

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 635**

51 Int. Cl.:

H04B 7/06	(2006.01)
H04B 7/005	(2006.01)
H04L 27/26	(2006.01)
H04L 25/03	(2006.01)
H04B 7/10	(2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.05.2008 PCT/SE2008/050530**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2009 WO09091307**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2008 E 08767141 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 2232726**

54 Título: **Ciclos de precodificadores en bucle abierto en comunicaciones de MIMO**

30 Prioridad:

14.01.2008 US 20948

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

17.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**JÖNGREN, GEORGE;
SVEDMAN, PATRICK y
HAMMARWALL, DAVID**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 624 635 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

Ciclos de bucle abierto del codificador previo en comunicaciones de MIMO

5 **APLICACIÓN DE PRIORIDAD**

Se reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional estadounidense número de serie 61/020,948, presentada el 14 de enero de 2008, cuya descripción se incorpora aquí como referencia.

CAMPO TÉCNICO

10 El campo técnico se refiere a comunicaciones vía radio, y en particular, a comunicaciones vía radio que utilizan técnicas de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO).

ANTECEDENTES

15 En un sistema de comunicaciones vía radio típico, los terminales de comunicaciones de usuario denominados unidades de equipo de usuario (UEs) se comunican a través de una red de acceso vía radio (RAN) con otras redes como Internet. La red de acceso vía radio (RAN) cubre un área geográfica que está dividida en áreas de celdas, con cada área de celda siendo servida por una estación base, por ejemplo, una estación base de radio (RBS), que en algunas redes se denomina también "NodoB" o Nodo B mejorado. Una celda es un área geográfica donde la cobertura de radio es proporcionada por el equipo de estación base de radio en un sitio de estación base.

20 Los sistemas vía radio móviles de Tercera Generación (3G), como el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), que funcionan en el Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA) utilizan diferentes tipos de canales de radio, incluyendo canales de radio no programados y canales de radio programados. Los sistemas de 3G mixtos de voz/datos, conmutados por circuitos/paquetes evolucionaron de los sistemas de
25 segunda generación (2G) centrados en la voz, conmutados por circuitos. Los canales no programados, a veces llamados canales dedicados, se asignan normalmente sólo a un usuario durante la duración de una conexión que transporta información asociada solamente con ese usuario. Los canales programados son canales conmutados por paquetes sobre los cuales se transportan paquetes para conexiones de múltiples usuarios. Los sistemas de Cuarta Generación (4G), como la Evolución a Largo Plazo (LTE) de UMTS y la Interoperabilidad Mundial para Acceso por
30 Microondas (WiMAX), diseñan la interfaz aérea basada en datos de paquetes. Los canales de tráfico dedicados se eliminan en favor de los canales de radio programados para simplificar el sistema. El control de acceso al medio se migra de este modo hacia un paradigma de solicitud de recursos-concesión de recursos. En respuesta a las solicitudes actuales para transmitir datos desde y/o a un equipo de usuario (UE) en el enlace ascendente y/o en el enlace descendente, el programador en la estación base asigna dinámicamente los recursos de radio para satisfacer los requisitos de calidad de servicio asociados con el tipo de tráfico de datos a transmitirse, y al mismo tiempo, trata de optimizar la capacidad del sistema.

La Figura 1 ilustra un ejemplo de un sistema 10 de comunicaciones móviles de tipo LTE. Una E-UTRAN 12 incluye
40 Nodos B E-UTRAN (eNBs) 18 que proporcionan las terminaciones del protocolo de plano de usuario y plano de control E-UTRA hacia los terminales 20 de equipo de usuario (UE) sobre una interfaz de radio. Un eNB se denomina a veces más generalmente como una estación base, y un UE se denomina a veces como un terminal de radio móvil o una estación móvil. Como se muestra en la Figura 1, las estaciones base están interconectadas entre sí por una interfaz X2. Las estaciones base también están conectadas por una interfaz S1 a un Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) 14 que incluye una Entidad de Gestión de Movilidad (MME) y a una Pasarela de Evolución de
45 Arquitectura del Sistema (SAE). La pasarela MME/SAE se muestra como un nodo único 22 en este ejemplo y es análoga en muchos sentidos a una pasarela SGSN/GGSN en UMTS y en GSM/EDGE. La interfaz S1 soporta una relación de muchos a muchos entre pasarelas MMEs/SAE y eNBs. La E-UTRAN 12 y el EPC 14 juntos forman una Red Móvil Terrestre Pública (PLMN). Las pasarelas MMEs/SAE 22 están conectadas directamente, o indirectamente, al Internet 16 y a otras redes.

50 El Grupo de Trabajo IEEE 802.16 sobre Estándares de Acceso Inalámbricos de Banda Ancha desarrolla especificaciones formales para el despliegue global de Redes de Área Metropolitana (MAN) Inalámbricas de banda ancha. Aunque la familia de estándares 802.16 se llama oficialmente MAN Inalámbrica, a menudo se denomina WiMAX. Como LTE, el estándar 802.16e utiliza acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal (OFDMA) escalable para soportar grandes anchos de banda de canal, por ejemplo, entre 1,25 MHz y 20 MHz con hasta 2.048 sub-portadoras para WiMAX. Otra característica importante de la capa física es el soporte para antenas de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO) para proporcionar características de NLOS (sin línea de visión) buenas (o mayor
55 ancho de banda). Las técnicas de antena múltiple pueden aumentar significativamente las velocidades de datos y la fiabilidad de un sistema de comunicación inalámbrico. El rendimiento se mejora en particular si tanto el transmisor como el receptor utilizan antenas múltiples resultando en un canal de comunicación de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO). Tales sistemas y/o técnicas relacionadas se denominan comúnmente como MIMO.

Una hipótesis de trabajo en LTE relativa a MIMO es el soporte de un modo de multiplexación espacial con
65 codificación previa dependiente del canal (bucle cerrado). Un codificador previo mapea los símbolos de datos a transmitirse sobre todas las antenas de transmisión múltiple. Codificadores previos diferentes mapean los símbolos

en combinaciones diferentes sobre cada antena. El modo de multiplexación espacial alcanza mayores velocidades de datos en condiciones de canal favorables.

5 LTE también puede soportar un modo de multiplexación espacial con codificación previa independiente del canal (bucle abierto) en la forma de ciclos del codificador previo. Una ilustración de ejemplo de un modelo de comunicación de MIMO que utiliza ciclos del codificador previo se muestra en la Figura 2. Aquí, el transmisor implementa cuatro codificadores previos W_1 - W_4 para codificar previamente conjuntos de cuatro vectores de símbolos de banda base a transmitirse, por ejemplo, s_1 - s_4 , s_5 - s_8 , etc. Los codificadores previos W_1 - W_4 , mapean los vectores de símbolos, s_1 - s_4 , s_5 - s_8 , etc. a vectores de símbolos de banda base codificados previamente, x_1 - x_4 , x_5 - x_8 , etc. a través de una operación de multiplicación matriz-vector, por ejemplo, $x_1 = W_1 s_1$. Los elementos de un símbolo de banda base codificado previamente tienen una correspondencia de uno a uno con los puertos de la antena de transmisión. Cada vector de símbolos de banda base codificado previamente se transmite después a través de uno de los canales de MIMO eficaces, H_1 - H_4 , H_5 - H_8 , etc. Un "canal de MIMO eficaz" modela el canal físico de radiocomunicaciones junto con las antenas físicas, el hardware de radio, y el procesamiento de señal de banda base utilizados para comunicarse a través de ese canal. De este modo, varias técnicas de comunicación diferentes, por ejemplo, OFDM y CDMA se ilustran como ejemplos en las Figuras 8 y 9 como se explica a continuación, se pueden representar utilizando este mismo modelo de canal eficaz.

20 El ciclo se consigue codificando previamente un símbolo s_1 con la matriz del codificador previo W_1 , el símbolo s_2 con la matriz del codificador previo W_2 , el símbolo s_3 con la matriz del codificador previo W_3 , y el símbolo s_4 con la matriz del codificador previo W_4 , y entonces utilizar W_1 - W_4 para codificar previamente los siguientes cuatro símbolos y así sucesivamente. El receptor recibe señales paralelas y_1 - y_4 , y_5 - y_8 , etc., y las filtra en filtros respectivos f_1 - f_4 , f_5 - f_8 , etc. modelados basándose en los cuatro codificadores previos W_1 - W_4 para producir estimaciones \hat{s}_1 - \hat{s}_4 , \hat{s}_5 - \hat{s}_8 , etc. de los símbolos s_1 - s_4 , s_5 - s_8 , etc. transmitidos originalmente. Alternativamente, el receptor detecta los flujos de bits representados por los símbolos s_1 - s_4 , s_5 - s_8 , etc. directamente desde las señales paralelas y_1 - y_4 , y_5 - y_8 , etc. recibidas utilizando decodificación de máxima probabilidad (o alguna otra métrica del decodificador).

30 Se proporciona en la Figura 3 una ilustración de ejemplo de una estructura de transmisión 30 para implementar un modo de multiplexación espacial codificado previamente. Un flujo de datos corresponde a una "capa" de MIMO 12, y cada capa 12 proporciona un símbolo s a la vez a un codificador previo 34. La salida del símbolo paralelo de todas las capas de MIMO corresponde a un vector de símbolos s , que se multiplica en el codificador previo 34 por una $N_T \times r$ matriz del codificador previo $W_{N_T \times r}$ que sirve para distribuir sustancialmente la energía de transmisión en el sub-espacio del espacio vectorial de N_T dimensiones, donde N_T es el número de antenas de transmisión. Si la matriz del codificador previo 34 se limita a tener columnas orto-normales, entonces el diseño de un libro de códigos de matrices del codificador previo corresponde a un problema de empaquetado del sub-espacio Grasmaniano. Cada uno de los símbolos r en el vector de símbolos s corresponde a una capa de MIMO, y r se denomina "rango de transmisión". La multiplexación espacial se alcanza transmitiendo las salidas del codificador previo a través de transformadas rápidas de Fourier inversas (IFFTs) 36 utilizadas en transmisiones multiplexadas por división en frecuencia ortogonal (OFDM), donde múltiples símbolos se transmiten simultáneamente a través del mismo elemento de recurso de transmisión (RE). Las salidas IFFT 36 se transmiten a través de N_T puertos de antena 38. En el caso de OFDM, el mismo RE corresponde a la misma sub-portadora de frecuencia o "contenedor". El número de símbolos paralelos r puede adaptarse a las propiedades actuales del canal de comunicaciones.

45 Basado en el modelo en la Figura 2, un $N_R \times 1$ vector recibido y_k para un cierto elemento de recurso en la sub-portadora k de frecuencia (o alternativamente número k de datos del RE), asumiendo que no hay interferencia entre celdas, se representa para cada sub-portadora k por:

$$y_k = H_k W_{N_T \times r} s_k + e_k \quad (1)$$

50 donde H_k representa el canal de comunicaciones de MIMO eficaz, $W_{N_T \times r}$, es una $N_T \times r$ matriz del codificador previo, s_k es un $r \times 1$ vector de símbolos, y e_k es vector de ruido obtenido, por ejemplo, como realizaciones de un proceso aleatorio.

55 La matriz del codificador previo 34 puede elegirse para que coincida con las características del $N_R \times N_T$ canal de MIMO H general (compuesto por múltiples canales de MIMO individuales H_1 - H_8 etc.), dando lugar a la denominada codificación previa dependiente del canal. Esta también se denomina comúnmente codificación previa de bucle cerrado y esencialmente apunta a enfocar la energía transmitida en un sub-espacio que transporta gran parte de la energía transmitida al UE, en lugar de "residuos" que transmiten la señal en áreas donde el UE no está localizado. Además, la matriz del codificador previo también puede seleccionarse para hacer ortogonal el canal, lo que significa que después de la equalización lineal en el receptor del UE, se reduce la interferencia entre capas (interferencia entre diferentes capas de MIMO).

5 En la codificación previa de bucle cerrado, el UE transmite una señal de retroalimentación, basada en las medidas del canal en el enlace descendente, con recomendaciones a la estación base de un codificador previo para utilizar que es adecuado a las medidas actuales del canal. Un solo codificador previo que se supone que cubre un gran ancho de banda (codificación previa de banda ancha) puede retroalimentarse. También puede ser beneficioso para que coincida con las variaciones de frecuencia del canal y en su lugar retroalimentar un informe de codificación previa selectivo de frecuencia, por ejemplo, varios codificadores previos, uno por sub-banda. El sub-espacio se refiere a dimensiones espaciales y el ancho de banda a frecuencia que puede dividirse en sub-bandas. El codificador previo apropiado normalmente varía con la frecuencia (sub-banda). Por lo tanto, tener un codificador previo por sub-banda en lugar de uno para todas las sub-bandas (banda ancha) permite una mejor adaptación del codificador previo.

