

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 474**

51 Int. Cl.:

H04L 5/00 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2006 E 06789944 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.10.2014 EP 1917736**

54 Título: **Procedimiento y aparato de selección de antenas en un sistema de MIMO**

30 Prioridad:

22.08.2005 US 710408 P

24.08.2005 US 711144 P

27.10.2005 US 261823

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

23.12.2014

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

5775 Morehouse Drive

San Diego, CA 92121, US

72 Inventor/es:

KADOUS, TAMER;

KHANDEKAR, AAMOD;

GORE, DHANANJAY ASHOK y

GOROKHOV, ALEXEI

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 525 474 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de selección de antenas en un sistema de MIMO

5 La presente solicitud reivindica prioridad respecto de la Solicitud provisional Estadounidense con N° de Serie 60 / 710.408, titulada "Procedimiento y aparato para la diversidad de antenas en sistemas de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas", presentada el 22 de agosto de 2005 y la Solicitud provisional Estadounidense con N° de Serie 60 / 711.144, titulada "Procedimiento y aparato para la diversidad de antenas en sistemas de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas", presentada el 24 de agosto de 2005, ambas cedidas al cesionario de la presente solicitud. La presente solicitud está adicionalmente relacionada con la Solicitud de Patente Estadounidense, transferida legalmente, con N° de Serie a determinar, titulada "Sectorización adaptable en sistemas celulares", presentada el mismo día que la presente solicitud.

Antecedentes

I. Campo

La presente revelación se refiere, en general, a la comunicación y, más específicamente, a esquemas de transmisión para la comunicación inalámbrica.

15 II. Antecedentes

En un sistema de comunicación inalámbrica, un transmisor (p. ej., una estación base o un terminal) puede utilizar múltiples (T) antenas de transmisión para la transmisión de datos a un receptor equipado con una o más (R) antenas de recepción. Las múltiples antenas de transmisión pueden ser usadas para aumentar el caudal del sistema transmitiendo distintos datos desde estas antenas y / o para mejorar la fiabilidad transmitiendo datos de manera redundante. Por ejemplo, el transmisor puede transmitir un símbolo dado desde todas las T antenas de transmisión, y el receptor puede recibir múltiples versiones de este símbolo mediante las R antenas de recepción. Estas múltiples versiones del símbolo transmitido mejoran, en general, la capacidad del receptor para recuperar el símbolo.

25 Las prestaciones de la transmisión pueden ser mejoradas explotando la dimensión espacial obtenida con las múltiples antenas de transmisión y, si están presentes, las múltiples antenas de recepción. Existe un trayecto de propagación entre cada par de antenas de transmisión y recepción. Se forman T·R trayectos distintos de propagación entre las T antenas de transmisión y las R antenas de recepción. Estos trayectos de propagación pueden experimentar distintas condiciones de canal (p. ej., distintos efectos de desvanecimiento, multi-trayecto e interferencia) y pueden lograr distintas razones entre señal y ruido e interferencia (SNR). Las respuestas de canal para los T·R trayectos de propagación pueden variar de un trayecto a otro y pueden además variar entre las frecuencias para un canal inalámbrico dispersor y / o a lo largo del tiempo para un canal inalámbrico variable en el tiempo.

35 Un inconveniente grave para usar múltiples antenas de transmisión para la transmisión de datos es que la respuesta de canal entre cada par de antenas de transmisión y de recepción (o cada trayecto de propagación) necesita habitualmente ser estimada a fin de recibir debidamente la transmisión de datos. La estimación de la respuesta completa de canal para todos los T·R pares de antenas de transmisión y de recepción puede ser indeseable por varios motivos. En primer lugar, una gran cantidad de recursos de enlace pueden ser consumidos a fin de transmitir una señal piloto usada para la estimación de canal, lo cual, a su vez, reduce los recursos de enlace disponibles para transmitir datos. En segundo lugar, la estimación de canal para todos los T·R pares de antenas de transmisión y de recepción aumenta la sobrecarga de procesamiento en el receptor.

40 La Publicación de Patente Estadounidense N° US2004 / 0203347 revela la selección de un conjunto de antenas para su uso en un sistema de comunicación inalámbrica.

Existe, por lo tanto, la necesidad en la técnica de esquemas de transmisión que puedan paliar la necesidad de estimar la respuesta completa de canal para todos los pares de antenas de transmisión y de recepción.

Sumario

45 Esta necesidad es satisfecha por la invención según lo definido en las reivindicaciones independientes. Desarrollos adicionales de la invención son el tema de las reivindicaciones dependientes.

50 Los esquemas de transmisión que pueden lograr flexiblemente el orden de multiplexado espacial, el orden de diversidad espacial y el orden de sobrecarga de estimación de canal deseados son descritos en la presente memoria. El orden de multiplexado espacial determina el número de símbolos a enviar simultáneamente por una sub-portadora en un periodo de símbolos, el orden de diversidad espacial determina la magnitud de la diversidad espacial observada por los símbolos transmitidos y el orden de sobrecarga de estimación de canal determina la magnitud de sobrecarga de señales piloto.

En una realización, según lo definido en las reivindicaciones adjuntas para una transmisión de datos desde un transmisor a un receptor, se determinan las sub-portadoras asignadas al receptor y el orden (M) de multiplexado espacial para el receptor, donde $M \geq 1$. Para cada sub-portadora asignada, se seleccionan M antenas virtuales entre V antenas virtuales, formadas con V columnas de una matriz ortonormal, donde $V \geq M$. V puede ser seleccionado para lograr el orden de diversidad espacial y el orden de sobrecarga de estimación de canal deseados. Las M antenas virtuales para cada sub-portadora asignada pueden ser seleccionadas de diversas maneras, según lo descrito más adelante. Los símbolos de salida para el receptor están correlacionados con las M antenas virtuales seleccionadas para cada sub-portadora asignada, aplicando la matriz ortonormal. Los símbolos piloto también están correlacionados con las V antenas virtuales. Los símbolos de salida y los símbolos piloto (o símbolos de transmisión) correlacionados se proporcionan para su transmisión desde T antenas físicas de transmisión, donde $T \geq V$. Los símbolos de transmisión (p. ej., símbolos de OFDM o símbolos de SC-FDMA) son generados para cada antena de transmisión en base a los símbolos de transmisión para esa antena de transmisión. Distintos retardos cíclicos pueden ser aplicados a los símbolos de transmisión para las T antenas de transmisión.

Diversos aspectos y realizaciones de la invención son descritos en mayor detalle más adelante.

15 **Breve descripción de los dibujos**

Las características y la naturaleza de la presente invención devendrán más evidentes a partir de la descripción detallada estipulada más adelante, cuando se considere conjuntamente con los dibujos, en los cuales los caracteres iguales de referencia identifican de manera correspondiente en toda su extensión.

La FIG. 1 muestra un sistema de comunicación inalámbrica.

20 Las FIGs. 2A y 2B muestran, respectivamente, canales de MISO y de MIMO.

La FIG. 3 muestra un esquema de transmisión con antenas virtuales.

La FIG. 4 muestra un esquema de transmisión con antenas virtuales y diversidad de retardos cíclicos.

La FIG. 5 muestra una transmisión de MIMO recorriendo las antenas virtuales.

Las FIGs. 6A, 6B y 6C muestran tres estructuras ejemplares de sub-portadora.

25 La FIG. 7 muestra un esquema ejemplar de saltos de frecuencia.

La FIG. 8 muestra un esquema piloto ejemplar para el salto de tasas de símbolos.

Las FIGs. 9A a 9D muestran cuatro esquemas piloto ejemplares para el salto de bloques.

La FIG. 10 muestra un proceso para transmitir datos y señales piloto a uno o más receptores.

La FIG. 11 muestra un aparato para transmitir datos y señales piloto a uno o más receptores.

30 La FIG. 12 muestra un diagrama de bloques de una estación base y dos terminales.

Descripción detallada

La palabra "ejemplar" se usa en la presente memoria para significar "que sirve como ejemplo, caso o ilustración". Cualquier realización o diseño descrito en la presente memoria como "ejemplar" no ha de ser necesariamente interpretado como preferido o ventajoso sobre otras realizaciones o diseños.

35 La **FIG. 1** muestra un sistema 100 de comunicación inalámbrica con múltiples estaciones base 110 y múltiples terminales 120. Una estación base es una estación que se comunica con los terminales. Una estación base también puede llamarse, y puede contener alguna de, o toda, la funcionalidad de, un punto de acceso, un Nodo B y / o alguna otra entidad de red. Cada estación base 110 proporciona cobertura de comunicación para un área geográfica 102 específica. El término "célula" puede referirse a una estación base y / o a su área de cobertura, según el contexto en el cual se usa el término.

40 Para mejorar la capacidad del sistema, un área de cobertura de una estación base puede ser dividida en múltiples áreas más pequeñas, p. ej., tres áreas 104a, 104b y 104c más pequeñas. Cada área más pequeña es servida por un respectivo subsistema transceptor base (BTS). El término "sector" puede referirse a un BTS y / o a su área de cobertura, según el contexto en el cual se usa el término. Para una célula sectorizada, los BTS para todos los sectores de esa célula están habitualmente co-situados dentro de la estación base para la célula. Las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria pueden ser usadas para el sistema descrito en la precitada Solicitud de Patente Estadounidense con N° de Serie [Expediente de Agente N° 05091]. Para simplificar, en la siguiente descripción, el término "estación base" se usa genéricamente para un BTS que sirve a un sector, así como para una estación base que sirve a una célula.

45

Los terminales 120 están habitualmente dispersos en toda la extensión del sistema, y cada terminal puede ser fijo o móvil. Un terminal también puede llamarse, y puede contener alguna de, o toda, la funcionalidad de, una estación móvil, un equipo de usuario y / o algún otro dispositivo. Un terminal puede ser un dispositivo inalámbrico, un teléfono celular, un asistente digital personal (PDA), una tarjeta de módem inalámbrico, etc. Cada terminal puede comunicarse con cero, una o múltiples estaciones base por el enlace descendente y el enlace ascendente en cualquier momento dado. El enlace descendente (o enlace directo) se refiere al enlace de comunicación desde las estaciones base a los terminales, y el enlace ascendente (o enlace inverso) se refiere al enlace de comunicación desde los terminales a las estaciones base.

Para una arquitectura centralizada, un controlador 130 del sistema se acopla con las estaciones base 110 y proporciona coordinación y control para estas estaciones base. Para una arquitectura distribuida, las estaciones base pueden comunicarse entre sí según sea necesario.

Las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria pueden ser usadas para diversos sistemas de comunicación inalámbrica, tales como un sistema de acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDM), un sistema de acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA), un sistema de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), un sistema de acceso múltiple por división de código (CDMA), un sistema de acceso múltiple por división del tiempo (TDMA), un sistema de acceso múltiple por división espacial (SDMA), etc. Un sistema de OFDMA utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM), que es una técnica de modulación de múltiples portadoras que divide el ancho de banda global del sistema en múltiples (K) sub-portadoras ortogonales. Estas sub-portadoras pueden también llamarse tonos, contenedores, etc. Con el OFDM, cada sub-portadora está asociada a una respectiva sub-portadora que puede ser modulada con datos. Un sistema de SC-FDMA puede utilizar el FDMA intercalado (IFDMA) para transmitir por sub-portadoras que estén distribuidas entre el ancho de banda del sistema, el FDMA localizado (LFDMA) para transmitir por un bloque de sub-portadoras adyacentes, o el FDMA realzado (EFDMA) para transmitir por múltiples bloques de sub-portadoras adyacentes. En general, los símbolos de modulación son enviados en el dominio de la frecuencia con el OFDM y, en el dominio del tiempo, con SC-FDMA.

Un símbolo de OFDM puede ser generado para una antena de transmisión en un periodo de símbolos, según lo siguiente. N símbolos de modulación son correlacionados con N sub-portadoras usadas para la transmisión (o N sub-portadoras asignadas) y símbolos cero con valor de señal igual a cero son correlacionados con las restantes K – N sub-portadoras. Una transformación de Fourier rápida inversa (IFFT), o una transformación de Fourier discreta inversa (IDFT), de K puntos es realizada sobre los K símbolos de modulación y los símbolos cero, para obtener una secuencia de K muestras del dominio del tiempo. Las últimas Q muestras de la secuencia son copiadas en el principio de la secuencia para formar un símbolo de OFDM que contiene K + Q muestras. Las Q muestras copiadas se llaman a menudo un prefijo cíclico o intervalo de guardia, y Q es la longitud del prefijo cíclico. El prefijo cíclico se usa para combatir la interferencia entre símbolos (ISI) causada por el desvanecimiento selectivo de la frecuencia, que es una respuesta de frecuencia que varía entre el ancho de banda del sistema.

Un símbolo de SC-FDMA puede ser generado para una antena de transmisión en un periodo de símbolos, según lo siguiente. N símbolos de modulación a enviar por N sub-portadoras asignadas son transformados al dominio de la frecuencia con una transformación de Fourier rápida (FFT), o una transformación de Fourier discreta (DFT) de N puntos, para obtener N símbolos del dominio de la frecuencia. Estos N símbolos del dominio de la frecuencia son correlacionados con las N sub-portadoras asignadas, y los símbolos cero son correlacionados con las restantes K – N sub-portadoras. Se realiza luego una IFFT o IDFT de K puntos sobre los K símbolos del dominio de la frecuencia y los símbolos cero, para obtener una secuencia de K muestras del dominio del tiempo. Las últimas Q muestras de la secuencia son copiadas al comienzo de la secuencia para formar un símbolo de SC-FDMA que contiene K+Q muestras.

Un símbolo de transmisión puede ser un símbolo de OFDM o un símbolo de SC-FDMA. Las K + Q muestras de un símbolo de transmisión son transmitidas en K + Q periodos de muestras / segmentos. Un periodo de símbolos es la duración de un símbolo de transmisión y es igual a K + Q periodos de muestras / segmentos.

Las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria pueden ser usadas para el enlace descendente, así como para el enlace ascendente. Para mayor claridad, gran parte de la siguiente descripción es para la transmisión de enlace descendente desde una estación base (un transmisor) a uno o más terminales (receptores). Para cada sub-portadora, la estación base puede transmitir a un terminal sin SDMA o a múltiples terminales con SDMA.

La **FIG. 2A** muestra un canal de múltiples entradas y única salida (MISO) formado por múltiples (T) antenas 112a a 112t de transmisión en la estación base 110 y una única antena receptora 122x en un terminal 120x. El canal de MISO puede ser caracterizado por un vector fila $h(k)$ de respuesta de canal de dimensiones $1 \times T$, para cada sub-portadora k , que puede expresarse como:

$$\underline{h}(k) = [h_1(k) \ h_2(k) \ \dots \ h_T(k)], \quad \text{Ec. (1)}$$

donde $h_i(k)$, para $i = 1, \dots, T$, indica el acoplamiento o ganancia compleja de canal entre la antena i de transmisión y la única antena de recepción para la sub-portadora k .

La **FIG. 2B** muestra un canal de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) formado por las T antenas 112a a 112t de transmisión en la estación base 110 y múltiples (R) antenas 122a a 122r de recepción en un terminal 120y. El canal de MIMO puede ser caracterizado por una matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de respuesta de canal de dimensiones RxT para cada sub-portadora k, que puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \cdots & h_{1,T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \cdots & h_{2,T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{R,1}(k) & h_{R,2}(k) & \cdots & h_{R,T}(k) \end{bmatrix} = [\underline{\mathbf{h}}_1(k) \ \underline{\mathbf{h}}_2(k) \ \dots \ \underline{\mathbf{h}}_T(k)] , \quad \text{Ec. (2)}$$

5 donde $h_{j,i}(k)$, para $j = 1, \dots, R$ e $i = 1, \dots, T$, indica la ganancia compleja de canal entre la antenna i de transmisión y la antenna j de recepción para la sub-portadora k ; y

$\underline{\mathbf{h}}_i(k)$ es un vector de respuesta de canal de dimensiones Rx1 para la antenna i de transmisión, que es la i -ésima columna de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

10 El transmisor puede transmitir uno o más símbolos de salida desde las T antenas de transmisión por cada sub-portadora en cada periodo de símbolos. Cada símbolo de salida puede ser un símbolo de modulación para el OFDM, un símbolo del dominio de la frecuencia para el SC-FDMA o algún otro valor complejo. La transmisión de datos puede ser cuantificada por las siguientes métricas:

- * Orden de multiplexado espacial (M) – el número de símbolos de salida transmitidos mediante las T antenas de transmisión por una sub-portadora en un periodo de símbolos;
- 15 * Orden de diversidad espacial (D) – la magnitud de diversidad espacial observada por los símbolos de salida transmitidos; y
- * Orden de sobrecarga de estimación de canal (C) – el número de antenas virtuales a estimar por parte de un receptor para cada antenna de recepción.

20 En general, $M \leq \min \{T, R\}$, $D \leq T$ y $C \leq T$. La diversidad espacial se refiere a la diversidad de transmisión resultante del uso de múltiples antenas de transmisión y no incluye la diversidad de recepción resultante del uso de múltiples antenas de recepción.

