

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 407 118**

51 Int. Cl.:

H04L 25/03 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04B 7/08 (2006.01)

H04B 7/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2008 E 08724320 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 2145400**

54 Título: **Método y disposición para adaptar una transmisión multi-antena**

30 Prioridad:

30.04.2007 SE 0701054

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

11.06.2013

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET L M ERICSSON
(PUBL) (100.0%)
164 83 STOCKHOLM, SE**

72 Inventor/es:

JÖNGREN, GEORGE

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 407 118 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y disposición para adaptar una transmisión multi-antena

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un método y una disposición en un primer nodo y a un método y una disposición en un segundo nodo. En particular, se refiere a la adaptación de una transmisión multi-antena del primer nodo al segundo nodo a través de un canal inalámbrico.

Antecedentes

10 El uso de múltiples antenas en un transmisor y/o un receptor de un nodo en un sistema de comunicaciones inalámbricas puede potenciar significativamente la capacidad y la cobertura del sistema de comunicaciones inalámbricas. Dichos sistemas de Múltiples Entradas Múltiples Salidas (MIMO) aprovechan la dimensión espacial del canal de comunicaciones para mejorar el rendimiento, por ejemplo, transmitiendo varias señales paralelas portadoras de información, lo cual se denomina multiplexado espacial. Adaptando la transmisión a las condiciones actuales de los canales, se pueden lograr ganancias adicionales significativas. Una forma de adaptación es ajustar dinámicamente, de un Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI) a otro, el número de señales portadoras de información transmitidas simultáneamente, según lo que pueda soportar el canal. A esto se le hace referencia comúnmente como adaptación al rango de transmisión. La precodificación es otra forma relacionada de adaptación en la que las fases y amplitudes de las señales antes mencionadas se ajustan para adecuarse mejor a las propiedades actuales de los canales. La conformación de haz clásica es un caso especial de precodificación en el cual se ajusta la fase de una señal portadora de información en cada antena de transmisión, de manera que todas las señales transmitidas se suman constructivamente en el receptor. El uso de la precodificación se puede ver en el documento WO 2006/049417.

25 Las señales forman una señal de valor vectorial, y el ajuste se puede considerar como una multiplicación por una matriz de precodificación. La matriz de precodificación se selecciona basándose en información sobre las propiedades del canal. Un planteamiento común es seleccionar la matriz de precodificación a partir de un conjunto finito y contable, el denominado libro de códigos. Dicha precodificación basada en un libro de códigos es una parte integral de la normativa de Evolución a Largo Plazo (LTE), y también habrá soporte para la misma en MIMO para el Acceso por Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad (HSDPA) en el Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA). En este caso, el receptor (por ejemplo, Equipo de Usuario, UE) típicamente evaluaría todas las matrices de precodificación diferentes en el libro de códigos y señalaría al transmisor (por ejemplo, Nodo B) qué elemento se prefiere. A continuación, el transmisor usaría la información señalizada, al decidir qué matriz de precodificación aplicar. Puesto que es necesario señalar índices del libro de códigos, y es necesario que el receptor seleccione un elemento adecuado del libro de códigos, es importante mantener el tamaño del libro de códigos lo más pequeño posible. Por otro lado, los libros de códigos más grandes garantizan que es posible encontrar una entrada que coincida con mayor fidelidad con las condiciones actuales del canal.

35 La precodificación basada en libros de códigos se puede considerar como una forma de cuantificación de canales. Alternativamente, pueden usarse métodos que calculen la matriz de precodificación sin recurrir a la cuantificación.

El objetivo fundamental del diseño de los libros de códigos de precodificación es mantener el tamaño del libro de códigos a un valor pequeño aunque todavía logrando un rendimiento lo más alto posible. Por lo tanto, el diseño de los elementos en el libro de códigos resulta crucial con el fin de lograr el rendimiento deseado.

40 Las diferentes configuraciones de las redes de antenas influyen en cómo deberían diseñarse los elementos de los libros de códigos. Muchas soluciones existentes se han diseñado teniendo en mente un desvanecimiento de canales sin correlación espacial y en donde cada coeficiente de los canales se desvanece con la misma potencia media. No obstante, un modelo de canales de este tipo no resulta suficientemente preciso cuando se usan redes de antenas con polarización cruzada. Consecuentemente, los diseños existentes no son adecuados para dicha configuración – una configuración de las antenas que en la práctica se considera importante.

45 Para entender por qué los diseños existentes personalizados para coeficientes de canales con igual potencia no son eficientes para una configuración de redes de antenas con polarización cruzada, considérese, para simplificar, un sistema MIMO de 2x2 en el cual tanto el transmisor como el receptor usan redes con polarización cruzada y las dos polarizaciones ortogonales están alineadas en el lado de transmisión y de recepción, por ejemplo, un par de antenas polarizadas vertical y horizontalmente a ambos lados del enlace. La matriz de canal MIMO tendrá entonces una carga pesada en la diagonal, lo cual significa que los elementos de la diagonal por norma general tendrán sustancialmente más potencia que los que están fuera de la diagonal, puesto que las polarizaciones vertical y horizontal por norma general están bastante bien separadas incluso después de haberse sometido al canal de radiocomunicaciones y llegar al receptor. Para un canal de este tipo, un libro de códigos apropiado de tamaño mínimo contiene los vectores unidad y la matriz identidad. Esto garantiza que cuando se efectúa una transmisión de un flujo continuo (transmisión de rango uno), toda la potencia de transmisión se puede asignar a la antena con el canal fuerte y no se desperdicia potencia en la otra antena, que por norma general no podrá comunicar potencia significativa al receptor. La razón para esto último, es debido a la configuración con polarización cruzada

conjuntamente con la selección de la transmisión de rango uno, lo cual significa que la matriz de canal tendrá típicamente solo un elemento con una potencia sustancialmente mayor que cero y ese elemento estará situado en la diagonal.

5 Por tanto, toda la potencia debería asignarse a la antena que se corresponde con el elemento de la diagonal, diferente de cero, antes mencionado. No obstante, para un diseño de un precodificador que busca un escenario con coeficientes de canal de igual potencia, esto típicamente no es así. Esto se garantiza por medio de una estructura diagonal del precodificador o una estructura de libro de códigos del precodificador. Para sistemas MIMO con más de dos antenas de transmisión (Tx), resulta adecuada una estructura diagonal por bloques.

10 Como ya se ha mencionado, las redes de polarización cruzada con polarización vertical y horizontal en el transmisor tienden a dar como resultado conductos de transmisión bien separados, lo cual resulta atractivo para la transmisión MIMO de múltiples flujos continuos. Desde esta perspectiva, el uso común de redes con polarización cruzada de ± 45 grados no resulta tan atractivo, puesto que las transmisiones de las dos polarizaciones diferentes se mezclan en la polarización tanto vertical como horizontal. Esto, potencialmente, hace que aumente la interferencia entre flujos continuos y, por lo tanto, perjudica al rendimiento MIMO. De este modo, una estructura diagonal por bloques de precodificación no está optimizada para el caso de polarización cruzada de ± 45 , la cual es una configuración muy común en los despliegues existentes.

15 Otro problema con una estructura diagonal por bloques es que la misma conduce a problemas de desequilibrio de potencia entre los Amplificadores de Potencia (PAs). No todos los PAs funcionan a potencia completa a no ser que se use la agrupación (*pooling*) de PAs, de manera que la potencia entre los PAs pueda ser compartida. No obstante, la agrupación de PAs puede resultar complicada y cara, y en ocasiones ni siquiera es posible.

20 En la práctica, el grado de separación entre la polarización horizontal y vertical puede variar y, por lo tanto, hacer que aumente la interferencia entre flujos continuos si el esquema MIMO se basa meramente en la polarización para separar los flujos continuos. Esto significa también que puede que no sea deseable un precodificador que sea puramente de estructura diagonal por bloques. De hecho puede resultar apropiada una mezcla de elementos diagonales por bloques y otros elementos. Esto conduce en general a un problema de desequilibrio de potencia en los amplificadores, y debido a la mezcla de elementos diagonales por bloques y que no son diagonales por bloques, las técnicas existentes para la agrupación de PAs ya no son útiles.

Sumario

30 El problema objetivo es proporcionar un mecanismo para mejorar el rendimiento de un canal inalámbrico cuando se usa la precodificación.

35 Según un primer aspecto de la presente invención, el objetivo se logra por medio de un método en un primer nodo para adaptar una transmisión multi-antena a un segundo nodo a través de un canal inalámbrico. El canal inalámbrico tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. El primer nodo y el segundo nodo están comprendidos en un sistema de comunicaciones inalámbricas. El método comprende las etapas de obtener por lo menos un flujo continuo de símbolos, y determinar una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada por la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques. El método comprende las etapas adicionales de precodificar el por lo menos un flujo continuo de símbolos con la matriz de precodificación determinada, y transmitir el por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado a través de un canal inalámbrico al segundo nodo.

40 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, el objetivo se logra por medio de un método en un segundo nodo para recibir una transmisión multi-antena desde un primer nodo a través de un canal inalámbrico. El canal inalámbrico tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. El primer nodo y el segundo nodo están comprendidos en un sistema de comunicaciones inalámbricas. El método comprende la etapa de recibir una transmisión correspondiente a por lo menos un flujo continuo de símbolos a través de un canal inalámbrico transportado desde el primer nodo. El por lo menos un flujo continuo de símbolos se precodifica con una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada mediante la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques.

50 Según un tercer aspecto de la presente invención, el objetivo se logra mediante una disposición en un primer nodo para adaptar una transmisión multi-antena a un segundo nodo a través de un canal inalámbrico. El canal inalámbrico tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. El primer nodo y el segundo nodo están comprendidos en un sistema de comunicaciones inalámbricas. La disposición del primer nodo comprende una unidad de obtención configurada para obtener por lo menos un flujo continuo de símbolos, y una unidad de determinación configurada para determinar una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada mediante la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques. La disposición del primer nodo comprende además una unidad de precodificación configurada para precodificar el por lo menos un flujo continuo de símbolos con la matriz de precodificación determinada, y una unidad de transmisión configurada para transmitir el por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado a través de un canal inalámbrico al segundo nodo.

