

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 707**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/04** (2006.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2011 PCT/SE2011/050415**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2011 WO11126446**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2011 E 11715316 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.11.2016 EP 2556599**

54 Título: **Libro de códigos parametrizado con restricciones de subconjunto para utilizar con transmisiones de MIMO de precodificación**

30 Prioridad:

**07.04.2010 US 321679 P**

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

**01.06.2017**

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)  
(100.0%)  
164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**HAMMARWALL, DAVID y  
JÖNGREN, GEORGE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 614 707 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

Libro de códigos parametrizado con restricciones de subconjunto para utilizar con transmisiones de MIMO de precodificación

**Solicitudes relacionadas**

- 5 Esta solicitud reclama la prioridad de la solicitud de patente provisional de U.S. presentada el 7 de abril de 2010, e identificada por la Solicitud N° 61/321 679.

**Sector de la invención**

- 10 Las enseñanzas de esta memoria se refieren de manera general a libros de códigos y precodificación y, particularmente, se refiere al uso de subconjuntos de libros de códigos parametrizados, tal como se pueden utilizar para restringir selecciones de libros de códigos para diferentes modos de operación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO – Multiple Input Multiple Output, en inglés).

**Antecedentes**

- 15 Las técnicas de múltiples antenas pueden aumentar significativamente las tasas de datos y la fiabilidad de un sistema de comunicación inalámbrico. El rendimiento se mejora, en particular, si tanto el transmisor como el receptor están equipados con múltiples antenas, lo que resulta en un canal de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Dichos sistemas y las técnicas relacionadas se denominan habitualmente MIMO.

- 20 El estándar LTE del 3GPP está evolucionando actualmente con el soporte de MIMO mejorado. Un componente central en LTE es el soporte de los despliegues de antenas de MIMO y las técnicas relacionadas con MIMO. Una suposición actual de trabajo en LTE Avanzada es el soporte de un modo de multiplexación espacial de 8 capas para 8 antenas de transmisión (Tx), con la posibilidad de precodificación dependiente del canal. El modo de multiplexación espacial proporciona altas tasas de datos en condiciones favorables del canal.

- 25 Con la multiplexación espacial, un vector de símbolos  $s$  que transporta información es multiplicado por una matriz de precodificador  $N_T \times r$   $W_{N_T \times r}$ , que sirve para distribuir la energía de transmisión en un subespacio del espacio vectorial dimensional  $N_T$  (correspondiente a  $N_T$  puertos de antena). La matriz de precodificador se selecciona típicamente de un libro de códigos de posibles matrices de precodificador, e indicado típicamente por medio de un indicador de matriz de precodificador (PMI – Precoder Matrix Indicator, en inglés). El valor de PMI especifica una sola matriz de precodificador en el libro de códigos para un número dado de secuencias de símbolos.

- 30 Si la matriz de precodificador está confinada para tener columnas ortonormales, entonces el diseño del libro de códigos de las matrices de precodificador corresponde a un problema de empaquetamiento del subespacio Grassmaniano. En cualquier caso, los símbolos  $r$  en el vector de símbolos  $s$  corresponden cada uno a una capa, y  $r$  se denomina rango de la transmisión. De esta manera, la multiplexación espacial se consigue porque múltiples símbolos pueden ser transmitidos simultáneamente en el mismo elemento de recurso de tiempo / frecuencia (TFRE – Time / Frequency Resource Element, en inglés). El número de símbolos  $r$  está típicamente preparado para adaptarse a las propiedades actuales del canal de propagación.

- 35 LTE utiliza OFDM en el enlace descendente (y OFDM precodificado de DFT en el enlace ascendente) y, por ello, el vector de  $N_R \times 1$   $y_n$  para cierto TFRE en la subportadora  $n$  (o de manera alternativa, el número TFRE de datos  $n$ ) se modeliza entonces mediante

$$y_n = H_n W_{N_T \times r} s_n + e_n \quad (1)$$

- 40 donde  $e_n$  es un vector ruido / interferencia obtenido como realizaciones de un proceso aleatorio. El precodificador  $W_{N_T \times r}$  puede ser un precodificador de banda ancha, que es constante con la frecuencia, o selectivo en frecuencia.

- 45 La matriz de precodificador a menudo se elige para coincidir con las características de la matriz de canales MIMO  $N_R \times N_T$   $H$ , que resulta en la llamada precodificación dependiente del canal. Esto se denomina habitualmente precodificación de bucle cerrado y esencialmente intenta centrar la energía de transmisión en un subespacio que es fuerte en el sentido de transportar mucha de la energía transmitida al receptor de objetivo, por ejemplo, un equipo de usuario (UE – User Equipment, en inglés). Además, la matriz de precodificador se puede seleccionar también con el objetivo de ortogonalizar el canal, lo que significa que tras la adecuada equalización lineal en el UE o en otro receptor de objetivo, la interferencia entre capas se reduce.

- 50 En la precodificación de bucle cerrado para el enlace descendente de LTE en particular, el UE transmite, sobre la base de las mediciones del canal en el enlace de transmisión (enlace descendente), recomendaciones al eNodeB de un precodificador adecuado para utilizar. Se puede retroalimentar un único precodificador que se supone que cubre un ancho de banda grande (precodificación de banda ancha). Puede ser asimismo beneficioso hacer coincidir las variaciones de frecuencia del canal y, en lugar de retroalimentar un informe de precodificación selectivo en frecuencia, por ejemplo, varios precodificadores, uno por subbanda de frecuencia. Este planteamiento es un ejemplo

del caso más general de retroalimentación de información del estado del canal (CSI – Channel State Information, en inglés), que también abarca retroalimentar entidades que no son precodificadores, para ayudar al eNodoB en la adaptación de subsiguientes transmisiones al UE. Dicha otra información puede incluir indicadores de calidad del canal (CQI – Channel Quality Indicators, en inglés), así como un indicador de rango (RI – Rank Indicator, en inglés) de la transmisión.

Para el enlace ascendente de LTE, la utilización de precodificación de bucle cerrado significa que el eNodoB selecciona un precodificador o precodificadores y el rango de la transmisión. El eNodoB puede señalar a continuación el precodificador seleccionado que el UE se supone que utiliza o, de manera alternativa, aplicar la precodificación a las señales de referencia utilizadas para la estimación del canal en el UE, evitando con ello la necesidad de una señalización explícita. El eNodoB puede asimismo utilizar cierta señalización basada en mapa de bits para indicar los precodificadores particulares en un libro de códigos que el UE está restringido a utilizar, véase, por ejemplo, la Sección 7.2 de la Memoria Técnica del 3GPP, TS 36.213. Un inconveniente de tal señalización es el uso de mapas de bits para indicar precodificadores permitidos o no permitidos. Los libros de códigos con números elevados de precodificadores requieren mapas de bits grandes, y el coste de la señalización asociado con la transmisión de mapas de bits grandes resulta prohibitivo.

En cualquier caso, el rango de la transmisión, y por ello el número de capas multiplexadas espacialmente, se refleja en el número de columnas del precodificador. La eficiencia y el rendimiento de la transmisión mejoran seleccionando un rango de la transmisión que coincide con las propiedades actuales del canal. A menudo, el dispositivo que selecciona los precodificadores es también responsable de seleccionar el rango de la transmisión. Un planteamiento de la selección del rango de la transmisión implica evaluar una métrica de rendimiento para cada rango posible y elegir el rango que optimiza la métrica de rendimiento. Estas clases de cálculos a menudo requieren muchos recursos informáticos y, por lo tanto, es una ventaja el que los cálculos puedan ser reutilizados en diferentes rangos de la transmisión. La reutilización de los cálculos se facilita diseñando el libro de códigos de precodificador para que cumpla la llamada propiedad de rangos anidados. Esto significa que el libro de códigos es tal que siempre existe un subconjunto de columnas de un precodificador de rango superior que también es un precodificador de rango inferior válido.

El libro de códigos doméstico de 4-Tx para el enlace descendente de LTE es un ejemplo de un libro de códigos que cumple la propiedad de rangos anidados. La propiedad no resulta útil para reducir la complejidad informática, pero es asimismo importante en la simplificación de la anulación de una selección de rangos en un dispositivo distinto del que ha elegido el rango de la transmisión. Considérese, por ejemplo, el enlace descendente de LTE en el que el UE selecciona el precodificador y el rango, y, condicionado por estas elecciones, calcula un CQI que representa la calidad del canal efectivo formado por el precodificador y el canal seleccionados. Dado que el CQI así reportado por el UE está condicionado en un cierto rango de la transmisión, realizar la anulación de rango en el lado del eNodoB dificulta el saber cómo ajustar el CQI reportado para tener en cuenta el nuevo rango.

No obstante, si el libro de códigos de precodificador cumple la propiedad de rangos anidados, la anulación del rango para un precodificador de rango inferior es posible seleccionando un subconjunto de columnas del precodificador original. Dado que el nuevo precodificador es un subconjunto de columnas del precodificador original, el CQI ligado al precodificador original proporciona un límite inferior en el CQI si se utiliza el nuevo precodificador de rango reducido. Tales límites pueden ser aprovechados para reducir los errores de CQI asociados con la anulación de rango, mejorando con ello el rendimiento de la adaptación del enlace.

Otro problema a tener en cuenta cuando se diseñan precodificadores es asegurar una utilización eficiente de los amplificadores de potencia (PA – Power Amplifiers, en inglés) del transmisor. Habitualmente, la potencia no se puede pedir prestada entre antenas porque, en general, existe un PA separado para cada antena. Por ello, para una utilización máxima de los recursos de PA, es importante que desde cada antena se transmita la misma cantidad de potencia, es decir, una matriz de precodificador  $W$  debe cumplir

$$[ww^*]_{mm} = \kappa, \quad \forall m. \tag{2}$$

Otro modo equivalente de formular esto es observar que todas las filas de  $W$  necesitan tener la misma  $l^2$ -norm,

donde la  $l^2$ -norm de una fila  $x$  con elementos  $x_k$  se define como  $\sqrt{\sum_k |x_k|^2}$ . De este modo, resulta beneficioso desde un punto de vista de utilización del PA hacer cumplir esta restricción cuando se diseñan los libros de códigos de precodificador y, por ello, se hace referencia a (2) como la propiedad de utilización del PA.

La utilización de toda la potencia se asegura asimismo mediante la llamada propiedad de módulo constante, que significa que todos los elementos escalares de un precodificador tienen la misma norma (módulo). Se verifica fácilmente que un precodificador de módulo constante también cumple la restricción de utilización completa del PA

en (2) y, por ello, la propiedad de módulo constante constituye una condición suficiente pero no necesaria para la utilización completa del PA.

Como aspecto adicional del enlace descendente de LTE y de la adaptación de transmisor asociada, el UE informa del CQI y de los precodificadores al eNodeB a través de un canal de retroalimentación. El canal de retroalimentación está bien en el Canal de Control de Enlace Ascendente Físico (PUCCH – Physical Uplink Control Channel, en inglés) o bien en el Canal Compartido de Enlace Ascendente Físico (PUSCH – Physical Uplink Shared Channel, en inglés). El primero es un tubo de bits bastante estrecho en el que la retroalimentación de CSI es informada en una forma configurada semiestáticamente y periódica. Por otro lado, la información sobre el PUSCH se activa dinámicamente como parte de la concesión de enlace ascendente. De este modo, el eNodeB puede planificar las transmisiones de CSI de una manera dinámica. Además, en contraste con el informe del CSI sobre el PUCCH, en el que el número de bits físicos esta actualmente limitado a 20, los informes del CSI sobre el PUSCH pueden ser considerablemente mayores. Dicha división de recursos tiene sentido desde la perspectiva de que los recursos configurados semiestáticamente tales como el PUCCH no se pueden adaptar a un cambio rápido de las condiciones del tráfico, haciendo por ello que sea importante limitar su consumo total de recursos.

De manera más general, mantener el coste de señalización bajo sigue siendo un objetivo de diseño importante en los sistemas inalámbricos. En este sentido, la señalización del precodificador puede consumir fácilmente una gran parte de los recursos disponibles a menos que el protocolo de señalización se diseñe cuidadosamente. La estructura de los posibles precodificadores y el diseño global del libro de códigos del precodificador realiza una importante función en mantener el coste de la señalización bajo. Una estructura de precodificador particularmente prometedora implica la descomposición del precodificador en dos matrices, un llamado precodificador factorizado. El precodificador puede escribirse entonces como un producto de dos factores

$$W_{N_T \times r} = W_{N_T \times k}^{(c)} W_{k \times r}^{(t)}, \quad (3)$$

en la que un precodificador de conversión  $N_T \times k$   $W_{N_T \times k}^{(c)}$  intenta capturar propiedades de banda ancha / largo plazo del canal tal como correlación, mientras que el precodificador de sintonización  $k \times r$   $W_{k \times r}^{(t)}$  tiene como objetivo las propiedades de selectivo en frecuencia / corto plazo del canal.

Además, los precodificadores de conversión y de sintonización factorizados representan el precodificador global  $W_{N_T \times r}$ , que está inducido por las entidades señalizadas. El precodificador de conversión es típicamente, pero no necesariamente, reportado con una granularidad más gruesa en tiempo y/o frecuencia que el precodificador de sintonización, para ahorrar coste y/o complejidad. El precodificador de conversión sirve para aprovechar las propiedades de correlación para centrar el precodificador de sintonización en “direcciones” en las que el canal de propagación por término medio es “fuerte”. Típicamente, esto se cumple reduciendo el número de dimensiones  $k$

cubiertas por el precodificador de sintonización. En otras palabras, el precodificador de conversión  $W_{N_T \times k}^{(c)}$  se convierte en una matriz alta con un número reducido de columnas. En consecuencia, el número de filas  $k$  del precodificador de sintonización  $W_{k \times r}^{(t)}$  es asimismo reducido. Con un número de dimensiones tan reducido, el libro de códigos para el precodificador de sintonización, que fácilmente consume la mayoría de los recursos de señalización, dado que necesita ser actualizado con una granularidad fina, se puede reducir y mantener aún un buen rendimiento.

Los precodificadores de conversión y de sintonización pueden tener cada uno un libro de códigos de su propiedad. El objetivo del precodificador de conversión es tener una alta resolución espacial y, de este modo, un libro de códigos con muchos elementos, mientras que el libro de códigos del precodificador de sintonización está seleccionado a partir de las necesidades de ser bastante pequeño para mantener el coste de la señalización en un nivel razonable.

Para ver cómo se aprovechan las propiedades de correlación y la reducción de dimensión lograda, considérese el caso común de una matriz con un total de  $N_T$  elementos dispuestos en  $N_T/2$  polos cruzados muy cerca unos de otros. Sobre la base de la dirección de polarización de las antenas, las antenas en la configuración de polos cruzados muy cerca unos de otros se pueden dividir en dos grupos, en los que cada grupo es una Matriz Lineal Uniforme (ULA – Uniform Linear Array, en inglés) co-polarizada de pequeña separación con  $N_T/2$  antenas. Las antenas muy juntas a menudo conducen a una alta correlación de canal y la correlación puede a su vez aprovecharse para mantener un bajo coste de señalización. Los canales correspondientes a cada uno de tales grupos de antenas ULA se denotan  $H_1$  y  $H_2$ , respectivamente. Por conveniencia de notación, las ecuaciones siguientes descartan los subíndices que indican las dimensiones de las matrices, así como el subíndice  $n$ . Suponiendo ahora que el precodificador de conversión  $W^{(c)}$  tiene una estructura diagonal de bloques,

$$\mathbf{W}^{(c)} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

El producto del canal de MIMO y el precodificador global puede escribirse entonces como

$$\begin{aligned} \mathbf{H}\mathbf{W} &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_/ & \mathbf{H}_\backslash \end{bmatrix} \mathbf{W}^{(c)} \mathbf{W}^{(t)} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_/ & \mathbf{H}_\backslash \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} \end{bmatrix} \mathbf{W}^{(t)} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_/ \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} & \mathbf{H}_\backslash \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} \end{bmatrix} \mathbf{W}^{(t)} = \mathbf{H}_{\text{eff}} \mathbf{W}^{(t)} \end{aligned} \quad (5)$$

Como se puede ver, la matriz  $\tilde{\mathbf{W}}^{(c)}$  precodifica separadamente cada grupo de antenas ULA, formando con ello un

5 canal efectivo más pequeño y mejorado  $\mathbf{H}_{\text{eff}}$ . Si  $\tilde{\mathbf{W}}^{(c)}$  corresponde a un vector de formación de haz, el canal efectivo podría reducirse a tener solo dos antenas virtuales, lo que reduce el tamaño necesario del libro de códigos utilizado para la segunda matriz de precodificación de sintonización  $\mathbf{W}^{(t)}$  cuando rastrea las propiedades instantáneas del canal. En este caso, las propiedades instantáneas del canal dependen en gran manera de la relación de fase relativa entre las dos polarizaciones ortogonales.

