

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 432**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/0417** (2007.01)

**H04B 7/0456** (2007.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.04.2020 PCT/EP2020/060409**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.11.2020 WO20221582**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2020 E 20717210 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 3963733**

54 Título: **Métodos y aparatos para notificación de CSI en un sistema de comunicación inalámbrica**

30 Prioridad:

**02.05.2019 EP 19172422**

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

**02.06.2025**

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. (100.00%)  
Hansastr. 27c  
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**RAMIREDDY, VENKATESH;  
GROSSMANN, MARCUS y  
LANDMANN, MARKUS**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 3 023 432 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

Métodos y aparatos para notificación de CSI en un sistema de comunicación inalámbrica

## Campo técnico

5 La presente invención se refiere al campo de las comunicaciones inalámbricas, y en particular, a métodos y aparatos para notificación de retroalimentación eficiente para al menos un sistema de red de comunicación inalámbrica basado en nueva radio (NR), cuya retroalimentación incluye información del estado del canal (CSI).

## Antecedentes

10 En un sistema de comunicaciones inalámbricas, tal como nueva radio, también denominado sistema de comunicaciones inalámbricas de quinta generación 3GPP o 5G, las señales de enlace descendente (DL) y de enlace ascendente (UL) transportan señales de datos, señales de control que incluyen información de control de DL (DCI) y/o información de control de enlace ascendente (UCI), y diversas señales de referencia (RS) utilizadas para diferentes fines. Un nodo de red de radio, una estación base de radio o un gNodoB (o gNB o gNB/TRP (punto de recepción de transmisión)) transmite datos y DCI a través del denominado canal físico compartido de enlace descendente (PDSCH) y el canal físico de control de enlace descendente (PDCCH), respectivamente.

15 Un UE transmite datos y UCI a través del canal denominado físico compartido de enlace ascendente (PUSCH) y del canal físico de control de enlace ascendente (PUCCH), respectivamente. Además, la o las señales de DL o de UL del gNB, respectivamente del gNB o del equipo de usuario (UE o un dispositivo de radio), pueden contener uno o varios tipos de RS, incluyendo una RS de información de estado del canal (CSI-RS), una RS de demodulación (DM-RS) y una RS de sondeo (SRS). La CSI-RS (SRS) se transmite sobre una parte del ancho de banda del sistema DL (UL) y se utiliza en el UE (gNB) para la adquisición de CSI. La DM-RS se transmite solo en una parte del ancho de banda del PDSCH/PUSCH respectivo y es utilizada por el UE/gNB para demodulación de datos.

20 Una de las características clave del 5G es el uso de esquemas de transmisión de múltiples entradas múltiples salidas (MIMO) para conseguir un alto rendimiento del sistema en comparación con generaciones anteriores de sistemas móviles. La transmisión MIMO generalmente exige la disponibilidad de una CSI precisa, utilizada en el gNB para la precodificación de señales mediante una matriz de precodificación de los datos e información de control. Por lo tanto, la especificación actual del proyecto de asociación de tercera generación, versión 15 (3GPP v. 15), proporciona un marco integral para la notificación de CSI. La CSI se adquiere en una primera etapa en el UE basándose en las señales CSI-RS recibidas, transmitidas por el gNB. En una segunda etapa, el UE determina, basándose en la matriz de canal estimada, una matriz de precodificación a partir de un conjunto predefinido de matrices denominado "libro de códigos". La matriz de precodificación seleccionada se notifica en una tercera etapa al gNB en forma de un identificador de matriz de precodificación (PMI) y un identificador de rango (RI).

25 En la especificación NR v.-15 actual, existen dos tipos (Tipo I y Tipo II) para notificación de CSI, donde ambos tipos se basan en un libro de códigos  $W_1$   $W_2$  de dos etapas (es decir, dos componentes). El primer libro de códigos, o el denominado precodificador de primera etapa,  $W_1$  se utiliza para seleccionar varios vectores de haz de una matriz basada en transformada discreta de Fourier (basada en DFT), también denominada libro de códigos espacial. El segundo libro de códigos, o el denominado precodificador de segunda etapa,  $W_2$  se utiliza para combinar los haces seleccionados. Para notificación de CSI de Tipo I y Tipo II,  $W_2$  contiene coeficientes de combinación de solo fase y coeficientes de combinación complejos, respectivamente. Además, para notificación de CSI de tipo II,  $W_2$  se calcula por subbanda de tal manera que el número de columnas de  $W_2$  depende del número de subbandas configuradas. En este contexto, una subbanda se refiere a un grupo de bloques de recursos físicos (PRB) adyacentes. Si bien el Tipo II proporciona una resolución significativamente mayor que la retroalimentación CSI Tipo I, una desventaja importante es la mayor sobrecarga de retroalimentación para notificar los coeficientes de combinación por subbanda. Esta sobrecarga de retroalimentación aumenta aproximadamente linealmente con el número de subbandas y se vuelve considerablemente alta para un gran número de subbandas. Para superar la alta sobrecarga de retroalimentación del esquema de notificación de CSI Tipo II v.-15, recientemente se decidió en 3GPP RAN#81 [2] (red de acceso radioeléctrico (RAN) 3GPP, 3GPP RAN#81) estudiar esquemas de compresión de retroalimentación para el precodificador de segunda etapa  $W_2$ .

30 Antes de entrar en la descripción detallada de la o las soluciones de las presentes realizaciones, se da a conocer una descripción informativa para comprender mejor los problemas de la técnica anterior, seguida de una descripción de cómo se resuelven dichos problemas según las realizaciones de la presente invención.

*Precodificación de doble etapa y notificación de CSI 3GPP v.-15*

Suponiendo una transmisión de rango  $r$  ( $r$  puede ser hasta dos) y un conjunto de antenas de doble polarización en el gNB con configuración  $(N_1, N_2, 2)$ , el precodificador de doble etapa v.-15 para la notificación de CSI para la subbanda  $s$ -ésima está dado por:

$$W(s) = W_1 w_2(s),$$

$$= W_1 W_A \hat{w}_2(s)$$

donde la matriz de precodificación  $W$  tiene  $2N_1 N_2$  filas correspondientes al número de puertos de antena y columnas  $S$  para los PRB/subbandas de notificación. La matriz  $W_1^{(t)} \in \mathbb{C}^{2N_1 N_2 \times 2U}$  es el precodificador de primera etapa de banda ancha que contiene haces espaciales  $2U$  para ambas polarizaciones que son idénticos para todos  $S$  subbandas, y  $W_A$  es una matriz diagonal que contiene  $2U$  amplitudes de banda ancha asociadas con los  $2U$  haces espaciales, y  $\hat{w}_2(s)$  es el precodificador de segunda etapa que contiene  $2U$  coeficientes de combinación del dominio de frecuencia complejos de subbanda (amplitud y fase de subbanda) asociados con los  $2U$  haces espaciales para la subbanda  $s$ -ésima.

Según la técnica anterior [1], la notificación y cuantificación de la matriz de amplitud de banda ancha  $W_A$  y coeficientes de combinación de subbandas en  $\hat{w}_2(s)$  se cuantifican y notifican de la siguiente manera.

- No se notifica la amplitud de banda ancha correspondiente al haz más fuerte, que tiene un valor de amplitud de 1. Los valores de amplitud de banda ancha asociados a los haces  $2U-1$  restantes se notifican cuantificando cada valor de amplitud con 3 bits.

- No se notifican las amplitudes de subbanda ni los valores de fase de los coeficientes asociados con el primer haz principal (se supone que son iguales a 1 y 0).

- Para cada subbanda, las amplitudes de los coeficientes  $B$  asociados con los primeros haces principales  $B - 1$  (distintos del primer haz principal) se cuantifican con 1 bit (niveles de cuantificación  $[\sqrt{0.5}, 1]$ ). Los valores de amplitud de los  $2U - B$  haces restantes no se notifican (se supone que son iguales a 1).

- Para cada subbanda, los valores de fase de los  $B - 1$  coeficientes asociados con los primeros  $B - 1$  haces principales (excepto el primer haz principal) se cuantifica con 3 bits. Los valores de fase de los  $2U-B$  haces restantes se cuantifican con 2 bits.

- El número de haces principales para los que se notifica la amplitud de subbanda está dado por  $B = 4, 4$  o  $6$  cuando el número total de haces espaciales configurados  $U = 2, 3$  o  $4$ , respectivamente.

El BORRADOR 3GPP; R1-1813130, (11 de noviembre de 2018), de FRAUNHOFER IIS ET AL: "Enhancements on Type-II CSI reporting" de la técnica anterior analiza un marco flexible para la compresión de retroalimentación basada en transformación del dominio de retardo mediante precodificación y notificación de CSI en el dominio de retardo.

El BORRADOR 3GPP; R1-1901286, (21 de enero de 2019), de MEDIATEK INC., de la técnica anterior analiza una mejora de CSI para MIMO multiusuario (MU-MIMO).

El BORRADOR 3GPP, R1-1903343, (22 de febrero de 2019) de ZTE de la técnica anterior analiza una mejora de CSI para compatibilidad con MU-MIMO.

El BORRADOR 3GPP, R1-1904662, (7 de abril de 2019), de NEC, de la técnica anterior da a conocer una discusión sobre notificación de CSI en NR.

El BORRADOR 3GPP, R1-1904965, (30 de marzo de 2019), de NTT DOCOMO, de la técnica anterior analiza una mejora de CSI tipo II para compatibilidad con MU-MIMO.

### Compendio

La presente invención se define tal como se expone en el conjunto de reivindicaciones adjunto. En vista de las desventajas descritas anteriormente, se da a conocer un dispositivo de comunicación, un dispositivo de radio o un equipo de usuario (UE) y un método en los mismos para proporcionar retroalimentación de información del estado del canal (CSI) en un sistema de comunicación inalámbrica que incluye al menos el UE y un gNB o un nodo de red de radio. El UE comprende un procesador y una memoria, que contiene instrucciones ejecutables por dicho procesador, mediante las que el UE puede realizar las etapas del método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

También se da a conocer un nodo de red o gNB que comprende un procesador y una memoria, conteniendo dicha memoria instrucciones ejecutables por dicho procesador mediante lo que dicho gNB es operativo para realizar etapas de método como se describirá.

Según un aspecto de las realizaciones a modo de ejemplo aquí descritas, el método realizado por el UE incluye: recibir desde un nodo de red, gNB, una señal de radio a través de un canal de múltiples entradas múltiples salidas, MIMO (Multiple Input Multiple Output), donde la señal de radio contiene al menos una señal de referencia de enlace

descendente, DL, según una configuración de señal de referencia de DL; estimar dicho canal MIMO basándose en dicha al menos una señal de referencia de DL recibida, para subbandas configuradas; calcular una matriz de precodificación o una matriz de información de estado de canal (CSI) para un número de puertos de antena del gNB y subbandas configuradas; basándose la matriz de precodificación en un primer libro de códigos y en un segundo libro de códigos y un conjunto de coeficientes de combinación para escalar/combinar de forma compleja uno o más vectores seleccionados del primer y el segundo libro de códigos; donde el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz de precodificación, el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz de precodificación; determinar un subconjunto de base del dominio de retardo común (CDD) de los vectores seleccionados asociados con los componentes de retardo en todas las capas de la matriz de precodificación o matriz CSI, donde el subconjunto de base CDD está definido por un parámetro  $D$  que representa el número de elementos del subconjunto de base CDD y el parámetro  $D$  es configurado por el nodo de red, y un parámetro  $D_m$  que representa el primer índice de los  $D$  vectores de retardo del segundo libro de códigos; y notificar, al gNB, un informe de retroalimentación CSI y/o un indicador de matriz de precodificación (PMI) y/o un PMI/indicador de rango (PMI/RI) usado para indicar la matriz de precodificación o la matriz CSI para los puertos de antena y subbandas configurados; donde los vectores seleccionados del subconjunto de base CDD se indican en la notificación, para cada capa, por un indicador de subconjunto de base del dominio de retardo (LDD) específico por capa.

Según otro aspecto, se da a conocer un método llevado a cabo por un nodo de red o un gNB, comprendiendo el método: transmitir a un UE una señal de radio a través de un canal MIMO, donde la señal de radio contiene al menos una señal de referencia de DL según una configuración de señal de referencia de DL, para permitir que el UE estime dicho canal MIMO basándose en dicha al menos una señal de referencia de DL para subbandas configuradas y calcule una matriz de precodificación o una matriz CSI para un número de puertos de antena del gNB y subbandas configuradas; basándose la matriz de precodificación en un primer libro de códigos y en un segundo libro de códigos y un conjunto de coeficientes de combinación para escalar/combinar de forma compleja uno o más vectores seleccionados del primer libro de códigos y del segundo libro de códigos; donde el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz de precodificación, el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz de precodificación; determinar un subconjunto de base del dominio de retardo común (CDD) de los vectores seleccionados asociados con los componentes de retardo en todas las capas de la matriz de precodificación o matriz CSI, donde el subconjunto de base CDD está definido por un parámetro  $D$  que representa el número de elementos del subconjunto de base CDD y el parámetro  $D$  es configurado por el nodo de red, y un parámetro  $D_m$  que representa el primer índice de los  $D$  vectores de retardo del segundo libro de códigos. El método comprende además: recibir, del UE, un informe de retroalimentación de CSI y/o un PMI y/o un PMI/RI, que se utiliza para indicar la matriz de precodificación o la matriz CSI para los puertos de antena y subbandas configurados, donde los vectores de retardo del subconjunto de base CDD se indican mediante un indicador de subconjunto de base CDD en el informe de retroalimentación de CSI, y donde los vectores seleccionados del subconjunto de base CDD se indican en la notificación, para cada capa, mediante un indicador de subconjunto de base de LDD.

Una ventaja de las realizaciones aquí descritas es proporcionar un esquema de compresión de retroalimentación para un precodificador de segunda etapa que reduce la sobrecarga de retroalimentación para notificar coeficientes de precodificador.

Otra ventaja de las presentes realizaciones es proporcionar varios esquemas para notificación de baja sobrecarga de retroalimentación para indicadores de base del dominio espacial y del dominio de retardo y coeficientes de combinación del dominio de retardo.

Se describirán y explicarán ventajas adicionales en detalle en la parte de descripción de esta invención.

#### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1A ilustra un ejemplo de una configuración de subconjunto de base CDD.

La Figura 1B ilustra otro ejemplo de una configuración de subconjunto de base CDD.

La Figura 2 es un diagrama de flujo de un método realizado por un UE según las realizaciones aquí descritas.

La Figura 3 es un diagrama de bloques a modo de ejemplo que representa un UE según realizaciones a modo de ejemplo aquí descritas.

#### Descripción detallada

Como se describió anteriormente, las realizaciones aquí presentadas dan a conocer un esquema de compresión de retroalimentación para el precodificador de segunda etapa  $W_2$  que reduce drásticamente la sobrecarga de retroalimentación para notificar, por el UE, los coeficientes del precodificador.

El UE comprende un transceptor que está configurado para recibir de un transmisor una señal de radio a través de un canal MIMO, donde la señal de radio contiene señales de referencia de DL (p. ej., CSI-RS) según una

configuración de señal de referencia de DL, y el UE, por medio de un procesador, es operativo para: estimar el canal MIMO entre el gNB y el UE basándose en las señales de referencia de DL recibidas para las subbandas configuradas, calcular, basándose en una métrica de rendimiento, una matriz de precodificación o una matriz CSI, para una serie de puertos de antena/DL RS del gNB y subbandas configuradas, que se basa en dos libros de

- 5  
10
- 5 códigos y un conjunto de coeficientes de combinación para escalado/combinación complejos del uno o más vectores seleccionados del primer y segundo libro de códigos, donde el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz CSI, y el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz CSI, y notificar la retroalimentación/PMI de CSI y el RI para indicar la matriz CSI de matriz de precodificación por capa para los puertos de DL-RS/antena y subbandas configurados.
  - 10 A lo largo de la presente invención, la matriz de precodificación y la matriz CSI se utilizan indistintamente, lo que significa que son equivalentes.