15 Un problema con la codificación previa de bucle cerrado es que se necesita tiempo para transportar el informe del codificador previo del UE a la estación base, y durante ese tiempo, el canal puede haber cambiado (por ejemplo, desvanecido) significativamente, haciendo el informe anticuado cuando la estación base tiene un cambio para aplicarlo. De este modo, la codificación previa de bucle cerrado es más adecuada para escenarios de baja movilidad donde las variaciones del canal son lentas. Una excepción a esto es si el canal manifiesta propiedades a largo plazo que pueden explotarse aunque la movilidad sea alta. La correlación espacial en el lado de la estación base es un ejemplo de tal propiedad que es relativamente estable a pesar de las altas velocidades del UE.

20 En LTE, los bits codificados procedentes del mismo bloque de bits de información se denominan "palabra de código" (CW). Una palabra de código es también la terminología utilizada para describir la salida de un único proceso ARQ híbrido (HARQ) que sirve a un bloque de transporte particular y comprende la codificación turbo, el ajuste de velocidad, el intercalado, etc. La palabra de código es entonces modulada y distribuida a través de las múltiples antenas de transmisión. En la transmisión de palabras de código múltiples, los datos pueden transmitirse desde varias palabras de código al mismo tiempo. La primera palabra de código (modulada) puede ser mapeada, por ejemplo, a las dos primeras antenas, y la segunda palabra de código puede ser mapeada a las dos antenas restantes en un sistema de cuatro antenas de transmisión. Pero en el contexto de la codificación previa, las palabras de código se mapean a capas, y el codificador previo mapea las capas sobre las antenas.

30 Para la transmisión de alta velocidad, de antena múltiple, una característica importante de las condiciones del canal es el rango del canal (que es diferente del rango de transmisión). En líneas generales, el rango del canal puede variar desde uno hasta el número mínimo de antenas de transmisión y recepción. Tomando como ejemplo un sistema "4x2", es decir, un sistema con cuatro antenas de transmisión y dos antenas de recepción, el rango máximo del canal es de dos. El rango del canal varía en el tiempo ya que el desvanecimiento rápido altera las condiciones del canal. Además, el rango del canal determina cuántas capas de MIMO/flujos de datos, y en última instancia, también cuántas palabras de código se pueden transmitir con éxito simultáneamente. Por lo tanto, si el rango del canal es "uno" cuando se están transmitiendo dos palabras de código mapeando a dos capas de MIMO separadas, hay una fuerte probabilidad de que las dos señales correspondientes a las palabras de código interferirán de manera que ambas palabras de código se detecten erróneamente en el receptor.

40 Conjuntamente con la codificación previa, la adaptación de la transmisión al rango del canal implica el uso de tantas capas de flujo de datos como puedan soportar los canales de MIMO. En el caso más simple, cada capa de MIMO corresponde a una antena particular. Pero el número de palabras de código puede diferir del número de flujos de datos/capas, que es el caso en LTE. Surge entonces el problema de cómo mapear las palabras de código a las capas de flujo de datos. Asumiendo cuatro antenas de transmisión como ejemplo, el número máximo de palabras de código es de dos, mientras que se pueden transmitir hasta cuatro capas.

50 Un rango fijo dependiente del mapeo de palabra de código a capa con codificación previa para este ejemplo no limitante se muestra en la Figura 4. Las palabras de código pueden proporcionarse desde un codificador de corrección de errores tal como un turbo-codificador. Para el rango de canal 1, correspondiente a una capa o un flujo de datos, representado como una palabra de código (CW 1), el codificador previo 40 mapea la única palabra de código CW 1 a las cuatro antenas de transmisión. Para el rango de canal 2, correspondiente a dos capas o dos flujos de datos, representado como dos palabras de código (CW 1 y CW 2), el codificador previo mapea las dos palabras de código a las cuatro antenas de transmisión. Para el rango de canal 3, hay dos palabras de código (CW 1 y CW 2), y la segunda palabra de código CW 2 se divide a través de un convertidor de serie a paralelo (S/P) 42 en dos flujos de datos/capas. Por lo que el codificador previo 40 mapea los tres flujos de datos/capas generados a partir de las dos palabras de código a las cuatro antenas de transmisión. La segunda palabra de código no necesita tener la misma longitud que la primera palabra de código y puede ser, por ejemplo, dos veces mayor que CW 1. Para el rango de canal 4, hay dos palabras de código (CW 1 y CW 2), y ambas se dividen a través de un convertidor de serie a paralelo (S/P) 42 correspondiente en dos flujos de datos/capas. Por lo que el codificador previo 40 mapea los cuatro flujos de datos/capas generados a partir de las dos palabras de código a las cuatro antenas de transmisión.

65 Ya que la codificación previa de bucle cerrado a menudo no es adecuada para escenarios de alta movilidad donde el canal carece de propiedades a largo plazo significativas y está cambiando rápidamente, una alternativa es seleccionar un esquema de transmisión que sea independiente de las realizaciones del canal. Tal transmisión

independiente del canal también es conocida como transmisión de bucle abierto y es más adecuada para situaciones de mayor movilidad. Un ejemplo de esquema de transmisión de bucle abierto para dos antenas de transmisión es un código de Alamouti, que tiene una contraparte en el dominio de la frecuencia denominada codificación de bloques de frecuencia espacial (SFBC). SFBC toma dos símbolos s_k y s_{k+1} a la vez como entrada y distribuye estos símbolos a través de la frecuencia y el espacio como se describe por la matriz de palabras de código:

$$\begin{bmatrix} s_k & s_{k+1} \\ s_{k+1}^c & -s_k^c \end{bmatrix} \quad (2)$$

donde las filas corresponden a los diferentes puertos de antena, las columnas corresponden a la dimensión de sub-portadora, y $()^c$ denota el conjugado complejo. Típicamente se eligen dos sub-portadoras consecutivas y, sin pérdida de generalidad, esto se asumirá a continuación. Por lo que dos símbolos valiosos potencialmente complejos se transmiten utilizando dos sub-portadoras/REs. La velocidad de símbolo por RE es por tanto de 1, correspondiente a un rango de transmisión de uno y por consiguiente, adecuada para canales de tipo de rango 1. Los códigos anteriores pertenecen a la clase de códigos de bloque de espacio-tiempo ortogonales (OSTBC). La dimensión temporal se puede intercambiar con otra dimensión, por ejemplo frecuencia, como suele ocurrir en OFDM. Sin embargo, dichos códigos se denominan aquí OSTBC aunque pueden utilizar una dimensión distinta del tiempo. Los códigos OSTBC existen también para más de dos antenas de transmisión, pero normalmente están limitados en velocidad de símbolos apuntando a velocidades de símbolo (por RE) de uno. Para cuatro antenas de transmisión, LTE ha adoptado una combinación de SFBC y conmutación de antena, correspondiente a un código de bloque con la siguiente matriz de palabras de código:

$$\begin{bmatrix} s_k & s_{k+1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{k+2} & s_{k+3} \\ s_{k+1}^c & -s_k^c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{k+3}^c & -s_{k+2}^c \end{bmatrix} \quad (3)$$

Aunque el código anterior no es un código OSTBC en un sentido estricto, este código tiene una velocidad de símbolo de uno y es, por tanto, adecuado para canales de tipo de rango 1.

También es posible la codificación previa de bucle abierto utilizando un rango de transmisión mayor de uno. Pero debido a que no hay información precisa sobre el canal, el codificador previo no puede adaptarse al canal. Por lo tanto, sería beneficioso tratar de conseguir una diversidad de codificación previa para asegurar el rendimiento generalmente aceptable del codificador previo en una amplia gama de condiciones del canal diferentes.

Otra forma de introducir la transmisión de codificación previa de bucle abierto es reutilizar la estructura de codificación previa puramente espacial, donde un codificador previo multiplica un único vector de símbolos, que es equivalente a que cada símbolo sea multiplicado por el vector de columna correspondiente en la matriz del codificador previo. Con el fin de lograr la diversidad de codificación previa, es importante evitar utilizar solamente un único codificador previo, ya que tal transmisión sólo se adapta a un conjunto limitado de realizaciones del canal. En consecuencia, se puede transmitir una única palabra de código de tal manera que se utilicen múltiples codificadores previos, donde los codificadores previos se varían de alguna manera determinista conocida tanto por el transmisor como por el receptor. Por ejemplo, el codificador previo se puede fijar para una o varias sub-portadoras y luego se cambia para una sub-portadora(s) siguiente. Esto distribuye espacialmente la energía de una manera más isotrópica, (es decir, más hacia una distribución uniforme de la energía en todas las direcciones), lo que proporciona diversidad reduciendo de ese modo la tendencia a sesgar el rendimiento para un conjunto particular de realizaciones del canal. Preferiblemente, debería haber una variación sustancial de la codificación previa sobre la unidad de asignación más pequeña, por ejemplo, un bloque de recursos (RB), porque una palabra de código potencialmente, sólo puede abarcar un conjunto pequeño de REs.

Esto puede lograrse utilizando "ciclos del codificador previo", como se ilustra en la Figura 2, donde el codificador previo varía de un conjunto consecutivo de sub-portadoras al siguiente. Los codificadores previos que son implementados están predeterminados o configurados por el transmisor. Para los UEs que también tienen una implementación de un esquema de bucle cerrado del codificador previo, es ventajoso reutilizar los codificadores previos en el libro de códigos de bucle cerrado del codificador previo en el esquema de bucle abierto porque

entonces, partes significativas de la implementación del UE pueden reutilizarse para el esquema de codificación previa de bucle abierto.

5 Un problema con el ciclo de bucle abierto, que se puede configurar del codificador previo es que el receptor no sabe y no puede predecir con precisión la interferencia que necesita rechazar en un instante en particular. A medida que aumenta el número de codificadores previos de ciclo en un sistema de bucle abierto, se hace cada vez más difícil para el receptor saber o predecir cuál de los codificadores previos se está utilizando actualmente en las transmisiones de interferencia. Como resultado, el receptor no está seguro de los cambios de interferencia sobre un bloque de radio, y por lo tanto, no suprime satisfactoriamente esa interferencia. Otro problema se refiere a la complejidad indeseable en el receptor (por ejemplo, un UE). Utilizar muchos codificadores previos diferentes en el ciclo del codificador previo tiene la desventaja de una alta complejidad de implementación (y por lo tanto mayor consumo de energía) tanto en el transmisor como en el receptor porque el funcionamiento del codificador previo y el funcionamiento del filtrado de recepción deben implementarse y adaptarse a cada codificador previo utilizado. También, tener un número que se puede configurar de matrices del codificador previo para implementar significa que el transmisor y el receptor deben implementarse para hacer frente al escenario más exigente desde el punto de vista computacional.

COMPENDIO

20 Los datos se transmiten a través de una pluralidad de canales de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO). Flujos de bits plurales se modulan en múltiples vectores de símbolos de datos. Cada vector tiene un rango de transmisión con un vector para cada canal de MIMO. El rango de transmisión es el número de elementos en un vector de símbolos de datos correspondiente al número de flujos de datos que se transmiten en paralelo a través de cada canal de MIMO. Los vectores de símbolos de datos múltiples se codifican previamente en múltiples vectores de símbolos codificados previamente utilizando uno de una pluralidad de conjuntos de ciclos del codificador previo, un conjunto para cada rango de transmisión, incluyendo múltiples codificadores previos diferentes. Los codificadores previos en cada conjunto de ciclos del codificador previo están sustancialmente separados con respecto a una pluralidad de medidas de distancia. La codificación previa incluye codificar previamente cada vector de símbolos de datos de un rango de transmisión con un codificador previo perteneciente al conjunto de ciclos del codificador de ese rango de transmisión. El vector de símbolos codificado previamente se transmite entonces a través de la pluralidad de canales de MIMO. En una realización de ejemplo no limitante, los canales de MIMO corresponden a sub-portadoras obtenidas utilizando multiplexación por división en frecuencia ortogonal (OFDM) como se emplea en LTE y otros sistemas de comunicación inalámbricos.

35 Se proporciona un libro de códigos fuente con múltiples índices del libro de códigos, estando asociado cada índice del libro de códigos con un codificador previo para cada rango de transmisión. El transmisor almacena un libro de códigos de ciclos correspondiente a un subconjunto de los índices del libro de códigos en el libro de códigos fuente de manera que un conjunto de ciclos del codificador previo de un rango de transmisión es el conjunto de codificadores previos con el rango de transmisión correspondiente que están asociados con los índices del libro de códigos en el libro de códigos de ciclos. Los codificadores previos asociados con el mismo índice del libro de códigos pueden compartir una o más de las mismas columnas.