10 Resulta asimismo de ayuda para una comprensión más completa de esta descripción considerar la teoría relativa a "mallado de haces", junto con la precodificación basada en la Transformada Discontinua de Fourier (DFT – Discrete Fourier Transform, en inglés). Los vectores de precodificador basados en DFT para  $N_T$  antenas de transmisión se pueden escribir en la forma

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_n^{(N_T, Q)} &= \left[ w_{1,n}^{(N_T, Q)} \quad w_{2,n}^{(N_T, Q)} \quad \dots \quad w_{N_T, n}^{(N_T, Q)} \right]^T \\ w_{m,n}^{(N_T, Q)} &= \exp\left( j \frac{2\pi}{N_T Q} mn \right), \quad m = 0, \dots, N_T - 1, \quad n = 0, \dots, QN_T - 1, \end{aligned} \quad (6)$$

15 en la que  $w_{m,n}^{(N_T, Q)}$  es la fase de la antena de orden  $m$ ,  $n$  es el índice del vector del precodificador (es decir, qué haz de los  $QN_T$  haces) y  $Q$  es el factor de sobremuestreo.

Para un buen rendimiento, es importante que función de ganancia de la matriz de dos haces consecutivos se superponga en el dominio angular, de tal manera que la ganancia no caiga demasiado cuando se pasa de un haz a otro. Habitualmente, esto requiere un factor de sobremuestreo de al menos  $Q = 2$ . De este modo, para  $N_T$  antenas, se necesitan al menos  $2N_T$  haces.

Una parametrización alternativa de los vectores de precodificador basados en DFT anteriores es

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{l,q}^{(N_T, Q)} &= \left[ w_{1, Ql+q}^{(N_T, Q)} \quad w_{2, Ql+q}^{(N_T, Q)} \quad \dots \quad w_{N_T, Ql+q}^{(N_T, Q)} \right]^T \\ w_{m, Ql+q}^{(N_T, Q)} &= \exp\left( j \frac{2\pi}{N_T} m \left( l + \frac{q}{Q} \right) \right), \end{aligned} \quad (7)$$

para  $m = 0, \dots, N_T - 1, l = 0, \dots, N_T - 1, q = 0, 1, \dots, Q - 1$ , y en la que l y q juntas determinan el índice del vector de precodificador mediante la relación  $n = Ql + q$ . Esta parametrización también resalta que existen Q grupos de haces, siendo los haces de cada grupo ortogonales entre sí. El grupo de orden q puede estar representado por la matriz generadora

$$\mathbf{G}_q^{(N_T)} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{0,q}^{(N_T,Q)} & \mathbf{w}_{1,q}^{(N_T,Q)} & \dots & \mathbf{w}_{N_T-1,q}^{(N_T,Q)} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Asegurando que solo los vectores de precodificador de la misma matriz de precodificación se están utilizando juntos como columnas del mismo precodificador, resulta claro formar conjuntos de vectores de precodificador para utilizarlos en la llamada precodificación unitaria, en la que las columnas de una matriz de precodificación deben formar un conjunto ortonormal.

Además, para maximizar el rendimiento de la precodificación basada en DFT, resulta útil centrar el mallado de haces simétricamente alrededor del ancho de la matriz. Tal rotación de los haces se puede realizar, multiplicando desde la

izquierda los vectores de DFT anteriores  $\mathbf{w}_n^{(N_T,Q)}$  con una matriz diagonal  $\mathbf{W}_{rot}$  que tiene los elementos

$$[\mathbf{W}_{rot}]_{mm} = \exp\left(j \frac{\pi}{QN_T} m\right). \quad (1)$$

La rotación se puede incluir en el libro de códigos de precodificador o alternativamente realizarse como una etapa separada en la que todas las señales son rotadas de la misma manera, y la rotación puede de este modo ser absorbida en el canal desde la perspectiva del receptor (transparente al receptor). En adelante, cuando se explica la precodificación de DFT en esta memoria, se supone tácitamente que la rotación puede o no haber sido realizada. Esto es, las dos alternativas son posibles sin tener que mencionarlo explícitamente.

Un aspecto de la estructura de precodificador factorizada descrita anteriormente se refiere a reducir el coste asociado con la señalización de los precodificadores, sobre la base señalar los precodificadores de conversión y de sintonización con diferente granularidad de frecuencia y/o tiempo. La utilización de un precodificador de conversión diagonal de bloques se optimiza especialmente para el caso de una matriz de antenas de transmisión que consiste en polos cruzados muy poco separados entre sí, pero existen asimismo otras disposiciones de antenas. En particular, se debe conseguir asimismo un rendimiento eficiente con una ULA de polos cruzados muy poco separados entre sí. No obstante, el método para conseguir un rendimiento eficiente en este sentido no es obvio, con respecto a una estructura de precodificador de conversión diagonal de bloques.

Otro aspecto que se debe considerar es que, en un sentido general, la retroalimentación del precodificador factorizado descrito anteriormente puede evitar una utilización completa del PA, y puede violar la propiedad de rangos anidados mencionada anteriormente. Estos problemas aparecen a partir del hecho de que los dos precodificadores factorizados -es decir, el precodificador de conversión y el precodificador de sintonización- se multiplican entre sí para formar el precodificador global y, de este modo, las reglas normales para asegurar la utilización completa del PA y la propiedad de rangos anidados por medio de los precodificadores de módulo constante y de subconjunto de columnas, respectivamente, no aplican.

Otras consideraciones de precodificación, particularmente en el contexto del enlace descendente de LTE, incluyen el hecho de que el PUCCH no puede soportar un tamaño de carga útil tan grande como el PUSCH, por las razones descritas anteriormente. De este modo, existe un riesgo de problema de "cobertura" cuando un UE informa al CSI sobre el PUCCH. En este sentido, resulta útil comprender que los diseños actuales de precodificador habitualmente están optimizados para transmisiones a/desde un solo UE. En el contexto de MIMO, este contexto de usuario único se denomina MIMO de Usuario Único o SU-MIMO (Single User MIMO). Por el contrario, la planificación conjunta de múltiples UE en los mismos recursos de tiempo / frecuencia se denomina MIMO de Múltiples Usuarios o MU-MIMO (Multi User MIMO, en inglés). MU-MIMO despierta cada vez mayor interés, pero impone diferentes necesidades en el informe del precodificador y las estructuras subyacentes del precodificador.

Se conoce tratar ciertos aspectos de los problemas observados anteriormente. Por ejemplo, el documento WO 2009/025619 A2 da a conocer la utilización de restricciones del libro de códigos, y la utilización ventajosa de menos bits en la retroalimentación relacionada con el precodificador cuando se aplican dichas restricciones. Véase también el documento R1-100852, presentado por el TSG-RAN WG1 #60 del 3GPP en febrero de 2010, que propone la utilización de precodificadores factorizados que forman precodificadores globales, junto con la utilización de la retroalimentación del precodificador que incluye un valor del índice de la Matriz del precodificador (PMI – Precoder Matrix Index, en inglés) para cada selección del precodificador factorizado. Junto con estas líneas, véase la descripción relacionada en el documento R1-101742, presentada en abril de 2010 por el TSG-RAN WG1 #60bis del

3GGP, y que describe asimismo recomendaciones de retroalimentación del precodificador para los precodificadores factorizados.

**Compendio**

- 5 Un aspecto de las enseñanzas de esta memoria se refiere a la señalización de restricciones del libro de códigos, para restringir las recomendaciones del precodificador que se está retroalimentando desde un transmisor receptor remoto, de tal manera que las selecciones de precodificador realizadas por el receptor remoto están restringidas a subconjuntos permitidos de precodificadores dentro de uno o más conjuntos mayores. Como ejemplo no limitativo, estas enseñanzas proporcionan ventajosamente restricciones de precodificador en redes de LTE o de LTE Avanzada, en las que los desarrollos en curso tienen como objetivo el uso de conjuntos de precodificadores más grandes y mejores y, en las que los mecanismos dados a conocer para determinar, señalar y responder a las restricciones del subconjunto proporcionan ventajas de operación significativas. En una realización, un libro de códigos de precodificadores globales se representa en forma factorizada mediante combinaciones definidas de precodificadores de conversión y de sintonización, en las que la señalización de restricción restringe las selecciones de precodificador global restringiendo una o ambas selecciones de precodificador de conversión y de sintonización.
- 10 De manera correspondiente, una realización dada a conocer en esta memoria comprende un método de acuerdo con la reivindicación 1 en un transmisor receptor de comunicación inalámbrico de control de la retroalimentación de la selección de precodificador enviada a otro transmisor receptor de comunicación inalámbrico, en la que el otro transmisor receptor precodifica las transmisiones al transmisor receptor. Como ejemplo no limitativo, el transmisor receptor comprende un terminal móvil u otro tipo de equipo de usuario (UE), y el otro transmisor receptor comprende una estación de base de soporte en una red de comunicación inalámbrica. La retroalimentación de la selección del precodificador indica selecciones de precodificador por parte del transmisor receptor, que se pueden entender como recomendaciones de selección de precodificador que el otro transmisor receptor debe considerar en la determinación de la operación de precodificación que utiliza para transmitir al transmisor receptor.
- 15 El método incluye recibir señalización de restricción desde el otro transmisor receptor que identifica uno o más subconjuntos permitidos dentro de un conjunto definido de precodificadores globales, o bien, en el que el conjunto definido de precodificadores globales se representa mediante conjuntos predefinidos de precodificadores de conversión y precodificadores de sintonización, la señalización de restricción identifica uno o más subconjuntos permitidos de precodificadores dentro de los conjuntos definidos de los precodificadores de conversión y los precodificadores de sintonización. El método incluye además generar la retroalimentación de la selección de precodificador para enviar al otro transmisor receptor basándose en la restricción de las selecciones de precodificador por parte del transmisor receptor de acuerdo con la citada señalización de restricción. Aquí, combinaciones respectivas de precodificadores de conversión y de sintonización corresponden a respectivos de los precodificadores globales.
- 20 El subconjunto o subconjuntos permitidos -es decir, los precodificadores cuya selección está permitida- puede o puede cambiar dinámicamente, para reflejar cambios en los modos de operación, etc. En un ejemplo, existen dos o más subconjuntos predeterminados de precodificadores de conversión y dos o más subconjuntos predeterminados de precodificadores de sintonización, y la señalización de la restricción identifica un subconjunto permitido de precodificadores de conversión y un subconjunto permitido de precodificadores de sintonización. En otros ejemplos, la señalización de la restricción identifica al subconjunto permitido de precodificadores de conversión sin restringir las selecciones de precodificador de sintonización, o viceversa. Se debe observar asimismo que puede existir un número mayor o menor de precodificadores de sintonización y/o subconjuntos de precodificadores de sintonización que precodificadores de conversión y/o subconjuntos de precodificadores de conversión. Ni necesariamente los tamaños del conjunto / subconjunto de precodificadores de sintonización coinciden con los utilizados para los precodificadores de conversión.
- 25 A pesar de ello, los precodificadores de conversión y de sintonización operan como representaciones factorizadas de un conjunto de precodificadores globales formado de combinaciones definidas de precodificadores de conversión y de sintonización. Esta representación factorizada se aprovecha en esta memoria de varias maneras ventajosas, tales como en cómo se forma y procesa la señalización de restricción, y en cómo los libros de códigos de precodificador son estructurados, almacenados y se accede a ellos observando las restricciones modificables dinámicamente impuestas por la señalización de la restricción.
- 30 Como ejemplo, el transmisor receptor almacena o guarda de otro modo una representación de un libro de códigos de precodificador de conversión, que representa un conjunto definido de precodificadores de conversión que están agrupados de manera lógica en dos o más subconjuntos, y, asimismo, almacena un libro de códigos de precodificador de sintonización que representa un conjunto definido de precodificadores de sintonización agrupados en dos o más subconjuntos. Cada precodificador representa una entrada del libro de códigos que está identificada, por ejemplo, por un valor de índice. De este modo, en una o más realizaciones, el transmisor receptor genera la retroalimentación de la selección de precodificador como indicaciones de los valores del índice correspondientes a los precodificadores que selecciona de los libros de códigos de precodificadores de conversión y de sintonización, entendiéndose que tales parejas definidas representan en forma factorizada un precodificador global que el otro transmisor receptor debe considerar.
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

Ventajosamente, la señalización de la restricción indica restricciones del precodificador de conversión, restricciones del precodificador de sintonización o ambas. De este modo, la retroalimentación de la selección del precodificador en cualquier momento dado indica un precodificador de conversión seleccionado o un precodificador de sintonización seleccionado, o ambos, estando estas selecciones restringidas para el subconjunto o subconjuntos permitidos actualmente. De este modo, la señalización de restricción restringe de manera efectiva las recomendaciones de precodificación del transmisor receptor a aquellos precodificadores globales que están formados a partir de los precodificadores de conversión y de sintonización que son candidatos para su selección por parte del transmisor receptor en virtud de su pertenencia al subconjunto o subconjuntos permitidos actualmente de precodificadores de conversión y de sintonización.

Ventajosamente, entonces, uno o más libros de códigos de precodificadores pueden ser “parametrizados” en el sentido de que uno o más subconjuntos predefinidos dentro de tales libros de códigos pueden estar asociados con un modo de operación o con ciertos parámetros de operación, mientras que uno o más subconjuntos predefinidos distintos pueden estar asociados con otro modo de operación o con ciertos parámetros de operación distintos, y las restricciones del libro de códigos pueden estar señalizadas simplemente mediante señalización de una indicación del modo o parámetro o parámetros que están en efecto. Un ejemplo no limitativo comprende separar el libro de códigos de precodificador de conversión y/o de sintonización en un subconjunto favorecido para uso como SU-MIMO y un subconjunto favorecido para uso como MU-MIMO.

Con estas posibilidades no limitativas en mente, el método comprende además generar la retroalimentación de la selección de precodificador para enviar al otro transmisor receptor. Particularmente, la retroalimentación de la selección de precodificador se genera sobre la base de restringir las selecciones de precodificador de conversión y de sintonización de acuerdo con la citada señalización de la restricción. Es decir, el transmisor receptor considera solo aquellos precodificadores que son candidatos para su selección en virtud de su pertenencia a los o uno o más subconjuntos de precodificadores que están indicados por la señalización de la restricción como permitidos para su consideración.

De forma complementaria, las enseñanzas de esta memoria incluyen un método para que un primer transmisor receptor señalice las restricciones de selección de precodificador a un segundo transmisor receptor, entendiéndose que el primer transmisor receptor recibe la retroalimentación de la selección del precodificador del segundo transmisor receptor, para considerar en la determinación de la operación de precodificación que aplica para precodificar las transmisiones al segundo transmisor receptor. El primer transmisor receptor puede ser, a modo de ejemplo no limitativo, una estación de base de la red tal como un eNodoB en una red de LTE o de LTE Avanzada. De manera correspondiente, el segundo transmisor receptor comprende un terminal de usuario u otro de tales equipos de usuario (UE).

En una realización, el método incluye que el primer transmisor receptor determine una restricción que limite la selección de precodificador por parte del segundo transmisor receptor a uno o más subconjuntos de precodificadores permitidos dentro de conjuntos definidos de precodificadores de conversión y de precodificadores de sintonización. El método incluye además generar señalización de restricción para indicar los uno o más subconjuntos permitidos al segundo transmisor receptor, que pueden almacenar los conjuntos definidos de precodificadores de conversión y de sintonización como libros de códigos de precodificadores de conversión y de sintonización. La restricción o restricciones, de este modo, se pueden entender como limitar las selecciones de precodificadores de conversión y/o de sintonización por parte del segundo transmisor receptor a un subconjunto o subconjuntos permitidos dentro de los libros de códigos de precodificadores de conversión y/o sintonización. En efecto, entonces, esto permite que el primer transmisor receptor limite las selecciones de un precodificador global por parte del segundo transmisor receptor a un subconjunto dado de precodificadores globales dentro de un libro de códigos de precodificadores globales.

Para activar las restricciones en el segundo transmisor receptor, el primer transmisor receptor envía señalización de restricción al segundo transmisor receptor, para restringir la selección de precodificador por parte del segundo transmisor receptor a los uno o más subconjuntos permitidos. De nuevo, los precodificadores de conversión y de sintonización representan un conjunto de precodificadores globales en forma factorizada, de tal manera que las recomendaciones de precodificador por parte del segundo transmisor receptor pueden estar restringidas a un subconjunto deseado de precodificadores globales sobre la base de indicar las correspondientes restricciones de selección para los precodificadores de conversión y/o de sintonización.

En un ejemplo no limitativo, el primer transmisor receptor, que de nuevo puede ser una estación de base de la red de algún tipo, opera en un modo SU-MIMO en ciertos momentos, y opera en un modo MU-MIMO en ciertos momentos distintos. Ciertos de los precodificadores globales o, de manera equivalente, ciertos de los precodificadores de conversión y/o de sintonización, están predefinidos como asociados con el modo de operación SU-MIMO, y algunos otros están predefinidos como asociados con el modo de operación MU-MIMO. De este modo, dado que el primer transmisor receptor conmuta dinámicamente entre los modos de operación SU-MIMO y MU-MIMO, utiliza la señalización de restricción para identificar qué modo está activo. Esta indicación identifica de manera efectiva el subconjunto o subconjuntos de precodificadores permitidos al segundo transmisor receptor, dado que está configurado para asociar uno o más subconjuntos de precodificadores con operación SU-MIMO y uno o más subconjuntos de precodificadores distintos con operación MU-MIMO.

