

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 791 352**

51 Int. Cl.:

**H04W 72/04** (2009.01)

**H04W 88/08** (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.06.2015 PCT/US2015/034829**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2015 WO15191530**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2015 E 15731443 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 3152970**

54 Título: **Programación del mismo recurso en redes de acceso a la radio**

30 Prioridad:

**09.06.2014 US 201462009653 P**  
**16.09.2014 US 201462051212 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.11.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BARABELL, ARTHUR J.;**  
**EYUBOGLU, VEDAT;**  
**MAHALINGAM, NAGI JAYARAMAN;**  
**RAGHOTHAMAN, BALAJI;**  
**SANDBERG, STUART y**  
**AHMADI, SASSAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 791 352 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**

Programación del mismo recurso en redes de acceso a la radio

**Campo técnico**

Esta descripción se refiere a redes de acceso por radio (RAN).

**5 Antecedentes**

El uso generalizado de dispositivos móviles, 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 edificios y otras ubicaciones densamente pobladas. Tradicionalmente, dentro de los edificios, los operadores móviles confían en un Sistema de Antenas Distribuido (DAS) para permitir a los usuarios conectarse a las redes de los operadores para la transmisión de voz y datos.

El documento US 2012/208581 A1 (Ishida Hitoshi et al), publicado el 16 de agosto de 2012, describe un sistema de antenas distribuido que selecciona una antena según la posición de un terminal móvil y reduce la variación en el número total de terminales móviles que utilizan cada antena mientras mantiene una calidad de comunicación adecuada. En el sistema de antenas distribuido en el que una gran cantidad de antenas están dispuestas de manera distribuida, se selecciona un grupo de antenas que incluye antenas que tienen buena calidad de comunicación según la posición de un terminal móvil. Además, según la calidad de la comunicación y el estado de carga de un grupo de antenas actual y con la calidad de la comunicación y el estado de carga de un grupo de antenas posterior al cambio, que se obtiene cambiando algunas antenas en el grupo de antenas actual, se forma el grupo de antenas posterior al cambio cambiando algunas antenas en el grupo de antenas actual con el que se comunica un terminal móvil que usa una antena muy cargada.

**Compendio**

Se define en las reivindicaciones adjuntas un sistema de comunicación en una red celular según un aspecto de la invención, y un método realizado por un sistema de procesamiento de un sistema de comunicación en una red celular según un aspecto de la invención.

Un ejemplo de sistema de comunicación en una red celular comprende: un sistema de procesamiento que comprende un controlador y unidades remotas, con las unidades remotas configuradas para comunicarse con el controlador y para comunicarse con dispositivos móviles dentro de una célula de comunicación de la red celular. Al menos parte del sistema de procesamiento está configurado para realizar operaciones que comprenden: estimar la intensidad de la señal experimentada por todos o algunos de los dispositivos móviles; identificar, basándose al menos en la intensidad de la señal, uno o más de los dispositivos móviles que se pueden programar para la comunicación con una o más unidades remotas en la célula de comunicación en un mismo recurso de enlace aéreo; y programar la comunicación entre el uno o más dispositivos móviles y la una o más unidades remotas. El sistema de comunicación de ejemplo puede incluir una o más de las siguientes características, ya sea solo o en combinación.

El recurso de enlace aéreo puede incluir una banda de frecuencia. Al menos parte de la comunicación entre al menos parte del controlador, las unidades remotas y los dispositivos móviles puede ocurrir usando señales de radiofrecuencia (RF), donde al menos algunas de las señales de RF representan información destinada a un dispositivo móvil o que se origina en él. Las unidades remotas pueden configurarse para comunicarse con los dispositivos móviles usando señales de RF. El controlador puede estar configurado para estimar la intensidad de la señal experimentada por un dispositivo móvil, y para representar la estimación numéricamente, con la estimación correspondiente a las necesidades de transmisión o recepción del dispositivo móvil para el que se realizó la estimación. El controlador puede comprender un programador en tiempo real u otro tipo de programador configurado para realizar la programación para el dispositivo móvil basándose en la estimación.

Las necesidades de transmisión o recepción del dispositivo móvil pueden corresponder a la pérdida de señal estimada entre el dispositivo móvil y una o más de las unidades remotas.

La pérdida de señal estimada puede basarse en una transmisión de enlace ascendente desde el dispositivo móvil a una o más de las unidades remotas. La transmisión de enlace ascendente puede basarse en una transmisión de señal de referencia de sondeo de LTE (SRS). La transmisión de enlace ascendente puede basarse en una transmisión PRACH de LTE. La transmisión de enlace ascendente puede basarse en una transmisión PUCCH de LTE. La transmisión de enlace ascendente puede basarse en una transmisión PUSCH de LTE. Las necesidades de transmisión o recepción del dispositivo móvil pueden basarse en la carga de tráfico experimentada por una o más de las unidades remotas. La estimación puede representarse utilizando valores numéricos que se basan en una o más mediciones en un enlace ascendente desde un dispositivo móvil a una unidad remota. La estimación puede representarse utilizando valores numéricos que son 0 o 1. La estimación puede representarse utilizando valores numéricos que son valores seleccionados de un número finito de niveles mayores que dos.

Una estimación de la intensidad de la señal para un dispositivo móvil puede representarse utilizando valores

- numéricos. Para el dispositivo móvil, los valores numéricos pueden formar un vector de firma cuantificado. El controlador puede configurarse para realizar operaciones que comprenden: determinar, basándose en vectores de firma cuantificados para el dispositivo móvil y al menos otro dispositivo móvil, que el dispositivo móvil y el al menos otro dispositivo móvil pueden programarse en el mismo recurso de enlace aéreo para la comunicación. El vector de firma cuantificado puede basarse en una relación umbral de señal a interferencia más ruido (SINR). Se pueden programar dos dispositivos móviles en una misma banda de frecuencia en respuesta a una suma de vectores de firma cuantificados para los dos dispositivos móviles que no tienen ningún componente que exceda un umbral preestablecido. Los valores numéricos pueden basarse, al menos en parte, en una ubicación del dispositivo móvil dentro de la célula de comunicación.
- 5
- 10 Al menos dos de las unidades remotas pueden configurarse de modo que, cuando dos o más dispositivos móviles estén programados para comunicarse en un mismo recurso de enlace aéreo, diferentes unidades remotas se comuniquen con diferentes dispositivos móviles en el mismo recurso de enlace aéreo. Al menos una de las unidades remotas puede configurarse de modo que, cuando dos o más dispositivos móviles estén programados para comunicarse en un mismo recurso de enlace aéreo, la al menos una de las unidades remotas no se comunique con ningún dispositivo móvil. Como alternativa, la al menos una de las unidades remotas puede ser capaz de comunicarse con múltiples dispositivos móviles simultáneamente. La al menos una unidad remota puede configurarse para comunicarse utilizando una potencia de transmisión reducida.
- 15
- 20 El controlador puede configurarse para provocar la comunicación con un dispositivo móvil a una potencia de transmisión que esté por debajo de una potencia de transmisión estándar en un caso en el que el dispositivo móvil se encuentre a una distancia especificada de una unidad remota. El controlador puede configurarse para determinar si el dispositivo móvil está dentro de la distancia especificada basándose en una o más mediciones de transmisiones de enlace ascendente del dispositivo móvil en una o más unidades remotas. Las transmisiones de enlace ascendente pueden comprender uno o más de: transmisiones SRS, PUCCH, PRACH o PUSCH de LTE.
- 25
- 30 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar una tasa de bits a la que se transmitirán los datos desde y hacia un dispositivo móvil. Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento comprenden determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota. Las operaciones para determinar la tasa de bits pueden comprender: recibir, desde la unidad remota, información sobre una o más mediciones en un canal de control de enlace ascendente entre el dispositivo móvil y las unidades remotas; y usar la una o más mediciones para determinar la tasa de bits. La tasa de bits puede basarse en la incertidumbre debido al desvanecimiento a pequeña escala.
- 35
- 40 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota. Las operaciones para determinar la tasa de bits pueden comprender: recibir, desde el dispositivo móvil, información de realimentación sobre el éxito o el fracaso de transmisiones de datos anteriores; y usar la información de realimentación para determinar la tasa de bits. La información de realimentación puede comprender realimentación de ARQ híbrida (HARQ). En el caso de que haya cambiado una interferencia dominante del dispositivo móvil, no es necesario utilizar la realimentación HARQ pasada al determinar la tasa de bits.
- 45
- 50 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota. Las operaciones para determinar la tasa de bits pueden comprender: recibir, desde dispositivos móviles, realimentación de información de estado del canal (CSI); y usar la realimentación CSI para determinar la tasa de bits.
- 55
- Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota. Las operaciones para determinar la tasa de bits pueden comprender: recibir, desde dispositivos móviles, realimentación del estado del canal que incluye una medición de interferencia; y usar la realimentación del estado del canal que incluye la medición de interferencia para determinar la tasa de bits. La medición de interferencia puede basarse en una señal de referencia de información de estado de canal de LTE (CSI-RS). La medición de interferencia puede informarse por un dispositivo móvil que está configurado para informar mediciones de interferencia para diferentes escenarios de interferencia.
- En el sistema de comunicación de ejemplo, se puede usar un mismo recurso de enlace aéreo para la transmisión de enlace descendente desde una o más unidades remotas a un dispositivo móvil. En el sistema de comunicación de ejemplo, se puede usar un mismo recurso de enlace aéreo para la transmisión de enlace ascendente desde un dispositivo móvil a una o más unidades remotas. En el sistema de comunicación de ejemplo, se puede usar un mismo recurso de enlace aéreo de transmisión de enlace ascendente desde un dispositivo móvil y uno o más de otros dispositivos móviles a una o más unidades remotas para las cuales las señales se procesan conjuntamente.
- En el sistema de comunicación de ejemplo, una estimación de la intensidad de la señal se representa utilizando valores numéricos. Para un dispositivo móvil, los valores numéricos pueden formar un vector de firma cuantificado. El controlador puede configurarse para realizar operaciones que comprenden: determinar que el vector de firma cuantificado que es ortogonal a otro vector de firma cuantificado realizando una operación lógica usando el vector de firma cuantificado y el otro vector de firma cuantificado.

- 5 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar qué unidades remotas han de comunicarse con qué dispositivos móviles basándose, al menos en parte, en ubicaciones de dispositivos móviles dentro de la célula de comunicación. Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender dividir la célula de comunicación en células virtuales de modo que diferentes dispositivos móviles en al menos dos células virtuales diferentes estén configurados para la comunicación en la misma frecuencia; y para un dispositivo móvil en un borde de primera y segunda células virtuales, controlar una primera unidad remota en la primera célula virtual para transmitir al dispositivo móvil a un nivel de potencia no máximo y controlar una segunda unidad remota en la segunda célula virtual para transmitir al dispositivo móvil a un nivel de potencia no máximo.
- 10 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar las tasas de bits a las cuales han de transmitirse las comunicaciones entre los dos o más dispositivos móviles y las dos o más unidades remotas. Las operaciones para determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota pueden comprender: recibir, de todas (o un subconjunto de) unidades remotas en la célula de comunicación, información en un canal de control de enlace ascendente, donde la información corresponde a una intensidad de señal prevista para el dispositivo móvil en la célula de comunicación, donde la intensidad prevista se desvía de una intensidad de señal real para el dispositivo móvil en la célula de comunicación, y donde la intensidad de la señal prevista está asociada con una primera tasa de bits; y reducir la primera tasa de bits basándose en la intensidad de señal real para producir una segunda tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota.
- 15 Las unidades remotas pueden configurarse para realizar al menos un procesamiento de banda base. El al menos algún procesamiento de banda base puede incluir recibir y extraer la información en un canal de control de enlace ascendente. Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender comunicaciones de equilibrio de carga a unidades remotas en el canal de control de enlace ascendente. Las operaciones para realizar el equilibrio de carga pueden comprender establecer períodos y fases para las transmisiones desde algunos dispositivos móviles para no superponerse con las transmisiones de otros dispositivos móviles. Las operaciones para realizar el equilibrio de carga pueden comprender establecer períodos para transmisiones desde algunos dispositivos móviles basándose en una carga de tráfico de comunicación en la célula de comunicación.
- 20 En el sistema de comunicación de ejemplo, la comunicación puede estar en un enlace descendente desde las dos o más unidades remotas a dos o más dispositivos móviles. La comunicación puede estar en un enlace ascendente desde las dos o más unidades remotas a dos o más dispositivos móviles.
- 25 Los dispositivos móviles pueden comprender un primer dispositivo móvil y un segundo dispositivo móvil, y la identificación de uno o más de los dispositivos móviles que se pueden programar para la comunicación puede comprender identificar que el primer y el segundo dispositivo móvil se pueden programar para la comunicación en una misma frecuencia en un enlace ascendente. El enlace ascendente puede comprender al menos uno de los canales PUCCH o PUSCH de LTE.
- 30 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender dividir la célula de comunicación en células virtuales de modo que diferentes dispositivos móviles en al menos dos células virtuales diferentes estén configurados para comunicarse en una misma frecuencia. La misma frecuencia puede comprender una parte de una banda de frecuencia más grande. Los diferentes dispositivos móviles pueden configurarse también para comunicarse a través de diferentes frecuencias dentro de la banda de frecuencia más grande.
- 35 El controlador puede comprender un primer controlador y el sistema de procesamiento puede comprender uno o más segundos controladores. El primer controlador puede coordinar la operación del uno o más segundos controladores. Cada una de las unidades remotas puede configurarse para comunicarse con un segundo controlador correspondiente y para comunicarse de forma inalámbrica con dispositivos móviles. El primer controlador puede implementar una función de coordinación central para controlar las operaciones del uno o más segundos controladores.
- 40 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender determinar ubicaciones de los dispositivos móviles dentro de la célula de comunicación; y programar la comunicación entre dos o más dispositivos móviles y dos o más unidades remotas para asignar recursos de forma selectiva en las dos o más unidades remotas.
- 45 Las operaciones realizadas por el sistema de procesamiento pueden comprender la gestión de carga de una carga de procesamiento de canal de control de enlace ascendente en las unidades remotas.
- 50 Las operaciones para realizar la gestión de carga pueden comprender ajustar períodos para transmisiones desde algunos dispositivos móviles basándose en una carga de tráfico de comunicación en la célula de comunicación. La carga de tráfico de comunicación puede basarse en el número de usuarios conectados.
- 55 Un sistema de comunicación de ejemplo comprende: unidades remotas para comunicarse con dispositivos móviles utilizando señales de radiofrecuencia (RF), donde las señales de RF incluyen información destinada a un dispositivo móvil o que se origina en él; y un controlador que comprende un programador en tiempo real configurado para asignar recursos de enlace aéreo a dispositivos móviles para la comunicación. Las unidades remotas pueden estar configuradas para realizar al menos un procesamiento de banda base, con al menos un procesamiento de banda base que incluye recibir y extraer la información en un canal de control de enlace ascendente. Al menos parte del

procesamiento de banda base puede extenderse entre múltiples unidades remotas, donde al menos parte del procesamiento de banda base incluye operaciones que comprenden establecer períodos y fases para transmisiones desde uno o más dispositivos móviles para que las transmisiones desde uno o más dispositivos móviles no se superpongan transmisiones de uno o más dispositivos móviles. El sistema de comunicación de ejemplo puede incluir una o más de las siguientes características, ya sea solo o en combinación.

La configuración de períodos y fases puede ser para transmisiones de canal de control de enlace ascendente de uno o más dispositivos móviles y puede basarse en una o más unidades remotas que procesan las transmisiones de canal de control de enlace ascendente. El establecimiento de períodos y fases puede ser para transmisiones de canal de control de enlace ascendente de uno o más dispositivos móviles y puede basarse en un cambio en un procesamiento de unidad remota de las transmisiones de canal de control de enlace ascendente. Las transmisiones de canal de control de enlace ascendente pueden comprender transmisiones de Solicitud de Programación (SR) o Información de Estado del Canal (CSI).

Un sistema de comunicación de ejemplo comprende unidades remotas para comunicarse con dispositivos móviles usando señales de radiofrecuencia (RF), con al menos algunas de las señales de RF que incluyen información destinada a un dispositivo móvil o que se origina en él; y uno o más dispositivos de procesamiento para ejecutar instrucciones para implementar componentes que comprenden: dos o más controladores, con los dos o más controladores que comprenden programadores en tiempo real para asignar recursos de enlace aéreo a uno o más dispositivos móviles para la comunicación con una o más de las unidades remotas; y un coordinador para coordinar las asignaciones realizadas por los programadores en tiempo real. El sistema de comunicación de ejemplo puede incluir una o más de las siguientes características, ya sea solo o en combinación.

El coordinador puede ser parte de uno de los controladores. Cada dispositivo móvil puede gestionarse por uno de los controladores. Al menos una de las unidades remotas puede configurarse para demodular y decodificar transmisiones de PRACH. Uno o más de los controladores pueden estar configurados para gestionar un dispositivo móvil determinado por la al menos una unidad remota. Uno o más de los controladores pueden configurarse para funcionar como un controlador de retorno para gestionar la conexión a una red externa y, al recibir una radiobúsqueda para un dispositivo móvil, gestionar un dispositivo móvil. Uno o más de los controladores pueden configurarse para funcionar como una fuente de temporización para una o más de las unidades remotas.

Dos o más unidades remotas pueden ser parte de una célula. Uno o más de los controladores pueden configurarse para servir dispositivos móviles en la célula a través de una o más de las unidades remotas. Uno o más de los controladores pueden configurarse para proporcionar datos para canales comunes de enlace descendente para una o más de las unidades remotas.

Al menos algunos dispositivos móviles pueden configurarse para recibir datos en dos o más frecuencias portadoras. Cada controlador puede configurarse para gestionar una de las frecuencias portadoras, y cada controlador puede configurarse para servir a un usuario móvil correspondiente a una portadora del controlador. El coordinador puede estar configurado para coordinar asignaciones de recursos de enlace aéreo a través de múltiples frecuencias portadoras. Puede configurarse una unidad remota para recibir datos de más de un controlador. La unidad remota puede configurarse para transmitir datos a más de un controlador.

Un ejemplo de célula de comunicación en una red celular comprende: un sistema de procesamiento que comprende un controlador y unidades de radio, con las unidades de radio configuradas para comunicarse con el controlador y para comunicarse de forma inalámbrica con dispositivos móviles dentro de la célula de comunicación. El sistema de procesamiento puede configurarse para realizar operaciones que comprenden: estimar la intensidad de la señal experimentada por los dispositivos móviles, con la intensidad de la señal afectada por la interferencia experimentada por los dispositivos móviles, y con la interferencia causada por las transmisiones de al menos algunas de las unidades de radio dentro de los alcances de los dispositivos móviles; e identificar, basándose al menos en la intensidad de la señal, dos o más de los dispositivos móviles que se pueden programar para la comunicación, en una misma frecuencia, con dos o más unidades de radio en la célula de comunicación.

Se usa un método de ejemplo en una red celular que comprende un sistema de procesamiento que comprende un controlador y unidades de radio, con las unidades de radio configuradas para comunicarse de forma inalámbrica con el controlador y para comunicarse con dispositivos móviles dentro de una célula de comunicación. El sistema de procesamiento realiza operaciones que comprenden: estimar la intensidad de la señal experimentada por los dispositivos móviles, con la intensidad de la señal afectada por la interferencia experimentada por los dispositivos móviles, y con la interferencia causada por las transmisiones de al menos algunas de las unidades de radio dentro de los alcances de los dispositivos móviles; e identificar, basándose al menos en la intensidad de la señal, dos o más de los dispositivos móviles que se pueden programar para la comunicación, en una misma frecuencia, con dos o más unidades de radio en la célula de comunicación. El método de ejemplo puede implementarse usando uno o más dispositivos de almacenamiento legibles por máquina no transitorios que almacenan instrucciones que son ejecutables para realizar el método.

Un ejemplo de sistema de comunicación incorporado en una red celular. El sistema de comunicación comprende un sistema de procesamiento que comprende un controlador y unidades remotas, donde las unidades remotas están

5 configuradas para comunicarse con el controlador y para comunicarse con dispositivos móviles dentro de una célula de comunicación de la red celular. Uno o más medios de almacenamiento legibles por máquina no transitorios almacenan instrucciones que son ejecutables por el sistema de procesamiento para realizar operaciones que comprenden: estimar la intensidad de la señal experimentada por todos o algunos de los dispositivos móviles; identificar, basándose al menos en la intensidad de la señal, uno o más de los dispositivos móviles que se pueden programar para la comunicación con una o más unidades remotas en la célula de comunicación en un mismo recurso de enlace aéreo; y programar la comunicación entre el uno o más dispositivos móviles y la una o más unidades remotas.

10 Se incorpora un ejemplo de sistema de comunicación en una red celular. El sistema de comunicación comprende un sistema de procesamiento que comprende un controlador y unidades remotas, donde las unidades remotas están configuradas para comunicarse con el controlador y para comunicarse con dispositivos móviles dentro de una célula de comunicación de la red celular. Un método realizado por el sistema de procesamiento comprende: estimar la intensidad de la señal experimentada por todos o algunos de los dispositivos móviles; identificar, basándose al menos en la intensidad de la señal, uno o más de los dispositivos móviles que se pueden programar para la comunicación con una o más unidades remotas en la célula de comunicación en un mismo recurso de enlace aéreo; y programar la comunicación entre el uno o más dispositivos móviles y la una o más unidades remotas.

15 Un sistema de comunicación de ejemplo comprende: unidades remotas para intercambiar señales de RF con dispositivos móviles, con señales de RF que comprenden información destinada o que se origina en un dispositivo móvil; y un controlador que comprende un programador en tiempo real para asignar recursos de enlace aéreo a un dispositivo móvil para la información. El controlador puede configurarse para determinar las necesidades de transmisión o recepción de la unidad remota de dispositivos móviles mediante la estimación de niveles de señal y la representación de las necesidades mediante valores numéricos. El programador en tiempo real puede configurarse para asignar dispositivos móviles a recursos de enlace aéreo, asignando en ocasiones dos o más dispositivos móviles al mismo recurso de enlace aéreo según el aislamiento de RF, basándose en los valores numéricos. El sistema de comunicación de ejemplo puede incluir una o más de las siguientes características, ya sea solo o en combinación.

20 Las necesidades de transmisión o recepción de la unidad remota pueden determinarse basándose en las estimaciones de la pérdida de señal entre cada una de las unidades remotas y el dispositivo móvil. Las necesidades de transmisión o recepción de la unidad remota pueden determinarse también basándose en la carga de tráfico que se observa en cada una de las unidades remotas. La pérdida de señal puede estimarse basándose en una transmisión de enlace ascendente desde el dispositivo móvil a las unidades remotas. Las transmisiones de enlace ascendente pueden corresponder a transmisiones de Señal de Referencia de Sondeo (SRS) en la norma LTE. Las transmisiones de enlace ascendente pueden corresponder a las transmisiones de PRACH en la norma LTE. Las transmisiones de enlace ascendente pueden corresponder a las transmisiones de PUCCH en la norma LTE. Las transmisiones de enlace ascendente pueden corresponder a las transmisiones de PUSCH en la norma LTE. Los valores numéricos pueden derivarse de mediciones de enlace ascendente. Los valores numéricos pueden ser binarios tomando los valores 0 o 1. Los valores numéricos pueden tomar valores de un número finito de niveles mayores que 2.

30 Para cada dispositivo móvil, los valores numéricos pueden usarse para formar un vector de firma cuantificado. Las operaciones para determinar, basándose en los vectores de firma cuantificados, que los dos o más dispositivos móviles pueden programarse en el mismo recurso de enlace aéreo para la comunicación pueden comprender determinar que los vectores de firma son ortogonales. El vector de firma cuantificado para un dispositivo móvil puede determinarse usando una relación umbral de señal a interferencia más ruido (SINR).

35 Para cada dispositivo móvil, los valores numéricos pueden usarse para formar un vector de firma cuantificado y se puede permitir que dos usuarios se programen en el mismo recurso de frecuencia cuando la suma de sus vectores de firma cuantificados no tiene un componente que exceda un umbral preestablecido.

45 Los valores numéricos pueden determinarse basándose, al menos en parte, en las ubicaciones de los dispositivos móviles dentro de la célula de comunicación. La asignación de dos o más dispositivos móviles en el mismo recurso de enlace aéreo puede dar como resultado que unidades remotas diferentes en la célula transmitan a diferentes dispositivos móviles en el mismo recurso de enlace aéreo. La asignación de dos o más usuarios en el mismo recurso de enlace aéreo puede provocar que algunas unidades remotas no transmitan a ninguno de los usuarios. La asignación de dos o más usuarios en el mismo recurso de enlace aéreo puede dar como resultado que algunas unidades remotas transmitan simultáneamente a múltiples usuarios. Las unidades remotas que pueden transmitir simultáneamente a múltiples usuarios tienen una potencia de transmisión reducida.

50 El controlador puede reducir aún más la potencia de transmisión a ciertos dispositivos móviles que determina que están cerca de una unidad remota. El controlador puede hacer la determinación basada en mediciones de transmisiones de enlace ascendente de los dispositivos móviles en las unidades remotas. Las transmisiones de enlace ascendente pueden incluir transmisiones SRS, PUCCH, PRACH o PUSCH de LTE.

55 Las operaciones pueden comprender determinar las tasas de bits a las que se transmitirán los datos desde y hacia dos o más dispositivos móviles. La determinación de una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad de radio puede comprender: recibir, desde unidades remotas, información sobre mediciones en un canal

de control de enlace ascendente, y usar tales mediciones para determinar la tasa de bits. La determinación de la tasa de bits puede incluir incertidumbre debido al desvanecimiento a pequeña escala.

5 La determinación de una tasa de bits para una comunicación desde una unidad remota a un dispositivo móvil puede comprender: recibir desde el dispositivo móvil realimentación sobre el éxito o el fracaso de las transmisiones de datos anteriores, y usar dicha información en la determinación de la tasa de bits. La realimentación del dispositivo móvil puede ser una realimentación de ARQ híbrida (HARQ) de LTE. La realimentación HARQ pasada puede ignorarse cuando la interferencia dominante del UE ha cambiado.

10 Las operaciones para determinar una tasa de bits para una comunicación desde una unidad remota a un dispositivo móvil pueden comprender: recibir de los dispositivos móviles información de estado de múltiples canales (CSI), y usar dicha información en la determinación de la tasa de bits. Las operaciones para determinar una tasa de bits para una comunicación desde una unidad remota a un dispositivo móvil comprenden: recibir de dispositivos móviles realimentación de estado de múltiples canales que incluye la medición de interferencia, y usar dicha información en la determinación de la tasa de bits. La medición de interferencia puede basarse en la Señal de Referencia de Información de Estado de Canal (CSI-RS) de LTE. El dispositivo móvil puede informar múltiples mediciones de interferencia para diferentes escenarios de interferencia.

20 Un sistema de comunicación de ejemplo comprende: unidades remotas para intercambiar señales de RF con dispositivos móviles, con señales de RF que comprenden información destinada o que se origina en un dispositivo móvil; y un controlador que comprende un programador en tiempo real para asignar recursos de enlace aéreo a dispositivos móviles para la información. Las unidades remotas están configuradas para realizar al menos un procesamiento de banda base, con al menos un procesamiento de banda base que incluye recibir y extraer la información en el canal de control de enlace ascendente. Las operaciones realizadas por el controlador comprenden equilibrar la carga de procesamiento a través de las unidades remotas cuando se procesa el canal de control de enlace ascendente, donde el equilibrio de carga comprende establecer períodos y fases para las transmisiones desde algunos dispositivos móviles para no superponerse con las transmisiones de otros dispositivos móviles. El sistema de comunicación de ejemplo puede comprender una o más de las siguientes características, ya sea solo o en combinación.

25 El establecimiento de períodos y fases para las transmisiones de canal de control de enlace ascendente de un dispositivo móvil también puede basarse en la una o más unidades remotas que procesan las transmisiones de canal de control de enlace ascendente. La configuración de períodos y fases para las transmisiones del canal de control del enlace ascendente de un dispositivo móvil puede modificarse cuando cambia una unidad remota que procesa las transmisiones del canal de control del enlace ascendente (debido a la movilidad).

30 Las transmisiones de canal de control de enlace ascendente pueden incluir transmisiones de Solicitud de Programación (SR) o Información de Estado del Canal (CSI). Las operaciones pueden comprender la gestión de la carga de procesamiento del canal de control del enlace ascendente en las unidades remotas, donde la gestión de carga comprende ajustar los períodos para las transmisiones desde algunos dispositivos móviles basándose en una carga de tráfico de comunicación en la célula de comunicación. La carga de tráfico de comunicación se puede medir basándose en el número de usuarios conectados.

35 Los mismos recursos de enlace aéreo asignados pueden ser para transmisiones de enlace descendente desde las diferentes unidades remotas a los dos o más dispositivos móviles. Los mismos recursos de enlace aéreo asignados pueden ser para transmisiones de enlace ascendente desde dos o más dispositivos móviles a unidades remotas sin interferencia sustancial. Los mismos recursos de enlace aéreo asignados pueden ser para transmisiones de enlace ascendente desde dos o más dispositivos móviles a una o más unidades remotas cuyas señales recibidas se procesan conjuntamente para una detección confiable.

40 Un sistema de comunicación de ejemplo comprende: unidades remotas para intercambiar señales de RF con dispositivos móviles, con señales de RF que comprenden información destinada o que se origina en un dispositivo móvil; y dos o más controladores que comprenden programadores en tiempo real para asignar recursos de enlace aéreo a un dispositivo móvil para la información. Una función de coordinación está acoplada a los controladores para coordinar las asignaciones realizadas por los programadores en tiempo real en los controladores. El sistema de comunicación de ejemplo puede incluir una o más de las siguientes características, ya sea solo o en combinación.

45 La función de coordinación puede residir en uno de los controladores. Cada usuario conectado puede gestionarse por uno de los controladores. Las transmisiones de PRACH pueden demodularse y decodificarse por una unidad remota, y el controlador puede estar configurado para gestionar un usuario conectado que está determinado por la unidad remota.

50 Uno o más de los controladores pueden actuar como un controlador de retorno que gestiona la conexión a la red externa y, al recibir una radiobúsqueda para un usuario móvil, selecciona el controlador para gestionar el usuario móvil. Uno o más de los controladores pueden actuar como una fuente de temporización para las unidades remotas. Dos o más unidades remotas pueden pertenecer a la misma célula y los dispositivos móviles en la célula pueden ser servidos por cualquiera de los controladores a través de una o más de las unidades remotas. Uno o más de los controladores

pueden proporcionar los datos para los canales comunes de enlace descendente para las unidades remotas.

Al menos algunos dispositivos móviles pueden recibir en dos o más frecuencias portadoras, y cada controlador puede manejar una de las portadoras, en donde un usuario móvil es servido por el controlador asociado con su portadora principal.

- 5 La función de coordinación puede usarse para coordinar asignaciones de recursos de enlace aéreo a través de múltiples frecuencias portadoras. Una unidad remota puede recibir datos de más de un controlador, y una unidad remota puede transmitir datos a más de un controlador.

10 Cualquiera de las dos o más características descritas en esta memoria descriptiva, incluidas esta sección de compendio, se pueden combinar para formar implementaciones que no se describen específicamente en la presente memoria.

15 Los sistemas y técnicas descritos en la presente memoria, o partes de los mismos, se pueden implementar como/controlarse por un producto de programa informático que incluye instrucciones que se almacenan en uno o más medios de almacenamiento legibles por máquina no transitorios, y que son ejecutables en uno o más dispositivos de procesamiento para controlar (p. ej., coordinar) las operaciones descritas en la presente memoria. Los sistemas y técnicas descritos en la presente memoria, o partes de los mismos, pueden implementarse como un aparato, método o sistema electrónico que puede incluir uno o más dispositivos de procesamiento y memoria para almacenar instrucciones ejecutables para implementar diversas operaciones.

Los detalles de una o más implementaciones se exponen en los dibujos adjuntos y en la descripción a continuación. Otras características y ventajas serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos, y de las reivindicaciones.

## 20 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 célula de una red de radio conectada a un controlador/unidad de control (CU) y dos células conectadas a una CU.

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

- 25 La figura 3 es un diagrama de bloques que muestra el despliegue de una red de radio de ejemplo en un sitio, como un edificio u otra área.

Las figuras 4A-4C son diagramas de bloques de ejemplos de esquemas de mapeo de antenas en una célula.

La figura 5A es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de división virtual en una célula.

- 30 La figura 5B es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un controlador que detecta transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH).

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

La figura 7 es un diagrama de bloques que muestra ejemplos de dos cuadrículas de recursos para dos antenas correspondientes de una unidad remota (RU).

- 35 La figura 8 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de transmisiones de señal entre el equipo de usuario (UE) y una unidad remota (RU).

La figura 9 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de compresión de enlace ascendente.

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

- 40 La figura 11 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de cuantificación predictiva para el Canal Compartido de Enlace Ascendente Físico de LTE (PUSCH).

La figura 12 es un diagrama que muestra un ejemplo de límites de subtrama.

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

- 45 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 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 Flexible (SFR) en LTE.

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

5 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 utilizada en la transición de la transmisión DL (enlace descendente) a la transmisión UL (enlace ascendente).

Las figuras 20A a 20C son diagramas esquemáticos que muestran ejemplos de combinación de señales de diferentes módems de banda base en un controlador y en las unidades remotas, respectivamente.

10 La figura 21A es un diagrama de bloques esquemático que muestra un ejemplo de una subtrama.

La figura 21B es un diagrama de bloques esquemático que muestra ejemplos de subtramas para dos células virtuales.

La figura 22 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de un proceso para agrupar zonas de RF predeterminadas fuera de línea.

La figura 23 muestra un ejemplo de un mapa determinado fuera de línea para zonas de RF.

15 La figura 24 muestra una vista de diagrama de bloques de un ejemplo de un proceso de ubicación para la depuración.

La figura 25 es un diagrama de bloques que muestra el mantenimiento de un conjunto de depuración.

La figura 26 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de apilamiento de CU en una célula.

La figura 27 muestra un ejemplo de implementación que muestra la comunicación entre RU1, RU2, UE1 y UE2.

La figura 28 es un diagrama de bloques que muestra ejemplos de divisiones de funcionalidad entre las RU y las CU.

20 La figura 29 es un diagrama de bloques que muestra una topología de ejemplo para una implementación de ejemplo para usar con los procesos descritos en la presente memoria.

La figura 30 es un diagrama de flujo que muestra un proceso de ejemplo para implementar la configuración de CSI-RS automática.

La figura 31 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de una asignación de CSI-RS agrupada.

25 La figura 32 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de una asignación de CSI-RS agrupada.

### Descripción detallada

Los sistemas y técnicas descritos a continuación son ejemplos de implementaciones de características que pueden incluirse en una red de acceso por radio. Las afirmaciones hechas en la presente memoria no se limitan a las implementaciones de ejemplo que se describen a continuación.

30 Con referencia a la figura 1, se despliega una red 12 de radio de ejemplo en un sitio 10 para que uno o más operadores móviles, como el operador A 14 o el operador B 16, puedan proporcionar acceso a la red móvil a uno o más equipos de usuario (UE) 18, 20, tal como teléfonos inteligentes, en el sitio 10. El sitio puede ser un edificio empresarial o corporativo, un lugar público, como un hotel, hospital, campus universitario, o incluso un área al aire libre como un área de esquí, un estadio o un área del centro densamente poblada o una ciudad. La red 12 de radio incluye controladores (cada uno de los cuales también puede denominarse Unidad de Controlador (CU)) 22, 24 y Unidades Remotas (RU) 26a-26i conectadas por una red 28 Ethernet. Las CU 22, 24 están conectadas (con enlace de retroceso) a la red central del operador, que puede incluir una pasarela de seguridad (SeGW) y nodos definidos en la norma de la Evolución a Largo Plazo (LTE), como la entidad de gestión de movilidad (MME) 14a, 16a y las pasarelas de servicio (SGW) 14b, 16b, opcionalmente, a través de las pasarelas de eNodo B domésticas (HeNB GW) 30, 32.

40 Las CU pueden conectarse a la red central del operador a través de Internet u otra red de transporte de paquetes basada en IP 33 (para fines de descripción, podemos referirnos a la red 33 únicamente como Internet, aunque se pueden usar o incluir otras redes). Cuando hay varias CU, una CU puede actuar como un punto de terminación de eNodo B y presentar una única interfaz de red hacia la red central; p. ej., una SeGW, una MME, una GW de HeNodoB o una SGW. Las CU pueden implementarse utilizando los principios conocidos de Virtualización de la Función de Red (NFV) como una aplicación de software virtualizada que se ejecuta en una máquina/hipervisor virtual. La máquina/hipervisor virtual puede ejecutarse en hardware que se comparte con otras aplicaciones virtualizadas. El hardware puede ser un servidor de TI en el mercado. Las CU también pueden incluir cierta funcionalidad MME (no se muestra) y funcionalidad SGW (no se muestra), lo que permite que el tráfico fluya directamente entre el UE y un nodo 45 31 de destino en Internet o en la red 28 IP local en el sitio 10 sin atravesar la red principal del operador.

En algunas implementaciones, cada CU 22, 24 realiza las funciones de una estación base, excepto ciertas funciones de módem de banda base y RF que pueden realizarse por las RU. Cada CU también puede gestionar una o más de las RU. Cada CU puede estar asociada con un operador móvil de modo que las RU que gestionan pueden operar en un espectro que pertenece a ese operador móvil. También es posible compartir una CU entre múltiples operadores móviles. Entre otras cosas, las CU pueden programar el tráfico hacia/desde los UE. Cada CU 22, 24 también está conectada a un gestor 40, 42 de servicios, que normalmente se encuentra en la red principal del operador. El gestor de servicio es responsable de la configuración, activación y monitorización de la red de radio. También puede haber un gestor de servicio de instalación local, que puede permitir que el personal local de TI instale y mantenga la red de radio. Las RU 26a-26i contienen transceptores de RF para transmitir señales de RF hacia y desde el equipo del usuario y para realizar funciones de extremo frontal de RF, entre otras funciones.

Generalmente, una estación base tradicional, como una célula 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 implementa tanto la funcionalidad de RF como el procesamiento de banda base. En algunas implementaciones, una o más estaciones base tradicionales pueden estar en comunicación con un controlador centralizado. Las funcionalidades de la banda base se pueden dividir entre la estación base tradicional y el controlador centralizado de la(s) estación(es) base(s) tradicional(es) de modo que el controlador centralizado realice solo las funciones de procesamiento de la capa superior (p. ej., capa 3 o superior) de la funcionalidad de la banda base.

En algunas implementaciones, las CU no realizan ninguna función de RF. Cada CU puede incluir uno o más módems de banda base, cada uno para realizar funciones de todas las capas de funcionalidades de banda base, que incluye el procesamiento de la capa (capa 2) de Control de Acceso al Medio (MAC) y el procesamiento de la capa superior (capa 3 y superiores), como se muestra en la configuración (a) de la figura 28. Por ejemplo, la programación en tiempo real, que es parte de la capa MAC (capa 2), puede realizarse por un módem de banda base de una CU. Los módems de banda base también pueden realizar el procesamiento de la capa física (capa 1). Además, los módems de banda base o las CU también pueden realizar otras funciones similares a la estación base tradicional, como la función de la unidad de procesamiento de red, p. ej., procesamiento de datos de Protocolo de Internet (IP).

En algunas implementaciones, la programación en tiempo real se refiere a la asignación de datos de usuario a recursos de tiempo y/o frecuencia basados en CSI (Información de Estado del Canal). En la programación de enlace descendente (DL), la CSI se suministra por el UE. En la norma LTE, la CSI de enlace descendente puede incluir un Indicador de Calidad de Canal (CQI), un Indicador de Matriz de Precodificación (PMI) o un Indicador de Clasificación (RI). En la programación de enlace ascendente (UL), la CSI se determina por el controlador basándose en las transmisiones recibidas de los UE. La programación en tiempo real es una función de capa 2 y se realiza en la CU. En la norma LTE, la CSI de enlace ascendente puede determinarse basándose en las señales transmitidas por el UE, por ejemplo, la Señal de Referencia de Sondeo (SRS). Las funciones de módem de banda base realizadas por el controlador también pueden incluir funciones de capa 1, tales como codificación de control de error de enlace descendente, decodificación de control de error de enlace ascendente, combinación de diversidad de antena múltiple de enlace ascendente de señales recibidas por diferentes RU, estimación de canal y otras funciones de capa superior relacionadas con la transmisión o recepción inalámbrica. En algunas implementaciones, todas las funciones de capa 1 se implementan en las RU, y solo las funciones de banda base de la capa 2 y superiores se implementan en las CU, como se muestra en la configuración (b) de la figura 28. En algunas implementaciones, las funciones de la capa 1 ("capa 1 ("parcial")") se dividen entre las CU y las RU, como se muestra en la configuración (c) de la figura 28. Las funciones del receptor del canal de control del enlace ascendente, como PUCCH, PRACH y SRS, pueden implementarse sustancialmente en las RU, mientras que las funciones del receptor PUSCH del enlace ascendente pueden manejarse por las CU. La división funcional entre la CU y la RU puede ser diferente en el enlace descendente y en el enlace ascendente. En algunas implementaciones, sustancialmente todas las funciones de la capa 1 del enlace descendente pueden implementarse en las RU y una mayoría de las funciones de la capa 1 del enlace ascendente pueden implementarse en las CU, como se muestra en la configuración (d) de la figura 28.

En algunas implementaciones, las CU y las RU de la red 12 realizan funciones distintivas en la red de radio y están conectadas por la red 28 Ethernet, aunque otras redes de transporte, como las redes de cable híbridas fibra-coaxial (HFC), VDSL (Línea de Abonado Digital de Tasa de Bits muy Alta) o las redes inalámbricas también se pueden utilizar para habilitar las diversas capacidades descritas en esta memoria descriptiva. Las CU 22, 24 pueden determinar la capacidad de procesamiento de la transmisión de datos/señales en el sitio 10 para las funciones implementadas en las CU, mientras que las RU 26a-26i pueden proporcionar cobertura de RF/señal al sitio 10, así como la capacidad de procesamiento para las funciones implementadas en las RU.

Las CU 22, 24 pueden contener uno o más procesadores u otros dispositivos de procesamiento en los que se ejecuta código para instruir la realización de ciertas funciones de módem de banda base y red. Los procesadores pueden ser hardware formado por Circuitos Integrados (CI) y otros componentes eléctricos. Cada CU 22, 24 puede contener uno o más procesadores de módem de banda base (véase, p. ej., las figuras 2A y 2B) o puede estar configurada 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 se implementa un módem de banda base en múltiples procesadores, cada procesador puede ser responsable de procesar las señales asociadas con grupos seleccionados de UE. En algunos casos, las CU pueden configurarse para que no realicen ninguna funcionalidad de RF. Las RU pueden ser controladas por las CU y pueden implementarse mediante bloques de hardware, tales como transceptores de radio (véase las

figuras 2A y 2B).

Las RU pueden tener antenas de transmisión que son integrales a las mismas o las antenas pueden ser externas y conectarse a las RU a través de cables de antena. Una RU también se conoce como un punto de radio (RP) o una unidad de punto de radio (RPU). En algunos ejemplos, puede haber menos funcionalidad de software ejecutándose en las RU que en las CU 22, 24. En algunas implementaciones, las RU están configuradas para no realizar funcionalidad de módem de banda base.

En otras implementaciones, las RU pueden realizar alguna funcionalidad de módem de banda base.

Por ejemplo, en la norma LTE, las RU pueden implementar las funciones de Transformación Rápida de Fourier (FFT) y FFT inversa (IFFT). En algunas implementaciones, las RU pueden realizar funciones adicionales de módem de banda base de enlace descendente. Por ejemplo, las RU pueden realizar todas o la gran mayoría de las funciones de la capa 1. Los módems de banda base en las CU y las RU pueden conectarse a través de una red 28 Ethernet conmutada disponible en el mercado con uno o más conmutadores 34, 36, 38 Ethernet y posiblemente uno o más conmutadores adicionales entre el conmutador 34 y los conmutadores 36, 38. En algunas implementaciones, todas las CU y RU en el sitio 10 están conectadas entre sí a través de la red 28 Ethernet. Se pueden usar otras redes para conectar las CU a las RU, que incluyen enlaces inalámbricos, redes CATV o enlaces de fibra especializados.

En algunas implementaciones, una o más RU, junto con un módem de banda base en una CU determinada, forman una célula física. En el ejemplo que se muestra en la figura 1, una célula 44 incluye las RU 26a-26d controladas por uno o más módems de banda base (no mostrados) en la CU 22, y una célula 46 incluye las RU 26e-26i controladas por uno o más módems de banda base (no mostrados) en la CU 24. Las RU 26a-26i se pueden implementar en diferentes ubicaciones del sitio 10, p. ej., diferentes habitaciones, pisos, edificios, etc., para proporcionar una cobertura de RF en todo el sitio de la manera más uniforme posible. Cada CU puede tener uno o más módems de banda base y puede controlar una o más células. En principio, cada módem de banda base puede tener la capacidad de transmisión de datos de un solo sector LTE, que puede ser bastante grande utilizando las técnicas de reutilización de frecuencia descritas en esta memoria descriptiva. El número de módems de banda base disponibles en el sitio y la capacidad de cada célula LTE generalmente determina la capacidad de datos que se puede entregar al sitio.

La red 12 de radio de la figura 1 puede implementarse con diversas tecnologías de interfaz aérea. Por ejemplo, se puede usar LTE de 4G. LTE es una norma desarrollada por el 3GPP, una organización de normas. La primera versión de la norma LTE se puso a disposición en la versión (Rel.) 8 de 3GPP. Posteriormente, la norma LTE se perfeccionó en las versiones 9, 10, 11 y 12. Varias versiones más de la norma se desarrollarán en el futuro. Las versiones de 3GPP 8 a 11 de la norma LTE se usan en las redes, sistemas y métodos de radio de ejemplo descritos de la presente memoria. Sin embargo, las redes de radio y otros sistemas y métodos descritos en la presente memoria pueden utilizarse con cualquier versión apropiada de la norma LTE, que incluyen las variantes de Dúplex por División de Frecuencia (FDD) y Duplex por División de Tiempo (TDD), o con una diversidad de otras tecnologías de interfaz aérea futuras (p. ej., 5G) o existentes apropiadas, como IEEE 802.11, que se conoce más popularmente como Wi-Fi, o IEEE 802.16, que también se conoce como Wi-Max, o interfaces aéreas 3G como el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS).

Las redes comerciales LTE pueden ser síncronas de modo que las fases de temporización de todas las transmisiones de los eNodos B están alineadas con el tiempo de GPS (sistema de posicionamiento global) o de UTC (hora universal coordinada). En un eNodo B de LTE independiente, el tiempo de GPS/UTC se proporciona por un receptor GPS, que es un componente físico en el hardware del eNodo B. En algunas implementaciones, el hardware de las CU 22, 24 incluye un receptor GPS físico para proporcionar temporización a la red 12 de radio. En implementaciones donde las CU 22, 24 están distantes de cualquier vista satelital, p. ej., ubicadas en el interior de un edificio, el receptor GPS físico (no mostrado) puede ser externo al hardware de CU y puede entregar la información de temporización a las CU 22, 24 a través de, p. ej., el IEEE1588 PTP (protocolo de tiempo de precisión). En algunas implementaciones, una fuente de temporización para la red 12 de radio es un servidor de temporización (no mostrado) ubicado en la red del operador (p. ej., la red 14, 16) que proporciona temporización a las CU 22, 24 utilizando, p. ej., el protocolo IEEE1588. Las RU 26a-26i no contienen necesariamente ningún receptor GPS en algunos casos, y pueden recibir información de temporización desde las CU o directamente desde un receptor GPS externo a través de IEEE1588 u otros protocolos de temporización de alta precisión. La sincronización de la temporización se analiza a continuación.

Con referencia a la figura 2A, en una implementación de ejemplo, una CU 60 incluye un módem 62 de banda base (célula) conectado a las RU 66a-66e a través de una red 68 Ethernet. Las RU 66a-66e pertenecen a la misma célula 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 se encuentran en el área de cobertura de las RU que pertenecen a la célula correspondiente. El número de RU que se asignará a una sola célula puede determinarse basándose en el número de UE en el área de cobertura de las RU, las necesidades de capacidad de datos de cada UE, así como 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 compatibles con el módem de banda base.

En algunas implementaciones, en una red de radio, el tamaño y la forma de las células se pueden variar en un sitio

según la demanda de tráfico. En áreas de alto tráfico, las células pueden hacerse más pequeñas que en áreas de bajo tráfico. Cuando la distribución de la demanda de tráfico en el sitio varía según la hora del día u otros factores, el tamaño y la forma de las células también se pueden variar para adaptarse a esas variaciones. Por ejemplo, durante el día, se puede entregar más capacidad a las áreas del vestíbulo de un hotel que a las áreas de la habitación, mientras que por la noche se puede entregar más capacidad a las áreas de la habitación que a las áreas del vestíbulo.

En algunas implementaciones, las RU 66a-66e pueden proporcionar una intensidad de señal uniforme en toda la célula 64 sin introducir ningún límite de célula. Cuando la capacidad de un único módem 62 de banda base es insuficiente para servir al área, se pueden agregar módems adicionales a la CU o se pueden habilitar módems no utilizados en la CU para dividir una célula existente en múltiples células. Se puede entregar más capacidad con múltiples células. Por ejemplo, como se muestra en la figura 2B, una CU 80 incluye módems 82, 84 que controlan las células 86, 88 respectivas a través de una red 96 Ethernet. Cada célula 86, 88 incluye una o más RU 90a, 90b, 92a, 92b para proporcionar cobertura de RF a los UE 94a-94d. Las células 86, 88 pueden utilizarse por los suscriptores de un operador móvil, o por diferentes operadores móviles. Si es necesario, también se pueden agregar CU adicionales con más módems de banda base. Se pueden agregar RU adicionales para expandir o mejorar la cobertura de RF.

Además de los módems o de las funcionalidades del módem, en algunas implementaciones, la CU 80 contiene una unidad 98 de coordinación que coordina globalmente la programación de transmisión y recepción de los módems 82, 84 para reducir o eliminar la posible interferencia entre las células 86, 88. Por ejemplo, la coordinación centralizada permite que los dispositivos 94c, 94d que se encuentran dentro de la región 100 límite superpuesta de las dos células 86, 88 se comuniquen sin una interferencia sustancial entre células. Los detalles de la coordinación centralizada se analizan a continuación. En algunas implementaciones, los problemas de interferencia que es probable que tengan lugar en las regiones límite de múltiples células dentro de todo el edificio o sitio pueden ocurrir con menos frecuencia, debido al número relativamente pequeño de células necesarias. En algunas implementaciones, las CU pueden realizar la coordinación centralizada para un número relativamente pequeño de células y evitar la interferencia entre células. En algunas implementaciones, la unidad 98 de coordinación puede usarse como un punto de agregación para datos de enlace descendente reales. Esto puede ser útil para combinar el tráfico de enlace descendente asociado con diferentes células cuando se usa MIMO multiusuario entre usuarios servidos en diferentes células. 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 lo contrario, los ejemplos proporcionados a continuación se dirigen principalmente a una célula. Sin embargo, las características descritas en la presente memoria pueden extenderse fácilmente a múltiples células. Con referencia a la figura 2C, un ejemplo de RU 200 para su uso en la red de radio de las figuras 1 y 2A-2B puede tener dos antenas 202, 204 para transmitir señales de RF. Cada antena 202, 204 puede transmitir señales de RF en uno o más canales (o portadoras) LTE. La célula a la que pertenecen la RU 200 y sus antenas 202, 204 tiene una ID (ID de célula). La CU y sus RU y antenas pueden soportar múltiples canales LTE, cada uno con una ID de célula diferente. Además, cada antena 202, 204 está asignada a un único puerto (puertos 0, 1, 2 o 3) de antena lógica de Señal de Referencia Específica de Célula (CS-RS) de la versión 8 y, posiblemente, a un único puerto de antena lógico (puertos 15, 16, ..., 22) de Señal de Referencia de Información de Estado de Canal (CSI-RS) de la Versión 10. En este ejemplo, las antenas 202, 204 también se denominan antenas físicas, mientras que los puertos de antena lógica también se denominan puertos de antena virtual. En el ejemplo que se muestra en la figura 2C, la antena 202 se asigna al puerto de antena lógica CS-RS 0 y al puerto de antena lógica CSI-RS 15; y la antena 204 se asigna al puerto de antena lógica CS-RS 1 y al puerto de antena lógica CSI-RS 16. Los puertos de antena lógica, junto con la ID de célula y otros parámetros configurados en la CU, determinan la CS-RS (Señal de Referencia Específica de Célula) 206 que transmiten las antenas bajo la Versión 8, o la CSI-RS (Señal de Referencia de Información de Estado del Canal) 208 que transmiten las antenas bajo la Versión 10.

Las señales de RF transmitidas por las antenas 202, 204 transportan señales de sincronización de LTE PSS/SSS (Señal de Sincronización Primaria/Señal de Sincronización Secundaria), que incluyen un marcador para la ID de célula. En uso, un UE inactivo monitoriza las señales de referencia asociadas con una ID de célula, que representa un canal de LTE en una célula. Un UE conectado puede transmitir y recibir señales de RF en múltiples canales LTE basándose en la agregación de canales, una característica de la norma LTE definida por primera vez en la Versión 10.

La RU 200 también puede tener más de dos antenas, p. ej., cuatro, seis u ocho antenas. En algunas implementaciones, todas las RU en la red de radio (p. ej., la red 12 de radio 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 en las CU, p. ej., para soportar futuras normas de LTE u otras, a veces sin realizar cambios sustanciales, p. ej., ningún cambio, en las RU desplegadas. En algunas implementaciones, cuando las RU soportan múltiples canales de frecuencia simultáneamente, se puede realizar una actualización para la agregación de portadora habilitando canales adicionales en la misma RU. La agregación de portadoras también se puede implementar utilizando las RU que operan en una portadora seleccionada. A este respecto, en algunas implementaciones, se pueden configurar diferentes RU de una sola portadora para operar en diferentes portadoras. Las RU que operan en diferentes portadoras no necesitan estar ubicadas conjuntamente. Por ejemplo, en una topología lineal simple que se muestra en la figura 29, las RU que operan en una portadora (Portadora

A) (RU(A)) pueden estar desplazadas espacialmente en relación con las RU que operan en otra portadora (Portadora B) (RU(B)). En algunos casos, este enfoque utiliza dos portadoras para ofrecer una cobertura más consistente mediante el uso de una portadora para completar los bordes de cobertura para la otra portadora. En topologías bidimensionales o tridimensionales más complejas, se pueden utilizar implementaciones distribuidas espacialmente similares para brindar una cobertura más uniforme a través de dos o más portadoras y ofrecer una experiencia de usuario más consistente en algunos casos. En algunos casos, los UE pueden usar un avance de temporización de enlace ascendente diferente cuando operan en diferentes portadoras como se describe en LTE Versión 11. En la agregación de portadora que utiliza una única RU o múltiples RU, los canales agregados pueden estar en la misma o diferentes bandas de frecuencia. Del mismo modo, cuando las RU admiten bandas de frecuencia para la versión TDD (dúplex por división de tiempo) de la norma LTE, la capacidad de división de tiempo (TD) -LTE puede añadirse en una fecha posterior actualizando las CU y posiblemente el software/firmware de la RU o añadiendo una nueva CU. Si se requiere soporte de Wi-Fi, la capacidad de Wi-Fi se puede agregar a las RU. Los transceptores Wi-Fi en las RU pueden gestionarse por el mismo controlador o por otro diferente y pueden gestionarse por los mismos gestores de servicios, tanto en el sitio como en la red del operador. Dichas actualizaciones pueden realizarse, en algunos casos, de manera rentable, p. ej., haciendo cambios de hardware (a veces como mucho) en un número relativamente pequeño de CU en una ubicación central (en lugar de reemplazar un gran número de RU que son están extendidas por todo el sitio).

*Despliegue de red de radio*

Con referencia a la figura 3, se despliega una red 120 de radio de ejemplo en un sitio 122. Una o más CU 124 están instaladas en una sala 126, p. ej., una sala de telecomunicaciones, localmente en el sitio 122. Las RU 128a-1281 se distribuyen alrededor del sitio 122. En algunas implementaciones, algunas RU están montadas en la pared con antenas integradas, algunas RU están ocultas en uno o más armarios, y algunas RU están instaladas sobre la placa del techo y se conectan a una antena montada en la pared a través de un cable de antena externo.