40 En una realización de ejemplo no limitante, un número de rangos de transmisión es de cuatro. Los cuatro codificadores previos asociados con un índice del libro de códigos tienen la propiedad de que un primer codificador previo para un primer rango de transmisión se incluye como una columna en un segundo codificador previo para un segundo rango de transmisión, las columnas del primer y segundo codificador previo se incluyen como columnas en un tercer codificador previo para un tercer rango de transmisión, y las columnas del primer, segundo y tercer codificador previo se incluyen como columnas en un cuarto codificador previo para un cuarto rango de transmisión para cada conjunto de codificadores previos asociados a un índice en el libro de códigos.

50 Uno o más tipos diferentes de medidas de distancia definen una o más distancias entre codificadores previos del mismo rango de transmisión. Las medidas de distancia de múltiples ejemplos incluyen la distancia en la cuerda, la distancia de proyección de dos normas, y la distancia de Estudio de Fubini. El libro de códigos de ciclos tiene la propiedad de que no existe libro de códigos de ciclos alternativo cuyos conjuntos de ciclos del codificador previo asociados, un conjunto para cada rango de transmisión, tengan mejores propiedades de distancia del codificador previo que los conjuntos de ciclos del codificador previo asociados con el libro de códigos de ciclos para todos los rangos de transmisión. Preferiblemente, los conjuntos de ciclos asociados del codificador previo del libro de códigos de ciclos tienen propiedades de distancia estrictamente mejores para cada rango de transmisión que los conjuntos de ciclos del codificador previo asociados con cualquier otro libro de códigos de ciclos.

60 En un ejemplo no limitante, el libro de códigos fuente es un libro de códigos especificado por el estándar LTE definido para transmisión en cuatro puertos de antena, y el libro de códigos de ciclos del codificador previo seleccionado es un conjunto de cuatro índices del libro de códigos dados por cuatro índices en el libro de códigos. Todos los codificadores previos en el libro de códigos de ciclos del codificador previo son de valor real y diametralmente opuestos. Cada codificador previo en el libro de códigos de ciclos del codificador previo es un subconjunto de columnas de una matriz de bloques en diagonal transformada unitariamente, donde un subconjunto

de columnas de una matriz A es una matriz para la que cada columna es también una columna en A. El rango de transmisión más alto es igual a 4 y una matriz de transformación unitaria (escalada) viene dada por

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

5 o una permutación de fila y columna de la misma y se aplica multiplicando desde la izquierda cada matriz del codificador previo en el conjunto [o libro de códigos?] de ciclos del codificador previo con la traspuesta conjugada de la matriz de transformación.

10 Los datos que se transmiten como se ha descrito anteriormente pueden ser recibidos por un receptor configurado basándose en el ciclo del codificador previo realizado en el transmisor. Se reciben múltiples vectores de símbolos de recepción, uno para cada canal de MIMO. La pluralidad de los flujos de bits transmitidos se detecta entonces de los vectores de símbolos recibidos. Por ejemplo, cada vector de símbolos recibido se puede filtrar con un filtro que se calcula basándose en el codificador previo correspondiente que fue utilizado para codificar previamente los datos transmitidos a través del canal de MIMO correspondiente. Los vectores de símbolos recibidos filtrados se descodifican entonces en la pluralidad de flujos de bits transmitidos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 La Figura 1 es un diagrama de bloques de función de un sistema de comunicación vía radio móvil LTE de ejemplo;
 La Figura 2 ilustra un modelo de comunicaciones utilizando ciclos del codificador previo;
 La Figura 3 ilustra una estructura de transmisión de un modo de multiplexación espacial codificado previamente;
 25 La Figura 4 es un diagrama que ilustra un mapeo de palabra de código a capa para un transmisor de cuatro antenas;
 La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos no limitantes, de ejemplo, para determinar un grupo óptimo de codificadores previos de ciclo para comunicaciones de MIMO;
 La Figura 6 es un diagrama de bloques de función no limitante, de ejemplo, de un transmisor que utiliza ciclos del codificador previo asumiendo cuatro codificadores previos;
 30 La Figura 7 es un diagrama de bloques de función no limitante, de ejemplo, de un receptor para recibir transmisiones desde el transmisor en la Figura 6;
 La Figura 8 ilustra un canal eficaz para un sistema OFDM;
 La Figura 9 ilustra un canal eficaz para un sistema WCDMA; y
 35 La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos no limitantes, de ejemplo, para transmisión de MIMO con ciclo del codificador previo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

40 En la siguiente descripción, para fines de explicación y no limitación, se exponen detalles específicos, tales como nodos particulares, entidades funcionales, técnicas, protocolos, estándares, etc. con el fin de proporcionar una comprensión detallada de la tecnología descrita. En otros casos, se omiten descripciones detalladas de métodos, dispositivos, técnicas, etc. bien conocidos para no oscurecer la descripción con detalles innecesarios. Los bloques de función individuales se muestran en las figuras. Los expertos en la técnica apreciarán que las funciones de esos bloques pueden implementarse utilizando circuitos de hardware individuales, utilizando programas de software y de datos junto con un microprocesador programado adecuado o un ordenador de uso general, utilizando circuitos integrados específicos de aplicaciones (ASIC), conjuntos de lógica programable, y/o utilizando uno o más procesadores de señal digital (DSPs).

50 Será evidente para un experto en la técnica que se pueden practicar otras realizaciones aparte de los detalles específicos descritos a continuación. La tecnología se describe en el contexto de un sistema LTE con el fin de proporcionar un contexto de ejemplo y no limitante para la explicación. Pero esta tecnología puede ser utilizada en cualquier sistema de comunicaciones móviles moderno y no se limita a LTE o WiMAX.

55 Inicialmente, se puede determinar un conjunto óptimo de codificadores previos de ciclo (denominado conjunto de ciclos del codificador previo) para su uso en comunicaciones de MIMO que tienen una o más propiedades de distancia deseadas. La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos no limitantes, de ejemplo, para determinar un grupo de tales codificadores previos de ciclo para comunicaciones de MIMO. Se proporciona una

fente de codificadores previos asociada con un libro de códigos (paso S1). Hay diferentes fuentes y libros de códigos que pueden ser utilizados. Se describe a continuación un ejemplo no limitante. El libro de códigos del codificador previo se organiza utilizando índices del libro de códigos; estando asociado cada valor de índice entero con un conjunto de codificadores previos, un codificador previo para cada rango de transmisión. Como se ha definido anteriormente, el rango de transmisión corresponde a un número de flujos de datos de MIMO que se transmiten en paralelo utilizando antenas múltiples. Por lo tanto, un índice del libro de códigos, junto con un rango de transmisión, identifica de manera única una matriz del codificador previo.

Se identifican uno o más tipos diferentes de medidas de distancia que definen una o más distancias entre codificadores previos del mismo rango de transmisión (paso S2). Se calculan a continuación una o más propiedades de distancia entre los codificadores previos del mismo rango de transmisión en el libro de códigos fuente utilizando la(s) medida(s) de distancia (paso S3). Se selecciona a continuación, un libro de códigos de ciclos del codificador previo, correspondiente a un subconjunto del libro de códigos fuente del codificador previo (paso S4). El conjunto de ciclos del codificador previo, de un rango de transmisión, es el conjunto de codificadores previos en el libro de códigos de ciclos del codificador previo seleccionado con el rango de transmisión correspondiente. Los codificadores previos asociados con el mismo índice del libro de códigos pueden compartir una o más de las mismas columnas. El libro de códigos de ciclos tiene la propiedad de que no existe libro de códigos de ciclos alternativo, que también corresponde a un subconjunto del libro de códigos fuente del codificador previo, cuyos conjuntos de ciclos del codificador previo asociados, un conjunto para cada rango de transmisión, tiene mejores propiedades de distancia del codificador previo que los conjuntos de ciclos del codificador previo asociados con el libro de códigos de ciclos para todos los rangos de transmisión. Preferiblemente, los conjuntos de ciclos asociados del codificador previo del libro de códigos de ciclos tienen propiedades de distancia estrictamente mejores para cada rango de transmisión que los conjuntos de ciclos del codificador previo asociados con cualquier otro libro de códigos de ciclos, que también corresponde a un subconjunto del libro de códigos fuente del codificador previo. Se utilizan a continuación los codificadores previos seleccionados para los ciclos de bucle abierto del codificador previo en las comunicaciones de MIMO entre el transmisor y el receptor (paso S5).

La hipótesis en el ejemplo no limitante es que el rango de transmisión puede ser de 1, 2, 3, y 4; por lo tanto, cada índice del libro de códigos está asociado con cuatro codificadores previos, uno para cada rango de transmisión. Preferiblemente, los codificadores previos asociados con un índice del libro de códigos, que tienen un rango de transmisión diferente, comparten una o más de las mismas columnas. En ese caso, un primer codificador previo para un primer rango de transmisión se incluye en un segundo codificador previo para un segundo rango de transmisión, el primer y segundo codificador previo se incluyen en un tercer codificador previo para un tercer rango de transmisión, y el primer, segundo, y tercer codificador previo se incluyen en un cuarto codificador previo para un cuarto rango de transmisión para cada conjunto de codificadores previos asociado con un índice del libro de códigos.

En el ejemplo LTE no limitante, el libro de códigos es un libro de códigos de codificación previa de bucle cerrado especificado por el estándar LTE definido para transmisión en cuatro puertos de antena de acuerdo con la siguiente tabla donde una cantidad $\mathbf{W}_n^{(s)}$ denota una matriz del codificador previo definida por las columnas dadas por el conjunto $\{s\}$ a partir de la expresión $\mathbf{W}_n = \mathbf{I} - 2\mathbf{u}_n\mathbf{u}_n^H/\mathbf{u}_n^H\mathbf{u}_n$ donde se define una matriz de identidad 4×4 y vector \mathbf{u}_n para cada uno de los índices del libro de códigos a continuación:

Tabla 1: Libro de códigos de codificación previa de bucle cerrado

Índice del libro de códigos	u_n	Rango de Transmisión			
		1	2	3	4
0	$u_0 = [1 -1 -1 -1]^T$	$W_0^{(1)}$	$W_0^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_0^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_0^{(1234)} / 2$
1	$u_1 = [1 -j -1 j]^T$	$W_1^{(1)}$	$W_1^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_1^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_1^{(1234)} / 2$
2	$u_2 = [1 1 -1 -1]^T$	$W_2^{(1)}$	$W_2^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_2^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_2^{(1214)} / 2$
3	$u_3 = [1 / 1 - j - j]^T$	$W_3^{(1)}$	$W_3^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_3^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_3^{(1214)} / 2$
4	$u_4 = \begin{bmatrix} (-1-j)/\sqrt{2} & -j & (1-j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_4^{(1)}$	$W_4^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_4^{(124)} / \sqrt{3}$	$W_4^{(1234)} / 2$
5	$u_5 = \begin{bmatrix} (1-j)/\sqrt{2} & j & (-1-j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_5^{(1)}$	$W_5^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_5^{(124)} / \sqrt{3}$	$W_5^{(1234)} / 2$
6	$u_6 = \begin{bmatrix} (1+j)/\sqrt{2} & -j & (-1+j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_6^{(1)}$	$W_6^{(13)} / \sqrt{2}$	$W_6^{(134)} / \sqrt{3}$	$W_6^{(1324)} / 2$
7	$u_7 = \begin{bmatrix} (-1+j)/\sqrt{2} & j & (1+j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_7^{(1)}$	$W_7^{(13)} / \sqrt{2}$	$W_7^{(134)} / \sqrt{3}$	$W_7^{(1324)} / 2$
8	$u_8 = [1 -1 -1]^T$	$W_8^{(1)}$	$W_8^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_8^{(124)} / \sqrt{3}$	$W_8^{(1234)} / 2$
9	$u_9 = [1 -j -1 -j]^T$	$W_9^{(1)}$	$W_9^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_9^{(134)} / \sqrt{3}$	$W_9^{(1234)} / 2$
10	$u_{10} = [1 1 1 -1]^T$	$W_{10}^{(1)}$	$W_{10}^{(13)} / \sqrt{2}$	$W_{10}^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_{10}^{(1324)} / 2$
11	$u_{11} = [1 j -1 j]^T$	$W_{11}^{(1)}$	$W_{11}^{(13)} / \sqrt{2}$	$W_{11}^{(134)} / \sqrt{3}$	$W_{11}^{(1324)} / 2$
12	$u_{12} = [1 -1 -1 -1]^T$	$W_{12}^{(1)}$	$W_{12}^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_{12}^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_{12}^{(1234)} / 2$
13	$u_{13} = [1 -1 1 -1]^T$	$W_{13}^{(1)}$	$W_{13}^{(13)} / \sqrt{2}$	$W_{13}^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_{13}^{(1324)} / 2$

(continuado)

Índice del libro de códigos	u_n	Rango de Transmisión			
		1	2	3	4
14	$u_{14} = [1 \ 1 \ -1 \ -1]^T$	$W_{14}^{(1)}$	$W_{14}^{(13)} / \sqrt{2}$	$W_{14}^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_{14}^{(3214)} / 2$
15	$u_{15} = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$	$W_{15}^{(1)}$	$W_{15}^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_{15}^{(123)} / \sqrt{3}$	$W_{15}^{(1234)} / 2$

Como se indica, la Tabla 1 se toma de un libro de códigos de codificación previa de bucle cerrado para uso en LTE de modo que los módulos de implementación del modo de bucle cerrado pueden reutilizarse también en la implementación del ciclo del codificador previo. Cada rango de transmisión corresponde a una columna en la Tabla 1. Por ejemplo, el rango de transmisión 1 incluye los codificadores previos $W_0^{(1)} - W_{15}^{(1)}$. Un conjunto de ciclos del codificador previo de un rango de transmisión es, por tanto, un subconjunto de los codificadores previos en la columna del rango de transmisión correspondiente. Cada fila del libro de códigos en la Tabla 1 corresponde a un índice del libro de códigos. Por ejemplo, el índice 12 incluye los siguientes codificadores previos $W_{12}^{(1)}$, $W_{12}^{(12)}/\sqrt{2}$, $W_{12}^{(123)}/\sqrt{3}$, y $W_{12}^{(1234)}/2$, que son de rango de transmisión diferente. Como se puede ver en este ejemplo, todos los codificadores previos asociados con el mismo índice 12 del libro de códigos comparten la matriz del codificador previo $W_{12}^{(1)}$. El codificador previo del rango de transmisión 4 para el índice 12 comparte las matrices de los codificadores previos para los otros tres codificadores previos $W_{12}^{(1)}$, $W_{12}^{(12)}/\sqrt{2}$, $W_{12}^{(123)}/\sqrt{3}$.