De manera similar, los precodificadores se pueden agrupar en diferentes subconjuntos de acuerdo con uno o más parámetros adicionales. Por ejemplo, un subconjunto de los precodificadores puede incluir solo precodificadores que satisfacen una propiedad de utilización completa del PA para la utilización del amplificador de potencia en el primer transmisor receptor. Otro subconjunto de precodificadores no satisface la propiedad de utilización completa del PA. De esta manera, cuando el primer transmisor receptor prioriza la utilización completa del PA, utiliza su señalización de restricción para identificar como subconjunto o subconjuntos permitidos solo aquellos precodificadores que satisfacen la propiedad de utilización completa del PA. De lo contrario, la señalización de restricción se puede utilizar para indicar como subconjunto o subconjuntos permitidos aquellos precodificadores que no satisfacen la propiedad. Tal control puede ser llevado a efecto, por ejemplo, poniendo o quitando una marca transportada por la señalización de restricción, en la que el segundo transmisor receptor está configurado para reconocer el estado de esa marca como indicativo de qué subconjunto o subconjuntos de precodificadores están permitidos.

Por supuesto, la presente invención no está limitada al breve resumen de características y ventajas anterior. Otras características y ventajas se reconocerán a partir de la siguiente explicación detallada de realizaciones de ejemplo y a partir de los dibujos que se acompañan.

15 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es un diagrama de bloques de realizaciones de ejemplo de un primer transmisor receptor que está configurado para transmitir transmisiones precodificadas a un segundo transmisor receptor.

La figura 2 es un diagrama de una realización de subconjuntos lógicos de precodificadores dentro de un libro de códigos de precodificadores mayor.

20 La figura 3 es un diagrama de una realización de precodificadores que se separan de manera lógica dentro de un libro de códigos en subconjuntos permitidos actualmente y no permitidos actualmente, para restringir las recomendaciones de selección de precodificador.

25 La figura 4 es un diagrama de una realización de precodificadores que están separados de manera lógica dentro de un libro de códigos en pluralidades primera y segunda, tal como en el que la primera pluralidad de precodificadores está asociada con un modo de operación y la segunda pluralidad de precodificadores está asociada con otro modo de operación.

La figura 5 es un diagrama de una realización de una estructura de señalización utilizada para señalar de manera eficiente las restricciones de precodificador.

30 La figura 6 es un diagrama de una realización de precodificadores que están separados de manera lógica dentro de un libro de códigos en diferentes tipos de precodificadores.

La figura 7 es un diagrama de una realización de almacenar / guardar libros de códigos de precodificador, en el que cada libro de códigos se utiliza para guardar un tipo diferente de precodificador.

35 La figura 8 es un diagrama de una realización de guardar precodificadores factorizados en el que un precodificador recomendado está definido o formado como la matriz de multiplicación de un par seleccionado de precodificadores factorizados.

La figura 9 es un diagrama de flujo lógico que ilustra una realización de un método de generación de retroalimentación de precodificador en un segundo transmisor receptor, en respuesta a la señalización de restricción de un primer transmisor receptor.

40 La figura 10 es un diagrama de flujo lógico que ilustra una realización de un método de restricción de selección de precodificador y de señalización en un primer transmisor receptor, para restringir las recomendaciones de precodificador realizadas por un segundo transmisor receptor que recibe transmisiones precodificadas del primer transmisor receptor, a uno o más subconjuntos permitidos actualmente dentro de un conjunto mayor de precodificadores.

45 La figura 11 es un diagrama de bloques de una realización de un circuito de precodificación tal como puede ser implementado en el primer transmisor receptor de la figura 1.

La figura 12 es un diagrama de bloques de una realización de una comunicación inalámbrica, en el que la señalización de la restricción de precodificación y las restricciones de selección de precodificador tal como se enseñan en esta memoria se utilizan entre una estación de base y un elemento del equipo de usuario (un "UE").

**Descripción detallada**

50 La figura 1 representa un primer transmisor receptor 10 de comunicación inalámbrico y un segundo transmisor receptor 12 de comunicación inalámbrico, denominados por conveniencia como los transmisores receptores 10 y 12. El transmisor receptor 10 incluye un número de antenas 14 y circuitos de transmisor receptor 16 asociados (que incluyen uno o más receptores y transmisores de radiofrecuencia), junto con circuitos de control y de procesamiento

18. Al menos funcionalmente, los circuitos de control y procesamiento 18 incluyen un controlador de precodificación 20, un procesador de retroalimentación 22, y uno o más circuitos de memoria 24 que guardan un conjunto 26 de precodificadores 28 globales. El transmisor receptor 10 en una o más realizaciones guarda una representación del libro de códigos del conjunto 26 definido de precodificadores 28 globales y, por tanto, esta descripción, de manera equivalente, se refiere al conjunto 26 como el "libro de códigos" 26. Aquí, una "representación de libro de códigos" comprende, por ejemplo, un conjunto almacenado de entradas de precodificación a las que se accede o que están identificadas de otro modo de acuerdo con valores de índice predefinidos -por ejemplo, existe un mapeo predeterminado de entradas de precodificador a las posiciones de índice del libro de códigos.

Se contempla asimismo en esta memoria que el conjunto 26 de precodificadores 28 se pueda guardar en otro libro de códigos mayor de entradas de precodificador, que puede incluir otros tipos de precodificadores y/o de precodificadores que tienen propiedades diferentes de los precodificadores 28 globales en el conjunto 26. En al menos una realización, al menos uno de los precodificadores 28 globales son precodificadores basados en DFT que proporcionan formación de haz de transmisiones por parte del transmisor receptor 10, en el que cada uno de tales precodificadores representa una única combinación de un precodificador de "conversión" y un precodificador de "sintonización". Es decir, en forma factorizada, cada uno de tales precodificadores 28 globales está formado, por ejemplo, por la multiplicación matricial de un precodificador de conversión y un precodificador de sintonización. De este modo, el conjunto 26 de precodificadores 28 globales puede estar representado de manera alternativa (y equivalente) como conjuntos de precodificadores de conversión y sintonización.

Por lo que respecta al conjunto 26, se debe entender que comprende, por ejemplo, un "libro de códigos" de entradas, representando cada entrada uno de los precodificadores 28 del conjunto 26. El número "28" se utiliza generalmente como referencia tanto en el sentido singular como en el plural, para referirse a uno o a múltiples precodificadores 28. Se utilizan asimismo designaciones de sufijo, donde resulte de ayuda por claridad, por ejemplo, el precodificador 28-1, el precodificador 28-2, etc. Tal como se utiliza en este sentido, "precodificador" significa una matriz de vectores de valores de ponderación de antena para ser aplicados para transmitir una señal desde un conjunto de puertos de antena de transmisión.

El segundo transmisor receptor 12 incluye un número de antenas 30 y de circuitos de transmisor receptor 32 asociados (que incluyen uno o más receptores y transmisores de radiofrecuencia), junto con circuitos de control y procesamiento 34. Al menos funcionalmente, los circuitos de control y procesamiento 34 incluyen circuitos de procesamiento de señal 36 recibidos, por ejemplo, circuitos de desmodulación / descodificación, e incluyen además uno o más circuitos de estimación 38, para estimar las condiciones del canal y/o la calidad de la señal. Debido a que la capacidad del segundo transmisor receptor 12 para recibir transmisiones multiplexadas espacialmente u otras precodificadas desde el primer transmisor receptor 10 depende de las condiciones del canal de propagación, el transmisor receptor 12 utiliza su evaluación de señales recibida del primer transmisor receptor 10 para estimar las condiciones del canal, y esas estimaciones proporcionan una base para que el segundo transmisor receptor 12 realice recomendaciones de precodificador al primer transmisor receptor 10.

Como soporte de tal funcionalidad, los circuitos de control y procesamiento 34 incluyen uno o más circuitos de memoria 40, y un generador de retroalimentación de precodificación 42. El circuito o los circuitos de memoria 40 almacenan, por ejemplo, el mismo libro de códigos 26 de precodificadores 28 que el almacenado en el transmisor receptor 10. De esta manera, el transmisor receptor 12 puede enviar retroalimentación de selección de precodificador 44 al transmisor receptor 10 enviando valores de PMI. Los valores de PMI indican el valor del índice de libro de códigos del precodificador o los precodificadores 28 seleccionado por el transmisor receptor 12, que representan al precodificador o los precodificadores 28 recomendados por el segundo transmisor receptor 12, para su utilización por parte del primer transmisor receptor 10 en la precodificación de transmisiones al segundo transmisor receptor 12. Estas recomendaciones cambian dinámicamente, tal como en respuesta a un cambio en las condiciones del canal entre los transmisores receptores primero y segundo 10 y 12.

Para constreñir o restringir de otro modo las selecciones de precodificador realizadas por el transmisor receptor 12, el transmisor receptor 10 transmite señalización de restricción 48. Ventajosamente las enseñanzas de esta memoria dan a conocer varios planteamientos para parametrizar el conjunto 26 de precodificadores 28 globales, en los que uno o más subconjuntos de precodificadores 28 dentro del libro de códigos 26 se consideran como "permitidos" para su uso cuando un parámetro o parámetros dados toman un cierto valor, mientras que el otro o los otros de los subconjuntos de precodificadores se consideran como "permitidos" cuando los valores del parámetro cambian. Como introducción de ejemplo, el parámetro de interés puede ser el modo de transmisión del transmisor receptor 10, en el que el modo tiene dos valores: SU-MIMO y MU-MIMO. Un subconjunto de precodificadores 28 en el libro de códigos 26 está favorecido por el uso con SU-MIMO, mientras que otro subconjunto está favorecido por el uso con MU-MIMO. De este modo, el valor de un parámetro del modo de transmisión -por ejemplo, establecido cuando MU-MIMO está activo y borrado cuando SU-MIMO está activo- se puede utilizar para indicar qué subconjunto o subconjuntos de precodificadores están permitidos para su uso dentro del libro de códigos 26.

Con respecto a este ejemplo no limitativo, se ve que el planteamiento ventajosamente proporciona un menor coste de señalización. Es decir, la señalización de restricción 48 puede comprender una marca u otro indicador lógico, no obstante, no está tan limitada y puede utilizar otros formatos e incluir otra información. En cualquier caso, la señalización de restricción 48 se debe entender como indicativa al transmisor receptor 12 de qué subconjunto o

subconjuntos de precodificadores 28 de este libro de códigos está permitido seleccionar como recomendaciones de precodificación hacia el transmisor receptor 10. Además, en una o más realizaciones, el transmisor receptor 12 está ventajosamente configurado para utilizar el mismo formato de señalización para su retroalimentación de selección de precodificador 44 independientemente de si se han impuesto restricciones al subconjunto en sus selecciones de precodificador, e independientemente de las restricciones particulares y de cualquier otra de tales restricciones. Entre otras cosas, mantener el mismo formato de señalización sobre restricciones cambiantes simplifica el procesamiento y la transmisión de la retroalimentación de selección de precodificador 44 por parte del transmisor receptor 12, simplifica la recepción y el procesamiento de la retroalimentación de selección de precodificador 44 por parte del transmisor receptor 10 y proporciona un coste de señalización coherente.

En una o más realizaciones, los circuitos de control y procesamiento 18 del transmisor receptor 10 al menos en parte comprenden circuitos basados en la informática, por ejemplo, uno o más microprocesadores y/o procesadores de señales digitales, u otros circuitos de procesamiento digital. En al menos una realización, tales circuitos están configurados especialmente para implementar los métodos enseñados en esta memoria para el transmisor receptor 10, sobre la base de ejecutar las instrucciones de programa informático almacenadas, tal como pueden estar almacenadas en el circuito o los circuitos de memoria 24. Asimismo, en al menos una realización, los circuitos de control y procesamiento 34 en el segundo transmisor receptor 12 están implementados al menos en parte mediante circuitos de procesamiento digital programables. Por ejemplo, los circuitos de control y procesamiento 34 en una o más realizaciones incluyen uno o más microprocesadores o procesadores de señal digital configurados para implementar al menos una porción de los receptores enseñados en esta memoria para el transmisor receptor 12, sobre la base de ejecutar instrucciones de programa informático almacenadas en uno o más circuitos de memoria 40.

Con estos detalles de implementación de ejemplo en mente, el transmisor receptor 12 está configurado para controlar la retroalimentación de la selección de precodificador 44 enviada a otro transmisor receptor 10, en el que el otro transmisor receptor 10 precodifica las transmisiones 46 al transmisor receptor 12. La retroalimentación de la selección de precodificador 44 indica los precodificadores 28 seleccionados dinámicamente por el segundo transmisor receptor 12 desde un libro de códigos 26 definido de precodificadores 28. El transmisor receptor 12 incluye una memoria 40 configurada para almacenar el libro de códigos 26 de precodificadores 28. Además, tal como se ha observado, el transmisor receptor 12 incluye un generador de retroalimentación de precodificación 42, que está configurado para gestionar el libro de códigos 26 como dos o más subconjuntos predeterminados de precodificadores, en el que al menos un subconjunto predeterminado incluye más de uno de los precodificadores 28 en el libro de códigos 26. Es decir, al menos uno de los subconjuntos no es un conjunto de uno.

Como ejemplo, véase momentáneamente la figura 2, en la que un libro de códigos 26 de ejemplo incluye una pluralidad de precodificadores 28, representados individualmente como 28-1, 28-2, 28-3, etc. Como una persona no experta en la materia comprenderá, cada precodificador 28 es, por ejemplo, una matriz de valores numéricos correspondientes a los pesos de la señal de la antena de transmisión. Se observa que existen un total de N precodificadores 28 en la ilustración de ejemplo, estando esos N precodificadores 28 subdivididos en varios subconjuntos 50. Al menos un subconjunto 50 incluye más de dos precodificadores 28. A modo de ejemplo no limitativo, los N precodificadores 28 están divididos en dos subconjuntos denominados 50-1 y 50-2. Para ilustración, el subconjunto 50-1 incluye al menos los precodificadores 28 identificados como 28-1, 28-2 y 28-3, que están identificados también como "ENTRADA 1", "ENTRADA 2" y "ENTRADA 3" en el dibujo. El subconjunto 50-2 incluye al menos los precodificadores 28 denominados 28-(N-1) y 28-N, que están identificados asimismo como "ENTRADA N-1" y "ENTRADA N".

De este modo, en este caso de ejemplo, cada subconjunto 50-1 y 50-2 incluye más de un precodificador 28 en el conjunto global de N precodificadores 28. Ventajosamente, el transmisor receptor 10 está configurado para generar señalización de restricción 48 que indica de manera eficiente cuál o cuáles de los subconjuntos 50 están permitido actualmente para su uso por parte del transmisor receptor 12 en la generación de la retroalimentación de selección de precodificador 44. Por ejemplo, un subconjunto 50 podría estar asociado con un modo de operación, mientras que otro subconjunto 50 podría estar asociado con otro modo de operación. El transmisor receptor 10 puede simplemente establecer o borrar una marca o indicador de modo para indicar qué subconjunto 50 se debe considerar actualmente como subconjunto "permitido" para selecciones de precodificador por parte del transmisor receptor 12.

De manera correspondiente, el receptor en los circuitos de transmisor receptor 32 del transmisor receptor 12 está configurado para recibir señalización del transmisor receptor 10, incluyendo la señalización de restricción 48. Tal como se ha observado, la señalización de restricción 48 indica cuál de los uno o más subconjuntos 50 predeterminados son actualmente subconjuntos permitidos (tal como se muestra en la figura 3) para su uso por parte del citado transmisor receptor 12 en la determinación de la retroalimentación de selección de precodificador 44. Aquí, el generador de retroalimentación de precodificación 42 está configurado para restringir la selección de precodificador para la retroalimentación de selección de precodificador 44 a los precodificadores 28 de los subconjuntos permitidos actualmente 52. Por el contrario, los subconjuntos restantes entre los subconjuntos 50 definidos serían considerados como subconjuntos no permitidos 54, y los precodificadores 28 individuales que son miembros de los subconjuntos no permitidos 54 estarían por lo tanto excluidos de consideración en la generación de la retroalimentación de selección de precodificador 44.

En una realización, y con referencia a la figura 4, el transmisor receptor 12 está configurado para gestionar el libro de códigos 26 como dos o más subconjuntos 50 predeterminados asociando una primera pluralidad 56 de precodificadores 28 en el libro de códigos 26 con un primer modo de operación y asociando una segunda pluralidad 58 de precodificadores 28 en el libro de códigos 26 con un segundo modo de operación. Como ejemplo no limitativo, la primera pluralidad 56 de precodificadores 28 está prevista para su uso en un modo de operación particular, mientras que la segunda pluralidad 58 de precodificadores 28 está prevista para su uso en un modo de operación diferente. El primer modo es, por ejemplo, SU-MIMO, mientras que el segundo modo es MU-MIMO. En al menos una realización en la que los subconjuntos 50 de precodificadores 28 están agrupados según los modos, la señalización de restricción 48 comprende un indicador de modo que indica el modo de operación que está o estará activo y, de esta manera, indica qué modo aplica para la selección de precodificadores 28 del libro de códigos 26.

Con referencia a la figura 5, se ve una realización de la señalización de restricción 48, en la que la señalización comprende un identificador de mensaje (ID) 60 y un indicador 62. Como ejemplo, el ID de mensaje 60 es un valor numérico único asociado con la señalización de restricción, y el transmisor receptor 12 está configurado para reconocer la señalización de restricción 48, sobre la base de reconocer el identificador 60. En al menos una realización, el indicador 62 comprende un indicador de modo. Por ejemplo, el indicador de modo puede ser un solo bit que se establece para indicar que un modo está activo, o se borra para indicar que otro modo está activo. El transmisor receptor 12 en tal realización restringiría sus selecciones de precodificador (recomendaciones) a los precodificadores 28 que están asociados de manera lógica con el modo indicado -es decir, a los precodificadores 28 que están permitidos para el modo indicado.

