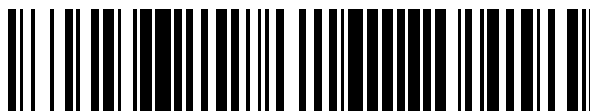


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 027**

51 Int. Cl.:

H04B 7/0456 (2007.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H03M 7/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.01.2016 PCT/SE2016/050009**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.07.2016 WO16114708**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.01.2016 E 16704486 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 3245744**

54 Título: **Señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos**

30 Prioridad:

14.01.2015 US 201562103101 P

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

26.05.2020

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)**

**Unit 32, the Hyde Building The Park,
Carrickmines
164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**FAXÉR, SEBASTIAN;
WERNERSSON, NIKLAS;
JÄRMYR, SIMON;
JÖNGREN, GEORGE y
FRENNE, MATTIAS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 763 027 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

Señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos

5 CAMPO TÉCNICO

La presente solicitud se refiere en general a un nodo de red y un dispositivo de comunicación inalámbrica para la operación en un sistema de comunicación inalámbrica, y más particularmente a la señalización del nodo de red al dispositivo de comunicación inalámbrica cuyos precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados.

10

ANTECEDENTES

El uso de múltiples antenas en el transmisor y/o el receptor de un sistema de comunicación inalámbrica puede aumentar significativamente la capacidad y cobertura de un sistema de comunicación inalámbrica. Tales sistemas MIMO pueden aprovechar la dimensión espacial del canal de comunicación. Por ejemplo, varias señales portadoras de información pueden ser enviadas en paralelo utilizando las antenas de transmisión y todavía ser separadas mediante procesamiento de señal en el receptor. Adaptando la transmisión a las condiciones actuales del canal, se pueden lograr ganancias adicionales significativas. Una forma de adaptación es ajustar dinámicamente, de un TTI a otro, el número de flujos de información transmitidos simultáneamente que portan señales a lo que el canal puede soportar. Esto se denomina comúnmente como adaptación de rango (de transmisión). La precodificación es otra forma de adaptación donde las fases y amplitudes de las señales mencionadas anteriormente se ajustan para ajustarse mejor a las propiedades actuales del canal. Las señales forman una señal de valor vectorial y el ajuste se puede considerar como una multiplicación por una matriz de precodificador. Un enfoque común es seleccionar la matriz de precodificador de un conjunto finito e indexado, un así llamado libro de códigos. Tal precodificación basada en libro de códigos es una parte integral del estándar LTE, así como en muchos otros estándares de comunicación inalámbrica.

25

La precodificación basada en libro de códigos se puede denominar como una forma de cuantificación de canal. Un enfoque típico (c.f. LTE y HSDPA MIMO) es permitir que el receptor recomiende una matriz de precodificador adecuada al transmisor señalizando el indicador de matriz de precodificador (PMI) a través de un enlace de realimentación. Para limitar la sobrecarga de señalización, es generalmente importante mantener el tamaño del libro de códigos tan pequeño como sea posible si el enlace de realimentación tiene una capacidad limitada. Sin embargo, se necesita equilibrar esto con el impacto del rendimiento dado que con un libro de códigos mayor es posible hacer coincidir mejor las condiciones actuales del canal.

30

Por ejemplo, en el enlace descendente de LTE, el equipo de usuario (UE) informa el indicador de matriz de precodificación (PMI) al eNodeB ya sea periódicamente en el canal físico de control de enlace ascendente (PUUCH) o aperiódicamente en el canal físico compartido de enlace ascendente (PUSCH). Lo primero es un tubo de bits bastante estrecho (p.ej., que utiliza unos pocos bits) donde la realimentación de información de estado del canal (CSI) se informa de manera configurada semiestáticamente y periódica. La realimentación de CSI a este respecto incluye uno o más indicadores de la calidad del canal (CQI), PMI, y/o un rango de transmisión (p.ej., que indica un número de capas de transmisión). Por otro lado, el informe sobre PUSCH se activa dinámicamente como parte de la concesión de enlace ascendente. Por tanto, el eNodeB puede planificar las transmisiones de CSI de manera dinámica. En contraste con el PUCCH donde el número de bits físicos está actualmente limitado a 20, los informes sobre PUSCH pueden ser considerablemente mayores. Por tanto, para la realimentación sobre PUCCH es deseable un tamaño de libro de códigos pequeño para mantener la sobrecarga de señalización baja. Sin embargo, para la realimentación sobre PUSCH es deseable un tamaño de libro de códigos mayor para aumentar el rendimiento, dado que la capacidad del canal de realimentación no es tan limitada en este caso.

35

40

45

El tamaño deseado del libro de códigos también puede depender del esquema de transmisión utilizado. Por ejemplo, un libro de códigos utilizado en una operación de múltiple entrada y múltiple salida multi usuario (MU-MIMO) podría beneficiarse más de tener un mayor número de elementos que un libro de códigos utilizado en una operación de múltiple entrada y múltiple salida de un solo usuario (SU-MIMO). En el primer caso, es importante una gran resolución espacial para permitir suficiente separación de UE.

50

Una manera conveniente de soportar diferentes tamaños de libro de códigos es utilizar un libro de códigos grande con muchos elementos por defecto y aplicar restricción de subconjunto de libro de códigos en los escenarios donde es beneficioso un libro de códigos más pequeño. Con la restricción de subconjunto de libro de códigos, se restringe un subconjunto de los precodificadores en el libro de códigos de modo que el UE tiene un conjunto más pequeño de posibles precodificadores entre los que elegir. Esto reduce de manera efectiva el tamaño del libro de códigos implicando que la búsqueda del mejor PMI se puede hacer en el conjunto de precodificadores no restringido más pequeño, reduciendo así también los requisitos computacionales del UE para esta búsqueda particular.

55

60

Típicamente, el eNodeB señalaría la restricción de subconjunto de libro de códigos al UE por medio de un mapa de bits en un mensaje dedicado parte del elemento de información AntennaInfo (véase la especificación de RRC, TS 36.331), un bit para cada precodificador en el libro de códigos, donde un 1 indicaría que el precodificador está restringido (lo que significa que el UE no tiene permitido elegir e informar dicho precodificador). Por tanto, para un

65

libro de códigos con N elementos, se utilizaría un mapa de bits de longitud N para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos. Esto permite una flexibilidad total para que el eNodeB restrinja cualquier posible subconjunto del libro de códigos. Hay por tanto 2^N posibles configuraciones de restricción de subconjunto de libro de códigos.

Para arreglos de antenas grandes con muchos elementos de antena, los haces efectivos se hacen estrechos y se requiere un libro de códigos que contenga muchos precodificadores para el área de cobertura prevista. Además, para arreglos de antenas bidimensionales, el tamaño del libro de códigos aumenta cuadráticamente dado que los precodificadores en el libro de códigos necesitan abarcar dos dimensiones, típicamente el dominio horizontal y vertical. Por tanto, el tamaño de libro de códigos (i.e., el número total de posibles matrices de precodificación W) puede ser muy grande. Señalar una restricción de subconjunto de libro de códigos de la manera convencional por medio de un mapa de bits con un bit para cada precodificador puede por tanto imponer una sobrecarga grande, especialmente si la restricción de subconjunto de libro de códigos (CSR) es actualizada frecuentemente o si hay muchos usuarios servidos por la celda que tiene que recibir cada uno la CSR.

El documento US 2013/163687 A1 describe un método y un dispositivo para el procesamiento de la restricción de subconjunto de libro de códigos. El documento US 2014/016549 A1 describe un equipo de usuario que realiza un método de muestreo de libro de códigos en una red inalámbrica que tiene sistemas de antena bidimensionales.

COMPENDIO

La invención está definida por las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas de la invención están estipuladas en las reivindicaciones dependientes. Mientras que se han descrito varias realizaciones y/o ejemplos en la descripción, la materia objeto para la que se busca la protección se limita estrictamente y exclusivamente a aquellas realizaciones y/o ejemplos abarcados por el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Las realizaciones y/o ejemplos mencionados en la descripción que no caen bajo el alcance de las reivindicaciones son útiles para entender la invención.

Una o más realizaciones en la presente memoria incluyen un método implementado por un nodo de red para señalar a un dispositivo de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El método comprende generar señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo restringiendo un cierto componente que los precodificadores en el grupo tienen en común. El método comprende además enviar la señalización generada desde el nodo de red al dispositivo de comunicación inalámbrica.

Las realizaciones en la presente memoria también incluyen de manera correspondiente un método implementado por un dispositivo de comunicación inalámbrica para decodificar la señalización de un nodo de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El método comprende recibir señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo restringiendo un cierto componente que los precodificadores en el grupo tienen en común. El método comprende además decodificar la señalización recibida como restricción conjunta de los precodificadores en cada uno del uno o más grupos de precodificadores.

En algunas realizaciones, la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos es señalización independiente del rango que restringe conjuntamente los precodificadores en un grupo sin tener en cuenta el rango de transmisión de los precodificadores.

En algunas realizaciones, el cierto componente comprende un precodificador de haz. En algunas realizaciones, por ejemplo, un precodificador de haz es un producto de Kronecker de diferentes vectores de formación de haz asociados con diferentes dimensiones de un arreglo de antenas multidimensional. En este caso, los diferentes vectores de formación de haz pueden comprender vectores de Transformada Discreta de Fourier (DFT).

En otras realizaciones donde el cierto componente comprende un precodificador de haz, un precodificador de haz es un vector de formación de haz utilizado para transmitir en una capa particular de una transmisión multicapa. Se transmiten diferentes versiones escaladas de ese vector de formación de haz en diferentes polarizaciones.

En todavía otras de tales realizaciones, un precodificador de haz es un vector de formación de haz utilizado para transmitir en: múltiples capas diferentes de una transmisión multicapa; múltiples capas diferentes de una transmisión multicapa, en donde las capas se envían en polarizaciones ortogonales; o una capa particular y en una polarización particular.

En algunas realizaciones, se restringe un precodificador que comprende uno o más precodificadores de haz si al menos uno de sus uno o más precodificadores de haz está restringido.

En cualquiera de estas realizaciones, la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos puede comprender un mapa de bits, con diferentes bits en el mapa de bits respectivamente dedicados a indicar si los diferentes precodificadores de haz están restringidos de ser utilizados o no.

Alternativamente o adicionalmente, un precodificador de haz puede ser un producto de Kronecker de primer y segundo vectores de formación de haz con primer y segundo índices. En este caso, el primer y segundo vectores de formación de haz pueden estar asociados con diferentes dimensiones de un arreglo de antenas multidimensional, y la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos puede restringir conjuntamente los precodificadores en un grupo de precodificadores que tienen el mismo par de valores para el primer y segundo índices.

En algunas realizaciones, cada precodificador comprende uno o más precodificadores de haz. En algunas de estas realizaciones, cada precodificador de haz comprende múltiples componentes diferentes correspondientes a diferentes dimensiones de un arreglo de antenas multidimensional. El cierto componente en este caso puede comprender un componente de un precodificador de haz.

En algunas realizaciones, la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos restringe conjuntamente los precodificadores en un grupo de precodificadores que transmiten al menos en parte hacia una cierta dirección de apuntamiento angular, restringiendo un cierto componente que tiene esa dirección de apuntamiento angular.

Las realizaciones en la presente memoria también incluyen otro método implementado por un nodo de red para la señalización a un dispositivo de comunicación inalámbrica cuyos precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El método comprende una serie de pasos para cada uno de uno o más grupos de precodificadores en el libro de códigos. Estos pasos incluyen identificar una o más configuraciones de referencia para el grupo. Cada configuración de referencia es una de diferentes posibles configuraciones que restringe diferentes subgrupos de precodificadores en el grupo de ser utilizados. Los pasos también incluyen identificar, a partir de las diferentes posibles configuraciones para el grupo, una configuración real a ser señalizada para el grupo. Los pasos también incluyen generar señalización para indicar la configuración real para el grupo, generando la señalización como un patrón de bits cuya longitud depende de (i) si la configuración real coincide con una de la una o más configuraciones de referencia y/o (ii) con qué configuración de referencia coincide la configuración real. El método comprende además enviar la señalización generada al dispositivo de comunicación inalámbrica.

Las realizaciones en la presente memoria incluyen además otro método correspondiente implementado por un dispositivo de comunicación inalámbrica para decodificar la señalización de un nodo de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El método incluye recibir la señalización del nodo de red. El método también implica una serie de pasos para cada uno de uno o más grupos de precodificadores en el libro de códigos. Estos pasos incluyen identificar una o más configuraciones de referencia para el grupo. Cada configuración de referencia es una de diferentes posibles configuraciones que restringe diferentes subgrupos de precodificadores en el grupo de ser utilizados. Los pasos incluyen además identificar un patrón de bits definido para señalar cada configuración de referencia, y una longitud de ese patrón de bits. Los pasos también incluyen detectar una configuración real señalizada para el grupo, detectando en la señalización un patrón de bits cuya longitud depende de (i) si la configuración real coincide con una de la una o más configuraciones de referencia y/o (ii) con qué configuración de referencia coincide la configuración real.

En algunas realizaciones, la señalización es un patrón de bits corto cuando la configuración real coincide con cualquiera de la una o más configuraciones de referencia y es un patrón de bits largo cuando la configuración real no coincide con ninguna de la una o más configuraciones de referencia. Un patrón de bits largo tiene más bits que un patrón de bits corto. En este caso, la una o más configuraciones de referencia para al menos uno del uno o más grupos puede comprender una única configuración de referencia, y se pueden definir respectivamente diferentes patrones de bits largos para señalar diferentes configuraciones distintas de la configuración de referencia única. Alternativamente o adicionalmente, un patrón de bits largo definido para señalar la configuración real para el grupo puede comprender: (i) un patrón de bits de no-referencia definido para señalar que la configuración real no coincide con una configuración de referencia para el grupo; y (ii) un mapa de bits que comprende diferentes bits respectivamente dedicados a indicar si los diferentes precodificadores en el grupo están restringidos de ser utilizados.

En algunas realizaciones, la una o más configuraciones de referencia para al menos uno del uno o más grupos comprende múltiples configuraciones de referencia. En este caso, cuando la configuración real coincide con una particular de las múltiples configuraciones de referencia, la señalización es un patrón de bits cuya longitud es más corta que la de un patrón de bits generado cuando la configuración real coincide con una diferente de las múltiples configuraciones de referencia.

En algunas realizaciones, la una o más configuraciones de referencia para un grupo tiene cada una de ellas una probabilidad mayor real o supuesta de ser señalizada que cualquier otra posible configuración que no sea una de la una o más configuraciones de referencia.

En algunas realizaciones, se realiza el método para múltiples grupos diferentes que incluyen respectivamente diferentes porciones de los precodificadores en el libro de códigos. En este caso, la señalización indica las configuraciones reales para los grupos en un orden definido. La una o más configuraciones de referencia para cada grupo comprende una única configuración de referencia, y la única configuración de referencia para cualquier grupo dado es la configuración real, si la hay, señalizada inmediatamente antes que la del grupo dado.

En algunas realizaciones, el libro de códigos es un libro de códigos de Kronecker definido para un arreglo de antenas multidimensional y comprende diferentes precodificadores indexados por diferentes posibles valores de un parámetro de índice único. En este caso, los diferentes posibles valores del parámetro de índice único se dividen en diferentes agrupaciones de valores ordenados consecutivamente, y los precodificadores en diferentes del uno o más grupos son respectivamente indexados por las diferentes agrupaciones de valores ordenados consecutivamente.

