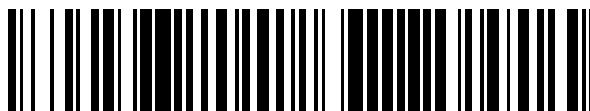


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 767**

51 Int. Cl.:

H04B 7/06 (2006.01)

H04B 7/04 (2006.01)

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 10795083 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015** **EP 2504934**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la utilización de precodificación factorizada**

30 Prioridad:

25.11.2009 US 264495 P

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

25.02.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

JÖNGREN, GEORGE y
HAMMARWALL, DAVID

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 529 767 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

Procedimiento y aparato para la utilización de precodificación factorizada

Solicitudes relacionadas

- 5 Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional U.S.A. presentada el 25 de noviembre de 2009 y asignada con el número de solicitud 61/264.495.

Sector técnico

La presente invención se refiere en general a la precodificación de señales de transmisión y en particular a la utilización de precodificación factorizada.

Antecedentes

- 10 Las técnicas multi-antena pueden aumentar significativamente las velocidades de transferencia de datos y la fiabilidad de un sistema de comunicación inalámbrico. El rendimiento se mejora, en particular, si tanto el transmisor como el receptor están equipados con múltiples antenas, lo que tiene como resultado un canal de comunicación de múltiple entrada múltiple salida (MIMO, multiple-input multiple-output). Dichos sistemas y/o las técnicas relacionadas se denominan normalmente MIMO.
- 15 El estándar LTE está evolucionando actualmente con soporte MIMO mejorado. Un componente esencial de LTE es el soporte de despliegues de antenas MIMO y técnicas relacionadas con MIMO. Una hipótesis de trabajo actual en LTE avanzado es el soporte de un modo de multiplexación espacial de 8 capas, posiblemente con precodificación dependiente del canal. El modo de multiplexación espacial está previsto para altas velocidades de transferencia de datos en condiciones de canal favorables. De acuerdo con dicha multiplexación, un vector s de símbolos que lleva información se multiplica por una matriz de precodificador $N_T \times r$, $W_{N_T \times r}$, que sirve para distribuir la energía de transmisión en un subespacio del espacio vectorial N_T dimensional (correspondiente a N_T puertos de antena).

- 20 La matriz de precodificador se selecciona normalmente desde un libro de código de posibles matrices de precodificador, y se indica habitualmente por medio de un indicador de matriz de precodificador (PMI, precoder matrix indicator), que especifica una matriz de precodificador única en el libro de código. Si la matriz de precodificador está confinada a tener columnas ortonormales, entonces el diseño del libro de código de matrices de precodificador corresponde a un problema de empaquetamiento en el subespacio de Grassmannian. Los r símbolos en s corresponden cada uno a una capa, y r se denomina el rango de transmisión. De este modo, se consigue multiplexación espacial dado que se pueden transmitir simultáneamente múltiples símbolos sobre el mismo elemento de recursos (RE, resource element). El número de símbolos r se adapta habitualmente para adecuarse a las propiedades actuales del canal.

30 LTE utiliza OFDM en el enlace descendente (y OFDM precodificado con DFT en el enlace ascendente) y por lo tanto el vector $N_R \times 1$, y_n , para un cierto elemento de recurso en la subportadora n (o, alternativamente, el número n de RE de datos), asumiendo que no hay interferencia entre celdas, está por lo tanto modelado por

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

- 35 donde e_n es un vector ruido obtenido como resultado de un proceso aleatorio. El precodificador, $W_{N_T \times r}$, puede ser un precodificador de banda ancha, que es constante en frecuencias, o selectivo en frecuencias.

- La matriz de precodificador se elige a menudo para adaptarse a las características del canal MIMO $N_R \times N_T$, H , lo que tiene como resultado una denominada precodificación dependiente del canal. Esto se denomina asimismo normalmente una precodificación de bucle cerrado y esencialmente persigue focalizar 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 se puede seleccionar asimismo persiguiendo la ortogonalización del canal, lo que significa que después de una ecualización lineal adecuada en el UE se reduce la interferencia entre capas.

- 40 En la precodificación en bucle cerrado, el UE transmite, en base a mediciones de canal en el enlace directo (enlace descendente), recomendaciones al eNodeB (eNodeB) sobre la utilización de un precodificador adecuado. Se puede retroalimentar un solo precodificador que se supone cubre un gran ancho de banda (precodificación de banda ancha). Puede ser beneficioso asimismo adaptarse a las variaciones de frecuencia del canal y retroalimentar, por el contrario, un informe de precodificación selectivo en frecuencias, por ejemplo, varios precodificadores, uno por cada sub-banda. Este es un ejemplo del caso más general de retroalimentación de la información del estado del canal (CSI, channel state information), que abarca asimismo retroalimentar a otras entidades diferentes a los precodificadores para asistir al eNodeB en las posteriores transmisiones al UE. Dicha otra información puede incluir indicadores de calidad del canal (CQIs, channel quality indicators) así como un indicador del rango (RI, rank indicator) de transmisión.

Un problema con la precodificación de bucle cerrado es la sobrecarga de retroalimentación provocada señalizando un indicador de matriz de precodificador (PMI) y un indicador de rango de precodificador (es decir, un RI) - especialmente en sistemas con grandes configuraciones de antenas en las que existen muchas dimensiones de canal a caracterizar. Con el diseño de retroalimentación del estado de la técnica, la sobrecarga de retroalimentación para sistemas con muchas antenas de transmisión tendrá como resultado, en muchos casos, una sobrecarga no razonable de la retroalimentación. La complejidad puede ser asimismo un problema si se utilizan esquemas de retroalimentación convencionales cuando aumenta el tamaño del conjunto de antenas. A este respecto, buscar el "mejor" precodificador entre matrices de precodificador candidatas en un libro de código grande es computacionalmente exigente, dado que implica esencialmente una búsqueda exhaustiva sobre un gran número de entradas del libro de código.

El documento WO 2007/092539 da a conocer la utilización de libros de código de casquete polar, que representan desviaciones en el canal con respecto a palabras de código de un libro de código de gama completa.

Compendio

Los problemas anteriores se resuelven mediante los procedimientos y aparatos de las reivindicaciones independientes.

De acuerdo con uno o varios aspectos, las explicaciones de la presente memoria mejoran la retroalimentación de la información del estado del canal (CSI) del equipo de usuario (UE), permitiendo que la parte de precodificador de un informe de retroalimentación de CSI comprenda retroalimentación de precodificador factorizada. En una o varias de dichas realizaciones, la retroalimentación de precodificador factorizada corresponde por lo menos a dos matrices de precodificador, que incluyen una matriz de precodificador de "conversión" recomendada y una matriz de precodificador de "ajuste" recomendada. La matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz de precodificador de ajuste recomendada y, a su vez, la matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta la matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz que está definido en parte mediante dicha matriz de precodificador de conversión recomendada.

Además, la matriz de precodificador de conversión recomendada tiene dimensiones de fila-columna de $N_T \times k$, donde el número de filas N_T es igual al número de puertos de antena de transmisión en el primer dispositivo y el número de columnas k es igual a la dimensión de conversión, que es menor que el valor de N_T , para limitar de ese modo el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz de precodificador de ajuste recomendada. El precodificador de conversión se notifica habitualmente, pero no necesariamente, con una granularidad más basta en tiempo y/o frecuencia que el precodificador de ajuste, para ahorrar sobrecarga de señalización y/o complejidad.

Un aspecto en particular es que la dimensión de conversión k no es necesariamente igual al número de puertos de antena N_T y está configurada mediante el primer dispositivo que, por ejemplo, puede ser un eNodeB LTE, o está configurada por el segundo dispositivo que, por ejemplo, puede ser un terminal móvil LTE u otro tipo de UE. Para un N_T dado, el rango de transmisión r y la dimensión de conversión k están relacionados como $N_T \geq k \geq r$, por lo tanto están disponibles varios posibles valores de k y r . Un aspecto particular es que existe por lo menos una combinación de N_T y r para la que k puede adoptar, por lo menos, dos valores diferentes. Específicamente, k puede ser estrictamente menor que N_T , ofreciendo la posibilidad de reducción de dimensiones. Otro aspecto es que existe, por lo menos, una combinación de N_T y k para la que r puede adoptar, por lo menos, dos valores diferentes.

Las recomendaciones de matrices de precodificador de conversión y de ajuste, incluyendo la selección de la dimensión de conversión k y del rango de transmisión r , se realizan habitualmente mediante el segundo dispositivo, de manera que el segundo dispositivo utiliza la retroalimentación de precodificador factorizada para proporcionar al primer dispositivo una matriz de precodificador recomendada. Consecuentemente, el primer dispositivo recibe la matriz de precodificador recomendada por medio de dicha retroalimentación, pero no necesariamente sigue dicha recomendación sino que puede obtener información del estado del canal a partir de la retroalimentación que se utiliza para determinar la operación de precodificación aplicada. Una alternativa contemplada en la presente memoria es que algunas partes, o la totalidad, de estos parámetros son configurados por el primer dispositivo. Estas determinaciones se señalizan desde el primer dispositivo al segundo dispositivo, el cual utiliza dicha información para determinar los parámetros restantes que representan una recomendación de precodificación.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de realizaciones a modo de ejemplo 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 adicionales del ejemplo para los dispositivos introducidos en la figura 1.

Las figuras 3A y 3B muestran libros de código de ejemplo para mantener información de precodificador de conversión y ajuste, de acuerdo con las explicaciones presentadas en la presente memoria.

La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de un circuito precodificador configurado para precodificar transmisiones de acuerdo con las explicaciones de la presente memoria.

La figura 5 es un diagrama de flujo lógico de una realización de un procedimiento de generación y envío de retroalimentación de precodificador factorizada a 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 procedimiento de recepción y evaluación en un primer dispositivo, de retroalimentación de precodificador factorizada, donde dicha retroalimentación de precodificador factorizada proporciona recomendaciones de precodificación desde un segundo dispositivo.

