

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 962 518**

51 Int. Cl.:

H04B 7/0456 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2019** **PCT/EP2019/064024**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2019** **WO19229152**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2019** **E 19726446 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2023** **EP 3804157**

54 Título: **Precodificación basada en libro de códigos de retraso Doppler e informes CSI para sistemas de comunicaciones inalámbricas**

30 Prioridad:

30.05.2018 EP 18175247

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

19.03.2024

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastr. 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 962 518 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

Precodificación basada en libro de códigos de retraso Doppler e informes csi para sistemas de comunicaciones inalámbricas

5

La presente solicitud se refiere al campo de las comunicaciones inalámbricas, más específicamente a sistemas de comunicación inalámbrica que emplean precodificación usando precodificación basada en libro de códigos de retraso Doppler e informando información de estado de canal, CSI.

- 10 La figura 1 es una representación esquemática de un ejemplo de una red terrestre inalámbrica 100 que incluye una red principal 102 y una red de acceso de radio 104. La red de acceso de radio 104 puede incluir una pluralidad de estaciones base gNB a gNB₅, dando servicio cada una a un área específica que rodea la estación base esquemáticamente representada mediante respectivas celdas 106₁ a 106₅. Las estaciones base se proporcionan para dar servicio a los usuarios dentro de una celda. El término estación base, BS, se refiere a gNB en redes 5G, eNB en UMTS/LTE/LTE-A/LTE-A Pro, o simplemente BS en otros estándares de comunicación móvil. Un usuario puede ser un dispositivo estacionario o un dispositivo móvil. Además, el sistema de comunicación inalámbrica puede accederse mediante dispositivos de IoT móviles o estacionarios que se conectan a una estación base o a un usuario. Los dispositivos móviles o los dispositivos de IoT pueden incluir dispositivos físicos, vehículos basados en tierra, tales como robots o coches, vehículos aéreos, tales como vehículos aéreos tripulados o no tripulados (UAV), estos últimos también denominados drones, edificios y otros artículos que o dispositivos de tienen incorporados en los mismos electrónica, software, sensores, accionadores o similares así como conectividad de red que habilitan que estos dispositivos recopilen es intercambien datos a través de una infraestructura de red existente. La figura 1 muestra una vista ilustrativa de únicamente cinco celdas, sin embargo, el sistema de comunicación inalámbrica puede incluir más de tales celdas. La figura 1 muestra dos usuarios UE₁ y UE₂, también denominados como equipo de usuario (UE), que están en la celda 106₂ y que reciben servicio mediante la estación base eNB₂. Se muestra otro usuario UE₃ en la celda 106₄ que es servido por la estación base gNB₄. Las flechas 108₁, 108₂ y 108₃ representan esquemáticamente conexiones de enlace ascendente/enlace descendente para transmitir datos desde un usuario UE₁, UE₂ y UE₃ a las estaciones base gNB₂, gNB₄ o para transmitir datos desde las estaciones base gNB₂, gNB₄ a los usuarios UE₁, UE₂, UE₃. Además, la figura 1 muestra dos dispositivos de IoT 110₁ y 110₂ en la celda 106₄, que pueden ser dispositivos estacionarios o móviles. El dispositivo de IoT 110₁ accede al sistema de comunicación inalámbrica mediante la estación base gNB₄ para recibir y transmitir datos como se representa esquemáticamente por la flecha 112₁. El dispositivo de IoT 110₂ accede al sistema de comunicación inalámbrica mediante el usuario UE como se representa esquemáticamente mediante la flecha 112₂. Las respectivas estaciones base gNB₁ a gNB₅ pueden conectarse a la red principal 102, por ejemplo, a través de la interfaz S1, a través de respectivos enlaces de red de retorno 114₁ a 114₅, que se representan esquemáticamente en la figura 1 mediante las flechas que apuntan a "principal". La red principal 102 puede conectarse a una o más redes externas. Además, algunas o todas de las respectivas estaciones base gNB₁ a gNB₅ pueden conectarse, por ejemplo, a través de la S1 o Interfaz X2 en NR, entre sí a través de respectivos enlaces de red de retorno 116₁ a 116₅, que se representan esquemáticamente en la figura 1 mediante las flechas que apuntan a "gNB". La red inalámbrica o el sistema de comunicación representado en la figura 1 puede ser una red heterogénea que tiene dos redes superpuestas distintas, una red de macro celdas incluyendo cada macro celda una macro estación base, como la estación base gNB₁ a gNB₅, y una red de estaciones base de celda pequeña (no mostrada en la figura 1), como estaciones base femto o pico.

- Para la transmisión de datos puede usarse una cuadrícula de recursos físicos. La cuadrícula de recursos físicos puede comprender un conjunto de elementos de recurso con los que se correlacionan diversos canales físicos y señales físicas. Por ejemplo, los canales físicos pueden incluir los canales físicos compartidos de enlace descendente y enlace ascendentes (PDSCH, PUSCH) que transportan datos específicos de usuario, también denominados datos de carga útil de enlace descendente y enlace ascendente, el canal físico de difusión (PBCH) que transporta, por ejemplo, un bloque de información maestra (MIB) y un bloque de información de sistema (SIB), los canales físicos de control de enlace descendente y enlace ascendente (PDCCH, PUCCH) que transportan, por ejemplo, la información de control de enlace descendente (DCI), etc. Para el enlace ascendente, los canales físicos pueden incluir adicionalmente el canal físico de acceso aleatorio (PRACH o RACH) usado por los UE para acceder a la red una vez que un UE sincroniza y obtiene el MIB y el SIB. Las señales físicas pueden comprender señales o símbolos de referencia (RS), señales de sincronización y similares. La cuadrícula de recursos puede comprender una trama o trama de radio que tiene una cierta duración, como 10 milisegundos, en el dominio de tiempo y que tiene un ancho de banda dado en el dominio de frecuencia. La trama puede tener un cierto número de subtramas de una longitud predefinida, por ejemplo, 2 subtramas con una duración de 1 milisegundo. Cada subtrama puede incluir dos intervalos de 6 o 7 símbolos de OFDM dependiendo de la longitud del prefijo cíclico (CP). Una trama también puede consistir en un número menor de símbolos OFDM, por ejemplo, cuando se utilizan intervalos de tiempo de transmisión acortados (sTTI) o una estructura de trama mini-intervalo/no basada en intervalos que comprende sólo unos pocos símbolos OFDM.

El sistema de comunicación inalámbrica puede ser cualquier sistema de tono único o de múltiples portadoras que usa multiplexación por división de frecuencia, como el sistema de multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), el sistema de acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA) o cualquier otra señal basada

en IFFT con o sin CP, por ejemplo DFT-s-OFDM. Pueden usarse otras formas de onda, como las formas de onda no ortogonales para acceso múltiple, por ejemplo, multiportadora de banco de filtros (FBMC), multiplexación por división de frecuencia general (GFDM) o multiportadora filtrada universal (UFMC). El sistema de comunicación inalámbrica puede operar, por ejemplo, de acuerdo con la norma LTE Avanzada Pro o la norma 5G o NR, Nueva Radio.

5 En la red de comunicación inalámbrica como se muestra en la figura 1, la red de acceso de radio 104 puede ser una red heterogénea que incluye una red de celdas primarias, cada una de las cuales incluye una estación base primaria, también denominada como una macro estación base. Además, pueden proporcionarse una pluralidad de estaciones base secundarias, también denominadas estaciones base de celda pequeña, para cada una de las macro celdas.
10 Además de la red inalámbrica terrestre descrita anteriormente, también existen redes de comunicación inalámbrica no terrestres que incluyen transceptores espaciales, como satélites, y/o transceptores aéreos, como sistemas de aeronaves no tripuladas. La red o sistema de comunicación inalámbrica no terrestre puede funcionar de manera similar al sistema terrestre descrito anteriormente con referencia a la figura 1, por ejemplo de acuerdo con el estándar LTE-advanced pro o el estándar 5G o NR, nueva radio.

15 En un sistema de comunicación inalámbrica como el representado esquemáticamente en la figura 1, se pueden usar técnicas de múltiples antenas, por ejemplo, de acuerdo con LTE o NR, para mejorar las velocidades de datos del usuario, la confiabilidad del enlace, la cobertura celular y la capacidad de la red. Para soportar transmisiones multifujo o multicapa, se utiliza precodificación lineal en la capa física del sistema de comunicación. La precodificación lineal se realiza mediante una matriz de precodificador que asigna capas de datos a puertos de antena. La precodificación puede verse como una generalización de la formación de haces, que es una técnica para dirigir/enfocar espacialmente la transmisión de datos hacia un receptor previsto. La matriz de precodificador que se utilizará en el gNB para asignar los datos a los puertos de la antena de transmisión se decide utilizando la información del estado del canal, CSI.

25 En un sistema de comunicación como el descrito anteriormente, tal como LTE o New Radio (5G), las señales de enlace descendente transmiten señales de datos, señales de control que contienen enlace descendente, DL, información de control (DCI) y una serie de señales o símbolos de referencia (RS) utilizados para diferentes propósitos. Un gNodoB (o gNB o estación base) transmite datos e información de control (DCI) a través del llamado canal físico compartido de enlace descendente (PDSCH) y canal físico de control de enlace descendente (PDCCH) o PDCCH mejorado (ePDCCH), respectivamente. Además, la(s) señal(es) de enlace descendente del gNB pueden contener uno o varios tipos de RS, incluido un RS común (CRS) en LTE, un RS de información de estado del canal (CSI-RS), un RS de demodulación (DM-RS) y un RS de seguimiento de fase (PT-RS). El CRS se transmite a través de una parte del ancho de banda del sistema DL y se utiliza en el equipo de usuario (UE) para obtener una estimación de canal para demodular los datos o la información de control. El CSI-RS se transmite con una densidad reducida en el dominio del tiempo y la frecuencia en comparación con el CRS, y se utiliza en el UE para la estimación del canal/adquisición de información del estado del canal (CSI). El DM-RS se transmite sólo en una parte del ancho de banda del PDSCH respectivo y el UE lo utiliza para la demodulación de datos. Para la precodificación de señales en el gNB, se introdujeron varios mecanismos de informes CSI-RS, como informes CSI-RS no precodificados y informes CSI-RS con forma de haz (consulte la referencia [1]). Para un CSI-RS no precodificado, se utiliza un mapeo uno a uno entre un puerto CSI-RS y una unidad transceptora, TXRU, del conjunto de antenas en el gNB. Por lo tanto, CSI-RS no precodificado proporciona una cobertura de toda la celda donde los diferentes puertos CSI-RS tienen la misma dirección y ancho de haz. Para CSI-RS específico de UE o no específico de UE formado/precodificado, se aplica una operación de formación de haz sobre uno o varios puertos de antena para tener varios haces estrechos con alta ganancia en diferentes direcciones y, por lo tanto, sin cobertura en toda la celda.

45 En un sistema de comunicación inalámbrica que emplea duplexación por división de tiempo, TDD, debido a la reciprocidad del canal, la información del estado del canal (CSI) está disponible en la estación base (gNB). Sin embargo, cuando se emplea duplexación por división de frecuencia, FDD, debido a la ausencia de reciprocidad de canal, el canal debe estimarse en el UE y retroalimentarse al gNB. La figura 2 muestra un modelo basado en bloques de una transmisión MIMO DL que utiliza precodificación basada en libro de códigos de acuerdo con la versión 8 de LTE. La figura 2 muestra esquemáticamente la estación base 200, gNB, el equipo de usuario, UE, 202 y el canal 204, como un canal de radio para una comunicación de datos inalámbrica entre la estación base 200 y el equipo de usuario 202. La estación base incluye un conjunto de antenas ANT_T que tiene una pluralidad de antenas o elementos de antena, y un precodificador 206 que recibe un vector de datos 208 y una matriz de precodificador F de un libro de códigos 210. El canal 204 puede ser descrito por el tensor/matriz de canal 212. El equipo de usuario 202 recibe el vector de datos 214 a través de una antena o un conjunto de antenas ANT_R con varias antenas o elementos de antena. Se proporciona un canal de retroalimentación 216 entre el equipo de usuario 202 y la estación base 200 para transmitir información de retroalimentación. Las versiones anteriores de 3GPP hasta la versión 15 admiten el uso de varios símbolos de referencia de enlace descendente (como CSI-RS) para la estimación de CSI en el UE. En sistemas FDD (hasta la versión 15), el canal estimado en el UE se informa implícitamente al gNB donde el CSI transmitido por el UE a través del canal de retroalimentación incluye el índice de intervalo (RI), el índice de matriz de precodificación (PMI) y el índice de calidad del canal (CQI) (y el CRI de la versión 13) permitiendo, en el gNB, decidir la matriz de precodificación, y el orden de modulación y esquema de codificación (MCS) de los símbolos a transmitir. El PMI y el RI se utilizan para determinar la matriz de precodificación a partir de un conjunto predefinido de matrices Ω denominado

'libro de códigos'. El libro de códigos, por ejemplo, de acuerdo con LTE, puede ser una tabla de consulta con matrices en cada entrada de la tabla, y el PMI y el RI del UE deciden de qué fila y columna de la tabla se utilizará la matriz del precodificador. obtenido. Los precodificadores y libros de códigos están diseñados hasta la versión 15 para gNB equipados con matrices lineales uniformes (ULA) unidimensionales que tienen *norte*₁ antenas de doble polarización (en total $N_t = 2N_1$ antenas), o con conjuntos planos uniformes bidimensionales (UPA) que tienen antenas de doble polarización en N_1N_2 posiciones (en total $N_t = 2N_1N_2$ antenas). El ULA permite controlar la onda de radio solo en la dirección horizontal (azimut), de modo que es posible la formación de haces solo en azimut en el gNB, mientras que el UPA admite la transmisión de formación de haces en direcciones vertical (elevación) y horizontal (azimut), que también es posible. denominado MIMO de dimensión completa (FD). El libro de códigos, por ejemplo, en el caso de conjuntos de antenas masivos tales como FD-MIMO, puede ser un conjunto de ponderaciones de formación de haces que forman haces de transmisión/recepción electromagnéticos espacialmente separados utilizando los vectores de respuesta del conjunto. Las ponderaciones de formación de haces (también denominados 'vectores de dirección del conjunto') del conjunto son ganancias de amplitud y ajustes de fase que se aplican a la señal alimentada a las antenas (o a la señal recibida de las antenas) para transmitir (u obtener) una radiación hacia (o desde) una dirección particular. Los componentes de la matriz del precodificador se obtienen del libro de códigos, y el PMI y el RI se utilizan para "leer" el libro de códigos y obtener el precodificador. Los vectores de dirección de la matriz pueden describirse mediante las columnas de una matriz de transformada discreta de Fourier (DFT) 2D cuando se utilizan ULA o UPA para la transmisión de señales.

Las matrices de precodificador utilizadas en los esquemas de informes CSI de Tipo I y Tipo II en 3GPP New Radio versión 15 se definen en el dominio de la frecuencia y tienen una estructura de dos etapas: $\mathbf{F}(s) = \mathbf{F}_1 \mathbf{F}_2(s)$, $s = 0, \dots, S-1$ (ver referencia [2]), donde S denota el número de subbandas. La matriz $\mathbf{F}_1$ es una matriz de banda ancha, independiente del índice s , y contiene U vectores de formación de haces espaciales (los llamados haces espaciales) $\mathbf{b}_u \in \mathbb{C}^{N_1N_2 \times 1}$, $u = 1, \dots, U$ seleccionado de una matriz de libro de códigos DFT,

$$\mathbf{F}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{1,1}, \mathbf{b}_{1,2}, \dots, \mathbf{b}_{1,U} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{b}_{1,1}, \mathbf{b}_{1,2}, \dots, \mathbf{b}_{1,U} \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{2N_1N_2 \times 2U}.$$

La matriz $\mathbf{F}_2(s)$, es una matriz de selección/combinación/cofase que selecciona/combina/cofase los haces definidos en $\mathbf{F}_1$ para la s -ésima subbanda configurada.

Por ejemplo, para una transmisión de intervalo 1 y un informe CSI de tipo I, $\mathbf{F}_2(s)$ viene dado para un conjunto de antenas de doble polarización por [2]

$$\mathbf{F}_2(s) = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_u \\ e^{j\delta_1} \mathbf{e}_u \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{2U \times 1},$$

dónde $\mathbf{e}_u \in \mathbb{C}^{U \times 1}$, $u = 1, 2, \dots, U$ contiene ceros en todas las posiciones, excepto en la u -ésima posición que es una. Tal definición de $\mathbf{e}_u$ selecciona el u -ésimo vector para cada polarización del conjunto de antenas y los combina en ambas polarizaciones. Además, δ_1 es un ajuste de fase cuantificado para la segunda polarización del conjunto de antenas.

Por ejemplo, para una transmisión de intervalo 1 y un informe CSI de tipo II, $\mathbf{F}_2(s)$ viene dado para conjuntos de antenas de doble polarización por [2]

$$\mathbf{F}_2(s) = \begin{bmatrix} e^{j\delta_1} p_1 \\ \vdots \\ e^{j\delta_{2U}} p_{2U} \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{2U \times 1}$$

dónde p_u y δ_u , $u = 1, 2, \dots, 2U$ son coeficientes de combinación de haz de fase y amplitud cuantificados, respectivamente.

Para transmisión de intervalo R , $\mathbf{F}_2(s)$ contiene R vectores, donde las entradas de cada vector se eligen para combinar haces únicos o múltiples dentro de cada polarización y/o combinarlos a través de ambas polarizaciones.

La selección de las matrices $\mathbf{F}_1$ y $\mathbf{F}_2(s)$ lo realiza el UE basándose en el conocimiento de las condiciones actuales del canal. Las matrices seleccionadas están contenidas en el informe CSI en forma de RI y PMI y se utilizan en el gNB para actualizar el precodificador multiusuario para el siguiente intervalo de tiempo de transmisión.

Un inconveniente inherente de los formatos de informes CSI actuales descritos en [2] para el esquema de retroalimentación implícita es que el RI y el PMI solo contienen información de las condiciones actuales del canal. En consecuencia, la tasa de notificación de CSI está relacionada con el tiempo de coherencia del canal, que define el tiempo durante el cual se considera que el canal no varía. Esto significa que, en escenarios de canal cuasiestáticos, donde el UE no se mueve o se mueve lentamente, el tiempo de coherencia del canal es grande y el CSI necesita actualizarse con menos frecuencia. Sin embargo, si las condiciones del canal cambian rápidamente, por ejemplo debido a un gran movimiento del UE en un entorno de canal de múltiples trayectorias, el tiempo de coherencia del canal es corto y las señales de transmisión experimentan un desvanecimiento severo causado por una dispersión de frecuencia Doppler. Para tales condiciones del canal, el CSI debe actualizarse con frecuencia, lo que provoca una alta

sobrecarga de retroalimentación. Especialmente, para futuros sistemas NR (versión 16) que probablemente estén más centrados en múltiples usuarios, los múltiples informes CSI de los usuarios en escenarios de canales altamente dinámicos reducirán drásticamente la eficiencia general del sistema de comunicación.

- 5 Para superar este problema, se han propuesto varios esquemas explícitos de retroalimentación CSI que tienen en cuenta la evolución del canal a lo largo del tiempo (ver referencia [3]). Aquí, CSI explícito se refiere al informe de coeficientes de canal explícitos desde el UE al gNB sin un libro de códigos para la selección del precodificador en el UE. Esos esquemas tienen en común la estimación de los parámetros de las derivaciones del canal dominante del canal de propagación multitrayecto así como su evolución temporal en el UE. Por ejemplo, en [3] cada toma de canal se modela como una suma de tomas de subcanal donde cada sub-toma está parametrizada con un cambio de frecuencia Doppler y una ganancia de trayectoria. Los parámetros estimados para cada derivación de canal se devuelven a la estación base, donde se utilizan con un modelo de canal para la predicción de canales basada en el dominio del tiempo antes de la precodificación del enlace descendente. La disponibilidad de CSI explícito conlleva una mayor sobrecarga para el canal de retroalimentación en comparación con la retroalimentación del canal implícita, especialmente para canales de variación lenta, lo cual no es deseado.