En algunas implementaciones, las RU 128a-1281 se conectan a las CU 124 a través de una red 130 Ethernet conmutada, que incluye un par trenzado y/o cables de fibra óptica, y uno o más conmutadores 132 Ethernet. Los componentes de la red 130 Ethernet pueden ser equipos estándar disponibles en el mercado. En algunas implementaciones, la red 130 Ethernet está especializada solo a la red de radio. En otras implementaciones, la red 120 de radio comparte la red 130 Ethernet con otro tráfico de área local en el sitio 122. Por ejemplo, en una red empresarial, dicho otro tráfico puede incluir el tráfico local generado por varias computadoras en la empresa que pueden estar conectadas a los mismos conmutadores Ethernet. El tráfico de la red de radio se puede segregar de otro tráfico formando una Red de Área Local Virtual (VLAN) separada y se puede asignar 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 están conectadas a un conmutador 132 Ethernet ubicado conjuntamente (en la misma sala 126). En algunas implementaciones, la conexión 134 utiliza un solo enlace Ethernet de 10 Gb/s que se marcha sobre fibra óptica o cable de par trenzado de categoría 5/6, o múltiples enlaces Ethernet de 1 Gb/s que marcha sobre cables de par trenzado de categoría 5/6.

Aquellas RU (no mostradas en la figura 3) que están cerca de la sala 126 de telecomunicaciones pueden conectarse directamente al conmutador 132 Ethernet en la sala 126 de telecomunicaciones. En algunas implementaciones, los conmutadores 136, 138, 140 Ethernet adicionales se colocan entre el conmutador 132 Ethernet y las RU 128a-1281, p. ej., en armarios de cableado cerca de las RU. Cada armario de cableado puede contener más de un conmutador Ethernet (p. ej., el conmutador 136, 138, 140), y muchos conmutadores Ethernet se pueden colocar en varios armarios de cableado u otras salas repartidas por el sitio. En algunas implementaciones, se usa un solo cable de par trenzado de categoría 5/6 entre una RU y su conmutador Ethernet más cercano (p. ej., entre la RU 128a y el conmutador 136 Ethernet). Los conmutadores 136, 138, 140 Ethernet pueden conectarse al conmutador 132 Ethernet en la sala 126 de telecomunicaciones a través de uno o más enlaces Ethernet de 1 Gb/s o 10 Gb/s que marchan a través de fibra óptica o cables de par trenzado de categoría 6. En algunas implementaciones, múltiples RU virtuales se integran en un solo dispositivo físico (no mostrado) para soportar múltiples frecuencias y posiblemente múltiples operadores móviles. Por ejemplo, una RU puede soportar múltiples portadoras para la agregación de portadoras, las portadoras pueden pertenecer a diferentes bandas de frecuencia y/o algunas bandas de frecuencia pueden ser sin licencia, como en LTE-sin licencia (LTE-U).

*Mapeo de antena de transmisión de enlace descendente en una célula*

Con referencia a la figura 4A, una célula 300 de ejemplo (controlada por un solo módem o una única CU) contiene dieciséis RU 302a-302p. N (un número entero, p. ej., 1, 2, 4, etc.) antenas físicas de cada RU pueden asignarse a un mismo grupo de puertos de antena virtual CS-RS o CSI-RS 0 ... N-1, como se define en la norma LTE. En el ejemplo que se muestra en la figura 4A, N es dos, y el mapeo se realiza de la misma manera que se muestra en la figura 2C. En esta implementación de ejemplo, todas las RU 302a-302p en la célula 300 transmiten la misma ID de célula en el mismo canal de LTE, y todas las antenas comparten la misma ID de célula y transmiten la misma ID de célula en las señales de sincronización primaria y secundaria (PSS/SSS). Cuando una RU sirve a múltiples canales, diferentes canales pueden estar usando las mismas o diferentes ID de célula. Cuando un UE está ubicado en la célula 300, el UE recibe las señales de referencia del mismo puerto de antena lógica, p. ej., el puerto 0, de diferentes antenas físicas de diferentes RU. Para el UE, las RU aparecen como parte de una sola célula en un solo canal de LTE.

Como alternativa, se pueden formar múltiples grupos de RU que contengan uno o más RU dentro de una sola célula. Las antenas en el grupo pueden asignarse a diferentes puertos de antena virtual CS-RS o CSI-RS, pero pueden compartir la misma ID de célula. Por ejemplo, como se muestra en la figura 4B, una célula 320 contiene 16 RU 322a-322p, cada una con dos antenas y ocho grupos 324a-324h, cada uno con dos RU. Dentro de cada grupo 324a-324h, las cuatro antenas físicas de las dos RU vecinas se asignan a cuatro puertos de antena virtual CS-RS diferentes 0, 1, 2 y 3 y/o a cuatro puertos de antena virtual 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 del usuario como una sola célula con N puertos de antena de transmisión.

En comparación con la configuración de la célula que se muestra en la figura 4A, el número de puertos de antena que ve el equipo del usuario se duplica en la figura 4B. La configuración de la figura 4B puede, en algunos casos, mejorar el rendimiento del UE, especialmente cuando el UE está cerca de los límites de cobertura de dos o más RU vecinas. Suponiendo que el UE tiene dos antenas para recibir señales, bajo la Versión 8, el UE puede comunicarse con la red de radio a través de MIMO 4x2 de usuario único (entrada múltiple, salida múltiple). En los sistemas compatibles con las versiones 10-12 de la norma LTE, se pueden usar hasta cuatro RU con dos antenas de transmisión cada una para formar un grupo de ocho antenas, y luego el UE puede implementar MIMO de un solo usuario 8x2. El mismo UE dentro de una red de radio que tiene la configuración mostrada en la figura 4A puede comunicarse a través de MIMO de un solo usuario 2x2. Incluso las comunicaciones MIMO de orden superior, p. ej., 4x4, 8x8, pueden implementarse en algunos casos para UE con cuatro u ocho antenas de recepción.

Aumentar el número de antenas de transmisión físicas involucradas en las comunicaciones MIMO, p. ej., usando la configuración de la figura 4B, puede no aumentar sustancialmente la complejidad del procesamiento, excepto (en algunos ejemplos) cuando el número de capas en la multiplexación espacial aumenta, p. ej., de 2 (figura 4A) a 4 (figura 4B). Aunque se muestran y analizan grupos de dos RU, como se explicó anteriormente, un grupo puede incluir otros números de RU, y la célula 320 puede incluir grupos que tienen diferentes tamaños.

En algunas implementaciones, la CU utiliza una estructura envolvente para asignar las antenas físicas a puertos de antena lógica (o virtual), de modo que en cualquier lugar dentro de la cobertura de la célula 320, un UE pueda recibir tantos puertos de antena lógica como sea posible. Esta estructura envolvente puede permitir que el MIMO de circuito cerrado de un solo usuario opere dentro de la célula 320 sin interrupciones en un área de cobertura grande.

A continuación se describen ejemplos de cómo CSI-RS (Señal de Referencia de Información de Estado del Canal) se puede utilizar en los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria. En LTE, CSI-RS es una señal de referencia pseudoaleatoria "específica de célula" transmitida desde 1, 2, 4 u 8 puertos de antena virtual (o simplemente puertos de antena) en los RE (elementos de recursos) y subtramas específicos. En algunas implementaciones, para 2, 4 u 8 puertos de antena, una CSI-RS usa 2, 4 u 8 RE (recursos) por RB (bloque de recursos), respectivamente, y se transmite en cada RB a través de toda la banda de transmisión periódicamente una vez cada P subtramas. El período P de CSI-RS puede variar de 5 a 80 subtramas en algunos ejemplos. El mapeo entre los puertos de antena virtual de CSI-RS y las antenas físicas puede ser de uno a uno o de uno a muchos.

En algunos ejemplos, el UE usa CSI-RS solo para informar CSI. Múltiples CSI-RS pueden coexistir en una sola célula o incluso en la misma RU. En algunas implementaciones, cada CSI-RS se define por a) identidad de CSI-RS, b) un número de puertos de antena, c) un índice de configuración CSI-RS, que indica la posición de los recursos CSI-RS en una cuadrícula de recursos, y d) un período de subtrama y un desplazamiento relativo. Diferentes CSI-RS en la misma célula pueden usar diferentes números de puertos de antena, diferentes períodos, diferentes índices de configuración CSI-RS y diferentes mapeos entre puertos de antena y antenas físicas. Como en CS-RS, el UE asumirá que todos los puertos de antena CSI-RS están ubicados conjuntamente. Esto significa que en un sistema de CSI-RS con más de dos puertos de antena o, más generalmente, cuando los puertos de antena de CSI-RS no están todos mapeados a antenas físicas de la misma RU, el UE no tendrá en cuenta las diferencias en la pérdida de ruta promedio o Doppler extendido entre los puertos de antena al informar CSI.

En algunas implementaciones, la CSI-RS (Señal de Referencia de Información de Estado del canal) no se anuncia típicamente (p. ej., nunca) por el eNodo B. En cambio, en tales implementaciones, los UE activos se configuran individualmente, durante la configuración de la conexión, con uno o más CSI-RS para monitorizar. En algunas implementaciones, diferentes UE pueden monitorizar la misma o diferente CSI-RS. Estas CSI-RS diferentes pueden tener un número diferente de puertos de antena, diferentes períodos de subtrama o desplazamientos, etc. Una sola antena física puede transmitir múltiples CSI-RS distintas, aunque tal CSI-RS puede necesitar configurarse correctamente para evitar interferencias en algunos casos.

En algunas implementaciones, la transmisión simultánea de CSI-RS, tal como se implementa en los sistemas descritos en la presente memoria, utiliza dos puertos de antena que se mapean por pares a antenas físicas en las RU, como se muestra en la figura 4A. En dicha CSI-RS de puerto de dos antenas, denominada CSI\_2 en el presente documento, los dos puertos de antena de CSI-RS 15 y 16 se asignan a antenas físicas en las RU. En este ejemplo, cada RU transmitirá exactamente la misma CSI-RS de puerto de dos antenas de manera simultánea. En otra CSI-RS de puerto de cuatro antenas, denominada en la presente memoria CSI\_4, los cuatro puertos de antena {15, 16} y {17, 18} se mapean a antenas físicas en pares de RP de forma alterna, como se muestra en la figura 4B. En este ejemplo, cada par de RU transmitirá la misma CSI-RS desde cuatro antenas físicas repetidas en todo el sitio de manera simultánea,

pero las transmisiones desde diferentes puertos de antena no están todas ubicadas conjuntamente. El UE no tendrá en cuenta las diferencias en la ganancia de ruta promedio, el ensanchamiento Doppler, etc., entre los diferentes puertos de antena {15, 16} y {17, 18}. En SU-MIMO distribuido (Múltiple Entrada y Múltiple Salida de Único Usuario), el desequilibrio de ganancia puede compensarse en la CU y/o el receptor UE. La compensación de ganancia en la CU en los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria puede basarse en mediciones de pérdida de ruta promedio en el enlace ascendente. Del mismo modo, se puede crear un patrón bidimensional para un recurso de puerto de ocho antenas, denominado en la presente memoria CSI\_8.

En configuraciones CSI-RS multi-RP donde diferentes RP transmiten diferentes CSI-RS, los procesos de ejemplo de asignación de RU o antenas físicas de RU a recursos CSI-RS se pueden realizar de forma manual o basándose en las mediciones de las transmisiones UE de enlace ascendente, por ejemplo, transmisiones SRS, en las RU. La CU puede usar estas mediciones UL para determinar qué RU son RU vecinas (en la topología de RU) y, por ejemplo, asignar estas RU al mismo grupo de CSI-RS. Como alternativa, en algunos ejemplos, la asignación se puede realizar basándose en la monitorización del entorno de radio proporcionado por las RU. Los REM (Mapas de Acceso de Radio o Mapas de Entorno de Radio) permiten a las RU medir las ganancias de ruta entre las RU, y la información resultante se puede usar para asignar RU o antenas físicas de RU a los puertos de antena virtual de CSI-RS. En la figura 30 se ilustra un diagrama de flujo que muestra un proceso 3000 de ejemplo para la configuración de CSI-RS automática. Según el proceso 3000, una CU identifica (3001) una o más RU vecinas basándose en transmisiones de equipos de usuario (UE), como SRS de LTE. La CU forma (3002) grupos de RU y asigna antenas de RU en los grupos a puertos virtuales de CSI-RS. La CU también determina (3003) configuraciones de CSI-RS para todas las RU teniendo en cuenta las transmisiones de UE en los enlaces ascendentes, después de lo cual las RU comienzan a transmitir según las configuraciones definidas. Los UE están configurados (3004) para informar la CSI basándose en una o más de la CSI-RS.

En los ejemplos anteriores, hay una única CSI-RS, con 2, 4 u 8 puertos de antena, que (en este ejemplo) corresponden a antenas físicas en 1, 2 o 4 RU, reutilizadas en todo el sitio de manera simultánea. En algunas implementaciones, una vez que un UE está configurado para una de estas CSI-RS, no debería ser necesario volver a configurar el UE a medida que se desplaza por un sitio.

En TM10 (Modo de Transmisión 10) de la versión 11 de la norma LTE, un UE puede informar múltiples CSI. En los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, las configuraciones de CSI descritas a continuación están diseñadas para aprovechar esta capacidad. Considere una asignación agrupada de CSI-RS como se ilustra en el ejemplo de la figura 31. En este ejemplo, diferentes grupos de RU 15-16 están transmitiendo diferentes CSI-RS. Específicamente, las 2 RU 3101 más a la izquierda se asignan a las CSI-RS de 2 antenas, CSI-2.0 3102, las siguientes 2 RU 3103 (medio) se asignan a la CSI-RS de puerto de 2 antenas 2.1, 3104, y así sucesivamente etc. En este ejemplo, todos los puertos de antena en una CSI-RS dada están ubicados conjuntamente. En esta configuración CSI, cuando el UE cruza un cierto límite de grupo, se hace necesaria una reconfiguración CSI.

En configuraciones agrupadas, en algunas implementaciones, para evitar interferencias entre CSI-RS y PDSCH, puede transmitirse CSI-RS de potencia cero en RE que corresponden a la CSI-RS de un grupo vecino. También puede ser necesario, en algunos casos, configurar el UE con estas CSI-RS de potencia cero. Esto informa a los UE de las posiciones de los RE donde no deberían esperar PDSCH. Tales configuraciones de CSI cero pueden no ser necesarias para las configuraciones de CSI transmitidas por grupos de CSI distantes.

#### Control de potencia de bucle abierto en una sola célula con múltiples RU

En la norma LTE, un UE estima la pérdida de ruta UL basándose en la pérdida de ruta DL. Esto se conoce como Control de Potencia de Bucle Abierto (OLPC) y se utiliza para establecer la potencia de transmisión inicial del UE en acceso aleatorio para el establecimiento de la conexión. La pérdida de ruta DL se estima a partir de la RSRP (Potencia de Referencia de Señal Recibida) medida y la potencia de transmisión CS-RS conocida que anuncia el eNodo B. En algunos ejemplos, a veces es necesario transmitir CS-RS a diferentes niveles de potencia desde diferentes RU. Puesto que el eNodo B anuncia solo un valor para la potencia de transmisión de CS-RS, y dado que el UE no tiene la capacidad de distinguir las transmisiones de CS-RS de diferentes RU, se puede usar un método alternativo para un control de potencia de bucle abierto más preciso. En futuras versiones de la norma LTE, esto se puede lograr utilizando una señal flexible como CSI-RS, donde diferentes RU, o al menos diferentes grupos de RU, pueden transmitir una señal de referencia CSI-RS distinguible de manera inequívoca. Para evitar la interferencia entre las transmisiones CSI-RS y PDSCH, las transmisiones CSI-RS de potencia cero también se pueden usar en RU vecinas o grupos de RU. El nivel de potencia de transmisión y la configuración de cada CSI-RS pueden entonces anunciarse. Se pueden anunciar desplazamientos de potencia adicionales para tener en cuenta la posible combinación de enlaces ascendentes. El UE medirá el nivel de potencia recibido para todos los recursos de CSI-RS anunciados, seleccionará la CSI-RS más intensa o unas pocas CSI-RS más intensas y determinará su propio nivel de potencia de transmisión UL para PRACH en consecuencia.

#### Difusión simultánea de descendente y transmisión coordinada

Refiriéndose nuevamente a las figuras 4A y 4B, en este ejemplo, todas las antenas asignadas al mismo puerto de antena lógica (o virtual) transmiten las mismas señales de referencia (CS-RS o CSI-RS) de manera sincronizada en

el tiempo. En algunos ejemplos, la asignación puede reducir los efectos del desvanecimiento de sombra a través de la macro diversidad. La asignación también puede presentar un canal de múltiples rutas a cada UE (no se muestra). Un UE puede informar una única realimentación de CSI (que incluye el CQI (indicador de calidad del canal) y PMI/RI (indicador de matriz de precodificación/indicador de rango)) basándose en las señales de referencia CS-RS o CSI-RS que recibe de todos los puertos de antena transmisora en la célula. Cuando las antenas físicas de diferentes RU están transmitiendo la misma señal de referencia, en algunos casos el UE puede experimentar una dispersión más rica y un canal similar a Rayleigh compatible con MIMO sin interferencia significativa de otras antenas de transmisión en la misma célula. Además, el UE solo ve una célula física, y no hay necesidad de ninguna transferencia cuando el UE está en el área de cobertura de múltiples RU que pertenecen a la misma célula física.

Se utiliza un único canal de difusión PBCH (canal de difusión físico) en la célula 300 de ejemplo o la célula 320 de ejemplo. Las células 300, 320 también implementan una única región de control de enlace descendente para transmitir señales en PDCCH (canal de control físico de enlace descendente), PHICH (canal de indicador físico híbrido-ARQ (solicitud de repetición automática)) y PCFICH (canal de indicador de formato de control físico). También se pueden compartir otros canales lógicos comunes, como el canal de radiobúsqueda PCCH (canal de control de radiobúsqueda) que se transmiten a través de PDSCH (canal compartido de enlace descendente físico).

Como se analizó anteriormente, en un ejemplo, todas las antenas físicas que están asignadas a los mismos puertos de antena lógica o virtual, tal como los puertos de antena lógica de la CS-RS de la Versión 8 y los puertos de antena lógica de la CS-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 de PDCCH/PHICH/PCFICH usan diversidad de TX (transmisión) de 4 antenas y todas las transmisiones de esas antenas asignadas al mismo puerto de antena lógica son idénticas. Un UE dentro de la célula 320 percibe las transmisiones desde aquellas antenas asignadas al mismo puerto de antena como si las transmisiones se entregasen desde una sola antena a través de un canal de múltiples rutas.

Además, en algunas implementaciones, las capacidades de la Versión 11 se pueden usar para mejorar la operación MIMO de enlace descendente dentro de una célula grande, como las células 300, 320, que tienen muchas RU. En la versión 11, se pueden usar múltiples recursos CSI-RS distintos de cero dentro de una sola célula. Como ejemplo, en referencia a la figura 4C, cada RU 402a-402p (o grupos de RU) de una célula 400 se asigna a un recurso de CSI-RS diferente con una ID 404a-404p de aleatorización de CSI distinto. Cada RU (o grupo de RU) con la ID de aleatorización CSI distinta funciona como si fuera una célula virtual, a pesar de que comparten la misma ID de célula física con otras RU en la misma célula. El UE controla los múltiples recursos CSI-RS (y las ID de aleatorización) en la célula 400. En algunas implementaciones, el UE puede configurarse por la CU (no mostrada, p. ej., la CU 22, 24 de la figura 1) de la red de radio para realizar la monitorización de múltiples recursos de CSI-RS.

Un UE (no mostrado) en la célula 400 envía múltiples informes de CSI a la CU de la red de radio para múltiples RU cuyas transmisiones de CSI-RS monitoriza el UE. De cada informe de CSI, la CU obtiene un CQI para la o las RU respectivas y usa el CQI para determinar la intensidad de la señal de esa RU. La CU puede usar estos informes múltiples de CQI junto con informes de múltiples PMI/RI (Indicador de Matriz de Precodificación/Indicador de Clasificación) recibidos del UE para determinar los coeficientes del precodificador. Además, la Versión 11 soporta informes de CQI mejorados basados en mediciones de interferencia precisas realizadas por el UE. La Versión 11 también incluye un E-PDCCH (canal de control de enlace descendente físico mejorado), que puede usarse para aumentar la capacidad del canal de control en la célula 400. Las características de la versión 11, como las descritas anteriormente, pueden usarse para mejorar la funcionalidad de los sistemas descritos en la presente memoria.

En algunas implementaciones donde la red de radio soporta múltiples células, las transmisiones de enlace descendente en diferentes células se pueden coordinar para reducir la interferencia. La coordinación se puede lograr utilizando técnicas como la Reutilización de Frecuencia Definitiva y Flexible (HFR/SFR) o el Multipunto Coordinado (CoMP) de la Versión 11, que se describen a continuación

#### *LTE sin licencia*

En algunas implementaciones, se puede utilizar la agregación de portadora a través de bandas de frecuencia con licencia y sin licencia (o, simplemente, "bandas"). Un ejemplo de dicho sistema es LTE-sin licencia (LTE-U). En LTE-U, hay una portadora primaria que opera en la banda con licencia de un operador y una o más portadoras secundarias que operan en una banda sin licencia, como la banda ISM de 5 GHz. En algunas implementaciones, la portadora primaria se usa para manejar la movilidad del UE y toda la gestión de recursos de radio para el UE. En algunas implementaciones, cada RU soporta simultáneamente portadoras con licencia y sin licencia. En algunas implementaciones, LTE-U se implementa solo en el enlace descendente. En algunas implementaciones, múltiples RU pueden transmitir la misma ID de célula física en la misma portadora primaria y presentar una sola célula al UE en la portadora primaria, evitando así los traspasos. Pero, las mismas RU también pueden operar en una o más portadoras secundarias adicionales en las bandas sin licencia. Las RU que operan en portadoras secundarias adicionales pueden transmitir diferentes ID de célula física en estas portadoras secundarias. En este caso, los UE se pueden configurar para enviar informes de medición basados en mediciones RSRP y RSRQ (Calidad de Señal Recibida de Referencia) en estas portadoras secundarias. Dichos informes de medición pueden utilizarse por el controlador en la programación coordinada. En algunas implementaciones, un solo controlador puede gestionar tanto portadoras con licencia como

sin licencia. Se pueden usar diferentes divisiones funcionales en las portadoras con licencia y sin licencia. Por ejemplo, en el enlace ascendente, todo el procesamiento de la capa 1 se puede realizar en las RU en la banda sin licencia y/o al menos parte del procesamiento de la capa 1 se puede realizar en la CU. En el enlace descendente (DL), las RU pueden realizar parte o la totalidad del procesamiento de la capa 1.

5 *Recepción de diversidad de enlace ascendente*

Todas las antenas de RX (recepción) en estas RU pueden recibir las transmisiones de enlace ascendente de un UE que está siendo servido por una célula con múltiples 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 (recepción) de estas RU. En esta situación, el rendimiento del enlace ascendente se puede mejorar realizando una combinación de diversidad (p. ej., Combinación de Relación Máxima (MRC), Combinación de Rechazo de Interferencia (IRC) o Cancelación de Interferencia Sucesiva (SIC) en el controlador) a través de las señales recibidas por múltiples RU. Al hacer que múltiples RU envíen los datos IQ recibidos al controlador, se puede lograr la combinación de múltiples antenas/múltiples RU.

10

Cuando hay dos o más células en la red de radio, las antenas RX de una o más RU que pertenecen a otras células pueden recibir transmisiones de enlace ascendente de un UE que está siendo servido por una primera célula. En esta situación, el rendimiento del enlace ascendente también puede mejorarse realizando combinación de diversidad (p. ej., MRC, IRC o SIC) a través de señales recibidas por múltiples RU, que incluyen las RU que pertenecen a diferentes células.

15

Puede haber diferentes opciones para implementar la función de combinación de enlace ascendente descrita anteriormente. Por ejemplo, la combinación del enlace ascendente se puede realizar completamente en la CU. En este ejemplo, las RU reenvían, a la CU, al menos algunos datos de IQ comprimidos, y la CU realiza la(s) operación(es) de combinación (p. ej., ejecuta instrucciones para realizar la combinación). Como alternativa, las RU pueden decodificar total o parcialmente las señales recibidas a través de sus propias antenas RX (recepción) y enviar los datos decodificados y/o ciertas métricas de decisión flexible (p. ej., métricas de calidad) a la CU, donde puede realizarse la combinación final.

20  
25

*División de célula virtual*

La capacidad en la red de radio se puede aumentar mediante procesos de división de célula.

En un proceso de ejemplo, las RU en una sola célula se dividen entre dos células, lo que aumenta la capacidad en el sitio. Las dos células pueden entregar hasta el doble de la capacidad porque dos UE pueden ser servidos en dos células diferentes en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

30

Como alternativa, la capacidad de una sola célula se puede aumentar mediante la división de células virtuales. Las células que cada una contiene múltiples RU como se analizó anteriormente se pueden dividir virtualmente, permitiendo que múltiples UE transmitan simultáneamente usando los mismos recursos de tiempo-frecuencia, usando MIMO multiusuario, que es una extensión de MIMO de un solo usuario a múltiples UE soportados en la norma LTE o aislamiento de RF. A diferencia de la división de célula real, en algunas implementaciones, la división de célula virtual no afecta las señales de referencia o a los canales de control comunes. La división de células virtuales puede aumentar la capacidad de las células permitiendo que múltiples UE transmitan o reciban datos utilizando los mismos recursos de tiempo-frecuencia.

35

*División de células virtuales de enlace descendente*

40 *MIMO multiusuario*

En algunos ejemplos, la división de células virtuales se implementa con MIMO multiusuario, que se utiliza para enviar datos a múltiples UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia de PDSCH. Los múltiples UE se pueden servir en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, incluso cuando estos UE reciben señales de RF intensas de las mismas antenas.

En MIMO multiusuario, se aplica un conjunto único de pesos de precodificador a los símbolos de modulación destinados a cada UE para evitar la interferencia entre los UE programados conjuntamente. Por ejemplo, cuando cada UE tiene una sola antena, se forman haces generalizados individualmente para cada UE. Cuando cada UE tiene múltiples antenas, la CU y las RU pueden proporcionar multiplexación espacial (p. ej., enviando múltiples capas de símbolos de modulación) a cada UE, además de servir a los múltiples UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

45

MIMO multiusuario se puede utilizar 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, una o más RU pueden servir a dos UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia. La CU para la célula 300 forma dos haces en las direcciones de las rutas de RF más intensas para los dos UE, sin causar interferencia significativa entre los dos UE.

50

En la versión 8, MIMO multiusuario es compatible con el modo de transmisión 5 de enlace descendente. Cada UE que tiene una sola antena informa a la CU un vector de precodificación 2x1 seleccionado de un libro de códigos de

precodificación de 4 entradas y un CQI asociado, que se basa en la formación de haces de un solo usuario utilizando el vector de precodificación seleccionado. Cuando los vectores de precodificación seleccionados por dos UE son ortogonales entre sí, la CU puede programar los dos UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia usando la mitad de la energía de transmisión disponible para cada UE.

- 5 Para dos UE que no tienen capacidades de cancelación de interferencia entre usuarios, el MIMO multiusuario con la técnica de mapeo de antena de la figura 4A puede no introducir una interferencia sustancial cuando cada UE recibe señales de enlace descendente de ambas antenas de una RU con aproximadamente la misma intensidad, y cuando los vectores de precodificación seleccionados de los dos UE son ortogonales entre sí.

- 10 MIMO multiusuario también se puede implementar con UE avanzados que son capaces de usar el conocimiento sobre la estructura de modulación de las señales interferentes de los UE programados conjuntamente para reducir la interferencia. En algunas implementaciones, un UE con dos o más antenas puede eliminar parte de la interferencia mediante el filtrado espacial.

- 15 En el modo de transmisión ("TM") 8 o 9 de la versión 9 o 10, MIMO multiusuario puede implementarse utilizando DM-RS (señal de referencia de demodulación), lo que puede permitir que la CU use cualquier precodificador apropiado sin limitarse a esos precodificadores que se definen en la norma en los llamados libros de códigos. El UE informa la CSI a la CU implícitamente seleccionando un precodificador de un libro de códigos predeterminado junto con una Indicación de Calidad del Canal (CQI). En algunas implementaciones, el UE determina la CSI utilizando la señal de referencia CSI-RS, que puede soportar hasta 8 puertos de antena. En un ejemplo, la misma señal CSI-RS se transmite desde todas las antenas físicas de las RU que están asignadas al mismo puerto de antena lógica de CSI-RS y el UE informa solo una CSI (p. ej., CQI/PMI/RI) para cada célula (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 recursos). La CU transmite la DM-RS (señal de referencia de demodulación) en 12 RE (elementos de recursos) por RB y los 12 RE se utilizan para todos los UE que están programados conjuntamente en el mismo recurso. La transmisión basada en DM-RS puede proporcionar flexibilidad y simplificación en la programación.

- 25 En algunas implementaciones, cuando la CU conoce los coeficientes del canal, la CU elige los vectores de precodificación para los UE para proporcionar a cada UE la SINR máxima (relación señal a interferencia y ruido) sin que el UE experimente interferencias sustanciales. Como se analizó anteriormente, las capacidades de supresión de interferencia proporcionadas por los UE pueden facilitar aún más MIMO multiusuario confiable.

- 30 La versión 11 soporta el uso de múltiples señales de CSI-RS dentro de una sola célula física y permite que un UE envíe más de un informe CQI/PMI/RI por célula 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 señal de referencia de CSI-RS que es diferente de las asignadas a las otras RU en la célula, o al menos en alguna parte de la célula. Se solicita que cada UE informe múltiples CSI individualmente para múltiples RU en la célula. La información de CQI/PMI/RI obtenida de los informes múltiples puede ser más precisa que la información obtenida de un solo informe. Basándose en 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 de CSI-RS, p. ej., pero no necesariamente el conjunto completo, de recursos de CSI-RS disponibles en la célula para que el UE no tenga que enviar informes CSI para todos los recursos de CSI-RS en la célula.

#### 40 *Aislamiento de RF*

- 45 La división de células virtuales en una célula también se puede lograr basándose en el aislamiento de RF entre los UE en la célula. La división de células virtuales con aislamiento de RF difiere de la división de células virtuales basada en MIMO multiusuario en que las transmisiones desde una RU no se generan utilizando una operación de precodificación conjunta en símbolos que representan datos para múltiples UE. En algunos casos, las transmisiones desde una RU representan datos de un UE. En algunas implementaciones, la transmisión desde una RU puede representar datos de múltiples UE, por ejemplo, UE1, UE2 y UE3, pero a continuación dicha transmisión no se genera utilizando una operación de precodificación conjunta en símbolos que representan datos de todos los UE, UE1, UE2 y UE3.

- 50 En algunas implementaciones, se sirven varios UE simultáneamente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia a través de RU o antenas cuyas áreas de cobertura no se superponen sustancialmente. Para un primer UE, en lugar de difundir simultáneamente la misma señal de PDSCH en todas las antenas físicas que están asignadas al mismo puerto de antena virtual, solo algunas RU y antenas físicas pueden transmitir las señales al primer UE. Las transmisiones de otras RU y antenas físicas al primer UE se purgan. Una o más de las RU que no están transmitiendo al primer UE pueden transmitir a un segundo UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia. Cuando las transmisiones desde las antenas físicas de las RU que sirven al primer UE se reciben en un nivel relativamente (p. ej., muy) bajo por el segundo UE, y, del mismo modo, cuando las transmisiones desde las antenas físicas de las RU que sirven al segundo UE se reciben en un nivel relativamente (p. ej., muy) bajo por parte del primer UE, no se produce una interferencia significativa, incluso cuando los UE no tienen ninguna capacidad de supresión de interferencia. Esto puede deberse a su separación espacial.

Cuando el UE está configurado para un modo de transmisión que soporta señales de referencia de DM-RS, las DM-RS se transmiten de manera similar a las señales de PDSCH. Por ejemplo, las señales de referencia de DM-RS para el primer UE pueden transmitirse solo desde las antenas de las RU que sirven al primer UE. En la versión 10, MIMO multiusuario se puede usar para enviar hasta cuatro capas a dos o más UE. En algunas implementaciones, es posible que se deban implementar operaciones 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 sola célula 500 se programan conjuntamente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia basado en el aislamiento de RF con hasta dos capas por UE. La célula 500 incluye 12 RU 506a-506l, cada una con dos antenas físicas y transmitiendo CSI-RS en los puertos de antena virtual 15 y 16. Para servir a dos UE que están espaciados en una subtrama dada, la célula 500 única se divide virtualmente para formar tres células 508a, 508b, 508c virtuales. Las RU 506a, 506b, 506g, 506h en la célula 508a virtual sirven al equipo 502 de usuario. Las RU 506e, 506f, 506k, 506l en la célula 508c virtual sirven al equipo 506 de usuario. Las RU 506c, 506d, 506i, 506j en la célula 508b virtual no sirven a ningún UE para evitar causar interferencia a los UE 502 y 506. El número total de capas programadas conjuntamente en la célula 500 única es cuatro. Las células virtuales descritas anteriormente no son estáticas como las células físicas. Las células 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 solo al canal de datos compartido PDSCH. Por ejemplo, puede que no haya división de células virtuales en una subtrama, mientras que en otra subtrama, se pueden aplicar dos divisiones de células virtuales diferentes en dos grupos diferentes de bloques de recursos. En algunas implementaciones, una célula virtual puede tener una única RU sin difusión simultánea. Las células virtuales representan la capacidad del sistema para servir a múltiples UE en la misma célula en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

Las RU dentro de la misma célula virtual transmiten la misma señal de referencia de DM-RS seleccionada, p. ej., de cuatro puertos disponibles/índice de aleatorización {7.0, 7.1, 8.0, 8.1}. Las células virtuales que se encuentran adyacentes entre sí (o cercanas entre sí sin bordearse directamente entre sí), como las células 508a, 508b virtuales y las células 508b, 508c virtuales, pueden usar diferentes números de puerto de DM-RS. Las células virtuales que están relativamente separadas, p. ej., las células 508a, 508c virtuales, pueden reutilizar la misma señal de referencia de DM-RS basada en el aislamiento de RF. En tales implementaciones, las transmisiones de señal entre los UE y la red de radio se realizan sin interferencia significativa entre las células virtuales.

En algunas implementaciones, se pueden usar las configuraciones de CSI-RS que aprovechan el modo de transmisión 10 de LTE versión 11. Como se describió anteriormente, estas configuraciones de CSI-RS están diseñadas para utilizar múltiples informes CSI del UE.

En algunas implementaciones, la CU elige un MCS (Esquema de Modulación y Codificación) para cada UE programado conjuntamente basándose en los valores de CQI, determinados por el UE a partir de las señales de CS-RS o CSI-RS, informadas por el UE. Las señales de CS-RS o CSI-RS se transmiten continuamente por todas las antenas físicas en la célula física, que incluyen algunas antenas que pueden, a veces, no transmitir en el canal de datos compartido PDSCH. Las mismas señales CS-RS o CSI-RS transmitidas desde las antenas físicas que están cerca del UE, cuando se reciben con una intensidad suficientemente alta, son vistas por el UE como rutas de transmisión múltiple, o rutas múltiples de RF. En algunas implementaciones, el UE puede predecir un CQI más alto (o más bajo) basándose en la ruta múltiple que el CQI real que experimentará el UE al recibir en PDSCH con menos ruta múltiple. En tales implementaciones, la capacidad de HARQ (solicitud de repetición automática híbrida) en la norma de LTE puede proporcionar adaptabilidad dinámica para reducir el efecto causado por la falta de coincidencia entre el CQI previsto y el CQI real. En algunas implementaciones, cuando las condiciones reales 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 de datos máxima que el canal puede soportar. En implementaciones que usan los modos de transmisión 9 o 10, las configuraciones de CSI-RS se pueden elegir para facilitar la medición de interferencia del UE, y en algunos modos, se pueden usar múltiples configuraciones de CSI-RS para que el UE informe CSI bajo diferentes condiciones de interferencia. El programador en tiempo real en la CU puede usar dichos informes al elegir un MCS teniendo en cuenta otras transmisiones en otras células virtuales en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

#### *Reutilización de bloque de recursos*

En cada célula, las RU transmiten datos, p. ej., datos de usuario o datos de control, a diferentes UE en cada intervalo de tiempo de transmisión (TTI), p. ej., de 1 milisegundo. Un ejemplo de la cuadrícula 2100 de recursos de tiempo-frecuencia para la transmisión LTE se muestra en la figura 21 A, donde el eje vertical representa la frecuencia y el eje horizontal representa el tiempo. Se envía una nueva cuadrícula de recursos en cada TTI de 1 milisegundo. El análisis a continuación usa 1 milisegundo solo como ejemplo y puede generalizarse a cualquier otro TTI. En algunas implementaciones, cada bloque de recursos se transmite, típicamente en un conjunto de frecuencias contiguas diferentes de las frecuencias de los otros bloques de recursos. Como resultado, en algunas implementaciones, cada bloque de recursos puede servir a un UE sin interferencia de las transmisiones en el mismo bloque de recursos a otros UE. Sin embargo, la capacidad de la célula puede estar limitada por el tamaño de la cuadrícula 2100 de recursos, que incluye 50 bloques 2102 de recursos en 10 MHz de LTE.

Como se describió anteriormente, la capacidad de la célula se puede aumentar transmitiendo a múltiples UE en el mismo bloque de recursos. Los diferentes UE servidos utilizando el mismo bloque de recursos pueden verse como pertenecientes a diferentes células virtuales. Como resultado, en un TTI dado, los UE que necesitan recibir datos de

las RU de una célula en ciertos RB se agrupan en múltiples células virtuales. En algunas implementaciones, los UE en diferentes células virtuales se pueden servir en el mismo bloque de recursos, como el bloque 2102 de recursos en la cuadrícula 2100 de recursos de la figura 21A, sin interferencia significativa entre ellos. En el ejemplo que se muestra en la figura 21B, dos UE en diferentes células virtuales usan los bloques 2102a y 2102b de recursos en dos réplicas 2100a, 2100b virtuales de la misma cuadrícula de recursos en el mismo TTI. En algunas implementaciones, cada célula virtual en un bloque de recursos tiene un UE asignado a ese bloque de recursos. Los UE en una célula física se pueden agrupar en más de dos células virtuales en un bloque de recursos para que más de dos UE puedan compartir el mismo bloque de recursos. El uso de las células virtuales, o la reutilización equivalente del mismo bloque de recursos para múltiples UE puede aumentar la capacidad de una célula. Los UE en diferentes células virtuales en el mismo bloque de recursos se pueden servir con baja interferencia entre ellos y se pueden programar dinámicamente múltiples UE en diferentes células virtuales en el mismo bloque de recursos de manera escalable, p. ej., dos células virtuales, tres células virtuales, y etc. Típicamente, en una célula, el número de UE que necesitan transmisión de datos en un TTI dado puede ser 50, 60 o más, p. ej., de 100 a 200.

En algunas implementaciones, para la transmisión de datos en cada TTI, un programador (p. ej., un programador en tiempo real) en un controlador de la célula está configurado para (1) seleccionar los UE que se asignarán al mismo bloque de recursos. La selección y la asignación pueden realizarse de tal manera que la transmisión de datos a diferentes UE en el mismo recurso de frecuencia interfiera entre sí lo menos posible. El programador también está configurado para (2) seleccionar estrategias de transmisión basadas en la asignación de los UE. Por ejemplo, el programador determina cuáles RU sirven a cuáles UE. Además, el programador está configurado para seleccionar la tasa de datos para la transmisión de datos a cada UE programado. En otras palabras, el programador determina el número de bits que se pueden enviar a cada UE en los bloques de recursos asignados a ese UE. Generalmente en LTE, la tasa de datos a un UE depende de la SINR que el UE está experimentando.

Una programación coordinada similar existe cuando un programador centralizado (p. ej., uno o más programas de computadora que se ejecutan en una o más CU) está programando usuarios a través de múltiples células físicas. Los procesos de ejemplo que se describen a continuación también se pueden utilizar al programar usuarios en múltiples células físicas dentro, en o mediante un programador centralizado coordinado.

#### Asignación de UE

Para realizar la tarea (1) anterior, en cada TTI, el programador utiliza un vector de firma para cada UE activo. En algunas implementaciones, todas las RU en la célula reciben instrucciones para escuchar la transmisión de cada UE activo en la célula para determinar las ganancias de ruta promedio del enlace ascendente  $p_{kj}$ , donde  $j$  representa la RU de orden  $j$  en la célula y  $k$  representa el UE activo de orden  $k$ . En la norma LTE, tales mediciones de enlace ascendente pueden basarse en SRS, PRACH o incluso otras transmisiones de UL (enlace ascendente) como PUCCH o PUSCH. En general, la ganancia de ruta  $p_{kj}$  entre un UE y una RU en el enlace ascendente es sustancialmente igual a la ganancia de ruta entre la misma RU y el UE en el enlace descendente. El vector de firma del UE de orden  $k$  activo puede expresarse como

$$p_k = (p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kJ})^T,$$

donde  $J$  es el número total de RU en la célula.

Dados dos UE con vectores de firma  $p_k$  y  $p_l$ , la calidad de la reutilización por pares en la que los dos UE se asignan al mismo bloque de recursos se puede estimar basándose en la interferencia total  $I$  observada por los dos UE:

$$I(p_k, p_l) = 1^T m(p_k, p_l),$$

donde  $1^T = (1, 1, \dots, 1)$  y  $m(p_k, p_l) = [\text{mín}(p_{k1}, p_{l1}), \text{mín}(p_{k2}, p_{l2}), \dots, \text{mín}(p_{kJ}, p_{lJ})]$ . Como se usa en la presente memoria, "reutilizar" incluye, pero no se limita a, dos dispositivos en una sola célula que utilizan el mismo recurso (p. ej., frecuencia) para la comunicación dentro de esa célula. El dispositivo de "reutilización" puede ser las unidades remotas (RU), el equipo de usuario (UE) (p. ej., un dispositivo móvil) o cualquier otro dispositivo apropiado.

Usando los vectores de firma de los UE activos, se pueden crear zonas de RF dentro de la célula. Cada zona de RF representa una zona física en la que los UE tienen vectores de firma similares de modo que, si estos UE se sirven en el mismo bloque de recursos, la interferencia entre estos UE superará un umbral predeterminado. En algunas implementaciones, cada UE activo pertenece a una y solo una zona de RF. Los UE en diferentes zonas de RF pueden asignarse para ser servidos utilizando el mismo bloque de recursos. El número total de zonas de RF que se crearán puede determinarse, p. ej., basándose en las necesidades previstas, o determinarse dinámicamente basándose en las necesidades en tiempo real. Por ejemplo, puede haber  $J$  veces  $n$  zonas de RF para una célula, donde  $n$  es un número entero positivo y  $J$  es el número de RU. En algunas implementaciones, cada zona de RF tiene un área que es más pequeña que la cobertura total proporcionada por una sola RU. Por ejemplo, cuando una célula tiene 16 RU, puede haber 28 zonas de RF.

En algunas implementaciones, las zonas de RF de una célula se determinan fuera de línea. La asignación de los UE activos a las zonas de RF predeterminadas se puede realizar en tiempo real de una manera computacionalmente eficiente. Para un número predeterminado de zonas de RF, cada zona se identifica por un vector de firma de zona,

cada uno identificado por un solo vector de firma:

$$Z_m (Z_{m1}Z_{m2}, \dots, Z_{mJ}),$$

donde  $m$  representa la zona de RF de orden  $m$ , y  $J$  es el número total de RU en la célula. El vector de firma de una zona de RF se puede representar matemáticamente como el baricentro de todas las firmas de todos los UE que pueden pertenecer a esa zona de RF. Las zonas de RF y sus vectores de firma dependen del número de RU  $J$  en la célula. Para un valor dado de  $J$ , las zonas de RF predeterminadas pueden mantenerse fijas (zonas de RF fijas). En algunas implementaciones, las zonas de RF pueden modificarse (zonas de RF adaptativas) durante el uso activo basándose en los vectores de firma de UE reales encontrados en un despliegue dado.

Los UE activos se agrupan en las diferentes zonas de RF en tiempo real basándose en uno o más criterios. Por ejemplo, un UE puede agruparse en una zona de RF que tiene la distancia euclidiana más corta entre el vector de firma del UE y la zona de RF. En algunas implementaciones, un módulo de ubicación en el controlador realiza un seguimiento de las zonas de RF para cada UE conectado a RRC (Control de Recursos de Radio). Los UE en la misma zona de RF tienen vectores de firma que producen una métrica de interferencia relativamente grande (p. ej., mayor que un umbral) entre los UE y entre cada UE y el vector de firma de la zona de RF.

Los UE en diferentes zonas de RF pueden asignarse al mismo bloque de recursos basándose en sus respectivos vectores de firma de las zonas de RF. En otras palabras, los UE asignados al mismo bloque de recursos se determinan agrupando diferentes zonas de RF. Cada agrupación de zonas puede estar asociada con una métrica de reutilización correspondiente, como la mejora en la tasa de transmisión, por ejemplo. En general, las zonas de RF que están 'cerca' entre sí no son buenas candidatas para la asociación de reutilización. Según la métrica de reutilización, los grupos de zonas de RF que son buenos candidatos para la reutilización se pueden determinar sin conexión. Esta agrupación de zonas se realiza para muchos niveles de reutilización. Por ejemplo, para el nivel de reutilización 2, se crea una lista ordenada de todos los emparejamientos de zonas permitidos, en orden descendente de métrica de reutilización. Como alternativa, cada emparejamiento también podría etiquetarse con una métrica de reutilización además de la ordenación. De manera similar para el nivel de reutilización 3, todos los tripletes permitidos de zonas se calculan y enumeran en orden descendente, con o sin una métrica de reutilización asociada. También son posibles otros métodos para organizar la tabla de agrupación de zonas de RF, como el orden jerárquico. La figura 23 muestra un ejemplo de dicha agrupación de zonas. La tabla de agrupación de la figura 23 tiene una estructura en forma de árbol, que se atraviesa para identificar los UE para comunicarse en la misma frecuencia en una sola célula sin dar como resultado interferencias significativas.

La decisión de asignar a los UE al mismo bloque de recursos se puede tomar basándose en la zona de RF a la que pertenecen los UE. La ubicación del UE dentro de la zona de RF no necesita afectar la asignación del UE a un bloque de recursos.

En la figura 22 se muestra un proceso 2200 de ejemplo para agrupar zonas de RF predeterminadas fuera de línea. Inicialmente, se selecciona una zona RF  $x$  (2202). La zona RF  $x$  corresponde a una primera zona RF. A continuación, se consideran (2204)  $M_1$  número de zonas de RF "emparejables" para asignarse al mismo bloque de recursos.  $M_1$  puede ser 1, 2, ..., hasta  $M-1$ , donde  $M$  es el número total de zonas de RF. En primer lugar, se selecciona la mejor zona de RF candidata con baja (p. ej., inferior a una especificada) interferencia. A continuación, se consideran (2206) zonas de RF adicionales con baja interferencia a la zona  $x$  de RF. Si no se encuentra una zona de RF que sea emparejable, entonces el proceso 2200 finaliza (2210). Si se encuentra una zona RF emparejable, se consideran  $M_2$  zonas de RF candidatas para la agrupación (2208) de 3 vías y se realiza la determinación (2212) de si se pueden agrupar con todas las zonas de RF previamente seleccionadas. Si no, entonces el proceso 2200 finaliza (2210). En caso afirmativo, a continuación, el proceso continúa con la etapa 2208 de selección para la agrupación de 4 vías, con el valor de  $i$  aumentado en 1. En el procedimiento anterior, el proceso avanza paso a paso, haciendo selecciones finales de zona de RF en cada operación en el diagrama de flujo. Como alternativa, el proceso puede considerar múltiples hipótesis para zonas de RF en cada operación, y hacer una selección final después de examinar todas las hipótesis sobre múltiples operaciones.

En algunas implementaciones, el controlador (o programador implementado por el controlador o los controladores) asigna a los UE en diferentes bloques de recursos en tiempo real en cada TTI. Los UE se asignan a bloques de recursos basándose en Vectores de Firma Cuantificados (QSV). Por ejemplo, al comienzo de cada TTI, el controlador utiliza una versión cuantificada de un vector de firma  $p_k = (p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kJ})^T$  para cada UE conectado  $k$ . El cálculo del vector de firma se ha descrito anteriormente. En algunas implementaciones, el vector de firma cuantificado  $p_k$  se puede determinar basándose en un umbral de ganancia de ruta predeterminado  $p_{\text{umbral}}$ , que es un número positivo no mayor que uno.

Por ejemplo, el controlador cuantifica el vector de firma configurando todos los  $p_{ki}$  que son menores que  $p_{\text{umbral}}$  veces  $p_{k_{\text{max}}}$  para que sean cero y todos los  $p_{ki}$  que son iguales o mayores que  $p_{\text{umbral}}$  veces  $p_{k_{\text{max}}}$  para que sean 1. En este ejemplo,  $p_{k_{\text{max}}}$  es la ganancia de ruta máxima en el vector de ganancia de ruta del UE, típicamente la ganancia de ruta a la RU más cercana.

En algunas implementaciones, un objetivo de asignar los UE a bloques de recursos y servir a ciertos UE en los mismos

bloques de recursos es proporcionar un buen equilibrio entre la capacidad y la equidad y mejorar las experiencias desiguales del usuario dentro de la célula con una reducción relativamente baja (p. ej., mínima) en capacidad. Generalmente, un uno único en el vector de firma cuantificado sin otros indica que se está recibiendo una señal intensa de la RU más cercana en relación con las otras RU. Un "1" indica una preferencia por el UE o un UE necesita recibir sus datos (en oposición a los datos interferentes de otro UE) de la RU correspondiente. Múltiples unos en un vector de firma pueden indicar que el UE recibe señales relativamente intensas de las múltiples RU correspondientes y, por lo tanto, preferiría recibir sus propios datos de estas RU en lugar de datos interferentes. Posiblemente, el UE está entre dos RU y prefiere recibir la señal de ambas RU. Un "0" en un vector de firma indica que el UE recibe una señal relativamente débil de una RU correspondiente y, por lo tanto, puede tolerar recibir datos interferentes que se envían a otro UE desde esa RU.

En algunas implementaciones, se pueden asignar dos UE al mismo bloque de recursos solo si sus vectores de firma cuantificados son ortogonales entre sí. La ortogonalidad puede determinarse realizando una operación lógica "Y" entre dos vectores de firma, siendo dos vectores ortogonales cuando cada elemento del resultado es un "0" lógico.

La elección del umbral  $p_{\text{umbral}}$  puede determinar lo que se considera una señal suficientemente intensa para reservar una RU particular para un UE. Si se elige que el umbral sea muy alto, los vectores de firma cuantificados típicamente tendrán solo un "1" correspondiente a la RU más cercana. Esto significa que los vectores de firma cuantificados de dos UE serán ortogonales, excepto cuando los dos UE tengan la misma RU que la RU con la mayor ganancia de ruta (p. ej., la misma RU de servicio). Esto significa que el programador permitirá que dos UE se programen en la misma frecuencia siempre que tengan diferentes RU de servicio. Esto puede conducir a un exceso de interferencia y bajo rendimiento para los UE ubicados entre dos RU. Si se elige que el umbral sea demasiado bajo, los UE tendrán muchos "1" en sus vectores de firma y, como resultado, se pueden programar muy pocos UE para transmitir en el mismo bloque de recursos. Esto evita la interferencia entre los UE, pero da como resultado una baja capacidad de la célula. Un umbral bajo puede ser apropiado cuando la demanda instantánea es baja. Cuando la carga es mayor, se puede preferir un umbral mayor. En general, tener un "1" en un vector de firma cuantificado correspondiente a una RU agrega carga de tráfico a esa RU. Por lo tanto, se permite que más vectores de firma cuantificados tengan 1 donde se considera que las RU tienen una carga baja, y menos vectores de firma cuantificados pueden tener "1" cuando se considera que las RU tienen una carga alta. La determinación de carga "baja" o "alta" en una RU puede basarse en la utilización del bloque de recursos en la RU en TTI reciente. El valor umbral utilizado en cada RP puede variar según la carga reciente observada en un RP.

El controlador también puede determinar la demanda basada, p. ej., en la cantidad de datos que esperan en las memorias intermedias para la transmisión. El umbral también se puede determinar empíricamente basándose en otros factores y otra información de canal disponible apropiada. Por ejemplo, el UE puede medir la intensidad y la calidad de la señal del enlace descendente basándose en las transmisiones de la señal de referencia de CS-RS de recepción e informar los resultados de estas mediciones al controlador en un informe de medición en forma de valores de RSRP o RSRQ. Estos valores de RSRP y RSRQ representan la intensidad de señal promedio vista por el UE a partir de transmisiones de CS-RS en células físicas cercanas. RSRP y RSRQ representan la intensidad y la calidad de la señal agregada de todas las transmisiones desde las RU en la misma célula física. El controlador puede usar esta información al seleccionar los vectores de firma cuantificados. Los UE también pueden enviar una indicación de calidad de canal instantánea (CQI) al controlador, en algunos casos a una tasa mucho más rápida. Las mediciones de CQI representan la calidad de señal instantánea vista por el UE en las transmisiones de CS-RS o CSI-RS recibidas desde la célula en servicio. En los ejemplos en los que varias RU pertenecen a la misma célula, el informe CQI corresponderá al canal agregado de todas las transmisiones desde las RU en la misma célula.

En algunas implementaciones, los vectores de firma cuantificados se pueden elegir basándose en alguna estimación de la SINR promedio del UE. En algunas implementaciones, los vectores de firma cuantificados pueden determinarse basándose en una tasa de datos esperada de un usuario y cómo esta tasa cambia a medida que se agregan más "1" al vector de firma cuantificado.

En algunas implementaciones, un vector de firma cuantificado  $p_{k\text{-cuan}}$  solo contiene ceros y unos. Como ejemplo, suponiendo que una célula de ejemplo contiene 12 RU y tres UE activos (o conectados), tres UE activos pueden tener los siguientes vectores de firma cuantificados:

UE1:  $p_1 = (110000000000)$ ;

UE2:  $p_2 = (000011000100)$ ;

UE3:  $p_3 = (011100000000)$ .

En este ejemplo,  $p_1$  y  $p_2$  son ortogonales (ya que a realizar la operación lógica "Y" los dos vectores dan como resultado todo 0). Por consiguiente, el UE1 y UE2 pueden asignarse al mismo bloque de recursos.  $p_3$  es ortogonal a  $p_2$  pero no a  $p_1$ . Por consiguiente, el UE2 y UE3 pueden asignarse al mismo bloque de recursos. Sin embargo, el UE1 y UE3 no son ortogonales y, por lo tanto, no pueden asignarse al mismo bloque de recursos en esta implementación de ejemplo. En algunas implementaciones, el umbral  $p_{\text{umbral}}$  se determina basándose en la SINR requerida (relación señal-interferencia más ruido) para transmitir datos al UE.

Por consiguiente, en tales implementaciones, todas las RU que corresponden a uno en el vector de firma cuantificado tienen que transmitir los datos de ese UE para que el UE reciba los datos a la SINR requerida. En otras implementaciones,  $p_{\text{umbral}}$  puede variar entre las RU y puede depender de la carga reciente de la RU.

5 Este ejemplo con tres UE puede extenderse a cualquier número apropiado de UE en una célula. Después de la cuantificación del vector de firma para cada UE activo, los UE se asignan a bloques de recursos basándose en la ortogonalidad de los grupos de UE activos. Efectivamente, se aplica un operador booleano "Y" al grupo de UE activos. Si el resultado de la operación es todo cero, los UE pueden compartir el mismo bloque de recursos. Si el resultado de la operación contiene cualquier número de unos, los UE se sirven en diferentes bloques de recursos. En algunas implementaciones, el operador "Y" se aplica en parejas entre las firmas de todos los UE. Si cada una de las  
10 operaciones lógicas Y por pares es 0, entonces todos los UE pueden compartir un bloque de recursos. De lo contrario, al menos un UE debe usar un bloque de recursos diferente. Para permitir que el mismo UE se asigne a diferentes bloques de recursos y se agrupe con un conjunto diferente de UE en cada bloque de recursos, el controlador puede representar un UE en múltiples instancias dependiendo de su demanda de datos. Cada instancia corresponde a un único bloque de recursos o un grupo de bloques de recursos. En algunas implementaciones, un grupo de bloques de recursos incluye un número entero de bloques de recursos. En algunas implementaciones, un grupo de bloques de recursos incluirá tres bloques de recursos. El mismo UE se puede agrupar con diferentes conjuntos de UE en diferentes bloques de recursos o grupos de bloques de recursos. En algunas implementaciones, los procesos descritos en la presente memoria solo permiten que los UE con vectores de firma cuantificados ortogonales compartan el mismo bloque de recursos o grupo de bloques de recursos.

20 En algunos ejemplos, los Vectores de Firma Cuantificados (QSV) pueden adquirir valores no binarios (valores distintos de 0 y 1). Los valores no binarios se pueden usar en QSV para representar una necesidad de supresión de un UE desde una RU. En algunas implementaciones, una necesidad de supresión es la necesidad de que un UE que opera en un modo de transmisión basado en señales de referencia específicas del usuario no reciba señal de un UE. Los valores no binarios también se pueden usar en QSV para permitir la transmisión multiusuario a más de 1 UE desde  
25 una RU. El programador en el controlador puede decidir qué usuarios se pueden programar en el mismo recurso basándose en procesos (p. ej., cálculos matemáticos) distintos de las pruebas de ortogonalidad. Por ejemplo, el programador puede determinar la elegibilidad de dos UE para compartir el mismo bloque de recursos comparando la suma de los QSV y probando si alguno de los componentes de la suma QSV supera un cierto umbral.

