

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 276**

51 Int. Cl.:

H04L 1/06 (2006.01)

H04L 25/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2008** **PCT/US2008/053512**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.08.2008** **WO08098225**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2008** **E 08729468 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018** **EP 2127182**

54 Título: **Transmisión MIMO con precodificación dependiente del rango**

30 Prioridad:

09.02.2007 US 889255 P
07.02.2008 US 27921

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
03.06.2019

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
Attn: International IP Administration 5775
Morehouse Drive
San Diego, CA 92121, US

72 Inventor/es:

KIM, BYOUNG-HOON y
XU, HAO

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 715 276 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

Transmisión MIMO con precodificación dependiente del rango

5 ANTECEDENTES

I. Campo

10 [0001] La presente divulgación se refiere en general a la comunicación y, de forma más específica, a técnicas para transmitir datos en un sistema de comunicación inalámbrica.

II. Antecedentes

15 [0002] Los sistemas de comunicación inalámbrica están ampliamente implantados para proporcionar diverso contenido de comunicación, tal como voz, vídeo, datos en paquetes, mensajería, radiodifusión etc. Estos sistemas inalámbricos pueden ser sistemas de acceso múltiple que pueden admitir múltiples usuarios compartiendo los recursos de sistema disponibles. Los ejemplos de tales sistemas de acceso múltiple incluyen sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), sistemas de acceso múltiple por división del tiempo (TDMA), sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), sistemas de acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA) y sistemas de FDMA de portadora única (SC-FDMA).

25 [0003] Un sistema de comunicación inalámbrica puede soportar la transmisión de múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO). Para MIMO, un transmisor puede utilizar múltiples antenas de transmisión (T) para la transmisión de datos a un receptor equipado con múltiples antenas de recepción (R). Las múltiples antenas de transmisión y recepción forman un canal MIMO que puede utilizarse para aumentar el rendimiento y/o mejorar la fiabilidad. Por ejemplo, el transmisor puede transmitir hasta T flujos de datos simultáneamente desde las T antenas de transmisión para mejorar el rendimiento. De forma alternativa, el transmisor puede transmitir un único flujo de datos desde todas las antenas de transmisión T para mejorar la fiabilidad. En cualquier caso, es deseable enviar una transmisión MIMO de manera que se consiga un buen rendimiento.

30 [0004] El borrador del documento de discusión de Ericsson titulado "Precoding Considerations in LTE MIMO Downlink" ["Consideraciones de codificación previa en enlace descendente de MIMO de LTE"], R-070573, para el proyecto de asociación de tercera generación (3GPP) analiza una serie de consideraciones de precodificación, incluyendo el diseño y la optimización de libros de códigos para precodificación.

35 SUMARIO

40 [0005] La presente divulgación está dirigida a sistemas y métodos para comunicación inalámbrica, cuyas características se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Las técnicas para realizar la precodificación dependiente de rango para una transmisión MIMO también se describen en este documento. La precodificación puede incluir el procesamiento con un vector o matriz de precodificación para enviar L flujos de datos en L antenas virtuales formadas por T antenas físicas, donde en general $1 < L < T$. L también puede ser considerado como el rango de un canal MIMO. Para la precodificación dependiente de rango, cada rango puede asociarse con un conjunto de al menos un vector o matriz de precodificación que puede proporcionar un buen rendimiento para ese rango. Diferentes rangos pueden asociarse con diferentes conjuntos de vectores o matrices de precodificación. La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas. A continuación, los modos de realización que no están dentro del alcance de las reivindicaciones deberían entenderse como ejemplos útiles para comprender la invención.

50 [0006] En un diseño, un transmisor (por ejemplo, un Nodo B) puede obtener un vector de precodificación para una transmisión de rango 1 de un primer conjunto que contiene al menos un vector de columna de una matriz unitaria. La matriz unitaria puede ser una matriz de Fourier, una matriz de Fourier desplazada en fase, o alguna otra matriz que tenga columnas ortogonales. El transmisor puede realizar la precodificación para la transmisión de rango 1 en función del vector de precodificación. El transmisor puede obtener una matriz de precodificación para una transmisión de rango 2 de un segundo conjunto que contiene una matriz de identidad que tiene unos a lo largo de la diagonal y ceros en otra parte. El transmisor puede realizar la precodificación para la transmisión de rango 2 en base a la matriz de precodificación.

60 [0007] En un diseño, el transmisor puede determinar si el canal MIMO se parece a un canal diagonal, que tiene una matriz de respuesta de canal con pequeñas ganancias de canal fuera de la diagonal. Esta determinación puede basarse en configuraciones de antena en el transmisor y el receptor. El transmisor puede seleccionar la matriz de identidad como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si el canal MIMO se parece a un canal diagonal. El segundo conjunto puede incluir además la matriz unitaria. El transmisor puede seleccionar la matriz unitaria como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si el canal MIMO no se parece a un canal diagonal.

65

[0008] A continuación, se describen en más detalle diversos aspectos y características de la divulgación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0009]

La figura 1 muestra un sistema de comunicación de acceso múltiple inalámbrico.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un Nodo B y un equipo de usuario (UE).

La figura 3 muestra un diagrama de bloques de un procesador de datos de transmisión (TX) y un procesador de TX de MIMO.

La figura 4 muestra un diagrama de bloques de un procesador MIMO de recepción (RX) y un procesador de datos RX.

La figura 5 muestra un proceso para transmitir datos con precodificación dependiente de rango.

La figura 6 muestra un aparato para transmitir datos con precodificación dependiente de rango.

La figura 7 muestra un proceso para recibir datos con precodificación dependiente de rango.

La figura 8 muestra un aparato para recibir datos con precodificación dependiente de rango.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0010] Las técnicas descritas en el presente documento se pueden utilizar en diversos sistemas de comunicación inalámbrica, tales como sistemas de CDMA, TDMA, FDMA, OFDMA, SC-FDMA y otros sistemas. Los términos "sistema" y "red" se usan a menudo de manera intercambiable. Un sistema CDMA puede implementar una tecnología de radio, tal como el Acceso Radioeléctrico Terrestre Universal (UTRA), cdma2000, etc. UTRA incluye CDMA de Banda Ancha (W-CDMA) y otras variantes de CDMA. cdma2000 cubre las normas IS-2000, IS-95 e IS-856. Un sistema TDMA puede implementar una tecnología de radio tal como el sistema global de comunicaciones móviles (GSM). Un sistema OFDMA puede implementar una tecnología de radio tal como UTRA evolucionado (E-UTRA), banda ultraancho móvil (UMB), IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (WiMAX), IEEE 802.20, Flash-OFDM®, etc. UTRA y E-UTRA son parte del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS). 3GPP Evolución a Largo Plazo (LTE) es una versión de lanzamiento del UMTS que usa el E-UTRA. UTRA, E-UTRA, UMTS, LTE y GSM se describen en documentos de una organización llamada "3rd Generation Partnership Project [Proyecto de Asociación de Tercera Generación]" (3GPP). cdma2000 y UMB se describen en documentos de una organización llamada "3rd Generation Partnership Project 2 [Segundo Proyecto de Asociación de Tercera Generación]" (3GPP2). Estas diversas tecnologías y estándares de radio son conocidos en la técnica.

[0011] La FIG. 1 muestra un sistema de comunicación de inalámbrica de acceso múltiple 100 con múltiples Nodos B 110 y múltiples UE 120. Un nodo B puede ser una estación fija que establece comunicación con los UE y también puede denominarse nodo evolucionado (eNB), estación base, punto de acceso, etc. Cada nodo B 110 proporciona cobertura de comunicación para un área geográfica particular. Los UE 120 pueden dispersarse por todo el sistema, y cada UE puede ser fijo o móvil. Un UE puede denominarse también estación móvil, terminal, terminal de acceso, unidad de abonado, estación, etc. Un UE puede ser un teléfono móvil, un asistente digital personal (PDA), un módem inalámbrico, un dispositivo de comunicación inalámbrica, un dispositivo manual, un ordenador portátil, un teléfono sin cable, etc. Un UE puede comunicarse con un Nodo B mediante transmisión en el enlace descendente y el enlace ascendente. El enlace descendente (o enlace directo) se refiere al enlace de comunicación desde el Nodo B hasta los UE, y el enlace ascendente (o enlace inverso) se refiere al enlace de comunicación desde el UE hasta el Nodo B.

[0012] La FIG. 2 muestra un diagrama de bloques de un diseño de un Nodo B 110 y un UE 120, que son uno de los Nodos B y uno de los UE en la FIG. 1. El nodo B 110 está equipado con múltiples (T) antenas 234a a 234t. El UE 120 está equipado con múltiples (R) antenas 252a a 252r. Cada una de las antenas 234 y 252 puede considerarse una antena física.

[0013] En el Nodo B 110, un procesador de datos de TX 220 puede recibir datos de una fuente de datos 212, procesar (por ejemplo, codificar y asignar símbolos) los datos basándose en uno o más esquemas de modulación y codificación, y proporcionar símbolos de datos. Como se usa en el presente documento, un símbolo de datos es un símbolo para datos, un símbolo piloto es un símbolo para piloto, y un símbolo puede ser un valor real o complejo. Los símbolos de datos y piloto pueden ser símbolos de modulación de un esquema de modulación tal como PSK o QAM. Los pilotos son datos que son conocidos *a priori* tanto por el Nodo B como por el UE. Un procesador MIMO TX 230 puede procesar los datos y símbolos piloto como se describe a continuación y proporcionar T flujos de símbolos de salida a T moduladores (MOD) 232a a 232t. Cada modulador 232 puede procesar su flujo de símbolos de salida (por

ejemplo, para OFDM) para obtener un flujo de muestras de salida. Cada modulador 232 puede acondicionar adicionalmente (por ejemplo, convertir a analógico, filtrar, amplificar y aumentar en frecuencia) su flujo de muestras de salida y generar una señal de enlace descendente. T señales de enlace descendente de los moduladores 232a a 232t pueden transmitirse a través de antenas 234a a 234t, respectivamente.