En algunas realizaciones, el libro de códigos es un libro de códigos de Kronecker definido para un arreglo de antenas multidimensional y comprende diferentes precodificadores indexados por diferentes pares de posibles valores para un parámetro de índice de primera dimensión y un parámetro de índice de segunda dimensión. En este caso, los precodificadores en cada uno del uno o más grupos son indexados por pares que tienen el mismo valor ya sea para el parámetro de índice de primera dimensión o el parámetro de índice de segunda dimensión.

Las realizaciones en la presente memoria incluyen además aparatos y productos de programa de ordenador correspondientes.

En al menos algunas realizaciones, señalar una restricción de subconjunto de libro de códigos de esta manera reduce ventajosamente la sobrecarga de señalización impuesta por la transmisión de la restricción de subconjunto de libro de códigos, al tiempo que permite flexibilidad en la configuración de diferentes restricciones de subconjunto de libro de códigos.

Las realizaciones en la presente memoria por lo tanto incluyen generalmente métodos para reducir el número de bits requerido para señalar una configuración de restricción de subconjunto de libro de códigos a un dispositivo de comunicación inalámbrica. Los métodos en una o más de estas realizaciones hacen eso mediante:

Utilización de una suposición explícita o implícita sobre qué conjuntos de precodificadores es más probable que sean restringidos, y/o asociación de un grupo de precodificadores con un único bit de restricción de subconjunto de libro de códigos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de flujo lógico que indica la señalización de restricción de conjunto de libro de códigos (CSR) entre un nodo de red y un dispositivo de comunicación inalámbrica según una o más realizaciones.

La Figura 2 es un diagrama de flujo lógico de un método implementado por un nodo de red para señalar a un dispositivo de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, según algunas realizaciones.

La Figura 3 es un diagrama de bloques de un arreglo de antenas bidimensional de elementos de antena de polarización cruzada según algunas realizaciones.

La Figura 4 es un gráfico que ilustra las direcciones de apuntamiento angulares de los precodificadores en un libro de códigos según algunas realizaciones.

La Figura 5 es un diagrama de flujo lógico de un método implementado por un nodo de red para señalar a un dispositivo de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, según otras realizaciones.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de un libro de códigos ejemplar según algunas realizaciones.

La Figura 7 es un gráfico que ilustra las direcciones de apuntamiento angulares de los precodificadores en un libro de códigos según otras realizaciones.

La Figura 8 es un diagrama de bloques de agrupaciones de precodificadores según algunas realizaciones.

La Figura 9 es un diagrama de flujo lógico de un método implementado por un dispositivo de comunicación inalámbrica para decodificar la señalización de un nodo de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, según algunas realizaciones.

La Figura 10 es un diagrama de flujo lógico de un método implementado por un dispositivo de comunicación inalámbrica para decodificar la señalización de un nodo de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, según otras realizaciones.

La Figura 11 es un diagrama de bloques de un nodo de red según algunas realizaciones.

La Figura 12 es un diagrama de bloques de un nodo de red según otras realizaciones.

La Figura 13 es un diagrama de bloques de un dispositivo de comunicación inalámbrica según algunas realizaciones.

La Figura 14 es un diagrama de bloques de un dispositivo de comunicación inalámbrica según otras realizaciones.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Según el diagrama de flujo de la Figura 1, un nodo 10 de red en una red de comunicación inalámbrica (p.ej., un eNB en la red) señala una configuración 12 de restricción de subconjunto de libro de códigos (CSR) a un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica (p. ej., un U.E). El dispositivo 14 envía entonces un informe 16 de información de estado del canal (CSI) de vuelta a la red. Este informe 16 de CSI sugiere cuáles de los diferentes posibles precodificadores en un libro de códigos en la red debe utilizar la red para transmitir al dispositivo 14, pero el informe 16 de CSI está restringido en el sentido de que hay un subconjunto de precodificadores que no puede ser informado por el dispositivo 14; es decir, no todos los precodificadores en el libro de códigos pueden ser seleccionados e informados por el dispositivo 14. Esta restricción es definida por la configuración 12 de CSR señalizada.

En más detalle, para un libro de códigos X de precodificador, que consta de N precodificadores, hay 2^N posibles configuraciones de restricción de subconjunto de libro de códigos dado que cada precodificador puede ser individualmente permitido o restringido (no se permite utilizar una configuración restringida). Cada configuración se puede representar por un mapa de bits de N bits, donde cada bit corresponde a un cierto precodificador y el valor del bit indica entonces si el precodificador está restringido o no. Si cada una de las 2^N configuraciones es equiprobable e independiente, ésta es la representación óptima de una configuración de restricción de subconjunto de libro de códigos con respecto a la longitud esperada (en bits) de la representación y proporciona flexibilidad total.

Sin embargo, las realizaciones en la presente memoria reconocen que, si es más probable que se utilicen ciertas configuraciones que otras, y/o si la restricción de un precodificador está altamente correlacionada con la restricción de otro precodificador, entonces esta señalización conduce a una sobrecarga de señalización innecesariamente alta. Una o más realizaciones en la presente memoria incluyen métodos para reducir esta sobrecarga de señalización; es decir, reducir el número de bits requerido para señalar una configuración de restricción de subconjunto de libro de códigos a un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica desde la red. En algunas realizaciones, por ejemplo, los métodos utilizan una suposición implícita sobre qué conjuntos de precodificadores es más probable que sean restringidos o qué conjuntos de precodificadores es más probable que sean restringidos conjuntamente.

Según una realización mostrada en la Figura 2, por ejemplo, un método es implementado por un nodo 10 de red (p.ej., una estación base) para señalar a un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. Para cada uno de uno o más grupos de precodificadores en el libro de códigos, el método incluye identificar una o más configuraciones de referencia para el grupo (Bloque 110). Cada configuración de referencia es una de diferentes posibles configuraciones que restringen diferentes subgrupos de precodificadores en el grupo de ser utilizados. Una de las configuraciones de referencia para un grupo puede ser por ejemplo cualquiera de las diferentes posibles configuraciones que tenga la máxima probabilidad de ser señalizada, p.ej., como se predijo o se estimó en base a observaciones empíricas o suposiciones implícitas. En cualquier caso, el método incluye además identificar, a partir de las diferentes posibles configuraciones para el grupo, la configuración real a ser señalizada para el grupo (Bloque 120).

El método también incluye generar señalización para indicar la configuración real para el grupo (Bloque 130). Esto implica generar la señalización como un patrón de bits cuya longitud depende de (i) si la configuración real coincide con una de la una o más configuraciones de referencia; y/o (ii) con qué configuración de referencia coincide la configuración real. En algunas realizaciones, por ejemplo, cuando la configuración real coincide con cualquier configuración de referencia, la longitud del patrón de bits es más corta que cuando la configuración real no coincide con ninguna configuración de referencia. En otras realizaciones, cuando la configuración real coincide con una particular de múltiples configuraciones de referencia, la longitud del patrón de bits es más corta que cuando la configuración real coincide con una diferente de las configuraciones de referencia. En cualquier caso, este proceso (Bloques 110-130) se repite para cada uno de uno o más grupos de precodificadores en el libro de códigos (Bloques 100, 140, y 150). Finalmente, el método incluye enviar la señalización generada al dispositivo 14 de comunicación inalámbrica (Bloque 160).

Este enfoque se puede ver en cierto sentido como una especie de algoritmo de compresión para señalización CSR. De hecho, el enfoque reduce ventajosamente la sobrecarga de señalización cuando, en el transcurso de un periodo de tiempo dado, los ahorros de sobrecarga realizados mediante la señalización de patrones de bits con longitudes relativamente más cortas superan los costes de sobrecarga impuestos por la señalización de patrones de bits con longitudes relativamente más largas. Dependiendo de las longitudes relativas de los patrones de bits, entonces, el enfoque puede por ejemplo reducir la sobrecarga de señalización cuando la una o más configuraciones de referencia (o particulares de la una o más configuraciones de referencia) son señalizadas más a menudo que no.

En al menos algunas realizaciones, por lo tanto, una configuración de referencia tiene una mayor posibilidad o probabilidad de ser señalizada que cualquier otra posible configuración que no sea una configuración de referencia. Por ejemplo, la una o más configuraciones de referencia para un grupo pueden incluir cualquiera de las diferentes posibles configuraciones para el grupo que tengan la mayor probabilidad de ser señalizadas. Diferentes configuraciones de referencia que tienen diferentes probabilidades de ser señalizadas se pueden representar con patrones de bits de diferentes longitudes, donde las configuraciones de referencia con mayores probabilidades se representan con patrones de bits de longitudes más cortas. Es decir, ciertas configuraciones que se consideran más probables se pueden representar con un menor número de bits, mientras que otras configuraciones, que se consideran menos probables de ser utilizadas, se pueden representar con un mayor número de bits.

En algunas realizaciones, la una o más configuraciones de referencia pueden ser predefinidas para ser una particular o particulares de las posibles configuraciones, p.ej., en base a una suposición (implícita) de que la configuración o configuraciones particulares tienen la mayor probabilidad de ser señalizadas. Por ejemplo, se hace una suposición implícita sobre cómo es probable que se configure la red. Por tanto, aquí ciertas configuraciones se consideran más probables que otras pero no hay valores de probabilidad reales estimados para las diferentes configuraciones.

En otras realizaciones, sin embargo, el nodo 10 de red determina las probabilidades de señalización de diferentes configuraciones, p.ej., en base a observaciones empíricas y compara esas probabilidades para identificar la configuración o configuraciones con la mayor probabilidad. En una realización por ejemplo las probabilidades de señalización se estiman a través del registro de datos de red. Por tanto, aquí puede ser posible estimar las probabilidades reales para las diferentes configuraciones. En general, por lo tanto, el conocimiento de “cuán probable” es una cierta configuración se puede obtener de muchas maneras.

En algunas realizaciones, solo se define para un grupo una única configuración de referencia. En este caso, la señalización se genera como un patrón de bits corto cuando la configuración real coincide con la configuración de referencia y como un patrón de bits largo cuando la configuración real no coincide con la configuración de referencia. Se definen respetivamente diferentes patrones de bits largos a este respecto para señalar diferentes configuraciones (distintas de la configuración de referencia, para la que se define el patrón de bits corto para la señalización). Un patrón de bits largo por supuesto tiene más bits que un patrón de bits corto (p.ej., N bits vs. 1 bit).

En otras realizaciones, se definen múltiples configuraciones de referencia para un grupo. En este caso, la señalización se puede generar como patrones de bits que tienen diferentes longitudes cuando la configuración real coincide con diferentes configuraciones de referencia. Estas longitudes pueden corresponder a cuán probable es que las configuraciones de referencia sean señalizadas. La longitud del patrón de bits puede ser más corta cuando la configuración real coincide con una particular de las configuraciones de referencia (p.ej., la que tiene la máxima probabilidad de ser señalizada), puede ser la siguiente más corta cuando la configuración real coincide con una configuración de referencia diferente (p.ej., la que tiene la siguiente mayor probabilidad de señalización), y puede ser más larga cuando la configuración real no coincide con ninguna de las configuraciones de referencia.

En algunas realizaciones, los patrones de bits que señalizan configuraciones de no-referencia se codifican como una combinación de un así llamado “patrón de bits de no-referencia” y un “mapa de bits”. El patrón de bits de no-referencia se define para señalar que la configuración real para el grupo no coincide con ninguna configuración de referencia para el grupo. El patrón de bits de no-referencia puede por ejemplo ser el complemento de un patrón de bits definido para señalar una configuración de referencia. Por ejemplo, cuando solo se define una única configuración de referencia para un grupo, el patrón de bits que señala esa configuración de referencia puede simplemente ser un único bit con un valor de “1”, mientras que el patrón de bits de no-referencia puede ser un único bit con un valor de “0”. En cualquier caso, la porción del mapa de bits del patrón de bits comprende diferentes bits respectivamente dedicados a indicar si los diferentes precodificadores en el grupo están restringidos de ser utilizados.

En al menos algunas realizaciones, el método se realiza para solo un grupo. Este único grupo en una realización incluye todos los precodificadores en el libro de códigos.

En otra realización, por supuesto, el único grupo incluye solo una porción de los precodificadores en el libro de códigos, de tal manera que se adopta el enfoque de señalización para solo esta porción, mientras que se adoptan otros enfoques de señalización (p.ej., el mapa de bits convencional) para otras porciones.

En otras realizaciones, el método se realiza para múltiples grupos diferentes que incluyen respectivamente diferentes porciones de los precodificadores en el libro de códigos. En tal realización, la señalización indica las configuraciones reales para los grupos en un orden definido. En una realización, la una o más configuraciones de referencia para cualquier grupo dado incluye la configuración real, si la hay, señalizada inmediatamente antes que la del grupo dado (según el orden definido).

Considérese un ejemplo con un libro de códigos arbitrario de tamaño N, donde el único grupo incluye todos los N precodificadores. Una cierta configuración de las 2^N posibles configuraciones de restricción de subconjunto de libro de códigos para el grupo único se considera más probable. Esta configuración se representa por un único bit, ‘1’. Las otras $2^N - 1$ configuraciones se representan por un ‘0’, seguido de un mapa de bits de tamaño N. Una de las configuraciones se representa entonces por 1 bit, mientras que las otras configuraciones se representan por N + 1 bits. Dado que la configuración representada por un bit se señala más frecuentemente, según la suposición, el número medio de bits requerido para transmitir la restricción de subconjunto de libro de códigos puede ser mucho menor que N.

Sin embargo, si la suposición de que una de las posibles configuraciones de restricción de subconjunto de libro de códigos era más probable que las otras era incorrecta para el uso real de las configuraciones de restricción de

subconjunto de libro de códigos, el número medio de bits requerido para transmitir una restricción de subconjunto de libro de códigos a un UE puede ser mayor que N bits. Una o más realizaciones en la presente memoria por lo tanto pretenden elegir bien las representaciones de las 2^N configuraciones. Diversos métodos pueden representar las 2^N configuraciones de manera diferente dependiendo de qué conjuntos de precodificadores es más probable que sean restringidos.

Considérese por ejemplo las realizaciones donde el libro de códigos se define para un arreglo de antenas multidimensional (p.ej., bidimensional). Tales arreglos de antenas pueden ser (parcialmente) descritos por el número de columnas de antenas correspondientes a la dimensión horizontal M_h , el número de filas de antenas correspondientes a la dimensión vertical M_v y el número de dimensiones correspondientes a diferentes polarizaciones M_p . El número total de antenas es por tanto $M = M_h M_v M_p$. Debe señalarse que el concepto de una antena es no limitativo en el sentido de que se puede referir a cualquier virtualización (p.ej., mapeo lineal) de los elementos de antena físicos. Por ejemplo, los pares de subelementos físicos podrían ser alimentados con la misma señal, y por tanto compartir el mismo puerto de antena virtualizado.

Un ejemplo de un arreglo de 4x4 con elementos de antena de polarización cruzada se ilustra en la Figura 3. Específicamente, la Figura 3 muestra un arreglo de antenas bidimensional de elementos de antena de polarización cruzada ($M_p = 2$), con $M_h = 4$ elementos de antena horizontales y $M_v = 4$ elementos de antena verticales, suponiendo que un elemento de antena corresponde a un puerto de antena.

La precodificación se puede interpretar como una multiplicación de la señal con diferentes pesos de formación de haz para cada antena antes de la transmisión. Un enfoque típico es adaptar el precodificador al factor de forma de la antena, i.e., teniendo en cuenta M_h , M_v y M_p al diseñar el libro de códigos de precodificador.

