

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 693 558**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/06** (2006.01)

**H04B 7/04** (2007.01)

**H04L 25/49** (2006.01)

**H04L 25/03** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2010** **E 16177985 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018** **EP 3094012**

54 Título: **Método y aparato para usar precodificación factorizada**

30 Prioridad:

**25.11.2009 US 264495 P**

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

**12.12.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**JÖNGREN, GEORGE y  
HAMMARWALL, DAVID**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 693 558 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

Método y aparato para usar precodificación factorizada

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere en general a la precodificación de la señal de transmisión y, en particular, se refiere al uso de la precodificación factorizada.

10 **Antecedentes de la invención**

Las técnicas de múltiples antenas pueden aumentar significativamente las velocidades de datos y la fiabilidad de un sistema de comunicación inalámbrico. La realización se mejora en particular si tanto el transmisor como el receptor están equipados con múltiples antenas, lo que da como resultado un canal de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Tales sistemas y/o técnicas relacionadas se denominan comúnmente MIMO.

El estándar LTE está evolucionando actualmente con soporte mejorado de MIMO. Un componente central en LTE es el soporte de despliegues de antenas MIMO y técnicas de MIMO relacionadas. Una asunción actual de trabajo en LTE-Advanced es el soporte de un modo de multiplexación espacial de 8 capas con una posible precodificación dependiente de canal. El modo de multiplexación espacial está destinado a altas velocidades de datos en condiciones de canal favorables. De acuerdo con tal multiplexación, un vector  $s$  de información que transporta símbolos se multiplica por una matriz  $W_{N_T \times r}$  de precodificador de  $N_T \times r$ , que sirve para distribuir la energía de transmisión en un subespacio del espacio dimensional de vector de  $N_T$  (correspondiente a los puertos de antena de  $N_T$ ).

La matriz de precodificador se selecciona típicamente de un libro de códigos de posibles matrices de precodificador, y se indica típicamente por medio de un indicador de matriz de precodificador (PMI), que especifica una matriz de precodificador única en el libro de códigos. Si la matriz de precodificador está confinada a tener columnas ortonormales, entonces el diseño del libro de códigos de las matrices del precodificador corresponde a un problema de empaquetamiento del subespacio de Grassmann. Los símbolos de  $r$  en  $s$  corresponden cada uno a una capa, y  $r$  se denomina rango de transmisión. De esta manera, se consigue la multiplexación espacial, ya que pueden transmitirse múltiples símbolos simultáneamente sobre el mismo elemento de recurso (RE). El número de  $r$  de símbolos se adapta típicamente para adaptarse a las propiedades de canal actuales.

LTE usa OFDM en el enlace descendente (y DFT usa OFDM precodificado en el enlace ascendente) y, por consiguiente, el vector  $y_n$  de  $N_R \times 1$  recibido para un determinado elemento de recurso en el suboperador  $n$  (o, alternativamente, el número  $n$  de RE de datos), suponiendo que no hay interferencia entre celdas, es modelado de este modo por

$$y_n = H_n W_{N_T \times r} s_n + e_n$$

donde  $e_n$  es un vector de ruido obtenido como realizaciones de un proceso aleatorio. El precodificador,  $W_{N_T \times r}$ , puede ser un precodificador de banda ancha, que es constante para la frecuencia, o selectivo de frecuencia. La matriz de precodificador a menudo se elige para coincidir con las características del canal de MIMO de  $N_R \times N_T$ , lo que da como resultado la llamada precodificación dependiente de canal. Esto también se conoce comúnmente como precodificación de bucle cerrado y, esencialmente, lo que persigue es enfocar la energía de transmisión en un subespacio que es fuerte en el sentido de transportar gran parte de la energía transmitida al UE. Además, la matriz de precodificador también puede seleccionarse para perseguir ortogonalizar el canal, lo que significa que después de una ecualización lineal adecuada en el UE, la interferencia entre capas se reduce.

En la precodificación de bucle cerrado, el UE transmite, basándose en las mediciones de canal en el enlace directo (enlace descendente), recomendaciones al eNodeB de un precodificador adecuado para su uso. Se puede retroalimentar un precodificador único que se supone que cubre un gran ancho de banda (precodificación de banda ancha). También puede ser beneficioso hacer coincidir las variaciones de frecuencia del canal y, en cambio, retroalimentar un informe de precodificación selectivo de frecuencia, por ejemplo varios precodificadores, uno por subbanda). Este es un ejemplo del caso más general de retroalimentación de información de estado de canal (CSI), que también abarca la retroalimentación de otras entidades además de los precodificadores para ayudar al eNodeB en transmisiones subsiguientes al UE. Tal otra información puede incluir indicadores de calidad de canal (CQI), así como indicador de rango de transmisión (RI).

Un problema con la precodificación de bucle cerrado es la sobrecarga de retroalimentación causada por la señalización de un indicador de matriz de precodificador (PMI) y un indicador de rango de precodificador (es decir, que un RI), especialmente en sistemas con grandes configuraciones de antena donde hay muchas dimensiones de canal para caracterizar. Con el diseño de retroalimentación del estado de la técnica, la sobrecarga de retroalimentación para sistemas con muchas antenas de transmisión en muchos casos dará como resultado una

sobrecarga de retroalimentación poco razonable. La complejidad también puede ser un problema si se usan esquemas de retroalimentación convencionales a medida que los tamaños de matriz de antena aumentan. A este respecto, buscar el "mejor" precodificador entre las matrices de precodificador candidatas en un libro de códigos grande es computacionalmente exigente, ya que esencialmente implica una búsqueda exhaustiva sobre el gran número de entradas del libro de códigos. El documento WO2007/092539 refiere al problema de reducir la cantidad de retroalimentación en sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) en donde el receptor señala una matriz de formación de haz al transmisor. El problema se resuelve representando una matriz completa de formación de haz mediante una palabra de código de un libro completo de códigos de colector, y los cambios incrementales de la matriz de formación de haz mediante una palabra de código de un libro de códigos de tapa polar.

## Sumario de la invención

De acuerdo con uno o más aspectos, las enseñanzas presentes en este documento mejoran la retroalimentación de la información de estado de canal (CSI) del equipo del usuario (UE), al permitir que la parte de precodificador de un informe de retroalimentación de CSI comprenda un precodificador factorizado como se describe en las reivindicaciones adjuntas.

## Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de realizaciones ejemplares de un primer dispositivo y un segundo dispositivo, donde el segundo dispositivo está configurado para enviar recomendaciones de precodificación al primer dispositivo por medio de retroalimentación de precodificador factorizada.

La figura 2 es un diagrama de bloques de detalles ejemplares adicionales para los dispositivos introducidos en la figura 1.

Las figuras 3A y 3B ilustran libros de códigos de ejemplo para mantener la conversión y la sintonización de la información del precodificador de acuerdo con las enseñanzas presentadas en este documento.

La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de un circuito de precodificador configurado para precodificar transmisiones de acuerdo con las enseñanzas de este documento.

La figura 5 es un diagrama lógico de flujo de una realización de un método para generar y enviar retroalimentación de precodificador factorizada en un segundo dispositivo, para proporcionar recomendaciones de precodificación a un primer dispositivo.

La figura 6 es un diagrama de flujo lógico de una realización de un método para recibir y evaluar la retroalimentación factorizada del precodificador en un primer dispositivo, donde esa retroalimentación factorizada del precodificador proporciona recomendaciones de precodificación provenientes de un segundo dispositivo.

## Descripción detallada

La figura 1 ilustra un primer dispositivo 10 ("Dispositivo 1") que transmite una señal precodificada 12 a un segundo dispositivo 14 ("Dispositivo 2") utilizando una serie de antenas 16 de transmisión. A su vez, el segundo dispositivo 14 incluye una serie de antenas 18 para recibir la señal precodificada 12 y para transmitir datos de retorno y señalización al primer dispositivo 10, incluyendo retroalimentación factorizada 20 de precodificador. La retroalimentación factorizada 20 de precodificador comprende recomendaciones del precodificador para el primer dispositivo 10. El primer dispositivo 10 considera, pero no necesariamente sigue, las recomendaciones de precodificación incluidas en la retroalimentación factorizada 20 de precodificador cuando determina la operación de precodificación que utiliza para generar la señal precodificada 12. Sin embargo, siendo un aspecto ventajoso de las enseñanzas presentadas aquí, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador ofrece una eficiencia significativamente mejorada en términos del procesamiento requerido para determinar la retroalimentación factorizada 20 de precodificador y/o en términos de la sobrecarga de la señalización requerida para enviar la retroalimentación factorizada 20 de precodificador.

En al menos una realización, el segundo dispositivo 14 recomienda una matriz de precodificador al primer dispositivo 10 indicando una matriz recomendada de precodificador de conversión al primer dispositivo 10 y/o indicando una matriz recomendada de precodificador de sintonización al primer dispositivo 10. En al menos una de tales realizaciones, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador comprende la señalización que proporciona dichas indicaciones al primer dispositivo 10. Por ejemplo, en al menos una realización, el segundo dispositivo 14 "mantiene" (almacena) uno o más libros 22 de códigos que incluyen una serie de posibles matrices 24 de precodificador de conversión y una serie de posibles matrices 26 de precodificador de sintonización. El primer dispositivo 10 mantiene el mismo o los libros 22 de códigos (o, de manera equivalente, almacena la información del libro de códigos que se deriva o depende de las entradas del libro de códigos mantenidas en el segundo dispositivo 14).