[0014] En el UE 120, R antenas 252a a 252r pueden recibir las T señales de enlace descendente procedentes del Nodo B 110, y cada antena 252 puede proporcionar una señal recibida a un desmodulador asociado (DESMOD) 254. Cada desmodulador 254 puede acondicionar (por ejemplo, filtrar, amplificar, disminuir en frecuencia y digitalizar) su señal recibida para obtener muestras y puede procesar adicionalmente las muestras (por ejemplo, para OFDM) para obtener símbolos recibidos. Cada desmodulador 254 puede proporcionar símbolos de datos recibidos a un procesador MIMO RX 260 y proporcionar símbolos piloto recibidos a un procesador de canal 294. El procesador de canal 294 puede estimar la respuesta del canal MIMO desde el Nodo B 110 al UE 120 basándose en los símbolos piloto recibidos y proporcionar una estimación de canal MIMO al procesador MIMO RX 260. El procesador MIMO RX 260 puede realizar detección MIMO en los símbolos de datos recibidos basándose en la estimación de canal MIMO y proporcionar símbolos detectados, que son estimaciones de los símbolos de datos transmitidos. Un procesador de datos de RX 270 puede procesar (por ejemplo, decodificar y desasignar símbolos) los símbolos detectados y proporcionar datos decodificados a un depósito de datos 272.

[0015] El UE 120 puede evaluar las condiciones del canal y generar información de retroalimentación, que puede comprender diversos tipos de información como se describe a continuación. La información de retroalimentación y los datos de una fuente de datos 278 pueden procesarse (por ejemplo, codificarse y asignarse con símbolos) mediante un procesador de datos TX 280, procesarse espacialmente mediante un procesador MIMO TX 282, y procesarse adicionalmente mediante los moduladores 254a a 254r para generar R señales de enlace ascendente, que pueden transmitirse a través de las antenas 252a a 252r. En el Nodo 110, las señales de enlace ascendente R procedentes del UE 120 pueden recibirse mediante las antenas 234a a 234t, procesarse mediante los receptores 232a a 232t, procesarse espacialmente mediante un procesador MIMO RX 236 y procesarse adicionalmente (por ejemplo, decodificarse y desasignarse símbolos) mediante un procesador de datos RX 238 para recuperar la información de retroalimentación y los datos enviados por el UE 120. Los datos decodificados pueden proporcionarse a un colector de datos 239. Un controlador/procesador 240 puede controlar la transmisión de datos hacia el UE 120 basándose en la información de respuesta.

[0016] Los controladores/procesadores 240 y 290 pueden dirigir el funcionamiento en el Nodo B 110 y en el UE 120, respectivamente. Las memorias 242 y 292 pueden almacenar datos y códigos de programa para el nodo B 110 y el UE 120, respectivamente. Un programador 244 puede seleccionar el UE 120 y/u otros UE para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente basándose en la información recibida de todos los UE.

[0017] Las técnicas descritas en el presente documento pueden utilizarse para transmisión MIMO en el enlace descendente, así como para el enlace ascendente. Para mayor claridad, se describen a continuación algunos aspectos de las técnicas para la transmisión MIMO en el enlace descendente en LTE. La LTE utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM) en el enlace descendente y el multiplexado por división de frecuencia de portadora única (SC-FDM) en el enlace ascendente. OFDM y SC-FDM dividen el ancho de banda del sistema en múltiples (K) subportadoras ortogonales, que también se denominan habitualmente tonos, periodos, etc. Cada subportadora se puede modular con datos. En general, los símbolos de modulación se envían en el dominio de la frecuencia con OFDM y en el dominio del tiempo con SC-FDM. LTE utiliza la multiplexación por división de frecuencia localizada (LFDM), que es una variante de SC-FDM, para el enlace ascendente. Con LFDM, los símbolos de modulación se envían en un bloque de subportadoras consecutivas.

[0018] El nodo B 110 puede transmitir L símbolos de datos simultáneamente a través de L capas en cada subportadora en cada periodo de símbolo, donde en general $L \geq 1$. Una capa puede corresponder a una dimensión espacial para cada subportadora utilizada para la transmisión. El nodo B 110 puede transmitir datos utilizando diversos esquemas de transmisión MIMO.

[0019] En un diseño, el Nodo B 110 puede procesar los símbolos de datos para cada subportadora k de la forma siguiente:

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{W} \mathbf{U} \mathbf{d}(k), \quad \text{Ec (1)}$$

donde

$\mathbf{d}(k)$ es un vector $L \times 1$ que contiene L símbolos de datos para ser enviados a través de L capas por la subportadora k en un periodo de símbolo,

$\mathbf{U}$ es una matriz de permutación $L \times L$,

$\mathbf{W}$ es una matriz de precodificación $T \times L$, y

$\mathbf{x}(k)$ es un vector $T \times 1$ que contiene T símbolos de salida para las T antenas de transmisión de la subportadora k en un período de símbolo.

[0020] La ecuación (1) es para una subportadora k . El mismo procesamiento puede realizarse para cada subportadora utilizada para la transmisión. En la descripción del presente documento, una matriz puede tener una o varias columnas.

[0021] La matriz de precodificación $\mathbf{W}$ puede usarse para formar hasta T antenas virtuales con T antenas físicas 234a a 234t en el Nodo B 110. Cada antena virtual puede estar formada con una columna de $\mathbf{W}$. Un símbolo de datos se puede multiplicar por una columna de $\mathbf{W}$ y luego puede enviarse en una antena virtual y en todas las T antenas físicas. $\mathbf{W}$ puede determinarse como se describe a continuación.

[0022] La matriz de permutación $\mathbf{U}$ puede usarse para asignar los símbolos de datos para las L capas a L antenas virtuales seleccionadas de las T antenas virtuales disponibles. $\mathbf{U}$ puede definirse basándose en una asignación de capa a antena virtual seleccionada para uso. $\mathbf{U}$ también puede ser una matriz de identidad $\mathbf{I}$. Se pueden usar matrices de permutación iguales o diferentes para las K subportadoras.

[0023] En general, el Nodo B 110 puede realizar una precodificación basada en una o más matrices. La precodificación puede incluir la señalización de la antena virtual, que se procesa con la matriz de precodificación $\mathbf{W}$ para obtener antenas virtuales. La precodificación también puede incluir el procesamiento con una o más matrices de retardo cíclico para cada subportadora para obtener diversidad de retardo cíclico. Para simplificar, gran parte de la siguiente descripción asume que la precodificación incluye solo la señalización de la antena virtual con la matriz de precodificación $\mathbf{W}$.

[0024] La figura 3 muestra un diagrama de bloques de un diseño de procesador de datos de TX 220, procesador de TX de MIMO 230, y moduladores 232a a 232t en el Nodo B 110 en la figura 2. Dentro del procesador de datos de TX 220, se pueden proporcionar S flujos de datos a los S codificadores 320a a 320s, donde en general $S \geq 1$. Cada codificador 320 puede codificar, intercalar y mezclar su flujo de datos y proporcionar datos codificados a un mapeador de símbolos 322 asociado. Cada mapeador de símbolos 322 puede asignar sus datos codificados a símbolos de datos. Cada flujo de datos puede llevar un bloque o paquete de transporte en cada intervalo de tiempo de transmisión (TTI). Cada codificador 320 puede procesar su bloque de transporte para obtener una palabra de código. Los términos "flujo de datos", "bloque de transporte", "paquete" y "palabra de código" pueden usarse indistintamente. Los mapeadores de símbolos 322a a 322s pueden proporcionar S flujos de símbolos de datos.

[0025] Dentro del procesador MIMO TX 230, un mapeador de capas 332 puede asignar los símbolos de datos para los S flujos de datos a L antenas virtuales seleccionadas para su uso. En un diseño, el mapeador 332 puede asignar los símbolos de datos para los S flujos de datos a las L capas y luego puede asignar los símbolos de datos para las L capas a las subportadoras y antenas virtuales utilizadas para la transmisión. Un precodificador/unidad de señalización de antena virtual 334 puede multiplicar los símbolos mapeados del mapeador de capas 332 para cada subportadora con la matriz de precodificación $\mathbf{W}$ para obtener símbolos de salida para esa subportadora. Los símbolos piloto pueden multiplexarse en la entrada de salida del precodificador 334. El precodificador 334 proporciona T flujos de símbolos de salida a T moduladores 232a a 232t.

[0026] Cada modulador 232 puede realizar modulación OFDM para un flujo de símbolos de salida respectivo. Dentro de cada modulador 232, una unidad de transformada de Fourier discreta inversa (IDFT) 342 puede realizar una IDFT de punto K en K símbolos de salida para enviar en las subportadoras totales K en un período de símbolo OFDM para obtener una porción útil que contiene K muestras de dominio de tiempo. Cada muestra del dominio del tiempo es un valor complejo que se transmitirá en un período de muestra. Un generador de prefijo cíclico 344 puede copiar las últimas C muestras de la porción útil y agregar las muestras copiadas al frente de la parte útil para formar un símbolo OFDM que contiene $K + C$ muestras. La parte copiada se denomina un prefijo cíclico y se utiliza para combatir la interferencia entre símbolos (ISI) causada por el desvanecimiento selectivo de la frecuencia. Cada modulador 232 puede acondicionar adicionalmente su flujo de muestra (no mostrado en la figura 3) para generar una señal de enlace descendente.

[0027] El controlador/procesador 240 puede recibir información de retroalimentación desde el UE 120 y generar controles para procesador de datos de TX 220 y procesador de TX de MIMO 230. El controlador/procesador 240 también puede proporcionar la matriz de precodificación $\mathbf{W}$ al precodificador 334.

[0028] El procesador de datos de TX 280, el procesador de TX de MIMO 282 y los moduladores 254 en el UE 120 en la figura 2 pueden implementarse de manera similar al procesador de datos de TX 220, el procesador de TX de MIMO 230 y los moduladores 232, respectivamente, en la figura 3. Para LFDM, se puede insertar una unidad de transformada de Fourier discreta (DFT) después de cada mapeador de símbolos 322 y se puede usar para transformar los símbolos de datos del dominio de tiempo al dominio de la frecuencia. Para OFDM, la unidad DFT puede omitirse como se muestra en la figura 3.

[0029] Los símbolos recibidos en el UE 120 para cada subportadora k pueden expresarse como:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(k) &= \mathbf{H}(k) \mathbf{x}(k) + \mathbf{z}(k) \\ &= \mathbf{H}(k) \mathbf{W} \mathbf{U} \mathbf{d}(k) + \mathbf{z}(k) , \\ &= \mathbf{H}_{eff}(k) \mathbf{U} \mathbf{d}(k) + \mathbf{z}(k) \end{aligned}$$

Ec (2)

donde

$\mathbf{H}(k)$ es una matriz de canal MIMO $R \times T$ para la subportadora k ,

$\mathbf{H}_{eff}(k) = \mathbf{H}(k) \mathbf{W}$ es una matriz de canales MIMO efectiva $R \times L$ para la subportadora k ,

$\mathbf{y}(k)$ es un vector $R \times 1$ que contiene símbolos recibidos $\mathbf{R}$ en la subportadora k , y

$\mathbf{z}(k)$ es un vector de ruido $R \times 1$ para la subportadora k .