30 En algunas implementaciones, los QSV pueden considerarse como vectores que tienen valores numéricos que representan la necesidad de transmisión (en el enlace descendente) o recepción (en el enlace ascendente) de un UE desde una RU. Por ejemplo, un valor de "1" puede indicar que los UE necesitan recibir sus propios datos de una RU. Como alternativa, un valor de "0" puede indicar que el UE puede recibir interferencia de esa RU y, por lo tanto, esa RU puede transmitir a otro UE. Se pueden elegir otros valores, por ejemplo, 0,001, para indicar que el UE necesita transmisión en blanco o transmisión multiusuario desde la RU correspondiente. En la transmisión en blanco, la RU no transmite ninguna señal. En la transmisión multiusuario, la RU transmite a dos o más UE al mismo tiempo, a menudo a un nivel de potencia más bajo, como se describe a continuación. Cuando se utiliza un valor como 0,001, el programador en tiempo real puede asignar dos usuarios al mismo bloque de recursos cuando la suma de sus QSV no tiene un componente mayor que 1. Específicamente, se pueden asignar dos UE al mismo bloque de recursos cuando ambos necesitan transmisión en blanco desde una RU.

#### 40 *Asignación de RU*

Además de asignar UE activos a bloques de recursos para la transmisión de datos en cada TTI, el controlador (o el programador en tiempo real) también puede necesitar determinar qué RU de la célula transmite a qué UE activo en cada bloque de recursos en el TTI. Sin reutilización, en cada bloque de recursos, todas las RU que pertenecen a la misma célula física transmiten a un UE y el canal efectivo que experimenta el UE es una suma de los canales  
45 individuales de cada una de las RU en la célula y la(s) antena(s) receptora(s) del UE. Por consiguiente, cuando el UE utiliza señales de referencia específicas de la célula transmitidas por todas las RU para estimar el canal de transmisión, el canal estimado es el mismo que el canal real. Sin embargo, cuando hay reutilización y son servidos dos o más UE en el mismo bloque de recursos, el canal efectivo que experimenta el UE puede ser ligeramente diferente del canal que mide el UE a partir de las señales de referencia de CS-RS. Este desajuste entre el canal real y el canal estimado a veces se denomina desviación. La transmisión entre un UE y las RU puede mejorarse teniendo en cuenta tanto esta desviación como la interferencia directa. En términos generales, para un grupo de UE que comparten el mismo bloque de recursos, un UE dado recibe sus propios datos de los RP correspondientes a "1" en el vector de firma del UE.

50 Cuando los QSV usan valores numéricos distintos de 0 o 1, en un bloque de recursos dado, las RU que corresponden a posiciones en la suma QSV con valores entre 0 y 1 (p. ej., 0,001) usan transmisión en blanco (silenciosa) o multiusuario como se describe adicionalmente a continuación.

Las posiciones de los 1 en el vector de firma  $p_k$  de cada UE corresponden al conjunto mínimo de RP que se transmitirán a ese UE. Además, la estrategia de transmisión para los RP que son 0 en ambos (o todos) los vectores de firma del UE en algún bloque de recursos se puede decidir de varias maneras diferentes, como se describe a continuación.

En algunas implementaciones, una RU solo puede transmitir al UE activo que tiene la ganancia de ruta más intensa a

esa RU. Por ejemplo, cuando un valor  $p_{kj}$  para el UE de orden  $k$  es relativamente grande en comparación con las ganancias de ruta a otros UE, entonces puede ser más eficiente que la RU de orden  $j$  sirva exclusivamente al UE de orden  $k$ . A veces, dos UE activos que comparten el mismo bloque de recursos pueden tener ganancias de ruta similares a una RU. En tales situaciones, la interferencia general puede reducirse haciendo que la RU transmita a dos o más UE en el mismo bloque de recursos y al mismo tiempo.

En general, la interferencia total vista por  $K$  UE en la reutilización de una RU en un bloque de recursos dado puede reducirse (p. ej., minimizarse) reduciendo la potencia de transmisión de la RU en un factor  $P_{\text{reducción}}$  y asignando potencia a cada UE en proporción a su ganancia de ruta. En un ejemplo,  $P_{\text{reducción}}$  se puede escribir como:

$$P_{\text{reducción}} = (1/K) (u_{j_{\text{rms}}}/ u_{j_{\text{media}}})^2,$$

donde  $u_{j_{\text{media}}}$  es la ganancia media del camino y  $u_{j_{\text{rms}}}$  es la ganancia de ruta de RMS de los  $K$  UE en reutilización en relación con esa RU de orden  $j$ . Por ejemplo, cuando dos UE están en reutilización ( $K = 2$ ) y tienen la misma ganancia de ruta a una RU,  $P_{\text{reducción}}$  es igual a 0,5 (p. ej., corte de potencia a la mitad). La RU divide el 50 % de potencia resultante en partes iguales entre los dos UE. La desviación total más la interferencia directa observada por los dos UE se reduce entonces en un 50 %, en comparación con el caso en el que la RU está transmitiendo potencia total a un UE.

Otra forma de reducir la interferencia observada por un UE desde una RU es dejar en blanco las transmisiones desde esa RU. Esto puede ser útil para evitar la interferencia a otras redes de células macro o de células pequeñas o cuando se utilizan ciertos modos de transmisión en LTE que utilizan señales de DM-RS o de referencia específicas del usuario, cuyos ejemplos incluyen, pero no se limitan a, TM8, TM9, y TM10.

Otra forma más de reducir la interferencia vista por un UE es reducir la potencia de las transmisiones desde una RU cuando la RU está sirviendo a un UE cercano. En algunas implementaciones, el controlador puede realizar un seguimiento de la posición de los UE y, cuando se determina que un UE está cerca de una RU, la potencia de transmisión a ese UE se reduce. La reducción de la potencia de transmisión al servir UE cercanos puede reducir significativamente la interferencia a otros usuarios que reciben en el mismo bloque de recursos al mismo tiempo, especialmente para los UE que utilizan DM-RS de la norma LTE para la estimación del canal. En algunos ejemplos, para evitar cualquier desviación en la estimación del canal de un UE que utiliza la señal de referencia CS-RS de la norma LTE para la estimación del canal durante la demodulación, se reduce la potencia relativa de la transmisión de PDSCH en relación con las transmisiones de CS-RS al UE después de enviar un mensaje de reconfiguración de control de recursos de radio (RRC). Cuando el mismo UE se aleja de la RU, su potencia aumenta nuevamente al enviar un nuevo mensaje de reconfiguración de RRC.

Cuando un UE recibe datos de dos o más RU, es posible servir a ese UE utilizando MIMO de orden superior distribuido a través de tales RU. Por ejemplo, cuando dos RU, cada una con dos antenas de transmisión están transmitiendo a un UE, en lugar de la difusión simultánea, se puede usar la precodificación a través de las cuatro antenas. Si el UE tiene dos antenas de recepción, se puede implementar MIMO distribuido 4x2, utilizando una matriz de precodificación 4x2. La operación de precodificación 4x2 puede implementarse en el controlador o la operación de precodificación puede descomponerse en dos operaciones de precodificación 2x2 separadas e implementarse en las RU. Las RU pueden transmitir señales de CSI-RS adecuadas, como se describe en la presente memoria, y el UE, después de la configuración por el controlador, informará la CSI basándose en estas señales de CSI-RS. El controlador utilizará la CSI informada para determinar el precodificador.

Del mismo modo, también es posible utilizar los métodos descritos en la presente memoria para MIMO multiusuario distribuido. Utilizando un método similar al descrito para la transmisión multiusuario desde una RU, es posible programar múltiples UE en el mismo RB, cuando sus informes de CSI indican que son candidatos para la transmisión MIMO multiusuario. Cuando se prueba la posible reutilización, dos UE que pueden estar en MIMO multiusuario, una o más posiciones "1" en los vectores de firma cuantificados de UE se pueden reemplazar por un valor entre 0 y 1. Esto permitirá que estos UE se reutilicen utilizando MIMO multiusuario.

#### *Adaptación de enlace*

Además de determinar los bloques de recursos, las RU y las estrategias de precodificación para usar en la transmisión de datos a un UE, en algunas implementaciones, el controlador (o el programador en tiempo real) también determina la tasa de transmisión del enlace aéreo al UE. En un ejemplo, supóngase que UE1 y UE2 están programados para reutilizar el mismo bloque de recursos, y el controlador recibe  $s$  CQI (indicador de calidad de canal) de ambos. Sin embargo, el CQI informado por el UE no considera posibles interferencias que puedan ser causadas por la reutilización. Para transmitir datos con éxito a un UE a la tasa de transmisión correcta, se estima el nivel de interferencia y la tasa de transmisión real se determina basándose en el CQI y el nivel de interferencia medido. La inclusión de la interferencia estimada en la obtención de la tasa de transmisión correcta también a veces se denomina retroceso de CQI. De manera similar, en los modos de transmisión MIMO, la clasificación o el precodificador de la transmisión podrían ser diferentes de la clasificación que solicitó el UE, y esto también puede determinarse basándose en un mecanismo de retroceso que incorpora la interferencia estimada.

El retroceso de CQI se puede implementar basándose en las mediciones de ganancia de ruta en el enlace ascendente.

En un sistema TD-LTE, las transmisiones de enlace descendente y enlace ascendente se producen en la misma frecuencia y, por lo tanto, dan como resultado coeficientes de canal similares. Esta reciprocidad se puede usar para estimar con precisión las condiciones de interferencia del enlace descendente basándose en mediciones de transmisiones de enlace ascendente desde el UE. En un sistema FDD, las transmisiones de enlace descendente y ascendente se producen en diferentes frecuencias y, como resultado, es más difícil estimar la condición de interferencia del enlace descendente basándose en las mediciones del enlace ascendente. Cuando las estimaciones de la interferencia del enlace descendente se limitan a la ganancia de ruta promedio, entonces la estimación de la tasa puede tener en cuenta el posible aumento de la interferencia debido al desvanecimiento a pequeña escala. Al aplicar un retroceso adicional, se puede lograr una transmisión confiable incluso en ausencia de información precisa sobre la interferencia del enlace descendente.

Además, el controlador recibe realimentación de los UE sobre el éxito o el fracaso de las transmisiones de PDSCH previamente programadas como parte del proceso de HARQ. El controlador puede usar esta información de realimentación para la adaptación del enlace de bucle externo para adaptar la tasa de transmisión y hacer que las transmisiones sean más confiables en algunos casos. Lo que puede, en algunos casos, limitar la efectividad de la adaptación del enlace de bucle externo son las condiciones de interferencia que varían rápidamente causadas por la programación independiente en estaciones base no coordinadas. En los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, la adaptación del bucle externo puede operar en coordinación con la programación del usuario y los módulos de selección QSV, de modo que en algunos casos se pueden evitar cambios significativos a corto plazo en el entorno de interferencia. Se dice que el bucle externo de un UE está en estado activo cuando al UE se le han asignado recursos dentro de los últimos  $N$  ms, donde  $N$  es un parámetro numérico configurable. La variación de interferencia puede evitarse, en algunos casos, asegurando que la interferencia dominante del UE sea persistente mientras el UE permanezca en estado activo. Cuando se permite que cambie la interferencia dominante del UE, p. ej., debido a la incertidumbre del desvanecimiento a pequeña escala experimentado por la nueva interferencia dominante, puede haber cierta incertidumbre en la tasa más alta alcanzable del UE y, por lo tanto, puede usarse una tasa más conservadora. En algunas implementaciones, se puede lograr un entorno de interferencia dominante estable utilizando transmisiones "ficticias" de bloques de recursos no utilizados en una RU que actúa como una interferencia dominante. De manera similar, los ajustes de QSV basados en cambios de carga que dan como resultado una reducción de la zona de difusión simultánea de un UE pueden diferirse hasta que el bucle externo del UE pase al estado inactivo. Cuando se necesita un cambio en el QSV de un UE que reduce su zona de transmisión simultánea para aliviar la carga en una RU vecina, el bucle externo del UE puede reiniciarse incluso cuando el bucle externo del UE está en estado activo. Además, un programador de enlace aéreo puede aprovechar las variaciones en la reutilización entre los usuarios para proporcionar cierta diversidad de frecuencia contra la interferencia variable.

Usando las capacidades de Medición de Interferencia (IM) en LTE TM 10/11 descritas anteriormente en la configuración agrupada de CSI-RS, se puede mejorar el rendimiento de adaptación del enlace. Por ejemplo, un UE puede configurarse para informar CSI basándose en múltiples escenarios de interferencia, y la CU puede determinar la CQI y PMI basándose en dichos informes utilizando conocimientos precisos sobre la programación del usuario en todo el sitio. También pueden utilizarse múltiples informes CSI de un UE también para ayudar a la adaptación del enlace.

#### *Reutilización de PDSCH en los modos de transmisión 9/10 de la versión 10/11*

En el modo de transmisión 9 de la versión 10 y el modo de transmisión 10 en la versión 11, se usa DM-RS para equalización y demodulación. Para cada RB (bloque de recursos), hay dos secuencias de referencia, usando cada una una diferente de dos identidades de aleatorizador. Además, dos secuencias ortogonales de DM-RS se derivan del mapeo de una única secuencia de referencia de QPSK a 12 RE por RB utilizando una cobertura ortogonal de longitud 2. La secuencia de DM-RS seleccionada se indica en el PDCCH.

En algunos ejemplos, diferentes RU pueden transmitir a diferentes UE en el mismo RB de la siguiente manera: una capa MIMO se puede transmitir a dos UE con DM-RS enviada en doce RE por RB utilizando una cobertura ortogonal. La interferencia entre las dos transmisiones a los dos UE es pequeña o inexistente. Cada capa MIMO se puede transmitir a cuatro UE con DM-RS en doce RE por RB, utilizando una identidad de aleatorización además de la cobertura ortogonal. En este caso, no hay interferencia entre las transmisiones de DM-RS a un primer par de los UE,  $UE_1$  y  $UE_2$ , o entre transmisiones de DM-RS a un segundo par de UE,  $UE_3$  y  $UE_4$ . Sin embargo, puede haber interferencia aleatoria entre los dos pares. En algunas implementaciones, dos capas MIMO se transmiten cada una a dos UE, con DM-RS en doce RE por RB, con transmisión ortogonal entre capas del mismo UE e interferencia aleatoria entre los UE. Cuando la reutilización necesita más de cuatro capas MIMO en total, se puede reutilizar la misma DM-RS.

Por ejemplo, para transmitir dos capas MIMO cada una a tres UE en los mismos RB, las mismas dos secuencias DM-RS que tienen la misma cobertura ortogonal y la identidad de codificación se pueden usar para dos UE que están más alejados. Para el tercer UE, se puede usar una secuencia de DM-RS que tiene la misma cobertura ortogonal que las dos secuencias de DM-RS, pero una identidad de aleatorización diferente.

Ver. 11, TM10 de la norma LTE incluye la capacidad de un UE de informar CSI hasta para tres CSI-RS. Por ejemplo, en la configuración agrupada descrita en la presente memoria, un UE puede configurarse para informar CSI no solo para su grupo de servicio, sino también para el grupo vecino.

Ver. 11, TM10 de la norma LTE incluye la capacidad para que el UE mida la interferencia proveniente de ciertas RU e incluya dicha medición en la estimación de CQI. Para activar la medición de interferencia, un UE puede configurarse con una configuración de CSI-IM (Información de Estado del Canal - Medición de Interferencia). Los recursos (RE) que utiliza el UE para medir la interferencia pueden definirse de la misma manera que en una configuración CSI-RS; p. ej., un índice de configuración de recursos CSI-IM y un índice de configuración de subtrama de CSI-IM. En un ejemplo, una CSI-RS, junto con una CSI-IM, forman un proceso de CSI, que corresponde a un informe de CSI del UE. En Ver. 11, un UE puede configurarse con, a lo sumo, cuatro procesos CSI (p. ej., cuatro informes CSI), tres CSI-RS de potencia distinta de cero y tres CSI-IM.

En el ejemplo anterior, un UE TM10 puede configurarse con hasta tres CSI-IM, correspondiendo cada CSI-IM a uno diferente de los grupos de RU. Al seleccionar los grupos de RU que a) es más probable que se usen en la reutilización para ese UE, y b) representan áreas donde la medición de interferencia es más útil para ese UE, se puede controlar el número de mediciones de interferencia que el UE necesita realizar e informar. En algunos casos, la medición de interferencia puede ser más útil cuando se espera que la interferencia sea intensa y cause un retroceso significativo de CQI, como se describe en otra parte de la presente memoria. Un grupo de RU que está demasiado cerca o demasiado lejos del UE puede no ser un buen candidato para la medición de interferencia. En algunos ejemplos, el UE está configurado con una CSI-RS, tres CSI-IM y hasta cuatro procesos CSI, donde se forman tres procesos al emparejar la CSI-RS ("grupo de servicio") del UE con cada una de las tres CSI-IM, y se forma un cuarto proceso utilizando la CSI-RS del UE sin ninguna CSI-IM.

En el ejemplo descrito anteriormente, el tamaño del grupo se puede variar de 1 a N de las RU (donde N es un número mayor que uno). En algunas implementaciones, los grupos más grandes pueden reducir la frecuencia de reconfiguración, pero también pueden dificultar la coincidencia de las condiciones reales de reutilización. También es posible formar grupos con cuatro u ocho puertos de antena. En algunos ejemplos, dichos grupos admiten CSI para MIMO multi-RU distribuido.

Los grupos también pueden superponerse en algunos casos. Por ejemplo, se puede definir una ventana deslizante de grupos, cada uno de los cuales puede estar representado por una CSI-RS diferente, como se muestra en la topología lineal de las RU a continuación. Esta configuración superpuesta puede evitar los límites del grupo y, en algunos ejemplos, garantizar que un UE esté posicionado centralmente en relación con su grupo "de servicio". Los grupos superpuestos pueden, en algunos ejemplos, aumentar la sobrecarga, ya que es posible que sea necesario transmitir múltiples CSI-RS desde cada RU. En el ejemplo de la figura 32, la RU2 a RU 5 están transmitiendo tres CSI-RS diferentes y la RU1 y RU6 están transmitiendo dos CSI-RS diferentes. Más específicamente, en el sistema 3200 de la figura 32, la RU1 está transmitiendo la CSI-2.1 y CSI-2.12 y la RU2 está transmitiendo la CSI-2.12 y CSI-2.2 (donde la transmisión en la figura 32 está indicada por las líneas discontinuas), y así sucesivamente para las otras RU mostradas. Cuando un UE se encuentra entre la RU1 y RU2, el UE puede configurarse para informar la CSI basándose en la CSI-2.12, o alguna combinación de CSI-2.12, CSI-2.1 y CSI-2.2. La CU puede usar dicha CSI informada para determinar si debe servir al UE desde la RU1, desde RU2 o desde ambas.

Los sistemas descritos en la presente memoria también pueden usar configuraciones de CSI-IM adicionales para la medición de interferencia. En este ejemplo, una configuración CSI-IM representa un determinado escenario de interferencia, donde algunas RU están transmitiendo y otras están en silencio. Por ejemplo, un UE que recibe datos de la RU3 y RU4 puede recibir interferencia de la RU2 o RU5 o ambas. Para facilitar una medición de interferencia adecuada, la CU puede configurar la RU2 y RU5 con CSI-RS de potencia cero, ZP-CSI-2.2 y ZP-CSI-2.5. A continuación, se pueden definir tres recursos de CSI-IM de la siguiente manera:

Recurso A de CSI-IM: CSI-2.2	ZP-CSI-2.5
Recurso B de CSI-IM: ZP-CSI-2.2	CSI-2.5
Recurso C de CSI-IM: ZP-CSI-2.2	ZP-CSI-2.5

El UE puede configurarse para informar CSI en tres procesos CSI, que incluyen el recurso CSI CSI-2.34 emparejado con tres recursos CSI-IM diferentes (A, B y C). Equipado con tres informes CSI distintos que corresponden a estos tres procesos CSI, un programador coordinado (en ejecución, p. ej., en una o más CU) puede realizar una adaptación de enlace relativamente precisa para determinar la tasa de datos que se aplicará al UE.

#### *Reutilización de PDSCH en la agregación de portadora*

Las técnicas descritas anteriormente también se pueden usar junto con la agregación de portadora (CA). En CA, el programador en tiempo real (p. ej., en una o más de las CU) puede programar dos o más usuarios en dos o más portadoras simultáneamente. Cuando las portadoras se ubican conjuntamente, se pueden usar los mismos QSV para programar en ambas portadoras. En otras palabras, los UE que pueden asignarse al mismo recurso de enlace aéreo en una portadora también pueden asignarse al mismo recurso de enlace aéreo en otras portadoras.

Cuando las portadoras no están ubicadas conjuntamente (en otras palabras, algunas RU en un grupo sirven a portadoras diferentes), entonces la ubicación del UE puede repetirse para las dos portadoras y se pueden necesitar diferentes QSV en portadoras diferentes.

*Reutilización de PDCCH*

En un sistema unicelular sin reutilización, el PDCCH se difunde simultáneamente y no hay interferencia. En algunas implementaciones, en un sistema de célula única sin interferencia entre células, se pueden usar menos CCE (elementos de canal de control) por DCI (información de control de enlace descendente) que en un sistema de células múltiples, lo que aumenta la capacidad de la célula individual. Cuando se requiere un sistema de célula única para programar la transmisión de muchos más UE y no hay disponibles CCE de repuesto, en esa misma subtrama se puede implementar la reutilización de PDCCH. La implementación puede ser similar a la reutilización PDSCH descrita anteriormente. El conjunto de CCE asignados a un UE también se puede reutilizar para otro UE. Tal reutilización puede aumentar la capacidad del canal de control del sistema unicelular. La versión 11 de LTE proporciona una mayor capacidad de PDCCH con un nuevo canal E-PDCCH (PDCCH mejorado). La reutilización de PDCCH está vinculada con la reutilización de PUCCH en el enlace ascendente, que se describe a continuación. El recurso PUCCH para ACK/NACK de HARQ de un UE determinado se identifica mediante el índice de CCE que se asignó a ese UE a través del PDCCH. En la reutilización de PDCCH, si se reutilizara el mismo conjunto de CCE, dos transmisiones de PDCCH se inician en el mismo número de CCE y por lo tanto, las correspondientes transmisiones de PUCCH por los dos UE usarán el mismo recurso de PUCCH para ACK/NAK de HARQ. La reutilización de recursos en transmisiones de PUCCH crea interferencia correlacionada entre UE, porque ambos UE usan la misma secuencia de DM-RS. Se pueden usar decodificadores ciegos más complejos para aumentar la confiabilidad del decodificador PUCCH en tales escenarios de reutilización.

Las técnicas de división de células virtuales descritas en la presente memoria que utilizan aislamiento de MIMO o RF multiusuario se pueden utilizar en sistemas que son compatibles con todas las versiones de la norma LTE. Los UE de la versión 8 utilizan CS-RS, en lugar de DM-RS, para la demodulación, que en algunas situaciones puede causar una falta de coincidencia durante la demodulación. Aún en muchos casos, la división de células virtuales de la manera descrita en la presente memoria puede ser deseable, p. ej., cuando hay un intenso aislamiento de RF entre las antenas transmisoras y no transmisoras, de modo que los UE pueden lograr un rendimiento total más alto que cuando se sirve a cualquiera de los UE en un recurso especializado de tiempo-frecuencia.

En las versiones 9 y 10, en algunas implementaciones, la realimentación única de CQI/PMI/RI enviada por los UE puede no ser suficiente para que la CU determine de manera confiable qué RU y antenas físicas tienen más probabilidades de proporcionar la señal más intensa a cada UE (en la dirección del enlace descendente). En tales implementaciones, la CU también puede usar información sobre la intensidad de las señales de enlace ascendente, como la Señal de Referencia de Sondeo (SRS) o las señales de control de PUCCH o los datos de enlace ascendente de PUSCH, recibidos por las RU de los UE para determinar las antenas que probablemente proporcionan la señal más intensa 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 ha descrito anteriormente en el documento para que las señales a un UE se transmitan desde las antenas que el UE escucha de manera intensa.

En algunos casos, la división de células virtuales mediante el aislamiento de RF se puede implementar con mayor precisión en la Versión 11, donde los UE son capaces de enviar múltiples informes de CQI para diferentes RU. La CU utiliza estos informes CQI para determinar qué RU o antenas físicas transmiten señales que es probable que reciban los UE programados conjuntamente con una alta intensidad.

*División de células virtuales de enlace ascendente*

Con referencia nuevamente a la figura 5A, la división de células virtuales también puede implementarse en el enlace ascendente. La CU puede programar múltiples UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia y reducir o eliminar cualquier interferencia entre UE programadas conjuntamente en la CU utilizando Combinación de Rechazo de Interferencia (IRC), Detección Conjunta (JD) 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 de enlace ascendente que están disponibles en la célula 500. Los recursos del enlace ascendente pueden incluir el desplazamiento cíclico para las señales de referencia de DM-RS y el Código de Cobertura Ortogonal (OCC) que se asignan a los UE para transmisiones de PUSCH (Canal Compartido de Enlace Ascendente Físico) y los índices de recursos asignados a los UE para transmisiones de PUCCH (Canal de Control de Enlace Ascendente Físico). La CU puede crear células virtuales en el enlace ascendente reutilizando los mismos recursos entre los UE en la misma célula física. El número de UE que pueden transmitir simultáneamente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia puede estar limitado al menos parcialmente por la disponibilidad de los recursos de enlace ascendente en la célula individual. La reutilización de los mismos recursos entre los UE puede aumentar la capacidad total disponible en el enlace ascendente.

*Transmisiones de PUSCH*

Las señales de referencia de DM-RS utilizadas por un UE dependen del número de Bloques de Recursos (RB) asignados a ese UE. Para transmisiones de PUSCH, el número de RB puede ser tan alto como 108. Una señal de referencia de 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 asignados al UE. Se pueden derivar hasta 12 secuencias de referencia de DM-RS (o de manera intercambiable, señales) de cada secuencia base usando 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 DM-RS con diferentes desplazamientos cíclicos en el mismo RB. La CU puede estimar los respectivos canales de enlace ascendente para las transmisiones de los dos UE sin experimentar ninguna interferencia sustancial entre ellos. Cuando el canal no es lo suficientemente plano, en algunos casos, se pueden generar menos de 12 secuencias de referencia de DM-RS ortogonales desplazando cíclicamente una secuencia base.

En algunas implementaciones, las secuencias de referencia de DM-RS ortogonales se utilizan para la multiplexación espacial de un solo usuario (hasta 4 capas) y MIMO multiusuario. En la versión 10, se puede aplicar un código de cobertura ortogonal a las dos secuencias de DM-RS de modo que se puedan transmitir dos capas utilizando el mismo desplazamiento cíclico, mientras se mantienen las señales de referencia de DM-RS ortogonales.

En algunas implementaciones, los UE que son servidos por la misma célula física (p. ej., la célula 500 de la figura 5A) usan la misma secuencia base para las transmisiones de PUSCH. Cuando varios UE transmiten en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, la CU coordina la asignación de cambios cíclicos y las coberturas ortogonales en la programación del enlace ascendente para mantener las señales de referencia de DM-RS transmitidas en el mismo recurso de tiempo-frecuencia ortogonal, cuando sea posible. En algunos casos, dicha ortogonalidad requiere no solo DM-RS ortogonal, sino también asignaciones de RB perfectamente alineadas. Cuando los UE en reutilización tienen DM-RS ortogonal, pero sus asignaciones de RB no están perfectamente alineadas, puede haber alguna interferencia aleatoria de DM-RS entre los UE. Sin embargo, el impacto en el rendimiento de dicha interferencia aleatoria es pequeño.

En algunas implementaciones, un número suficiente de cambios cíclicos permanece disponible para asignación y para uso en multiplexación espacial o MIMO multiusuario en cada célula. Por ejemplo, cuando hay disponibles seis desplazamientos cíclicos de la secuencia base y los seis desplazamientos cíclicos están acoplados con un código de cobertura ortogonal por pares, la CU puede servir hasta doce capas en el mismo recurso de tiempo-frecuencia de enlace ascendente con señales de referencia de DM-RS ortogonales.

En algunas implementaciones, una célula física descrita previamente (p. ej., la célula 500 única de la figura 5A) puede ser arbitrariamente grande. En una célula grande, cuando hay un uso extenso de transmisiones simultáneas de enlace ascendente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, la CU puede estar por debajo de los desplazamientos cíclicos disponibles y las coberturas ortogonales para mantener la ortogonalidad entre las señales de referencia de DM-RS. Similar al aislamiento de RF en el enlace descendente, el enlace ascendente puede reutilizar una o más señales de referencia de DM-RS en el mismo recurso de tiempo-frecuencia cuando las transmisiones de enlace ascendente por los UE respectivos programados conjuntamente no interfieren sustancialmente entre sí. En algunas implementaciones, cuando no hay una superposición sustancial entre las señales recibidas de los UE programados conjuntamente por ciertos grupos de RU o antenas de recepción, se puede usar la misma señal de referencia de DM-RS para esos UE. La CU puede determinar qué grupos de antenas de recepción o RU están recibiendo señales significativas de un UE basándose en transmisiones de PUCCH, SRS (Señales de Referencia de Sondeo) y transmisiones de PUSCH anteriores, y puede asignar desplazamientos cíclicos y OCC (Códigos de Cobertura Ortogonales) en consecuencia.

En algunas implementaciones, cuando hay múltiples células servidas por uno o más controladores, también es posible asignar la misma secuencia base a todas las células. Esto permite que el controlador asigne todos los UE a desplazamientos cíclicos de la misma secuencia base y garantice la ortogonalidad entre los UE, que incluye los UE que son servidos por diferentes células. Basándose en el 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 las normas de la Versión 11, se pueden asignar diferentes RU en una célula (como la célula 500 de la figura 5A) a diferentes secuencias base de DM-RS.

En algunas implementaciones, la ortogonalidad entre diferentes desplazamientos cíclicos de diferentes secuencias base no está garantizada, pero aumenta el número de secuencias de DM-RS disponibles. Por consiguiente, se puede aumentar el tamaño de la célula y se pueden servir más UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

#### *Transmisiones de PUCCH y PRACH*

Para transmisiones de PUCCH, por ejemplo, para transmitir ACK/NAK de HARQ o Información de Estado de Canal (CSI), diferentes transmisiones de UE en diferentes células usan diferentes secuencias base para evitar colisiones entre transmisiones de UE en las diferentes células físicas. Esto se puede lograr asegurando que las ID de célula utilizadas por las células vecinas no se superpongan con el módulo 30. El salto en grupo, una característica de la norma LTE, también se puede utilizar para aleatorizar la interferencia entre las transmisiones de PUCCH de diferentes UE en diferentes células físicas.

Los desplazamientos cíclicos ortogonales de las secuencias base (y posiblemente los OCC) se utilizan en las transmisiones de PUCCH para permitir que múltiples UE transmitan en los mismos recursos de tiempo-frecuencia. En algunas implementaciones, es posible reutilizar los cambios cíclicos (y los OCC cuando se usan) en diferentes partes de la célula para aumentar el número de UE que transmiten al mismo tiempo. El controlador puede usar el aislamiento de RF para determinar qué UE pueden reutilizar uno o más desplazamientos cíclicos de secuencia base y coberturas

ortogonales para el mismo recurso de tiempo-frecuencia basándose en transmisiones recibidas de los UE, por ejemplo, en transmisiones de PRACH (Canal de Acceso Aleatorio Físico) o PUCCH o PUSCH.

5 En algunas implementaciones, la interferencia entre una célula (p. ej., cualquier célula individual descrita anteriormente) y cualquier macrocélula cercana (p. ej., una red móvil que proporciona cobertura fuera del sitio 10 en la figura 1) es aleatoria y se mantiene pequeña. En algunas implementaciones, la CU elige secuencias base para usar en transmisiones de PUSCH o PUCCH que son diferentes de las secuencias base usadas en macrocélulas cercanas. Además, la CU también puede implementar saltos grupales.

10 En algunas implementaciones, también es posible que dos o más UE que transmiten en el Canal de Acceso Aleatorio (RACH) que utilizan el mismo preámbulo sean detectados por la red de radio de la presente descripción. Cada célula tendrá 64 preámbulos disponibles en cada oportunidad de PRACH. Al procesar individualmente las señales recibidas de cada RU o grupo de RU, el controlador puede, en algunos casos, detectar de manera confiable múltiples transmisiones de PRACH que usan el mismo preámbulo y que están libres de interferencias significativas entre ellas. Por ejemplo, refiriéndose a la figura 5B, el controlador 550 puede procesar individualmente las señales de cada RU o grupo de RU (p. ej., células 508a, 580b, 508c virtuales) para detectar múltiples transmisiones 552, 554, 556 de PRACH que usan el mismo preámbulo.

#### *Reutilización de PRACH*

20 En un sistema de célula única, la oportunidad de PRACH se comparte entre todos los UE en la célula. Cuando dos UE en un sistema de célula única envían el mismo preámbulo en la misma oportunidad de PRACH, es posible que las RU detecten una, ambas o ninguna de las transmisiones, dependiendo de la intensidad de señal relativa de las señales recibidas en diferentes RU. La transmisión del mismo preámbulo parece a un detector PRACH como multitrayectoria. La CU puede decidir que el mismo preámbulo de PRACH recibido por diferentes RU pertenece a dos UE diferentes basándose en las métricas de calidad de señal recibidas de PRACH de todas las RU.

25 Cuando la CU determina que ha recibido el mismo preámbulo de dos UE a través de dos conjuntos diferentes de RU y que puede resolver la contención (descrita a continuación) para permitir que ambos UE se conecten, la CU envía dos mensajes de respuesta de RA (Acceso Aleatorio) separadas al mismo RA-RNTI (Identificador Temporal de Red de Radio de Acceso Aleatorio) a través de diferentes RU. La reutilización de PDCCH y/o PDSCH puede usarse para enviar estos dos mensajes, que llevan dos valores de RNTI temporales diferentes y las concesiones de enlace ascendente asociadas pueden asignar RB no superpuestos. Al transmitir la respuesta RA de la manera anterior, ambos UE buscan una transmisión de enlace descendente a RA-RNTI. En algunas implementaciones, las transmisiones de PDCCH asociadas con la respuesta RA se envían a un nivel de agregación de ocho, p. ej., para proporcionar confiabilidad y se envían diferentes mensajes de DL-SCH de respuesta RA en los mismos RB. Esta estrategia de transmisión puede permitir la recepción correcta por parte de los UE con la implementación de la reutilización. Siempre que los UE puedan recibir correctamente sus respectivos mensajes de respuesta de RA, los UE pueden responder con diferentes transmisiones de Mensaje 3 y proceder a establecer conexiones RRC separadas. En algunas implementaciones, la CU puede enviar un solo mensaje de respuesta de RA y proceder con un procedimiento de resolución de contención convencional en el que solo un UE puede conectarse al controlador y pasar al estado de RRC conectado.

40 En algunas implementaciones, al menos una parte de la reutilización de PRACH se realiza por las RU. Por ejemplo, los preámbulos pueden detectar las RU. En algunas implementaciones, las detecciones de los preámbulos se llevan a cabo sin sobrecargar las RU.

#### *Procesamiento de PUCCH en las RU y reutilización de PUCCH*

45 Como se explica en otra parte de la presente memoria, en algunas implementaciones, una célula de comunicación incluye un controlador o unidad de controlador (CU) y múltiples RU que están en comunicación con la CU. En algunas implementaciones, al menos parte del procesamiento de banda base se realiza en las RU. Este procesamiento de banda base puede distribuirse (p. ej., propagarse) entre las RU, como se describe a continuación. El procesamiento de banda base puede incluir uno o más tipos de procesamiento que involucran el PUCCH de LTE (Canal de control de enlace ascendente físico). A continuación, se proporciona una descripción del PUCCH para los formatos de LTE 1 y 2, seguida de una descripción del procesamiento que puede realizar la RU y la distribución de ese procesamiento entre las RU.

50 Generalmente, el formato 1 lleva las Solicitudes de Programación (SR) de DL (enlace descendente) y las señales de ACK/NAK (acuse de recibo/no accuse de recibo) de HARQ (solicitud de repetición automática híbrida) de DL. Generalmente, el formato 2 se usa para CSI (Información de Estado del Canal).

55 Las transmisiones de PUCCH por un UE se producen en subtramas conocidas por la CU. Esto también se aplica a SR, aunque la ausencia de una SR se indica enviando el símbolo "0" o no transmitiendo en absoluto. El PUCCH se envía utilizando recursos de tiempo-frecuencia en los bordes de la banda. Estos recursos se asignan en fragmentos de 1 Bloque de Recursos Físicos (PRB) a la vez en 2 intervalos, donde los espacios se encuentran en extremos diagonalmente opuestos de la cuadrícula de tiempo-frecuencia.

El formato 2 ocupa las regiones de PUCCH más externas de NPUCCH(2) de los PRB, donde NPUCCH (2) es un parámetro semiestático difundido en un SIB (Bloque de Información del Sistema). A todos los UE de RRC-conectado (Recurso de Radio Controlado - Conectado) se les asigna un recurso de formato 2 para informes periódicos de CSI. En algunas implementaciones, hasta doce UE pueden enviar simultáneamente (en la misma subtrama) CSI en la misma región de PUCCH utilizando un conjunto único de rotaciones de fase (o un desplazamiento cíclico único en el dominio del tiempo) de una secuencia específica de célula única.

En algunos casos, la capacidad de usuario de CSI se puede aumentar en la célula de comunicación mediante el uso de un período de CSI más largo y asignando UE a desplazamientos de tiempo no superpuestas, o aumentando el número de regiones de PUCCH asignadas a CSI. El período de CSI y el desplazamiento son parámetros específicos de UE que generalmente se asignan en el momento de la configuración de la conexión. Por ejemplo, usando un período de CSI de 20 subtramas, 240 (20x12), los UE de RRC conectados pueden enviar CSI periódicos en una región de PUCCH. En otro ejemplo, en el período de CSI más corto permitido de 2, solo hasta 24 (2x12) UE pueden enviar CSI periódica en 1 región de PUCCH. Aumentar el período de CSI es generalmente aceptable en sistemas de interior debido a la baja movilidad; sin embargo, en los procesos de ejemplo descritos en la presente memoria, un período de CSI más largo también puede aumentar el requisito de sincronización de frecuencia entre las RU (en escenarios de transmisión conjunta de difusión simultánea y CoMP (Transmisión y Recepción Multipunto Coordinada)). A medida que cambia la carga de la célula de comunicación de red, la CU puede ajustar el parámetro NPUCCH(2) para reducir la sobrecarga de PUCCH. Cuando la CU determina que los recursos del formato 2 utilizan mucho menos que las regiones NPUCCH (2) PUCCH durante un período de tiempo, la CU puede cambiar la configuración de PUCCH en los Bloques de información del sistema (SIB) transmitidos por la CU.

El formato 1 ocupa una o más regiones de PUCCH inmediatamente después de las regiones de PUCCH asignadas al formato 2. El número de RB (bloques de recursos) asignados al formato 1 puede variar dinámicamente. Sin embargo, cuando se utiliza el salto de frecuencia de PUSCH, hay un parámetro (desplazamiento de salto PUSCH) que limitará el número de RB utilizados para PUCCH. En algunos casos, se pueden asignar hasta un total de 1024 recursos únicos de formato 1, y 12, 18 o 36 recursos de formato 1 pueden compartir la misma región de PUCCH de 1 RB. Cuando el canal visto por el UE es plano a través de las 12 subportadoras de un PRB (Bloque de Recursos Físicos), se pueden soportar 36 recursos ortogonales de formato 1, aunque este número puede caer a 18 o 12 cuando el canal varía significativamente dentro de un PRB.

El número de recursos ortogonales que se pueden asignar a una región de PUCCH es un parámetro específico de célula difundido como un SIB (Configuración de PUCCH Común).

Los recursos de desplazamiento cíclico de formato 1 se utilizan para SR y ACK/NAK de HARQ. Los recursos SR están reservados y, al igual que los recursos de formato 2, generalmente se asignan a cada UE de RRC-conectado. Cuando un UE de RRC-conectado no tiene un recurso de SR asignado, puede usar el PRACH (Canal de Acceso Aleatorio Físico) para solicitar recursos de enlace ascendente. Este parámetro es otro parámetro específico de célula anunciado en un SIB que especifica el número de recursos de formato 1 que están reservados para SR. La configuración de SR también incluye un período y un desplazamiento, que se pueden usar para aumentar la capacidad de SR sin aumentar el número de regiones de PUCCH reservadas para SR, aunque aumentar el período de SR también aumenta el tiempo de acceso promedio en UL (enlace ascendente).

A continuación, se describen procesos de ejemplo para realizar la decodificación de PUCCH (Canal de Control de Enlace Ascendente Físico) en las RU. En los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, la CU ubica las posiciones de los UE de RRC-conectado a un número relativamente pequeño de RU. La ubicación determina qué RU "locales" deben servir a qué UE en la célula de comunicación. La ubicación permite la decodificación de PUCCH en las RU. Según los procesos de ejemplo descritos en la presente memoria, después de que la CU determina las RU "de servicio" asociadas con cada UE de RRC-conectado, la CU puede enviar información (llamada "información secundaria") para su uso en la decodificación PUCCH a las RU antes del comienzo de cada subtrama de comunicación. La información puede incluir los parámetros básicos de configuración de PUCCH tales como NPUCCH(1) y NPUCCH (2) y los índices de recursos de desplazamiento cíclico de formato 1 y formato 2 para cada recurso a decodificar. La información decodificada, incluido el índice de recursos, se envía de vuelta a la CU. Dado que el formato 1 no utiliza ninguna codificación de canal, la RU puede enviar una métrica de decisión flexible a la CU y permitir que la CU realice una combinación entre RU para aumentar la confiabilidad. En algunas implementaciones, la RU realiza la combinación a través de sus dos antenas Rx locales.

El formato 2 usa un código de bloque (20, A) en esta implementación de ejemplo, donde A es el número de bits en la CSI (que varía según el formato de CSI) y 20 representa el número de bits codificados. En este ejemplo, la RU puede demodular hasta los bits codificados y enviar los bits codificados a la CU junto con una única métrica de calidad. La RU no necesita saber el número de bits en la CSI. En un ejemplo, suponiendo una métrica de calidad de 6 bits, como mucho deben enviarse  $12 \times (20 + 6) = 312$  bits por región de PUCCH, o 312 kbps. Como alternativa, cada RU puede decodificar la CSI completamente y enviar la CSI decodificada a la CU junto con una métrica de calidad, que la CU puede usar para seleccionar los datos de una RU.

Como se explicó anteriormente, la SR y CSI son los principales contribuyentes a la restricción de capacidad en el PUCCH. Un proceso para abordar este problema incluye la reutilización de recursos de desplazamiento cíclico en

diferentes partes de la célula de comunicación.

A este respecto, cuando dos UE en la misma célula usan el mismo recurso de formato 1 para transmitir SR, hay alguna posibilidad de una colisión. Por ejemplo, supóngase que dos UE (UE N.<sup>o</sup> 1 y N.<sup>o</sup> 2) comparten el mismo recurso de SR, y el UE N.<sup>o</sup> 1 transmite SR en alguna subtrama y el UE N.<sup>o</sup> 2 no. Si las RU que sirven al UE N.<sup>o</sup> 2 pueden recibir la transmisión del UE N.<sup>o</sup> 1 incluso a un nivel de señal muy bajo, la CU puede declarar una "SR recibido" para el UE N.<sup>o</sup> 2. Esto puede hacer que la CU asigne innecesariamente recursos de PUSCH para el UE N.<sup>o</sup> 2. Para evitar este problema, la CU puede comparar la "calidad" de la señal recibida de PUCCH para la SR del UE N.<sup>o</sup> 2 comparándola con el nivel de señal previamente informado para el UE N.<sup>o</sup> 2 por sus RU de servicio.

Dado que los recursos de HARQ crecen con el número de usuarios por TTI, los recursos de HARQ crecerán linealmente con el número de usuarios programados conjuntamente en el DL. Dado que los recursos del formato 1 de HARQ se determinan basándose en el CCE utilizado para PDCCH, cualquier reutilización de PDCCH dará como resultado automáticamente una reutilización correspondiente del recurso de HARQ dentro de la misma célula. Por ejemplo, cuando dos UE (UE N.<sup>o</sup> 1 y N.<sup>o</sup> 2) son servidos en el DL utilizando el mismo CCE de PDCCH, compartirán automáticamente el mismo recurso de HARQ para transmitir ACK/NAK. En un escenario, el UE N.<sup>o</sup> 1 puede transmitir un ACK y el UE N.<sup>o</sup> 2 transmite un NAK en alguna subtrama. Dado que ambos UE transmitirán la misma DM-RS de formato 1 en los símbolos de OFDM 2, 3 y 4 de cada intervalo, el decodificador de PUCCH en una RU determinada estimará que el canal sea la suma de los dos canales (de los dos UE), p. ej.,  $H1(k) + H2(k)$ . Pero en los otros símbolos de OFDM que llevan el bit de ACK/NAK, cuando los dos UE transmiten diferentes bits de HARQ ( $X1(k) = -X2(k)$ ), el receptor verá el canal de diferencia  $H1(k) - H2(k)$ . Esto hace que el ecualizador sea subóptimo y de como resultado una desviación que reduce la SINR.

#### *Detector mejorado para PUCCH*

Como se explicó anteriormente, "reutilización" incluye, pero no se limita a, dos dispositivos en una sola célula que utilizan el mismo recurso (p. ej., frecuencia) para la comunicación dentro de esa célula. El dispositivo de "reutilización" puede ser las unidades remotas (RU), el equipo de usuario (UE) (p. ej., un dispositivo móvil) o cualquier otro dispositivo apropiado. La reutilización puede ocurrir en el enlace descendente (DL) o en el enlace ascendente (UL), como se describe en la presente memoria. En la UL, p. ej., para la reutilización del Canal de Control de Enlace Ascendente Físico (PUCCH), dos o más UE pueden comunicarse en el mismo recurso.

En algunas implementaciones, ese recurso puede ser frecuencia; sin embargo, se pueden usar otros recursos. Debido a que diferentes UE transmiten en la misma frecuencia, puede ser necesario separar las señales de diferentes UE en un receptor (p. ej., en una estación base (BS)). En algunas implementaciones, la detección de diferentes señales en un mismo recurso se realiza basándose en la distancia de radiofrecuencia (RF) entre esas transmisiones. A continuación, se describen ejemplos de un detector utilizado para detectar señales de diferentes UE en el mismo recurso, y procesos que el detector puede implementar.

En algunas implementaciones, las RU pueden incluir una sola antena para la comunicación con varios UE, mientras que en otras implementaciones, las RU pueden incluir dos o más antenas para la comunicación con varios UE. En este ejemplo, hay RU de antena única (RU1 y RU2), en comunicación con los UE (UE1 y UE2). En este ejemplo, las señales de PUCCH transmitidas por el UE1 y UE2 se indican por  $s1$  y  $s2$  y pueden tener valores  $(-1, +1, 0)$  correspondientes a señales (ACK, NACK, DTX) con probabilidades dadas ( $P_r$ ), donde ACK se refiere a una señal que se ha realizado acuse de recibo, NACK se refiere a una señal que no se ha realizado acuse de recibo, y DTX se refiere a la transmisión discontinua. En este ejemplo, se supone que  $P_r(\text{ACK})=0,81$ ,  $P_r(\text{NACK})=0,09$  y  $P_r(\text{DTX})=0,1$ . Además, en este ejemplo, el UE1 y UE2 están en la misma célula, compartiendo así los mismos recursos de PUCCH, desplazamientos cíclicos y códigos de cobertura ortogonales, y transmitiendo las mismas señales de referencia; o el UE1 y UE2 están en diferentes células, y por lo tanto se distinguen por diferentes desplazamientos cíclicos y códigos de cobertura ortogonales, y transmitiendo diferentes señales de referencia.

La figura 27 muestra un ejemplo de implementación que muestra la comunicación entre RU1, RU2, UE1 y UE2. Los procesos de ejemplo descritos en la presente memoria se pueden usar con diferentes tipos de antenas de recepción (RX), que incluyen (1) antenas RX no correlacionadas y (2) antenas RX correlacionadas.

#### *Detector de usuario único sin reutilización*

Un detector de PUCCH de un solo usuario declara DTX si la potencia recibida detectada  $P < T\_A$  veces  $N$ , donde  $T\_A$  es un valor umbral configurable y  $N$  es la suma del ruido térmico y la interferencia de otras células medidas en el RP. En ausencia de reutilización, la probabilidad de Falsa Alarma  $P_r(\text{FA})$  depende solo del umbral  $T\_A$ , y es independiente de los niveles de señal o ruido. En algunas implementaciones,  $T\_A$  se elige de manera tal que  $P_r(\text{FA}) < 0,01$ , donde  $P_r(\text{FA})$  representa la probabilidad de falsa alarma. Generalmente, el conocimiento a priori sobre la SNR no siempre ayuda a elegir el umbral  $T\_A$ . Para el  $T\_A$  elegido, la probabilidad de detección de fallo,  $P_r(\text{fallo})$ , aumenta con una disminución de la SNR. En algunas implementaciones, hay un mínimo de SNR,  $\text{SNR}_{\text{min}}$ ,  $P_r(\text{fallo})$  permanece por debajo de un objetivo del 1 %. El valor óptimo de  $T\_A$  para la detección de un solo usuario sin reutilización también se conoce como  $T\_A_{\text{NR}}$ .

*Detector de usuario único con reutilización*

Cuando hay reutilización, suponiendo que el UE2 está transmitiendo un ACK o un NAK, Pr(FA) para el UE1 se puede escribir como:

$$\text{Pr(FA)} = 1 - \text{Pr(fallo-int)} < 1 \% ; \text{ o de manera equivalente: } \text{Pr(fallo-int)} = 1 - \text{Pr(FA)} > 99 \% .$$

5 Aquí Pr(fallo-int) representa la probabilidad de que se pierda la señal interferente. Dado que el receptor de un detector no puede distinguir necesariamente entre los dos UE que emiten la misma señal de referencia, para que el detector no se encienda en DTX del UE1, no debe detectar UE2. Para un umbral dado T<sub>A</sub>, Pr(fallo-int) depende de INR = SNR/SIR, que es la relación de potencia de interferencia a ruido en el receptor para el UE1. Usando el conocimiento disponible sobre INR de las mediciones de ubicación, se puede determinar un valor umbral T<sub>A</sub> para satisfacer la  
 10 condición P<sub>FA</sub> anterior (p. ej., Pr(fallo-int) > 1 - P<sub>Pr(FA)</sub> > 99 %). Por ejemplo, suponiendo que la SIR = 20 dB y 30 > SNR > -5 dB, se deduce que 10 > INR > -25 dB. El valor del umbral T<sub>A</sub> aumenta así con INR. A valores altos de INR, el umbral T<sub>A</sub> se puede aumentar significativamente para mantener Pr(FA) < 1 %.

También puede ser deseable satisfacer la condición Pr(fallo) < 1 %. Una vez que se elige T<sub>A</sub> según INR para cumplir con la condición Pr(FA), hay un mínimo de SNR, SNR<sub>min</sub>, por encima del cual se puede cumplir la condición Pr(fallo).  
 15 El valor de SNR<sub>min</sub> se puede determinar a través de simulaciones. Para satisfacer ambas condiciones Pr(FA) < 1 % y Pr(fallo) < 1 % en SNR<sub>min</sub> = -5 dB, SIR se controla para estar dentro de un intervalo deseable.

Cuando ambos UE están en DTX, Pr(FA) para el detector de usuario único disminuirá, debido al uso de un umbral más alto T<sub>A</sub>. Sin embargo, cuando solo el UE2 está en DTX, la probabilidad de fallo aumentará, pero generalmente se mantendría por debajo del objetivo del 1 %, siempre que la SIR sea lo suficientemente grande.

20 *Detección multiusuario con reutilización*

En algunas implementaciones, un detector conjunto puede funcionar con dos umbrales, T<sub>A</sub> y T<sub>B</sub>, donde T<sub>B</sub> > T<sub>A</sub>, de la siguiente manera:

Inicialmente, en una primera operación, si (P1 + P2) < T<sub>A</sub> (N1 + N2), ambos UE se declaran en DTX. De lo contrario, en una segunda etapa, basándose en la determinación de que al menos un UE tiene señal (ACK/NAK), se comparan  
 25 P1 y P2:

Si P1 > P2, se declara que UE1 tiene ACK/NAK; lo que queda por determinar es si UE2 es DTX o no;

Si P2 > P1, se declara que UE2 tiene ACK/NAK; lo que queda por determinar es si el UE1 es DTX o no.

A veces no se producirá un error en esta operación, si la SIR > 0 dB. A continuación, si en una segunda operación P1 > P2, y P2 > T<sub>B</sub> veces N2, no se declara DTX. De lo contrario, se declara que el UE2 está en DTX. Si en la segunda  
 30 etapa, P1 < P2 y P1 > T<sub>B</sub> veces N1, no se declara DTX. De lo contrario, se declara que el UE1 está en DTX.

*Ubicación*

Al recibir la señal de enlace ascendente del UE en una o más RU, o en la programación de reutilización, puede ser deseable determinar la ubicación de radio de un UE con respecto a las RU. La ubicación incluye técnicas utilizadas para hacer esta determinación. En algunas implementaciones, la ubicación puede basarse principalmente en la  
 35 detección de la señal de enlace ascendente del UE. En algunas implementaciones, los informes de medición de UE de la señal de enlace descendente también pueden usarse para ayudar al proceso. Los procesos de ubicación se pueden usar en una o más de las siguientes características asociadas con la(s) célula(s).

Depuración para PUSCH: Generalmente, en cualquier momento, un UE está en la vecindad de radio de solo un subconjunto de RU que pertenecen a una célula. Por lo tanto, la CU decide sobre este subconjunto de RU desde el cual recibir las transmisiones de enlace ascendente del UE. La CU a continuación combina las señales recibidas de estas RU. En general, cuanto mayor es la pérdida de ruta de un UE a una RU, más débil es la señal recibida, lo que puede disminuir los retornos de la combinación flexible de la señal recibida de tales RU. El proceso de seleccionar un subconjunto adecuado de las RU por una CU se llama depuración. En algunas implementaciones, en cada TTI, la CU proporciona a cada RU la lista de RB para recibir de las asignaciones de RNTI a PRB, proporcionando así a la RU la  
 40 información que necesita para realizar la depuración. En algunos ejemplos de aplicaciones, que también se han descrito anteriormente, la RU puede demodular, y posiblemente decodificar, la señal PUSCH recibida. En este caso, la depuración determina el conjunto de RU que demodulan y posiblemente decodifican las señales PUSCH recibidas en cada RB. En este ejemplo, solo las RU en la depuración envían los datos de PUSCH al controlador para su posterior procesamiento.

50 PUCCH sensible a la ubicación: En algunas implementaciones, las RU pueden demodular y decodificar las transmisiones de PUCCH recibidas de los UE. Se puede realizar una función similar a la depuración para el PUCCH, donde el número de RU que procesan el PUCCH de un UE se puede reducir utilizando la información de ubicación.

Equilibrio de carga de enlace ascendente entre RU: cada RU puede manejar un cierto número de UCI de PUCCH de

enlace ascendente, como se refiere, ACK/NACK de HARQ, etc., por TTI basándose en las limitaciones de procesamiento de la RU. Un módulo de ubicación puede proporcionar información que ayude con el equilibrio de carga entre las RU de manera equitativa. Los ejemplos de tareas de equilibrio de carga pueden incluir, pero no se limitan a: mapeo de UE a RU, o limitar el número máximo de UE programados por RU de manera que se equilibre la carga HARQ por RU (si la información HARQ se puede decodificar con éxito desde múltiples RU); y asignación de recursos de SR y CSI a un UE para que la carga por TTI en cada RU esté equilibrada en la célula.

Reutilización de enlace descendente y enlace ascendente: Como se describió anteriormente, los datos pueden transmitirse a múltiples UE o recibirse de múltiples UE en los mismos PRB al mismo tiempo. Se puede asignar un subconjunto de RU en la célula para servir a cada UE.

10 *Métricas de ubicación*

La energía recibida en la RU, la SINR o la ganancia de ruta se pueden usar como la métrica para la ubicación. En algunas implementaciones, las métricas para la ubicación se determinan utilizando las señales de PRACH y SRS recibidas de un UE en cada RU. Además, las señales de DM-RS de PUCCH y PUSCH también se pueden utilizar para la ubicación.

15 *Ubicación basada en PRACH*

Cuando un UE intenta un acceso aleatorio, transmite un preámbulo de acceso aleatorio utilizando recursos conocidos como PRACH. Estas transmisiones pueden estar basadas en contención o sin contención. Lo primero ocurre cuando el UE aún no ha establecido una conexión con el eNodo B, mientras que lo último ocurre cuando el eNodo B asigna un recurso de PRACH específico al UE, por ejemplo, durante la transferencia.