25 Si el transmisor transmite símbolos de salida directamente desde las T antenas de transmisión, entonces un receptor necesita habitualmente estimar la respuesta completa de canal para todas las T antenas de transmisión a fin de recuperar la transmisión de datos. El orden de sobrecarga de estimación de canal es entonces $C = T$. En ciertos escenarios, puede ser deseable transmitir menos de T símbolos de salida simultáneamente, p. ej., si las condiciones de canal son malas. Puede usarse un subconjunto de las T antenas de transmisión para transmitir menos de T símbolos de salida. Sin embargo, esto es indeseable, ya que las potencias de transmisión disponibles para las antenas de transmisión no usadas no son juiciosamente empleadas para la transmisión.

30 Los esquemas de transmisión descritos en la presente memoria admiten una selección flexible de las tres métricas M, D y C a fin de lograr buenas prestaciones para la transmisión de datos en distintas condiciones. Por ejemplo, puede seleccionarse un mayor orden M de multiplexado espacial para buenas condiciones de canal con altas SNR, y puede seleccionarse un orden menor de multiplexado espacial para malas condiciones de canal con bajas SNR. Puede seleccionarse un menor orden C de sobrecarga de estimación de canal, p. ej., en escenarios donde el bajo caudal, debido a las bajas SNR, no justifica una gran sobrecarga de estimación de canal.

35 Los esquemas de transmisión descritos en la presente memoria pueden utilizar todas las T antenas de transmisión para la transmisión, independientemente del número de símbolos de salida enviados e independientemente de cuáles sub-portadoras se usen para la transmisión. Esta capacidad permite al transmisor utilizar toda la potencia de transmisión disponible para las T antenas de transmisión, p. ej., utilizando los amplificadores de potencia acoplados con cada una de las antenas, para la transmisión, lo que generalmente mejora las prestaciones. El empleo de menos de T antenas de transmisión para la transmisión da habitualmente como resultado que se use menos de toda la potencia de transmisión disponible para la transmisión, lo que afectaría a las prestaciones.

40

Los esquemas de transmisión descritos en la presente memoria pueden prestar soporte inmediatamente a las transmisiones de MIMO, de única entrada y múltiples salidas (SIMO) y de única entrada y única salida (SISO). Una transmisión de MIMO es una transmisión de múltiples símbolos de salida desde múltiples antenas virtuales a múltiples

antenas de recepción por una sub-portadora en un periodo de símbolos. Una transmisión de SIMO es una transmisión de un único símbolo de salida desde una antena virtual a múltiples antenas de recepción por una sub-portadora en un periodo de símbolos. Una transmisión de SISO es una transmisión de un único símbolo de salida desde una antena virtual a una antena de recepción por una sub-portadora en un periodo de símbolos. El transmisor también puede enviar una combinación de transmisiones de MIMO, SIMO y / o SISO a uno o más receptores en un periodo de símbolos.

El transmisor puede transmitir M símbolos de salida simultáneamente desde las T antenas de transmisión por una sub-portadora en un periodo de símbolos, usando diversos esquemas de transmisión. En una realización el transmisor procesa los símbolos de salida para su transmisión, de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{x}}(k) = \underline{\mathbf{U}} \cdot \underline{\mathbf{P}}(k) \cdot \underline{\mathbf{s}}(k), \quad \text{Ec. (3)}$$

donde $\underline{\mathbf{s}}(k)$ es un vector de dimensiones $M \times 1$ que contiene M símbolos de salida a enviar por la sub-portadora k en un periodo de símbolos;

$\underline{\mathbf{P}}(k)$ es una matriz de permutación de dimensiones $V \times M$ para la sub-portadora k ;

$\underline{\mathbf{U}} = [\mathbf{u}_1 \ \mathbf{u}_2 \ \dots \ \mathbf{u}_V]$ es una matriz ortonormal de dimensiones $T \times V$; y

$\underline{\mathbf{x}}(k)$ es un vector de dimensiones $T \times 1$ que contiene T símbolos de transmisión a enviar desde las T antenas de transmisión por la sub-portadora k en un periodo de símbolos.

V es el número de antenas virtuales formadas con la matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}$. En general, $1 \leq M \leq V \leq T$. V puede ser un valor fijo o un valor configurable.

La matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}$ está caracterizada por la propiedad $\underline{\mathbf{U}}^H \cdot \underline{\mathbf{U}} = \underline{\mathbf{I}}$, donde ${}^{“H”}$ indica una traspuesta conjugada e $\underline{\mathbf{I}}$ es la matriz identidad. Las V columnas de $\underline{\mathbf{U}}$ son ortogonales entre sí, y cada columna tiene potencia unitaria. En una realización, $\underline{\mathbf{U}}$ está definida de modo que la suma de la magnitud al cuadrado de las V entradas en cada fila sea igual a un valor constante. Esta propiedad da como resultado que se use igual potencia de transmisión para todas las T antenas de transmisión. $\underline{\mathbf{U}}$ también puede ser una matriz unitaria que está caracterizada por la propiedad $\underline{\mathbf{U}}^H \cdot \underline{\mathbf{U}} = \underline{\mathbf{U}} \cdot \underline{\mathbf{U}}^H = \underline{\mathbf{I}}$. Las matrices ortonormales y unitarias pueden ser formadas según se describe más adelante. Las V columnas de $\underline{\mathbf{U}}$ se usan para formar V antenas virtuales que pueden ser usadas para enviar hasta V símbolos de salida por una sub-portadora en un periodo de símbolos. Las antenas virtuales también pueden llamarse antenas efectivas o con alguna otra terminología.

En una realización, se usa una única matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}$ para todas las K sub-portadoras totales en todos los periodos de símbolos, de modo que $\underline{\mathbf{U}}$ no sea una función del índice k de sub-portadora o del índice n de símbolo. En otra realización, se usan distintas matrices ortonormales para distintos conjuntos de sub-portadoras que pueden ser asignados a distintos receptores. En otra realización más, se usan distintas matrices ortonormales para distintas sub-portadoras. En otra realización más, se usan distintas matrices ortonormales para distintos intervalos temporales, donde cada intervalo temporal puede abarcar uno o más periodos de múltiples símbolos. En otra realización más, una o más matrices ortonormales son seleccionadas para su uso entre múltiples matrices ortonormales, según se describe más adelante. En general, los datos y los símbolos piloto pueden ser transmitidos usando una o más matrices ortonormales, de modo que un receptor sea capaz de estimar la respuesta de canal en base a la señal piloto y usar la estimación de respuesta de canal para recuperar los datos enviados al receptor.

La matriz $\underline{\mathbf{P}}(k)$ de permutación selecciona cuáles M antenas virtuales usar para la sub-portadora k entre las V antenas virtuales disponibles para su uso, o cuáles M entre las V columnas de $\underline{\mathbf{U}}$. La matriz $\underline{\mathbf{P}}(k)$ de permutación puede ser definida de diversas maneras, y pueden usarse distintas matrices de permutación para distintas sub-portadoras, según se describe más adelante.

La FIG. 3 muestra un modelo 300 para el esquema de transmisión dado por la ecuación (3). El transmisor recibe el vector $\underline{\mathbf{s}}(k)$ de datos para cada sub-portadora y periodo de símbolos usado para la transmisión. Un correlacionador 310 de antenas virtuales procesa el vector $\underline{\mathbf{s}}(k)$ de datos y genera el vector $\underline{\mathbf{x}}(k)$ de transmisión. Dentro del correlacionador 310 de antenas virtuales, una unidad 312 de correlación entre símbolos y antenas virtuales multiplica el vector $\underline{\mathbf{s}}(k)$ de datos por la matriz $\underline{\mathbf{P}}(k)$ de permutación y genera un vector intermedio de dimensiones $V \times 1$. Una unidad 314 de ensanchamiento espacial multiplica el vector intermedio por la matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}$ y genera el vector $\underline{\mathbf{x}}(k)$ de transmisión. El vector $\underline{\mathbf{x}}(k)$ de transmisión es transmitido desde las T antenas de transmisión, y mediante un canal 350 de MIMO, a R antenas de recepción en un receptor.

Los símbolos recibidos en el receptor pueden ser expresados como:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}(k) &= \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{x}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k), \\ &= \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{U}} \cdot \underline{\mathbf{P}}(k) \cdot \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k), \end{aligned} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$= \mathbf{H}_{ef}(k) \cdot \mathbf{P}(k) \cdot \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k),$$

$$= \mathbf{H}_{usada}(k) \cdot \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k),$$

donde $\mathbf{r}(k)$ es un vector de dimensiones Rx1 que contiene R símbolos recibidos desde las R antenas de recepción por la sub-portadora k en un periodo de símbolos;

5 $\mathbf{H}_{ef}(k)$ es una matriz de respuesta efectiva de canal de dimensiones RxV para la sub-portadora k ;

$\mathbf{H}_{usada}(k)$ es una matriz de respuesta usada de canal de dimensiones RxM para la sub-portadora k ; y

$\mathbf{n}(k)$ es un vector de ruido de dimensiones Rx1 para la sub-portadora k .

Las matrices de respuesta de canal, efectiva y usada, pueden expresarse como:

$$\mathbf{H}_{ef}(k) = \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{U},$$

$$10 \quad = [\mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{u}_1 \quad \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{u}_2 \quad \dots \quad \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{u}_V], \text{ y} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\mathbf{H}_{usada}(k) = \mathbf{H}_{ef}(k) \cdot \mathbf{P}(k),$$

$$= [\mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{u}_{(1)} \quad \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{u}_{(2)} \quad \dots \quad \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{u}_{(M)}], \quad \text{Ec. (6)}$$

donde $\{\mathbf{u}_{(1)} \quad \mathbf{u}_{(2)} \quad \dots \quad \mathbf{u}_{(M)}\} \subset \{\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2 \quad \dots \quad \mathbf{u}_V\}$.

15 Según se muestra en la ecuación (3) y se ilustra en la FIG. 3, un canal de MIMO efectivo con V antenas virtuales se forma por el uso de la matriz ortonormal \mathbf{U} . Los datos son enviados por todas, o un sub-conjunto de, las V antenas virtuales. Un canal de MIMO usado está formado por las M antenas virtuales usadas para la transmisión.

Para el esquema de transmisión descrito anteriormente, un sistema de MIMO de dimensiones RxT se reduce efectivamente a un sistema de MIMO de dimensiones RxV. El transmisor aparece como si tuviera V antenas virtuales en lugar de T antenas de transmisión, donde $V \leq T$. Este esquema de transmisión reduce la orden de sobrecarga de estimación de canal a $C = V$. Sin embargo, el orden de multiplexado espacial está limitado a V, o a $M \leq V$, y el orden de diversidad espacial también está limitado a V, o a $D \leq V$.

20 La descripción anterior es para una sub-portadora k . El transmisor puede realizar el mismo procesamiento para cada sub-portadora usada para la transmisión. La diversidad de frecuencias de cada antena virtual entre las sub-portadoras es la misma que la diversidad de frecuencias de las antenas de transmisión físicas. Sin embargo, la diversidad espacial se reduce desde T a V.

En otra realización, el transmisor procesa los símbolos de salida para la transmisión, de la siguiente manera:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k) = \mathbf{D}(k) \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{P}(k) \cdot \mathbf{s}(k) , \quad \text{Ec. (7)}$$

30 donde $\mathbf{D}(k)$ es una matriz diagonal de dimensiones TxT para la sub-portadora k . $\mathbf{D}(k)$ se usa para lograr diversidad de retardos cíclicos, lo que mejora la selectividad de frecuencia de las antenas virtuales y puede mejorar el orden de diversidad espacial hasta algún valor entre V y T. La diversidad de retardos cíclicos puede ser lograda en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia.

La diversidad de retardos cíclicos puede lograrse en el dominio del tiempo desplazando cíclicamente (o retardando cíclicamente) la secuencia de K muestras del dominio del tiempo (obtenidas de la IDFT o IFFT de K puntos) para cada antena i de transmisión, en un retardo de T_i , para $i = 1, \dots, T$. Por ejemplo, T_i puede ser definido como $T_i = (i-1) \cdot J$, donde J puede ser igual a un periodo de muestras, una fracción de un periodo de muestras o más de un periodo de muestras. J puede ser seleccionado de modo que se espere que la respuesta de impulso de canal para cada antena virtual sea más corta que la longitud del prefijo cíclico. Un retardo cíclico de X muestras puede lograrse desplazando las últimas X muestras en la secuencia de K muestras del dominio del tiempo hacia el frente de la secuencia. Las muestras del dominio del tiempo para las T antenas de transmisión son cíclicamente retardadas en distintas magnitudes. Un prefijo cíclico puede ser adosado después de aplicar el retardo cíclico, a fin de asegurar la ortogonalidad entre las K sub-portadoras totales.

40 La diversidad de retardos cíclicos también puede lograrse en el dominio de la frecuencia aplicando un desnivel de fase (o un desplazamiento progresivo de fase) entre las K sub-portadoras totales para cada antena de transmisión. Se usan T distintos desniveles de fase para las T antenas de transmisión, para lograr K retardos cíclicos distintos para estas antenas. La matriz diagonal $\mathbf{D}(k)$ para cada sub-portadora k puede ser definida de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{D}}(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j2\pi(k-1)J/T} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e^{j2\pi(k-1)(T-1)J/T} \end{bmatrix}, \quad \text{para } k = 1, \dots, K. \quad \text{Ec. (8)}$$

5 Como indica la ecuación (8), la antena 1 de transmisión tiene una pendiente de fase de 0 entre las K sub-portadoras totales, la antena 2 de transmisión tiene una pendiente de fase de $2\pi J/T$ entre las K sub-portadoras totales, y así sucesivamente, y la antena T de transmisión tiene una pendiente de fase de $2\pi(T-1)J/T$ entre las K sub-portadoras totales. La matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}(k)$ y la matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}$ también pueden ser combinadas para obtener una nueva matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}(k) = \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{U}}$, donde $\underline{\mathbf{U}}(k)$ puede ser aplicada al vector $\underline{\mathbf{s}}(k)$ de datos.

Los símbolos recibidos con diversidad de retardos cíclicos pueden ser expresados como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}(k) &= \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \\ &= \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{U}} \cdot \underline{\mathbf{P}}(k) \cdot \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \\ &= \tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{ef}(k) \cdot \underline{\mathbf{P}}(k) \cdot \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \\ &= \tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{usada}(k) \cdot \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \end{aligned} \quad \text{Ec. (9)}$$

donde $\tilde{\mathbf{r}}(k)$ es un vector recibido de dimensiones Rx1 con diversidad de retardos cíclicos

$\tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{ef}(k)$ es una matriz de respuesta efectiva de canal de dimensiones RxV con diversidad de retardos cíclicos; y

$\tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{usada}(k)$ es una matriz de respuesta usada de canal de dimensiones RxM con diversidad de retardos cíclicos.

10 Las matrices de respuesta de canal, efectiva y usada, pueden expresarse como:

$$\begin{aligned} \tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{ef}(k) &= \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{U}} , \\ &= [\underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{u}}_1 \quad \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{u}}_2 \quad \dots \quad \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{u}}_V] , \end{aligned} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{usada}(k) &= \tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{ef}(k) \cdot \underline{\mathbf{P}}(k) , \\ &= [\underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{u}}_{(1)} \quad \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{u}}_{(2)} \quad \dots \quad \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{D}}(k) \cdot \underline{\mathbf{u}}_{(M)}] \end{aligned} \quad \text{Ec. (11)}$$

15 La FIG. 4 muestra un modelo 400 para el esquema de transmisión dado por la ecuación (7). Dentro de un correlacionador 410 de antenas virtuales, una unidad 412 de correlación entre símbolos y antenas virtuales multiplica el vector $\underline{\mathbf{s}}(k)$ de datos por la matriz $\underline{\mathbf{P}}(k)$ de permutación y genera un vector de dimensiones Vx1. Una unidad 414 de ensanchamiento espacial multiplica el vector de dimensiones Vx1 por la matriz ortonormal $\underline{\mathbf{U}}$ y genera un vector de dimensiones Tx1. Una unidad 416 de diversidad de retardos cíclicos multiplica el vector de dimensiones Tx1 por la matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}(k)$ y genera el vector $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ de transmisión de dimensiones Tx1. El vector $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ de transmisión es transmitido desde las T antenas de transmisión, y mediante un canal 450 de MIMO, a R antenas de recepción en un receptor.

Según se muestra en la ecuación (7) y se ilustra en la FIG. 4, un canal $\tilde{\underline{\mathbf{H}}}_{ef}(k)$ de MIMO efectivo con V antenas virtuales

está formado por el uso de la matriz ortonormal \underline{U} y la diversidad de retardos cíclicos. Un canal $\underline{H}_{usada}(k)$ de MIMO usado está formado por las M antenas virtuales usadas para la transmisión.

5 Las ecuaciones (3) y (7) suponen que se usa igual potencia de transmisión para los M símbolos de salida enviados simultáneamente por una sub-portadora en un periodo de símbolos. En general, la potencia de transmisión disponible para cada antena de transmisión puede estar distribuida uniformemente, o no uniformemente, entre las sub-portadoras usadas para la transmisión. Las potencias de transmisión disponibles para las T antenas de transmisión para cada sub-portadora pueden ser distribuidas uniformemente, o no uniformemente, a los M símbolos de salida enviados por esa sub-portadora. Distintas potencias de transmisión pueden ser usadas para los M símbolos de salida, ajustando a escala el vector $\underline{s}(k)$ de datos con una matriz \underline{G} de ganancia diagonal, según lo siguiente: $\underline{x}(k) = \underline{U} \cdot \underline{P}(k) \cdot \underline{G} \cdot \underline{s}(k)$ o $\tilde{\underline{x}}(k) = \underline{D}(k) \cdot \underline{U} \cdot \underline{P}(k) \cdot \underline{G} \cdot \underline{s}(k)$, donde $\text{diag}\{\underline{G}\} = \{g_1, g_2, \dots, g_M\}$ y g_i es la ganancia para el símbolo s_i de salida.