[0030] El UE 120 puede calcular una matriz de filtro espacial $\mathbf{M}(k)$ para cada subportadora k basada en la matriz de canal MIMO $\mathbf{H}(k)$ y la matriz de precodificación $\mathbf{W}$ y de acuerdo con una técnica de error de media cuadrática lineal (MMSE), como sigue:

$$\mathbf{M}(k) = \mathbf{D}(k) [\mathbf{H}_{eff}^H(k) \mathbf{H}_{eff}(k) + \sigma_z^2 \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{H}_{eff}^H(k) ,$$

Ec (3)

donde

$$\mathbf{D}(k) = [\text{diag} \{[\mathbf{H}_{eff}^H(k) \mathbf{H}_{eff}(k) + \sigma_z^2 \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{H}_{eff}^H(k) \mathbf{H}_{eff}(k)\}]^{-1}$$

es una matriz diagonal de los valores de escala utilizados para obtener los símbolos detectados normalizados,

σ_z^2 es la varianza del ruido, y

$\mathbf{M}(k)$ es una matriz de filtro espacial $R \times L$ para la subportadora k .

[0031] El UE 120 puede realizar la detección MIMO de la siguiente manera:

$$\mathbf{U} \hat{\mathbf{d}}(k) = \mathbf{M}(k) \mathbf{y}(k) = \mathbf{U} \mathbf{d}(k) + \tilde{\mathbf{z}}(k) ,$$

Ec(4)

donde

$\hat{\mathbf{d}}(k)$ es un vector $L \times 1$ que contiene L símbolos detectados para la subportadora k , y

$\tilde{\mathbf{z}}(k)$ es un vector de ruido después de la detección MIMO.

[0032] La figura 4 muestra un diagrama de bloques de un diseño de procesador MIMO RX 260 y procesador de datos de RX 270 en el UE 120 en la figura 2. El estimador de canal 294 puede derivar una estimación de canal MIMO $\mathbf{H}(k)$ basada en los símbolos piloto recibidos de los demoduladores 254a a 254r. Dentro del procesador de MIMO de RX 260, una unidad de cálculo 410 puede calcular una matriz de filtro espacial $\mathbf{M}(k)$ para cada subportadora k como se muestra en la ecuación (3) o en base a alguna otra técnica de detección MIMO. Un detector MIMO 412 puede realizar la detección MIMO en R flujos de símbolos de datos recibidos de los demoduladores R 254a a 254r con la matriz de filtro espacial $\mathbf{M}(k)$ para cada subportadora k como se muestra en la ecuación (4) y proporcionar símbolos detectados para las L antenas virtuales seleccionadas. Un separador de capas 414 puede destapar los símbolos detectados de una manera complementaria al mapeo realizado por el mapeador de capas 332 en la figura 3 y puede proporcionar S flujos de símbolos detectados para los S flujos de datos.

[0033] Dentro del procesador de datos RX 270, los S demapeadores de símbolos 420a a 420s pueden simular el mapa de los flujos de símbolos S detectados y proporcionar relaciones de probabilidad de registro (LLR). Los S decodificadores 422a a 422s pueden descifrar, desentrelazar y decodificar los LLR de los demapeadores de símbolos 420a a 420s, respectivamente, y proporcionar S flujos de datos decodificados.

[0034] La figura 4 muestra un receptor MMSE lineal. Para un receptor MMSE lineal con cancelación de interferencia sucesiva (MMSE-SIC), se puede detectar y decodificar un flujo de datos, y la interferencia debida a este flujo puede estimarse y cancelarse a partir de los símbolos de datos recibidos. Luego, se puede detectar y decodificar otro flujo de datos después de la cancelación de la interferencia debida al flujo decodificado.

[0035] Se pueden usar varios tipos de matrices para la precodificación de la matriz $\mathbf{W}$. En un diseño, una matriz unitaria $T \times T$ $\mathbf{V}$ se utiliza para la matriz de precodificación $\mathbf{W}$. La matriz unitaria $\mathbf{V}$ se caracteriza por las propiedades $\mathbf{V}^H \mathbf{V} = \mathbf{I}$ y $\mathbf{V} \mathbf{V}^H = \mathbf{I}$, lo que significa que las columnas de $\mathbf{V}$ son ortogonales entre sí, las filas de $\mathbf{V}$ también son ortogonales entre sí, y cada columna y cada fila tienen potencia unitaria. La matriz unitaria $\mathbf{V}$ se puede definir de modo que todos los elementos de la matriz sean elementos de magnitud unitaria que tengan la misma magnitud. El uso de la matriz unitaria $\mathbf{V}$ con elementos de magnitud unitaria para la matriz de precodificación $\mathbf{W}$ puede (i) permitir que todas las antenas de transmisión T y sus amplificadores de potencia asociados se utilicen completamente para la transmisión de datos, independientemente del número de capas y (ii) evitar afectar las estadísticas del canal, que pueden ser desconocidas para el transmisor.

[0036] En un diseño, se puede usar una matriz de Fourier $\mathbf{F}$, que es una matriz unitaria con elementos de magnitud unitaria, para la matriz de precodificación $\mathbf{W}$. Los elementos de una matriz de Fourier $T \times T$ $\mathbf{F}$ se puede expresar como:

$$f_{u,v} = e^{-j2\pi \frac{u \cdot v}{T}}, \quad \text{para } u = 0, \dots, T-1 \text{ y } v = 0, \dots, T-1, \quad \text{Ec. (5)}$$

donde $f_{u,v}$ es el elemento en la fila u -ésima y la columna v -ésima de la matriz de Fourier. Una matriz de Fourier también se conoce comúnmente como una matriz DFT.

[0037] En otro diseño, se puede utilizar una matriz de Fourier desplazada en fase, que también es una matriz unitaria con elementos de magnitud unitaria, para la matriz de precodificación $\mathbf{W}$. La matriz de Fourier desplazada en fase se puede expresar como:

$$\mathbf{W} = \mathbf{\Lambda} \mathbf{F}, \quad \text{Ec (6)}$$

donde

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\theta_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e^{j\theta_T} \end{bmatrix}$$

es una matriz de cambio de fase diagonal, y

θ_v es la fase para la v -ésima antena.

[0038] Una matriz diagonal es una matriz con posibles elementos distintos a cero a lo largo de la diagonal y elementos de cero en el resto. Como se muestra en la ecuación (6), la matriz de Fourier desplazada en fase se puede obtener multiplicando previamente la matriz de Fourier con una matriz diagonal.

[0039] La precodificación con una matriz unitaria como se muestra en la ecuación (1) puede permitir que cada símbolo de datos se transmita a través de todas las antenas físicas T y también puede permitir que los amplificadores de potencia asociados se usen para la transmisión de datos, incluso cuando solo se envía un símbolo de datos en una capa. Además, cada símbolo de datos puede enviarse desde todas las T antenas físicas independientemente del número de capas y puede observar diversidad espacial.

[0040] La respuesta del canal MIMO desde las T antenas de transmisión en el Nodo B 110 a las R antenas de recepción en el UE 120 se puede expresar como:

$$\mathbf{H}(k) = \begin{bmatrix} h_{11}(k) & h_{12}(k) & \dots & h_{1T}(k) \\ h_{21}(k) & h_{22}(k) & \dots & h_{2T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{R1}(k) & h_{R2}(k) & \dots & h_{RT}(k) \end{bmatrix}, \quad \text{Ec (7)}$$

donde $h_{ij}(k)$ es una ganancia de canal compleja de la antena de transmisión j a la antena de recepción i para la subportadora k .

[0041] Las características de las ganancias del canal complejo en $\mathbf{H}(k)$ pueden depender de diversos factores, como el entorno inalámbrico, el tipo de antenas utilizadas en el Nodo B 110, el tipo de antenas utilizadas en el UE 120, etc. Si se usa una configuración de antena tal como una matriz lineal uniforme (ULA) en el Nodo B 110, las ganancias del canal complejo pueden no estar correlacionadas, y la precodificación con una matriz unitaria puede lograr una diversidad espacial. Sin embargo, si las configuraciones de la antena de polarización cruzada se utilizan en el Nodo B 110 y el UE 120, la discriminación de polarización cruzada (XPD) del canal MIMO puede aumentar. Cuando la XPD es alta, la matriz del canal MIMO $\mathbf{H}(k)$ puede acercarse a una matriz diagonal, y la precodificación con una matriz unitaria puede hacer que la matriz efectiva del canal MIMO $\mathbf{H}_{eff}(k)$ se aleje de la matriz diagonal.

[0042] El UE 120 puede emplear un receptor MMSE lineal, un receptor MMSE-SIC o algún otro receptor MIMO para procesar los símbolos recibidos $y(k)$. El receptor MMSE lineal puede realizar la detección MMSE lineal en los símbolos recibidos para obtener los símbolos detectados para todas las secuencias, que pueden procesarse para recuperar los datos enviados en estas secuencias. El receptor MMSE-SIC puede realizar la detección y la decodificación lineal de MMSE para un flujo a la vez, estimar la interferencia debida a cada flujo decodificado y cancelar la interferencia estimada antes de realizar la detección y decodificación de MMSE para el siguiente flujo. El receptor MMSE-SIC puede ser capaz de lograr un buen rendimiento, independientemente de si el canal MIMO efectivo es diagonal o no diagonal. Sin embargo, el receptor MMSE lineal puede tener un peor rendimiento para un canal MIMO efectivo no diagonal. Por lo tanto, la precodificación con una matriz unitaria en presencia de una matriz de canal MIMO casi diagonal $\mathbf{H}(k)$ puede degradar el rendimiento del receptor lineal MMSE.

[0043] En un aspecto, la precodificación dependiente de rango se puede realizar para proporcionar un buen rendimiento tanto para el receptor MMSE lineal como para el receptor MMSE-SIC. Para la precodificación dependiente de rango, cada rango puede asociarse con un conjunto de al menos un vector o matriz de precodificación que puede proporcionar un buen rendimiento para ese rango. Diferentes rangos pueden asociarse con diferentes conjuntos de vectores o matrices de precodificación. La precodificación dependiente de rango puede proporcionar un buen rendimiento incluso cuando el Nodo B está equipado con antenas de polarización cruzada.