Descripción detallada

La figura 1 muestra un primer dispositivo 10 ("Dispositivo 1") que transmite una señal precodificada 12 a un segundo dispositivo 14 ("Dispositivo 2") utilizando una serie de antenas de transmisión 16. 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 de precodificador factorizada 20. La retroalimentación de precodificador factorizada 20 comprende recomendaciones de precodificador para el primer dispositivo 10. El primer dispositivo 10 considera, pero no necesariamente sigue, las recomendaciones de precodificación incluidas en la retroalimentación de precodificador factorizada 20 cuando determina la operación de precodificación que utiliza para generar la señal precodificada 12. Sin embargo, en un aspecto ventajoso de las explicaciones presentadas en esta memoria, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 ofrece una eficiencia mejorada significativamente en términos del procesamiento necesario para determinar la retroalimentación de precodificador factorizada 20 y/o en términos de la sobrecarga de señalización necesaria para enviar la retroalimentación de precodificador factorizada 20.

Por lo menos en una realización, el segundo dispositivo 14 recomienda una matriz de precodificador al primer dispositivo 10 indicando una matriz de precodificador de conversión recomendada al primer dispositivo 10 y/o indicando una matriz de precodificador de ajuste recomendada al primer dispositivo 10. Por lo menos en una de dichas realizaciones, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 comprende señalización que proporciona dichas indicaciones al primer dispositivo 10. Por ejemplo, por lo menos en una realización, el segundo dispositivo 14 "mantiene" (almacena) uno o varios libros de código 22 que incluyen cierto número de matrices de precodificador de conversión posibles 24 y cierto número de matrices de precodificador de ajuste posibles 26. El primer dispositivo 10 mantiene el mismo o los mismos libros de código 22 (o, equivalentemente, almacena información de libro de código que se obtiene, o depende de las entradas del libro de código mantenidas en el segundo dispositivo 14).

En una o varias de dichas realizaciones, el segundo dispositivo 14 envía valores de índice de matriz de precodificador (PMI), donde dichos valores identifican las entradas de libro de código que representan recomendaciones de matriz de precodificador a considerar por el primer dispositivo 10 en la determinación de la operación de precodificación a aplicar en la generación de la señal precodificada 12. Por ejemplo, representando la matriz de precodificador recomendada como W , la retroalimentación de precodificador factorizada 20 comprende, por lo menos, en una realización un valor de índice que identifica una en particular de las matrices de precodificador de conversión posibles 24 como una matriz de precodificador de conversión recomendada, indicada como W_1 , y comprende además un valor de índice que identifica una en particular de las matrices de precodificador de conversión posibles 26 como una matriz de precodificador de ajuste recomendada, indicada como W_2 . El dispositivo 10 está configurado correspondientemente para formar la matriz de precodificador recomendada W como el producto (multiplicación matricial) de la matriz de precodificador de conversión recomendada W_1 y la matriz de precodificador de ajuste recomendada W_2 . Es decir, $W = W_1 \times W_2$. El dispositivo 10 considera la matriz de precodificador recomendada W en la determinación de la operación de precodificación que aplica. Por ejemplo, formula una matriz de precodificador utilizada para generar la señal precodificada 12 en base, por lo menos en parte, al precodificador recomendado W .

Por lo tanto, al recibir la retroalimentación de precodificador factorizada 20, el primer dispositivo 10 es informado de las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas W_1 y W_2 , y considera la CSI indicada mediante dicha retroalimentación al determinar sus operaciones de precodificación. El primer dispositivo 10 evalúa W , por ejemplo, para determinar si conforma o no sus operaciones de precodificación a la matriz de precodificador recomendada W . Es decir, el primer dispositivo 10 recibe y comprende la retroalimentación de precodificador factorizada 20, pero la operación de precodificación aplicada realmente 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 cierto número de factores más allá de las recomendaciones recibidas desde el segundo dispositivo 10.

A modo de ejemplo no limitativo, la figura 2 muestra una realización del primer y el segundo dispositivos 10 y 14. De acuerdo con el ejemplo mostrado, el primer dispositivo 10 comprende un receptor 34 configurado para recibir la retroalimentación de precodificador factorizada 20 desde el segundo dispositivo 14. Tal como se ha descrito, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 indica por lo menos una entre una matriz de precodificador de conversión recomendada (W_1) y una matriz de precodificador de ajuste recomendada (W_2), que representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada (W) que es una multiplicación matricial de las matrices de

precodificador de conversión y de ajuste recomendadas. Tal como se detallará en mayor medida más adelante en la presente memoria, la matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz de precodificador de ajuste recomendada, y la matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta la matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz que está definido, en parte, por la matriz de precodificador de conversión recomendada.

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

Para determinar la operación de precodificación real a utilizar, el transmisor 36 está configurado, por ejemplo, para determinar si utiliza o no la matriz de precodificador recomendada como una matriz de precodificador utilizada realmente en el circuito precodificador 38 para generar la señal precodificada 12. Es decir, la operación de precodificación llevada a cabo por el primer dispositivo 10 puede o no seguir la operación de precodificación recomendada, dependiendo de cierto número de condiciones. Sin embargo, se comprenderá que el primer dispositivo 10 puede seguir las recomendaciones y, en este caso, está configurado para comprender y considerar la retroalimentación de precodificador factorizada 20, como base para identificar dichas recomendaciones.

Además, por lo menos en una realización, el primer dispositivo 10 está configurado para mantener los uno o varios libros de código 22 como una tabla bidimensional 28 de posibles matrices de precodificador. Ver la figura 3A para una tabla de ejemplo 28, donde se comprenderá que la tabla 28 es, por ejemplo, una estructura de datos almacenada en una memoria del dispositivo 10. La tabla 28 incluye cierto número de entradas numéricas representadas individualmente por "W" en la ilustración. Cada W es una posible matriz de precodificador formada como la multiplicación matricial de una combinación particular de matrices de precodificador de conversión y de ajuste posibles 24 y 26. Es decir, cada una, de parte o la totalidad de las W de la tabla 28 representa el producto de un emparejamiento diferente de una matriz de precodificador de conversión posible 24 y una matriz de precodificador de ajuste posible 26. Por lo tanto, cada fila (o columna) de la tabla 28 corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de conversión posibles 24, y cada columna (o fila) de la tabla 28 corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de ajuste posibles 26.

En dicha realización, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 comprende por lo menos un valor de índice de fila y un valor de índice de columna, para identificar una en particular de dichas posibles matrices de precodificador en la tabla 28, como la matriz de precodificador recomendada. Cada valor de índice de fila (o columna) se puede comprender como representando una recomendación de precodificador de conversión particular, y cada valor de índice de columna (o fila) se puede comprender como representando una recomendación de precodificador de ajuste particular.

Se debe observar que los valores de índice de fila y de columna se pueden retroalimentar con una granularidad diferente, y que con dichas realizaciones las matrices de precodificador de conversión posibles 24 y las matrices de precodificador de ajuste posibles 26 no están especificadas explícitamente en libros de código independientes; en lugar de esto, el producto de una matriz de precodificador de conversión posible 24 particular y una matriz de precodificador de ajuste posible 26 particular está almacenado en una celda de la tabla 28.

Se comprenderá que, en dichas realizaciones, el segundo dispositivo 14 puede estar configurado asimismo para mantener una tabla similar 28 en una memoria del segundo dispositivo 14. De este modo, a continuación, el segundo dispositivo 14 determina el valor o valores de índice de la tabla correspondientes a sus recomendaciones de precodificador y envía indicaciones de dichos valores de vuelta al primer dispositivo 10 por medio de la retroalimentación de precodificador factorizada 20. Es decir, el segundo dispositivo 14 envía de vuelta valores de índice de fila y/o valores de índice de columna, como la retroalimentación de precodificador factorizada 20. (En la medida en que el primer dispositivo 10 selecciona el precodificador de conversión, por ejemplo, el segundo dispositivo 14 no tiene necesariamente que enviar de vuelta valores de índice tanto de fila como de columna.)

En otra realización, tal como la propuesta en la figura 1, el primer dispositivo 10 está configurado para mantener uno o varios libros de código 22 de matrices de precodificador de conversión posibles 24 y de matrices de precodificador de ajuste posibles 26. Correspondientemente, el receptor 34 del primer dispositivo 10 está configurado para recibir la retroalimentación de precodificador factorizada 20 como, por lo menos, un valor de índice que indica por lo menos una de: una en particular de las matrices de precodificador de conversión posibles 24 como el precodificador de conversión recomendado, y una en particular de las matrices de precodificador de ajuste posibles 26 como la matriz de precodificador de ajuste recomendada.

La figura 3B muestra un ejemplo de dicha realización, donde el primer dispositivo 10 está configurado para mantener los uno o varios libros de código 22 manteniendo un primer libro de código 30 de las matrices de precodificador de conversión posibles 24 y un segundo libro de código 32 de las matrices de precodificador de ajuste posibles 26. En

dichas realizaciones, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 comprende, por lo menos, uno de un primer valor de índice para el primer libro de código 30 y un segundo valor de índice para el segundo libro de código 32. Se comprenderá que el segundo dispositivo 14 mantiene copias de uno o ambos de los libros de código 30 y 32.

Independientemente de la organización particular de los libros de código, por lo menos en una realización, el primer dispositivo 10 mantiene uno o varios libros de código 22 de matrices de precodificador de conversión posibles 24 y matrices de precodificador de ajuste posibles 26, donde cada matriz de precodificador de conversión posible 24 tiene una configuración particular. En particular, cada una de las matrices de precodificador de conversión posibles tiene dimensiones de fila-columna de $N_T \times k$, donde el número de filas N_T es igual al número de puertos de antena de transmisión en el primer dispositivo 10 y el número de columnas k es igual a la dimensión de conversión, que es menor o igual que el valor de N_T , para limitar de ese modo el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz de precodificador de ajuste recomendada. Se comprenderá que el segundo dispositivo 14 puede mantener uno o varios libros de código 22 estructurados análogamente.