Según algunas realizaciones, un libro de códigos de precodificador se adapta para arreglos de antenas 2D combinando precodificadores adaptados para un arreglo horizontal y un arreglo vertical respectivamente por medio de un producto de Kronecker. Esto significa que (al menos parte de) el precodificador se puede describir como una función de

$$W_H \otimes W_V$$

donde W_H es un precodificador horizontal tomado de un (sub)libro de códigos X_H que contiene N_H palabras de código y de manera similar W_V es un precodificador vertical tomado de un (sub)libro de códigos X_V que contiene N_V palabras de código. El libro de códigos conjunto, denotado $X_H \square X_V$, por tanto, contiene $N_H \cdot N_V$ palabras de código. Los elementos X_H se indexan con $k = 0, \dots, N_H - 1$, los elementos de X_V se indexan con $l = 0, \dots, N_V - 1$ y los elementos del libro de códigos conjunto $X_H \square X_V$ se indexan con $m = N_V \cdot k + l$ lo que significa que $m = 0, \dots, N_H \cdot N_V - 1$.

En algunas realizaciones, por ejemplo, los (sub)libros de códigos del libro de códigos de Kronecker constan de precodificadores DFT. En este caso, el libro de códigos horizontal se puede expresar como

$$X_H^k = \left[1 \ e^{j2\pi \frac{1k + \Delta_h}{M_h Q_h}} \ \dots \ e^{j2\pi \frac{(M_h - 1)k + \Delta_h}{M_h Q_h}} \right]^T \quad k = 0, \dots, M_h Q_h - 1,$$

donde Q_h es un factor de sobremuestreo horizontal de número entero y Δ_h puede tomar valor en el intervalo de 0 a 1 para “desplazar” el patrón de haz ($\Delta_h = 0.5$ podría ser un valor interesante para crear simetría de haces con respecto al lado ancho de un arreglo). Y el libro de códigos vertical se puede expresar como

$$X_V^l = \left[1 \ e^{j2\pi \frac{1l + \Delta_v}{M_v Q_v}} \ \dots \ e^{j2\pi \frac{(M_v - 1)l + \Delta_v}{M_v Q_v}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, M_v Q_v - 1,$$

donde Q_v es un factor de sobremuestreo vertical de número entero y Δ_v se define de manera similar a lo anterior.

Debe señalarse que un libro de códigos de precodificador se puede definir de varias maneras. Por ejemplo, el libro de códigos de Kronecker mencionado anteriormente se puede interpretar como un libro de códigos indexado con un único PMI m . Alternativamente, se puede interpretar como un único libro de códigos indexado con dos PMI k y l . También se puede interpretar como dos libros de códigos separados, indexados con k y l respectivamente. Además, el libro de códigos de Kronecker analizado anteriormente puede describir solo una parte del precodificador, i.e., el precodificador puede ser una función de otros parámetros también. En tal ejemplo, el precodificador es una función también de otro PMI n . De nuevo, esto se puede interpretar como tres libros de códigos separados con índices k , l y

n respectivamente, o dos libros de códigos separados con índices $m = N_V \cdot k + l$ y n respectivamente. También se puede interpretar como un único libro de códigos conjunto con un PMI conjunto. Las realizaciones en la presente memoria se deben considerar independientes con respecto a cómo se define un libro de códigos.

5 Con este entendimiento, el libro de códigos en cuestión en la Figura 2 puede ser un libro de códigos de Kronecker que comprende diferentes precodificadores indexados (al menos en parte) por diferentes posibles valores de un
 10 único parámetro de índice (p.ej., parámetro de índice $m = 0, \dots, N_H \cdot N_V - 1$). En este caso, los diferentes posibles valores del único parámetro de índice se dividen en diferentes agrupaciones de valores ordenados consecutivamente. Y los precodificadores en los diferentes grupos son indexados respectivamente (al menos en
 15 parte) por las diferentes agrupaciones de valores ordenadas consecutivamente. Por ejemplo, los precodificadores indexados por la agrupación $m = 0, \dots, m_1$ pertenecen a un primer grupo, los precodificadores indexados por la agrupación $m = m_2, \dots, m_3$ pertenecen a un segundo grupo, los precodificadores indexados por la agrupación $m = m_4, \dots, m_5$ pertenecen a un tercer grupo, y así sucesivamente. Como un ejemplo incluso más específico, una o más realizaciones aprovechan la estructura de Kronecker del precodificador mapeando el índice m a los índices k y l como $m = N_H \cdot k + l$ y agrupando los precodificadores de tal manera que $m = 0, \dots, N_V - 1$ es el primer grupo, $m = N_V, \dots, 2N_V - 1$ es el segundo grupo, etc.

En otra realización, por el contrario, el libro de códigos de Kronecker comprende diferentes precodificadores indexados (al menos en parte) por diferentes pares de posibles valores para un parámetro de índice de primera
 20 dimensión (p.ej., $k = 0, \dots, N_H - 1$) y un parámetro de índice de segunda dimensión (p.ej., $l = 0, \dots, N_V - 1$). En este caso, los precodificadores en cada uno de los diferentes grupos son indexados (al menos en parte) por pares (k, l) que tienen el mismo valor para el parámetro k de índice de primera dimensión y/o el parámetro l de índice de segunda dimensión.

25 Dos realizaciones diferentes a este respecto, denominadas como una "realización de filas similares" y una "realización de columnas similares", se ilustrarán ahora en el contexto de un libro de códigos de Kronecker y donde solo se define una única configuración de referencia para un grupo. El libro de códigos de Kronecker en este ejemplo consta de precodificadores con diferentes direcciones angulares, que abarcan un área angular bidimensional como se ve desde el transmisor. Un caso de uso importante para la restricción de subconjunto de libro de códigos en tal
 30 realización puede ser restringir los precodificadores en un cierto área angular o intervalo de ángulo, p.ej., correspondiente a una dirección donde se localiza un punto de acceso de usuario de una celda adyacente. El eNodeB reduciría entonces la interferencia a dicha celda adyacente y en particular el área de punto de acceso si los precodificadores correspondientes a haces que apuntan en esa dirección estuviesen restringidos. Esto es beneficioso desde una perspectiva de la capacidad del sistema.

35 En lo que sigue, considérese el ejemplo específico donde se utiliza restricción de subconjunto de libro de códigos en un libro de códigos de Kronecker para entender cómo se pueden utilizar diferentes realizaciones para reducir la sobrecarga de señalización. En este escenario, se utiliza un arreglo de antenas de 4x4 con una inclinación mecánica hacia abajo de 18°. El libro de códigos de Kronecker consta de 8 precodificadores verticales y 8 horizontales, i.e., $N_H = N_V = 8$. Las direcciones de apuntamiento angulares de los precodificadores en el libro de códigos se ilustran en la
 40 Figura 4.

Se aplica restricción de subconjunto de libro de códigos para restringir los haces con direcciones de apuntamiento en el intervalo de cenit [85°, 95°] (ilustrado con líneas de puntos). Es decir, se aplica restricción de subconjunto de
 45 libro de códigos en el intervalo angular $85^\circ < \theta < 95^\circ$, lo que significa que los precodificadores con índices (k, l) = (0,4), (3,5), (4,5), (7,4) están restringidos. Estos haces restringidos se ilustran con una 'o' mientras que los haces no restringidos se ilustran con una 'x'. El índice k de haz en el libro de códigos horizontal y l en el libro de códigos vertical se escribe junto a los haces como (k, l). Si esta configuración de restricción de subconjunto de libro de códigos fuera señalizada con un mapa de bits convencional, se utilizarían $N = N_H \cdot N_V = 64$ bits.

50 "Realización de filas similares"

En una realización, mediante la utilización de la compresión de la señalización CSR, se diseña un esquema teniendo en cuenta la hipótesis de que es probable que los precodificadores (k, l) con índices l adyacentes (i.e., (k, $l_0 - 1$), (k, l_0) and (k, $l_0 + 1$)) tengan el mismo ajuste de restricción, lo que significa que si (k, l_0) está restringido, es probable que
 55 (k, $l_0 + 1$) esté restringido también y viceversa. El esquema funciona como sigue:

Primero, se envía un mapa de bits de N_H bits, que indica la restricción de subconjunto de libro de códigos para la "fila" de precodificadores donde $l = 0$ (c.f. Figura 4), i.e. los precodificadores (k, l) = (0,0), (1,0), ..., ($N_H - 1, 0$).

60 Entonces, se envía la restricción de subconjunto de libro de códigos para la segunda "fila" de precodificadores, donde $l = 1$. Si la restricción es la misma que para la fila previa de precodificadores, se envía un '1'. Si la restricción para esta fila difiere de la restricción de la fila previa, se envía un '0', seguido por un mapa de bits que indica la restricción para esta fila.

65 El paso previo se repite entonces para cada una de las N_V "filas" de precodificadores.

Esta realización se ilustra con un ejemplo, considerando que se debe señalar el ajuste de restricción de subconjunto de libro de códigos ilustrado en la Figura 4, i.e., la restricción de precodificadores con índices $(k, l) = (0,4), (3,5), (4,5), (7,4)$.

5 Para $l = 0$:

No se debe restringir ningún precodificador con índice $l = 0$, por lo tanto se envía el mapa de bits '00000000'.

10 Para $l = 1$:

La restricción de esta fila es idéntica a la restricción de la fila previa, se envía el bit '1'.

Para $l = 2$:

15 La restricción de esta fila es idéntica a la restricción de la fila previa, se envía el bit '1'.

Para $l = 3$:

20 La restricción de esta fila es idéntica a la restricción de la fila previa, se envía el bit '1'.

Para $l = 4$:

25 La restricción de esta fila no es idéntica a la restricción de la fila previa, por lo tanto se envía el bit '0'. Se debe enviar ahora el mapa de bits que indica la restricción para esta fila. Los precodificadores $(0,4)$ y $(7,4)$ deben ser restringidos. Por lo tanto, se envía el mapa de bits '10000001'.

Para $l = 5$:

30 La restricción de esta fila no es idéntica a la restricción de la fila previa, por lo tanto se envía el bit '0'. Se debe enviar ahora el mapa de bits que indica la restricción para esta fila. Los precodificadores $(3,5)$ y $(4,5)$ deben ser restringidos. Por lo tanto, se envía el mapa de bits '00011000'.

Para $l = 6$:

35 La restricción de esta fila no es idéntica a la restricción de la fila previa, por lo tanto se envía el bit '0'. Se debe enviar ahora el mapa de bits que indica la restricción para esta fila. No se debe restringir ningún precodificador. Por lo tanto, se envía el mapa de bits '00000000'.

40 Para $l = 7$:

La restricción de esta fila es idéntica a la restricción de la fila previa, se envía el bit '1'.

La cadena de bits a ser señalizada es por tanto 0000000001110100000010000110000000000001', que consta de 39 bits. Generalmente, el número de bits requerido con este esquema es

$$N_{bits} = M \cdot N_H + N_V - 1$$

50 Donde M es el número de veces que cambian las filas y se tiene que transmitir un mapa de bits para una fila, $M = 4$ en el ejemplo. Analizando la expresión anterior, observamos que $1 \leq M \leq N_V$. Esto significa que para algunas de los $2^N = 2^{N_H \cdot N_V}$ posibles restricciones de subconjunto de libro de códigos, el número de bits requerido para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos con este esquema es menor que N , mientras que para otros, tal como cuando $M = N_V$, el número de bits requerido es mayor que N .

55 Debe señalarse que este es un pequeño ejemplo con el fin de ilustrar la realización. Si se utiliza un libro de códigos mayor, digamos $N_H = N_V = 30$, y $M = 4$ el número de bits requerido con este esquema sería $N_{bits} = M \cdot N_H + N_V - 1 = 149$ en comparación con $N = N_H \cdot N_V = 900$ en el caso de simplemente transmitir el mapa de bits completo; esto es por tanto una reducción sustancial del número de bits requerido.

60 Finalmente, se señala que todas las posibles configuraciones de restricción de subconjunto de libro de códigos pueden ser representadas por este esquema de codificación/decodificación, proporcionando así flexibilidad total.

Realización de "columnas similares"

65 En otra realización, el esquema analizado en la realización previa se modifica teniendo en cuenta en su lugar la hipótesis de que es probable que los precodificadores (k, l) con índices k adyacentes (i.e. $(k_0 - 1, l)$, (k_0, l) y $(k_0 + 1, l)$)

tengan el mismo ajuste de restricción, lo que significa que si (k_0, l) está restringido, es probable que $(k_0 + 1, l)$ esté restringido también y viceversa. La construcción de la cadena de bits a ser señalizada funcionaría entonces de manera similar a como lo hizo en realización analizada previamente, excepto que se utilizarán en su lugar las "columnas" k de precodificadores.

En otra realización se inserta un bit inicial extra donde '1' indica que la codificación se realiza bajo la suposición de que es probable que los precodificadores (k, l) con índices l adyacentes (i.e. $(k, l_0 - 1)$, (k, l_0) y $(k, l_0 + 1)$) tengan la misma restricción, por tanto la codificación se realiza en fila, mientras que un '0' indica que es probable que los precodificadores (k, l) con índices k adyacentes (i.e. $(k_0 - 1, l)$, (k_0, l) and $(k_0 + 1, l)$) tengan el mismo ajuste de restricción, por tanto la codificación se realiza en columna.

En otra realización se inserta un bit inicial donde '1' indica que no se restringe ningún precodificador, un '0' indica que se restringen algunos precodificadores y el '0' está seguido por un número de bits que representa la restricción de subconjunto de libro de códigos.

Por consiguiente, se pueden adoptar diferentes técnicas de "compresión" (ya se basen en filas, columnas, u otros elementos similares) para diferentes grupos de precodificadores en el mismo libro de códigos, donde se indica la técnica particular al dispositivo de modo que el dispositivo pueda decodificar la señalización. Alternativamente, se puede adoptar la misma técnica de "compresión" para cada uno de los grupos de precodificadores, pero la red evalúa diferentes posibles técnicas para identificar la que proporciona la mejor compresión y adopta entonces ese enfoque (y lo indica al dispositivo).

Por supuesto, las realizaciones mostradas en la Figura 2, y las variaciones de las mismas, se pueden utilizar para señalar un subconjunto restringido de precodificadores en cualquier libro de códigos dado, ya tenga estructura de Kronecker o no. Además, la señalización puede ser específica de rango, lo que significa que diferente señalización restringe diferentes libros de códigos específicos de rango.

Según otras realizaciones mostradas en la Figura 5, se implementa un método en un nodo 10 de red (p.ej., una estación base) para señalar a un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados (p.ej., qué precodificadores de producto de Kronecker están restringidos). Como se muestra, el método incluye generar señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo, p.ej., con un único bit de señalización (Bloque 210). En al menos algunas realizaciones, esta señalización (i) es independiente del rango para restringir precodificadores independientemente de su rango de transmisión; y/o (ii) restringe conjuntamente un grupo de precodificadores restringiendo un cierto componente que esos precodificadores (i.e., los precodificadores en el grupo) tienen en común. En cualquier caso, el método incluye entonces enviar la señalización generada al dispositivo 14 de comunicación inalámbrica (Bloque 220).

Considérese las realizaciones que restringen conjuntamente un grupo de precodificadores restringiendo un cierto componente que esos precodificadores (i.e., los precodificadores en el grupo) tienen en común. Los precodificadores tienen un cierto componente en común si los precodificadores se derivan de o son de otra manera una función de ese mismo componente. En una realización, por ejemplo, un grupo de precodificadores $W(b)$ que tienen un cierto componente b en común se restringen conjuntamente restringiendo ese componente b . La restricción de este componente b se puede señalar por ejemplo en términos de uno o más índices para el componente (p.ej., m donde el componente se indexa como b_m o (k, l) donde el componente se indexa como $b_{k,l}$, con $m, k, y l$ siendo índices para un libro de códigos con estructura de Kronecker como se describió anteriormente).