Por supuesto, hasta el extremo de que se definen más de dos modos, el indicador 62 puede comprender un valor binario de múltiples bits que indica cuál (o cuáles) de los modos definidos están activos. De manera similar, en una o más realizaciones, existen N precodificadores 28 en total en el libro de códigos 26, donde N es un entero  $> 2$ . Además, existen M subconjuntos 50 predeterminados definidos en el conjunto global de N precodificadores 28, donde  $M < N$ . Con esta relación, al menos un subconjunto 50 (por ejemplo, el subconjunto 50-1 o el 50-2) incluye más de un precodificador 28. De manera correspondiente, la señalización de restricción 48 en una o más realizaciones incluye una máscara de bits de longitud M que indica cuáles de los M subconjuntos 50 predeterminados son subconjuntos permitidos actualmente 52. De manera alternativa, la señalización de restricción 48 incluye uno o más valores binarios, por ejemplo, el indicador 62 está formado como uno o más valores binarios, en los que cada valor indica cuál o cuáles de los subconjuntos 50 se deben tratar por parte del transmisor receptor 12 como subconjuntos permitidos actualmente 52.

De este modo, tal como se ve en la figura 6, el libro de códigos 26 en una o más realizaciones se puede considerar como dividido en al menos un primer tipo 64 de precodificadores 28 y un segundo tipo 66 de precodificadores 28. Ambos tipos pueden estar representados utilizando estructuras de matriz / vector similares, pero pueden tener valores que conducen a diferentes características de operación para el transmisor receptor 10, o valores que están optimizados para ciertas condiciones de operación en el transmisor receptor 10. De este modo, el transmisor receptor 10 restringiría las selecciones de precodificador por parte del transmisor receptor 12 a cualquier tipo de precodificador que mejor se adapte a las condiciones o modo de operación actuales.

Además, se debe observar que en una o más realizaciones de esta memoria los precodificadores 28 en el libro de códigos 26 almacenado en el transmisor receptor 10 se consideran como y se denominan en esta memoria precodificadores "globales" 28 en el sentido de que se puede entender que representan la combinación de un precodificador de conversión seleccionado y un precodificador de sintonización seleccionado, que se explicaron en forma de ejemplo anteriormente en esta memoria. Entendiendo esto, un precodificador de conversión seleccionado y un precodificador de sintonización seleccionado se entienden como una representación "factorizada" de un precodificador 28 global seleccionado, en el sentido de que, por ejemplo, el producto matricial de los precodificadores de conversión y de sintonización seleccionados forma el correspondiente precodificador 28 global seleccionado.

De esta manera, es equivalente restringir las selecciones de precodificador a subconjuntos definidos de precodificadores 28 globales, o restringir selecciones de precodificador a subconjuntos definidos de los precodificadores de conversión y de sintonización seleccionados que representan la forma factorizada de los precodificadores 28 globales. En este sentido, el transmisor receptor 10 y/p el transmisor receptor 12 pueden almacenar los precodificadores 28 globales del libro de códigos 26, o el libro de códigos 26 puede estar estructurado como dos libros de códigos, uno que contiene precodificadores de conversión y uno que contiene precodificadores de sintonización. El uso de libros de códigos de precodificador de conversión y de sintonización factorizados, y el uso de señalización de restricción 48 que indica restricciones de precodificadores de conversión y/o de sintonización ofrece una serie de ventajas, en términos de poder definir de manera flexible las restricciones del subconjunto y en términos de poder señalar de manera eficiente tales restricciones.

Una disposición de ejemplo aparece en la figura 7, en la que el libro de códigos 26 está representado como comprendiendo un libro de códigos de precodificador de conversión 70 de precodificadores de conversión 74 y un libro de códigos de precodificador de sintonización 72 de precodificadores de sintonización 76. La figura 8 ilustra que la pluralidad de precodificadores de conversión 74, al menos de manera lógica, puede ser considerada como un conjunto 80 mayor, definido, de precodificadores de conversión 74 que está subdividido en dos o más subconjuntos

82. Asimismo, la pluralidad de precodificadores de sintonización 76 puede ser considerada como un conjunto 86 de precodificadores de sintonización que está subdividido en dos o más subconjuntos 88. Se debe observar que los tamaños o números de subconjuntos pueden no ser necesariamente iguales entre los libros de códigos. Se apreciará entonces, que el transmisor receptor 10 puede guardar un libro de códigos o conjunto 26 de precodificadores 28, en el que al menos algún número de esos precodificadores 28 son precodificadores “globales”, representado cada uno una única combinación de un precodificador de conversión 74 y un precodificador de sintonización 76. De este modo, las restricciones de precodificador se pueden generar y señalar en términos de cuáles de los precodificadores globales está permitido utilizar, o, de manera equivalente, en términos de cuáles de los precodificadores de conversión 74 y/o precodificadores de sintonización 76 está permitido utilizar.

10 Por ejemplo, la señalización de restricción 48 del transmisor receptor 10 se puede generar y señalar dinámicamente cuando sea necesario, para indicar cuáles de los subconjuntos 82 y/o los subconjuntos 88 se deben considerar por parte del transmisor receptor 12 como “permitidos” para ser utilizados en generar la retroalimentación de selección de precodificador 44. La ilustración muestra que un subconjunto 82 de precodificadores de conversión 74 es un subconjunto permitido 84-1 y que un subconjunto 88 de precodificadores de sintonización 76 es un subconjunto permitido 84-2. Se debe entender que se pueden aplicar restricciones a los subconjuntos 82 de precodificadores de conversión 74, los subconjuntos 88 de precodificadores de sintonización 76, o a ambos. La manera particular en la que se aplica la restricción dependerá de los detalles de factorización aplicables a los precodificadores de conversión y de sintonización 74 y 76.

20 Tal como se ha observado, el transmisor receptor 12 puede ser un UE u otro tipo de dispositivo de comunicación inalámbrica, y el transmisor receptor 10 puede ser un eNodoB en una red de LTE o de LTE Avanzada, o puede ser otro tipo de estación de base de la red de comunicación inalámbrica. En al menos una de tales realizaciones, el transmisor receptor 12 está configurado para recibir la citada señalización de restricción 48 como señalización de capa de Control de Recursos de Radio (RRC – Radio Resource Control, en inglés). Se debe observar asimismo que el transmisor receptor 12 en una o más realizaciones no necesariamente opera con restricciones de selección de precodificador. Por ejemplo, en una realización, el generador de retroalimentación de precodificación 42 está configurado para utilizar o no utilizar restricciones de subconjunto en sus selecciones de precodificador, dependiendo de la señalización de restricción 48. Por ejemplo, existe un valor de señalización o patrón definido que indica si la restricción se debe utilizar, o la ausencia de un valor de restricción señalado explícitamente se toma como que la restricción no está en uso.

30 Con las posibilidades anteriores para la operación del transmisor receptor 12 en mente, la figura 9 ilustra un método 900 realizado en el transmisor receptor 12 con respecto a un transmisor receptor 10. El método 900 ilustrado incluye recibir (Etapa 902) señalización de restricción 48 del transmisor receptor 10 que identifica uno o más subconjuntos 50 permitidos dentro de un conjunto 26 definido de precodificadores 28 globales, o, donde el conjunto 26 definido de precodificadores 28 globales está representado mediante conjuntos definidos 80, 86 de precodificadores de conversión 74 y de precodificadores de sintonización 76, la señalización de restricción 48 identifica uno o más subconjuntos permitidos 84 de precodificadores 74, 76 dentro de los conjuntos 80, 86 definidos de los citados precodificadores de conversión 74 y precodificadores de sintonización 76. El método 900 incluye además generar (Etapa 904) la citada retroalimentación de selección de precodificador (44) para enviar al otro transmisor receptor (10) sobre la base de restringir (Etapa 906) las selecciones de precodificador por parte del transmisor receptor (12) de acuerdo con la señalización de restricción (48).

45 De este modo, la señalización de restricción 48 puede ser generada y transmitida por el transmisor receptor 10, explícitamente en términos de los precodificadores 28 en el conjunto 26 definido -es decir, para identificar un subconjunto 50 permitido de tales precodificadores 28. De manera alternativa pero equivalente, el transmisor receptor 10 puede generar y transmitir la señalización de restricción 48 en términos de subconjuntos permitidos 84 de precodificadores 74, 76 en los conjuntos 80, 86 definidos de precodificadores de conversión 74 y de precodificadores de sintonización 76. Más concretamente, la selección de precodificador de conversión y/o de sintonización puede estar restringida, para conseguir una restricción equivalente en la selección de precodificadores 28. Además, en una o más realizaciones, la señalización de restricción 48 identifica un subconjunto o subconjuntos 50 permitidos de precodificadores 28 (globales), y el transmisor receptor 12 mapea o traduce de otro modo tales restricciones en restricciones de selección de precodificadores de conversión y/o de sintonización.

55 En ese punto, tal como se ha observado, respectivas combinaciones de precodificadores de conversión y de sintonización 74, 76 corresponden a respectivos de los precodificadores 28 globales. Es decir, cada uno de tales precodificadores 28 globales representa una única combinación de un precodificador de conversión 74 y un precodificador de sintonización 76. De manera correspondiente, en al menos una realización del método 900, un libro de códigos de precodificador de conversión 70 contiene el conjunto 80 definido de precodificadores de conversión 74 y un libro de códigos de precodificador de sintonización 72 contiene el conjunto 86 definido de precodificadores de sintonización 76, y la señalización de restricción 48 indica al menos uno de: (a) un subconjunto 84-1 permitido de precodificadores de conversión 74 en el libro de códigos de precodificador de conversión 70 y (b) un subconjunto 84-2 permitido de precodificadores de sintonización 76 en el citado libro de códigos de precodificador de sintonización 72.

Se debe entender que la retroalimentación de selección de precodificador 44 puede indicar simultáneamente los precodificadores de conversión y de sintonización seleccionados, o puede indicar el precodificador de conversión seleccionado en alguno otro caso, y el precodificador de sintonización seleccionado en otros casos. Como ejemplo de esto, el intervalo de selección del precodificador de conversión es menor que el intervalo de selección del precodificador de sintonización -es decir, las selecciones de precodificador de sintonización se actualizan con más frecuencia que las selecciones de precodificador de conversión. De este modo, la retroalimentación de selección de precodificador 44 no necesita indicar las selecciones de precodificador de conversión con tanta frecuencia como las selecciones de precodificador de sintonización. De manera similar, la retroalimentación de selección de precodificador 44 se puede enviar en diferentes canales o incluso en capas de protocolo. En otras variaciones, una selección de precodificador de conversión cubre una banda de frecuencias relativamente ancha, que está subdividida en subbandas más estrechas y respectivas selecciones de precodificador de sintonización están señalizadas respectivamente para cada subbanda.

Volviendo al transmisor receptor 10, la figura 10 ilustra un método 1000, en el que el controlador de precodificación 20 del transmisor receptor 10 determina (Etapa 1002) una restricción que limita la selección de precodificador por parte del citado transmisor receptor 12 a uno o más subconjuntos 84 permitidos de precodificadores 74, 76 dentro de los conjuntos 80, 86 definidos de precodificadores de conversión 74 y de precodificadores de sintonización 76. El método incluye asimismo generar (Etapa 1004) señalización de restricción 48 para indicar los uno o más subconjuntos (84) permitidos al transmisor receptor 12, y enviar (Etapa 1006) la señalización de restricción 48 al otro transmisor receptor 12. Hacer esto sirve para restringir la selección de precodificador por parte del transmisor receptor 12 a los uno o más subconjuntos (84) permitidos citados, de tal manera que las recomendaciones de precodificación realizadas por el transmisor receptor 12 son coherentes con las restricciones.

El controlador de precodificación 20 está además configurado para generar la señalización de restricción 48 para indicar la restricción. Se comprenderá que este puede ser un proceso dinámico, en el que la señalización de restricción 48 se actualiza cuando es necesario, para reflejar las restricciones cambiantes. Un transmisor receptor en los circuitos de transmisor receptor 16 del transmisor receptor 10 está asociado en cooperación con el controlador de precodificación 20, y está configurado para transmitir la señalización de restricción 48.

En la figura 11, se ve una realización de ejemplo de los circuitos de precodificación 90, tal como está implementado o junto con el controlador de precodificación 20 y el circuito de transmisor receptor 16 del transmisor receptor 10. Los circuitos ilustrados se utilizan para generar las transmisiones precodificadas 46, para transmisión al transmisor receptor 12. Por supuesto, pueden estar soportados otros transmisores receptores además del transmisor receptor 12. Los circuitos de precodificación 90 incluyen circuitos de procesamiento de capas 92, que forman vectores de símbolo de longitud  $s$ , para transmitir la capa en uso para la transmisión de MIMO por parte del transmisor receptor 10, donde el controlador de precodificación 20 ajusta el rango de la transmisión. Los circuitos incluyen además un precodificador 94, que aplica las operaciones de precodificación utilizadas para generar transmisiones precodificadas desde las antenas 14 del transmisor receptor 10, que incluyen las transmisiones precodificadas 46 al transmisor receptor 12. Se debe observar que la operación de transmisor receptor aplicada para las transmisiones de precodificación al transmisor receptor 12 se determinan en consideración de la retroalimentación de selección de precodificador 44 desde el transmisor receptor 12, pero no necesariamente siguen esa retroalimentación.

Se puede observar en la ilustración que circuitos de procesamiento de Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT – Inverse Fast Fourier Transform, en inglés) 96 alimentan a una pluralidad de puertos de antena de transmisión 98. En una o más realizaciones enseñadas en esta memoria, cada precodificador de conversión 74 comprende una matriz diagonal de bloques, en la que cada bloque comprende un precodificador basado en DFT que proporciona varios haces, para formación de haz desde un subconjunto de los  $N_T$  puertos de antena 98. En al menos una de tales realizaciones, el conjunto 80 definido de precodificadores de conversión 74 incluye  $N_T$  precodificadores de conversión 74 diferentes y el conjunto definido 86 de precodificadores de sintonización 76 incluye varios precodificadores de sintonización 76 correspondientes.

Cada precodificador de conversión 74 comprende una matriz diagonal de bloques en la que cada bloque comprende un precodificador basado en DFT que define  $N_T Q$  haces basados en DFT diferentes para un subgrupo en el grupo de  $N_T$  puertos de antena de transmisión 98 en el transmisor receptor 10, donde  $Q$  es un valor entero y en el que los  $N_T Q$  precodificadores de conversión 74 diferentes, junto con los uno o más precodificadores de sintonización 76, corresponde a un conjunto de  $N_T Q$  precodificadores 28 globales diferentes. Cada precodificador 28 global representa de este modo un tamaño de haz basado en DFT de  $N_T$  sobre el grupo de  $N_T$  puertos de antena de transmisión (98).

Volviendo a la figura 12, se ve que el transmisor receptor 10 puede estar implementado como parte de la red de comunicación inalámbrica 100, que incluye una Red de Acceso por radio (102), que incluye una o más estaciones de base 104. Aquí, se debe entender que la estación de base 104 representa al transmisor receptor 10, pero que puede incluir interfaz y circuitos de procesamiento adicionales no explicados hasta ahora. No obstante, dado que dichos circuitos no son relevantes para esta explicación y, en cualquier caso, generalmente se entiende bien en el sector del diseño de estaciones de base, la arquitectura global de la estación de base 104 no se detalla.

Asimismo, se ve en la figura 12 un elemento del equipo de usuario, es decir, el UE 106, que se puede entender como representativo de una realización concreta del transmisor receptor 12. Como con la estación de base 104, el UE 106 incluye la interfaz y circuitos de procesamiento no descritos anteriormente en esta memoria. No obstante, dado que tales circuitos se comprenden bien en un sentido general y no son relevantes para la explicación, no se detallan más aquí. Asimismo, se ve que la RAN 102 está acoplada en comunicación a una Red de Núcleo (CN – Core Network, en inglés) 108, cuya implementación dependerá de los estándares de comunicación inalámbrica en cuestión, por ejemplo, puede ser un Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC – Evolved Packet Core, en inglés) en una implementación de LTE / LTE Avanzada. La CN 108 generalmente está acoplada en comunicación a una o más redes externas 110, tales como la Internet, y permite el suministro de llamada y datos a / desde múltiples UE 106, que están soportados por enlaces de radio a la RAN 102.

La estación de base 104 está configurada para transmitir transmisiones precodificadas al UE 106 ilustrado, sobre la base al menos en parte de la recepción de la retroalimentación de selección de precodificador 44 del UE 106. En particular, no obstante, la selección de precodificadores del UE para recomendación a la estación de base 104 está restringida de acuerdo con su recepción de la señalización de restricción 48. En este contexto, la estación de base 104 almacena un libro de códigos 26 de precodificadores 28 globales. La estación de base 104 alternativamente organiza su libro de códigos 26 como un libro de códigos de precodificador de conversión 70 y un libro de códigos de precodificador de sintonización 72, en el que parejas individuales de los precodificadores de conversión y de sintonización 74 y 76 representan respectivos precodificadores 28 globales en forma factorizada.