Pueden usarse diversos tipos de matrices para formar la matriz ortonormal \underline{U} . Por ejemplo, \underline{U} puede formarse en base a una matriz de Fourier, una matriz de Walsh o alguna otra matriz. Una matriz \underline{F}_{TxT} de Fourier de dimensiones TxT tiene el elemento $f_{n,m}$ en la n-ésima fila de la m-ésima columna, lo que puede expresarse como:

$$f_{n,m} = e^{-j2\pi \frac{(n-1)(m-1)}{T}}, \text{ para } n = 1, \dots, T \text{ y } m = 1, \dots, T. \quad \text{Ec. (12)}$$

15 Pueden formarse matrices de Fourier de cualquier dimensión cuadrada (p. ej., 2, 3, 4, 5, 6 y así sucesivamente). Una matriz \underline{W}_{2x2} de Walsh de dimensiones 2x2 y una matriz $\underline{W}_{2N \times 2N}$ de Walsh de mayor tamaño pueden expresarse como:

$$\underline{W}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad \underline{W}_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} \underline{W}_{N \times N} & \underline{W}_{N \times N} \\ \underline{W}_{N \times N} & -\underline{W}_{N \times N} \end{bmatrix}. \quad \text{Ec. (13)}$$

En una realización, la matriz ortonormal \underline{U} es igual a una matriz que contiene V columnas de una matriz de Fourier de dimensiones TxT o una matriz de Walsh de dimensiones TxT. En otra realización, \underline{U} se forma de la siguiente manera:

$$\underline{U} = \underline{A} \cdot \underline{F}. \quad \text{Ec. (14)}$$

20 donde \underline{F} es una matriz de dimensiones TxV que contiene las primeras V columnas de la matriz de Fourier de dimensiones TxT; y \underline{A} es una matriz diagonal de dimensiones TxT que contiene T valores de ajuste a escala para las T filas de \underline{F} . Por ejemplo, la matriz diagonal A puede ser definida como $\underline{A} = \text{diag}\{1 e^{j\theta_1} \dots e^{j\theta_T}\}$, donde θ_i , para $i = 1, \dots, T$, pueden ser fases aleatorias. La ecuación (14) multiplica las filas de \underline{F} por fases aleatorias, lo que cambia las direcciones espaciales ilustradas por las columnas de \underline{F} . En otra realización más, \underline{U} es una matriz ortonormal con elementos pseudo-aleatorios, p. ej., con magnitud unitaria y fases pseudo-aleatorias.

25 El transmisor puede enviar una transmisión de MIMO, SIMO o SISO a un receptor por un conjunto de sub-portadoras, que se llaman las sub-portadoras asignadas. Las K sub-portadoras totales pueden ser divididas en múltiples conjuntos de sub-portadoras no solapados. En este caso, el transmisor puede transmitir a múltiples receptores simultáneamente por múltiples conjuntos de sub-portadoras. El transmisor puede enviar el mismo tipo, o distintos tipos, de transmisión a estos múltiples receptores. Por ejemplo, el transmisor puede enviar una transmisión de MIMO por un primer conjunto de sub-portadoras a un primer receptor, una transmisión de SIMO por un segundo conjunto de sub-portadoras a un segundo receptor, una transmisión de SISO por un tercer conjunto de sub-portadoras a un tercer receptor, y así sucesivamente.

30 Una transmisión de SIMO o SISO puede ser enviada desde una única antena virtual formada con una única columna de la matriz ortonormal \underline{U} . En este caso, $M = V = 1$, y el canal de MIMO efectivo se convierte en un canal de SISO o SIMO de dimensiones Rx1 con un vector de respuesta de canal de $\underline{h}_{ef}(k) = \underline{H}(k) \cdot \underline{u}_1$ o $\tilde{\underline{h}}_{ef}(k) = \underline{H}(k) \cdot \underline{D}(k) \cdot \underline{u}_1$. El vector $\underline{s}(k)$ de datos se convierte en un vector de dimensiones 1x1 que contiene un único símbolo de salida, la matriz $\underline{P}(k)$ de permutación se convierte en una matriz de dimensiones 1x1 que contiene un único '1' y la matriz ortonormal \underline{U} se convierte en una matriz de dimensiones Tx1 que contiene una única columna.

40 Una transmisión de MIMO puede ser enviada desde múltiples antenas virtuales formadas con múltiples columnas de la matriz ortonormal \underline{U} . Si el número de símbolos de salida es menor que el número de antenas virtuales (o $M < S$), entonces pueden ser seleccionadas M antenas virtuales para su uso de diversas maneras.

La FIG. 5 muestra una realización para transmitir símbolos de salida cíclicamente desde las V antenas virtuales. Para esta realización, los primeros M símbolos de salida son enviados desde las antenas virtuales 1 a M por la primera sub-portadora asignada, los siguientes M símbolos de salida son enviados desde las antenas virtuales 2 a M + 1 por la

siguiente sub-portadora asignada, y así sucesivamente. Las sub-portadoras asignadas pueden recibir los índices de $k = 1, 2, \dots$. Para la realización mostrada en la FIG. 5, las M antenas virtuales usadas para la sub-portadora $k + 1$ están desplazadas en una unidad desde las M antenas virtuales usadas para la sub-portadora k . Las antenas virtuales seleccionadas revierten circularmente a la antena virtual 1 al llegar a la última antena virtual. Por tanto, las antenas virtuales $((k-1) \bmod V) + 1$ a $((k + M - 2) \bmod V) + 1$ son usadas para la sub-portadora asignada k , donde "mod S " indica una operación en módulo S y el "-1" y el "+1" se deben a que el índice para las sub-portadoras asignadas y el índice para las antenas virtuales comienzan en 1 en lugar de 0. Las M columnas de la matriz $\underline{P}(k)$ de permutación para cada sub-portadora asignada k son las $((k-1, k, k+1, \dots, k + M - 2) \bmod V) + 1$ columnas de una matriz identidad de dimensiones $V \times V$. Por ejemplo, si $M = 2$ y $V = 3$, entonces las matrices de permutación pueden ser definidas como:

$$\underline{P}(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \underline{P}(2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \underline{P}(3) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \underline{P}(4) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \text{y así sucesivamente.} \quad \text{Ec. (15)}$$

En otra realización, los primeros M símbolos de salida son enviados desde las antenas virtuales 1 a M por la primera sub-portadora asignada, los siguientes M símbolos de salida son enviados desde las antenas virtuales $M + 1$ a $((2M - 1) \bmod V) + 1$ por las siguientes sub-portadoras asignadas, y así sucesivamente. Para esta realización, las M antenas virtuales usadas para las sub-portadoras $k + 1$ comienzan después de la última antena virtual usada para la sub-portadora k . En otra realización más, las M antenas virtuales para cada sub-portadora son seleccionadas de una manera pseudo-aleatoria, p. ej., en base a un generador o una secuencia de números pseudo-aleatorios (PN), que también es conocido para el receptor.

En otra realización más, las antenas virtuales son seleccionadas en base a retro-alimentación proveniente de un receptor. Por ejemplo, la retro-alimentación puede indicar las antenas virtuales específicas a usar para todas las sub-portadoras asignadas, las antenas virtuales específicas a usar para cada sub-portadora asignada, y así sucesivamente. En otra realización más, el transmisor puede seleccionar las antenas virtuales en base a una señal piloto o a alguna otra transmisión recibida desde el receptor. Por ejemplo, el transmisor puede estimar la respuesta de canal de enlace ascendente en base a la señal piloto recibida, estimar la respuesta de canal de enlace descendente en base a la estimación de respuesta de canal de enlace ascendente y seleccionar las antenas virtuales en base a la estimación de respuesta de canal de enlace descendente. Las respuestas de canal de enlace descendente y de enlace ascendente pueden ser similares, p. ej., en un sistema duplexado por división del tiempo (TDD) en el cual las transmisiones de enlace descendente y de enlace ascendente son enviadas por el mismo canal de frecuencia, pero en distintos intervalos temporales.

En general, las antenas virtuales pueden ser seleccionadas (1) por el transmisor de manera determinística (p. ej., cíclicamente) o de manera pseudo-aleatoria, sin retro-alimentación desde el receptor, (2) por el transmisor en base a retro-alimentación desde el receptor o (3) por el receptor y enviadas al transmisor.

La matriz ortonormal \underline{U} puede ser fijada, y las V antenas virtuales formadas con \underline{U} pueden ser seleccionadas para su uso, según lo descrito anteriormente. En otra realización, una o más matrices ortonormales son seleccionadas para su uso entre un conjunto de matrices ortonormales disponibles para su uso. El conjunto de matrices ortonormales forma un libro de código, y una o más entradas del libro de código pueden ser usadas para la transmisión. Las matrices ortonormales en el conjunto son distintas (y pueden ser pseudo-aleatorias) unas con respecto a las otras. Por ejemplo, las matrices ortonormales pueden ser definidas para proporcionar buenas prestaciones para distintas condiciones de canal, p. ej., condiciones de SNR baja y alta, movilidad baja y alta, etc. Una matriz ortonormal puede ser seleccionada para todas las sub-portadoras asignadas, para cada sub-portadora asignada, etc. La selección de matriz puede ser hecha (1) por el transmisor, con o sin retro-alimentación desde un receptor, o (2) por el receptor, y devuelta al transmisor. La selección de matriz puede hacerse en base a diversos factores, tales como, p. ej., las condiciones de canal, la movilidad, los recursos de enlace ascendente, etc. En general, la entrada, o entradas, específica(s) en el libro de código, a usar para la transmisión, pueden ser seleccionadas, ya sea autónomamente por el transmisor o en base a retro-alimentación proveniente del receptor.

Los esquemas de transmisión descritos en la presente memoria tienen las siguientes características deseables:

- * Flexibilidad para seleccionar fácilmente el número de antenas virtuales;
- * Flexibilidad para enviar cualquier número de símbolos de salida, hasta el número de antenas virtuales disponibles; y
- * Utilización de todas las T antenas de transmisión para la transmisión, independientemente del número de símbolos de salida enviados y del número de antenas virtuales disponibles.

El número de antenas virtuales (V) puede ser seleccionado para dar soporte al deseado orden (M) de multiplexado espacial, para lograr el deseado orden (D) de diversidad espacial y para obtener el deseado orden (C) de sobrecarga de estimación de canal. El número de antenas virtuales puede ser seleccionado autónomamente por el transmisor, o en base a una retro-alimentación desde el receptor. El número deseado de antenas virtuales puede ser inmediatamente obtenido definiendo la matriz ortonormal \underline{U} con el número adecuado de columnas.

El orden de multiplexado espacial está limitado por el número de antenas de transmisión y el número de antenas de recepción, o bien $M \leq \min \{T, R\}$. Puede ser deseable un mayor orden de multiplexado espacial en ciertos escenarios (p. ej., condiciones de alta SNR) y si disponen de soporte por parte del receptor. Un menor orden de multiplexado espacial (p. ej., $M = 1$) puede ser deseable en otros escenarios (p. ej., condiciones de baja SNR) o si un mayor orden de multiplexado espacial no tiene soporte por parte del receptor. El orden de multiplexado espacial puede ser dinámicamente seleccionado en base a las condiciones de canal y / o a otros factores. Por ejemplo, el orden de multiplexado espacial puede ser fijado en uno si la SNR es menor que un primer umbral, fijado en dos si la SNR está entre el primer umbral y un segundo umbral, fijado en tres si la SNR está entre el segundo umbral y un tercer umbral, y así sucesivamente. El número de antenas virtuales se selecciona para que sea igual o mayor que el orden de multiplexado espacial, o sea $V \geq M$.

En general, es deseable un mayor orden de diversidad espacial a fin de mejorar las prestaciones, y es deseable un menor orden de sobrecarga de estimación de canal a fin de reducir la cantidad de recursos de enlace usados para transmitir una señal piloto para la estimación de canal. El orden de sobrecarga de estimación de canal está estrechamente relacionado con el orden de diversidad espacial, y ambos están determinados por el número de antenas virtuales. Por tanto, el número de antenas virtuales puede ser dinámicamente seleccionado en base al orden de diversidad espacial deseado, el orden de sobrecarga de estimación de canal deseado, las condiciones de canal y / u otros factores.

El número de antenas virtuales puede ser seleccionado de diversas maneras. En una realización, el número de antenas virtuales está fijado igual al orden de multiplexado espacial, o sea $V = M$. En otra realización, el número de antenas virtuales está fijado en el mayor valor posible de modo que los recursos de enlace usados para la transmisión de señales piloto se mantengan dentro de un porcentaje determinado de los recursos totales de enlace. En otra realización más, el número de antenas virtuales está fijado en base a las condiciones de canal. Por ejemplo, puede definirse una antena virtual si la SNR es menor que un primer valor, pueden definirse dos antenas virtuales si la SNR está entre el primer valor y un segundo valor, y así sucesivamente.

Los esquemas de transmisión descritos en la presente memoria pueden ser usados con diversas estructuras de sub-portadora, algunas de las cuales se describen más adelante. La siguiente descripción supone que las K sub-portadoras totales son utilizables para la transmisión y reciben índices entre 1 y K .

La FIG. 6A muestra una estructura 600 de sub-portadora de entrelazado. Para esta estructura de sub-portadora, las K sub-portadoras totales están dispuestas en S entrelazados no solapados, cada entrelazado contiene N sub-portadoras que están uniformemente distribuidas entre las K sub-portadoras totales y las sub-portadoras consecutivas en cada entrelazado están separadas entre sí por S sub-portadoras, donde $K = S \cdot N$. El entrelazado u contiene la sub-portadora u como la primera sub-portadora, donde $u \in \{1, \dots, S\}$.

La FIG. 6B muestra una estructura 610 de sub-portadora de bloque. Para esta estructura de sub-portadora, las K sub-portadoras totales están dispuestas en S bloques no solapados, conteniendo cada bloque N sub-portadoras adyacentes, donde $K = S \cdot N$. El bloque v contiene las sub-portadoras $v \cdot N + 1$ a $(v + 1) \cdot N$, donde $v \in \{1, \dots, S\}$.

La FIG. 6C muestra una estructura 620 de sub-portadora de grupo. Para esta estructura de sub-portadora, las K sub-portadoras totales están dispuestas en S grupos no solapados, cada grupo contiene G subgrupos que están distribuidos entre el ancho de banda del sistema y cada subgrupo contiene L sub-portadoras adyacentes, donde $K = S \cdot N$ y $N = G \cdot L$. Las K sub-portadoras totales pueden ser divididas en G gamas de frecuencias, conteniendo cada gama de frecuencias $S \cdot L$ sub-portadoras consecutivas. Cada gama de frecuencias está adicionalmente dividida en S subgrupos, conteniendo cada subgrupo L sub-portadoras consecutivas. Para cada gama de frecuencias, las primeras L sub-portadoras son adjudicadas al grupo 1, las siguientes L sub-portadoras son adjudicadas al grupo 2 y así sucesivamente, y las últimas L sub-portadoras son adjudicadas al grupo S . Cada grupo contiene G subgrupos de L sub-portadoras consecutivas, o sea un total de $N = G \cdot L$ sub-portadoras.

En general, las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria pueden ser usadas para cualquier estructura de sub-portadoras con cualquier número de conjuntos de sub-portadoras. Cada conjunto de sub-portadoras puede incluir cualquier número de sub-portadoras que pueden ser dispuestas de cualquier manera. Por ejemplo, un conjunto de sub-portadoras puede ser igual a un entrelazado, un bloque de sub-portadoras, un grupo de sub-portadoras, y así sucesivamente. Para cada conjunto de sub-portadoras, (1) las sub-portadoras en el conjunto pueden estar uniformemente, o no uniformemente, distribuidas entre el ancho de banda del sistema, (2) las sub-portadoras en el conjunto pueden ser adyacentes entre sí en un grupo o (3) las sub-portadoras en el conjunto pueden estar distribuidas en múltiples grupos, donde cada grupo puede estar situado en cualquier parte dentro del ancho de banda del sistema y

puede contener una o múltiples sub-portadoras.

Para todas las estructuras de sub-portadoras descritas anteriormente, distintos receptores pueden tener asignados distintos conjuntos de sub-portadoras, y el transmisor puede transmitir datos a cada receptor por su conjunto de sub-portadoras asignadas. El transmisor puede usar la misma matriz ortogonal \underline{U} para todos los receptores, una matriz ortogonal distinta para cada receptor, una matriz ortogonal distinta para cada conjunto de sub-portadoras, una matriz ortogonal distinta para cada sub-portadora, etc.