Los inventores, utilizando una variedad de medidas de distancia, determinaron un libro de códigos de ciclos correspondiente a un subconjunto del libro de códigos fuente en la Tabla 1, que incluye los conjuntos de cuatro codificadores previos definidos por los índices 12, 13, 14, y 15 del libro de códigos en la Tabla 1. Los conjuntos de ciclos del codificador previo, uno para cada rango de transmisión, por lo tanto, contienen cuatro codificadores previos cada uno. Se seleccionó el número de cuatro codificadores previos de ciclo porque es el número mínimo de codificadores previos, de rango de transmisión uno, requeridos para excitar las cuatro dimensiones de las cuatro antenas de transmisión en este ejemplo no limitante. Es ventajoso para los codificadores previos de ciclo que abarcan bien el espacio de la matriz del canal. Ya que se transmite una sola palabra de código utilizando cuatro codificadores previos diferentes que corresponden al rango de transmisión para la comunicación de MIMO, la diversidad de codificación previa es menor cuando las diferentes matrices de codificación previa son similares o están más próximas en distancia. Por otra parte, la diversidad de codificación previa es mayor si los cuatro codificadores previos son sustancialmente diferentes o están separados a mayor distancia. Idealmente, aunque no necesariamente, los cuatro codificadores previos en el mismo rango de transmisión deben separarse al máximo utilizando una o más medidas de distancia. Esto disminuye la probabilidad de que los cuatro codificadores previos no sean adecuados para la realización del canal y que una palabra de código se descodifique erróneamente en el receptor.

Se utilizaron múltiples medidas de distancia que incluían la distancia en la cuerda, la distancia de proyección de dos normas, y la distancia de estudio de Fubini para evaluar la distancia entre codificadores previos del mismo rango de transmisión. Para el rango de transmisión r , las columnas de las matrices de codificación previa abarcan sub-espacios de r -dimensiones en el espacio vectorial complejo de N_T -dimensiones ($N_T = 4$ en el libro de códigos definido en la Tabla 1). El objetivo es maximizar las distancias entre todos los sub-espacios. La distancia en la cuerda se puede definir por:

$$d_{chord}(W_i, W_j) = \frac{1}{\sqrt{2}} \|W_i W_i^* - W_j W_j^*\|_F$$

la distancia de proyección de dos normas por:

$$d_{proj}(W_i, W_j) = \frac{1}{\sqrt{2}} \|W_i W_i^* - W_j W_j^*\|_2$$

y la distancia de estudio de Fubini:

$$d_{FS}(W_i, W_j) = \arccos |\det(W_i^* W_j)|$$

Para cada libro de códigos de ciclos candidato del codificador previo de los codificadores previos asociados con cuatro índices del libro de códigos, hay cuatro conjuntos de ciclos del codificador previos asociados, uno para cada rango de transmisión; cada uno de estos conjuntos de ciclos del codificador previo contiene cuatro matrices del codificador previo (una para cada índice del libro de códigos) del rango de transmisión correspondiente (es decir, un conjunto de ciclos del codificador previo es un subconjunto de cuatro elementos de una columna en la Tabla 1). Para un conjunto de ciclos del codificador previo de cuatro codificadores previos, hay seis distancias mutuas. Sea $\{d_1, \dots, d_6\}$ el conjunto ordenado de distancias, es decir, $d_1 \leq \dots \leq d_6$. Para el i -ésimo libro de códigos de ciclos

candidato del codificador previo (suponiendo que se han ordenado todos los conjuntos posibles de cuatro índices), sea $\mathbf{w}_i^r = [d_1 \dots d_6]^T$ el vector de distancias para el conjunto de ciclos del codificador previo del rango de transmisión r .

Sea $\mathbf{w}_i^r \overset{\text{""}}{\leq} \mathbf{w}_j^r$ la relación vectorial $w_i^r(k) \leq w_j^r(k) \forall k$, es decir, cada elemento en \mathbf{w}_i^r es mayor que o igual al elemento correspondiente en \mathbf{w}_j^r . El conjunto de ciclos del codificador previo del rango de transmisión r , que está asociado con un libro de códigos de ciclos j del codificador previo tiene propiedades de distancia mejores o iguales que el conjunto de ciclos del codificador previo, del mismo rango de transmisión r , que está asociado con otro libro de códigos de ciclos candidato i , si $\mathbf{w}_i^r \overset{\text{""}}{\leq} \mathbf{w}_j^r$.

10 De las 16 filas en la Tabla 1 correspondientes a los índices (filas) 0-15 del libro de códigos, hay 1820 formas de hacer grupos de cuatro. Basándose en las tres medidas de distancia y en la relación- $\overset{\text{""}}{\leq}$, un subconjunto óptimo de filas (es decir, un libro de códigos de ciclos óptimo del codificador previo) incluye las filas 12, 13, 14 y 15 en este ejemplo no limitante. Se puede demostrar que este libro de códigos de ciclos del codificador previo es el único que
15 satisface:

$$\mathbf{w}_i^r \overset{\text{""}}{\leq} \mathbf{w}_1^r \quad 1 \leq r \leq 4, \quad 2 \leq i \leq 1820$$

20 para las tres medidas de distancia definidas anteriormente, donde este libro de códigos de ciclos óptimo del codificador previo corresponde al primer libro de códigos de ciclos candidato del codificador previo (es decir, $i=1$). Esto significa que todos los otros libros de códigos de ciclos candidatos del codificador previo (de los índices del libro de códigos) tienen propiedades de distancia estrictamente peores que el libro de códigos de ciclos óptimo para al menos un rango de transmisión y una medida de distancia. Por lo tanto, el libro de códigos de ciclos óptimo del
25 codificador previo puede determinarse utilizando la distancia del subconjunto de ciclos del intra-codificador previo. La distancia entre matrices de codificación previa es una medida de lo bien que las matrices abarcan el espacio del canal de MIMO, que también indica cómo se distribuye la potencia transmitida espacialmente isótropa.

30 El uso de los codificadores previos de los índices 12, 13, 14 y 15 del libro de códigos de la Tabla 1 para los ciclos del codificador previo tiene otros varios aspectos atractivos. Uno es que los elementos de las matrices del ciclo del codificador previo son reales y diametralmente opuestos de manera que todos los elementos en la matriz del codificador previo tienen igual magnitud, pero posiblemente un signo diferente. Dicha estructura real y diametralmente opuesta es particularmente adecuada para implementaciones de hardware (y software) ya que la multiplicación matriz-vector del codificador previo, \mathbf{W} , y del vector de símbolos, \mathbf{s} , se puede implementar sin
35 multiplicaciones (aparte de un escalado de potencia de los símbolos codificados previamente, x) utilizando solamente sumas y restas. Las sumas y restas son mucho menos intensivas desde el punto de vista computacional que las multiplicaciones. El subconjunto óptimo de ciclos del codificador previo es también particularmente adecuado para una configuración de polarización cruzada donde dos antenas de transmisión tienen una dirección de polarización y las otras dos antenas de transmisión tienen la polarización ortogonal. Por ejemplo, considerar el caso
40 con las antenas que tienen polarizaciones de ± 45 grados en el transmisor. Para visualizar la estructura del subconjunto óptimo de ciclos del codificador previo en este escenario de polarización, la estructura se puede rotar (pre-multiplicar) con la transformación unitaria correspondiente a:

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

45 Más específicamente, sin pérdida de generalidad, puede suponerse que los codificadores previos, dentro del conjunto de ciclos de codificación previa, están todos multiplicados desde la izquierda con U^* , es decir, la traspuesta conjugada de U . Los codificadores previos rotados resultantes del subconjunto óptimo correspondiente a los índices 12, 13, 14 y 15 del libro de códigos son, en orden correspondiente, como sigue:

$$\tilde{W}_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \tilde{W}_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{W}_{14} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \tilde{W}_{15} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

donde se observa que después de aplicar permutaciones apropiadas de fila y columna (por ejemplo, intercambiar las columnas 2 y 3 y después intercambiar las filas 2 y 4), se obtiene una estructura de bloques en diagonal como sigue:

5

$$\tilde{\tilde{W}}_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \tilde{\tilde{W}}_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{\tilde{W}}_{14} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \tilde{\tilde{W}}_{15} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

con bloques de tamaño 2x2. Alternativamente se pueden realizar permutaciones de fila permutando las columnas de U. Nótese que los bloques están en una de las dos diagonales. Para ver por que tal estructura de bloques en diagonal puede ser beneficiosa, considerar un escenario en el que el transmisor está utilizando un conjunto de antenas de polarización cruzada donde las dos primeras antenas están co-polarizadas y las dos últimas tienen una dirección de polarización ortogonal al primer par. Los codificadores previos en el conjunto óptimo de ciclos de

10

codificación previa pueden escribirse como $\left\{ U\tilde{W}_k \right\}_{k=12}^{15}$ donde $\left\{ U\tilde{W}_k \right\}_{k=12}^{15}$ realiza codificación previa sobre algunas antenas virtuales y las antenas virtuales se transforman entonces en la dimensión de antena física (o con terminología LTE, sobre los puertos de antena) multiplicando con U. Estas antenas virtuales son también de polarización cruzada por pares y U se puede interpretar como la rotación de las direcciones de polarización vertical de 45 grados. Por lo tanto,

15

las dos primeras filas y las dos últimas filas de las matrices $\left\{ U\tilde{W}_k \right\}_{k=12}^{15}$ corresponden al primer y segundo par de antenas co-polarizadas, respectivamente. El reordenamiento de las filas (así como el de las columnas) da como

resultado $\left\{ \tilde{\tilde{W}}_k \right\}_{k=12}^{15}$, lo que significa que las dos primeras filas corresponden a un par de antenas virtuales de polarización cruzada y las dos últimas filas corresponden al otro par de antenas virtuales de polarización cruzada. La