Además, en la disposición ilustrada, el UE 106 almacena los mismos o equivalentes libros de códigos, de tal manera que sus indicaciones de selecciones de precodificador son comprendidas por la estación de base 104. Por ejemplo, el UE 106 almacena un libro de códigos de precodificador de conversión 70 y un libro de códigos de precodificador de sintonización 72. La estación de base 104 almacena copias del mismo libro de códigos o, como se ha mencionado, almacena un libro de códigos 26 de precodificadores 28 globales que corresponden a los libros de códigos almacenados por el UE 106. En cualquier caso, el UE 106 está configurado para responder a la señalización de restricción 48 recibida de la estación de base 106, restringiendo sus recomendaciones de precodificador a aquellos precodificadores que están en subconjuntos permitidos actualmente, tal como indica la señalización de restricción.

Por lo que respecta a la precodificación de la estación de base en concreto, y a la precodificación por parte del transmisor receptor 10 en un ejemplo más general, se puede volver al circuito de precodificación 90 de la figura 11. Los circuitos de procesamiento de capa 92 convierten un flujo de datos de entrada, por ejemplo, un flujo de símbolos de entrada, en uno o más vectores de símbolo s. Tal como se ha explicado, el controlador de precodificación 20 proporciona una señal de control del rango a los circuitos de procesamiento de capa 82, para controlar el número de capas a las que se mapean los datos de entrada. El vector o vectores de símbolo son introducidos en el precodificador 94, que aplica una operación de precodificación. Por ejemplo, forma un precodificador 28 global, denotado como  $W$ , como la multiplicación matricial de un precodificador de conversión 74 seleccionado, denotado como  $W^{(c)}$ , y un precodificador de sintonización 76 seleccionado, denotado como  $W^{(t)}$ . Esta operación de precodificación puede o no seguir las recomendaciones representadas por la retroalimentación de selección de precodificador 44, pero el controlador de precodificación 20 está configurado para considerar esa retroalimentación en la determinación de la operación de precodificación aplicada actualmente. La secuencia o secuencias precodificadas son introducidas en los circuitos de IFFT 96, que aplican una IFFT a las secuencias. Tras esa transformación, las secuencias se dirigen a respectivos en un conjunto de puertos de antena 98, para su transmisión desde las antenas del transmisor 14.

En al menos una realización, el transmisor receptor 10 utiliza precodificadores basados en Transformada de Fourier Discontinua (DFT) que implementan un mallado de haces. Este planteamiento es adecuado para antenas polarizadas conjuntamente muy poco separadas entre sí tales como la Matriz Lineal Uniforme con  $N_T$  elementos. De este modo, se debe entender que en una o más realizaciones, los precodificadores 28 globales en el libro de códigos 26 incluyen un número de precodificadores basados en DFT. Por ejemplo, los precodificadores 28 globales pueden estar representados por un número de precodificadores de conversión 74 basados en DFT y los precodificadores de sintonización 76 asociados, tal como se ilustra en la figura 8.

Los precodificadores basados en DFT son asimismo adecuados para el grupo de antenas de  $N_T/2$  elementos ULA en una configuración de polos cruzados muy juntos entre sí. Mediante una elección inteligente de las entradas del libro de códigos para los precodificadores de conversión y de sintonización 74 y 76, y aprovechándolas conjuntamente, las enseñanzas de esta memoria aseguran la reutilización de los  $N_T/2$  precodificadores de tamaño basado en DFT para el grupo de antenas ULA, también para formar el número necesario de precodificadores  $N_T$  de tamaño basado en DFT para una ULA de  $N_T$  elementos. Además, una o más realizaciones dadas a conocer en esta memoria proporcionan una estructura para los precodificadores de conversión 74 que permite la reutilización de libros de códigos existentes con precodificadores basados en DFT y que extienden su resolución espacial.

Además, en al menos una realización, en esta memoria se propone utilizar una estructura de precodificador que resuelve los problemas relacionados con la utilización del PA y la propiedad de rangos anidados para un diseño de precodificador factorizado -por ejemplo, en el caso de que un precodificador global  $W$  esté representado en forma factorizada mediante un precodificador de matriz 74 y un precodificador de sintonización 76. Utilizando un llamado

precodificador de sintonización 76 diagonal de doble bloque combinado con un precodificador de conversión 74 diagonal de bloques, se garantiza la utilización completa del PA, y también la superposición de rangos que aprovecha la propiedad anidada para el precodificador global es posible. No obstante, se debe tener en cuenta que estos y otros tipos y estructuras especiales de precodificador se pueden representar en subconjuntos o grupos en un número mayor de precodificadores, y que los sistemas configurados de acuerdo con las enseñanzas de esta memoria pueden utilizar un libro de códigos que tiene entradas adicionales que no se adaptan a alguna de las diagonales de bloques especializado y otras formas descritas en esta memoria.

En cualquier caso, una realización de ejemplo de esta memoria permite la reutilización de elementos de precodificador basados en DFT para un grupo de antenas ULA en un polo cruzado muy juntos entre sí para crear un mallado de haces con suficiente superposición para una ULA de dos veces el número de elementos con respecto al grupo de antenas ULA. En otras palabras, los precodificadores 28 globales en el libro de códigos 26 pueden estar diseñados para su uso con las antenas múltiples 14 del transmisor receptor 10, independientemente de si esas antenas 14 están configuradas y operadas como una ULA global de  $N_T$  antenas o elementos de antena, o como dos subgrupos de ULA de polarización cruzada, que tienen cada uno  $N_T/2$  antenas o elementos de antena.

Considérese el diseño de precodificador factorizado en diagonal de bloques dado como

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}^{(c)}\mathbf{W}^{(t)} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} \end{bmatrix} \mathbf{W}^{(t)}, \quad (10)$$

en el que  $\mathbf{W}$  = un precodificador 28 global y  $\mathbf{W}^{(c)}$  y  $\mathbf{W}^{(t)}$  representan las parejas de precodificador de conversión / sintonización de las que está formado  $\mathbf{W}$ . Asimismo, se debe observar que con el fin de adaptar la transmisión a polos cruzados a  $\pm 45$  grados, la estructura de cada precodificador de matriz 74 se puede modificar por medio de una multiplicación desde la izquierda con una matriz

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I}e^{j\phi} \\ \mathbf{I} & -\mathbf{I}e^{j\phi} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

que, para  $\Phi = 0$ , rota las polarizaciones 45 grados para alinearse con la polarización horizontal y vertical. Se pueden utilizar otros valores de  $\Phi$  para conseguir varias formas de polarización circular. En adelante, se supone para el propósito de esta explicación que tales rotaciones se absorben en el canal.

Para una ULA de  $N_T$  elementos, el precodificador  $\mathbf{W}$  para rango 1 debe ser un vector  $N_T \times 1$  como

$$\mathbf{W} = \mathbf{w}_n^{(N_T, Q)} = \begin{bmatrix} w_{1,n}^{(N_T, Q)} & w_{2,n}^{(N_T, Q)} & \dots & w_{N_T, n}^{(N_T, Q)} \end{bmatrix}^T. \quad (12)$$

En este contexto, recuérdese que  $\mathbf{W}$  puede estar formada como el producto (multiplicación matricial) de un precodificador de conversión 74 dado y un precodificador de sintonización 76 correspondiente, por ejemplo,  $\mathbf{W} = \mathbf{W}^{(c)}\mathbf{W}^{(t)}$ . Observándose que para las antenas  $m = 0, 1, \dots, N_T/2 - 1$ ,

$$w_{m,n}^{(N_T, Q)} = \exp\left(j \frac{2\pi}{N_T Q} mn\right) = \exp\left(j \frac{2\pi}{\frac{N_T}{2}(2Q)} mn\right) = w_{m,n}^{(N_T/2, 2Q)}, \quad n = 0, \dots, QN_T - 1, \quad (13)$$

mientras que para las antenas restantes  $m = N_T/2 + m', m' = 0, 1, \dots, N_T/2 - 1$

$$\begin{aligned}
 w_{N_T/2+m',n}^{(N_T,Q)} &= \exp\left(j \frac{2\pi}{N_T Q} (N_T/2+m')n\right) \\
 &= \exp\left(j \frac{2\pi}{\frac{N_T}{2}(2Q)} m'n\right) \exp\left(j \frac{\pi}{Q} n\right) \\
 &= w_{m',n}^{(N_T/2,2Q)} \exp\left(j \frac{\pi}{Q} n\right) \\
 &= w_{m',n}^{(N_T/2,2Q)} \alpha, \quad n=0, \dots, QN_T-1.
 \end{aligned} \tag{14}$$

Aquí,  $\alpha \in \left\{ \exp\left(j \frac{\pi}{Q} n\right) : n=0,1, \dots, 2Q-1 \right\}$

Cualquier precodificador de DFT de  $N_T$  elementos se puede de este modo escribir como

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w}_n^{(N_T,Q)} &= \left[ w_{0,n}^{(N_T,Q)} \quad w_{1,n}^{(N_T,Q)} \quad \dots \quad w_{N_T-1,n}^{(N_T,Q)} \quad w_{0,n}^{(N_T,Q)} \alpha \quad w_{1,n}^{(N_T,Q)} \alpha \quad \dots \quad w_{N_T-1,n}^{(N_T,Q)} \alpha \right]^T \\
 &= \begin{bmatrix} \mathbf{w}_n^{(N_T/2,2Q)} \\ \mathbf{w}_n^{(N_T/2,2Q)} \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_n^{(N_T/2,2Q)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{w}_n^{(N_T/2,2Q)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix}.
 \end{aligned} \tag{15}$$

- 5 No obstante, esto se encuentra bajo la estructura de precodificador factorizado si el libro de códigos de precodificador de sintonización contiene los elementos de precodificador

$$\left\{ \left[ \begin{matrix} 1 \\ \exp\left(j \frac{\pi}{Q} n\right) \end{matrix} \right] : n=0,1, \dots, 2Q-1 \right\}, \tag{16}$$

- 10 y, además, se adapta perfectamente a la matriz de polarización cruzada muy poco separada entre sí porque los precodificadores de DFT de tamaño  $N_T/2$  se aplican ahora en cada grupo de antenas ULA, y el precodificador de sintonización proporciona 2Q desfases relativos diferentes entre las dos polarizaciones ortogonales. Se ha visto

asimismo cómo los precodificadores de  $\mathbf{w}_n^{(N_T/2,2Q)}$  de  $N_T/2$  elementos son reutilizados para construir el precodificador  $\mathbf{w}_n^{(N_T,Q)}$  de  $N_T$  elementos.

- 15 De este modo, como ejemplo, el libro de códigos 26 en el transmisor receptor 10 y el transmisor receptor 12 pueden estar representados como dos libros de códigos 70 y 72, tal como se muestra en la figura 7. En particular, el subconjunto 70 contiene entradas de libro de códigos que comprenden un conjunto definido de precodificadores de conversión 74, mientras que el libro de códigos 72 contiene entradas de libro de códigos que comprenden un conjunto definido de precodificadores de sintonización 76. Las parejas de precodificadores de conversión y de sintonización 74 y 76 respectivas forman correspondientes precodificadores 28 globales. Es decir, el libro de códigos 26 en el transmisor receptor 10 puede comprender un conjunto de precodificadores 28 globales, representando cada uno la combinación de un precodificador de conversión 74 seleccionado y un precodificador de sintonización 76 seleccionado -por ejemplo, el producto matricial de los precodificadores de conversión y/o de sintonización 74 y 76.
- 20 De este modo, se debe entender que el libro de códigos 26 puede estar estructurado como una tabla u otra estructura de datos que tenga precodificadores 28 globales como entradas, o puede estar estructurado o

representado de manera equivalente por los libros de códigos de precodificador de conversión y de sintonización 70 y 72, que contienen respectivamente conjuntos definidos de precodificadores de conversión y de sintonización 74 y 76.

5 En al menos una realización, el libro de códigos 70 incluye un número de precodificadores basados en DFT como precodificadores de conversión 74. Estos precodificadores basados en DFT tienen un factor de sobremuestreo de 2Q, que se utiliza junto con los precodificadores de sintonización 76 en el libro de códigos 72, para construir los precodificadores 28 globales como precodificadores basados en DFT W con un factor de sobremuestreo de Q para una matriz de antenas con el doble de elementos. Con esta disposición, el factor de sobremuestreo (2Q) es dos veces mayor que para la ULA de N<sub>T</sub> elementos polarizados conjuntamente (Q), pero esos elementos no se perdieron porque pueden ayudar a aumentar más, incluso, la resolución espacial de los precodificadores de mallado de haces. Esta característica es particularmente útil en aplicaciones de MU-MIMO en las que un buen rendimiento se basa en la capacidad de formar haces de manera muy precisa hacia el UE de interés, y nulos hacia los otros UE planificados conjuntamente.

15 Por ejemplo, tómesese un caso especial de N<sub>T</sub> = 8 antenas de transmisión -es decir, supóngase que el transmisor receptor 10 de la figura 1 incluye ocho antenas 14, para su utilización en transmisiones de MIMO precodificadas, y supóngase que Q = 2 para la ULA muy poco separada. Se ve que el precodificador se ha construido como

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_n^{(8,2)} &= \begin{bmatrix} \mathbf{w}_n^{(N_T/2, 2Q)} \\ \mathbf{w}_n^{(N_T/2, 2Q)} \alpha \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{w}_n^{(4,4)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{w}_n^{(4,4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\left(j\frac{\pi}{2}n'\right) \end{bmatrix}, \quad n = 0, \dots, 2N_T - 1, \quad n' = 0, 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (17)$$

20 El libro de códigos 72 para los precodificadores de sintonización 76 puede entonces elegirse del libro de códigos 2 Tx de rango 1 en LTE y por ello, ese libro de códigos se puede reutilizar. El libro de códigos para los precodificadores de conversión 74 contiene elementos estructurados de cuatro matrices generadoras basadas en DFT, tal como en la Ecuación 8. Los libros de códigos 70 y 72 pueden contener otros elementos además de los basados en DFT. Ampliamente, este principio de construir precodificadores de DFT de N elementos a partir de precodificadores de DFT de N/2 elementos más pequeños, se puede, así, utilizar en general para añadir una ULA poco separada eficiente y un soporte de polo cruzado a un esquema de precodificación basado en libro de códigos. Ventajosamente, esta estructura de precodificador particular se puede utilizar incluso si las configuraciones de antenas difieren de lo que se había supuesto en este ejemplo.

30 Además, se debe observar que los precodificadores basados en DFT se pueden utilizar también para rangos de transmisión mayores que uno. Una manera de hacerlo es tomar los precodificadores de grupo de antenas 74 (denotados aquí como  $\tilde{\mathbf{W}}^{(c)}$ ) como subconjuntos de columnas de matrices generadoras basadas en DFT, tales como los mostrados en la Ecuación (8). Los precodificadores de sintonización 76 se pueden extender asimismo con columnas adicionales, para coincidir con el valor deseado del rango de la transmisión. Para el rango 2 de la transmisión, un precodificador de sintonización 76 se puede seleccionar como

$$\mathbf{W}^{(t)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \alpha & -\alpha \end{bmatrix}, \quad \alpha \in \left\{ \exp\left(j\frac{\pi}{Q}n\right) : n = 0, 1, \dots, 2Q - 1 \right\}. \quad (18)$$

35 En ocasiones resulta beneficioso reutilizar libros de códigos existentes en el diseño de libros de códigos nuevos. No obstante, un problema asociado es que los libros de códigos existentes pueden no contener todos los vectores de precodificador de DFT necesarios para proporcionar un sobremuestreo de al menos Q = 2 veces del mallado de haces. Supóngase, por ejemplo, que se tiene un libro de códigos existente para N<sub>T</sub>/2 antenas, con precodificadores de DFT que proporcionan Q = Q<sub>e</sub> en factor de sobremuestreo y que el factor de sobremuestreo de objetivo para la ULA de grupo de antenas de N<sub>T</sub>/2 elementos es Q = Q<sub>t</sub>. La resolución espacial del libro de códigos existente puede mejorar entonces al factor de sobremuestreo de objetivo en el diseño de precodificador factorizado como

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \Lambda_{\bar{q}} \mathbf{w}_n^{(N_T/2, Q_e)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Lambda_{\bar{q}} \mathbf{w}_n^{(N_T/2, Q_e)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix}, \quad n=0, \dots, Q_e N_T - 1, \quad \bar{q}=0, 1, \dots, Q_t / Q_e - 1 \quad (19)$$

$$\Lambda_{\bar{q}} = \text{diag} \left( \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} \frac{\bar{q}}{Q_t} \right), \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} \frac{\bar{q}}{Q_t} 2 \right), \dots, \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} \frac{\bar{q}}{Q_t} (N_T/2 - 1) \right) \right)$$

Aquí, la  $\mathbf{w}_n^{(N_T/2, Q_e)}$  podrían ser elementos en el libro de códigos doméstico 4 Tx de LTE, que contiene 8 precodificadores basados en DFT (que utilizan un factor de sobremuestreo de  $Q = 2$ ) para rango 1. Cuando el rango de la transmisión es mayor que uno, la estructura diagonal de bloques se puede guardar y la estructura se generaliza de este modo a

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \Lambda_{\bar{q}} \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Lambda_{\bar{q}} \tilde{\mathbf{W}}^{(c)} \end{bmatrix} \mathbf{W}^{(t)}, \quad (20)$$

donde el precodificador global  $\mathbf{w}$  es ahora una matriz  $N_T \times r$ , el precodificador de conversión  $\tilde{\mathbf{W}}^{(c)}$  es una matriz con al menos una columna igual a un precodificador basado en DFT  $\mathbf{w}_n^{(N_T/2, Q_e)}$ , y el precodificador de sintonización  $\mathbf{W}^{(t)}$  tiene  $r$  columnas.