Las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria pueden ser usadas con o sin saltos de frecuencia. Con saltos de frecuencia, la transmisión de datos salta entre una sub-portadora y otra de manera pseudo-aleatoria o determinística a lo largo del tiempo, lo que permite que la transmisión de datos soporte mejor condiciones funestas de canal, tales como la interferencia de banda estrecha, el atasco, el desvanecimiento, etc. Los saltos de frecuencia pueden proporcionar diversidad de frecuencias y aleatorización de interferencias. Un receptor puede tener asignado un canal de tráfico que esté asociado a un patrón de saltos que indique cuál(es) conjunto(s) de sub-portadoras, si lo(s) hubiera, usar en cada ranura temporal. Un patrón de saltos también se llama un patrón o secuencia de saltos de frecuencia. Una ranura temporal es la cantidad de tiempo empleada en un conjunto dado de sub-portadoras y también se llama un periodo de salto. El patrón de salto puede seleccionar distintos conjuntos de sub-portadoras en distintas ranuras temporales, de manera pseudo-aleatoria o determinística.

La **FIG. 7** muestra un esquema ejemplar 700 de salto de frecuencia. En la FIG. 7, el canal 1 de tráfico está correlacionado con una secuencia específica de bloques de tiempo-frecuencia. Cada bloque de tiempo-frecuencia es un conjunto específico de sub-portadoras en una ranura temporal específica. En el ejemplo mostrado en la FIG. 7, el canal 1 de tráfico está correlacionado con el conjunto 1 de sub-portadoras en la ranura temporal 1, con el conjunto 4 de sub-portadoras en la ranura temporal 2, y así sucesivamente. Los canales de tráfico 2 a S pueden ser correlacionados con versiones verticalmente y circularmente desplazadas de la secuencia de bloques de tiempo-frecuencia para el canal 1 de tráfico. Por ejemplo, el canal 2 de tráfico puede ser correlacionado con el conjunto 2 de sub-portadoras en la ranura temporal 1, con el conjunto 5 de sub-portadoras en la ranura temporal 2, y así sucesivamente.

El salto de frecuencia puede ser usado con cualquiera de las estructuras de sub-portadoras mostradas en las FIGs. 6A a 6C. Por ejemplo, puede ser definido un esquema de saltos de tasas de símbolos en el cual cada bloque de tiempo-frecuencia es un entrelazado específico en un periodo de símbolos. Para este esquema de salto, las sub-portadoras asignadas abarcan el entero ancho de banda del sistema y cambian entre un periodo de símbolos y otro. Como otro ejemplo, puede ser definido un esquema de saltos de bloques en el cual cada bloque de tiempo-frecuencia es un bloque específico de sub-portadoras en una ranura temporal de múltiples periodos de símbolos. Para este esquema de saltos, las sub-portadoras asignadas son contiguas y fijadas para una ranura temporal entera, pero cambian entre una ranura temporal y otra. Para el esquema de saltos de bloques, el orden de multiplexado espacial puede ser fijado igual al número de antenas virtuales, de modo que pueda ser observada una interferencia constante en cualquier bloque dado de tiempo-frecuencia en cualquier sector para un sistema con sectores síncronos. También puede ser definido otro esquema de saltos.

Las señales piloto pueden ser transmitidas de diversas maneras con las estructuras de sub-portadora descritas anteriormente. Algunos esquemas ejemplares de señales piloto para el salto de tasas de símbolos y el salto de bloques son descritos más adelante.

La **FIG. 8** muestra un esquema 800 ejemplar de señales piloto para el salto de tasas de símbolos. Para el esquema 800 de señales piloto, el transmisor transmite una señal piloto común por un entrelazado desde la antena virtual 1 en cada periodo de símbolos. El transmisor puede transmitir la señal piloto común en distintos entrelazados en distintos periodos de símbolos, según se muestra en la FIG. 8. Una señal piloto escalonada de ese tipo permite a un receptor muestrear el espectro de frecuencias en más sub-portadoras y obtener una estimación más larga de la respuesta de impulso de canal. El transmisor también puede transmitir una señal piloto auxiliar en uno o más entrelazados desde las restantes antenas virtuales, para permitir a los receptores de MIMO estimar la respuesta de canal para todas las antenas virtuales usadas para la transmisión. Para la realización mostrada en la FIG. 8, el transmisor transmite la señal piloto auxiliar en un entrelazado en cada periodo de símbolos y recorre las antenas virtuales 2 a V en V-1 distintos periodos de símbolos. Para el caso con $V = 4$, según se muestra en la FIG. 8, el transmisor transmite la señal piloto auxiliar desde la antena virtual 2 en el periodo de símbolos $n + 1$, luego desde la antena virtual 3 en el periodo de símbolos $n + 2$, luego desde la antena virtual 4 en el periodo de símbolos $n + 3$, luego desde la antena virtual 2 en el periodo de símbolos $n + 4$, y así sucesivamente.

El transmisor puede transmitir las señales piloto comunes y auxiliares de otras maneras. En otra realización, la señal piloto auxiliar está escalonada y es enviada por distintos conjuntos de sub-portadoras. En otra realización más, la señal piloto común es enviada por uno o más conjuntos de sub-portadoras que son pseudo-aleatorios (o tienen desplazamientos aleatorios) con respecto a dichos uno o más conjuntos de sub-portadoras usados para la señal piloto auxiliar.

El transmisor puede transmitir la señal piloto común para receptores de MIMO, SIMO y SISO, y puede transmitir la señal piloto auxiliar solamente cuando están presentes receptores de MIMO. Los receptores de MIMO, SIMO y SISO pueden usar la señal piloto común para obtener una estimación de canal para las K sub-portadoras totales de la antena virtual 1. Un receptor de MIMO puede usar la señal piloto auxiliar para obtener estimaciones de canal para las antenas virtuales 2 a V.

La FIG. 9A muestra un esquema 910 ejemplar de señales piloto para el salto de bloques. Para la realización mostrada en la FIG. 9A, un bloque de tiempo-frecuencia está compuesto por 16 sub-portadoras adyacentes $k+1$ a $k+16$, y abarca además 8 periodos de símbolos $n+1$ a $n+8$. Para el esquema 910 de señales piloto, el transmisor transmite una señal piloto dedicada por las sub-portadoras $k+3$, $k+9$ y $k+15$ en cada uno de los periodos de símbolos $n+1$ a $n+3$ y $n+6$ a $n+8$, o seis tiras de tres símbolos piloto. Cada símbolo piloto puede ser enviado desde cualquier antena virtual. Por ejemplo, si $V = 3$, entonces el transmisor puede transmitir la señal piloto desde la antena virtual 1 en los periodos de símbolos $n+1$ y $n+6$, desde la antena virtual 2 en los periodos de símbolos $n+2$ y $n+7$, y desde la antena virtual 3 en los periodos de símbolos $n+3$ y $n+8$.

La FIG. 9B muestra un esquema 920 ejemplar de señales piloto para el salto de bloques. Para el esquema 920 de señales piloto, el transmisor transmite una señal piloto dedicada por las sub-portadoras $k+3$, $k+9$ y $k+15$ en cada uno de los periodos de símbolos $n+1$ a $n+8$, o tres tiras de ocho símbolos piloto. Cada símbolo piloto puede ser enviado desde cualquier antena virtual. Por ejemplo, si $V = 4$, entonces el transmisor puede transmitir la señal piloto desde la antena virtual 1 en los periodos de símbolos $n+1$ y $n+5$, desde la antena virtual 2 en los periodos de símbolos $n+2$ y $n+6$, desde la antena virtual 3 en los periodos de símbolos $n+3$ y $n+7$, y desde la antena virtual 4 en los periodos de símbolos $n+4$ y $n+8$.

La FIG. 9C muestra un esquema 930 ejemplar de señales piloto para el salto de bloques. Para el esquema 930 de señales piloto, el transmisor transmite una señal piloto dedicada por las sub-portadoras $k+1$, $k+4$, $k+7$, $k+10$, $k+13$ y $k+16$ en cada uno de los periodos de símbolos $n+1$, $n+2$, $n+7$ y $n+8$. Cada símbolo piloto puede ser enviado desde cualquier antena virtual. Por ejemplo, el transmisor puede transmitir la señal piloto desde la antena virtual 1 en el periodo de símbolos $n+1$, desde la antena virtual 2 en el periodo de símbolos $n+2$, desde la antena virtual 1 o 3 en el periodo de símbolos $n+7$ y desde la antena virtual 2 o 4 en el periodo de símbolos $n+8$.

La FIG. 9D muestra un esquema 940 ejemplar de señales piloto para el salto de bloques. Para el esquema 940 de señales piloto, el transmisor transmite una señal piloto escalonada por tres sub-portadoras en cada periodo de símbolos y por distintas sub-portadoras de señales piloto en distintos periodos de símbolos. Cada símbolo piloto puede ser enviado desde cualquier antena virtual. Por ejemplo, el transmisor puede transmitir la señal piloto desde una antena virtual distinta en cada periodo de símbolos y puede recorrer las V antenas virtuales en V periodos de símbolos.

En general, para el esquema de saltos de bloques, el transmisor puede transmitir una señal piloto en cada bloque de tiempo-frecuencia, de modo que un receptor sea capaz de obtener una estimación de canal para cada antena virtual usada para la transmisión. Las FIGs. 9A a 9D muestran cuatro patrones ejemplares de señales piloto que pueden usarse. También pueden ser definidos otros patrones de señales piloto, y ser usados para la transmisión de señales piloto.

Tanto para el salto de tasas de símbolos como para el salto de bloques, el transmisor puede transmitir la señal piloto desde cualquier número de antenas virtuales, puede usar cualquier número de sub-portadoras de señales piloto para cada antena virtual y puede usar cualquier magnitud de potencia de transmisión para cada antena virtual. Si la señal piloto es enviada desde múltiples antenas virtuales, entonces el transmisor puede usar los mismos, o distintos, números de sub-portadoras para estas antenas virtuales y puede transmitir la señal piloto en los mismos, o distintos, niveles de potencia para las antenas virtuales. El transmisor puede o no escalonar la señal piloto para cada antena virtual. El transmisor puede transmitir la señal piloto por más sub-portadoras para permitir a un receptor obtener más "visión" del canal inalámbrico en el dominio de la frecuencia y para obtener una estimación más larga de la respuesta de impulso de canal. El transmisor puede transmitir la señal piloto por todas las sub-portadoras piloto desde una antena virtual en cada periodo de símbolos, según lo descrito anteriormente. Alternativamente, el transmisor puede transmitir la señal piloto desde múltiples antenas virtuales por múltiples subconjuntos de sub-portadoras en un periodo de símbolos dado.

En una realización, el transmisor transmite la señal piloto desde las antenas virtuales, según lo descrito anteriormente para las FIGs. 8 a 9D. En otra realización, el transmisor transmite la señal piloto desde las antenas físicas, sin aplicar la matriz ortonormal \underline{U} o la matriz $\underline{P}(k)$ de permutación. Para esta realización, un receptor puede estimar la respuesta real de canal en base a la señal piloto y puede luego obtener una estimación efectiva de la respuesta de canal en base a la estimación real de la respuesta de canal y a las matrices ortonormales y de permutación.

La FIG. 10 muestra un proceso 1000 para transmitir datos y señales piloto a uno o más receptores. El procesamiento para cada receptor puede ser realizado de la siguiente manera. Se determina el conjunto de sub-portadoras asignadas al receptor y el orden de multiplexado espacial (M) para el receptor, donde $M \geq 1$ (bloque 1012). Para cada sub-portadora asignada, se seleccionan M antenas virtuales para su uso entre V antenas virtuales formadas con V columnas de la matriz ortonormal \underline{U} , donde $V \geq M$ (bloque 1014). Las M antenas virtuales para cada sub-portadora asignada pueden ser

seleccionadas de diversas maneras, según lo descrito anteriormente. Los símbolos de salida para el receptor son correlacionados con las M antenas virtuales seleccionadas para cada sub-portadora asignada, aplicando la matriz ortonormal (bloque 1016). Los símbolos de salida (o símbolos de transmisión) correlacionados son proporcionados para su transmisión desde T antenas transmisoras, donde $T \geq V$ (bloque 1018).

5 Los símbolos piloto también son correlacionados con las antenas virtuales usadas para la transmisión (bloque 1020). Por ejemplo, los símbolos piloto para una señal piloto común pueden ser correlacionados con la primera antena virtual por un primer conjunto de sub-portadoras de señales piloto, y los símbolos piloto para una señal piloto auxiliar pueden ser correlacionados con las restantes antenas virtuales por un segundo conjunto de sub-portadoras de señales piloto.

10 Si hay múltiples receptores, entonces los mismos, o distintos, órdenes de multiplexado espacial pueden ser usados para estos receptores. Además, los datos pueden ser enviados simultáneamente por distintos conjuntos de sub-portadoras a múltiples receptores. Por ejemplo, los datos pueden ser enviados desde una antena virtual por un primer conjunto de sub-portadoras a un receptor de SIMO o SISO, desde múltiples antenas virtuales por un segundo conjunto de sub-portadoras a un receptor de MIMO, etc. En cualquier caso, los símbolos de transmisión para todos los receptores son demultiplexados a las T antenas de transmisión (bloque 1022). Para cada antena de transmisión, los símbolos de
15 transmisión para cada receptor son correlacionados con las sub-portadoras asignadas a ese receptor (también bloque 1022). Los símbolos de transmisión son luego generados para cada antena de transmisión, en base a los símbolos de transmisión para esa antena de transmisión, y usando, p. ej., OFDM o SC-FDMA (bloque 1024). Pueden aplicarse distintos retardos cíclicos para las T antenas de transmisión, p. ej., retardando circularmente los símbolos de transmisión para cada antena de transmisión en una magnitud distinta (bloque 1026).

20 Para el bloque 1016 en la FIG. 10, el símbolo, o los símbolos, de salida para cada sub-portadora asignada a cada receptor son correlacionados con las T antenas de transmisión en base a M patrones de correlación seleccionados entre V patrones de correlación disponibles para su uso. Cada patrón de correlación indica una correlación específica de un símbolo de salida con las T antenas de transmisión. Los V patrones de correlación pueden ser formados por V columnas de una matriz ortonormal, o de otras maneras. Distintos patrones de correlación pueden ser seleccionados para distintas
25 sub-portadoras en un periodo de símbolos dado y / o en distintos periodos de símbolos, p. ej., en base a un patrón predeterminado. El patrón predeterminado puede estar definido por una matriz de permutación, o de alguna otra manera. El patrón predeterminado puede recorrer los V patrones de correlación disponibles en distintas sub-portadoras y / o periodos de símbolos.

30 La FIG. 11 muestra una realización de un aparato 1100 para transmitir datos y símbolos piloto a uno o más receptores. El aparato 1100 incluye medios para determinar el conjunto de sub-portadoras asignadas a cada receptor y el orden de multiplexado espacial (M) para cada receptor (bloque 1112), medios para seleccionar M antenas virtuales para su uso entre V antenas virtuales para cada sub-portadora asignada a cada receptor (bloque 1114), medios para correlacionar los símbolos de salida para cada receptor con las antenas virtuales seleccionadas para cada sub-portadora asignada al receptor (p. ej., aplicando columnas seleccionadas de una matriz ortonormal o patrones de correlación seleccionados)
35 (bloque 1116), medios para proporcionar los símbolos de salida (o símbolos de transmisión) correlacionados, para su transmisión desde T antenas de transmisión (bloque 1118), medios para correlacionar símbolos piloto con las antenas virtuales usadas para la transmisión (bloque 1120), medios para demultiplexar los símbolos de transmisión para cada receptor a las sub-portadoras asignadas de las T antenas de transmisión (bloque 1122), medios para generar símbolos de transmisión para cada antena de transmisión, p. ej., usando OFDM o SC-FDMA (bloque 1124) y medios para aplicar
40 distintos retardos cíclicos para las T antenas de transmisión (bloque 1126).

La FIG. 12 muestra un diagrama de bloques de una realización de la estación base 110, el terminal 120x de antena única y el terminal 120y de múltiples antenas. En la estación base 110, un procesador 1210 de datos de transmisión (TX) recibe datos para uno o más terminales, procesa (p. ej., codifica, intercala y correlaciona con símbolos) los datos en base a uno o más esquemas de codificación y modulación, y proporciona símbolos de modulación. El procesador 1210 de datos de
45 TX procesa habitualmente los datos para cada terminal por separado, en base a un esquema de codificación y modulación seleccionado para ese terminal. Si el sistema 100 utiliza SC-FDMA, entonces el procesador 1210 de datos de TX puede realizar una FFT / DFT sobre los símbolos de modulación para cada terminal, para obtener símbolos del dominio de la frecuencia para ese terminal. El procesador 1210 de datos de TX obtiene símbolos de salida para cada terminal (que pueden ser símbolos de modulación para OFDM o símbolos del dominio de la frecuencia para SC-FDMA) y multiplexa los símbolos de salida para el terminal sobre las sub-portadoras y antenas virtuales usadas para ese terminal.
50 El procesador 1210 de datos de TX multiplexa además símbolos piloto sobre la sub-portadora y las antenas virtuales usadas para la transmisión de señales piloto.