Por ejemplo, el documento WO 2018/052255 A1 se refiere a la adquisición CSI explícita para representar el canal en sistemas de comunicación inalámbrica utilizando el análisis de componentes principales (PCA), que se aplica en la matriz del canal en el dominio de la frecuencia, la matriz de covarianza o el vector propio de la matriz del canal. Por lo tanto, se propone un enfoque de libro de códigos para la precodificación de señales de enlace descendente en la estación base equipada con una matriz bidimensional y una configuración de informes CSI. Sin embargo, un inconveniente inherente del esquema de informes CSI propuesto es que el informe CSI de un usuario contiene sólo información sobre el CQI, PMI y RI seleccionados con respecto al estado/realización actual del canal MIMO y no tiene en cuenta las variaciones del canal a lo largo del tiempo causado por desvanecimiento de canales a pequeña escala. Por lo tanto, cuando los usuarios experimentan condiciones de canal que se desvanecen rápidamente, se necesita una actualización frecuente de CSI, lo que provoca una alta sobrecarga de retroalimentación con el tiempo. Además, el esquema de informes CSI propuesto está restringido a una retroalimentación PMI de un haz por capa, lo que conduce a una precisión CSI limitada y resulta insuficiente para la adquisición de CSI en MIMO multiusuario.

Además, para seguir la evolución del canal a lo largo del tiempo, la señal de referencia debe distribuirse en el tiempo. En la especificación 3GPP NR actual [1], un CSI-RS de un solo disparo se configura en un intervalo de tiempo particular. Estos intervalos de CSI-RS se transmiten periódicamente o se activan según demanda. La configuración de un conjunto(s) de recursos CSI-RS que puede hacer referencia a un conjunto(s) de recursos NZP-CSI-RS, CSI-IM o CSI-SSB [2] se realiza utilizando los siguientes parámetros de capa superior (ver referencia [4]):

- *CSI-ConfiguraciónRecurso* - La configuración del conjunto de recursos consta de los ID de los recursos configurados en el conjunto de recursos, el tipo de cada recurso CSI-RS en términos de su periodicidad y la parte del ancho de banda en la que están configurados.
- *CSI-Periodicidad y DesplazamientoRecurso* - Menciona la periodicidad de un recurso CSI-RS en términos de número de intervalos y desplazamiento de CSI-RS.
- *CSI-RS-MapeoRecursos* - Menciona los elementos de recurso en el mapa de tiempo-frecuencia al que está asignado el recurso CSI-RS, el número de puertos CSI-RS, el tipo de CDM utilizado para los símbolos de referencia asignados y la densidad y el ancho de banda de ocupación de los símbolos de referencia en el dominio de la frecuencia.
 - AsignaciónDominiofrecuencia
 - número de puertos
 - primerSímboloOFDMSenDominioTiempo
 - primerSímboloOFDMSenDominioTiempo2
 - cdm-Tipo
 - densidad
 - banda de frecuencia

Si bien el diseño CSI-RS puede usarse para adquirir CSI para una adaptación de enlace (esquema de modulación y codificación - MCS) y para seleccionar una matriz de precodificación a partir de una realización/instantánea de canal específica, no puede rastrear la evolución del canal en el tiempo para estimar los componentes de frecuencia Doppler de un canal MIMO.

JUNGNICKEL VOLKER ET AL, "Backhaul requirements for inter-site cooperation in heterogeneous LTE-Advanced networks", 2013 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS WORKSHOPS (ICC), IEEE, (20130609), doi:10.1109/ICCW.2013.6649363, páginas 905 - 910, describe redes móviles con la actuación de cooperación inter-sitio. En una implementación heterogénea, donde las celdas pequeñas están integradas en macrocélulas, los efectos del deterioro debido a un retraso pueden reducirse mediante compresión de retroalimentación, retrasos más cortos en la interfaz aérea y predicción de canal basada en el retraso Doppler.

INTERDIGITAL COMMUNICATIONS ET AL, "CSI Feedback for Non-uniform Networks", 3GPP DRAFT; R1-112240 IDCC CSI FEEDBACK FOR NON-UNIFORM NETWORKS, 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP), MOBILE COMPETENCE CENTRE; 650, Route des Lucioles; F-06921 SOPHIA-ANTIPOLIS CEDEX; FRANCIA, (20110816), vol. RAN WG1, n.º Athens, Greece; 20110822, describe mejoras a una retroalimentación CSI para abordar posibles problemas con ciertos escenarios de implementación en los que una configuración de antena puede ser flexible según la ubicación del UE, la frecuencia Doppler y la geometría.

Se observa que la información divulgada en la sección anterior es únicamente para una mejora del entendimiento de los **Antecedentes de la invención** y, por lo tanto, puede contener información que no forma la técnica anterior que ya se conoce en este para un experto en la técnica.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un enfoque mejorado para la notificación de CSI que permita seguir la evolución temporal del canal.

Este objetivo se consigue mediante un dispositivo de comunicación según la reivindicación 1, mediante un transmisor según la reivindicación 14 y mediante un método según la reivindicación 15 o 16.

Algunas realizaciones se definen en las reivindicaciones dependientes.

Las realizaciones de la presente invención se describen ahora en detalle adicional con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 muestra una representación esquemática de un ejemplo de un sistema de comunicación inalámbrica;

La figura 2 muestra un modelo basado en bloques de una transmisión MIMO DL que utiliza precodificación basada en libro de códigos de acuerdo con la versión 8 de LTE;

La figura 3 es una representación esquemática de un sistema de comunicación inalámbrica para comunicar información entre un transmisor, que funciona de acuerdo con las enseñanzas inventivas descritas en el presente documento, y una pluralidad de receptores, que funcionan de acuerdo con las enseñanzas inventivas descritas en el presente documento;

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra la configuración de los parámetros CSI, la medición de CSI, el cálculo de la matriz precodificadora compuesta y el informe de CSI de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 5(a) ilustra un CSI-RS con una periodicidad de 10 intervalos y sin repetición (CSI-RS-DuraciónRáfaga no configurado o CSI-RS-DuraciónRáfaga = 0);

La figura 5(b) ilustra un CSI-RS con una periodicidad de 10 intervalos y repetición de 4 intervalos (CSI-RS-DuraciónRáfaga = 4);

La figura 6 muestra un elemento de información CSI-RS-DuraciónRáfaga de acuerdo con una realización;

La figura 7 ilustra un tensor de canal en el dominio de la frecuencia (matriz tridimensional) $\mathcal{H}$ de dimensión $N \times S \times T$;

La figura 8 ilustra una matriz precodificadora compuesta de haz de retraso Doppler de tamaño $N_t \cdot T \times S$;

La figura 9 ilustra índices de retroalimentación asociados con un haz, retraso y componentes de frecuencia Doppler para una transmisión de capa 1 suponiendo un número igual de retrasos por haz y un número igual de componentes de frecuencia Doppler por retraso y haz;

La figura 10 ilustra una construcción basada en un libro de códigos del l -ésimo precodificador de capa en el gNB y la asociación del l -ésimo precodificador de capa con los puertos de antena (AP) para una configuración de ejemplo $N_1 = 4$, $N_2 = 2$, $P = 2$; y

La figura 11 ilustra un ejemplo de un sistema informático en el que ejecutarse unidades o módulos, así como las etapas de los métodos descritos de acuerdo con el enfoque inventivo.

A continuación, se describen realizaciones de la presente invención preferidas en detalle adicional con referencia a los dibujos adjuntos en los que elementos que tienen la misma función o similar se referencian por los mismos signos de referencia.

Las realizaciones de la presente invención pueden implementarse en un sistema o red de comunicación inalámbrica como se representa en la figura 1 o la figura 2, incluidos transmisores o transceptores, como estaciones base, y dispositivos de comunicación (receptores) o usuarios, como terminales móviles o estacionarios o dispositivos IoT, como se mencionó anteriormente. La figura 3 es una representación esquemática de un sistema de comunicación inalámbrico para comunicar información entre un transmisor 200, como una estación base, y una pluralidad de dispositivos de comunicación 202 a 202_n, como los UE, que son atendidos por la estación base 200. La estación base 200 y los UE 202 se comunican a través de un enlace o canal de comunicación inalámbrica 204, como un enlace de radio. La estación base 200 incluye una o más antenas ANT_T o un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de elementos de antena, y un procesador de señales 200a. Los UE 202 incluyen una o más antenas ANT_R o un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de antenas, un procesador de señales 202a₁, 202a_n, y un transceptor 202b₁, 202b_n. La estación base 200 y los respectivos UE 202 funcionan de acuerdo con las enseñanzas inventivas descritas en el presente documento.

Equipo de usuario

La presente divulgación se refiere a un dispositivo de comunicación 202 no reivindicado para proporcionar retroalimentación de información del estado del canal, CSI, en un sistema de comunicación inalámbrico, comprendiendo el dispositivo de comunicación 202:

un transceptor 202b configurado para recibir, desde un transmisor 200, una señal de radio a través de un canal MIMO 204 selectivo en frecuencia y variable en el tiempo, incluyendo la señal de radio señales de referencia de enlace descendente de acuerdo con una configuración de señal de referencia que comprende varios puertos de antena y señales de enlace descendente que comprende la configuración de la señal de referencia; y un procesador (202a) configurado para

- estimar un CSI explícito en el dominio de la frecuencia usando mediciones de las señales de referencia de enlace descendente en el canal de radio 204, las señales de referencia de enlace descendente proporcionadas durante un cierto tiempo de observación,
- seleccionar, basándose en una métrica de rendimiento, una matriz precodificadora de retraso Doppler ($\mathbf{W}$) para un precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, basándose el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler en uno o más libros de códigos, incluyendo el uno o más libros de códigos
 - uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
 - uno o más componentes de retraso del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, y
 - uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
- calcular uno o más de un indicador de calidad de canal, CQI, un indicador de matriz precodificador, PMI, y un indicador de intervalo, RI, usando el CSI explícito y el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto con el retraso Doppler seleccionado. matriz de precodificador de haz ($\mathbf{W}$), y
- informar al transmisor 200 la retroalimentación de CSI que incluye uno o más de CQI, y/o el PMI y/o el RI, en donde el PMI y el RI se usan para indicar la matriz precodificadora compuesta de tres etapas del haz de retraso Doppler para los puertos de antena configurados.

La presente invención proporciona un dispositivo de comunicación 202 para proporcionar retroalimentación de información del estado del canal, CSI, en un sistema de comunicación inalámbrica. El dispositivo de comunicación 202 recibe una configuración de recursos de señal de referencia, por ejemplo, una configuración de recursos CSI-RS, que incluye un parámetro, como un parámetro de capa superior (por ejemplo, RRC), por ejemplo, denominado CSI-RS-DuraciónRáfaga, indicando el parámetro una repetición en el dominio del tiempo de las señales de referencia de enlace descendente, por ejemplo, en términos de un número de intervalos consecutivos en los que se repiten las señales de referencia de enlace descendente. El dispositivo de comunicación determina la retroalimentación de CSI basándose en las señales de referencia de enlace descendente repetidas e informa la retroalimentación de CSI determinada, por ejemplo, a un transmisor que proporciona las señales de referencia.

El precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler se basa en tres libros de códigos separados, y en donde los tres libros de códigos separados incluyen

- un primer libro de códigos (Ω_1) para uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto,
- un segundo libro de códigos (Ω_2) para uno o más componentes de retraso del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto, y

- un tercer libro de códigos (Ω_3) para uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto.

De acuerdo con realizaciones, la matriz precodificadora de retraso Doppler (W) está representado por

$$W^{(l)} = P^{(l)} \begin{bmatrix} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} f_{1,u,d,v}^{(l)} \otimes d_{1,u,d}^{(l)T} \otimes b_u^{(l)} \\ \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} f_{2,u,d,v}^{(l)} \otimes d_{2,u,d}^{(l)T} \otimes b_u^{(l)} \end{bmatrix},$$

donde

- $U^{(l)}$ es el número de haces por polarización para la l -ésima capa,
- $D_u^{(l)}$ es el número de retrasos para la l -ésima capa y u -ésimo haz,
- $F_{d,u}^{(l)}$ es el número de componentes de frecuencia Doppler para la l -ésima capa, u -ésimo haz y d -ésimo retraso,
- $f_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el v -ésimo vector de tamaño de frecuencia Doppler $T \times 1$ asociado con la l -ésima capa, d -ésimo retraso, u -ésimo haz espacial, y la p -ésima ($p = 1, 2$) polarización del precodificador;
- $d_{p,u,d}^{(l)}$ es el d -ésimo vector de retraso de tamaño $S \times 1$ asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial y la p -ésima polarización del precodificador;
- $b_u^{(l)}$ es el u -ésimo haz espacial asociado con la l -ésima capa;
- $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el coeficiente de retraso Doppler asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial, d -ésimo retraso, v -ésima frecuencia Doppler y la p -ésima polarización del precodificador, y
- $P^{(l)}$ es un factor de normalización escalar para asegurar que la *promedio* la potencia de transmisión total sobre todas las capas precodificadoras es 1.

De acuerdo con realizaciones, el precodificador de haz de retraso Doppler está representado por un precodificador de doble etapa:

$$W^{(l)} = W^{(1,l)} W^{(2,l)} \in N_t \cdot T \cdot S \times 1,$$

donde

$$W^{(1,l)} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix}$$

con

$$X_1 = \begin{bmatrix} f_{1,0,0,0}^{(l)} \otimes d_{1,0,0}^{(l)} \otimes b_0^{(l)} & \cdots & f_{1,u,d,v}^{(l)} \otimes d_{1,u,d}^{(l)} \otimes b_u^{(l)} & \cdots & f_{1,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} \otimes d_{1,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1}^{(l)} \otimes b_{U^{(l)}-1}^{(l)} \end{bmatrix},$$

$$X_2 = \begin{bmatrix} f_{2,0,0,0}^{(l)} \otimes d_{2,0,0}^{(l)} \otimes b_0^{(l)} & \cdots & f_{2,u,d,v}^{(l)} \otimes d_{2,u,d}^{(l)} \otimes b_u^{(l)} & \cdots & f_{2,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} \otimes d_{2,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1}^{(l)} \otimes b_{U^{(l)}-1}^{(l)} \end{bmatrix},$$

y $W^{(2,l)}$ contiene los complejos coeficientes de combinación del haz de retraso Doppler,

$$W^{(2,l)} =$$

$$\begin{bmatrix} \gamma_{1,0,0,0}^{(l)} & \cdots & \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} & \cdots & \gamma_{1,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} & \gamma_{2,0,0,0}^{(l)} & \cdots & \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} & \cdots & \gamma_{2,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} \end{bmatrix}^T,$$

donde

- $f_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el v -ésimo vector de tamaño de frecuencia Doppler $T \times 1$ asociado con la l -ésima capa, d -ésimo retraso, u -ésimo haz espacial, y la p -ésima ($p = 1, 2$) polarización del precodificador;
- $d_{p,u,d}^{(l)}$ es el d -ésimo vector de retraso de tamaño $S \times 1$ asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial y la p -ésima polarización del precodificador;
- $b_u^{(l)}$ es el u -ésimo haz espacial asociado con la l -ésima capa;
- $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el coeficiente de retraso Doppler asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial, d -ésimo retraso, v -ésima frecuencia Doppler y la p -ésima polarización del precodificador, y
- P^0 es un factor de normalización escalar para asegurar que la *promedio* la potencia de transmisión total sobre todas las capas precodificadoras es 1.

De acuerdo con realizaciones,

- el primer libro de códigos (Ω_1) comprende una primera matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño $N_1 N_2 \times O_{1,1} N_1 O_{1,2} N_2$ de donde los vectores $b_u^{(l)}$ son seleccionados, donde N_1 y N_2 consulte el primer y segundo número de puertos de antena, respectivamente, y $O_{1,1}$ y $O_{1,2}$ se refieren a los factores de sobremuestreo con $O_{1,1} \in \{1, 2, 3, \dots\}$ y $O_{1,2} \in \{1, 2, 3, \dots\}$,
- en donde el segundo libro de códigos (Ω_2) comprende una segunda matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño $S \times SO_2$ de donde los vectores de retraso $d_{u,d}^{(l)}$ se seleccionan, donde S se refiere al número de subbandas/PRB o subportadoras configuradas, y O_2 se refiere al factor de sobremuestreo $O_2 = 1, 2, \dots$, y
- donde el tercer libro de códigos (Ω_3) comprende una tercera matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño $T \times TO_3$ de donde los vectores de frecuencia Doppler $f_{p,u,d,v}^{(l)}$ se seleccionan, donde T se refiere al número de instancias de tiempo durante el tiempo de observación, y O_3 se refiere al factor de sobremuestreo con $O_3 = 1, 2, \dots$

De acuerdo con realizaciones, el dispositivo de comunicación está configurado para informar al transmisor la retroalimentación de CSI de acuerdo con una configuración de informe de CSI recibida del transmisor, incluyendo la configuración de informe de CSI, por ejemplo, el parámetro CantidadInforme, que incluye al menos uno de los siguientes valores:

- cri-RI-PMIDD-CQI,
- cri-RI-PMIDy-CQI,
- cri-RI-PMIDr-CQI,
- cri-RI-LI-PMIDD-CQI,
- cri-RI-LI-PMIDy-CQI,
- cri-RI-LI-PMIDr-CQI,
- cri-RI-PMIDD,
- cri-RI-PMIDy,
- cri-RI-PMIDr,

en donde las cantidades del PMI se definen como:

- PMIDD: valores de PMI que incluyen el retraso y las configuraciones de los componentes de frecuencia Doppler,
- PMIDy: valores de PMI que incluyen solo la configuración del componente de retraso, excluyendo los componentes de frecuencia Doppler, y
- PMIDr: valores de PMI que incluyen solo la configuración del componente de frecuencia Doppler, excluyendo los componentes de retraso.

De acuerdo con realizaciones, el dispositivo de comunicación está configurado para recibir los siguientes valores desde el transmisor usando parámetros de la capa de Control de Recursos de Radio (RRC) o de la capa física (L1):

- valores de S y T para la configuración de los libros de códigos de componentes de retraso y frecuencia Doppler (Ω_2, Ω_3), y
- parámetros N_1, N_2 y factores de sobremuestreo $O_{1,1}$ y $O_{1,2}$ para la configuración del primer libro de códigos (Ω_1).

Según realizaciones, los componentes de la haz espacial están configurados de la siguiente manera:

- el número de haces $U^{(l)}$ no es idéntico entre las capas, o
- el número de haces $U^{(l)}$ es idéntico para todas las capas de modo que $U^{(l)} = U, \forall l$.

De acuerdo con realizaciones, los componentes de retraso están configurados de la siguiente manera:

- 5 - los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, pueden variar para cada haz, capa e índices de polarización.
- los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, varían para cada haz e índices de capa y pueden permanecer idénticos a lo largo de los índices de polarización.
- 10 - los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los índices de haz, capa y polarización.
- los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los índices de haz y capa y pueden sobreíndices de polarización.
- los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los índices de haz y polarización, y varían a lo largo de los índices de capa.
- 15 - los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los índices de haz y varían según los índices de capa y polarización.
- el número de retrasos $D_u^{(l)}$ depende del índice de haz y capa, o
- el número de retrasos $D_u^{(l)}$ depende del índice del haz y permanece idéntico para todos los índices de capa, $D_u^{(l)} = D_u, \forall l, u$, o
- 20 - el número de retrasos $D_u^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz, pero varía según la capa, $D_u^{(l)} = D^{(l)}, \forall l, u$, o
- el número de retrasos $D_u^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz y de capa, $D_u^{(l)} = D \forall l, u$.