- Según un cuarto aspecto de la presente invención, el objetivo se logra mediante una disposición en un segundo nodo para recibir una transmisión multi-antena desde un primer nodo a través de un canal inalámbrico. El canal inalámbrico tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. El primer nodo y el segundo nodo están comprendidos en un sistema de comunicaciones inalámbricas. La disposición del segundo nodo comprende una
- 5 unidad de recepción configurada para recibir una transmisión correspondiente a por lo menos un flujo continuo de símbolos a través de un canal inalámbrico transportado desde el primer nodo. El por lo menos un flujo continuo de símbolos se precodifica con una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada por la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques.
- 10 Se usa una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto. La matriz de precodificación que tiene una estructura de producto se crea mediante la multiplicación de una matriz diagonal por bloques con una matriz unitaria de diagonalización por bloques. El uso de esta matriz que tiene una estructura de producto, para precodificar un flujo continuo de símbolos cuando se transmite a través de un enlace inalámbrico, ayuda a equilibrar los PAs. Esto implica que se puede emitir más potencia al canal de propagación dando como resultado un rendimiento
- 15 mejorado del canal inalámbrico.
- Esto se demuestra por el hecho de que un libro de códigos multiplicado por las matrices unitarias mencionadas produce un libro de códigos nuevo en el que cada elemento en cada matriz/vector tiene la misma magnitud. Resulta particularmente interesante el uso de una denominada matriz unitaria de diagonalización por bloques, junto con las antenas polarizadas de +-45 desplegadas comúnmente, que logra simultáneamente un equilibrado de potencia y una rotación deseable para la transmisión polarizada en la dirección horizontal y vertical incluso en el caso de una
- 20 mezcla de elementos de precodificación de la diagonal por bloques y algunos elementos de precodificación que no son de la diagonal por bloques.

- Una ventaja con la presente solución es que el uso de la matriz que tiene una estructura de producto mejora el rendimiento, por ejemplo, permitiendo mayores velocidades de datos o una mejor fiabilidad, particularmente cuando las polarizaciones no están separadas perfectamente (por ejemplo, una discriminación por polarización cruzada (XPD) moderada) cuando se usa conjuntamente con redes polarizadas de +-45 grados. Se optimiza también el uso de los PAs reduciendo así el consumo de potencia así como la disipación de calor.
- 25

Breve descripción de los dibujos

- La invención se describe más detalladamente en referencia a dibujos adjuntos que ilustran realizaciones ejemplificativas de la invención y en los cuales:
- 30
- La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de un sistema de comunicaciones inalámbricas.
- La Figura 2 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de un sistema de comunicaciones inalámbricas.
- 35 La Figura 3 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de un primer nodo.
- La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra realizaciones de un método en un primer nodo.
- La Figura 5 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de una disposición del primer nodo.
- La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra realizaciones de un método en un segundo nodo.
- 40 La Figura 7 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de una disposición del segundo nodo.

Descripción detallada

- La invención se define como un método y una disposición en un respectivo primer y segundo nodo, que se pueden poner en práctica en las realizaciones que se describen a continuación.
- 45
- La Figura 1 representa un primer nodo 100 en un sistema 110 de comunicaciones inalámbricas. El sistema 110 de comunicaciones inalámbricas puede ser un sistema celular y/o un sistema tal como, por ejemplo, Evolución a Largo Plazo (LTE), Acceso Terrestre Universal de Radiocomunicaciones – Evolucionado (E-UTRA), Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMAX), Acceso Terrestre Universal de Radiocomunicaciones (UTRA), Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA), GSM, Banda Ancha Ultramóvil (UMB) o cualquier otro sistema de comunicaciones inalámbricas que use tecnologías que llevan a cabo una adaptación entre
- 50 diferentes formas de transmisión y usan múltiples antenas. El primer nodo 100 está dispuesto para comunicarse con un segundo nodo 120 en el sistema 110 de comunicaciones inalámbricas a través de un canal inalámbrico 130. Se puede usar un filtro MIMO lineal e invariable en el tiempo para modelar la relación de entrada-salida del canal inalámbrico durante un período de transmisión suficientemente corto. Para transmisiones de banda suficientemente

estrecha, se puede usar una única matriz para describir el filtro. Una descripción de una matriz de canal de este tipo también es válida para modelar el canal sobre una subportadora (o varias subportadoras siempre que abarquen un ancho de banda que sea pequeño en comparación con el ancho de banda de coherencia del canal) en un sistema de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM), tal como, por ejemplo, el LTE. El primer nodo 100 puede ser cualquier tipo de una estación base tal como, por ejemplo, un NodoB como en el LTE. El segundo nodo 120 puede ser un equipo de usuario (UE) tal como, por ejemplo, un teléfono móvil, un Asistente Personal Digital (PDA), un ordenador portátil. También puede ser al contrario, de manera que el primer nodo 100 puede ser un UE, tal como, por ejemplo, un teléfono móvil, un Asistente Personal Digital (PDA), y el segundo nodo 120 puede ser cualquier tipo de una estación base, tal como, por ejemplo, un NodoB. En el ejemplo de la Figura 1, el primer nodo 100 es una estación base y el segundo nodo 120 es un equipo de usuario. Adicionalmente, el primer nodo 100 y el segundo nodo 120 pueden constituir dispositivos inalámbricos arbitrarios en comunicación mutua y sin ningún orden jerárquico particular.

El primer nodo 100 usa un sistema de múltiples antenas, es decir, usa múltiples antenas para su transmisión hacia el segundo nodo 120. El segundo nodo 120 también puede usar un sistema de múltiples antenas para la recepción de la transmisión del primer nodo. De este modo, se trata de un sistema MIMO, donde las entradas al canal se corresponden con las antenas de transmisión en el primer nodo 100 y las salidas con las antenas de recepción en el segundo nodo 120. También se puede considerar que el filtrado/procesado del transmisor y el receptor están incluidos en el canal. Obsérvese que una configuración MIMO de este tipo puede incluir el caso especial de solamente una antena de recepción. La Figura 2 ilustra algunas realizaciones en las que el primer nodo 100 y un segundo nodo 120 están usando, cada uno de ellos, un sistema de múltiples antenas que comprende cuatro antenas. El primer nodo 100 obtiene una señal portadora 140 de información que se representa mediante una secuencia de bits de información, transportándose dicha información hacia el segundo nodo 120 a través del canal inalámbrico 130. La Figura 2 ilustra esquemáticamente el primer nodo 100 como nodo de transmisión (Tx) y el segundo nodo 120 como nodo de recepción (Rx), el primer nodo 100 y el segundo nodo 120 pueden usar un sistema 150 de múltiples antenas, dando como resultado un enlace MIMO. En este ejemplo, el primer nodo 100 comprende cuatro antenas 160 1, 2, 3 y 4 de transmisión, por ejemplo, una estación base con cuatro antenas de transmisión, y el segundo nodo 120 comprende cuatro antenas 170 1, 2, 3 y 4 de recepción, por ejemplo, un equipo de usuario con cuatro antenas de recepción.

En el ejemplo de la Figura 2, el primer nodo 100 comprende una unidad 162 de codificación, una unidad 163 de post-precodificación y cuatro unidades 164 de transmisores de radiocomunicaciones. La unidad 162 de codificación está dispuesta para recibir la señal portadora 140 de información a transmitir. La unidad 162 de codificación puede estar dispuesta además para demultiplexar posiblemente los bits de información en una o varias secuencias de bits de información, codificar estas secuencias de bits de información usando cierto código de canales (por ejemplo, turbocódigo, código de comprobación de paridad de baja densidad (LDPC), código convolucional), modular los bits codificados para producir símbolos, establecer correspondencias de los símbolos con una secuencia de vectores de símbolos portadores de información y precodificar los vectores de símbolos portadores de información y finalmente reenviar el resultado a una posible unidad 163 de post-precodificación. En el más sencillo de los casos, la unidad 163 de post-precodificación puede simplemente reenviar la señal precodificada (es decir, la unidad 163 de post-precodificación es transparente y por tanto sería considerada como no existente) o podría procesar la misma de alguna manera, por ejemplo, realizar un filtrado digital en banda base, antes de dar salida a señales posiblemente procesadas, para su transmisión, utilizando las unidades 164 de transmisor de radiocomunicaciones, con el uso de las respectivas antenas 160 1, 2, 3 y 4 de transmisión para transmitir la señal precodificada al segundo nodo 120. Se aprecia que las funciones básicas del transmisor son bien conocidas para los expertos y no se describen de forma detallada. El transmisor en este ejemplo puede soportar técnicas tales como Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA), precodificación SDMA, MIMO, precodificación MIMO, y/o MIMO-SDMA.

En el ejemplo de la Figura 2, el segundo nodo 120 comprende una unidad 171 de pre-procesado, una unidad 172 de demodulación decodificación y cuatro unidades 174 de receptor de radiocomunicaciones. El segundo nodo 120 está dispuesto para recibir la señal precodificada del primer nodo 100. La señal se recibe por medio de las antenas 170 1, 2, 3 y 4 de recepción, la unidad 171 de pre-procesado y las unidades 174 de receptor de radiocomunicaciones. La unidad 171 de pre-procesado puede implementar varias etapas de procesado, por ejemplo, puede realizar un filtrado en banda base o simplemente reenviar las señales sin modificar a la unidad 172 de demodulación decodificación. En este último caso, la unidad 171 de pre-procesado puede considerarse alternativamente que no está presente (es decir, transparente en correspondencia con la no existencia de unidad de pre-procesado). La unidad 172 de demodulación decodificación puede estar dispuesta para recibir la señal codificada desde la unidad 171 de pre-procesado. La unidad 172 de demodulación decodificación puede estar dispuesta además para demodular la señal codificada en bits de datos. Se aprecia que las funciones básicas del receptor son bien conocidas para los expertos y no se describen de forma detallada en la presente.

Debería observarse también que tanto el receptor en el segundo nodo 120 como el transmisor en el primer nodo 100 pueden modificar el modo de funcionamiento trabajando respectivamente como transmisor y receptor.