Un procesador espacial 1220 de TX recibe los símbolos de salida multiplexados y los símbolos piloto, realiza el procesamiento espacial para cada sub-portadora, p. ej., según se muestra en la ecuación (3) o (7), y proporciona
55 símbolos de transmisión para las T antenas de transmisión. Un modulador (Mod) 1222 procesa los símbolos de transmisión para cada antena de transmisión, p. ej., para OFDM, SC-FDMA o alguna otra técnica de modulación, y genera un flujo de muestras de salida para esa antena de transmisión. Dado que el procesador espacial 1220 de TX

realiza el procesamiento espacial para cada sub-portadora, la modulación de SC-FDMA se divide en dos partes que son realizadas por el procesador 1210 de datos de TX y el modulador 1222. El modulador 1222 proporciona T flujos de muestras de salida a T unidades transmisoras (TMTR) 1224a a 1224t. Cada unidad transmisora 1224 procesa (p. ej., convierte a analógico, amplifica, filtra y aumenta la frecuencia) su flujo de muestras de salida y genera una señal modulada. T señales moduladas, desde las unidades transmisoras 1224a a 1224t, son transmitidas desde las T antenas 112a a 112t, respectivamente.

En cada terminal 120, una o más antenas 122 reciben las señales moduladas transmitidas por la estación base 110, y cada antena proporciona una señal recibida a una respectiva unidad receptora (RCVR) 1254. Cada unidad receptora 1254 procesa (p. ej., amplifica, filtra, reduce la frecuencia y digitaliza) su señal de recepción y proporciona las muestras recibidas a un demodulador (Demod) 1256. El demodulador 1256 procesa las muestras recibidas para cada antena 122 de recepción (p. ej., en base a OFDM, SC-FDMA o alguna otra técnica de modulación), obtiene símbolos recibidos del dominio de la frecuencia para las K sub-portadoras totales, proporciona los símbolos recibidos para las sub-portadoras asignadas y proporciona los símbolos piloto recibidos para las sub-portadoras usadas para la transmisión de señales piloto.

Para el terminal 120x de antena única, un detector 1260x de datos obtiene símbolos recibidos desde el demodulador 1256x, obtiene estimaciones de canal para la sub-portadora asignada, en base a los símbolos piloto recibidos, y realiza la detección de datos (p. ej., la ecualización) sobre los símbolos recibidos, en base a las estimaciones de canal, para obtener símbolos detectados, que son estimaciones de los símbolos de salida transmitidos al terminal 120x. Para el terminal 120y de múltiples antenas, un procesador espacial 1260y de recepción (RX) obtiene símbolos recibidos desde el demodulador 1256y, obtiene estimaciones de canal para las sub-portadoras asignadas en base a los símbolos piloto recibidos y realiza el procesamiento espacial del receptor sobre los símbolos recibidos, en base a las estimaciones de canal, para obtener símbolos detectados. El procesador espacial 1260y de RX puede implementar una técnica de errores cuadrados medios mínimos (MMSE), una técnica de forzamiento de ceros (ZF), una técnica de combinación de razón máxima (MRC), una técnica de cancelación de interferencia sucesiva o alguna otra técnica de procesamiento del receptor. Para cada terminal, un procesador 1262 de datos de RX procesa (p. ej., decorrelaciona símbolos, desintercala y descodifica) los símbolos detectados y proporciona datos descodificados para el terminal. En general, el procesamiento por cada terminal 120 es complementario al procesamiento por la estación base 110.

Cada terminal 120 puede generar información de retro-alimentación para la transmisión de datos a ese terminal. Por ejemplo, cada terminal 120 puede estimar las SNR para las antenas virtuales, p. ej., en base a los símbolos piloto recibidos. Cada terminal 120 puede seleccionar uno o más esquemas de codificación y modulación, uno o más formatos de paquete, una o más antenas virtuales a usar para la transmisión de datos, una o más matrices ortonormales, etc., en base a las estimaciones de SNR y / o a otra información. Cada terminal 120 también puede generar acuses de recibo (ACK) para los paquetes de datos correctamente recibidos. La información de retro-alimentación puede incluir las estimaciones de SNR, los esquemas de codificación y modulación seleccionados, la(s) antena(s) virtual(es) seleccionada(s), la matriz, o las matrices, ortonormal(es) seleccionada(s), la(s) sub-portadora(s) seleccionada(s), los ACK, la información usada para el control de potencia, alguna otra información o cualquier combinación de lo anterior. La información de retro-alimentación es procesada por un procesador 1280 de datos de TX, adicionalmente procesada por un procesador espacial 1282 de TX si están presentes múltiples antenas, modulada por un modulador 1284, acondicionada por una o más unidades transmisoras 1254 y transmitida mediante la(s) antena(s) 122 a la estación base 110. En la estación base 110, las señales moduladas transmitidas por los terminales 120x y 120y son recibidas por las antenas 112, acondicionadas por las unidades receptoras 1224 y procesadas por un demodulador 1240, un procesador espacial 1242 de RX y un procesador 1244 de datos de RX para recuperar la información de retro-alimentación enviada por los terminales. Un controlador / procesador 1230 usa la información de retro-alimentación para determinar las velocidades de datos y los esquemas de codificación y modulación a usar para la transmisión de datos a cada terminal, así como para generar diversos controles para el procesador 1210 de datos de TX y el procesador espacial 1220 de TX.

Los controladores / procesadores 1230, 1270x y 1270y controlan el funcionamiento de diversas unidades de procesamiento en la estación base 110 y los terminales 120x y 120y, respectivamente. Las unidades 1232, 1272x y 1272y de memoria almacenan datos y códigos de programa usados por la estación base 110 y los terminales 120x y 120y, respectivamente. El controlador / procesador 1230 puede implementar partes de las FIGs. 10 y 11 y puede (1) asignar sub-portadoras y seleccionar el orden de multiplexado espacial para cada terminal (bloque 1012 en la FIG. 10) y (2) seleccionar las antenas virtuales para cada sub-portadora asignada a cada terminal (bloque 1214 en la FIG. 10). El procesador 1220 de datos de TX puede implementar partes de las FIGs. 10 y 11 y realizar el procesamiento mostrado en los bloques 1116 a 1126 en la FIG. 10.

Para mayor claridad, gran parte de la descripción anterior es para un sistema con K sub-portadoras totales. Las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria también pueden ser usadas para un sistema con una única sub-portadora. Para un sistema de ese tipo, k en la descripción anterior puede ser un índice para el periodo de símbolos, en lugar de la sub-portadora.

- Las técnicas de transmisión descritas en la presente memoria pueden ser implementadas por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden ser implementadas en hardware, firmware, software o una combinación de los mismos. Para una implementación en hardware, las unidades de procesamiento en un transmisor pueden ser implementadas dentro de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), formaciones de compuertas programables en el terreno (FPGA), procesadores, controladores, micro-controladores, microprocesadores, dispositivos electrónicos, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria, o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento en un receptor también pueden ser implementadas dentro de uno o más ASIC, DSP, procesadores, etc.
- 5
- 10 Para una implementación en software, las técnicas de transmisión pueden ser implementadas con módulos (p. ej., procedimientos, funciones, etc.) que realizan las funciones descritas en la presente memoria. Los códigos de software pueden ser almacenados en una memoria (p. ej., la memoria 1230, 1272x o 1272y en la FIG. 12) y ejecutados por un procesador (p. ej., el procesador 1232, 1270x o 1270y). La memoria puede ser implementada dentro del procesador o ser externa al procesador.
- 15 La anterior descripción de las realizaciones reveladas se proporciona para permitir a cualquier persona experta en la técnica realizar o usar la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de selección de antenas en un sistema de MIMO, que comprende:
 medios para seleccionar M antenas de transmisión virtuales entre V antenas de transmisión virtuales,
 en el que M es uno o más y V es igual o mayor que M; en el que una matriz ortonormal de dimensiones TxV es usada para formar las V antenas de transmisión virtuales, en el que la matriz ortonormal está definida de modo que una suma de una magnitud al cuadrado de las V entradas en cada fila sea igual a un valor constante, y en el que una matriz de permutación es usada para seleccionar las M antenas de transmisión virtuales;
 medios para correlacionar símbolos de salida con las M antenas virtuales; y
 medios para proporcionar los símbolos de salida correlacionados para su transmisión desde T antenas de transmisión, en el que T es igual o mayor que V y T representa un cierto número de antenas de transmisión físicas.
2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente: medios para seleccionar distintos conjuntos de M antenas virtuales entre las V antenas virtuales para distintas sub-portadoras.
3. El aparato de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente: medios para aplicar T distintos retardos cíclicos para las T antenas de transmisión.
4. El aparato de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente: medios para transmitir una señal piloto por las M antenas de transmisión virtuales.
5. El aparato de la reivindicación 1, en el cual los medios para seleccionar, los medios para correlacionar y los medios para proporcionar los símbolos de salida correlacionados para su transmisión comprenden:
 al menos un procesador; y el aparato comprende además:
 una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.
6. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar un conjunto de M antenas de transmisión virtuales para cada una entre una pluralidad de sub-portadoras de frecuencia, recorriendo las V antenas de transmisión virtuales.
7. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para formar una matriz de permutación, indicativa de las M antenas de transmisión virtuales seleccionadas entre las V antenas de transmisión virtuales, para aplicar la matriz de permutación a los símbolos de salida, y para aplicar una matriz ortonormal usada para formar las V antenas de transmisión virtuales.
8. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar una antena de transmisión virtual entre V antenas de transmisión virtuales para un primer receptor asignado con un primer conjunto de sub-portadoras, para seleccionar más de una antena de transmisión virtual entre las V antenas de transmisión virtuales para un segundo receptor asignado con un segundo conjunto de sub-portadoras, para correlacionar símbolos de salida para el primer receptor con el primer conjunto de sub-portadoras de dicha antena de transmisión virtual, y para correlacionar símbolos de salida para el segundo receptor con el segundo conjunto de sub-portadoras de dichas más de una antenas de transmisión virtuales.
9. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para ajustar a escala símbolos de salida para las M antenas de transmisión virtuales con M ganancias.
10. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para transmitir una primera señal piloto por una primera antena de transmisión virtual entre las V antenas de transmisión virtuales, y para transmitir una segunda señal piloto por las restantes antenas de las V antenas de transmisión virtuales.
11. El aparato de la reivindicación 10, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para transmitir la primera señal piloto por un primer conjunto de sub-portadoras de la primera antena de transmisión virtual, y para transmitir la segunda señal piloto por un segundo conjunto de sub-portadoras, recorriendo las restantes antenas de las V antenas de transmisión virtuales.
12. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para transmitir símbolos piloto por al menos una sub-portadora en al menos un periodo de símbolos, seleccionado en base a un patrón de señales piloto.
13. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar una

matriz ortonormal entre una pluralidad de matrices ortonormales disponibles para formar las V antenas de transmisión virtuales.

5 14. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para recibir retroalimentación que selecciona una matriz ortonormal entre una pluralidad de matrices ortonormales disponibles para formar las V antenas de transmisión virtuales.

15. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para generar símbolos de multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM, para las T antenas de transmisión, en base a los símbolos de salida correlacionados.

10 16. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para generar símbolos de acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única, SC-FDMA, para las T antenas de transmisión, en base a los símbolos de salida correlacionados.

17. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar dinámicamente M, en base a las condiciones de canal.

15 18. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar dinámicamente V, en base a las condiciones de canal.

19. El aparato de la reivindicación 5, en el cual una matriz ortonormal, usada para formar las V antenas de transmisión virtuales, es definida de modo que se use igual potencia de transmisión para las T antenas de transmisión.

20. El aparato de la reivindicación 5, en el cual una matriz ortonormal, usada para formar las V antenas de transmisión virtuales, está basada en una matriz de Fourier o una matriz de Walsh.

20 21. El aparato de la reivindicación 5, en el cual una matriz ortonormal, usada para formar las V antenas de transmisión virtuales, está basada en el ajuste a escala de una matriz de Fourier o una matriz de Walsh, con distintas fases aleatorias.

25 22. El aparato de la reivindicación 5, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar M1 antenas de transmisión virtuales, a usar para la transmisión a un primer receptor, entre las V antenas de transmisión virtuales, para seleccionar M2 antenas de transmisión virtuales, a usar para la transmisión a un segundo receptor, entre las V antenas de transmisión virtuales, para correlacionar símbolos de salida para el primer receptor con las M1 antenas de transmisión virtuales, para correlacionar símbolos de salida para el segundo receptor con las M2 antenas de transmisión virtuales, para proporcionar los símbolos de salida correlacionados para el primer receptor, para su transmisión por una primera sub-portadora de las T antenas de transmisión, y para proporcionar los símbolos de salida correlacionados para el segundo receptor, para su transmisión por una segunda sub-portadora de las T antenas de transmisión, en el que tanto M1 como M2 son iguales a uno, o mayores, y V es igual o mayor que el mayor entre M1 y M2.

23. El aparato de la reivindicación 22, en el cual M1 no es igual a M2.

35 24. El aparato de la reivindicación 22, en el cual las sub-portadoras primera y segunda son una sub-portadora, y en el cual las transmisiones son enviadas a los receptores primero y segundo usando el acceso múltiple por división espacial, SDMA.

25. El aparato de la reivindicación 5, en el cual:

dicho al menos un procesador está configurado para correlacionar símbolos de salida con la pluralidad de antenas, en base a al menos un patrón de correlación seleccionado entre una pluralidad de patrones de correlación, en el que cada patrón de correlación indica una correlación específica de un símbolo de salida con la pluralidad de antenas.

40 26. El aparato de la reivindicación 25, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar distintos patrones de correlación para distintas sub-portadoras en un periodo de símbolos.

27. El aparato de la reivindicación 25, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar distintos patrones de correlación para periodos de símbolos.

45 28. El aparato de la reivindicación 25, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para seleccionar distintos patrones de correlación entre la pluralidad de patrones de correlación para distintas sub-portadoras o distintos periodos de símbolos, en base a un patrón predeterminado.

29. El aparato de la reivindicación 25, en el cual dicho al menos un procesador está configurado para aplicar una columna distinta de una matriz ortonormal para cada una entre una pluralidad de sub-portadoras, de acuerdo a un patrón predeterminado, en el cual la matriz ortonormal incluye una pluralidad de columnas para la pluralidad de patrones de

correlación.

30. Un procedimiento de selección de antenas en un sistema de MIMO que comprende:

seleccionar M antenas de transmisión virtuales, a usar para la transmisión, entre V antenas de transmisión virtuales, en el que M es uno o más y V es igual o mayor que M ,

5 en el que una matriz ortonormal de dimensiones $T \times V$ es usada para formar las V antenas de transmisión virtuales,

en el que la matriz ortonormal está definida de modo que una suma de una magnitud al cuadrado de las V entradas en cada fila sea igual a un valor constante, y en el que una matriz de permutación es usada para seleccionar las M antenas de transmisión virtuales;

correlacionar símbolos de salida con las M antenas virtuales; y

10 proporcionar los símbolos de salida correlacionados para su transmisión desde T antenas de transmisión, en el que

T es igual o mayor que V y T representa un número total de antenas de transmisión físicas.

31. El procedimiento de la reivindicación 30, que comprende adicionalmente:

seleccionar distintos conjuntos de M antenas virtuales entre las V antenas virtuales para distintas sub-portadoras.

32. El procedimiento de la reivindicación 30, que comprende adicionalmente:

15 aplicar T distintos retardos cíclicos para las T antenas de transmisión.

33. El procedimiento de la reivindicación 30, que comprende adicionalmente: transmitir una señal piloto por las M antenas de transmisión virtuales.