10 Para ver que la resolución espacial se puede mejorar multiplicando el precodificador de grupo de antenas con una matriz diagonal tal como la descrita anteriormente, considérese la parametrización alternativa de precodificadores de DFT en la Ecuación (7),

$$\mathbf{w}_{m, Q_t l + q}^{(N_T, Q_t)} = \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} m \left( l + \frac{q}{Q_t} \right) \right), \quad m=0, \dots, N_T - 1, l=0, \dots, N_T - 1, q=0, \dots, Q_t - 1, \quad (21)$$

y sea

$$q = \frac{Q_t}{Q_e} q' + \bar{q}, \quad q'=0, \dots, Q_e - 1, \quad \bar{q}=0, \dots, \frac{Q_t}{Q_e} - 1, \quad (22)$$

15 para llegar a

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{m, Q_t l + \frac{Q_t}{Q_e} q' + \bar{q}}^{(N_T, Q_t)} &= \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} m \left( l + \frac{1}{Q_t} \left( \frac{Q_t}{Q_e} q' + \bar{q} \right) \right) \right) \\ &= \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} m \left( l + \frac{q'}{Q_e} \right) \right) \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} m \frac{\bar{q}}{Q_t} \right) \\ &= \mathbf{w}_{m, Q_e l + q'}^{(N_T, Q_e)} \exp \left( j \frac{2\pi}{N_T} m \frac{\bar{q}}{Q_t} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

$$m = 0, \dots, N_T - 1, l = 0, \dots, N_T - 1, q' = 0, \dots, Q_e - 1, \tilde{q} = 0, \dots, \frac{Q_t}{Q_e} - 1$$

para

Las formulaciones anteriores demuestran un aspecto ventajoso de las enseñanzas presentadas en esta memoria. A saber, un libro de códigos que contiene precodificadores de DFT con factor de sobremuestreo que se puede utilizar para crear un libro de códigos de DFT de mayor resolución multiplicando el elemento de antena de orden m

$$\exp\left(j \frac{2\pi}{N_T} m \frac{\tilde{q}}{Q_t}\right)$$

5 con  $\Lambda_{\tilde{q}}$  y, por ello, probando que la transformación diagonal dada por  $\Lambda_{\tilde{q}}$  ciertamente funciona como estaba previsto. Se puede concebir asimismo que tal estructura en la que el precodificador de grupo de antenas se multiplica por una matriz diagonal en general (es decir, incluso cuando los libros de códigos no están utilizando vectores basados en DFT) puede mejorar el rendimiento.

10 Por lo que respecta a las propiedades deseables de utilización completa de PA y a la propiedad de rangos anidados, una primera etapa en el diseño de libros de códigos de precodificador factorizados eficientes que consiguen utilización completa de PA y cumplen la propiedad de rangos anidados, es realizar la diagonal de bloques de precodificadores de conversión 74 como en la Ecuación (4). En un caso concreto, el número de columnas k de un precodificador de conversión 74 se hace igual a  $2\lceil r/2 \rceil$ , donde  $\lceil \cdot \rceil$  denota la función redondeo hacia arriba. Esta estructura se consigue añadiendo dos nuevas columnas que contribuyen de igual manera a cada polarización para cada rango distinto. En otras palabras, tal precodificador de conversión 74 se puede escribir en la forma

$$W^{(c)} = \begin{bmatrix} \tilde{W}^{(c)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \tilde{W}^{(c)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1^{(c)} & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \tilde{w}_1^{(c)} & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} \end{bmatrix}, \quad (24)$$

en la que  $\tilde{w}_l^{(c)}$  es un vector de  $N_T/2 \times 1$ .

Extender la dimensión de conversión de esta manera ayuda a mantener bajo el número de dimensiones y, además, sirve para asegurar que ambas polarizaciones están excitadas en la misma magnitud. Resulta beneficioso si el precodificador de conversión 74  $\tilde{W}^{(c)}$ , se hace que obedezca a una propiedad de rangos anidados generalizada, por que exista libertad para elegir  $\tilde{W}^{(c)}$  con L columnas como subconjunto de columnas arbitrario de cada posible  $\tilde{W}^{(c)}$  con L + 1 columnas. Una alternativa es tener la posibilidad de señalar la ordenación de columnas utilizada en  $\tilde{W}^{(c)}$ . La flexibilidad en la elección de columnas para  $\tilde{W}^{(c)}$  para los diferentes rangos resulta beneficiosa para poder transmitir en el subespacio más fuerte del canal incluso cuando se realiza superposición de rangos utilizando un subconjunto de columnas.

25 Para asegurar una utilización completa del PA en el transmisor receptor 10 en una o más realizaciones, uno o más subconjuntos 88 de los precodificadores de sintonización 76 están construidos como sigue: (a) el vector de conversión  $\tilde{w}_n^{(c)}$  es de módulo constante; y (b) una columna en el precodificador de sintonización 76 tiene exactamente dos elementos distintos de cero con módulo constante. Si el elemento de orden m es distinto de cero, lo mismo es el elemento m +  $\lceil r/2 \rceil$ . Por ello, para el rango r = 4, las columnas en un precodificador de sintonización 76 de ejemplo son de la siguiente forma

$$\begin{bmatrix} x \\ 0 \\ x \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ x \\ 0 \\ x \end{bmatrix}, \quad (25)$$

35 donde x denota un valor arbitrario distinto de cero que no necesariamente es el mismo de una x a otra. Porque existen dos elementos distintos de cero en una columna, se pueden añadir dos columnas ortogonales con las mismas posiciones de elementos distintos de cero antes de considerar las columnas con otras posiciones distintas de cero. Dichas columnas ortogonales por parejas con propiedad de módulo constante se pueden parametrizar como

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ e^{j\phi} \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -e^{j\phi} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (26)$$

5 La propiedad de rangos anidados para el precodificador global se mantiene cuando aumenta el rango en uno, asegurando que las columnas para los rangos anteriores excitan las mismas columnas del precodificador de conversión también para el rango superior. Combinar esto con la Ecuación (25) y la propiedad de ortogonal por parejas de las columnas conduce a que una estructura diagonal de doble bloque del precodificador de sintonización 76 tome la forma

$$W = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1^{(c)} & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \tilde{w}_1^{(c)} & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x & x & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & x & x & \dots \\ \vdots & & & & \ddots \\ x & x & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & x & x & \dots \\ \vdots & & & & \ddots \end{bmatrix}. \quad (27)$$

Utilizando la propiedad de ortogonalidad por parejas en la Ecuación (26), y representando la estructura del precodificador W como  $W^{(c)}W^{(t)}$ , la estructura del precodificador se puede especializar además en

$$W = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1^{(c)} & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \tilde{w}_1^{(c)} & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 1 & \dots \\ \vdots & & & & \ddots \\ e^{j\phi_1} & -e^{j\phi_1} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2} & -e^{j\phi_2} & \dots \\ \vdots & & & & \ddots \end{bmatrix}$$

10

Se debe observar que la estructura diagonal de doble bloque para el precodificador de sintonización 76 se puede describir de diferentes maneras dependiendo de la ordenación de las columnas en el precodificador de conversión 76. Es posible hacer de manera equivalente la diagonal de bloques del precodificador de sintonización 76 escribiendo

$$W = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1^{(c)} & 0 & \tilde{w}_2^{(c)} & 0 & \dots & \dots & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} & 0 \\ 0 & \tilde{w}_1^{(c)} & 0 & \tilde{w}_2^{(c)} & \dots & \dots & 0 & \tilde{w}_{\lceil r/2 \rceil}^{(c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x & x & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ x & x & 0 & 0 & & & \vdots \\ 0 & 0 & x & x & \ddots & & \\ \vdots & & x & x & & & \\ & & & 0 & 0 & \ddots & \\ & & & \vdots & & & 0 & 0 \\ & & & & & \ddots & & x & x \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & x & x \end{bmatrix}$$

5 Reordenaciones similares a estas no afectan al precodificador global W y se consideran de este modo equivalentes con el significado de los términos “precodificador de conversión de diagonal de bloques” y “precodificador de sintonización de diagonal de doble bloque”, tal como se utilizan en esta memoria. Es asimismo interesante observar que, si las necesidades en la restricción de ortogonalidad y la utilización completa del PA se relajan, el diseño para la propiedad de rangos anidados se puede resumir con la siguiente estructura para los precodificadores de sintonización 76

$$\begin{bmatrix} x & x & x & x & x & x \\ 0 & 0 & x & x & x & x \\ \vdots & & & x & x & \ddots \\ & & & & & \\ x & x & x & x & x & x \\ 0 & 0 & x & x & x & x \\ \vdots & & & x & x & \ddots \end{bmatrix} \quad (30)$$

10 Finalmente, merece la pena mencionar que la propiedad de rangos anidados puede resultar útil cuando se aplica de manera separada a los precodificadores de conversión 74 y a los precodificadores de sintonización 76. Incluso aplicarla solo a los precodificadores de sintonización 76 puede ayudar a ahorrar complejidad de cálculo, porque los cálculos del precodificador a través de los rangos se pueden reutilizar siempre que el precodificador de conversión 76 permanezca fijo.

15 Como ejemplo ilustrativo para ocho antenas de transmisión 14 en el transmisor receptor 10, supóngase que el Rango  $r = 1$

$$W = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} \\ w_1^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\varphi_k} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Rango  $r = 2$

$$W = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} \\ w_1^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\varphi_k} & -e^{j\varphi_k} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Rango r = 3

$$W = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & & & \\ & & w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ e^{j\varphi_k} & e^{j\varphi_k} & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\varphi_l} \end{bmatrix} \quad (33)$$

Rango r = 4

$$W = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & & & \\ & & w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ e^{j\varphi_k} & -e^{j\varphi_k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\varphi_l} & -e^{j\varphi_l} \end{bmatrix} \quad (34)$$

5 Rango r = 5

$$W = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & w_3^{(1)} & & & \\ & & & w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & w_3^{(1)} \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ e^{j\varphi_k} & -e^{j\varphi_k} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\varphi_l} & -e^{j\varphi_l} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e^{j\varphi_m} \end{bmatrix} \quad (35)$$

Rango r = 6

$$W = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & w_3^{(1)} & & & \\ & & & w_1^{(1)} & w_2^{(1)} & w_3^{(1)} \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ e^{j\varphi_k} & -e^{j\varphi_k} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\varphi_l} & -e^{j\varphi_l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e^{j\varphi_m} & -e^{j\varphi_m} \end{bmatrix} \quad (36)$$



UE a utilizar solo un subconjunto de precodificadores en un libro de códigos, para calcular y proporcionar la retroalimentación de CSI (incluyendo la retroalimentación de selección de precodificador 44).

5 Además, algunas de las restricciones útiles en la selección de precodificador por parte de un UE u otro transmisor receptor de objetivo, tal como precodificadores que cumplen uso completo de PA y propiedad de rangos anidados, podrían ser demasiado restrictivas cuando se trata de operación MU-MIMO, por ejemplo. Esto es porque la operación MU-MIMO requiere mayor libertad en el diseño del precodificador para una mayor resolución espacial y una mayor separación de UE resultante. De este modo, un aspecto de las enseñanzas de esta memoria es reducir el coste de la señalización para señalar restricciones de precodificador predefiniendo uno o más subconjuntos de precodificador, estando un subconjunto diseñado para MU-MIMO y el otro subconjunto diseñado para SU-MIMO. La señalización de esos subconjuntos requiere un coste mucho menor, dado que los precodificadores individuales en cada subconjunto ya no necesitan ser señalizados explícitamente. De hecho, se puede utilizar una marca de un solo bit para indicar cuál de los dos subconjuntos debe considerar el UE como “permitido actualmente”.

10 Más detalladamente, uno de los subconjuntos 50 predefinidos de precodificadores 28 globales dentro del libro de códigos 26 puede ser todos los precodificadores 28 globales que satisfacen el uso completo de PA y criterios de propiedad de rangos anidados. Este subconjunto tendría como objetivo específicamente la operación de SU-MIMO. Otro subconjunto 50 en el libro de códigos 26 podría corresponder a algunos o a todos los precodificadores 28 globales en el libro de códigos 26, incluyendo aquellos que violan el uso completo de PA y la propiedad de rangos anidados. Este último subconjunto 50 se podría utilizar para MU-MIMO, tanto SU-MIMO como MU-MIMO. Además, los subconjuntos de precodificador se pueden especificar a través de todos los rangos o, de manera alternativa, se pueden señalar subconjuntos de precodificadores junto con subconjuntos de rangos, para un mayor control desde el lado de la red.

15 Cuando los precodificadores 28 globales en el libro de códigos 26 están representados como conjuntos 80 y 86 definidos de precodificadores de conversión y de sintonización 74 y 76, los subconjuntos y las restricciones de subconjunto se pueden definir de manera separada para los precodificadores de conversión 74 y de sintonización 76. O bien, las restricciones de subconjunto se pueden aplicar solo a los precodificadores de conversión 74 o solo a los precodificadores de sintonización 76. En particular, puede ser útil aplicar restricciones de subconjunto de libro de códigos solo a los precodificadores de conversión 74. Esto es así debido a que los precodificadores de conversión 74 son los afectados en primer lugar por el modo MIMO en uso (SU-MIMO o MU-MIMO).

20 Por supuesto, las enseñanzas de esta memoria no están limitadas a los ejemplos anteriores, específicos y a las ilustraciones que se acompañan. Por ejemplo, en esta descripción se utilizó la terminología de LTE del 3GPP para proporcionar un contexto relevante y ventajoso para comprender las operaciones de los transmisores receptores 10 y 12, que se identificaban en una o más realizaciones como eNodoB de LTE y UE de LTE, respectivamente. No obstante, el uso de libros de códigos 26 parametrizados se puede utilizar en otros sistemas inalámbricos, incluyendo, pero sin estar limitados a WCDMA, WiMax, UMB y GSM.

30 Además, el transmisor receptor 10 y el soporte 12 no son necesariamente una estación de base y un elemento de un equipo móvil dentro de una red celular estándar, aunque las enseñanzas de esta memoria tienen ventajas en dicho contexto. Además, aunque los ejemplos de red inalámbrica particulares dados en esta memoria implican el “enlace descendente” desde un eNodoB u otra estación de base de la red, las enseñanzas presentadas en esta memoria tienen asimismo aplicabilidad para el enlace ascendente. De manera más amplia, se debe entender que las enseñanzas de esta memoria no están limitadas por los ejemplos ilustrativos dados en esta memoria.