Según las realizaciones, el primer libro de códigos comprende una matriz DFT o una matriz DFT sobremuestreada de tamaño  $N_1 N_2 \times O_{1,1} N_1 O_{1,2} N_2$  que contiene los componentes del haz espacial ( $N_1 N_2 \times 1$  vectores) de la matriz de precodificación. Aquí,  $N_1$  y  $N_2$  se refieren al número de puertos de antena con la misma polarización en la primera y segunda dimensiones del conjunto de antenas, respectivamente. En general, para un conjunto de antenas bidimensional (2D)  $N_1$  y  $N_2$  son ambos mayores que 1, mientras que para uno lineal (1D (unidimensional))  $N_1$  o  $N_2$  es uno. El número total de puertos de antena para un conjunto de antenas de doble polarización es  $2N_1 N_2$ . Además,  $O_{1,1} \in \{1,2,3,..\}$  y  $O_{1,2} \in \{1,2,3,..\}$  se refieren a los factores de sobremuestreo de la matriz del libro de códigos con respecto a la primera y segunda dimensiones, respectivamente.

- 15  
20  
25
- 15 Segundo libro de códigos comprende una matriz DFT o una matriz DFT sobremuestreada de tamaño  $N_3 \times N_3 O_2$  que contiene los componentes de retardo (representados por  $N_3 \times 1$  vectores DFT) de la matriz de precodificación, donde  $N_3$  se refiere al número configurado de subbandas y  $O_2$  se refiere al factor de sobremuestreo  $O_2 = 1,2, \dots$  de la segunda matriz del libro de códigos. Cada vector DFT modela un incremento de fase lineal a lo largo de  $N_3$  subbandas, y cada vector está, por lo tanto, asociado a un retardo en el dominio transformado (de retardo). Por lo tanto, en adelante, los vectores DFT del segundo libro de códigos se denominan vectores de retardo o simplemente retardos, y los coeficientes de combinación utilizados para el escalado/combinación complejo del uno o más de los vectores seleccionados del primer y segundo libro de códigos se denominan coeficientes de combinación del dominio de retardo.
  - 20 El primer libro de códigos comprende un conjunto de  $P_{CSI-RS}/2 \times 1$  vectores columna, donde el m-ésimo vector columna contiene un único 1 en la m-ésima posición del vector y ceros en el resto. Aquí, el parámetro  $P_{CSI-RS}$  indica el número total de puertos CSI-RS utilizados por el UE para la estimación de canal y el cálculo del coeficiente del precodificador. Este libro de códigos puede denominarse libro de códigos de selección de puertos y se utiliza cuando el gNB realiza una operación de conformación de haz de forma que cada puerto de antena corresponde a un puerto con formación de haz. El parámetro  $P_{CSI-RS}$  puede ser configurado en una capa superior por el gNB, por ejemplo, utilizando una señalización RRC (control de recursos de radio).
  - 25

El segundo libro de códigos comprende una segunda DFT, o matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño  $N_3 \times N_3 O_2$  que contiene los componentes de retardo (representados por  $N_3 \times 1$  vectores DFT) de la matriz de precodificación, donde  $N_3$  se refiere al número configurado de subbandas y  $O_2$  se refiere al factor de sobremuestreo  $O_2 = 1,2, \dots$  de la segunda matriz del libro de códigos. Cada vector DFT modela un incremento de fase lineal a lo largo de  $N_3$  subbandas, y cada vector está, por lo tanto, asociado a un retardo en el dominio transformado (de retardo). Por lo tanto, en adelante, los vectores DFT del segundo libro de códigos se denominan vectores de retardo o simplemente retardos, y los coeficientes de combinación utilizados para el escalado/combinación complejo del uno o más de los vectores seleccionados del primer y segundo libro de códigos se denominan coeficientes de combinación del dominio de retardo.

- 30  
35  
40
- 30 Según la realización, el UE está configurado para determinar un indicador de rango (RI) a partir de la estimación del canal MIMO y para configurar la matriz CSI (o matriz de precodificación) con capas de RI. Para la l-ésima capa de la matriz CSI, el UE puede configurarse para seleccionar un subconjunto de  $U^{(l)}$  vectores de haz del primer libro de códigos, un subconjunto de  $D^{(l)}$  vectores de retardo del segundo libro de códigos y  $2U^{(l)}D^{(l)}$  coeficientes de combinación, e indicar en el informe CSI el RI seleccionado y los vectores de haz y de retardo seleccionados y los coeficientes de combinación de la matriz CSI.
  - 35
  - 40

Según las realizaciones, el UE está configurado para notificar para cada capa de la matriz CSI un indicador de base del dominio espacial (SD) que indica el subconjunto seleccionado de  $U^{(l)}$  vectores de haz de la capa l-ésima y un indicador de base del dominio de retardo (DD) que indica el subconjunto seleccionado de  $D^{(l)}$  vectores de retardo de la capa l-ésima.

- 45
- 45 Según una realización, la matriz CSI utilizada para notificación de CSI (PMI) para los  $2N_1 N_2$  (o  $P_{CSI-RS}$ ) puertos de DL-RS/antena configurados y las  $N_3$  subbandas configuradas pueden representarse para la primera polarización de los puertos de antena y la l-ésima capa de transmisión como

$$\mathbf{G}_1^{(l)} = \alpha^{(l)} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \mathbf{b}_u^{(l)} \sum_{d=0}^{D^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d}^{(l)} \mathbf{d}_d^{(l)H},$$

- 50 y para la segunda polarización de los puertos de antena y l-ésima capa de transmisión como

$$\mathbf{G}_2^{(l)} = \alpha^{(l)} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \mathbf{b}_u^{(l)} \sum_{d=0}^{D^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d}^{(l)} \mathbf{d}_d^{(l)H},$$

donde  $\mathbf{b}_u^{(l)}$  ( $U = 0, \dots, U^{(l)} - 1$ ) representa el u-ésimo vector de haz espacial para la l-ésima capa seleccionada del primer libro de códigos,  $\mathbf{d}_d^{(l)}$  ( $d = 0, \dots, D^{(l)} - 1$ ) es el d-ésimo vector de retardo asociado con la l-ésima capa

seleccionada del segundo libro de códigos,  $\gamma_{p,u,d}^{(l)}$  es el coeficiente de combinación complejo del dominio de retardo asociado con el haz u-ésimo, el retardo d-ésimo y la polarización p-ésima,  $U^l$  representa el número de vectores de haz espacial,  $D^l$  representa el número de vectores de retardo, y  $\alpha^l$  es un escalar normalizador.

5 A diferencia de la notificación de CSI de libro de códigos único Tipo II de la versión 15 del 3GPP, el esquema de notificación de CSI de dos libros de códigos propuesto aquí (basado en matrices  $\mathbf{G}_1^{(l)}$  y  $\mathbf{G}_2^{(l)}$ ) se basa en operaciones de precodificación en el dominio de retardo en lugar del dominio de la frecuencia. De esta manera, el UE puede aprovechar la escasez de las  $2U^l$  respuestas de impulso de canal formadas por haz (obtenidas mediante la combinación de los vectores de haz seleccionados)  $\mathbf{b}_u^{(l)}$  y la respuesta al impulso del canal MIMO) al optimizar los coeficientes de combinación del dominio de retardo  $\gamma_{p,u,d}^{(l)}$ .

10 Cabe señalar que la operación de precodificación (por vectores  $\mathbf{b}_u^{(l)}$  y  $\mathbf{d}_d^{(l)}$ ) conduce a una concentración de energía del impulso del canal MIMO tanto en las dimensiones del dominio espacial como del de retardo, de modo que cada una de las correspondientes  $2U^l$  respuestas al impulso del canal formado por haz se caracteriza por solo unos pocos retardos/interrupciones de canal significativos. El UE utiliza estos retardos de canal para determinar los coeficientes de combinación del dominio de retardo  $\gamma_{p,u,d}^{(l)}$ . De esta manera, el número de coeficientes de combinación por capa a notificar se reduce de  $2U^l N_3$  para el esquema de notificación de libro de códigos único CSI Tipo II v.15 a  $2U^l D^l$ , donde  $D^l \ll N_3$ , para el esquema de notificación de CSI de dos libros de códigos propuesto.

En las siguientes secciones, se proponen varios esquemas para notificación de baja sobrecarga de retroalimentación para los indicadores de base SD y DD y coeficientes de combinación del dominio de retardo según algunas realizaciones.

20 *Configuración del informe CSI*

Según algunas realizaciones, el UE se configura desde el gNB con una configuración de informe CSI, la configuración de informe CSI contiene el o los parámetros de capa superior (por ejemplo, RRC)  $U^l$  y  $D^l$  que representan el número de vectores de haz y de vectores de retardo, respectivamente, para la l-ésima capa de la matriz CSI.

25 Según una realización, el UE se configura desde el gNB con una configuración de informe CSI, la configuración de informe CSI contiene el o los parámetros de capa superior (por ejemplo, RRC)  $D^l$ , que representan el número de retardos por haz para la l-ésima capa, utilizado para la configuración de la matriz CSI (o matriz de precodificación). El número de retardos configurados  $D^l$  por capa tiene una gran influencia en la sobrecarga de retroalimentación para notificar los seleccionados  $2 \sum_l U^l D^l$  coeficientes de combinación para las capas. Para reducir la sobrecarga de retroalimentación para notificar los coeficientes de combinación de todas las capas y la complejidad del UE para calcular la matriz CSI, el UE puede configurarse con diferente número de retardos  $D^l$  por capa o por grupo de capas (es decir, un subconjunto de capas). A continuación, se presentan algunos ejemplos de configuración del retardo.

35 En un ejemplo, el número de retardos  $D^l$  es independiente de la capa e idéntico para todas las capas, de modo que  $D^l = D$ , y el gNB puede configurar/señalizar solo un único parámetro  $D$  para la configuración de la matriz CSI. Por ejemplo, para un rango (RI) de 2,  $D = D^{(0)} = D^{(1)}$ , para RI = 3,  $D = D^{(0)} = D^{(1)} = D^{(2)}$ , para RI = 4,  $D = D^{(0)} = D^{(1)} = D^{(2)} = D^{(3)}$ .

40 En otro ejemplo, el número de retardos  $D^l$  está configurado para subconjuntos de capas, p. ej., para un primer subconjunto de capas (p. ej., la primera y la segunda capas),  $D^{(1)} = [\alpha_1 D^{(0)}]$ , y para un segundo subconjunto de capas (la tercera capa o la tercera capa y la cuarta capa),  $D^{(3)} = [\alpha_2 D^{(2)}]$ , y el gNB señala dos parámetros  $D^{(0)}$  y  $D^{(2)}$  para la configuración de la matriz CSI. Los parámetros  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  están configurados en una capa superior o fijados por especificación o notificados por el UE. Ejemplos de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son  $\alpha_t \in \left\{ \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, 1 \right\}$ ,  $e_l \in \{1, 2\}$ .

En otro ejemplo, en lugar de configurar ambos  $D^{(0)}$  y  $D^{(2)}$ , solo  $D^{(0)}$  está configurado y  $D^{(2)}$  se deriva en/por el UE a partir de  $D^{(0)}$  como  $D^{(2)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$  = donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$  valores posibles de  $\alpha_0$  están dados por  $\alpha_0 = \left\{ \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, 1 \right\}$ .

45 En otro ejemplo, el gNB configura un único parámetro  $D^{(0)}$  para la primera capa, y el UE deriva el o los parámetros  $D^l$ ,  $l > 0$  para las capas restantes, por ejemplo mediante una regla, aunque no necesariamente.

A continuación se dan ejemplos de una regla.

En un caso  $D^l = D^{(0)}$ ,  $l > 0$  puede ser idéntico para todas las capas.

En otro caso,  $D^{(l)}$  puede ser idéntico para las dos primeras capas,  $D^{(0)} = D^{(1)}$ , y diferente para la tercera y cuarta capas,  $D^{(3)} \geq D^{(2)} \geq D^{(0)}$ , o  $D^{(3)} \leq D^{(2)} \leq D^{(0)}$ .

En otro caso,  $D^{(l)}$  puede ser idéntico para las primeras tres capas y diferente para la cuarta capa,  $D^{(3)} \leq D^{(0)}$  o  $D^{(3)} \geq D^{(0)}$ .

5 En otro caso,  $D^{(l)}$  puede ser diferente para todas las capas,  $D^{(l+1)} \neq D^{(l)}$ ,  $l \in [0,2]$ . En otro caso, para RI = 2, los retardos de la segunda capa pueden derivarse de  $D^{(1)} = \alpha_0 D^{(0)}$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ . Para RI = 3, los retardos de la segunda capa y la tercera pueden derivarse de  $D^{(1)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$  y  $D^{(2)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

Para RI = 4, los retardos de la segunda capa, la tercera y la cuarta capas se pueden derivar de  $D^{(1)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ ,  $D^{(2)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , y  $D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$  donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

10 En otro caso, para RI = 3, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(1)} \neq D^{(2)}$  y los retardos de la tercera capa pueden derivarse de  $D^{(2)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

En otro caso, para RI = 3, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(2)} \neq D^{(1)}$  y los retardos de la segunda capa pueden derivarse de  $D^{(1)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(1)} = D^{(2)} = D^{(3)}$  y los retardos de la segunda, tercera y cuarta capas pueden derivarse de  $D^{(1)} = D^{(2)} = D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

15 En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(1)} \neq D^{(2)} = D^{(3)}$  y los retardos de la tercera y cuarta capas pueden derivarse de  $D^{(2)} = D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(1)} = D^{(2)} \neq D^{(3)}$  y los retardos de la cuarta capa pueden derivarse de  $D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

20 En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(1)} \neq D^{(2)} = D^{(3)}$  y los retardos de la tercera y cuarta capas pueden derivarse de  $D^{(2)} = D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} \neq D^{(1)} \neq D^{(2)} = D^{(3)}$  y los retardos de la segunda capa pueden derivarse de  $D^{(1)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , y los retardos de la tercera y cuarta capas pueden derivarse de  $D^{(2)} = D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

25 En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} \neq D^{(1)} = D^{(2)} \neq D^{(3)}$  y los retardos de la cuarta capa pueden derivarse de  $D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , y los retardos de la segunda y tercera capas pueden derivarse de  $D^{(1)} = D^{(2)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

En otro caso, para RI = 4, el UE se configura mediante un único valor  $D^{(0)}$  y  $D^{(0)} = D^{(1)} \neq D^{(2)} \neq D^{(3)}$  y los retardos de la tercera capa pueden derivarse de  $D^{(2)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$  y los retardos de la cuarta capa pueden derivarse de  $D^{(3)} = [\alpha_0 D^{(0)}]$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

30 Según una realización, un UE puede configurarse con un único parámetro  $D$ , que indica el número total de retardos en todas las capas. El UE se configura entonces para calcular el número requerido de retardos por capa ( $D^{(l)}$ ) en base a cualquier criterio de mejora del rendimiento/reducción de la retroalimentación tal que  $\sum_{l=0}^{RI-1} D^{(l)} \leq D$ . El UE puede a continuación notificar al gNB el número de retardos asignado al gNB.