En una o más de tales realizaciones, el segundo dispositivo 14 envía valores del índice de matriz de precodificador (PMI), donde esos valores identifican las entradas del libro de códigos que representan las recomendaciones de matriz de precodificador que van a ser consideradas por el primer dispositivo 10 al determinar la operación de precodificación a aplicar al generar la señal precodificada 12. Por ejemplo, representando la matriz de precodificador recomendada por  $W$ , la retroalimentación factorizada 20 de precodificador comprende, en al menos una realización, un valor de índice que identifica, en particular, una de entre las matrices posibles 24 de precodificador de conversión como una matriz recomendada de precodificador de conversión, denotada como  $W_1$ , y comprende adicionalmente un valor de índice que identifica una, en particular, de entre las matrices posibles 26 de precodificador de conversión como una matriz recomendada de precodificador de sintonización, denotada como  $W_2$ . El dispositivo 10 se configura correspondientemente para formar la matriz  $W$  de precodificador recomendada como el producto (multiplicación de la matriz) de la matriz recomendada  $W_1$  de precodificador de conversión y la matriz  $W_2$  recomendada de precodificador de sintonización. Es decir, que  $W = W_1 \times W_2$ . El dispositivo 10 considera la matriz  $W$  recomendada de precodificador para determinar la operación de precodificación que aplica. Por ejemplo, formula una matriz de precodificador utilizada para generar la señal precodificada 12 en base  $a$ , al menos en parte, la  $W$  recomendada de precodificador.

De este modo, al recibir la retroalimentación factorizada 20 de precodificador, se informa al primer dispositivo 10 de las matrices  $W_1$  y  $W_2$  de precodificador recomendadas de conversión y sintonización, y considera la CSI indicada por tal retroalimentación al determinar sus operaciones de precodificación. El primer dispositivo 10 evalúa  $W$ , por ejemplo, para determinar si debe o no conformar sus operaciones de precodificación a la matriz  $W$  de precodificador recomendada. Es decir, que el primer dispositivo 10 recibe y comprende la retroalimentación factorizada 20 de precodificador, pero la operación de precodificación realmente aplicada por el primer dispositivo 10 puede o no seguir las recomendaciones de precodificador procedentes del segundo dispositivo 14. La precodificación real en el primer dispositivo 10 depende de una serie de factores más allá de las recomendaciones recibidas del segundo dispositivo 10.

Como ejemplo no limitativo, la figura 2 ilustra una realización del primer y segundo dispositivo 10 y 14. De acuerdo con el ejemplo ilustrado, el primer dispositivo 10 comprende un receptor 34 configurado para recibir la retroalimentación factorizada 20 de precodificador procedente del segundo dispositivo 14. Como se explicó, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador indica al menos una de entre una matriz recomendada de precodificador de conversión ( $W_1$ ) y una matriz recomendada de precodificador de sintonización ( $W_2$ ), que representan conjuntamente una matriz recomendada de precodificador ( $W$ ) que es una multiplicación de matrices de las matrices recomendadas de conversión y de precodificador de sintonización. Como se detallará adicionalmente más adelante en este documento, la matriz recomendada de precodificador de conversión restringe el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz recomendada de precodificador de sintonización, y la matriz recomendada de precodificador de sintonización hace coincidir la matriz de precodificador recomendada con un canal efectivo que se define en parte por la matriz recomendada de precodificador de conversión.

El primer dispositivo 10 comprende adicionalmente un transmisor 36 que incluye un circuito 38 de precodificador. El transmisor 36 está configurado para determinar una operación de precodificación para generar la señal precodificada 12, en base  $a$ , al menos en parte, la evaluación de dicha matriz de precodificador recomendada. Aquí, la "operación de precodificación" se entenderá como la precodificación que realmente es usada por el primer dispositivo 10 para generar la señal precodificada 12, y que puede o no seguir la matriz de precodificador recomendada correspondiente a las matrices recomendadas de conversión y sintonización de precodificador. El transmisor 36 está configurado para transmitir la señal precodificada 12 al segundo dispositivo 14, donde la señal precodificada 12 es precodificada de acuerdo con la operación de precodificación aplicada por el dispositivo 10.

En la determinación de la operación real de precodificación que se va a usar, el transmisor 36 se configura, por ejemplo, para determinar si se debe usar o no la matriz de precodificador recomendada como una matriz de precodificador realmente utilizada en el circuito 38 de precodificador para generar la señal precodificada 12. Es decir, que la operación de precodificación llevada a cabo por el primer dispositivo 10 puede o no seguir la operación recomendada de precodificación, dependiendo de una serie de condiciones. Sin embargo, se entenderá que el primer dispositivo 10 puede seguir las recomendaciones y que está, en cualquier caso, configurado para comprender y considerar la retroalimentación factorizada 20 de precodificador, como la base para identificar tales recomendaciones.

Adicionalmente, en al menos una realización, el primer dispositivo 10 está configurado para mantener el uno o más libros 22 de códigos como una tabla bidimensional 28 de posibles matrices de precodificador. Véase la figura 3A para observar un ejemplo de la tabla 28, en donde se entenderá que la tabla 28 sea, por ejemplo, una estructura de datos almacenada en una memoria del dispositivo 10. La tabla 28 incluye una serie de entradas numéricas representadas individualmente por "W" en la ilustración. Cada  $W$  es una posible matriz de precodificador formada como la multiplicación de matrices de una combinación particular de posibles matrices 24 y 26 de conversión y sintonización de precodificador. Es decir, que algunas o todas las  $W$  de la tabla 28 representan, cada uno, el producto de un par diferente de una posible matriz 24 de precodificador de conversión y una posible matriz 26 de precodificador de sintonización. De este modo, cada fila (o columna) de la tabla 28 corresponde a una en particular de entre una pluralidad de posibles matrices 24 de precodificador de conversión y cada columna (o fila) de la tabla

28 corresponde a una en particular de entre una pluralidad de posibles matrices 26 de precodificador de sintonización.

En una realización tal, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador comprende al menos uno de entre un valor de índice de fila y un valor de índice de columna, para identificar una en particular de entre dichas posibles matrices de precodificador de la tabla 28 como la matriz recomendada de precodificador. Se puede entender que cada valor de índice de fila (o de cada columna) representa una recomendación particular de precodificador de conversión, y se puede entender que el valor de índice de cada columna (o de cada fila) representa una recomendación particular de precodificador de sintonización.

Adviértase que los valores de índice de fila y columna pueden retroalimentarse con una granularidad diferente, y adviértase que, con tales realizaciones, las posibles matrices 24 de precodificador de conversión y las posibles matrices 26 de precodificador de sintonización no se especifican explícitamente en libros de códigos separados; por el contrario, el producto de una posible matriz particular 24 de precodificador de conversión y una posible matriz particular 26 de precodificador de sintonización se almacena en una celda de la tabla 28.

Se entenderá que, en tales realizaciones, el segundo dispositivo 14 también puede configurarse para mantener una tabla similar 28 en una memoria del segundo dispositivo 14. De esa manera, entonces, el segundo dispositivo 14 determina el valor o los valores de índice de la tabla corresponde/n a sus recomendaciones de precodificador y envía de vuelta indicaciones de esos valores al primer dispositivo 10 por medio de la retroalimentación factorizada 20 de precodificador. Es decir, que el segundo dispositivo 14 envía de vuelta valores de índice de fila y/o valores de índice de columna, como la retroalimentación factorizada 20 de precodificador. (En la medida en que el primer dispositivo 10 selecciona el precodificador de conversión, por ejemplo, el segundo dispositivo 14 no necesita enviar de vuelta, necesariamente, los valores de índice de fila y columna).

En otra realización, tal como la sugerida en la figura 1, el primer dispositivo 10 está configurado para mantener uno o más libros 22 de códigos de posibles matrices 24 de precodificador de conversión y posibles matrices 26 de precodificador de sintonización. Correspondientemente, el receptor 34 del primer dispositivo 10 está configurado para recibir la retroalimentación factorizada 20 de precodificador como al menos un valor de índice que indica al menos un elemento de entre: una matriz en particular de entre las posibles matrices 24 de precodificador de conversión como la matriz recomendada de precodificador de conversión [*sic.*?], y una en particular de entre las posibles matrices 26 de precodificador de sintonización como la matriz recomendada de precodificador de sintonización.

La figura 3B ilustra un ejemplo de tal realización, donde el primer dispositivo 10 está configurado para mantener el uno o más libros 22 de códigos manteniendo un primer libro 30 de códigos de las posibles matrices 24 de precodificador de conversión y un segundo libro 32 de códigos de las posibles matrices 26 de precodificador de sintonización. En tales realizaciones, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador comprende al menos un valor de entre un primer valor de índice para el primer libro 30 de códigos y un segundo valor de índice para el segundo libro 32 de códigos. Se entenderá que el segundo dispositivo 14 mantiene copias de uno o ambos de los libros 30 y 32 de códigos.