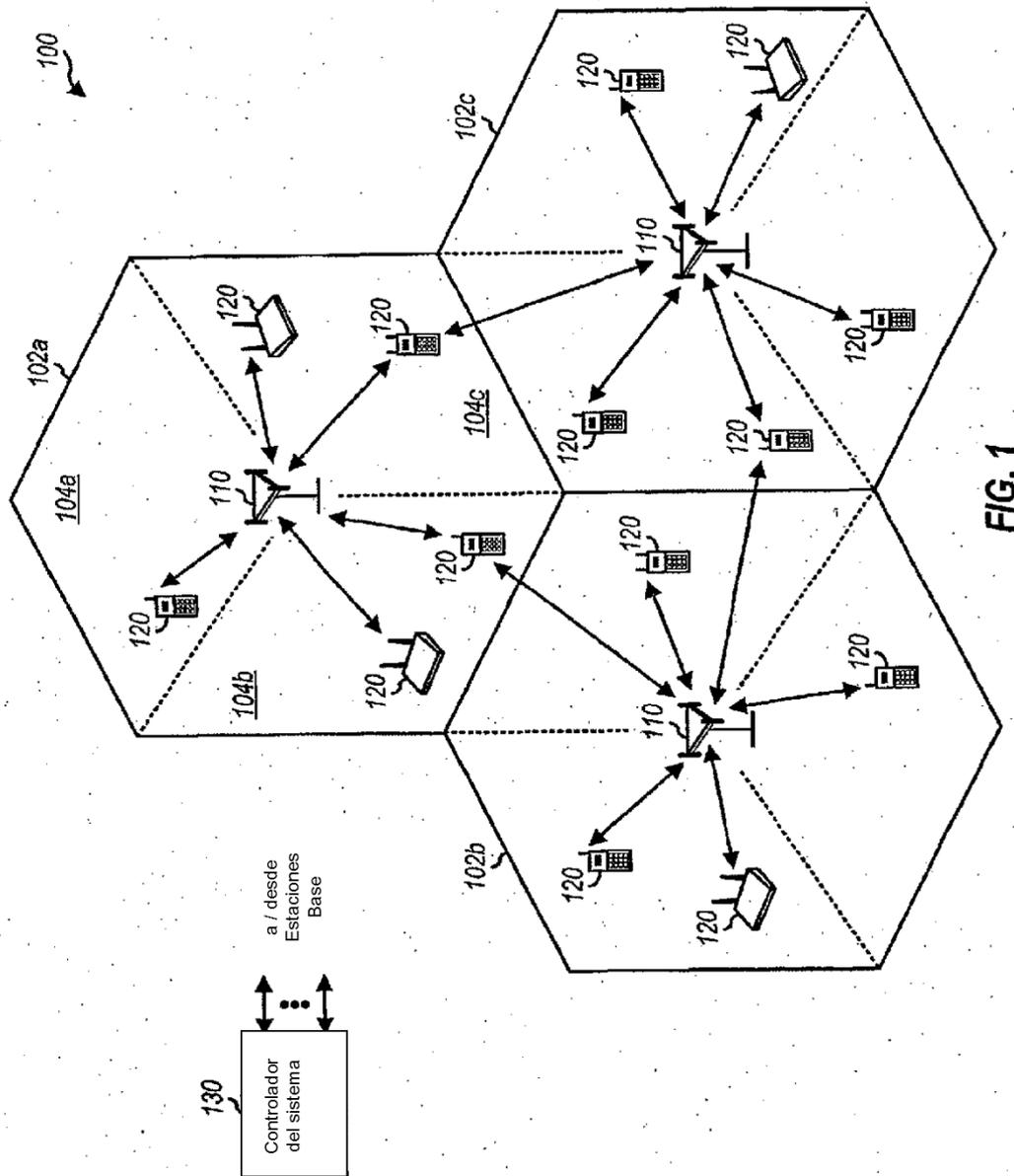


FIG. 1

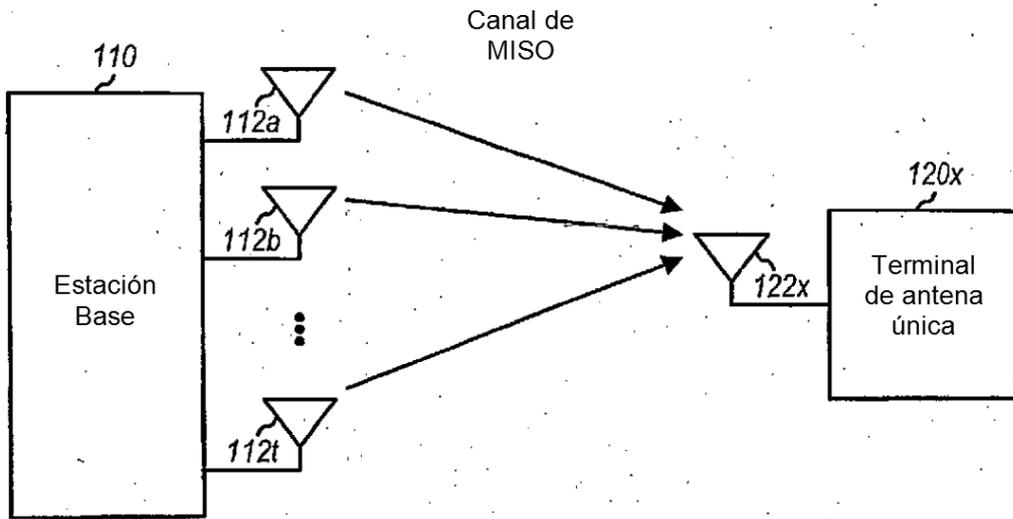


FIG. 2A

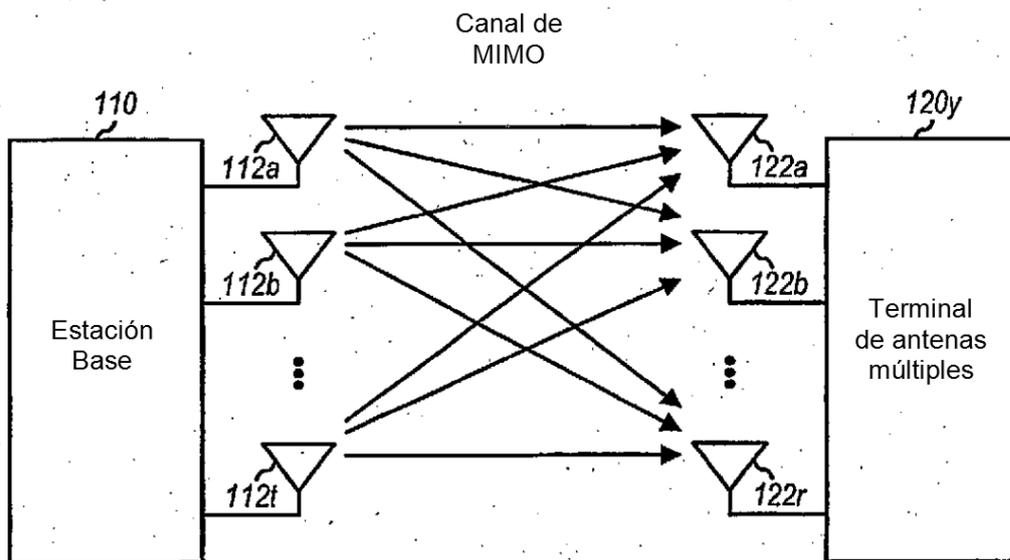


FIG. 2B

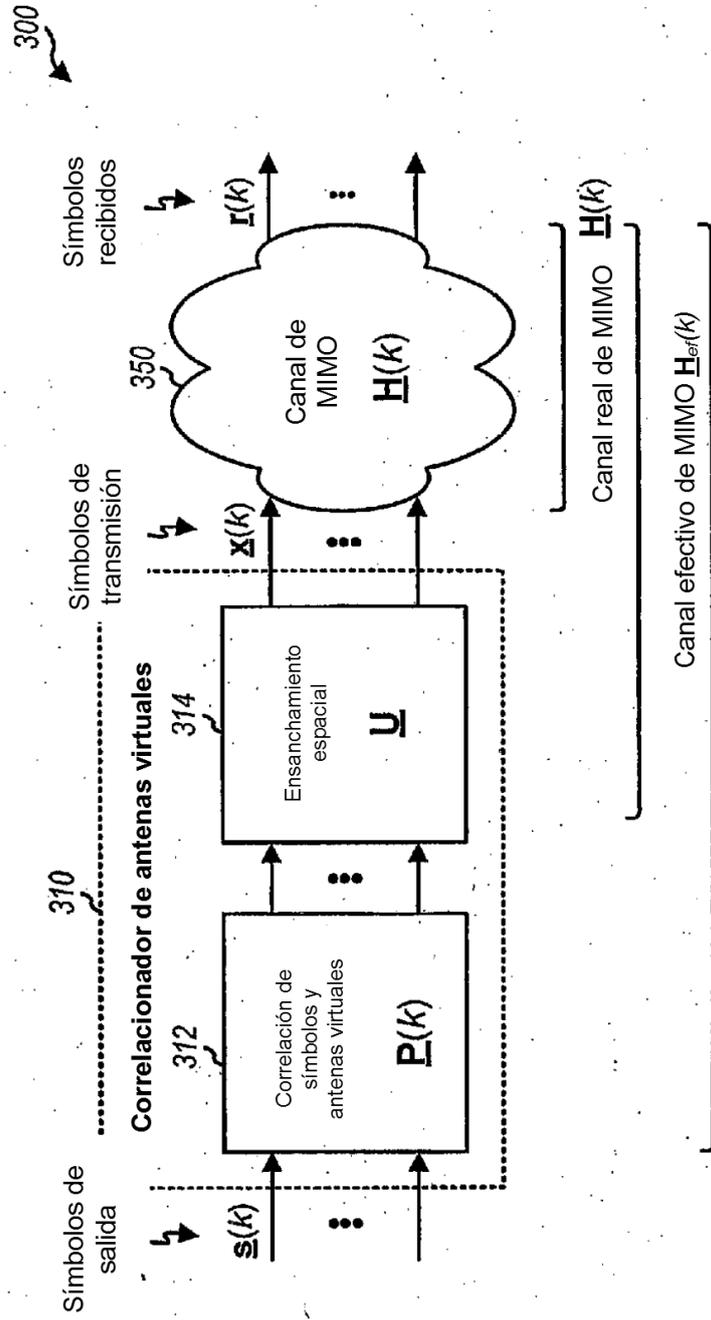


FIG. 3

Canal usado de MIMO $\underline{H}_{usado}(k)$

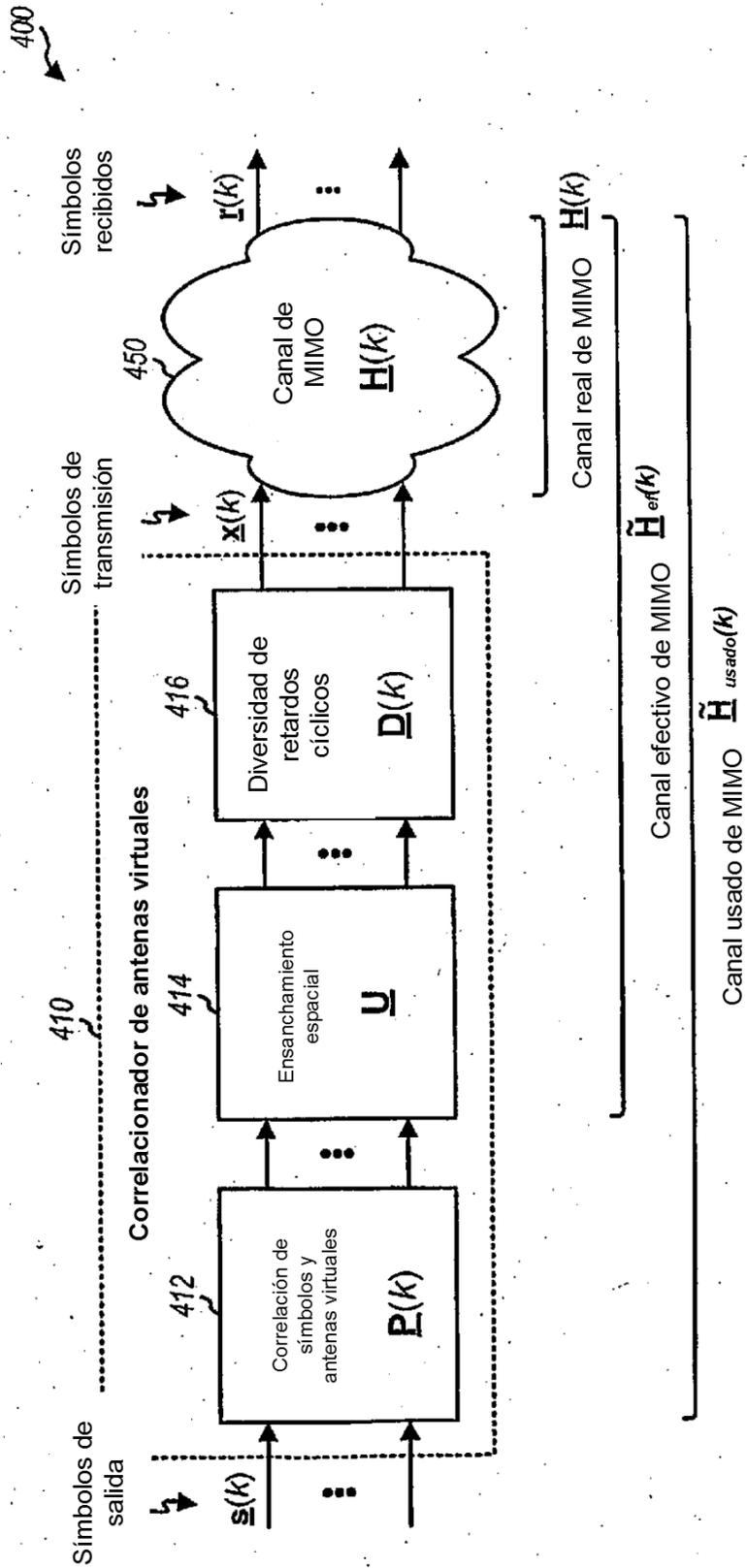


FIG. 4