[0044] Para mayor claridad, la precodificación dependiente de rango se describe a continuación para una configuración MIMO 2×2 con dos antenas de transmisión y dos antenas de recepción. Para simplificar, la siguiente descripción es para una subportadora, y se omite el índice de subportadora k . También por simplicidad, se asume que $\mathbf{U}$ es una matriz de identidad y se omite. Para la configuración MIMO 2×2 , los símbolos recibidos en el UE se pueden expresar como:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}. \quad \text{Ec (8)}$$

[0045] La matriz del canal MIMO puede parecerse a una matriz diagonal si el XPD es muy alto. Para un caso de canal MIMO casi diagonal, la matriz del canal MIMO se puede expresar como:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix}, \quad \text{Ec (9)}$$

donde α y β son ganancias complejas de canal. La matriz del canal MIMO casi diagonal en la ecuación (9) se puede obtener, por ejemplo, cuando el Nodo B y el UE están equipados con antenas de polarización cruzada.

$$\mathbf{F} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

[0046] Para una transmisión de rango 2 utilizando una matriz de Fourier 2×2 como matriz de precodificación $\mathbf{W}$, los símbolos de salida en el Nodo B y los símbolos recibidos en el UE se pueden expresar como:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}, \quad \text{Ec (10)}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha & \alpha \\ \beta & -\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}. \quad \text{Ec (11)}$$

[0047] La ecuación (11) se puede expresar como:

$$y_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha \cdot d_1 + \alpha \cdot d_2) + z_1 \quad \text{y} \quad y_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta \cdot d_1 - \beta \cdot d_2) + z_2 . \quad \text{Ec (12)}$$

[0048] Como se muestra en la ecuación (12), la precodificación con la matriz de Fourier puede degradar el rendimiento de la transmisión de rango 2 debido a una mayor interferencia espacial si el UE emplea un receptor MMSE lineal, a menos que $|\alpha| = |\beta|$. Si el UE emplea un receptor MMSE-SIC, la precodificación con la matriz de Fourier puede no degradar el rendimiento (idealmente).

[0049] Para una transmisión de rango 2 que utiliza la matriz de identidad como la matriz de precodificación **W**, o **W** = **I**, los símbolos de salida en el Nodo B y los símbolos recibidos en el UE se pueden expresar como:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}, \text{ y} \quad \text{Ec (13)}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} . \quad \text{Ec (14)}$$

[0050] La ecuación (14) se puede expresar como:

$$y_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \alpha \cdot d_1 + z_1 \quad \text{y} \quad y_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \beta \cdot d_2 + z_2 . \quad \text{Ec (15)}$$

[0051] Como se muestra en la ecuación (15), la precodificación con la matriz de identidad puede resultar en poca o ninguna interferencia espacial cuando la matriz del canal MIMO es casi diagonal. Esto puede proporcionar un buen rendimiento de rango 2 tanto para el receptor lineal MMSE como para el receptor MMSE-SIC. Por lo tanto, la matriz de identidad se puede preferir sobre la matriz de Fourier para la transmisión de rango 2 con una matriz de canal MIMO casi diagonal.

[0052] Para una transmisión de rango 1 que usa una columna de la matriz de Fourier **F** como la matriz de precodificación **W**, los símbolos de salida en el Nodo B y los símbolos recibidos en el UE se pueden expresar como:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ \pm 1 \end{bmatrix} d, \text{ y} \quad \text{Ec (16)}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha \\ \pm \beta \end{bmatrix} d + \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} . \quad \text{Ec (17)}$$

El signo $\pm$ en las ecuaciones (16) y (17) depende de si la primera o la segunda columna de la matriz de Fourier se usa como el vector de precodificación.

[0053] La ecuación (17) se puede expresar como:

$$y_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \alpha \cdot d + z_1 \quad \text{y} \quad y_2 = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \beta \cdot d + z_2 . \quad \text{Ec (18)}$$

[0054] Como se muestra en la ecuación (18), la precodificación con una columna de la matriz de Fourier para la transmisión de rango 1 puede mejorar el rendimiento, ya que el UE puede obtener una potencia de canal combinada de $(|\alpha|^2 + |\beta|^2)/2$, por lo tanto completamente utilizando la potencia radiada de dos amplificadores de potencia para dos antenas de transmisión en el Nodo B.

[0055] Para una transmisión de rango 1 que utiliza la columna izquierda de la matriz de identidad como la matriz de precodificación **W**, los símbolos recibidos en el UE se pueden expresar como:

$$y_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \alpha \cdot d + z_1 \quad \text{y} \quad y_2 = z_2 . \quad \text{Ec (19)}$$

[0056] Si la columna derecha de la matriz de identidad se usa como la matriz de precodificación **W**, entonces los símbolos recibidos en el UE se pueden expresar como:

$$y_1 = z_1 \quad \text{y} \quad y_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \beta \cdot d + z_2 . \quad \text{Ec (20)}$$

[0057] Como se muestra en las ecuaciones (19) y (20), el UE puede obtener una potencia de canal de $|\alpha|^{2/2}$ o $|\beta|^{2/2}$ para la transmisión de rango 1 dependiendo de si la columna de la izquierda o derecha de la matriz de identidad se utiliza para la precodificación. Por lo tanto, la mitad de la potencia total de los dos amplificadores de potencia puede desperdiciarse utilizando una columna de la matriz de identidad para la precodificación de la transmisión de rango 1. La matriz de Fourier se puede preferir así a la matriz de identidad para la transmisión de rango 1.

[0058] En un primer diseño, se pueden admitir tres hipótesis para los rangos 1 y 2 en la configuración MIMO 2×2 , de la siguiente manera:

- Usar la matriz de identidad para el rango 2, y
- Usar la primera o la segunda columna de la matriz de Fourier (o una matriz de Fourier con desplazamiento de fase) para el rango 1.

[0059] El primer diseño puede usarse cuando la matriz **H** del canal MIMO está cerca de la diagonal, por ejemplo, debido al alto XPD para configuraciones de antena de polarización cruzada. Este diseño puede proporcionar un buen rendimiento tanto para el receptor MMSE lineal como para el receptor MMSE-SIC para los rangos 1 y 2 para la matriz de canales MIMO casi diagonal. Este diseño puede usarse cuando el UE no informa la información de la matriz de precodificación.

[0060] En un segundo diseño, se pueden admitir cuatro hipótesis para los rangos 1 y 2 en la configuración MIMO 2×2 , de la siguiente manera:

- Usar la matriz de identidad o la matriz de Fourier (o una matriz de Fourier desplazada en fase) para el rango 2, y
- Usar la primera o la segunda columna de la matriz de Fourier (o la matriz de Fourier con desplazamiento de fase) para el rango 1.

[0061] El segundo diseño puede soportar tanto el canal MIMO casi diagonal como el canal MIMO diagonal. Tanto el alto XPD (canal MIMO casi diagonal) como el bajo XPD (lejos del canal MIMO diagonal) se pueden observar dinámicamente incluso para configuraciones de antena de polarización cruzada dependiendo de las orientaciones de la antena, las propagaciones de canales, etc. Además, se pueden equipar diferentes UE con diferentes configuraciones de antena, por ejemplo, algunos UE pueden estar equipados con antenas dipolo, mientras que otros UE pueden estar equipados con antenas de polarización cruzada. Al admitir tanto la matriz de identidad como la matriz de Fourier para el rango 2, se puede lograr un buen rendimiento tanto para el receptor MMSE lineal como para el receptor MMSE-SIC, independientemente del XPD o de las configuraciones de la antena.

[0062] Para el segundo diseño, un UE puede seleccionar una de las cuatro hipótesis basadas en una métrica (por ejemplo, rendimiento de suma). El UE puede reportar la hipótesis seleccionada usando dos bits para retroalimentación. El nodo B puede aplicar la matriz de precodificación correspondiente a la hipótesis seleccionada para la transmisión de datos al UE.

[0063] Para mayor claridad, la precodificación dependiente de rango se ha descrito para la configuración MIMO 2×2 . En general, la precodificación dependiente de rango se puede utilizar para cualquier configuración MIMO $R \times T$ y puede admitir cualquier número de rangos diferentes. Cada rango puede asociarse con un conjunto de al menos un vector o matriz de precodificación. Para el rango 1, el conjunto puede incluir al menos un vector de columna de una matriz unitaria, que puede ser una matriz de Fourier, una matriz de Fourier desplazada en fase o alguna otra matriz. Para el rango 2, el conjunto puede incluir la matriz de identidad y posiblemente una o más matrices unitarias. Un conjunto para un rango más alto puede incluir una o más matrices que pueden proporcionar un buen rendimiento para ese rango. Por ejemplo, un conjunto para el rango 4 puede incluir una matriz que puede proporcionar un buen rendimiento para las antenas de polarización cruzada dual. El conjunto para cada rango también puede incluir otras matrices. Los conjuntos de vectores/matrices de precodificación para diferentes rangos pueden definirse para proporcionar un buen rendimiento tanto para el canal MIMO casi diagonal como para el canal MIMO diagonal.

[0064] En un diseño, el Nodo B puede seleccionar la matriz de precodificación y no confiar en el reporte de información de la matriz de precodificación por parte del UE. El UE puede seleccionar el rango, y el Nodo B puede seleccionar la matriz de precodificación en función del rango seleccionado. En otro diseño, el UE puede evaluar diferentes vectores/matrices de precodificación posibles para diferentes rangos y puede informar el vector/matriz de precodificación y rango seleccionados. El Nodo B puede entonces aplicar el vector/matriz de precodificación seleccionado.

[0065] Como se indicó anteriormente, SC-FDM o OFDM se pueden usar para la transmisión en un enlace dado. Una motivación principal para elegir SC-FDM en lugar de OFDM para el enlace ascendente es que una forma de onda SC-FDM tiene una relación de potencia pico-promedio (PAR) más baja que la de una forma de onda OFDM. La PAR inferior puede permitir que un amplificador de potencia se opere más cerca del nivel de potencia pico (o a una potencia promedio más alta). Por lo tanto, SC-FDM puede tener una ventaja sobre OFDM en escenarios de potencia limitada, como los UE de borde de celda, debido a su utilización más eficiente del amplificador de potencia.

[0066] Sin embargo, los UE ubicados cerca del Nodo B o en células aisladas pueden lograr una geometría suficientemente alta para justificar la transmisión MIMO. Para MIMO 2×2 de un solo usuario (SU-MIMO), dos flujos pueden ser transmitidos por un UE equipado con dos antenas y dos amplificadores de potencia. Para SU-MIMO de 4×4 , cuatro flujos pueden ser transmitidos por un UE equipado con cuatro antenas y cuatro amplificadores de potencia. En cualquier caso, diferentes flujos pueden observar diferentes condiciones de canal y pueden enviarse de manera fiable a diferentes velocidades con diferentes esquemas de modulación y codificación (MCS). El uso de diferentes esquemas de modulación para diferentes flujos puede llevar a diferentes PAR para estos flujos. Además, el procesamiento MIMO del transmisor, como la permutación de la capa y la precodificación, también puede afectar a los PAR de los flujos.