Con independencia de la organización particular del libro de códigos, en al menos una realización, el primer dispositivo 10 mantiene uno o más libros 22 de códigos de posibles matrices 24 de precodificador de conversión y posibles matrices 26 de precodificador de sintonización, donde cada posible matriz 24 de precodificador de conversión tiene una configuración particular. En particular, cada una de las posibles matrices de precodificador de conversión tiene dimensiones de fila-columna de  $N_T \times k$ , donde el número  $N_T$  de filas es igual a un número de puertos de antena de transmisión en el primer dispositivo 10, y el número  $k$  de columnas es igual a una dimensión de conversión que es menor que el valor de  $N_T$  para restringir por ello el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz recomendada de precodificador de sintonización. Se entenderá que el segundo dispositivo 14 puede mantener el libro o libros de códigos 22 de estructura similar.

Véase la figura 4 para observar una implementación de ejemplo del circuito 38 de precodificador, que incluye un precodificador 50 que precodifica señales para su transmisión por el primer dispositivo 10 de acuerdo con una operación de precodificación que, como se observó, se determina, al menos en parte, en base a la evaluación del precodificador recomendado como se determina a partir de la retroalimentación factorizada 20 de precodificador. Más detalladamente, el circuito 38 de precodificador incluye circuitos 52 de procesamiento de capa, que procesan los símbolos de entrada en un vector  $s$  de símbolos para cada capa (multiplexación espacial) en uso (por ejemplo, "capa 1", "capa 2", y así sucesivamente).

Los vectores de símbolos se precodifican de acuerdo con la matriz real de precodificación adoptada por el precodificador 50, y los vectores precodificados se pasan a un circuito 54 de procesamiento de Transformada de Fourier Rápida Inversa (IFFT), y las salidas de ese circuito se aplican luego a los respectivos de los puertos 56 de antena de  $N_T$ . Se entenderá que el número de puertos de antena de  $N_T$  que están disponibles para ser usados por el primer dispositivo 10 en la conducción de transmisiones precodificadas define el número máximo de dimensiones de canal consideradas por las operaciones de precodificación del primer dispositivo 10. Como se explicará con más

detalle más adelante en este documento, el tamaño y/o la complejidad del uno o más libros 22 de códigos (y el de la retroalimentación 20 de precodificación) se pueden reducir de manera ventajosa al restringir el número de dimensiones de canal que se consideran menores que  $N_T$ .

- 5 En la realización anterior, al menos una de las posibles matrices 24 de precodificador de conversión comprende una matriz diagonal de bloques. Adicionalmente, al menos una de entre las posibles matrices 26 de precodificador de sintonización tiene filas de matriz que cambian la fase de los bloques en la matriz diagonal de bloques. Aquí, cada bloque de la matriz diagonal de bloques puede entenderse en un sentido de formación de haz para generar un conjunto de haces que emite desde un subconjunto respectivo de los puertos 56 de antena  $N_T$ , y la "fase" en  
10 cuestión representa aquí las compensaciones de fase entre los haces en ambos bloques de la matriz diagonal de bloques.

- Adicionalmente, en al menos una realización, la dimensión  $k$  de conversión está configurada por el primer dispositivo 10 o por el segundo dispositivo 14. Es decir, que la dimensión  $k$  de conversión es un parámetro configurable. En  
15 caso de que la dimensión  $k$  de conversión esté configurada por el primer dispositivo 10, el primer dispositivo 10 estará configurado para señalar una indicación de la dimensión  $k$  de conversión desde el primer dispositivo 10 al segundo dispositivo 14. De manera correspondiente, el segundo dispositivo 14 estará, en tal caso, configurado para recibir el valor señalado de la dimensión  $k$  de conversión, y para considerar ese valor al hacer sus recomendaciones de precodificación –es decir, que restringe su selección de una matriz recomendada de  
20 precodificador de conversión en vista al valor señalado de  $k$ .

- Todavía adicionalmente, en al menos una realización, la matriz recomendada de precodificador de conversión es seleccionada por el primer dispositivo 10, en lugar de por el segundo dispositivo 14. En tal caso, el primer dispositivo 10 está configurado para señalar una indicación de la matriz recomendada de precodificador de conversión al  
25 segundo dispositivo 14. De manera correspondiente, el segundo dispositivo 14 está configurado para recibir una indicación de la matriz recomendada de precodificador de conversión del primer dispositivo 10, y para utilizar esa indicación señalada en su selección de una matriz recomendada de precodificador de sintonización –es decir, que el segundo dispositivo 14 limita su consideración de posibles matrices 26 de precodificador de sintonización a las matrices que son adecuadas (en términos de dimensión) para su uso con la matriz de precodificador de conversión  
30 recomendada.

- Como una ventaja adicional de las enseñanzas en este documento, en una o más realizaciones, el uno o más libros 22 de códigos incluyen un conjunto de posibles matrices 24 de precodificador de conversión, tal que el número de vectores únicos que forman una columna particular del conjunto de posibles matrices de precodificador de  
35 conversión es mayor que el número de vectores únicos que forman otra columna del conjunto de posibles matrices de precodificador de conversión.

- Adicionalmente, en al menos una realización, el primer dispositivo 10 está configurado para recibir la retroalimentación factorizada 20 de precodificador procedente del segundo dispositivo 14 como primera señalización recibida por el primer dispositivo 10 en una primera granularidad en el tiempo o frecuencia que indica la matriz recomendada de precodificador de conversión, y como segunda señalización recibida por el primer dispositivo 10 en una segunda granularidad en el tiempo o frecuencia que indica la matriz recomendada de precodificador de sintonización. En particular, la primera granularidad es más gruesa que la segunda granularidad. De manera correspondiente, el segundo dispositivo 14 está configurado para señalar la matriz recomendada de precodificador de conversión en la primera granularidad, y para señalar la matriz recomendada de precodificador de sintonización en la segunda granularidad.  
40  
45

- En líneas más generales, y con referencia a la figura 2, se entenderá que el segundo dispositivo 14 está configurado para indicar una matriz de precodificador recomendada para el primer dispositivo 10. En apoyo de esa configuración, la realización de ejemplo del segundo dispositivo 14 comprende un receptor 40 que está configurado para estimar las condiciones de canal con respecto al primer dispositivo 10. A este respecto, el segundo dispositivo 14 recibe, por ejemplo, señales de referencia, específicas de antena, para los puertos 56 de antena de  $N_T$ . Estas señales permiten al receptor 40 realizar estimaciones de canales por antena, que permiten que el segundo dispositivo 14 determine, por ejemplo, el número de capas de multiplexación espacial que puede soportar y, por ello, utilice esa determinación para hacer recomendaciones de precodificador al primer dispositivo 10.  
50  
55

- De manera correspondiente, el receptor 40 está configurado adicionalmente para determinar la retroalimentación factorizada 20 de precodificador basándose, al menos en parte, en las condiciones de canal. Como se advirtió anteriormente, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador indica al menos una matriz de entre una matriz recomendada de precodificador de conversión y una matriz recomendada de precodificador de sintonización, donde las matrices recomendadas de conversión y sintonización de precodificador representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada que es una multiplicación, de matriz, de las matrices recomendadas de precodificador de conversión y sintonización.  
60

- 65 También como antes, la matriz recomendada de precodificador de conversión restringe el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz recomendada de precodificador de sintonización, y la matriz recomendada de

precodificador de sintonización hace coincidir la matriz de precodificador recomendada con un canal efectivo, entre los dispositivos primero y segundo 10 y 14, que está definido en parte por la matriz recomendada de precodificación de conversión. El segundo dispositivo 14 incluye adicionalmente un transmisor 42 configurado para enviar la retroalimentación factorizada 20 de precodificador al primer dispositivo 10, para indicar la matriz de precodificador recomendada al primer dispositivo 10.

Con los ejemplos anteriores de los dispositivos primero y segundo en mente, la figura 5 ilustra una realización del método implementado en el primer dispositivo 10 de acuerdo con las enseñanzas de este documento. El método ilustrado 500 proporciona precodificación para las transmisiones del primer dispositivo 10 al segundo dispositivo 14. El método 500 incluye recibir retroalimentación precodificada factorizada 20 desde el segundo dispositivo 14 (Bloque 502), donde esa retroalimentación indica al menos una matriz de entre una matriz recomendada de precodificador de conversión y una matriz recomendada de precodificador de sintonización (con la estructura/naturaleza previamente detallada). El método 500 incluye adicionalmente determinar una operación de precodificación (para precodificar el segundo dispositivo 14) en base a, al menos en parte, la evaluación de dicha matriz de precodificador recomendada (Bloque 504). Aún adicionalmente, el método incluye transmitir una señal precodificada 12 al segundo dispositivo 14 que se precodifica de acuerdo con la operación determinada de precodificación (Bloque 506).

La figura 6 ilustra un ejemplo correspondiente de un método 600 implementado en el segundo dispositivo 14, donde ese método incluye la estimación de las condiciones de canal con respecto al primer dispositivo 10 (Bloque 602), y la determinación de la retroalimentación factorizada 20 de precodificador en base a, al menos en parte, las condiciones de canal (Bloque 604). Como antes, la retroalimentación factorizada 20 de precodificador indica al menos una matriz de entre una matriz recomendada de precodificador de conversión y una matriz recomendada de precodificador de sintonización. El método 600 incluye adicionalmente enviar la retroalimentación factorizada 20 de precodificador al primer dispositivo 10 (Bloque 606), para indicar la matriz recomendada de precodificador al primer dispositivo 10.