35 Según una realización, la configuración de los retardos puede depender del rango (RI) de la matriz CSI. Por ejemplo, supóngase que  $D^{(l,r)}$  denota el número de retardos para la  $l$ -ésima capa y el rango  $r$ -ésimo. Por ejemplo, el número de retardos por capa para RI  $\leq 2$  puede ser idéntico. Por ejemplo,  $D^{(0,1)} = D^{(1,1)} = D^{(0,2)}$ .

En otro ejemplo, el número de retardos de la capa  $l$ -ésima para RI  $\leq 4$  puede ser idéntico al número de retardos de la capa  $l$ -ésima para RI  $\geq 1$ .

40 En un caso,  $D^{(0,1)} = D^{(0,2)} = D^{(0,3)} = D^{(0,4)} = D^{(1,2)} = D^{(1,3)} = D^{(1,4)}$ , y  $D^{(2,3)} = D^{(2,4)} = D^{(3,4)}$  donde  $D^{(l,r)}$  denota el número de retardos por capa asociados con cada RI,  $o \in \{1,2,3,4\}$ .

En otro caso,  $D^{(0,1)} = D^{(0,2)} = D^{(0,3)} = D^{(0,4)} = D^{(1,2)} = D^{(1,3)} = D^{(1,4)}$  y los retardos  $D^{(2,3)}$ ,  $D^{(2,4)}$ ,  $D^{(3,4)}$  se derivan de los retardos de RI  $\leq 2$  como  $D^{(2,3)} = D^{(2,4)} = D^{(3,4)} = \alpha_0 D^{(0,1)}$ .

En otro ejemplo, el número de retardos por capa para  $RI > 2$  puede no ser idéntico al número de retardos por capa para  $RI \leq 2$ . Por ejemplo,  $D^{(0,1)} = D^{(0,2)} \neq D^{(0,3)} = D^{(0,4)}$  o  $D^{(1,2)} \neq D^{(1,3)} = D^{(1,4)}$ , y  $D^{(2,3)} = D^{(2,4)} = D^{(3,4)}$ .

5 En otro ejemplo, el número de retardos por capa  $D^{(l,r)}$ ,  $\forall l$ , para  $RI > 2$  puede derivarse del número de retardos de  $RI \leq 2$ . Por ejemplo,  $D^{(0,1)} = D^{(0,2)} = D^{(1,2)}$  y los retardos  $D^{(l,r)}$ ,  $\forall l, r > 2$  están dados por  $D^{(0,3)} = D^{(0,4)} = D^{(1,3)} = D^{(1,4)} = D^{(2,3)} = D^{(2,4)} = D^{(3,4)} = \alpha_0 D^{(0,1)}$ , donde  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$ .

En otro ejemplo, para  $RI \geq 2$ , el número de retardos para cada capa y  $RI$  son diferentes,  $D^{(l,r)} \neq D^{(l',r')}$ ,  $l \neq l'$ ,  $o \neq r'$ .

Según una realización, el UE está configurado para seleccionar los valores  $D^{(l,r)}$  o  $D^{(l)}$  o  $a_i$ ,  $i \in \{0,1,2\}$  y notificar los valores seleccionados de  $D^{(l,r)}$  o  $D^{(l)}$  o  $a_i$ ,  $i \in \{0,1,2\}$ .

10 Según una realización, el o los parámetros de capa superior (por ejemplo, RRC)  $D^{(l)}$  (o  $D^{(l,r)}$ ) pueden depender del número configurado de subbandas  $N_3$  por ejemplo, una regla conocida, p. ej.,  $D^{(l)} = \lceil p^{(l)} N_3 \rceil$ ,  $0 < p^{(l)} < 1$ , de manera que el número de retardos configurados aumenta/disminuye con valores crecientes/decrecientes de  $N_3$ . Ejemplos de  $p^{(l)}$  son  $p^{(l)} \in \{\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}\}$ . En lugar de señalar el o los parámetros  $D^{(l)}$  el gNB puede señalar el o los parámetros  $p^{(l)}$  para la configuración de la matriz CSI.

15 Según una realización, el UE está configurado para recibir del gNB el parámetro de capa superior  $N_3$ , que representa el número de subbandas configuradas para la segunda matriz del libro de códigos. El número de subbandas puede depender del número de subbandas CQI  $N_{CQI}$  (utilizado para el cálculo del CQI) mediante una regla conocida. Por ejemplo, el parámetro  $N_3$  puede aumentar/disminuir linealmente con respecto al número configurado de subbandas CQI,  $N_3 = N_{CQI} \times R$ ,  $R \geq 1$ , donde  $R$  es un parámetro para controlar la complejidad del cálculo del UE.

20 Según una realización, el parámetro de capa superior  $R$  puede ser una capacidad del UE. Un UE puede tener solo una capacidad de procesamiento limitada para el cálculo de la matriz CSI y puede que no pueda aplicar valores grandes de  $N_3$ . Para indicar que solo está soportado un rango de valores limitado para  $N_3$ , el UE puede indicar el rango de valores admitido para el parámetro  $R$  al gNB. Por ejemplo, cuando  $R \in \{1,2\}$ , un UE puede indicar  $R = 1$  (capacidad de procesamiento limitada), o  $R = 2$  (mayor capacidad de procesamiento).

25 Según una realización, el UE se configura desde el gNB con una configuración de informe CSI, la configuración de informe CSI contiene el o los parámetros de capa superior (por ejemplo, RRC)  $U^{(l)}$ , que representan el número de haces espaciales de la  $l$ -ésima capa, utilizados para la configuración de la matriz CSI. En un ejemplo, el número de haces  $U^{(l)}$  puede ser idéntico para todas las capas e independiente del rango, de modo que  $U^{(l)} = U$ , y el gNB señala un único parámetro  $U$  para la configuración de la matriz CSI. En un ejemplo,  $U$  puede estar dado mediante un rango de valores limitado, p. ej.,  $U \in \{2,4,6\}$ .

30 En otro ejemplo, el gNB puede configurar un único parámetro  $U$  para los haces espaciales de la primera capa de la matriz CSI, y el resto  $U^{(l)}$ ,  $l > 0$  son derivados por el UE mediante una regla conocida. Por ejemplo, cuando  $RI = 2$  y el gNB configura  $U^{(0)} = 6$ , el número de haces espaciales para la primera capa puede estar dado por  $U^{(0)} = 6$  y el número de haces espaciales para la segunda capa está dado por  $U^{(1)} = 4$  o  $U^{(1)} = 2$ .

35 En otro caso, cuando  $RI = 3$  y el gNB configura  $U^{(0)} = 6$ , el número de haces espaciales para la primera capa puede estar dado por  $U^{(0)} = 6$ , el número de haces espaciales para la segunda capa está dado por  $U^{(1)} = 4$  o  $U^{(1)} = 2$ , y el número de haces espaciales para la tercera capa está dado por  $U^{(2)} = 4$  o  $U^{(2)} = 2$ .

40 En otro caso, cuando  $RI = 4$  y el gNB configura  $U = 6$ , el número de haces espaciales para la primera capa puede estar dado por  $U^{(0)} = 6$ , el número de haces espaciales para la segunda capa está dado por  $U^{(1)} = 4$  o  $U^{(1)} = 2$ , el número de haces espaciales para la tercera capa está dado por  $U^{(2)} = 4$  o  $U^{(2)} = 2$ , y los haces espaciales para la tercera capa están dados por  $U^{(3)} = 4$  o  $U^{(3)} = 2$ .

45 En otro ejemplo, el número de haces espaciales  $U^{(l)}$  está configurado para subconjuntos de capas, p. ej., para un primer subconjunto de capas (p. ej., la primera y la segunda capas),  $U^{(1)} = \lceil \alpha_1 U^{(0)} \rceil$ , y para un segundo subconjunto de capas (la tercera o la tercera y cuarta capas),  $U^{(3)} = \lceil \alpha_2 U^{(2)} \rceil$  y el gNB puede configurarse para señalar dos parámetros  $U^{(0)}$  y  $U^{(2)}$  para la configuración de la matriz CSI. Los parámetros  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  están configurados en una capa superior o fijados por especificación o notificados por el UE.

50 En otro ejemplo, el número de haces espaciales  $U^{(l)}$  está configurado para subconjuntos de capas, p. ej., para un primer subconjunto de capas (p. ej., la primera y la segunda capas),  $U^{(1)} = \lceil \alpha_1 U^{(0)} \rceil$ , y para un segundo subconjunto de capas (la tercera o la tercera y cuarta capas),  $U^{(2)} = \lceil \alpha_2 U^{(1)} \rceil$  y  $U^{(3)} = \lceil \alpha_3 U^{(2)} \rceil$ , y el gNB solo señala un parámetro  $U^{(0)}$  para la configuración de la matriz CSI. Ejemplos de  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  son  $\alpha_{el} \in \{\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, 1\}$ ,  $el \in \{1,2,3\}$ .

En un caso, para  $RI = 3$ , el número de haces espaciales para el primer grupo de capas puede ser idéntico  $U^{(0)} = U^{(1)} = 2$  y el subconjunto de capas para el segundo subconjunto está dado por  $U^{(2)} = 4$  o  $U^{(2)} = 6$ .

En otro caso, para  $RI = 3$ , el número de haces espaciales para el primer grupo de capas puede ser idéntico  $U^{(0)} = U^{(1)} = 4$  y el subconjunto de capas para el segundo subconjunto está dado por  $U^{(2)} = 6$  o  $U^{(2)} = 2$ .

5 En otro caso, para  $RI = 3$ , el número de haces espaciales para el primer grupo de capas puede ser idéntico  $U^{(0)} = U^{(1)} = 6$  y el subconjunto de capas para el segundo subconjunto está dado por  $U^{(2)} = 4$  o  $U^{(2)} = 2$ .

En otro caso, para  $RI = 4$ , el número de haces espaciales para el primer grupo de capas puede ser idéntico  $U^{(0)} = U^{(1)} = 2$ , y el subconjunto de capas para el segundo subconjunto está dado por  $U^{(2)} = U^{(3)} = 6$  o  $U^{(2)} = U^{(3)} = 2$ .

10 En otro caso, para  $RI = 4$ , el número de haces espaciales para el primer grupo de capas puede ser idéntico  $U^{(0)} = U^{(1)} = 4$ , y el subconjunto de capas para el segundo subconjunto está dado por  $U^{(2)} = U^{(3)} = 2$  o  $U^{(2)} = U^{(3)} = 6$ .

En otro caso, para  $RI = 4$ , el número de haces espaciales para el primer grupo de capas puede ser idéntico  $U^{(0)} = U^{(1)} = 6$ , y el subconjunto de capas para el segundo subconjunto está dado por  $U^{(2)} = U^{(3)} = 2$  o  $U^{(2)} = U^{(3)} = 4$ .

15 Según las realizaciones, el UE puede configurarse con  $U = 6$  solo para  $RI \leq 2$ . Configurar el UE con un valor grande de  $U$  mejora el rendimiento, pero a costa de una sobrecarga de retroalimentación. Por lo tanto, el gNB puede controlar la sobrecarga de retroalimentación limitando el valor grande de  $U$  solo para ciertos  $RI$ . En otras palabras, la configuración de los haces espaciales puede depender del rango.

20 Según las realizaciones, el parámetro de capa superior  $U$  puede ser una capacidad del UE. Un UE puede tener solo una capacidad de procesamiento limitada para el cálculo de la matriz CSI y puede que no pueda aplicar valores grandes de  $U$ . Para indicar que solo está soportado un rango de valores limitado para  $U$ , el UE puede indicar el rango de valores soportados para el parámetro  $U$  al gNB. Por ejemplo, cuando  $U \in \{2,4,6\}$ , un UE puede indicar  $U = \{2,4\}$  (capacidad de procesamiento limitada), o  $U = \{2,4,6\}$  (mayor capacidad de procesamiento).

25 Según una realización, un UE puede configurarse con un único parámetro  $U$  que indica el número total de haces espaciales en todas las capas. El UE se configura entonces para calcular el número requerido de haces espaciales por capa ( $U^{(l)}$ ) en base a cualquier criterio de mejora del rendimiento/reducción de la retroalimentación tal que  $\sum_{i=0}^{RI-1} U^{(i)} \leq U$ . A continuación, el UE puede configurarse para notificar al gNB el número asignada de haces espaciales por capa.

30 Según las realizaciones, el número de haces espaciales para  $e$  capas ( $e \geq 1$ ) puede ser conocido a priori por el UE, y el UE puede estar configurado con un único parámetro  $U$  que denota el número total de haces espaciales a través de  $RI$ -e capas. A continuación, el UE se configura para calcular el número requerido de haces espaciales por capa ( $U^{(l)}$ ) en base a cualquier criterio de mejora del rendimiento/reducción de la retroalimentación tal que  $\sum_{l=0}^{RI-e} U^{(l)} \leq U$ . El UE puede estar configurado para notificar el número asignado de haces espaciales para las  $RI$ -e capas al gNB.

35 Según las realizaciones, un UE puede configurarse con uno o más parámetros que indican el número total de haces espaciales en todas las capas de uno o más subconjuntos. Cada subconjunto puede contener una o más capas. El UE calcula entonces el número requerido de haces espaciales por capa ( $U^{(l)}$ ) según cualquier criterio de mejora del rendimiento o reducción de la retroalimentación. El número asignado de haces espaciales por capa puede entonces notificarse al gNB.

*Notificación de coeficientes de combinación*

40 Como se explicó anteriormente, cada uno de los  $2U^{(l)}$  los haces de la matriz CSI se asocian solo con un pequeño número de retardos de canal. Además, como cada haz puede apuntar a una dirección diferente en el canal, cada haz solo puede asociarse con un pequeño número de retardos/vectores de retardo del subconjunto de vectores de retardo de base de tamaño  $D^{(l)}$  seleccionado. Esto significa que la potencia de los coeficientes de combinación de un haz puede concentrarse en unos pocos retardos, de modo que algunos de los coeficientes de combinación pueden tener valores de amplitud cercanos a cero. Dado que los coeficientes de combinación con valores cercanos a cero no afectan significativamente al rendimiento, el UE puede configurarse para indicar dichos coeficientes en el informe CSI, pero no para notificarlos. Las siguientes realizaciones dan a conocer propuestas para la selección, indicación y notificación de los coeficientes de combinación en el informe CSI.

50 Según una realización, el UE está configurado para seleccionar  $K^{(l)}$  o menos de  $K^{(l)}$  coeficientes de combinación distintos de cero para la  $l$ -ésima capa de la matriz CSI, para notificar los coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados para todas las capas de la matriz CSI e indicar los coeficientes seleccionados en el informe CSI. Los coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados para la  $l$ -ésima capa pueden indicarse con un mapa de bits de tamaño  $2U^{(l)} \times D^{(l)}$ , donde cada bit del mapa de bits está asociado con un índice de polarización ( $P \in \{1,2\}$ ), índice de haz ( $0 \leq u \leq U^{(l)} - 1$ ) e índice de retardo ( $0 \leq d \leq D^{(l)} - 1$ ). Un "1" en el mapa de bits puede indicar que el coeficiente de combinación asociado con el índice de polarización  $P$ , índice de haz  $U$  e índice de retardo  $d$  es distinto de cero, seleccionado e notificado por el UE. Un "0" en el mapa de bits puede indicar que el coeficiente de

combinación asociado con el índice de polarización...  $P$ , índice de haz  $U$  e índice de retardo  $d$  es cero y es notificado por el UE.