40

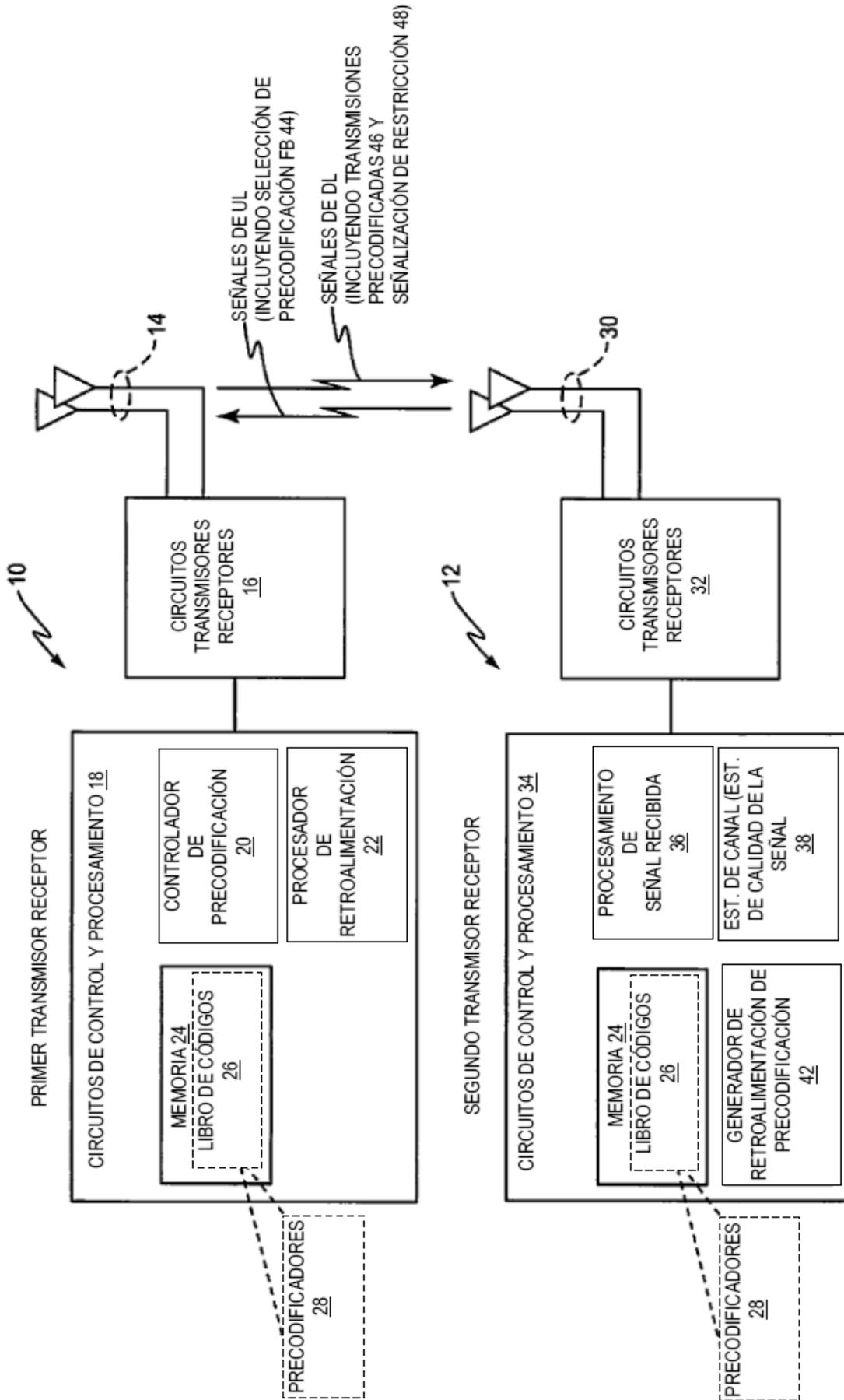
## REIVINDICACIONES

1. Un método (900) en un transmisor receptor (12) de comunicación inalámbrica, de controlar la retroalimentación de selección de precodificador (44) enviada a otro transmisor receptor (10) de comunicación inalámbrica que precodifica las transmisiones (46) al transmisor receptor (12), en el que la citada retroalimentación de selección de precodificador (44) indica selecciones de precodificador por parte del citado transmisor receptor (12), estando el citado método caracterizado por:
- 5 recibir (902) señalización de restricción (48) desde el otro transmisor receptor (10) que identifica un subconjunto (84-1) permitido de precodificadores de conversión (74) dentro de un conjunto (80) definido de precodificadores de conversión (74), e identifica un subconjunto (84-2) permitido de precodificadores de sintonización (76) dentro de un conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76), en el que las respectivas parejas de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) en los conjuntos definidos (80, 86) de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) corresponden a respectivos precodificadores (28) globales en un conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales; en el que uno o más subconjuntos están asociados con un modo de operación o con ciertos parámetros de operación, mientras que uno o más subconjuntos distintos están asociados con otro modo de operación o con ciertos parámetros de operación distintos, en el que la citada señalización de restricción comprende señalar una indicación del modo o el parámetro o los parámetros que están en efecto; y
- 10 generar (904) la retroalimentación de selección de precodificador (44) sobre la base de seleccionar uno de los precodificadores (28) globales, la citada selección está basada en estimaciones de la condición del canal realizadas por el transmisor receptor (12), que incluyen limitar dicha selección solo a los precodificadores (28) globales del conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales que corresponden a los subconjuntos (84-1, 84-2) permitidos de los precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76).
2. El método (900) de la reivindicación 1, caracterizado además por que el transmisor receptor (12) utiliza el mismo formato de señalización para enviar la retroalimentación de selección de precodificador (44) independientemente de si y/o de qué restricciones de subconjunto han sido impuestas en sus selecciones de precodificador.
- 25 3. El método (900) de cualquiera de las reivindicaciones 1-2, caracterizado además por que el otro transmisor receptor (10) comprende una estación de base (110) en una red de comunicación inalámbrica (100) y el transmisor receptor (12) comprende un equipo de usuario (112).
4. El método (900) de la reivindicación 1, caracterizado además por que el citado conjunto (80) definido de precodificadores de conversión (74) incluye  $N_T$  Q precodificadores de conversión (74) diferentes y el citado conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76) incluye varios precodificadores de sintonización (76) correspondientes, y en el que cada citado precodificador de conversión (74) comprende una matriz diagonal de bloques en la que cada bloque comprende un precodificador basado en DFT que define  $N_T$  Q haces basados en DFT diferentes para un subconjunto en un grupo de  $N_T$  puertos de antena de transmisión (98) en el otro transmisor receptor (10), en el que Q es un valor entero y en el que los  $N_T$  Q precodificadores de conversión (74) diferentes, junto con uno o más de los precodificadores de sintonización (76), corresponden a un conjunto de  $N_T$  Q precodificadores (28) globales diferentes en el conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales, representando de este modo cada uno de dichos precodificadores (28) globales un haz basado en DFT de tamaño  $N_T$  sobre el grupo de  $N_T$  puertos de antenas de transmisión (98).
- 30 5. El método (900) de la reivindicación 1, en el que las parejas de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) respectivas en los conjuntos (80, 86) definidos de precodificadores de conversión y de sintonización corresponden a respectivos de los precodificadores de conversión (28) globales en el conjunto (26) definido de precodificadores de conversión (28) globales, en el sentido de que cada uno de dichos precodificadores (28) globales correspondientes está formado como un producto matricial de un par respectivo de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) de los conjuntos (80, 86).
- 45 6. El método (900) de la reivindicación 1, caracterizado además por que el citado conjunto (80) definido de precodificadores de conversión (74) o el citado conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76) están divididos en uno o más primeros subconjuntos de precodificadores asociados con la operación de Único Usuario Múltiple entrada Múltiple salida, SU-MIMO, del otro transmisor receptor (10), y uno o más segundos subconjuntos de precodificadores asociados con la operación de Múltiple Usuario MIMO, MU-MIMO del otro transmisor receptor (10), y en el que la citada señalización de restricción (48) identifica los uno o más subconjuntos (84) permitidos de precodificadores indicando si su operación SU-MIMO o MU-MIMO aplica.
- 50 7. Un transmisor receptor (12) de comunicación inalámbrico configurado para controlar la retroalimentación de selección de precodificador (44) enviada a otro transmisor receptor (10) de comunicación inalámbrico que precodifica las transmisiones (46) al transmisor receptor (12), en el que la citada retroalimentación de selección de precodificador (44) indica selecciones de precodificador por parte del citado transmisor receptor (12), estando el citado transmisor receptor (12) caracterizado por:
- 55 un receptor configurado para recibir señalización de restricción (48) desde el otro transmisor receptor (10) que identifica un subconjunto (84-1) permitido de precodificadores de conversión (74) dentro de un conjunto (80) definido

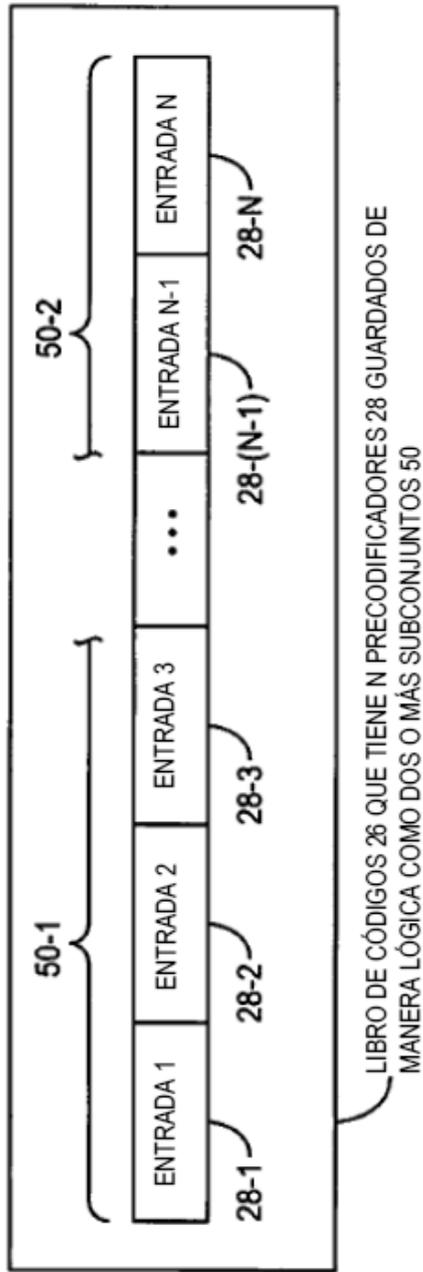
- de precodificadores de conversión (74), e identifica un subconjunto (84-2) permitido de precodificadores de sintonización (76) dentro de un conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76), en el que respectivas parejas de los precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) en los conjuntos (80, 86) definidos de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) corresponden a respectivos precodificadores (28) globales en un conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales; en el que uno o más subconjuntos está asociado con un modo de operación o con ciertos parámetros de operación, mientras que uno o más subconjuntos distintos están asociados con otro modo de operación o con ciertos otros parámetros de operación, en el que la citada señalización de restricción comprende señalar una indicación del modo o parámetro o parámetros que están en efecto; y
- 5 un generador de retroalimentación de precodificación (42) configurado para generar la retroalimentación de selección de precodificador (44) sobre la base de seleccionar uno de los precodificadores (28) globales, la citada selección está basada en estimaciones de la condición del canal realizadas por el transmisor receptor (12), incluyendo limitar dicha selección solo a los precodificadores (28) globales del conjunto (26) definido que corresponden a los subconjuntos (84-1, 84-2) permitidos de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76).
- 10 8. El transmisor receptor (12) de la reivindicación 7, caracterizado además por que el transmisor receptor (12) está configurado para utilizar el mismo formato de señalización para enviar la retroalimentación de selección de precodificador (44) independientemente de si y/o de qué restricciones de subconjunto han sido impuestas en sus selecciones de precodificador.
- 20 9. El transmisor receptor (12) de cualquiera de las reivindicaciones 7-8, caracterizado además por que el otro transmisor receptor (10) comprende una estación de base (110) en una red de comunicación inalámbrica (100) y el transmisor receptor (12) comprende un equipo de usuario (112).
10. El transmisor receptor (12) de la reivindicación 7, caracterizado además por que el citado conjunto (80) definido de precodificadores de conversión (74) incluye  $N_T Q$  precodificadores de conversión (74) diferentes y el citado conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76) incluye varios precodificadores de sintonización (76) correspondientes, y en el que cada uno de los citados precodificadores de conversión (74) comprende una matriz diagonal de bloques en la que cada bloque comprende un precodificador basado en DFT que define  $N_T Q$  haces basados en DFT diferentes para un subgrupo en un grupo de  $N_T$  puertos de antena de transmisión (98) en el otro transmisor receptor (10), donde  $Q$  es un valor entero y donde los  $N_T Q$  precodificadores de conversión (74) diferentes, junto con uno o más de los precodificadores de sintonización (76), corresponden a un conjunto de  $N_T Q$  precodificadores (28) globales diferentes en el conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales, representando de este modo dicho precodificador global (28) un haz basado en DFT de tamaño  $N_T$  sobre el grupo de  $N_T$  puertos de antenas de transmisión (98).
- 25 11. El transmisor receptor (12) de la reivindicación 7, en el que las parejas de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) respectivas en los conjuntos (80, 86) definidos de precodificadores de conversión y de sintonización corresponden a respectivos de los precodificadores (28) de conversión globales en el conjunto (26) definido de precodificadores (28) de conversión globales en el sentido de que cada uno de dichos precodificadores (28) globales correspondiente está formado como un producto matricial de un par respectivo de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) de los conjuntos (80, 86) definidos.
- 35 12. El transmisor receptor (12) de la reivindicación 7, caracterizado además por que el citado conjunto (80) definido de precodificadores de conversión (74) o el citado conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76) están divididos en uno o más primeros subconjuntos de precodificadores asociados con la operación de único Usuario Múltiple Entrada Múltiple Salida, SU-MIMO del otro transmisor receptor (10) y uno o más subconjuntos de precodificadores asociados con la operación de Múltiple Usuario MIMO, MU-MIMO del otro transmisor receptor (10), y en el que la citada señalización de restricción (48) identifica los uno o más subconjuntos (84) permitidos de precodificadores indicando si la operación SU-MIMO o MU-MIMO aplica.
- 40 13. Un transmisor receptor (10) configurado para precodificar transmisiones (46) a otro transmisor receptor (12) sobre la base al menos en parte de recibir retroalimentación de selección de precodificador (44) desde el otro transmisor receptor (12) que indica un precodificador (28) global para su consideración por parte del citado transmisor receptor (10) en precodificar al otro transmisor receptor (12), incluyendo el citado transmisor receptor (10) un receptor (16) para recibir la citada retroalimentación de selección de precodificador (44) desde el otro transmisor receptor (12), y caracterizado por:
- 50 un controlador de precodificación (20) configurado para determinar una restricción que limita la selección de precodificador por parte del otro transmisor receptor (12) a un subconjunto (50) permitido de precodificadores (28) globales en un conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales, sobre la base de determinar un subconjunto (84-1) permitido de precodificadores de conversión (74) dentro de un conjunto (80) definido de precodificadores de conversión (74) y un subconjunto (84-2) permitido de precodificadores de sintonización (76) dentro de un conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76), en el que respectivas parejas de los precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) en los conjuntos (80, 86) definidos corresponden a respectivos de los
- 55

- 5 precodificadores (28) globales en el conjunto (26) definido, de tal manera que los subconjuntos (84-1, 84-2) permitidos de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) definen el subconjunto (50) permitido de precodificadores (28) globales; en el que uno o más subconjuntos están asociados con un modo de operación o con ciertos parámetros de operación, mientras que uno o más de otros subconjuntos está asociado con otro modo de operación o con ciertos otros parámetros de operación, en el que la citada señalización de restricción comprende una indicación del modo o el parámetro o los parámetros que están en efecto; y
- 10 un transmisor (16) asociado en cooperación con el citado controlador de precodificación (20) y configurado para transmitir la señalización de restricción (48) al otro transmisor receptor (12), en el que la citada señalización de restricción (48) indica el subconjunto (50) permitido de los precodificadores (28) globales identificando el subconjunto (84-1) permitido de los precodificadores de conversión (74), e identificando el subconjunto (84-2) permitido de los precodificadores de sintonización (76).
14. El transmisor receptor (10) de la reivindicación 13, caracterizado además por que el citado transmisor receptor (10) comprende una estación de base (104) en una red de comunicación inalámbrica (100).
15. El transmisor receptor (10) de cualquiera de las reivindicaciones 13-14, caracterizado además por que el transmisor receptor (10) está configurado para recibir la retroalimentación de selección de precodificador (44) del citado otro transmisor receptor (12) de acuerdo con el mismo formato de señalización independientemente de si y/o de qué señalización de restricción han sido señalizadas al citado otro transmisor receptor (12) a través de la citada señalización de restricción (48).
20. El transmisor receptor (10) de la reivindicación 13, en el que las parejas de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) respectivos en los conjuntos (80, 86) definidos de precodificadores de conversión y de sintonización corresponden a respectivos de los precodificadores de conversión globales (28) en el conjunto (26) definido de precodificadores de conversión globales (28) en el sentido de que dicho precodificador global (28) correspondiente está formado como un producto matricial de un par respectivo de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) de los conjuntos (80, 86) definidos.
25. 17. Un método (1000) en un transmisor receptor (10) de comunicación inalámbrico que está configurado para precodificar transmisiones (46) a otro transmisor receptor (12) sobre la base al menos en parte de recibir retroalimentación de selección de precodificador (44) desde el citado otro transmisor receptor (12) que indica un precodificador (28) global para su consideración por el citado transmisor receptor (10) en precodificar el otro transmisor receptor (12), estando el citado método caracterizado por:
- 30 determinar (1002) una restricción que limita la selección de precodificador por parte del otro transmisor receptor (12) a un subconjunto (50) permitido de precodificadores (28) globales en un conjunto (26) definido de precodificadores (28) globales, sobre la base de determinar un subconjunto (84-1) permitido de precodificadores de conversión (74) dentro de un conjunto (80) definido de reivindicaciones de conversión (74) y un subconjunto (84-2) permitido de precodificadores de sintonización (76) dentro de un conjunto (86) definido de precodificadores de sintonización (76),
- 35 en el que las respectivas parejas de los precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) en los conjuntos (80, 86) definidos corresponden a respectivos de los precodificadores (28) globales en el conjunto (26) definido, de tal manera que permita a los subconjuntos (84-1, 84-2) de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) definir el subconjunto (50) permitido de precodificadores (28) globales; en el que uno o más subconjuntos está asociado con un modo de operación o con ciertos parámetros de operación, mientras que uno o más subconjuntos
- 40 están asociados con otro modo de operación o con ciertos parámetros de operación distintos, en el que la citada señalización de restricción comprende señalar una indicación del modo o parámetro o parámetros que están en efecto;
- 45 generar (1004) la señalización de restricción (48) que indica el subconjunto (50) permitido de los precodificadores (28) globales identificando el subconjunto (84-1) permitido de los precodificadores de conversión (74), e identificando el subconjunto (84-2) permitido de los precodificadores de sintonización (76); y
- enviar (1006) la señalización de restricción (48) al otro transmisor receptor (12), para restringir la selección de precodificador por parte del otro transmisor receptor (12) al subconjunto (50) permitido de los precodificadores (28) globales.
50. 18. El método (1000) de la reivindicación 17, caracterizado además por que el citado transmisor receptor (10) comprende una estación de base (104) en una red de comunicación inalámbrica (100).
19. El método (1000) de cualquiera de las reivindicaciones 17-18, caracterizado además por recibir la retroalimentación de selección de precodificador (44) del citado otro transmisor receptor (12) de acuerdo con el mismo formato de señalización independientemente de si y/o de qué restricciones de subconjunto han sido señalizadas al citado otro transmisor receptor (12) a través de la citada señalización de restricción (48).
55. 20. El método (1000) de la reivindicación 17, en el que las parejas de los respectivos precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) en los conjuntos (80, 86) definidos de precodificadores de conversión y de sintonización corresponden a respectivos de los precodificadores (28) de conversión globales en el conjunto (26) definido de

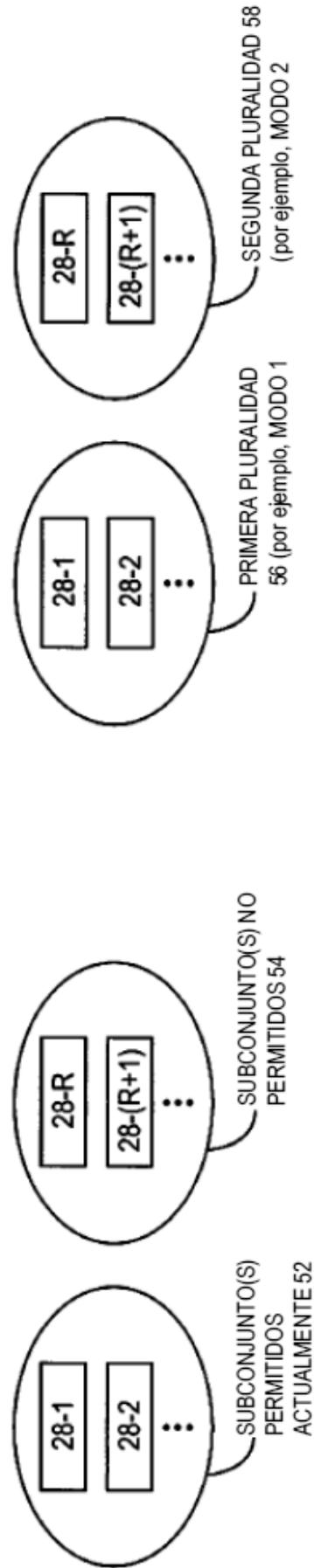
precodificadores (28) de conversión globales, en el sentido de que cada uno de tales precodificadores (28) globales correspondientes está formado como un producto matricial de un respectivo par de precodificadores de conversión y de sintonización (74, 76) de los conjuntos (80, 86) definidos.