Precodificación

Tal como ya se ha indicado, la unidad 162 de codificación en el primer nodo 100 se puede subdividir además en dos

partes, correspondientes a una unidad 300 de codificación y modulación y una unidad 310 de precodificación, tal como, por ejemplo, un precodificador. En la Figura 3 se representa un ejemplo de una unidad 300 de codificación y modulación y una unidad 310 de precodificación. La unidad 300 de codificación y modulación acepta bits de información como entrada y produce una secuencia de vectores de símbolos portadores de información, es decir, una señal portadora de información de valor vectorial, como salida. Los vectores de símbolos portadores de información se pueden considerar como uno o varios flujos continuos de símbolos en paralelo, donde cada elemento de cada vector s pertenece por lo tanto a un cierto flujo continuo de símbolos. A los diferentes flujos continuos de símbolos se les hace referencia comúnmente como capas y , en cualquier momento dado, hay r capas de este tipo diferentes correspondientes a un rango de transmisión de r . De este modo, la señal a transmitir hacia el segundo nodo 120 a través del canal inalámbrico 130 comprende por lo menos un flujo continuo de símbolos (o capa). Los r símbolos en un vector s de símbolos portadores de información de $r \times 1$ se multiplican posteriormente por una matriz de precodificación de $N_T \times r$, $W_{N_T \times r}$, donde N_T indica el número de entradas (por ejemplo, número de antenas de transmisión, número de puertos de la antena, etcétera) del canal MIMO. La operación de precodificación mencionada reenvía la salida resultante a la unidad 163 de post-procesado. El primer nodo 100 determina una matriz de precodificación que tiene una cierta estructura de producto, la cual se describirá adicionalmente en la secuela. Esto se puede realizar seleccionando una matriz de precodificación de manera que coincida con las características del canal, es decir, que coincida con una matriz H de canal MIMO de $N_R \times N_T$. De este modo, la matriz de precodificación $W_{N_T \times r}$ puede depender del valor del canal H . Los r símbolos portadores de información en s tienen típicamente un valor complejo. El soporte de la adaptación al rango permite ajustar el número de flujos continuos de símbolos transmitidos simultáneamente, r , de manera que se adecuen a las características actuales del canal. Tras la precodificación, las señales se transportan a través del canal H y son recibidas por una red de antenas con N_R elementos. El receptor posiblemente procesa las señales por medio de la unidad 171 de pre-procesado. La recopilación de las señales en un vector y de $N_R \times 1$ y la consideración de las señales sobre un ancho de banda suficientemente estrecho, en comparación con el ancho de banda de coherencia del canal, proporciona el modelo

$$y = HW_{N_T \times r}s + e$$

donde e se modela habitualmente como un vector de ruido obtenido como realizaciones de algún proceso aleatorio y en donde la salida del canal se corresponde por lo tanto con la salida de la unidad 171 de pre-procesado (pudiendo ser transparente esta última). Este modelo evidentemente también es válido para sistemas OFDM (por ejemplo, LTE, WiMAX, etcétera), donde el mismo típicamente se puede aplicar basándose en cada subportadora.

Matriz de canal, H

En referencia nuevamente a la Figura 2, el primer nodo 100 comprende un sistema multi-antena donde, en algunas realizaciones, por lo menos una antena emite ondas de radiocomunicaciones en una dirección de polarización horizontal, y por lo menos otra antena emite energía en la dirección de polarización ortogonal (es decir, vertical). De este modo, dicha configuración de antenas con polarización dual, o cruzada, puede contener un grupo de antenas co-polarizadas y otro grupo de antenas co-polarizadas, con polarización ortogonal con respecto al primer grupo. "Co-polarización" significa que las antenas están transmitiendo con la misma polarización. Bajo condiciones ideales de líneas de visión directa, considerando respuestas ideales de la antena y una configuración similar de antenas con polarización dual en el lado de recepción, la configuración de antenas con polarización cruzada da como resultado una matriz de canal, con diagonal por bloques, que se explicará de forma adicional posteriormente. En el ejemplo de la Figura 2, las dos primeras antenas 160, 1 y 2, de transmisión están polarizadas horizontalmente y las dos restantes, 3 y 4, están polarizadas verticalmente. Las antenas de recepción en el segundo nodo 120 están dispuestas de manera similar. Las antenas co-polarizadas en la red de transmisión pueden estar suficientemente separadas entre sí de manera que el desvanecimiento no presente aproximadamente correlación entre los canales asociados a los elementos co-polarizados. Tal como se ha mencionado anteriormente, el canal se puede modelar usando una matriz de canal. Sin pérdida de generalidad, reordenando apropiadamente los elementos de las antenas de transmisión y recepción, la matriz de canal H resultante de 4×4 , tiende entonces a presentar la estructura diagonal por bloques de acuerdo con:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & 0 & 0 \\ h_{21} & h_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{33} & h_{34} \\ 0 & 0 & h_{43} & h_{44} \end{bmatrix}$$

Con una matriz de canal efectivo, diagonal por bloques, de este tipo, las señales transmitidas en las antenas 160 1 y 2 en el primer nodo 100, no llegan a las antenas 170 3 y 4 de recepción, y, de manera correspondiente, las señales de las antenas 160 3 y 4 de transmisión no llegan a las antenas 170 1 y 2 de recepción. Tal como se representa en la Figura 2, para las dos primeras antenas 160, 1 y 2 de transmisión que están polarizadas horizontalmente, el coeficiente de canal de valor complejo h_{11} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 1 de transmisión y la antena 170 1 de recepción,

el coeficiente de canal de valor complejo h_{12} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 2 de transmisión y la antena 170 1 de recepción, el coeficiente de canal de valor complejo h_{21} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 1 de transmisión y la antena 170 2 de recepción,

5 el coeficiente de canal de valor complejo h_{22} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 2 de transmisión y la antena 170 2 de recepción.

Además, tal como se representa en la Figura 2, para las restantes antenas 160, 3 y 4 de transmisión, que están polarizadas verticalmente,

10 el coeficiente de canal de valor complejo h_{33} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 3 de transmisión y la antena 170 3 de recepción, el coeficiente de canal de valor complejo h_{34} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 4 de transmisión y la antena 170 3 de recepción, el coeficiente de canal de valor complejo h_{43} representa el canal efectivo que implica al canal físico entre la antena 160 3 de transmisión y la antena 170 4 de recepción, y el coeficiente de canal de valor complejo h_{44} representa el canal efectivo que implica el canal físico entre la antena 160 4 de transmisión y la antena 170 4 de recepción.

El significado general de una matriz de canal, diagonal por bloques, es que tiende a presentar la estructura

$$15 \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{\tilde{M}_1 \times \tilde{L}_1}^{(1)} & \mathbf{Z}_{\tilde{M}_1 \times \tilde{L}_2} & \cdots & \mathbf{Z}_{\tilde{M}_1 \times \tilde{L}_K} \\ \mathbf{Z}_{\tilde{M}_2 \times \tilde{L}_1} & \mathbf{H}_{\tilde{M}_2 \times \tilde{L}_2}^{(2)} & \vdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & \mathbf{Z}_{\tilde{M}_{K-1} \times \tilde{L}_K} \\ \mathbf{Z}_{\tilde{M}_K \times \tilde{L}_1} & \cdots & \mathbf{Z}_{\tilde{M}_K \times \tilde{L}_{K-1}} & \mathbf{H}_{\tilde{M}_K \times \tilde{L}_K}^{(K)} \end{bmatrix}$$

donde la matriz se puede subdividir en bloques $\mathbf{Z}_{\tilde{M}_k \times \tilde{L}_i}$, de $\tilde{M}_k \times \tilde{L}_i$, fuera de la diagonal, $k = 1, 2, \dots, K \neq i = 1, 2, \dots,$

K y bloques $\mathbf{H}_{\tilde{M}_k \times \tilde{L}_k}^{(k)}$, de $\tilde{M}_k \times \tilde{L}_k$, en la diagonal, $k = 1, 2, \dots, K$, de tamaños posiblemente variables. Obsérvese que

20 el canal se define como diagonal por bloques si el mismo se puede reordenar por medio de permutaciones apropiadas de filas y columnas para presentar una forma tal como la anterior, de tal modo que las potencias promedio (promediadas sobre un periodo de tiempo suficientemente largo de manera que el desvanecimiento rápido se promedie) de los coeficientes de canal en los bloques fuera de la diagonal $\mathbf{Z}_{\tilde{M}_1 \times \tilde{L}_2}$ sean significativamente

inferiores a las potencias promedio de los coeficientes de canal en los bloques de la diagonal $\mathbf{H}_{\tilde{M}_k \times \tilde{L}_k}^{(k)}$. Dicha

25 potencia significativamente inferior se produciría, por ejemplo, si en el primer nodo 100 se utiliza una configuración de antenas con polarización cruzada y, en el segundo nodo 120, se utiliza una configuración similar de antenas con polarización cruzada. La diferencia en potencia promedio entre coeficientes de canal en la diagonal por bloques y fuera de la diagonal por bloques es frecuentemente, en función del escenario de propagación, de aproximadamente 6 dB o sustancialmente mayor. Incluso si la configuración de antenas usada en el segundo nodo 120 no presenta exactamente una polarización cruzada, las diferencias de potencia pueden seguir siendo significativas.

Matriz de precodificación con estructura de producto.