5 Según una realización, el UE puede ser configurado por el gNB con el o los parámetros de capa superior  $K^{(l)}$ , que representan el número máximo de coeficientes de combinación distintos de cero que el UE notifica para la  $l$ -ésima capa de la matriz CSI. El UE puede configurarse con diferentes o idénticos  $K^{(l)}$  por capa, o por grupo de capas (es decir, un subconjunto de capas).

A continuación, se muestran algunos ejemplos de configuración de parámetros  $K^{(l)}$ .

10 En un ejemplo, el parámetro  $K^{(0)}$  está configurado para la primera capa y los parámetros  $K^{(l)}$ ,  $l > 0$  para las capas superiores son derivados por el UE mediante, por ejemplo, una regla conocida. Por ejemplo, para  $RI=1$ , el UE es configurado por el gNB con  $K^{(0)}$  y para  $RI=2$ ,  $K^{(1)} = K^{(0)}$ . En otro ejemplo, el UE se configura mediante un único parámetro  $K$  que denota el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas. El UE se configura entonces para asignar el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa de modo que  $\sum_{l=0}^{RI-1} K^{(l)} \leq K$  Y está configurado además para notificar al gNB el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas. Por ejemplo, para  $RI = 1$ , el UE puede configurarse con un único parámetro  $K$  y el UE asigna  $K^{(0)} \leq K$  coeficientes a la capa 1 y los notifica al gNB.

20 En otro ejemplo, para  $RI > 1$ , el UE se configura mediante un único parámetro  $K_1$  que indica el número máximo de coeficientes de combinación distintos de cero para cada capa. El UE se configura entonces para asignar el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa de modo que  $\sum_{l=0}^{RI-1} K^{(l)} \leq 2K_1$  y además está configurado para notificar al gNB el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas.

25 Por ejemplo, para  $RI = 2$ , el UE puede configurarse mediante un único valor  $K_1 = 28$  que denota el número máximo de coeficientes de combinación distintos de cero para cada capa, y el número de coeficientes de combinación distintos de cero notificados calculados por el UE para la primera y la segunda capas está dado por  $K^{(0)} = 28$  y  $K^{(1)} = 28$ , respectivamente.

Por ejemplo, para  $RI = 3$ , el UE puede configurarse mediante un único valor  $K_1 = 42$  que denota el número máximo de coeficientes de combinación distintos de cero para cada capa, y el número de coeficientes de combinación distintos de cero notificados calculados por el UE para la primera, la segunda y la tercera capas está dado por  $K^{(0)} = 42$ ,  $K^{(1)} = 28$ , y  $K^{(2)} = 12$ , respectivamente.

30 Por ejemplo, para  $RI = 4$ , el UE puede configurarse mediante un único valor  $K_1 = 42$  que denota un número máximo de coeficientes de combinación distintos de cero para cada capa, y el número de coeficientes de combinación distintos de cero notificados calculados por el UE para la primera, la segunda, la tercera y la cuarta capas está dado por  $K^{(0)} = 32$ ,  $K^{(1)} = 28$ ,  $K^{(2)} = 14$ , y  $K^{(3)} = 10$ , respectivamente.

35 En otro ejemplo, para  $RI > 1$ , el UE se configura mediante un único parámetro  $K_2$ , en función del cual el UE está configurado para asignar el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa de modo que  $\sum_{l=0}^{RI-1} K^{(l)} \leq 2K_2$  y está configurado además para notificar al gNB el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas.

40 En otro ejemplo, para  $RI > 1$ , el UE se configura mediante un único parámetro  $K_2$ , donde el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa puede ser mayor que  $K_2$ , y en función de lo cual el UE está configurado para asignar el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa de modo que  $\sum_{l=0}^{RI-1} K^{(l)} \leq 2K_2$  y está configurado además para notificar al gNB el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas.

45 Por ejemplo, para  $RI = 2$ , el UE puede configurarse mediante un único valor  $K_2 = 28$ , y el número de coeficientes de combinación distintos de cero notificados y calculados por el UE para la primera y la segunda capas está dado por  $K^{(0)} = 32$  y  $K^{(1)} = 24$ , respectivamente.

Por ejemplo, para  $RI = 3$ , el UE puede configurarse mediante un único valor  $K_2 = 28$ , y el número de coeficientes de combinación distintos de cero notificados calculados por el UE para la primera, la segunda y la tercera capas está dado por  $K^{(0)} = 30$ ,  $K^{(1)} = 16$ , y  $K^{(2)} = 8$ , respectivamente.

50 Por ejemplo, para  $RI = 4$ , el UE puede configurarse mediante un único valor  $K_1 = 28$  y el número de coeficientes de combinación distintos de cero calculados en el UE para la primera, la segunda, la tercera y la cuarta capas está dado por  $K^{(0)} = 30$ ,  $K^{(1)} = 10$ ,  $K^{(2)} = 9$ , y  $K^{(3)} = 6$ , respectivamente.

*Notificación de mapa o mapas de bits*

Según las realizaciones, un UE puede configurarse para utilizar un enfoque de dos etapas para reducir la sobrecarga global de notificación de mapas de bits de todas las capas. En una primera etapa, el UE puede configurarse para determinar un mapa de bits conjunto de tamaño  $U_g \times D_g$  mediante la unión de los mapas de bits individuales a través de las capas, donde  $U_g = \max(2U^{(l)})$ ,  $\forall l$  y  $D_g = \max(D^{(l)})$ ,  $\forall l$ .

El mapa de bits conjunto puede constar de  $Q_g$  1s, donde un "1" en el mapa de bits conjunto representa el índice de un coeficiente distinto de cero notificado en al menos uno o más mapas de bits individuales de las capas. En una segunda etapa, el UE puede notificar una indicación de los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados asociados con el mapa de bits conjunto. A continuación, se presentan diferentes alternativas para la notificación de la segunda etapa.

En un ejemplo, el UE notifica un mapa de bits de tamaño  $Q_g$  por capa. Cada bit del mapa de bits de tamaño  $Q_g$  indica un índice de un coeficiente de combinación distinto de cero notificado para la capa en la parte 2 de CSI.

En otro ejemplo, el UE notifica un  $Q_g^{(l)}$ -sizec mapa de bits por capa, donde  $Q_g^{(l)}$  denota el número de 1s en las primeras  $D^{(l)}$  columnas y las primeras  $U^{(l)}$  filas del mapa de bits conjunto. Cada bit del mapa de bits  $Q_g^{(l)}$ -sizec indica un índice de un coeficiente de combinación distinto de cero notificado para la capa en la parte 2 de CSI.

En otro ejemplo, el UE notifica un indicador  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g^{(l)}}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit por capa que indica los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero notificados para la capa.

En otro ejemplo, el UE notifica un indicador  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit por capa que indica los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero notificados para la capa.

En otro ejemplo, el UE notifica un indicador  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g^{(l)}}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit por capa que indica los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero notificados para la capa.

En otro ejemplo, el UE notifica un indicador  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit por capa que indica los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero notificados para la capa.

Según una realización, el UE puede configurarse para notificar el número de 1s en el mapa de bits conjunto, es decir, el valor de  $Q_g^{(l)}$  por capa, o grupo de capas, en la parte 1 de UCI. En un ejemplo,  $D^{(l)} = D, \forall l$ , entonces  $Q_g^{(l)} = Q_g$  y solo se notifica un único valor en la parte 1 de UCI. En otro ejemplo,  $D^{(1)} = D^{(0)} = D_1$  y  $D^{(3)} = D^{(2)} = D_2$ , entonces  $Q_g^{(1)} = Q_g^{(0)}$  y  $Q_g^{(3)} = Q_g^{(2)}$  y se notifican dos valores en la parte 1 de UCI.

Según las realizaciones, el UE está configurado para indicar el tamaño del o de los mapas de bits de la segunda etapa, o de los indicadores de bits combinatorios de la segunda etapa en la parte 1 de UCI.

En caso de notificación del o de los mapas de bits de tamaño  $Q_g$  en la parte 2 de UCI, el valor de  $Q_g$  puede estar indicado (por ejemplo, mediante un indicador de  $\left\lceil \log_2(Q_g \times D_g) \right\rceil$  bits) en la parte 1 de UCI.

En caso de notificación de uno o varios indicadores de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g}{NZ_l} \right) \right\rceil$  bits en la parte 2 de UCI, el o los tamaños del o de los indicadores de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g}{NZ_l} \right) \right\rceil$  bits (por ejemplo, el valor de  $Q_g$ ) puede indicarse en la parte 1 de UCI.

En caso de notificación  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g^{(l)}}{NZ_l} \right) \right\rceil$ , o  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit indicadores en la parte 2 de UCI, el tamaño  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g^{(l)}}{NZ_l} \right) \right\rceil$ , o  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g}{NZ_l} \right) \right\rceil$  puede estar indicado en la parte 1 de UCI.

En caso de notificación del o de los mapas de bits de tamaño  $Q_g^{(l)}$  en la parte 2 de UCI, el o los tamaños del o de los mapas de bits por capa o grupo de capas se indica en la parte 1 de UCI. Por ejemplo,  $D^{(l)} = D$ ,  $\forall l$ , entonces  $Q_g^{(l)} = Q_g$ , y solo se notifica un único valor que indica el tamaño del mapa de bits de la segunda etapa en la parte 1 de UCI. En otro ejemplo,  $D^{(1)} = D^{(0)} = D_1$  y  $D^{(3)} = D^{(2)} = D_2$ , entonces  $Q_g^{(1)} = Q_g^{(0)}$  y  $Q_g^{(3)} = Q_g^{(2)}$ , y los valores  $Q_g^{(0)}$  y  $Q_g^{(2)}$  se indican (por ejemplo, mediante un indicador de  $\lceil \log_2(2U^{(0)} \times (D^{(0)} + D^{(2)})) \rceil$  bits) en la parte 1 de UCI.

De manera similar, en el caso de notificación de  $\lceil \log_2 \left( \frac{Q_g^{(l)}}{NZ_l} \right) \rceil$ -bit indicadores, el o los tamaños de los indicadores de bits por capa o grupo de capas se indican en la parte 1 de UCI.

Según una realización, el UE puede configurarse para utilizar un enfoque de dos etapas para reducir la sobrecarga global de la notificación de los mapas de bits de las capas. En una primera etapa, el UE puede determinar un mapa de bits conjunto de tamaño  $U_m \times D_m$  mediante la unión de los mapas de bits individuales a través de las capas, donde  $U_m \leq 2U^{(l)}$ ,  $\forall l$  y  $D_m \leq D^{(l)}$ ,  $\forall l$ . Un "1" en el mapa de bits conjunto representa un coeficiente distinto de cero en al menos uno o más de los mapas de bits de las capas individuales. En una segunda etapa, el UE puede notificar una indicación de los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados asociados con el mapa de bits conjunto. A continuación, se presentan diferentes alternativas para la notificación de la segunda etapa.

En un ejemplo, el UE notifica un  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{U_m D_m}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit indicador para la  $l$ -ésima capa, donde  $NZ_l$  denota el número de coeficientes de combinación distintos de cero de la capa  $l$ -ésima. En otro ejemplo, el UE notifica un mapa de bits de tamaño  $U_m D_m$  por capa, donde cada bit del mapa de bits de tamaño  $U_m D_m$  indica un índice de un coeficiente de combinación distinto de cero notificado para la capa en la parte 2 de CSI.

Según una realización, el UE puede configurarse para notificar el tamaño del mapa de bits conjunto en la parte 1 de UCI.

Según una realización, el tamaño de  $\max_l \left\lceil \log_2 \left( \frac{U_m D_m}{NZ_l} \right) \right\rceil$ -bit el indicador puede estar indicado en la parte 1 de UCI.

Según una realización, el UE puede configurarse para notificar en la parte 2 de UCI una indicación de los vectores de base de SD y(o) FD seleccionados asociados con el mapa de bits conjunto. Por ejemplo, los vectores de base de SD asociados con el mapa de bits conjunto se indican con un mapa de bits de tamaño máximo  $2U^{(l)}$ , donde cada bit del mapa de bits está asociado a un índice de un vector de base SD notificado. Por lo tanto, el mapa de bits de tamaño  $\max_l 2U^{(l)}$  contiene  $U_m$  '1's. de manera similar, los vectores de base del dominio de frecuencia (FD) asociados con el mapa de bits conjunto se indican mediante un mapa de bits  $D^{(l)}$  máximo, donde cada bit del mapa de bits está asociado a un índice de un vector de base FD notificado. Por lo tanto, el mapa de bits  $\max D^{(l)}$  contiene  $D_m$  '1's.

Según una realización, el UE puede configurarse para reducir la sobrecarga global de notificación de los mapas de bits de las capas. El UE puede configurarse para determinar un mapa de bits efectivo de tamaño por capa  $U_e^{(l)} \times D_e^{(l)}$ , donde  $U_e^{(l)} \leq 2U^{(l)}$  y  $D_e^{(l)} \leq D^{(l)}$ . Los mapas de bits efectivos se notifican en la parte 2 de CSI. Cada mapa de bits efectivo contiene solo filas distintas de cero y/o columnas distintas de cero.

Además, el UE está configurado para indicar en la parte 2 de CSI, una indicación de los vectores de base de SD seleccionados asociados con el mapa de bits efectivo por capa y/o una indicación de los vectores de base de FD seleccionados asociados con el mapa de bits efectivo por capa. Por ejemplo, la indicación de los vectores de base del dominio espacial (SD) asociados con el mapa de bits efectivo de una capa se indica mediante un mapa de bits de tamaño  $2U^{(l)}$ , y puede constar de  $U_e^{(l)}$  '1's. De manera similar, la base FD asociada con el mapa de bits efectivo por capa se notifica mediante un mapa de bits de tamaño  $D^{(l)}$ , y puede constar de  $D_e^{(l)}$  '1's.

Según una realización, el UE está configurado para indicar los tamaños de los mapas de bits efectivos para todas las capas en la parte 1 de UCI. Como ejemplo, los tamaños de los mapas de bits efectivos pueden representarse mediante un indicador de  $\lceil \log_2 \sum_{l=0}^{R_l-1} U_e^{(l)} \times D_e^{(l)} \rceil$  bits.

Según una realización, el UE está configurado para indicar el número de 1s en el mapa de bits de tamaño  $2U^{(l)}$  en todas las capas (por ejemplo, mediante un indicador de  $\lceil \log_2(2 \sum_l U^{(l)}) \rceil$  bits), que indica los vectores de base SD seleccionados, en la parte 1 de UCI.

5 Según una realización, el UE está configurado para indicar el número de 0s en el mapa de bits de tamaño  $2U^{(l)}$  en todas las capas, que indica los vectores de base SD no seleccionados, en la parte 1 de UCI.

Según una realización, el UE está configurado para indicar el número de 1s en los mapas de bits de tamaño  $D^{(l)}$  en todas las capas (por ejemplo, mediante un indicador de  $\lceil \log_2(\sum_l D^{(l)}) \rceil$  bits), que indica los vectores de base FD seleccionados, en la parte 1 de UCI.

10 Según una realización, el UE está configurado para indicar el número de 0s en los mapas de bits de tamaño  $D^{(l)}$  en todas las capas (por ejemplo, mediante un indicador de  $\lceil \log_2(\sum_l D^{(l)}) \rceil$  bits), que indica los vectores de base FD no seleccionados, en la parte 1 de UCI.