Según realizaciones, los componentes de frecuencia Doppler están configurados de la siguiente manera:

- 25 - los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de frecuencia Doppler, varían según los índices de haz, retraso, capa y polarización.
- los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de frecuencia Doppler, varían según los índices de haz, retraso y capa, pero permanecen idénticos según los índices de polarización.
- 30 - los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de frecuencia Doppler, son idénticos para todos los índices de haz y retraso, y pueden variar según los índices de capa y polarización.
- los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de frecuencia Doppler, son idénticos para todos los índices de haz, retraso y polarización, y pueden variar según los índices de capa.
- el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ depende del índice del haz, del índice de retraso y del índice de capa, o
- 35 - el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los haces, retrasos e índices de capa, de modo que $F_{d,u}^{(l)} = F, \forall u, d, l$, o
- el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz y todos los índices de retraso, pero varía según los índices de capa $F_{d,u}^{(l)} = F^{(l)}$, o
- el número de vectores de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz, pero varía según los índices de retraso y capa, $F_{d,u}^{(l)} = F_d^{(l)}, \forall u, d, l$, o
- 40 - el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz e índices de

capa, pero varía según los índices de retraso, $F_{d,u}^{(l)} = F_d, \forall u, d, l$, o

- el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es diferente para los U haces, e idénticos para todos los índices de retraso y capa, $F_{d,u}^{(l)} = F_u, \forall u, d, l$, o

- el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ varía según los índices de haz y retraso y es idéntico para todos los índices de capa, $F_{d,u}^{(l)} = F_{d,u}, \forall u, d, l$, o

- el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ varía según los índices de haz y capa, y es idéntico para todos los índices de retraso, $F_{d,u}^{(l)} = F_u^{(l)}, \forall u, d, l$, o

De acuerdo con realizaciones,

- el CSI explícito está representado por un tensor de canal tridimensional $\mathcal{H} \in \mathbb{C}^{N \times S \times T}$ de la dimensión $N \times S \times T$ con S siendo el número de subbandas/PRB o subportadoras configuradas, T siendo el número de instancias de tiempo durante el tiempo de observación, y $N = N_r \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot P$, y la primera, segunda y tercera dimensiones del tensor de canal que representan los componentes de espacio, frecuencia y tiempo del canal MIMO selectivo en frecuencia variable en el tiempo, respectivamente, o

- el CSI explícito está representado por un tensor de canal de cuatro dimensiones $\mathcal{H} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t \times S \times T}$ de dimensión $N_r \times N_t \times S \times T$, donde $N_t = N_1 \cdot N_2 \cdot P$, la primera y segunda dimensiones de $\mathcal{H}$ que representan los componentes espaciales del lado de recepción y del lado de transmisión del canal MIMO selectivo en frecuencia variable en el tiempo, respectivamente, y la tercera y cuarta dimensiones de $\mathcal{H}$ representando el componente de frecuencia y tiempo del canal, respectivamente.

De acuerdo con realizaciones, el procesador está configurado para seleccionar una matriz precodificadora de retraso Doppler ($\mathbf{W}$) basado en una métrica de rendimiento para, por ejemplo, la información mutua $I(\mathbf{W}; \mathcal{H})$, que es una función de la matriz precodificadora de retraso Doppler $\mathbf{W}$ y un tensor de canal multidimensional $\mathcal{H}$.

De acuerdo con realizaciones, el procesador está configurado para seleccionar un CQI de banda ancha que optimiza la tasa de error de bloque promedio $block_error_rate(\mathcal{H} | \mathbf{W}^{(l)} (l = 1, \dots, L))$ en el dispositivo de comunicación para la matriz precodificadora compuesta de haz de retraso Doppler seleccionada $\mathbf{W}^{(l)} (l = 1, \dots, l)$ y un tensor de canal multidimensional $\mathcal{H}$ Para el t instantes de tiempo.

De acuerdo con realizaciones, el procesador está configurado para

- utilizar, en una primera etapa, un algoritmo de estimación de parámetros de alta resolución para estimar parámetros de un modelo de canal directamente a partir de un tensor de canal multidimensional $\mathcal{H}$, o para calcular los coeficientes de $\mathbf{H}(t, w)$ directamente en una forma no parametrizada desde el tensor del canal MIMO $\mathcal{H}$,
- utilizar, en una segunda etapa, el modelo de canal parametrizado y el precodificador compuesto de haz de retraso Doppler seleccionado $\mathbf{W}^{(l)} (l = 1, \dots, l)$ para calcular una respuesta en el dominio de frecuencia del modelo de canal MIMO precodificado y parametrizado, variable en el tiempo, como

$$\mathbf{H}_{prec}(t, w) = \mathbf{H}(t, w) [\mathbf{W}^{(1)}(t, w), \mathbf{W}^{(2)}(t, w), \dots, \mathbf{W}^{(L)}(t, w)],$$

donde el (i, j) entrada de $[\mathbf{H}(t, w)]_{i,j} = h_{i,j}(t, w)$, y $\mathbf{W}^{(l)}(t, w)$ es el t -ésimo bloque y la w -ésima columna de $\mathbf{W}^{(l)}$,
- utilizar, en una tercera etapa, la respuesta del modelo de canal MIMO precodificado parametrizado para calcular uno o más valores de CQI para uno o más instantes de tiempo futuros.

De acuerdo con realizaciones, el procesador está configurado para

- predecir un valor de CQI para un instante/intervalo de tiempo $n + K$, donde n denota el instante/intervalo de tiempo actual, y K denota la diferencia de tiempo relativa con respecto al instante/intervalo de tiempo actual n , y
- utilizar los k valores de CQI predichos para calcular los valores de CQI predichos diferenciales reduciendo los k valores de CQI predichos por el valor de CQI promedio.

De acuerdo con realizaciones, el dispositivo de comunicación está configurado para recibir una configuración de informes CSI que comprende un parámetro CQI-TiempoPredicción asignado con el valor K que es utilizado por el

dispositivo de comunicación para la predicción de CQI.

De acuerdo con realizaciones, el procesador está configurado para informar al menos un PMI de dos componentes,

- donde el primer PMI corresponde a los vectores seleccionados $\mathbf{b}_u^{(l)}$, $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$ y $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$
- 5 - donde el segundo PMI $2^{\sum_{u,d,l} F_{d,u}^{(l)}}$ corresponde a coeficientes de combinación del haz de retraso Doppler $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ desde el dispositivo de comunicación al transmisor.

De acuerdo con realizaciones, el procesador está configurado para

- 10 - representar el PMI del primer componente en forma de conjuntos de tres tuplas, donde cada triple tupla (u, d, v) está asociado con un vector de haz espacial seleccionado $\mathbf{b}_u^{(l)}$, un vector de retraso seleccionado $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$ y un vector de frecuencia Doppler seleccionado $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$, los conjuntos de tres tuplas están representados por $\mathbf{h}_1 = [h_{1,1}, h_{1,2}, h_{1,3}]$, donde $\mathbf{h}_1$ representa el primer componente del PMI, y donde $h_{1,1}$ contiene $\sum_i U^h$ índices de los vectores DFT seleccionados para los haces espaciales, $h_{1,2}$ contiene $2^{\sum_{u,l} D_u^{(l)}}$ índices de los vectores de retraso seleccionados,
- 15 y $h_{1,3}$ contiene $2^{\sum_{u,d,l} F_{d,u}^{(l)}}$ índices de los vectores de frecuencia Doppler seleccionados,
- cuantificar los coeficientes de combinación del haz de retraso Doppler utilizando un enfoque de libro de códigos, donde los coeficientes de combinación del haz de retraso Doppler cuantificados están representados por $\mathbf{h}_2$, el segundo componente del PMI, y
- comunicar los dos componentes PMI al transmisor.
- 20

De acuerdo con realizaciones, para cuantificar los coeficientes de retraso Doppler complejos $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ con un enfoque de libro de códigos, cada coeficiente está representado por

$$\gamma_{p,u,d,v}^{(l)} = \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \phi_{p,u,d,v}^{(l)}$$

25 donde

- $\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}$ es un coeficiente de amplitud dependiente de la polarización, el haz, el retraso y la frecuencia Doppler, que se cuantifica con N bits; y
- 30 - $\phi_{p,u,d,v}^{(l)}$ representa una fase que está representada por una BPSK, o QPSK, o 8PSK, o cualquier otra constelación PSK de orden superior, o

en donde cada coeficiente está representado por su parte real e imaginaria como

$$\gamma_{p,u,d,v}^{(l)} = \text{Re}\{\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}\} + j \cdot \text{Imag}\{\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}\},$$

35 donde $\text{Re}\{\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}\}$ y $\text{Imag}\{\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}\}$ están cuantificados cada uno con N bits.

40 De acuerdo con realizaciones, la retroalimentación de CSI incluye además un indicador de intervalo, RI, y en donde el procesador está configurado para informar el RI para la transmisión, en donde el RI se selecciona con respecto a la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler $\mathbf{W}^h(l = 1, \dots, l)$ y denota un número promedio de capas soportadas por el canal MIMO selectivo en frecuencia, variable en el tiempo y precodificado con haz de retraso Doppler.

45 De acuerdo con realizaciones, el dispositivo de comunicación está configurado con una configuración de informes CSI-RS a través de una capa superior para informar ya sea el CQI y/o RI y/o PMI para un CSI-RS formado por haz, los vectores en la primera matriz de libro de códigos. representado por $N_1 N_2$ - vectores de columna de longitud, donde m -ésimo vector ($m = 1, \dots, N_1 N_2$) contiene un solo 1 en el m -ésima posición y ceros en otros lugares.

50 De acuerdo con las realizaciones, el dispositivo de comunicación está configurado para recibir una configuración de recursos CSI-RS que incluye un parámetro de capa superior (por ejemplo, RRC), por ejemplo, denominado CSI-RS-DuraciónRáfaga, que indica una repetición en el dominio del tiempo del enlace descendente. señales de referencia, por ejemplo, en términos de un número de intervalos consecutivos en los que se repiten las señales de referencia del

enlace descendente.

De acuerdo con las realizaciones, el dispositivo de comunicación supone que para el cálculo de CQI, y/o RI, y/o PMI, el transmisor aplica el precodificador de haz de retraso Doppler a señales PDSCCH en los puertos de antena {1000, 1008 + v - 1} para v = L capas como

$$\begin{bmatrix} y^{(t,3000)}(i) \\ \vdots \\ y^{(t,3000+P-1)}(i) \end{bmatrix} = \mathbf{W}(t, i) \begin{bmatrix} x^{(t,0)}(i) \\ \vdots \\ x^{(t,v-1)}(i) \end{bmatrix},$$

donde

$[x^{(t,0)}(i), \dots, x^{(t,v-1)}(i)]^T$ es un vector de símbolos de símbolos PDSCCH, $P \in \{1, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32\}$, $x^{(t,u)}(i)$ es el i -ésimo símbolo de capa u en el momento instantáneo t , $x^{(t,v)}(i)$ es el símbolo precodificado transmitido en el puerto de la antena tu en el momento instantáneo t , y $\mathbf{W}(t, i) = [\mathbf{W}^T(t, i), \dots, \mathbf{W}^L(t, i)]$ es la matriz precodificadora predicha, con $\mathbf{W}^{\theta}(t, i)$ siendo el t -ésimo bloque y i -ésima columna de $\mathbf{W}^{\theta}$.

15 Estación base

La presente invención proporciona un transmisor 200 en un sistema de comunicación inalámbrico que incluye un dispositivo de comunicación 202, comprendiendo el transmisor:

20 un conjunto de antenas ANT_i que tiene una pluralidad de antenas para una comunicación inalámbrica con uno o más de los dispositivos de comunicación inventivos 202₁, 202₂ para proporcionar información del estado del canal, CSI, retroalimentación al transmisor 200;

un precodificador 200b conectado al conjunto de antenas ANT_T , el precodificador 200c para aplicar un conjunto de ponderaciones de formación de haz a una o más antenas del conjunto de antenas ANT_T para formar, por el conjunto de antenas ANT_T , uno o más haces de transmisión o uno o más haces de recepción;

25 un transceptor 200c configurado para

- transmitir, al dispositivo de comunicación 202₁, 202₂, señales de referencia de enlace descendente (CSI-RS) según una configuración CSI-RS que comprende varios puertos de antena CSI-RS y un parámetro, por ejemplo, denominado CSI-RS DuraciónRáfaga, que indica una repetición en el dominio del tiempo de las señales de referencia de enlace descendente, por ejemplo, en términos de un número de intervalos consecutivos en los que se repiten las señales de referencia de enlace descendente, y señales de enlace descendente que comprenden la configuración CSI-RS; y

30 - recibir señales de enlace ascendente que comprenden una pluralidad de informes CSI desde el dispositivo de comunicación 202₁, 202₂; y

un procesador 200a configurado para

40 - extraer al menos el identificador de matriz precodificadora de dos componentes y el indicador de clasificación de la pluralidad de informes CSI; y

- construir una matriz precodificadora de haz de retraso Doppler aplicada en los puertos de antena usando un primer componente y un segundo componente del PMI, y determinar las ponderaciones de formación de haces en respuesta a la matriz precodificadora construida.

45 De acuerdo con realizaciones, para facilitar la predicción de la matriz precodificadora para instantes de tiempo futuros QT , el procesador está configurado para extender cíclicamente los vectores DFT de frecuencia Doppler $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$ a vectores de longitud- QT $\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)}$, la extensión cíclica definida por

$$\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)} = \left[1, e^{j\frac{2\pi k}{O_3}}, \dots, e^{j\frac{2\pi k(Q-1)}{O_3}} \right]^T \otimes \mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}, \forall u, d, v, p, l,$$

50 dónde $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)} = \left[1, e^{j\frac{2\pi k}{O_3 T}}, \dots, e^{j\frac{2\pi k(T-1)}{O_3 T}} \right]^T \in \Omega_3$, y la matriz precodificadora predicha para la i -ésima capa y q -ésimo ($q = 1, \dots, QT$) instante de tiempo está dado por

$$\bar{\mathbf{W}}^{(l)}(q) = P^{(l)} \begin{bmatrix} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{P_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} \mathbf{t}_{1,u,d,v}^{(l)}(q) \otimes \mathbf{d}_{1,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \\ \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{P_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} \mathbf{t}_{2,u,d,v}^{(l)}(q) \otimes \mathbf{d}_{2,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \end{bmatrix}$$

dónde $\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)}(q)$ es la q -ésima entrada de $\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)}$.

5 Sistema

La presente invención proporciona una red de comunicación inalámbrica base, que comprende al menos uno de los UE inventivos y al menos una de las estaciones base inventivas.

- 10 De acuerdo con realizaciones, el dispositivo de comunicación y el transmisor comprenden uno o más de: un terminal móvil, o terminal estacionario, o IoT-UE celular, o un dispositivo de IoT, o un vehículo terrestre, o un vehículo aéreo, o un dron, o una estación base móvil, o una unidad al lado de la carretera, o un edificio, o una estación base de macro celda, o una estación base de celda pequeña, o una unidad al lado de la carretera, o un UE, o un cabezal de radio remoto, o un AMF, o un SMF, o una entidad de red central, o un segmento de red como en el contexto central NR o 5G, o cualquier punto de transmisión/recepción (TRP) que permita a un artículo o dispositivo comunicarse utilizando la red de comunicación inalámbrica, el artículo o dispositivo estar provisto de conectividad de red para comunicarse utilizando la red de comunicación inalámbrica.

Métodos

- 20 La presente invención proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 15.

La presente invención proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 16.

25 Producto de programa informático

La presente invención proporciona un producto de programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecuta el producto de programa informático por un dispositivo informático, hacen que el dispositivo informático lleve a cabo uno o más métodos de acuerdo con la presente invención.

- 30 Por lo tanto, las realizaciones de la presente invención proporcionan una extensión del CSI-RS existente para rastrear la evolución temporal del canal, por ejemplo, para un canal que tiene condiciones de canal que cambian rápidamente, por ejemplo debido a un alto movimiento del UE en un entorno de canal de múltiples trayectorias y que tiene un tiempo de coherencia de canal corto. La presente invención es ventajosa porque al seguir la evolución temporal del canal, incluso para canales con condiciones de canal variables, no es necesario actualizar el CSI con menos frecuencia, por ejemplo, con una velocidad similar para canales con un tiempo de coherencia de canal largo, reduciendo así o evitando una sobrecarga de retroalimentación. Por ejemplo, los parámetros del canal a gran escala tales como la pérdida de trayectoria y el desvanecimiento por sombras pueden no cambiar rápidamente con el tiempo, incluso en un canal que tiene un tiempo de coherencia de canal corto, de modo que las variaciones del canal están relacionadas principalmente con el desvanecimiento del canal a pequeña escala. Esto significa que los parámetros del canal MIMO de la respuesta al impulso, como los componentes de la trayectoria y los retrasos del canal, no cambian durante un período de tiempo más largo, y las variaciones del canal causadas por el movimiento del UE conducen sólo a fluctuaciones de fase de los componentes de la trayectoria del canal MIMO. Esto significa que los haces espaciales, los vectores DFT de frecuencia Doppler precodificadores, los vectores DFT de retraso, así como los coeficientes de retraso Doppler del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler permanecen idénticos o sustancialmente idénticos durante un largo periodo de tiempo. y necesitan ser actualizados con menos frecuencia.

- Para abordar los problemas mencionados anteriormente en los enfoques convencionales, según los cuales los esquemas de retroalimentación de CSI actuales no son suficientes, las realizaciones de la presente invención proporcionan un diseño de CSI-RS que permite realizar un seguimiento de la evolución temporal de CSI o un nuevo esquema de informes de CSI implícito que tiene en cuenta la evolución temporal del canal y proporciona información sobre RI, PMI y CQI actuales y futuros en forma comprimida para reducir la tasa de retroalimentación.

- 55 La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra la configuración de los parámetros CSI, la medición de CSI, el cálculo de la matriz precodificadora compuesta y el informe de CSI de acuerdo con una realización de la presente invención. El UE puede configurarse con una configuración de recursos CSI-RS a través de una capa superior (tal como RRC)

que contiene información sobre el número de puertos CSI-RS asignados utilizados para la transmisión al UE. El número de puertos CSI-RS, M , es igual a $P N_1 N_2$ (donde $P = 1$ para antenas de matriz copolarizadas y $P = 2$ para antenas de matriz de doble polarización en la estación base), y donde N_1 y N_2 son el número de puertos de antena de la primera y segunda dimensiones espaciales del conjunto gNB, respectivamente. El UE está configurado con una configuración de informes de CSI a través de una capa superior y/o una capa física (a través de DCI) que también contiene información para una evaluación de los parámetros de retroalimentación de CSI, tales como CQI, RI y PMI, en el UE. La estación base o gNB envía señales a través de una capa superior o una capa física al menos cinco valores enteros para (N_1, N_2, P) , S , y T , donde (N_1, N_2, P) se utilizan para configurar un primer libro de códigos, y S y T se utilizan para configurar un segundo libro de códigos y un tercer libro de códigos, respectivamente, para la descomposición/cálculo del PMI en el UE. La selección de CQI, RI y PMI se realiza en el UE según las realizaciones descritas posteriormente.

En una etapa 250, el gNB o estación base envía una configuración CSI-RS y una configuración de informe CSI al UE. De acuerdo con las realizaciones, la configuración CSI-RS puede incluir una configuración de recurso(s) CSI-RS con respecto a la subcláusula 7.4.1.5 en TS 38.211 [1] y con la subcláusula 6.3.2 en TS.38.331 [4]. Además, se incluye una configuración de parámetros de capa superior adicional denominada CSI-RS-DuraciónRáfaga.

Se incluye CSI-RS-DuraciónRáfaga para proporcionar un diseño CSI-RS que permita realizar un seguimiento de la evolución temporal del canal. De acuerdo con las realizaciones, un UE se configura con una configuración de conjunto(s) de recursos CSI-RS con el parámetro de capa superior CSI-RS-DuraciónRáfaga, además de las configuraciones de la cláusula 7.4.1.5 en TS 38.211 [2] y la cláusula 6.3.2 en TS.38.331 [4] mencionadas anteriormente, para rastrear la evolución temporal de CSI. La repetición en el dominio del tiempo del CSI-RS, en términos del número de intervalos consecutivos en los que se repite el CSI-RS, la proporciona el parámetro de capa superior CSI-RS-DuraciónRáfaga. Los posibles valores de CSI-RS-DuraciónRáfaga para la numerología NR μ son $2^\mu \cdot X_B$ intervalos, donde $X_B \in \{0, 1, 2, \dots, \text{máxNúmeroIntervalosRáfaga} - 1\}$. La numerología NR $\mu = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ define, por ejemplo, una separación de subportadora de $2^\mu \cdot 15 \text{ kHz}$ de acuerdo con la norma NR.