[0067] La simulación por ordenador se realizó para determinar los PAR de las formas de onda LFDM y OFDM para varios esquemas MIMO y esquemas de modulación para la configuración MIMO de 2×2 . La simulación por ordenador se realizó para los siguientes esquemas MIMO:

- Control de velocidad por antena (PARC): cada flujo se envía desde una antena física sin precodificación ni permutación de capa,
- Permutación de la capa: cada flujo se envía a través de todas las antenas utilizadas para la transmisión MIMO, y
- Precodificación (o asignación de antena virtual): cada flujo se envía en una antena virtual formada con una columna de una matriz de precodificación.

[0068] PARC se puede lograr omitiendo la permutación de la capa y realizando la precodificación con la matriz de identidad. La permutación de la capa se puede lograr haciendo un ciclo a través de las antenas en diferentes subportadoras y/o en diferentes períodos de símbolos. La permutación de la capa puede permitir que un flujo observe una relación señal/ruido e interferencia promedio (SINR) para todas las antenas.

[0069] Se pueden enviar dos flujos a través de dos antenas basadas en uno de los esquemas MIMO. La simulación por ordenador indica que la PAR de una forma de onda LFDM es más bajo que la PAR de una forma de onda OFDM para todos los esquemas MIMO y esquemas de modulación. Para LFDM con PARC, la PAR para QPSK es más baja que la PAR para 16-QAM, que es más bajo que la PAR para 64-QAM. Para LFDM, la PAR de cada flujo de salida con permutación de capa se encuentra entre las PAR de los dos flujos de salida con PARC. También para LFDM, las PAR de los flujos de salida con precodificación son más altos que (i) las PAR de los flujos de salida con permutación de capa y (ii) las PAR de los flujos de salida con PARC.

[0070] Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Para la transmisión de rango 1, puede ser ventajoso desde la perspectiva PAR realizar precodificación con una matriz unitaria para utilizar todos los amplificadores de potencia disponibles.
- Si el número de flujos es igual al número de antenas, o $L = T$, entonces la precodificación con una matriz unitaria puede degradar el rendimiento debido al aumento de PAR. La precodificación con la matriz de identidad puede proporcionar una PAR más baja.
- Si el número de flujos es menor que el número de antenas, o $L < T$, entonces puede ser ventajoso realizar la precodificación con una matriz unitaria para utilizar todos los amplificadores de potencia disponibles.

[0071] La figura 5 muestra un diseño de un proceso 500 para transmitir datos con precodificación dependiente de rango. El proceso 500 puede ser realizado por un transmisor, que puede ser un Nodo B para la transmisión de enlace descendente o un UE para la transmisión de enlace ascendente.

[0072] El transmisor puede obtener un vector de precodificación para una transmisión de rango 1 de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria (bloque 512). La matriz unitaria puede ser una matriz de Fourier, una matriz de Fourier desplazada en fase, o algún otro tipo de matriz unitaria. El transmisor puede realizar la precodificación para la transmisión de rango 1 en función del vector de precodificación (bloque 514). El transmisor puede obtener una matriz de precodificación para una transmisión de rango 2 de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad (bloque 516). El transmisor puede realizar la precodificación para la transmisión de rango 2 en base a la matriz de precodificación (bloque 518).

[0073] Para el bloque 514, el transmisor puede realizar una precodificación para un flujo de datos con el vector de precodificación para obtener múltiples flujos de salida para múltiples antenas de transmisión. Para el bloque 518, el transmisor puede realizar precodificación para dos flujos de datos con la matriz de precodificación para obtener múltiples flujos de salida para las múltiples antenas de transmisión.

[0074] En un diseño del bloque 516, el transmisor puede determinar si un canal MIMO se parece a un canal diagonal que tiene una matriz de respuesta de canal casi diagonal con pequeñas ganancias de canal fuera de la diagonal. Esta determinación puede basarse en (i) configuraciones de antena en el Nodo B y el UE, (ii) una estimación de canal MIMO obtenida por el receptor, y/o (iii) alguna otra información. El transmisor puede seleccionar la matriz de identidad como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si el canal MIMO se parece a un canal diagonal. Por ejemplo, el transmisor puede seleccionar la matriz de identidad si el Nodo B y/o el UE están equipados con antenas de polarización cruzada. El segundo conjunto puede comprender además la matriz unitaria. El transmisor puede seleccionar la matriz unitaria como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si el canal MIMO no se parece a un canal diagonal.

[0075] En un diseño, el transmisor puede seleccionar la matriz de identidad como una matriz de precodificación para una transmisión de rango L si L es igual al número de antenas de transmisión. El transmisor puede entonces realizar una precodificación para la transmisión de rango L en base a la matriz de identidad. El transmisor puede seleccionar una matriz unitaria como la matriz de precodificación para la transmisión de rango L si L es menor que el número de antenas de transmisión. El transmisor puede entonces realizar una precodificación para la transmisión de rango L en base a la matriz unitaria.

[0076] El transmisor puede seleccionar el vector de precodificación para la transmisión de rango 1 y la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2. Alternativamente, el transmisor puede recibir el vector de precodificación y/o la matriz de precodificación del receptor. El receptor puede evaluar diferentes posibles vectores de precodificación en el primer conjunto y diferentes matrices posibles en el segundo conjunto. El receptor puede enviar el vector de precodificación y la matriz con el mejor rendimiento al transmisor.

[0077] La figura 6 muestra un diseño de un aparato 600 para transmitir datos con precodificación dependiente de rango. El aparato 600 incluye medios para obtener un vector de precodificación para una transmisión de rango 1 de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria (módulo 612), medios para realizar la precodificación para la transmisión de rango 1 basada en el vector de precodificación (módulo 614), medios para obtener una matriz de precodificación para una transmisión de rango 2 de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad (módulo 616), y medios para realizar precodificación para la transmisión de rango 2 en base a la matriz de precodificación (módulo 618).

[0078] La figura 7 muestra un diseño de un proceso 700 para recibir datos con precodificación dependiente de rango. El proceso 700 puede ser realizado por un receptor, que puede ser un UE para transmisión de enlace descendente o un Nodo B para transmisión de enlace ascendente.

[0079] El receptor puede recibir una transmisión de rango 1 enviada desde múltiples antenas de transmisión con un vector de precodificación seleccionado de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria (bloque 712). El receptor puede procesar la transmisión de rango 1 para recuperar un flujo de datos enviado en la transmisión de rango 1 (bloque 714). El receptor puede recibir una transmisión de rango 2 enviada desde las múltiples antenas de transmisión con una matriz de precodificación seleccionada de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad (bloque 716). El receptor puede procesar la transmisión de rango 2 para recuperar dos flujos de datos enviados en la transmisión de rango 2 (bloque 718).

[0080] Para el bloque 714, el receptor puede derivar un vector de filtro espacial para la transmisión de rango 1 basado en el vector de precodificación. El receptor puede realizar la detección de la transmisión de rango 1 en función del vector de filtro espacial. Para el bloque 718, el receptor puede derivar una matriz de filtro espacial para la transmisión de rango 2 basada en la matriz de precodificación. El receptor puede realizar la detección MIMO para la

transmisión de rango 2 en función de la matriz de filtro espacial. El receptor puede realizar la detección MMSE o la detección MMSE-SIC para la transmisión de rango 2.

[0081] En un diseño, el receptor puede evaluar al menos un vector en el primer conjunto y al menos una matriz en el segundo conjunto basándose en una métrica, por ejemplo, el rendimiento de la suma. El receptor puede seleccionar un vector o una matriz con la mejor métrica, por ejemplo, el rendimiento de suma más alto. El receptor puede enviar información de retroalimentación que comprende el vector o la matriz seleccionados al transmisor.

[0082] La figura 8 muestra un diseño de un aparato 800 para recibir datos con precodificación dependiente de rango. El aparato 800 incluye medios para recibir una transmisión de rango 1 enviada desde múltiples antenas de transmisión con un vector de precodificación seleccionado de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria (módulo 812), medios para procesar la transmisión de rango 1 para recuperar un flujo de datos enviado en la transmisión de rango 1 (módulo 814), medios para recibir una transmisión de rango 2 enviado desde las múltiples antenas de transmisión con una matriz de precodificación seleccionada de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad (módulo 816), y medios para procesar la transmisión de rango 2 para recuperar dos flujos de datos enviados en la transmisión de rango 2 (módulo 818).

[0083] Los módulos en las figuras 6 y 8 pueden comprender procesadores, dispositivos electrónicos, dispositivos de hardware, componentes electrónicos, circuitos lógicos, memorias, etc., o cualquier combinación de los mismos.

[0084] Los expertos en la técnica entenderán que la información y las señales pueden representarse usando cualquiera entre una diversidad de tecnologías y técnicas diferentes. Por ejemplo, los datos, las instrucciones, los comandos, la información, las señales, los bits, los símbolos y los chips que puedan haberse mencionado a lo largo de la descripción anterior pueden representarse mediante tensiones, corrientes, ondas electromagnéticas, campos o partículas magnéticos, campos o partículas ópticos o cualquier combinación de los mismos.

[0085] Los expertos en la materia apreciarán, además, que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y pasos de algoritmo ilustrativos, descritos en relación con la divulgación en el presente documento pueden implementarse como hardware electrónico, software informático o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, anteriormente se han descrito en general diversos componentes, bloques, módulos, circuitos y pasos ilustrativos en términos de su funcionalidad. Que dicha funcionalidad se implemente como hardware o software depende de la aplicación particular y de las restricciones de diseño impuestas en el sistema general. Los expertos en la técnica pueden implementar la funcionalidad descrita de distintas maneras para cada solicitud particular, pero no se debería interpretar que dichas decisiones de implementación suponen apartarse del alcance de la presente divulgación.

[0086] Los diversos bloques lógicos, módulos y circuitos ilustrativos descritos en relación con la divulgación en el presente documento pueden implementarse o realizarse con un procesador de uso general, con un procesador de señales digitales (DSP), con un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), con una formación de puertas programables in situ (FPGA) o con otro dispositivo de lógica programable, con lógica de puertas discretas o transistores, con componentes de hardware discretos o con cualquier combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en el presente documento. Un procesador de uso general puede ser un microprocesador pero, de forma alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados convencional. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

[0087] Los pasos de un procedimiento o algoritmo descrito en relación con la divulgación en el presente documento pueden realizarse directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en una memoria RAM, en una memoria flash, en una memoria ROM, en una memoria EPROM, en una memoria EEPROM, en registros, en un disco duro, en un disco extraíble, en un CD-ROM o en cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocido en la técnica. Un medio de almacenamiento a modo de ejemplo está acoplado al procesador de modo que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. De forma alternativa, el medio de almacenamiento puede estar integrado en el procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. De forma alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un terminal de usuario.