20 Cuando un UE transmite una secuencia de PRACH con suficiente potencia, el eNodo B detecta la secuencia y responde con un RNTI temporal (TC-RNTI, Identificador Temporal de Red de Radio) junto con una asignación de recursos para que el UE transmita más información sobre este intento de acceso. En esta etapa, el eNodo B aún no conoce la identidad del UE. La resolución de contención tiene lugar cuando el UE transmite su identidad en su primer mensaje a través del UL-SCH (canal compartido de enlace ascendente) utilizando los recursos asignados.

25 Se supone que el UE transmitió una secuencia PRACH  $p_1$ , y que un conjunto de M RU [RU<sub>m1</sub>, RU<sub>m2</sub>, .. RU<sub>mM</sub>] pueden detectar la secuencia transmitida por el UE, aunque todas las RU en la célula intentarán detectar secuencias de PRACH durante las oportunidades PRACH asignadas. La secuencia detectada se puede usar para determinar una métrica que indica la intensidad de la señal de preámbulo tal como la recibe la RU. Tal métrica puede servir como una medida relativa para fines de ubicación. La depuración del enlace ascendente puede ser válida para las transmisiones posteriores del enlace ascendente por parte del UE, hasta que esté disponible más información de ubicación del UE.

30 *Contención de PRACH*

En algunas implementaciones, la contención puede ocurrir en un recurso PRACH particular, p. ej., más de un UE transmite la misma secuencia PRACH en la misma oportunidad. En esta situación, el proceso de ubicación puede determinar el conjunto de depuración del superconjunto de RU que reciben de más de un UE. Posteriormente, en el momento de la resolución de la contención, el proceso de ubicación puede determinar si se ha producido una contención de PRACH y, por lo tanto, eliminar los registros almacenados para el UE para los cuales la resolución de la contención había fallado.

35 *Ubicación basada en SRS*

Los UE transmiten SRS (Señales de Referencia de Sondeo) a recursos de tiempo-frecuencia específicos según lo configurado por el controlador. La SRS se puede utilizar para realizar un seguimiento de la calidad del enlace de un UE para programar recursos para PUSCH de manera eficiente cuando sea necesario. Un UE transmite SRS cuando está activo o en sus intervalos de DRX (recepción discontinua)- reactivación. La SRS también se puede utilizar para fines de ubicación. Por ejemplo, todas las RU o un subconjunto de las RU pueden configurarse para recibir SRS de un UE en una instancia dada.

45 La potencia de transmisión para SRS es:

$$T_{XP} = P_0 + \alpha PL + f(\Delta_{TPC}) + 10 \log_{10} M,$$

donde  $P_0$  es la potencia de bucle abierto, PL es la pérdida de ruta estimada y  $\alpha$  es el componente de pérdida de ruta fraccional,  $f(\Delta_{TPC})$  proporciona la acumulación de comandos de control de potencia de bucle cerrado, y M es el número de RB sobre los cuales se transmite la SRS. Los comandos de control de potencia (TPC) utilizados para la SRS son los mismos que los utilizados para el PUSCH.

La ubicación basada en SRS con el propósito de depurar el enlace ascendente también puede estar basada en la energía relativa recibida por cada RU de la SRS de un UE. Para los propósitos de las mediciones de intensidad relativa y la medición absoluta de pérdida de ruta o ganancia de canal, el módulo de ubicación también puede obtener información sobre la potencia de transmisión de la transmisión SRS. Además, dado que cada UE transmite su SRS

periódicamente, las mediciones de SRS se pueden acumular en el módulo de ubicación para proporcionar una estimación uniforme de la intensidad de la señal recibida de un UE. La SRS podría estar en modo de salto de frecuencia, en cuyo caso, el módulo de ubicación puede realizar promedios de dominio de tiempo y frecuencia.

5 La señal SRS de un UE puede ser periódica o aperiódica. En un ejemplo de implementación del caso periódico, la SRS puede ser de periodicidad entre 2 y 320 ms. En general, cuanto más corta es la periodicidad, más frecuentemente las RU recibirán las mediciones de SRS y, por lo tanto, mejor será la precisión en el seguimiento y ubicación de los UE. Si la periodicidad configurada para la transmisión de SRS es de 320 ms, el UE envía una SRS periódica cada 320 ms. Las oportunidades de SRS también se pueden escalonar en el tiempo de la manera más uniforme posible entre los UE de modo conectado, de modo que la carga de procesamiento de RU y CU de SRS sea uniforme. La misma  
10 periodicidad puede configurarse para el UE de modo conectado en el sistema, pero las oportunidades de activación de SRS en el tiempo pueden estar tan espaciadas de manera equitativa como sea posible. Tomando el ejemplo de una periodicidad de 320 ms, hay 320 oportunidades diferentes de SRS espaciadas por igual en el tiempo dentro de esos 320 ms.

15 En algunas implementaciones, puede ser beneficioso posicionar y ubicar el UE lo antes posible. El uso de una gran periodicidad de SRS puede significar recepciones de SRS menos frecuentes y las RU y CU y, por lo tanto, una tasa menor de seguimiento de los UE. Al comienzo de la conexión de un UE con la CU, la ubicación del UE no se conoce con mucha precisión y, por lo tanto, es basta. Cuantas más mediciones de SRS reciba la CU de un UE dado, progresivamente más precisa se determinará la ubicación del UE.

20 Utilizando el ejemplo de una periodicidad de 320 ms, se observó anteriormente que hay 320 oportunidades de SRS diferentes. Para permitir que un UE active una SRS rápidamente o bajo demanda, se reservan 20 índices de SRS igualmente espaciados. Estos 20 índices están separados 16 ms entre sí. Por conveniencia, estos 20 índices SRS se denominan índices SRS del Grupo A. Los 300 índices restantes se denominan, por conveniencia, índices SRS del Grupo B. Un índice SRS y una oportunidad SRS son sinónimos.

25 En algunas implementaciones, al comienzo de la conexión de un UE, se asigna una oportunidad de SRS libre de los índices de SRS del Grupo A al UE. En LTE, esta configuración puede ocurrir a través del mensaje CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN de RRC. Este recurso SRS del Grupo A se configura para el UE y se informa que es una oportunidad única de transmisión. En otras palabras, las oportunidades de SRS del Grupo A no se repiten. Esto permite que el UE transmita la SRS dentro de aproximadamente los 16 ms subsiguientes. La ubicación del UE se conoce en la CU con mayor precisión que antes y ayuda con la depuración de transmisión en el enlace ascendente.

30 Se pueden configurar hasta ocho de estos UE recién llegados al sistema para transmitir en el mismo índice SRS del Grupo A configurando una de las 8 rotaciones de fase diferentes para cada UE. La rotación de fase también se conoce como desplazamientos cíclicos en las normas LTE. Para permitir un mayor seguimiento de los UE que transmitieron una SRS del Grupo A no repetitivo, se configura un índice de SRS del Grupo B periódico inmediatamente después de que se recibió la SRS del Grupo A. En LTE, esto se realiza mediante la señalización del índice SRS del Grupo B al  
35 UE a través de un mensaje de RECONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN de RRC.

Cuando se considera que un UE necesita rastrear con más frecuencia que la granularidad proporcionada por la SRS del Grupo B, la CU puede reconfigurar temporalmente el UE con un índice SRS del Grupo A para una transmisión aperiódica de una sola vez antes de mover el UE nuevamente a su configuración SRS del Grupo B.

40 También es posible recordar mediciones de ubicación entre conexiones RRC sucesivas del mismo UE utilizando el denominado identificador de S-TMSI. S-TMSI es una identidad UE (conocida por el Núcleo de Paquetes Evolucionado o EPC), que es única dentro de cierta "duración". El S-TMSI de un UE es (re)asignado por la MME y la CU lo conoce cuando el UE envía una Solicitud de Conexión de RRC para entrar en el estado de RRC-conectado. Un controlador de banda base puede mantener una base de datos de información de ubicación (p. ej., vectores de firma o información relacionada con las ganancias de ruta a diferentes RU) indexada por S-TMSI para todos los UE de RRC-conectado  
45 recientes. Al liberar la conexión, se actualiza la entrada de la base de datos para el S-TMSI. Cuando un UE se conecta por primera vez, la CU recupera la información de ubicación almacenada para el S-TMSI correspondiente y comprueba si la información de ubicación obtenida de PRACH es coherente con la información de ubicación almacenada. Si es así, la CU procede a utilizar la información de ubicación almacenada para inicializar el procedimiento de ubicación. De lo contrario, inicializa el procedimiento de ubicación utilizando la medición basada en PRACH.

50 Además de lo anterior, también se solicita a los UE que envíen informes de margen de potencia (PHR) periódicos a la CU. Los informes del margen de potencia permiten a la CU estimar la pérdida de ruta. El controlador puede usar mediciones de pérdida de ruta en el algoritmo de ubicación.

#### *Procesos de ubicación y depuración*

55 En un ejemplo, se supone que la métrica de ubicación se mantiene basándose únicamente en la SRS, y que no se utilizan estimaciones de energía basadas en PUSCH/PUCCH.

La figura 24 proporciona una vista de diagrama de bloques de un proceso de ubicación de ejemplo para depuración. También se identifican los elementos para la implementación de reutilización. Para cada UE, una RU puede pertenecer

a uno de dos conjuntos desde el punto de vista de la depuración: *ActiveAndCandidatePruningRPSet* (*Ajuste RP de depuración activo y candidato*) y *OtherRPSet* (*Otro ajuste RP*). Las RU en el *OtherRPSet* del UE pueden rastrearse a una tasa menor que la de *ActiveAndCandidatePruningRPSet*. Esto puede reducir la carga de medición de SRS en el sistema, permitiendo por lo tanto una compensación que permite disminuir la periodicidad de SRS, p. ej., medir a una tasa más rápida, si es necesario. Esto puede deshabilitarse configurando los parámetros apropiados de modo que todas las RU midan a la misma tasa. Los detalles de los parámetros se describen adicionalmente más adelante. Además, en algunas implementaciones, una base de datos de ubicación mantiene entradas solo para aquellas RU que están en el *ActiveAndCandidatePruningRPSet*, y no mantiene entradas para las RU en el *OtherRPSet*. Utilizando el *OtherRPSet* para depurar la recepción de SRS por las RU puede ser una implementación opcional. Por ejemplo, la SRS puede procesarse desde todas las RU en cada oportunidad, que incluye el *OtherRPSet*, pero solo las mediciones de las RU de *ActiveAndCandidatePruningRPSet* se mantendrán como una media móvil. Las mediciones de *OtherRPSet* pueden descartarse a menos que cumplan los criterios para que se incluyan en el *ActiveAndCandidatePruningRPSet*.

En *ActiveAndCandidatePruningRPSet*, una RU puede estar en un estado Activo o Candidato con respecto al PUCCH o PUSCH, creando, p. ej., cuatro combinaciones posibles de subestados que pueden capturarse con dos bits. Un miembro de la *ActiveAndCandidatePruningRPSet* puede designarse como el *RP primario*. Los otros miembros pueden asignarse a *ActivePucchPruningRPSet*, *CandidatePucchPruningRPSet*, *ActivePuschPruningRPSet* y *CandidatePuschRPPPruningRPSet* según sea aplicable.

En un proceso de ubicación, puede haber dos fases - inicialización y mantenimiento, y se utiliza un conjunto diferente de parámetros en cada una de estas fases. Esta diferenciación puede permitir una mayor tolerancia en las mediciones en el período inicial cuando aún no ha habido un promedio suficiente sobre el desvanecimiento rápido desconocido. La figura 25 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de mantenimiento de un conjunto de depuración. La figura muestra las interacciones entre varios módulos del sistema y también proporciona una visión general del orden de los eventos en la ejecución de la ubicación y la depuración. Por ejemplo, el UE transmite su PRACH o SRS según sea aplicable. Las RU relevantes miden la transmisión y proporcionan la medición al módulo de ubicación a través de la interfaz RU-CU. El módulo de ubicación puede ejecutar el proceso de depuración y crear/actualizar la tabla correspondiente en la base de datos de ubicación. Cuando se realizan actualizaciones en cualquiera de los conjuntos mencionados anteriormente, se notifica a los módulos RRM (gestión de recursos de radio) y MAC/programador, para que puedan recuperar la tabla de depuración revisada de la base de datos.

### Control de sobrecarga y PUCCH con reconocimiento de ubicación

A continuación se describen ejemplos de procesamiento PUCCH (canal de control de enlace ascendente físico) realizado en una unidad remota (RU) aprovechando la ubicación. Los procesos de ejemplo pueden implementarse para controlar la carga a través de las RU, eso es para asegurarse de que cada RU se mantenga dentro de sus límites de procesamiento y que la carga se equilibre entre las RU para maximizar la capacidad general. A este respecto, como se explica en otra parte de la presente memoria, en algunas implementaciones, una célula de comunicación incluye un controlador o unidad de control (CU) y múltiples RU que están en comunicación con la CU. En algunas implementaciones, al menos parte del procesamiento de banda base se realiza en las RU. Este procesamiento de banda base se puede distribuir a través de las RU para reducir las posibilidades de que cualquier RU se sobrecargue y, por lo tanto, actúe como un cuello de botella en la célula. Esta distribución se conoce en la presente memoria como "equilibrio de carga". A continuación se describen ejemplos de procesamiento de datos de enlace ascendente (UL) (p. ej., procesamiento de banda base) que pueden realizarse en las RU, junto con ejemplos de procesos de equilibrio de carga.

En una implementación de ejemplo, al comienzo de cada subtrama durante la comunicación entre una CU y las RU, la CU envía información a todas las RU que identifican el enlace ascendente, p. ej., PUCCH, recursos que cada RU debe procesar. En algunas implementaciones, esta información se individualiza (p. ej., es diferente) para cada RU, pero se envía en un solo mensaje de multidifusión. En este ejemplo, la CU conoce de antemano los recursos de procesamiento disponibles en cada RU y toma decisiones de control de sobrecarga para las diversas RU antes de enviar la información.

Un ejemplo de implementación de una célula incluye J ( $J > 1$ ) RU. Cada RU es capaz de procesar K ( $K > 1$ ) recursos de PUCCH por TTI (Intervalo de Tiempo de Transmisión), donde los recursos PUCCH pueden incluir, p. ej., SR (Solicitudes de Programación) o CSI (Información de Estado del Canal) o Acuses de Recibo de Solicitud de Repetición Automática Híbrida (HARQ ACK / NACK). En este ejemplo, los recursos JxK SR o CSI se procesan por TTI en todas las RU. En este ejemplo, si los períodos SR o CSI se designan como P, el número máximo de UE ( $N_{\text{conectado}}$ ) de RRC-conectado (Recurso de Radio Controlado) que puede soportarse por todas las RU en la célula de comunicación, para un formato de PUCCH dado, es como sigue:

$$N_{\text{Conectado}} = J \times K \times P.$$

Para  $J = 20$ ,  $K = 4$  y  $P = 20$ ,  $N_{\text{Conectado}} = 1600$ .

En el ejemplo anterior, supusimos que los 1600 UE conectados están divididos de manera relativamente uniforme

entre las 20 RU, de modo que hay 80 UE conectados por RU.

En algunas implementaciones, los UE se distribuyen aleatoriamente a través de una célula de comunicación y, como resultado, el número de UE conectados en el área de cobertura de cada RU también variará aleatoriamente. Para una distribución de probabilidad dada para los UE, es posible determinar la probabilidad de superar el número nominal K de recursos de procesamiento de PUCCH en una RU. Por ejemplo, con una distribución de probabilidad uniforme y 40 UE conectados por RU de media en una célula (el 50 % del ejemplo anterior), en una RU dada, hay aproximadamente un 4 % de posibilidades de necesitar procesar más de 4 (SR o CSI) recursos, suponiendo un período de  $P = 20$ , y los usuarios distribuidos de manera uniforme entre las fases SR y CSI en toda la célula.

En algunos casos, puede ser posible mejorar el rendimiento mostrado en el ejemplo anterior aprovechando la ubicación del UE en la asignación de las fases de SR/CSI. A este respecto, en algunas implementaciones, la CU puede gestionar la carga de procesamiento de PUCCH (p. ej., la cantidad de información de PUCCH para procesar por las diversas RU) dinámicamente para reducir las posibilidades de sobrecargar una o más de las RU. En la presente memoria se describen procesos de ejemplo para gestionar la carga de PUCCH dinámicamente. En algunas implementaciones, se puede usar un solo proceso para gestionar la carga de procesamiento de PUCCH. En algunas implementaciones, se pueden usar dos o más de los siguientes procesos para gestionar la carga de procesamiento de PUCCH. En algunas implementaciones, la carga de procesamiento de PUCCH puede gestionarse por el Módulo de Ubicación y Depuración de la figura 24.

Un proceso de ejemplo para gestionar la carga de PUCCH dinámicamente se denomina como "Períodos de PUCCH dependientes de la carga". Según este proceso, en la configuración de conexión de RRC, una CU puede asignar los períodos de CSI y SR según la carga del sistema (célula). Para cargas de sistema relativamente ligeras, la CU mantiene  $P_{SR}$  y  $P_{CSI}$  relativamente pequeñas para mejorar el rendimiento. A medida que aumenta la carga del sistema, la CU aumenta la  $P_{SR}$  y  $P_{CSI}$  para nuevos UE. Como alternativa, la CU también puede decidir reconfigurar los UE antiguos y nuevos con la  $P_{SR}$  y  $P_{CSI}$  más aplicable según las condiciones de carga actuales.

Otro proceso de ejemplo para gestionar la carga PUCCH dinámicamente se denomina como "asignación de recursos de PUCCH dependiente de la ubicación". Según este proceso, en la configuración de conexión de RRC, la CU asignará a los UE en la misma área de cobertura de RU (o RU cercanas) a diferentes fases de CSI y SR, de modo que las transmisiones hacia/desde esos UE no se procesen en el mismo TTI. Como resultado, los UE que están en el área de cobertura de una RU pueden distribuirse uniformemente entre las fases de CSI/SR, al menos cuando no hay movilidad. La movilidad puede crear distribuciones desiguales, que pueden tratarse mediante reconfiguración.

Otro proceso de ejemplo para gestionar la carga de PUCCH dinámicamente se denomina como "combinación de enlace ascendente de PUCCH dependiente de la carga". Según este proceso, en cada TTI, la CU da instrucción a las RU para que procesen recursos de PUCCH especificados. Durante los momentos en que hay una carga relativamente pesada en la célula (p. ej., sobre una cantidad predefinida de tráfico de comunicación), la CU puede limitar el procesamiento de cada recurso de PUCCH a una RU. De lo contrario, la CU puede permitir que un recurso de PUCCH se procese por múltiples RU y los resultados del procesamiento por las múltiples RU pueden combinarse.

Otro proceso de ejemplo para gestionar la carga de PUCCH dinámicamente se denomina como "depuración dinámica de recursos de PUCCH". Según este proceso, cuando la CU determina que una RU no tiene suficientes recursos de procesamiento para manejar su procesamiento de PUCCH designado, la CU descarta selectivamente el procesamiento de algunos recursos de CSI y/o SR. En algunas implementaciones, un programador en la CU puede implementar una forma de programación de sobrecarga de turnos rotativos de modo que las pérdidas de CSI o SR se distribuyan uniformemente entre todos los UE. Una sola pérdida de SR o CSI para un UE equivale a una duplicación temporal del período correspondiente, siempre que el mismo recurso se procese en el siguiente período y se pueda ver como una forma dinámica de control de sobrecarga. Mientras se decide perder el procesamiento SR o CSI para un UE debido a una condición de sobrecarga, en algunos ejemplos, la CU puede manejar preferiblemente el procesamiento de SR o CSI en la oportunidad posterior para el mismo UE. Este proceso de ejemplo solo se puede realizar en esas RU, dejando a otras RU en la célula sin afectar.

En algunas implementaciones, la CU otorgará la mayor prioridad de procesamiento de PUCCH en las RU a ACK/NAK de HARQ (Acuse de Recibo/No Acuse de Recibo de Solicitud de Repetición Automática Híbrida). La cantidad de procesos de PUCCH de HARQ asignados a una RU en un TTI determinado determina en última instancia la cantidad de recursos de SR y CSI que esa RU puede procesar. Por ejemplo, si  $K_{tot}$  es el número total de recursos de PUCCH (HARQ, CSI y CS) que una RU puede procesar, la CU restringirá el programador para no programar más de  $K_{tot}$  UE en la misma RU/TTI. Si  $K_{HARQ}$  es el número de recursos PUCCH necesarios para HARQ en un TTI dado,  $K_{tot} - K_{HARQ}$  será el número de recursos de SR y CSI que se pueden procesar en el mismo TTI/RU.

Si la transmisión de un ACK/NAK de HARQ por un UE cae en el mismo TTI que una SR o una CSI, existen mecanismos dentro de las especificaciones de LTE para permitir que el UE envíe ambos en el mismo recurso (la transmisión simultánea de CSI + ACK/NAK es una opción configurable). En estos casos, la CU puede alertar a la RU para que aplique los procesos de detección simultáneos de SR + ACK/NAK o CSI+ACK/NAK.

Otro mecanismo para gestionar la carga de procesamiento en la RU es hacer que el módulo de depuración y ubicación

perfeccione la lista de depuración según sea necesario. Por ejemplo, el módulo de depuración primero usa el *ActivePuschPruningRPSet* (Ajuste de RP de Depuración de Pusch Activo) y *ActivePucchPruningRPSet* (Ajuste de RP de Depuración de Pusch Activo) para cada UE como línea de base para determinar un conjunto de depuración de RU. El módulo de depuración también tiene en cuenta el número de recepciones de formato 1 de PUCCH y formato 2 de PUCCH en cada RU por subtrama. Según las reglas preconfiguradas con respecto a la carga de RU, el módulo de depuración puede realizar a continuación una depuración adicional, p. ej., eliminando RU no primarias adicionales de los conjuntos de depuración de UE individuales para permanecer dentro de los límites de carga de cada RU. Los ejemplos de diferentes límites de carga incluyen:

Límite 1: Número máximo de mensajes de HARQ de formato 1 de PUCCH por RU

10 Límite 2: Número máximo de mensajes de formato 2 de PUCCH por RU

Límite 3: Máximo (HARQ de formato 1 +SR de formato 1+ formato 2) mensajes por RU

En algunas implementaciones, el MAC/programador ya ha establecido un límite en el número de mensajes de formato 1. Si una RU cruza cualquiera de los límites de carga, la lista de mensajes a procesar en la RU se depura aún más. Esta depuración adicional se puede realizar basándose en una o más de las siguientes reglas:

15 El módulo gestor de depuración y sobrecarga puede realizar un seguimiento de los RNTI de los últimos (X) UE, cuyos mensajes de PUCCH se eliminaron en cada RU, e intentar seleccionar un UE que no está en esa lista. Si existe un conflicto entre la depuración de un mensaje de CQI (formato 2) y un SR, el mensaje CQI debe seleccionarse para la depuración. Si la realimentación de CSI o HARQ del UE en el enlace ascendente se alinea con una transmisión de PUSCH, la realimentación de CSI o HARQ se multiplexa con la transmisión de PUSCH y se envía a la CU. En este caso no se transmite PUCCH por el UE. La CU observa esta condición en el momento de la programación y notifica a las RU en consecuencia.

25 En resumen, en LTE, hay tres tipos de información de control transmitidos en el canal de control de enlace ascendente, PUCCH. El primer tipo es ACK/NACK de HARQ (solicitud de repetición automática híbrida), que puede requerir 1 o 2 bits. El segundo tipo es CSI (información de estado del canal), que incluye CQI, PMI y RI. La CSI se puede enviar de cada 2 a 160 ms, aunque es probable que intervalos más pequeños, como de 2 a 20 milisegundos, mejoren el rendimiento del enlace descendente. El tercer tipo es SR (solicitud de programación). La SR de un UE informa a un programador que hay datos del UE que se transmitirán en el enlace ascendente.

30 El procesamiento PUCCH se distribuye entre la CU y sus RU. Algunas partes del procesamiento de banda base asociadas con PUCCH pueden tener lugar en las RU. Por ejemplo, la CU puede informar a la RU para determinar cuáles de los UE vigilarán la transmisión del enlace ascendente. Se puede enviar información de control diferente en PUCCH a diferentes frecuencias o en diferentes recursos de "desplazamiento cíclico" en la misma frecuencia. En algunas implementaciones, las diferentes frecuencias o desplazamientos cíclicos se determinan al menos parcialmente basándose en el equilibrio de carga de las RU. Por ejemplo, puede ser deseable no sobrecargar las RU, y también distribuir la carga de procesamiento de banda base de manera uniforme sobre todas las RU. En algunas implementaciones, los períodos y fases de CSI y SR se asignan para distribuir uniformemente la carga sobre las RU en cada TTI. En algunas implementaciones, las ubicaciones de los UE se tienen en cuenta para igualar aún más la carga sobre las RU. En algunas implementaciones, al comienzo de la transmisión de PUCCH, los períodos para diferentes señales se configuran para que sean relativamente bajos, p. ej., para proporcionar una buena precisión en la transmisión.

40 Como se describió anteriormente, en algunas implementaciones, al menos parte del procesamiento de PRACH se lleva a cabo en las RU, en lugar de las CU. Además, la SRS (señal de referencia de sondeo) también puede procesarse al menos parcialmente en las RU. El control de carga general y el equilibrio de carga en las RU también se consideran para procesar el PRACH y la SRS.

#### *Cobertura dinámica y ajuste de capacidad*

45 Refiriéndose nuevamente a las figuras 2A y 2B, la cobertura y la capacidad de RF proporcionadas en la red de radio están desacopladas. 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 implementan más densamente y con más potencia de transmisión que otras RU para superar la posible interferencia de los eNodo B cercanos, por ejemplo, macrocélulas. En algunas redes de radio de esta descripción, las RU se implementan muy cerca entre sí, con una cobertura superpuesta, porque pueden pertenecer a la misma célula y, por lo tanto, no causan ninguna interferencia entre células. Tales despliegues muy densos a veces no son posibles con las estaciones base tradicionales. La cantidad de módems de banda base (y células) necesarios para un sitio depende del número de usuarios, la cantidad de uso de datos por usuario y la distribución de usuarios en todo el sitio como una función del tiempo, etc. En general, se utiliza un número mínimo de módems de banda base (y células) para mantener el costo bajo y evitar límites de células innecesarios. Cuando la demanda de cobertura y/o capacidad cambia, la red de radio de esta descripción puede ajustar dinámicamente su cobertura y capacidad.

#### *Reasignación de capacidad dinámica*

En algunas implementaciones, cuando múltiples RU comparten el mismo módem de célula/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 están asignadas al módem de banda base. En un área de uso de datos relativamente alto, las RU que forman la célula pueden cubrir un área más pequeña que las RU en otra célula que cubre un área de uso de datos relativamente bajo. Por ejemplo, en un sitio que usa 4 módems (y 4 células) y 24 RU, las 4 células pueden tener 2, 4, 8 y 10 RU, respectivamente, proporcionando diferentes tamaños de célula que coinciden con la cobertura y la demanda de capacidad. La asignación de RU a las células se puede cambiar dinámicamente basándose en los cambios en la demanda de capacidad. Los cambios se pueden hacer manualmente, p. ej., haciendo que una persona local modifique el mapeo de la RU al controlador, semiautomáticamente, p. ej., basándose en la hora del día (ToD), o automáticamente, p. ej., por el controlador basándose en la detección de un cambio en la distribución del tráfico. Los cambios pueden reasignar la capacidad en el sitio, sin cambios sustanciales en el equipo desplegado.

Como ejemplo, haciendo referencia a las figuras 6A y 6B, se implementa una red 602 de radio que incluye tres módems 604a, 604b, 604c que controlan tres células 608a, 608b, 608c respectivas a través de una red 606 Ethernet disponible en el mercado en un sitio 600. El sitio 600 puede ser un edificio comercial que incluye áreas de compras y espacio de oficina, 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 células puede incluir diferentes números de RU (no se muestran) para cubrir áreas de diferentes tamaños, al tiempo que proporciona sustancialmente la misma capacidad de tráfico. Las formas de las áreas cubiertas por las diferentes células también pueden ser diferentes.

Refiriéndose particularmente a la figura 6A, en un tiempo dado (tiempo 1, p. ej., horas de trabajo en un día laborable), la mayoría de los usuarios del sitio 600 se concentran en áreas 610, 612 pequeñas (p. ej., espacios de oficina), mientras que la densidad de usuarios es relativamente baja en el área 614 más grande (p. ej., las áreas de compras). Para satisfacer las diferentes demandas de capacidad en las diferentes áreas del sitio 600, se forman las células 608a, 608b que tienen un número relativamente pequeño de RU para cubrir las áreas 610, 612, y se forma la célula 608c que tiene un número relativamente grande de RU para cubrir el área 614. Cada célula 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 tiempo dado (tiempo 2, p. ej., horas de almuerzo en un día laborable), hay una alta densidad de usuarios en las áreas 618, 620 (p. ej., áreas de restaurantes en el área 614 de compras de la figura 6A) y hay relativamente pocos usuarios en el área 616 (p. ej., áreas 610, 612 de oficina y áreas de tiendas en el área 614 de compras de la figura 6A). En respuesta, una o más RU en el sitio 600 se reasignan a diferentes módems, de forma manual, semiautomática o automática, para formar nuevas células 622a, 622b, 622c que cubren las áreas 616, 620, 618 respectivas. La célula 622a contiene un número relativamente grande de RU. Las células 622b, 622c contienen un número relativamente pequeño de RU. Cada célula 622a, 622b, 622c tiene sustancialmente la misma capacidad. La reasignación de capacidad dinámica se implementa a través de la red Ethernet.

#### 35 *Incremento de capacidad total*

En algunas implementaciones, en lugar de o además de la redistribución de las demandas de capacidad en un sitio (p. ej., el sitio 600 de las figuras 6A y 6B), el sitio también experimenta un aumento en la demanda de capacidad total. Por ejemplo, el número de suscriptores móviles aumenta y/o aumenta la cantidad de demanda de datos por suscriptor. En estas implementaciones, se pueden introducir módems adicionales (y, por consiguiente, células adicionales). Por ejemplo, se puede habilitar un módem no utilizado existente en una CU de la red de radio y algunas de las RU ya implementadas en el sitio se pueden reasignar al nuevo módem. Esta es una forma de división de célula real, que puede implementarse de manera conveniente, p. ej., como una actualización de software y, en algunas implementaciones, no requiere ningún cambio de hardware a las RU instaladas. Como alternativa o además, se pueden agregar uno o más módems nuevos en una CU y/o se pueden agregar una o más CU nuevas a la red de radio en el sitio. En algunas implementaciones, la capacidad total del sitio puede aumentarse sin afectar a los módems, células y RU previamente implementados. En algunas implementaciones, la adición de más módems o hardware CU es significativamente menos costosa, tanto en términos de coste de equipo como de instalación, en comparación con la adición de muchos puntos de acceso nuevos en todo el sitio. El método de división de células físicas descrito anteriormente se implementa utilizando la red Ethernet.

#### 50 *Apilamiento de CU*

En algunas implementaciones, una CU controla 64 RU. Puede ser deseable servir espacios más grandes o entregar una mayor capacidad por RU mientras se conserva la coordinación y/o no hay propiedades de borde celular del sistema. La figura 26 muestra otro ejemplo de una célula que expande la cobertura al apilar múltiples CU (tres mostradas en el ejemplo) dentro de una sola célula, donde cada CU usa un único módem de banda base. Las CU (o módems de banda base) se coordinan usando una función de coordinación (CF) y se conectan entre sí y con la CF a través de un enlace Ethernet, p. ej., una Ethernet 10G.

Cada CU es un controlador físico que ejecuta una aplicación de controlador completa, a excepción de ciertas funciones de coordinación entre controladores que pueden descargarse en servidores disponibles en el mercado. Dentro de la célula que contiene las múltiples CU, no existe una asociación fija entre las CU y las RU. Cada aplicación CU puede

manejar un subconjunto de los UE conectados en la célula. Cuando una RU recibe un PRACH de un UE, la RU asigna el UE a una de las aplicaciones de CU disponibles. Cuando una MME (Entidad de Gestión de Movilidad) reenvía una radiobúsqueda a la CU de retorno, la CU de retorno asigna la radiobúsqueda a una CU.

5 Ciertas funciones dependientes entre CU se descargan en un servidor disponible en el mercado, que puede tener almacenamiento externo, que ejecuta la función de coordinación (CF). La virtualización se puede usar en este servidor para permitir que otras aplicaciones de servicio se ejecuten en el mismo hardware y para una mayor escalabilidad. En algunas implementaciones, se implementa una sola CF para todas las CU de una célula, aunque también se pueden usar múltiples CF.

10 En algunas implementaciones, el servidor que ejecuta la CF es un servidor disponible en el mercado (OTS). El OTS puede proporcionar flexibilidad en términos de potencia de procesamiento, buena escalabilidad y no tiene desperdicio de recursos físicos. Además, el OTS se puede utilizar para ejecutar otras aplicaciones, que incluyen los servicios basados en la ubicación, la distribución local y otros servicios, etc.

15 Dentro de cada célula, algunas CU se seleccionan para realizar funciones comunes para todas las RU. Para todas las CU, la CF asociada es la maestra. Una CU seleccionada es una CU maestra de temporización que actúa como la maestra 1588 para todas las RU. Otra CU seleccionada es una CU de información del sistema. Esta CU es responsable de generar la información del sistema y las señales de referencia específicas de la célula, p. ej., CS-RS y CSI-RS, para toda la célula. La CU de información del sistema también programa SI, CS-RS y CSI-RS y la programación puede manejarse exclusivamente por esta CU. También hay una CU de retorno que es responsable de mantener una sola IPsec (Seguridad de Protocolo de Internet) y un túnel S1 hacia el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC). La CU de retorno actúa como un eNodo B que termina el túnel S1 hacia el EPC. En algunas implementaciones, los paquetes de IPsec se tunelizan a través de una única CU de retorno. La CU de retorno también puede ser responsable de la selección de CU al recibir una radiobúsqueda de la MME.

20 La CF y las CU juntas realizan funciones de coordinación entre CU. Una de las funciones de coordinación es la ubicación. En algunas implementaciones, la CF mantiene información de ubicación para todos los UE conectados. Cada vez que una CU actualiza el vector de firma de enlace ascendente de un UE, la CU reenvía el nuevo vector de firma junto con un identificador de UE a la CF.

25 Otra función de coordinación entre CU es la programación de reutilización de enlace descendente y enlace ascendente. Cada TTI, las CU pueden reenviar a la CF una lista de UE activos, por separado para el enlace descendente y el enlace ascendente, con la siguiente información de programación: 1) identificador de UE, 2) profundidad de la cola o equivalente, y 3) métrica del programador. La CF puede realizar el procesamiento utilizando la información recibida de todas las CU y devolver la siguiente lista de UE programada, por separado para el enlace descendente y el enlace ascendente: 1) Identificador de UE, y 2) DCI. La programación de reutilización puede tener baja latencia para que la programación se pueda completar en 1 milisegundo. En algunas implementaciones, algunas tareas de programación se trasladan de la CF a las CU, p. ej., para evitar que la CF se convierta en el cuello de botella en el proceso de programación. La CF también puede coordinar la programación entre múltiples portadoras como en la agregación de portadora.

30 Una tercera función de coordinación entre CU se refiere al transporte de datos. En el enlace descendente, cada CU puede formar una trama de datos para los UE a los que sirve. En algunas implementaciones, las CU no forman ninguna trama de datos para aquellos UE que no están sirviendo. Las RU reciben las tramas de datos de las múltiples CU y combinan las tramas según sea necesario para formar los símbolos de OFDM de enlace descendente transmitidos. En algunas implementaciones, para reducir la tasa de enlace, las CU envían paquetes de unidifusión o de difusión restringida.

35 En el enlace ascendente, para cada UE, su CU de servicio puede determinar el conjunto de combinación del enlace ascendente e informar a las RU en consecuencia. En algunas implementaciones, una RU solo necesita enviar datos de enlace ascendente de un UE a la CU que está sirviendo a ese UE.

40 Otra función de coordinación entre CU involucra a MIMO multiusuario (MU). En el enlace descendente, la coordinación entre CU se implementa cuando los UE en el MU-MIMO están siendo servidos por diferentes CU. El precodificador conjunto en MU-MIMO puede determinarse por la CF. En el enlace ascendente, se implementa la detección conjunta en una única CU utilizando la Cancelación de Interferencia Sucesiva (SIC). MU-MIMO se puede implementar a través de CU permitiendo que una CU procese la señal de un UE para SIC incluso cuando el UE está normalmente asignado a otra CU.

45 Además, las funciones de coordinación entre CU también se realizan en asociación con los canales de control de enlace descendente. Por ejemplo, la CF puede determinar la reutilización de PDCCH. La CF puede formar y enviar DCI a las CU junto con la estrategia de transmisión de RU. El paquete de PDCCH real puede estar formado por las CU. El RNTI de la DCI puede determinar qué CU es responsable de manejar un paquete de PDCCH. Todas las DCI de PDSCH y PUSCH pueden manejarse por la CU que sirve al RNTI correspondiente. Todas las DCI de SI (información del sistema)-RNTI pueden manejarse por la CU de SI. El PCFICH puede enviarse por una CU de la célula que está predeterminada o seleccionada por la CF. Es posible implementar la reutilización de PHICH.

Una célula que tiene múltiples CU apiladas, tal como la célula que se muestra en la figura 26 puede manejar SRS y PUCCH de la siguiente manera. Para la SRS, las RU pueden configurarse para reenviar datos de SRS de los UE solo a sus respectivas CU de servicio. Las CU de servicio cargan los vectores de firma de sus respectivos UE a la CF.

5 Para el PUCCH, las RU pueden reenviar datos de PUCCH a sus respectivas CU de servicio. En algunas implementaciones, los UE en la reutilización de PUCCH pertenecen a la misma CU y, por lo tanto, los UE en la reutilización de PDCCH también pertenecen a la misma CU.

10 Otras consideraciones asociadas con una célula que tiene múltiples CU apiladas incluyen la escalabilidad de CF, la redundancia de CF y la gestión de la pila de CF y CU. En algunas implementaciones, la aplicación CF se realiza de manera paralela para aumentar la escalabilidad y aprovechar los procesadores de múltiples núcleos del servidor en el que se ejecuta la CF.

Una célula que tiene múltiples CU apiladas puede proporcionar todas las ventajas de una célula que tiene una CU. Además, la célula con las múltiples CU apiladas puede tener una alta escalabilidad. El impacto en las aplicaciones de CU existentes es pequeño. Las implementaciones pueden virtualizarse a través del servidor que ejecuta la CF. La célula puede usarse en aplicaciones en exteriores.

15 También es posible implementar el apilamiento del controlador sin agregar otro nodo centralizado. En este caso, varias instancias de CU, que representan células iguales o diferentes, pueden ejecutarse en una o más plataformas de hardware, con conectividad de alta velocidad entre ellas (p. ej., 10G Ethernet) y cada CU de TTI intercambian información para realizar la coordinación del programador, p. ej., para servir una sola célula o múltiples células en varias instancias de controlador. Cuando se coordina a través de las células, dicha coordinación se puede utilizar para soportar la agregación de portadora o para controlar la interferencia en las áreas de borde entre las células adyacentes. Dicho intercambio de información puede implementarse en una transmisión unidireccional desde cada instancia de CU a todas las demás instancias de CU que participan en coordinación.

#### *Célula pequeña de múltiples operadores*

25 En muchas empresas y espacios públicos existe la necesidad de soportar múltiples operadores. Los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria permiten tales implementaciones de múltiples operadores.

30 El sistema de múltiples operadores utiliza una mini-carcasa multi-RU con una capacidad única de combinación de RF para permitir que múltiples módulos RU para diferentes operadores se conecten a una sola carcasa. La carcasa se instalaría fuera de la vista, por ejemplo, sobre la placa del techo, y se puede conectar a una o más antenas externas compartidas a través de uno o más cables de antena. En algunas implementaciones habrá un cable de antena que alimenta una sola antena externa compartida de banda ancha. En algunas otras implementaciones, puede haber dos cables de antena que alimentan a una antena de banda ancha externa con dos puertos de antena para soportar MIMO. En términos más generales, M cables podrían estar alimentando M antenas SISO o M/2 antenas MIMO, donde M es el número de antenas utilizadas en la carcasa multi-RU, y cada antena tiene la señal combinada de N RU, y puede ser de cualquier tipo de antena como omnidireccional o direccional. En algunas implementaciones, los módulos de RU tendrán hardware idéntico. Esto permite que una compañía anfitriona neutral que pueda implementar y gestionar el sitio de múltiples operadores reutilice el mismo módulo para diferentes operadores. Un módulo de RU puede reasignarse de un operador a otro operador. Una RU también se puede reasignar de una frecuencia a otra frecuencia, incluso si algunas son FDD y otras son TDD.

40 El chasis Multi-RU también se puede usar para Wi-Fi agregando un módulo Wi-Fi, y también podría combinar la señal de Wi-Fi con las señales LTE en las antenas externas. También se puede utilizar para Agregación de Portadora (CA) de LTE Avanzada para un solo operador. En CA, se pueden usar múltiples portadoras para servir a uno o más UE. En una implementación existente, se pueden agregar módulos de RU adicionales en forma de portadoras adicionales para el mismo operador, y la agregación de las portadoras se logra en el controlador.

#### *Control de interferencia entre células de enlace descendente*

45 En algunas implementaciones, la interferencia entre células en PDSCH se reduce mediante la reutilización de frecuencia definitiva (HFR). La HFR se puede implementar como un esquema estático o semiestático, donde los bloques de recursos disponibles se dividen entre grupos de células según la reutilización de la frecuencia de la vía K, donde K es típicamente 3 o 7, de modo que cada célula usa un tercio (o una séptima parte) de los bloques de recursos disponibles. Cuando solo una célula transmite en cada bloque de recursos, las células en el mismo grupo de reutilización de frecuencia no verán ninguna interferencia de PDSCH de las demás. La implementación de HFR puede costar  $(K-1)/K \times 100\%$  del ancho de banda disponible.

55 Como alternativa, la interferencia entre células en PDSCH puede reducirse utilizando la Reutilización de Frecuencia Flexible (SFR). En SFR, los recursos disponibles se particionan entre células vecinas en el mismo grupo de reutilización de frecuencia. A diferencia de HFR, donde a cada bloque de recursos se le asigna un estado binario (activado/desactivado), p. ej., potencia total o ninguna potencia en absoluto, en SFR, a cada bloque de recursos se le puede asignar cualquier nivel de potencia de transmisión. Por ejemplo, considérese el siguiente ejemplo con 3 niveles de potencia diferentes (alto (H), medio (M), bajo (L)). Con referencia a la figura 17A, en cada célula 2400a, 2400b,

2400c, cada bloque 2402 de recursos se asigna a uno de estos niveles de potencia (H, L o M), de modo que en los bloques de recursos donde a una célula se le asigna una alta potencia, a sus dos células vecinas se les asigna una baja potencia. Como resultado, cada célula tendrá el doble de bloques de recursos de baja potencia que los de alta potencia. Cada eNodo B asignará los UE que está sirviendo a uno de los niveles de potencia, generalmente durante la configuración de la conexión, basándose en la SNR promedio que experimenta el UE y posiblemente otros factores, como la cantidad de datos que tiene el UE para la transmisión. A los UE que están en buenas condiciones, p. ej., ubicados cerca del centro de una célula dada, o que tienen pocos datos para enviar, se les asigna un nivel de potencia de PDSCH bajo, mientras que los UE en malas condiciones, p. ej., ubicados cerca del borde de la célula o que tienen mucha cantidad de datos para la transmisión se les asigna una alta potencia de PDSCH. Por consiguiente, cuando el controlador está sirviendo a un usuario de borde de célula, el UE experimentará una potencia de señal recibida más alta y un nivel de potencia de interferencia más bajo, aumentando su SNR promedio recibida. Cuando los UE se mueven y sus condiciones de canal cambian, el controlador puede cambiar el nivel de potencia de transmisión para el UE enviando un mensaje de reconfiguración de capa superior. Al programar los UE para la transmisión en bloques de recursos, el controlador puede necesitar efectivamente ejecutar planificadores paralelos, uno por nivel de potencia. En algunas implementaciones, la partición estricta de los recursos puede conducir a la pérdida de eficiencia de programación, por ejemplo, debido a la pérdida de cierta diversidad multiusuario. Dichas ineficiencias pueden hacerse visibles cuando la distribución de potencia PDSCH de los UE activos no coincide con 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, incluso aunque una transmisión a un nivel de potencia más alto pueda no producir ninguna interferencia a un UE de borde de célula servido por una célula vecina en el mismo grupo de reutilización de frecuencia cuando el UE está en el lado opuesto de la célula vecina.

#### *Programación coordinada*

Las eficiencias de SFR pueden mejorarse implementando dinámicamente la partición de recursos/potencia como parte de un programador centralizado de células múltiples en el controlador. El controlador puede asignar dinámicamente bloques de recursos y potencia de transmisión basándose en los informes de Gestión de Recursos de Radio (RRM) recibidos de los UE. La implementación puede evitar la necesidad de asignar niveles de potencia de transmisión a bloques de recursos semiestáticamente como en HFR o SFR.

En LTE, cada célula transmitirá periódicamente su lista de vecinos en un Bloque de Información del Sistema (SIB) Tipo 4 (SIB4). Un UE conectado monitorizará las células en la lista vecina y enviará informes de medición a la célula en servicio. Estos informes pueden enviarse periódicamente o basándose en ciertos activadores. El período de informe y los activadores están configurados por la célula de servicio utilizando un mensaje de reconfiguración de RRC. El informe de medición de cada UE incluye dos mediciones por célula: i) Potencia de Señal Recibida de Referencia (RSRP) y ii) Calidad de Señal Recibida de Referencia (RSRQ). RSRP es la potencia promedio recibida de un RE de CS-RS y es indicativo de la intensidad de la señal recibida, y RSRQ es un indicador de calidad de señal adicional, que también proporciona una medida cruda de interferencia. En algunas implementaciones, la programación coordinada en el controlador funcionará como se describe a continuación.

Cada módem de banda base enviará, al coordinador central, los informes de RSRP de la lista de vecinos recibidos de cada uno de los UE conectados a los que sirve, así como la cantidad de datos que cada UE tiene en espera de transmisión. Los módems de banda base pueden enviar estos informes tras ciertos activadores de eventos, por ejemplo, cuando un UE está recién conectado o desconectado, o cuando hay un cambio significativo en los informes RSRP del UE. También es posible que el coordinador central sondee los módems de banda base para obtener estos informes de RSRP.

El coordinador central utilizará la información recibida para construir un mapa de asignación de potencia de ancho de banda y PDSCH para cada UE y enviará periódicamente esta información a sus módems de banda base que dan servicio. A continuación se analiza un ejemplo de la lógica básica para crear este mapa de asignación de ancho de banda.

Los módems de células individuales comunican la asignación de potencia PDSCH a los UE, p. ej., poco después de establecer la conexión. Para cada subtrama, los módems de banda base individuales programan los datos del UE para su transmisión en PDSCH. Los módems de banda base programan las transmisiones de manera coherente con los niveles de potencia y los recursos de ancho de banda asignados a cada UE por el coordinador central.

A continuación, se describen ejemplos que usan dos células adyacentes con referencia a la figura 17B. En un ejemplo, supóngase que cada célula 2410a, 2410b tiene un UE conectado, y cada UE tiene cantidades similares de datos en espera de transmisión. Si ambos UE están lejos del límite de la célula, el coordinador central asignaría la banda de transmisión completa a ambos UE ya que ninguno experimentaría una interferencia significativa entre células. Si ambos UE están cerca del límite de la célula, entonces el coordinador de la célula asignaría el 50 % del ancho de banda de transmisión a cada UE a plena potencia. Si un UE está cerca del límite de la célula pero el otro está lejos del límite de la célula, entonces el coordinador de la célula podría asignar la banda de transmisión completa a ambos UE, pero asignar un nivel de potencia más bajo al UE lejos del límite de la célula para reducir la interferencia con el UE cerca del límite de la célula en la otra célula. Cuando los UE tienen cantidades significativamente diferentes de datos en espera de transmisión, el coordinador de células puede dar más ancho de banda al UE con más datos.

5 En un caso más complejo donde cada célula tiene 10 UE conectados con el 50 % cerca del límite de la célula y el 50 % lejos del límite de la célula y los UE cerca del límite de la célula tienen cantidades similares de datos que los UE lejos del límite de la célula, el coordinador central podría asignar recursos de la siguiente manera: A los UE que están lejos del límite de la célula se les asigna el ancho de banda de transmisión completo, pero a un nivel de potencia reducido y a los UE cerca del límite de la célula se les asigna el 50 % de la banda de transmisión de manera no superpuesta, pero a plena potencia.

10 Si la relación entre el número de UE en el borde de la célula y el número de UE en el centro de la célula es diferente de 1:1 o la cantidad de datos que tienen los UE para la transmisión cerca del borde de la célula es diferente de la cantidad de datos de los UE para la transmisión en el centro de la célula, el coordinador central puede ajustar el ancho de banda y los procesos de asignación de potencia para que coincidan con las necesidades de datos de los UE. En algunas implementaciones, la adaptabilidad de la asignación puede hacer que el sistema sea significativamente más eficiente en el ancho de banda, al tiempo que mejora el rendimiento del borde de la célula para los UE desfavorecidos.

15 En algunas implementaciones, puede haber interferencia entre la red de radio y otras redes, como la red macro, y dicha interferencia también puede considerarse y reducirse. La versión 8 soporta mensajes en la interfaz X2 para permitir que los eNodos B intercambien información sobre los niveles de potencia que se utilizan en cada uno de los bloques de recursos de los eNodos B. En algunas implementaciones, la interfaz X2 se usa entre el controlador de la descripción y los eNodos B de las otras redes de radio (p. ej., macrocélulas). El usuario puede facilitar el intercambio de información entre el controlador y los eNodos B para soportar la programación coordinada. Como ejemplo, cada eNodo B puede indicar al controlador para cada bloque de recursos si el nivel de potencia en ese bloque de recursos permanecerá por debajo de un cierto umbral, que también se señala por separado. Esto permitirá que el controlador programe los UE ubicados en los bordes de las células en los bloques de recursos donde las células vecinas están transmitiendo por debajo de un cierto nivel de potencia. Se pueden usar técnicas similares para coordinar las transmisiones de diferentes controladores en la misma red de radio, en la que cada controlador puede ser informado sobre las asignaciones de potencia de SFR (Reutilización de Frecuencia Flexible) a través de un sistema de gestión o usando una variante de la interfaz X2.

*Técnicas de control de interferencia para los UE de la versión 10*

30 En algunas implementaciones, la interferencia del canal de control entre células para redes jerárquicas con acceso cerrado o extensión de rango se puede reducir haciendo que las células apaguen (en blanco) la energía en todos los bloques de recursos en ciertas subtramas. Cuando no se transmiten datos de PDSCH en una subtrama, tampoco se envían mensajes de control en el canal de control de enlace descendente, lo que reduce significativamente la interferencia de PDCCH. En algunas implementaciones, al configurar estas tramas en blanco como las denominadas MBSFN (subtramas de multidifusión/difusión), también se puede reducir (p. ej., eliminar) la interferencia de los RE de CS-RS RE en la región de PDSCH.

35 En una subtrama MBSFN, CS-RS solo se transmite en la región de control de la subtrama. Esto reduce (p. ej., elimina) la interferencia de CS-RS en las transmisiones de PDSCH (aunque no necesariamente a PDCCH) en las células vecinas. Las subtramas MBSFN en LTE se desarrollaron en la Versión 8 para transportar señales de difusión/multidifusión, pero también se pueden usar para no enviar datos en absoluto. Puede configurarse una célula para enviar subtramas de MBSFN según un cierto patrón, y el patrón se puede comunicar a los UE a través del Bloque de Información del Sistema (SIB). En algunas implementaciones, solo 6 de cada 10 subtramas (p. ej., N.º 1, 2, 3 y 6, 40 7, 8) en una trama de radio se pueden usar para MBSFN. Las tramas MBSFN tienen una región de control de hasta 1 símbolo de OFDM para 1 o 2 antenas TX y 2 símbolos de OFDM para 4 antenas TX.

45 El uso de subtramas MBSFN en blanco por sí solo puede no eliminar la interferencia entre células entre PBCH, la información del sistema (SIB) y las transmisiones de PSS/SSS. En algunas implementaciones, la interferencia entre células es entre una célula pequeña y una sola macrocélula, y la interferencia puede reducirse o eliminarse compensando la numeración de la subtrama en la célula pequeña en relación con la macrocélula. Por ejemplo, si el número de subtrama relativa de la red de células pequeñas tiene un desplazamiento de 2 con respecto a la red de macrocélulas (p. ej., la subtrama n.º 0 en la red de células pequeñas coincide con la subtrama n.º 2 en la red de macrocélulas) y las subtramas de macrocélulas 2 y 7 son subtramas ABS/MBFSN, los UE de células pequeñas pueden recibir PSS/SSS y PBCH sin ninguna interferencia de la macrocélula.

50 En algunas implementaciones, la macrocélula coordina sus transmisiones solo con el controlador y no es necesario que el eNodo B de la macrocélula coordine sus transmisiones con múltiples estaciones base o RU.

*Multipunto coordinado (CoMP)*

55 CoMP se refiere a técnicas que implican la coordinación entre células vecinas para reducir los efectos de la interferencia entre células. La coordinación completa se conoce como transmisión conjunta (JT). En JT, dos o más módems de banda base cooperan para servir a sus UE a través de todas las RU que controlan conjuntamente. Todas las antenas disponibles se pueden usar para servir un UE con MIMO de usuario único o varios UE simultáneamente usando MIMO multiusuario. En algunos casos donde se implementa JT, los UE envían realimentación de CSI no solo para los puertos de antena de su célula de servicio, sino también para los puertos de antena de las células vecinas.

En JT, similar al MIMO multiusuario de una sola célula, los bloques de transporte para diferentes UE pueden procesarse en paralelo y luego combinarse antes de la IFFT. Sin embargo, diferentes módems de banda base manejan el procesamiento de bloques de transporte de UE en diferentes células. En algunas implementaciones, el controlador puede incluir una unidad de coordinación para coordinar la programación de módems de banda base indiferentes. 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 2700 de radio mostrada en la figura 20A incluye tres células formadas por el módem 2706 de banda base y las unidades 2716 remotas, el módem 2708 de banda base y las unidades 2718 remotas, y el módem 2710 de banda base y las unidades 2720 remotas. El controlador 2704 que controla las tres células incluye una unidad 2702 de coordinación, que sirve como un punto de agregación para combinar (representado por el símbolo " $\oplus$ ") bloques de transporte procedentes de diferentes módems 2706, 2708, 2710.

Como alternativa, como se muestra en la figura 20B, en una red 2730 de radio, los módems 2732, 2734, 2736 de banda base que controlan células que incluyen las unidades 2742 remotas, unidades 2744 remotas, unidades 2746 remotas, respectivamente, pueden intercambiar datos directamente entre ellos mismos para que cada módem de banda base pueda combinar todas las señales destinadas a los UE (no mostrados) a los que sirven.

En algunas implementaciones, haciendo referencia a la figura 20C, en una red 2760 de radio, cada módem 2762, 2764, 2766 de banda base envía bloques de transporte procesados a las RU 2772, 2774, 2776 y las RU realizan la combinación antes de aplicar la IFFT.

Una capacidad de CoMP algo reducida se llama Selección de Punto Dinámico (DPS). En DPS, la célula de servicio envía la transmisión de PDSCH en un recurso de tiempo-frecuencia a través de una sola antena de TX de célula basándose en la selección de célula de realimentación recibida del UE. La célula seleccionada se puede variar dinámicamente de una subtrama a la siguiente, e incluso entre bloques de recursos dentro de la misma subtrama. La célula seleccionada puede ser diferente de la célula de servicio del UE.

Otra forma de CoMP es la Formación de Haces Coordinada (CB). En CB, cuando una célula en servicio está transmitiendo a un UE desde sus RU, también tiene en cuenta la interferencia que creará para otro UE en una célula vecina. Al elegir el (los) vector (es) de precodificación para anular la interferencia al UE de la célula vecina, el controlador permite que el módem de banda base de una célula vecina sirva al otro UE a una tasa de datos más alta.

La versión 11 tiene nuevas capacidades para soportar la transmisión coordinada. Por ejemplo, la versión 11 permite a los UE informar CSI para múltiples CSI-RS, que pueden pertenecer a diferentes células.