Por ejemplo, cuando el valor de $X_B = 0$ o el parámetro CSI-RS-DuraciónRáfaga no está configurado, no hay repetición del CSI-RS en múltiples intervalos. La duración de la ráfaga aumenta con la numerología para mantenerse al día con la disminución en el tamaño de los intervalos. Utilizando la misma lógica utilizada para la periodicidad de CSI-RS. La figura 5(a) ilustra un CSI-RS con una periodicidad de 10 intervalos y sin repetición (CSI-RS-DuraciónRáfaga no configurado o CSI-RS-DuraciónRáfaga = 0), y la figura 5(b) ilustra un CSI-RS con una periodicidad de 10 intervalos y repetición de 4 intervalos (CSI-RS-DuraciónRáfaga = 4). La figura 6 ilustra un elemento de información de CSI-RS-DuraciónRáfaga de acuerdo con una realización. El elemento de información del nuevo parámetro RRC CSI-RS-DuraciónRáfaga es el siguiente: el valor junto al texto IntervalosRáfaga indica el valor de X_B , que para una determinada numerología de Nueva Radio μ (ver [1]) proporciona la duración de la ráfaga $2^\mu \cdot X_B$ del CSI-RS, es decir, el número de intervalos consecutivos de repetición del CSI-RS.

El CSI-RS en ráfaga a través de múltiples intervalos consecutivos permite la extracción de información de evolución temporal del CSI y para la generación de informes de la matriz precodificadora, por ejemplo como parte del PMI, de la manera que se describe con más detalle a continuación. En otras palabras, el UE puede calcular el CQI, RI y PMI de acuerdo con las realizaciones descritas a continuación con una repetición del(los) recurso(s) CSI-RS en múltiples intervalos consecutivos, e informarlos en consecuencia.

Volviendo al diagrama de flujo de la figura 4, la configuración del informe CSI proporcionada por el eNB puede incluir además uno o más de al menos los siguientes parámetros:

o una configuración del informe CSI con respecto a la subcláusula 5.2.1.1 en TS 38.214 [2], y los siguientes parámetros de capa superior: CantidadInforme enumerada en TS 38.331 [1] con los siguientes parámetros adicionales:

- cri-RI-PMIDD-CQI
- cri-RI-PMIDy-CQI
- cri-RI-PMIDr-CQI
- cri-RI-LI-PMIDD-CQI
- cri-RI-LI-PMIDy-CQI
- cri-RI-LI-PMIDr-CQI
- cri-RI-PMIDD
- cri-RI-PMIDy
- cri-RI-PMIDr

Se informan el CRI (indicador de recursos CSI-RS), RI (indicador de intervalo) y LI (indicador de capa) mencionados en las cantidades de informes, es decir, los valores posibles informados y el formato para informar CRI, RI y LI son idénticos a aquellos en TS 38.214 [2]. Las cantidades del PMI mencionadas en CantidadInforme

se definen como:

- PMIDD - PMI: valores que incluyen el retraso y las configuraciones del componente de frecuencia Doppler como se describe en las realizaciones siguientes;
- 5 ■ PMIDy - PMI: valores que incluyen solo la configuración del componente de retraso como se describe en las realizaciones siguientes, excluyendo los componentes de frecuencia Doppler;
- PMIDr - PMI: valores que incluyen solo la configuración del componente de frecuencia Doppler como se describe en las realizaciones siguientes, excluyendo los componentes de retraso.
- 10 ◦ un parámetro CQI-TiempoPredicción asignado con el valor K para predicción CQI (si está configurado).

El valor de CQI, el valor de CQI previsto, etc. (si está configurado) como se menciona en la cantidad de informe se puede calcular como se explica en realizaciones descritas posteriormente en múltiples intervalos de tiempo. Los valores del CQI informados son idénticos a los mencionados en TS 38.214 [2].

15 Además, el eNB puede señalar los siguientes parámetros al equipo de usuario a través de parámetros de capa física o de capa superior (RRC):

- valores de S y T para la configuración de los libros de códigos de componentes de retraso y frecuencia Doppler Ω_2 y Ω_3 , respectivamente, están representados por los parámetros *ConfigLibrocódigo-S*, *ConfigLibrocódigo-T*. Los factores de sobremuestreo O_2 y O_3 de los libros de códigos Ω_2 y Ω_3 están representados por *ConfigLibrocódigo-O2* y *ConfigLibrocódigo-O3*, respectivamente.
- parámetros N_1 , N_2 y factores de sobremuestreo $O_{1,1}$ y $O_{1,2}$ para la configuración del primer libro de códigos Ω_1 , como se describe abajo. Los parámetros N_1 y N_2 están representados por *ConfigLibrocódigo-N1* y *ConfigLibrocódigo-N2*, respectivamente. Los factores de sobremuestreo $O_{1,1}$ y $O_{1,2}$ están representados por *ConfigLibrocódigo-O1_1* y *ConfigLibrocódigo-O1_2*, respectivamente.

En respuesta a la configuración del informe, la UE

- 30 - realiza, en la etapa 252, mediciones en el CSI-RS de enlace descendente sobre T instantes/intervalos de tiempo consecutivos,
- construye, en la etapa 254, el tensor de canal MIMO selectivo en frecuencia variable en el tiempo $\mathcal{H}$;
- selecciona, en la etapa 256, la matriz precodificadora de tres etapas compuesta de haz de retraso Doppler para cada capa (selección de PMI) con respecto a una métrica de rendimiento específica como se explica con más detalle a continuación;
- 35 - calcula, en la etapa 258, un valor de CQI, un valor de CQI predicho o valores de CQI diferenciales predichos (si están configurados) para un instante de tiempo futuro o para un conjunto de instantes de tiempo futuros usando el compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler seleccionado matriz precodificadora y al menos uno de los
- 40 tensores de canal MIMO $\mathcal{H}$ y una predicción del tensor de canal MIMO para instantes de tiempo futuros y, opcionalmente, selecciona un valor de RI (si está configurado) utilizando la matriz precodificadora de tres etapas
- compuesta de haz de retraso Doppler seleccionada y el tensor de canal MIMO. $\mathcal{H}$, y
- enviando, en la etapa 260, el CSI informa al gNB.

45 El gNB, en la etapa 262, reconstruye la matriz precodificadora compuesta de tres etapas del haz de retraso Doppler (informe PMI) para facilitar el cálculo de la matriz de precodificación multiusuario y la predicción de la matriz precodificadora para instantes de tiempo futuros.

50 Otras realizaciones del enfoque inventivo que funcionan sobre la base de señales de referencia de enlace descendente repetidas pueden usar otras técnicas para determinar la retroalimentación de CSI basándose en las señales de referencia de enlace descendente repetidas y para informar la retroalimentación de CSI.

Informes CQI/PMI utilizando un precodificador compuesto de tres etapas con retraso Doppler

55 De acuerdo con realizaciones, una vez que el UE está configurado con un recurso CSI-RS y una configuración de informe de CSI (ver etapa 250 en la figura 4), el UE estima una CSI explícita no cuantificada usando mediciones en la CSI-RS de enlace descendente en PRB, donde el CSI-RS está configurado sobre T instantes/intervalos de tiempo consecutivos en el dominio de la frecuencia (ver etapa 252 en la figura 4).

60 De acuerdo con realizaciones, el CSI explícito está representado por un tensor de canal tridimensional (una matriz tridimensional) $\mathcal{H} \in \mathbb{C}^{N \times S \times T}$ de dimensión $N \times S \times T$ con S siendo el número de subbandas/PRB configurados, o subportadoras (ver figura 7), y $N = N_r \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot P$, donde N_r es el número de antenas receptoras del UE. Aquí, la primera, segunda y tercera dimensión del tensor de canal representan el componente de espacio, frecuencia y tiempo

del canal MIMO selectivo de frecuencia variable en el tiempo, respectivamente.

De acuerdo con otras realizaciones, el CSI explícito está representado por un tensor de canal de cuatro dimensiones. $\mathcal{H} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t \times S \times T}$ de dimensión $N_r \times N_t \times S \times T$, donde $N_t = N_1 \cdot N_2 \cdot P$. Aquí, la primera y segunda dimensión de $\mathcal{H}$ representan los componentes espaciales del lado de recepción y del lado de transmisión del canal MIMO selectivo de frecuencia variable en el tiempo, respectivamente. La tercera y cuarta dimensión de $\mathcal{H}$ representan el componente de frecuencia y tiempo del canal MIMO, respectivamente.

En la siguiente etapa, el UE calcula un CQI utilizando el CSI explícito en forma de tensor de canal. $\mathcal{H}$ y un precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler construido utilizando tres libros de códigos separados:

- un primer libro de códigos Ω_1 para los componentes espaciales (haces) del lado de transmisión del precodificador de haz de retraso Doppler;
- un segundo libro de códigos Ω_2 para los componentes de retraso del precodificador del haz de retraso Doppler; y
- un tercer libro de códigos Ω_3 para los componentes de frecuencia Doppler del precodificador de haz de retraso Doppler.

De acuerdo con realizaciones, en lugar de usar tres libros de códigos separados, los componentes de haz, retraso y frecuencia Doppler mencionados anteriormente pueden incluirse en un libro de códigos único o común, o dos de los componentes de haz, retraso y frecuencia Doppler mencionados anteriormente se pueden incluir en un libro de códigos y el componente restante se incluye en otro libro de códigos.

Asumiendo una transmisión de intervalo- L , el precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler $\mathbf{W}^{(l)}$ de dimensión $N_t \cdot T \times S$ para el l -ésima capa ($l = 1, \dots, L$) está representado por un producto de Kronecker (en columnas) (suponiendo un conjunto de antenas de transmisión de doble polarización en el gNB) como

$$\mathbf{W}^{(l)} = P^{(l)} \left[\sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} \mathbf{f}_{1,u,d,v}^{(l)} \otimes \mathbf{d}_{1,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \right. \\ \left. \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} \mathbf{f}_{2,u,d,v}^{(l)} \otimes \mathbf{d}_{2,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \right], \quad (1)$$

dónde $U^{(l)}$ es el número de haces por polarización para la l -ésima capa, $D_u^{(l)}$ es el número de retrasos para la l -ésima capa y u -ésima haz, $F_{d,u}^{(l)}$ es el número de componentes de frecuencia Doppler para la l -ésima capa, u -ésima haz y d -ésimo retraso, y

- $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el v -ésimo vector de frecuencia Doppler de tamaño $T \times 1$, seleccionado de una matriz de libro de códigos Ω_3 , asociado con la l -ésima capa, d -ésimo retraso, u -ésimo haz espacial, y la p -ésimo ($p = 1, 2$) polarización del precodificador del haz de retraso Doppler;
- $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$ es el d -ésimo vector de retraso de tamaño $S \times 1$, seleccionado de una matriz de libro de códigos Ω_2 , asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial y la p -ésima polarización del precodificador del haz de retraso Doppler;
- $\mathbf{b}_u^{(l)}$ es el u -ésimo haz espacial (independiente de la polarización) asociado con el l -ésima capa seleccionada de una matriz de libro de códigos Ω_1 ;
- $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el coeficiente de retraso Doppler asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial, d -ésimo retraso, v -ésima frecuencia Doppler y la p -ésima polarización del precodificador del haz de retraso Doppler, y
- $P^{(l)}$ es un factor de normalización escalar para asegurar que la *promedio* la potencia de transmisión total sobre todas las capas precodificadoras es 1.

En la figura 8 se muestra una estructura de la matriz precodificadora compuesta de haz de retraso Doppler, que ilustra la matriz precodificadora compuesta de haz de retraso Doppler de tamaño $N_t \cdot T \times S$.

De acuerdo con otras realizaciones, el precodificador de haz de retraso Doppler puede expresarse como un

precodificador de doble etapa:

$$\mathbf{W}^{(l)} = \mathbf{W}^{(1,l)} \mathbf{w}^{(2,l)} \in N_t \cdot T \cdot S \times 1,$$

donde

5

$$\mathbf{W}^{(1,l)} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{X}_2 \end{bmatrix}$$

con

$$\begin{aligned} & \mathbf{X}_1 \\ &= \begin{bmatrix} f_{1,0,0,0}^{(l)} \otimes d_{1,0,0}^{(l)} \otimes b_0^{(l)} & \cdots & f_{1,u,d,v}^{(l)} \otimes d_{1,u,d}^{(l)} \otimes b_u^{(l)} & \cdots & f_{1,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} \otimes d_{1,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1}^{(l)} \otimes b_{U^{(l)}-1}^{(l)} \end{bmatrix}, \\ & \mathbf{X}_2 \\ &= \begin{bmatrix} f_{2,0,0,0}^{(l)} \otimes d_{2,0,0}^{(l)} \otimes b_0^{(l)} & \cdots & f_{2,u,d,v}^{(l)} \otimes d_{2,u,d}^{(l)} \otimes b_u^{(l)} & \cdots & f_{2,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} \otimes d_{2,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1}^{(l)} \otimes b_{U^{(l)}-1}^{(l)} \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

10

y $\mathbf{w}^{(2,l)}$ contiene los complejos coeficientes de combinación del haz de retraso Doppler,

$$\begin{aligned} & \mathbf{w}^{(2,l)} \\ &= \begin{bmatrix} \gamma_{1,0,0,0}^{(l)} & \cdots & \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} & \cdots & \gamma_{1,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} & \gamma_{2,0,0,0}^{(l)} & \cdots & \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} & \cdots & \gamma_{2,U^{(l)}-1,D_u^{(l)}-1,F_{d,u}^{(l)}-1}^{(l)} \end{bmatrix}^T \end{aligned}$$

15

De acuerdo con realizaciones, los valores para el número de haces, retrasos y componentes de frecuencia Doppler ($U^{(l)}, D_u^{(l)}, F_{d,u}^{(l)}$) se configuran a través de una señalización de capa superior (por ejemplo, RRC o MAC) o como parte de la DCI (señalización de capa física) en la concesión de enlace descendente desde el gNB al UE. De acuerdo con otras realizaciones, el UE informa los valores preferidos de ($U^{(l)}, D_u^{(l)}, F_{d,u}^{(l)}$) como parte del informe CSI. De acuerdo con otras realizaciones, los valores de ($U^{(l)}, D_u^{(l)}, F_{d,u}^{(l)}$) son conocidos a priori por la UE.

20

Configuración del haz:

De acuerdo con realizaciones, el número de haces $U^{(l)}$ puede configurarse para que no sea idéntico en las capas. De acuerdo con otras realizaciones, el número de haces $U^{(l)}$ puede configurarse para que sea idéntico para todas las capas. En este caso, $U^{(l)} = U, \forall l$. De acuerdo con otras realizaciones, la configuración del haz puede ser conocida a priori por el UE.

30

Configuración de retraso:

Según diversas realizaciones, los componentes de retraso se configuran de diferentes maneras, como se describirá a continuación.

- 35 - De acuerdo con una primera realización, los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, pueden diferir para diferentes haces, capas y polarizaciones.
- De acuerdo con una segunda realización, los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, pueden diferir para diferentes haces y capas, pero son idénticos para todas las polarizaciones.
- 40 - De acuerdo con una tercera realización, los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los haces, capas y polarizaciones.
- De acuerdo con una cuarta realización, los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los haces y capas, pero pueden diferir según las polarizaciones.
- De acuerdo con una quinta realización, los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los haces y los índices de polarización, pero pueden variar entre las capas.
- 45 - De acuerdo con una sexta realización, los $D_u^{(l)}$ valores de retraso, por ejemplo, los índices de los vectores DFT de retraso, son idénticos para todos los haces, pero pueden variar según las capas y polarizaciones.

- De acuerdo con una séptima realización, el número de retrasos $D_u^{(l)}$ depende del índice de haz y capa.
- De acuerdo con una octava realización, el número de retrasos $D_u^{(l)}$ depende del índice del haz y permanece idéntico para todos los índices de capa, $D_u^{(l)} = D_u, \forall l, u$.
- De acuerdo con una novena realización, el número de retrasos $D_u^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz, pero puede variar según la capa, $D_u^{(l)} = D^{(l)}, \forall l, u$.
- De acuerdo con una décima realización, el número de retrasos $D_u^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz y de capa, $D_u^{(l)} = D, \forall l, u$.

La configuración de los componentes de retraso como se explicó anteriormente puede configurarse a través de una señalización de capa superior (por ejemplo, RRC o MAC) o puede configurarse como parte de DCI (señalización de capa física) en la concesión de enlace descendente desde el gNB al UE. De acuerdo con otras realizaciones, la configuración de retraso puede ser conocida a priori por el UE.

Configuración de frecuencia Doppler:

- Según diversas realizaciones, los componentes de frecuencia Doppler están configurados de diferentes maneras, como se describirá a continuación.
- Según una primera realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ depende del índice del haz, del índice de retraso y del índice de la capa.
 - Según una segunda realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los haces, retrasos e índices de capa, de modo que $F_{d,u}^{(l)} = F, \forall u, d, l$.
 - Según una tercera realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz y todos los índices de retraso, pero puede variar entre los índices de capa $F_{d,u}^{(l)} = F^{(l)}, \forall u, d, l$.
 - Según una cuarta realización, el número de vectores de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz, pero varía según los índices de retraso y capa, $F_{d,u}^{(l)} = F_d^{(l)}, \forall u, d, l$.
 - Según una quinta realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ es idéntico para todos los índices de haz e índices de capa, pero varía según los índices de retraso, $F_{d,u}^{(l)} = F_d, \forall u, d, l$.
 - Según una sexta realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ puede ser diferente para los U haces, e idénticos para todos los índices de retraso y capa, $F_{d,u}^{(l)} = F_u, \forall u, d, l$.
 - Según una séptima realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ varía según los índices de haz y retraso y es idéntico para todos los índices de capa, $F_{d,u}^{(l)} = F_{d,u}, \forall u, d, l$.
 - De acuerdo con una octava realización, el número de componentes de frecuencia Doppler $F_{d,u}^{(l)}$ varía según los índices de haz y capa, y es idéntico para todos los índices de retraso, $F_{d,u}^{(l)} = F_u^{(l)}, \forall u, d, l$.
 - De acuerdo con una novena realización, los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler (índices de vectores DFT de frecuencia Doppler) pueden variar según los haces, retrasos, capas y polarizaciones.
 - De acuerdo con una décima realización, los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler (índices de vectores DFT de frecuencia Doppler) pueden variar entre haces, retrasos y capas, pero son idénticos para todas las polarizaciones.
 - De acuerdo con una undécima realización, los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler son idénticos para todos los haces y retrasos, pero pueden variar según las capas y polarizaciones.

- De acuerdo con una duodécima realización, los $F_{d,u}^{(l)}$ valores de frecuencia Doppler son idénticos para todos los haces, retrasos y polarizaciones, pero pueden variar según las capas.

La configuración de los componentes de frecuencia Doppler como se explicó anteriormente puede configurarse mediante una señalización de capa superior (por ejemplo, RRC o MAC) o puede configurarse como parte de DCI (señalización de capa física) en la concesión de enlace descendente desde el gNB al UE. De acuerdo con otras realizaciones, la configuración de frecuencia Doppler puede ser conocida a priori por el UE.

Estructura matricial del libro de códigos DFT para Ω_1 , Ω_2 y Ω_3 :

A continuación se describen realizaciones para implementar los libros de códigos mencionados anteriormente.