[0088] En uno o más diseños a modo de ejemplo, las funciones descritas pueden implementarse en hardware, software, firmware o en cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en software, las funciones, como una o más instrucciones o código, se pueden almacenar en, o transmitir por, un medio legible por ordenador. Los medios legibles por ordenador incluyen tanto medios de almacenamiento informático como medios de comunicación, incluyendo cualquier medio que facilite la transferencia de un programa informático de un lugar a otro. Un medio de almacenamiento puede ser cualquier medio disponible al que se pueda acceder mediante un ordenador de uso general

o de uso especial. A modo de ejemplo, y no de limitación, dichos medios legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento de disco óptico, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que se pueda usar para transportar o almacenar medios deseados de código de programa en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que se pueda acceder mediante un ordenador de uso general o de uso especial, o un procesador de uso general o de uso especial. Además, cualquier conexión recibe debidamente la denominación de medio legible por ordenador. Por ejemplo, si el software se transmite desde una sede de la Red, un servidor u otro origen remoto, utilizando un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un par trenzado, una línea de abonado digital (DSL) o tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, el cable de fibra óptica, el par trenzado, la DSL o las tecnologías inalámbricas, tales como infrarrojos, radio y microondas, se incluyen en la definición de medio. Los discos, como se usan en el presente documento, incluyen un disco compacto (CD), un disco láser, un disco óptico, un disco versátil digital (DVD), un disco flexible y un disco Blu-ray, donde algunos discos reproducen usualmente los datos magnéticamente, mientras que otros discos reproducen los datos ópticamente con láseres. Las combinaciones de lo anterior también deberían incluirse dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

[0089] La descripción anterior de la divulgación se da a conocer para permitir que cualquier experto en la materia realice o use la divulgación. Diversas modificaciones a la divulgación resultarán inmediatamente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otras variantes sin apartarse del alcance de la divulgación. Por tanto, la divulgación no está prevista para limitarse a los ejemplos y diseños descritos en el presente documento, sino que la protección buscada es de acuerdo con el alcance más amplio compatible con el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para comunicación inalámbrica, que comprende:
 - 5 medios para obtener (612) un vector de precodificación para una transmisión de rango 1 de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria;

medios para realizar (614) precodificación para la transmisión de rango 1 basada en el vector de precodificación;
 - 10 medios para obtener (616) una matriz de precodificación para una transmisión de rango 2 de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad y una o más matrices unitarias; y

medios para realizar (618) precodificación para la transmisión de rango 2 basada en la matriz de precodificación.
2. El aparato de la reivindicación 1, en el que la matriz unitaria del primer conjunto es una matriz de Fourier o una matriz de Fourier desplazada en fase.
- 20 3. El aparato de la reivindicación 1, en el que los medios que obtienen la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 comprenden:

medios para determinar si un canal MIMO se parece a un canal diagonal; y

25 medios para seleccionar la matriz de identidad como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si el canal MIMO se parece a un canal diagonal.
4. El aparato de la reivindicación 3, en el que los medios para obtener la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 comprenden además medios para seleccionar la matriz unitaria como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si el canal MIMO no se parece a un canal diagonal.
- 30 5. El aparato de la reivindicación 3, en el que los medios para obtener la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 comprenden medios para determinar si el canal MIMO se parece a un canal diagonal basado en configuraciones de antena en un Nodo B y un equipo de usuario, UE.
- 35 6. El aparato de la reivindicación 1, en el que los medios para obtener la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 comprenden medios para seleccionar la matriz de identidad como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si un Nodo B está equipado con antenas de polarización cruzada.
- 40 7. El aparato de la reivindicación 1, en el que los medios para obtener la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 comprenden medios para seleccionar la matriz de identidad como la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 si un Nodo B y un equipo de usuario, UE, están equipados con antenas de polarización cruzada.
- 45 8. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además medios para obtener la matriz de precodificación para una transmisión de rango L, en el que los medios para obtener la matriz de precodificación para una transmisión de rango L comprenden medios para seleccionar una matriz de identidad como una matriz de precodificación para una transmisión de rango L si L es igual al número de antenas de transmisión, donde L es uno o más, y para realizar la precodificación para la transmisión de rango L en base a la matriz de identidad.
- 50 9. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además medios para obtener la matriz de precodificación para una transmisión de rango L, en el que los medios para obtener la matriz de precodificación para una transmisión de rango L comprenden medios para seleccionar una matriz unitaria como una matriz de precodificación para una transmisión de rango L si L es menor que el número de antenas de transmisión, donde L es uno o más, y para realizar la precodificación para la transmisión de rango L en base a la matriz unitaria.
- 55 10. El aparato de la reivindicación 1, en el que:

60 los medios para obtener la matriz de precodificación para la transmisión de rango 1 comprenden medios para realizar la precodificación de un flujo de datos con el vector de precodificación para obtener múltiples flujos de salida para múltiples antenas de transmisión para la transmisión de rango 1; y

los medios para obtener la matriz de precodificación para la transmisión de rango 2 comprenden medios para realizar la precodificación de dos flujos de datos con la matriz de precodificación para obtener múltiples flujos de salida para las múltiples antenas de transmisión para la transmisión de rango 2.
- 65

11. Un procedimiento para comunicación inalámbrica, que comprende:
- 5 obtener (512) un vector de precodificación para una transmisión de rango 1 de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria;
- realizar (514) precodificación para la transmisión de rango 1 basada en el vector de precodificación;
- 10 obtener (516) una matriz de precodificación para una transmisión de rango 2 de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad y una o más matrices unitarias; y
- realizar (518) precodificación para la transmisión de rango 2 basada en la matriz de precodificación.
12. Un medio legible por máquina que comprende instrucciones para llevar a cabo el procedimiento de la reivindicación 11.
13. Un aparato para comunicación inalámbrica, que comprende:
- 20 medios para recibir (812) una transmisión de rango 1 enviada desde múltiples antenas de transmisión con un vector de precodificación seleccionado de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria;
- medios para procesar (814) la transmisión de rango 1 para recuperar un flujo de datos enviado en la transmisión de rango 1;
- 25 medios para recibir (816) una transmisión de rango 2 enviada desde las múltiples antenas de transmisión con una matriz de precodificación seleccionada de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad y una o más matrices unitarias; y
- 30 medios para procesar (818) la transmisión de rango 2 para recuperar dos flujos de datos enviados en la transmisión de rango 2.
14. El aparato de la reivindicación 13, en el que los medios para procesar la transmisión de rango 1 comprenden medios para derivar un vector de filtro espacial para la transmisión de rango 1 basado en el vector de precodificación, y medios para realizar la detección de la transmisión de rango 1 basado en el vector de filtro espacial.
- 35 15. El aparato de la reivindicación 13, en el que los medios para procesar la transmisión de rango 2 comprenden medios para derivar una matriz de filtro espacial para la transmisión de rango 2 basada en la matriz de precodificación, y medios para realizar la detección MIMO para la transmisión de rango 2 basada en la matriz de filtro espacial.
- 40 16. El aparato de la reivindicación 13, en el que los medios para procesamiento comprenden medios para realizar la detección de error cuadrado medio mínimo lineal, MMSE, para la transmisión de rango 2.
- 45 17. El aparato de la reivindicación 13, en el que los medios de procesamiento comprenden medios para realizar una detección de error cuadrado medio mínimo lineal con una cancelación de interferencia sucesiva, MMSE-SIC, para la transmisión de rango 2.
- 50 18. El aparato de la reivindicación 13, en el que:
- los medios para procesar la transmisión de rango 1 comprenden medios para evaluar al menos un vector en el primer conjunto; y
- 55 los medios para procesar la transmisión de rango 2 comprenden medios para evaluar al menos una matriz en el segundo conjunto basado en una métrica, en el que el aparato comprende además:
- medios para seleccionar un vector o una matriz con la mejor métrica, y
- 60 medios para enviar información de retroalimentación que comprende el vector o la matriz seleccionados.
19. Un procedimiento para comunicación inalámbrica, que comprende:

recibir (712) una transmisión de rango 1 enviada desde múltiples antenas de transmisión con un vector de precodificación seleccionado de un primer conjunto que comprende al menos un vector de columna de una matriz unitaria;

5 procesar (714) la transmisión de rango 1 para recuperar un flujo de datos enviado en la transmisión de rango 1;

10 recibir (716) una transmisión de rango 2 enviada desde las múltiples antenas de transmisión con una matriz de precodificación seleccionada de un segundo conjunto que comprende una matriz de identidad y una o más matrices unitarias; y

procesar (718) la transmisión de rango 2 para recuperar dos flujos de datos enviados en la transmisión de rango 2.