20

estructura de bloques en diagonal de la $\left\{ \tilde{W}_k \right\}_{k=12}^{15}$ junto con los pesos de transmisión ortogonales $[1 \ 1]^T$ y $[1 \ -1]^T$ asegura que una capa siempre se transmite en dos polarizaciones ortogonales, asegurándose de que si se transmiten múltiples capas (rango de transmisión mayor que 1), se utilizan pesos ortogonales. Esto mejora la diversidad ya que las polarizaciones ortogonales tienden a desvanecerse de manera bastante independiente. Al mismo tiempo, la interferencia entre capas se mantiene baja debido a los pesos de transmisión 2x1 ortogonales. La estructura de bloques en diagonal es además beneficiosa en que sólo dos antenas están activas para un cierto uso del canal puesto que las otras dos antenas virtuales no se arriesgarán a cancelar la señal de las dos activas. Las dos antenas virtuales activas tienden a estar bastante bien separadas, puesto que corresponden a polarizaciones ortogonales, y por lo tanto, la posible cancelación de las señales debido a las transmisiones del par de antenas virtuales activas se mantiene bajo. La estructura de bloques en diagonal beneficiosa se mantiene incluso para rangos de transmisión inferiores puesto que corresponden a un subconjunto de columnas de los codificadores previos de rango 4.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de función de ejemplo no limitante de un transmisor que utiliza ciclos del codificador previo asumiendo cuatro codificadores previos tales como, pero no limitados a, los cuatro conjuntos de ciclos del codificador previo descritos anteriormente en conjunción con la Tabla 1 (es decir, índices 12-15 del libro de códigos). El transmisor 50 incluye una fuente de datos 52 que proporciona bits de datos a un bloque 54 de codificación de control de errores, por ejemplo, un turbo-codificador, que proporciona palabras de código (CWs) a uno o más bloques 56 de modulación, donde los datos se modulan sobre símbolos representados por $S_{CW1}(T)$. Si se utilizan dos palabras de código, tal como para los rangos de transmisión 2, 3 ó 4 como se muestra en la Figura 4, entonces se generan un segundo bloque 56 de modulación y un segundo símbolo de palabra de código y se introducen en un bloque 58 de mapeo de capa. El bloque 58 de mapeo de flujos de datos/capa de MIMO genera un vector de símbolos $s(t)$ que se proporciona a un bloque 60 de mapeo de frecuencia. El bloque 60 de frecuencia procesa el vector de símbolos y genera salidas de símbolos paralelas. Los cuatro codificadores previos seleccionados W_1 - W_4 para el rango de transmisión del transmisor de MIMO se utilizan en la etapa 62 de codificación previa para codificar previamente los elementos de símbolos generados por el bloque 60 de mapeo de frecuencia. Por ejemplo, se codifican previamente vectores de símbolos s_1 - s_4 utilizando las matrices del codificador previo W_1 - W_4 para generar vectores de símbolos codificados previamente x_1 - x_4 . Los mismos cuatro codificadores previos se reciclan entonces para codificar los siguientes cuatro vectores de símbolos s_5 - s_8 en la salida paralela del bloque 60 de mapeo de frecuencia para generar vectores de símbolos codificados previamente x_5 - x_8 y así sucesivamente. Las salidas de símbolos codificados previamente se proporcionan en paralelo a un bloque 64 de transformada rápida de Fourier inversa (IFFT) que convierte los símbolos del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo para generar una señal única, compleja, del dominio del tiempo $x(t)$, que se mapea a las N_T antenas 66, y también puede insertar un prefijo cíclico.

La Figura 7 es un diagrama de bloques de función no limitante, de ejemplo, de un receptor 70 para recibir transmisiones de MIMO desde el transmisor 50 en la Figura 6. N_R antenas 71 reciben las señales recibidas $y(t)$ respectivas, que se proporcionan a un bloque 72 de transformada rápida de Fourier (FFT) que a su vez, convierte las señales recibidas del dominio del tiempo en el dominio de la frecuencia y puede eliminar un prefijo cíclico si se inserta en el transmisor. Cada conjunto de cuatro salidas paralelas del bloque 72 FFT se proporciona a un "banco" de cuatro filtros 74 correspondientes a los cuatro codificadores previos utilizados en la etapa 62 de codificación previa en la Figura 6. Por ejemplo, los símbolos recibidos y_1 - y_4 son filtrados por los filtros correspondientes (filtro₁-filtro₄) para generar las señales de recepción aproximadas s_1 - s_4 . Si el canal de radio de MIMO es suficientemente estático sobre las sub-frecuencias 1-8 (asumiendo un sistema de tipo OFDM), entonces los filtros 1-4 se pueden reutilizar para los filtros 5-8 como se muestra en la Figura 7. El bloque 76 de mapeo de frecuencia mapea los símbolos de recepción aproximados a una señal de símbolo aproximada combinada en el dominio del tiempo $s^{\wedge}(t)$. El bloque 78 de mapeo de capa mapea esta señal aproximada en una o dos de las palabras de código de símbolo próximas. La(s) palabra(s) de código de símbolo se procesan en un bloque 80 de demodulación y de descodificación de control de errores, que produce un dato 82 descodificado que con suerte corresponde a lo que fue transmitido desde la fuente de datos 52 en el transmisor.

La tecnología en esta aplicación es aplicable a otros tipos de técnicas de acceso vía radio. Las Figuras 8 y 9 son dos ejemplos diferentes de canales eficaces descritos en la sección de antecedentes. En el ejemplo de LTE anterior, se supone que el sistema es un sistema de tipo OFDM tal como el que se muestra en la Figura 8. La Figura 9, muestra una aplicación de ejemplo para un sistema de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA). Aquí, los símbolos x codificados previamente se convierten, del formato paralelo al serie, en una señal de símbolo $x(t)$ codificada previamente para transmisión a través de las antenas de MIMO. En el lado del receptor, las señales de recepción de la antena $y(t)$ se combinan en una sola señal recibida, se igualan en un ecualizador, y luego se convierten al formato paralelo para producir los símbolos recibidos para el filtrado del codificador previo. En particular, la necesidad de realizar operaciones de IFFT/FFT, así como añadir y eliminar prefijos cíclicos no es necesaria en el caso de WCDMA.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos no limitantes, de ejemplo, para transmisión de MIMO con ciclo del codificador previo y se titula "Figura de Transmisión de MIMO con Ciclo del Codificador previo". Los

5 flujos de bits plurales se modulan en múltiples vectores de símbolos de datos (**s1-s8**), teniendo cada vector un rango de transmisión, con un vector para cada canal de MIMO (paso S10). Como se ha explicado anteriormente, el rango de transmisión es el número de elementos en un vector de símbolos de datos correspondiente al número de flujos de datos que se transmiten en paralelo a través de cada canal de MIMO. Los múltiples vectores de símbolos de datos se codifican previamente en múltiples vectores de símbolos codificados previamente utilizando una pluralidad de conjuntos de ciclos del codificador previo, un conjunto para cada rango de transmisión que incluye múltiples codificadores previos diferentes (paso S11). Los codificadores previos en cada conjunto de ciclos del codificador previo se separan sustancialmente con respecto a una pluralidad de medidas de distancia. Cada vector de símbolos de datos de un rango de transmisión se codifica previamente con un codificador previo perteneciente al conjunto de ciclos del codificador previo de ese rango de transmisión. Los vectores de símbolos codificados previamente se transmiten entonces a través de los canales de MIMO (paso S12).

15 Los datos que se transmiten como se ha descrito anteriormente pueden ser recibidos por un receptor configurado basándose en el ciclo del codificador previo realizado en el transmisor. Se reciben múltiples vectores de símbolos de recepción, uno por cada canal de MIMO. La pluralidad de flujos de bits transmitidos se detecta entonces a partir de los vectores de símbolos recibidos. Por ejemplo, cada vector de símbolos recibido puede filtrarse con un filtro que se determina basándose en el codificador previo correspondiente utilizado para codificar previamente los datos transmitidos a través del canal de MIMO correspondiente. Los vectores filtrados de símbolos recibidos se descodifican entonces en la pluralidad de flujos de bits transmitidos.

20 En resumen, se seleccionan matrices de codificación previa específicas de un libro de códigos y se utilizan para los ciclos de bucle abierto del codificador previo. Para todos los rangos de canal, las matrices del ciclo del codificador previo están preferiblemente asociadas al mismo conjunto de índices en el libro de códigos (el mismo conjunto de filas en una representación de tabla). Esto permite una implementación del receptor eficiente porque para cada rango de transmisión, muchas columnas en las matrices del codificador previo son comunes con las matrices del codificador previo utilizadas para otros rangos. Para todos los rangos de canal, las matrices del ciclo del codificador previo están preferiblemente separadas al máximo (pero al menos sustancialmente) utilizando una o más medidas de distancia para dispersar de manera isotrópica la energía transmitida. En una realización de ejemplo no limitante, se asume un período del ciclo del codificador previo de cuatro, es decir, se utilizan cuatro matrices de codificación previa diferentes en diferentes sub-portadoras, pero pueden utilizarse otros períodos del ciclo. Es preferible pero no necesario, utilizar las matrices predeterminadas de codificación previa diferentes por igual muchas veces durante una palabra de código. Puede utilizarse un grupo de ciclos de algún número distinto de cuatro codificadores previos. Para el caso de ejemplo presentado anteriormente, se encontró un grupo óptimo utilizando un conjunto de medidas de distancia de ejemplo específicas. Pero en otros casos, varios grupos pueden ser de manera equivalente o casi tan buena. Se pueden utilizar otros aspectos adicionales para elegir un grupo, por ejemplo, un grupo sólo con matrices de codificación previa de valor real. También se pueden utilizar otras medidas de distancia.

40 El rendimiento y la complejidad de los beneficios del ciclo del codificador previo con conjuntos de ciclos del codificador previo que están diseñados para satisfacer uno, alguno, o preferiblemente, todos de los siguientes cuatro criterios: el conjunto de ciclos del codificador previo tiene propiedades de distancia optimizadas con respecto a una pluralidad de métricas de distancia a fin de conseguir la máxima diversidad espacial; codificadores previos de diferente rango de transmisión comparten columnas con el fin de simplificar la adaptación del rango de transmisión; los elementos de las matrices del codificador previo son de valor real y diametralmente opuestos, lo que simplifica la implementación de hardware de la operación de codificación previa; y las matrices del codificador previo tienen una estructura de bloques en diagonal a fin de utilizar al máximo las propiedades de las configuraciones de antena de polarización cruzada. Para un libro de códigos del codificador previo de LTE para cuatro antenas de transmisión, los inventores proponen ciclos del codificador previo con los codificadores previos representados por los índices 12, 13, 14, y 15 del libro de códigos en la Tabla 1. Este libro de códigos de ciclos del codificador previo satisface las cuatro de estas propiedades deseables, y los conjuntos de ciclos asociados del codificador previo están a distancia óptima con respecto a todas las medidas de distancia consideradas para todos los rangos de transmisión. Aunque se han mostrado y descrito en detalle varias realizaciones, las reivindicaciones no están limitadas a ninguna realización o ejemplo particular. El alcance del objeto de estudio patentado está definido únicamente por las reivindicaciones. El grado de protección jurídica se define por las palabras recitadas en las reivindicaciones permitidas.

55

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir datos a través de una pluralidad de canales de entrada múltiple y salida múltiple, MIMO, que comprende:

modular una pluralidad de flujos de bits en múltiples vectores de símbolos de datos (s1-s8), teniendo cada vector un rango de transmisión con un vector por cada canal de MIMO, en donde el rango de transmisión es el número de elementos en un vector de símbolos de datos correspondiente al número de flujos de datos que se transmiten en paralelo a través de cada canal de MIMO;
 codificar previamente los múltiples vectores de símbolos de datos en múltiples vectores de símbolos codificados previamente (x1-x8) utilizando múltiples codificadores previos, en donde un codificador previo es una matriz que tiene varias columnas, perteneciente a un primer libro de códigos de ciclos de bucle abierto del codificador previo de los codificadores previos que están agrupados en conjuntos de ciclos del codificador previo, incluyendo un conjunto para cada rango de transmisión múltiples codificadores previos diferentes, en donde los codificadores previos, dentro de cada conjunto de ciclos del codificador previo, están separados con respecto a una pluralidad de medidas de distancia, en donde la codificación previa incluye codificar previamente cada vector de símbolos de datos de un rango de transmisión con un codificador previo perteneciente al conjunto de ciclos del codificador previo de ese rango de transmisión; y
 transmitir los vectores de símbolos codificados previamente a través de la pluralidad de canales de MIMO; y en donde el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo comprende los codificadores previos asociados con los índices 12, 13, 14, y 15 del libro de códigos en la siguiente tabla donde una cantidad $W_n^{(s)}$ denota una matriz del codificador previo definida por las columnas dadas por el conjunto {s} a partir de la expresión $W_n = I - 2u_n u_n^H / u_n^H u_n$ donde I es una matriz de identidad 4x4 y vector u_n :

Índice del libro de códigos	u_n	Rango de Transmisión			
		1	2	3	4
12	$u_{12} = [1 -1 -1 1]^T$	$W_{12}^{\{1\}}$	$W_{12}^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_{12}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{12}^{\{1234\}} / 2$
13	$u_{13} = [1 -1 1 -1]^T$	$W_{13}^{\{1\}}$	$W_{13}^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_{13}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{13}^{\{1324\}} / 2$
14	$u_{14} = [1 -1 -1 -1]^T$	$W_{14}^{\{1\}}$	$W_{14}^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_{14}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{14}^{\{3214\}} / 2$
15	$u_{15} = [1 1 1 1]^T$	$W_{15}^{\{1\}}$	$W_{15}^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_{15}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{15}^{\{1234\}} / 2$

2. El método en la reivindicación 1, en donde la pluralidad de canales de MIMO corresponde a sub-portadoras obtenidas utilizando multiplexación por división en frecuencia ortogonal, OFDM.

3. El método en la reivindicación 1 ó 2, en donde un codificador previo comparte una o más de las mismas columnas, sin tener en cuenta los factores de normalización, con un codificador previo en un conjunto de ciclos del codificador previo de un rango de transmisión mayor.

4. El método en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en donde un número de rangos de transmisión es de cuatro.