Como un ejemplo adicional, en una o más realizaciones enseñadas en este documento, al menos algunos aspectos de las recomendaciones de precodificador se basan en la determinación de la raíz cuadrada de la covarianza de canal. De este modo, este procesamiento se vincula con la estimación de las condiciones de canal entre los dispositivos primero y segundo 10 y 14. En al menos una de dichas realizaciones, el primer dispositivo 10 es un eNodeB, por ejemplo, en una red de comunicación inalámbrica basada en LTE. De forma correspondiente, el segundo dispositivo 14 es un terminal móvil u otro elemento de equipo de usuario (UE) configurado para funcionar en la red de comunicación inalámbrica basada en LTE.

El eNodeB determina una matriz de precodificador a usar para precodificar una transmisión al UE, donde esa determinación se hace en base a, al menos en parte, la consideración de las recomendaciones de precodificador del UE, provistas en forma de retroalimentación factorizada 20 de precodificador como se explicó anteriormente. En particular, un método para que el UE determine las recomendaciones de precodificador para el eNodeB se basa en lo siguiente:

1. El UE estima la matriz  $H_n$  de canal de  $N_R \times N_T$  para un conjunto de elementos de recursos (REs) de multiplexación ortogonal por división de frecuencia (OFDM), donde dichas estimaciones se basan en señales de referencia específicas de antena procedentes del eNodeB.

2. El UE forma una estimación de la matriz de covarianza del canal de transmisión  $R_{tr} = E [H^*H]$ , por ejemplo, formando la estimación de muestra

$$\hat{R}_{tr} = \frac{1}{N} \sum_n \hat{H}_n^* \hat{H}_n,$$

donde la suma es sobre un conjunto de REs. Tal promediación tomada a lo largo de un conjunto de REs en el tiempo explota el hecho de que las propiedades de correlación del canal a menudo pueden cambiar lentamente con el tiempo, mientras que una promediación similar sobre la frecuencia explota el hecho de que las propiedades de correlación pueden ser bastante constantes para la frecuencia. De este modo, una operación típica es que la promediación se ejecuta en todo el ancho de banda del sistema (por ejemplo, el ancho total de banda del operador involucrado de OFDM) e involucra múltiples subtramas a lo largo del tiempo. También se puede formar un promedio ponderado para tener en cuenta que las propiedades de correlación se vuelven al final obsoletas en términos de tiempo o en términos de frecuencia.

3. El UE toma una raíz cuadrada de matriz de  $\hat{R}_{tr}$ , por ejemplo,

$$\hat{R}_{tr}^{1/2} = V \Lambda^{1/2},$$

donde V son los vectores propios de la matriz de covarianza de canal de transmisión, y la matriz diagonal  $\Lambda^{1/2}$  contiene la raíz cuadrada de los valores propios correspondientes clasificados en orden descendente. (Obsérvese

que existen otras formas de raíces cuadradas de matriz, y se contempla en el presente documento que se pueden usar tales otras formas).

4. El UE ahora asume hipotéticamente un cierto valor de la dimensión  $k$  de conversión (que limita implícitamente el rango de transmisión a  $k$ ). Esto implica que sólo se mantienen las primeras columnas  $k$  de  $\hat{R}_{tr}$ . Estas columnas se escalan a una norma fija de Frobenius y luego se cuantifican en términos de elemento.

5. La matriz recomendada ( $W_1$ ) de precodificación de conversión ahora está fijada para que el valor hipotético de  $k$  se corresponda con la raíz cuadrada recortada de columnas, cuantificada y escalada de la matriz de covarianza de canal de transmisión.

6. El UE ahora asume hipotéticamente un cierto valor del rango  $r$  de transmisión dado el  $k$  hipotético.

7. El UE se enfrenta ahora a un nuevo canal efectivo  $H_n W_1$  por el que intenta seleccionar un precodificador hipotético coincidente de sintonización (que coincida con un conjunto de REs, por ejemplo, una subbanda en LTE) para optimizar alguna métrica de realización. Por ejemplo, la selección puede optimizar, por ejemplo, un rendimiento predicho, o puede aspirar al formato de transporte más alto dando una BLER no superior al 10%. El precodificador de sintonización se puede seleccionar de un libro de códigos  $W_{tr} = \{W_{2,1}, W_{2,2}, \dots\}$ . Es decir, que la pluralidad de posibles precodificadores 26 de sintonización mostrada para el libro 32 de códigos en la figura 3B puede comprender un conjunto finito de elecciones de diferentes precodificadores de sintonización  $W_{2,1}$ ,  $W_{2,2}$ , y así sucesivamente, para el valor hipotético de la dimensión  $k$  de conversión y el rango  $r$  de transmisión. Se pueden mantener otros diferentes de tales conjuntos para diferentes valores de  $k$  y  $r$ . El o los libros de códigos de precodificador de sintonización podría/n, por ejemplo, corresponder al rango relevante  $r$  de transmisión del libro de códigos de puerto de antena de 2 o 4 disponible en LTE Rel-8.

8. El UE realiza luego una búsqueda sobre varias o todas las diferentes combinaciones posibles de  $k$  y  $r$  repitiendo los pasos 4 a 7 anteriores, y finalmente selecciona la mejor combinación general de matrices de precodificador de conversión y sintonización, incluyendo la elección de  $k$  y  $r$ . Aquí, la "mejor" combinación puede ser la combinación de un posible precodificador 24 de conversión y un posible precodificador 26 de sintonización del libro o libros 22 de códigos que produce el valor más alto o, si no, el mejor valor de la métrica elegida de realización elegida. Alternativamente, la mejor dimensión  $k$  de conversión ha sido seleccionada e informada en una instancia de tiempo anterior, pero aún se aplica y sólo se determina el rango  $r$ , en base a la dimensión de conversión determinada previamente, repitiendo los pasos 4-7.

9. Continuando, el UE convierte los elementos cuantificados por escala del precodificador de conversión recomendado en una secuencia de bits que se codifica y se envía al eNodeB. De manera similar, también se informa de un índice que apunta al libro de códigos del precodificador de sintonización. Este último índice podría corresponder directamente a la PMI reportada en LTE. Obsérvese, también, que en lugar de la cuantificación escalar, el precodificador de conversión recomendado también se puede seleccionar de un libro de códigos, por ejemplo, seleccionando el posible precodificador 24 de conversión que coincida con la covarianza de transmisión en el sentido de maximizar la relación señal/ruido de recepción (SNR) o medidas ergódicas de capacidad de canal. Adicionalmente, incluso si la señalización de retroalimentación factorizada de precodificador se realiza utilizando la cuantificación escalar, el UE todavía puede tener un libro de códigos interno de precodificador de conversión, como una forma de hacer cumplir las propiedades deseables en la matriz de precodificador de conversión que se selecciona como la matriz recomendada de precodificador de conversión, antes de redondear a la cuantificación escalar más cercana.

Adicionalmente, como se advirtió anteriormente, el informe real de retroalimentación puede ejecutarse de varias maneras. Por ejemplo, en LTE, el informe de retroalimentación se podría realizar en el canal de control de enlace ascendente PUCCH, para transportar periódicamente la información del estado de canal (CSI) al eNodeB, donde esa CIS puede incluir la retroalimentación factorizada de precodificador que es de interés aquí. La CSI también se puede transportar solicitando explícitamente informes de CSI sobre el PUSCH. En una o más realizaciones, el UE informa de una única matriz recomendada de precodificador de conversión en el PUSCH, junto con el informe de múltiples matrices de precodificador de sintonización recomendadas, dirigiéndose, cada uno de tales precodificadores de sintonización, a una subbanda particular del ancho de banda general de sistema. También se contempla cambiar el contenido de los informes basados en PUSCH, de modo que a veces se transmita la matriz recomendada de precodificador de conversión, y, para otras subtramas, se transmita la matriz o matrices recomendadas de precodificador de sintonización.

Las recomendaciones a transmitir desde el UE al eNodeB se señalan, en una o más realizaciones, como parte de la concesión de enlace ascendente en el PDCCH. Por ejemplo, la concesión incluye un bitio o una combinación de bitios disponible que el UE interpreta como un indicador de qué recomendaciones enviar. En apoyo de este método, se puede establecer una relación estricta de temporización entre los diferentes informes de recomendaciones de precodificador del UE, de modo que quede claro tanto para el UE como para el eNodeB en cuanto a qué recursos de tiempo/frecuencia se corresponden con una particular recomendación de matriz de precodificador por el UE. Como una alternativa útil, el UE está configurado para transmitir sus recomendaciones de matriz de precodificador de



conversión en un punto más alto de la pila de protocolos, como un elemento de Control de Acceso al Medio (MAC) o por medio de señalización de protocolo de Control de Recursos de Radio (RRC).