30 En la presente solución, el primer nodo 100 determina una matriz de precodificación que tiene una cierta estructura de producto. La noción de una estructura de producto se presentará posteriormente y se definirá de manera explícita después de la argumentación sobre la precodificación y los libros de códigos para la precodificación. La matriz de precodificación determinada se usará para precodificar el por lo menos un flujo continuo de símbolos (es decir, una o más capas) a transmitir hacia el segundo nodo 120. La determinación se puede efectuar seleccionando la matriz de precodificación de manera que coincida con las características del canal modelado usando la matriz de canal \mathbf{H} . Si la configuración de antenas con polarización cruzada en el primer nodo 100 está usando antenas polarizadas horizontal y verticalmente, resulta adecuada una precodificación con estructura diagonal por bloques puesto que el uso de un precodificador con estructura diagonal por bloques coincide con la estructura diagonal por bloques de la matriz de canal diagonal por bloques. No obstante, si por el contrario la configuración de antenas mencionada está usando una polarización orientada, por ejemplo, a +-45 grados, entonces ya no es probable que la matriz de canal sea diagonal por bloques como si se hubieran estado usando polarizaciones horizontal y vertical. En este caso, la estructura de producto del precodificador es beneficiosa puesto que implica la descomposición del precodificador en un producto de dos matrices, una unitaria, denominada matriz unitaria de diagonalización por bloques, y una matriz diagonal por bloques, en donde esta última matriz se multiplica desde la izquierda con la primera. La matriz unitaria de diagonalización por bloques cuyo uso ha sido determinado, permite transformar la configuración de antenas con polarización cruzada de +-45 grados en una configuración virtual de antenas con polarización cruzada de 0/90 grados (es decir, polarizada horizontal y verticalmente), lo cual a su vez contempla un nuevo canal resultante que tiene tendencia a ser diagonal por bloques. Puesto que se obtiene efectivamente un canal virtual diagonal por bloques, en este momento el precodificador diagonal por bloques en la estructura de producto se puede usar de manera que coincida con sus características. Básicamente, la matriz unitaria sirve para hacer girar las polarizaciones

de manera que las señales transmitidas se alinean con las direcciones vertical y horizontal. Una ventaja de una estructura de producto de este tipo es que se puede hacer que los precodificadores tengan elementos de módulo constante, lo cual significa que, con independencia de qué precodificador con estructura de producto exacta se use, se utiliza la misma potencia en todos los puertos de las antenas. Así, esto resuelve el problema de tener que tratar con diferentes potencias de transmisión en los diferentes amplificadores de potencia (PAs). Por lo tanto, la estructura de producto no solamente alinea la transmisión en las beneficiosas polarizaciones horizontal y vertical, sino que al mismo tiempo está ofreciendo agrupación de las potencias de PA entre estas dos polarizaciones.

Libro de códigos

En referencia a la Figura 2, en algunas realizaciones, el primer nodo 100 comprende un libro 180 de códigos. El primer nodo 100 puede llevar a cabo la determinación de la matriz de precodificación que presente una cierta estructura de producto seleccionando la matriz de precodificación que tenga una estructura de producto de entre el libro 180 de códigos comprendido en el primer nodo 100.

En algunas realizaciones, el segundo nodo 120 comprende un libro 190 de códigos según se muestra en la Figura 2. El segundo nodo 120 puede seleccionar una matriz de precodificación a partir, por ejemplo, del libro 190 de códigos, y recomendar al primer nodo que use la matriz de precodificación seleccionada. Esto se puede llevar a cabo comunicando la matriz de precodificación recomendada al primer nodo 100. A continuación, el primer nodo 100 puede decidir usar la matriz de precodificación recomendada o aprovechar de alguna otra manera la información de canal proporcionada.

El libro 180, 190 de códigos comprende matrices de precodificación, en donde cada matriz de precodificación se puede corresponder con múltiples y diferentes modos de transmisión o formas de procesado espacial, por ejemplo, precodificación dependiente del canal, precodificación MIMO, SDMA, SDMA con precodificación, MIMO-SDMA, etcétera. Dicha información puede estar predefinida. El libro 180, 190 de códigos puede comprender adicionalmente, además de matrices/vectores de precodificación, muchos otros parámetros tales como, rangos de transmisión, opciones de modulación, tamaños de bloques de transporte, potencias y/o códigos de canalización, etcétera. En algunas realizaciones, el libro 180, 190 de códigos comprende un precodificador, donde el rango de transmisión viene dado implícitamente por el tamaño de la matriz de precodificación. El libro 180, 190 de códigos es adecuado para una configuración de antenas en el primer nodo sin polarizaciones necesariamente de 0/90 grados por cuanto el libro 180, 190 de códigos comprende una o más matrices de precodificación que presentan dicha estructura de producto. El libro 180, 190 de códigos puede comprender además matrices de precodificación que presenten una estructura que no sea de producto. No obstante, según el presente método, el primer nodo 100 ó segundo nodo 120 es libre de seleccionar una matriz de precodificación que presente dicha estructura de producto a partir del libro de códigos. Los libros 180 y 190 de códigos pueden ser conocidos a priori tanto por el primer nodo 100 como por el segundo nodo 120. Además, el transmisor en el primer nodo 100 puede notificar, por ejemplo, al receptor en el segundo nodo 120 su libro 180 de códigos. Una estructura adecuada de libros de códigos tendrá también una estructura de producto en la medida en la que un número significativo de los elementos del precodificador usen la estructura de producto. Tal como se ha indicado previamente, los elementos del precodificador con una estructura de producto se pueden escribir como

$$\mathbf{W} = \mathbf{V}\tilde{\mathbf{W}}$$

donde \mathbf{V} es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de $N_T \times N_T$ y $\tilde{\mathbf{W}}$ es una matriz diagonal por bloques de $N_T \times r$.

La característica de diagonal por bloques de $\tilde{\mathbf{W}}$ se refiere a la colocación de ceros en las matrices de precodificación. Una matriz diagonal por bloques de precodificación $\tilde{\mathbf{W}} = \tilde{\mathbf{W}}_{N_T \times r}$ se puede escribir en general como

$$\tilde{\mathbf{W}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{W}}_{M_1 \times L_1}^{(1)} & \mathbf{0}_{M_1 \times L_2} & \cdots & \mathbf{0}_{M_1 \times L_K} \\ \mathbf{0}_{M_2 \times L_1} & \tilde{\mathbf{W}}_{M_2 \times L_2}^{(2)} & \vdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & \mathbf{0}_{M_{K-1} \times L_K} \\ \mathbf{0}_{M_K \times L_1} & \cdots & \mathbf{0}_{M_K \times L_{K-1}} & \tilde{\mathbf{W}}_{M_K \times L_K}^{(K)} \end{bmatrix}$$

donde, tal como se observa, únicamente los bloques $\tilde{\mathbf{W}}_{M_k \times L_k}^{(k)}$, de $M_k \times L_k$, $k = 1, 2, \dots, K$, de tamaños posiblemente variables en la diagonal (en el dominio de los bloques) pueden contener elementos diferentes de cero. Una matriz de precodificación se considera diagonal por bloques si sus columnas y filas se pueden permutar para lograr la forma anterior. El caso de rango dos en la Tabla 1 muestra un ejemplo en el que las matrices de precodificación presentan la estructura

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{2 \times 1}^{(1)} & \mathbf{0}_{2 \times 1} \\ \mathbf{0}_{2 \times 1} & \mathbf{W}_{2 \times 1}^{(2)} \end{bmatrix}$$

Obsérvese también que un bloque puede ser de tamaño 1x1. De este modo, se puede considerar también que la matriz identidad presenta una estructura diagonal por bloques.

Un ejemplo de una matriz unitaria de diagonalización por bloques viene dado por

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

5

que, suponiendo una red de antenas de Tx de $N_T=4$, en la que las dos primeras antenas tienen una dirección de polarización de +45 y las dos últimas tienen una dirección de polarización de -45 grados, hará girar las polarizaciones +45 grados para alinearlas con la dirección horizontal y vertical.

10

Combinada con los elementos de la diagonal por bloques $\tilde{\mathbf{W}}$ en el conjunto visualizado en la Tabla 1, la transmisión se puede interpretar como proveniente de un libro de códigos diagonal por bloques aplicado a una configuración de antenas con antenas polarizadas vertical y horizontalmente. Multiplicando la V unitaria de diagonalización por bloques con las matrices de $\tilde{\mathbf{W}}$ en la Tabla 1, se obtiene el libro de códigos de elementos de precodificación en la Tabla 2. Tal como se observa, todos los elementos escalares en cada matriz de precodificación tienen el mismo valor absoluto lo cual implica un diseño equilibrado por cuanto, con independencia de qué elemento de precodificación se escoja, las señales correspondientes a los diversos puertos de antena/antenas de transmisión tienen, todas ellas, la misma potencia. De este modo, los PAs se pueden utilizar completamente desde la perspectiva de la operación de precodificación.

15

Tabla 1: ejemplo de un conjunto de matrices de $\tilde{\mathbf{W}}$ diagonales por bloque, adecuadas de forma especialmente buena para dos pares de antenas con polarización cruzada separados espacialmente (distancia pequeña) en el modo SU-MIMO.

20

Rango de Tx	Llibro de Códigos por Rango	Tabla 1
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$	
2	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \exp(j2\pi k / 4) & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$	

Tabla 2: libro de códigos de ejemplo de matrices de precodificación W que presentan estructura de producto.

Rango de Tx	Libro de Códigos por Rango	Tabla 2
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \\ 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \\ -1 \\ -\exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$	
2	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) & \exp(j2\pi k / 4) \\ 1 & -1 \\ \exp(j2\pi k / 4) & -\exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$	

El libro de códigos en la Tabla 2 funciona bien siempre que las dos polarizaciones estén bien separadas, es decir, si la discriminación por polarización cruzada (XPD) es suficientemente alta. Para mejorar el rendimiento para escenarios con una XPD media, resulta beneficioso permitir que el signo de los pesos para las dos polarizaciones varíen, según se ejemplifica mediante el conjunto de matrices para \tilde{W} en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5. Esto ayuda a evitar que las dos polarizaciones se anulen entre sí. El problema es entonces que, incluso multiplicando con la anterior matriz V, se deriva en desequilibrios de potencia entre los PAs. En otras palabras, no todos los elementos en cada multiplicación de matrices/vectores de precodificación tienen la misma magnitud. En este caso, una opción mejor puede ser la multiplicación con

$$V = \begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}$$

Esto garantiza que todos los elementos tienen la misma amplitud y posibilita, por lo tanto, un uso completo de todos los PAs, aún proporcionando la ventaja de transformar polarizaciones de +45 grados en polarizaciones verticales y horizontales, que ofrecen una mejor separación de los flujos continuos en el modo de múltiples flujos continuos.