Ver la figura 4 para un ejemplo de implementación del circuito precodificador 38, que incluye un precodificador 50 que precodifica señales para su transmisión mediante el primer dispositivo 10 de acuerdo con una operación de precodificación que, tal como se ha indicado, se determina, por lo menos en parte, en base a la evaluación del precodificador recomendado que se determina a partir de la retroalimentación de precodificador factorizada 20. En mayor detalle, el circuito precodificador 38 incluye circuitos 52 de procesamiento de capas que procesan símbolos de entrada en un vector de símbolos s para cada capa (multiplexación espacial) en uso (por ejemplo, "Capa 1", "Capa 2", y así sucesivamente).

Dichos vectores de símbolo son precodificados de acuerdo con la propia matriz de precodificación adoptada por el precodificador 50, y los vectores precodificados se pasan al circuito de procesamiento 54 de transformada rápida de Fourier inversa (IFFT, Inverse Fast Fourier Transform), y a continuación las salidas de dicho circuito se aplican a unos respectivos de los puertos 56 de antena N_T . Se comprenderá que el número de puertos de antena N_T que están disponibles para su utilización mediante el primer dispositivo 10 en la realización de transmisiones precodificadas define el número máximo de dimensiones de canal consideradas por las operaciones de precodificación del primer dispositivo 10. Tal como se explica en mayor detalle más adelante en la presente memoria, el tamaño y/o la complejidad de los uno o varios libros de código 22 (y de la retroalimentación de precodificación 20) se puede reducir ventajosamente limitando el número de dimensiones de canal consideradas a ser menor que N_T .

En la realización anterior, por lo menos una de las matrices de precodificador de conversión posibles 24 comprende una matriz diagonal por bloques. Además, por lo menos una de las matrices de precodificador de ajuste posibles 26 tiene filas de matriz que cambian una configuración de fase (phasing) de los bloques en la matriz diagonal por bloques. En este caso, se puede comprender que cada bloque en la matriz diagonal por bloques, en un sentido de formación de haces, genera un conjunto de haces que se emiten desde un respectivo subconjunto de puertos de antena N_T 56, y la "configuración de fase" en cuestión representa los desplazamientos de fase entre haces sobre ambos bloques de la matriz diagonal por bloques.

Además, por lo menos en una realización, la dimensión de conversión k está configurada mediante el primer dispositivo 10 o mediante el segundo dispositivo 14. Es decir, la dimensión de conversión k es un parámetro configurable. En el caso en que la dimensión de conversión k está configurada por el primer dispositivo 10, el primer dispositivo 10 está configurado para señalar una indicación de la dimensión de conversión k desde el primer dispositivo 10 hasta el segundo dispositivo 14. Correspondientemente, el segundo dispositivo 14, en tal caso, está configurado para recibir el valor señalado de la dimensión de conversión k , y para considerar dicho valor en la realización de sus recomendaciones de precodificación -es decir, limita su selección a una matriz de precodificador de conversión recomendada en vista del valor señalado de k .

Además, por lo menos en una realización, la matriz de precodificador de conversión recomendada es seleccionada por el primer dispositivo 10, en lugar de por el segundo dispositivo 14. En ese caso, el primer dispositivo 10 está configurado para señalar al segundo dispositivo 14 una indicación de la matriz de precodificador de conversión recomendada. Correspondientemente, el segundo dispositivo 14 está configurado para recibir una indicación de la matriz de precodificador de conversión recomendada desde el primer dispositivo 10, y para utilizar dicha indicación señalizada en su selección de una matriz de precodificador de ajuste recomendada -es decir, el segundo dispositivo 14 limita su consideración de matrices de precodificador de ajuste posibles 26 a las matrices que son adecuadas (en términos de dimensión) para su utilización con la matriz de precodificador de conversión recomendada.

Como una ventaja adicional de las explicaciones de la presente memoria, en una o varias realizaciones, los uno o varios libros de código 22 incluyen un conjunto de matrices de precodificador de conversión posibles 24, de tal modo que el número de vectores únicos que forman una columna particular del conjunto de matrices de precodificador de conversión posibles es mayor que el número de vectores únicos que forman otra columna del conjunto de matrices de precodificador de conversión posibles.

Además, por lo menos en una realización, el primer dispositivo 10 está configurado para recibir la retroalimentación de precodificador factorizada 20 desde el segundo dispositivo 14 como una primera señalización recibida por el primer dispositivo 10 a una primera granularidad en tiempo o frecuencia que indica la matriz de precodificador de

conversión recomendada, y como una segunda señalización recibida por el primer dispositivo 10 a una segunda granularidad en tiempo o frecuencia que indica la matriz de precodificador de ajuste recomendada. En particular, la primera granularidad es más basta que la segunda granularidad. Correspondientemente, el segundo dispositivo 14 está configurado para señalar la matriz de precodificador de conversión recomendada a la primera granularidad, y para señalar la matriz de precodificador de ajuste recomendada a la segunda granularidad.

De forma más general, y haciendo referencia a la figura 2, se comprenderá que el segundo dispositivo 14 está configurado para indicar una matriz de precodificador recomendada en el primer dispositivo 10. En apoyo de dicha configuración, la realización de ejemplo del segundo dispositivo 14 comprende un receptor 40 que está configurado para estimar condiciones de canal con respecto al primer dispositivo 10. A este respecto, el segundo dispositivo 14 recibe, por ejemplo, señales de referencia específicas por antena para los puertos de antena N_T 56. Estas señales permiten al receptor 40 realizar estimaciones de canal por antena, que permiten al segundo dispositivo 14 determinar, por ejemplo, el número de capas de multiplexación espacial que puede soportar y utilizar, por tanto, dicha determinación en la realización de recomendaciones de precodificador al primer dispositivo 10.

Correspondientemente, el receptor 40 está configurado además para determinar la retroalimentación de precodificador factorizada 20 en base, por lo menos en parte, a las condiciones de canal. Tal como se ha señalado anteriormente, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 indica por lo menos una entre una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada, donde las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada que es una multiplicación matricial de las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas.

Tal como antes, la matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de dimensiones de canal consideradas por la matriz de precodificador de ajuste recomendada y la matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta la matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz entre el primer y el segundo dispositivos 10 y 14, que está definido en parte por la matriz de precodificador de conversión recomendada. El segundo dispositivo 14 incluye además un transmisor 42 configurado para enviar la retroalimentación de precodificador factorizada 20 al primer dispositivo 10, a efectos de indicar al primer dispositivo 10 la matriz de precodificador recomendada.

Teniendo en cuenta los anteriores ejemplos del primer y del segundo dispositivos, la figura 5 muestra una realización del procedimiento implementado en el primer dispositivo 10 de acuerdo con las explicaciones de la presente memoria. El procedimiento mostrado 500 sirve para precodificar transmisiones desde el primer dispositivo 10 al segundo dispositivo 14. El procedimiento 500 incluye recibir retroalimentación de precodificador factorizada 20 desde el segundo dispositivo 14 (bloque 502), donde dicha retroalimentación indica, por lo menos, una entre una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada (con la estructura/naturaleza detallada anteriormente). El procedimiento 500 incluye además determinar una operación de precodificación (para precodificación, para el segundo dispositivo 14) en base, por lo menos en parte, a la evaluación de dicha matriz de precodificador recomendada (bloque 504). Además, el procedimiento incluye transmitir una señal precodificada 12 al segundo dispositivo 14, que está precodificada de acuerdo con la operación de precodificación determinada (bloque 506).

La figura 6 muestra un ejemplo correspondiente de un procedimiento 600 implementado en el segundo dispositivo 14, donde el procedimiento incluye estimar condiciones de canal con respecto al primer dispositivo 10 (bloque 602), y determinar retroalimentación de precodificador factorizada 20 en base, por lo menos en parte, a las condiciones de canal (bloque 604). Como antes, la retroalimentación de precodificador factorizada 20 indica, por lo menos, una de una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada. El procedimiento 600 incluye además enviar la retroalimentación de precodificador factorizada 20 al primer dispositivo 10 (bloque 606), para indicar al primer dispositivo 10 la matriz de precodificador recomendada.

Como un ejemplo adicional, en una o varias realizaciones explicadas en la presente memoria, por lo menos algunos aspectos de recomendaciones de precodificador están basados en determinar la raíz cuadrada de la covarianza de canal. Por lo tanto, este proceso está vinculado con la estimación de las condiciones del canal entre el primer y el segundo dispositivos 10 y 14. Por lo menos en una de dichas realizaciones, el primer dispositivo 10 es un eNodeB, por ejemplo, en una red de comunicación inalámbrica basada en LTE. Correspondientemente, el segundo dispositivo 14 es un terminal móvil u otro elemento de equipo de usuario (UE) configurado para su funcionamiento en redes de comunicación inalámbricas basadas en LTE.

El eNodeB determina una matriz de precodificador a utilizar para precodificar una transmisión al UE, donde dicha determinación se realiza en base, por lo menos en parte, a la consideración de recomendaciones de precodificador procedentes del UE, proporcionadas en forma de una retroalimentación de precodificador factorizada 20 tal como se ha explicado anteriormente. En particular, un procedimiento del UE que determina recomendaciones de precodificador por el eNodeB está basado en lo siguiente:

1. El UE estima la matriz de canal $N_R \times N_T$, H_n , para un conjunto de elementos de recurso (REs) de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), donde dichas estimaciones están basadas en señales de referencia específicas por antena, procedentes del eNodeB.

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

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

formando la estimación muestral, donde la suma es sobre un conjunto de REs. Dicho promedio tomado sobre un conjunto de REs en el tiempo explota el hecho de que las propiedades de correlación del canal pueden, a menudo, cambiar lentamente en el tiempo mientras que un promedio similar en frecuencias explota el hecho de que las propiedades de correlación pueden ser bastante constantes en frecuencia. Por lo tanto, una operación típica es que el promedio se realice sobre todo el ancho de banda del sistema (por ejemplo, el ancho de banda global de la portadora OFDM involucrada) e involucra múltiples subtramas en el tiempo. Se puede formar asimismo un promedio ponderado teniendo en cuenta que las propiedades de correlación eventualmente se quedan obsoletas, temporalmente o en frecuencias.