15 Según una realización, cuando los valores configurados de  $K^{(l)}$  o  $K$  son pequeños, los coeficientes de combinación distintos de cero que se notificarán para una capa solo pueden estar asociados con una única polarización. En tal caso, una parte del mapa de bits de tamaño  $U^{(l)} \times D^{(l)}$  asociado con una polarización específica y la capa puede contener solo ceros.

20 Para reducir la sobrecarga de retroalimentación para notificar el o los mapas de bits para las capas en tal caso, el UE puede configurarse para notificar un indicador de capa en la parte 1 de UCI para el cual una parte del mapa de bits de tamaño  $U^{(l)} \times D^{(l)}$  asociado a una polarización y capa específicas, contiene solo ceros. Por ejemplo, el indicador de capa puede constar de 4 bits (para un RI máximo de 4), donde cada bit está asociado a una capa específica.

Cuando un bit del indicador de capa se ajusta a '0', puede indicar que se notifica el mapa de bits correspondiente asociado con la capa específica.

Cuando un bit del indicador de capa se ajusta a '1', puede indicar que solo se notifica la mitad del mapa de bits asociado con la capa.

25 Para indicar el índice de polarización asociado al mapa de bits notificado, la parte 2 de UCI puede contener, para cada capa, donde el número de coeficientes distintos de cero notificados sea cero para una polarización específica, un indicador de polarización que indique la polarización de los coeficientes de combinación distintos de cero notificados. El indicador de polarización puede constar de N bits, donde N indica el número de 1s indicados por el indicador de capa.

30 Por ejemplo, si el indicador de capa está dado por '1010', indica que el número de coeficientes distintos de cero para una polarización específica es cero y que solo se puede notificar la mitad del mapa de bits para la primera y la tercera capa. El indicador de polarización puede estar dado por '01', lo que indica que, para la primera capa, los coeficientes de combinación distintos de cero notificados y parte del mapa de bits están asociados con la primera polarización, y para la tercera capa, los coeficientes de combinación distintos de cero notificados y parte del mapa de bits están asociados con la segunda polarización.

35 Según una realización, el UE puede configurarse para notificar un indicador de capa en la parte 1 de UCI solo para un subconjunto de capas para las cuales una parte del mapa de bits de tamaño  $U^{(l)} \times D^{(l)}$  asociado a una polarización y capa específicas, contiene solo ceros. Por ejemplo, el indicador de capa puede constar solo de 2 bits, donde el primer y el segundo bit están asociados a la tercera y cuarta capas, respectivamente. Para indicar el índice de polarización asociado al mapa de bits notificado, la parte 2 de UCI puede contener, para cada capa del subconjunto de capas donde el número de coeficientes notificados distintos de cero sea cero para una polarización específica, un indicador de polarización que indique la polarización de los coeficientes de combinación distintos de cero notificados.

45 Según una realización, el UE está configurado para indicar el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas en el informe CSI.

*Informe CSI - parte 1 y parte 2*

50 Según una realización, el informe CSI puede comprender dos partes: la primera tiene un tamaño fijo y se utiliza para indicar el tamaño de la carga útil de la segunda. Ambas partes de CSI se codifican de forma independiente. La segunda parte de CSI tiene un tamaño de carga útil variable y puede contener al menos el o los indicadores de subconjunto de base SD, el o los indicadores de subconjunto de base DD, el uno o varios mapas de bits para la indicación de coeficientes distintos de cero y los coeficientes de combinación cuantificados para todas las capas.

Para indicar el tamaño de la carga útil de la parte 2 de CSI, la parte 1 de CSI puede contener información sobre el número de coeficientes de combinación cuantificados en todas las capas de la parte 1 de CSI y el rango de la matriz CSI.

*Notificación del número de coeficientes de combinación distintos de cero*

- 5 Como ejemplo, la parte 1 de CSI puede contener el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero (NNZCC) para cada capa de RI. Para un máximo de RI = 4, la parte 1 de CSI puede contener cuatro indicadores de NNZCC bits para las diferentes cuatro capas.

A modo de ejemplo, cada indicador de NNZCC bits está representado por un  $\max_l \lceil \log_2(g^{(l)} + 1) \rceil$  o  $\max_l \lceil \log_2(g^{(l)}) \rceil$  o  $\lceil \log_2 g^{(l)} \rceil$  o indicador de  $\lceil \log_2(g^{(l)} + 1) \rceil$  bits, donde  $g^{(l)}$  representa el número máximo de coeficientes notificados para la l-ésima capa. En un caso,  $g^{(l)} = K_0$  para todas las capas. En otro caso,  $g^{(l)} = 2K_0$  para todas las capas. Aquí,  $K_0$  se refiere al número de coeficientes de combinación distintos de cero configurados en capas superiores. En otro ejemplo, cada indicador de NNZCC bits se representa mediante un indicador de  $\lceil \log_2(2U^{(l)}D^{(l)}) \rceil$  bits. Dado que el NNZCC se indica por capa, el número de valores distintos de cero de los indicadores de NNZCC bits indica implícitamente el RI de la matriz CSI (es decir, el número total de capas). Por lo tanto, el rango (parámetro RI) puede eliminarse del informe CSI (es decir, no notificarse).

10

15

En otro ejemplo, la parte 1 de CSI puede contener la suma del NNZCC seleccionado en todas las capas y, por lo tanto, contiene un único indicador de NNZCC bits para las diferentes capas. Por ejemplo, el indicador de NNZCC bits se representa mediante un  $\lceil \log_2 g \rceil$  indicador, donde  $g$  representa el número máximo de coeficientes notificados en todas las capas.

- 20 En un caso  $g = K_0$ . En otro caso,  $g = 2K_0$ . En otro caso,  $g = \sum_{l=0}^{RI-1} 2U^{(l)}D^{(l)}$  para la capa l-ésima. Dado que el valor del indicador de NNZCC bits no indica el RI de la matriz CSI, el rango (parámetro RI) puede estar contenido en el informe CSI.

*Notificación del indicador de coeficiente más fuerte*

Según una realización, el UE está configurado para normalizar los coeficientes de combinación que se notifican por capa con respecto al coeficiente más fuerte, de modo que el coeficiente más fuerte normalizado se obtiene mediante el valor 1. Dado que el coeficiente más fuerte normalizado está dado siempre por el mismo valor, el UE está configurado para no notificar el coeficiente más fuerte (valores de bit para la amplitud y la fase del coeficiente cuantificado) y para indicar por capa el coeficiente más fuerte mediante un indicador de coeficiente más fuerte en el informe CSI (parte 2). La estructura del indicador de coeficiente más fuerte depende de la estructura de los indicadores de NNZCC bits en la parte 1 de CSI. A continuación, se describen diferentes alternativas.

25

30

En un ejemplo, el indicador de coeficiente más fuerte asociado con la capa l-ésima está dado por un  $\lceil \log_2(NZ_l) \rceil$  o un indicador de  $\max_l \lceil \log_2(NZ_l) \rceil$  bits, y la parte 1 de CSI contiene el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero (NNZCC) para cada capa RI. Aquí,  $NZ_l$  representa el NNZCC indicado para la l-ésima capa en la parte 1 de CSI.

- 35 En un ejemplo, el indicador de coeficiente más fuerte asociado con la capa l-ésima está dado por un  $\lceil \log_2(K^{(l)}) \rceil$  o una indicador de  $\max_l \lceil \log_2(K^{(l)}) \rceil$  bits. Aquí,  $K^{(l)}$  representa el NNZCC máximo configurado por capa.

En otro ejemplo, el indicador de coeficiente más fuerte asociado con la capa l-ésima está dado por un  $\lceil \log_2(\sum_{l=0}^{RI-1} NZ_l) \rceil$ -bit indicador, y la parte 1 de CSI contiene el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero (NNZCC) en todas las capas.

- 40 En otro ejemplo, el indicador de coeficiente más fuerte asociado con la capa l-ésima está dado por un indicador de  $\lceil \log_2(2K_2) \rceil$  bits, donde  $K_2$  es el NNZCC configurado para el UE. En otro ejemplo, el indicador de coeficiente más fuerte asociado con la l-ésima capa está dado por un indicador de  $\lceil \log_2(K_1) \rceil$  bits, donde el NNZCC máximo a notificar está restringido a  $K_1$  por capa.

En otro ejemplo, el indicador de coeficiente más fuerte para todas las capas RI es notificado conjuntamente por el

- 45 UE y representado por un indicador de  $\lceil \log_2 \left( \frac{\sum_{l=0}^{RI-1} NZ_l}{RI} \right) \rceil$  bits. Esta indicación de bits, junto con el mapa de bits de la parte 2 de UCI, se utiliza para identificar los coeficientes más fuertes por capa.

*Notificación del o de los indicadores de subconjunto de base DD*

Según una realización, el UE está configurado para notificar el o los indicadores de subconjunto de base del DD que indican los vectores de retardo seleccionados del segundo libro de códigos para cada capa de la matriz CSI en la parte 2 del informe CSI. En un ejemplo, el indicador de subconjunto de base del DD para cada capa está dado por un mapa de bits de tamaño  $N_3$ , donde cada bit del mapa de bits está asociado con un vector de retardo del segundo libro de códigos.

Un "1" puede indicar que el vector de retardo asociado está seleccionado, y un "0" puede indicar que el vector de retardo asociado no está seleccionado. En otro ejemplo, el indicador de subconjunto de base DD para la  $l$ -ésima capa está dado por un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3}{D^{(l)}} \right) \right\rceil$  bits. En las siguientes realizaciones de ejemplo, se presentan diferentes esquemas de notificación para los indicadores de subconjunto de base DD que reducen la sobrecarga de retroalimentación del informe CSI.

Según la invención reivindicada, el UE está configurado para determinar un subconjunto de base del dominio de retardo común (CDD) de los vectores de retardo seleccionados en todas las capas e indicar los vectores de retardo del subconjunto de base CDD mediante un indicador de subconjunto de base CDD en el informe CSI. Además, el UE está configurado para indicar los vectores de retardo seleccionados del subconjunto de base CDD para cada capa mediante un indicador de subconjunto de base del dominio de retardo (LDD) específico de la capa en el informe CSI.

En un ejemplo, el indicador de subconjunto de base CDD está dado por un mapa de bits de tamaño  $N_3$ , donde el mapa de bits contiene  $D$  1s y cada bit del mapa de bits está asociado con un vector de retardo del segundo libro de códigos.

Un "1" puede indicar que el vector de retardo asociado está seleccionado y un "0" puede indicar que el vector de retardo asociado no está seleccionado.

En otro ejemplo, el indicador de subconjunto de base CDD está dado por un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3}{\bar{D}} \right) \right\rceil$  bits, donde  $\bar{D} < N_3$  indica el número total de vectores de retardo seleccionados por el UE en todas las capas.

En otro ejemplo, el subconjunto de base CDD está representado por dos valores  $\bar{D}$  y  $\bar{D}_{in}$ , donde  $\bar{D}$  define el número de elementos del subconjunto de base CDD, y  $\bar{D}_{in}$  representa el primer índice de los  $\bar{D}$  vectores de retardo seleccionados  $[\mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}, N_3)}, \mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}+1, N_3)}, \dots, \mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}+\bar{D}-1, N_3)}]$  del segundo libro de códigos.

Ejemplos del subconjunto de base CDD configurado por  $\bar{D}$  y  $\bar{D}_{in}$  se muestran en las **Figuras 1A y 1B**.

**La Figura 1A** ilustra un ejemplo de un subconjunto de base CDD para los valores:

$N_3=13$ ,  $\bar{D}=7$  y  $\bar{D}_{in}=12$ .

El subconjunto de base CDD contiene  $\bar{D}=7$  vectores de base FD  $[\mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}, N_3)}, \mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}+1, N_3)}, \dots, \mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}+\bar{D}-1, N_3)}] = [\mathbf{d}_{12}, \mathbf{d}_{13}, \mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3, \mathbf{d}_4, \mathbf{d}_5]$ , seleccionados del segundo libro de códigos de tamaño  $N_3=13$ . El índice del primer vector FD del subconjunto CDD está dado por  $\bar{D}_{in}=12$ .

**La Figura 1B** ilustra otro ejemplo de un subconjunto de base CDD para los valores:

$N_3=13$ ,  $\bar{D}=8$  y  $\bar{D}_{in}=9$ .

El subconjunto de base CDD contiene  $\bar{D}=8$  vectores de base FD  $[\mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}, N_3)}, \mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}+1, N_3)}, \dots, \mathbf{d}_{\text{mod}(\bar{D}_{in}+\bar{D}-1, N_3)}] = [\mathbf{d}_9, \mathbf{d}_{10}, \mathbf{d}_{11}, \mathbf{d}_{12}, \mathbf{d}_{13}, \mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3]$ , seleccionados del segundo libro de códigos de tamaño  $N_3=13$ . El índice del primer vector FD del subconjunto CDD está dado por  $\bar{D}_{in}=9$ .

En un ejemplo, el indicador de subconjunto LDD está dado por un *mapa* de bits de tamaño  $\bar{D}$ , y cada bit del mapa de bits está asociado a un vector de retardo del subconjunto de base CDD. Un "1" puede indicar que el vector de retardo asociado se selecciona del subconjunto de base CDD, y un "0" puede indicar que el vector de retardo asociado no se selecciona del subconjunto de base CDD. En otro ejemplo, el indicador de subconjunto LDD está dado por un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{\bar{D}}{D^{(l)}} \right) \right\rceil$  bits.

Según una realización, para la indicación del tamaño de carga útil del indicador de subconjunto de base CDD en la parte 2 del informe CSI, el UE está configurado para notificar el parámetro  $D$  en la parte 1 del informe CSI. Además, el UE está configurado para notificar (si está disponible) el parámetro  $\bar{D}_{in}$  en la parte 2 de CSI.

Según la invención reivindicada, para reducir la sobrecarga de retroalimentación de la parte 1 del informe CSI, el UE está configurado con el parámetro  $\bar{D}$  por el gNB (y por lo tanto no se notifica en la parte 1 de CSI). Alternativamente, el parámetro  $\bar{D}$  podría ser conocido a priori en el UE (y por lo tanto no notificado en la parte 1 de CSI).

5 Según una realización, para reducir la sobrecarga de retroalimentación de la parte 1 del informe CSI, el UE está configurado con el o los parámetros  $\bar{D}_r$  por el gNB para cada rango posible RI de la matriz CSI (y por lo tanto no notifica el parámetro  $\bar{D}_r$  en la parte 1 de CSI), o el o los parámetros  $D_o$  son, por ejemplo, conocidos a priori en el UE (y por lo tanto no se notifican).

10 Según una realización, para reducir la sobrecarga de retroalimentación de la parte 1 del informe CSI, el UE está configurado con el o los parámetros  $\bar{D}_{in,r}$  por el gNB para cada rango posible RI de la matriz CSI (y por lo tanto no notifica el parámetro  $\bar{D}_{in,r}$  en la parte 2 de CSI), o el o los parámetros  $D_{in,r}$  son conocidos a priori en el UE (y, por lo tanto, no se notifican). En un ejemplo,  $\bar{D}_{in,r} = N_3 - \left\lceil \frac{N_3'}{2} \right\rceil + q$ , donde  $q \in \{1,2,\dots\}$  es un entero.

15 Según una realización, para reducir la sobrecarga de retroalimentación del informe CSI (parte 1 y parte 2), el UE está configurado para recibir el indicador de subconjunto de base CDD del gNB, y para no notificar el indicador de subconjunto de base CDD en la parte 2 de CSI. El indicador de subconjunto de base CDD configurado por el gNB puede ser específico de rango, y el gNB configura para cada rango  $RI \in \{1,2,3,4\}$  de la matriz CSI un indicador de subconjunto de base CDD.