Los libros de códigos y las anteriores matrices unitarias se pueden generalizar fácilmente en otros tamaños de redes de transmisión (es decir, diferentes a cuatro antenas), y también es posible multiplicar los elementos de precodificación desde la derecha con alguna matriz o matrices posiblemente unitarias y también multiplicaciones de matrices adicionales desde la izquierda. Esto incluye permutar las filas y/o columnas de los elementos del precodificador. Estos libros de códigos también pueden ser subconjuntos de libros de códigos más grandes. En combinación con esto, debería observarse que existen muchas formas equivalentes de expresar la anterior estructura de producto, en particular para la matriz unitaria de diagonalización por bloques V. Por ejemplo, otras formas equivalentes de expresar la primera V ejemplificada serían

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

o

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

En general, la noción de una matriz unitaria de diagonalización por bloques se define de manera que significa una

- matriz unitaria (unitaria hasta un factor de escala) tal que, para una configuración particular de antenas con polarización cruzada, crea una configuración virtual de antenas con polarización cruzada que imita la transmisión desde una configuración de antenas con polarización cruzada con antenas polarizadas vertical y horizontalmente, lo cual, al mismo tiempo, garantiza que, junto con las matrices diagonales por bloques en la estructura de producto, todos los elementos escalares de las matrices del precodificador resultantes con la estructura de producto tienen el mismo valor absoluto. De este modo, la matriz unitaria de diagonalización por bloques hace girar las polarizaciones según la manera mencionada y garantiza que se equilibra el uso de los PAs. Además, la noción de una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados se define de forma que significa una matriz unitaria de diagonalización por bloques que hace girar las direcciones de polarización 45 grados.
- 10 Tabla 3: estructura de ejemplo de conjunto de matrices de \tilde{W} adecuadas de forma especialmente buena para dos pares de antenas con polarización cruzada separados espacialmente (distancia pequeña) en el modo SU-MIMO. Obsérvese que, para simplificar la notación, se ha omitido de manera intencionada el escalado de las matrices para mantener constante la potencia de transmisión total con independencia de la matriz de precodificación seleccionada.

Rango de Tx	Libro de Códigos por Rango	Tabla 3
1	$\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \\ 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) \\ -1 \\ -\exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$	
2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \exp(j2\pi k / 4) & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \exp(j2\pi k / 4) & \exp(j2\pi k / 4) \\ 1 & -1 \\ \exp(j2\pi k / 4) & -\exp(j2\pi k / 4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$	

Tabla 4: ejemplo de estructura de conjunto de matrices de \tilde{W} adecuadas de forma especialmente buena para dos pares de antenas con polarización cruzada separados especialmente (distancia grande) en el modo SU-MIMO. Obsérvese que, para simplificar la notación, se ha omitido de manera intencionada el escalado de las matrices para mantener constante la potencia de transmisión total con independencia de la matriz de precodificación seleccionada.

Rango de Tx	Libro de Códigos por Rango Tabla 4
1	$\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k/4) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \exp(j2\pi k/4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k/2) \\ 1 \\ \exp(j2\pi k'/2) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 1 \quad k' = 0, \dots, 1$ $\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k/2) \\ -1 \\ -\exp(j2\pi k'/2) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 1 \quad k' = 0, \dots, 1$
2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \exp(j2\pi k/4) & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \exp(j2\pi k'/4) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 1 \quad k' = 0, \dots, 1$ $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \exp(j2\pi k/2) & \exp(j2\pi k/2) \\ 1 & -1 \\ \exp(j2\pi k'/2) & -\exp(j2\pi k'/2) \end{bmatrix}, \quad k = 0, \dots, 1 \quad k' = 0, \dots, 1$ $\mathbf{W}_{2 \times 2} \in W = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \right\}$ $\begin{bmatrix} \mathbf{W}_{2 \times 2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{W}_{2 \times 2} \in W$ $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{W}_{2 \times 2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{W}_{2 \times 2} \in W$

Rango de Tx	Libro de Códigos por Rango	Tabla 4
3	$\mathbf{W}_{2 \times 2} \in \mathcal{W} = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \right\}$ $\begin{bmatrix} \mathbf{W}_{2 \times 2} & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \exp(j2\pi k'/4) \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{2 \times 2} \in \mathcal{W}, k' = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \exp(j2\pi k/4) & 0 \\ 0 & \mathbf{W}_{2 \times 2} \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{2 \times 2} \in \mathcal{W}, k = 0, \dots, 3$	
4	$\mathbf{W}_{2 \times 2} \in \mathcal{W} = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \right\}$ $\begin{bmatrix} \mathbf{W}_{2 \times 2} & 0 \\ 0 & \mathbf{V}_{2 \times 2} \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{2 \times 2} \in \mathcal{W}, \mathbf{V}_{2 \times 2} \in \mathcal{W}$	

Tabla 5: estructura de ejemplo de conjunto de matrices de $\tilde{\mathcal{W}}$ adecuadas de forma especialmente buena para dos pares de antenas con polarización cruzada separados espacialmente (distancia grande) en el modo SU-MIMO. Obsérvese que, para simplificar la notación, se ha omitido de forma intencional el escalado de las matrices para mantener constante la potencia de transmisión total con independencia de la matriz de precodificación seleccionada.

Rango de Tx	Libro de Códigos por Rango	Tabla 5
1	$\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k/4) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \exp(j2\pi k/4) \end{bmatrix}, k = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k/2) \\ 1 \\ \exp(j2\pi k'/2) \end{bmatrix}, k = 0, \dots, 1 \quad k' = 0, \dots, 1$ $\begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi k/2) \\ -1 \\ -\exp(j2\pi k'/2) \end{bmatrix}, k = 0, \dots, 1 \quad k' = 0, \dots, 1$	
2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \exp(j2\pi k/4) & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \exp(j2\pi k'/4) \end{bmatrix}, k = 0, \dots, 3 \quad k' = 0, \dots, 3$	

Rango de Tx	Libro de Códigos por Rango	Tabla 5
3	$\mathbf{W}_{2,2} \in W = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \right\}$ $\begin{bmatrix} \mathbf{W}_{2,2} & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \exp(j2\pi k'/4) \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{2,2} \in W, k' = 0, \dots, 3$ $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \exp(j2\pi k/4) & 0 \\ 0 & \mathbf{W}_{2,2} \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{2,2} \in W, k = 0, \dots, 3$	
4	$\mathbf{W}_{2,2} \in W = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \right\}$ $\begin{bmatrix} \mathbf{W}_{2,2} & 0 \\ 0 & \mathbf{V}_{2,2} \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{2,2} \in W, \mathbf{V}_{2,2} \in W$	

A continuación se describirán, en referencia a un diagrama de flujo representado en la Figura 4, etapas de un método en el primer nodo 100 para adaptar una transmisión multi-antena al segundo nodo 120 a través de un canal inalámbrico 130 de acuerdo con algunas realizaciones. El canal inalámbrico 130 tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. El primer nodo 100 y el segundo nodo 120 están comprendidos en el sistema 110 de comunicaciones inalámbricas. El método comprende las etapas de:

401. El primer nodo obtiene por lo menos un flujo continuo de símbolos. El flujo continuo de símbolos está destinado a ser transmitido hacia el segundo nodo 120 a través del canal inalámbrico.

402. Esta etapa es opcional. En algunas realizaciones, el primer nodo 100 recibe información de canal desde el segundo nodo 120. La información de canal es en general una cantidad que está relacionada estadísticamente con el canal inalámbrico. Los ejemplos de información de canal incluyen estimaciones del canal, estimaciones del canal cuantificadas, recomendaciones de precodificador, etcétera. En particular, la información de canal recibida puede comprender una matriz de precodificación que es recomendada por el segundo nodo 120 al primer nodo 100 para su uso para la etapa de precodificación. En algunas realizaciones en las que dicha información de canal comprende una estimación de canal, esta estimación de canal se puede usar por parte del primer nodo 100 para determinar una matriz de precodificación adecuada para la transmisión.

403. En esta etapa, el primer nodo 100 determina una matriz de precodificación que presenta una estructura de producto creada por la multiplicación desde la izquierda de una matriz diagonal por bloques con una matriz unitaria de diagonalización por bloques.

En algunas realizaciones, la matriz unitaria de diagonalización por bloques es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados.

En algunas realizaciones, el primer nodo 100 ha recibido información de canal desde el segundo nodo 120 en la etapa opcional 402. En estas realizaciones, esta etapa de determinación de la matriz de precodificación se realiza basándose en la información de canal recibida desde el segundo nodo 120.

Esta etapa de determinación de la matriz de precodificación se puede realizar también basando la determinación en mediciones llevadas a cabo en un enlace inverso, es decir, mediciones en el primer nodo 100 de señales recibidas que se originan a partir de transmisiones del segundo nodo 120, y/o aprovechando propiedades de reciprocidad del canal. Reciprocidad del canal significa que el canal, o ciertas propiedades del canal, es similar en los enlaces directo (del primer nodo 100 al segundo 120) e inverso (del segundo nodo 120 al primer nodo 100). Las mediciones sobre un enlace inverso pueden comprender una estimación de canal.

En algunas realizaciones, el primer nodo 100 comprende un libro 180 de códigos de precodificación que comprende elementos de precodificación, en donde por lo menos la mitad de los elementos de precodificación en el libro 180 de códigos de precodificación tienen dicha estructura de producto. En este caso, esta etapa se puede realizar seleccionando la matriz de precodificación que tiene una estructura de producto a partir del libro 180 de códigos. La matriz unitaria de diagonalización por bloques puede ser equivalente, por ejemplo, a

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{o} \quad \begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}$$

404. El primer nodo 100 precodifica el por lo menos un flujo continuo de símbolos con la matriz de precodificación determinada.

5 405. A continuación, el primer nodo 100 transmite el por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado a través de un canal inalámbrico 130 hacia el segundo nodo 120. En algunas realizaciones, la transmisión del por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado en el primer nodo 100 se efectúa usando un sistema multi-antena con una configuración de antenas con polarización cruzada.