De acuerdo con realizaciones, los vectores (haces espaciales) $b_u^{(l)}$ se seleccionan de una matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada Ω_1 de tamaño $N_1 N_2 \times O_{1,1} N_1 O_{1,2} N_2$. La matriz del libro de códigos DFT está parametrizada por los dos factores de sobremuestreo $O_{1,1} \in \{1, 2, 3, \dots\}$ y $O_{1,2} \in \{1, 2, 3, \dots\}$. La matriz del libro de códigos DFT contiene un conjunto de vectores, donde cada vector está representado por un producto de Kronecker de una longitud- N_1 Vector

$$\text{DFT } \mathbf{v}_l = \left[1, e^{j \frac{2\pi l}{O_{1,1} N_1}}, \dots, e^{j \frac{2\pi l (N_1 - 1)}{O_{1,1} N_1}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, O_{1,1} N_1 - 1 \text{ correspondiente a una haz vertical y una longitud-} N_2 \text{ Vector}$$

$$\text{DFT } \mathbf{u}_m = \left[1, e^{j \frac{2\pi m}{O_{1,2} N_2}}, \dots, e^{j \frac{2\pi m (N_2 - 1)}{O_{1,2} N_2}} \right]^T, \quad m = 0, \dots, O_{1,2} N_2 - 1 \text{ correspondiente a un haz horizontal.}$$

Los vectores de retraso $\mathbf{d}_{u,d}^{(l)}$ se puede seleccionar de una matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada $\Omega_2 = [\mathbf{C}_0, \mathbf{C}_1, \dots, \mathbf{C}_{SO_2-1}]$ de tamaño $S \times SO_2$. La matriz del libro de códigos DFT Ω_2 contiene SO_2 vectores, donde cada vector está representado por un vector DFT de longitud S $\mathbf{c}_l = \left[1, e^{j \frac{2\pi l}{O_2 S}}, \dots, e^{j \frac{2\pi l (S-1)}{O_2 S}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, O_2 S - 1$. Cada entrada en la matriz del libro de códigos está asociada con un retraso específico. La matriz del libro de códigos DFT está parametrizada por el factor de sobremuestreo $O_2 = 1, 2, \dots$.

Los vectores de frecuencia Doppler $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$ se puede seleccionar de una matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada $\Omega_3 = [\mathbf{a}_0, \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_{TO_3-1}]$ de tamaño $T \times TO_3$. La matriz del libro de códigos DFT Ω_3 contiene TO_3 vectores, donde cada vector está representado por un vector DFT de longitud T $\mathbf{a}_l = \left[1, e^{j \frac{2\pi l}{O_3 T}}, \dots, e^{j \frac{2\pi l (T-1)}{O_3 T}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, O_3 T - 1$. Cada entrada en la matriz del libro de códigos está asociada con una frecuencia Doppler específica. La matriz del libro de códigos DFT está parametrizada por el factor de sobremuestreo $O_3 = 1, 2, \dots$.

Los factores sobremuestreados $O_{1,1}$, $O_{1,2}$, O_2 , O_3 de las matrices de libro de códigos DFT pueden configurarse a través de una señalización de capa superior (por ejemplo, RRC o MAC) o pueden configurarse como parte de la DCI (señalización de capa física) en la concesión de enlace descendente desde el gNB al UE. Alternativamente, los factores sobremuestreados $O_{1,1}$, $O_{1,2}$, O_2 , O_3 del UE puede conocer las matrices del libro de códigos DFT.

Selección por parte de la UE de $\mathbf{W}$:

El UE selecciona una matriz precodificadora de retraso Doppler preferida $\mathbf{W}$ basado en una métrica de rendimiento (ver etapa 256 en la figura 4).

De acuerdo con realizaciones, el UE selecciona la matriz precodificadora $\mathbf{W}$ que optimiza la información mutua $I(\mathbf{W}; \mathcal{H})$, que es una función de la matriz precodificadora de retraso Doppler $\mathbf{W}$ y el tensor de canal multidimensional $\mathcal{H}$, para cada SB, PRB o subportadora configurada.

De acuerdo con otras realizaciones, los haces espaciales $\mathbf{U}$, las frecuencias Doppler y los retrasos se seleccionan paso a paso. Por ejemplo, para una transmisión de intervalo 1, en una primera etapa, el UE selecciona los haces espaciales $\mathbf{U}$ que optimizan la información mutua:

$$\hat{\mathbf{b}}_1^{(1)}, \dots, \hat{\mathbf{b}}_U^{(1)} = \underset{\mathbf{b}}{\operatorname{argmax}} I(\mathcal{H}; \mathbf{b}_1^{(1)}, \dots, \mathbf{b}_U^{(1)}) \text{ (for rank 1).}$$

En una segunda etapa, la UE calcula el tensor *formado por vigas* de canal $\hat{\mathcal{H}}$ de dimensión $2UN_r \times S \times T$ con las vigas espaciales $\bigcup \hat{\mathbf{b}}_1^{(1)}, \dots, \hat{\mathbf{b}}_U^{(1)}$.

- 5 En una tercera etapa, el UE selecciona tres tuplas de vectores DFT de frecuencia Doppler, vectores DFT de retraso y coeficientes de combinación de haz de retraso Doppler, donde los vectores DFT de frecuencia Doppler y de retraso se seleccionan de los libros de códigos Ω_3 y Ω_2 , respectivamente, de modo que la información mutua $I(\hat{\mathcal{H}}; \mathbf{W} | \hat{\mathbf{b}}_1^{(1)}, \dots, \hat{\mathbf{b}}_U^{(1)})$ está optimizado.

Selección de RI por parte de la UE:

- 10 De acuerdo con realizaciones, el UE puede seleccionar el indicador de intervalo, RI, para informar (ver etapa 258 en la figura 4). Cuando los informes de RI están configurados en el UE, el UE informa un indicador de intervalo (número total de capas) para la transmisión. El indicador de intervalo se selecciona con respecto a la matriz precodificadora del haz de retraso Doppler. $\mathbf{W}^{(l)}$ ($l = 1, \dots, L$) (consulte la ecuación (1) anterior), y denota el número promedio de capas admitidas por el canal MIMO selectivo de frecuencia variable en el tiempo precodificado con haz de retraso Doppler.

Selección de CQI por parte de la UE:

- 20 De acuerdo con realizaciones, el UE puede seleccionar el indicador de calidad del canal, CQI, para informar (ver etapa 258 en la figura 4). Cuando se configura el informe de CQI en el UE, el UE informa un CQI preferido basado en una métrica de rendimiento específica tal como relación señal-interferencia y ruido (SINR), tasa de error de bits promedio, rendimiento promedio, etc. Por ejemplo, el UE puede seleccionar el CQI que optimice la tasa de error de bloque promedio. $block_error_rate(\mathcal{H} | \mathbf{W}^{(l)} (l = 1, \dots, L))$ en el UE para la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler compuesta seleccionada $\mathbf{W}^{(l)}$ ($l = 1, \dots, L$) (ver ecuación (1) arriba) y un tensor de canal multidimensional dado $\mathcal{H}$ para los T instantes de tiempo. El valor de CQI representa un CQI "promedio" soportado por el canal MIMO selectivo de frecuencia variable en el tiempo precodificado con haz de retraso Doppler.

- Además, de acuerdo con otra realización, se puede informar un CQI (información de CQI múltiple) para cada SB configurado utilizando la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler compuesta seleccionada. $\mathbf{W}^{(l)}$ ($l = 1, \dots, L$) (ver ecuación (1) arriba) y un tensor de canal multidimensional dado $\mathcal{H}$ para las T instancias de tiempo.

Informes PMI:

- 35 De acuerdo con la invención reivindicada, el UE selecciona el indicador de matriz precodificador, PMI, para informar (ver etapa 258 en la figura 4). La UE informa al menos un PMI de dos componentes.

- El primer componente del PMI puede corresponder a los vectores seleccionados $\mathbf{b}_u^{(l)}$, $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$ y $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$, y puede representarse en forma de conjuntos de tres tuplas, donde cada tres tupla (u, d, v) está asociado con un vector de haz espacial seleccionado $\mathbf{b}_u^{(l)}$, un vector de retraso seleccionado $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$ y un vector de frecuencia Doppler seleccionado $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$. Por ejemplo, los conjuntos de tres tuplas pueden representarse mediante $\hat{\mathbf{i}} = [\hat{\mathbf{i}}_{1,1}, \hat{\mathbf{i}}_{1,2}, \hat{\mathbf{i}}_{1,3}]$ para una transmisión de intervalo 1. Aquí, $\hat{\mathbf{i}}_{1,1}$ contiene $\sum_l U^{(l)}$ índices de vectores DFT seleccionados para los haces espaciales, $\hat{\mathbf{i}}_{1,2}$ contiene $2 \sum_{u,l} D_u^{(l)}$ índices de vectores de retraso seleccionados, y $\hat{\mathbf{i}}_{1,3}$ contiene $2 \sum_{u,d,l} F_{d,u}^{(l)}$ índices de vectores de frecuencia Doppler seleccionados. La figura 9 ilustra los índices de retroalimentación asociados con un haz, retraso y componentes de frecuencia Doppler para una transmisión de capa 1 suponiendo el mismo número de retrasos por haz $D_u^{(l)} = D, \forall u$, e igual número de componentes de frecuencia Doppler por retraso y haz $F_{d,u}^{(l)} = V, \forall d, u$.

- La figura 9 ilustra los índices de retroalimentación asociados con un haz, retraso y componentes de frecuencia Doppler para una transmisión de capa 1 suponiendo el mismo número de retrasos por haz $D_u^{(l)} = D, \forall u$, e igual número de componentes de frecuencia Doppler por retraso y haz $F_{d,u}^{(l)} = V, \forall d, u$. La figura 9 muestra un ejemplo de $\hat{\mathbf{i}}$ para una transmisión de capa 1. El subconjunto $\hat{\mathbf{i}}_{1,1}$ de $\hat{\mathbf{i}}$ representa los índices de haz seleccionados del libro de códigos Ω_1 y se denotan por $a_u, \forall u$. El subconjunto $\hat{\mathbf{i}}_{1,2}$ de $\hat{\mathbf{i}}$ representa los índices de retraso seleccionados del libro de códigos Ω_2 y se denotan por $c_{d,u}, \forall d, u$. El subconjunto $\hat{\mathbf{i}}_{1,3}$ de $\hat{\mathbf{i}}$ representa los índices de frecuencia Doppler seleccionados del libro de códigos Ω_3 y se denotan por $e_{v,d,u}, \forall v, d, u$.

De acuerdo con las realizaciones, para informar la $2 \sum_{u,d,l} F_{d,u}^{(l)}$ Coeficientes de combinación del haz de retraso Doppler $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ desde el UE al gNB, el UE puede cuantificar los coeficientes utilizando un enfoque de libro de códigos. Los coeficientes de combinación cuantificados están representados por i_2 , el segundo PMI. Los dos PMI se informan al gNB.

Los parámetros del canal a gran escala, como la pérdida de trayectoria y el desvanecimiento por sombras, no cambian rápidamente con el tiempo, y las variaciones del canal están relacionadas principalmente con el desvanecimiento del canal a pequeña escala. Esto significa que los parámetros del canal MIMO de la respuesta al impulso, como los componentes de la trayectoria y los retrasos del canal, no cambian durante un período de tiempo más largo, y las variaciones del canal causadas por el movimiento del UE conducen sólo a fluctuaciones de fase de los componentes de la trayectoria del canal MIMO. Es decir, los rayos espaciales, los vectores DFT de frecuencia Doppler del precodificador, los vectores DFT de retraso, así como los coeficientes de retraso Doppler del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler $\mathbf{W}^{(l)}$ permanecen idénticos durante un largo período de tiempo y necesitan actualizarse con menos frecuencia.

Construcción del precodificador en el gNB:

De acuerdo con realizaciones, el gNB puede usar la retroalimentación de PMI de dos componentes del UE para construir la matriz precodificadora de acuerdo con la construcción basada en libro de códigos mostrada en la figura 10, que ilustra una construcción basada en libro de códigos del l -ésima capa precodificador en el gNB y la asociación del l -ésimo precodificador de capa con los puertos de antena (AP) para una configuración de ejemplo $N_1 = 4$, $N_2 = 2$, $P = 2$. La información de la matriz precodificadora se utiliza para calcular una matriz de precodificación multiusuario que se aplica a las señales de transmisión para adaptar los parámetros de transmisión a las condiciones actuales del canal multiusuario. La definición anterior de matriz de precodificador basada en Kronecker compuesta con retraso Doppler también facilita la predicción de matrices de precodificador para instancias de tiempo futuras. De esta manera, la cantidad de informes CSI se puede reducir drásticamente y se ahorra la sobrecarga de retroalimentación.

Para facilitar la predicción de la matriz precodificadora para QT instantes de tiempo futuros, los vectores DFT de frecuencia Doppler $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$ se puede extender cíclicamente a vectores de longitud QT $\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)}$. La extensión cíclica está definida por

$$\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)} = \left[1, e^{j\frac{2\pi k}{Q_3}}, \dots, e^{j\frac{2\pi k(Q-1)}{Q_3}} \right]^T \otimes \mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}, \forall u, d, v, p, l,$$

donde $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)} = \left[1, e^{j\frac{2\pi k}{Q_3 T}}, \dots, e^{j\frac{2\pi k(T-1)}{Q_3 T}} \right]^T \in \Omega_3$. La matriz precodificadora prevista para la l -ésima capa y q -ésima ($q = 1, \dots, QT$) el instante de tiempo está dado por

$$\mathbf{W}^{(l)}(q) = P^{(l)} \begin{bmatrix} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} \mathbf{t}_{1,u,d,v}^{(l)}(q) \otimes \mathbf{a}_{1,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \\ \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} \mathbf{t}_{2,u,d,v}^{(l)}(q) \otimes \mathbf{a}_{2,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \end{bmatrix}$$

dónde $\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)}(q)$ es la q -ésima entrada de $\mathbf{t}_{p,u,d,v}^{(l)}$.

Las matrices de precodificación predichas se pueden usar en algoritmos de programación predictiva de múltiples usuarios que intentan optimizar, por ejemplo, el rendimiento para todos los usuarios utilizando el conocimiento de las matrices de precodificación actuales y futuras de los usuarios.

Libro de códigos para coeficientes de combinación del retraso Doppler:

De acuerdo con realizaciones, el UE puede configurarse para cuantificar los coeficientes complejos de retraso Doppler $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ con un enfoque de libro de códigos. Cada coeficiente está representado por

$$\gamma_{p,u,d,v}^{(l)} = \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \phi_{p,u,d,v}^{(l)}$$

donde

- $\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}$ es un coeficiente de amplitud dependiente de la polarización, el haz, el retraso y la frecuencia Doppler que se cuantifica con N bits; y
- $\phi_{p,u,d,v}^{(l)}$ representa una fase que está representada por una BPSK, o QPSK, o 8PSK, y cualquier constelación de orden superior.

De acuerdo con otras realizaciones, cada coeficiente puede representarse por su parte real e imaginaria como

$$\gamma_{p,u,d,v}^{(l)} = \text{Re} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\} + j \text{Imag} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\},$$

dónde $\text{Re} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\}$ y $\text{Imag} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\}$ están cuantificados cada uno con N bits;

Extensión a la predicción del valor CQI:

De acuerdo con realizaciones adicionales, el UE puede configurarse para predecir un valor de CQI para instante de tiempo/intervalo de tiempo " $n + K$ ", donde n denota el instante/intervalo de tiempo actual, y K denota la diferencia de tiempo relativa con respecto al instante/intervalo de tiempo actual n .

En una realización, el UE utiliza en una primera etapa un algoritmo de estimación de parámetros de alta resolución, tal como RIMAX (ver referencia [5]), para estimar parámetros de un modelo de canal directamente desde el tensor de canal multidimensional $\mathcal{H}$. Por ejemplo, la respuesta de impulso del modelo de canal MIMO variable en el tiempo puede definirse mediante un número de derivaciones de canal, donde cada derivación de canal está parametrizada con una ganancia de canal, un desplazamiento de frecuencia Doppler y un retraso. La respuesta en el dominio de frecuencia del modelo de canal MIMO selectivo en frecuencia variable en el tiempo entre i -ésima antena gNB y la j -ésima antena UE puede expresarse por

$$h_{i,j}(t, w) = \sum_{m=0}^{M-1} h_{i,j}(m) e^{j2\pi f_m t} e^{-j\frac{2\pi w \tau_m}{W}},$$

donde

- M es el número de retrasos de canal,
- $h_{i,j}(m)$ es la m -ésima ganancia de trayectoria con desplazamiento de frecuencia Doppler asociado f_m y retraso del canal τ_m ,
- t representar el instante de tiempo,
- w denota el índice de subportadora, y
- W denota el número total de subportadoras.

En el presente ejemplo, se supone un modelo de canal no polarimétrico, donde los retrasos del canal son idénticos para todos los enlaces (i, j) del canal MIMO.

Se observa que los coeficientes de $\mathbf{H}(t, w)$ también se puede calcular directamente en una forma no parametrizada a partir del tensor del canal MIMO $\mathcal{H}$ mediante el uso de un enfoque de filtrado de bloques lineal, como el filtrado de mínimos cuadrados o el filtrado de error cuadrático medio mínimo (MMSE) (consulte las referencias [6] y [7]). En este caso, el predictor de canal está formado por una suma ponderada del tensor de canal MIMO $\mathcal{H}$.

En una segunda etapa, el modelo de canal parametrizado y el precodificador compuesto de haz de retraso Doppler seleccionado $\mathbf{W}^h$ ($h = 1, \dots, H$) (consulte la ecuación (1) anterior) se utilizan para calcular una respuesta en el dominio de frecuencia del modelo de canal MIMO variable en el tiempo precodificado parametrizado como

$$\mathbf{H}_{prec}(t, w) = \mathbf{H}(t, w) [\mathbf{W}^{(1)}(t, w), \mathbf{W}^{(2)}(t, w), \dots, \mathbf{W}^{(L)}(t, w)],$$

donde la (i, j) entrada de $[\mathbf{H}(t, w)]_{i,j} = h_{i,j}(t, w)$, y $\mathbf{W}^h(t, w)$ es el t -ésimo bloque y w -ésima columna de $\mathbf{W}^h$ (ver figura 8).

En una tercera etapa, el UE utiliza la respuesta del modelo de canal MIMO precodificado parametrizado para calcular

un valor de CQI para un instante de tiempo futuro $n + K$, es decir, el $CQI(n + K)$ se expresa en función de $h_{prec}(n + K, w)$.

De acuerdo con realizaciones adicionales, el UE puede usar la respuesta del canal MIMO precodificado parametrizado anteriormente también para predecir K valores futuros de CQI (múltiples informes de CQI) para el " $n + K$ " ($k = 0, \dots, K$) instantes de tiempo futuros. Los K valores de CQI predichos se pueden utilizar para calcular los valores de CQI predichos diferenciales reduciendo los K valores de CQI predichos por el valor de CQI "promedio". El valor de CQI único previsto, o valores K previstos de CQI, o valores K diferenciales previstos de CQI se informan al gNB.

Como se mencionó anteriormente, otras realizaciones que operan sobre la base de señales de referencia de enlace descendente repetidas pueden usar otros precodificadores u otras técnicas para determinar la retroalimentación de CSI basándose en las señales de referencia de enlace descendente repetidas y para informar determinar la retroalimentación de CSI. Por lo tanto, realizaciones adicionales de la presente invención proporcionan un dispositivo de comunicación para proporcionar información de estado del canal, CSI, retroalimentación en un sistema de comunicación inalámbrico, en donde el dispositivo de comunicación recibe una configuración de recursos CSI-RS que incluye un parámetro de capa superior (por ejemplo, RRC), por ejemplo, denominado CSI-RS-DuraciónRáfaga, que indica una repetición en el dominio del tiempo de las señales de referencia de enlace descendente, por ejemplo, en términos de un número de intervalos consecutivos en los que se repiten las señales de referencia de enlace descendente. El dispositivo de comunicación determina la retroalimentación CSI basándose en las señales de referencia de enlace descendente repetidas e informa la retroalimentación CSI determinada.

Extensión al libro de códigos de selección de puertos:

De acuerdo con las realizaciones, el UE puede configurarse con una configuración de informes CSI-RS a través de una capa superior para informar un CQI, RI y PMI (si está configurado) para CSI-RS formado por haz. En este caso, los vectores en la primera matriz del libro de códigos están representados por $N_1 N_2$ - vectores de columna de longitud, donde m -ésimo vector ($m = 1, \dots, N_1 N_2$) contiene un solo 1 en la posición m -ésima y ceros en otros lugares.