### *Comunicaciones entre los controladores y las unidades remotas*

Como se explicó anteriormente, las CU y las RU de una red de radio están conectadas a través de una red Ethernet conmutada (véase, p. ej., la figura 3). En algunas implementaciones, la interfaz entre las CU y las RU llevará símbolos de IQ en el dominio del tiempo (a veces también denominadas señales) en tramas de Ethernet. Sin embargo, la tasa de bits de los símbolos de IQ en el dominio del tiempo puede ser demasiado alta para una red Ethernet. En algunas implementaciones, en lugar de enviar los símbolos de IQ del dominio del tiempo, se envía una representación comprimida de los símbolos de IQ del dominio del tiempo para reducir la tasa de bits y 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 de IQ cuando están en el dominio de frecuencia y antes de realizar la IFFT (transformada de Fourier rápida inversa) en los símbolos de IQ del dominio de frecuencia. Una CU envía los datos de IQ del dominio de frecuencia que representan cada símbolo de OFDM a una RU, por ejemplo, cuantificando los componentes reales e imaginarios de los símbolos del dominio de frecuencia. Los bits de salida del cuantificador se empaquetan en tramas de Ethernet y se transmiten a las RU a través de la red Ethernet. La RU reconstruye los símbolos de IQ del dominio de frecuencia cuantificados antes de aplicar la IFFT, insertando un prefijo cíclico y realizando el filtrado, la modulación y el procesamiento de RF.

Para fines de análisis, se utiliza como ejemplo una red de radio para un sistema de LTE de FDD de 10 MHz. Para cada puerto de antena TX, cada símbolo de OFDM tiene 600 subportadoras y hay 14 símbolos de OFDM en cada subtrama de 1 ms. Cada subtrama tiene 8.400 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 utilizan principalmente para la señalización de control (p. ej., PDCCH, PHICH y PCFICH) y los símbolos de OFDM restantes transportan principalmente datos de usuario en el canal de datos compartido (PDSCH). Las señales de referencia y otros canales comunes se extienden a través del eje de tiempo-frecuencia.

La compresión de los símbolos de IQ en el dominio de frecuencia puede reducir la tasa de bits del tráfico enviado a través de la red Ethernet. Los símbolos de IQ de dominio de frecuencia comprimidos se transmiten a través de la red Ethernet sin ceros de banda de guarda ni ningún prefijo cíclico. Cuando la CU utiliza un cuantificador de 12 bits para comprimir los símbolos de IQ en el dominio de la frecuencia, la tasa de bits nominal del flujo de IQ en el dominio de la frecuencia es de aproximadamente 403 Mb/s para 2 antenas TX y 806 Mb/s para 4 antenas TX. Esto representa una reducción del 45 % en la tasa de bits en comparación con la cuantificación del flujo de IQ en el dominio del tiempo utilizando el mismo cuantificador (735 Mb/s para 2 antenas TX y 1471 Mb/s para 4 antenas TX). La tasa entre la CU y

las RU se reduce y la CU y las RU pueden comunicarse a través de enlaces de Ethernet que funcionan a una velocidad del orden de Gb/s con menos latencia.

5 En el enlace ascendente, además del procesamiento y demodulación de RF, las RU eliminan el prefijo cíclico de las muestras de IQ en el dominio del tiempo para cada símbolo de OFDM recibido y aplican la FFT para producir los símbolos de IQ en el dominio de la frecuencia. La información transportada por los símbolos se cuantifica a continuación, se empaqueta en tramas de 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 de IQ del dominio de frecuencia en el enlace ascendente es sustancialmente la misma que la analizada para el enlace descendente.

A continuación se describen técnicas de ejemplo que pueden usarse para reducir la tasa de datos entre la CU y las RU.

10 *Compresión de enlace descendente dentro de una célula*

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

20 En algunas implementaciones, la CU realiza una forma sencilla de compresión al difundir los símbolos de IQ de dominio de frecuencia a todas las RU en la célula utilizando tramas de Ethernet de difusión. Para implementar la difusión, todas las RU en la misma célula están configuradas para pertenecer a la misma VLAN (red de área local virtual). La CU envía a su conmutador Ethernet más cercano una trama de difusión de Ethernet que lleva una ID de la VLAN. El conmutador Ethernet a su vez envía la trama de difusión de Ethernet a todas las RU en la VLAN que están conectadas directamente al conmutador Ethernet y a otros conmutadores Ethernet que proporcionan rutas a otras RU en la misma VLAN. En tales implementaciones, la carga de tráfico en los conmutadores Ethernet en el enlace descendente no aumenta con el número de RU que pertenecen a la misma célula.

25 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 en la tasa de datos es deseable para reducir el tamaño de trama de Ethernet y las latencias en los conmutadores.

30 Para fines de análisis, el ejemplo presentado anteriormente de una red de radio que implementa la LTE de FDD de 10 MHz con 2 antenas de TX también se usa como ejemplo en el análisis a continuación. Los 8.400 símbolos de IQ de dominio de 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 intervalos de tiempo, cada uno con una longitud de 0,5 ms. Cada intervalo de tiempo se divide adicionalmente en 50 PRB (bloques de recursos físicos), cada uno con 84 símbolos de IQ de dominio de frecuencia dispuestos en forma de una cuadrícula de 7 x 12.

35 En algunas implementaciones, cada PRB lleva como máximo un PDSCH mezclado con señales de referencia, como la CS-RS y la CSI-RS. Los PRB también pueden transportar uno o más canales de control de enlace descendente de LTE, PDCCH, PHICH o PCFICH, o los canales comunes PSS/SSS y PBCH, mezclados con la CS-RS y la CSI-RS.

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

50 La CU puede elegir símbolos de IQ de dominio de frecuencia de enlace descendente directamente desde una constelación de QAM de amplitud discreta o aplicando una operación matricial a símbolos elegidos de una constelación de QAM de amplitud discreta. La energía promedio de los símbolos de IQ de dominio de frecuencia puede variar entre diferentes canales de enlace descendente, pero se fija para un canal dado dentro de un grupo de elementos de recursos, o REG (para canales de control) o un PRB (para PDSCH). Un REG es un grupo de 4 RE consecutivas en un símbolo de OFDM. En algunas implementaciones, el PDSCH en el 4º símbolo de OFDM del intervalo puede tener un nivel de energía promedio diferente de los niveles de energía promedio fijos.

*Métodos de compresión de los símbolos de IQ del dominio de frecuencia*

55 Los símbolos transmitidos entre la CU y las RU se pueden comprimir de varias maneras. En el análisis a continuación, 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.

*Cuantificación fija*

5 En este método, los símbolos de IQ de dominio de frecuencia se cuantifican usando un cuantificador escalar uniforme fijo que tiene una tasa fija R y un tamaño de paso fijo Δ. La CU selecciona el tamaño del paso basándose en la distribución de probabilidad esperada de los símbolos de IQ del dominio de frecuencia. En implementaciones, la CU cuantifica los componentes reales e imaginarios de los símbolos de IQ del dominio de frecuencia en serie y transmite los datos binarios que representan los símbolos de IQ cuantificados para cada antena 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 utilizan la información sobre la tasa R y el tamaño de paso Δ para reconstruir los símbolos de IQ del dominio de frecuencia basándose en los datos recibidos 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 modificadas a las RU. En el ejemplo con LTE de FDD de 10 MHz que tiene 2 antenas TX por RU y un cuantificador fijo de 12 bits, el flujo IQ de dominio de frecuencia cuantificado tiene una tasa de datos de 403 Mb/s entre la CU y las RU.

*Cuantificación adaptativa de tamaño de paso*

15 En lugar de aplicar un tamaño de paso de cuantificador fijo Δ, en este método de ejemplo, el tamaño del paso varía dinámicamente basándose en los niveles de energía promedio de los canales de enlace descendente, que pueden ser diferentes para diferentes canales. El ajuste dinámico del tamaño del paso del cuantificador puede reducir los errores de cuantificación de la media cuadrática promedio para una tasa de bits R dada del cuantificador. En algunas implementaciones, el tamaño de paso ajustado dinámicamente también se puede usar para reducir la tasa de cuantificador R sin aumentar el error de cuantificación.

20 La información sobre los tamaños de paso del cuantificador ajustados dinámicamente está contenida en la información secundaria que una CU envía a las RU. Las RU pueden reconstruir los símbolos cuantificados del dominio de frecuencia IQ basándose en la información del tamaño del paso. En algunas implementaciones, la CU envía cierta 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 del 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 real del cuantificador se envía antes de cada REG (en la región de control) o antes de enviar cualquier dato de PDSCH en cada PRB (en la región PDSCH). Los niveles de energía PDSCH pueden ser diferentes en el 4º símbolo de OFDM de un intervalo de tiempo. Por consiguiente, se pueden enviar dos tamaños de paso por PRB. La transmisión de información secundaria se puede distribuir a través de la subtrama de manera uniforme para reducir la tasa de datos pico. Cuando cada tamaño de paso está representado por un índice de 12 bits, la información secundaria toma menos de 5 Mb/s de capacidad de enlace.

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

40 La tasa R del cuantificador se elige de modo que el ruido de cuantificación no afecte el rendimiento del receptor del UE, incluso cuando se utiliza el MCS (esquema de modulación y codificación) más exigente (p. ej., el más sensible al ruido) en PDSCH. En algunas implementaciones, un cuantificador de 9 o 10 bits ofrece una SQNR (relación de señal a ruido de cuantificación) en el rango de 50-60 dB, que es más de 20 dB más alto que la SINR objetivo (relación de señal a interferencia más ruido) requerida para 64-QAM sin codificar. Una tasa de 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 % en relación con la tasa de datos máxima en el Método I.

*Tasa adaptativa y cuantificación de tamaño de paso*

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

50 La relación entre la tasa de cuantificador R y el rendimiento del canal de enlace descendente se explica a continuación utilizando un escenario de ejemplo en el que cada UE tiene una antena RX y cada RU tiene una antena TX. Los análisis y los cálculos pueden extenderse fácilmente a los UE y las RU que tienen más de una antena. En el ejemplo, el símbolo de IQ de dominio de frecuencia r recibido por el UE se puede escribir como:

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

55 donde s representa un símbolo de IQ de dominio de frecuencia de valor complejo que tiene una energía promedio  $E_s$ , h es la ganancia del canal del dominio de frecuencia de valor complejo correspondiente, q es el ruido de cuantificación, e i y w representan la interferencia recibida y el ruido térmico, respectivamente. La relación de ruido de señal a

cuantificación del cuantificador, SQNR, se define como  $E_s/MI_q$ , donde  $E_q$  es la energía promedio del ruido de cuantificación.

La relación señal a interferencia más ruido (SINR) recibida en el UE se indica como SINR' y se puede escribir como:

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

5 donde SINR =  $E_s \times |h|^2 / (E_i + E_w)$  es la SINR recibido 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. Basándose en la ecuación para SINR', cuando  $\text{SQNR} \gg \text{SINR}$ ,  $\text{SINR}' \approx \text{SINR}$ . En otras palabras, en este ejemplo, el ruido de cuantificación no tiene un impacto sustancial o notable en el rendimiento de la señal recibida en el UE cuando  $\text{SQNR} \gg \text{SINR}$ .

10 En este ejemplo, la SQNR aumenta con la tasa del cuantificador R, p. ej., en aproximadamente 6 dB por cada incremento de R en 1 cuando R es grande. Si  $\text{SINR}_{\text{objetivo}}$  representa la SINR deseada requerida en el UE para un MCS (esquema de modulación y codificación) dado para una recepción confiable, la implementación de la cuantificación no hace que la SINR' caiga notablemente por debajo de la SINR objetivo cuando se elige la tasa de cuantificador R de manera que  $\text{SQNR} \gg \text{SINR}_{\text{objetivo}}$ . Por consiguiente, cuando la SINR objetivo para un formato de modulación es baja, la tasa R (p. ej., la precisión) del cuantificador puede reducirse.

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

20 Similar al Método II, la CU envía información secundaria que contiene información sobre el tamaño del paso del cuantificador a las RU para ayudar a las RU a reconstruir los símbolos de IQ del dominio de frecuencia a partir de los bits de datos recibidos. 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 CS-RS y CSI-RS. Variando dinámicamente la tasa del cuantificador y el tamaño del paso puede reducir el ruido de cuantificación causado por una tasa de cuantificador promedio fija. Como alternativa, cuando una cierta cantidad promedio de ruido de cuantificación es permisible para las transmisiones de señal, la tasa de cuantificación promedio se puede reducir cuando la tasa de cuantificación se ajusta dinámicamente en lugar de estar fijada.

25 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 por REG o PRB no utilizados. Por ejemplo, cuando solo el 50 % de los REG y PRB en un intervalo de tiempo están en uso, p. ej., transportando datos, la tasa de datos promedio se reduce aún más en un 50 %.

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

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

#### 45 *Compresión a nivel de modulación*

En este cuarto método de compresión de ejemplo, la CU envía los símbolos de IQ del dominio de frecuencia en forma de datos binarios basados en la estructura de los símbolos de IQ del dominio de frecuencia conocidos por la CU y sin implementar ninguna cuantificación. Como se analizó anteriormente, los símbolos de IQ de dominio de frecuencia pertenecen a una constelación de señal de amplitud discreta, o pueden derivarse transformando símbolos de modulación elegidos de una constelación de señal de amplitud discreta. Al enviar datos binarios que representan las señales de amplitud discreta junto con la información secundaria requerida para aplicar las transformaciones requeridas, el controlador puede evitar el ruido de cuantificación.

55 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 transmiten los símbolos en el transcurso de la comunicación. 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 intervalo de tiempo, la CU envía algunas porciones de información secundaria a las RU. Otras partes 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 de PDSCH de ese intervalo de tiempo. Las RU analizan los datos recibidos y reconstruyen los símbolos de IQ del dominio de frecuencia basándose en 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 error hacia delante se implementa en la CU, mientras que las funciones de precodificación e IFFT se implementan en las RU. El procesamiento del enlace descendente puede dividirse entre la CU y la RU de muchas otras maneras. En algunas implementaciones, incluso es posible mover todo el procesamiento del módem de 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. En algunas implementaciones, esto reducirá, p. ej., 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 una llamada FAPI (Interfaz de Plataforma de Aplicación Femto) desarrollada por Small Cell Forum, excepto que la FAPI se implementará a través de una red Ethernet.

En algunas implementaciones que utilizan la agregación de portadoras de enlace descendente, por ejemplo, al agregar portadoras con licencia o una combinación de portadoras con licencia y sin licencia, las RU pueden implementar las funciones de capa 1 de enlace descendente para múltiples portadoras. En tales ejemplos, la interfaz entre el controlador y la unidad remota puede soportar la transmisión de datos de bloque de transporte de PDSCH e información de control para múltiples portadoras.

A continuación, se describe la representación de símbolos de IQ de dominio de frecuencia por datos binarios para cada tipo de canal de enlace descendente.

#### *Símbolos de referencia de CS-RS*

Los símbolos de referencia de CS-RS son símbolos binarios de valores complejos elegidos de una constelación QPSK, cuya ganancia puede permanecer constante durante la subtrama. Cuando cada RU tiene múltiples antenas TX, los símbolos de referencia de CS-RS también incluyen símbolos "cero" para evitar interferencias entre las antenas. Los símbolos de referencia de CS-RS en diferentes antenas difieren solo en sus posiciones relativas en la cuadrícula de recursos (véanse, p. ej., 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 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 aprenden sobre las posiciones de todos los símbolos de referencia de CS-RS en la cuadrícula de recursos para todas las antenas TX, excepto un desplazamiento de índice de frecuencia fijo entre 0 y 5. El desplazamiento del índice de frecuencia depende de la ID de célula. Basándose en el desplazamiento del índice de frecuencia, las RU pueden determinar la posición de los RE cero, para los cuales no es necesario enviar bits de datos. Para los RE de CS-RS distintos de cero, dos bits son suficientes para representar cada símbolo de CS-RS. Las RU que reciben los datos binarios, dos bits para cada RE pueden reconstruir el símbolo de IQ insertando los símbolos de CS-RS correctos de valor complejo y los RE "cero" en la cuadrícula de recursos para cada antena TX basándose en la información secundaria.

#### *Símbolos de referencia de CSI-RS*

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

#### *Símbolos de control*

Los símbolos de IQ de dominio de frecuencia en la región de control (p. ej., Los primeros 1-3 símbolos de OFDM designados) que no se utilizan por CS-RS pertenecen a PCFICH, PHICH o PDCCH. En algunas implementaciones, los símbolos de control están representados por datos binarios en una base por REG. Cada REG tiene 4 RE que son contiguos, a excepción de los símbolos de referencia CS-RS insertados en el medio. Cada canal de control se transporta en múltiples REG que se distribuyen en frecuencia (p. ej., los REG están ubicados 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 recibidos. La información secundaria se envía por REG y puede incluir datos de 2 bits para representar el tipo de canal (p. ej., PDCCH, PCFICH, PHICH o no utilizado) 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

una longitud de la región de control. En algunas implementaciones, para procesar las señales recibidas, las RU no necesitan conocer de antemano la ubicación de los diferentes canales de control en la región de control.

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

10 El PHICH puede representarse mediante datos binarios basándose en el hecho de que los símbolos de dominio de frecuencia transmitidos para PHICH también se eligen de una constelación de señal discreta. Cada PHICH representa información de 1 bit de ACK/NAK (acuse de recibo/acuse de recibo negativo) para HARQ (solicitud de repetición automática híbrida) de enlace ascendente. El bit de PHICH se codifica en una secuencia de 12 símbolos de valor complejo elegida de una constelación de señal de BPSK binaria con una rotación de 45 grados. La CU puede transmitir datos binarios que representan hasta 8 bits de PHICH juntos en un grupo de PHICH. Para la transmisión, los símbolos de valor complejo que representan todos los bits de PHICH en el grupo PHICH se suman para obtener 12 símbolos de grupo de PHICH de valor complejo. Como puede verse, estos símbolos se eligen de una constelación de amplitud discreta. Los componentes reales e imaginarios de los 12 símbolos del grupo de PHICH de valor complejo pueden representarse cada uno con un número entero en el intervalo  $[-6, 6]$ , junto con una ganancia que puede permanecer constante durante la subtrama. Los 12 símbolos del grupo de PHICH de valor complejo se asignan a 3 REG, p. ej., 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 representado por un índice de 12 bits, seguido de datos de 8 bits que representan los componentes reales e imaginarios de cada símbolo de grupo de PHICH de valor complejo antes de aplicar la diversidad de TX. Las RU pueden usar la información recibida para aplicar la diversidad de TX y reconstruir los símbolos de IQ del dominio de frecuencia para todas las antenas de TX.

25 En algunas implementaciones, los símbolos de PHICH también se pueden transmitir utilizando una representación de 16 bits de los componentes reales e imaginarios de los símbolos de IQ de dominio de 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 de IQ de dominio de frecuencia de una manera más sencilla.

30 PCFICH y PDCCH también pueden representarse fácilmente mediante datos binarios y transmitirse desde la CU a las RU. En particular, cada REG para PCFICH o PDCCH lleva 4 símbolos de QPSK, que se envían en múltiples antenas de TX utilizando 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.

#### *Símbolos de PDSCH*

35 PDSCH utiliza la mayoría de los RE en los símbolos de OFDM que están fuera de la región de control, excepto que el PBCH utiliza las 72 subportadoras centrales en los primeros 4 símbolos de OFDM en el primer intervalo de tiempo de cada trama de radio de 10 ms, y que la PSS/SSS utiliza las 72 subportadoras centrales en los últimos 2 símbolos de OFDM en los intervalos de tiempo 0 y 10 de cada trama de radio de 10 ms. Los símbolos de PDSCH para la transmisión de una sola antena tienen valores complejos y se eligen de una constelación QPSK, 16-QAM o 64-QAM, que puede representarse con 2, 4 o 6 bits de datos, respectivamente. La ganancia de un símbolo de PDSCH dado puede permanecer constante durante la subtrama (excepto posiblemente en el 4º símbolo de OFDM de cada intervalo de tiempo), y la ganancia para diferentes canales de PDSCH puede ser diferente. Los recursos asignados a cada PDSCH se encuentran 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 supone que el PDSCH cambia en cada límite de PRB y envía información secundaria a las RU en una base por PRB. La actualización de la información secundaria en una base por PRB puede simplificar el funcionamiento de las RU al reconstruir los símbolos de PDSCH. En otras implementaciones, se utiliza la asignación de recursos ubicados y la CU envía información secundaria en una base por canal, que es menos frecuente que el envío de la información secundaria en una base por PRB.

50 Para fines de análisis, se supone que la CU envía la información secundaria por PRB antes de enviar el primer símbolo de OFDM del intervalo de tiempo fuera de la región de control. La información secundaria incluye un índice de 1 bit que indica si los símbolos PDSCH están presentes o no para la transmisión y otro índice de 1 bit que indica la presencia de PSS/SSS en intervalos de tiempo pares o la presencia de PBCH en intervalos de tiempo impares. La información secundaria también incluye un índice de 2 bits que representa el orden de modulación (BPSK para DM-RS, QPSK, 16-QAM o 64-QAM), un índice de 4 bits que representa el modo de transmisión de PDSCH (p. ej., figura 8, TM N.º 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 N.º 9). La información secundaria es seguida por datos binarios que representan los símbolos de modulación de PDSCH.

Las RU utilizan la información secundaria para completar las operaciones del módem de banda base y para generar

los símbolos de IQ del dominio de 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 utilizando la misma ganancia que los símbolos de PDSCH. Por consiguiente, no se puede requerir un tratamiento especial para los RE de DM-RS.

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

10 Cuando se utilizan varias antenas para un PDSCH, la CU puede reducir la cantidad de datos que necesitan enviarse a las RU basándose en el conocimiento de la estructura subyacente del transmisor de múltiples antenas. Los símbolos de IQ de dominio de frecuencia en la diversidad TX se eligen de una constelación QAM, y al menos algunos de estos símbolos de IQ dependen unos de otros. Por ejemplo, un grupo de  $N^2$  símbolos de IQ de dominio de frecuencia transmitidos en N antenas TX puede derivarse de N símbolos de modulación de entrada, que se eligen de una constelación de valores complejos de amplitud discreta, utilizando operaciones como cambios de signos o conjugaciones complejas. Por consiguiente, en lugar de enviar información para  $N \times N = N^2$  símbolos de IQ de dominio de frecuencia, la CU puede enviar información para los N símbolos de modulación de entrada e indicar que se utiliza la diversidad TX. Las RU pueden implementar las operaciones de diversidad de TX para producir los  $N^2$  símbolos para transmisión en N subportadoras en N antenas de TX. Como resultado, la tasa de datos entre la CU y las RU no aumenta cuando aumenta el número de antenas de TX.

- 20 En general, los símbolos de IQ de dominio de frecuencia para un transmisor MIMO de N antena se pueden escribir como:

$$Y = P X,$$

donde X es un vector de entrada de PDSCH K dimensional cuyos componentes se eligen de la constelación de señal 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 bits de datos que representan los K símbolos de modulación 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 solo envía la matriz de precodificación una vez por PRB en lugar de una vez por cada símbolo de OFDM.

30 Para la versión 8 de MIMO de bucle cerrado, la matriz de precodificación se elige de un conjunto fijo y la matriz de precodificación se puede representar 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) (suponiendo que haya 2 antenas de TX).

35 La tasa de datos para los símbolos de IQ del dominio de frecuencia puede reducirse significativamente cuando el número de capas K es menor que el número de las N antenas de TX. La tasa de datos aumenta con el número de capas. Sin embargo, incluso cuando  $K = N$  (p. ej., multiplexación espacial de rango completo), el envío de datos binarios que representan los símbolos de modulación QAM en lugar del envío de los símbolos de IQ de dominio de 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 de PDSCH es K veces la tasa de datos para una sola capa.

#### Otros símbolos

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

#### Compendio

50 En los métodos descritos anteriormente, las funciones de módem de banda base de enlace descendente se dividen entre las CU y las RU de tal manera que reducen la tasa de datos en la red Ethernet, mientras se mantiene la complejidad de procesamiento muy baja en las RU. Por ejemplo, utilizando la partición específica descrita anteriormente, la tasa de bits en la red Ethernet se puede reducir a alrededor de 100 Mb/s para dos antenas de transmisión y transmisión de PDSCH de dos capas. La tasa de datos real será aún menor cuando los recursos del enlace aéreo no se utilicen al 100 %. Además de una tasa de bits más baja, el método también elimina el ruido de cuantificación por completo. Son posibles otras formas 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.

55

*Compresión de enlace ascendente dentro de una célula*

En algunas implementaciones, el enlace ascendente de LTE en las redes de radio de ejemplo descritas en la pm es diferente del enlace descendente en muchos aspectos. Por ejemplo, las señales de enlace ascendente recibidas por diferentes RU en la misma célula no son idénticas. Las diferentes señales de enlace ascendente pueden tener diferentes ganancias de canal, niveles de ruido e interferencia que el controlador puede aprovechar para obtener ganancias de potencia y diversidad. Sin embargo, cuando una célula contiene múltiples RU y todas las RU envían sus señales recibidas a la CU, la CU recibe una cantidad mayor de datos en el enlace ascendente que la que difunde a las RU en el enlace descendente.

De manera similar a las técnicas utilizadas en la compresión del enlace descendente, las técnicas para la compresión del enlace ascendente también tienen en cuenta una o más de las siguientes diferencias adicionales entre el enlace ascendente y el enlace descendente. En primer lugar, en el enlace ascendente, sin demodulación y decodificación completas, las RU no pueden conocer con precisión los símbolos de modulación de amplitud discreta transmitidos por los UE.

En segundo lugar, 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 OFDMA utilizado en el enlace descendente. En lugar de utilizar los símbolos modulados o sus versiones precodificadas como símbolos de IQ en el dominio de la frecuencia, los símbolos de modulación en SC-FDMA son señales en el dominio del tiempo. El UE transforma estas señales en el dominio del tiempo en símbolos de IQ en el dominio de la frecuencia utilizando una DFT (Transformada de Fourier Discreta). En comparación con los símbolos en el enlace descendente, los símbolos de IQ de dominio de frecuencia obtenidos de la transformación DFT pueden exhibir estadísticas gaussianas menos uniformes y más truncadas, especialmente cuando al UE se le asignan muchos RB.

En el enlace ascendente, los recursos en un PRB se asignan de manera contigua, y se puede utilizar el salto de frecuencia entre dos intervalos de tiempo de una subtrama. Como ejemplo, los PRB de PUSCH (con DM-RS en el medio) asignados a un UE son consecutivos y pueden saltar entre los intervalos 0 y 1 con un hueco conocido entre ellos. El 4º símbolo de OFDM de cada PRB de PUSCH asignado es DM-RS. La SRS, si está presente, se transmite en el último símbolo de la subtrama, p. ej., en cada otra subportadora. Las transmisiones de PUCCH incluyen símbolos de QPSK que modulan una secuencia de fase compleja y una cobertura ortogonal transmitida a través de dos PRB en los bordes opuestos de una banda. En algunas implementaciones, múltiples UE pueden transmitir señales de PUCCH en los mismos PRB en la misma subtrama. Los primeros pares PRB L (que es un número entero) transportan transmisiones CQI / PMI / RI, posiblemente junto con ACK/NAK de HARQ, utilizando el formato 2. Se encuentran disponibles pares de PRB adicionales para ACK/NAK de HARQ y solicitudes de programación.

Con referencia a la figura 8, para la transmisión de PUSCH, un UE 1204 modula 1200 y transforma 1210 símbolos de dominio de tiempo  $x$  1202 en símbolos de dominio de frecuencia  $s$  1203, realiza un mapeo 1212 de recursos, y a continuación realiza una IFFT 1214 completa para generar las señales de dominio del tiempo para transmisión en el transcurso de la comunicación a las RU. Una o más RU 1206 en una célula reciben las señales transmitidas a través de uno o más canales 1208 a través de sus antenas, aplican procesamiento de RF para generar las señales de IQ recibidas en el dominio del tiempo y aplican una FFT 1220, 1222 para producir las señales de IQ del dominio de la frecuencia recibidas  $r_1$  1216,  $r_2$  1218.

Suponiendo que una célula incluye K RU, donde K es un número entero positivo, y que la RU de orden k tiene dos antenas para recibir señales (antenas de RX) de un UE que tiene una antena de TX para transmitir las señales, el símbolo de IQ del dominio de frecuencia,  $r_{ki}$ , recibido en la antena de RX de orden l (l = 1 o 2) de la RU de orden k en alguna posición de frecuencia fija en un símbolo de OFDM se puede expresar de las siguientes formas:

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

$$r_{k2} = s \times h_{k2} + i_{k2} + w_{k2},$$

donde s es el símbolo de IQ de dominio de frecuencia transmitido por el UE (véase, p. ej., 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 células,  $w_{k1}$  y  $w_{k2}$  son ruido térmico, respectivamente para las dos antenas de RX.

Los niveles de energía totales de los símbolos recibidos  $r_{k1}$  y  $r_{k2}$  en la RU de orden k son:

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

donde l=1, 2,  $E_s \times |h_{kl}|^2$ ,  $E_{i,kl}$  e  $E_{w,kl}$  representan la energía promedio de los símbolos recibidos y la energía promedio de la interferencia y el ruido recibidos a través de la antena de recepción de orden l de RU de orden k, respectivamente. Generalmente, las energías promedio de los símbolos recibidos,  $E_s |h_{kl}|^2$ , son diferentes en diferentes canales de enlace ascendente porque la SINR requerida en estos canales cambia basándose en el formato de PUCCH (formato 1, 1a, 1b, 2, 2a, 2b) y el MCS de PUSCH (p. ej., QPSK o 64-QAM). La energía de interferencia, que se causa por otras transmisiones de UE en células cercanas, también puede variar entre diferentes PRB, lo que puede causar variaciones adicionales en los niveles de energía de los símbolos recibidos en las RU.

Las RU implementan la compresión del enlace ascendente utilizando un cuantificador para reducir la tasa de datos de transmisiones de las RU a las CU. Para fines de análisis, asumimos que el cuantificador es un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa  $R_{kl}$  y un tamaño de paso  $\Delta_{kl}$  y cuantifica los componentes reales e imaginarios de los símbolos de IQ de dominio de frecuencia recibidos independientemente en la antena de orden  $l$  de la RU de orden  $k$ .  
 5 Otras técnicas de cuantificación, como la cuantificación escalar no uniforme o la cuantificación vectorial, también se pueden usar con las técnicas descritas en la presente memoria.

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 recibido  $r_{kl}$ :

10 
$$r_{kl}' = s \times h_{kl} + i_{kl} + w_{kl} + q_{kl},$$

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

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

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

15 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 suponiendo que el ruido y la interferencia recibidos en todas las antenas no estén correlacionados, el rendimiento de un receptor en la CU para MRC (un combinador de relación máxima) puede representarse por la SINR efectiva:

20 
$$SINR = \sum_k (SINR_{k1} + SINR_{k2}),$$

donde  $SINR_{kl} = E_s \times |h_{kl}|^2 / (E_{i,kl} + E_{w,kl})$  es la SINR en la antena de RX de orden  $l$  de la RU de orden  $k$ .

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

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

30 
$$SINR' = \sum_k (SINR_{k1}' + SINR_{k2}'),$$
  
 donde  $SINR_{kl}' = E_s \times |h_{kl}|^2 / (E_{i,kl} + E_{w,kl} + E_{q,kl})$   

$$= SINR_{kl} / (1 + (1 + SINR_{kl})/SQNR_{kl}).$$

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

35 
$$SQNR_{kl} \gg 1 + SINR_{kl},$$

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

40 La cantidad de degradación causada por el ruido de cuantificación distinto de cero en la  $SINR_{kl}$  efectiva para cada antena de la RU también se puede determinar utilizando la fórmula anterior. La cantidad se puede calcular como  $SINR_{kl}/SINR_{kl}'$ , que se puede escribir como una función de  $SQNR_{kl}/(1 + SINR_{kl})$ .

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

45

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

Tabla 1. Reducción en SINR<sub>kl</sub> debido al ruido de cuantificación.

*Métodos de cuantificación*

5 A continuación, se describen cuatro métodos de cuantificación de ejemplo diferentes para la compresión del enlace ascendente, con una relación de compresión creciente del Método I al Método IV.

*Cuantificación fija*

10 En este método de ejemplo, 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 de 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. Por consiguiente, 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 señal. La tasa de datos de 403 Mb/s entre la CU y las RU es relativamente alta. Cuando las K RU envían símbolos de IQ de dominio de frecuencia cuantificados a una tasa de datos de 403 Mbps hacia la CU para el mismo símbolo de OFDM, la tasa de bits agregada entre el conmutador Ethernet más cercano y la CU es  $K \times 403$  Mb/s, que puede ser relativamente alta para K grande.

15 *Cuantificación adaptativa de tamaño de paso*

En este método de ejemplo, la cuantificación se implementa utilizando un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa fija  $R_{kl} = R_0$  y un tamaño de paso  $\Delta_{kl}$  que se ajusta dinámicamente.

20 En algunas implementaciones, el tamaño del paso puede actualizarse en una base por PRB e independientemente para cada antena. Para cada símbolo de OFDM, los tamaños de paso  $\Delta_{kl}$  se varían individualmente para cada canal de enlace ascendente que utiliza recursos en ese símbolo de OFDM.

25 Por ejemplo,  $\Delta_{kl}$  se puede seleccionar basándose en la energía promedio de los símbolos de IQ de dominio de frecuencia recibidos en cada canal de enlace ascendente. En algunas implementaciones, la energía promedio de los símbolos de IQ en un canal dado se estima utilizando los símbolos que se cuantificarán en las RU. El tamaño del paso del cuantificador se puede ajustar a continuación basándose en una distribución supuesta de estos símbolos que se cuantificarán. En algunas implementaciones, la distribución se determina basándose en el tamaño de la DFT utilizada por el UE. En algunas implementaciones, la optimización del tamaño del paso de forma dinámica e independiente para cada canal puede permitir que las señales se transmitan desde las RU a la CU a una SQNR más alta a la misma tasa de datos. Además, la optimización del tamaño del paso de forma dinámica e independiente para cada canal se puede utilizar para reducir la tasa de datos sin reducir la SQNR.

30 En algunas implementaciones, puede no ser necesario variar el tamaño del paso del cuantificador  $\Delta_{kl}$  en cada símbolo de OFDM, p. ej., cuando la energía promedio de un símbolo recibido por la RU desde un UE no varía significativamente dentro de una subtrama. En tales implementaciones, el tamaño del paso para el primer símbolo de OFDM se determina usando los símbolos de IQ recibidos en el primer símbolo de OFDM, p. ej., para evitar el retardo. Cuando el número de símbolos disponibles es insuficiente para estimar con precisión la energía promedio en el primer símbolo de OFDM, 35 la estimación de energía promedio y el tamaño del paso se pueden perfeccionar en los símbolos de OFDM posteriores.

La tasa del cuantificador  $R_0$  se elige para que sea lo suficientemente alto como para 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 (suponiendo una entrada gaussiana), que es más de 20 dB más alto que la SINR mínima requerida para comunicaciones confiables en el MCS de enlace ascendente más alto.

40 Como se muestra en el Método I, una SQNR que está 20 dB por encima de la SINR mínima requerida permite que el receptor en la CU funcione con una degradación del rendimiento debido a la cuantificación de no más de 0,05 dB. Una tasa de cuantificador  $R_0$  de 10 puede producir una tasa de datos de 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 % mayor en comparación con la tasa de compresión del Método I. Debido a que la tasa del cuantificador  $R_0$  es fijo, todos los símbolos de IQ de 45 dominio de frecuencia recibidos por las RU, incluyendo los símbolos de 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 de cuantificador requerida para

lograr una SQNR deseada es menor que cuando el tamaño de paso no está optimizado.

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

Ejemplos de la información 1404 secundaria del enlace descendente, p. ej., los contenidos y tamaños, son los siguientes. Los PRB de PUSCH o PUCCH asignados al mismo canal son consecutivos, y los límites de canal para PUSCH y 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 (p. ej., PUSCH, PUCCH, SRS, PRACH, etc.) a las RU utilizando un índice de 2 bits para facilitar que las RU modelen la distribución estadística de los símbolos recibidos. 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, se puede indicar mediante un índice de 6 bits.

Basándose en el conocimiento de los límites del canal de PUSCH/PUCCH, las RU determinan para cada símbolo de OFDM la energía promedio de los símbolos de IQ de dominio de frecuencia recibidos que pertenecen al mismo canal (o desde el mismo UE). Las RU a continuación eligen el tamaño del paso  $\Delta_{kl}$  del cuantificador basado en la energía promedio determinada. En algunas implementaciones, una RU determina el tamaño de paso óptimo sin distinguir los diferentes tipos de canales (p. ej., PUSCH o PUCCH). En algunas implementaciones, una RU utiliza la información secundaria del enlace descendente sobre el tipo de canal para facilitar la elección del tamaño de paso óptimo sin ninguna medición relacionada con los símbolos de IQ del dominio de frecuencia recibidos (p. ej., energía promedio). Para la SRS, las RU pueden estimar la energía promedio en todo el símbolo de OFDM y determinar el tamaño de paso óptimo. Como alternativa, las RU pueden dividir las subportadoras en un símbolo de OFDM que transporta la SRS en subbandas y optimizar el tamaño del paso para cada subbanda. En algunas implementaciones, se puede usar un tamaño de paso predeterminado fijo para cuantificar la señal de SRS. Para el PRACH, el tamaño del paso puede determinarse basándose en el valor de potencia pico de la señal recibida, o puede fijarse.

La RU puede implementar la cuantificación escalar uniforme con tamaños de paso variables aplicando una ganancia  $\gamma_{kl}$  para normalizar la energía de los símbolos de IQ a cuantificar. Las RU a continuación cuantifican los componentes reales e imaginarios de los símbolos de IQ usando un cuantificador escalar uniforme que tiene un tamaño de paso fijo  $\Delta_{kl} = \Delta_1$ . En algunas implementaciones, los componentes real e imaginario son simétricos, y la misma ganancia y cuantificador escalar se pueden usar tanto para el componente real como para el imaginario.

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

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

#### *Tasa adaptativa y cuantificación de tamaño de paso*

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

La tasa del cuantificador se puede ajustar dinámicamente, por ejemplo, en una base por PRB. Como se analizó anteriormente, para los PRB que llevan símbolos de IQ de PUSCH desde un MCS relativamente bajo, se puede usar una tasa de cuantificador más baja que la tasa para los PRB que llevan símbolos de IQ de PUSCH desde un MCS relativamente alto. Del mismo modo, algunos PRB que llevan símbolos de PUCCH se pueden cuantificar a una tasa relativamente baja. La SINR requerida para estos PRB (para PUSCH o PUCCH) para proporcionar una recepción confiable en la CU puede ser relativamente baja. Por consiguiente, estos PRB pueden tolerar un nivel relativamente alto de ruido de cuantificación. Además, aquellos PRB que no llevan ningún dato no necesitan cuantificarse. La alta tolerancia al ruido de cuantificación y el número reducido de PRB que se cuantificarán en el enlace ascendente pueden ahorrar ancho de banda de transmisión entre las RU y la CU. El ajuste de la tasa del cuantificador basándose en estas consideraciones puede reducir la tasa de datos promedio en el enlace ascendente.

Como se analizó anteriormente, la tasa de cuantificador para cada antena de la RU se elige para que sea relativamente

alta, de modo que  $SQNR_{ki} \gg 1 + SINR_{ki}$ , donde  $SQNR_{ki}$  es la SQNR de cuantificador y la  $SINR_{ki}$  es la SINR de receptor para la antena de orden  $l$  de la RU de orden  $k$  de una célula. Cuando tal relación entre la  $SQNR_{ki}$  y la  $SINR_{ki}$  está satisfecho, el ruido de cuantificación es mucho más bajo que la interferencia más el ruido visto en la antena (antena de orden  $l$  de la RU de orden  $k$ ), y el efecto de la cuantificación en la  $SINR_{ki}$  es pequeño.

5 En algunas implementaciones, una RU no determina la  $SINR_{ki}$  por sí misma. En cambio, la RU aprende de la CU la  $SINR$ ,  $SINR_{objetivo}$ , en todas las antenas de la célula. La  $SINR_{objetivo}$  es una función del MCS usado en cada PRB. La CU utiliza el bucle de control de potencia para conducir las potencias de transmisión de un UE a un nivel de línea de base, y el UE ajusta la potencia de transmisión de la línea de base según el MCS utilizado en un PRB dado para que la SINR en el eNodo B sea aproximadamente igual la  $SINR_{objetivo}$ .

10 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 por debajo de la SINR objetivo. Cuando la CU controla la potencia de transmisión del UE mediante el seguimiento preciso de los cambios de canal, la SINR en el receptor de la CU es aproximadamente igual a  $SINR_{objetivo}$ . Además, cuando  $SQNR_{ki} \gg SINR_{objetivo} > SINR_{ki}$ ,  $SINR = \sum_k (SINR_{k1} + SINR_{k2}) \approx SINR_{objetivo}$ . En otras palabras, en algunas implementaciones, el ruido de cuantificación no reduce sustancialmente la SINR en el receptor de la CU cuando la tasa del cuantificador se elige de modo que  $SQNR \gg SINR_{objetivo}$ .

En resumen, en algunas implementaciones, seleccionando la tasa de cuantificador de modo que  $SQNR_{ki} \gg SINR_{objetivo}$ , una RU puede cuantificar los símbolos de IQ sin producir ruido de cuantificación que afecte sustancialmente el rendimiento del receptor de CU o impida una comunicación confiable entre la CU y la RU.

20 En las técnicas de ejemplo descritas anteriormente, para un PRB dado, las RU en la misma célula usan la misma tasa de cuantificador para todas las antenas. En algunas implementaciones, las SINR de diferentes antenas ( $SINR_{ki}$ ) puede ser significativamente diferentes. En tales implementaciones, se pueden elegir diferentes tasas de cuantificador para antenas que tienen diferentes  $SINR_{ki}$  en la misma célula. Por ejemplo, las tasas de cuantificador se pueden elegir para que la SQNR sea proporcional a  $1 + SINR_{ki}$ . En particular, la tasa del cuantificador para la antena con una  $SINR_{ki}$  más baja puede elegirse para que sea inferior a la tasa de cuantificador para una antena con una  $SINR_{ki}$  más alta. En algunas implementaciones, cuando la  $SINR_{ki}$  de algunas antenas es demasiado baja en relación con la SINR total, es un desperdicio que las RU a las que pertenecen esas antenas transmitan los símbolos de IQ recibidos 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 a la SINR general en la CU y purgan o depuran las señales (lo que equivale a usar una tasa de cuantificador de "0" para estas señales).

Una RU puede ajustar la tasa de cuantificador basándose en la  $SINR_{ki}$  visto en cada antena y adicionalmente, la diferencia entre la  $SINR_{ki}$  en sus diferentes antenas y la  $SINR_{ki}$  en otras antenas en la misma célula. En algunas implementaciones, la CU selecciona las RU de las cuales recibir símbolos. La CU también puede determinar la tasa de cuantificador para cada RU basándose en las transmisiones de UE anteriores. Por ejemplo, la CU establece que la tasa de cuantificador para que sea cero para una antena cuando determina que la  $SINR_{ki}$  de esa antena contribuye a menos del 5% de la SINR total.

35 En algunas implementaciones, la CU determina la tasa del cuantificador para cada antena en una base por UE en el momento en que el UE transmite un preámbulo de PRACH. Se puede requerir que todas las RU envíen todas las señales de preámbulo de PRACH a la CU para que la CU pueda hacer una determinación inicial de la  $SINR_{ki}$  para cada antena. A continuación, la CU puede seleccionar la tasa de 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 cuales la CU recibe señales de PUSCH o PUCCH transmitidas por un UE en una subtrama reciente. Para las RU cuyas transmisiones para un UE se purgan, la CU puede determinar una tasa de cuantificador basándose en la SRS enviada por el UE a intervalos regulares. Se pueden requerir todas las RU para transmitir la SRS.

Basándose en las señales de preámbulo de SRS y PRACH, la CU puede determinar la tasa del cuantificador para todas las RU en una célula. Además, la CU puede solicitar periódicamente a las RU que previamente hayan purgado las transmisiones del UE para enviar símbolos de IQ y utilizar los símbolos de 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 enviados desde las RU a la CU se puede reducir significativamente, especialmente cuando hay muchas RU en una célula.

55 En algunas implementaciones, las señales de purga en el PUCCH pueden ser difíciles cuando varios UE comparten los mismos recursos de PUCCH. En tales implementaciones, los símbolos en el PUCCH se transmiten sin purgar. La tasa de transmisión del enlace ascendente no se ve sustancialmente afectada porque el PUCCH ocupa un porcentaje variable pero relativamente pequeño de los recursos del enlace ascendente. En algunas implementaciones, se puede usar una tasa de cuantificador fija para todas las antenas en los PRB asignados al PUCCH, incluso cuando las transmisiones de PUCCH implementan diversidad de transmisión en la que se puede enviar la misma información de control utilizando diferentes recursos. En algunas implementaciones, se pueden usar otros esquemas de purga y cuantificación, p. ej., más sofisticados, para el PUCCH cuando la red de radio tiene un número muy grande (p. ej., 16

o mayor) de RU en la célula.

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

Similar al Método II, la CU envía la información secundaria asociada con la subtrama N de enlace ascendente en la subtrama N-4 de enlace descendente (véase, p. ej., la figura 10). Las RU utilizan la información secundaria recibida en la subtrama N-4 de enlace descendente para seleccionar el tamaño de paso del cuantificador para cada PRB en la subtrama de enlace ascendente N. Los tamaños de paso están optimizados de manera similar al Método II, p. ej., basándose en la energía promedio medida y la distribución de probabilidad estimada de los símbolos de IQ recibidos. Las RU envían el tamaño de paso seleccionado para cada cuantificador a la CU al comienzo de cada símbolo de OFDM antes de transmitir los símbolos de IQ cuantificados. En general, se utiliza poca capacidad de enlace ascendente para enviar la información secundaria para los tamaños de paso.

La cuantificación basada en el Método III puede no reducir la tasa pico de los datos de IQ del enlace ascendente en comparación con el Método II. Sin embargo, el método puede reducir significativamente la tasa de bits promedio. Como ejemplo, la tasa de bits promedio se puede reducir en más del 50 %, cuando solo el 50 % de los recursos del enlace ascendente están en uso. La adaptación de la tasa del cuantificador utilizando las técnicas de este método puede ayudar a reducir la tasa de datos promedio del enlace ascendente y la carga en los conmutadores Ethernet.

*Cuantificación predictiva*

En los Métodos I, II y III de ejemplo previamente descritos, las señales recibidas en diferentes antenas de la misma RU se tratan como no correlacionadas. En este cuarto método de ejemplo, cuando el número de antenas de recepción es mayor que el número de capas enviadas por un UE en multiplexación espacial, la correlación entre las señales recibidas en diferentes antenas de la misma RU se utiliza para reducir aún más la tasa del cuantificador para las transmisiones de PUSCH. En la versión 10 de la norma LTE, el UE puede transmitir en múltiples puertos de antena. Para fines de análisis, se supone que el UE transmite en el PUSCH usando un solo puerto de antena de transmisión.

Como se mostró anteriormente, las señales recibidas por las dos antenas de la RU de orden k en una célula se puede representar como:

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

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

Además,  $r_{k2}$  se puede expresar según la siguiente ecuación predictiva:

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

donde el coeficiente de predicción  $a_{k2}$  es dado por:

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

y  $z_{k2}$  es el error de predicción y se puede escribir como:

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

Una RU puede estimar el coeficiente de predicción  $a_{k2}$  calculando la correlación promedio entre las señales recibidas en las dos antenas y dividiendo a continuación el resultado por la energía promedio de las señales recibidas en la segunda antena. La RU realiza la estimación en una base por UE basándose en la información recibida de la CU.

Con referencia a la figura 11, la RU en primer lugar cuantifica  $r_{k1}$  con un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa  $R_{k1}$  y un tamaño de paso  $\Delta_{k1}$  para obtener la primera señal cuantificada  $r_{k1}'$  1502, donde

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

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

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

En este punto  $q_{k2}$  es el ruido de cuantificación para el símbolo recibido 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  $R_{k1}$ ,  $R_{k2}$ ,  $\Delta_{k1}$  y  $\Delta_{k2}$ .

La CU en primer lugar reconstruye 1514, 1516 los símbolos cuantificados  $r_{k1}'$  y  $z_{k2}'$  y a continuación genera el símbolo cuantificado  $r_{k2}'$  1518 según

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

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

Nuevamente, la SINR en la CU se puede escribir como:

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

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

10 Para la primera antena, la  $\text{SINR}_{k1}'$  se puede escribir como:

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

Por consiguiente, en este ejemplo, cuando la tasa del cuantificador para la primera antena se elige de modo que  $\text{SQNR}_{k1} \gg 1 + \text{SINR}_{k1}$ , el ruido de cuantificación no afecta sustancialmente a la  $\text{SINR}_{k1}'$ . Del mismo modo, para la segunda antena, la  $\text{SINR}_{k2}'$  se puede escribir como:

15 
$$\text{SINR}_{k2}' = \text{SINR}_{k2} / (1 + [(1 + \text{SINR}_k)/(1 + \text{SINR}_{k1}) / \text{SQNR}_{k2}]).$$

En este punto la  $\text{SINR}_k = \text{SINR}_{k1}' + \text{SINR}_{k2}'$  y es la SINR total en la CU para la RU de orden k. Por consiguiente, en este ejemplo, cuando  $\text{SQNR}_{k2} \gg (1 + \text{SINR}_k) / (1 + \text{SINR}_{k1})$ , el ruido de cuantificación introducido por el segundo cuantificador no afecta sustancialmente a la  $\text{SINR}_{k2}'$ .

20 En algunas implementaciones, las dos antenas de una RU tienen la misma SINR, p. ej.,  $\text{SINR}_{k1} = \text{SINR}_{k2}$ , 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 de IQ resultante para la 2ª antena se reduce a aproximadamente 84-101 Mb/s, lo que representa una compresión de más del 50 %.

25 Para implementar la cuantificación predictiva, en algunas implementaciones, la CU estima los coeficientes de predicción, además de determinar la tasa de cuantificación basándose en la cuantificación predictiva. Los coeficientes estimados se pueden enviar a las RU en la información secundaria de enlace descendente. Como alternativa, la CU puede determinar la tasa del cuantificador como se analizó en el Método III y sin depender de la cuantificación predictiva. Las RU aplican la predicción y envían el coeficiente de predicción como parte de la información secundaria de enlace ascendente a la CU. En algunas implementaciones, la CU determina la tasa del cuantificador basándose en 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.

*Compresión de enlace ascendente del preámbulo de PRACH*

35 Cuando un UE inactivo tiene datos para enviar o recibir, el UE establece una conexión con el eNodo B enviando un preámbulo de PRACH al eNodo B en algunos PRB designados que se comparten por todos los UE en una célula. En algunas implementaciones, cada célula tiene 64 secuencias de preámbulo de PRACH compartidas, algunas de las cuales están designadas para su uso en acceso libre de contención y las otras se dividen en dos subconjuntos. En acceso libre de contención, el eNodo B asigna un preámbulo al UE. En otras situaciones, el UE selecciona uno de los dos subconjuntos basándose en la cantidad de datos a transmitir. El UE a continuación selecciona aleatoriamente una de las secuencias de preámbulo en el subconjunto seleccionado.

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

45 En general, los UE no están programados para transmitir PUSCH en los PRB asignados a PRACH. El CU puede usar HARQ no adaptativo en el enlace ascendente para evitar colisiones entre las retransmisiones de PRACH y HARQ. El HARQ no adaptativo cambia los RB utilizados en la transmisión para evitación de colisión. Las oportunidades de PRACH también se pueden elegir para que no se superpongan con las transmisiones de SRS o PUCCH. El UE selecciona la potencia de transmisión para el preámbulo de PRACH basándose en el control de potencia de bucle abierto donde el UE estima la pérdida de señal del enlace ascendente basándose en una medición de la pérdida de señal del enlace descendente y aumenta gradualmente la potencia de transmisión después de intentos fallidos.

La detección del preámbulo de PRACH puede implementarse parcialmente en la RU y parcialmente en la CU. En algunas implementaciones, las RU conocen la posición exacta de las oportunidades de PRACH y convierten los símbolos de IQ de dominio de tiempo recibidos (a 15,36 MHz para las normas de LTE de FDD de 10 MHz) en una secuencia de dominio de tiempo de tasa más baja (p. ej., una tasa de 1,28 MHz) usando un desplazamiento de frecuencia en el dominio del tiempo seguido de decimación. La secuencia resultante se convierte a continuación en dominio de frecuencia utilizando una FFT (p. ej., una FFT de 1024 puntos para las normas de LTE de FDD de 10 MHz). Se realiza una correlación de dominio de frecuencia entre la salida de FFT y la representación de dominio de frecuencia de la secuencia raíz Zadoff-Chu. Las 64 secuencias de preámbulo de PRACH se derivan usando un desplazamiento cíclico. La salida de valor complejo del correlacionador de dominio de frecuencia se convierte de nuevo en una secuencia de dominio de tiempo de valor complejo utilizando una IFFT (p. ej., una IFFT de 1024 puntos).

Las RU y la CU realizan los siguientes pasos para detectar el PRACH en colaboración. Por ejemplo, las RU pueden calcular una secuencia en el dominio del tiempo con valor real de 1024 muestras sumando los cuadrados de los componentes real e imaginario. Las RU pueden enviar esta información a la CU para su posterior procesamiento. La CU, al recibir la secuencia de potencia en el dominio del tiempo, realiza una detección de pico para determinar el desplazamiento cíclico del preámbulo. Dichas transmisiones de PRACH de 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.

Como alternativa, 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 de PRACH. En algunas implementaciones, las RU implementan la detección de pico, determinan el desplazamiento cíclico del preámbulo y envían a la CU la información del desplazamiento cíclico. La cantidad de datos transmitidos desde las RU a la CU para la detección de preámbulo de PRACH es pequeña. En el ejemplo de la LTE de FDD de 10 MHz, la cantidad de datos varía de unos pocos bits a 12-20 Mb/s, dependiendo de si se envían la potencia de valor real o las salidas de IFFT de valor complejo.

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

Para que las RU implementen correctamente la detección de preámbulo de PRACH, la CU puede proporcionar a las RU información de configuración, como el índice de configuración de PRACH, el desplazamiento de frecuencia de PRACH, la secuencia raíz ZADoff-Chu de 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 de PRACH se pueden cuantificar con un cuantificador de tasa fija, cuya tasa está predeterminada por la CU y se envían a las RU cuando las RU se conectan inicialmente a la CU. El tamaño del paso del cuantificador también puede ser fijo, o puede seleccionarse dinámicamente por las RU basándose en la energía promedio de la señal de PRACH recibida.

#### *Sincronización*

Con los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, puede haber requisitos de sincronización que pueden no ser aplicables a las estaciones base clásicas.

Como se explicó anteriormente, en algunos sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, algunas partes del procesamiento de banda base (p. ej., funcionalidad de módem) y el procesamiento de FFT/RF (p. ej., funcionalidad de radio) se dividen entre una CU central y múltiples RU (RU) que están conectadas a través de una red Ethernet conmutada (como se muestra en las figuras). En las estaciones base clásicas, un receptor GPS se usa típicamente para adquirir sincronización de tiempo y frecuencia y, dado que las funciones de módem y RF se ubican conjuntamente, se pueden sincronizar con el receptor GPS. En los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, en algunas implementaciones, un receptor GPS solo está disponible en la CU y no está disponible en las RU para mantener el coste del sistema bajo y evitar la complejidad de la instalación. La CU también puede adquirir sincronización de temporización y frecuencia de otras maneras, por ejemplo, desde un servidor de red o escuchando señales transmitidas por una estación base de macrocélula cercana. En algunas implementaciones, se utiliza un protocolo de transporte de temporización para transportar una fase de temporización absoluta estable y una referencia de frecuencia que se puede rastrear hasta el tiempo universal coordinado (UTC / GPS) desde la CU hasta las RU. El protocolo de transporte de temporización puede basarse en el protocolo IEEE1588. En algunas implementaciones, la frecuencia de reloj y la fase de temporización absoluta derivada de las RU deben ser lo suficientemente precisas para cumplir con los requisitos de sincronización de 3GPP y para garantizar que el rendimiento del UE no se vea notablemente afectado por ningún error de frecuencia o fase de temporización entre las RU y la CU y entre las mismas RU.

Para tratar con los retardos de paquetes variables en una red Ethernet, la alineación de tramas de la interfaz aérea de enlace descendente en la CU y la alineación de tramas de la interfaz aérea de enlace ascendente en las RU pueden avanzarse por  $T_{DL}$  y  $T_{UL}$  segundos con relación entre sí. En algunas implementaciones, estos avances de alineación de tramas  $T_{DL}$  y  $T_{UL}$  tienen que ser mayores 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 en 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 alineación de tramas  $T_{DL}$  y  $T_{UL}$ . Cuando el retardo real de la red que experimenta un paquete supera

el avance de la trama, se producirá un desbordamiento de la memoria intermedia y se perderán los paquetes de transporte de la capa física. Dicha pérdida se puede recuperar utilizando retransmisiones en capas de HARQ, RLP o TCP, pero a expensas de una eficiencia de transmisión reducida. Por lo tanto, en algunas implementaciones, es importante que ese flujo insuficiente ocurra raramente y no afecte la experiencia del usuario.