10 Para llevar a cabo las etapas de método anteriores, el primer nodo 100 comprende una disposición 500 representada en la Figura 5. Tal como se ha mencionado anteriormente, el primer nodo 100 y el segundo nodo 120 están comprendidos en el sistema 110 de comunicaciones inalámbricas. La disposición del primer nodo está dispuesta para adaptar una transmisión multi-antena a un segundo nodo 120 a través de un canal inalámbrico. El canal inalámbrico 130 tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. Tal como se ha mencionado anteriormente, el primer nodo 100 y el segundo nodo 120 están comprendidos en el sistema 110 de comunicaciones inalámbricas.

15 La disposición 500 del primer nodo comprende una unidad 510 de obtención configurada para obtener por lo menos un flujo continuo de símbolos.

20 La disposición 500 del primer nodo comprende además una unidad 520 de determinación configurada para determinar una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada mediante la multiplicación, desde la izquierda, de una matriz diagonal por bloques con una matriz unitaria de diagonalización por bloques. En algunas realizaciones, la matriz unitaria de diagonalización por bloques es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados.

La unidad 520 de determinación se puede configurar además para determinar la matriz de precodificación basando la determinación en mediciones sobre un enlace inverso y/o aprovechando propiedades de reciprocidad del canal.

La matriz unitaria de diagonalización por bloques puede ser equivalente a

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{o} \quad \begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}$$

25 La disposición 500 del primer nodo comprende además una unidad 530 de precodificación configurada para precodificar el por lo menos un flujo continuo de símbolos con la matriz de precodificación determinada.

La disposición 500 del primer nodo comprende además una unidad 540 de transmisión configurada para transmitir el por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado a través de un canal inalámbrico 130 al segundo nodo 120.

30 En algunas realizaciones, la disposición 500 del primer nodo comprende un libro 180 de códigos de precodificación. El libro 180 de códigos de precodificación puede comprender elementos de precodificación, en donde por lo menos la mitad de los elementos de precodificación en el libro 180 de códigos de precodificación presenta dicha estructura de producto. En este caso, la unidad 520 de determinación se puede configurar para seleccionar la matriz de precodificación que tiene una estructura de producto a partir del libro 180 de códigos de precodificación.

35 En algunas realizaciones, la disposición 500 del primer nodo comprende una unidad 550 de recepción configurada para recibir información de canal desde el segundo nodo 120. En este caso, la unidad 520 de determinación se puede configurar para determinar la matriz de precodificación basándose en la información de canal recibida desde el segundo nodo 120.

40 La información de canal puede comprender una matriz de precodificación recomendada por el segundo nodo 120 al primer nodo 100 para su uso para la precodificación.

En algunas realizaciones, la información de canal comprende una estimación de canal.

La disposición 500 del primer nodo puede comprender además un sistema multi-antena con una configuración de antenas con polarización cruzada. En este caso, la unidad 540 de transmisión se puede configurar para transmitir el

por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado, en el primer nodo 100, usando dichas múltiples antenas.

A continuación se describirán, en referencia a un diagrama de flujo representado en la Figura 6, etapas de método en el segundo nodo 100 para recibir una transmisión multi-antena desde un primer nodo 100 a través de un canal inalámbrico 130 según algunas realizaciones. El canal inalámbrico 130 tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. Tal como se ha mencionado anteriormente, el primer nodo 100 y el segundo nodo 120 están comprendidos en un sistema 110 de comunicaciones inalámbricas. El método comprende la etapa de:

601. Esta es una etapa opcional. El segundo nodo selecciona una matriz de precodificación cuyo uso por parte del primer nodo 100 se recomendará para precodificar una transmisión. Un libro 180, 190 de códigos de precodificación puede estar comprendido en el segundo nodo 120. En este caso, la matriz de precodificación recomendada se puede seleccionar a partir de dicho libro 180, 190 de precodificación.

602. Esta es una etapa opcional. El segundo nodo 120 comunica información de canal al primer nodo 100. La información de canal puede ser usada por el primer nodo 100 como base para determinar una matriz de precodificación con la cual se precodificará una transmisión correspondiente a por lo menos un flujo continuo de símbolos.

Si se lleva a cabo la etapa opcional 601, dicha información de canal comunicada se puede representar por medio de la matriz de precodificación recomendada.

603. El segundo nodo 100 recibe una transmisión correspondiente al por lo menos un flujo continuo de símbolos a través de un canal inalámbrico 130 comunicado desde el primer nodo 100. El por lo menos un flujo continuo de símbolos se precodifica con una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada por la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda, con una matriz unitaria de diagonalización por bloques. En algunas realizaciones, la matriz unitaria de diagonalización por bloques es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados.

La matriz de precodificación puede estar comprendida en un libro 180, 190 de códigos de precodificación de tamaño finito, en donde por lo menos la mitad de los elementos de precodificación en el libro de códigos de precodificación presenta dicha estructura de producto.

La matriz unitaria de diagonalización por bloques puede ser equivalente a

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{o} \quad \begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}.$$

En algunas realizaciones, la recepción de dicha transmisión del por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificados se lleva a cabo usando un sistema multi-antena con una configuración de antenas con polarización cruzada.

Para llevar a cabo las etapas de método anteriores, el segundo nodo 120 comprende una disposición 700 representada en la Figura 7. Tal como se ha mencionado anteriormente, el segundo nodo 120 está dispuesto para recibir una transmisión multi-antena desde un primer nodo 100 a través de un canal inalámbrico 130. El canal inalámbrico tiene por lo menos tres entradas y por lo menos una salida. El primer nodo 100 y el segundo nodo 120 están comprendidos en un sistema 110 de comunicaciones inalámbricas.

La disposición 700 del segundo nodo comprende una unidad 710 de recepción configurada para recibir una transmisión correspondiente al por lo menos un flujo continuo de símbolos a través de un canal inalámbrico 130 transportado desde el primer nodo 100. El por lo menos un flujo continuo de símbolos se precodifica con una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto creada mediante la multiplicación desde la izquierda, de una matriz diagonal por bloques con una matriz unitaria de diagonalización por bloques. En algunas realizaciones, la matriz unitaria de diagonalización por bloques es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados. La matriz de precodificación puede estar comprendida en un libro 180, 190 de códigos de precodificación de tamaño finito, en donde por lo menos la mitad de los elementos de precodificación en el libro de códigos de precodificación presenta dicha estructura de producto. El libro 180, 190 de códigos de precodificación puede estar comprendido en el primer nodo 100 ó el segundo nodo 120.

La matriz unitaria de diagonalización por bloques puede ser equivalente, por ejemplo, a

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{o} \quad \begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}$$

5 En algunas realizaciones, la disposición 700 del segundo nodo comprende además una unidad 720 de transporte configurada para transportar información de canal al primer nodo 100. La información de canal puede ser usada por el primer nodo 100 como base para determinar la matriz de precodificación con la cual se precodificará el por lo menos un flujo continuo de símbolos recibido.

En algunas realizaciones, la información de canal dispuesta para ser transportada comprende una estimación de canal.

10 La disposición 700 del segundo nodo puede comprender además una unidad 730 de selección configurada para seleccionar la matriz de precodificación cuyo uso por parte del primer nodo 100 va a ser recomendado, para precodificar dicha transmisión.

La información de canal dispuesta para ser transportada por la unidad 720 de transporte al primer nodo 100 se puede representar por la matriz de precodificación seleccionada y recomendada.

15 En algunas realizaciones, el libro 190 de códigos de precodificación está comprendido en el segundo nodo 120. En este caso, la matriz de precodificación recomendada se puede seleccionar de entre dicho libro 180, 190 de códigos de precodificación.

En algunas realizaciones, la disposición 700 del segundo nodo comprende además un sistema multi-antena con una configuración de antenas con polarización cruzada. En este caso, la unidad 710 de recepción se puede configurar además para recibir dicha transmisión del por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado, usando dicho sistema multi-antena.

20 Algunas realizaciones del presente método se pueden describir como un método para mejorar el rendimiento en un entorno de comunicaciones inalámbricas, que comprende: modificar un esquema de pre-codificación multiplicando uno o varios de: elementos de pre-codificador del libro de códigos, una señal transmitida, o partes de la misma, antes o después de posibles señales piloto, con ciertas matrices unitarias y extendiendo un libro de códigos diagonal por bloques con elementos que no sean de la diagonal por bloques.

25 Al libro de códigos diagonal por bloques se le pueden añadir elementos que no sean de la diagonal por bloques para mejorar el rendimiento cuando la discriminación por polarización cruzada no es infinita.

Todos los elementos de dicho libro de códigos se pueden multiplicar con una matriz unitaria para transformar una red de antenas con polarización cruzada de ± 45 grados en una red virtual polarizada vertical y horizontalmente.

30 En algunas realizaciones, se selecciona la misma matriz unitaria para equilibrar la potencia entre los amplificadores de potencia.

35 Algunas realizaciones del presente método se pueden describir como un dispositivo de comunicaciones inalámbricas que comprende un procesador configurado para seleccionar un modo de transmisión de una pluralidad de modos de transmisión a partir de un libro de códigos, y una memoria acoplada al procesador. El procesador está configurado además para modificar un esquema de pre-codificación en dicha memoria multiplicando uno o varios de: elementos de pre-codificador del libro de códigos, una señal transmitida, o partes de la misma, antes o después de posibles señales piloto, con ciertas matrices unitarias y extendiendo un libro de códigos diagonal por bloques con elementos que no sean de la diagonal por bloques.

40 Algunas realizaciones del presente método se pueden describir como un soporte legible por ordenador, que incluye instrucciones almacenadas en el mismo, y que comprende: instrucciones para procesar y modificar un esquema de pre-codificación multiplicando uno o varios de: elementos de pre-codificador del libro de códigos, una señal transmitida, o partes de la misma, antes o después de posibles señales piloto, con ciertas matrices unitarias y extendiendo un libro de códigos diagonal por bloques con elementos que no sean de la diagonal por bloques.