Adicionalmente, el eNodoB no necesariamente advierte cómo el UE selecciona los precodificadores que recomienda. De hecho, el caso típico es que el UE no lo sabe, y más bien sólo sabe que el UE prefiere, de alguna manera, los precodificadores que informa. En particular, el eNodoB puede desconocer la base sobre la cual el UE recomienda una matriz particular de precodificador de conversión. Una alternativa contemplada para una o más realizaciones en el presente documento es especificar que la matriz de precodificador de conversión debe seleccionarse en función de la raíz cuadrada de la covarianza de canal de transmisión, o, incluso, que la matriz de covarianza de transmisión en su conjunto se retroalimenta desde el UE al eNodoB. Sin embargo, tal enfoque presenta ciertos retos en términos de probar y asegurar comportamientos similares de UE en múltiples proveedores de UE.

Estos retos surgen porque las propiedades de canal, tal como la covarianza de canal de transmisión vista sólo internamente en el UE, no son fáciles de observar desde el exterior y, por consiguiente, no hay formas fáciles de asegurar que la covarianza informada tenga los valores correctos, en particular porque parte del extremo frontal de receptor en el UE podría afectar la covarianza. Un precodificador reportado explícitamente, en contraste, asume una transmisión hipotética y, como tal, la consecuencia, en términos de un formato de transporte que da alrededor del 10% de BLER para la transmisión hipotética, se informa por medio de CQI. Esto es observable al inspeccionar los ACK/NACKs de UE y estimar la BLER. Estos aspectos de los informes de retroalimentación no están restringidos a ninguna realización particular descrita en este documento, y son aplicables a los siguientes detalles adicionales.

En al menos una realización, la dimensión  $k$  de conversión está adaptada para hacer coincidir diferentes propiedades de correlación del canal. A este respecto, la selección de la dimensión  $k$  de conversión sirve como una forma de confinar estrictamente la energía de transmisión a un subespacio de dimensionalidad reducida del espacio vectorial tridimensional de  $N_T$ . Hablando de manera aproximada, esto enfoca la energía en ciertas "direcciones" preferidas y, de este modo, evita la necesidad de que el precodificador de sintonización haga frente a un subespacio más grande del necesario. Por ejemplo, el o los libros 22 de códigos incluyen un número de posibles matrices 24 de precodificador de conversión que están restringidas (por la dimensión  $k$ ) a un subespacio del espacio vectorial tridimensional de  $N_T$ , y el o los conjuntos de posibles matrices 26 de precodificador de sintonización son, por ello, simplificados.

De lo contrario, obligar a la matriz de precodificador de sintonización a considerar el espacio vectorial tridimensional de  $N_T$  completo requeriría un libro de códigos más grande y, de este modo, una mayor sobrecarga de señalización entre el UE y el eNodoB, y/o requeriría una mayor complejidad en la búsqueda del precodificador en el UE y/o El eNodoB. Para comprender por qué es ventajoso adaptar el valor de la dimensión  $k$  de conversión, considérese un escenario con cuatro antenas de transmisión copolarizadas y próximas (aproximadamente la mitad de una longitud de onda) en el eNodoB. Para los fines de este ejemplo, el primer dispositivo 10 puede entenderse como el eNodoB y sus antenas 16, por lo tanto, comprenden las cuatro antenas copolarizadas y próximas. Si la expansión angular en el eNodoB es suficientemente pequeña, los canales correspondientes a las diferentes antenas de transmisión estarán altamente correlacionados, y, en consecuencia, la covarianza de canal de transmisión tendrá un valor propio muy fuerte, y los valores propios restantes serán débiles. Para tal canal, la formación de haz de una sola capa es apropiada.

Lo anterior puede implementarse por medio de precodificación factorizada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_1 &= \mathbf{w}_{BF} \\ \mathbf{W}_2 &= \mathbf{1} \end{aligned} \quad (1)$$

dando el precodificador efectivo

$$\mathbf{W}_{eff} = \mathbf{w}_{BF} \times \mathbf{1} = \mathbf{w}_{BF} \quad (2)$$

Aquí, la dimensión  $k$  de conversión es igual a 1, y el rango  $r$  de transmisión también es igual a uno, mientras que  $\mathbf{w}_{BF}$  es un formador de haz de una sola capa que enfoca toda la energía de transmisión en la "dirección más fuerte" del canal, mejorando, de este modo, la SINR en el lado receptor. En este caso, el UE informaría la información que describe, o, de otro modo, indica la matriz recomendada de precodificador de conversión, mientras que la matriz recomendada de precodificador de sintonización correspondiente es constante y, de este modo, no es necesario gastar ningún bitio para informarla.

El conformador de haz podría tomarse de un libro de códigos basado en columnas de matrices de Transformada Discreta de Fourier (DFT), formando una escala de haces para seleccionar. Alternativamente, el formador de haz puede basarse en la matriz de covarianza de transmisión del canal. Sin embargo, a medida que aumenta la expansión angular, los valores propios de la matriz de covarianza de transmisión del canal se vuelven más similares. En consecuencia, el valor propio más fuerte ya no domina tanto como antes. Entonces puede ser beneficioso

asignar algo de poder a más de una dirección. Por consiguiente, tiene sentido hacer que la dimensión  $k$  de conversión sea mayor que 1. Al mismo tiempo, el rango  $r$  de transmisión puede permanecer en 1, por ejemplo, porque la SNR no es lo suficientemente alta como para justificar la transmisión de rango múltiple. En tal caso,  $k > 1$  y  $r = 1$ . Para  $k = 2$ , la matriz recomendada de precodificador de sintonización podría elegirse del precodificador de puerto de dos antenas en LTE Rel-8, es decir, como

$$\mathbf{W}_2 \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \right\} \quad (3)$$

El último caso de dimensión de conversión de dos también tiene sentido si el sistema de antenas en el eNodeB consta de varios polos cruzados próximos. Cada polarización forma luego un grupo de antenas copolarizadas y próximas para las cuales la correlación del canal es alta si la expansión angular es suficientemente baja. La formación de haces en cada polarización es entonces razonable y es seguida por un precodificador de sintonización que intenta ajustar la fase relativa entre las dos polarizaciones. La matriz  $\mathbf{W}$  de precodificador recomendada se puede hacer a medida para tal operación al determinar  $\mathbf{W}$  como una matriz precodificadora efectiva,  $\mathbf{W}_{\text{eff}} = \mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$ , donde la matriz  $\mathbf{W}_1$  recomendada de precodificador de conversión y la matriz  $\mathbf{W}_2$  recomendada de precodificador de sintonización podrían tomar la forma de

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{\text{BF}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{w}_{\text{BF}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{W}_2 \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \right\}$$

Los detalles anteriores demuestran que la posibilidad de elegir entre diferentes valores de la dimensión  $k$  de conversión es beneficiosa. La selección real de  $k$  puede ejecutarse de una manera similar a la búsqueda ejecutada en la realización ejemplar para determinar cuál de las posibles matrices 24 de precodificador de conversión recomendar en base a las raíces cuadradas de matriz.

La adaptación del rango de transmisión es un aspecto adicional en una o más realizaciones enseñadas en el presente documento. Es decir, que el rango  $r$  de transmisión también varía. En este documento se reconoce que es importante permitir que  $r$  varíe incluso aunque la dimensión  $k$  de conversión y el número  $N_T$  de puertos de antena de transmisión permanezcan fijos. Considérese nuevamente el caso de un sistema de antenas de transmisión con varios polos cruzados próximos. Como se muestra arriba, el precodificador  $\mathbf{W}_1$  de conversión puede tomar la forma de diagonal de bloque

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{\text{BF}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{w}_{\text{BF}} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

La dimensión  $k$  de conversión es aquí igual a dos, correspondiéndose con las dos polarizaciones ortogonales, implicando también, de este modo, que el precodificador de sintonización apropiado tiene dos filas. Sin embargo, el precodificador de sintonización podría tener una o dos columnas, dependiendo del rango  $r$  de transmisión que el canal considere soportable. Por ejemplo, si la SINR es baja, es probable que se prefiera la transmisión de una sola capa. Mantener  $k = 2$  es beneficioso porque le permite al precodificador de sintonización ajustar las fases relativas entre las dos polarizaciones y, de este modo, conseguir una combinación coherente de señales de transmisión en el lado de la recepción. Sin embargo, si la SINR es alta, es probable que el uso de dos capas sea mejor que sólo el uso de una sola capa, y el precodificador de sintonización tendría, en consecuencia, dos columnas.

La matriz de precodificador de sintonización que se recomienda para uso, por lo tanto, podría seleccionarse de un libro de códigos de matrices unitarias de 2x2 que persigue ortogonalizar el canal 2x2 efectivo formado por el producto de la matriz de canales y el precodificador de conversión. Argumentos similares se aplican a los sistemas de antenas agrupadas, donde los grupos de antenas tienen canales con alta correlación pero donde la correlación entre grupos es baja, por lo que se necesita un precodificador de sintonización para los ajustes de fase. Se entenderá que el uno o más libros 22 de códigos se pueden rellenar con un conjunto mayor de matrices posibles 26 de precodificación de sintonización, en donde uno o más subconjuntos definidos de ellas tienen las propiedades anteriores. (En general, los subconjuntos dados de las posibles matrices 26 de precodificador de sintonización en el libro o libros 22 de códigos corresponderán a los valores dados de la dimensión  $k$  de conversión y del rango  $r$  de transmisión, de modo que se seleccione una matriz de precodificador de sintonización que sea apropiada para la matriz seleccionada de conversión de precodificador.)