3. El UE toma a continuación una raíz cuadrada matricial de R_{tr} , por ejemplo, $\hat{R}_{tr}^{1/2} = V\Lambda^{1/2}$, donde V son los autovectores de la matriz de covarianza del canal de transmisión y la matriz diagonal $\Lambda^{1/2}$ contiene la raíz cuadrada de los correspondientes autovalores clasificados en orden descendente. (Se debe observar que existen otras clases de raíces cuadradas matriciales, y en la presente memoria se contempla que pueden ser utilizadas dichas otras formas.)

4. A continuación, el UE asume como hipótesis un cierto valor de la dimensión de conversión k (que limita implícitamente el rango de transmisión a k). Esto implica que se mantienen solamente las primeras k columnas de R_{tr} . Estas columnas son escaladas a alguna norma de Frobenius fija y a continuación cuantificadas por elementos.

5. A continuación, la matriz de precodificador de conversión recomendada (W_1) se fija para que el valor hipotético de k corresponda a la raíz cuadrada reducida por columnas, cuantificada y escalada, de la matriz de covarianza del canal de transmisión.

6. A continuación, el UE de asume como hipótesis un cierto valor del rango de transmisión r dado el k hipotético.

7. A continuación, el UE afronta un nuevo canal eficaz $H_n W_1$, para el que intenta seleccionar un precodificador de ajuste hipotético adaptado (adaptado sobre un conjunto de REs, por ejemplo, una sub-banda en LTE) para optimizar alguna métrica de rendimiento. Por ejemplo, la selección puede optimizar, por ejemplo, un caudal previsto, o puede estar dirigida a que el formato de transporte superior proporcione un BLER no mayor del 10 %. El precodificador de ajuste se puede seleccionar desde un libro de código $W_{tu} = \{\tilde{W}_{2,1}, \tilde{W}_{2,2}, \dots\}$. Es decir, la serie de precodificadores de ajuste posibles 26 mostrados por el libro de código 32 en la figura 3B puede comprender un conjunto finito de opciones de diferentes precodificadores de ajuste $W_{2,1}$, $W_{2,2}$ y así sucesivamente, para el valor hipotético de la dimensión de conversión k y del rango de transmisión r . Se pueden mantener diferentes conjuntos de entre estos, para valores diferentes de k y r . El libro o libros de código de precodificador de ajuste podrían corresponder, por ejemplo, al rango de transmisión relevante del libro de código de 2 ó 4 puertos de antena disponible en LTE versión 8.

8. El UE lleva a cabo a continuación una búsqueda sobre varias o la totalidad de las diferentes combinaciones posibles de k y r repitiendo las etapas 4 a 7 anteriores, y selecciona finalmente la mejor combinación global de matrices de precodificador de conversión y ajuste, incluyendo la elección de k y r . En este caso, la "mejor" combinación puede ser la combinación de un precodificador de conversión posible 24 y un precodificador de ajuste posible 26 a partir del libro o libros de código 22, que proporciona el máximo, o en todo caso el mejor, valor de la métrica de rendimiento escogida. Alternativamente, la mejor dimensión de conversión k ha sido seleccionada y notificada en un caso temporal anterior, pero sigue aplicando y se determina solamente el rango r , en base a la dimensión de conversión determinada anteriormente, repitiendo las etapas 4 a 7.

9. Prosiguiendo, el UE transforma los elementos cuantificados escalares del precodificador de conversión recomendado en una secuencia de bits que es codificada y enviada al eNodeB. Análogamente, se notifica asimismo un índice que apunta al libro de código del precodificador de ajuste. Este último índice podría corresponder directamente al PMI notificado en LTE. Se debe observar también que, en lugar de la cuantificación escalar, el precodificador de conversión recomendada se puede seleccionar asimismo a partir de un libro de código, por ejemplo, seleccionando el precodificador de conversión posible 24 que se adapta a la covarianza de transmisión, en el sentido de maximizar la relación señal/ruido (SNR) de recepción o medidas de la capacidad ergódica del canal. Además, incluso si la señalización de retroalimentación de precodificador factorizada se realiza utilizando cuantificación escalar, el UE puede seguir teniendo un libro de código de precodificador de conversión interna, como una manera de reforzar propiedades deseables sobre la matriz de precodificador de conversión que se selecciona como la matriz de precodificador de conversión recomendada, antes de redondear a la cuantificación escalar más próxima.

Además, tal como se ha señalado anteriormente, la propia notificación de retroalimentación se puede realizar de diversas maneras. Por ejemplo, en LTE, la notificación de retroalimentación se podría llevar a cabo sobre el canal de control de enlace ascendente PUCCH, para transportar periódicamente información del estado del canal (CSI) al eNodeB, donde la CSI puede incluir la retroalimentación de precodificador factorizada que es de interés en la presente memoria. La CSI se puede transportar asimismo solicitando explícitamente la notificación de CSI sobre el

PUSCH. En una o varias realizaciones, el UE notifica una sola matriz de precodificador de conversión recomendada sobre el PUSCH, junto con la notificación de múltiples matrices de precodificador de ajuste recomendada, cada uno de dichos precodificadores de ajuste estando dirigidos a una sub-banda particular del ancho de banda global del sistema. Se contempla asimismo cambiar el contenido de la notificación basada en PUSCH, de manera que en ocasiones se transmite la matriz de precodificador de conversión recomendada y para otras subtramas se transmite la matriz o matrices de precodificador de ajuste recomendadas.

En una o varias realizaciones, qué recomendaciones transmitir desde el UE al eNodeB se señaliza como parte de la concesión de enlace ascendente sobre el PDCCH. Por ejemplo, la concesión incluye un bit o alguna otra combinación de bits disponibles que el UE interpreta como un indicador de qué recomendaciones enviar. En apoyo de este procedimiento, se puede establecer una estricta relación temporal entre las diferentes recomendaciones de informes de precodificador procedentes del UE, de manera que esté claro tanto para el UE como para el eNodeB qué recursos de tiempo/frecuencia corresponden a una recomendación de matriz de precodificador particular del UE. Como una alternativa útil, el UE está configurado para transmitir sus recomendaciones de matriz de precodificador de conversión en un punto superior en la pila de protocolos, como un elemento de control de acceso al medio (MAC, Medium Access Control) o mediante señalización del protocolo de control de recursos de radio (RRC, Radio Resource Control).

Además, el eNodeB no está necesariamente al corriente de cómo el UE selecciona los precodificadores que recomienda. De hecho, un caso típico es que el UE no lo sabe, y solamente sabe que el UE prefiere de alguna manera los precodificadores que notifica. En particular, el eNodeB puede no estar al corriente de en base a qué recomienda el UE una matriz de precodificador de conversión particular. Una alternativa contemplada para una o varias realizaciones en la presente memoria, es especificar que la matriz de precodificador de conversión se debería seleccionar en base a la raíz cuadrada de la covarianza del canal de transmisión, o incluso que la matriz de covarianza de transmisión se retroalimente como un todo desde el UE al eNodeB. Sin embargo, dicho enfoque presenta ciertos retos en términos de ensayar y asegurar comportamientos similares de los UE a través de múltiples vendedores de UEs.

Estos retos surgen debido a que las propiedades del canal tales como la covarianza del canal de transmisión, vista sólo internamente en el UE, no son fáciles de observar desde fuera y, por lo tanto, no hay formas sencillas de asegurar que la covarianza notificada tiene los valores correctos, en particular debido a que partes de la entrada del receptor en el UE pueden afectar a la covarianza. Por contraste, un precodificador notificado explícitamente asume una transmisión hipotética y, como tal, la consecuencia, en términos de un formato de transporte que proporciona una BLER en torno al 10 % para la transmisión hipotética, se notifica por medio de un CQI. Esto es observable inspeccionando los ACK/NACKs del UE y estimando la BLER. Estos aspectos de notificación de retroalimentación no se limitan a ninguna realización particular descrita en la presente memoria, y son aplicables a los siguientes detalles adicionales.

Por lo menos en una realización, la dimensión de conversión k está adaptada para ajustarse a diferentes propiedades de correlación del canal. A este respecto, seleccionar la dimensión de conversión k sirve como una manera de confinar estrictamente la energía de transmisión a un subespacio reducido dimensionalmente del espacio vectorial N_T dimensional. En términos generales, esto focaliza la energía en ciertas "direcciones" preferidas y por lo tanto evita la necesidad de que el precodificador de ajuste afronte un subespacio mayor del necesario. Por ejemplo, el libro o libros de código 22 incluyen cierto número de matrices de precodificador de conversión posibles 24 que están limitadas (por la dimensión k) a un subespacio del espacio vectorial N_T dimensional, y por ello se simplifica el conjunto o conjuntos de matrices de precodificador de ajuste posibles 26.

De lo contrario, forzar a la matriz de precodificador de ajuste a considerar el espacio vectorial N_T dimensional completo requeriría un libro de código más grande y, por lo tanto, una mayor sobrecarga de señalización entre el UE y el eNodeB, y/o requeriría una mayor complejidad en la búsqueda de precodificador en el UE y/o en el eNodeB. Para comprender por qué es ventajoso adaptar el valor de la dimensión de conversión k , considérese un escenario con cuatro antenas de transmisión co-polarizadas y poco separadas (aproximadamente la mitad de una longitud de onda) en el eNodeB. Para el propósito de este ejemplo, el primer dispositivo 10 se puede entender como el eNodeB y sus antenas 16 comprenden, por lo tanto, las cuatro antenas co-polarizadas y poco separadas. Si la dispersión angular en el eNodeB es lo suficientemente pequeña, los canales correspondientes a las diferentes antenas de transmisión estarán muy correlacionados y por consiguiente la covarianza del canal de transmisión tendrá un autovalor muy fuerte, y los autovalores restantes serán débiles. Para dicho canal, es apropiada una formación del haz de una sola capa.