- 5 Una de las características de los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria es su capacidad para servir a los UE a través de múltiples RU que comparten la misma célula. Por ejemplo, como se describió anteriormente, múltiples RU pueden controlarse por una CU para definir una célula, en la que se pueden servir múltiples UE. La asignación de múltiples RU a la misma célula puede reducir el número de módems de banda base utilizados en la CU, evitar interferencias entre células y mejorar la intensidad de la señal a través de la macro-diversidad. Compartir la misma célula a través de múltiples RU puede reducir la capacidad del sistema de LTE disponible para usuarios individuales. En algunas implementaciones, mientras la carga celular permanezca por debajo del 50 % de la capacidad celular, no se producirá una degradación apreciable del rendimiento.

15 Para implementar la compartición de célula en los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria, en algunas implementaciones, las frecuencias de portadora relativas de las RU en la misma célula deben sincronizarse en frecuencia de una manera que sea más estricta que la precisión de frecuencia requerida de las RU individuales. En algunas implementaciones, sin una sincronización diferencial tan ajustada, el canal de enlace descendente efectivo visto por el UE puede variar en el tiempo de una manera similar a lo que sucede cuando hay movilidad y, como resultado, el rendimiento puede degradarse. Las variaciones de canal causadas por la movilidad o por el desplazamiento de frecuencia de portadora diferencial entre las RU dan como resultado una falta de coincidencia entre el canal medido utilizando las señales de referencia y el canal realmente experimentado cuando se demodula el símbolo de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) de LTE.

20 La sincronización de frecuencia de portadora diferencial estrecha de las RU como se describió anteriormente también puede requerirse entre las RU que pertenecen a diferentes células pero usan Multipunto Coordinado de enlace descendente de la Ver. 11 (CoMP de Rel. 11 o simplemente "CoMP"). En CoMP, en un borde de célula, típicamente, las señales de enlace descendente de dos o más RU que pueden pertenecer a diferentes células podrían recibirse en un UE, mientras que las transmisiones de enlace ascendente del UE también podrían recibirse por estas diversas RU. Si se pueden coordinar las transmisiones de enlace descendente a un UE dado, se puede mejorar el rendimiento del enlace descendente. Del mismo modo, si las transmisiones de enlace ascendente se pueden programar de manera coordinada, se puede mejorar el rendimiento del enlace ascendente. CoMP trata problemas como la mitigación de interferencias y las transmisiones de bits coordinadas a través de la interfaz aérea.

25 Cuando no se puede mantener una sincronización tan estrecha, el rendimiento de CoMP de la capa física del enlace descendente puede degradarse, las ganancias potenciales de CoMP pueden reducirse o perderse o incluso podrían volverse negativas. CoMP de enlace descendente es parte de la presente descripción, pero los requisitos de sincronización diferencial estrictos para algunas implementaciones de CoMP no son exclusivos de la presente descripción y también se aplican a otros sistemas de LTE que utilizan CoMP de enlace descendente.

30 Cuando múltiples RU comparten la misma célula, la fase de temporización de sus transmisiones también necesita sincronizarse. Esta sincronización también puede facilitar que la red de radio de esta descripción combine señales de enlace ascendente recibidas por diferentes RU en la CU. En algunas implementaciones, tales combinaciones requieren que todas las señales de múltiples trayectorias significativas recibidas por diferentes antenas caigan dentro de un intervalo de tiempo llamado prefijo cíclico. El prefijo cíclico corresponde a las primeras muestras de Ncp en un símbolo de OFDM que son una réplica de las últimas muestras de Ncp en el mismo símbolo. El prefijo cíclico asegura que la subportadora transmitida permanecerá ortogonal en el receptor, siempre y cuando la propagación de retardo del canal sea menor que el Ncp. Cuando múltiples RU comparten la misma célula y hay un desplazamiento de fase de temporización entre las RU, la suma de este desplazamiento y la propagación del retardo del canal inalámbrico pueden controlarse para no superar la longitud del prefijo cíclico. En la norma de LTE, el prefijo cíclico es de alrededor de 5 milisegundos. Por lo tanto, es deseable mantener el error de fase de temporización entre las RU mucho más pequeño que 5 milisegundos.

Después de una explicación de los requisitos de sincronización de ejemplo para algunas implementaciones, también hay una descripción de cómo se tratan estos requisitos.

- 50 A este respecto, la sincronización y las características descritas en el presente documento relacionadas con la misma, son implementaciones de ejemplo. Las diferentes implementaciones de los sistemas de ejemplo descritos en la presente memoria pueden emplear diferentes métodos de sincronización y variaciones en cualquiera y todos los métodos descritos en la presente memoria. Todos los requisitos especificados en esta descripción están relacionados con las implementaciones de ejemplo específicas descritas en la presente memoria únicamente, y no son requisitos de ningún método, aparato, sistema o producto de programa informático más general que pueda reivindicarse.

55 En una implementación de ejemplo de la presente descripción, las operaciones de banda base hasta la entrada FFT se realizan en la CU y las operaciones de banda base restantes (FFT, prefijo cíclico, etc.) y las radios se implementan en las RU. En otro ejemplo de implementación, en el enlace descendente, las operaciones de banda base hasta la modulación o el mapeo de capa se implementan en el controlador y las operaciones de banda base restantes se

implementan en las RU. Como se explicó anteriormente, la CU y las RU están separadas por una red Ethernet conmutada que transporta datos entre la CU y las RU en paquetes o tramas.

#### *Sincronización entre la CU y las RU*

5 En algunas implementaciones, hay un oscilador de cristal VCTCXO en los osciladores de cristal CU y VCTCXO en todas las RU. El VCTCXO en la CU se usa para generar relojes necesarios para el procesamiento de banda base en la CU y los VCTCXO en las RU se usan para generar relojes para convertidores analógico-digital-analógico (A/D/A), sintetizadores de RF y procesamiento de banda base realizado en las RU. En algunas implementaciones, solo la CU tiene un receptor GPS u otro mecanismo de sincronización de temporización que puede generar una referencia de reloj estable de frecuencia y con precisión de fase estables y, por lo tanto, existe la necesidad de proporcionar una referencia de reloj estable de frecuencia y con precisión de fase a los VCTCXO en las RU utilizando la sincronización de temporización basada en IEEE1588. Según lo descrito por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), la norma IEEE 1588 "define un protocolo que permite la sincronización precisa de relojes en sistemas de medición y control implementados con tecnologías 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".

15 IEEE1588 es un protocolo de indicación de tiempo, implementado sobre el 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 enviando una indicación de tiempo al esclavo en la RU. Esta indicación de tiempo lleva el tiempo T1 medido por el reloj maestro en el momento en que la indicación de tiempo sale de la interfaz Ethernet en la CU. El esclavo recibe esta indicación de tiempo cuando su reloj local está en el tiempo T1. La diferencia  $T1' - T1 = D_{DL} + \Delta$  es la suma del retardo de viaje unidireccional desconocido  $D_{DL}$  de la indicación de tiempo de la CU a la RU y el error de fase de reloj desconocido  $\Delta$  entre el reloj de referencia en la RU y el reloj de referencia en la CU. Para estimar (y cancelar) el retardo de enlace descendente unidireccional, el esclavo envía a la CU una segunda indicación de tiempo. Esta indicación de tiempo lleva el tiempo T2 medido por el reloj esclavo en el momento en que la indicación de tiempo sale de la interfaz Ethernet en la RU. El maestro marca el tiempo T2' en su reloj local cuando recibe la indicación de tiempo en la interfaz Ethernet en la CU y envía el valor T2' en un mensaje de respuesta al esclavo. La diferencia  $T2' - T2 = D_{UL} - \Delta$  es la suma del retardo de recorrido unidireccional desconocido de la indicación de tiempo desde la RU a la CU y el error de fase de reloj desconocido ( $-\Delta$ ) entre el reloj de referencia en la CU y el reloj de referencia en la RU. Si el retardo unidireccional en las dos direcciones fuera el mismo (p. ej.,  $D_{DL} = D_{UL}$ ) y la fase del reloj de referencia en la CU no se desvía con respecto al reloj de referencia en la RU durante el intercambio, el esclavo puede estimar el error de reloj  $\Delta$  eliminando el efecto de los retardos unidireccionales calculando:

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

35 Esta estimación de error de fase de reloj  $\Delta'$  puede usarse en la RU para producir una señal de referencia que rastrea de cerca la señal de referencia de temporización (p. ej., una señal derivada de GPS, 1 pulso por segundo (1PPS)) en la CU.

40 En algunas implementaciones, los retardos unidireccionales en las dos direcciones generalmente no son iguales, principalmente debido a los 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, como los conmutadores Ethernet, para medir los retardos en los que incurren los paquetes dentro del nodo e insertar esta parte del retardo en los paquetes de indicación de tiempo a medida que atraviesan el nodo. Tal soporte de 1588v2 por conmutadores Ethernet permitirá al esclavo estimar el retardo de ida y vuelta sin los retardos de red asimétricos dependientes de la carga y producir una estimación mucho más precisa del desplazamiento del reloj para controlar el Bucle de Fase Enganchada (PLL). Sin embargo, los conmutadores que soportan IEEE1588 tienden a ser más caros y, por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar métodos que puedan reducir o eliminar los efectos de los retardos de la red asimétrica.

En la medida en que los procesos IEEE1588v2 puedan usarse para llevar el error de fase de temporización a cero, el reloj de referencia en la RU puede estar perfectamente alineado en fase y frecuencia con el reloj de referencia en la CU, por ejemplo, una señal GPS de 1PPS.

50 En algunas implementaciones de los sistemas de ejemplo descritos en la pm, el VCTCXO en la CU se usa como el reloj maestro para generar las indicaciones de tiempo para el protocolo IEEE1588. El VCTCXO de la RU es disciplinado utilizando las indicaciones de tiempo recibidas por el esclavo IEEE1588. La transmisión y el procesamiento inteligente de la indicación de tiempo se pueden utilizar en la CU y las RU para reducir o eliminar la fluctuación de fase introducida por retardos de red Ethernet asimétricos aleatorios entre la CU y la RU. La temporización de la generación de la indicación de tiempo en la CU y en las RU está orquestado para reducir los retardos asimétricos. La generación y el procesamiento de la indicación de tiempo pueden implementarse en un sistema en chip (SoC) tanto en la CU como en la RU. La asistencia de hardware se utiliza en este proceso para reducir la posibilidad de que se introduzcan retardos asimétricos aleatorios en el procesamiento IEEE1588.

Si las CU y RU envían las indicaciones de tiempo de manera descoordinada, pueden experimentar diferentes retardos en el enlace ascendente y el enlace descendente debido a los diferentes niveles de contención que encuentran en las dos direcciones. Por ejemplo, si múltiples RU responden a una indicación de tiempo enviada por la CU a aproximadamente al mismo tiempo, las indicaciones de tiempo del enlace ascendente pueden experimentar retardos significativamente más largos que las indicaciones de tiempo enviadas en el enlace descendente. La contención entre las indicaciones de tiempo y los datos de IQ también puede contribuir a una mayor latencia y dicha latencia puede ser diferente en las dos direcciones.

Dos métricas que se pueden utilizar para evaluar la precisión del método de sincronización de temporización de IEEE1588 son el valor medio y la varianza de la estimación de error de reloj  $\Delta'$ :

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

donde  $E\{\}$  se refiere a la expectativa estadística o al valor medio de su argumento. En otras palabras, la media de la estimación de temporización  $\Delta'$  tiene una desviación fija que corresponde a la diferencia de retardo promedio entre el enlace ascendente y el enlace descendente, dividido por 2. Cuando las demoras promedio en el DL y 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 de  $1/2$  de la diferencia entre los retardos de DL y 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 estimado de la fase del reloj y el error real de la fase del reloj será mayor que la varianza de  $\Delta'$  por el cuadrado de la desviación:

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

En algunas implementaciones, es posible que la RU determine con precisión la relación entre los retardos UL y DL; p. ej.,  $D_{UL}/RE_{DL} = a$ . La RU puede modificar a continuación la fórmula para la estimación del error del reloj según:

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

En la medida en que el parámetro "a" se pueda determinar exactamente, se puede obtener una estimación perfecta del error de reloj sin desviación; p. ej.,  $E\{\Delta'\} = \Delta$  y  $\text{varianza}\{\Delta'\} = 0$ . En algunas implementaciones, es difícil conocer los retardos del enlace ascendente y del enlace descendente exactamente de manera consistente. A veces puede ser posible determinar una relación funcional entre el enlace ascendente y los retardos del enlace descendente en promedio. Por ejemplo, si existe 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 desviación  $E\{D_{DL} - D_{UL}\}/2$ . Por ejemplo, si  $D_2 = a D_1 + b$ , en otras palabras, el retardo promedio en la UL es una función lineal conocida del retardo promedio en el DL, entonces podemos reducir o eliminar la desviación 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, se puede demostrar que  $E\{\Delta'\} = \Delta$ , que es la estimación correcta sin desviación. Se puede observar que en el caso especial donde  $a = 1$  y  $b = 0$ , esto se reduce al caso en que los retardos promedio en UL y DL son los mismos y la estimación de temporización se reduce a la fórmula de estimación de temporización de la norma 1588.

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

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

Otro método para reducir el error de la fase de temporización de media cuadrática es reducir (p. ej., minimizar) tanto la media como la varianza del diferencial de retardo promedio entre el enlace ascendente y el enlace descendente controlando la transmisión de las indicaciones de tiempo entre sí y relativas a las transmisiones de datos de IQ entre la CU y la RU para evitar la contención en los conmutadores. A continuación, se describe un método de ejemplo que puede reducir los retardos en el enlace descendente y el enlace ascendente.

En este método, la CU y cada RU ejecuta múltiples intercambios de indicación de tiempo durante un intervalo de tiempo A dado, p. ej., 1 segundo. Por ejemplo, la CU y la RU pueden ejecutar 10 intercambios de indicación de tiempo durante un intervalo de 1 segundo, donde cada intercambio de indicación de tiempo utiliza 3 transmisiones de mensajes de IEEE1588 como se describió anteriormente. En algunas implementaciones, haciendo referencia a la figura 18, la CU envía 2502 su indicación de tiempo al comienzo del intervalo de símbolo de OFDM. A continuación, la CU a continuación espera 2504 durante algún período de tiempo preconfigurado antes de transmitir 2506 sus datos de IQ para permitir tiempo para que la indicación de tiempo viaje a través de los conmutadores. Las transmisiones de indicación de tiempo están asociadas con la más alta prioridad. Si una indicación de tiempo encuentra contención de datos IQ en los conmutadores, a lo sumo esperará la transmisión de los datos de IQ cuya transmisión ya ha comenzado. Al recibir 2508 la indicación de tiempo, la RU inicia la transmisión de su propia indicación de tiempo a

intervalos elegidos aleatoriamente más tarde. En algunas implementaciones, al recibir la indicación de tiempo de la CU, la RU puede esperar 2510 un intervalo de tiempo preconfigurado antes de transmitir 2512 la indicación de tiempo. El intervalo de tiempo preconfigurado también puede depender del tiempo en que se completa la transmisión de datos IQ de enlace ascendente propia de las RU. La CU, al recibir 2514 la indicación de tiempo de la RU, marca 2516 el tiempo en su reloj local y envía este tiempo medido a la RU en otro mensaje de IEEE1588. La RU al recibir 2520 este mensaje calcula 2522 una estimación del error de fase del reloj (o de manera equivalente, un desplazamiento del reloj), pero no hace ningún ajuste a 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 de reloj y actualiza 2524 su reloj basándose en la medición que corresponde al desplazamiento de reloj más bajo.

En algunas implementaciones, la RU puede comparar el desplazamiento del reloj con un valor umbral. Si el desplazamiento del reloj supera el valor del 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 determinar 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 de IEEE1588 tiene contención y que el desplazamiento del reloj asociado es inexacto y, por lo tanto, no debe usarse.

La CU también implementa intercambios de IEEE1588 similares con otras RU. En algunas implementaciones, la CU puede implementar los intercambios de IEEE1588 con diferentes RU de manera no superpuesta, para minimizar la contención en las transmisiones de indicación de tiempo de enlace ascendente. En algunas implementaciones, solo se puede usar un intercambio de IEEE1588 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 forma de evitar tal contención es usar un único controlador para actuar como maestro para todas las transmisiones de DL. En otras palabras, todo el tráfico puede enrutarse a través del controlador maestro. Como alternativa, un solo controlador puede asumir el papel de maestro solo para la operación de IEEE1588. En este caso, solo el controlador maestro enviará indicaciones de tiempo a las RU.

Si las RU y el controlador soportan otro tráfico, como el tráfico de Wi-Fi, la transmisión del otro tráfico también puede temporizarse para evitar la contención en los conmutadores. Por ejemplo, se pueden utilizar enlaces Ethernet adicionales para evitar la contención directa entre dicho otro tráfico y los datos de IQ sensibles a la latencia y el tráfico de indicación de tiempo de IEEE1588.

En algunas implementaciones, el tráfico asociado con diferentes controladores y otro tráfico, como WiFi, se puede segregar, p. ej., estrictamente segregado, asignándolos a diferentes VLAN y utilizando enlaces y puertos de Ethernet especializados para la red de radio para evitar conflictos. Las capacidades de QoS de Ethernet se pueden implementar para mejorar el rendimiento de los métodos anteriores. Usando los niveles de prioridad definidos en la norma 802.1p, las transmisiones de indicación de tiempo pueden tener mayor prioridad para minimizar los retardos en los conmutadores que pueden provocarse por las transmisiones de datos de IQ.

A continuación, se proporciona una descripción de cómo deben alinearse las subtramas de enlace ascendente y enlace descendente transmitidas a través de la red de Ethernet conmutada.

#### 40 *Avance de trama*

La alineación de las transmisiones de enlace descendente y ascendente en las antenas en un eNodo B independiente puede crear una ligera desalineación en el procesador de banda base del eNodo B. 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, en algunas implementaciones, un retardo entre el procesamiento de banda base en la CU y las antenas cercanas a las RU puede ser significativamente mayor que en un eNodo B independiente debido a los retardos introducidos por la red de 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  $\mu$ s, o 3-4 intervalos de símbolo de OFDM.

Para compensar este retardo, se puede avanzar la temporización de subtrama de enlace descendente en la CU en una cantidad predeterminada de  $T_{DL}$  segundos, donde  $T_{DL}$  está en el orden de 200-300  $\mu$ s en algunas implementaciones. Si las tramas de enlace ascendente (UL) y de enlace descendente (DL) están alineadas en la antena RU, entonces, como se describe a continuación, se producirá un desplazamiento entre las subtramas de UL y DL en el módem de banda base de la CU. Un requisito de sincronización de temporización en LTE está relacionado con la fase de temporización relativa de las transmisiones de enlace ascendente desde diferentes UE. Este requisito, denominado Avance de Temporización de Enlace Ascendente, también se implementa en la presente descripción. En Avance de Temporización de Enlace Ascendente, los UE avanzan la fase de temporización de sus transmisiones de enlace ascendente en relación con las transmisiones de enlace descendente recibidas basándose en los comandos recibidos del eNodo B. Un eNodo B convencional determina los comandos de avance de temporización para alinear

el inicio de la subtrama de enlace ascendente de orden  $n'$  recibida con el inicio de su propia transmisión de enlace descendente de la subtrama de orden  $n'$  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 de eNodo B, las señales de enlace ascendente de diferentes UE se alinearán en fase en las antenas de eNodo B.

5 Por consiguiente, en los sistemas de ejemplo descritos en el presente documento, las señales de enlace ascendente de diferentes UE están alineadas en la fase de temporización en las antenas de recepción de la RU de modo que todas estas transmisiones se reciben dentro del prefijo cíclico como se explicó anteriormente. Entonces se puede elegir el avance de temporización (TA) según  $TA = t_{RT}$ , donde  $T_{RT}$  es el retardo medio de ida y vuelta entre el UE y las antenas de RU cercanas. Esto alinearía automáticamente los límites de la subtrama de DL, que están alineados en fase con el GPS 1PPS, con los límites de la subtrama de UL en la antena de RU como se muestra en la figura 12. Sin embargo, los límites de la subtrama de DL y UL en la CU ahora están desplazados entre sí por  $t_{RT} = T_{DL} + T_{UL}$ , donde  $T_{DL}$  y  $T_{UL}$  son los avances fijos de temporización de trama de enlace descendente y enlace ascendente asumidos entre la CU y la RU, respectivamente. En resumen, en la antena de TX (transmisión) de la RU, la transmisión de la subtrama de DL de orden  $n$  comienza al mismo tiempo que la recepción de la subtrama de UL de orden  $n$ , pero en la CU la recepción de la trama de UL de orden  $n$  ocurre  $T_{RT}$  segundos después del inicio de la transmisión de la subtrama de DL de orden  $n$ . Un inconveniente de este enfoque es que el tiempo de procesamiento de HARQ en la CU puede reducirse en  $T_{RT}$  segundos, que pueden ser tan alto como 500  $\mu$ s. En implementaciones donde no hay demora entre la RU y la CU, el controlador tiene 3 ms disponibles para procesar las señales recibidas 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.

Considérese la operación de HARQ de enlace descendente de la figura 13, donde la CU envía datos de PDSCH en la subtrama  $N$  de 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 de enlace ascendente  $N + 4$ . Si el avance de temporización  $TA = t_{RT}$ , como sería el caso en un eNodo B clásico, desde el final de la subtrama  $N$  de DL hasta el comienzo de la subtrama  $N + 4$  de UL, el UE tiene  $3 - TA = 3 - t_{RT}$  ms para demodular la subtrama  $N$  de DL, determinar el ACK/NAK y construir el mensaje de ACK/NAK. Desde el momento en que recibe la subtrama  $N + 4$  de UL que transporta el ACK/NAK, la CU puede tener hasta el comienzo de la subtrama  $N + 8$  de DL para programar una retransmisión. Cuando  $TA = t_{RT}$ , entonces, desde el final de la subtrama de UL de orden  $N + 4$  hasta el comienzo de la subtrama de DL de orden  $N + 8$ , la CU solo tendrá  $3 - T_{RT}$  ms disponibles 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 retardar la retransmisión aprovechando la denominada característica adaptativa de HARQ de DL, aunque en algunas circunstancias esto puede reducir el rendimiento general. También se produce una reducción similar en el tiempo de procesamiento disponible en HARQ de enlace ascendente, donde la CU tiene  $3 - (T_{DL} + T_{UL})$  tiempo de procesamiento entre la recepción de una transmisión de enlace ascendente y el envío de un ACK/NAK en el enlace descendente.

Un método que puede tratar el problema anterior es aumentar el avance de temporización del enlace ascendente  $TA$  en  $T_{RT}$  para todos los UE. En algunas implementaciones, 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 incrementa en la misma cantidad para todos los UE. Como se explicó anteriormente, aumentar el avance de temporización reduce el tiempo de procesamiento de HARQ en el UE, pero dado que todos los UE están diseñados para manejar un avance de temporización máximo de 667  $\mu$ s en algunas implementaciones, no debería haber ningún problema siempre que el avance de temporización se mantenga por debajo de este límite. La alineación de subtrama en este caso se ilustra en la figura 14.

Según se requiera, las subtramas de DL están alineadas en fase con GPS 1PPS en las antenas de TX, pero las subtramas de UL en las antenas de RX ahora están compensadas por  $T_{RT}$  segundos en relación con GPS 1PPS. En otras palabras, la RU comenzará a procesar la subtrama de UL de  $NT_{RT}$  segundos antes de que comience a procesar la subtrama  $N$  de DL.

La temporización de HARQ revisada tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente se ilustra en las figuras 15 y 16. En los ejemplos mostrados en ambas figuras, el tiempo de procesamiento en la CU permanece constante a 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 del UE. Es posible elegir el avance de temporización para que esté entre  $t_{RT}$  y  $T_{RT} + T_{RT}$ .

Otras mejoras también soportan un avance de temporización excesivo para compensar el retardo adicional entre la CU y las RU. Por ejemplo, la CU puede enviar un mensaje de avance de temporización de Capa 2 o Capa 3 al UE para señalar por separado el componente de avance de temporización que se relaciona con el retardo en el transcurso de la comunicación y el componente que se relaciona con el retardo entre la CU y la RU. La parte fija del avance de temporización puede incluirse en un mensaje de difusión específico de célula, como un mensaje SIB en LTE.

También es posible hacer el exceso de avance de temporización específico de UE.

Cuando el UE aplica un gran avance de temporización  $TA$ , la configuración de preámbulo para el Canal de Acceso Aleatorio Físico (PRACH) necesita seleccionarse en consecuencia para evitar que la transmisión del preámbulo de

PRACH en la subtrama N interfiera con las transmisiones de Canal Compartido de Enlace Ascendente Físico (PUSCH)/Canal de Control de Enlace Ascendente Físico (PUCCH) en la siguiente subtrama N + 1. El intervalo de guarda GI del preámbulo debe ser mayor que el avance de temporización TA o, como alternativa, el eNodo B no debe programar ninguna transmisión de PUSCH en la subtrama N + 1 en los bloques de recursos asignados a PRACH en la subtrama N. Los formatos de preámbulo de PRACH 1 y 3 admiten un TA de hasta 0,52 y 0,72 ms, pero utilizan 2 y 3 subtramas, respectivamente. Los formatos de preámbulo de PRACH 0 y 2 solo admiten un TA de hasta 0,1 y 0,2 ms, utilizando 1 y 2 subtramas, respectivamente. El formato de preámbulo de PRACH 1 es adecuado para la presente descripción si TA puede mantenerse por debajo de 0,5 ms. Como alternativa, es posible utilizar un formato 0 y no programar ninguna transmisión de PUSCH en los RB de PRACH en la subtrama de enlace ascendente inmediatamente después de la transmisión de PRACH.

En la CU, los paquetes de PRACH enviados por la RU se almacenan en una memoria intermedia de PRACH, separados de la memoria intermedia de UL y se procesan lo más rápido posible. La CU examina la secuencia de energía de 839 puntos, determina si está presente un preámbulo y, de ser así, estima el desplazamiento cíclico que se transmitió por el UE y prepara el mensaje de respuesta de PRACH. Si bien no existe un requisito estricto de temporización para que la CU envíe una respuesta de PRACH, en algunas implementaciones, esto debe hacerse lo más rápido posible para mejorar el tiempo de respuesta de PRACH. La figura 15 muestra la temporización de HARQ de DL con alineación de UL/DL en el controlador. La figura 16 muestra la temporización de HARQ de UL con alineación de UL/DL en el controlador. Según la figura 16, la CU puede enviar la respuesta de PRACH en la subtrama N + 3.

En algunas implementaciones, la TA en el UE puede mantenerse baja, por ejemplo, tan baja como el retardo del enlace aéreo de ida y vuelta, y se puede aceptar el tiempo de procesamiento reducido resultante en el controlador. Esto puede permitir que la red de radio use el preámbulo de PRACH de formato 0, que usa menos recursos de enlace aéreo para PRACH, o que no tenga restricciones en la programación debido a colisiones potenciales con PRACH, como se describió anteriormente.

*Alineación de trama para TD-LTE*

En avance de trama en FDD-LTE. En TD-LTE, la estructura de trama está diseñada de tal manera que las transmisiones de enlace ascendente y enlace descendente no se superponen en las antenas de recepción de RU y UE. Se puede utilizar una subtrama especial para la transición de la transmisión de DL a la UL, como se muestra en la figura 19. La subtrama especial comienza con algunos símbolos de OFDM de transmisión de DL, seguida de un intervalo de hueco de silencio GP que dura unos pocos símbolos de OFDM y termina con 1 o 2 símbolos de OFDM de transmisión de UL. La transmisión de UL en la subtrama especial solo puede transportar SRS o PRACH (que necesita dos símbolos de OFDM). La norma LTE soporta 9 configuraciones diferentes para la subtrama especial como se muestra en la Tabla 2.

Configuración de 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

Tabla 2. Configuraciones de subtrama soportadas por LTE.

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

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

En algunas implementaciones, es posible que el controlador elija TA para alinear las transmisiones de DL y UL en el

controlador como en FDD para preservar el tiempo de procesamiento de 3 ms. Se pueden usar las configuraciones de subtrama especial 0 o 5, que soportan un valor de GP (9 o 10 símbolos de OFDM) que es lo suficientemente grande como para evitar la interferencia UL-DL descrita anteriormente. A veces, el gran valor de GP puede causar ineficiencia en las transmisiones de DL.

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

Subtrama N.º	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

Tabla 3. Requisitos mínimos de temporización de HARQ para 9 configuraciones de trama diferentes

- 10 Para cada configuración de trama, la Tabla 3 muestra ejemplos de subtramas de DL (D), UL (U) y Especial (S) en una trama de radio. Las configuraciones 3-5 soportan una sola transición de DL-UL y las otras configuraciones soportan dos transiciones de 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 HARQ de DL, el tiempo de ACK/NAK varía entre 4 y 13 subtramas. A veces, el UE
- 15 tendrá 3 - TA ms de tiempo de procesamiento disponible, igual que en FDD. En HARQ de UL, el tiempo de ACK/NAK varía entre 4 y 7 subtramas. Cuando los requisitos de capacidad de DL son superiores a los de UL, las configuraciones 2-5 se pueden usar para sistemas dentro de edificios. 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<sub>RL</sub> + t<sub>RT</sub> segundos de tiempo de procesamiento. Si TA se minimiza al establecerlo igual al retardo del enlace aéreo de ida y vuelta, p. ej., TA = t<sub>RT</sub>, entonces el tiempo
- 20 de procesamiento disponible es 5 - T<sub>RT</sub>. Si se elige TA para compensar también el retardo de ida y vuelta del controlador-RU T<sub>RT</sub>, p. ej., TA = T<sub>RT</sub> + t<sub>RT</sub>, entonces el tiempo disponible es de 5 subtramas, que es 2 subtramas más largo que en FDD.

La Tabla 3 también muestra ejemplos de tiempos de retransmisión. Se puede ver que el tiempo de retransmisión de DL varía entre 4 y 8 subtramas, pero para las configuraciones 3-5 siempre son iguales a 4, lo mismo que en FDD. El tiempo de procesamiento disponible en el controlador aumenta de  $3-T_R$  a 3 ms a medida que TA aumenta de  $T_{RT}+T_{RT}$  a  $T_{RT}+T_{RT}$ . Esta es la misma compensación que en FDD. En la 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.

En PRACH de TD-LTE se permiten oportunidades en subtramas de UL. Las oportunidades de PRACH también se pueden crear en subtramas especiales cuando al menos 2 símbolos de OFDM se asignan a PRACH (configuraciones de subtrama 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 1,4 km. Esto muestra que en las redes dentro de edificios, se pueden usar subtramas especiales para PRACH cuando las tramas de UL/DL están alineadas en las RU y se acepta un tiempo de procesamiento reducido que puede estar disponible en el controlador en ciertas configuraciones. El uso de PRACH en subtramas de UL normales es el mismo que en FDD, excepto que en TD-LTE se pueden soportar múltiples oportunidades de PRACH en una sola subtrama.

#### Implementaciones

Aunque se hacen varias suposiciones con el propósito de explicación, las implementaciones de ejemplo de los sistemas y métodos descritos en esta descripción no están limitados por estas suposiciones. En cambio, la explicación basada en estas suposiciones puede generalizarse fácilmente a otras situaciones. Por ejemplo, los números de RU en cada célula, los números de antenas para cada RU y los números de células en una red pueden variar, p. ej., según las demandas de la red.

En un aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Cada una de las unidades remotas puede comprender una o más unidades de radiofrecuencia (RF) para intercambiar señales de RF con dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada para, o que se origina en, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y está conectado a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y está configurado para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El al menos uno de los módems está configurado para realizar la programación en tiempo real de los primeros datos correspondientes a la información. El controlador está separado de las unidades remotas por una red intermedia. La red intermedia comprende una red Ethernet conmutada sobre la cual los segundos datos correspondientes a la información se transportan 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 controlador y un reloj de unidad remota. Las unidades remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada para, o que se origina en, un dispositivo móvil. La fuente de temporización de referencia se sincroniza con un tiempo universal coordinado (UTC) o un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El controlador comprende uno o más módems y está conectado a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y está configurado para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador está separado 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 está sincronizado con la fuente de temporización de referencia. El reloj del controlador proporciona información de temporización al controlador. El reloj de la unidad remota está sincronizado 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 están configurados para transmitir mensajes de indicación de tiempo para sincronizar el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. El controlador y las unidades remotas están configurados para transmitir los mensajes de indicación de tiempo evitando la contención entre transmisiones de indicación de tiempo y transmisiones de datos de banda base o entre transmisiones de indicación 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 dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada para, o que se origina en, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y está conectado a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y está configurado para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador está separado de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se transportan en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base y la red intermedia está configurada para transportar en tramas datos de banda base. Al menos algunos de los datos de la banda base están comprimidos en un dominio de frecuencia. Las unidades remotas y el controlador están configurados para comprimir los datos de la banda base para la 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 utilizando la norma de la evolución a largo plazo (LTE). Las unidades remotas

están configuradas para realizar alguna funcionalidad 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 está conectado a al menos una unidad remota a través de un enlace de Ethernet de 1 gigabit/segundo. Cada unidad remota comprende múltiples antenas de RF y está configurada 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 están programados para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para configurar de ese modo las células de comunicación que comprenden una o más unidades remotas. El uno o más dispositivos de procesamiento están programados para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para así configurar las células de comunicación dinámicamente. El uno o más módems controlan un conjunto de las unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una célula, comprendiendo cada unidad remota en la célula una o más antenas, estando asociadas una o más antenas con un identificador de célula común. El identificador celular común comprende el ID de célula de la evolución a largo plazo (LTE). Todas las unidades remotas asociadas con la célula pueden configurarse para comunicarse a través de un único canal de la evolución a largo plazo (LTE). Cada unidad remota asociada con la célula comprende un par de antenas, y al menos dos pares de antenas de unidades remotas asociadas con la célula son controlables para comunicarse con un solo par de antenas en un solo dispositivo móvil. Cada unidad remota asociada con la célula comprende una o más antenas. Cada antena corresponde a un puerto de antena virtual. Todas las antenas asignadas a un mismo puerto de antena virtual transmiten simultáneamente una señal común. Las unidades remotas asignadas al mismo puerto de antena virtual llevan las mismas señales de referencia de enlace descendente de LTE asociadas con el mismo puerto de antena virtual. El puerto de antena virtual incluye una ID de aleatorización de señal de referencia de información de estado de canal (CSI-RS). El dispositivo móvil envía más de una realimentación de Información de Estado del Canal (CSI). Cada una de las antenas de las unidades remotas está asignada a un puerto de antena virtual diferente. Las unidades remotas en la célula están sincronizadas para comunicarse usando una misma frecuencia. Las unidades remotas en la célula están configuradas para implementar un protocolo de sincronización basado en red para efectuar la sincronización. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, estando programados el uno o más dispositivos de procesamiento para modificar una asociación de uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para reconfigurar de esta manera las células de comunicación existentes definidas por una o más unidades remotas. La reconfiguración de las células de comunicación existentes comprende dividir al menos una célula de comunicación existente en dos o más células de comunicación nuevas. La reconfiguración de las células de comunicación existentes comprende combinar al menos dos células de comunicación existentes en una sola célula de comunicación nueva. El controlador está configurado para modificar la asociación basándose en los comandos recibidos de un sistema de gestión. El controlador está configurado para modificar la asociación basándose en la hora del día. El controlador está configurado para modificar la asociación basándose en los cambios en una distribución de la demanda de capacidad de comunicación. La célula está configurada para dividirse virtualmente para enviar datos a dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial basándose en el 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 está configurado para determinar qué dispositivos móviles envían datos en el mismo recurso basándose en las señales recibidas de los dispositivos móviles. Los dispositivos móviles comprenden receptores y los datos enviados a los receptores por las unidades remotas en la célula no están en el recurso de tiempo-frecuencia. La célula está configurada para dividirse virtualmente para recibir información de dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial basándose en el 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 de PUCCH comprendido por un desplazamiento cíclico y un código de cobertura ortogonal. El controlador está configurado para detectar transmisiones de preámbulo de RACH desde los dos o más dispositivos móviles enviados en la misma oportunidad de PRACH. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, estando programados el uno o más dispositivos de procesamiento 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 red, el uno o más dispositivos de procesamiento están programados para consolidar la una o más unidades remotas entre un número reducido de uno o más módems. La célula es una primera célula y el módem es un primer módem; y el uno o más módems comprenden un segundo módem programado para controlar un segundo conjunto de las unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una segunda célula, comprendiendo cada unidad de RF en la segunda célula una o más segundas antenas, estando asociadas la una o más segundas antenas con un segundo identificador de célula común. La primera célula y la segunda célula 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, estando programados el uno o más dispositivos de procesamiento para asociar el primer y segundo módems con diferentes unidades remotas para cambiar dinámicamente la forma y/o un área cubierta por cada una de la primera célula o la segunda célula. El primer y segundo módems están ubicados conjuntamente con el controlador, y el controlador coordina las transmisiones del primer y segundo módems para reducir la interferencia entre la primera y la segunda célula. Al menos una unidad remota está configurada para intercambiar señales de Wi-Fi con un dispositivo correspondiente. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, estando programados el uno o más dispositivos de procesamiento para recibir segundos datos de la red Ethernet conmutada y procesar los segundos datos para generar primeros datos. Al menos algunas de las unidades remotas están configuradas para recibir energía a través de la red Ethernet conmutada. El controlador y las unidades remotas están configurados para comunicarse utilizando el protocolo IEEE1588. El sistema de comunicación

también incluye un gestor de red en comunicación con el controlador que dirige la operación del controlador. La red externa comprende una red central de un operador y el gestor de red se ubica en la red central del operador. El gestor de red está ubicado localmente con respecto al controlador. Dos o más unidades remotas están configuradas para enviar los segundos datos a un dispositivo móvil en dos o más canales de RF para que el móvil reciba los segundos datos simultáneamente de las dos o más unidades remotas. El controlador está configurado para agregar comunicación desde diferentes canales entre el controlador y las unidades remotas y el controlador y la red externa para procesar los primeros datos y 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 está configurado para realizar un control de acceso al medio en tiempo real de los datos de IP correspondientes a la información. La fuente de temporización de referencia comprende un receptor de GPS. El receptor de GPS está ubicado en el controlador. El controlador y las unidades remotas están configurados para intercambiar indicaciones de tiempo utilizando el protocolo IEEE 1588. El controlador y las unidades remotas comprenden un sistema en chip para generar y procesar los mensajes de indicación de tiempo. La red intermedia es una red Ethernet conmutada. La unidad remota utiliza los mensajes de indicación de tiempo para estimar y corregir un error del reloj de la unidad remota. La estimación está basada en el conocimiento a priori sobre los retardos de indicación de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de la indicación de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación entre el retardo de la indicación de tiempo del enlace descendente y el retardo de la indicación de tiempo del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de la indicación de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación de un retardo promedio de la indicación de tiempo del enlace descendente a un retardo promedio de la indicación de tiempo del enlace ascendente. El error comprende un error de fase de temporización y la unidad remota está configurada para estimar el error de fase de temporización ponderando y/o compensando las indicaciones de tiempo medidas en el enlace ascendente y el enlace descendente según el conocimiento a priori. Los mensajes de indicación de tiempo se transmiten con alta prioridad según el protocolo IEEE 802.1q. Los mensajes de indicación de tiempo y los datos de la banda base se transmiten en diferentes redes de área local virtuales (VLAN). Los mensajes de indicación de tiempo y los datos de banda base se transmiten en la misma red de área local virtual (VLAN) utilizando diferentes marcas de prioridad del protocolo IEEE 802.1q. Los datos de banda base y los mensajes de indicación de tiempo se transmiten utilizando puertos Ethernet especializados y enlaces Ethernet especializados de la red Ethernet conmutada. El sistema de comunicación comprende una pluralidad de controladores y uno de los controladores es un controlador maestro y está configurado para transmitir los mensajes de indicación 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 está configurado para avanzar en el tiempo una subtrama de datos de banda base que se entregará a una unidad remota para compensar un retardo de tiempo entre el reloj de la unidad remota y el reloj del controlador. El controlador está configurado para avanzar en el tiempo la subtrama de datos de banda base una cantidad predeterminada. La cantidad predeterminada se determina basándose en un retardo de tiempo para transmitir los datos de la banda base a través de la red intermedia. El controlador está configurado para enviar información a los dispositivos móviles para que los dispositivos móviles avancen una fase de temporización de las señales de RF que se transmitirán a las unidades remotas en relación con las señales de RF recibidas por los dispositivos móviles desde las unidades remotas. El controlador está configurado para aumentar el tiempo de procesamiento disponible para que el controlador procese las transmisiones de datos de banda base eligiendo una cantidad de la fase de temporización que se avanzará para que sea mayor que un retardo de tiempo para transmitir señales de RF en un viaje de ida y vuelta entre una unidad remota y un dispositivo móvil. Una unidad remota está configurada para avanzar en subtramas de tiempo de los datos de banda base que se transmitirán al controlador. Las unidades remotas están configuradas para comunicarse con el controlador en un canal de comunicación, y una frecuencia del canal de comunicación se deriva del reloj del controlador. El reloj del controlador comprende un oscilador de cristal configurado para generar relojes para el procesamiento de banda base en el controlador. El reloj de la unidad remota comprende un oscilador de cristal configurado para generar relojes para convertidores de 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 están configurados para transmitir mensajes de indicación de tiempo en múltiples viajes de ida y vuelta entre el controlador y la unidad remota. La unidad remota está configurada para ajustar el reloj de la unidad remota basándose en una de las transmisiones en múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más confiable para corregir un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. Una de las transmisiones en múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más confiable comprende una transmisión que predice un desplazamiento más pequeño entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. La unidad remota está configurada para no realizar ninguna corrección en el reloj de la unidad remota cuando una estimación de un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota basándose en las transmisiones de los mensajes de indicación de tiempo no se considera confiable. La estimación del desplazamiento se considera que no es confiable cuando la estimación supera 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 la banda base a través de la red intermedia es de 1 Gb/s como máximo. Los datos de banda base están representados por señales de valor complejo que tienen componentes reales e imaginarios, y el controlador está configurado para comprimir los datos de banda base cuantificando las señales de valor complejo en

el dominio de frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y transmitir datos binarios representativos de los datos cuantificados de banda base a las unidades remotas. Las unidades remotas están configuradas para reconstruir los datos cuantificados de banda base al recibir los datos comprimidos de banda base. Las unidades remotas están configuradas para aplicar una transformada rápida de Fourier inversa en los datos de banda base reconstruidos. El controlador está configurado para cuantificar los datos de la banda base en el dominio de la frecuencia utilizando un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. El controlador está configurado para cuantificar independientemente los componentes reales e imaginarios de los datos de la banda base en el dominio de frecuencia. El controlador está configurado para enviar información sobre la tasa fija y el tamaño de paso fijo a las unidades remotas cuando las unidades remotas y el controlador están conectados. El controlador está configurado para cuantificar los datos de la banda base en el dominio de la frecuencia utilizando un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. El controlador está configurado para enviar información secundaria sobre la tasa fija y un tamaño de paso a una unidad remota una vez por subtrama. El controlador está configurado para cuantificar los datos de banda base en el dominio de frecuencia usando un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso. La tasa y el tamaño del paso son ajustables. El controlador ajusta el tamaño del paso según la energía de los datos cuantificados de la banda base. El controlador ajusta la tasa según un esquema de modulación y codificación de los datos de la banda base. Las señales de RF son compatibles con la norma de la evolución a largo plazo (LTE). El controlador está configurado para enviar información secundaria sobre la tasa del cuantificador a una unidad remota para cada uno de los diversos 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 está configurado para comprimir los datos de banda base no enviando a las unidades remotas ningún dato para grupos de elementos de recursos (REG) o bloques de recursos físicos (PRB) no utilizados 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 frecuencia pertenecen a, o se derivan de, una constelación de señal de amplitud discreta y el controlador está configurado para comprimir los datos de banda base sin cuantificación enviando datos binarios que representan las señales de amplitud discreta a las unidades remotas. La constelación de señal de amplitud discreta comprende una constelación de señal de modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Las señales de RF transportan símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), y el controlador está configurado para enviar los datos binarios a las unidades remotas en el mismo orden en que las unidades remotas transmitirán los símbolos de OFDM correspondientes en el transcurso de la comunicación a los dispositivos móviles. Las unidades remotas están configuradas para comprimir los datos de banda base cuantificando los datos de banda base en el dominio de 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 está configurada para recibir datos en el dominio del tiempo desde el dispositivo móvil y para aplicar una transformada de Fourier rápida a los datos en el dominio del tiempo para producir los datos de banda base en el dominio de frecuencia. Una unidad remota está configurada para cuantificar los datos de la banda base en el dominio de la frecuencia utilizando un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. Una unidad remota está configurada para cuantificar los datos de la banda base en el dominio de frecuencia usando un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. Las tramas de los datos de la banda base comprenden símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y la unidad remota está configurada para seleccionar un tamaño de paso basándose en 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 la evolución a largo plazo (LTE). La unidad remota está configurada para seleccionar un tamaño de paso basándose en una distribución de los datos de la banda base en el dominio de frecuencia. La unidad remota está configurada para enviar información secundaria sobre el cuantificador al controlador para que el controlador reconstruya los datos de banda base cuantificados recibidos. Una unidad remota está configurada para cuantificar los datos de banda base en el dominio de frecuencia usando un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso, siendo ajustables la tasa y el tamaño de paso. Las tramas de los datos de la banda base comprenden subtramas que comprenden bloques de recursos físicos (PRB) de LTE, y la unidad remota está configurada para ajustar la tasa del cuantificador en una base por PRB. La unidad remota está configurada para seleccionar una tasa de cuantificador basándose en un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base determinados por el controlador. Las unidades remotas están configuradas para cuantificar los datos de la banda base usando cuantificadores que tienen tasas ajustables. Las tasas de cuantificador para los datos de banda base se ajustan según los bloques de recursos de LTE. Las tasas de cuantificador se eligen para que sean cero para purgar las transmisiones de los datos de la banda base para algunos de los bloques de recursos. El controlador está configurado para enviar información secundaria a las unidades remotas y la información se utiliza por las unidades remotas para determinar las tasas del cuantificador. El controlador está configurado para determinar la información secundaria que se enviará a las unidades remotas basándose en la información recibida de los dispositivos móviles. El controlador está configurado para determinar la información secundaria basándose en una relación de señal a ruido más interferencia (SINR) objetivo en el controlador. La información recibida de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones de Señal de Referencia de Sondeo (SRS) de LTE de los dispositivos móviles. La información recibida de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones del Canal de Acceso Aleatorio Físico (PRACH) de LTE de los dispositivos móviles. La información recibida de los dispositivos móviles corresponde a la transmisión de enlace ascendente en el Canal Compartido de Enlace Físico (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 está configurada para cuantificar los datos de banda base correspondientes a las diferentes antenas usando diferentes cuantificadores. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso y diferentes tasas. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso y diferentes tasas. Las diferentes tasas se determinan por el controlador.

El controlador está configurado para enviar información secundaria a la unidad remota para indicar la tasa de cuantificador determinada para cada antena receptora. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles. La unidad remota está configurada para cuantificar los datos de banda base usando un cuantificador que tiene una tasa seleccionada basándose en la correlación de las señales de RF recibidas en diferentes receptores de la unidad remota. El controlador está configurado para determinar un coeficiente basándose en la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador utilizando el coeficiente. La unidad remota está configurada para determinar la tasa del cuantificador utilizando un coeficiente determinado por el controlador basándose en la correlación de las señales de RF. La unidad remota está configurada para determinar un coeficiente basándose en la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador utilizando el coeficiente. Todos los datos de banda base, excepto los correspondientes a las transmisiones del Canal de Acceso Aleatorio Físico (PRACH) desde un dispositivo móvil, se comprimen en el dominio de frecuencia. Una unidad remota está configurada para comprimir los datos de banda base cuantificando las transmisiones de PRACH recibidas después de realizar una correlación en el dominio de frecuencia. La unidad remota está configurada para comprimir los datos de banda base cuantificando las transmisiones de PRACH recibidas en el dominio de tiempo después de convertir una salida de la correlación nuevamente en el dominio de tiempo. Al menos un módem del controlador está configurado para ejecutar funciones de control de acceso al medio (MAC) en tiempo real para los datos IP correspondientes a la información.

Cualesquiera de dos o más de las características descritas en esta solicitud de patente se pueden combinar para formar implementaciones no descritas específicamente en esta solicitud de patente.

Todo o parte de lo anterior puede implementarse como un producto de programa informático comprendido de instrucciones que se almacenan en uno o más medios de almacenamiento legibles por máquina no transitorios, y que son ejecutables en uno o más dispositivos de procesamiento. Todo o parte de lo anterior puede implementarse como un aparato, método o sistema que puede incluir uno o más dispositivos de procesamiento y memoria para almacenar instrucciones ejecutables para implementar la funcionalidad.

Todos o parte de los procesos descritos en la presente memoria y sus diversas modificaciones (en lo sucesivo denominados "los procesos") se pueden implementar, al menos en parte, a través de un producto de programa informático, p. ej., un programa informático incorporado de forma tangible en uno o más soportes de información, p. ej., en uno o más medios de almacenamiento tangibles, no transitorios, legibles por máquina, para su ejecución o para controlar el funcionamiento de un aparato de procesamiento de datos, p. ej., un procesador programable, un ordenador o múltiples ordenadores.

Un programa informático se puede escribir en cualquier forma de lenguaje de programación, incluyendo los lenguajes compilados o interpretados, y se puede desplegar en cualquier forma, incluyendo como un programa independiente o como un módulo, componente, subrutina u otra unidad adecuada para su uso en un entorno informático. Un programa informático puede implementarse para ejecutarse en un ordenador o en múltiples ordenadores en un sitio o distribuirse en múltiples sitios e interconectarse por una red.

Las acciones asociadas con la implementación de los procesos pueden realizarse por uno o más procesadores programables que ejecutan uno o más programas informáticos para realizar las funciones del proceso de calibración. Todos o parte de los procesos pueden implementarse como un circuito lógico de propósito especial, p. ej., un FPGA (campo de matrices de puertas programables) y/o un ASIC (circuito integrado específico de la aplicación).

Los procesadores adecuados para la ejecución de un programa informático incluyen, a modo de ejemplo, tanto microprocesadores de propósito general como especial, y uno o más procesadores de cualquier tipo de ordenador digital. En general, un procesador recibirá instrucciones y datos de un área de almacenamiento de solo lectura o un área de almacenamiento de acceso aleatorio o ambas. Los elementos de una computadora (incluido un servidor) incluyen uno o más procesadores para ejecutar instrucciones y uno o más dispositivos de área de almacenamiento para almacenar instrucciones y datos. En general, un ordenador también incluirá, o estará acoplado operativamente para recibir datos de, o transferir datos a, o ambos, uno o más medios de almacenamiento legibles por máquina, tales como dispositivos de almacenamiento masivo para almacenar datos, p. ej., discos magnéticos, magneto-ópticos o discos ópticos. Los medios de almacenamiento legibles por máquina adecuados para incorporar instrucciones y datos de programas informáticos incluyen todas las formas de área de almacenamiento no volátil, que incluyen a modo de ejemplo, dispositivos de área de almacenamiento de semiconductores, p. ej., EPROM, EEPROM y dispositivos de área de almacenamiento flash; discos magnéticos, p. ej., discos duros internos o discos extraíbles; discos magnetoópticos; y discos CD-ROM y DVD-ROM.

Los elementos de las diferentes implementaciones descritas en la presente memoria pueden combinarse para formar otras implementaciones no expuestas específicamente anteriormente. Los elementos pueden quedar fuera de los procesos, programas informáticos, páginas web, etc., descritos en la presente memoria sin afectar negativamente su funcionamiento. Además, varios elementos separados se pueden combinar en uno o más elementos individuales para realizar las funciones descritas en la presente memoria.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de comunicación en una red celular, que comprende:

un sistema de procesamiento que comprende un controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) y unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas, estando configuradas las unidades remotas para comunicarse con el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) y para comunicarse con dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles, en donde las unidades remotas transmiten cada una al menos una ID de célula común y pertenecen a al menos una misma célula de comunicación de la red celular;

en donde el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) gestiona las unidades remotas, en donde las unidades remotas se implementan en diferentes ubicaciones de un sitio (10), en donde las unidades remotas realizan al menos parte del procesamiento de capa física para una interfaz aérea utilizada para comunicarse con los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles en el sitio (10);

en donde al menos parte del sistema de procesamiento está configurado para realizar operaciones que comprenden:

estimar la intensidad de la señal para al menos algunos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basándose en las transmisiones recibidas de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles;

determinar un vector de firma cuantificado, QSV, para cada uno de los al menos algunos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basándose en las estimaciones de la intensidad de la señal para cada uno de los al menos algunos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles, recibiendo las estimaciones a través de las unidades remotas;

en donde, para un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil dado, se determina una estimación diferente para cada una de las diferentes unidades remotas;

en donde al menos parte del sistema de procesamiento está configurado además para realizar operaciones que comprenden:

identificar, basándose al menos en los QSV, al menos dos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles para programar la comunicación simultánea en la misma célula de comunicación en un mismo recurso de tiempo-frecuencia; y

programar los al menos dos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles para la comunicación simultánea en la misma célula de comunicación en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, en donde cada uno de los al menos dos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles usa al menos una de las unidades remotas para la comunicación simultánea.

2. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde:

al menos alguna comunicación entre al menos alguno del controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704), las unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas, y los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles tiene lugar usando señales de radiofrecuencia (RF), representando al menos algunas de las señales de RF información destinada o que se origina en un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil;

las unidades remotas están configuradas para comunicarse con los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles utilizando señales de RF;

en donde las estimaciones de la intensidad de la señal corresponden a las necesidades de transmisión o recepción del al menos un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil para el cual se hicieron las estimaciones; y

el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) comprende un programador en tiempo real configurado para realizar la programación del dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil basándose en los QSV; y, opcionalmente,

en donde las necesidades de transmisión o recepción del dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil al menos uno de:

corresponden a la pérdida de señal estimada entre el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y una o más de las unidades remotas, por ejemplo, en donde la pérdida de señal estimada se basa en una transmisión de enlace ascendente desde el dispositivo móvil a una o más de las unidades remotas, por ejemplo, en donde la transmisión de enlace ascendente se basa en al menos una de: una transmisión de señal de referencia de sondeo de LTE (SRS), una transmisión de PRACH de LTE, una transmisión de PUCCH de LTE, una transmisión de PUSCH de LTE; y opcionalmente,

en donde las estimaciones se representan usando uno de: valores numéricos que se basan en una o más mediciones

en un enlace ascendente desde un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil a una unidad remota, valores numéricos que son 0 o 1, y valores numéricos que son valores seleccionados de un número finito de niveles mayores que dos.

3. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde una estimación de la intensidad de la señal para un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil se representa utilizando valores numéricos; y

5 en donde los valores numéricos se basan, al menos en parte, en una ubicación del dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil dentro de la célula de comunicación; o

en donde, para el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil, los valores numéricos forman el QSV para el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil; y

10 en donde identificar al menos dos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles para programar la comunicación simultánea en la misma célula de comunicación en un mismo recurso de tiempo-frecuencia comprende que el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) realice uno de:

15 determinar, basándose en los QSV para el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y siendo ortogonal a al menos otro QSV para al menos otro dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil, que el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y el al menos otro dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil se pueden programar en el mismo recurso de tiempo-frecuencia para la comunicación; o

determinar que el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil se puede programar en un mismo recurso de tiempo-frecuencia en respuesta a una suma de QSV para los dos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles que no tienen ningún componente que exceda un umbral preestablecido, en donde los QSV para los dos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles se basan en una relación de señal a interferencia más ruido, SINR, umbral.

20 4. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde al menos dos de las unidades (26a..26i, 128a..1281, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..5061, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas se configuran de modo que, cuando dos o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles estén programados para la comunicación en un mismo recurso de tiempo-frecuencia, diferentes unidades de las unidades remotas se comunican con diferentes dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

25 5. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde al menos una de la unidad (26a..26i, 128a..1281, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..5061, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remota se configura de modo que, cuando dos o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles estén programados para comunicarse en un mismo recurso de tiempo-frecuencia, la al menos una de las unidades remotas uno de:

no se comunica con ningún dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil; y

30 es capaz de comunicarse con múltiples dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles simultáneamente y, opcionalmente, en donde la al menos una unidad remota está configurada para comunicarse usando una potencia de transmisión reducida.

35 6. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) está configurado para provocar que la comunicación con un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil tenga lugar en una potencia de transmisión que está por debajo de una potencia de transmisión convencional en un caso donde el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil está dentro de una distancia especificada de una unidad (26a..26i, 128a..1281, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..5061, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remota y, opcionalmente,

40 en donde el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) está configurado para determinar si el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil está dentro de la distancia especificada basándose en una o más mediciones de transmisiones de enlace ascendente del dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil en una o más unidades remotas y, opcionalmente, en donde las transmisiones de enlace ascendente comprenden uno o más de: transmisiones SRS, PUCCH, PRACH o PUSCH de LTE.