45 El presente mecanismo para adaptar una transmisión multi-antena transmitida desde un primer nodo a través de un canal inalámbrico y que es recibida por un segundo nodo 120, se puede implementar a través de uno o más procesadores, tales como el procesador 560 en la disposición 500 del primer nodo representada en la Figura 5 ó el procesador 740 en la disposición 700 del segundo nodo representada en la Figura 7, junto con código de programa de ordenador para llevar a cabo las funciones de la presente solución. El código de programa antes mencionado también se puede proporcionar como un producto de programa de ordenador, por ejemplo, en forma de un soporte de datos portador de código de programa de ordenador para llevar a cabo la presente solución cuando se cargue en el primer nodo 100 ó el segundo nodo 120. Un soporte de este tipo puede presentarse en forma de un disco CD

ROM. No obstante, el mismo es viable con otros soportes de datos tales como una tarjeta de memoria. El código de programa de ordenador se puede proporcionar además como código de programa puro en un servidor y se puede descargar al primer nodo 100 ó al segundo nodo 120 de forma remota.

5 Cuando se usa el término “comprenden” o “comprendiendo”, el mismo se interpretará como no limitativo, es decir, significando “constan de por lo menos”.

La presente invención no se limita a las realizaciones antes descritas. Se pueden usar varias alternativas, modificaciones y equivalentes. Por lo tanto, las realizaciones anteriores no deberían considerarse como limitativas del alcance de la invención, que queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método en un primer nodo (100) para adaptar una transmisión multi-antena a un segundo nodo (120) a través de un canal inalámbrico (130), presentando el canal inalámbrico (130) por lo menos tres entradas y por lo menos una salida, estando comprendidos el primer nodo (100) y el segundo nodo (120) en un sistema (110) de comunicaciones inalámbricas, comprendiendo el método:

5 obtener (401) por lo menos un flujo continuo de símbolos,
 determinar (403) una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto, en donde la estructura de producto se crea mediante la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques,

10 precodificar (404) el por lo menos un flujo continuo de símbolos con la matriz de precodificación determinada, y
 transmitir (405) el por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado, a través de un canal inalámbrico (130), al segundo nodo (120).

2. Método según la reivindicación 1, en el que dicha matriz unitaria de diagonalización por bloques es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados.

15 3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la etapa de determinar (403) una matriz de precodificación se realiza seleccionando la matriz de precodificación que tiene una estructura de producto, en donde la estructura de producto se crea por medio de la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques, a partir de un libro (180, 190) de códigos de precodificación que comprende elementos de precodificación, en donde por lo menos la mitad de los elementos de precodificación en el libro (180, 190) de códigos de precodificación presenta dicha estructura de producto.

20 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la matriz unitaria de diagonalización por bloques es equivalente a

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

25 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la matriz unitaria de diagonalización por bloques es equivalente a

$$\begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}$$

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende la etapa adicional de:
 recibir (402) información de canal del segundo nodo (120), y en donde la etapa de determinar (403) la matriz de precodificación se realiza basándose en la información de canal recibida desde el segundo nodo (120).

30 7. Método en un segundo nodo (120) para recibir una transmisión multi-antena desde un primer nodo (100) a través de un canal inalámbrico (130), presentando el canal inalámbrico (130) por lo menos tres entradas y por lo menos una salida, estando comprendidos el primer nodo (100) y el segundo nodo (120) en un sistema (110) de comunicaciones inalámbricas, comprendiendo el método:

35 recibir (603) una transmisión correspondiente a por lo menos un flujo continuo de símbolos a través de un canal inalámbrico (130) transportado desde el primer nodo (100), precodificándose dicho por lo menos un flujo continuo de símbolos con una matriz de precodificación que presenta una estructura de producto creada mediante la multiplicación desde la izquierda, de una matriz diagonal por bloques con una matriz unitaria de diagonalización por bloques; y

demodular el por lo menos un flujo continuo de símbolos.

40 8. Método según la reivindicación 7, en el que dicha matriz unitaria de diagonalización por bloques es una matriz unitaria de diagonalización por bloques de 45 grados.

9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que dicha matriz de precodificación está

comprendida en un libro de códigos de precodificación de tamaño finito, en donde por lo menos la mitad de los elementos de precodificación en el libro de códigos de precodificación presenta dicha estructura de producto.

10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la matriz unitaria de diagonalización por bloques es equivalente a

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

5

11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la matriz unitaria de diagonalización por bloques es equivalente a

$$\begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & \exp(-j\pi/4) \\ \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) & 0 \\ 0 & \exp(j\pi/4) & 0 & -\exp(-j\pi/4) \end{bmatrix}.$$

12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende además la etapa de

10 transportar (602) información de canal al primer nodo (100), siendo usada dicha información de canal por el primer nodo (100) como base para determinar la matriz de precodificación con la cual se precodifica el por lo menos un flujo continuo de símbolos recibido.

15 13. Disposición (500) en un primer nodo (100), para adaptar una transmisión multi-antena a un segundo nodo (120) a través de un canal inalámbrico (130), presentando el canal inalámbrico (130) por lo menos tres entradas y por lo menos una salida, estando comprendidos el primer nodo (100) y el segundo nodo (120) en un sistema (110) de comunicaciones inalámbricas, comprendiendo la disposición del primer nodo:

una unidad (510) de obtención configurada para obtener por lo menos un flujo continuo de símbolos,

20 una unidad (520) de determinación configurada para determinar una matriz de precodificación que tiene una estructura de producto, en donde la estructura de producto se crea mediante la multiplicación de una matriz diagonal por bloques desde la izquierda con una matriz unitaria de diagonalización por bloques,

una unidad (530) de precodificación configurada para precodificar el por lo menos un flujo continuo de símbolos con la matriz de precodificación determinada, y

una unidad (540) de transmisión configurada para transmitir el por lo menos un flujo continuo de símbolos precodificado, a través de un canal inalámbrico, al segundo nodo (120).

25 14. Disposición (700) en un segundo nodo (120), para recibir una transmisión multi-antena desde un primer nodo (100) a través de un canal inalámbrico (130), presentando el canal inalámbrico (130) por lo menos tres entradas y por lo menos una salida, estando comprendidos el primer nodo (100) y el segundo nodo (120) en un sistema (110) de comunicaciones inalámbricas, comprendiendo la disposición (700) del segundo nodo:

30 una unidad (710) de recepción configurada para recibir una transmisión correspondiente a por lo menos un flujo continuo de símbolos a través de un canal inalámbrico transportado desde el primer nodo (100), precodificándose dicho por lo menos un flujo continuo de símbolos con una matriz de precodificación que presenta una estructura de producto creada mediante la multiplicación desde la izquierda, de una matriz diagonal por bloques con una matriz unitaria de diagonalización por bloques; y

35 una unidad (172) de demodulación decodificación configurada para demodular el por lo menos un flujo continuo de símbolos.