Aplicación de precodificador en gNB:

De acuerdo con realizaciones, el UE puede asumir que, para el cálculo de CQI, y/o RI, y/o PMI, el gNB aplica el precodificador de haz de retraso Doppler calculado con respecto a la ecuación (1) anterior, a las señales de PDSCH en puertos de antena $\{1000, 1008 + v - 1\}$ para $v = L$ capas como

$$\begin{bmatrix} y^{(t,3000)}(i) \\ \vdots \\ y^{(t,3000+P-1)}(i) \end{bmatrix} = \mathbf{W}(t, i) \begin{bmatrix} x^{(t,0)}(i) \\ \vdots \\ x^{(t,v-1)}(i) \end{bmatrix},$$

donde

$[x^{(t,0)}(i), \dots, x^{(t,v-1)}(i)]^T$ es un vector de símbolos de símbolos PDSCH del mapeo de capas definido en la Subcláusula 7.3.1.4 de TS 38.211 [1], $P \in \{1, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32\}$,

$x^{(t,u)}(i)$ es el i -ésimo símbolo de capa u en el momento instantáneo t ,

$y^{(t,u)}(i)$ es el símbolo precodificado transmitido en el puerto de la antena tu en el momento instantáneo t , y $\mathbf{W}(t, i) = [\mathbf{W}^{(1)}(t, i), \dots, \mathbf{W}^{(L)}(t, i)]$ es la matriz precodificadora predicha calculada según la ecuación (1) con $\mathbf{W}^{(l)}(t, i)$ siendo el t -ésimo bloque y i -ésima columna de $\mathbf{W}^{(l)}$.

Las señales PDSCH correspondientes $[y^{(t,3000)}(i) \dots y^{(t,3000+P-1)}(i)]$ transmitido en los puertos de antena $[3000, 3000 + P - 1]$ tener una relación de energía por elemento de recurso, EPRE, a CSI-RS EPRE igual a la relación indicada en la Subcláusula 4.1 de TS 38.214 [2].

Cabe señalar que para el esquema de transmisión PDSCH actual como se describe en [2], la matriz del precodificador se mantiene constante a lo largo del tiempo hasta que se actualiza mediante un PMI informado. Por el contrario, el enfoque según las realizaciones tiene en cuenta las variaciones del canal actualizando la matriz precodificadora continuamente a lo largo del tiempo sin informes instantáneos de PMI.

De acuerdo con realizaciones, el UE puede configurarse con el parámetro $T=1$ para la configuración del libro de códigos de componentes de frecuencia Doppler Ω_3 , de modo que el libro de códigos de componentes de frecuencia Doppler viene dado por el valor escalar 1 y la matriz precodificadora de retraso Doppler ($\mathbf{W}$) y el PMI correspondiente se basan o incluyen un primer libro de códigos para uno o más componentes del haz espacial del lado de transmisión y un segundo libro de códigos para uno o más componentes de retraso de la matriz precodificadora de retraso Doppler ($\mathbf{W}$).

De acuerdo con realizaciones, el sistema de comunicación inalámbrica puede incluir una red terrestre, o una red no

terrestre, o redes o segmentos de redes que utilizan como receptor un vehículo aéreo o un vehículo espacial, o una combinación de los mismos.

De acuerdo con realizaciones, el UE puede comprender uno o más de un terminal móvil o estacionario, un dispositivo IoT, un vehículo terrestre, un vehículo aéreo, un dron, un edificio o cualquier otro elemento o dispositivo provisto de conectividad de red que permita la artículo/dispositivo para comunicarse utilizando el sistema de comunicación inalámbrica, como un sensor o actuador.

De acuerdo con realizaciones, la estación base puede comprender una o más de una estación base de macrocélula, o una estación base de celda pequeña, o un vehículo espacial, como un satélite o un vehículo espacial, o un vehículo aéreo, como un sistema de aeronave no tripulado (UAS), por ejemplo, un UAS atado, un UAS más ligero que el aire (LTA), un UAS más pesado que el aire (HTA) y plataformas UAS de gran altitud (HAP), o cualquier punto de transmisión/recepción (TRP) que permita que un elemento o un dispositivo provisto de conectividad de red para comunicarse utilizando el sistema de comunicación inalámbrica.

Las realizaciones de la presente invención se han descrito anteriormente con referencia a un sistema de comunicación que emplea una comunicación de intervalo 1 o capa 1. Sin embargo, la presente invención no se limita a tales realizaciones y también puede implementarse en un sistema de comunicación que emplea un intervalo o capa de comunicación superior. En tales realizaciones, la retroalimentación incluye los retrasos por capa y los coeficientes complejos del precodificador por capa.

Las realizaciones de la presente invención se han descrito anteriormente con referencia a un sistema de comunicación en el que el transmisor es una estación base que sirve a un equipo de usuario, y el dispositivo o receptor de comunicación es el equipo de usuario al que da servicio la estación base. Sin embargo, la presente invención no se limita a tales realizaciones y también puede implementarse en un sistema de comunicación en el que el transmisor es una estación de equipo de usuario y el dispositivo o receptor de comunicación es la estación base que da servicio al equipo de usuario. De acuerdo con otras realizaciones, el dispositivo de comunicación y el transmisor pueden ser ambos UE que se comunican directamente, por ejemplo, a través de una interfaz de enlace lateral.

Aunque se han descrito algunos aspectos del concepto descrito en el contexto de un aparato, es evidente que estos aspectos también representan una descripción del método correspondiente, donde un bloque o un dispositivo corresponde a una etapa de método o una característica de una etapa de método. De manera análoga, los aspectos descritos en el contexto de una etapa de método también representan una descripción de un bloque o elemento correspondiente o características de un correspondiente aparato.

Diversos elementos y características de la presente invención pueden implementarse en hardware usando circuitos analógicos y/o digitales, en software, a través de la ejecución de instrucciones mediante uno o más procesadores de fin general o fin especial, o como una combinación de hardware y software. Por ejemplo, realizaciones de la presente invención pueden implementarse en el entorno de un sistema informático u otro sistema de procesamiento. La figura 11 ilustra un ejemplo de un sistema informático 350. Las unidades o módulos así como las etapas de los métodos realizados mediante estas unidades pueden ejecutarse en uno o más sistemas informáticos 350. El sistema informático 350 incluye uno o más procesadores 352, como un procesador de señales digitales de fin especial o fin general. El procesador 352 se conecta a una infraestructura de comunicación 354, como un bus o una red. El sistema informático 350 incluye una memoria principal 356, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM) y una memoria secundaria 358, por ejemplo, una unidad de disco duro y/o una unidad de almacenamiento extraíble. La memoria secundaria 358 puede permitir que programas informáticos u otras instrucciones se carguen en el sistema informático 350. El sistema informático 350 puede incluir adicionalmente una interfaz de comunicaciones 360 para permitir que software y datos se transfieran entre el sistema informático 350 y dispositivos externos. La comunicación puede ser en desde, electromagnética, óptica u otras señales con capacidad de tratarse mediante una interfaz de comunicaciones. La comunicación puede usar un alambre o un cable, fibras ópticas, una línea telefónica, un enlace de teléfono celular, un enlace RF y otros canales de comunicaciones 362.

Los términos "medio de programa informático" y "medio legible por ordenador" se usan para referirse en general a medios de almacenamiento tangibles, tales como unidades de almacenamiento extraíbles o un disco duro instalado en una unidad de disco duro. Estos productos de programa informático son medios para proporcionar software al sistema informático 350. Los programas informáticos, también denominados lógica de control informática, se almacenan en la memoria principal 356 y/o la memoria secundaria 358. También pueden recibirse programas informáticos a través de la interfaz de comunicación 360. El programa informático, cuando se ejecuta, habilita que el sistema informático 350 implemente la presente invención. En particular, el programa informático, cuando se ejecuta, habilita que el procesador 352 implemente los procesos de la presente invención, tales como cualquiera de los métodos descritos en el presente documento. Por consiguiente, un programa informático de este tipo puede representar un controlador del sistema informático 350. Donde la divulgación se implementa usando software, el software puede almacenarse en un producto de programa informático y cargarse en el sistema informático 350 usando una unidad de almacenamiento extraíble, una interfaz, como la interfaz de comunicaciones 360.

La implementación en hardware o en software puede realizarse usando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo, almacenamiento en la nube, un disco flexible, un DVD, un Blue-Ray, un CD, una ROM, una PROM, una EPROM, una EEPROM o una memoria FLASH, que tiene señales de control electrónicamente legibles almacenadas en el mismo, que cooperan (o tienen capacidad de cooperar) con un sistema informático programable de manera que se realiza el respectivo método. Por lo tanto, el medio de almacenamiento digital puede ser legible por ordenador.

Algunas realizaciones de acuerdo con la invención comprenden un soporte de datos que tiene señales de control electrónicamente legibles, que pueden cooperar con un sistema informático programable, de manera que se realiza uno de los métodos descritos en el presente documento.

En general, las realizaciones de la presente invención pueden implementarse como un producto de programa informático con un código de programa, siendo el código de programa operativo para realizar uno de los métodos cuando el producto de programa informático se ejecuta en un ordenador. El código de programa puede almacenarse, por ejemplo, en un soporte legible por máquina.

Otras realizaciones comprenden el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento, almacenado en soporte legible por máquina. En otras palabras, una realización del método inventivo es, por lo tanto, un programa informático que tiene un código de programa para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento, cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador.

Una realización adicional de los métodos inventivos es, por lo tanto, un soporte de datos (o un medio de almacenamiento digital, o un medio legible por ordenador) que comprende, grabado en el mismo, el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. Una realización adicional del método inventivo es, por lo tanto, un flujo de datos o una secuencia de señales que representan el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. El flujo de datos o la secuencia de señales pueden configurarse, por ejemplo, para transferirse a través de una conexión de comunicación de datos, por ejemplo, a través de Internet. Una realización adicional comprende un medio de procesamiento, por ejemplo, un ordenador o un dispositivo de lógica programable, configurado para o adaptado para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. Una realización adicional comprende un ordenador que tiene instalado en el mismo el programa informático para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento.

En algunas realizaciones, un dispositivo de lógica programable (por ejemplo un campo de matriz de puertas programables) puede usarse para realizar algunas o todas las funcionalidades de los métodos descritos en el presente documento. En algunas realizaciones, un campo de matriz de puertas programables puede cooperar con un microprocesador para realizar uno de los métodos descritos en el presente documento. En general, los métodos se realizan preferentemente por cualquier aparato de hardware.

Las realizaciones anteriormente descritas son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención. Se entiende son evidentes modificaciones y variaciones de las disposiciones y los detalles descritos en el presente documento para los expertos en la técnica. Se pretende, por lo tanto, que se limiten únicamente por el alcance de las reivindicaciones de patente siguientes y no por los detalles específicos presentados por medio de descripción y explicación de las realizaciones en el presente documento.

Referencias:

- [1] 3GPP TS 38.211 V15.1.0, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Physical channels and modulation (Release 15), Marzo 2018.
- [2] 3GPP TS 38.214 V15.1.0, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Physical layer procedures for data (Release 15), Marzo 2018.
- [3] K. Manolakis, S. Jaeckel, V. Jugnickel y V. Braun, "Channel Prediction by Doppler-Delay Analysis and Benefits for Base Station Cooperación", en 77.^a Conferencia de tecnología vehicular del IEEE, junio de 2013.
- [4] 3GPP TS 38.331 V15.1.0, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 15), March 2018.
- [5] R. S. Thomä, M. Landmann, y A. Richter, "RIMAX-A maximum likelihood framework for parameter estimation in multidimensional channel sounding". Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP'04). 2004.
- [6] I. Barhumi, G. Leus, and M. Moonen, "Optimal training design for MIMO OFDM systems in mobile wireless channels", IEEE Trans. Signal Process, vol. 51, n.º 6, pp. 1615-1624, Jun. 2003.
- [7] P. Hoeher, S. Kaiser, and P. Robertson, "Two-dimensional pilot-symbol-aided channel estimation by Wiener filtering", en Proc. IEEE ICASSP-97, Munich, Germany, Apr. 1997, pp. 1845-1848.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de comunicación para proporcionar información del estado del canal, CSI, retroalimentación en un sistema de comunicación inalámbrico, comprendiendo el dispositivo de comunicación:

un transceptor configurado para recibir, desde un transmisor, una señal de radio a través de un canal MIMO, incluyendo la señal de radio señales de referencia de enlace descendente según una configuración de señal de referencia que comprende varios puertos de antena, y señales de enlace descendente que comprenden la configuración de señal de referencia; y

un procesador configurado para

- estimar un CSI explícito utilizando mediciones de las señales de referencia de enlace descendente en el canal de radio, las señales de referencia de enlace descendente proporcionadas durante un tiempo de observación determinado,

caracterizado porque

el procesador está configurado para

- seleccionar, basándose en una métrica de rendimiento, una matriz precodificadora de retraso Doppler (W) para un precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, basándose el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler en uno o más libros de códigos, incluyendo el uno o más libros de códigos

◦ uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,

◦ uno o más componentes de retraso del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, y

◦ uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,

- determinar un indicador de matriz precodificadora, PMI, utilizando el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto con la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler seleccionada (W), y

- informar al transmisor la retroalimentación CSI que incluye el PMI, en donde el PMI se usa para indicar la matriz precodificadora compuesta de tres etapas del haz de retraso Doppler para los puertos de antena configurados.

2. El dispositivo de comunicación de la reivindicación 1, en donde el precodificador de tres etapas del haz de retraso Doppler se basa en tres libros de códigos separados, y en el que los tres libros de códigos separados incluyen

- un primer libro de códigos (Ω_1) para uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto,

- un segundo libro de códigos (Ω_2) para uno o más componentes de retraso del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto, y

- un tercer libro de códigos (Ω_3) para uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto.

3. El dispositivo de comunicación de la reivindicación 1 o 2, en donde la matriz precodificadora de retraso Doppler (W) está representada por

$$W^{(l)} = P^{(l)} \begin{bmatrix} \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{1,u,d,v}^{(l)} \mathbf{f}_{1,u,d,v}^{(l)} \otimes \mathbf{d}_{1,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \\ \sum_{u=0}^{U^{(l)}-1} \sum_{d=0}^{D_u^{(l)}-1} \sum_{v=0}^{F_{d,u}^{(l)}-1} \gamma_{2,u,d,v}^{(l)} \mathbf{f}_{2,u,d,v}^{(l)} \otimes \mathbf{d}_{2,u,d}^{(l)T} \otimes \mathbf{b}_u^{(l)} \end{bmatrix},$$

donde

- $U^{(l)}$ es el número de haces por polarización para la l -ésima capa,

- $D_u^{(l)}$ es el número de retrasos para la l -ésima capa y u -ésimo haz,

- $F_{d,u}^{(l)}$ es el número de componentes de frecuencia Doppler para la l -ésima capa, u -ésimo haz y d -ésimo retraso,

- $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el v -ésimo vector de tamaño de frecuencia Doppler $T \times 1$ asociado con la l -ésima capa, d -ésimo retraso, u -ésimo haz espacial, y la p -ésima ($p = 1,2$) polarización del precodificador;
- $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$ es el d -ésimo vector de retraso de tamaño $S \times 1$ asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial y la p -ésima polarización del precodificador;
- 5 - $\mathbf{b}_u^{(l)}$ es el u -ésimo haz espacial asociado con la l -ésima capa;
- $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ es el coeficiente de retraso Doppler asociado con la l -ésima capa, u -ésimo haz espacial, d -ésimo retraso, v -ésima frecuencia Doppler y la p -ésima polarización del precodificador, y
- $P^{(l)}$ es un factor de normalización escalar para asegurar que la *promedio* la potencia de transmisión total sobre todas las capas precodificadoras es 1.
- 10 4. El dispositivo de comunicación de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde
 - el primer libro de códigos (Ω_1) comprende una primera matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño $N_1 N_2 \times O_{1,1} N_1 O_{1,2} N_2$ de donde los vectores $\mathbf{b}_u^{(l)}$ son seleccionados, donde N_1 y N_2 se refieren al primer y
 - 15 segundo número de puertos de antena, respectivamente, y $O_{1,1}$ y $O_{1,2}$ se refieren a los factores de sobremuestreo con $O_{1,1} \in \{1,2,3,\dots\}$ y $O_{1,2} \in \{1,2,3,\dots\}$,
 - el segundo libro de códigos (Ω_2) comprende una segunda matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño $S \times SO_2$ de donde los vectores de retraso $\mathbf{d}_{u,d}^{(l)}$ son seleccionados, donde S se refiere al número de subbandas/PRB o subportadoras configuradas, y O_2 se refiere al factor de sobremuestreo $O_2 = 1,2, \dots$, y
 - 20 - el tercer libro de códigos (Ω_3) comprende una tercera matriz de libro de códigos DFT sobremuestreada de tamaño $T \times TO_3$ de donde los vectores de frecuencia Doppler $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$ son seleccionados, donde T se refiere al número de instancias de tiempo durante el tiempo de observación, y O_3 se refiere al factor de sobremuestreo con $O_3 = 1,2, \dots$
- 25 5. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo de comunicación está configurado para recibir los siguientes valores desde el transmisor usando parámetros de la capa de control de recursos de radio (RRC) o de la capa física (L1):
 - valores de S para la configuración del libro de códigos del componente de retraso (Ω_2), y
 - 30 - parámetros N_1 , N_2 para la configuración del primer libro de códigos (Ω_1).
- 35 6. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el dispositivo de comunicación está configurado para recibir los siguientes valores desde el transmisor usando parámetros de la capa de control de recursos de radio (RRC) o de la capa física (L1):
 - valores de S y T para la configuración de los libros de códigos de componentes de retraso y frecuencia Doppler (Ω_2 , Ω_3), y
 - parámetros N_1 , N_2 y factores de sobremuestreo $O_{1,1}$ y $O_{1,2}$ para la configuración del primer libro de códigos (Ω_1).
- 40 7. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el procesador está configurado para
 - predecir e informar un valor de CQI para un instante/intervalo de tiempo $n + K$, donde n denota el instante/intervalo de tiempo actual, y K denota la diferencia de tiempo relativa con respecto al instante/intervalo de tiempo actual n ,
 - 45 y
 - utilizar los K valores de CQI predichos para calcular los valores de CQI predichos diferenciales reduciendo los K valores de CQI predichos por el valor de CQI promedio.
- 50 8. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, en caso de que la retroalimentación de CSI incluya el PMI, el procesador está configurado para informar al menos un PMI de dos componentes,
 - donde el primer PMI indica los vectores seleccionados $\mathbf{b}_u^{(l)}$ y $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$, y
 - 55 - donde el segundo PMI indica los coeficientes de combinación del haz, desde el dispositivo de comunicación hasta el transmisor.

9. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, en caso de que la retroalimentación de CSI incluya el PMI, el procesador está configurado para informar al menos un PMI de dos componentes,

- 5 - donde el primer PMI indica a los vectores seleccionados $\mathbf{b}_u^{(l)}$, $\mathbf{d}_{p,u,d}^{(l)}$, y $\mathbf{f}_{p,u,d,v}^{(l)}$, y
 - donde el segundo PMI indica los coeficientes de combinación, desde el dispositivo de comunicación hasta el transmisor.

10. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, para cuantificar los

- 10 coeficientes complejos de retraso Doppler $\gamma_{p,u,d,v}^{(l)}$ con un enfoque de libro de códigos, cada coeficiente está representado por

$$\gamma_{p,u,d,v}^{(l)} = \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \phi_{p,u,d,v}^{(l)},$$

- 15 donde

- $\hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)}$ es un coeficiente de amplitud dependiente de la polarización, el haz, el retraso y la frecuencia Doppler que se cuantifica con N bits; y

- 20 - $\phi_{p,u,d,v}^{(l)}$ representa una fase que está representada por una BPSK, o QPSK, o 8PSK, o cualquier otra constelación PSK de orden superior, o en donde cada coeficiente está representado por su parte real e imaginaria como

$$\gamma_{p,u,d,v}^{(l)} = \text{Re} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\} + j \cdot \text{Imag} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\},$$

donde $\text{Re} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\}$ y $\text{Imag} \left\{ \hat{\gamma}_{p,u,d,v}^{(l)} \right\}$ están cuantificados cada uno con N bits.

- 25 11. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo de comunicación está configurado para recibir una configuración de recursos CSI-RS que incluye un parámetro de capa superior, que indica una repetición en el dominio del tiempo de las señales de referencia del enlace descendente.

- 30 12. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el primer libro de códigos (Ω_1) representa un libro de códigos de selección de puerto y cada vector del primer libro de códigos contiene un único 1 y ceros en el resto.