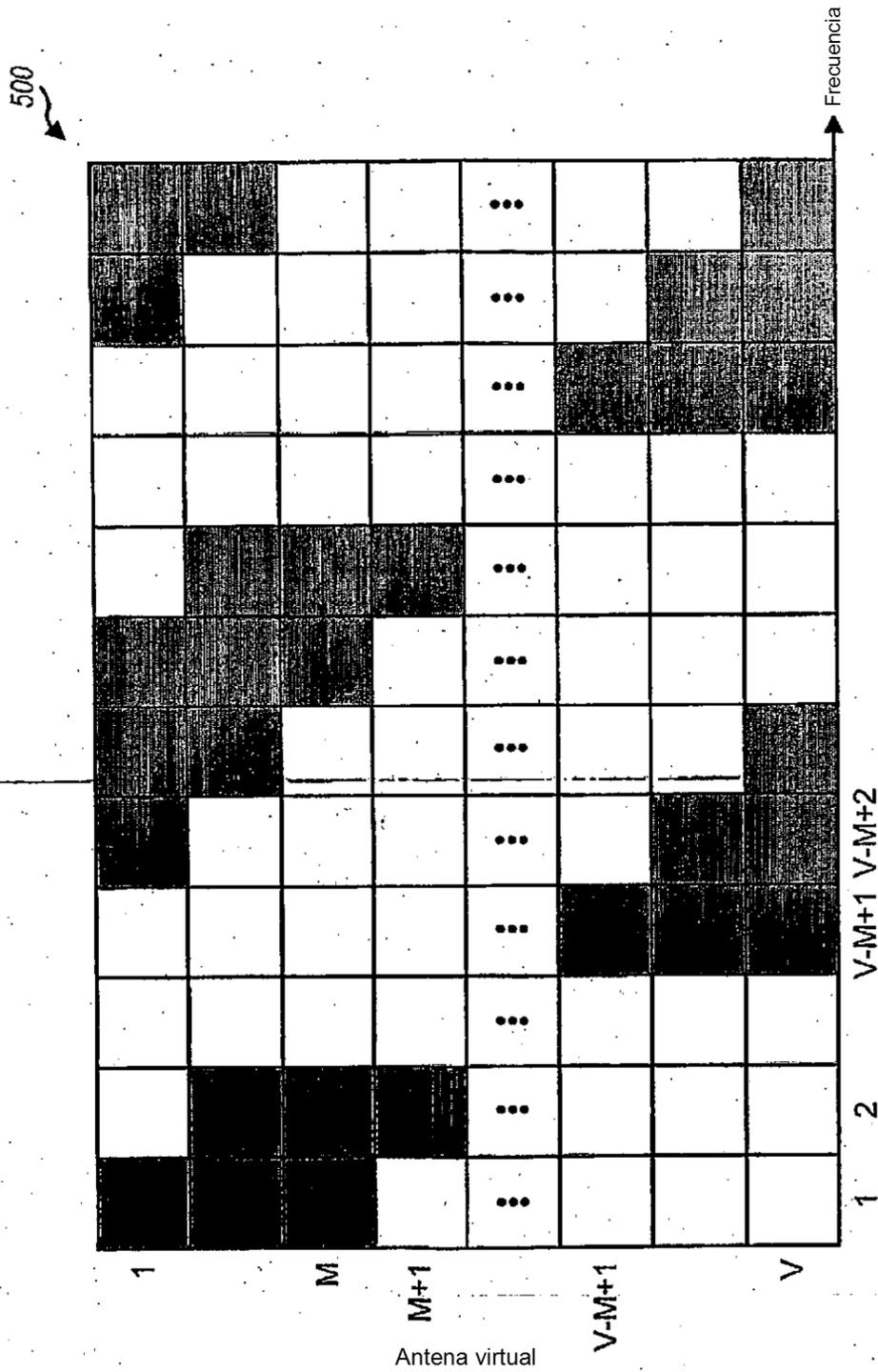


FIG. 5

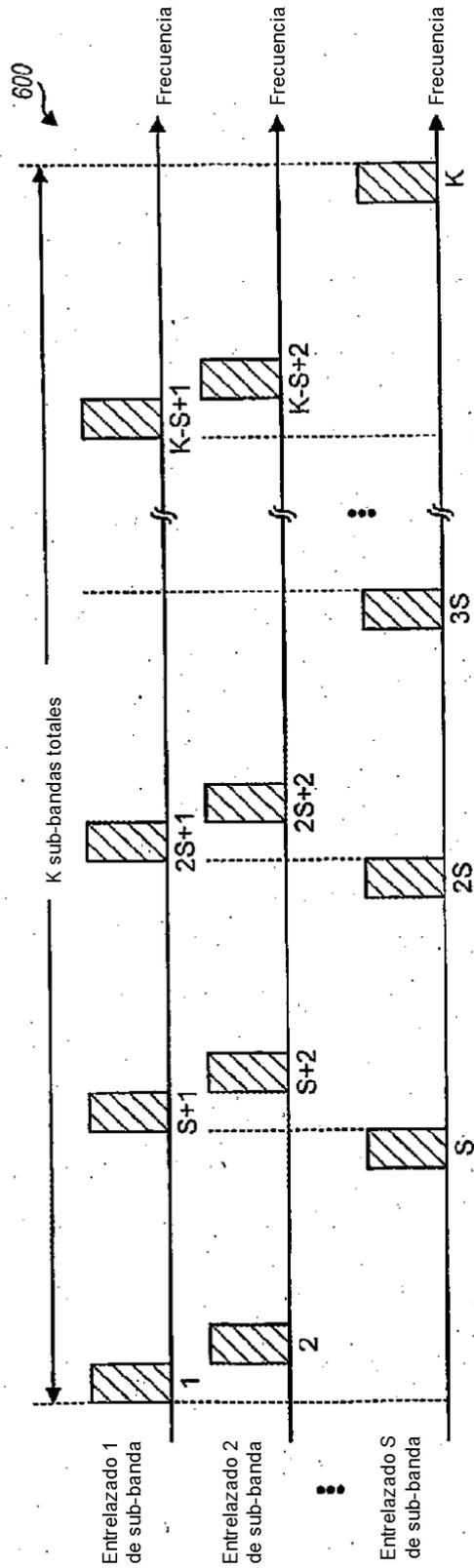


FIG. 6A

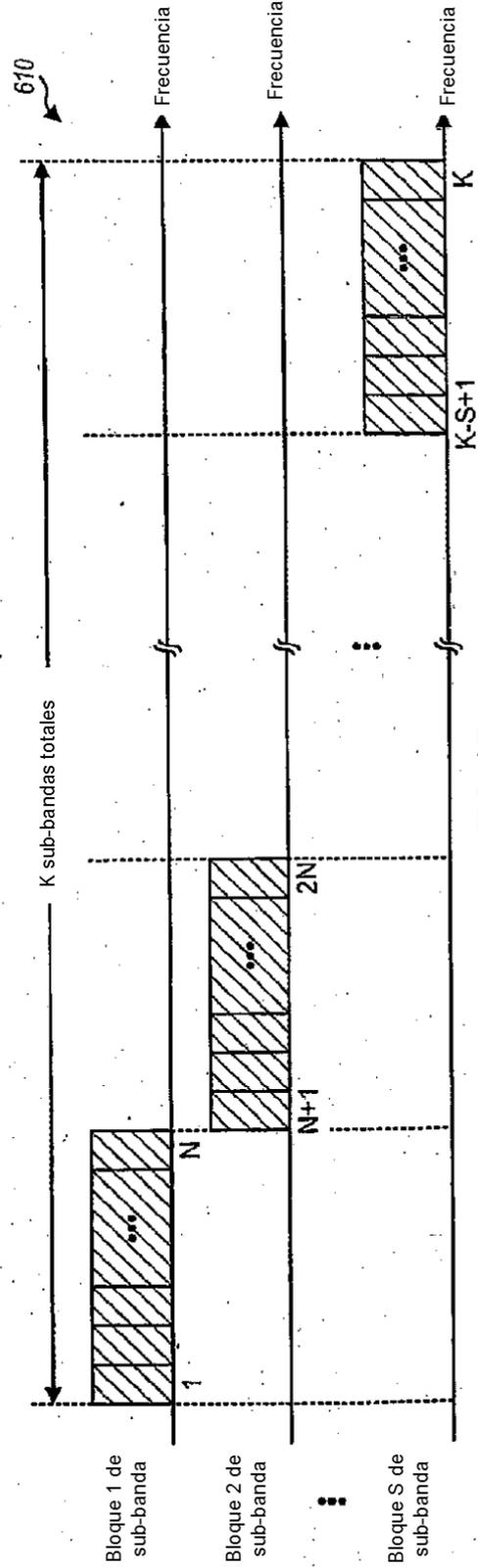


FIG. 6B

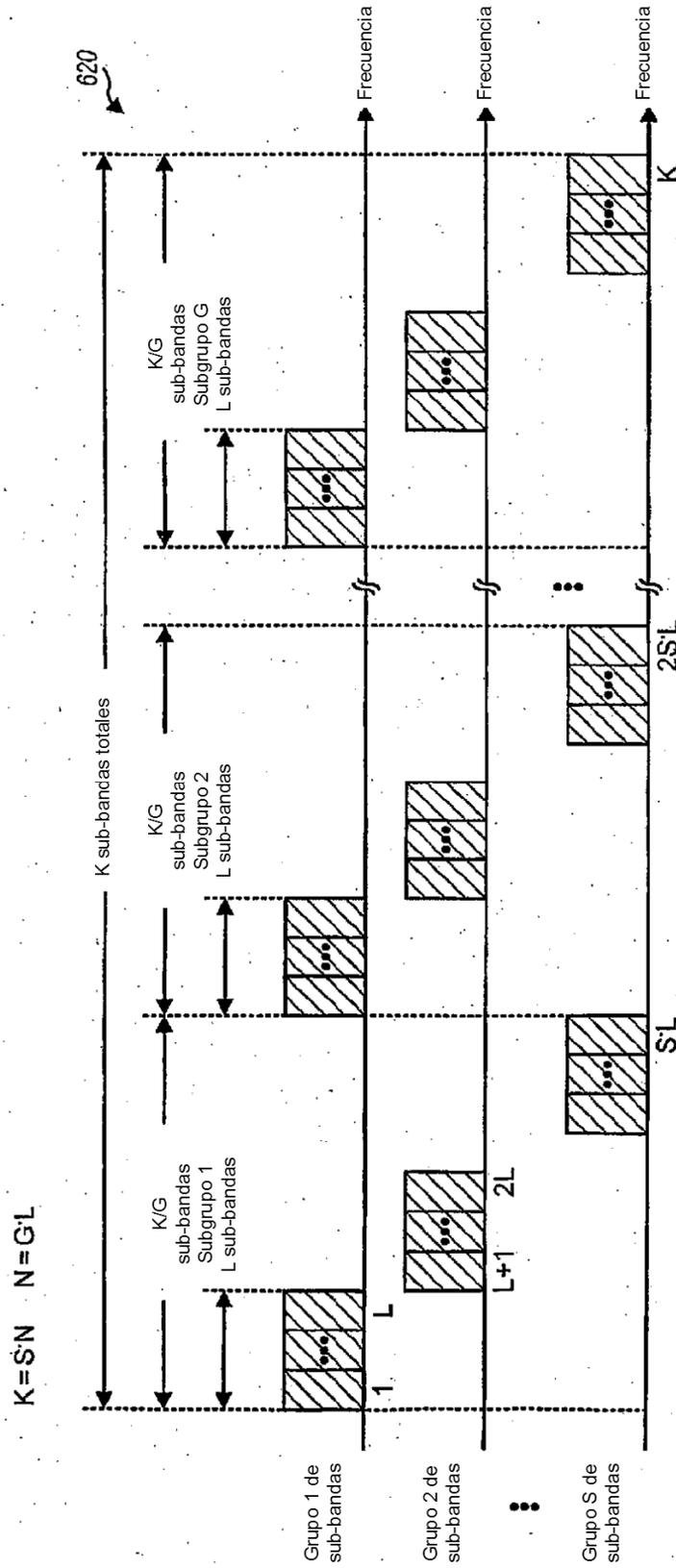


FIG. 6C

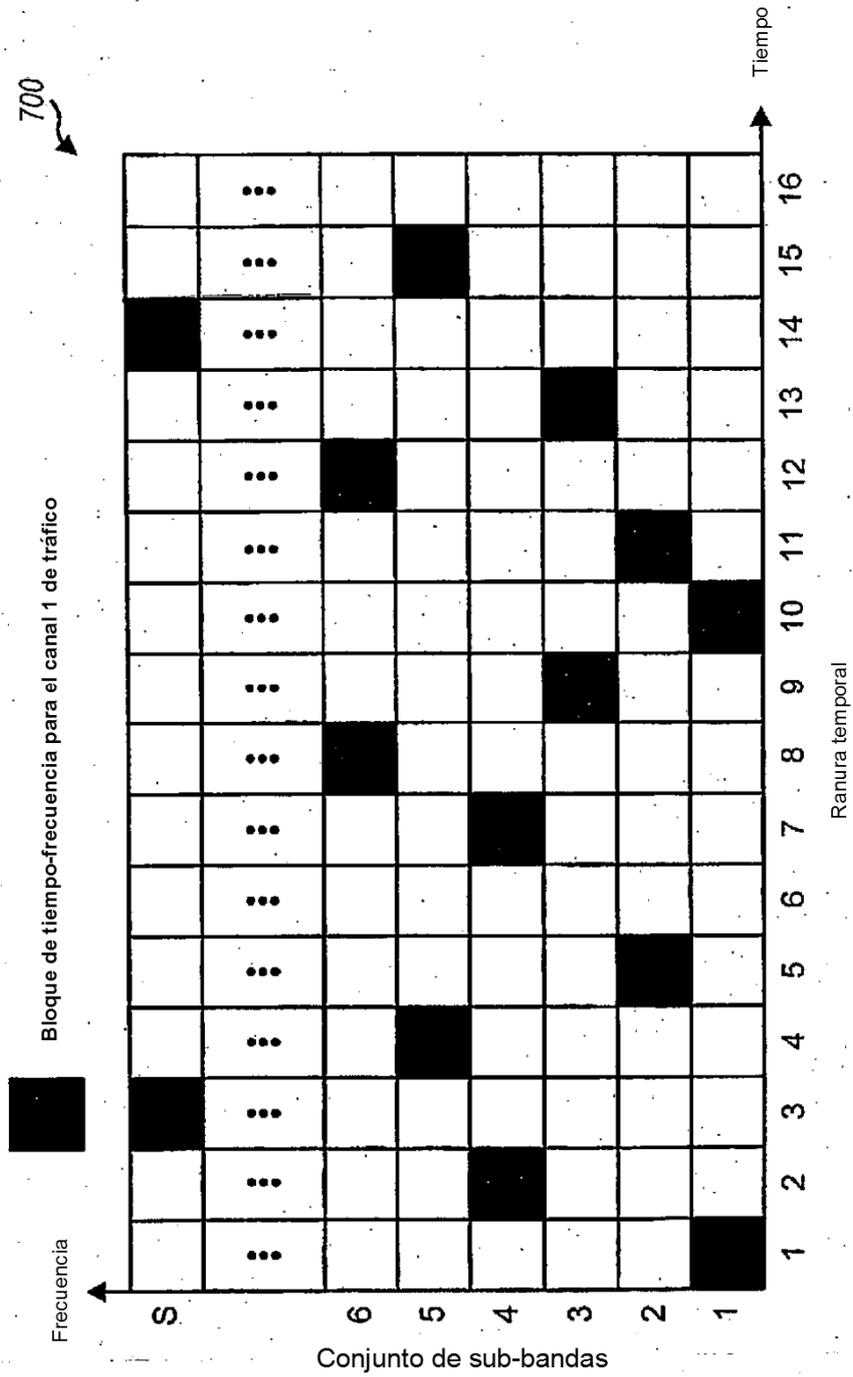


FIG.7

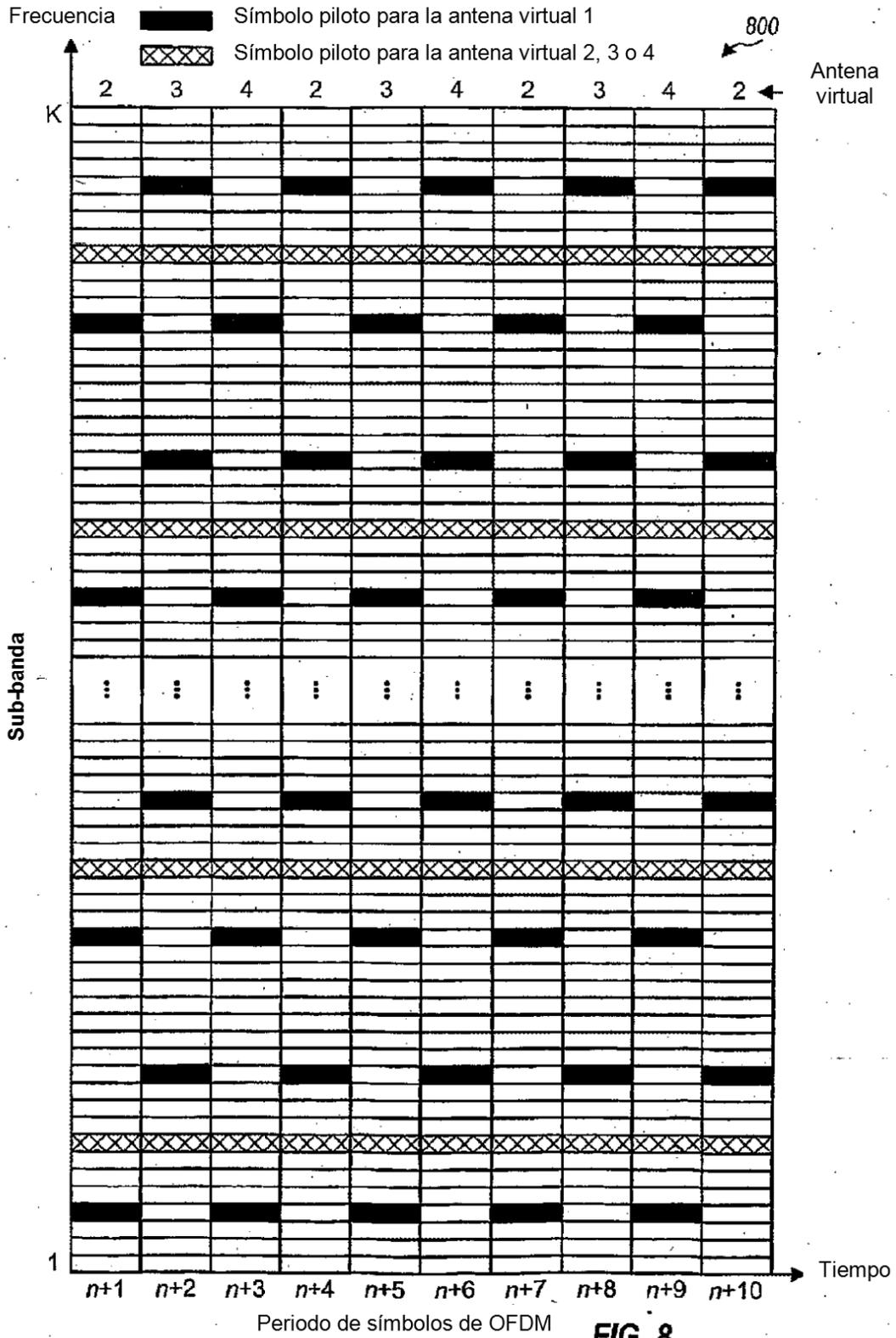


FIG. 8

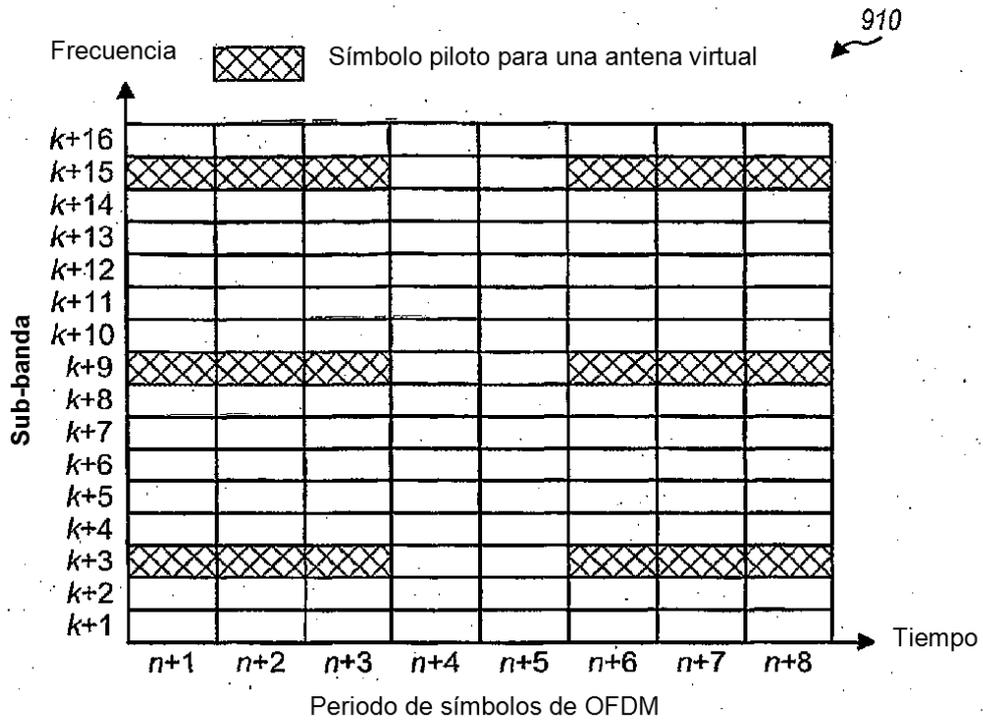