Otro aspecto de una o más realizaciones enseñadas en este documento es la selección del precodificador asistido de eNodeB. Incluso aunque las recomendaciones de precodificador son típicamente realizadas por el UE, debido a

- que el UE generalmente tiene mejores medidas de canal de enlace descendente, el diseño factorizado de precodificador presentado aquí ventajosamente permite un diseño en el que el eNodoB asiste en la selección del precodificador. Tal asistencia se basa en, por ejemplo, mediciones de canal en el enlace inverso (el enlace ascendente), en las que se puede aplicar reciprocidad para adquirir información de canal para el enlace descendente. La selección de precodificador asistido de eNodoB es particularmente adecuada para sistemas dúplex por división de tiempo (TDD) donde se puede utilizar reciprocidad con precisión, pero también sistemas dúplex por división de frecuencia (FDD) pueden beneficiarse de tal asistencia mediante la explotación de parámetros a gran escala del canal que también son recíprocos en distancias dúplex mayores.
- Una de tales realizaciones ejemplares es permitir que el eNodoB (y no el UE) seleccione la dimensión  $k$  de conversión y señale la dimensión seleccionada de conversión al UE mediante señalización directa, en cuyo caso el UE determina  $k$  descodificando el mensaje enviado desde el eNodoB. En esta configuración, el UE estará obligado a informar un precodificador de conversión que satisfaga la dimensión de conversión configurada. Tal configuración tiene la ventaja de que un eNodoB podría tener en cuenta factores en la selección que no están disponibles en el UE, como la presencia de UE coprogramados en el caso de múltiples salidas múltiples entradas de múltiples usuarios de enlace descendente (MU-MIMO). Por lo tanto, tal solución puede ser beneficiosa, incluso aunque las mediciones de canal sean típicamente más precisas en el UE.
- En una realización ejemplar adicional, el eNodoB hace adicionalmente la recomendación de matriz de precodificador de conversión y señala esa selección al UE mediante señalización directa. En tales casos, el UE determina  $k$  y la selección de precodificador de conversión en base a la decodificación de esa señalización. En tal configuración, el UE está restringido a la selección de matriz de precodificador de conversión hecha por el eNodoB al determinar su recomendación de precodificador de sintonización.
- Adicionalmente como para MU-MIMO, cuando se programan múltiples UE en el mismo recurso de frecuencia de tiempo, es esencial que el eNodoB sea capaz de separar espacialmente las corrientes para las transmisiones simultáneas. Para tales aplicaciones, la configuración de la dimensión de conversión  $k$  debería ser menos restrictiva, de modo que no sólo se caractericen unos pocos modos propios dominantes del canal, sino también los modos propios moderadamente fuertes en los que el UE sigue siendo sensible a la interferencia. Este enfoque puede conseguirse permitiendo que eNodoB seleccione la dimensión  $k$  de conversión como en línea con las realizaciones anteriores o, si el UE selecciona la dimensión de conversión, siguiendo la realización de ejemplo: el eNodoB puede configurar el carácter restrictivo del criterio que aplica el UE para seleccionar la dimensión  $k$  de conversión. Para ser efectivo, se debe establecer una configuración similar para la selección del rango  $r$ .
- Como consideración adicional en este documento, adviértase que la dimensión  $k$  de conversión determina cuántas dimensiones de canal ( $N_T - k$ ) están estrictamente truncadas (no cuantificadas) con respecto a la retroalimentación factorizada de precodificador. Las columnas de la matriz recomendada de precodificador de conversión determinan las dimensiones reales de canal que se van a cuantificar. Sin embargo, podría ser útil tener una transición más suave entre las dimensiones cuantificadas y las dimensiones truncadas. Tal transición suave se consigue en una o más realizaciones de este documento al permitir que las entradas del libro de códigos para las posibles matrices de precodificador de sintonización sean tales que las filas de matriz de precodificador de sintonización se cuantifiquen con una resolución diferente. Como ejemplo para cualquier matriz dada de entre las posibles matrices de precodificador de sintonización en el uno o más libros de códigos, la primera fila de la matriz tiene la resolución más alta, y la resolución disminuye al aumentar el índice de fila (la última fila tiene la resolución más gruesa de cuantificación).
- Con tal diseño de libro de códigos de precodificador de sintonización, ordenar las columnas de la matriz de precodificador de conversión se vuelve relevante, porque cada columna está asociada con una fila correspondiente de la matriz de precodificador de sintonización. Por consiguiente, si se implementa una resolución de cuantificación decreciente de las filas de precodificación de sintonización, se gastarán más bits de retroalimentación de precodificador de sintonización en la selección de las rotaciones de la primera columna de la matriz de precodificador de conversión que en la última columna de la matriz de precodificador de conversión. De este modo, las columnas de la matriz de precodificador de conversión deben ordenarse tal que la primera columna represente la dimensión más importante de canal y la última columna las dimensiones ("direcciones") menos importantes (de las  $k$  más importantes) de canal. En términos generales, entonces, una o más realizaciones enseñadas en este documento utilizan entradas de libro de códigos que cuantifican las filas de las posibles matrices de precodificador de sintonización con diferentes resoluciones.
- Con las variaciones anteriores en mente, las enseñanzas descritas en el presente documento proporcionan una solución para operar con multiplexación espacial de bucle cerrado así como con MU-MIMO, y lo hacen utilizando una sobrecarga de retroalimentación manejable. El aumento de la eficiencia y simplicidad que ofrece el uso de la retroalimentación factorizada de precodificador (y el procesamiento asociado) proporciona ventajas particulares para configuraciones de antenas más grandes.
- Como ejemplos no limitativos adicionales de diversas ventajas, las enseñanzas descritas proporcionan: sobrecarga reducida de retroalimentación para una realización dada de enlace descendente; realización mejorada de enlace

descendente para una sobrecarga dada de retroalimentación; disminución de complejidad computacional al reducir la dimensionalidad de las evaluaciones utilizadas para el informe dinámico de precodificador proporcionado por la retroalimentación factorizada 20 de precodificador; buena adecuación para transmisiones de MU-MIMO, ya que las recomendaciones de precodificador de conversión se informan con alta resolución en el paso de cuantificación.

- 5 Adicionalmente, aunque la terminología de 3GPP LTE se ha usado en diversas secciones de este documento para proporcionar una configuración significativa y ejemplos operativos, tal uso de ejemplos de LTE no debe verse como limitante del alcance de las enseñanzas presentes en este documento. Se contempla que estas enseñanzas se extiendan a, por ejemplo, WCDMA, WiMax, UMB y GSM. Más en general, debe entenderse que los detalles
- 10 anteriores y las ilustraciones que acompañan proporcionan realizaciones ejemplares no limitativas de las enseñanzas descritas en el presente documento.

## REIVINDICACIONES

1. Un método (600) en un segundo dispositivo (14) de indicar una matriz de precodificador recomendada a un primer dispositivo (10), comprendiendo dicho método:

5           estimar las condiciones de canal con respecto a dicho primer dispositivo (10);

10           determinar la retroalimentación factorizada (20) de precodificador en base a, al menos en parte, las condiciones de dicho canal, en el que dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador indica al menos una matriz de entre una matriz recomendada de precodificador de conversión y una matriz recomendada de precodificador de sintonización, representando conjuntamente dichas matrices recomendadas de conversión y sintonización de precodificador una matriz de precodificador recomendada que es una multiplicación de matrices de las matrices recomendadas de conversión y sintonización de precodificador, y en el que dicha matriz recomendada de precodificador restringe un número de dimensiones de canal consideradas por dicha matriz recomendada de precodificador de sintonización, y dicha matriz recomendada de precodificador de sintonización hace coincidir dicha matriz recomendada de precodificador con un canal efectivo entre dichos dispositivos primero y segundo que se define en parte por dicha matriz recomendada de precodificador de conversión;

20           enviar dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador a dicho primer dispositivo (10) para indicar dicha matriz de precodificador recomendada a dicho primer dispositivo (10); y

25           caracterizado porque comprende adicionalmente mantener una tabla bidimensional (28) de matrices de precodificador, cada una para su selección como dicha matriz de precodificador recomendada, y en el que cada fila o columna de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una pluralidad matrices (24) de precodificador de conversión, y cada columna o fila de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una pluralidad de matrices (26) de precodificación de sintonización, y en el que dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador comprende al menos uno de entre un valor de índice de fila y un valor de índice de columna, para identificar una matriz en particular de entre dichas matrices de precodificador como dicha matriz de precodificador recomendada.

30           2. El método (600) de la reivindicación 1, en el que dicho envío de dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador comprende señalar dicho precodificador de conversión recomendado en una primera granularidad en el tiempo o la frecuencia, y señalar dicho precodificador de sintonización recomendado en una segunda granularidad en el tiempo o la frecuencia, en el que dicha primera granularidad es más gruesa que dicha segunda granularidad.