- 35 13. El dispositivo de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la matriz precodificadora de retraso Doppler ($\mathbf{W}$) se basa en un primer libro de códigos para uno o más componentes del haz espacial del lado de transmisión y un segundo libro de códigos para uno o más componentes de retraso de la matriz precodificadora de retraso Doppler.

- 40 14. Un transmisor en un sistema de comunicación inalámbrico que incluye un dispositivo de comunicación, comprendiendo el transmisor:

un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de antenas para una comunicación inalámbrica con uno o más dispositivos de comunicación para proporcionar información del estado del canal, CSI, retroalimentación al transmisor; y

- 45 un precodificador conectado al conjunto de antenas, el precodificador para aplicar un conjunto de ponderaciones de formación de haces a una o más antenas del conjunto de antenas para formar, mediante el conjunto de antenas, uno o más haces de transmisión o uno o más haces de recepción, un transceptor configurado para

- 50 - transmitir, al dispositivo de comunicación, señales de referencia de enlace descendente de acuerdo con una configuración de señales de referencia de enlace descendente que comprende un número de puertos de antena de señales de referencia de enlace descendente y un parámetro que indica una repetición en el dominio del tiempo de las señales de referencia de enlace descendente, y señales de enlace descendente que comprenden la configuración de señales de referencia de enlace descendente; y

- 55 - recibir señales de enlace ascendente que comprenden una pluralidad de informes CSI desde el dispositivo de comunicación; y

un procesador configurado para:

- extraer al menos dos identificadores de matriz de precodificador de componentes de la pluralidad de informes CSI; y
- construir una matriz precodificadora de haz de retraso Doppler aplicada en los puertos de antena usando un primer componente y un segundo componente del PMI, y determinar las ponderaciones de formación de haces en respuesta a la matriz precodificadora construida,

en donde los informes CSI son transmitidos por el dispositivo de comunicación mediante:

- estimar un CSI explícito utilizando mediciones de las señales de referencia de enlace descendente, las señales de referencia de enlace descendente proporcionadas durante un tiempo de observación determinado,
- seleccionar, basándose en una métrica de rendimiento, una matriz de precodificador de retraso Doppler para un precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, basándose el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler en uno o más libros de códigos, el uno o más libros de códigos que incluyen
- uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
- uno o más componentes de retraso del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, y
- uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
- determinar un indicador de matriz precodificadora, PMI, usando el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto con la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler seleccionada, e
- informar al transmisor la retroalimentación CSI incluyendo el PMI, en donde el PMI se usa para indicar la matriz precodificadora compuesta de tres etapas del haz de retraso Doppler para los puertos de antena configurados.

15. Un método para proporcionar una retroalimentación de información de estado de canal, CSI, en un sistema de comunicación inalámbrica, comprendiendo el método:

- recibir, desde un transmisor, una señal de radio a través de un canal MIMO, incluyendo la señal de radio señales de referencia de enlace descendente de acuerdo con una configuración de señal de referencia que comprende varios puertos de antena, y señales de enlace descendente que comprenden la configuración de señal de referencia;
- estimar, en el dispositivo de comunicación, una CSI explícita usando mediciones de las señales de referencia de enlace descendente en el canal de radio, las señales de referencia de enlace descendente proporcionadas durante un cierto tiempo de observación,
- caracterizado por**
- basándose en una métrica de rendimiento, seleccionando, en el dispositivo de comunicación, una matriz precodificadora de retraso Doppler ($\mathbf{W}$) para un precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, basándose el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler en uno o más libros de códigos
- uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
- uno o más componentes de retraso del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, y
- uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
- determinar, en el dispositivo de comunicación, un indicador de matriz precodificadora, PMI, utilizando el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto con la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler seleccionada ($\mathbf{W}$), y
- informar desde el dispositivo de comunicación al transmisor la retroalimentación CSI incluyendo el PMI, en donde el PMI se usa para indicar la matriz precodificadora compuesta de tres etapas del haz de retraso Doppler para los puertos de antena configurados.

16. Un método para operar un transmisor en un sistema de comunicación inalámbrica que incluye un dispositivo de comunicación, comprendiendo el método:

- transmitir, al dispositivo de comunicación, señales de referencia de enlace descendente de acuerdo con una configuración de señales de referencia de enlace descendente que comprende un número de puertos de antena de señales de referencia de enlace descendente y un parámetro que indica una repetición en el dominio del tiempo de las señales de referencia de enlace descendente, y señales de enlace descendente que comprenden las

- señales de referencia de enlace descendente configuración;
 recibir, en el transmisor, información del estado del canal, CSI, retroalimentación desde el dispositivo de comunicación como una pluralidad de informes CSI;
 5 usar un precodificador para aplicar un conjunto de ponderaciones de formación de haces a una o más antenas de un conjunto de antenas del transmisor para formar, mediante el conjunto de antenas, uno o más haces de transmisión o uno o más haces de recepción, mediante:
- extraer al menos dos identificadores de matriz de precodificador de componentes de la pluralidad de informes CSI; y
 - 10 - construir una matriz precodificadora de haz de retraso Doppler aplicada en los puertos de antena utilizando un primer componente y un segundo componente del PMI, y
 - determinar las ponderaciones de formación de haces en respuesta a la matriz precodificadora construida,
- en donde los informes CSI son transmitidos por el dispositivo de comunicación mediante:
- 15 - estimar un CSI explícito utilizando mediciones de las señales de referencia de enlace descendente, las señales de referencia de enlace descendente proporcionadas durante un tiempo de observación determinado,
 - seleccionar, basándose en una métrica de rendimiento, una matriz de precodificador de retraso Doppler para un precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler, basándose el precodificador de tres
 - 20 etapas de haz de retraso Doppler en uno o más libros de códigos, el uno o más libros de códigos que incluyen
 - uno o más componentes de haz espacial del lado de transmisión del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
 - uno o más componentes de retraso del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
 - y
 - 25 - uno o más componentes de frecuencia Doppler del precodificador compuesto de tres etapas de haz de retraso Doppler,
 - determinar un indicador de matriz precodificadora, PMI, usando el precodificador de tres etapas de haz de retraso Doppler compuesto con la matriz precodificadora de haz de retraso Doppler seleccionada, e
 - informar al transmisor la retroalimentación CSI incluyendo el PMI, en donde el PMI se usa para indicar la
 - 30 matriz precodificadora compuesta de tres etapas del haz de retraso Doppler para los puertos de antena configurados.
17. Un producto de programa informático no transitorio que comprende un medio legible por ordenador que almacena instrucciones que, cuando se ejecutan por un ordenador, realizar que el método de una cualquiera la reivindicación 15
- 35 o 16.

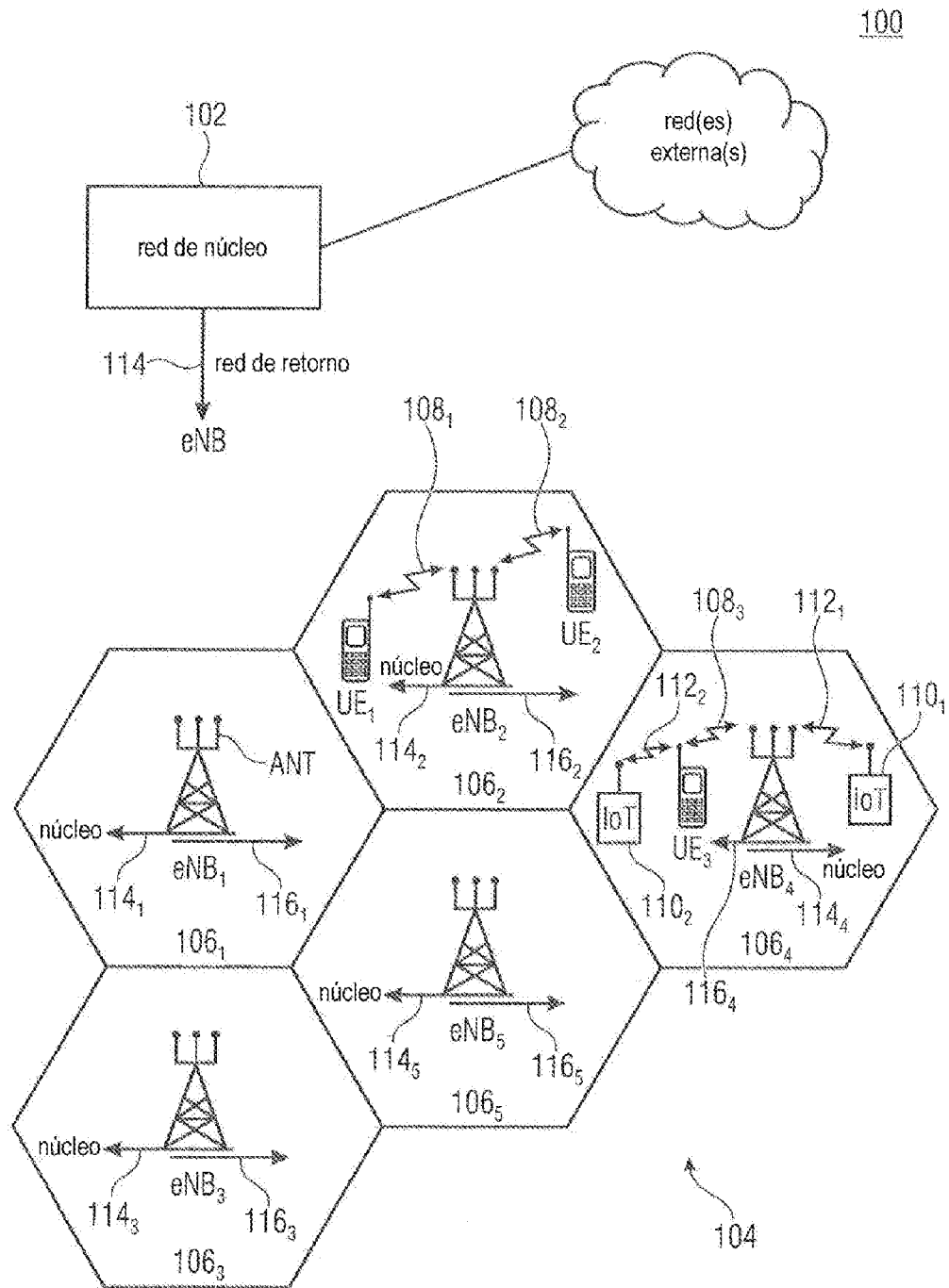


Fig. 1

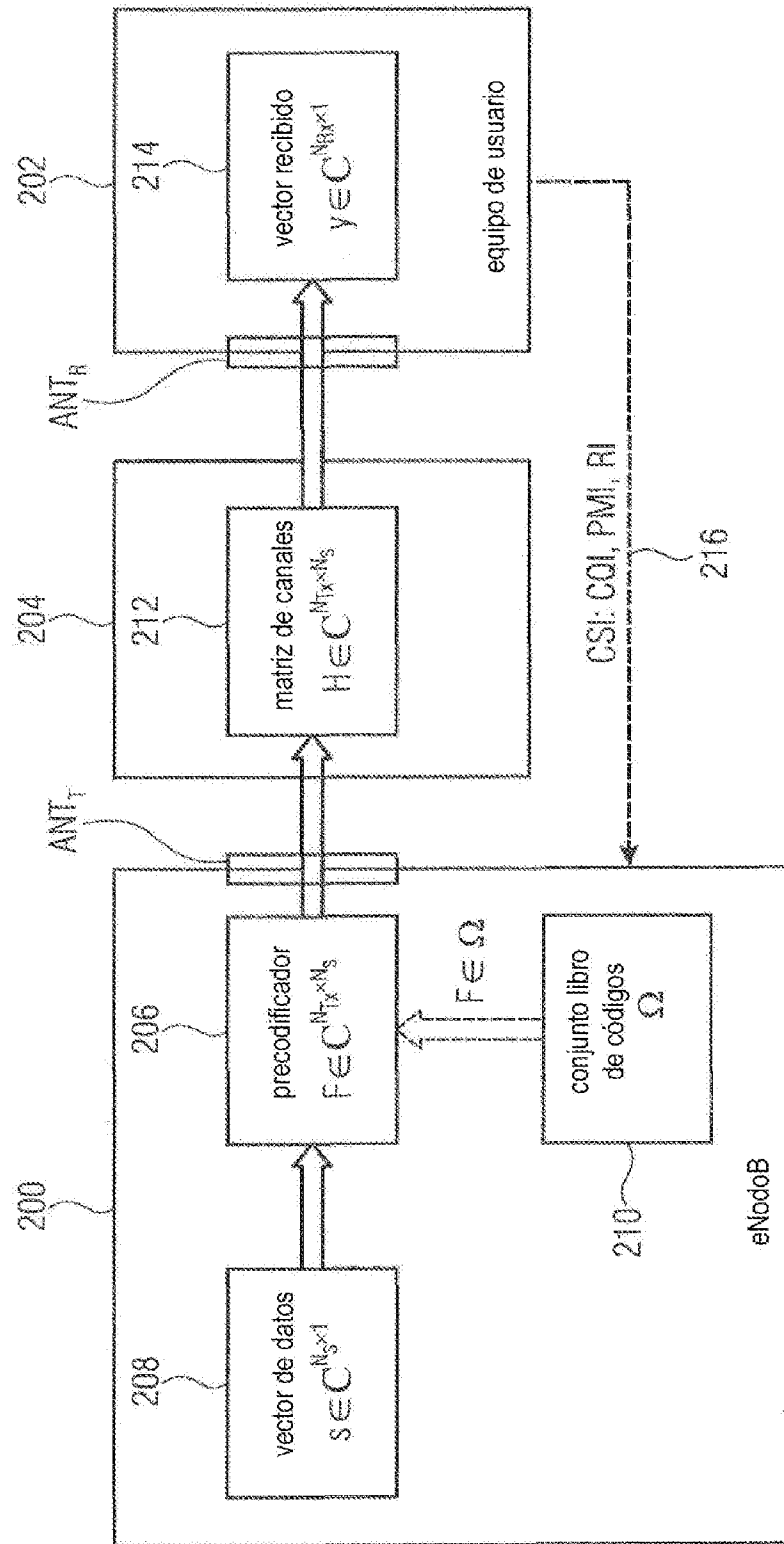


Fig. 2

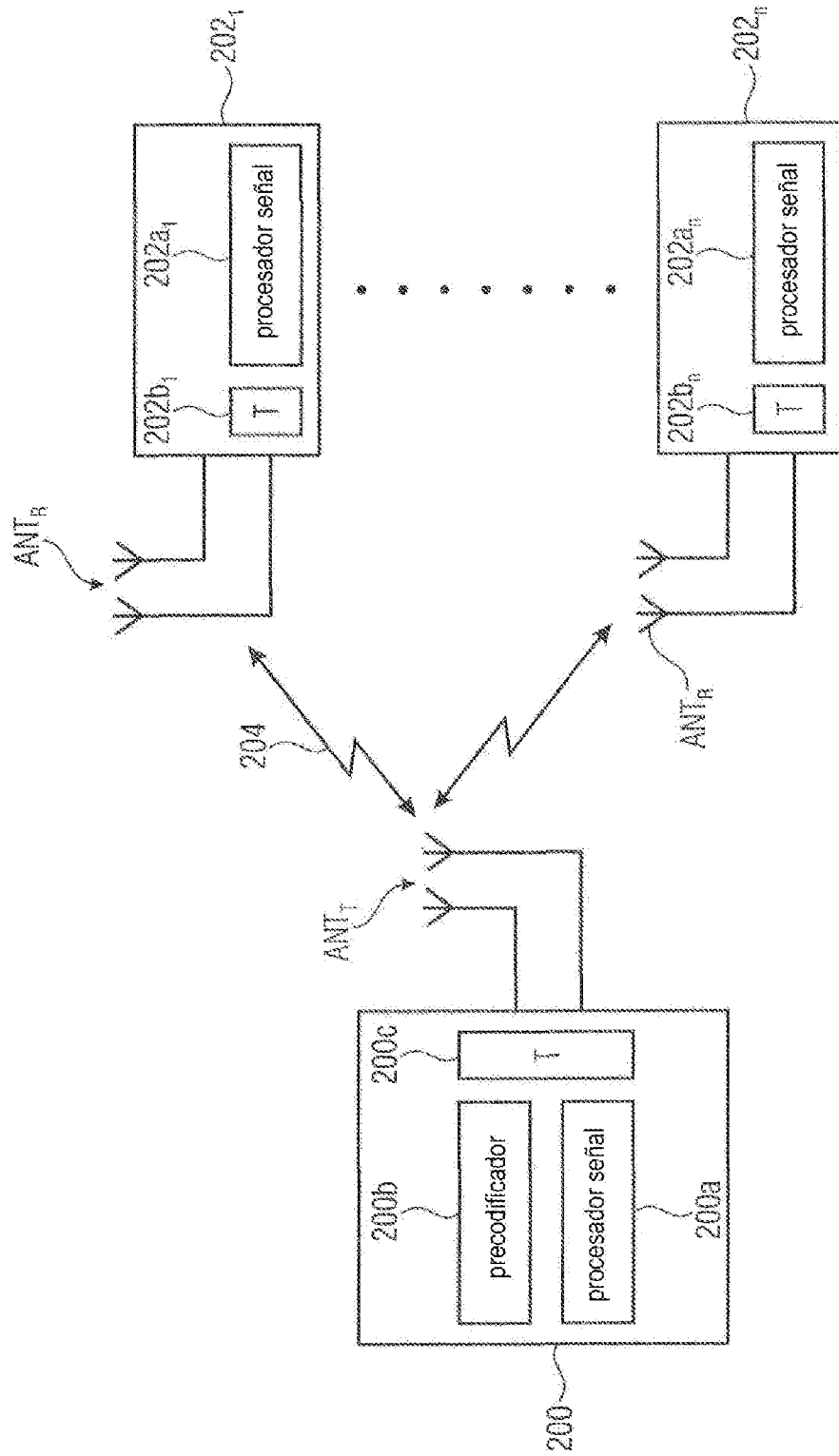


Fig. 3

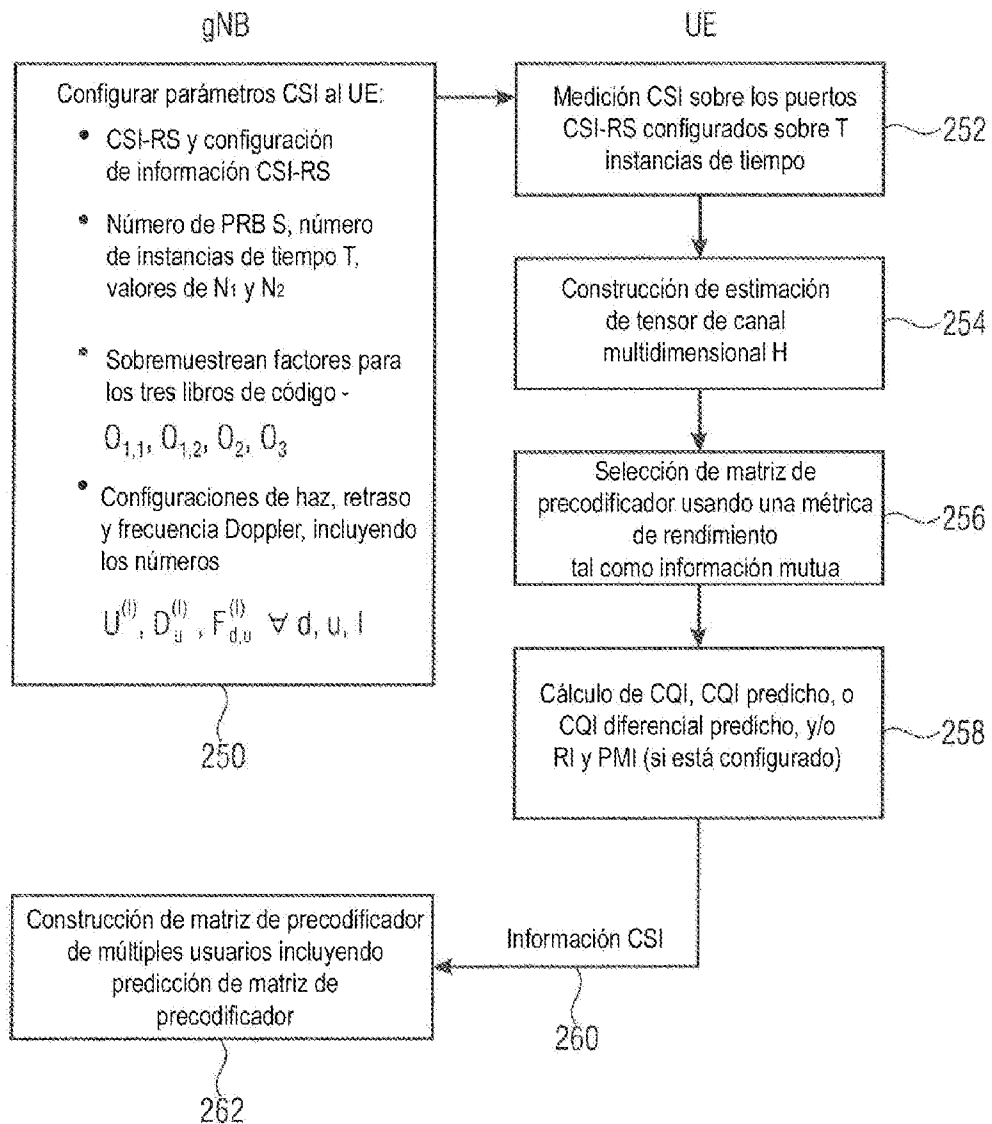


Fig. 4

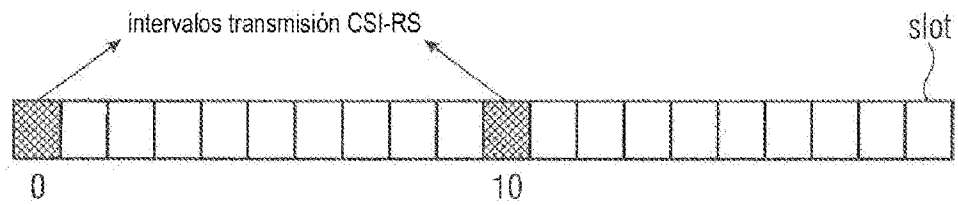


Fig. 5(a)