Lo anterior se puede implementar por medio de precodificación factorizada, como sigue:

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

proporcionando el precodificador eficaz

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

En este caso, la dimensión de conversión k es igual a 1 y el rango de transmisión r es asimismo igual a uno, mientras que $\mathbf{w}_{\text{BF}}$ es un formador del haz de una sola capa que focaliza toda la energía de retransmisión en la "dirección más fuerte" del canal, mejorando por lo tanto la SINR en el lado de recepción. En este caso, el UE notificaría información que describe o indica de otro modo la matriz de precodificador de conversión recomendada, mientras que la correspondiente matriz de precodificador de ajuste recomendada es constante y por lo tanto no es necesario gastar bits para notificarla.

El formador del haz podría adoptar la forma de un libro de códigos en base a columnas de matrices de transformada de Fourier discreta (DFT, Discrete Fourier Transform), formando una red de haces desde los que seleccionar. Alternativamente, el formador del haz puede estar basado en la matriz de covarianza de transmisión del canal. Sin embargo, cuando aumenta la dispersión angular, los autovalores de la matriz de covarianza de transmisión del canal se hacen más similares. Por consiguiente, el autovalor más fuerte ya no domina tanto como antes. Puede ser beneficioso por lo tanto asignar algo de potencia a más de una dirección. De este modo, tiene sentido hacer la dimensión de conversión k mayor que 1. Al mismo tiempo, el rango de transmisión r se puede mantener en 1, por ejemplo, debido a que la SNR no es lo suficientemente alta para garantizar transmisión multi-rango. En tal caso, $k > 1$ y $r = 1$. Para $k = 2$, la matriz de precodificador de ajuste recomendada se podría escoger a partir del precodificador de dos puertos de antena en LTE versión 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 tiene sentido también si el conjunto de antenas en el eNodeB consiste en varios polos cruzados poco separados. Entonces cada polarización forma un grupo de antenas co-polarizadas y poco separadas para las que la correlación de canal es elevada si la dispersión angular es lo suficientemente baja. La formación del haz en cada polarización es entonces razonable y está seguida por un precodificador de ajuste que intenta ajustar la fase relativa entre las dos polarizaciones. La matriz de precodificador recomendada $\mathbf{W}$ se puede adaptar para dicho funcionamiento determinando $\mathbf{W}$ como una matriz de precodificador eficaz $\mathbf{W}_{\text{eff}} = \mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$, donde la matriz de precodificador de conversión recomendada $\mathbf{W}_1$ y la matriz de precodificador de ajuste recomendada $\mathbf{W}_2$ podrían adoptar 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 valores diferentes de la dimensión de conversión k es beneficiosa. La propia selección de k se puede realizar de manera similar a la búsqueda realizada en la realización a modo de ejemplo, relativa a determinar cuál de las matrices de precodificador de conversión posibles 24 recomendar en base a raíces cuadradas de matriz.

La adaptación del rango de transmisión es un aspecto adicional en una o varias realizaciones explicadas en la presente memoria. Es decir, el rango de transmisión r se hace variar también. En la presente memoria se admite que es importante permitir que r varíe aunque la dimensión de conversión k y el número de puertos de antena de transmisión N_T permanezcan fijos. Considérese de nuevo el caso de un conjunto de antenas de transmisión con varios polos cruzados poco separados. Tal como se ha mostrado anteriormente, el precodificador de conversión $\mathbf{W}_1$ puede asumir la forma diagonal por bloques

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

La dimensión de conversión k es en este caso igual a dos, correspondiente a las dos polarizaciones ortogonales, implicando por lo tanto asimismo que el precodificador de ajuste apropiado tiene dos filas. Sin embargo, el precodificador de ajuste podría tener una o dos columnas, dependiendo del rango de transmisión r que se considera

soportable por el canal. Por ejemplo, si la SINR es baja, es probable que se prefiera transmisión de una sola capa. Mantener $k = 2$ es beneficioso debido a que permite al precodificador de ajuste regular las fases relativas entre las dos polarizaciones y, por lo tanto, conseguir una combinación coherente de señales de transmisión en el lado de recepción. Sin embargo, si la SINR es elevada, es probable que utilizar dos capas sea mejor que utilizar solamente una capa, y el precodificador de ajuste tendría por consiguiente dos columnas.

Por lo tanto, la matriz de precodificador de ajuste que se recomienda utilizar se podría seleccionar a partir un libro de código de matrices unitarias 2×2 que persigue la ortogonalización del canal eficaz 2×2 formado por el producto de la matriz de canal y el precodificador de conversión. Aplican argumentos similares a conjuntos de antena agrupados, donde los grupos de antenas tienen canales con una correlación elevada pero donde la correlación entre grupos es baja, requiriendo por lo tanto un precodificador de ajuste para ajustes de fase. Se comprenderá que uno o varios libros de código 22 pueden estar poblados con un conjunto mayor de matrices de precodificador de ajuste posibles 26, en las que uno o varios subconjuntos definidos de las mismas tienen las propiedades anteriores. (En general, subconjuntos dados de matrices de precodificador de ajuste posibles 26 en el libro o libros de código 22 corresponderán a valores dados de la dimensión de conversión k y del rango de transmisión r , de manera que se selecciona una matriz de precodificador de ajuste que es apropiada para la matriz de precodificador de conversión seleccionada.)

Otro aspecto en una o varias realizaciones explicadas en la presente memoria es la selección de precodificador asistida por eNodeB. Aunque las recomendaciones de precodificador se realizan habitualmente por el UE, debido a que el UE tiene generalmente mejores mediciones de canal de enlace descendente, el diseño de precodificador factorizado presentado en la presente memoria permite ventajosamente un diseño en el que el eNodeB ayuda a la selección del precodificador. Dicha ayuda está basada, por ejemplo, en mediciones de canal en el enlace inverso (el enlace ascendente), donde se puede aplicar reciprocidad para adquirir información del canal para el enlace descendente. La selección de precodificador asistida por eNodeB es particularmente adecuada para sistemas de dúplex por división de tiempo (TDD, time division duplex), donde la reciprocidad se puede utilizar con precisión, pero también los sistemas dúplex por división de frecuencia (FDD, frequency division duplex) se pueden beneficiar de dicha ayuda explotando parámetros a gran escala del canal, que son recíprocos asimismo sobre distancias dúplex mayores.

Una realización de ejemplo de este tipo consiste en permitir que el eNodeB (y no el UE) seleccione la dimensión de conversión k y señalice mediante señalización directa al UE la dimensión de conversión seleccionada, en cuyo caso el UE determina k descodificando el mensaje enviado desde el eNodeB. En esta configuración, el UE estará limitado a notificar un precodificador de conversión que satisfaga la dimensión de conversión configurada. Esta configuración tiene la ventaja de que un eNodeB tendría en cuenta para la selección factores que no están disponibles en el UE, tales como la presencia de UEs co-planificados en caso de múltiple entrada múltiple salida multiusuario (MU-MIMO) de enlace descendente. Por lo tanto, dicha solución puede ser beneficiosa aunque las mediciones de canal son habitualmente más precisas en el UE.

En otra realización de ejemplo, el eNodeB realiza adicionalmente la recomendación de matriz de precodificador de conversión y señala dicha selección al UE por medio de señalización directa. En dichos casos, el UE determina k y la selección del precodificador de conversión en base a la descodificación de dicha señalización. En dicha configuración, el UE está limitado a la selección de la matriz de precodificador de conversión realizada por el eNodeB cuando determina su recomendación de precodificador de ajuste.

Además en relación con MU-MIMO, cuando se planifican múltiples UEs sobre el mismo recurso de tiempo-frecuencia, es esencial que el eNodeB pueda separar espacialmente los flujos para las transmisiones simultáneas. Para dichas aplicaciones, la configuración de la dimensión de conversión k sería menos restrictiva, de manera que no sólo están caracterizados unos pocos modos normales dominantes del canal, sino asimismo los modos normales moderadamente fuertes en los que el UE sigue siendo sensible a interferencia. Este enfoque se puede conseguir permitiendo que el eNodeB seleccione la dimensión de conversión k en línea con las realizaciones anteriores o, si el UE selecciona la dimensión de conversión, siguiendo la siguiente realización de ejemplo: el eNodeB puede configurar el carácter restrictivo del criterio que aplica el UE para seleccionar la dimensión de conversión k . Para ser eficaces, se debería establecer una configuración similar para la selección del rango r .

Como una consideración adicional en la presente memoria, se debe observar que la dimensión de conversión k determina cuántas dimensiones de canal ($N_T - k$) están estrictamente truncadas (no cuantificadas) con respecto a la retroalimentación de precodificador factorizada 20. Las columnas de la matriz de precodificador de conversión recomendada determinan las propias dimensiones 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. Dicha transición suave se consigue en una o varias realizaciones de la presente memoria permitiendo que las entradas del libro de código para las matrices de precodificador de ajuste posibles 26 sean tales que las filas de la matriz de precodificador de ajuste estén cuantificadas con resolución diferente. Como ejemplo para cualquiera dada de las matrices de precodificador de ajuste posibles 26 en los uno o varios libros de código 22, la primera fila de la matriz tiene la máxima resolución, y la resolución disminuye aumentando el índice de fila (la última fila tiene la resolución de cuantificación más basta).

Con dicho diseño del libro de código de precodificador de ajuste, el orden de columnas de la matriz de precodificador de conversión se hace relevante, debido a que cada columna está asociada con una correspondiente fila de la matriz de precodificador de ajuste. De este modo, si se implementa la resolución de cuantificación decreciente de las filas de precodificación de ajuste, se gastarán más bits de retroalimentación de precodificador de ajuste 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. Por lo tanto, las columnas de la matriz de precodificador de conversión se deberían ordenar de tal modo que la primera columna represente la dimensión de canal más importante y la última columna las dimensiones de canal ("direcciones) menos importantes (de las k más importantes). En general, por lo tanto, una o varias realizaciones explicadas en la presente memoria utilizan entradas de libro de código que cuantifican las filas de las matrices de precodificador de ajuste posibles 26 con resoluciones diferentes.