45 7. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las operaciones comprenden determinar una tasa de bits a la que se transmitirán los datos desde y hacia un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y, opcionalmente, en donde la tasa de bits está basada en la incertidumbre debido al desvanecimiento a pequeña escala.

50 8. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las operaciones comprenden determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y una unidad (26a..26i, 128a..1281, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..5061, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remota, y en donde la determinación de la tasa de bits comprende uno de:

(A) recibir, desde la unidad remota, información sobre una o más mediciones en un canal de control de enlace ascendente entre el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y las unidades remotas; y usar la una o más mediciones para determinar la tasa de bits;

- (B) recibir, desde el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil, información de realimentación sobre el éxito o el fracaso de transmisiones de datos anteriores; y usar la información de realimentación para determinar la tasa de bits y, opcionalmente, en donde la información de realimentación comprende realimentación de ARQ híbrida (HARQ) y, por ejemplo, en donde, en un caso en el que una interferencia dominante del dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil ha cambiado, la realimentación de HARQ pasada no se usa al determinar la tasa de bits;
- (C) recibir, desde dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles, realimentación de información de estado del canal (CSI); y usar la realimentación de CSI para determinar la tasa de bits; y
- (D) recibir, desde dispositivos móviles, realimentación del estado del canal que incluye una medición de interferencia; y usar la realimentación del estado del canal que incluye la medición de interferencia para determinar la tasa de bits y, opcionalmente, en donde la medición de interferencia es una de: basada en una señal de referencia de información de estado de canal de LTE (CSI-RS); e informada por un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil que está configurado para informar mediciones de interferencia para diferentes escenarios de interferencia.
9. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde un mismo recurso de tiempo-frecuencia es para uno de: transmisión de enlace descendente desde una o más unidades remotas a un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil, transmisión de enlace ascendente desde un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil a una o más unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas, o transmisión de enlace ascendente desde un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y uno o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles a una o más unidades remotas para las cuales las señales se procesan conjuntamente.
10. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde uno de:
- las operaciones comprenden: -determinar qué unidades remotas han de comunicarse con qué dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basándose, al menos en parte, en ubicaciones de dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles dentro la célula de comunicación;
- las operaciones comprenden: dividir la célula de comunicación en células virtuales de manera que diferentes dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles en al menos dos células virtuales diferentes estén configurados para la comunicación en la misma frecuencia; y para un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil en un borde de primera y segunda células virtuales, controlar una primera unidad (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remota en la primera célula virtual para transmitir al dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil a un nivel de potencia no máximo y controlar una segunda unidad remota en la segunda célula virtual para transmitir al dispositivo móvil a un nivel de potencia no máximo; y
- las operaciones comprenden determinar las tasas de bits a las cuales han de transmitirse las comunicaciones entre los dos o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles y las dos o más unidades remotas, y, opcionalmente, en donde determinar una tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y una unidad remota comprende:
- recibir, de todas las unidades remotas en la célula de comunicación, información en un canal de control de enlace ascendente, correspondiendo la información a una intensidad de señal prevista para el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil en la célula de comunicación, desviándose la intensidad prevista desde una intensidad de señal real para el dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil en la célula de comunicación, estando asociada la intensidad de señal prevista con una primera tasa de bits; y
- reducir la primera tasa de bits basada en la intensidad de señal real para producir una segunda tasa de bits para la comunicación entre un dispositivo móvil y una unidad remota.
11. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas están configuradas para realizar al menos un procesamiento de banda base, incluyendo el al menos un procesamiento de banda base recibir y extraer la información en un canal de control de enlace ascendente; y
- en donde las operaciones comprenden además comunicaciones de equilibrio de carga a unidades remotas en el canal de control de enlace ascendente, donde el equilibrio de carga comprende establecer períodos y fases para transmisiones desde algunos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles para no solaparse con transmisiones de otros dispositivos móviles.
12. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las operaciones comprenden además comunicaciones de equilibrio de carga a unidades remotas en un canal de control de enlace ascendente, donde el equilibrio de carga comprende establecer períodos para transmisiones desde algunos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basados en una carga de tráfico de comunicación en la célula de comunicación.
13. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde la comunicación programada es en uno de: un enlace

descendente desde las dos o más unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas a dos o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles, o un enlace ascendente de las dos o más unidades remotas a dos o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles.

- 5 14. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde los dispositivos móviles comprenden un primer dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil y un segundo dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil; y

en donde la identificación comprende identificar que el primer y el segundo dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles se pueden programar para comunicación en una misma frecuencia en un enlace ascendente y, opcionalmente,

en donde el enlace ascendente comprende al menos uno de los canales de PUCCH o PUSCH de LTE.

- 10 15. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las operaciones comprenden dividir la célula de comunicación en células virtuales de manera que diferentes dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles en al menos dos células virtuales diferentes estén configurados para comunicarse en una misma frecuencia; y

en donde la misma frecuencia comprende una parte de una banda de frecuencia más grande, estando también configurados los diferentes dispositivos móviles para comunicarse sobre diferentes frecuencias dentro de la banda de frecuencia más grande.

- 15 16. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) comprende un primer controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) y el sistema de procesamiento comprende uno o más segundos controladores (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704), coordinando el primer controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) la operación del uno o más segundos controladores (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704), estando cada una de las unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas configurada para comunicarse con un segundo controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) correspondiente y para comunicarse de forma inalámbrica con dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles y, opcionalmente,

- 20 25 en donde el primer controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) implementa una función de coordinación central para controlar las operaciones del uno o más segundos controladores (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704).

17. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las operaciones comprenden:

determinar ubicaciones de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles dentro de la célula de comunicación; y

- 30 programar la comunicación entre dos o más dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles y dos o más unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas para asignar recursos de forma selectiva en las dos o más unidades remotas.

18. El sistema de comunicación de la reivindicación 1, en donde las operaciones comprenden además la gestión de carga de una carga de procesamiento de canal de control de enlace ascendente en las unidades remotas, donde la gestión de carga comprende períodos de ajuste para transmisiones desde algunos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basándose en una carga de tráfico de comunicación en la célula de comunicación y, opcionalmente,

- 35 en donde la carga de tráfico de comunicación se basa en el número de usuarios conectados.

19. Un método realizado en un sistema de comunicación en una red celular, donde el sistema de comunicación comprende un sistema de procesamiento que comprende un controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) y unidades (26a..26i, 128a..128i, 302a..302p, 322a..322p, 402a..402p, 506a..506i, 2716, 2718, 2720, 2742, 2744, 2746, 2772, 2774, 2776) remotas, donde las unidades remotas están configuradas para comunicarse con el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) y para comunicarse con dispositivos móviles (18, 20, 502, 504, 506), en donde las unidades remotas transmiten al menos una ID de célula común y pertenecen a una misma célula de comunicación de la red celular,

- 40 45 en donde el controlador (22, 24, 60, 80, 124, 550, 2704) gestiona las unidades remotas, en donde las unidades remotas se implementan en diferentes ubicaciones de un sitio (10), en donde las unidades remotas realizan al menos alguno del procesamiento de capa física para una interfaz aérea utilizada para comunicarse con los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles en el sitio (10), comprendiendo el método realizado por el sistema de procesamiento:

estimar la intensidad de la señal para al menos algunos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basándose en las transmisiones recibidas de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles; en donde el método comprende además:

- 50 determinar un vector de firma cuantificado, QSV, para cada uno de los al menos algunos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles basándose en las estimaciones de la intensidad de la señal para cada uno de los al menos algunos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles, recibiendo las estimaciones a través de las unidades remotas;

en donde, para un dispositivo (18, 20, 502, 504, 506) móvil dado, se determina una estimación diferente para cada una de las diferentes unidades remotas;

5 identificar, basándose al menos en los QSV, al menos dos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles para programar la comunicación simultánea en la misma célula de comunicación en un mismo recurso de tiempo-frecuencia; y

programar al menos dos de los dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles para la comunicación simultánea en la misma célula de comunicación en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, en donde cada uno de los al menos dos dispositivos (18, 20, 502, 504, 506) móviles utiliza al menos una de las unidades remotas para la comunicación simultánea.

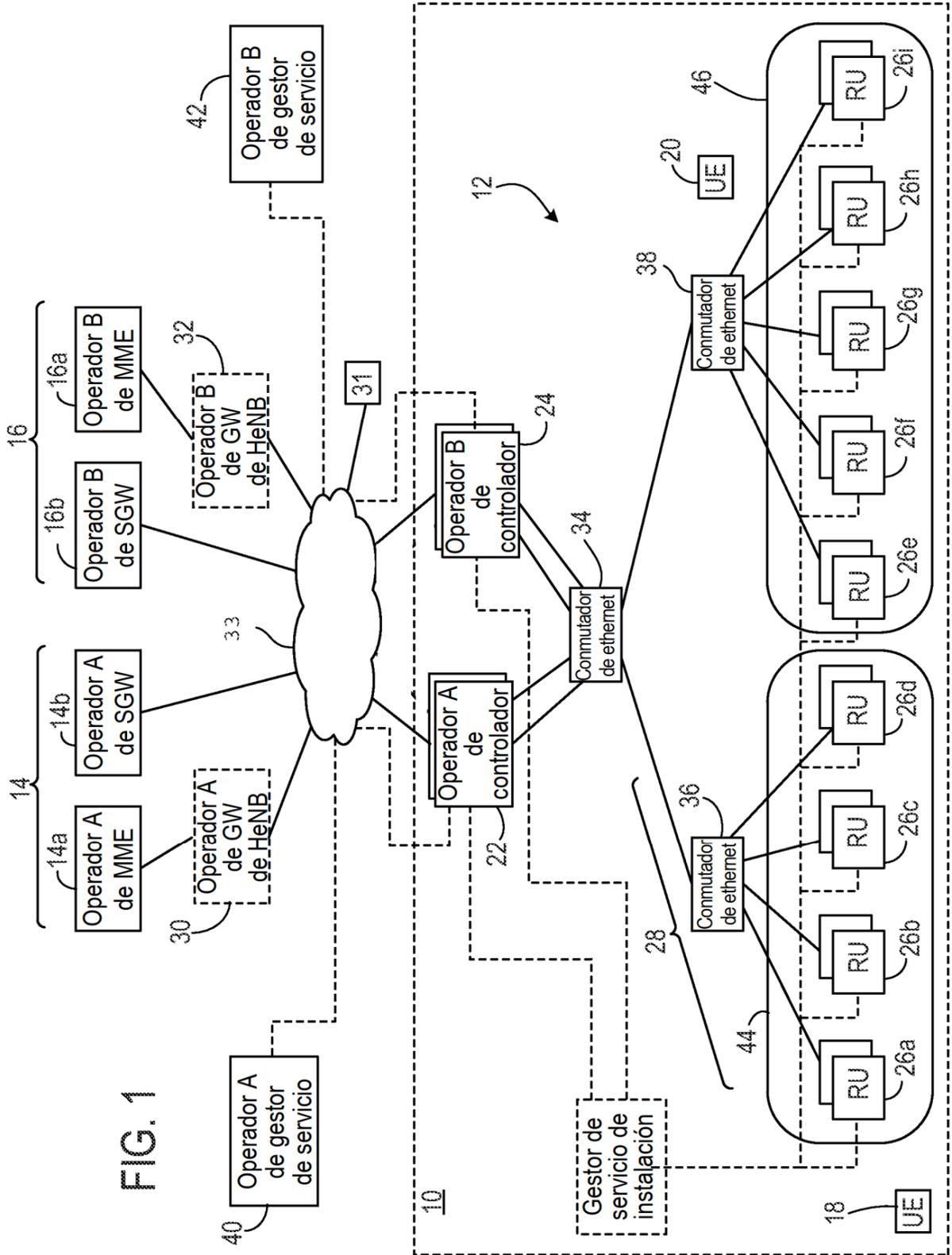


FIG. 1

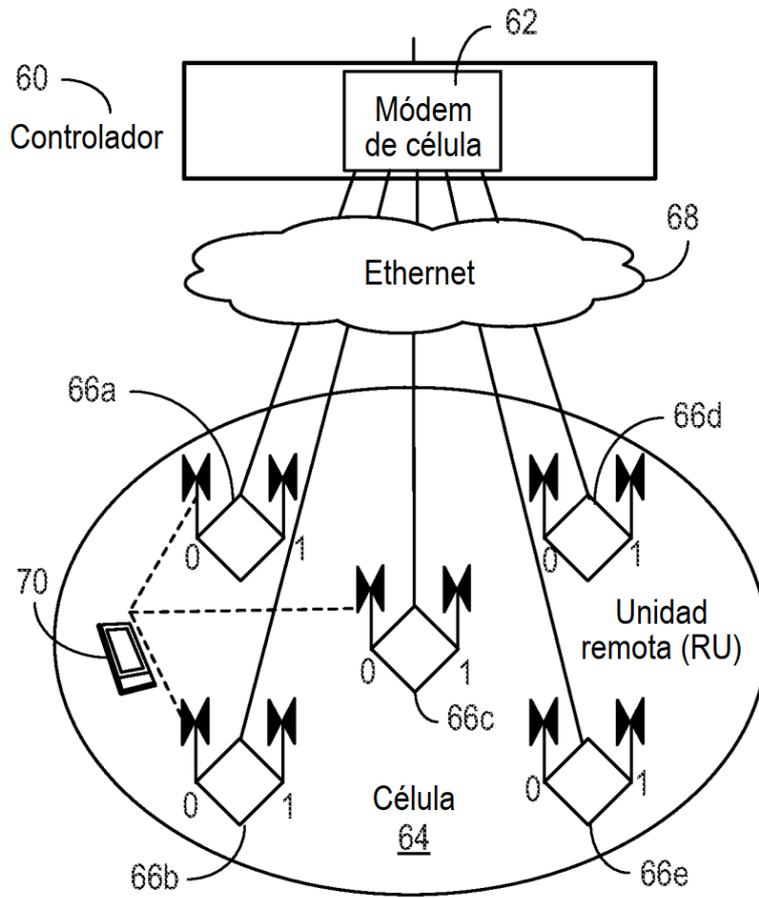


FIG. 2A

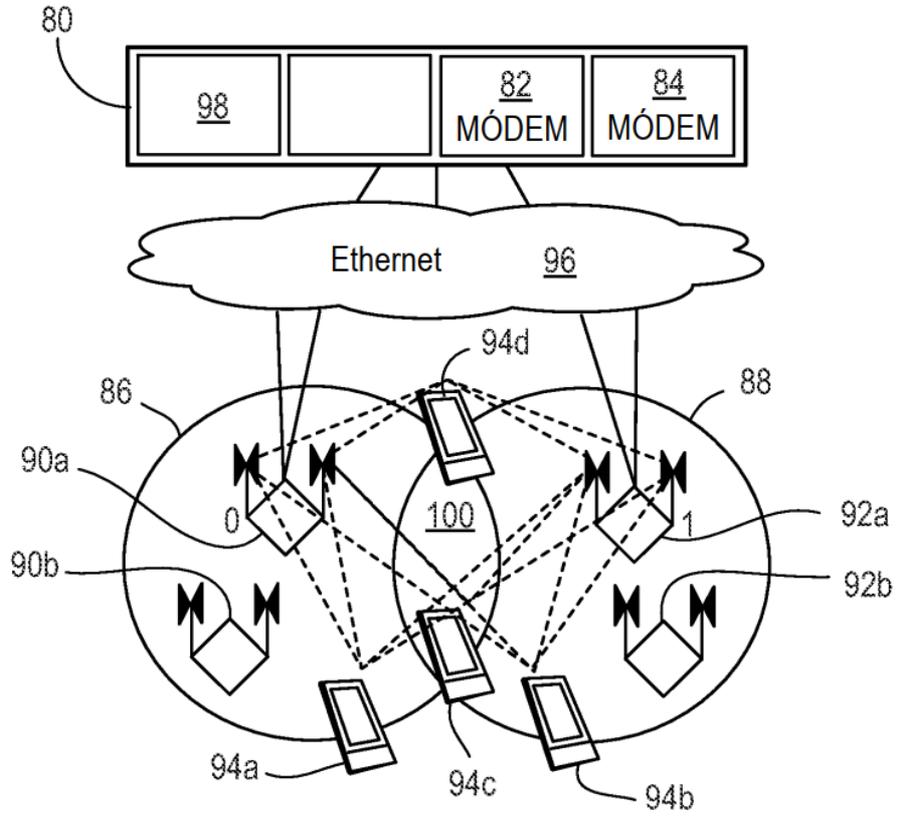


FIG. 2B

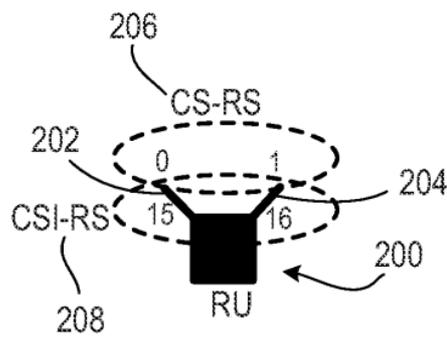


FIG. 2C

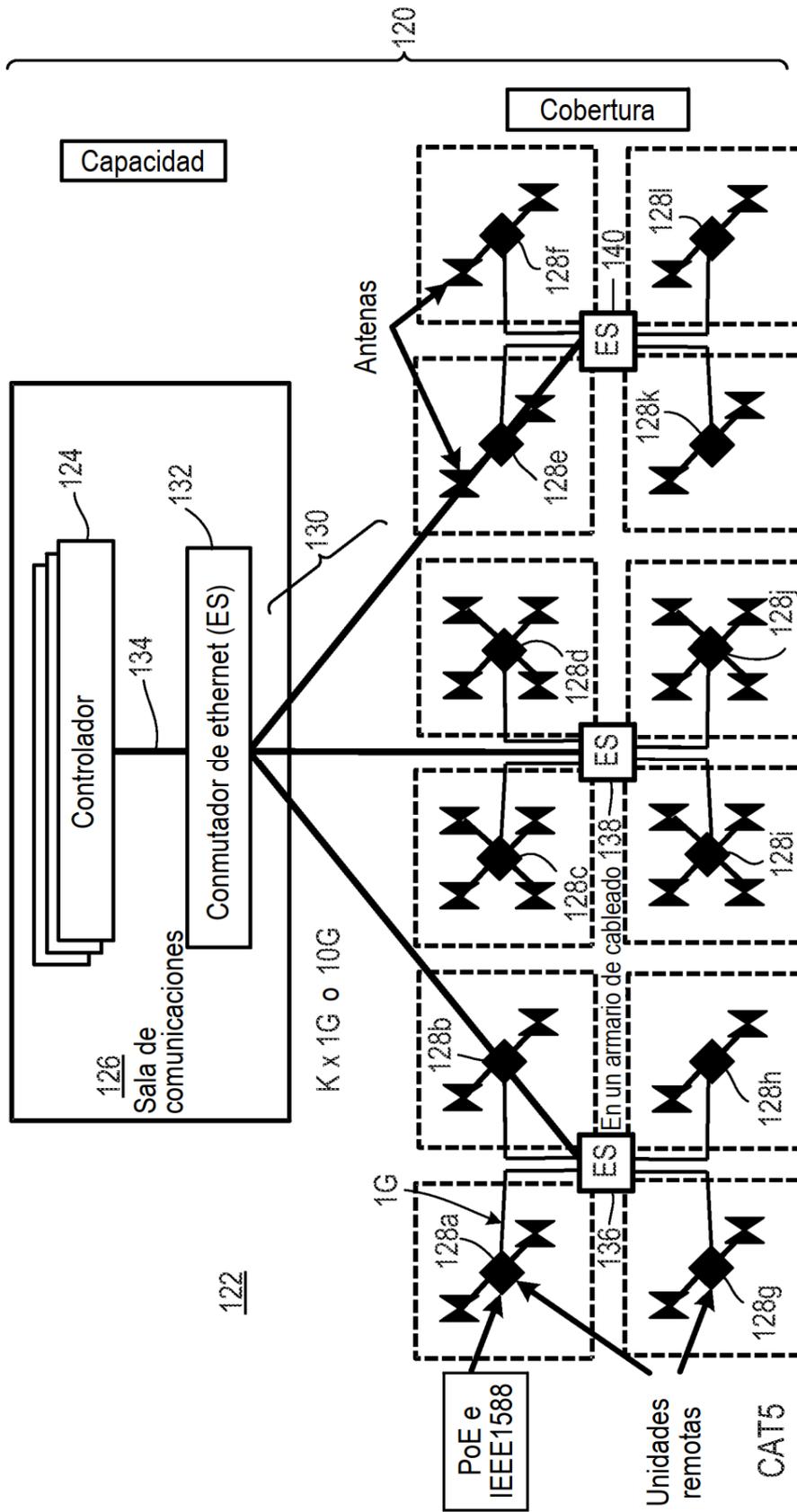


FIG. 3

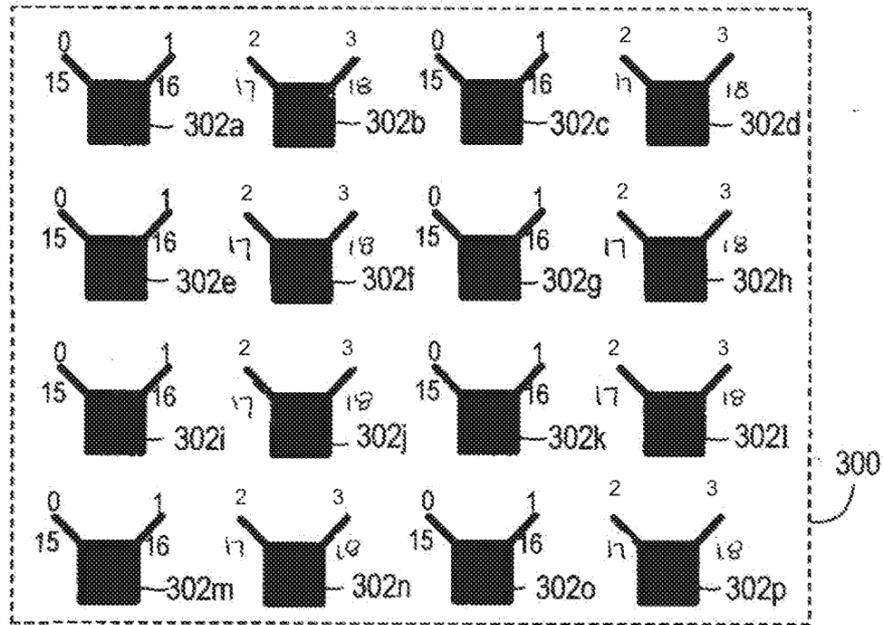


FIG. 4A

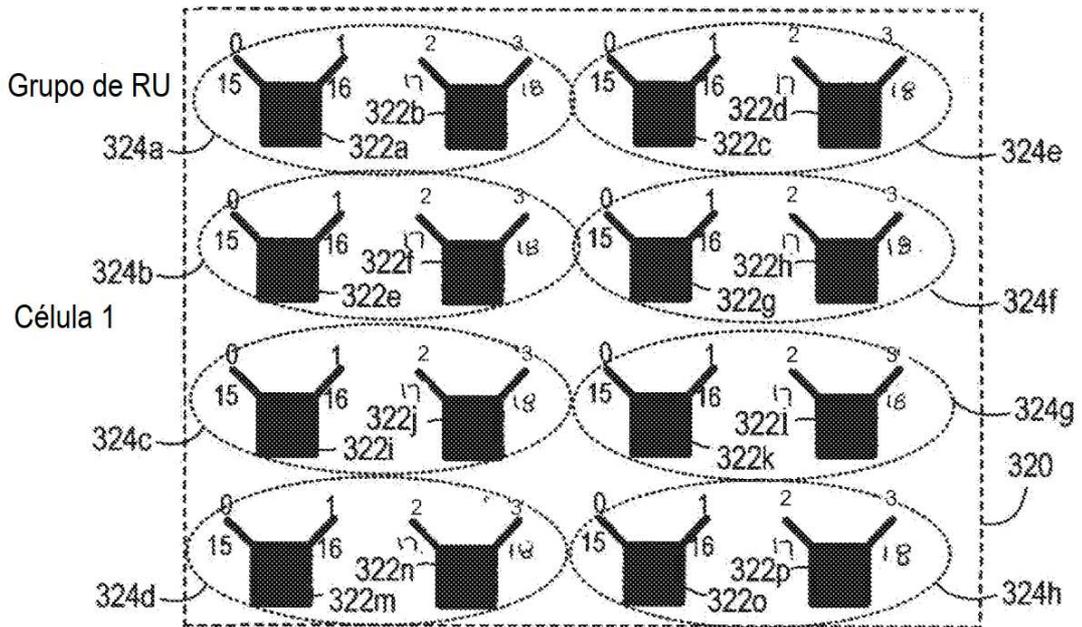


FIG. 4B

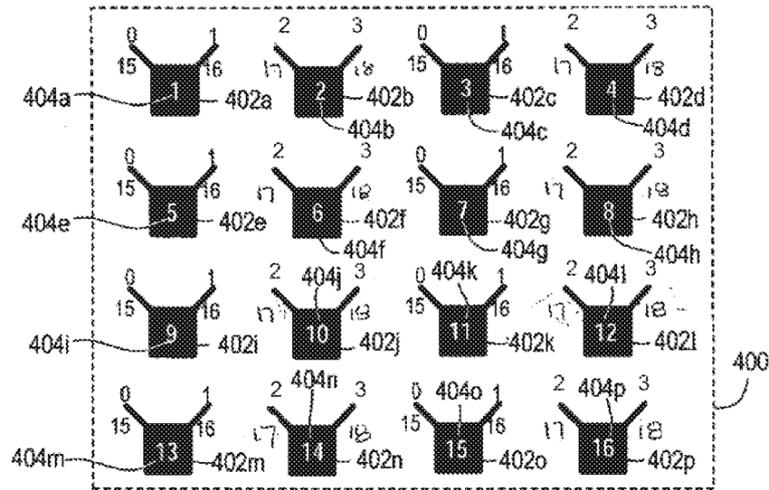


FIG. 4C

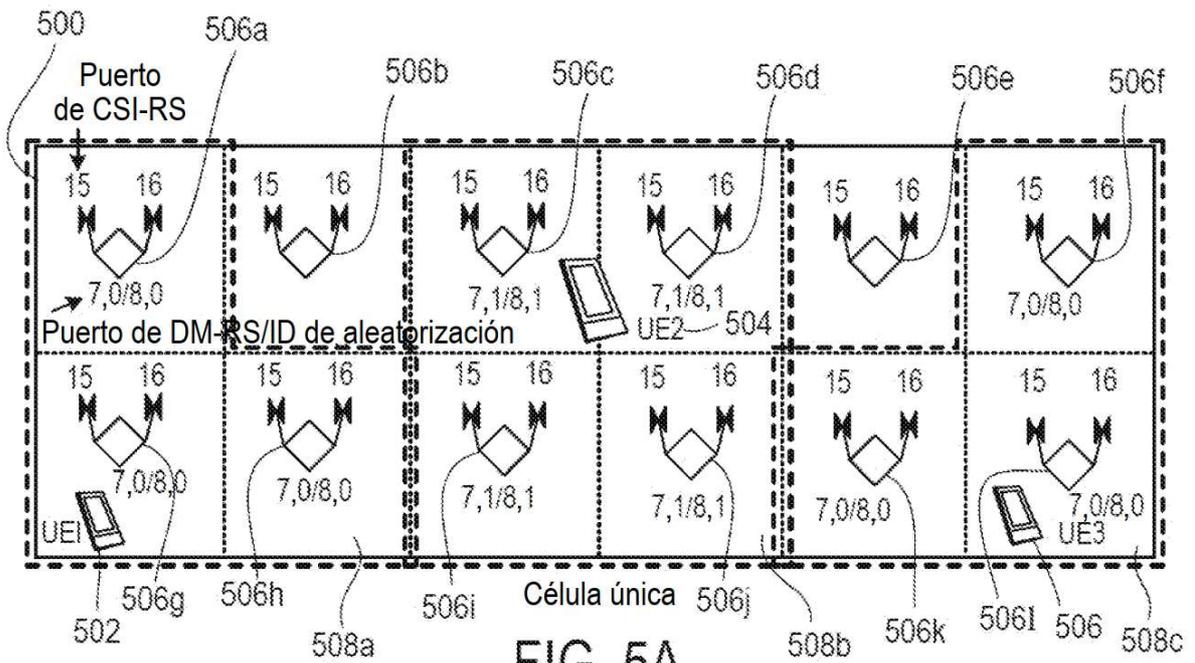


FIG. 5A

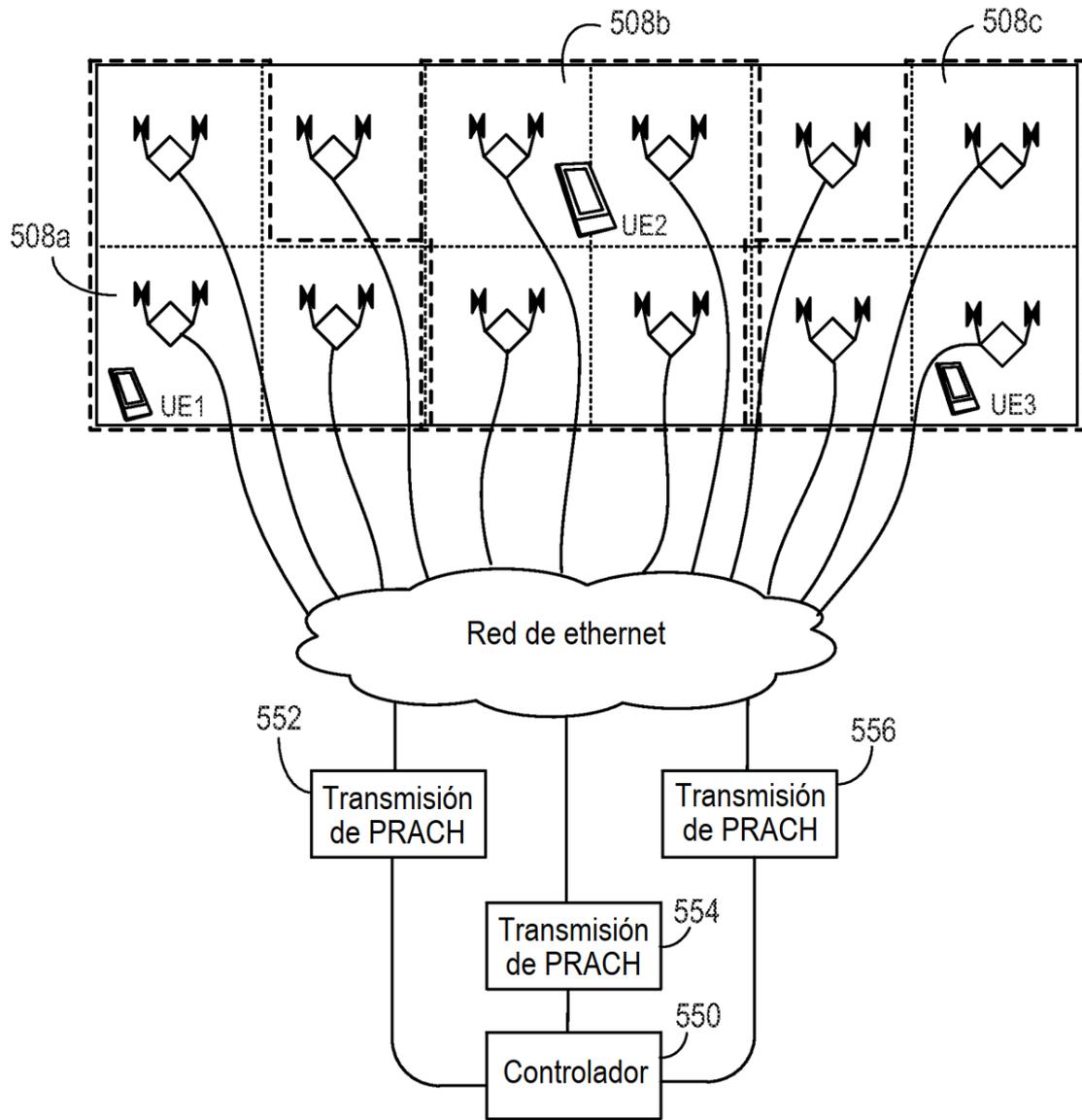


FIG. 5B

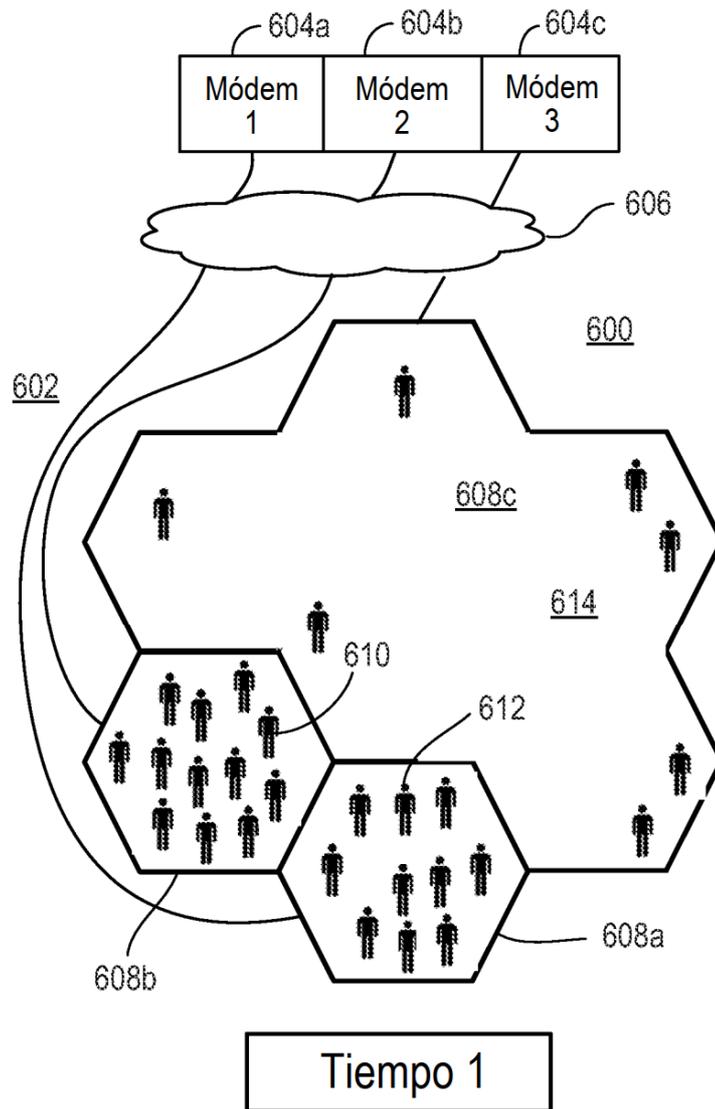


FIG. 6A

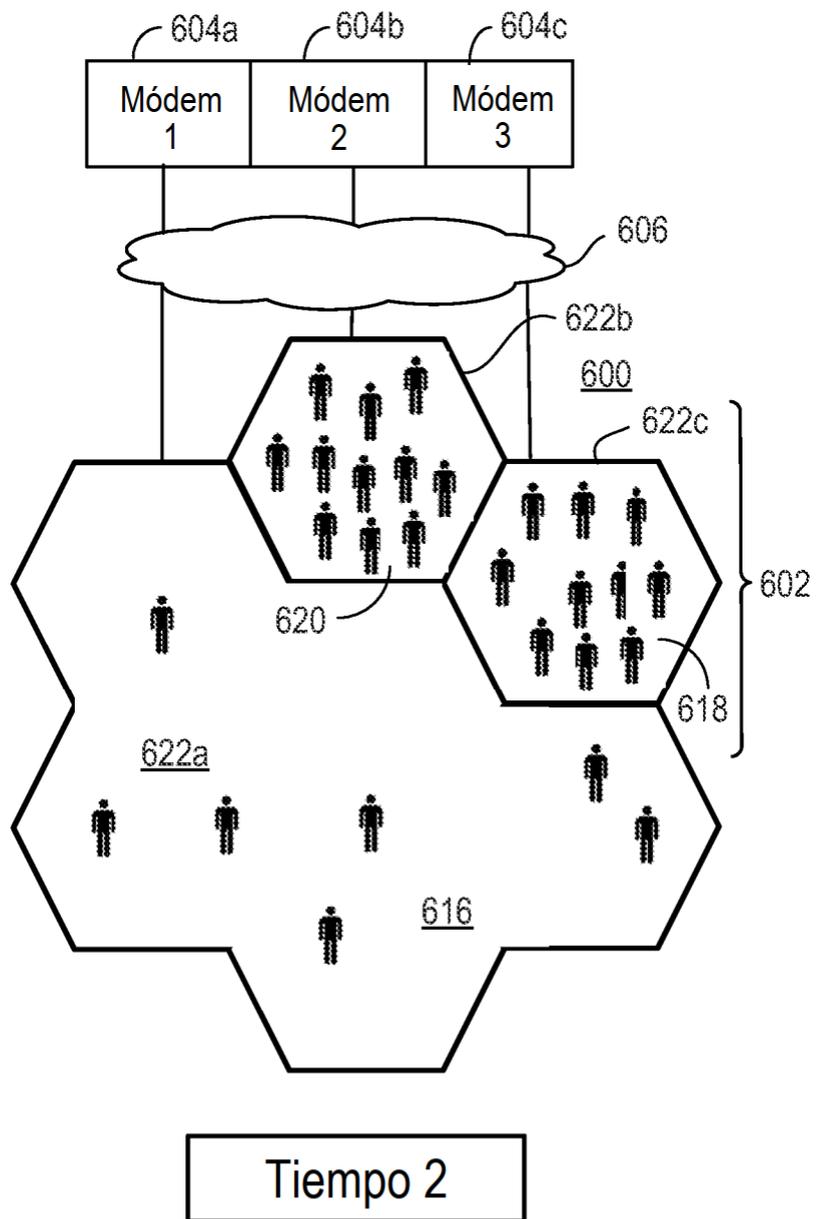


FIG. 6B

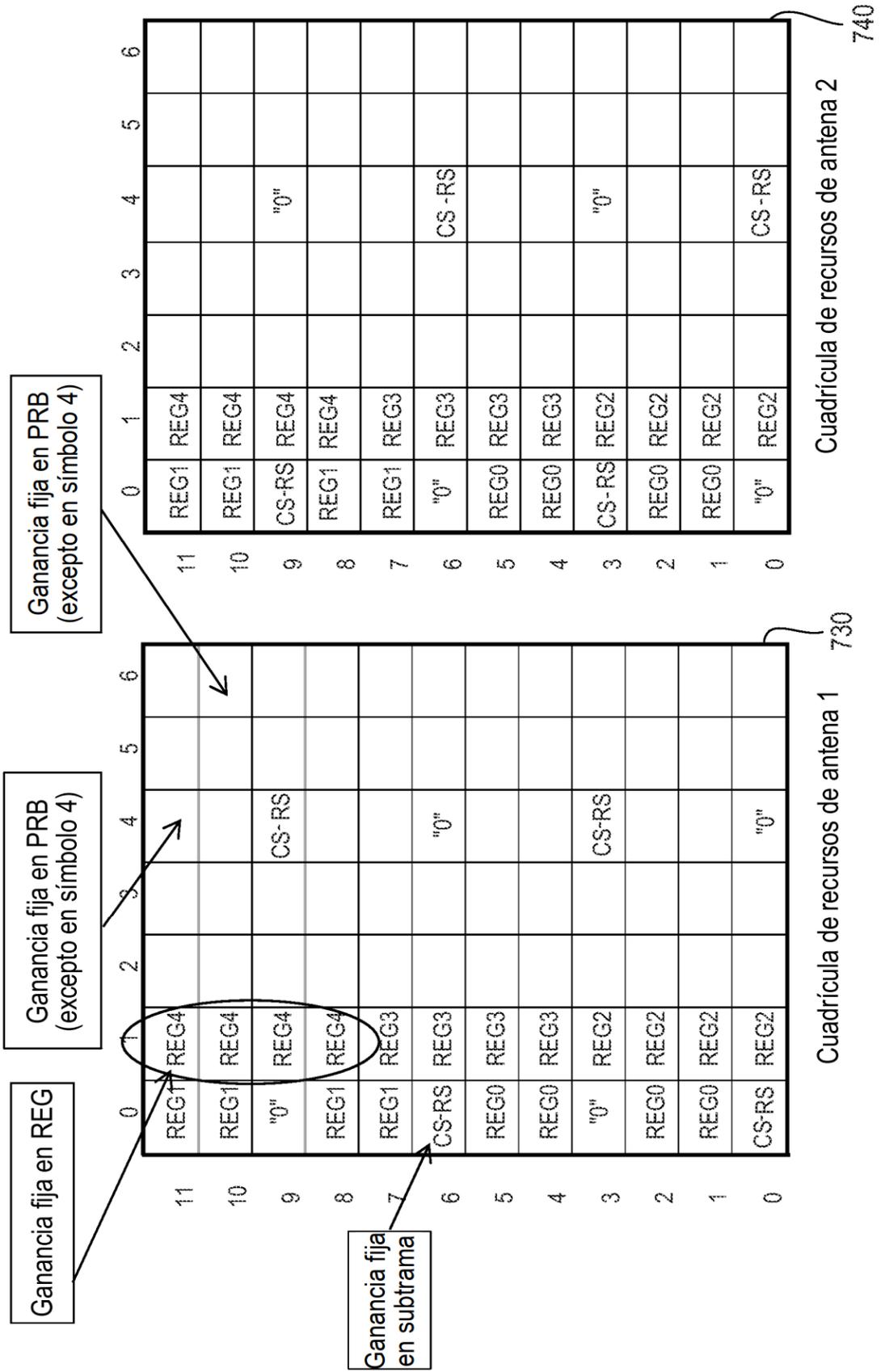


FIG. 7

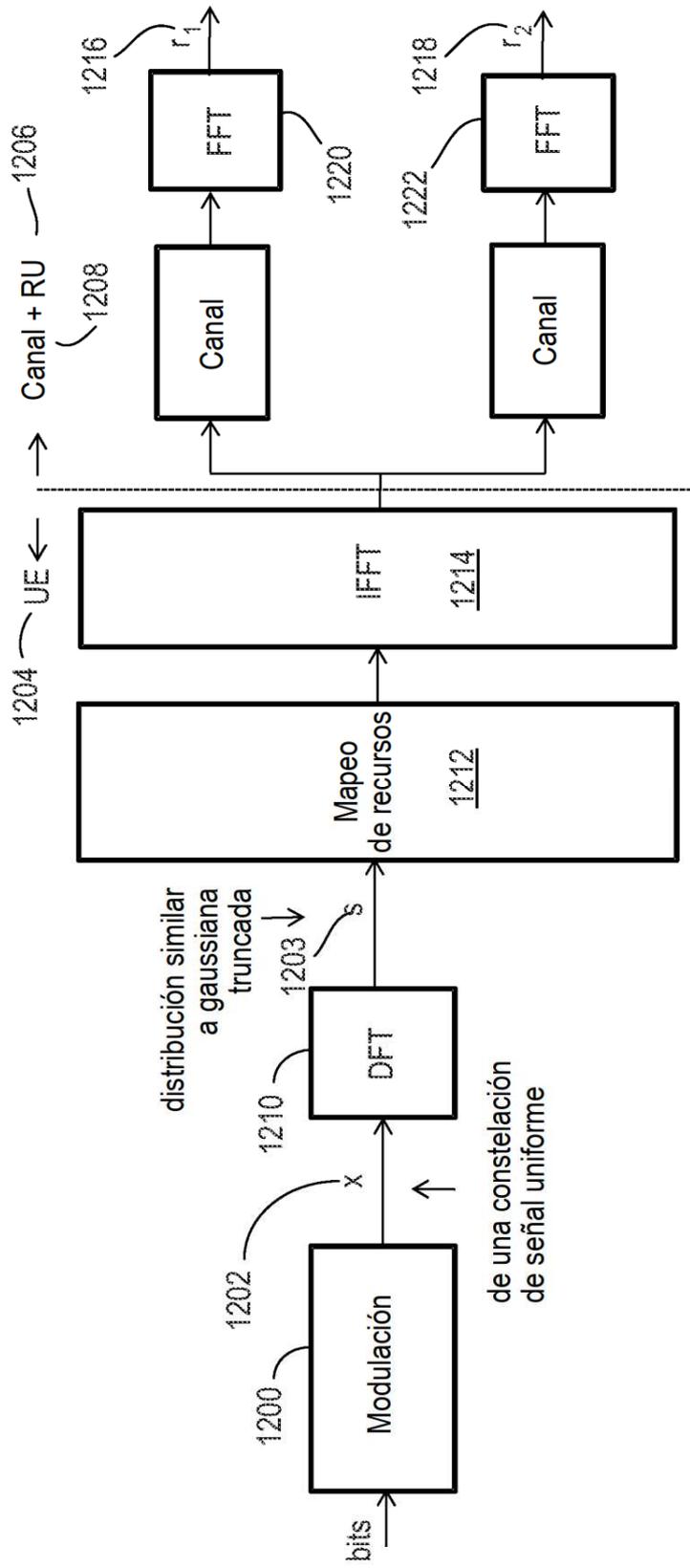


FIG. 8

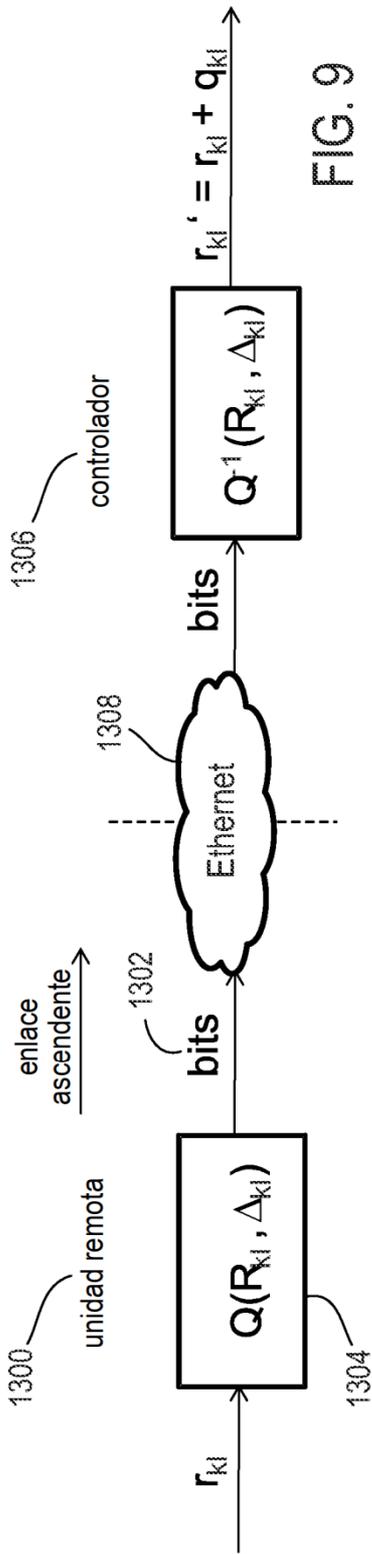


FIG. 9

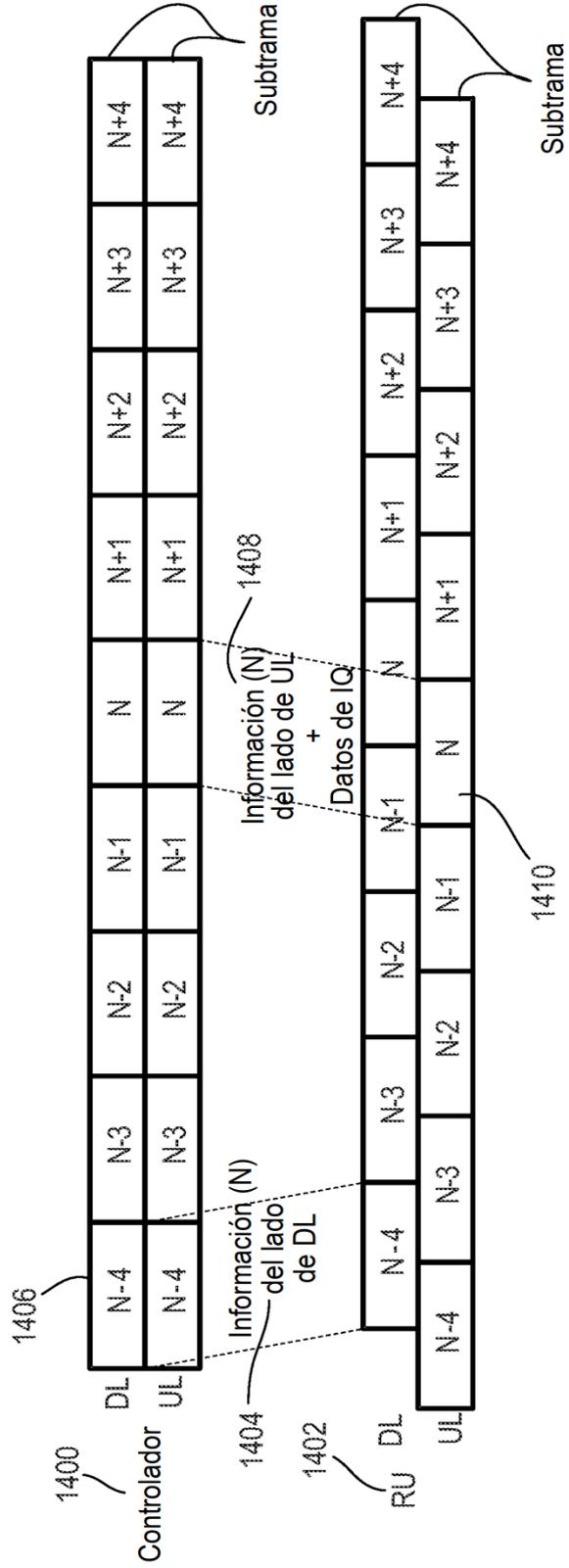


FIG. 10

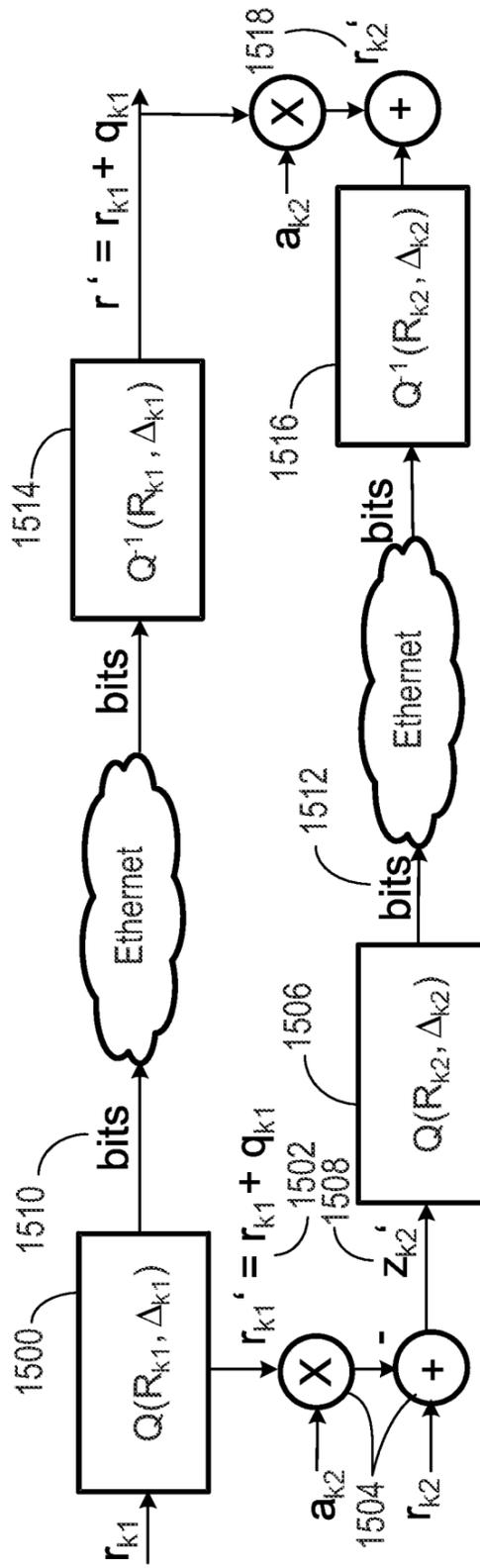
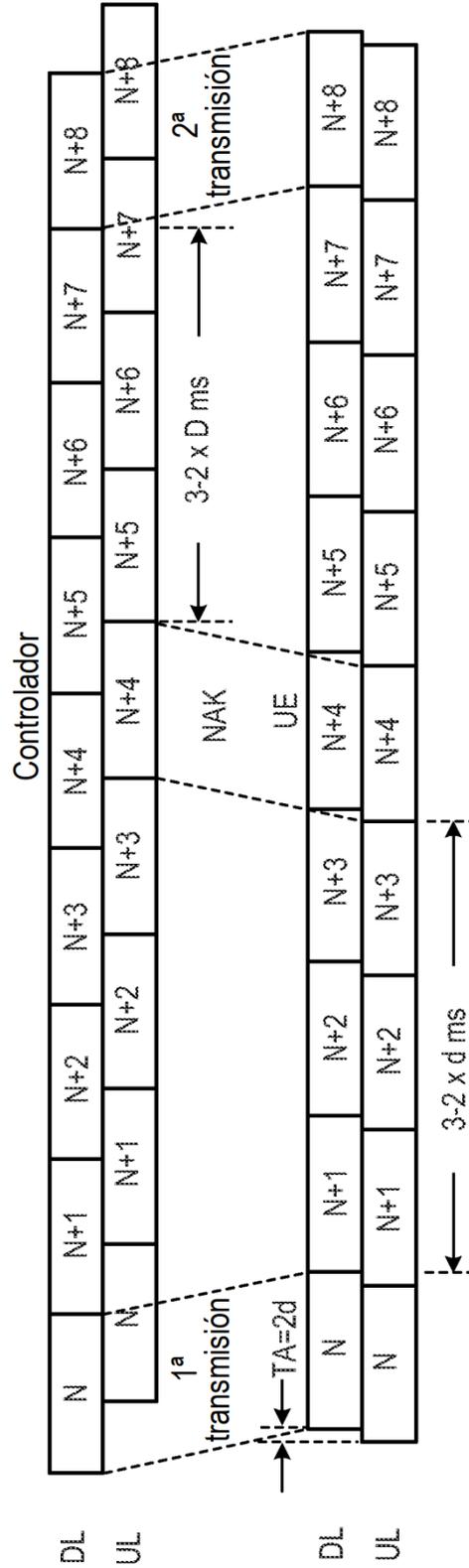
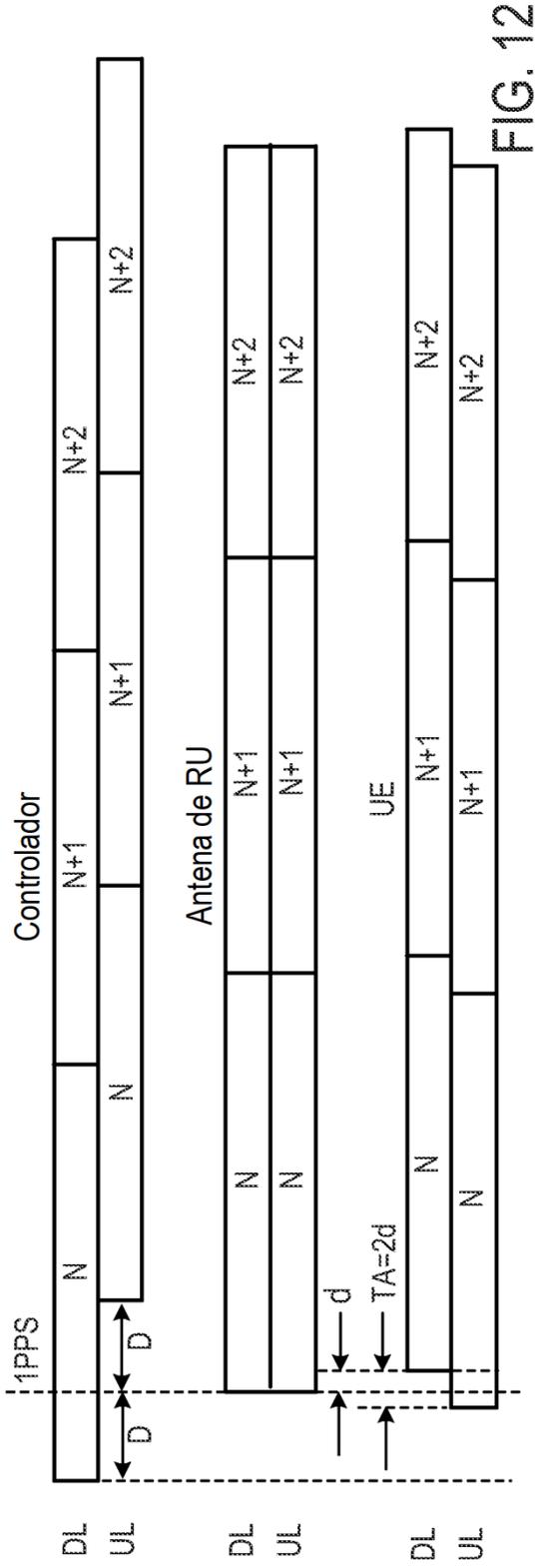