5. El método en la reivindicación 4, en donde, sin tener en cuenta los factores de normalización, cada codificador previo perteneciente a un conjunto de ciclos del codificador previo de un primer rango de transmisión, se incluye como una columna o columnas en un codificador previo perteneciente a un conjunto de ciclos del codificador previo de un segundo rango de transmisión, en donde cada codificador previo perteneciente a un conjunto de ciclos del codificador previo de un primer o un segundo rango de transmisión se incluye como columnas en un codificador previo perteneciente a un conjunto de ciclos del codificador previo de un tercer rango de transmisión, y en donde cada codificador previo perteneciente a un conjunto de ciclos del codificador previo de un primer, segundo o tercer rango de transmisión se incluye como columnas en un codificador previo perteneciente a un conjunto de ciclos del codificador previo de un cuarto rango de transmisión.

6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde:

uno o más tipos diferentes de medidas de distancia definen una o más distancias entre codificadores previos del mismo rango de transmisión,

el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo es un subconjunto de un libro de códigos fuente del codificador previo que incluye múltiples codificadores previos de una pluralidad de rangos de transmisión; y no existe segundo libro de códigos de ciclos del codificador previo que satisfaga las siguientes condiciones:

- 5 1) el segundo libro de códigos de ciclos del codificador previo es un subconjunto del libro de códigos fuente del codificador previo,
- 10 2) cada uno de los conjuntos de ciclos del codificador previo, uno para cada rango de transmisión, asociados con el segundo libro de códigos de ciclos del codificador previo, tiene el mismo número de codificadores previos que el conjunto de ciclos del codificador previo correspondiente del primer libro de códigos de ciclos del codificador previo,
- 15 3) cada uno de los conjuntos de ciclos del codificador previo, uno para cada rango de transmisión, asociados con el segundo libro de códigos de ciclos del codificador previo, tiene propiedades de distancia iguales o mejores, con respecto a una o más medidas de distancia, que el conjunto de ciclos del codificador previo correspondiente del primer libro de códigos de ciclos del codificador previo, y
- 20 4) al menos uno de los conjuntos de ciclos del codificador previo asociado con el segundo libro de códigos de ciclos del codificador previo, tiene propiedades de distancia mejores, con respecto al menos a una de las medidas de distancia, que el conjunto de ciclos del codificador previo correspondiente asociado con el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo.

7. El método de la reivindicación 6, en donde el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo tiene la propiedad adicional de que cada uno de los conjuntos de ciclos del codificador previo tiene propiedades de distancia iguales o mejores, con respecto a una o más medidas de distancia, que el conjunto de ciclos del codificador previo correspondiente, de cualquier tercer libro de códigos de ciclos alternativo del codificador previo; dado que el número de codificadores previos en cada uno de los conjuntos de ciclos del codificador previo del tercer libro de códigos de ciclos del codificador previo es igual al número de codificadores previos en el conjunto de ciclos del codificador previo correspondiente del primer libro de códigos de ciclos del codificador previo.

8. El método en cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, en donde el libro de códigos fuente es un libro de códigos especificado por el estándar LTE.

9. El método en la reivindicación 8, en donde el libro de códigos se define para la transmisión en cuatro puertos de antena de acuerdo con la siguiente tabla donde una cantidad $W_n^{(s)}$ denota una matriz del codificador previo definida por las columnas dadas por el conjunto $\{s\}$ a partir de la expresión $W_n = I - 2u_n u_n^H / u_n^H u_n$ donde I es una matriz de identidad 4x4 y vector u_n :

Índice del libro de códigos	u_n	Rango de Transmisión			
		1	2	3	4
0	$u_0 = [1 \ -1 \ -1 \ -1]^T$	$W_0^{(14)}$	$W_0^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_0^{(124)} / \sqrt{5}$	$W_0^{(1234)} / 2$
1	$u_1 = [1 \ j \ 1 \ j]^T$	$W_1^{(14)}$	$W_1^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_1^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_1^{(1234)} / 2$
2	$u_2 = [1 \ 1 \ -1 \ 1]^T$	$W_2^{(14)}$	$W_2^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_2^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_2^{(1314)} / 2$
3	$u_3 = [1 \ j \ 1 \ -j]^T$	$W_3^{(14)}$	$W_3^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_3^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_3^{(1314)} / 2$
4	$u_4 = [1 \ (-1-j)/\sqrt{2} \ -j \ (1-j)/\sqrt{2}]^T$	$W_4^{(14)}$	$W_4^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_4^{(124)} / \sqrt{5}$	$W_4^{(1234)} / 2$
5	$u_5 = [1 \ (1-j)/\sqrt{2} \ j \ (-1-j)/\sqrt{2}]^T$	$W_5^{(14)}$	$W_5^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_5^{(124)} / \sqrt{5}$	$W_5^{(1234)} / 2$
6	$u_6 = [1 \ (1+j)/\sqrt{2} \ -j \ (-1+j)/\sqrt{2}]^T$	$W_6^{(14)}$	$W_6^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_6^{(134)} / \sqrt{5}$	$W_6^{(1324)} / 2$
7	$u_7 = [1 \ (-1+j)/\sqrt{2} \ j \ (1+j)/\sqrt{2}]^T$	$W_7^{(14)}$	$W_7^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_7^{(134)} / \sqrt{5}$	$W_7^{(1324)} / 2$
8	$u_8 = [1 \ -1 \ -1 \ 1]^T$	$W_8^{(14)}$	$W_8^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_8^{(124)} / \sqrt{5}$	$W_8^{(1234)} / 2$
9	$u_9 = [1 \ j \ -1 \ -j]^T$	$W_9^{(14)}$	$W_9^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_9^{(134)} / \sqrt{5}$	$W_9^{(1234)} / 2$
10	$u_{10} = [1 \ 1 \ 1 \ -1]^T$	$W_{10}^{(14)}$	$W_{10}^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_{10}^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_{10}^{(1324)} / 2$
11	$u_{11} = [1 \ j \ -1 \ j]^T$	$W_{11}^{(14)}$	$W_{11}^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_{11}^{(134)} / \sqrt{5}$	$W_{11}^{(1324)} / 2$
12	$u_{12} = [1 \ -1 \ -1 \ 1]^T$	$W_{12}^{(14)}$	$W_{12}^{(12)} / \sqrt{2}$	$W_{12}^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_{12}^{(1234)} / 2$
13	$u_{13} = [1 \ -1 \ 1 \ -1]^T$	$W_{13}^{(14)}$	$W_{13}^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_{13}^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_{13}^{(1324)} / 2$
14	$u_{14} = [1 \ 1 \ -1 \ -1]^T$	$W_{14}^{(14)}$	$W_{14}^{(14)} / \sqrt{2}$	$W_{14}^{(123)} / \sqrt{5}$	$W_{14}^{(1324)} / 2$

(continuado)

Índice del libro de códigos	u_n	Rango de Transmisión			
		1	2	3	4
15	$u_{15} = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$	W_{15}^{11}	$W_{15}^{12} / \sqrt{2}$	$W_{15}^{123} / \sqrt{3}$	$W_{15}^{1234} / 2$

10. El método en cualquiera de las reivindicaciones 6-9, en donde se utilizan múltiples medidas de distancia e incluyen la distancia en la cuerda, la distancia de proyección de dos normas y la distancia de Estudio de Fubini.

5 11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en donde todos los codificadores previos que pertenecen a un conjunto de ciclos del codificador previo son matrices de valor real con elementos diametralmente opuestos o una rotación compleja de tales matrices.

10 12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde uno de los conjuntos de ciclos del codificador previo en el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo tiene una estructura de bloques en diagonal que incluye:

una matriz unitaria puesta a escala;
 una pluralidad de matrices de bloques en diagonal, en donde una matriz de bloques en diagonal es una matriz que tiene todos los elementos distintos de cero en bloques a lo largo de una diagonal; y
 15 una pluralidad de subconjuntos de columnas de una pluralidad de matrices de bloques en diagonal, en donde un subconjunto de columnas de una primera matriz es una segunda matriz formada a partir de una pluralidad de columnas de la primera matriz ordenada arbitrariamente, y
 en donde cada codificador previo en el conjunto de ciclos del codificador previo es un producto matricial de la matriz unitaria puesta a escala multiplicada por uno de la pluralidad de subconjuntos de columnas de una
 20 pluralidad de matrices de bloques en diagonal.

25 13. Un método según la reivindicación 12, en donde todos los conjuntos de ciclos de codificación previa, en el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo de los codificadores previos tienen la estructura de bloques en diagonal, y en donde la matriz unitaria puesta a escala y la permutación de columnas son las mismas para todos los conjuntos de ciclos de codificación previa, en el primer libro de códigos de ciclos del codificador previo de los codificadores previos.

30 14. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 y 13, en donde los codificadores previos tienen cuatro filas y la matriz unitaria puesta a escala viene dada por:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

o una permutación de fila y/o columna de la misma.

35 15. Un transmisor (50) para transmitir datos a través de una pluralidad de canales de entrada múltiple y salida múltiple, MIMO, de acuerdo con el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-14.