Obsérvese que las realizaciones en la presente memoria contemplan un precodificador que tiene uno o más "componentes" diferentes a cualquier nivel de granularidad (p.ej., componente o componentes a un alto nivel de factorización del precodificador y/o componente o componentes a un nivel inferior de factorización del precodificador). Por ejemplo, un precodificador puede comprender uno o más componentes b diferentes a un nivel de granularidad. A un nivel más fino de granularidad, sin embargo, cada uno de estos componentes b se puede a su vez derivar de o de otra manera ser una función de múltiples subcomponentes X_H y X_V de tal manera que $b(x_H, x_V)$. En este caso, un grupo de precodificadores $W(x_H, x_V)$ que tienen un cierto componente X_H o X_V en común se pueden restringir conjuntamente restringiendo ese componente X_H o X_V . La restricción de este componente X_H o X_V se puede señalar por ejemplo en términos de un índice para el componente (p.ej., k o l donde el componente X_H se indexa como $x_{x_H}^k$ y el componente X_V se indexa como $x_{x_V}^l$, con X_H y X_V siendo vectores de formación de haz horizontales y verticales, respectivamente, y con k y l siendo índices para un libro de códigos con estructura de Kronecker como se describió anteriormente).

En algunas realizaciones, un precodificador en un nivel de granularidad consta de uno o más componentes diferentes que se denominan como uno o más así llamados "precodificadores de haz". Cada precodificador W a este respecto consta de uno o más vectores $b_0, b_1, \dots, b_x$ de formación de haz que se denominan como precodificadores de haz. Una o más realizaciones en la presente memoria restringen conjuntamente un grupo de precodificadores W que tienen un cierto precodificador de haz en común, restringiendo ese precodificador de haz. Con la restricción de precodificadores W en su conjunto basada en la restricción de uno o más de sus precodificadores de haz

constitutivos, estas realizaciones generan ventajosamente la señalización CSR en términos de restricciones específicas de haz (i.e., restricciones de ciertos precodificadores de haz), en lugar de en términos de restricciones específicas de precodificador (i.e., restricciones sobre los precodificadores W en su conjunto). En algunas realizaciones, el dispositivo 14 debe suponer que un precodificador W está restringido si uno o más de sus precodificadores de haz están restringidos. En otras realizaciones, cada precodificador de haz debe estar restringido para que el dispositivo 14 suponga que el precodificador W completo está restringido.

En una realización, un precodificador de haz es el vector de formación de haz utilizado para transmitir en una capa particular, donde las diferentes versiones escaladas de ese vector de formación de haz se transmiten en diferentes polarizaciones. Se transmiten diferentes capas en diferentes precodificadores de haz. Un precodificador W en este caso se puede expresar como:

$$W = \alpha \cdot \begin{bmatrix} b_0 & b_1 & \cdots & b_{L-1} \\ \varphi_0 b_0 & \varphi_1 b_1 & \cdots & \varphi_{L-1} b_{L-1} \end{bmatrix}$$

Aquí, W es una matriz de precodificador de N x L, donde N es el número de puertos de antena de transmisión, L es el rango de transmisión (i.e., el número de flujos espaciales transmitidos), $b_0, b_1, \dots, b_{L-1}$ son $\frac{N}{2} \times 1$ vectores de formación de haz (denotados precodificadores de haz), $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_{L-1}$ y α son números complejos arbitrarios. Otro precodificador W del mismo libro de códigos que el W anterior se puede expresar como:

$$W = \alpha \cdot \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & \cdots & b_L \\ \varphi_1 b_1 & \varphi_2 b_2 & \cdots & \varphi_L b_L \end{bmatrix}$$

Por ejemplo, señalizando b_0 , solo se restringe el primer precodificador y señalizando b_1 se restringirán ambos precodificadores.

En algunas realizaciones, los primeros $\frac{N}{2}$ puertos de antena se mapean a antenas con una polarización mientras que los últimos $\frac{N}{2}$ puertos de antena se mapean a antenas con las mismas posiciones que las primeras antenas, pero con una polarización ortogonal. En tales realizaciones, para cada columna de W (i.e., el precodificador para cada capa espacial), se transmite un precodificador b de haz en una polarización y se transmite una versión escalada del mismo precodificador φb de haz en una segunda polarización. Tal escalado puede afectar a la fase, amplitud, o tanto la fase como la amplitud del precodificador de haz.

En otra realización, un precodificador de haz es el vector de formación de haz utilizado para transmitir en múltiples capas diferentes, donde las capas se envían en polarizaciones ortogonales. En este caso, un precodificador W se puede expresar como:

$$W = \alpha \cdot \begin{bmatrix} b_0 & b_0 & \cdots & b_0 \\ \varphi_0 b_0 & \varphi_1 b_0 & \cdots & \varphi_{L-1} b_0 \end{bmatrix}$$

Por consiguiente, debe señalarse que los precodificadores de haz para cada capa espacial $b_0, b_1, \dots, b_{L-1}$ pueden ser diferentes precodificadores de haz, o, algunos subconjuntos de los precodificadores de haz pueden ser idénticos, por ejemplo b_0 puede ser igual a b_1 .

En otra realización más, un precodificador de haz es el vector de formación de haz utilizado para transmitir en una capa particular y en una polarización particular. Es decir, un precodificador de haz se puede definir de una manera ligeramente diferente a la definición anterior. La definición de un precodificador de haz puede por ejemplo permitir que diferentes precodificadores de haz sean transmitidos en las diferentes polarizaciones de la misma capa, tal como

$$W = \alpha \cdot \begin{bmatrix} b_0 & b_2 & \cdots & b_{2L-2} \\ \varphi_0 b_1 & \varphi_1 b_3 & \cdots & \varphi_{L-1} b_{2L-1} \end{bmatrix}$$

En todavía otra realización, los precodificadores de haz se pueden definir ignorando la polarización como

5

$$W = \alpha \cdot [b_0 \ b_1 \ \dots \ b_{L-1}].$$

10

Obsérvese que los precodificadores $b_0, b_1, \dots, b_{L-1}$ de haz se pueden elegir explícitamente de un conjunto de precodificadores de haz (un libro de códigos) o se pueden elegir implícitamente al seleccionar el precodificador W (completo) de un libro de códigos X . Debe señalarse que la selección del precodificador W (completo) se puede hacer con uno o varios PMI. En el caso en el que la selección del precodificador W completo se realiza con varios PMI, los precodificadores de haz resultantes para cada capa pueden ser una función de solo un subconjunto de los PMI o pueden ser una función de todos los PMI.

15

Independientemente de la manera particular en la que se defina un precodificador de haz, sin embargo, una o más realizaciones en la presente memoria restringen conjuntamente un grupo de precodificadores W que tienen un cierto precodificador de haz en común, restringiendo ese precodificador de haz. Es decir, en algunas realizaciones, la restricción de subconjunto de libro de códigos (CSR) se puede señalar en base al conjunto de posibles precodificadores b de haz, en lugar de CSR señalizada en el conjunto de posibles precodificadores W (completos).

20

En algunas de tales realizaciones, el dispositivo 14 debe suponer que un precodificador W está restringido si uno o más de los precodificadores $b_0, b_1, \dots, b_{L-1}$ de haz de cada capa están restringidos. En otras de tales realizaciones, cada precodificador de haz de las capas debe estar restringido para que el dispositivo 14 suponga que el precodificador W completo está restringido.

25

Considérese un ejemplo específico para un libro de códigos de 8TX con rango de transmisión 2. En algunas realizaciones, este libro de códigos se define como se muestra en la Figura 6. Definido de esta manera, cada precodificador W se forma en parte a partir de un precodificador v_m de haz (obsérvese el cambio de notación de $b_0, b_1, \dots, b_{L-1}$ a v_m). El índice de precodificador de haz es el mismo para algunos precodificadores W , incluyendo por ejemplo precodificadores cuyo índice i_2 de sublibro de códigos es igual a 0, 1, 8, 9, 12 o 13 (dado que para esos precodificadores $m=2i_1$). Esto significa que esos precodificadores W tienen el mismo precodificador v_m de haz en común. Por consiguiente, algunas realizaciones en la presente memoria restringen conjuntamente un grupo de precodificadores W que tienen un precodificador v_m de haz particular en común, restringiendo ese precodificador v_m de haz, p.ej., con un único bit. La restricción de este precodificador v_m de haz se puede señalar por ejemplo en términos de índice m (p.ej., los precodificadores de haz indexados con un valor particular de m están restringidos). La señalización en este caso puede constituir un mapa de bits, con diferentes bits en el mapa de bit respectivamente dedicados a indicar si diferentes precodificadores de haz están restringidos de ser utilizados o no. Por ejemplo, la señalización puede constituir un mapa de bits de valores de m , con diferentes bits en el mapa de bits respectivamente dedicados a indicar si los precodificadores de haz indexados con diferentes de valores de m están restringidos de su uso o no.

40

En realizaciones alternativas no mostradas en la Figura 6, el precodificador v_m de haz se sustituye por el precodificador $v_{k,l}$ de haz que es un producto de Kronecker de un vector X_v de formación de haz vertical con índice k y un vector X_H de formación de haz horizontal con índice l . Por ejemplo, como se señaló anteriormente, estos vectores de formación de haz pueden comprender vectores DFT. En cualquier caso, la restricción del precodificador $v_{k,l}$ de haz se puede señalar en términos del par de índices (k, l) . La señalización en este caso puede constituir un mapa de bits de pares de valores de (k, l) , con diferentes bits en el mapa de bits respectivamente dedicados a indicar si los precodificadores de haz indexados con diferentes pares de valores de (k, l) están restringidos de su uso o no.

45

50

En lugar de tal mapa de bits, la restricción de uno o más precodificadores $v_{k,l}$ de haz en algunas realizaciones se señala conjuntamente en términos de un "rectángulo" definido por dos pares de valores de (k, l) : concretamente, (k_0, l_0) y (k_1, l_1) . En este caso, los precodificadores $v_{k,l}$ de haz con índices $k_0 < k < k_1$ y $l_0 < l < l_1$ están restringidos.

55

Como otra alternativa más, la restricción de uno o más precodificadores $v_{k,l}$ de haz en algunas realizaciones se señala en términos de un mapa de bits de valores de k y/o un mapa de bits de valores de l . Si se señala como solo un mapa de bits de valores de k , el dispositivo en algunas realizaciones supone que cualquier precodificador $v_{k,l}$ de haz con ciertos valores de k está restringido, independientemente de los valores de l de esos precodificadores. Si se señala como solo un mapa de bits de valores de l , el dispositivo en algunas realizaciones supone que cualquier precodificador $v_{k,l}$ de haz con ciertos valores de l está restringido, independientemente de los valores k de esos precodificadores. Si se señala tanto como un mapa de bits de valores de k y un mapa de bits de valores de l , el dispositivo en algunas realizaciones supone que solo los precodificadores $v_{k,l}$ de haz con ciertos pares de valores de (k, l) como son definidos colectivamente por esos mapas de bits están restringidos.

60

65

Dicho esto, las restricciones especificadas en términos de valores de k y/o l se puede en cierto sentido considerar como restricciones a un nivel más fino de granularidad que incluso los propios precodificadores de haz. De hecho, como se señaló anteriormente, cada precodificador $v_{k,l}$ de haz es en algunas realizaciones un producto de Kronecker

de un vector X_V de formación de haz vertical con índice k y un vector X_H de formación de haz horizontal con índice l . Por consiguiente, la señalización de la restricción como valores de k y/o l equivale de manera efectiva a restringir los (sub)componentes X_H o X_V .

5 Considérese un ejemplo de estas realizaciones de granularidad más fina donde la restricción de subconjunto de libro de códigos ha de ser aplicada a precodificadores de haz con valores de l de 3 o 4. Si esta configuración de restricción de subconjunto de libro de códigos fuera señalizada con un mapa de bits convencional, se utilizarían $N = N_H \cdot N_V = 64$ bits. Por el contrario, el esquema en estas realizaciones de granularidad más fina considera que la restricción de “filas” de precodificador completas, i.e., todos los precodificadores que se forman a partir de precodificadores de haz con el mismo índice l está activada o desactivada. Para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos en este ejemplo, por lo tanto, se puede enviar el mapa de bits ‘00011000’ de valores de l , que consta de $N_V = 8$ bits. Con este esquema, se observa una gran reducción del número de bits requerido para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos. Sin embargo, no todas las 2^N posibles restricciones de subconjunto de libro de códigos pueden ser señalizadas.

15 En una realización similar, se aplica la restricción en las “columnas” k del precodificador y la restricción de subconjunto de libro de códigos se señala con un mapa de bits de N_H bits de longitud, indicando las restricciones de las “columnas” del precodificador completas.

20 En otra realización se inserta un bit inicial extra donde ‘1’ indica que la codificación se realiza “en fila” como anteriormente, mientras que un ‘0’ indica que se realiza “en columna”.

25 En otra realización más, el dispositivo 14 debe suponer que un precodificador W está restringido si tanto el precodificador vertical como el horizontal en la estructura de Kronecker están restringidos. Si solo uno de los precodificadores vertical y horizontal están restringidos, entonces el dispositivo 14 no debe suponer que el precodificador resultante después de la operación de Kronecker está restringido.

30 Por tanto, una o más realizaciones en la presente memoria aprovechan ventajosamente una estructura de Kronecker del libro de códigos para generar la señalización de la Figura 5 en términos de los índices k , l , y/o m . En algunas realizaciones, por ejemplo, se genera la señalización para restringir conjuntamente, p.ej., con un único bit, un grupo de precodificadores que (i) tienen el mismo valor del índice k ; (ii) tienen el mismo valor del índice l ; o (iii) tienen el mismo par de valores para los índices (k, l) .

35 En algunas realizaciones, la señalización que restringe conjuntamente un grupo de precodificadores restringiendo un cierto componente (p.ej., precodificador de haz) que esos precodificadores tienen en común es independiente del rango. Es decir, la señalización restringe conjuntamente el grupo de precodificadores independientemente del rango de transmisión de los precodificadores (i.e., independientemente de a qué libro de códigos específico de rango pertenezcan). Por ejemplo, las realizaciones que restringen un único precodificador b_0 de haz se pueden extender de modo que todos los precodificadores en todos los rangos que contienen el precodificador b_0 de haz restringido estén restringidos. Por tanto, todos los precodificadores en todos los rangos que contienen un cierto precodificador b_0 de haz es un grupo de precodificadores que se pueden restringir conjuntamente. Según algunas realizaciones, por lo tanto, una ventaja de la señalización CSR en base a los precodificadores de haz es que uno no necesita señalar una CSR separada para los precodificadores con diferente rango (los precodificadores con diferente rango se restringen con la misma CSR). Esto reduce la sobrecarga de señalización.

45 La señalización que restringe conjuntamente un grupo de precodificadores restringiendo un cierto componente que esos precodificadores tienen en común también es efectivo para restringir los precodificadores que transmiten en su totalidad o en parte hacia ciertas direcciones de apuntamiento angulares. De hecho, según algunas realizaciones en la presente memoria, el nodo 10 de red restringe conjuntamente un grupo de precodificadores que transmiten al menos en parte hacia una cierta dirección de apuntamiento angular, restringiendo un cierto componente (p.ej., precodificador de haz) que tiene esa dirección de apuntamiento angular. De esta manera, el nodo 10 de red evita transmitir energía en una cierta dirección, señalizando al dispositivo 14 por medio de CSR que el dispositivo 14 no debe calcular la realimentación para esa dirección particular.

50 Más específicamente a este respecto, cuando cada precodificador W está formado de múltiples precodificadores de haz, el precodificador W en cierto sentido tiene múltiples direcciones de apuntamiento angulares correspondientes a las direcciones de apuntamiento angulares de sus precodificadores de haz constitutivos (donde cada precodificador de haz tiene su propia dirección de apuntamiento angular de azimut y cenit por ejemplo). En otro sentido, sin embargo, el precodificador W tiene una dirección de apuntamiento angular general que es una combinación (p.ej., media) de las respectivas direcciones de sus precodificadores de haz. Restringiendo los precodificadores de haz que tienen ciertas direcciones de apuntamiento angulares, las realizaciones en la presente memoria restringen de manera efectiva los precodificadores que transmiten al menos en parte en esas direcciones, y lo hacen con sobrecarga de señalización reducida.