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**

**FIG. 4**

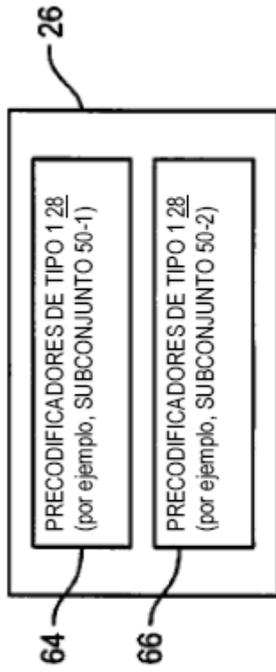


FIG. 6

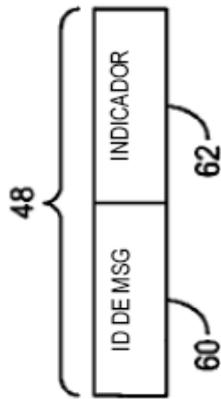


FIG. 5

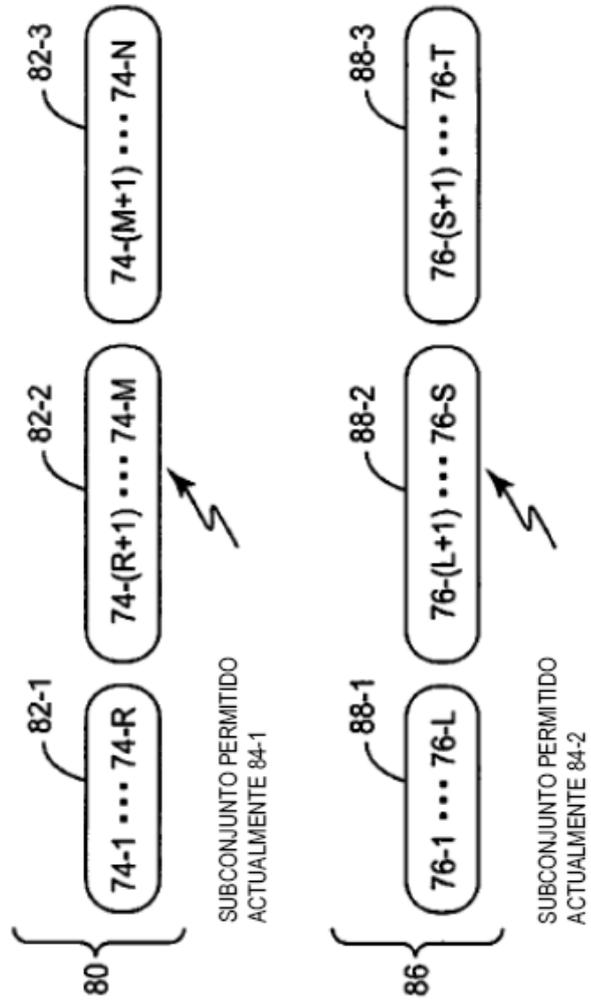


FIG. 8

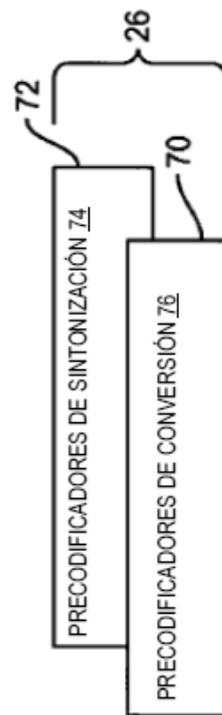


FIG. 7

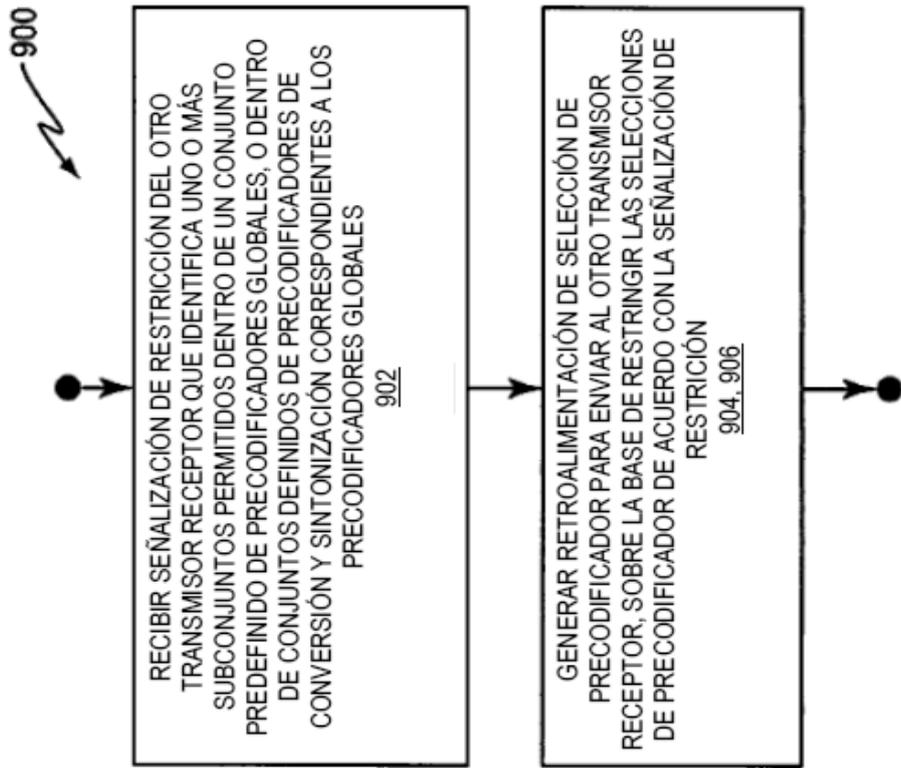


FIG. 9

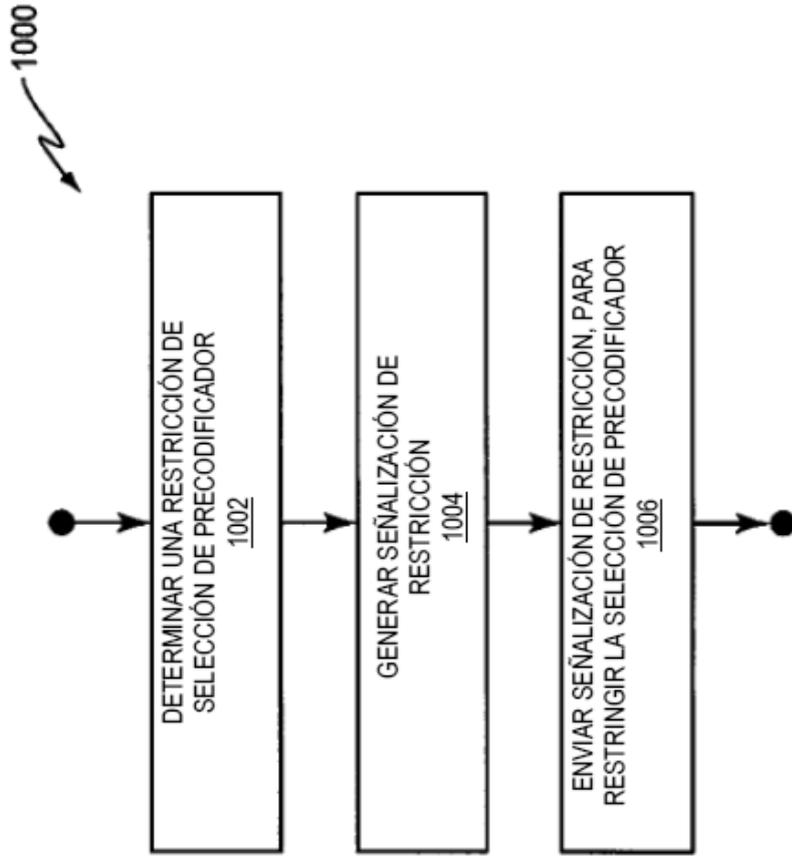


FIG. 10

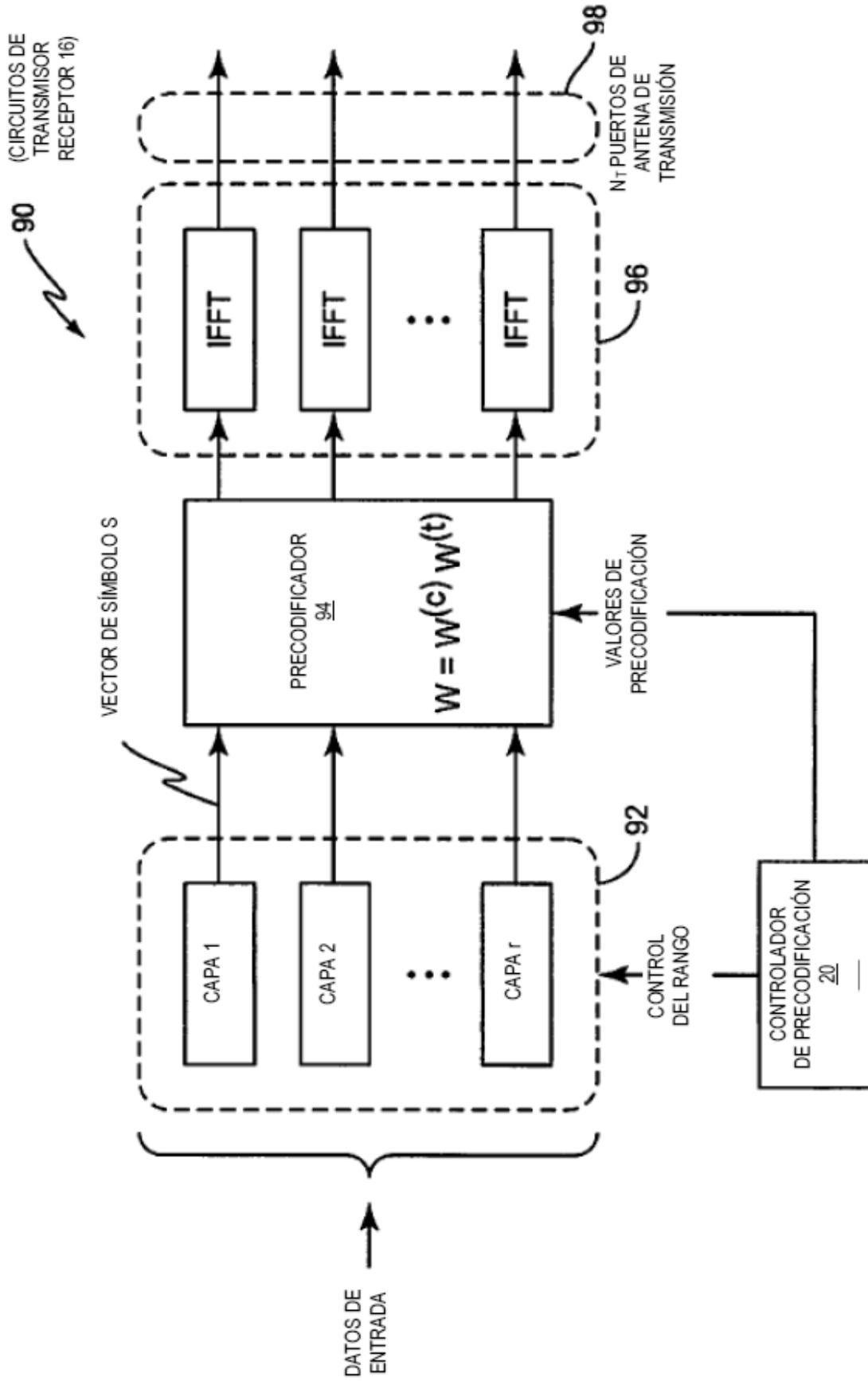


FIG. 11

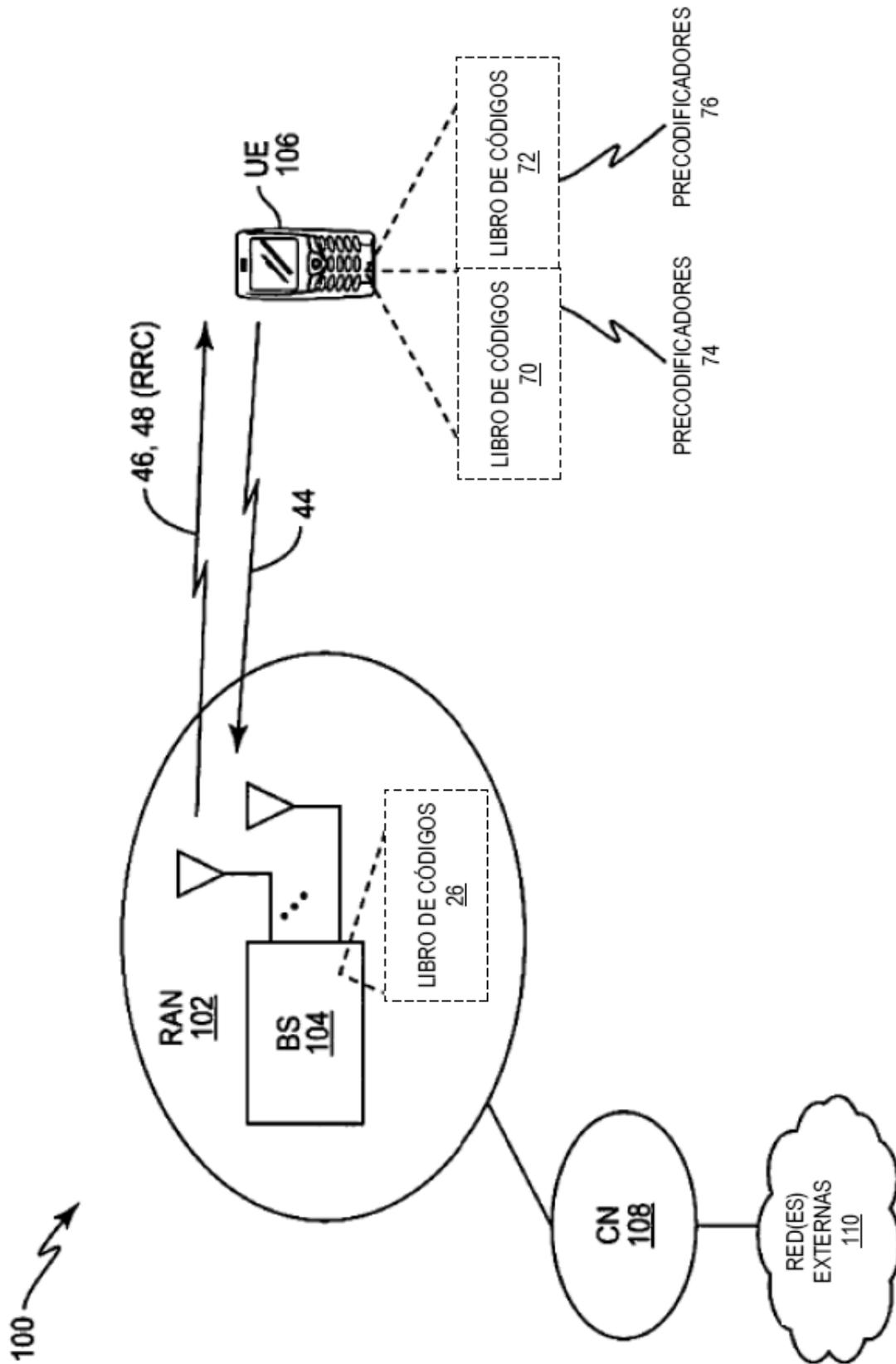


FIG. 12