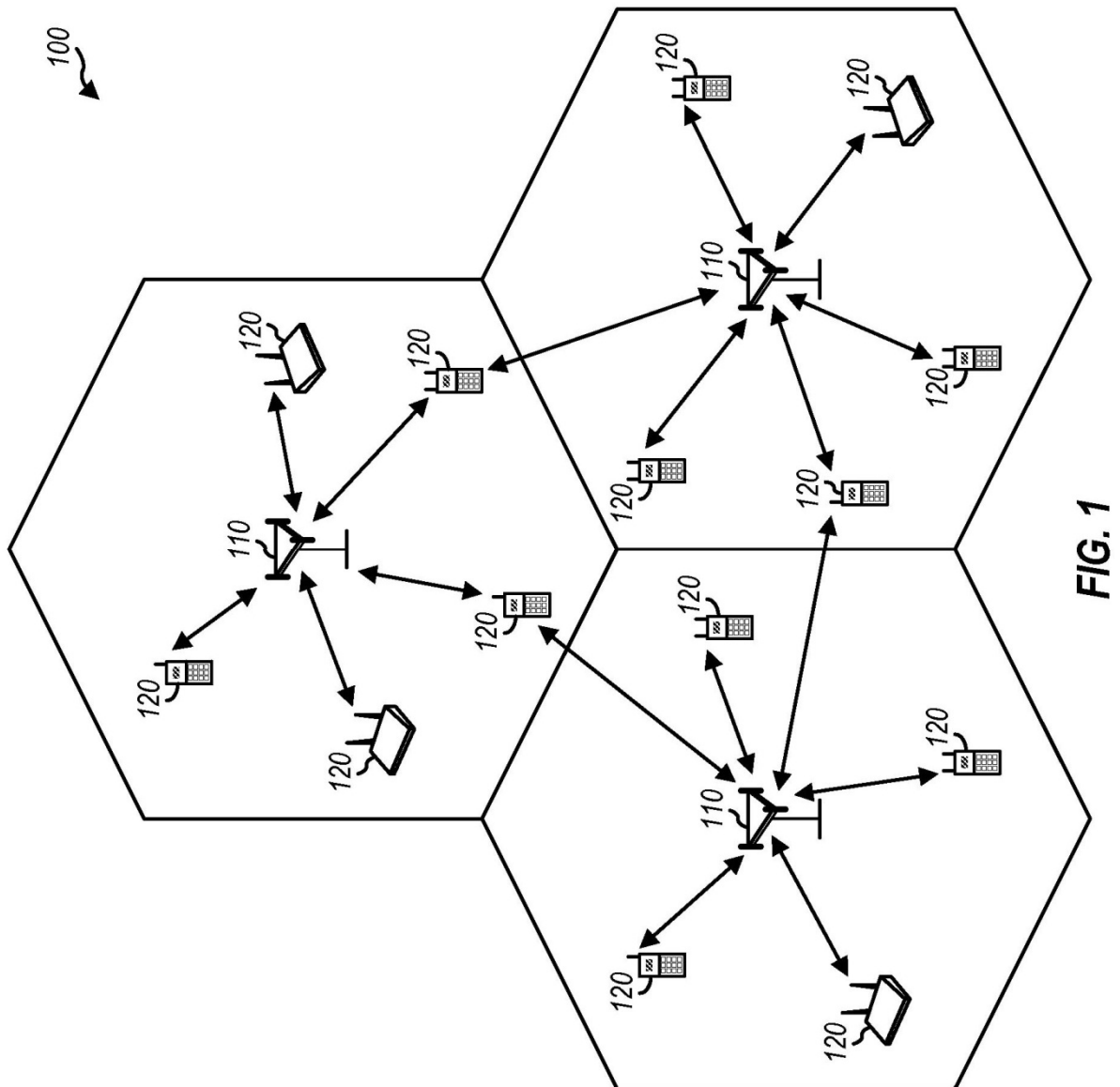


FIG. 1

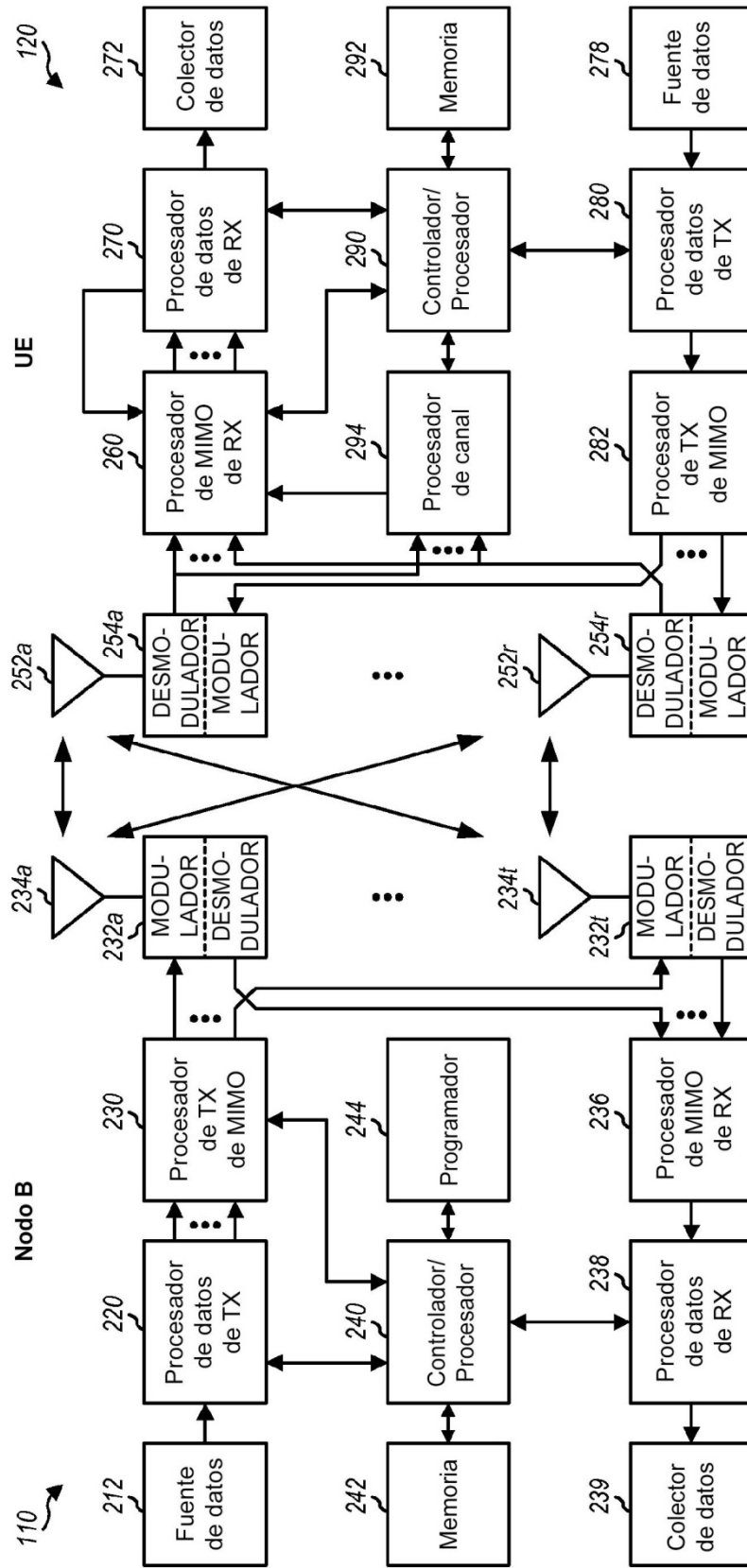


FIG. 2

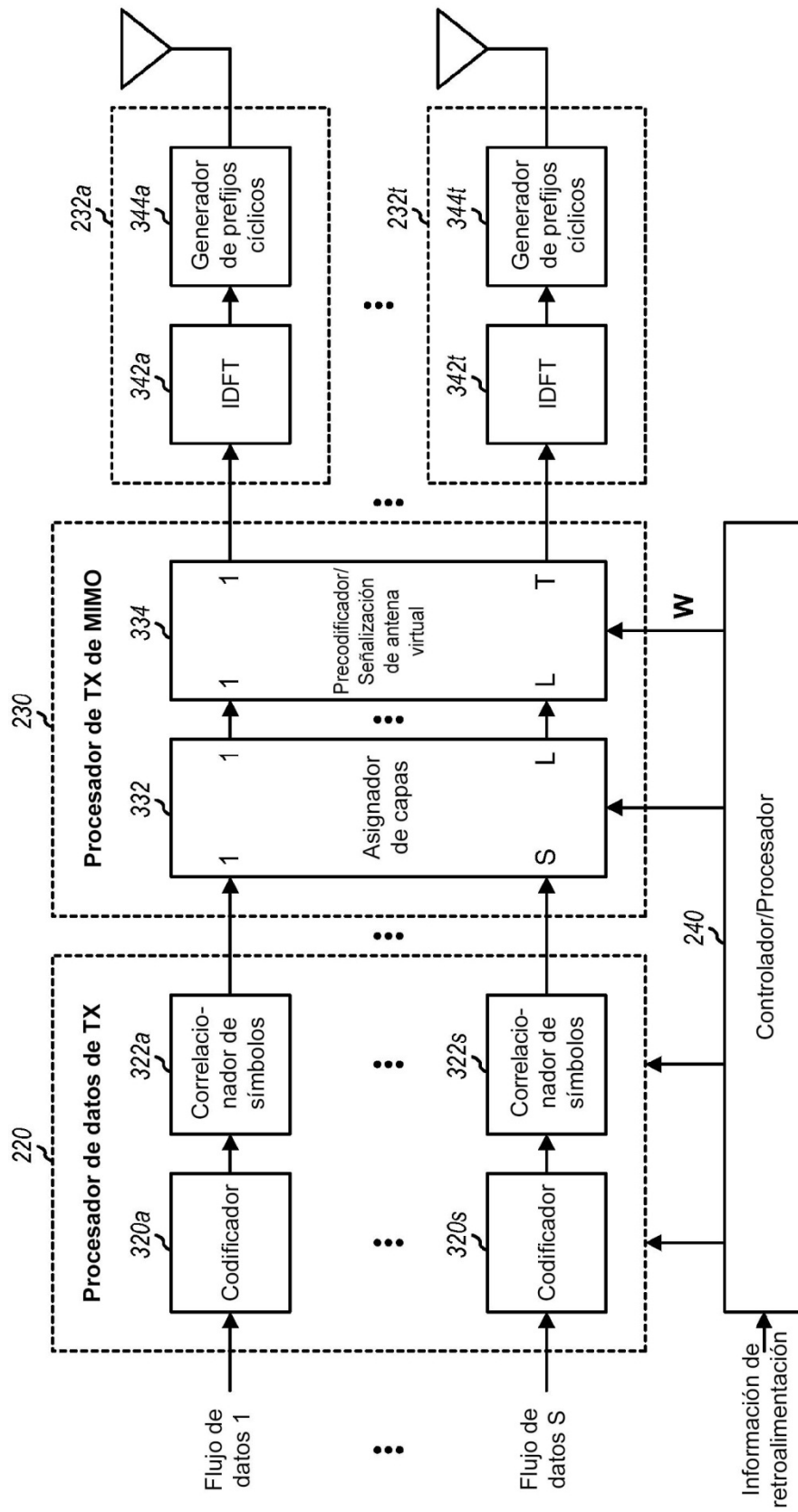
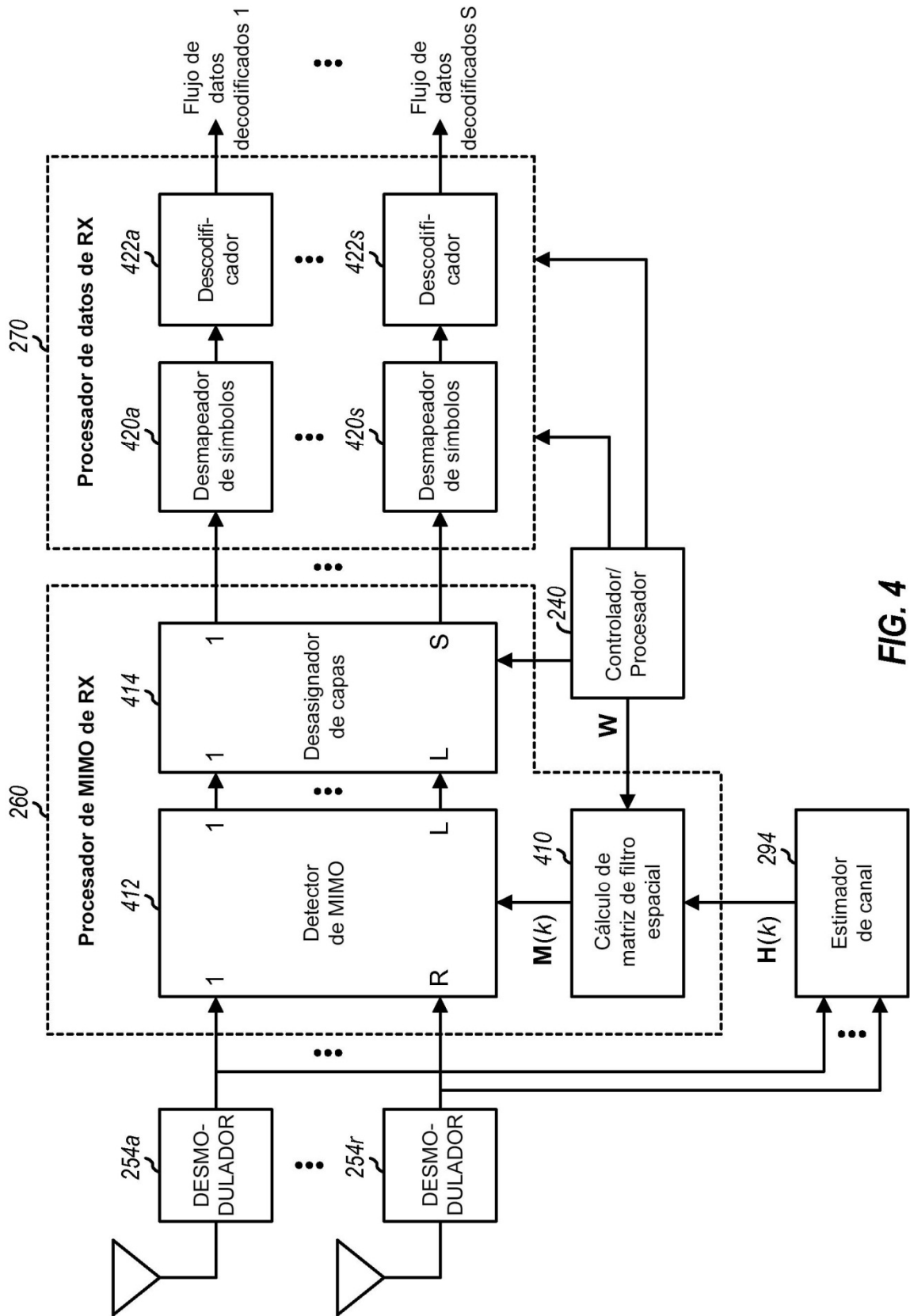