Teniendo en cuenta las variaciones anteriores, las explicaciones dadas a conocer la presente memoria proporcionan una solución para funcionar con multiplexación espacial de bucle cerrado así como con MU-MIMO, y lo hacen utilizando una sobrecarga de retroalimentación manejable. La eficiencia y simplicidad mayores proporcionadas mediante la utilización de la retroalimentación de precodificador factorizada 20 (y el proceso asociado) proporcionan ventajas particulares para configuraciones de antena mayores.

Como ejemplos no limitativos adicionales de varias ventajas, las explicaciones dadas a conocer proporcionan: sobrecarga de retroalimentación reducida para un rendimiento de enlace descendente dado; rendimiento de enlace descendente mejorado para una sobrecarga de retroalimentación dada; complejidad computacional reducida para reducir la dimensionalidad de las evaluaciones utilizadas para el informe de precodificador dinámico proporcionado por la retroalimentación de precodificador factorizada 20; buena idoneidad para transmisiones MU-MIMO, dado que las recomendaciones de precodificador de conversión son notificadas con alta resolución en la etapa de cuantificación.

Adicionalmente, aunque en varias secciones de este documento se ha utilizado terminología de LTE 3GPP para proporcionar una configuración comprensible y ejemplos operacionales, dicha utilización de ejemplos LTE no se debe ver como limitativa del alcance de las explicaciones presentadas en la presente memoria. Se contempla que estas explicaciones se extiendan, por ejemplo, a WCDMA, WiMax, UMB y GSM. De manera más general, se debe entender que los detalles anteriores y las ilustraciones adjuntas proporcionan realizaciones de ejemplo no limitativas de las explicaciones dadas a conocer en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (500) de precodificación de transmisiones desde un primer dispositivo (10) a un segundo dispositivo (14), comprendiendo dicho procedimiento:

recibir (502) retroalimentación de precodificador factorizada (20) desde el segundo dispositivo (14), que indica por lo menos una de una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada que representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada, que es una multiplicación matricial de las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas, donde dicha matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de dimensiones de canal consideradas por dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada, y dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta dicha matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz que está definido en parte mediante dicha matriz de precodificador de conversión recomendada;

determinar (504) una operación de precodificación basada, por lo menos en parte, en la evaluación de dicha matriz de precodificador recomendada;

transmitir (506) una señal precodificada (12) al segundo dispositivo (14), que está precodificada de acuerdo con dicha operación de precodificación, y caracterizado por

mantener uno o varios libros de código (22) como una tabla bidimensional (28) de posibles matrices de precodificador, donde cada fila o columna de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y cada columna o fila de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y donde dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende por lo menos uno de un valor de índice de fila y un valor de índice de columna, para identificar una en particular de dichas matrices de precodificador posibles en dicha tabla (28) como dicha matriz de precodificador recomendada.

2. El procedimiento (500) según la reivindicación 1, en el que evaluar dicha matriz de precodificador recomendada comprende determinar si utilizar o no dicha matriz de precodificador recomendada en dicha operación de precodificación para generar la señal precodificada (12).

3. El procedimiento (500) según la reivindicación 1 ó 2, que comprende además mantener uno o varios libros de código (22) de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende por lo menos un valor de índice que indica por lo menos uno de: una en particular de dichas matrices de precodificador de conversión posibles (24) como dicho precodificador de conversión recomendado, y una en particular de dichas matrices de precodificador de ajuste posibles (26) como dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada.

4. El procedimiento (500) según la reivindicación 3, en el que dicho mantenimiento de uno o varios libros de código (22) comprende mantener un primer libro de código (30) de dichas matrices de precodificador de conversión posibles (24) y un segundo libro de código (32) de dichas matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende por lo menos uno de un primer valor de índice para el primer libro de código (30) y un segundo valor de índice para el segundo libro de código (32).

5. El procedimiento (500) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además mantener uno o varios libros de código (22) de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que cada matriz de precodificador de conversión posible (24) tiene dimensiones fila-columna de $N_T \times k$, donde el número de filas N_T es igual al número de puertos de antena de transmisión (56) en el primer dispositivo (10) y el número de columnas k es igual a la dimensión de conversión, que es menor que el valor de N_T , para limitar de ese modo el número de dimensiones de canal consideradas mediante dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada.

6. El procedimiento (500) según la reivindicación 5, en el que por lo menos una de dichas matrices de precodificador de conversión posibles (24) comprende una matriz diagonal por bloques.

7. El procedimiento (500) según la reivindicación 6, en el que por lo menos una de dichas matrices de precodificador de ajuste posibles (26) tiene filas de matriz que cambian la configuración de fase de los bloques en dicha matriz diagonal por bloques.

8. El procedimiento (500) según la reivindicación 7, en el que dicha dimensión de conversión k está configurada mediante dicho primer dispositivo (10) o dicho segundo dispositivo (14) y en el que, en el caso de que dicha dimensión de conversión k este configurada mediante dicho primer dispositivo (10), dicho procedimiento (500) comprende además señalar una indicación de dicha dimensión de conversión k desde dicho primer dispositivo (10) a dicho segundo dispositivo (14).

9. El procedimiento (500) según la reivindicación 8, en el que dicha matriz de precodificador de conversión recomendada está configurada mediante dicho primer dispositivo (10), y en el que dicho procedimiento (500)

comprende además señalar una indicación de dicha matriz de precodificador de conversión recomendada desde dicho primer dispositivo (10) a dicho segundo dispositivo (14).

5 10. El procedimiento (500) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 89, en el que dicha recepción de la retroalimentación de precodificador factorizada (20) desde el segundo dispositivo (14) comprende recibir señalización a una primera granularidad en tiempo o frecuencia que indica dicha matriz de precodificador de conversión recomendada, y recibir señalización a una segunda granularidad en tiempo o frecuencia que indica dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada, y en el que dicha primera granularidad es más basta que dicha segunda granularidad.

10 11. Un primer dispositivo (10) configurado para precodificar transmisiones a un segundo dispositivo (14), en el que dicho primer dispositivo (10) comprende:

15 un receptor (34) configurado para recibir retroalimentación de precodificador factorizada (20) desde el segundo dispositivo (14), que indica por lo menos una de una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada que representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada, que es una multiplicación matricial de las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas, donde dicha matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de dimensiones de canal consideradas por dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada, y dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta dicha matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz que está definido en parte mediante dicha matriz de precodificador de conversión recomendada; y

un transmisor (36) que incluye un circuito precodificador (38) y está configurado para:

20 determinar una operación de precodificación en base, por lo menos en parte, a la evaluación de dicha matriz de precodificador recomendada; y

transmitir una señal precodificada (12) al segundo dispositivo (14), que está precodificada de acuerdo con dicha operación de precodificación;

y caracterizado por

25 dicho primer dispositivo (10) estando configurado para mantener uno o varios libros de código (22) como una tabla bidimensional (28) de posibles matrices de precodificador, donde cada fila o columna de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y cada columna o fila de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y donde dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende por lo menos uno
30 de un valor de índice de fila y un valor de índice de columna, para identificar una en particular de dichas matrices de precodificador posibles como dicha matriz de precodificador recomendada.

12. El primer dispositivo (10) según la reivindicación 11, en el que dicho transmisor (36) está configurado para evaluar dicha matriz de precodificador recomendada determinando si utilizar o no dicha matriz de precodificador recomendada en dicha operación de precodificación utilizada para generar la señal precodificada (12).

35 13. El primer dispositivo (10) según la reivindicación 11 ó 12, en el que dicho primer dispositivo (10) está configurado para mantener uno o varios libros de código (22) de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que dicho receptor (34) está configurado para recibir dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) como por lo menos un valor de índice que indica por lo menos uno de: una particular de dichas matrices de precodificador de conversión posibles (24) como dicho precodificador
40 de conversión recomendado, y una particular de dichas matrices de precodificador de ajuste posibles (26) como dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada.

14. El primer dispositivo (10) según la reivindicación 13, en el que dicho primer dispositivo (10) está configurado para mantener dichos uno o varios libros de código (22) manteniendo un primer libro de código (30) de dichas matrices de precodificador de conversión posibles (24) y un segundo libro de código (32) de dichas matrices de precodificador de
45 ajuste posibles (26), y en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende por lo menos uno de un primer valor de índice para el primer libro de código (30) y un segundo valor de índice para el segundo libro de código (32).

15. El primer dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que dicho primer dispositivo (10) está configurado para mantener uno o varios libros de código (22) de matrices de precodificador de conversión
50 posibles (24) y matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que cada matriz de precodificador de conversión posible (24) tiene dimensiones fila-columna de $N_T \times k$, donde el número de filas N_T es igual al número de puertos de antena de transmisión (56) en el primer dispositivo (10) y el número de columnas k es igual a la dimensión de conversión, que es menor que el valor de N_T , para limitar de ese modo el número de dimensiones de canal consideradas mediante dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada.

55 16. El primer dispositivo (10) según la reivindicación 15, en el que dicha dimensión de conversión k está configurada por dicho primer dispositivo (10) o dicho segundo dispositivo (14) y en el que, en el caso de que dicha dimensión de

conversión k esté configurada por dicho primer dispositivo (10), dicho primer dispositivo (10) está configurado para señalar una indicación de dicha dimensión de conversión k desde dicho primer dispositivo (10) a dicho segundo dispositivo (14).

17. El primer dispositivo (10) según la reivindicación 16, en el que dicha matriz de precodificador de conversión recomendada está seleccionada por dicho primer dispositivo (10), y en el que dicho primer dispositivo (10) está configurado para señalar una indicación de dicha matriz de precodificador de conversión recomendada desde dicho primer dispositivo (10) a dicho segundo dispositivo (14).

18. El primer dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17, en el que dicho primer dispositivo (10) está configurado para recibir la retroalimentación de precodificador factorizada (20) desde el segundo dispositivo (14) como una primera señalización recibida por el primer dispositivo (10) a una primera granularidad en tiempo o frecuencia, que indica dicha matriz de precodificador de conversión recomendada, y una segunda señalización recibida por el primer dispositivo (10) a una segunda granularidad en tiempo o frecuencia, que indica dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada, y en el que dicha primera granularidad es más basta que dicha segunda granularidad.