65 Como ejemplo, un conjunto de precodificadores de rango 1 con la misma dirección de apuntamiento angular pero con diferentes propiedades de polarización, tal como el conjunto completo de precodificadores de rango 1

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ e^{j\omega_0} b_0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} b_0 \\ e^{j\omega_1} b_0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} b_0 \\ e^{j\omega_2} b_0 \end{bmatrix},$$

se puede restringir mediante señalización de restricción de un único precodificador b_0 de haz. Es decir, cuando se señala una restricción para un cierto precodificador de haz, la restricción aplica implícitamente a todas las fases de polarización del haz señalado. Por tanto, el grupo de precodificadores de rango 1 ejemplificado anteriormente está asociado con un único bit de CSR y por tanto se restringe conjuntamente. Esto reduce la complejidad del dispositivo y la sobrecarga de señalización CSR, dado que solo se necesita señalar la dirección de haz.

En otro ejemplo, el conjunto de precodificadores de rango 1

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ e^{j\omega_0} b_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} b_2 \\ e^{j\omega_1} b_0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} b_0 \\ e^{j\omega_2} b_2 \end{bmatrix},$$

se puede restringir conjuntamente mediante señalización de restricción de un único precodificador b_0 de haz. Por tanto, el grupo de precodificadores de rango 1 ejemplificado anteriormente está asociado con un único bit de CSR y por tanto se restringe conjuntamente.

La restricción de precodificadores con ciertas direcciones de apuntamiento angulares también se puede lograr especificando las restricciones en términos de ciertos valores de k y/o l . Esto se ilustra con referencia a la Figura 7, que ilustra las direcciones de apuntamiento de haz angulares de precodificadores de rango 1 en un libro de códigos según un ejemplo. En este ejemplo, el nodo de red tiene un arreglo de antenas de 4x4 donde no se utiliza inclinación mecánica hacia abajo. El libro de códigos de Kronecker consta de 8 precodificadores verticales y 8 horizontales, i.e., $N_H = N_V = 8$. En este ejemplo, la restricción de subconjunto de libro de códigos se aplica para restringir los haces con direcciones de apuntamiento en el intervalo de cenit $[80^\circ, 100^\circ]$ (el intervalo se ilustra con líneas de puntos). Es decir, la restricción de subconjunto de libro de códigos se aplica en el intervalo angular $80^\circ < \theta < 100^\circ$, de tal manera que los precodificadores con índices de índice l 3 y 4 están restringidos. Los haces restringidos se ilustran con una 'o' mientras que los haces no restringidos se ilustran con una 'x'. El índice k de haz en el libro de códigos horizontal y l en el libro de códigos vertical se escribe junto a los haces como (k, l) . Para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos en este ejemplo, por lo tanto, se puede enviar el mapa de bits '00011000' de valores de l , que consta de $N_V = 8$ bits. Con este esquema, se observa una gran reducción del número de bits requerido para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos.

En otra realización, el dispositivo 14 debe suponer que un precodificador está restringido si tanto el precodificador vertical como el horizontal en la estructura de Kronecker están restringidos. Esto permite restringir una "ventana" rectangular de los ángulos de apuntamiento de formación haz como se ve desde el nodo 10 de red.

Esto también se puede lograr señalizando la restricción como un "rectángulo" de precodificadores definidos por los pares de índices (k_0, l_0) y (k_1, l_1) . Con este esquema, los precodificadores con índices $k_0 < k < k_1$ y $l_0 < l < l_1$ están restringidos.

La restricción basada en componentes de un grupo de precodificadores es solo un ejemplo de realizaciones que proporcionan señalización CSR independiente del rango. Otras realizaciones en la presente memoria también proporcionan tal señalización independiente del rango. Por ejemplo, algunas realizaciones en la presente memoria generan señalización para indicar conjuntamente que un grupo de precodificadores que transmiten en su totalidad o en parte en cierta dirección o direcciones de apuntamiento angulares están restringidos, generando la señalización para indicar (explícitamente o implícitamente) esas dirección o direcciones de apuntamiento angulares. La señalización puede por ejemplo especificar un área o intervalo angular que está restringida, en términos de uno o más parámetros angulares. Esta restricción puede concernir a la dirección de apuntamiento angular de un precodificador en su conjunto, o la dirección de apuntamiento angular de cualquier precodificador de haz que forma el precodificador.

En una realización, el área o intervalo angular se puede representar por puntos angulares (ϕ_0, θ_0) y (ϕ_1, θ_1) , que abarcan un rectángulo en el dominio angular. Aquí, ϕ y θ son los ángulos de azimut y cenit con respecto al eNodeB respectivamente. Se pueden señalar múltiples de tales áreas rectangulares aunque la presente realización se centra en el caso de una única área rectangular por simplicidad. El dispositivo 14 puede entonces calcular las direcciones de apuntamiento angulares de los precodificadores en el libro de códigos y compararlas con el área angular restringida para derivar la restricción de subconjunto de libro de códigos. El dispositivo 14 puede necesitar cierta información adicional con respecto a qué suponer sobre el arreglo de antenas de transmisor (que no necesita

corresponderse con el arreglo de antenas utilizado realmente) para ser capaz de calcular las direcciones de apuntamiento de los precodificadores. Considérese una realización ejemplar donde los (sub)libros de códigos del libro de códigos de Kronecker constan de precodificadores de DFT, i.e.

5 El libro de códigos horizontal se puede expresar como

$$10 \quad \mathbf{X}_H^k = \left[1 \ e^{j2\pi \frac{1k+\Delta_h}{M_h Q_h}} \ \dots \ e^{j2\pi \frac{(M_h-1)k+\Delta_h}{M_h Q_h}} \right]^T \quad k = 0, \dots, M_h Q_h - 1,$$

15 donde Q_h es un factor de sobremuestreo horizontal de número entero y Δ_h puede tomar valor en el intervalo de 0 a 1 para “desplazar” el patrón de haz ($\Delta_h = 0.5$ podría ser un valor interesante para crear simetría de haces con respecto al lado ancho de un arreglo).

El libro de códigos vertical se puede expresar como

$$20 \quad \mathbf{X}_V^l = \left[1 \ e^{j2\pi \frac{1l+\Delta_v}{M_v Q_v}} \ \dots \ e^{j2\pi \frac{(M_v-1)l+\Delta_v}{M_v Q_v}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, M_v Q_v - 1,$$

25 donde Q_v es un factor de sobremuestreo vertical de número entero y Δ_v se define de manera similar a lo anterior.

La dirección de apuntamiento del precodificador (k, l) se puede calcular calculando primero el ángulo de apuntamiento con respecto al lado ancho del arreglo de antenas:

$$30 \quad \tilde{\theta} = \arccos\left(\frac{k + \Delta - \frac{Q_v M_v}{2}}{d_v Q_v M_v}\right)$$

$$35 \quad \tilde{\phi} = \arcsin\left(\frac{l + \Delta - \frac{Q_h M_h}{2}}{d_H Q_h M_h \sin(\tilde{\theta})}\right)$$

40 Donde d_v y d_H es la separación vertical y horizontal de los elementos de antena del arreglo, en longitudes de onda, respectivamente. El ángulo β de inclinación mecánica hacia abajo se tiene en cuenta para calcular los ángulos de apuntamiento de haz reales como:

$$45 \quad \phi = \angle(\cos(\tilde{\phi}) \sin(\tilde{\theta}) \cos(-\beta) - \cos(\tilde{\theta}) \sin(-\beta) + j \sin(\tilde{\theta}) \sin(\tilde{\theta}))$$

$$50 \quad \theta = \arccos(\cos(\tilde{\phi}) \sin(\tilde{\theta}) \sin(-\beta) + \cos(-\beta) \cos(\tilde{\theta}))$$

55 El dispositivo 14 necesita ser señalado con la información d_H , d_v y β adicional para ser capaz de calcular la dirección de apuntamiento de haz de los precodificadores en el libro de códigos. Se supone que el dispositivo 14 ya conoce los parámetros Q_v , M_v , Q_h , M_h y Δ como parte de la estructura del libro de códigos.

60 El conjunto de parámetros ϕ_0 , θ_0 , ϕ_1 , θ_1 , d_H , d_v , β por lo tanto parametriza la restricción de subconjunto de libro de códigos en esta realización. Al señalar dichos parámetros, se pueden utilizar varias estrategias.

En una realización, cada parámetro se cuantifica uniformemente con un número de bits, sobre un intervalo predefinido. Se da un ejemplo en la tabla a continuación.

65

Parámetros	Intervalo	Bits de cuantificación
$\phi_0, \theta_0, \phi_1, \theta_1$	[0,180][grados]	6
d_H, d_V	[0,2]	4
β	[-30,30][grados]	6

En esta realización, el número de bits requerido para señalar la restricción de subconjunto de libro de códigos es 38. Obsérvese que esto es independiente del tamaño del libro de códigos.

En otra realización, cada parámetro puede tomar un valor de un conjunto fijo de posibles valores. Cada valor posible del parámetro se codifica con un número diferente de bits dependiendo de p.ej., la probabilidad percibida de que el parámetro tome ese valor. Por ejemplo, la separación d_H horizontal de los elementos del arreglo se puede codificar como sigue

Valor	0,5	0,8	0,65	1	4	2	0,75
Bits	1	01	0011	0010	0001	00001	00000

En esta realización, la codificación de d_H se diseñó para tener en cuenta que $d_H = 0,5$ es un valor común para la separación horizontal de los elementos de antena, codificando por tanto este valor con un bajo número de bits. Otros valores, menos comunes, se codifican con un número mayor de bits. Obsérvese que la codificación de d_H en esta realización constituye un código decodificable de manera única.

En otra realización, algunos de los parámetros se cuantifican uniformemente con un número de bits sobre un intervalo predefinido, mientras que otros parámetros se codifican con un número diferente de bits que en la realización previa.

En algunas otras realizaciones, diferentes conjuntos de parámetros relativos al área angular restringida pueden constituir los parámetros que definen la restricción de subconjunto de libro de códigos. En una de tales realizaciones, solo se restringe un intervalo de cenit $\theta_0 \leq \theta < \theta_1$, y por tanto, se pueden enviar θ_0, θ_1 . En otra de tales realizaciones, la restricción es solo un intervalo de azimut $\phi_0 \leq \phi < \phi_1$. En otra más de tales realizaciones, el intervalo de ángulo puede ser abierto, i.e., $\phi < \phi_1$ constituye la restricción.

En otras realizaciones, los parámetros relativos al arreglo de antenas tales como d_H, d_V y Ψ no son una parte de los parámetros de restricción de subconjunto de libro de códigos, en su lugar pueden ser ya conocidos para el UE o el UE supone un valor por defecto de dichos parámetros y el eNodeB elige los ángulos de restricción (ϕ_0, θ_0) y (ϕ_1, θ_1) de tal manera que los precodificadores previstos se restringen cuando el UE calcula la restricción en base a los valores por defecto de dichos parámetros, donde los valores por defecto de dichos parámetros pueden diferir del valor real de dichos parámetros.

En otras realizaciones, se pueden incluir más parámetros en los parámetros de restricción de subconjunto de libro de códigos. En una de tales realizaciones, el ángulo de balanceo y del arreglo de antenas puede ser incluido en los parámetros de restricción de subconjunto de libro de códigos.

En vista de las modificaciones y variaciones anteriores, uno reconoce que hay muchas maneras de que la señalización CSR pueda restringir conjuntamente los preconizadores en un grupo. La señalización puede ser independiente del rango o no. Y la señalización puede restringir un cierto componente que es común al grupo o los parámetros angulares de señal asociados con el grupo. La señalización puede tomar la forma de un mapa de bits para índices de precodificador de haz, tomar la forma de parámetros angulares, tomar la forma de pares de índices de sublibro de códigos, tomar la forma de un mapa de bits para índices de un único sublibro de códigos, etc. Independientemente de estas variaciones particulares, sin embargo, la sobrecarga de señalización CSR se reduce en base a la correlación de las restricciones de precodificador o agrupación equivalentemente de precodificadores. Pero la restricción conjunta basada en grupos significa que no todas las 2^N configuraciones de restricción de

subconjunto de libro de códigos son posibles de transmitir al dispositivo 14. En su lugar, solo se puede elegir un subconjunto de las posibles configuraciones.

Por consiguiente, al menos algunas realizaciones equilibran la pérdida de flexibilidad causada por la restricción conjunta con las ganancias de sobrecarga de señalización por tal restricción conjunta realizando la restricción conjunta con respecto a solo una porción de precodificadores en el libro de códigos. Es decir, la restricción de subconjunto de libro de códigos se puede configurar con flexibilidad total en un subconjunto A de los precodificadores en el libro de códigos (lo que significa que cada uno de los precodificadores se puede activar o desactivar individualmente), mientras que solo se pueden elegir unas pocas configuraciones para el conjunto B restante de precodificadores. Por ejemplo, la restricción de subconjunto de libro de códigos para el conjunto B restante de precodificadores solo se puede representar con un bit, activando o desactivando todos los precodificadores en el conjunto. Esto reducirá la sobrecarga de señalización CSR, lo que es beneficioso.

Como un ejemplo en el contexto de precodificadores de haz, el libro de códigos puede constar de dos conjuntos de precodificadores. Uno de los conjuntos consta de precodificadores que se pueden expresar equivalentemente como una función de precodificadores de haz específicos de capa (como se definió anteriormente) mientras que el otro conjunto puede constar de precodificadores arbitrarios. En esta realización, el primer conjunto de precodificadores se puede configurar con flexibilidad total mientras que los otros precodificadores en el libro de códigos se puede configurar con flexibilidad limitada.

Esta realización es solo un ejemplo de agrupación de los precodificadores en el libro de códigos donde los precodificadores que pertenecen al conjunto A se representa individualmente por un bit mientras que los precodificadores en el conjunto B se restringen todos conjuntamente con un único bit. Esa realización se puede extender adicionalmente teniendo múltiples conjuntos B como B₁, B₂,... B_N donde cada uno de los conjuntos B_n, n=1,...,N contiene al menos dos precodificadores cada uno y está asociado con un bit de CSR. En la Figura 8 se muestra un ejemplo donde el Precodificador 1 a 14 se representa cada uno por un bit individual (Conjunto A), mientras que todos los precodificadores en el grupo B1 se representan por un único bit de CSR, p.ej., el bit para el precodificador 15.

Los grupos definidos también se pueden solapar, de modo que un precodificador dado existe en múltiples grupos. Si este es el caso, entonces se necesitan definir reglas de prioridad o combinación, de modo que el dispositivo 14 entienda cómo interpretar el caso cuando un precodificador es restringido por la señalización de un grupo pero no de otro grupo al que pertenece.

En una realización detallada adicional, por lo tanto, los grupos B_n en la Figura 8 se pueden solapar y se especifican reglas en texto estándar sobre cómo el dispositivo 14 debe interpretar la señalización CSR. Por ejemplo, supónganse dos grupos B₁ y B₂ representados cada uno por un bit y que un precodificador pertenece a ambos grupos. Una regla puede ser que si un precodificador está restringido en cualquiera de los grupos a los que pertenece, entonces se debe suponer que el precodificador está restringido. Otra alternativa es que el precodificador debe estar restringido en ambos grupos para que se suponga que el precodificador está restringido.