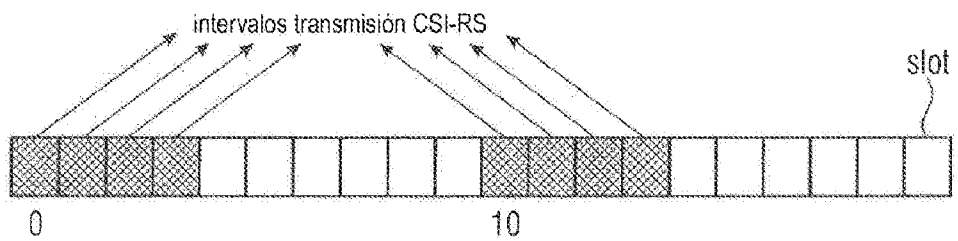


Fig. 5(b)

-- ASN1INICIO
 -- ETIQUETA-CSI-RS-DURACIÓNRÁFAGA-INICIO

CSI-RS-DURACIÓNRÁFAGA ::= ENUMERADO {
 Intervalosráfaga0, Intervalosráfaga1, Intervalosráfaga2, Intervalosráfaga3,
 Intervalosráfaga4, Intervalosráfaga5
 }

-- ETIQUETA-CSI-RS-DURACIÓNRÁFAGA-DETENCIÓN
 -- ASN1DETENCIÓN

Fig. 6

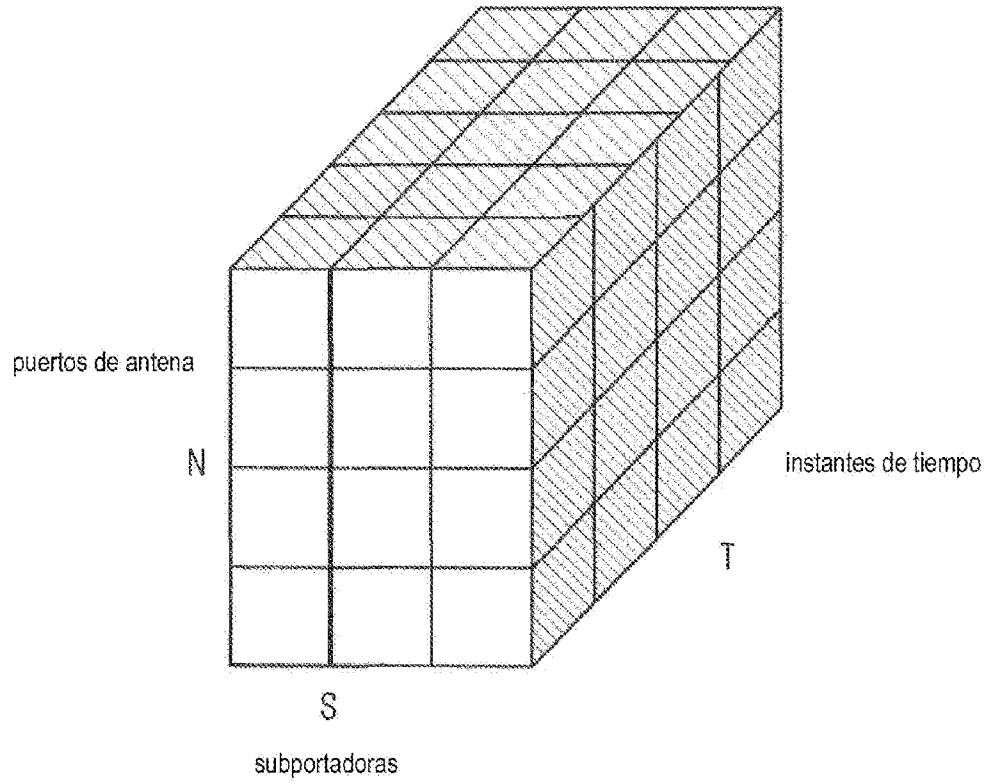


Fig. 7

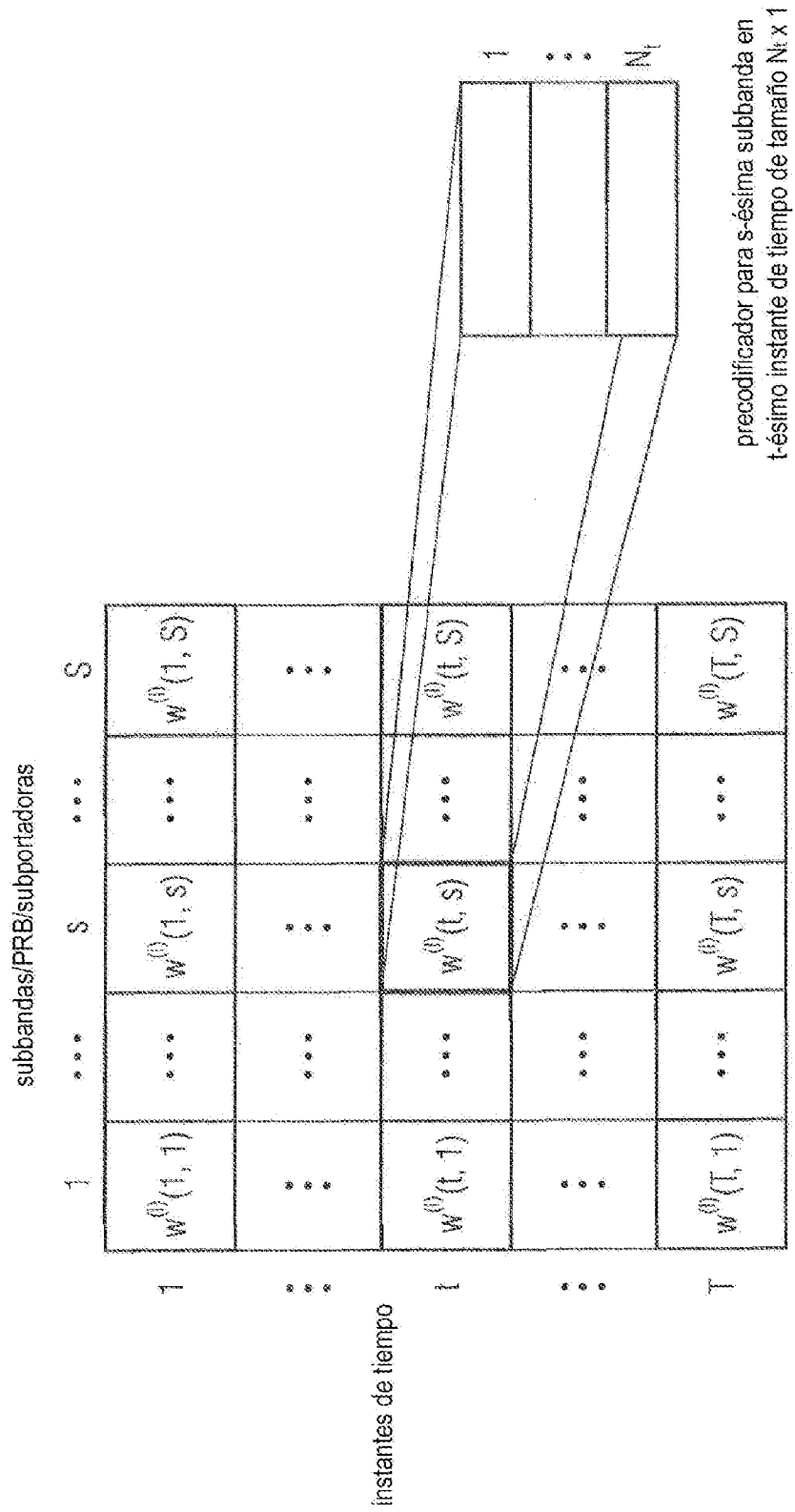


Fig. 8

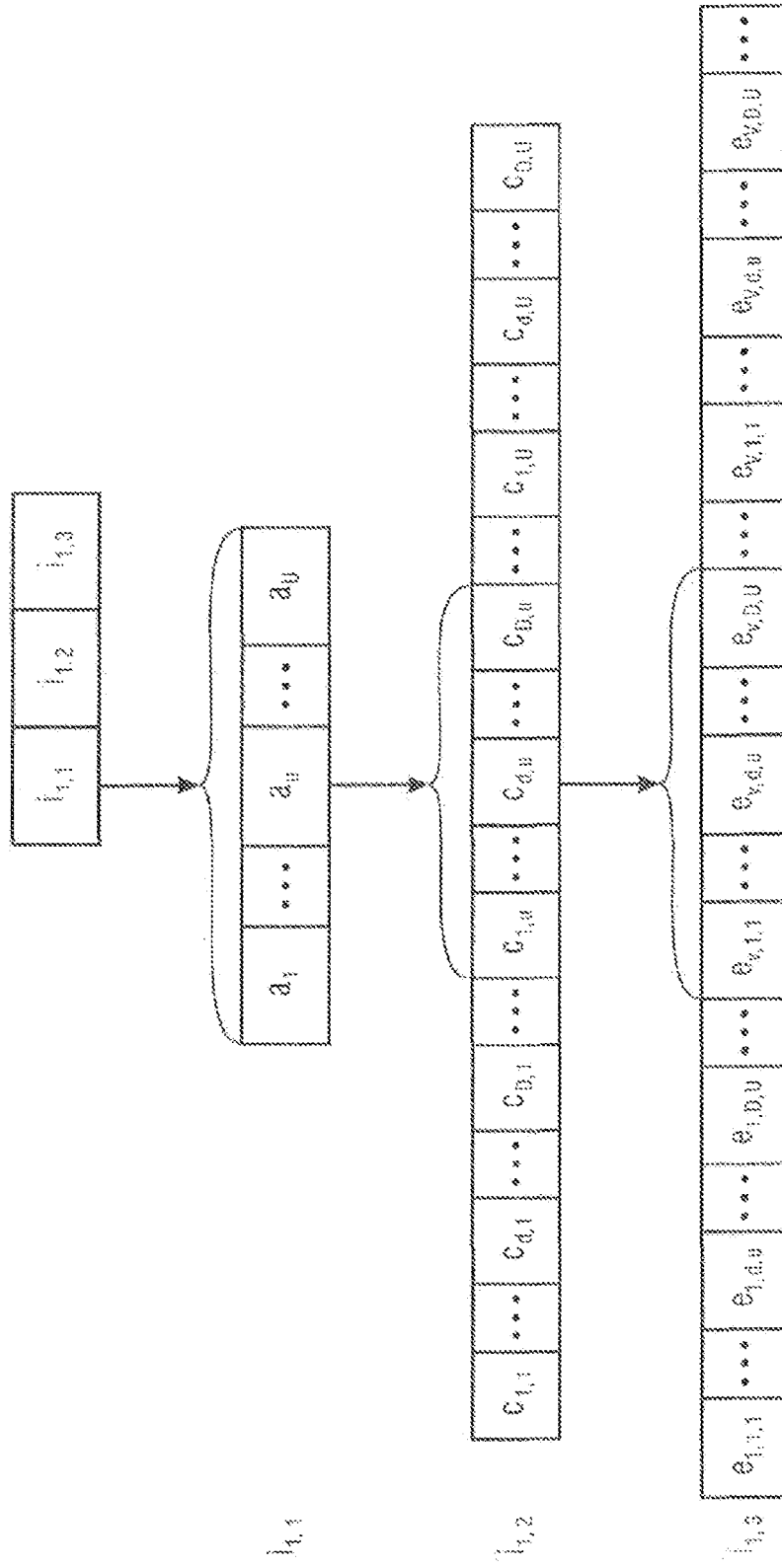


Fig. 9

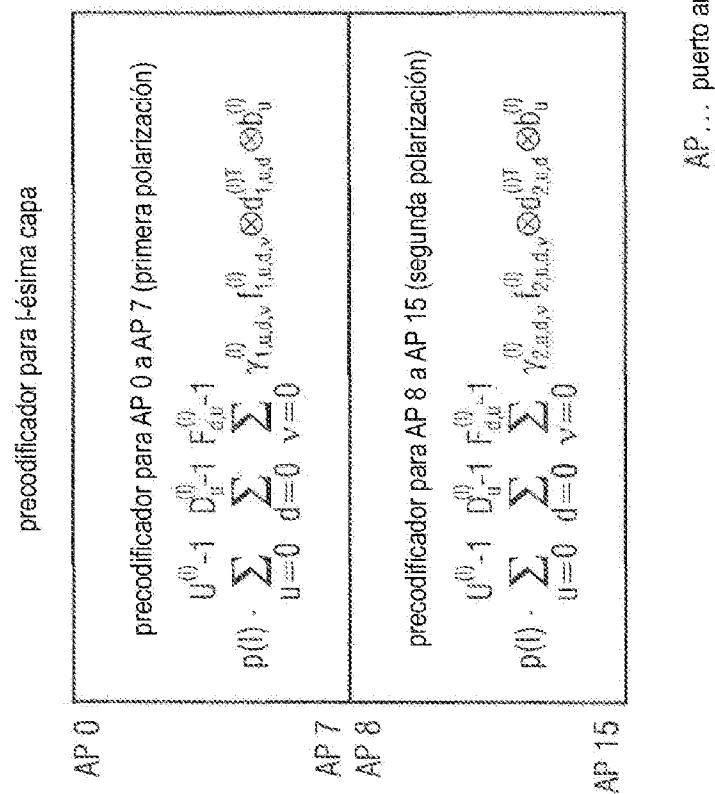
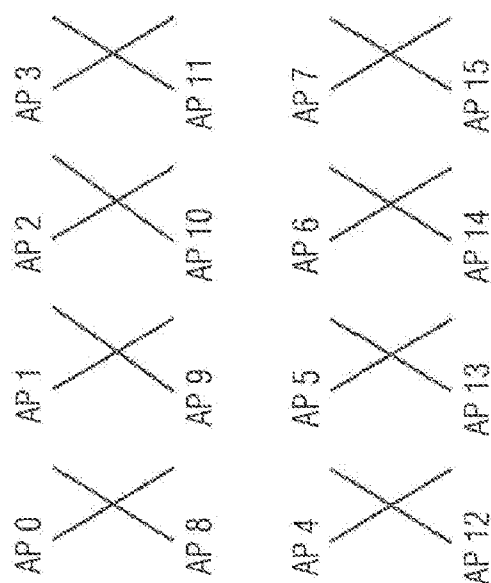


Fig. 10



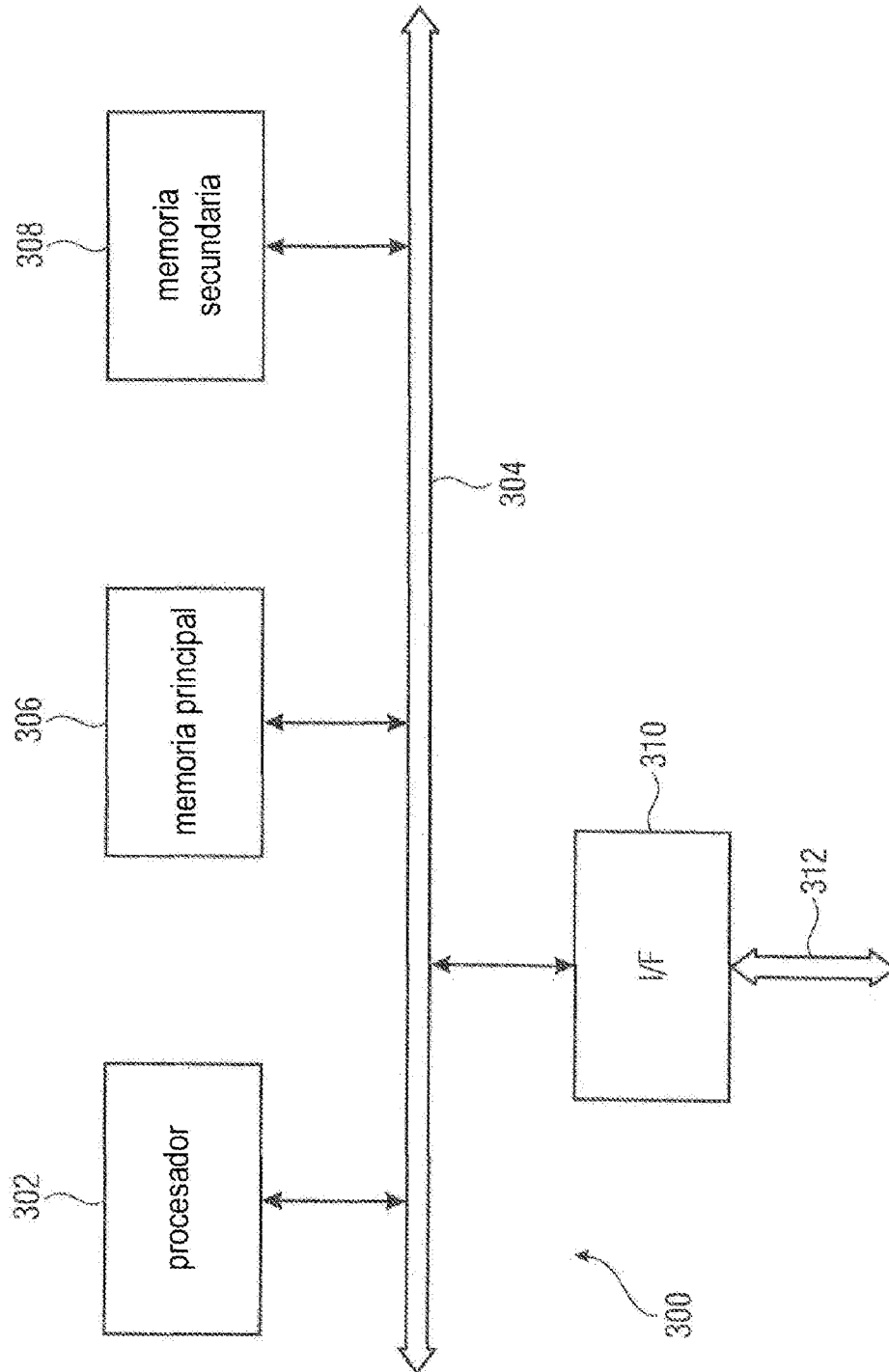


Fig. 11