19. Un procedimiento (600) en un segundo dispositivo (14) de indicación de una matriz de precodificador recomendada a un primer dispositivo (10), comprendiendo dicho procedimiento:

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

determinar retroalimentación de precodificador factorizada (20) en base, por lo menos en parte, a dichas condiciones de canal, en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) indica por lo menos una de una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada, dichas matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada que es una multiplicación matricial de las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas, y en el que dicha matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de dimensiones de canal consideradas por dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada, y dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta dicha matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz entre dichos primer y segundo dispositivos (10, 14) que está definido en parte mediante dicha matriz de precodificador de conversión recomendada;

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

comprende además mantener una tabla bidimensional (28) de matrices de precodificador posibles, siendo cada una posible 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 serie de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y cada columna o fila de dicha tabla (28) corresponde a una en particular de una serie de matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende por lo menos uno de un valor de índice de fila y un valor de índice de columna, para identificar una en particular de dichas matrices de precodificador posibles como dicha matriz de precodificador recomendada.

20. El procedimiento (600) según la reivindicación 19, en el que dicho envío de dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende señalar dicho precodificador de conversión recomendado a una primera granularidad en tiempo o frecuencia, y señalar dicho precodificador de ajuste recomendado a una segunda granularidad en tiempo o frecuencia, en el que dicha primera granularidad es más basta que dicha segunda granularidad.

21. El procedimiento (600) según cualquiera de las reivindicaciones 19 ó 20, que comprende además mantener en dicho segundo dispositivo (14) uno o varios libros de código (22) que comprenden una serie de matrices de precodificador de conversión posibles (24), teniendo cada una dimensiones fila-columna de $N_T \times k$, donde el número de filas N_T es igual al número de puertos de antena de transmisión (56) del primer dispositivo (10) y el número de columnas k es igual a la dimensión de conversión, que es menor que el valor de N_T , para limitar de ese modo el número de dimensiones de canal consideradas mediante dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada.

22. El procedimiento (600) según la reivindicación 21, en el que por lo menos una de dichas matrices de precodificador de conversión posibles (24) comprende una matriz diagonal por bloques.

23. El procedimiento (600) según la reivindicación 22, en el que dichos uno o varios libros de código (22) comprenden además una serie de matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que por lo menos una de dichas matrices de precodificador de ajuste posibles (26) tiene filas de matriz que cambian la configuración de fase de los bloques en dicha matriz diagonal por bloques.

24. El procedimiento (600) según la reivindicación 23, en el que dicha dimensión de conversión k es configurada por dicho primer dispositivo (10) o dicho segundo dispositivo (14) y en el que, en el caso de que dicha dimensión de conversión k sea configurada por dicho primer dispositivo (10), dicho procedimiento (600) incluye además recibir una indicación de dicha dimensión de conversión k desde dicho primer dispositivo (10).

25. El procedimiento (600) según la reivindicación 24, y en el que dicha matriz de precodificador de conversión recomendada es seleccionada por dicho primer dispositivo (10), en el que dicho procedimiento (600) incluye además recibir una indicación de dicha matriz de precodificador de conversión recomendada desde dicho primer dispositivo (10).

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

un receptor (40) configurado para:

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

- 10 determinar retroalimentación de precodificador factorizada (20) en base, por lo menos en parte, a dichas condiciones de canal, en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) indica por lo menos una de una matriz de precodificador de conversión recomendada y una matriz de precodificador de ajuste recomendada, dichas matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas representan conjuntamente una matriz de precodificador recomendada que es una multiplicación matricial de las matrices de precodificador de conversión y de ajuste recomendadas, y en el que dicha matriz de precodificador de conversión recomendada limita el número de
15 dimensiones de canal consideradas por dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada, y dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada adapta dicha matriz de precodificador recomendada a un canal eficaz entre dichos primer y segundo dispositivos (10, 14) que está definido en parte mediante dicha matriz de precodificador de conversión recomendada; y

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

y caracterizado por que

- dicho segundo dispositivo (14) está configurado para mantener una tabla bidimensional (28) de matrices de precodificador posibles, siendo cada una posible 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 serie de matrices de precodificador de conversión posibles (24) y cada columna o fila de dicha tabla (28) corresponde a una
25 en particular de una serie de matrices de precodificador de ajuste posibles (26), y en el que dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) comprende un valor de índice de tabla que identifica una en particular de dichas matrices de precodificador posibles como dicha matriz de precodificador recomendada.

- 30 27. El segundo dispositivo (14) según la reivindicación 26, en el que dicho segundo dispositivo (14) está configurado para enviar dicha retroalimentación de precodificador factorizada (20) señalizando dicho precodificador de conversión recomendado a una primera granularidad en tiempo o frecuencia y señalizando dicho precodificador de ajuste recomendado a una segunda granularidad en tiempo o frecuencia, en el que dicha primera granularidad es más basta que dicha segunda granularidad.

- 35 28. El segundo dispositivo (14) según la reivindicación 26 ó 27, en el que dicho segundo dispositivo (14) está configurado para mantener uno o varios libros de código (22) que comprenden una serie de matrices de precodificador de conversión posibles (24), que tienen cada uno dimensiones fila-columna de $N_T \times k$, donde el número de filas N_T es igual al número de puertos de antena de transmisión (56) en el primer dispositivo (10) y el número de columnas k es igual a la dimensión de conversión, que es menor que el valor de N_T , para limitar de ese modo el número de dimensiones de canal consideradas por dicha matriz de precodificador de ajuste recomendada.

- 40 29. El segundo dispositivo (14) según la reivindicación 28, en el que dicha dimensión de conversión k está configurada por dicho primer dispositivo (10) o dicho segundo dispositivo (14) y en el que, en el caso de que dicha dimensión de conversión k esté configurada por dicho primer dispositivo (10), dicho segundo dispositivo (14) está configurado para recibir una indicación de dicha dimensión de conversión k desde dicho primer dispositivo (10).