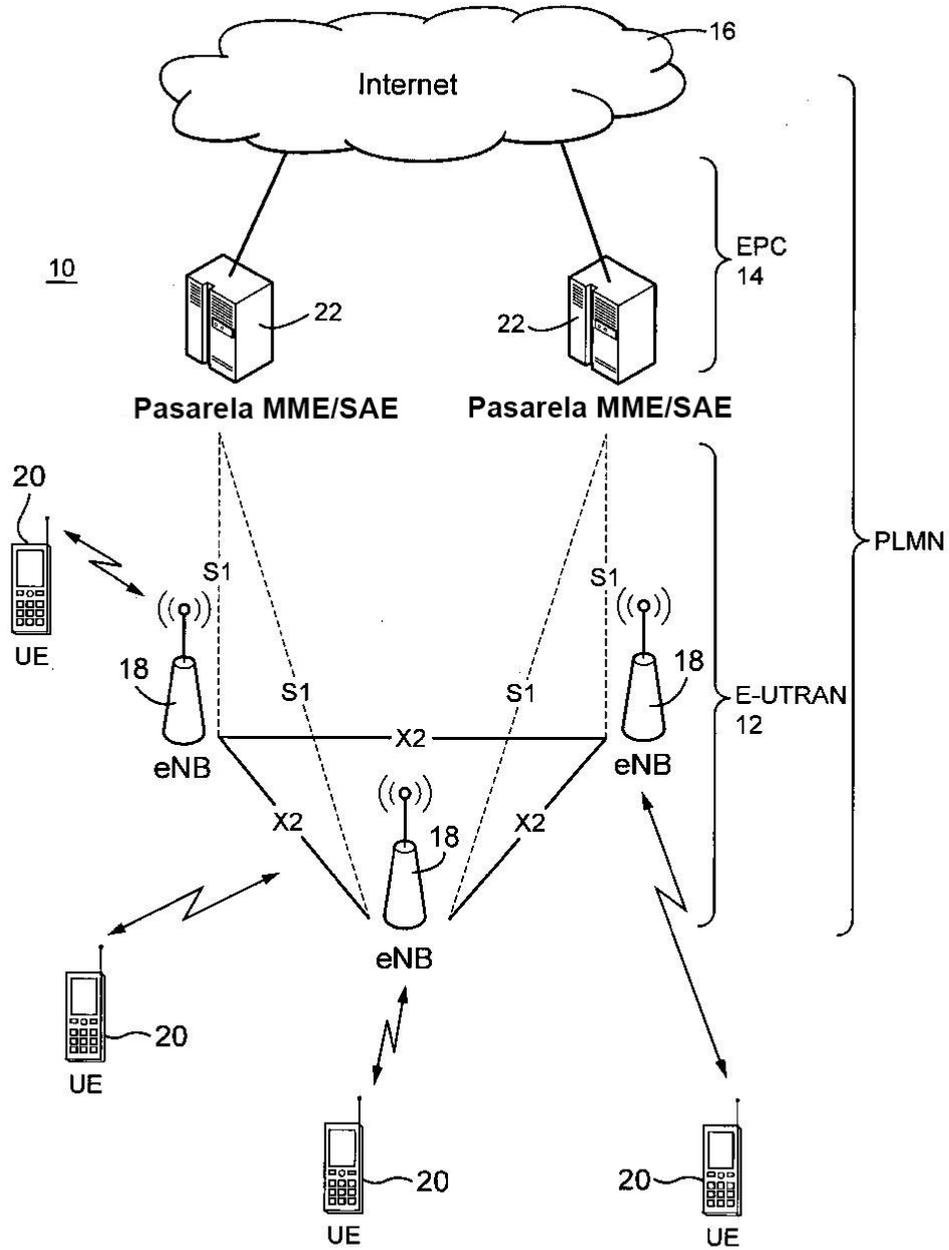


Figura 1

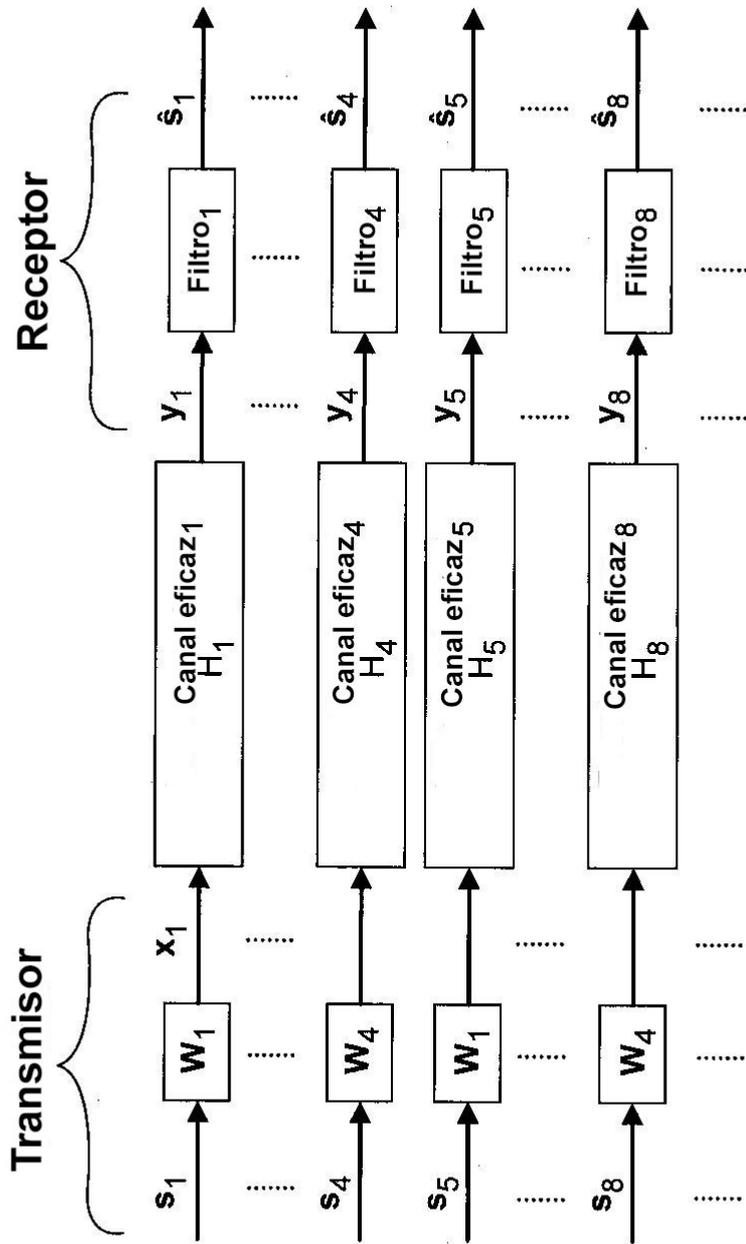


Figura 2

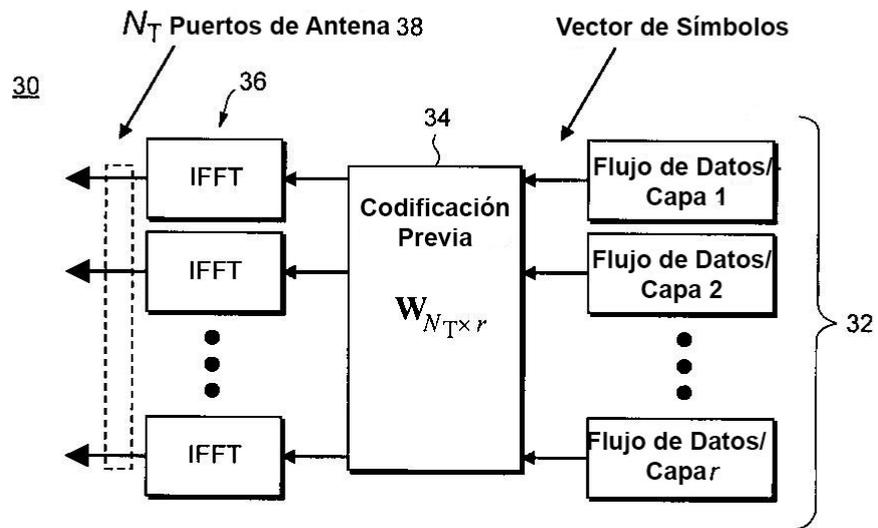


Figura 3

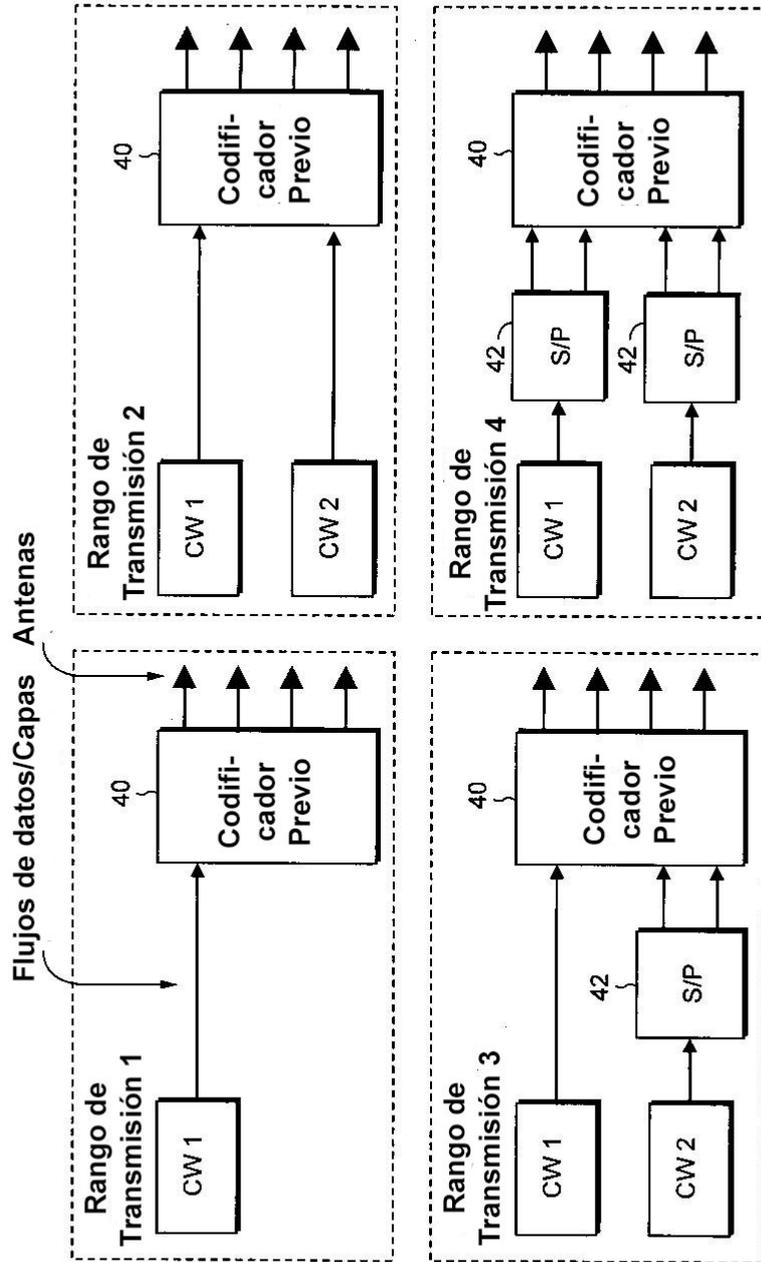


Figura 4

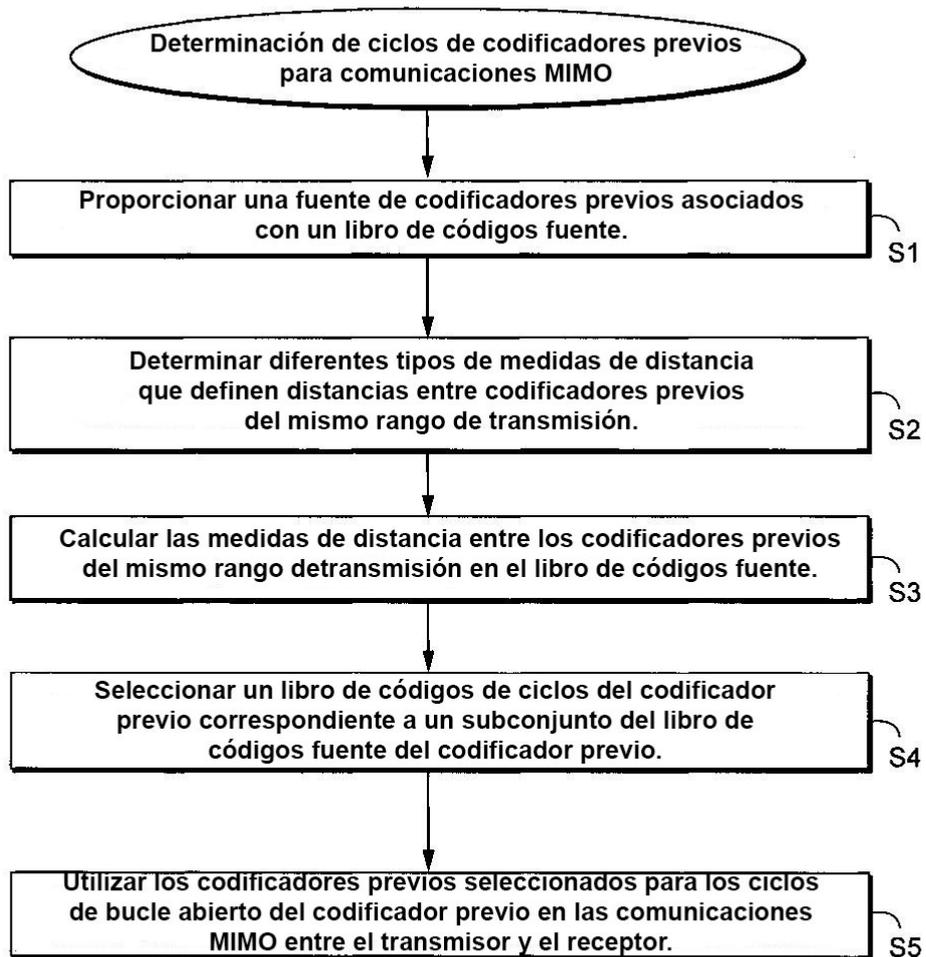


Figura 5