FIG. 11



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

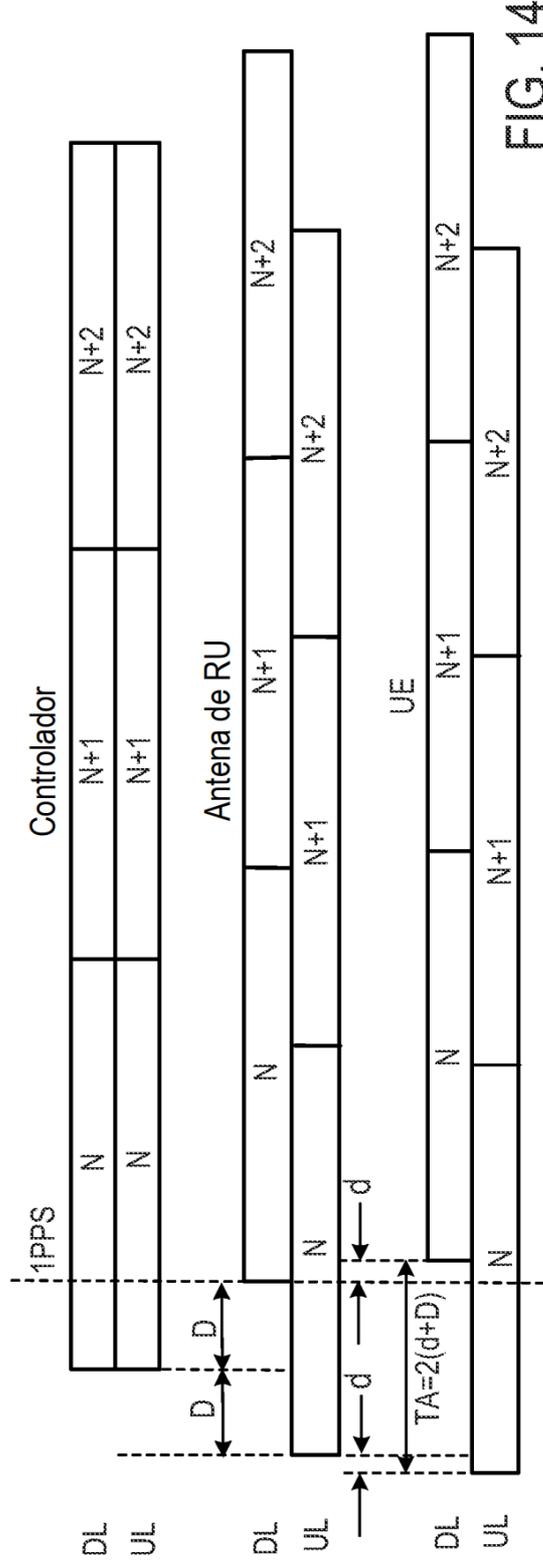


FIG. 14

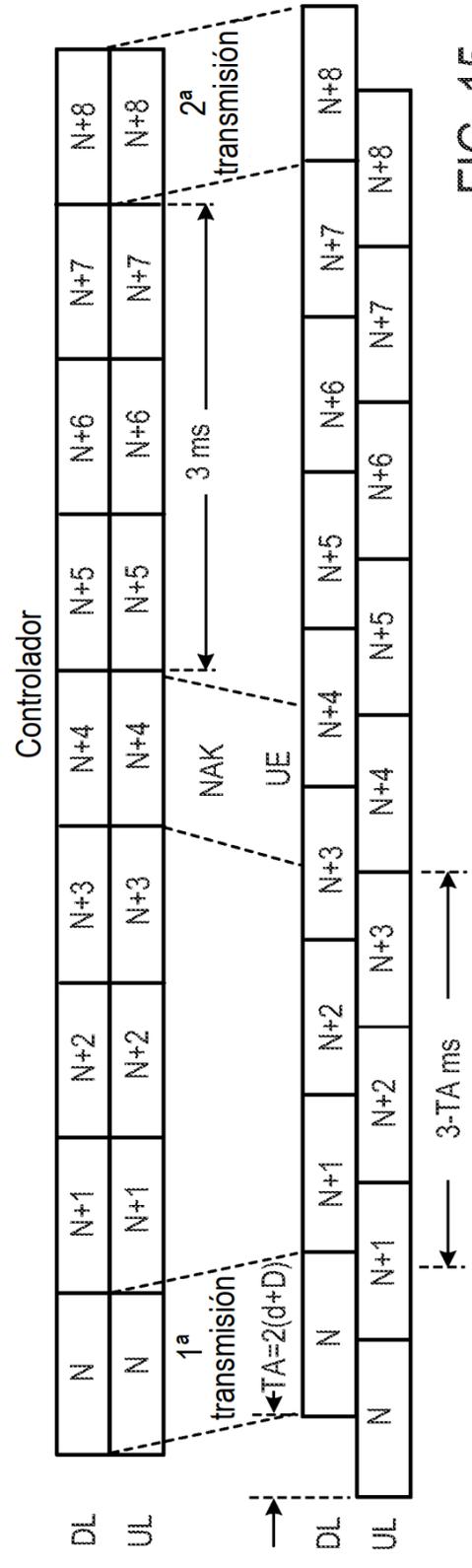
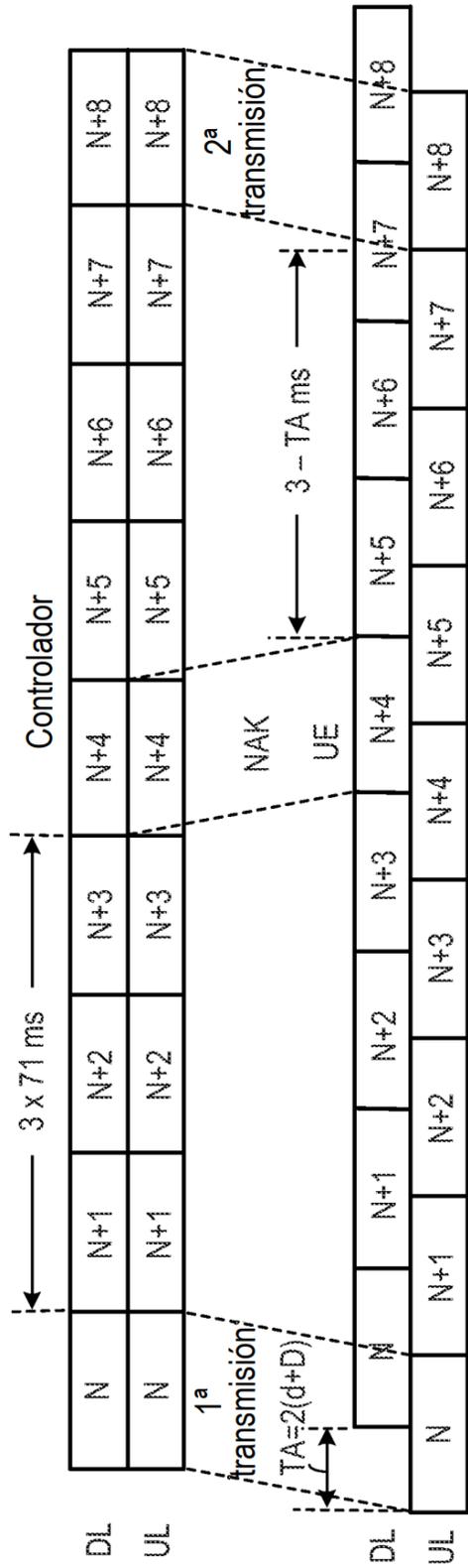


FIG. 15

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



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

FIG. 16

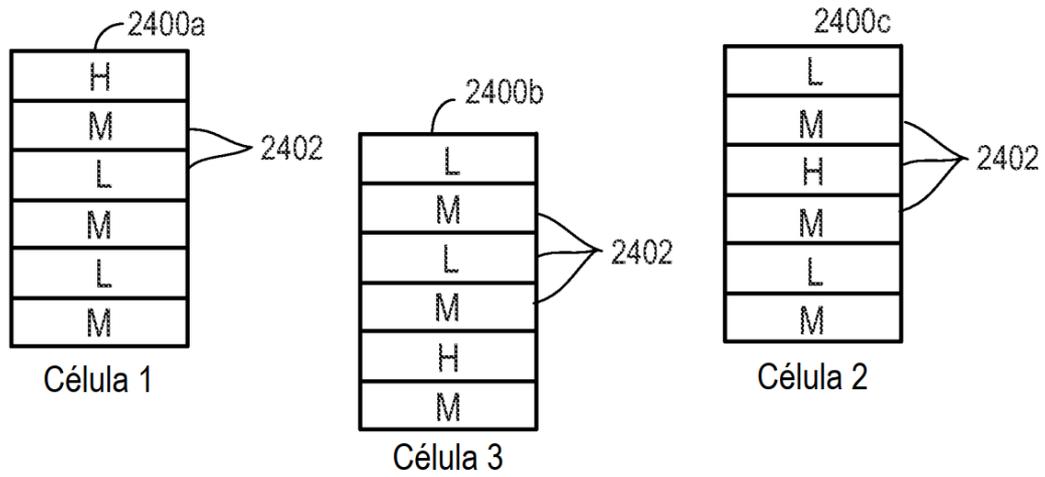


FIG. 17A

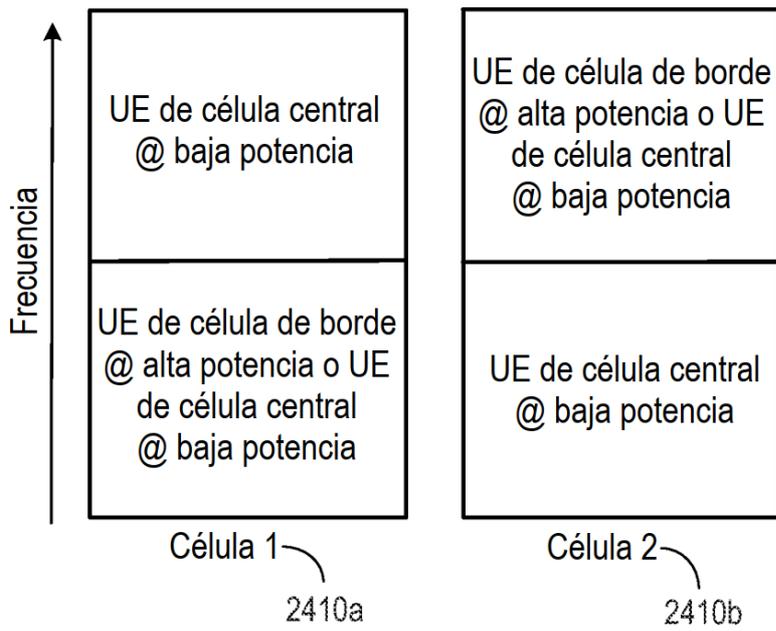


FIG. 17B

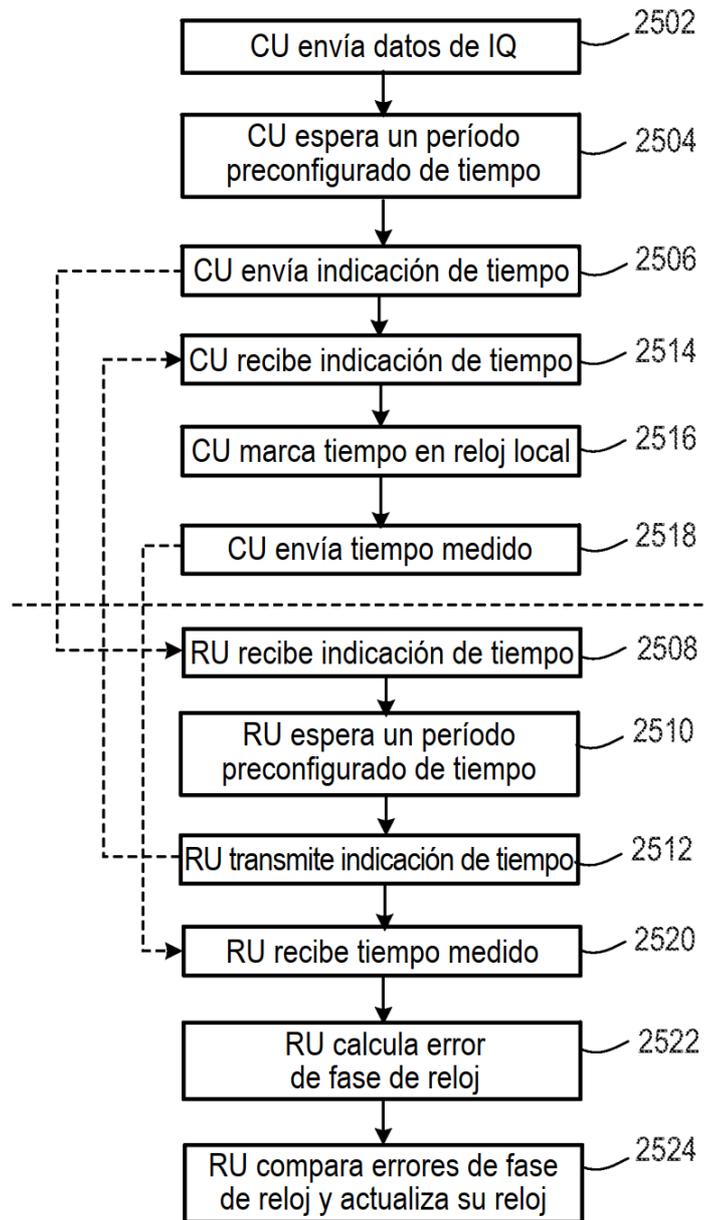


FIG. 18

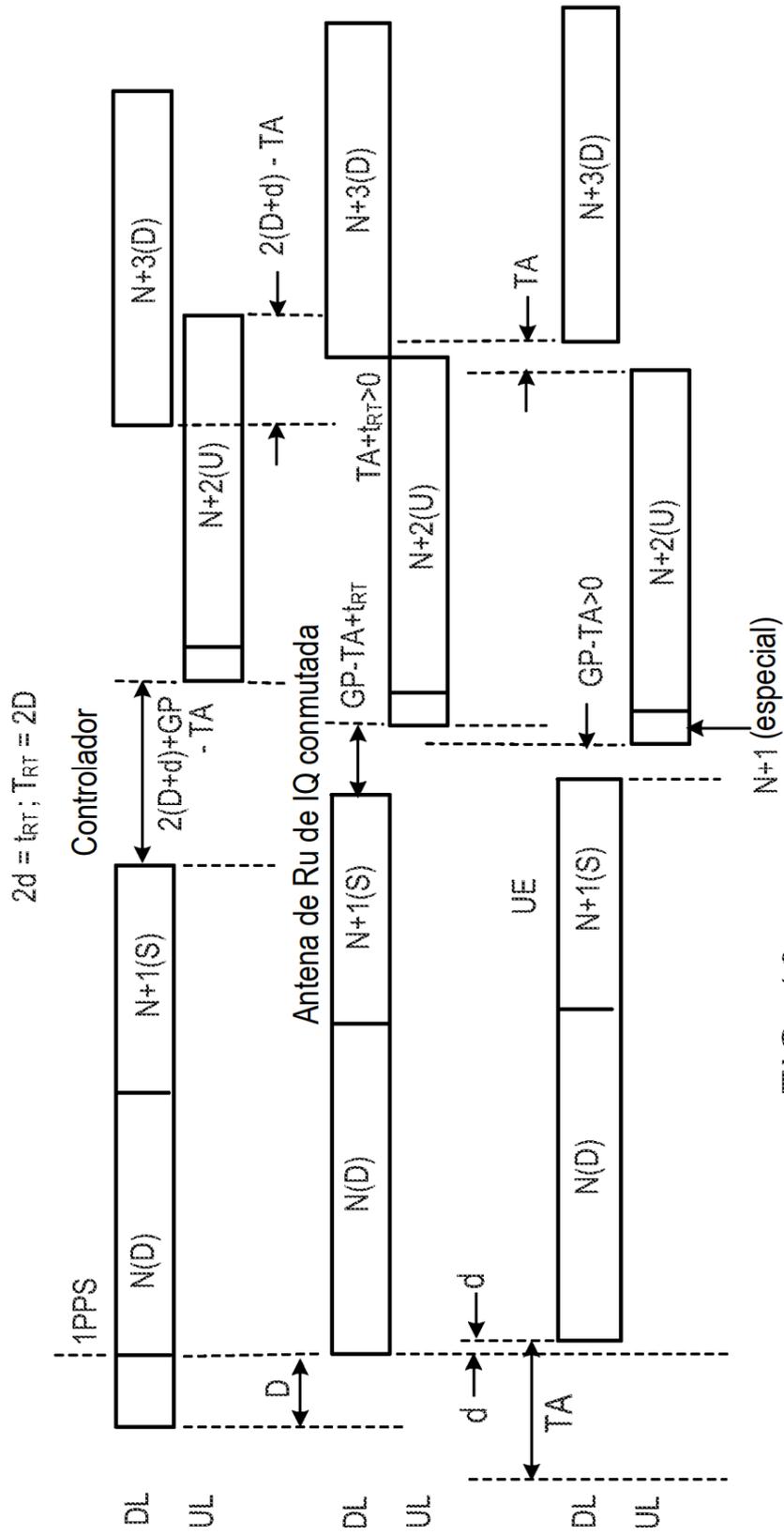


FIG. 19

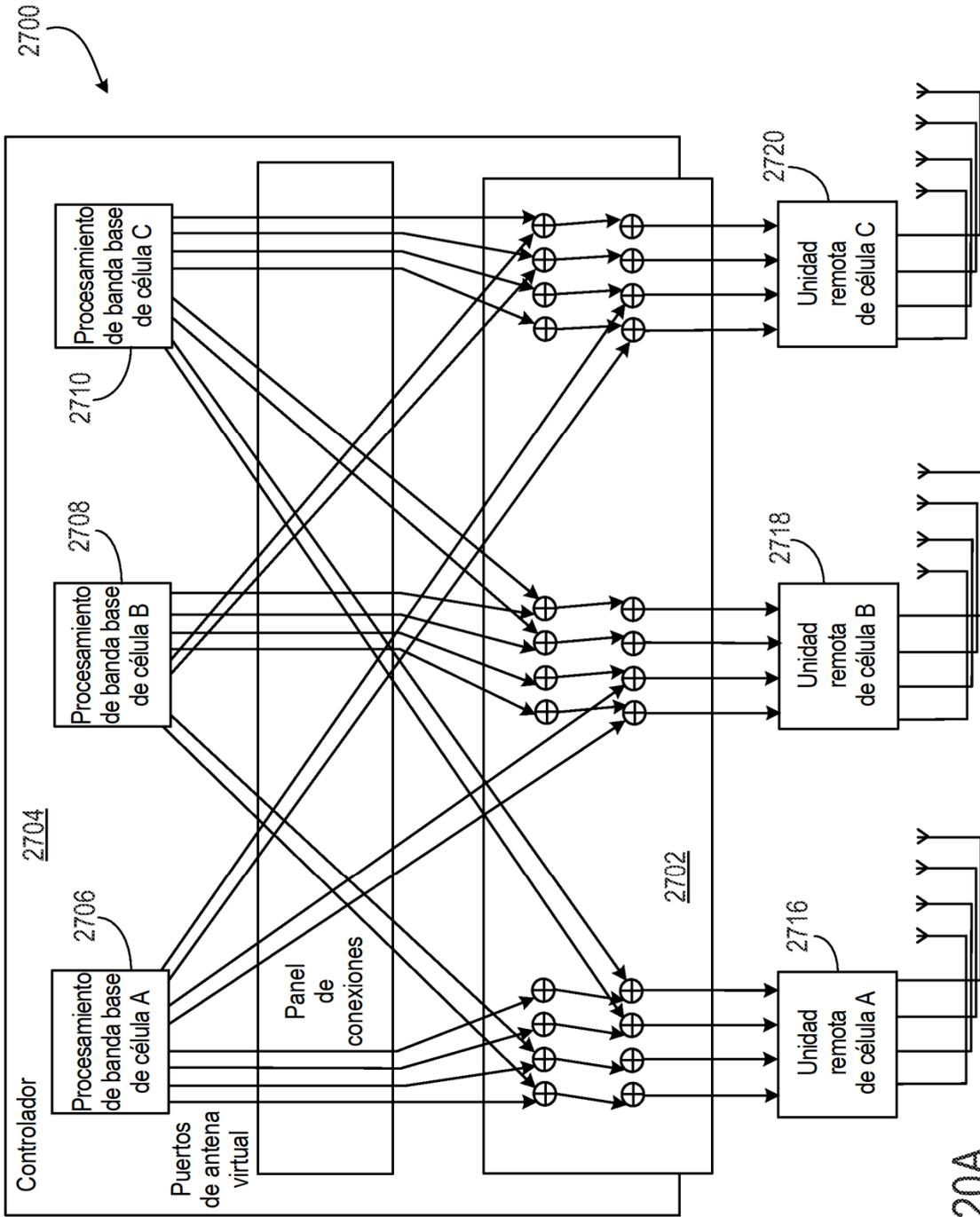


FIG. 20A

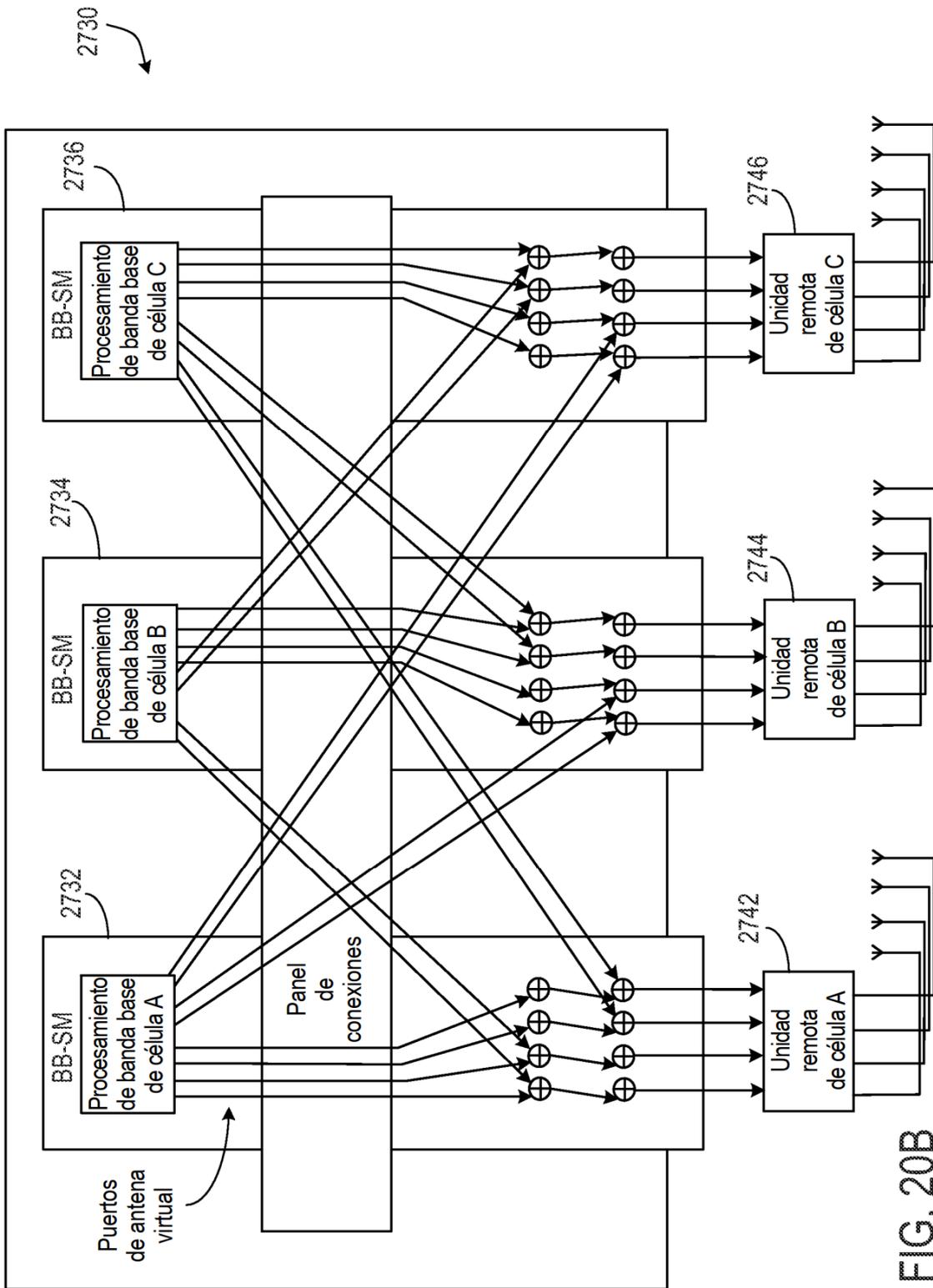


FIG. 20B

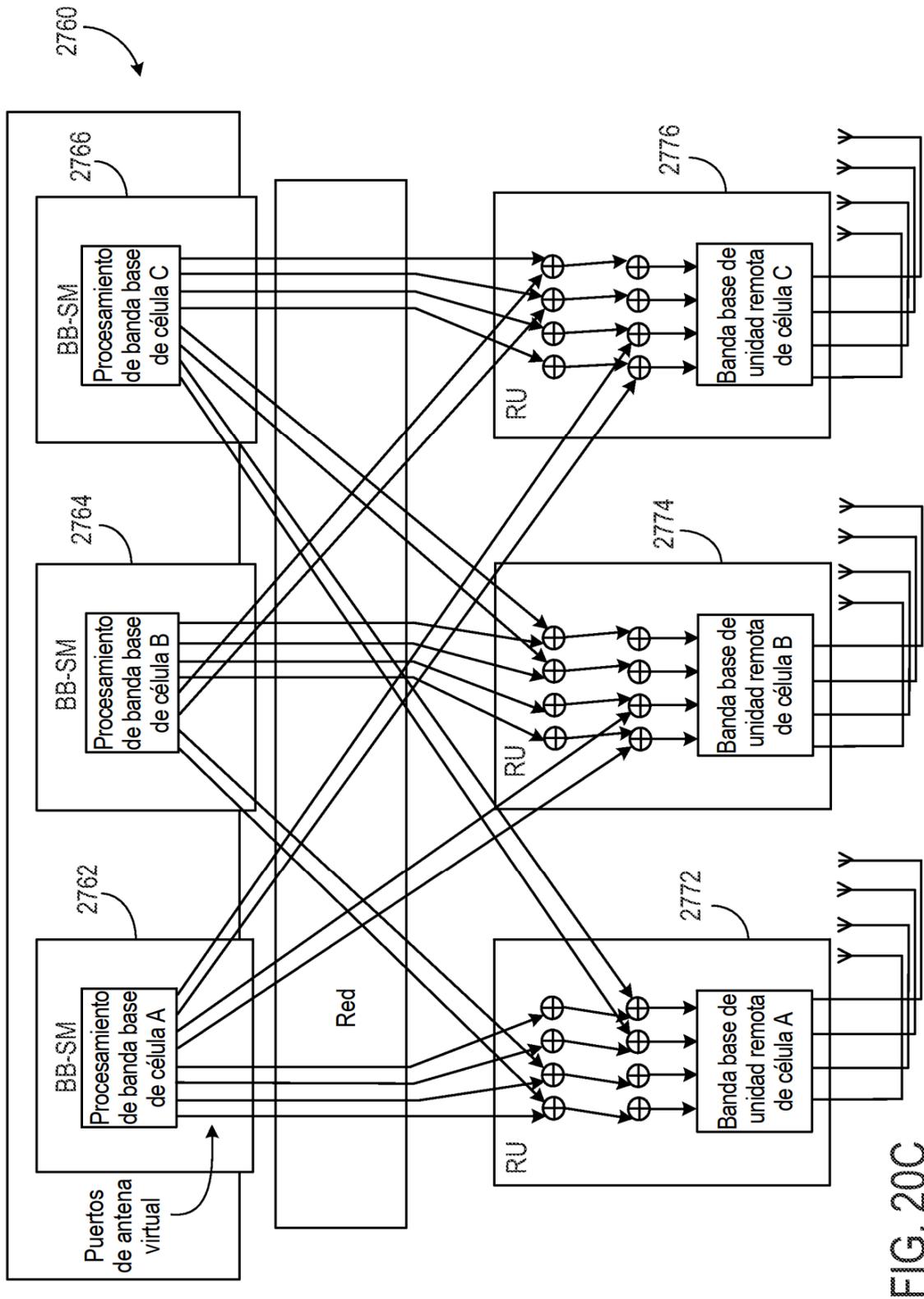


FIG. 20C

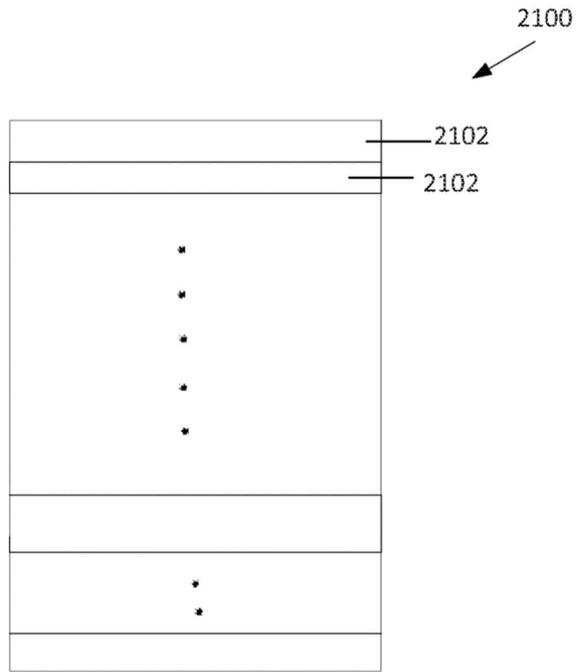


FIG. 21A

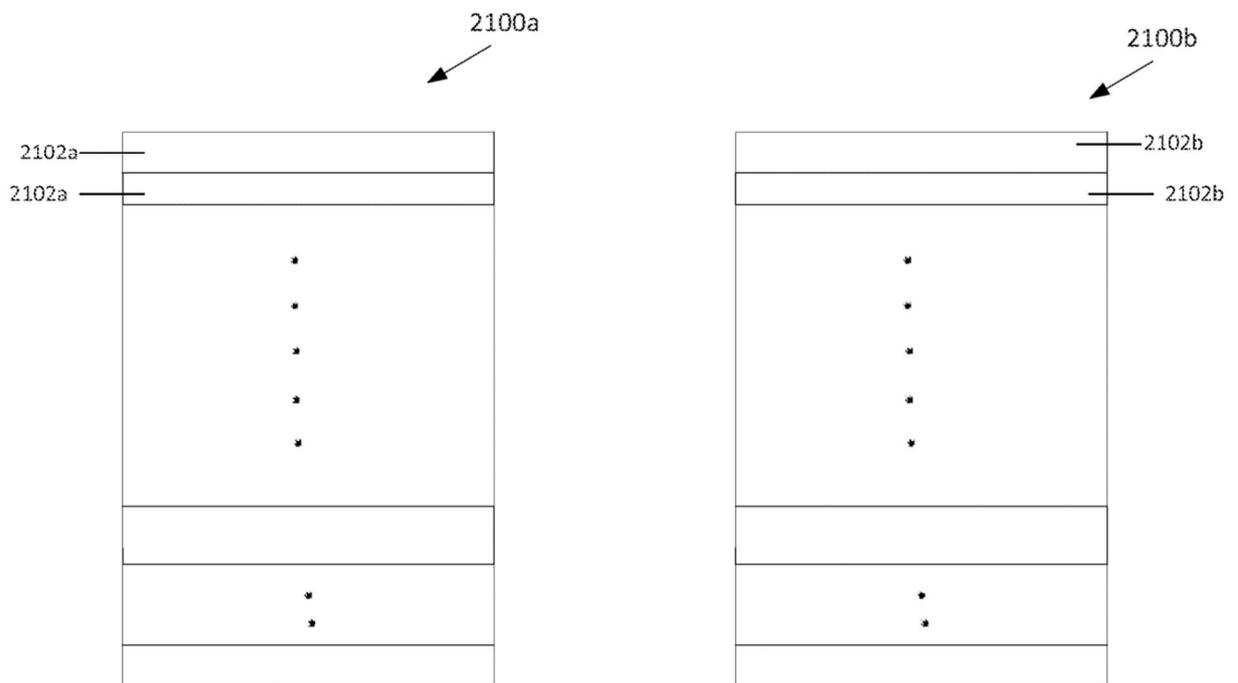


FIG. 21B

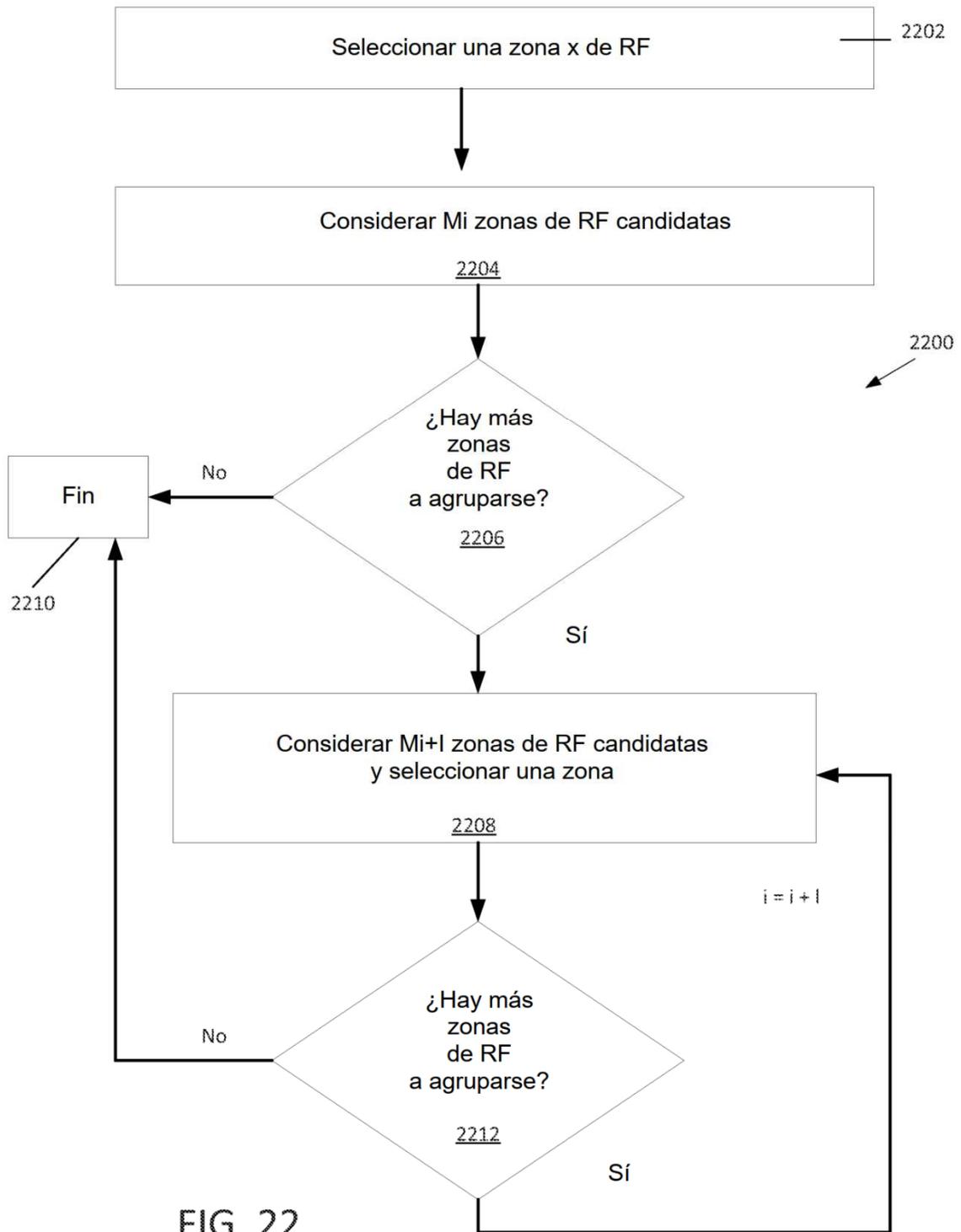


FIG. 22



FIG. 24

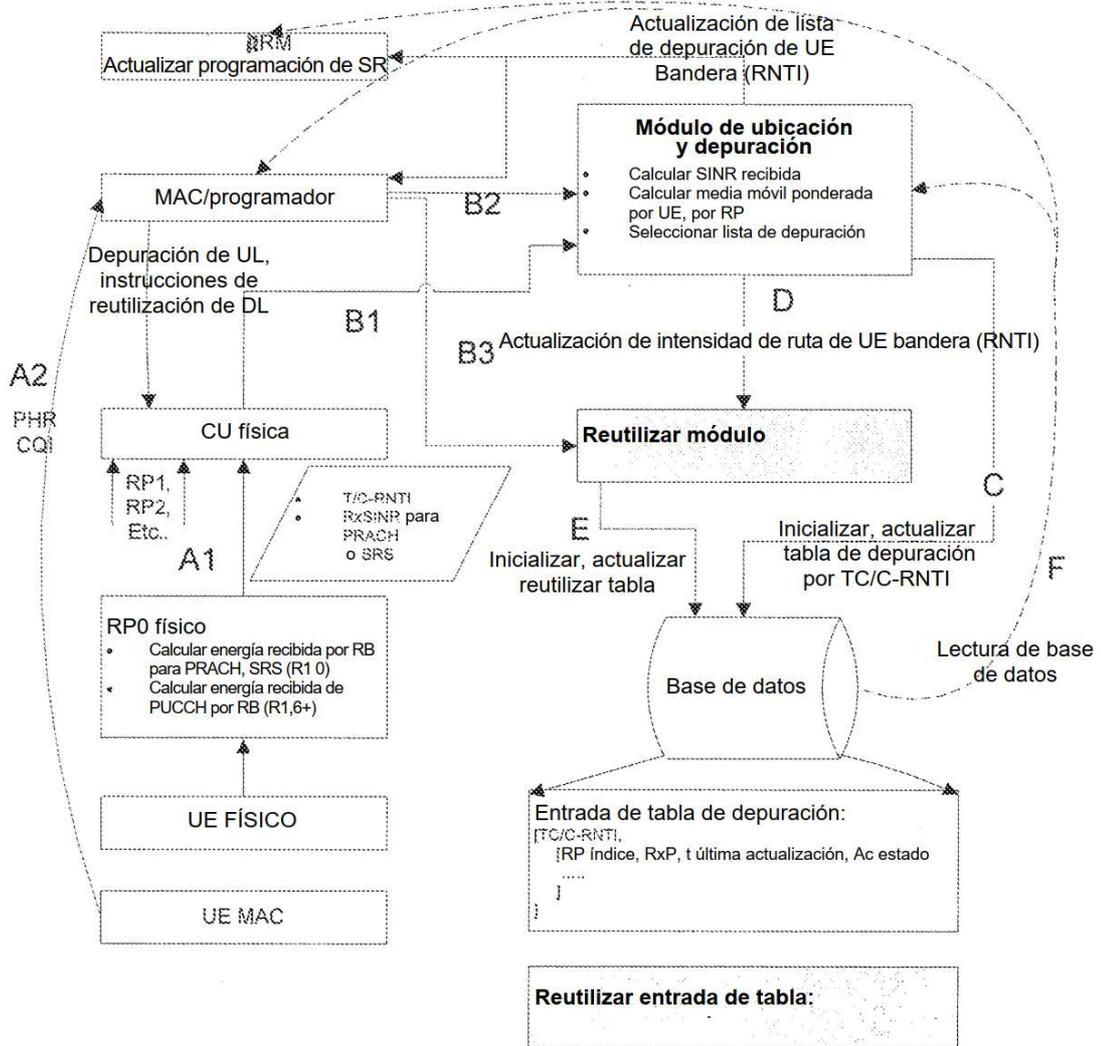


FIG. 25

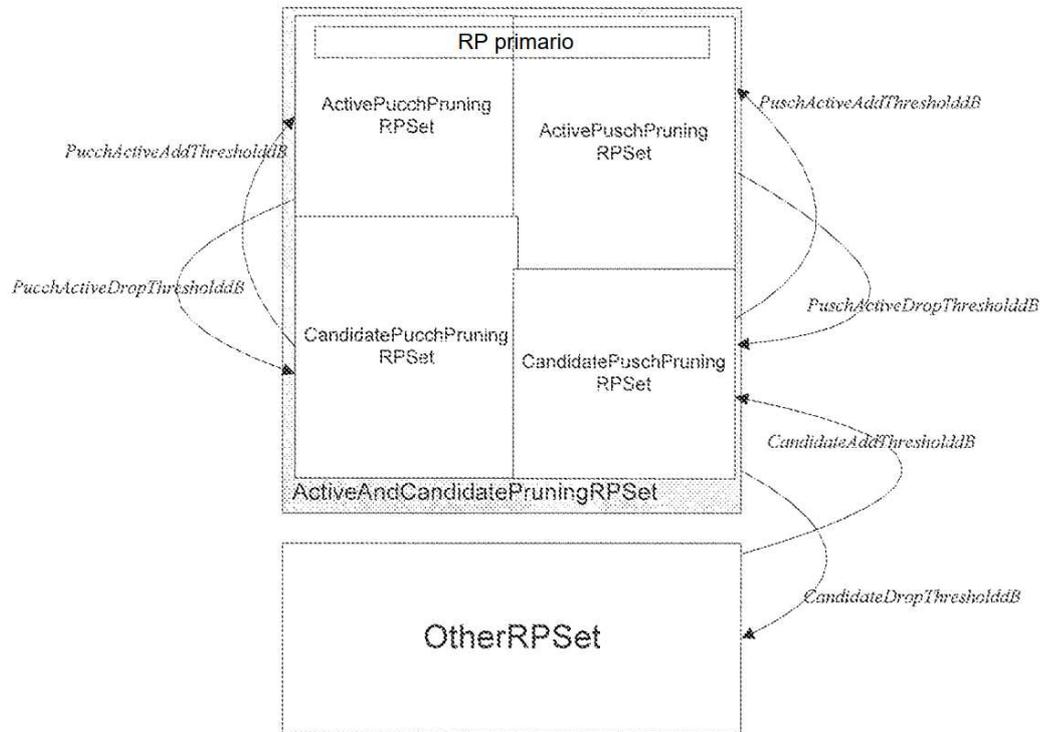


FIG. 26

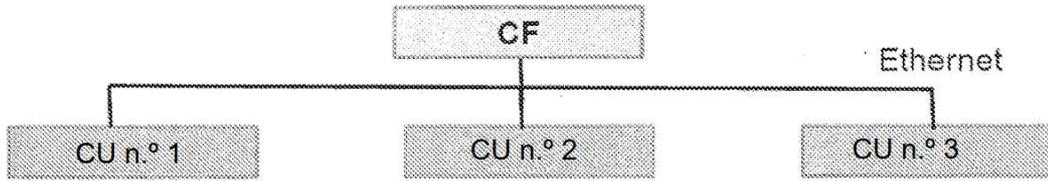
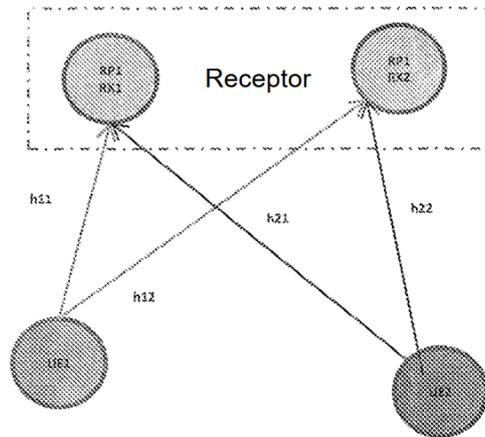


FIG. 27



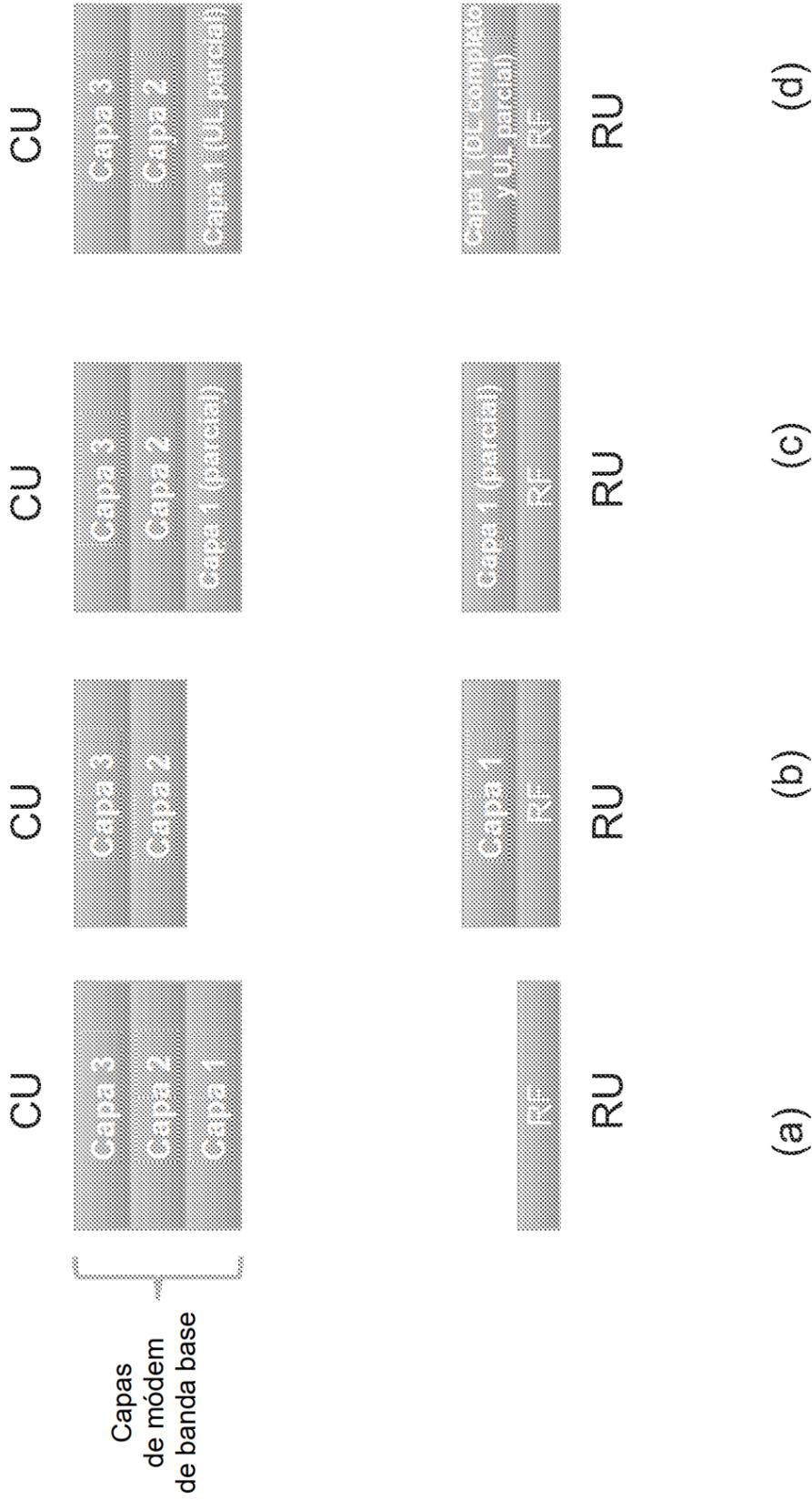
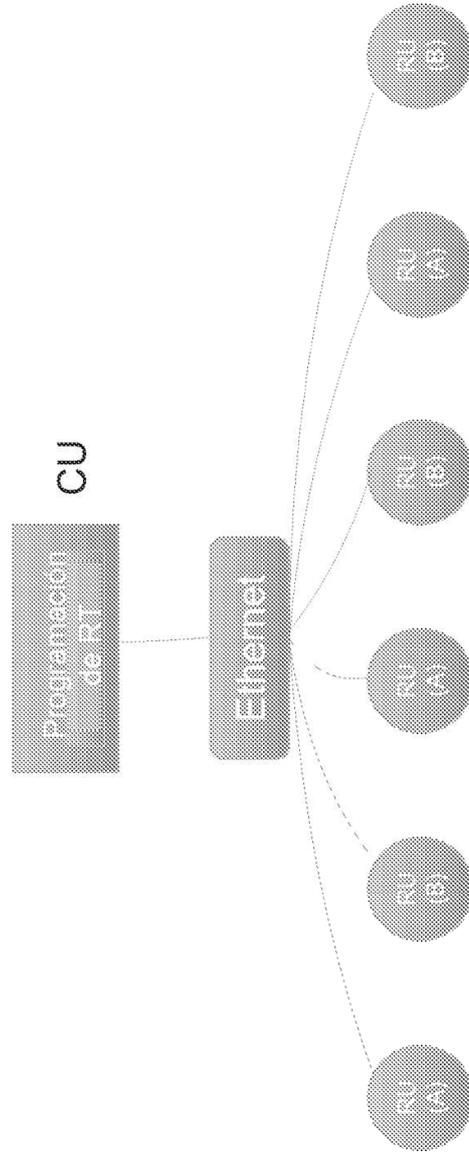


FIG. 28



A y B hacen referencia a diferentes portadoras en un sistema de agregación de portadora

FIG. 29

3000  
↙

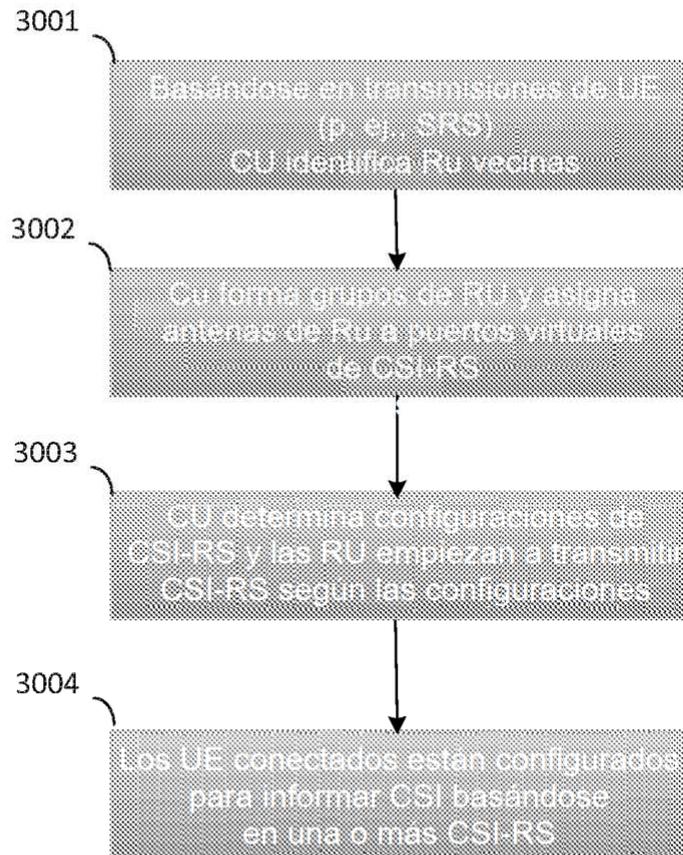


FIG. 30

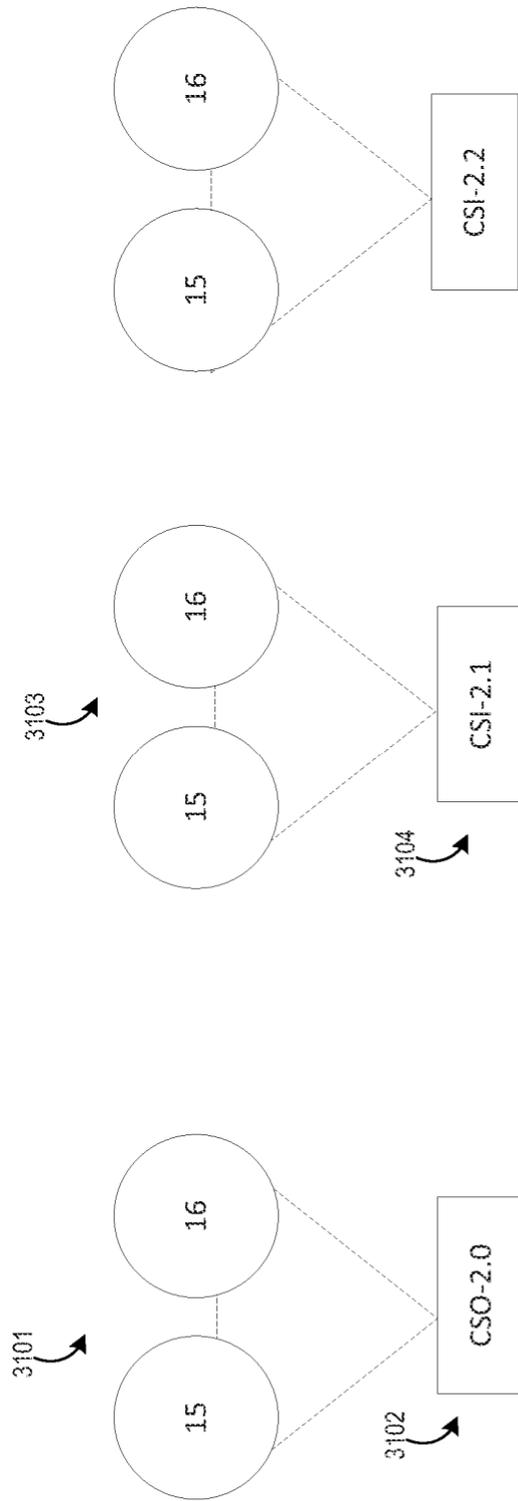


FIG. 31

3200 ↻

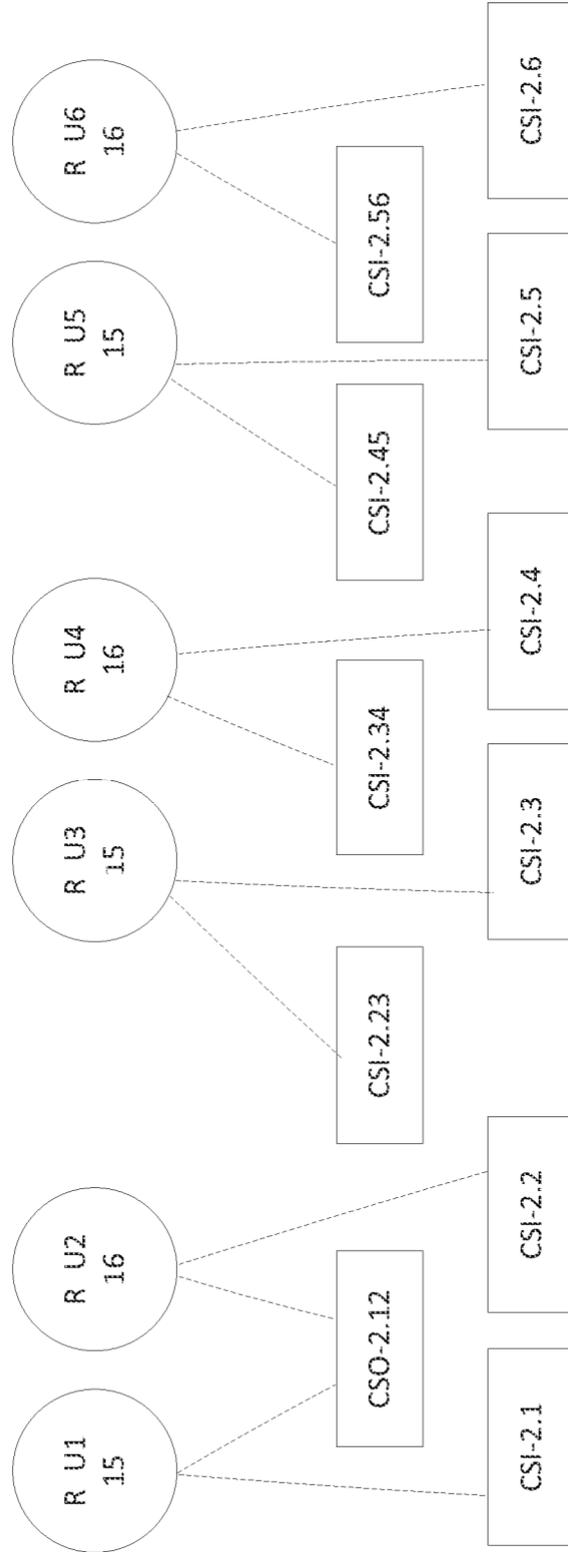


FIG. 32