En algunas realizaciones en esta descripción, la restricción de subconjunto de libro de códigos se analiza utilizando la terminología de precodificadores y libros de códigos. Se puede suponer que se utiliza una restricción específica de haz en dichas realizaciones, y que la terminología se puede intercambiar a precodificadores de haz y conjunto de precodificadores de haz, dependiendo de la granularidad analizada.

Obsérvese que aunque se ha utilizado la terminología de 3GPP LTE en esta descripción para ejemplificar las realizaciones en la presente memoria, esto no debe verse como limitativo del alcance de las realizaciones a solo el sistema mencionado anteriormente. Otros sistemas inalámbricos, incluyendo WCDMA, WiMax, UMB y GSM, también se pueden beneficiar de aprovechar las ideas cubiertas dentro de esta descripción.

Obsérvese también que la terminología tal como eNodeB y UE se debe considerar no limitativa y en particular no implica una cierta relación jerárquica entre las dos; en general "eNodeB" se podría considerar como el dispositivo 1 y "UE" el dispositivo 2, y estos dos dispositivos se comunican entre sí sobre algún canal de radio. En la presente memoria, también nos centramos en las transmisiones inalámbricas en el enlace descendente, pero las realizaciones en la presente memoria son igualmente aplicables en el enlace ascendente.

Las realizaciones en la presente memoria también incluyen métodos en un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica correspondientes a los métodos descritos anteriormente en un nodo 10 de red. Estos métodos reciben y decodifican la señalización que el nodo 10 de red genera según cualquiera de las realizaciones anteriores.

Según una realización mostrada en la Figura 9, por ejemplo, un método es implementado por un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica (p.ej., un UE) para decodificar la señalización de un nodo 10 de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El método incluye recibir la señalización (Bloque 300). El método también incluye, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores en el libro de códigos, decodificar la señalización para identificar cuál de las diferentes posibles configuraciones se señala

realmente para ese grupo. Las diferentes posibles configuraciones a este respecto restringen diferentes subgrupos de precodificadores en el grupo de ser utilizados. Esta decodificación procede grupo por grupo, comenzando con un primer grupo (Bloque 310). Específicamente, la decodificación implica identificar una o más configuraciones de referencia para el primer grupo, el patrón de bits identificado para señalar cada configuración de referencia, y la longitud de ese patrón de bits (Bloque 320). Esta configuración o configuraciones de referencia se pueden predefinir en el dispositivo 14, o se pueden señalar desde el nodo 10 de red. En cualquier caso, la decodificación implica entonces detectar la configuración real señalizada para el grupo, detectando un patrón de bits en la señalización recibida cuya longitud depende de (i) si la configuración real coincide con una de la una o más configuraciones de referencia; y/o (ii) con qué configuración de referencia coincide la configuración real (Bloque 330).

Esto puede implicar, por ejemplo, determinar la longitud B del patrón de bits definido para señalar una configuración de referencia particular, y comprobar si una cadena de longitud B de los siguientes bits en la señalización corresponde al patrón de bits definido para señalar esa configuración de referencia. Esta determinación y comprobación se puede realizar para cada una de la una o más configuraciones de referencia, después de lo que (si no se identifica ninguna configuración de referencia como señalizada) se decodifica una cadena de longitud por defecto de los siguientes bits en la señalización para detectar las configuraciones de no referencia.

Independientemente de la implementación particular del proceso de decodificación (Bloques 320-330), la codificación se repite para cada uno del uno o más grupos de precodificadores en el libro de códigos (Bloques 340, 350).

Los expertos en la técnica apreciarán que las realizaciones del lado del dispositivo incluyen la decodificación de cualquiera de las realizaciones del lado de la red ilustradas con referencia a la Figura 3, incluyendo por ejemplo las "realizaciones de filas similares" y la "realización de columnas similares".

Según una o más de otras realizaciones mostradas en la Figura 10, un método es implementado por un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica (p.ej., un UE) para decodificar la señalización de un nodo 10 de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados (p.ej., qué precodificadores de producto de Kronecker están restringidos). Como se muestra, el método incluye recibir la señalización de un nodo 10 de red (p.ej., una estación base) (Bloque 400). El método también incluye decodificar la señalización como restricción conjunta de los precodificadores en cada uno de uno o más grupos de precodificadores (Bloque 410). En al menos algunas realizaciones, tal decodificación implica decodificar la señalización (i) como independiente del rango para restringir los precodificadores independientemente de su rango de transmisión; y/o (ii) como una restricción conjunta de un grupo de precodificadores restringiendo un cierto componente que esos precodificadores tienen en común.

Los expertos en la técnica apreciarán que las realizaciones del lado del dispositivo incluyen la decodificación de cualquiera de las realizaciones del lado de la red ilustradas con referencia a la Figura 5. Así, por ejemplo, el dispositivo 14 en algunas realizaciones decodifica la señalización como una restricción conjunta de un grupo de precodificadores que tienen un cierto precodificador de haz en común, restringiendo ese precodificador de haz. Y una o más realizaciones del lado del dispositivo del mismo modo aprovechan ventajosamente una estructura de Kronecker del libro de códigos para decodificar la señalización de la Figura 10 en términos de los índices k, l y/o m. En algunas realizaciones, por ejemplo, la señalización se decodifica como una restricción conjunta de e, p.ej., con un único bit, un grupo de precodificadores que (i) tienen el mismo valor del índice k; (ii) tienen el mismo valor del índice l; o (iii) tienen el mismo par de valores para los índices (k, l).

Con las modificaciones y variaciones anteriores en mente, la Figura 11 ilustra detalles adicionales del nodo 500 de red (correspondiente al nodo 10 de red) según una o más realizaciones. El nodo 500 de red se configura, p.ej., a través de medios o unidades 540-570 funcionales, para implementar el procesamiento en la Figura 2 para señalar a un dispositivo 14 de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El nodo 500 de red en algunas realizaciones por ejemplo incluye un medio o unidad 540 de identificación de configuración de referencia para identificar una o más configuraciones de referencia para cada uno de uno o más grupos de precodificadores. El nodo 500 de red en tal caso incluye además un medio o unidad 550 de identificación de configuración real para identificar una configuración real para cada uno del uno o más grupos. El nodo 500 de red también incluye un medio o unidad 560 de generación de señal para generar señalización para indicar la configuración real para cada uno del uno o más grupos, generando la señalización como un patrón de bits cuya longitud depende de (i) si la configuración real coincide con una de la una o más configuraciones de referencia; y/o (ii) con qué configuración de referencia coincide la configuración real. El nodo 500 de red finalmente incluye un medio o unidad 570 de envío para enviar la señalización generada al dispositivo de comunicación inalámbrica.

En al menos algunas realizaciones, el nodo 500 de red comprende uno o más circuitos 510 de procesamiento configurados para implementar este procesamiento, tal como implementando medios o unidades 540-570 funcionales. En una realización, por ejemplo, el circuito o circuitos 510 de procesamiento del nodo implementan medios o unidades 540-570 funcionales como respectivos circuitos. Los circuitos a este respecto pueden comprender circuitos dedicados a realizar cierto procesamiento funcional y/o uno o más microprocesadores junto con la memoria 520. En las realizaciones que emplean la memoria 520, que puede comprender uno o varios tipos de

memoria tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc., la memoria almacena código de programa que, al ser ejecutado por el uno o más para llevar a cabo uno o más microprocesadores, lleva a cabo las técnicas descritas en la presente memoria.

En una o más realizaciones, el nodo 500 de red también comprende una o más interfaces 530 de comunicación. La una o más interfaces 530 de comunicación incluyen diversos componentes (no mostrados) para enviar y recibir datos y señales de control. Más particularmente, la interfaz o interfaces 530 incluyen un transmisor que se configura para utilizar técnicas de procesamiento de señal conocidas, típicamente según uno o más estándares, y se configura para acondicionar una señal para su transmisión (p.ej., sobre el aire a través de una o más antenas). De manera similar, la interfaz o interfaces 530 incluyen un receptor que se configura para convertir las señales recibidas (p.ej., a través de la antena o antenas en muestras digitales para el procesamiento por el uno o más circuitos 510 de procesamiento.

La Figura 12 ilustra detalles adicionales del nodo 600 de red según una o más realizaciones. El nodo 600 de red se configura, p.ej., a través de medios o unidades 640-650 funcionales, para implementar el procesamiento en la Figura 5 para la señalización a un dispositivo de comunicación inalámbrica que precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El nodo 600 de red en algunas realizaciones por ejemplo incluye un medio o unidad 640 de generación para generar señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo, p.ej., con un único bit de señalización. El nodo 600 de red también incluye un medio o unidad 650 de envío para enviar la señalización generada al dispositivo de comunicación inalámbrica.

En al menos algunas realizaciones, el nodo 600 de red comprende uno o más circuitos 610 de procesamiento configurados para implementar este procesamiento, tal como implementando medios o unidades 640-650 funcionales. En una realización, por ejemplo, el circuito o circuitos 610 de procesamiento del nodo implementan medios o unidades 640-650 funcionales como respectivos circuitos (de manera similar a la descrita anteriormente, p.ej., junto con la memoria 620). En una o más realizaciones, el nodo 600 de red también comprende una o más interfaces 630 de comunicación.

La Figura 13 ilustra detalles adicionales del dispositivo 700 de comunicación inalámbrica (correspondiente al dispositivo 14 de comunicación inalámbrica) según una o más realizaciones. El dispositivo 700 se configura, p.ej., a través de medios o unidades 740-760 funcionales, para implementar el procesamiento en la Figura 9 para decodificar la señalización de un nodo de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados. El dispositivo 700 en algunas realizaciones por ejemplo incluye un medio o unidad 740 de recepción para recibir la señalización del nodo de red. El dispositivo 700 incluye además un medio o unidad 750 de identificación configurado, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, para identificar una o más configuraciones de referencia para el grupo, el patrón de bits identificado para señalar cada configuración de referencia, y la longitud de ese patrón de bits. El dispositivo 700 finalmente incluye un medio o unidad 760 de detección configurado para detectar la configuración real señalizada para el grupo, detectando un patrón de bits en la señalización recibida cuya longitud depende de (i) si la configuración real coincide con una de la una o más configuraciones de referencia; y/o (ii) con qué configuración de referencia coincide la configuración real.

En al menos algunas realizaciones, el dispositivo 700 comprende uno o más circuitos 710 de procesamiento configurados para implementar este procesamiento, tal como implementando medios o unidades 740-760 funcionales. En una realización, por ejemplo, el circuito o circuitos 710 de procesamiento del dispositivo implementan medios o unidades 740-760 funcionales como respectivos circuitos. Los circuitos a este respecto pueden comprender circuitos dedicados a realizar cierto procesamiento funcional y/o uno o más microprocesadores junto con la memoria 720. En las realizaciones que emplean la memoria 720, que puede comprender uno o varios tipos de memoria tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc., la memoria almacena código de programa que, al ser ejecutado por el uno o más para llevar a cabo uno o más microprocesadores, lleva a cabo las técnicas descritas en la presente memoria.

En una o más realizaciones, el dispositivo 700 también comprende una o más interfaces 730 de comunicación. La una o más interfaces 730 de comunicación incluyen diversos componentes (no mostrados) para enviar y recibir datos y señales de control. Más particularmente, la interfaz o interfaces 730 incluyen un transmisor que se configura para utilizar técnicas de procesamiento de señal conocidas, típicamente según uno o más estándares, y se configura para acondicionar una señal para su transmisión (p.ej., sobre el aire a través de una o más antenas). De manera similar, la interfaz o interfaces 730 incluyen un receptor que se configura para convertir las señales recibidas (p.ej., a través de la antena o antenas en muestras digitales para el procesamiento por el uno o más circuitos 710 de procesamiento.

La Figura 14 ilustra detalles adicionales del dispositivo 800 según una o más de otras realizaciones. El dispositivo 800 se configura, p.ej., a través de medios o unidades 840-850 funcionales, para implementar el procesamiento en la Figura 10 para decodificar la señalización de un nodo de red que indica qué precodificadores en un libro de

códigos están restringidos de ser utilizados. El dispositivo 800 en algunas realizaciones por ejemplo incluye un medio o unidad 840 de recepción para recibir la señalización del nodo de red. El dispositivo 800 incluye además un medio o unidad 850 de decodificación para decodificar la señalización como restricción conjunta de los precodificadores en cada uno de uno o más grupos de precodificadores.

5 En al menos algunas realizaciones, el dispositivo 800 comprende uno o más circuitos 810 de procesamiento configurados para implementar este procesamiento, tal como implementando medios o unidades 840-850 funcionales. En una realización, por ejemplo, el circuito o circuitos 810 de procesamiento del dispositivo implementan medios o unidades 840-850 funcionales como respectivos circuitos (de manera similar a la descrita anteriormente, p.ej., junto con la memoria 820). En una o más realizaciones, el dispositivo 800 también comprende una o más interfaces 830 de comunicación.

10 Los expertos en la técnica también apreciarán que las realizaciones en la presente memoria incluyen además los correspondientes programas de ordenador.

15 Un programa de ordenador comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en al menos un procesador del nodo de red o el dispositivo de comunicación inalámbrica, causan que el nodo o dispositivo lleve a cabo cualquiera de los respectivos procesamientos descritos anteriormente. Las realizaciones incluyen además un portador que contiene tal programa de ordenador. Este portador puede comprender uno de una señal electrónica, señal óptica, señal de radio, o medio de almacenamiento legible por ordenador.

20

Un programa de ordenador a este respecto puede comprender uno o más módulos de código correspondientes a los medios o unidades descritos anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por un nodo (10) de red para señalizar a un dispositivo (14) de comunicación inalámbrica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, comprendiendo el método:

generar (210) señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo restringiendo un cierto componente que los precodificadores en el grupo tienen en común;
enviar (220) la señalización generada desde el nodo (10) de red al dispositivo (14) de comunicación inalámbrica

el método **caracterizado por que**

los precodificadores son precodificadores basados en productos de Kronecker definidos para un arreglo de antenas multidimensional; y la señalización es independiente del rango para restringir los precodificadores independientemente de su rango de transmisión.

2. El método de la reivindicación 1, en donde el cierto componente comprende un precodificador de haz en donde el precodificador de haz es un vector de formación de haz.

3. El método de la reivindicación 2, en donde el precodificador de haz se basa en un producto de Kronecker de

$$\mathbf{X}_H^k = \left[1 \ e^{j\frac{2\pi k}{M_h Q_h}} \ \dots \ e^{j\frac{2\pi k(M_h-1)}{M_h Q_h}} \right]^T, \quad k = 0, \dots, M_h Q_h - 1,$$

donde Q_h es un factor de sobremuestreo horizontal de número entero y M_h es una dimensión horizontal, y

$$\mathbf{X}_V^l = \left[1 \ e^{j\frac{2\pi l}{M_v Q_v}} \ \dots \ e^{j\frac{2\pi l(M_v-1)}{M_v Q_v}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, M_v Q_v - 1,$$

donde Q_v es un factor de sobremuestreo vertical de número entero y M_v es una dimensión vertical de número entero.

4. Un método implementado por un dispositivo (14) de comunicación inalámbrica para decodificar la señalización de un nodo (10) de red que indica qué precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, comprendiendo el método:

recibir (400) la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo restringiendo un cierto componente que los precodificadores en el grupo tienen en común;

decodificar (410) la señalización recibida como restricción conjunta de los precodificadores en cada uno del uno o más grupos de precodificadores caracterizado el método por que,

los precodificadores son precodificadores basados en productos de Kronecker definidos para un arreglo de antenas multidimensional; y la señalización es independiente del rango para restringir los precodificadores independientemente de su rango de transmisión.

5. El método de la reivindicación 4, en donde el cierto componente comprende un precodificador de haz en donde el precodificador de haz es un vector de formación de haz.