35           3. El método (600) de cualquiera de las reivindicaciones 1-2, que comprende adicionalmente mantener en dicho segundo dispositivo (14) uno o más libros (22) de códigos, que comprenden una pluralidad de posibles matrices (24) de precodificación de conversión, teniendo cada una dimensiones  $N_T \times k$  de fila-columna, en el que el número de filas  $N_T$  es igual a un número de puertos (56) de antena de transmisión en el primer dispositivo (10), y el número de columnas  $k$  es igual a una dimensión de conversión que es menor que el valor de  $N_T$  para restringir por ello el número de dimensiones del canal consideradas por dicha matriz recomendada de precodificador de sintonización.

45           4. El método (600) de la reivindicación 3, en el que al menos una matriz de entre dichas posibles matrices (24) de precodificador de conversión comprende una matriz diagonal de bloques.

50           5. El método (600) de la reivindicación 4, en el que dicho uno o más libros (22) de códigos comprende adicionalmente una pluralidad de matrices (26) de precodificación de sintonización, y en el que al menos una de dichas matrices (26) de precodificación de sintonización tiene filas de matrices que cambian una fase de los bloques en dicha matriz diagonal de bloques.

55           6. El método (600) de la reivindicación 5, en el que dicha dimensión  $k$  de conversión está configurada por dicho primer dispositivo (10) o dicho segundo dispositivo (14), y, en el caso de que dicha dimensión  $k$  de conversión esté configurada por dicho primer dispositivo (10), dicho método (600) incluye adicionalmente recibir una indicación de dicha dimensión  $k$  de conversión procedente de dicho primer dispositivo (10).

60           7. El método (600) de la reivindicación 6, en el que dicha matriz recomendada de precodificador de conversión se selecciona mediante dicho primer dispositivo (10), y en el que dicho método (600) incluye adicionalmente recibir una indicación de dicha matriz recomendada de precodificador de conversión procedente de dicho primer dispositivo (10).

8. Un segundo dispositivo (14) configurado para indicar una matriz de precodificador recomendada para un primer dispositivo (10), comprendiendo dicho segundo dispositivo (14):

65           un receptor (40) configurado para:

estimar las condiciones de canal con respecto a dicho primer dispositivo (10); y

5 determinar la retroalimentación factorizada (20) de precodificador en base a, al menos en parte, dichas condiciones de canal, en el que dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador indica al menos una matriz de entre una matriz recomendada de precodificador de conversión y una matriz recomendada de precodificador de sintonización, representando dichas matrices recomendadas de precodificador de conversión y de sintonización conjuntamente una matriz de precodificador recomendada que es una multiplicación de matrices de las matrices recomendadas de conversión y sintonización de precodificador, y en el que dicha matriz recomendada de precodificador de conversión restringe un número de dimensiones de canal consideradas por dicha matriz recomendada de precodificador de sintonización, y dicha matriz recomendada de precodificador de sintonización hace coincidir dicha matriz recomendada de precodificador con un canal efectivo entre dichos dispositivos primero y segundo (10, 14) que está definido en parte por dicha matriz recomendada de precodificador de conversión; y

15 un transmisor (42) configurado para enviar dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador a dicho primer dispositivo (10) para indicar dicha matriz de precodificador recomendada a dicho primer dispositivo (10); y,

20 caracterizado porque dicho segundo dispositivo (14) está configurado para mantener una tabla bidimensional (28) de matrices de precodificador, cada una para su selección como dicha matriz de precodificador recomendada, y en el que cada fila o columna de dicha tabla (28) corresponde a una matriz en particular de entre una pluralidad de matrices (24) de precodificación de conversión, y cada columna o fila de dicha tabla (28) corresponde a una matriz en particular de entre una pluralidad de matrices de precodificación de sintonización (26), y en el que dicha retroalimentación factorizada (20) de precodificador comprende un valor de índice de tabla que identifica una matriz particular de entre dichas matrices de precodificador como dicha matriz de precodificador recomendada.

25

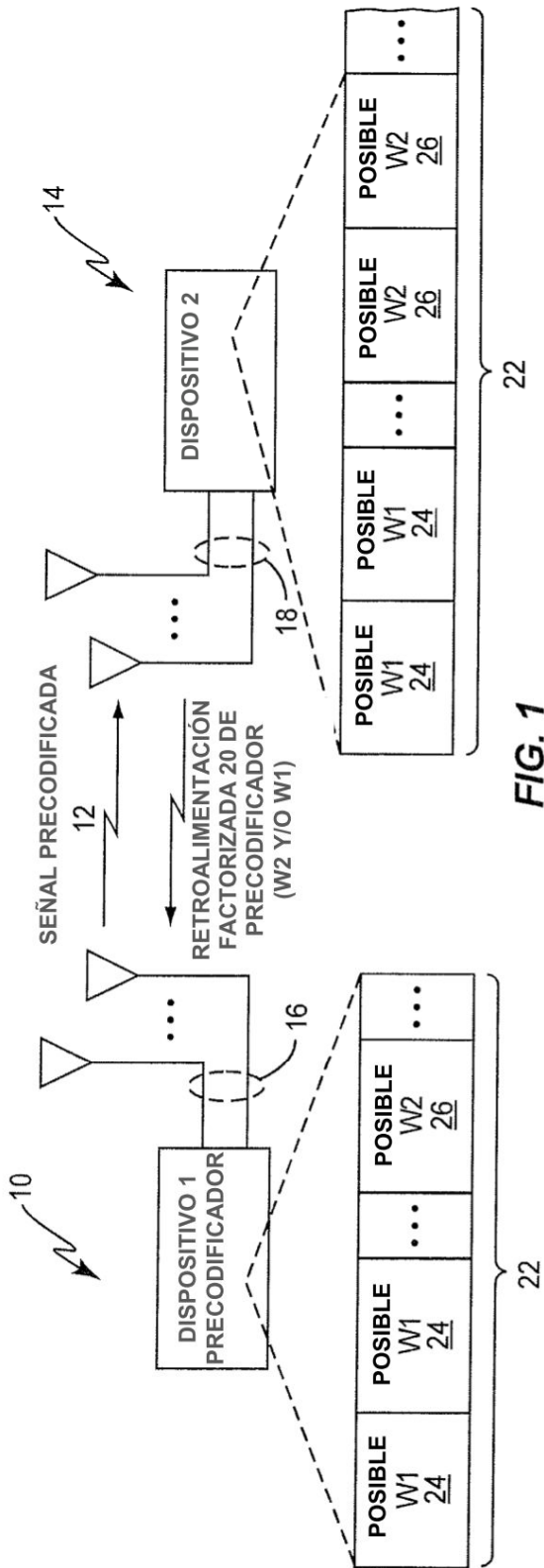


FIG. 1

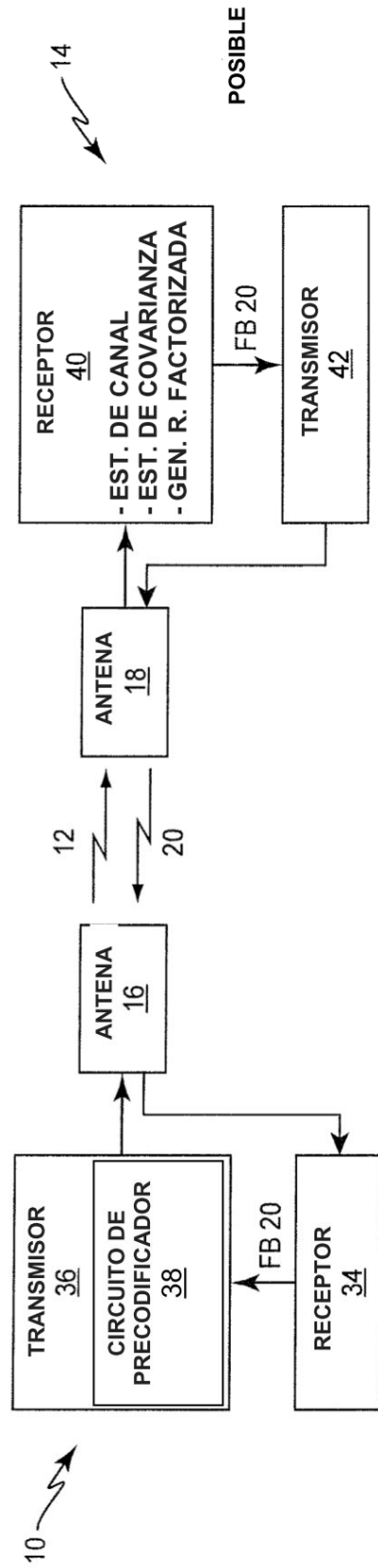
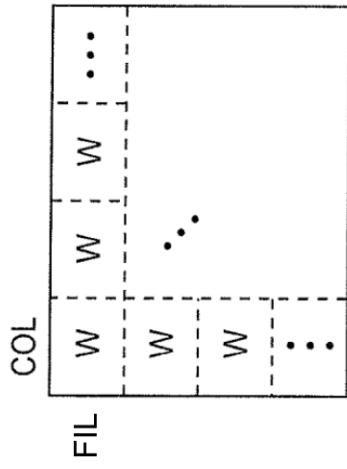