En un ejemplo, el indicador de subconjunto de base CDD configurado por el gNB está dado por un mapa de bits de tamaño  $N_3$ , donde el mapa de bits contiene  $\bar{D}$  1s y cada bit del mapa de bits está asociado con un vector de retardo del segundo libro de códigos.

20 Un "1" puede indicar que el vector de retardo asociado está seleccionado, y un "0" puede indicar que el vector de retardo asociado no está seleccionado. En otro ejemplo, el indicador de subconjunto de base CDD se configura mediante un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3}{\bar{D}} \right) \right\rceil$  bits, donde el parámetro  $\bar{D}$  indica el número total de vectores de retardo seleccionados por el UE en todas las capas y es configurado por el gNB.

25 Según una realización, para reducir la sobrecarga de retroalimentación del informe CSI (parte 1 y parte 2), el UE está configurado para seleccionar los vectores de retardo para cada capa a partir de un indicador de subconjunto de base CDD conocido a priori (por ejemplo, conocido por la especificación estándar 3GPP), y para no notificar el indicador de subconjunto de base CDD en la parte 2 de CSI.

30 Según una realización, para reducir la sobrecarga de retroalimentación del informe CSI (parte 2), el UE está configurado para seleccionar el indicador de subconjunto de base CDD entre múltiples subconjuntos de base CDD conocidos a priori de diferentes tamaños e indicar en la parte 1 de CSI el tamaño del subconjunto de base CDD seleccionado. Los conjuntos de indicadores de subconjunto de base CDD están configurados en una capa superior o son conocidos en el UE (definidos por la especificación).

35 Según una realización, para reducir la sobrecarga de retroalimentación del informe CSI (parte 1 y parte 2), el UE está configurado para seleccionar el indicador de subconjunto de base CDD de entre el o los N conjuntos de indicador de subconjunto de base CDD de igual tamaño conocidos previamente, e indicar en la parte 2 del informe CSI el subconjunto de base CDD seleccionado y en la parte 1 de CSI el tamaño del subconjunto de base CDD seleccionado. Por ejemplo, el indicador de subconjunto de base CDD seleccionado en la parte 2 de CSI puede representarse mediante un indicador de  $\lceil \log_2 N \rceil$  bits.

40 Según una realización, el UE está configurado para realizar una operación de desplazamiento módulo  $N_3$  sobre todos los índices de retardo de los vectores del subconjunto de base DD seleccionado de una capa con respecto al índice de retardo asociado con el indicador de coeficiente más fuerte de la capa. Cabe destacar que esta operación de desplazamiento no afecta al rendimiento del precodificador definido por la matriz CSI ni el subconjunto de base DD desplazado. Tras aplicar esta operación de desplazamiento, el índice de retardo asociado con el coeficiente más fuerte siempre está asociado con un índice de retardo conocido, por ejemplo, el primer índice de retardo (y, por lo tanto, el primer vector de retardo del segundo libro de códigos).

En consecuencia, no es necesario notificar el primer índice de retardo, y el indicador de subconjunto de base DD

para la l-ésima capa está dado por un mapa de bits de tamaño  $(N_3 - 1)$ , un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3}{D^{(l)} - 1} \right) \right\rceil$  bits, o un

indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3 - 1}{D^{(l)} - 1} \right) \right\rceil$  bits. Además, como el coeficiente más fuerte siempre está asociado con el primer

45 retardo, el indicador de coeficiente más fuerte puede entonces representarse mediante un indicador de  $\lceil \log_2(2U^{(l)}) \rceil$  bits para indicar la fila del mapa de bits asociada con el coeficiente más fuerte.

5 Según una realización, el UE está configurado para realizar una operación de desplazamiento módulo  $\bar{D}$  en todos los índices de retardo de los vectores del subconjunto de base LDD seleccionado con respecto al índice de retardo asociado con el coeficiente más fuerte de la capa. Cabe destacar que, al igual que en el caso anterior, esta operación de desplazamiento no afecta al rendimiento del precodificador definido por la matriz CSI ni el o los subconjuntos de base LDD desplazados. Tras aplicar esta operación de desplazamiento, el índice de retardo asociado con el coeficiente más fuerte siempre está asociado con el primer índice de retardo.

En consecuencia, no es necesario notificar el primer índice de retardo, y el indicador de subconjunto de base LDD para la l-ésima capa está dado por un mapa de bits de tamaño  $(\bar{D} - 1)$ , o un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{\bar{D}}{D^{(l)}} - 1 \right) \right\rceil$  bits, o un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{\bar{D} - 1}{D^{(l)}} \right) \right\rceil$  bits. De manera similar, el indicador de subconjunto de base CDD puede representarse mediante un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3}{\bar{D} - 1} \right) \right\rceil$  bits, o un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_3 - 1}{\bar{D} - 1} \right) \right\rceil$  bits.

#### Notificación de $D'$

Según una realización, para ahorrar aún más la sobrecarga de retroalimentación, el UE puede notificar un valor  $D^{(l)'}$  ( $\leq D^{(l)}$ ) en la parte 1 de UCI que indica que el mapa de bits asociado de la l-ésima capa contiene solo  $D^{(l)'}$  columnas, en lugar de  $D^{(l)}$  columnas.

15 Por ejemplo, si el valor configurado de  $D^{(l)} = 7$ , y las 2 últimas columnas del mapa de bits asociado con la l-ésima capa contienen solo ceros, la parte del mapa de bits que contiene solo ceros se elimina de la parte 2 de UCI. De esta manera, el tamaño del mapa de bits se reduce de  $2U^{(l)} \times D^{(l)}$  a  $2U^{(l)} \times D^{(l)'}$  y se consigue un ahorro en la sobrecarga de retroalimentación. El valor  $D^{(l)'}$  puede estar indicado en la parte 1 de UCI.

En un ejemplo,  $D^{(l)'}$  puede ser indicado por el UE mediante un indicador de 1 bit por capa. Entonces,  $D^{(l)'}$  puede estar restringido a  $D^{(l)'} = \gamma D^{(l)}$ , donde  $\gamma \in (0, 1)$ . Ejemplos de  $\gamma$  están dados por  $\gamma = \left\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{4} \right\}$ . Cuando se establece el indicador de 1 bit,  $D^{(l)'} = D^{(l)}$ , de lo contrario,  $D^{(l)'} = \gamma D^{(l)}$ .

En otro ejemplo,  $D^{(l)'}$  puede ser indicado por el UE mediante un indicador de 1 bit para todas las capas. Cuando el indicador de 1 bit está activado,  $D^{(l)'} = D^{(l)}$  para todas las capas, de lo contrario,  $D^{(l)'} = \gamma D^{(l)}$  para todas las capas.

25 Según una realización, el  $D^{(l)'}$  seleccionado puede ser indicado por el UE mediante puntos de código no utilizados de otros parámetros UCI 1. Por ejemplo, los puntos de código utilizados para indicar el número de coeficientes de combinación distintos de cero pueden utilizarse para notificar, además, el indicador de 1 bit para todas las capas. Por ejemplo, cuando  $K_0 = 42$ , el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en las cuatro capas es 84, y se utilizan 7 bits para indicar dicho número de coeficientes de combinación distintos de cero. De los 128 puntos de código, 46 no se utilizan y pueden utilizarse para indicar el valor seleccionado de  $D^{(l)'}$ . A continuación se dan a conocer diferentes ejemplos. En un caso, los puntos de código 1 a 84 indican el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero e indican que  $D^{(l)'} = D^{(l)}$  para todas las capas, y los puntos de código restantes 85 a 128 indican los números seleccionados de coeficientes de combinación distintos de cero 1 a 44, y que  $D^{(l)'} = \gamma D^{(l)}$  para todas las capas. En otro caso, los puntos de código 1 a 84 indican el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero e indican que  $D^{(l)'} = D^{(l)}$  para todas las capas, y los puntos de código restantes 85 a 128 indican los números seleccionados de coeficientes de combinación distintos de cero 1, 3, 5 a 83, y que  $D^{(l)'} = \gamma D^{(l)}$  para todas las capas. En otro caso, los puntos de código 1 a 84 indican el número seleccionado de coeficientes de combinación distintos de cero e indican que  $D^{(l)'} = D^{(l)}$  para todas las capas, y los puntos de código restantes 85 a 128 indican los números seleccionados de coeficientes de combinación distintos de cero 2, 4, 6 a 84, y que  $D^{(l)'} = \gamma D^{(l)}$  para todas las capas.

#### 40 Indicación de suficiencia de base

Según una realización, el UE puede configurarse para notificar un indicador de suficiencia de base de FD en el informe CSI, el indicador de suficiencia de base de FD indica si la configuración de los valores  $K$  (o  $K_1$  o  $K_2$  o  $K^{(l)}$ ) o  $D^{(l)}$  o  $(D^{(l)'})$  o  $N_3$  es suficiente para calcular la matriz CSI.

45 Cuando la dispersión del retardo del canal de propagación es grande y el valor configurado de  $N_3$  es demasiado pequeño, el cálculo de la matriz CSI se ve afectado por solapamiento. Además, cuando los valores configurados de  $K$  (o  $K_1$  o  $K_2$  o  $K^{(l)}$ ) o  $D^{(l)}$  o  $(D^{(l)'})$  puede ser demasiado pequeño, el UE puede no ser capaz de calcular la matriz CSI.

A continuación se presentan ejemplos del indicador de suficiencia de base de FD.

En un ejemplo, el UE puede estar configurado para notificar el indicador de suficiencia de base explícitamente en la parte 1 de UCI. Por ejemplo, el UE puede estar configurado para indicar explícitamente el indicador de suficiencia de base utilizando un indicador de 1 bit en la parte 1 de UCI.

Un '1' del indicador de bit puede indicar que los valores configurados  $K$  (o  $K_1$  o  $K_2$  o  $K^{(l)}$ ) y/o  $D^{(l)}$  o  $(D^{(l,n)})$  son suficientes, y un '0' puede indicar que los valores  $K$  (o  $K_1$  o  $K_2$  o  $K^{(l)}$ ) y/o  $D^{(l)}$  o  $(D^{(l,n)})$  no son suficientes.

En otro ejemplo, el UE puede configurarse para indicar implícitamente la indicación de suficiencia de base notificando un cero para el NNZCC en la parte 1 de UCI.

- 5 En otro ejemplo, el UE puede configurarse para indicar implícitamente la indicación de suficiencia de base notificando un valor de dos para el NNZCC en la parte 1 de UCI.

Según una realización, cuando el UE puede configurarse para indicar a través del indicador de suficiencia de base en la parte 1 de UCI que si uno de los valores de  $K$  (o  $K_1$  o  $K_2$  o  $K^{(l)}$ ) y/o  $D^{(l)}$  o  $(D^{(l,n)})$  no es suficiente, el UE se configura para descartar total o parcialmente la parte 2 de UCI.

- 10 En un ejemplo, el UE puede configurarse para descartar por completo la parte 2 de UCI.

En otro ejemplo, el UE puede configurarse para notificar únicamente los subconjuntos de base SD seleccionados en la parte 2 de UCI.

En otro ejemplo, el UE puede configurarse para notificar un único vector de base SD seleccionado junto con los dos coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados, por capa.

- 15 En otro ejemplo, el UE puede configurarse para notificar un único vector de base SD seleccionado junto con los dos coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados, solo para la primera capa.

Cuando el UE indica una indicación de suficiencia de base FD en el informe UCI, el gNB puede configurar el UE con valores mayores de  $K$  (o  $K_1$  o  $K_2$  o  $K^{(l)}$ ) y/o  $D^{(l)}$  o  $(D^{(l,n)})$  o  $N_3$  para una futura notificación de CSI.

*Notificación del o de los indicadores de subconjunto de base SD*

- 20 Según una realización, el UE está configurado para determinar un subconjunto de base del dominio espacial específico por capa (LSD) de los vectores de haz seleccionados e indicar los vectores de haz en el informe CSI

(parte 2). El indicador de subconjunto de base del LSD está dado por un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_1 N_2}{U^{(l)}} \right) \right\rceil$  bits para la  $l$ -ésima capa. Cuando el UE está configurado con un único parámetro  $U$ , que representa el número de haces por capa, el indicador de subconjunto de base LSD  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{N_1 N_2}{U} \right) \right\rceil$  es idéntico en todas las capas y se notifica una sola vez.

- 25 Como se demuestra, se consiguen varias ventajas con las realizaciones aquí descritas.

A continuación se muestra un resumen del método realizado por un UE según las realizaciones descritas y haciendo referencia a la **Figura 2**, que representa un diagrama de flujo de un método llevado a cabo por el UE. Como se muestra, el método llevado a cabo por el UE comprende:

- 30 (201) recibir desde un nodo de red, gNB, una señal de radio a través de un canal MIMO, donde la señal de radio contiene al menos una señal de referencia de DL según una configuración de señal de referencia de DL;

(202) estimar dicho canal MIMO basándose en dicha al menos una señal de referencia de DL recibida, para subbandas configuradas;

- 35 (203) calcular una matriz de precodificación o una matriz CSI para un número de puertos de antena del gNB y subbandas configuradas; basándose la matriz de precodificación en un primer libro de códigos y en un segundo libro de códigos y un conjunto de coeficientes de combinación para escalar/combinar de manera compleja uno o más vectores seleccionados del primer libro de códigos y del segundo libro de códigos;

donde,

el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz de precodificación,

- 40 el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz de precodificación, y

(204) notificar, al gNB, un informe de retroalimentación CSI y/o un indicador de matriz de precodificación, PMI y/o un PMI/indicador de rango, PMI/RI, utilizado para indicar la matriz de precodificación o la matriz CSI para los puertos de antena y subbandas configurados.

- 45 Según una realización, y como se describió anteriormente, el método comprende recibir una configuración del gNB, comprendiendo dicha configuración una configuración de informe CSI que incluye al menos un parámetro de capa superior,  $D^{(l)}$ , que representa un número de retardos por haz, utilizado para la configuración de la matriz de precodificación o matriz CSI.

Según una realización, el número de retardos  $D^{(l)}$  es independiente de la capa e idéntico para todas las capas, de modo que  $D^{(l)} = D$ , y comprende configurar el UE con un único parámetro  $D$  para la configuración de la matriz de precodificación o matriz CSI.

5 Según una realización, el número de retardos  $D^{(l)}$  está configurado para subconjuntos de capas, p. ej., para un primer subconjunto de capas, (p. ej., una primera y una segunda capa),  $D^{(1)} = [\alpha_1 D^{(0)}]$ , y para un segundo subconjunto de capas, (por ejemplo una tercera capa o la tercera capa y una cuarta capa),  $D^{(3)} = [\alpha_2 D^{(2)}]$ , y comprende recibir del gNB una señal que incluye dos parámetros  $D^{(0)}$  y  $D^{(2)}$  para la configuración de la matriz de precodificación.

10 El método comprende además recibir una configuración del gNB, configuración que incluye un único parámetro  $D^{(0)}$  para una primera capa y derivar el o los parámetros  $D^{(l)}$ ,  $l > 0$  para las capas restantes.

Según una realización, la configuración de los retardos depende del indicador de rango (RI) de la matriz de precodificación o de la matriz CSI.

15 Según otra realización, el método comprende recibir una configuración del gNB, comprendiendo dicha configuración una configuración de informe CSI que incluye al menos un parámetro de capa superior,  $U^{(l)}$ , que representa el número de haces espaciales para la capa  $l$ -ésima, utilizado para la configuración de la matriz de precodificación o la matriz CSI.