FIG. 9A

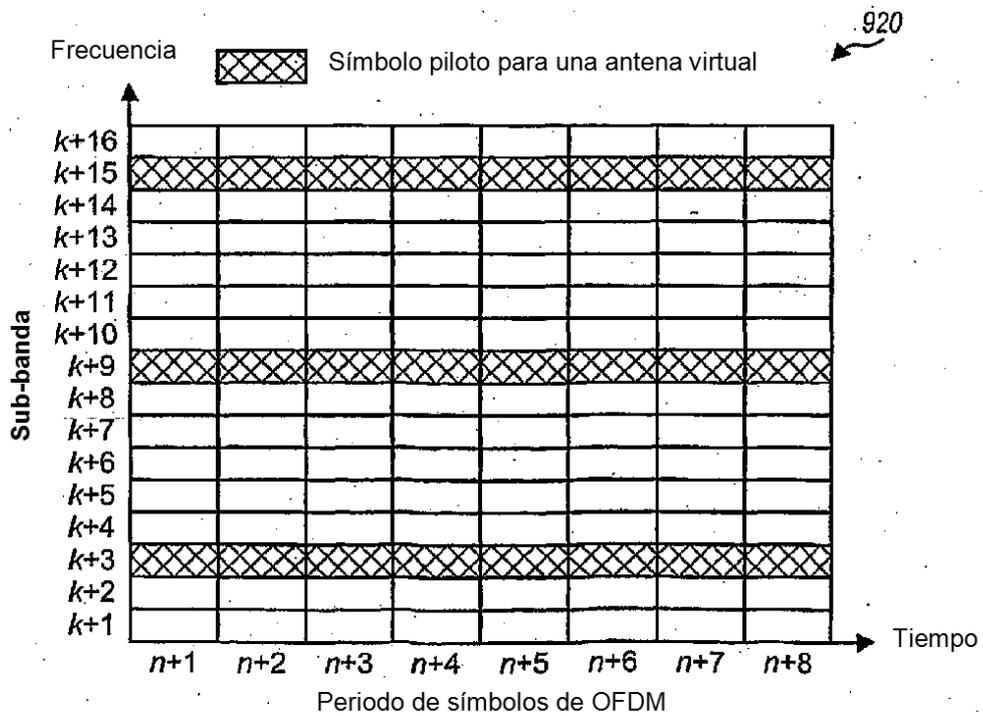
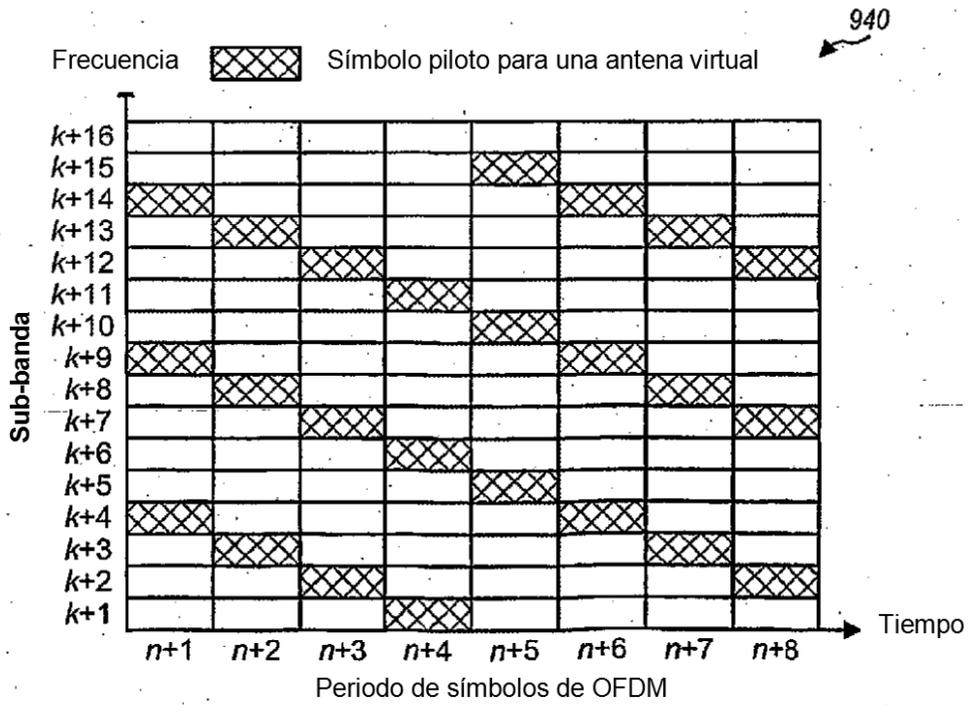
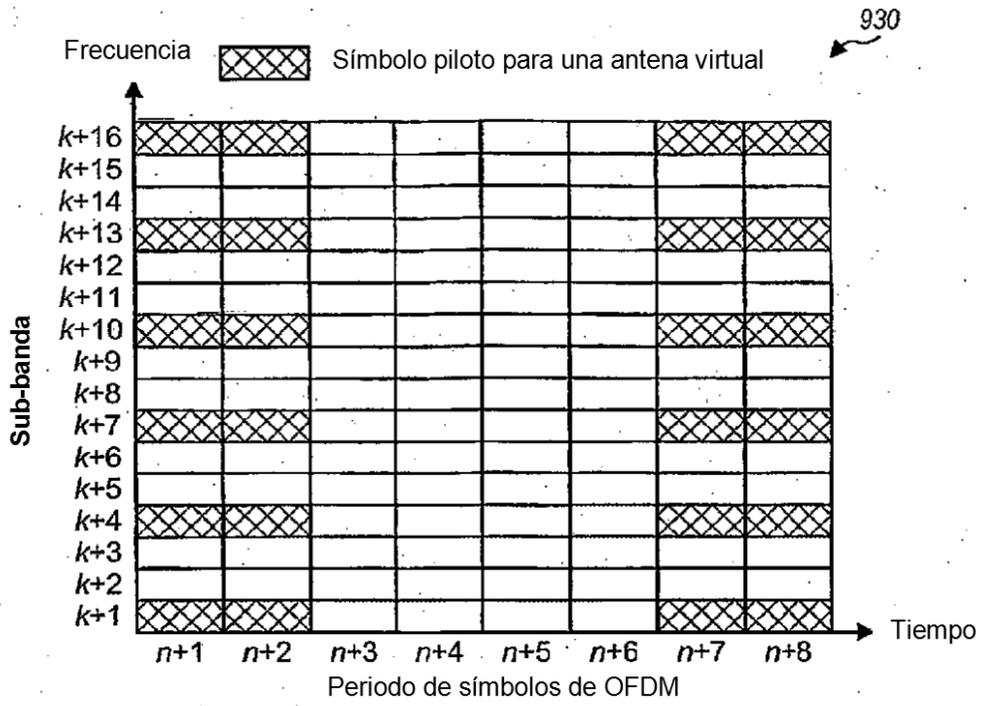


FIG. 9B



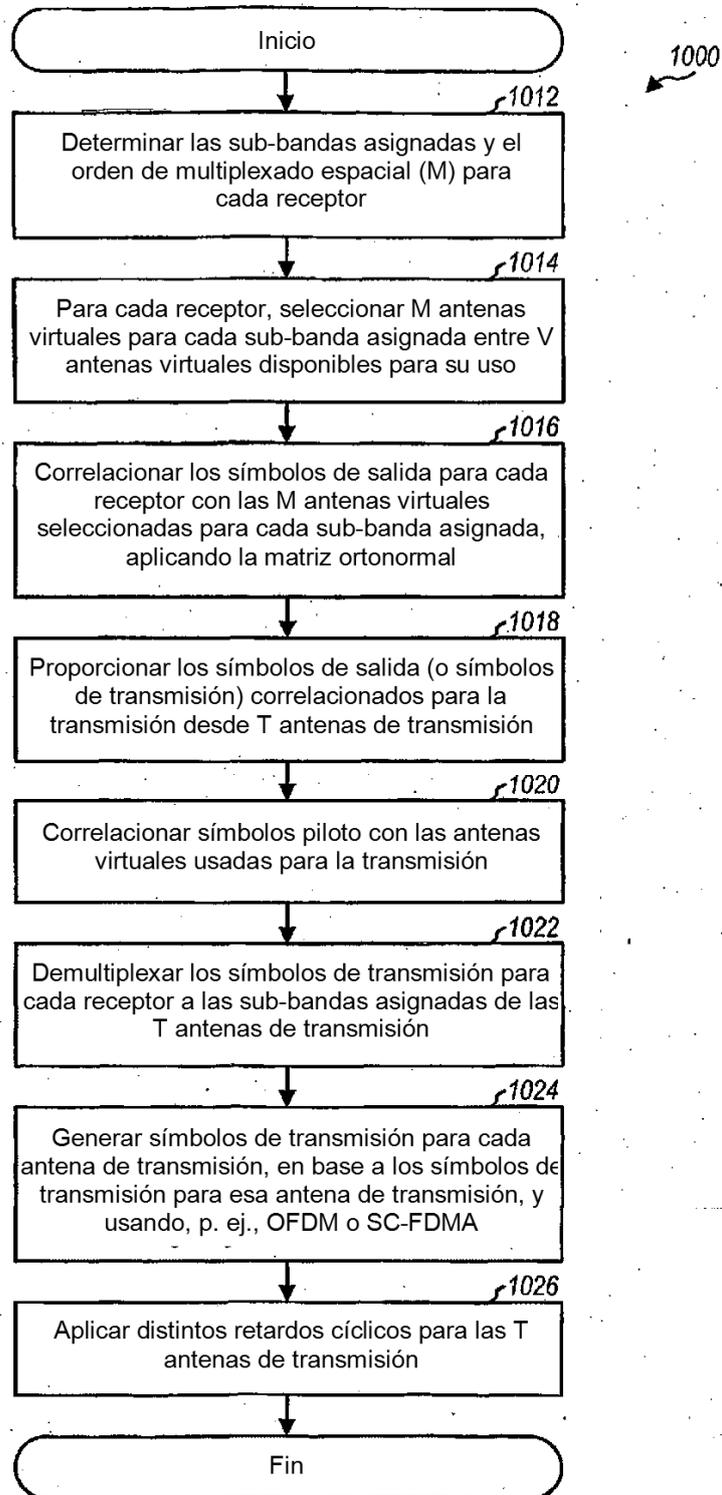


FIG. 10

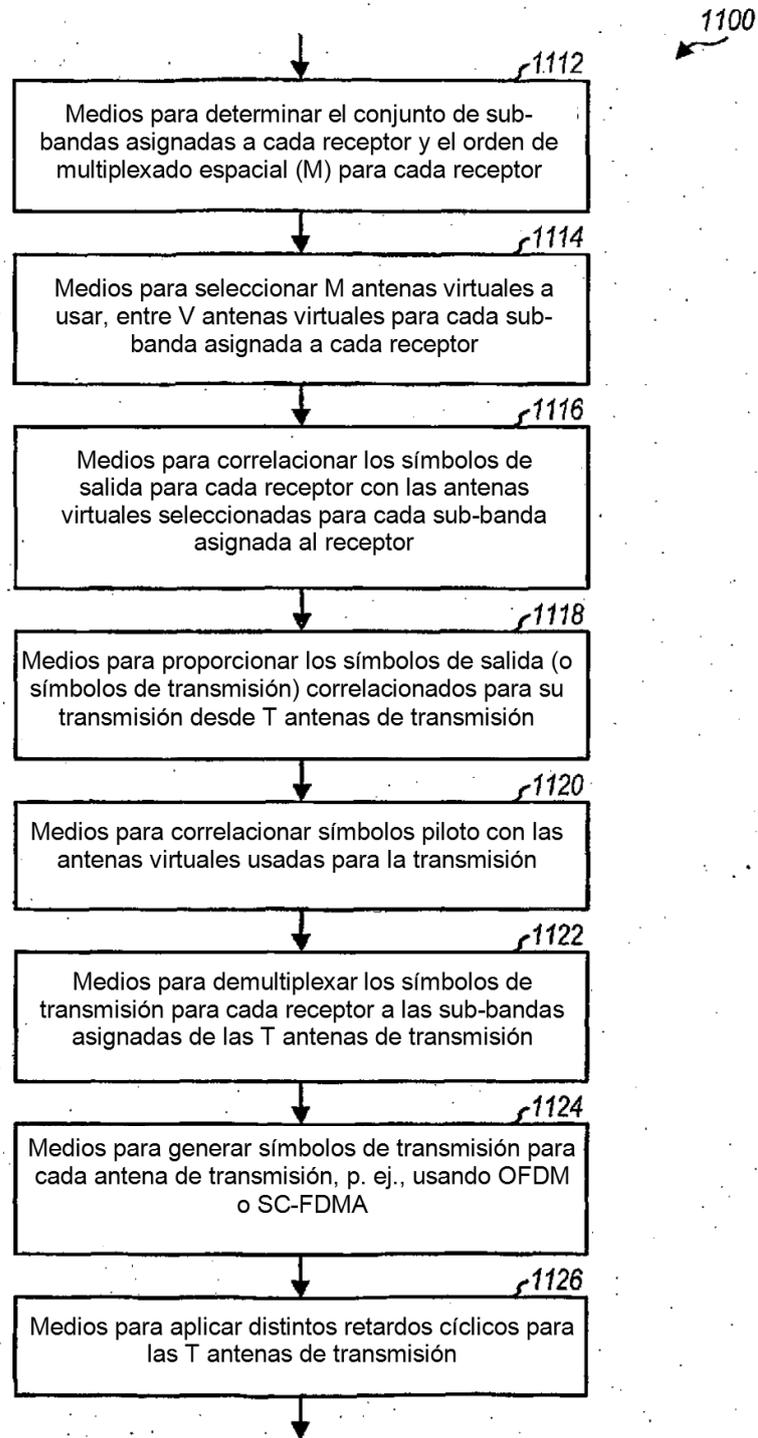


FIG. 11

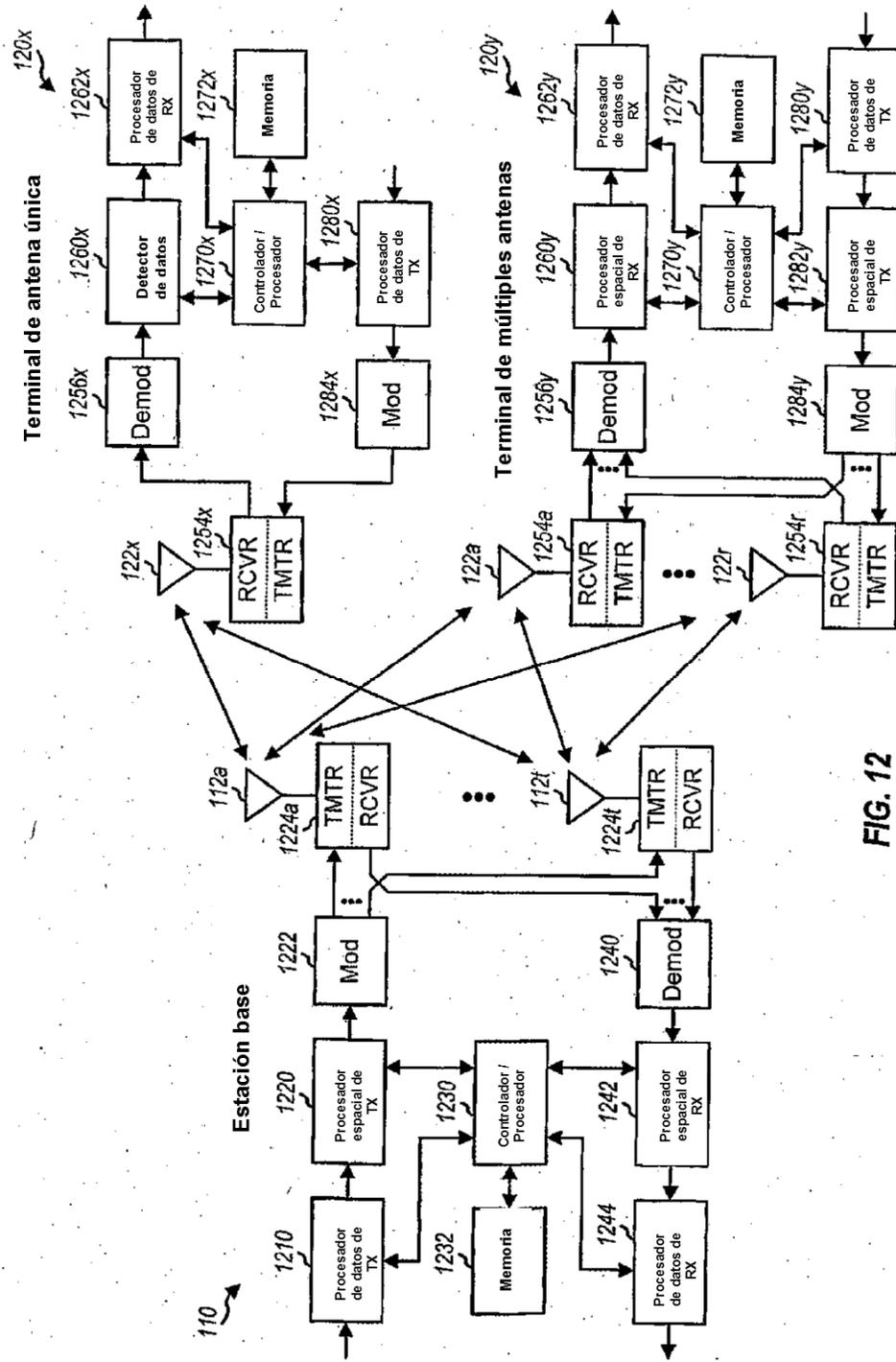


FIG. 12