6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 5, en donde el precodificador de haz es un producto de Kronecker de diferentes vectores de formación de haz asociados con diferentes dimensiones de un arreglo de antenas multidimensional.

7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 5-6 en donde el precodificador de haz se basa en un producto de Kronecker de

$$\mathbf{X}_H^k = \left[1 \ e^{j\frac{2\pi k}{M_h Q_h}} \ \dots \ e^{j\frac{2\pi k(M_h-1)}{M_h Q_h}} \right]^T, \quad k = 0, \dots, M_h Q_h - 1,$$

donde Q_h es un factor de sobremuestreo horizontal de número entero y M_h es una dimensión horizontal, y

$$\mathbf{x}_V^l = \left[1 \ e^{j\frac{2\pi l}{M_v Q_v}} \dots e^{j\frac{2\pi l(M_v-1)}{M_v Q_v}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, M_v Q_v - 1,$$

donde Q_v es un factor de sobremuestreo vertical de número entero y M_v es una dimensión vertical de número entero.

8. Un nodo (10, 600) de red para señalizar a un dispositivo (14, 800) de comunicación inalámbrica que precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, configurado el nodo (10, 600) de red para:

generar señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo restringiendo un cierto componente que los precodificadores en el grupo tienen en común; enviar la señalización generada desde el nodo (10, 600) de red al dispositivo (14, 800) de comunicación inalámbrica

caracterizado por que

los precodificadores son precodificadores basados en productos de Kronecker definidos para un arreglo de antenas multidimensional; y la señalización es independiente del rango para restringir los precodificadores independientemente de su rango de transmisión.

9. El nodo de red de la reivindicación 8, en donde el cierto componente comprende un precodificador de haz en donde el precodificador de haz es un vector de formación de haz.

10. El nodo de red de la reivindicación 9, en donde el precodificador de haz se basa en un producto de Kronecker de

$$\mathbf{x}_H^k = \left[1 \ e^{j\frac{2\pi k}{M_h Q_h}} \dots e^{j\frac{2\pi k(M_h-1)}{M_h Q_h}} \right]^T, \quad k = 0, \dots, M_h Q_h - 1,$$

donde Q_h es un factor de sobremuestreo horizontal de número entero y M_h es una dimensión horizontal, y

$$\mathbf{x}_V^l = \left[1 \ e^{j\frac{2\pi l}{M_v Q_v}} \dots e^{j\frac{2\pi l(M_v-1)}{M_v Q_v}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, M_v Q_v - 1,$$

donde Q_v es un factor de sobremuestreo vertical de número entero y M_v es una dimensión vertical de número entero.

11. Un dispositivo (14, 800) de comunicación inalámbrica para decodificar la señalización de un nodo (10, 600) de red que indica que precodificadores en un libro de códigos están restringidos de ser utilizados, configurado el dispositivo (14, 800) de comunicación inalámbrica para:

recibir la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos que, para cada uno de uno o más grupos de precodificadores, restringe conjuntamente los precodificadores en el grupo restringiendo un cierto componente que los precodificadores en el grupo tienen en común;

decodificar la señalización recibida como restricción conjunta de los precodificadores en cada uno del uno o más grupos de precodificadores, **caracterizado por que,**

los precodificadores son precodificadores basados en productos de Kronecker definidos para un arreglo de antenas multidimensional; y la señalización es independiente del rango para restringir los precodificadores independientemente de su rango de transmisión.

12. El dispositivo de comunicación inalámbrica de la reivindicación 11, en donde el cierto componente comprende un precodificador de haz en donde el precodificador de haz es un vector de formación de haz.

13. El dispositivo de comunicación inalámbrica de la reivindicación 12, en donde el precodificador de haz es un producto de Kronecker de diferentes vectores de formación de haz asociados con diferentes dimensiones de un arreglo de antenas multidimensional.

14. El dispositivo de comunicación inalámbrica de la reivindicación 13, en donde los diferentes vectores de formación de haz comprenden vectores de Transformada Discreta de Fourier (DFT).

15. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en donde el precodificador de haz se basa en un producto de Kronecker de

$$\mathbf{X}_H^k = \left[1 \ e^{j \frac{2\pi k}{M_h Q_h}} \ \dots \ e^{j \frac{2\pi k (M_h - 1)}{M_h Q_h}} \right]^T, \quad k = 0, \dots, M_h Q_h - 1,$$

5

donde Q_h es un factor de sobremuestreo horizontal de número entero y M_h es una dimensión horizontal, y

10

$$\mathbf{X}_V^l = \left[1 \ e^{j \frac{2\pi l}{M_v Q_v}} \ \dots \ e^{j \frac{2\pi l (M_v - 1)}{M_v Q_v}} \right]^T, \quad l = 0, \dots, M_v Q_v - 1,$$

donde Q_v es un factor de sobremuestreo vertical de número entero y M_v es una dimensión vertical de número entero.

15

16. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en donde el precodificador de haz es un vector de formación de haz utilizado para transmitir en una capa particular de una transmisión multicapa, en donde diferentes versiones escaladas de ese vector de formación de haz se transmiten en diferentes polarizaciones.

20

17. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en donde el precodificador de haz es un vector de formación de haz utilizado para transmitir en:

25

múltiples capas diferentes de una transmisión multicapa; o
múltiples capas diferentes de una transmisión multicapa, en donde las capas se envían en polarizaciones ortogonales; o
una capa particular y en una polarización particular.

30

18. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 12, 13, 14, 16 o 17, en donde el precodificador de haz es un producto de Kronecker de primer y segundo vectores de formación de haz con primer y segundo índices, en donde el primer y segundo vectores de formación de haz están asociados con diferentes dimensiones de un arreglo de antenas multidimensional, y en donde la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos restringe conjuntamente los precodificadores en un grupo de precodificadores que tienen el mismo par de valores para el primer y segundo índices que los indicados por dicha señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos.

35

19. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 11-18, en donde el dispositivo (14) inalámbrico se configura además para enviar un informe de información de estado del canal a la red (10) en base a la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos recibida.

40

20. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 11-19, en donde la señalización de restricción de subconjunto de libro de códigos comprende un mapa de bits, con diferentes bits en el mapa de bits respectivamente dedicados a indicar si diferentes precodificadores de haz están restringidos de ser utilizados o no.

45

21. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 12-20, en donde un precodificador que comprende uno o más precodificadores de haz está restringido si al menos uno de sus uno o más precodificadores de haz está restringido.

50

22. El dispositivo de comunicación inalámbrica de cualquiera de las reivindicaciones 12-21, en donde el dispositivo de comunicación inalámbrica es un equipo de usuario.

55

23. Un programa de ordenador que comprende instrucciones que, al ser ejecutadas por al menos un procesador de un nodo (10, 14), causa que el nodo (10, 14) lleve a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-7.

24. Un medio de almacenamiento legible por ordenador que contiene el programa de ordenador de la reivindicación 23.

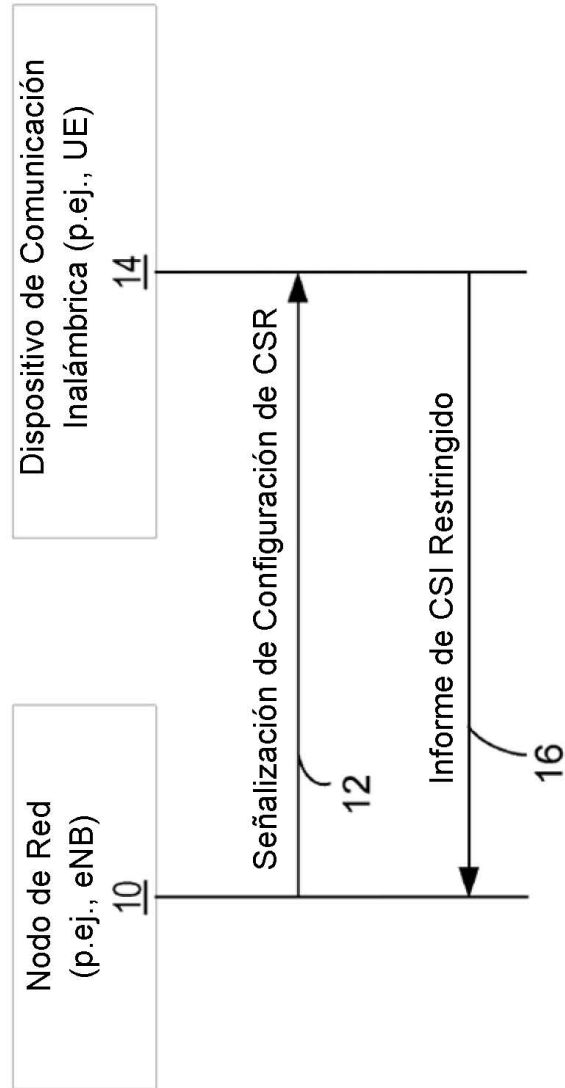


Figura 1

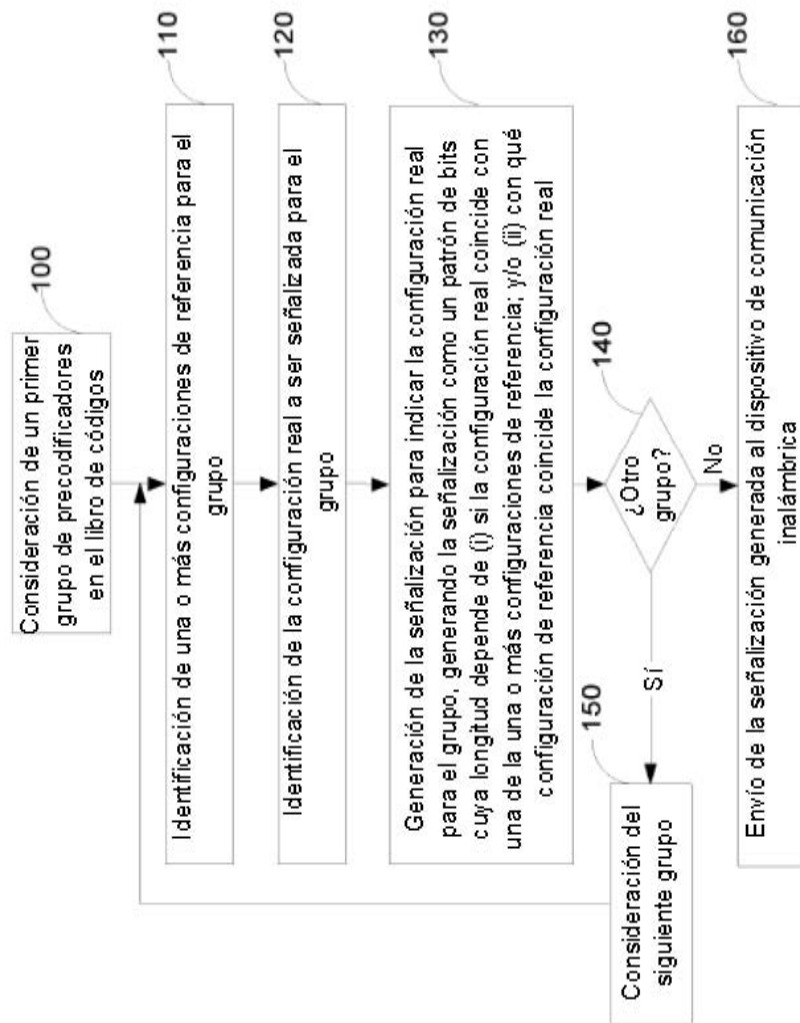


Figura 2

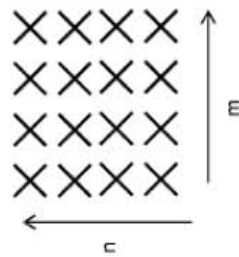


Figura 3

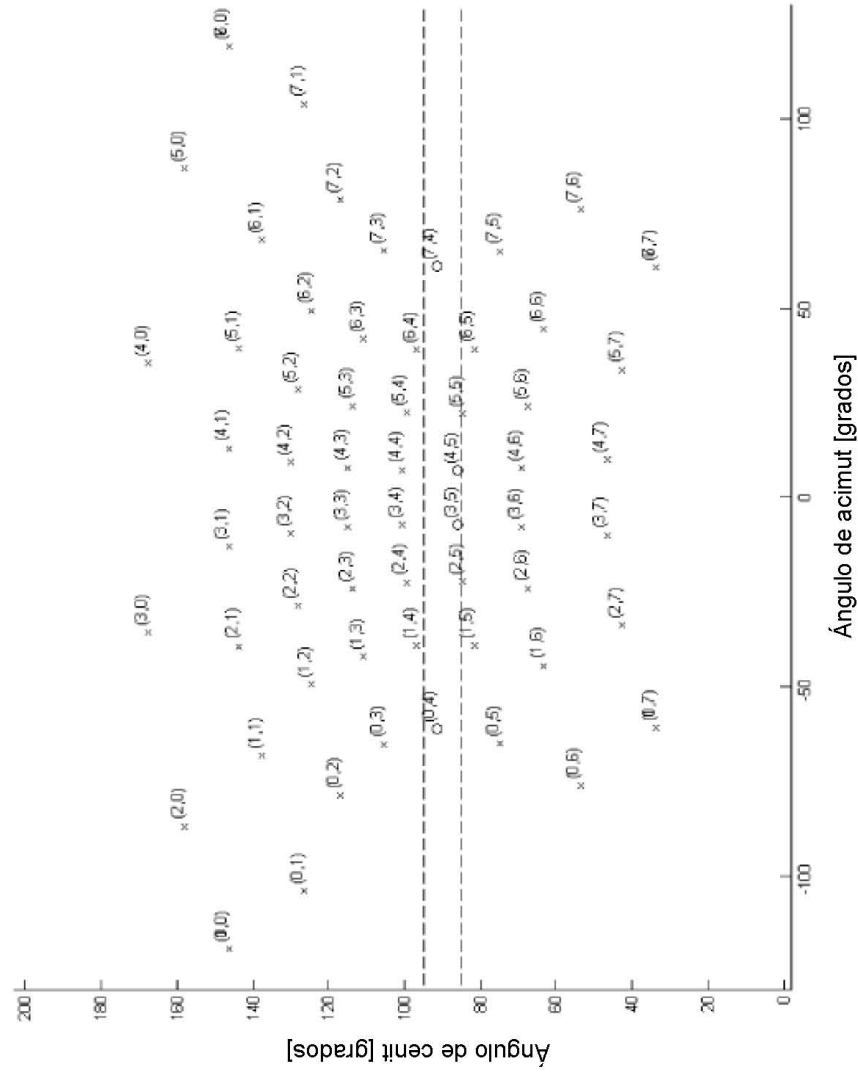


FIGURA 4

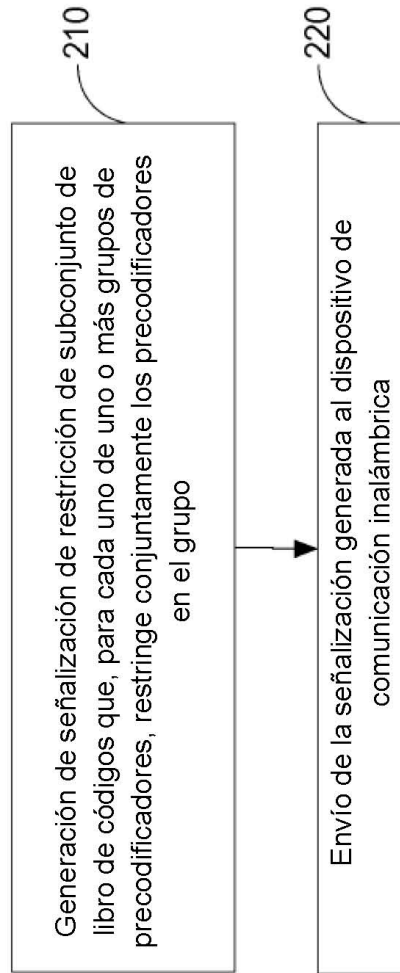


Figura 5

$$\varphi_n = e^{j\pi n/2}$$

$$\mathbf{v}_m = \begin{bmatrix} 1 & e^{j2\pi m/32} & e^{j4\pi m/32} & e^{j6\pi m/32} \end{bmatrix}^T$$