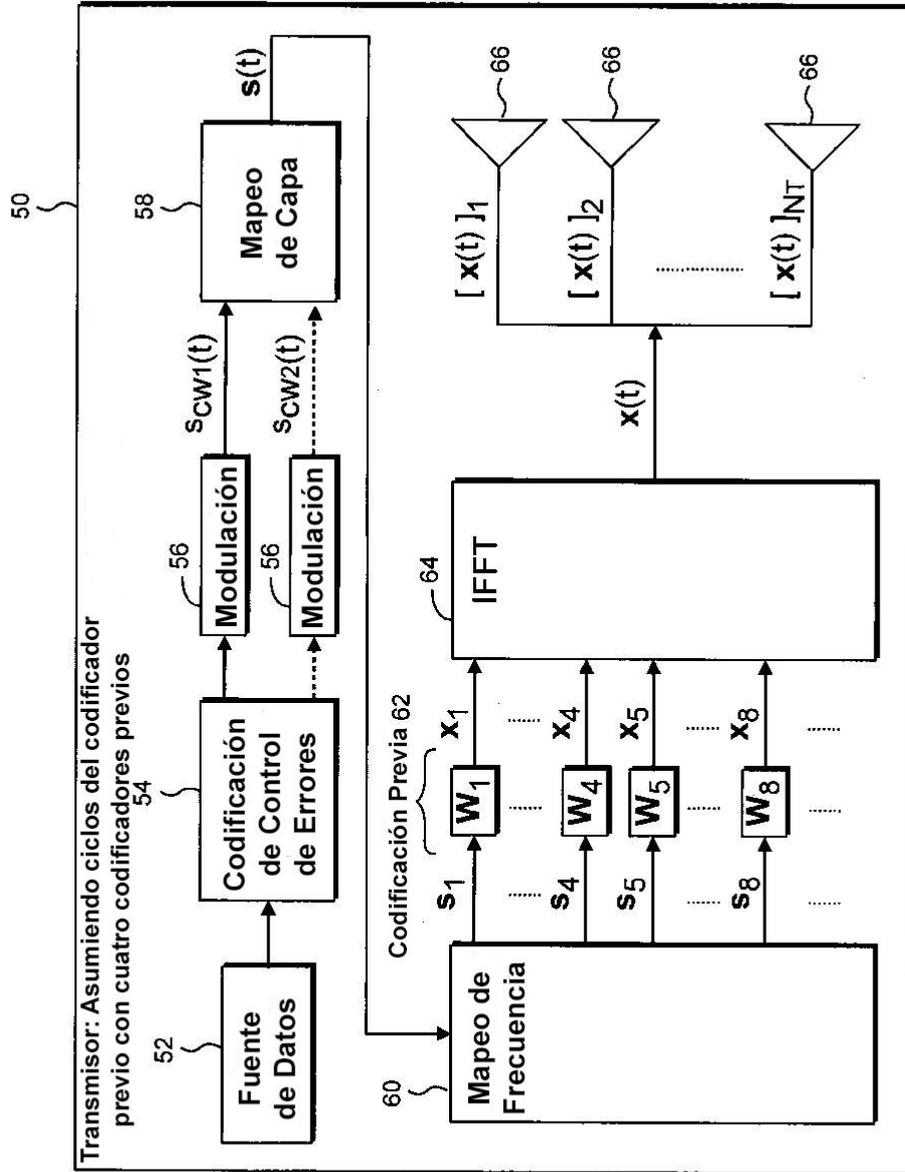


Figura 6

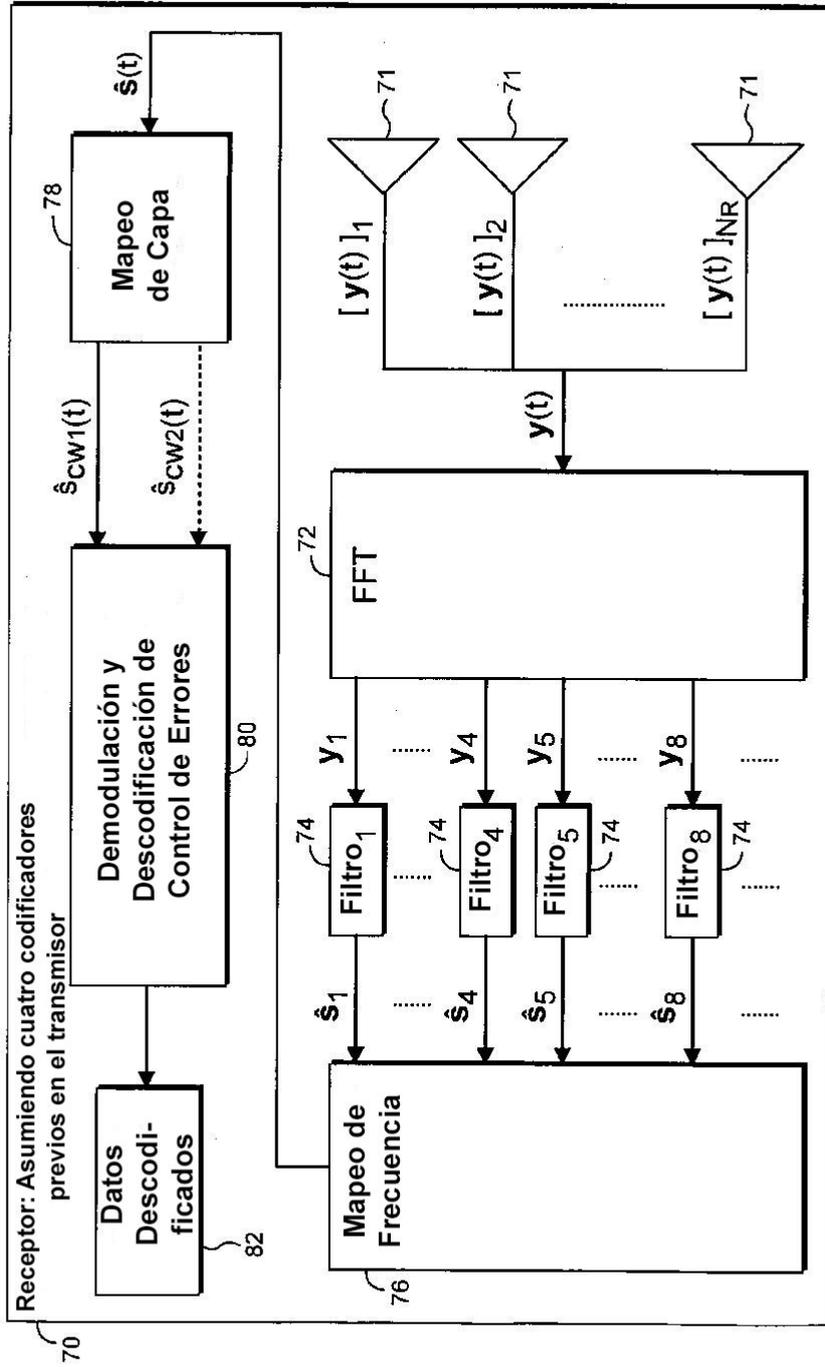


Figura 7

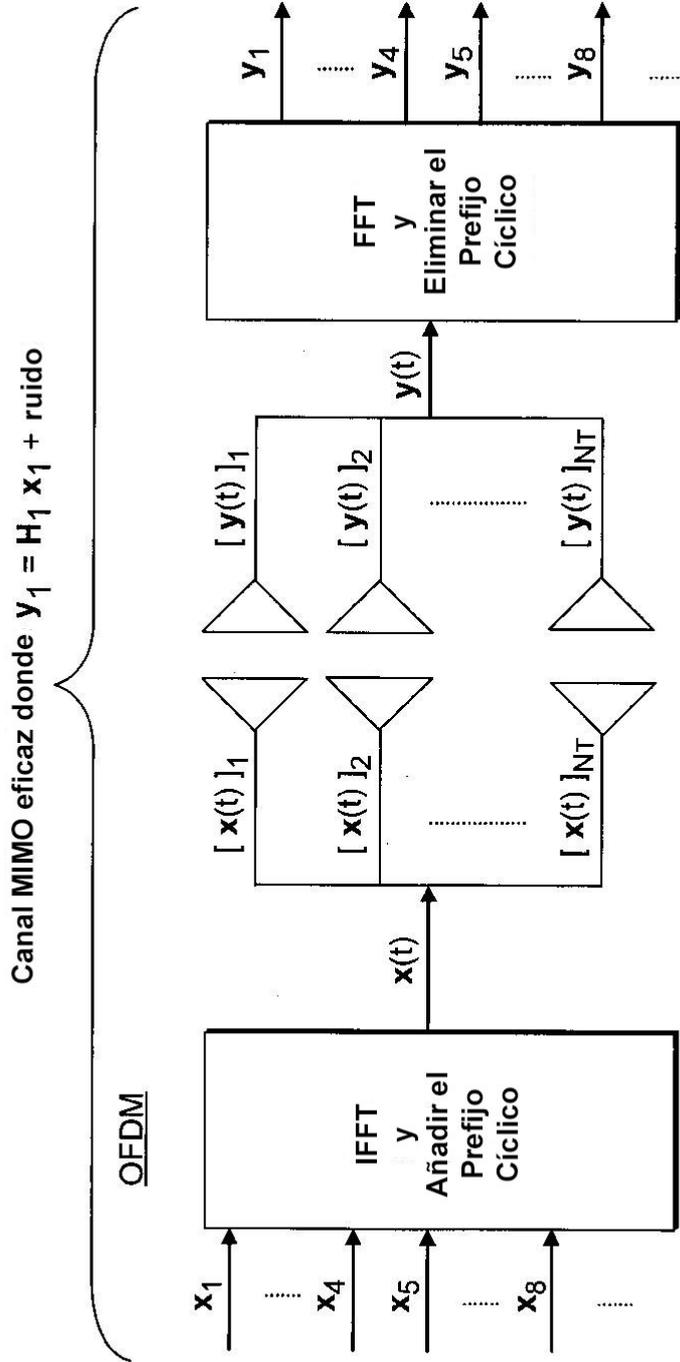


Figura 8

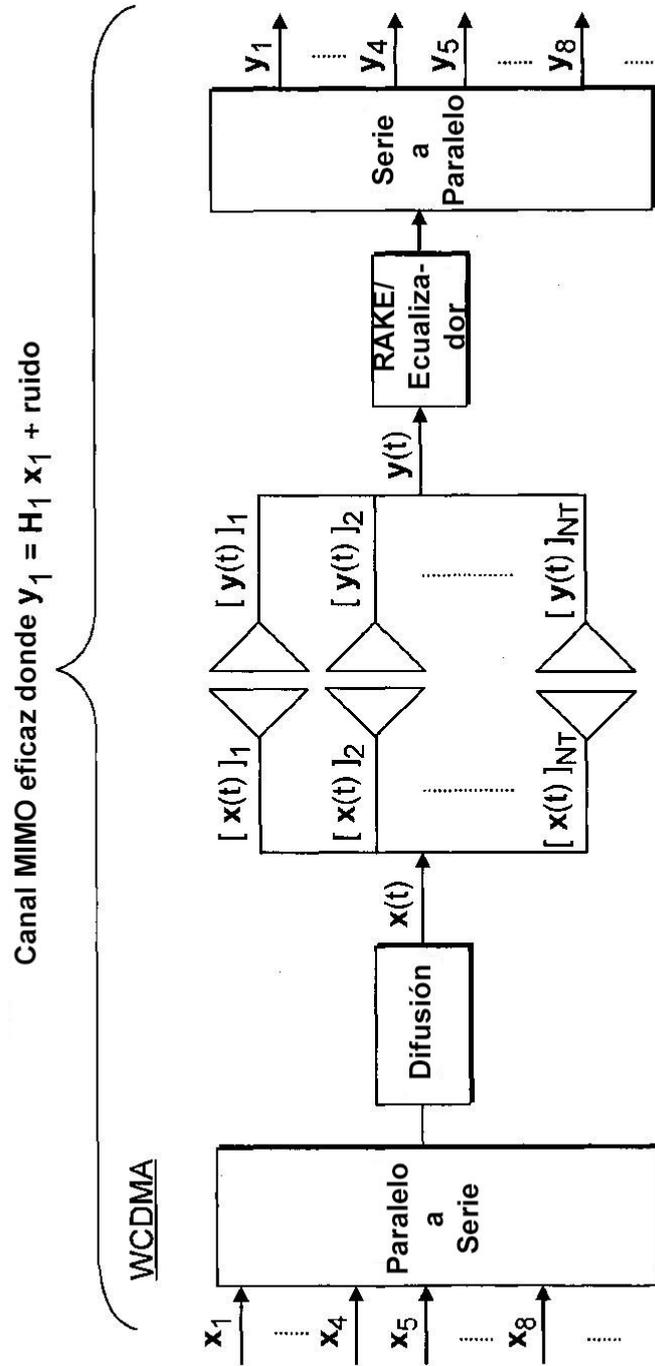


Figura 9

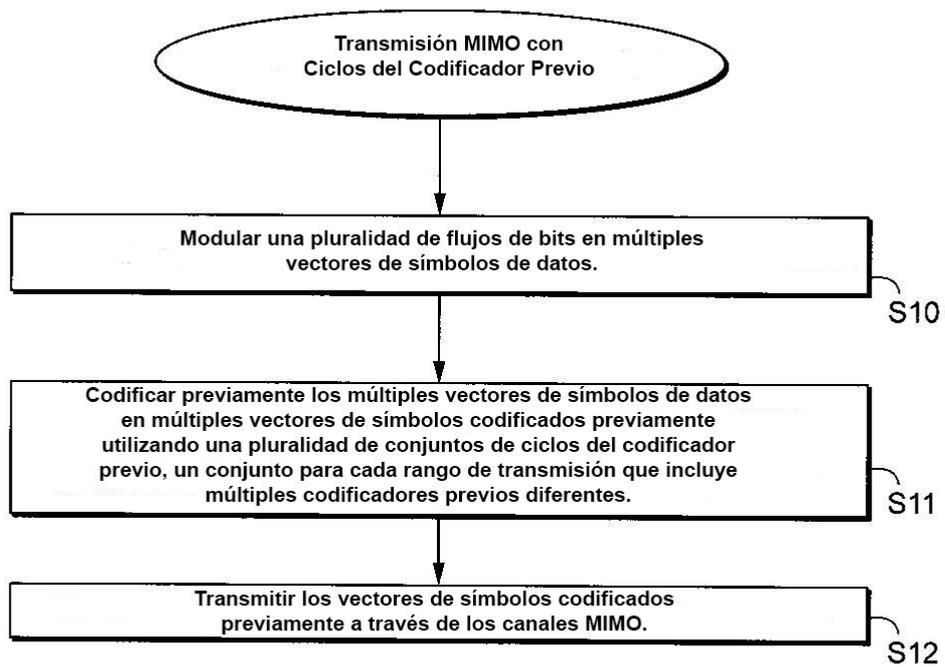


Figura 10