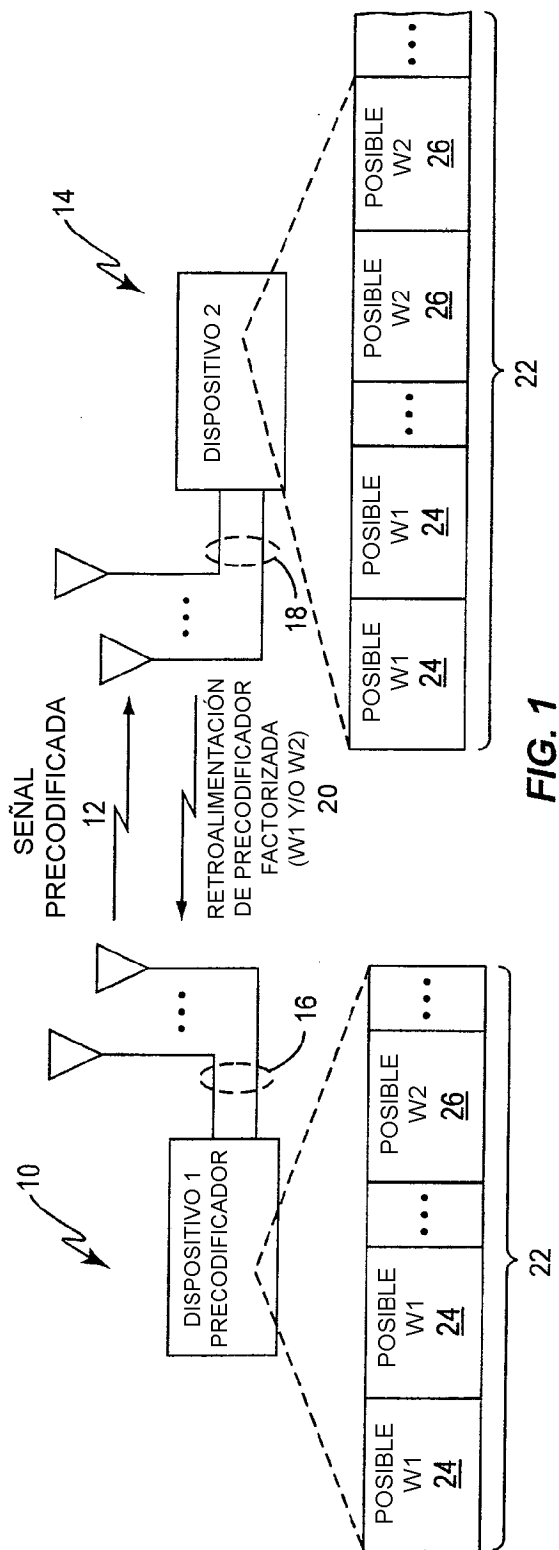


FIG. 1

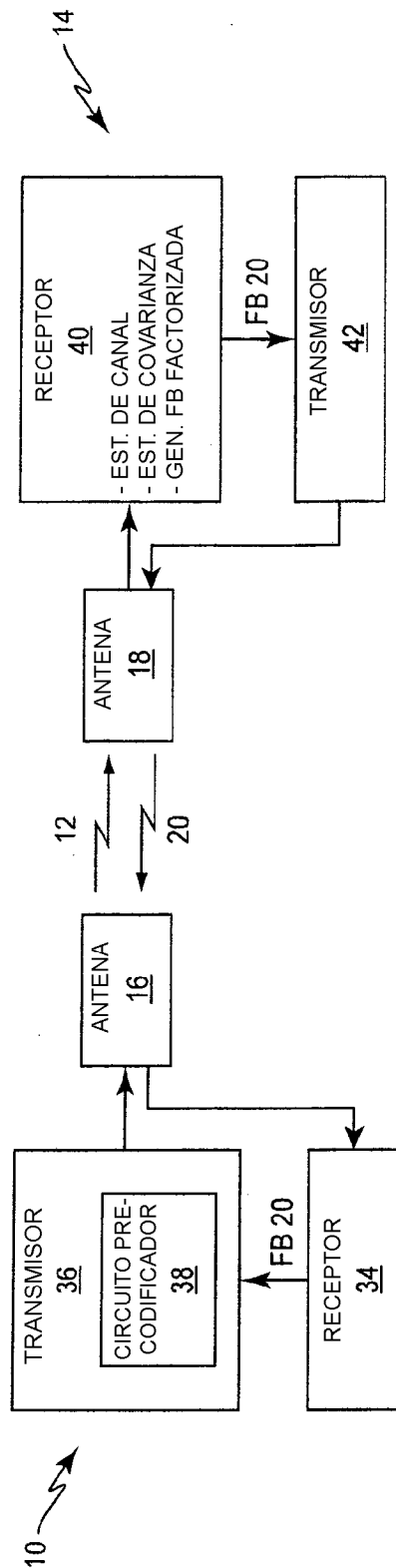


FIG. 2

COL	W			W	W	...			
	W								
	W								
	...								
FILE									

28 ↗

FIG. 3A

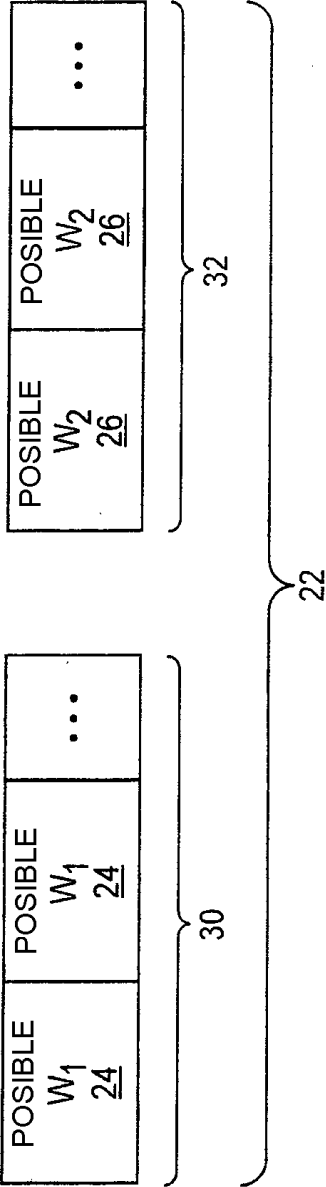


FIG. 3B

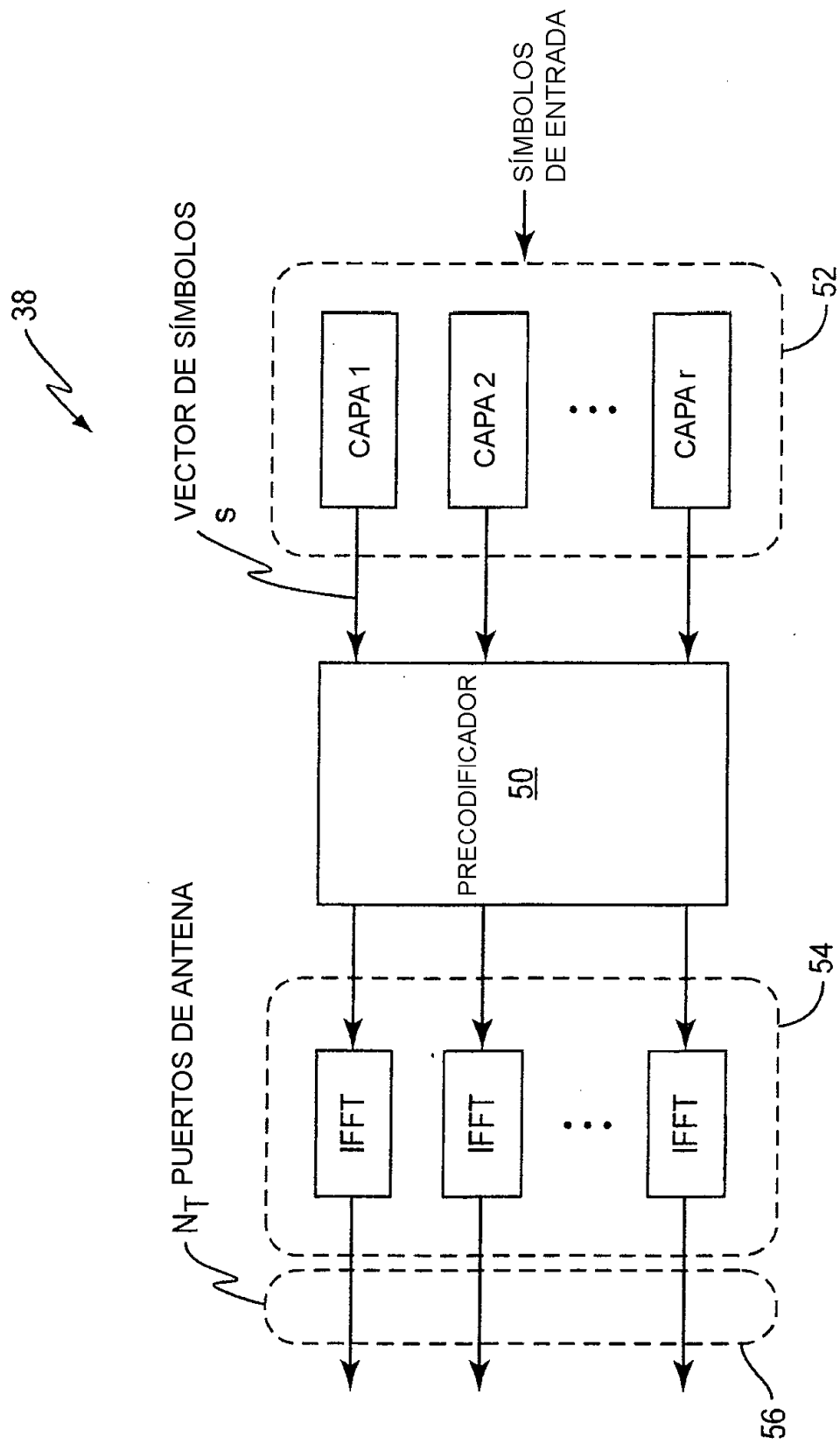


FIG. 4

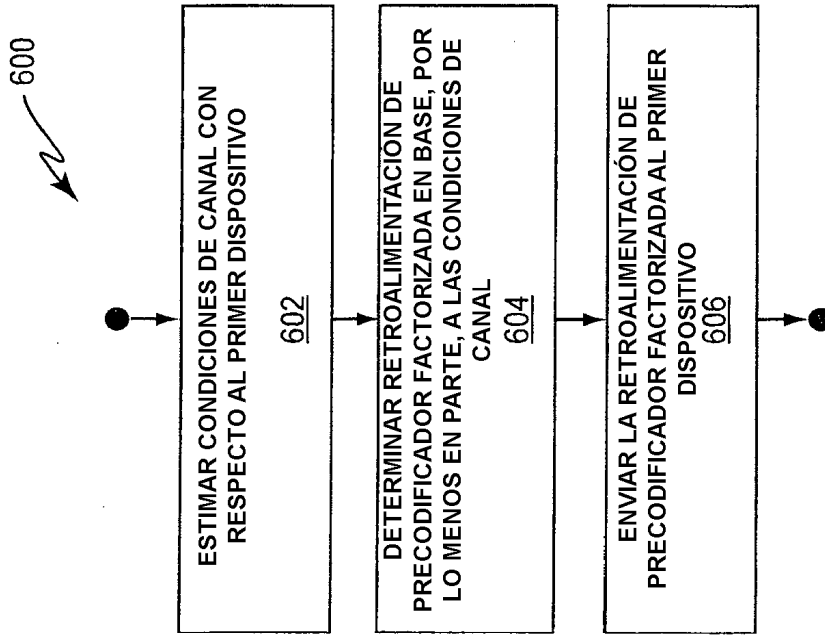


FIG. 5

500

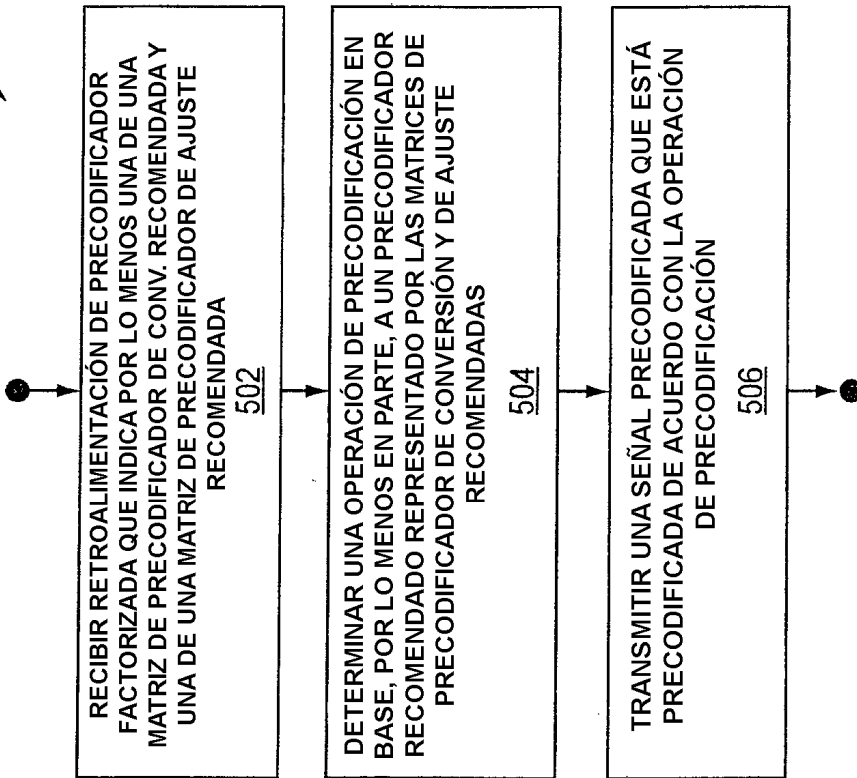


FIG. 6