Fig. 1

110

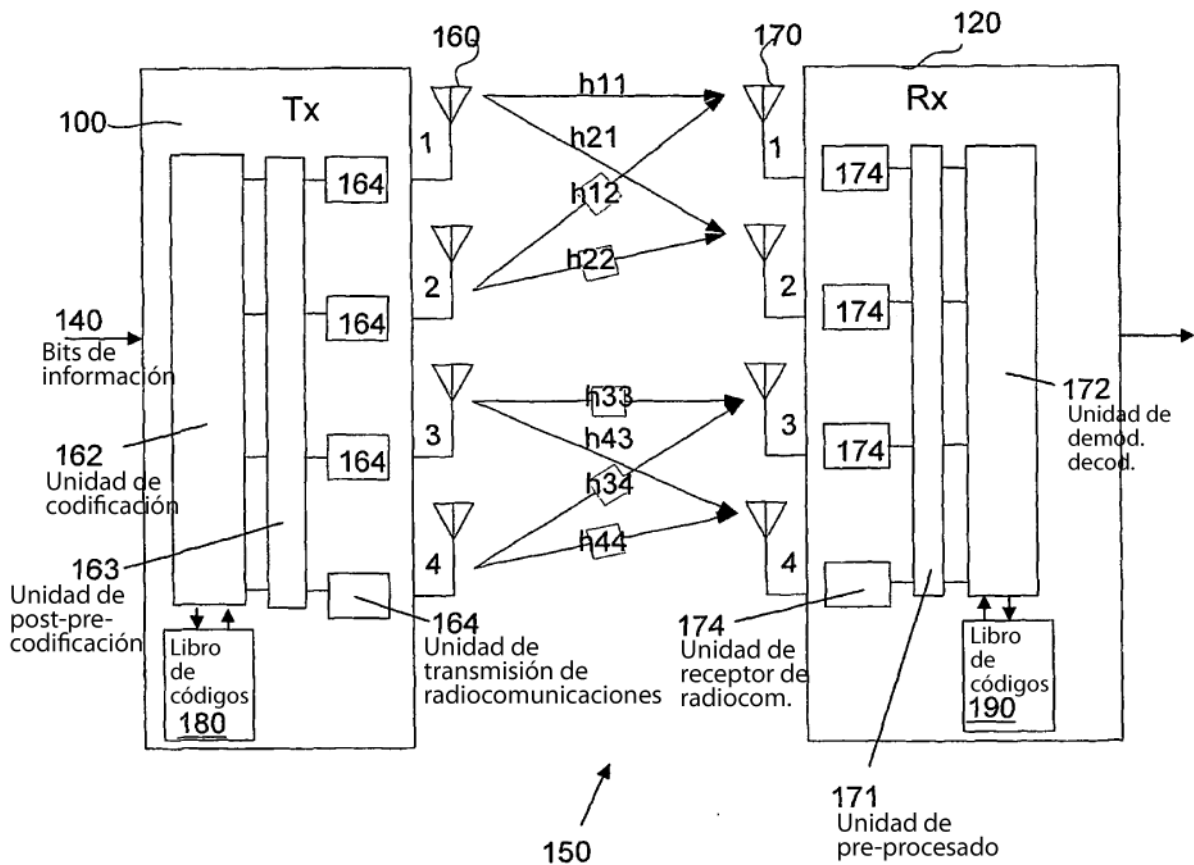


Fig. 2

150

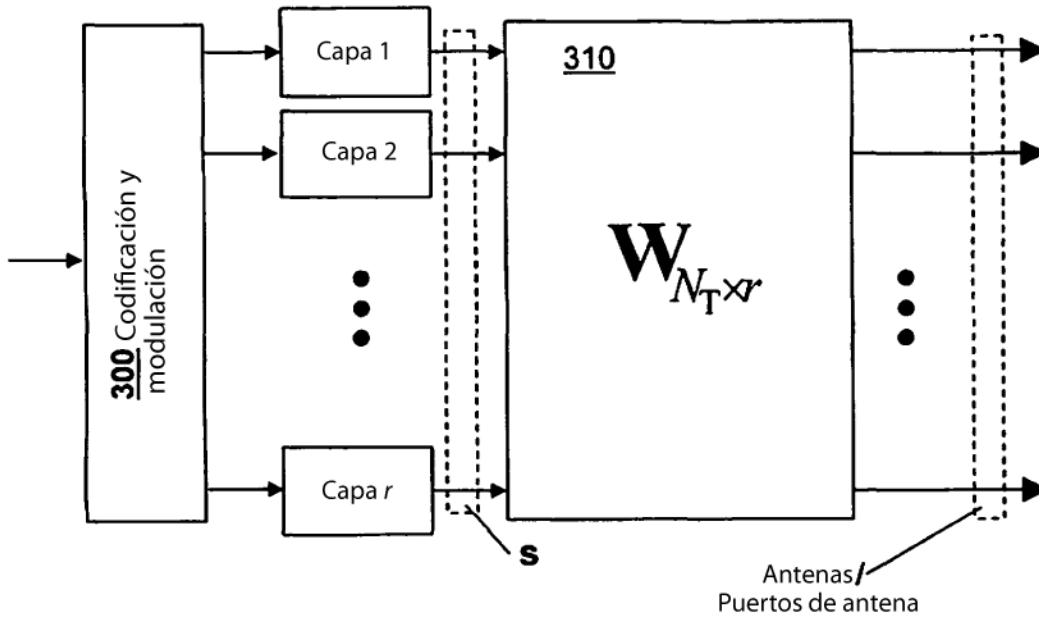


Fig. 3

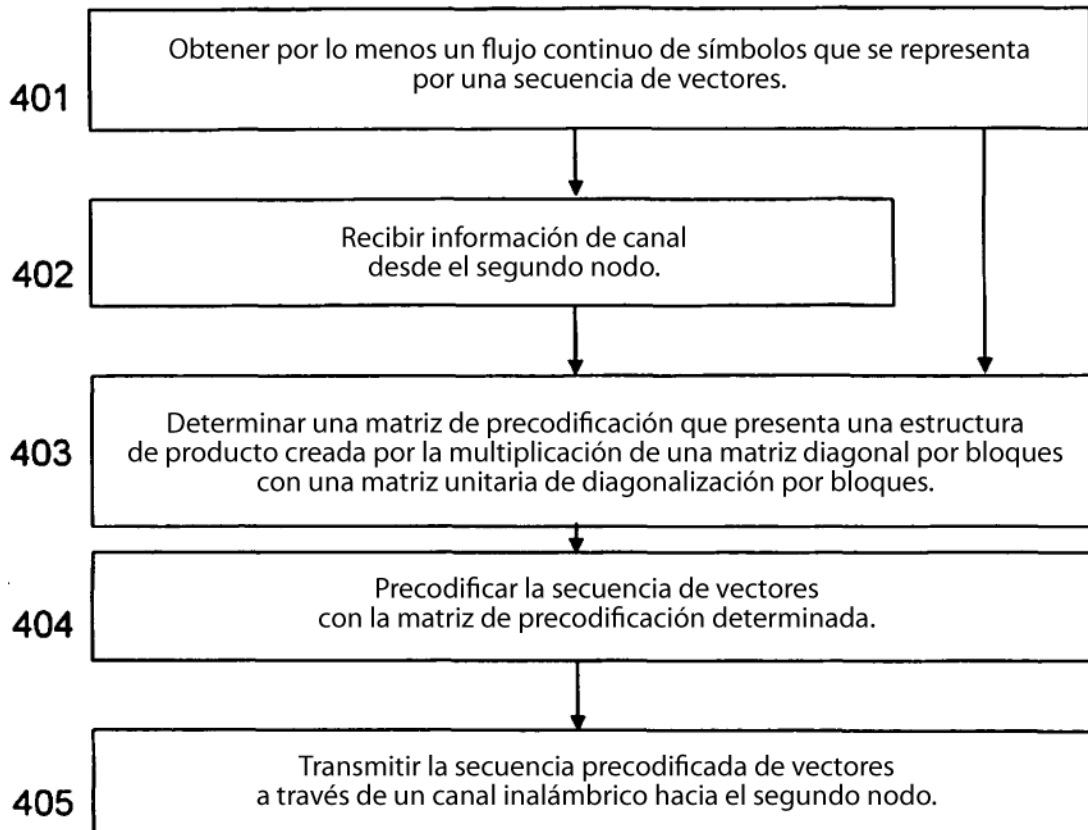


Fig. 4

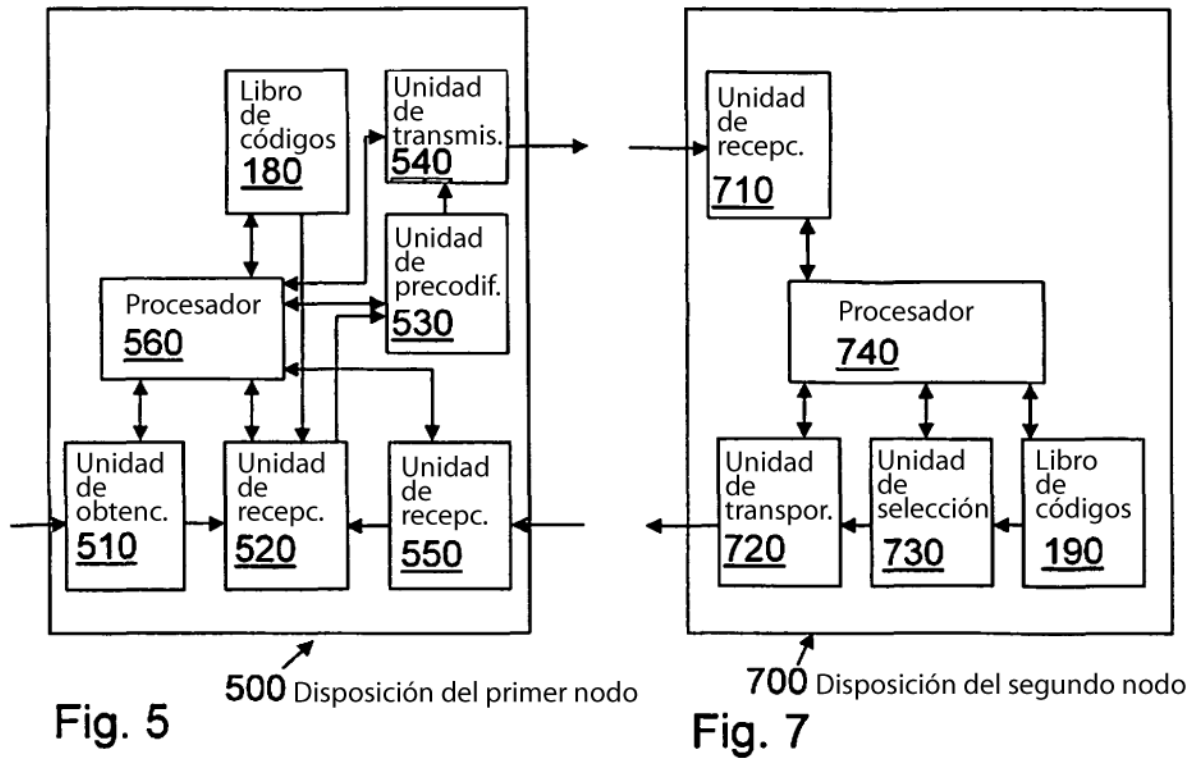


Fig. 5

Fig. 7

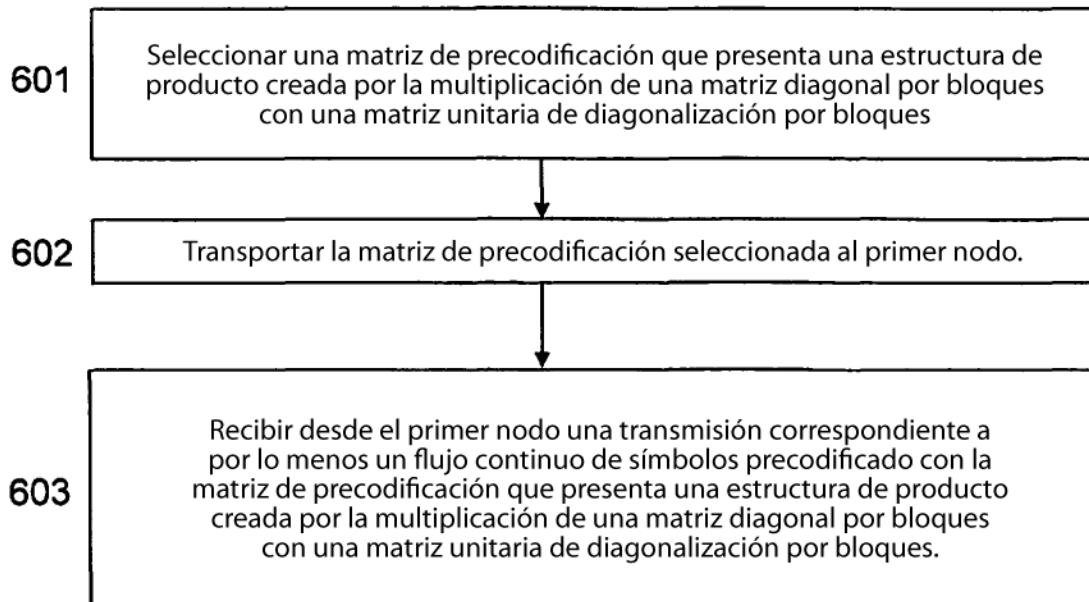


Fig. 6