Como se describió anteriormente, el parámetro de capa superior  $U$  es una capacidad del UE; y el método comprende indicar el rango de valores admitido para el parámetro  $U$  al gNB.

20 Según una realización, para  $RI > 1$ , el método comprende recibir una configuración del gNB que indica un único parámetro  $K_1$  que denota el número máximo de coeficientes de combinación distintos de cero para cada capa; y asignar mediante el UE el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa de manera que  $\sum_{l=0}^{RI-1} K^{(l)} \leq 2K_1$ , e notificar al gNB del número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o del número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas. Para un  $RI > 1$ , el método comprende recibir una configuración del gNB que indica un único parámetro  $K_2$ , en base a lo cual el UE asigna el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa de manera que  $\sum_{l=0}^{RI-1} K^{(l)} \leq 2K_2$  y notificar al gNB el número de coeficientes de combinación distintos de cero por capa o el número total de coeficientes de combinación distintos de cero en todas las capas.

30 El método puede comprender además el uso de un enfoque de dos etapas para reducir la sobrecarga global para notificar los mapas de bits de todas las capas, donde en una primera etapa, el UE determina un mapa de bits conjunto de tamaño  $U_g \times D_g$  mediante la unión de mapas de bits individuales a través de las capas, y notifica al gNB el número de 1s en el mapa de bits conjunto, y donde, en una segunda etapa, notifica al gNB una indicación de los índices de los coeficientes de combinación distintos de cero seleccionados asociados con el mapa de bits conjunto.

35 El método puede comprender además notificar en una parte 2 de UCI (información de control de enlace ascendente) una indicación de vectores de base de dominio espacial (SD) y/o dominio de frecuencia (FD) seleccionados asociados con el mapa de bits conjunto.

40 El método puede comprender además determinar por capa un mapa de bits efectivo de tamaño  $U_e^{(l)} \times D_e^{(l)}$ , donde  $U_e^{(l)} \leq 2U^{(l)}$  y  $D_e^{(l)} \leq D^{(l)}$ , donde los mapas de bits efectivos se notifican en la parte 2 de CSI y donde cada mapa de bits efectivo contiene solo filas distintas de cero y/o columnas distintas de cero, e indicar en la parte 2 de CSI, una indicación de los vectores de base SD seleccionados asociados con el mapa de bits efectivo por capa y/o una indicación de los vectores de base FD seleccionados asociados con el mapa de bits efectivo por capa.

El método puede comprender además indicar los tamaños de los mapas de bits efectivos para todas las capas en la parte 1 de UCI.

45 El método puede comprender además determinar un subconjunto de base del dominio de retardo común (CDD) de vectores de retardo seleccionados en todas las capas e indicar los vectores de retardo del subconjunto de base CDD mediante un indicador de subconjunto de base CDD en el informe CSI.

El método puede comprender además indicar los vectores de retardo seleccionados del subconjunto de base CDD para cada capa mediante un indicador de subconjunto de base del dominio de retardo específico de la capa, LDD, en el informe CSI.

50 El método puede comprender además realizar una operación de desplazamiento módulo  $N_3$  en todos los índices de retardo de los vectores en un subconjunto de base del dominio de retardo (DD) seleccionado de una capa con respecto a un índice de retardo asociado con el indicador de coeficiente más fuerte de la capa.

Ya se han descrito realizaciones adicionales relacionadas con acciones realizadas por el UE y no es necesario repetirlas.

5 Para realizar las etapas y operaciones de los métodos del UE descritos anteriormente, también se da a conocer un UE 300, como el mostrado en la **Figura 3**, UE 300 que comprende un procesador 310 o circuitos de procesamiento, o un módulo de procesamiento o un procesador o un medio 310; un circuito receptor o módulo receptor 340; un circuito transmisor o módulo transmisor 350; un módulo de memoria 320 y un circuito transceptor o módulo transceptor 330, que puede incluir el circuito transmisor 350 y el circuito receptor 340. El UE 300 comprende además un sistema de antena 360 que incluye circuitos de antena para transmitir y recibir señales hacia/desde al menos el UE. El sistema de antena emplea la conformación de haz como se describió previamente.

10 El UE 300 puede operar con cualquier tecnología de acceso radioeléctrico, incluyendo 2G, 3G, 4G o LTE, LTE-A, 5G, WLAN y WiMax, etc., que admitan la tecnología de formación de haz. El módulo/circuitos de procesamiento 310 incluye un procesador, un microprocesador, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), una matriz de puertas programables en campo (FPGA) o similar, y puede denominarse "procesador 310". El procesador 310 controla el funcionamiento del UE 300 y sus componentes. La memoria (circuito o módulo) 320 incluye una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM) y/u otro tipo de memoria para almacenar datos e instrucciones que pueden ser utilizados por el procesador 310. En general, se entenderá que el UE 300, en una o más realizaciones, incluye circuitos fijos o programados configurados para realizar las operaciones en cualquiera de las realizaciones dadas da conocer en el presente documento.

20 En al menos un ejemplo, el UE 300 incluye un microprocesador, microcontrolador, DSP, ASIC, FPGA u otros circuitos de procesamiento configurados para ejecutar instrucciones de programa informático de un programa informático almacenado en un medio no transitorio legible por ordenador que se encuentra en los circuitos de procesamiento o es accesible por estos. En este caso, "no transitorio" no significa necesariamente almacenamiento permanente o inmutable, y puede incluir almacenamiento en memoria de trabajo o volátil, pero el término sí implica almacenamiento con al menos cierta persistencia. La ejecución de las instrucciones del programa adapta o configura especialmente los circuitos de procesamiento para realizar las operaciones dadas a conocer en este documento, incluyendo cualquiera de las reivindicaciones de método 1 a 12. Además, se apreciará que el UE 300 puede incluir componentes adicionales no mostrados en la Figura 3.

25 También se da a conocer un programa informático que comprende instrucciones que cuando se ejecutan en al menos un procesador del UE según la reivindicación 13, hacen que al menos dicho procesador lleve a cabo el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

30 También se da a conocer un método llevado a cabo por un nodo de red o gNB, como se describió previamente. El método comprende: transmitir a un UE una señal de radio a través de un canal MIMO, donde la señal de radio contiene al menos una señal de referencia de DL según una configuración de señal de referencia de DL, para permitir que el UE estime dicho canal MIMO basándose en dicha, por lo menos, una señal de referencia de DL recibida para las subbandas configuradas y calcule una matriz de precodificación o una matriz CSI para varios puertos de antena del gNB y las subbandas configuradas; basándose la matriz de precodificación en un primer libro de códigos y en un segundo libro de códigos, y en un conjunto de coeficientes de combinación para el escalado/combinación complejo de uno o más vectores seleccionados del primer y el segundo libro de códigos; donde, el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz de precodificación, el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz de precodificación, y recibir, desde el UE, un informe de retroalimentación de CSI y/o un PMI y/o un PMI/RI, utilizado para indicar la matriz de precodificación o la matriz CSI para los puertos de antena configurados.

Las operaciones adicionales realizadas por el gNB o el nodo de red en términos de al menos configurar el UE ya se han descrito y no es necesario repetirlas.

45 También se da a conocer un nodo de red o gNB (no mostrado) para realizar las etapas del método y las operaciones descritas anteriormente. El gNB comprende un procesador o circuitos de procesamiento o un módulo de procesamiento o un medio; un circuito receptor o módulo receptor; un circuito transmisor o módulo transmisor; un módulo de memoria; un circuito transceptor o módulo transceptor, que puede incluir el circuito transmisor y el circuito receptor. El gNB comprende además un sistema de antena que incluye circuitos de antena para transmitir y recibir/transmitir señales hacia/desde al menos el UE. El sistema de antena emplea la conformación de haz como se describió anteriormente.

El gNB puede operar en cualquier tecnología de acceso por radio, incluidas 2G, 3G, 4G o LTE, LTE-A, 5G, WLAN y WiMax, etc., que admitan la tecnología de formación de haz.

55 El módulo/circuitos de procesamiento incluye un procesador, un microprocesador, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), una matriz de puertas programables en campo (FPGA) o similar, y puede denominarse "procesador". El procesador controla el funcionamiento del gNB y sus componentes. La memoria (circuito o módulo) incluye una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM) y/u otro tipo de memoria para almacenar datos e instrucciones que el procesador pueda utilizar. En general, se entenderá que el gNB, en una o

más realizaciones, incluye circuitos fijos o programados configurados para realizar las operaciones de cualquiera de las realizaciones dadas a conocer en este documento.

5 En al menos un ejemplo, el gNB incluye un microprocesador, un microcontrolador, un DSP, un ASIC, una FPGA u otros circuitos de procesamiento configurados para ejecutar instrucciones de programa informático de un programa informático almacenado en un medio no transitorio legible por ordenador que se encuentra en los circuitos de procesamiento o es accesible para estos. En este caso, "no transitorio" no significa necesariamente almacenamiento permanente o inmutable, y puede incluir almacenamiento en memoria de trabajo o volátil, pero el término sí implica almacenamiento con al menos cierta persistencia. La ejecución de las instrucciones del programa adapta o configura especialmente los circuitos de procesamiento para realizar las operaciones dadas a conocer en esta invención. 10 Además, se apreciará que el gNB puede incluir componentes adicionales.

También se da a conocer un programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en al menos un procesador del gNB, hacen que al menos dicho procesador lleve a cabo el método descrito.

15 A lo largo de esta invención, el término "comprender" o "que comprende" se ha utilizado en sentido no limitativo, es decir, con el significado de "consistir al menos en". Si bien se pueden emplear términos específicos, su uso se limita a un sentido genérico y descriptivo, sin fines limitativos. Las realizaciones aquí descritas pueden aplicarse a cualquier sistema inalámbrico, incluyendo GSM, 3G o WCDMA, LTE o 4G, LTE-A (o LTE-Advanced), 5G, WiMAX, WiFi, comunicaciones por satélite, difusión de TV, etc., que puedan emplear tecnología de conformación de haz.

### Referencias

- [1] 3GPP TS 38.214 V15.3.0: "3GPP; TSG RAN; NR; Physical layer procedures for data (v. 15)," sept. 2018.
- 20 [2] Samsung "Revised WID: Enhancements on MIMO for NR", RP-182067, 3GPP RAN#81, Gold Coast, Australia, sept. 10 13, 2018.

REIVINDICACIONES

1. Un método realizado por un equipo de usuario, UE, comprendiendo el método:

- recibir (201) desde un nodo de red, gNB, una señal de radio a través de un canal de múltiple entrada múltiple salida, MIMO, donde la señal de radio contiene al menos una señal de referencia de enlace descendente, DL, según una configuración de señal de referencia de DL;

- estimar (202) dicho canal MIMO basándose en dicha al menos una señal de referencia de DL recibida, para subbandas configuradas;

- calcular (203) una matriz de precodificación o una matriz de información de estado de canal, CSI, para un número de puertos de antena del gNB y subbandas configuradas; basándose la matriz de precodificación en un primer libro de códigos y en un segundo libro de códigos y un conjunto de coeficientes de combinación para escalar/combinar de manera compleja uno o más vectores seleccionados del primer libro de códigos y del segundo libro de códigos;

donde,

- el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz de precodificación o la matriz CSI,

- el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz de precodificación o matriz CSI,

- determinar un subconjunto de base del dominio de retardo común, CDD, de los vectores seleccionados asociados con los componentes de retardo en todas las capas de la matriz de precodificación o matriz CSI, donde el subconjunto de base CDD está definido por un parámetro  $\bar{D}$  que representa el número de elementos del subconjunto de base CDD y el parámetro  $\bar{D}$  es configurado por el nodo de red, y un parámetro  $\bar{D}_m$  que representa el primer índice de los  $\bar{D}$  vectores de retardo del segundo libro de códigos; y

- notificar (204), al gNB, un informe de retroalimentación de CSI y/o un indicador de matriz de precodificación, PMI, y/o un PMI/indicador de rango, PMI/RI, utilizado para indicar la matriz de precodificación o la matriz CSI para los puertos de antena y subbandas configurados, donde los vectores seleccionados del subconjunto de base CDD se indican en la notificación, para cada capa, mediante un indicador de subconjunto de base del dominio de retardo específico de la capa, LDD.

2. El método según la reivindicación 1, que comprende recibir una configuración del gNB, comprendiendo dicha configuración una configuración de informe CSI que incluye al menos un parámetro de capa superior,  $D^{(l)}$ , que representa un número de retardos por capa, utilizado para la configuración de la matriz de precodificación o matriz CSI.

3. El método según la reivindicación 2, en el que el número de retardos  $D^{(l)}$  es independiente de la capa e idéntico para todas las capas, de modo que  $D^{(l)} = D$ , y configurar el UE con un único parámetro  $D$  para la configuración de la matriz de precodificación o matriz CSI.

4. El método según cualquier reivindicación anterior, en el que la configuración de los retardos depende del indicador de rango, RI, de la matriz de precodificación o de la matriz CSI.

5. El método según la reivindicación 4, en el que el número de retardos por capa para  $RI \leq 2$  es idéntico.

6. El método según la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que para  $RI > 2$  el número de retardos para la capa l-ésima y el rango r-ésimo está dado por  $D^{(l,r)} = \alpha_0 D^{(0,1)}$  con  $\alpha_0 \in \mathbb{R}^+$  siendo un valor real positivo.

7. El método según la reivindicación 1, que comprende realizar una -operación de desplazamiento módulo  $\bar{D}$  en todos los índices de retardo de los vectores en el subconjunto de base LDD seleccionado de una capa con respecto a un índice de retardo asociado con el indicador de coeficiente de combinación más fuerte de la capa.

8. El método según la reivindicación 7, en el que el indicador de subconjunto de base LDD para una capa está dado por un indicador de  $\left\lceil \log_2 \left( \frac{\bar{D} - 1}{D^{(l)} - 1} \right) \right\rceil$  bits.

9. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el primer libro de códigos comprende una matriz de transformada de Fourier discreta, DFT, o una matriz DFT sobremuestreada de tamaño  $N_1 N_2 \times O_{1,1} N_1 O_{1,2} N_2$  que contiene componentes de haz espacial de la matriz de precodificación, donde  $N_1$  y  $N_2$  se refieren al número de puertos de antena de una misma polarización en una primera y una segunda dimensión de un conjunto de antenas del gNB, respectivamente; y donde  $O_{1,1} \in \{1,2,3,..\}$  y  $O_{1,2} \in \{1,2,3,..\}$  se refieren a factores de sobremuestreo de la matriz del libro de códigos con respecto a la primera y segunda dimensiones, respectivamente.

10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el segundo libro de códigos comprende una DFT o una matriz DFT sobremuestreada de tamaño  $N_3 \times N_3 O_2$  que contiene los componentes de retardo de la matriz de precodificación, donde  $N_3$  se refiere al número configurado de subbandas y  $O_2$  se refiere a un factor de sobremuestreo  $O_2 = 1, 2, \dots$  de la segunda matriz del libro de códigos.

5 11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende notificar al gNB, para cada capa de la matriz de precodificación o matriz CSI, un indicador de base del dominio espacial, SD, que indica el subconjunto seleccionado de vectores de haz para todas las capas y el indicador de base LDD que indica el subconjunto seleccionado de  $D^{(l)}$  vectores de retardo de la capa  $l$ -ésima.