Libro de códigos para informe de CSI de 2 capas utilizando los puertos de antena 15 a 22

i_1	i_2			
	0	1	2	3
0 – 15	$W_{2i_1, 2i_1, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1, 2i_1, 1}^{(2)}$	$W_{2i_1+1, 2i_1+1, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1+1, 2i_1+1, 1}^{(2)}$
i_1	i_2			
	4	5	6	7
0 – 15	$W_{2i_1+2, 2i_1+2, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1+2, 2i_1+2, 1}^{(2)}$	$W_{2i_1+3, 2i_1+3, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1+3, 2i_1+3, 1}^{(2)}$
i_1	i_2			
	8	9	10	11
0 – 15	$W_{2i_1, 2i_1+1, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1, 2i_1+1, 1}^{(2)}$	$W_{2i_1+1, 2i_1+2, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1+1, 2i_1+2, 1}^{(2)}$
i_1	i_2			
	12	13	14	15
0 – 15	$W_{2i_1, 2i_1+3, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1, 2i_1+3, 1}^{(2)}$	$W_{2i_1+1, 2i_1+3, 0}^{(2)}$	$W_{2i_1+1, 2i_1+3, 1}^{(2)}$
donde $W_{m, m', n}^{(2)} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} \mathbf{v}_m & \mathbf{v}_{m'} \\ \varphi_n \mathbf{v}_m & -\varphi_n \mathbf{v}_{m'} \end{bmatrix}$				

Figura 6

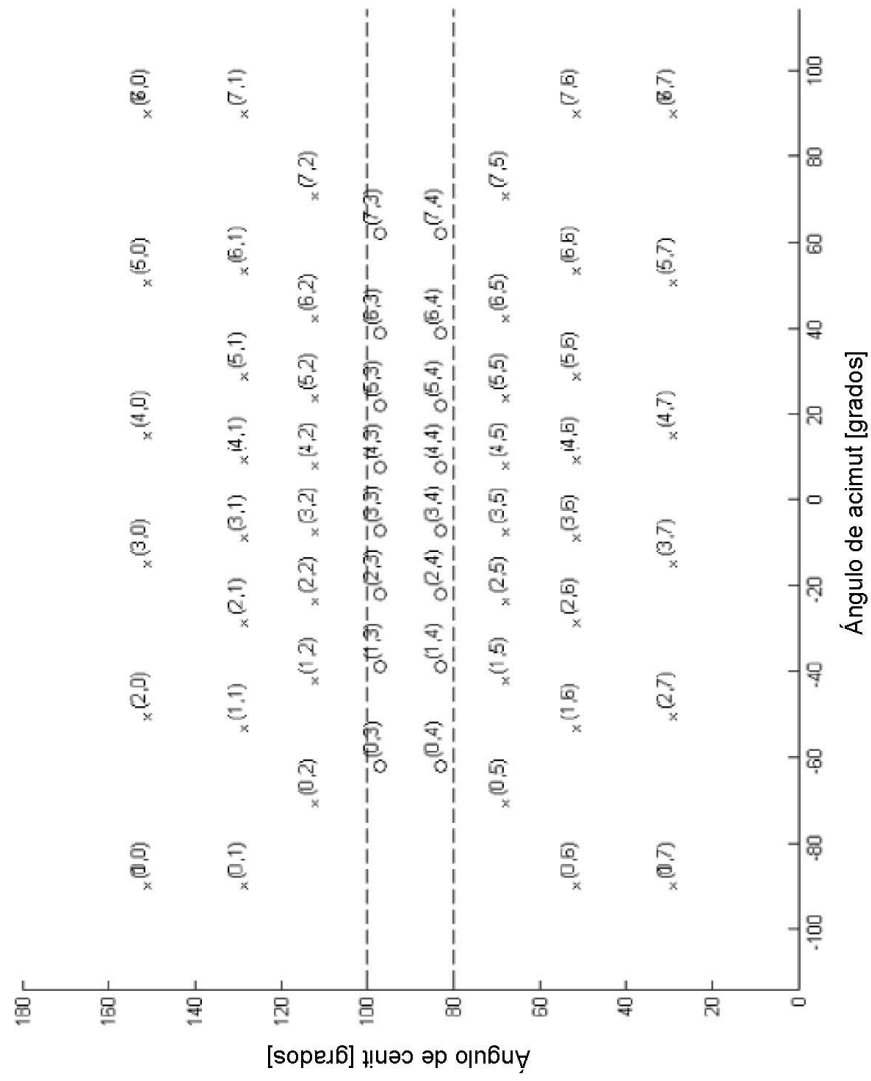


Figura 7

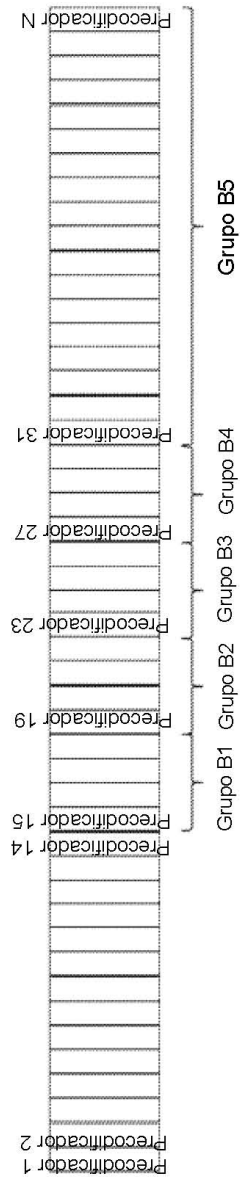


Figura 8

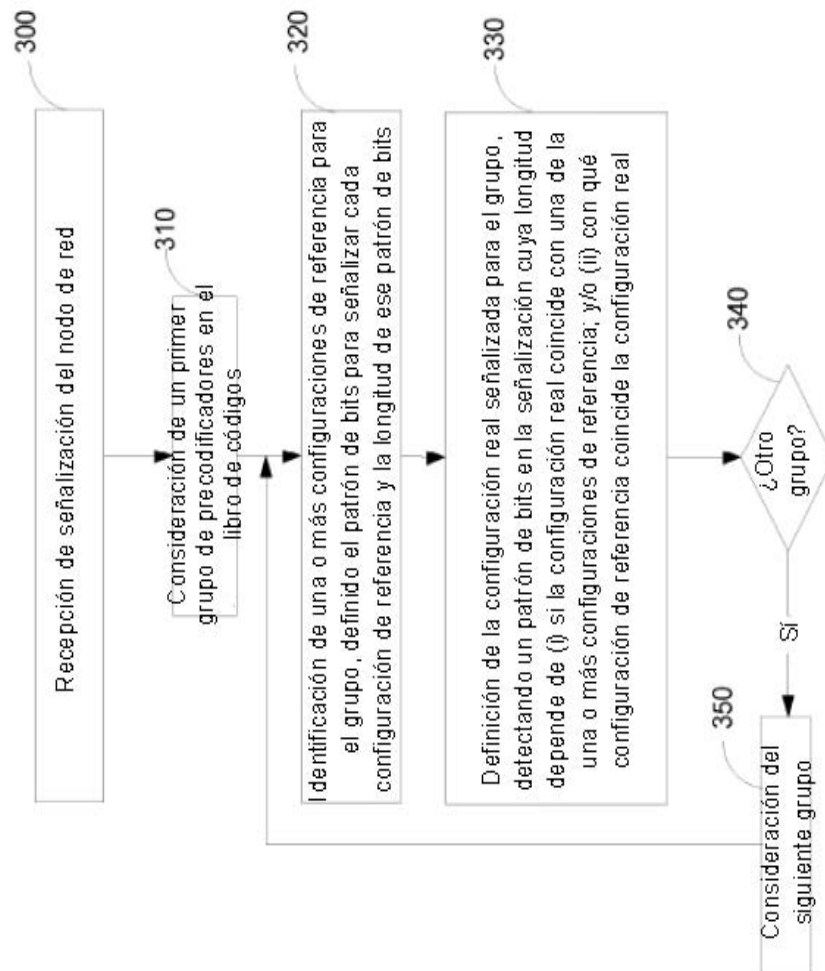


Figura 9

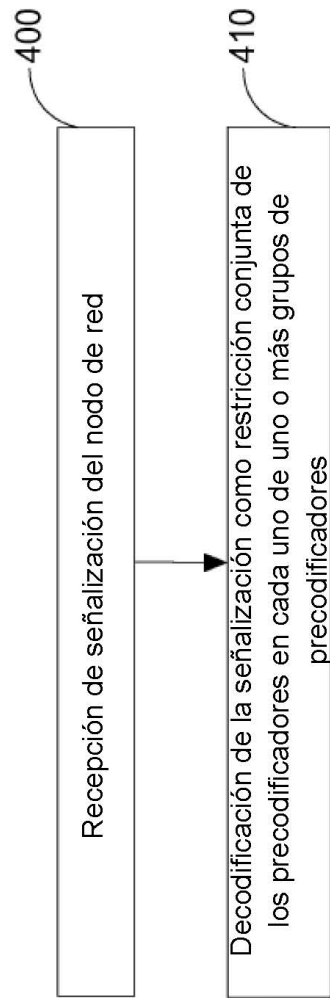


Figura 10

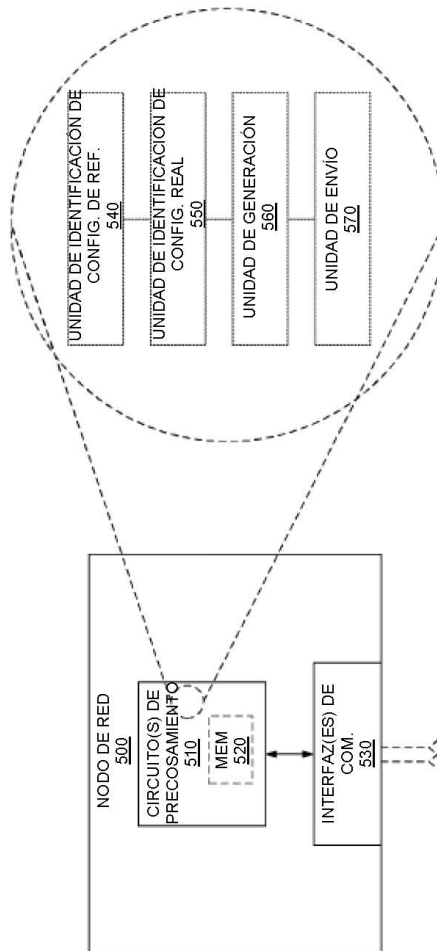


Figura 11

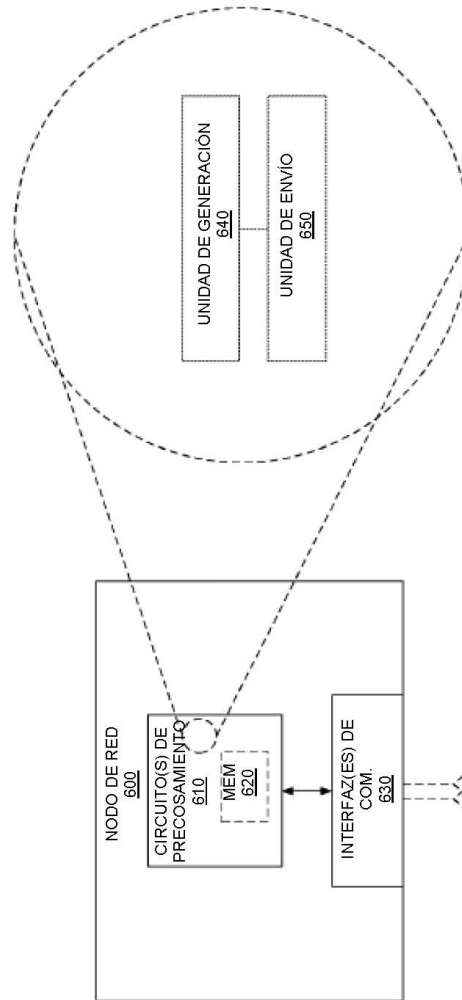


Figura 12

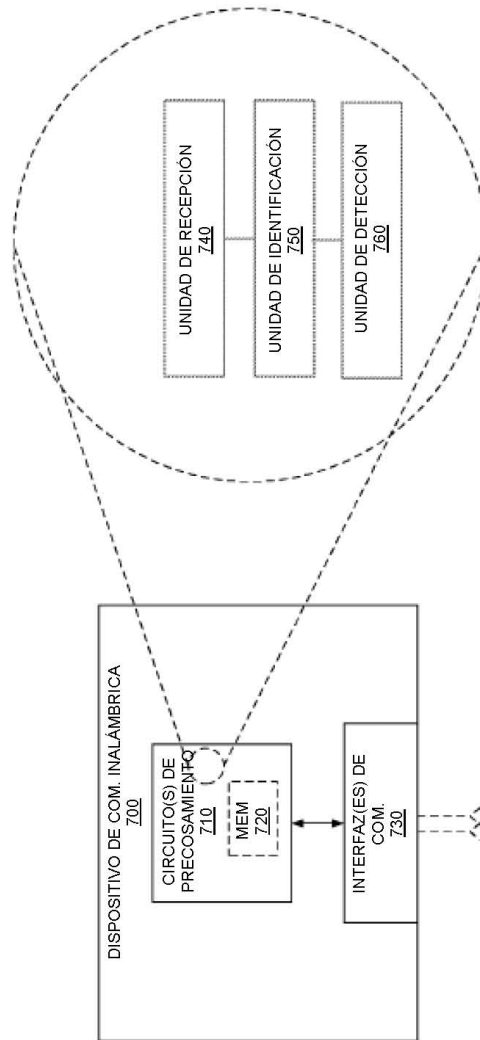


Figura 13

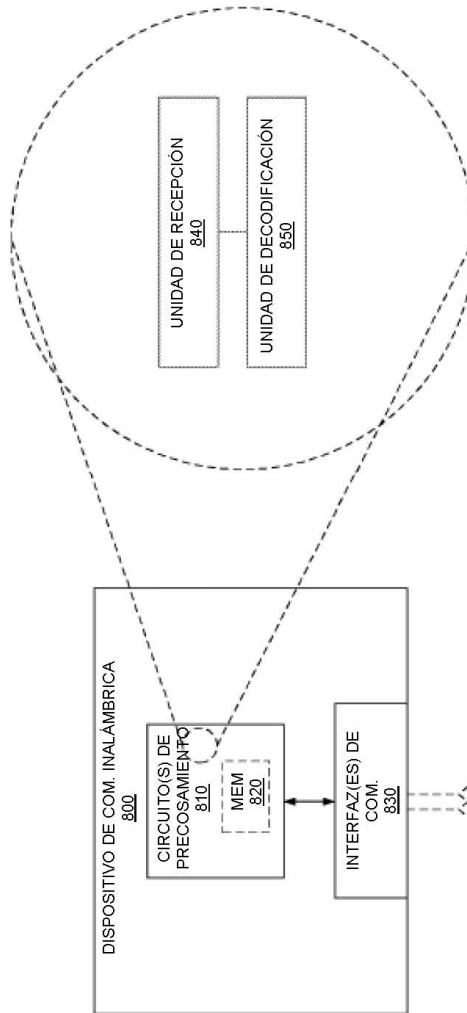


Figura 14