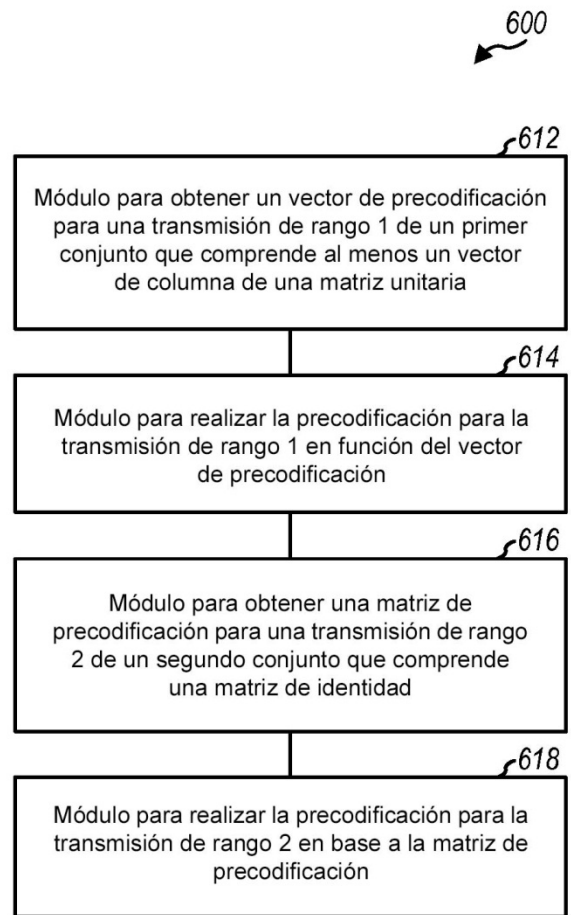
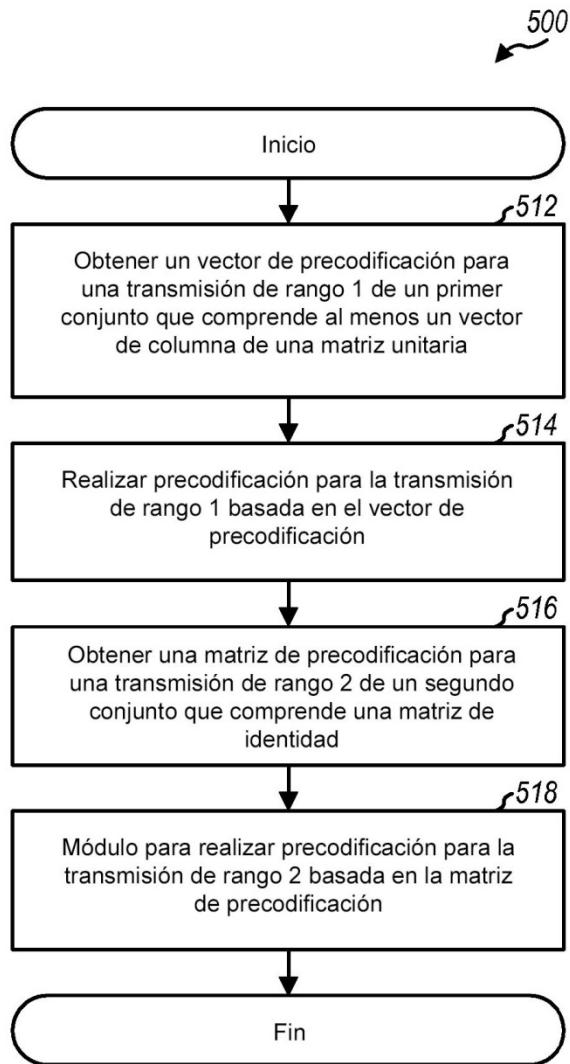


FIG. 3





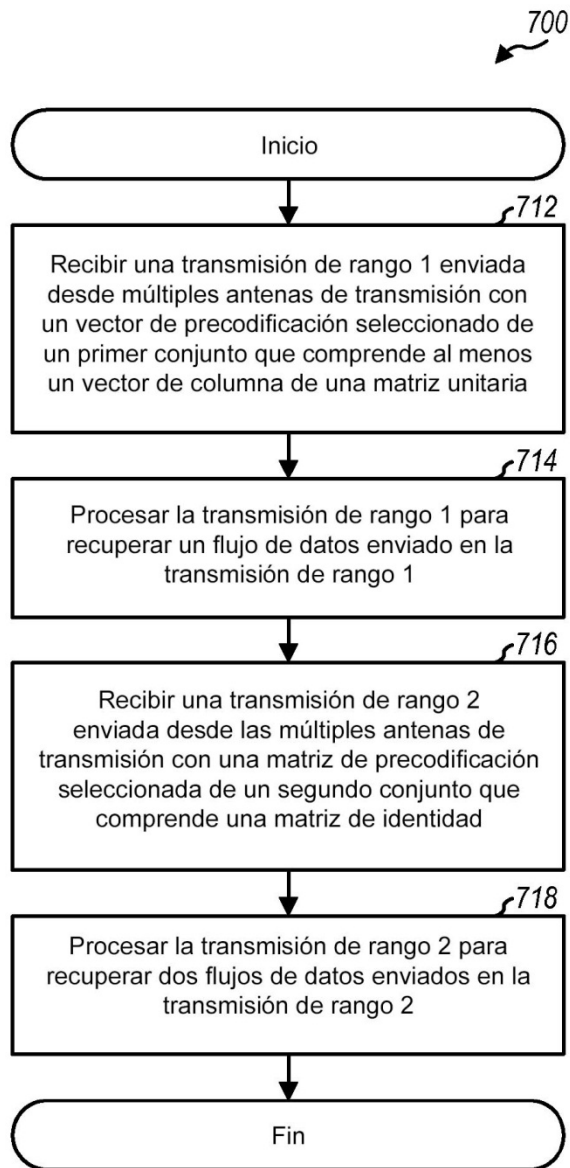


FIG. 7

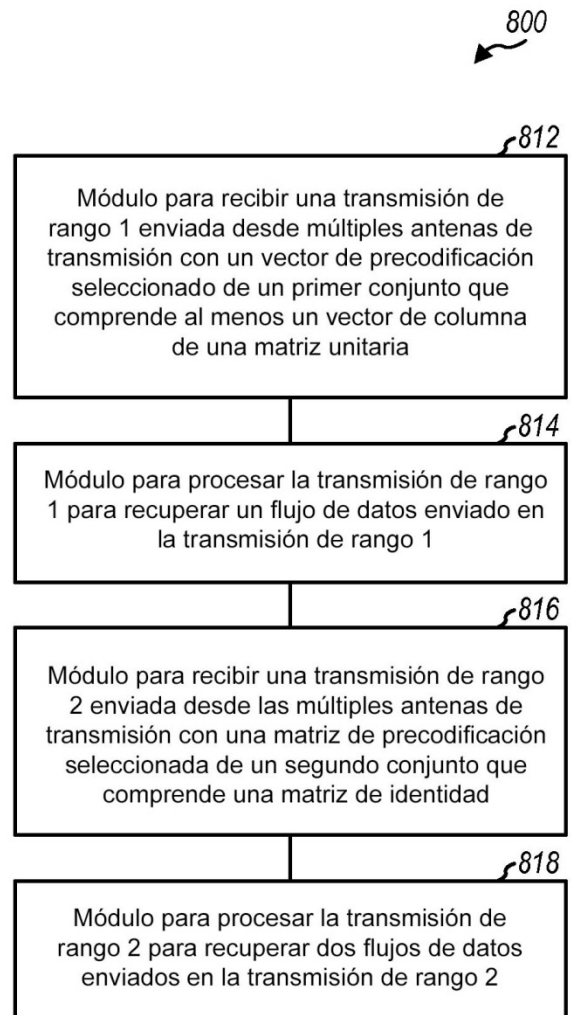


FIG. 8