FIG. 2



28 ↗

FIG. 3A

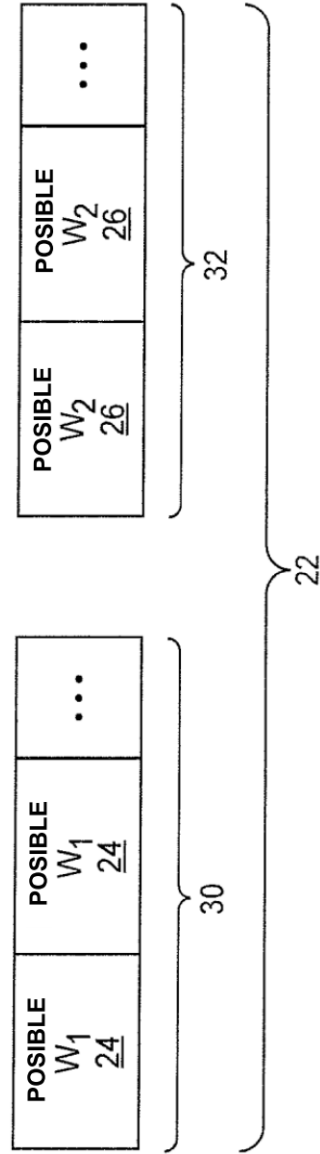


FIG. 3B



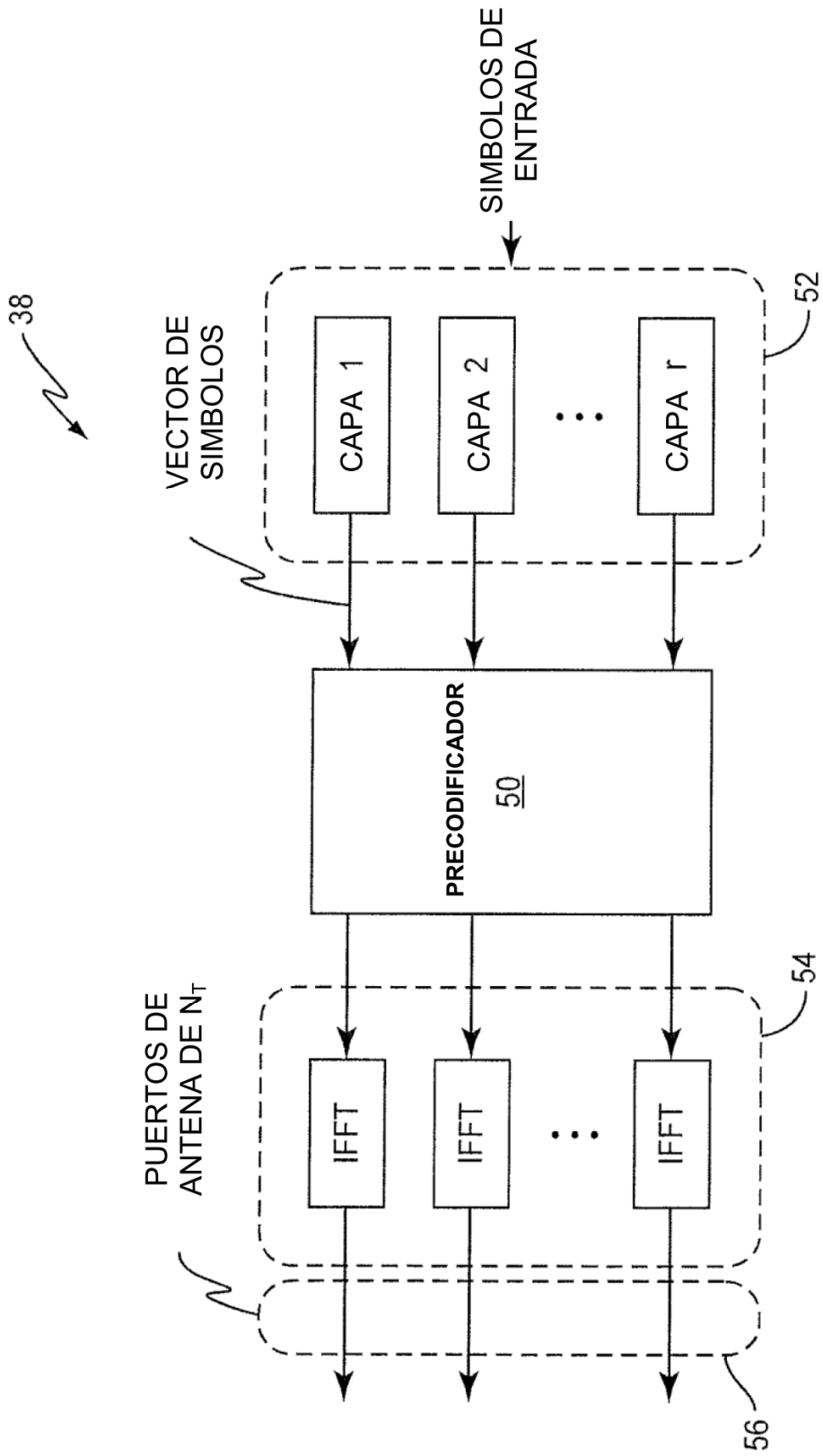


FIG. 4

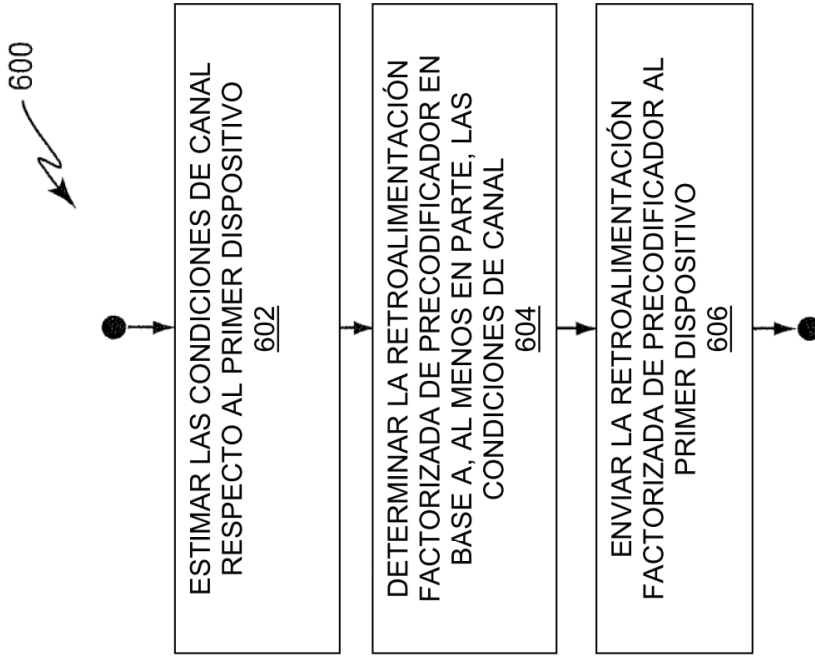


FIG. 6

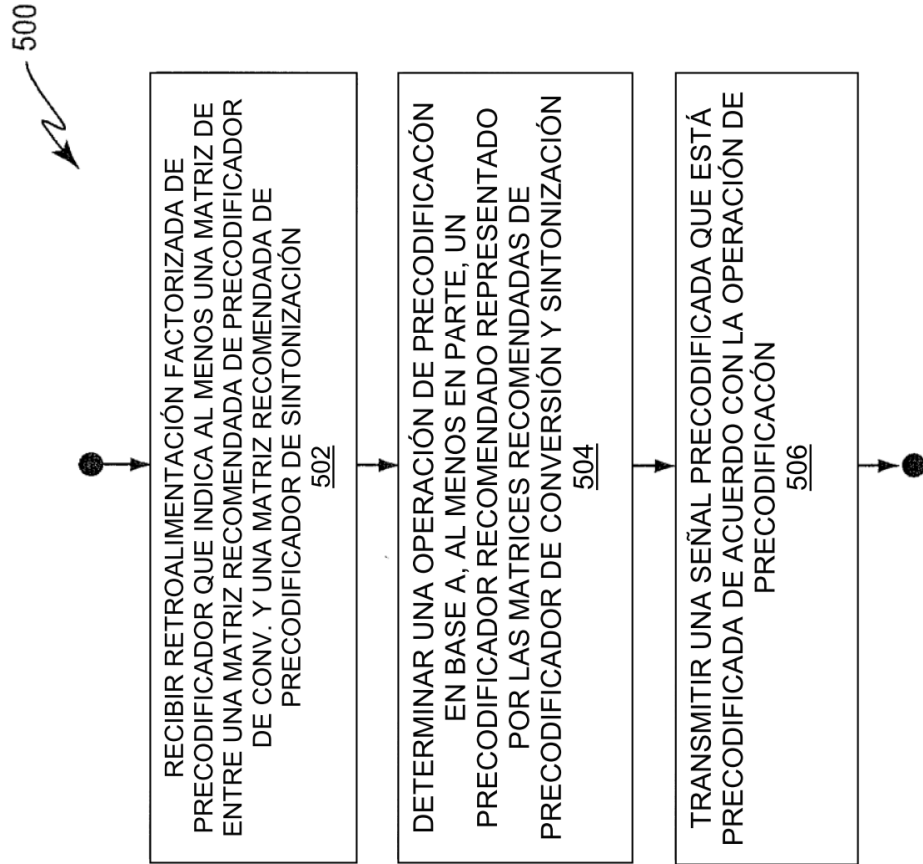


FIG. 5