10 12. El método según las reivindicaciones 9-10, en el que la matriz CSI utilizada para notificación de CSI para los  $2N_1 N_2$  o  $P_{CSI-RS}$  puertos de antena configurados y las  $N_3$  subbandas configuradas se representan para una primera polarización de los puertos de antena y  $l$ -ésima capa de transmisión como:  $\mathbf{G}_1^{(l)} = \alpha^{(l)} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \mathbf{b}_u^{(l)} \sum_{d=0}^{D^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d}^{(l)} \mathbf{a}_d^{(l)H}$

y para una segunda polarización de los puertos de antena y  $l$ -ésima capa de transmisión como  $\mathbf{G}_2^{(l)} = \alpha^{(l)} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \mathbf{b}_u^{(l)} \sum_{d=0}^{D^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d}^{(l)} \mathbf{a}_d^{(l)H}$ ,

donde  $\mathbf{b}_u^{(l)}$  ( $u = 0, \dots, U^{(l)} - 1$ ) representa un  $u$ -ésimo vector de haz espacial para la capa  $l$ -ésima seleccionada del  
 15 primer libro de códigos,  $\mathbf{a}_d^{(l)}$  ( $d = 0, \dots, D^{(l)} - 1$ ) es un  $d$ -ésimo vector de retardo asociado con la capa  $l$ -ésima seleccionada del segundo libro de códigos,  $\gamma_{p,u,d}^{(l)}$  es un coeficiente de combinación complejo del dominio de retardo asociado con el  $u$ -ésimo haz, el  $d$ -ésimo retardo y la  $p$ -ésima polarización,  $U^{(l)}$  representa el número de vectores de haz espacial,  $D^{(l)}$  representa el número de vectores de retardo, y  $\alpha^{(l)}$  es un escalar normalizador.

20 13. Un equipo de usuario, UE, (300) que comprende un procesador (310) y una memoria (320), conteniendo dicha memoria (320) instrucciones ejecutables por dicho procesador (310) mediante lo cual dicho UE (300) está configurado para realizar uno cualquiera de los objetos de las reivindicaciones de método 1 a 12.

14. Un método realizado por un nodo de red, gNB, comprendiendo el método:

25 - transmitir a un equipo de usuario, UE, una señal de radio a través de un canal de múltiple entrada múltiple salida, MIMO, donde la señal de radio contiene al menos una señal de referencia de enlace descendente, DL, según una configuración de señal de referencia de DL; para permitir al UE:

- estimar dicho canal MIMO basándose en dicha al menos una señal de referencia de DL para las subbandas configuradas;

30 - calcular una matriz de precodificación o una matriz de información de estado del canal, CSI, para un número de puertos de antena del nodo de red y subbandas configuradas; basándose la matriz de precodificación en un primer libro de códigos y en un segundo libro de códigos y un conjunto de coeficientes de combinación para escalar/combinar de manera compleja uno o más vectores seleccionados del primer libro de códigos y del segundo libro de códigos;

donde,

35 - el primer libro de códigos contiene uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión de la matriz de precodificación o la matriz CSI,

- el segundo libro de códigos contiene uno o más componentes de retardo de la matriz de precodificación o matriz CSI,

40 - determinar un subconjunto de base del dominio de retardo común, CDD, de los vectores seleccionados asociados con los componentes de retardo en todas las capas de la matriz de precodificación o matriz CSI, donde el subconjunto de base CDD está definido por un parámetro  $\bar{D}$  que representa el número de elementos del subconjunto de base CDD y el parámetro  $\bar{D}$  es configurado por el nodo de red, y un parámetro  $\bar{D}_m$  que representa el primer índice de los  $\bar{D}$  vectores de retardo del segundo libro de códigos; y

45 - recibir, desde el UE, un informe de retroalimentación CSI y/o un indicador de matriz de precodificación, PMI y/o un PMI/indicador de rango, PMI/RI, utilizado para indicar la matriz de precodificación o la matriz CSI para los puertos de antena y subbandas configurados, donde los vectores de retardo del subconjunto de base CDD se indican mediante un indicador de subconjunto de base CDD en el informe de retroalimentación CSI, y donde los vectores seleccionados del subconjunto de base CDD se indican en el informe, para cada capa, mediante un indicador de subconjunto de base del dominio de retardo específico por capa, LDD.

15. Un nodo de red que comprende un procesador y una memoria, conteniendo dicha memoria instrucciones ejecutables por dicho procesador, de modo que dicho nodo de red está configurado para realizar el objeto de la reivindicación de método 14.

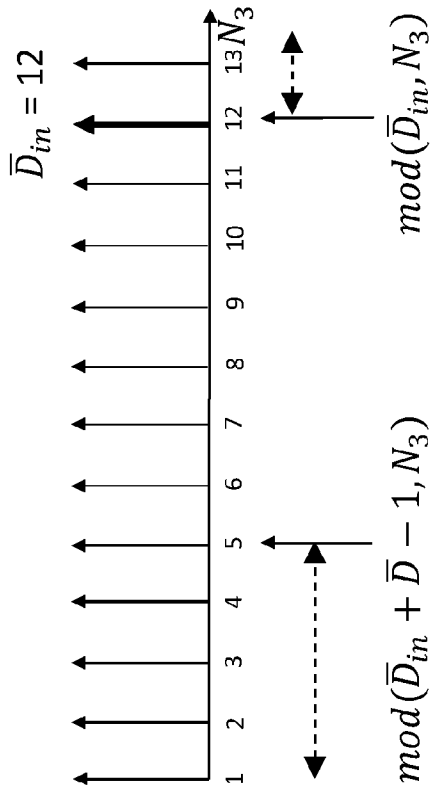


Figura 1A

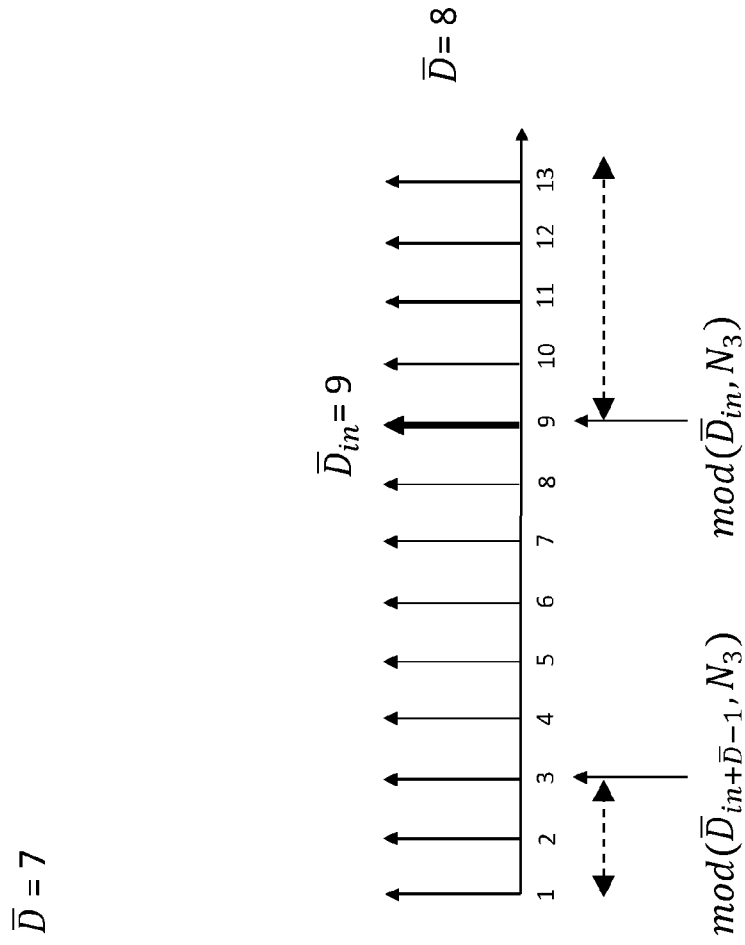


Figura 1B

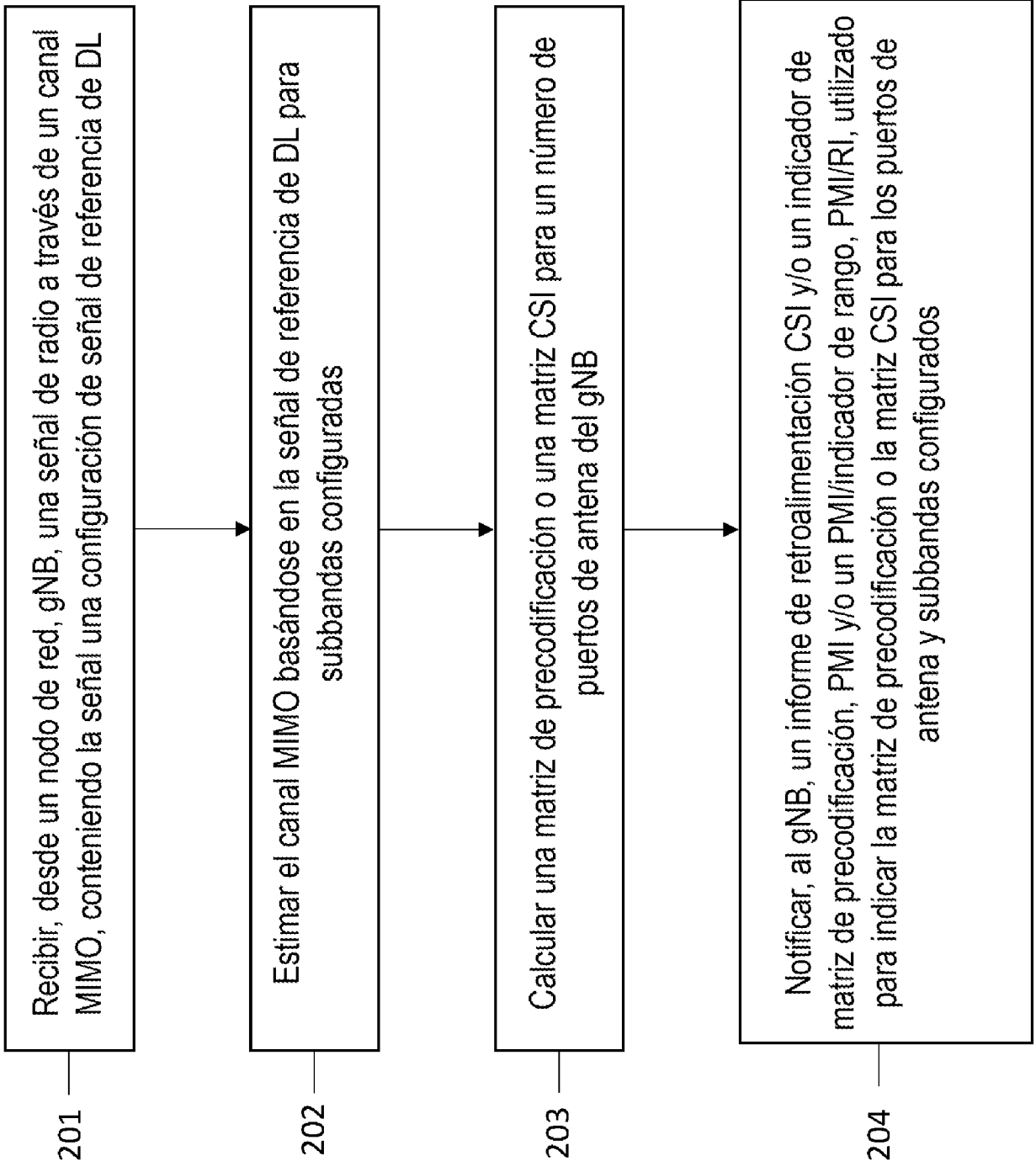


Figura 2

Equipo de usuario  
UE (300)

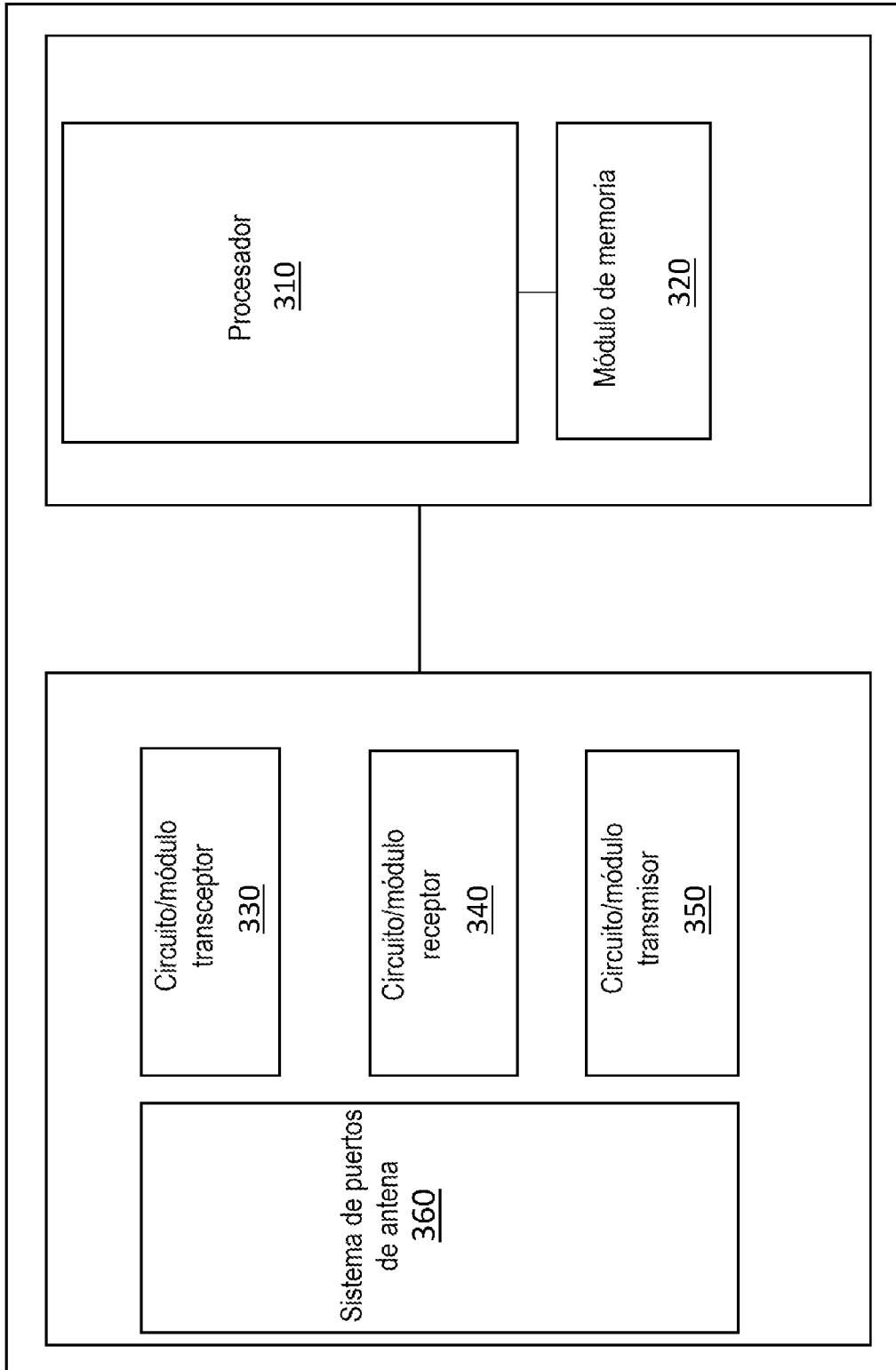


Figura 3