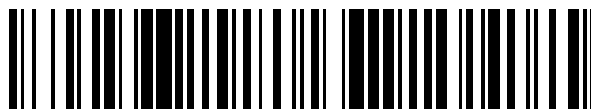


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 718**

51 Int. Cl.:

H04L 1/06 (2006.01)

H04L 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2003** **E 11153572 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013** **EP 2363970**

54 Título: **Pilotos para sistemas de comunicación de MIMO**

30 Prioridad:

25.10.2002 US 421309 P

25.10.2002 US 421462 P

25.10.2002 US 421428 P

10.12.2002 US 432617 P

07.01.2003 US 438601 P

30.06.2003 US 610446

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

20.01.2014

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

5775 Morehouse Drive

San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

KETCHUM, JOHN W.;

WALLACE, MARK;

WALTON, RODNEY J. y

HOWARD, STEVEN J.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 438 718 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

Pilotos para sistemas de comunicación de MIMO.

Antecedentes**I. Campo**

- 5 La presente invención se refiere, en general, a comunicaciones de datos y, más específicamente, a pilotos adecuados para su uso en sistemas de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

II. Antecedentes

- 10 Un sistema de MIMO emplea múltiples (N_T) antenas transmisoras y múltiples (N_R) antenas receptoras para la transmisión de datos. Un canal de MIMO formado por las N_T antenas transmisoras y las N_R receptoras se puede descomponer en N_S canales independientes, que también se denominan como auto-modalidades, en los que $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. Cada uno de los N_S canales independientes corresponde a una dimensión. El sistema de MIMO puede proporcionar un rendimiento mejorado (por ejemplo una capacidad de transmisión incrementada y / o una mayor fiabilidad) si se utilizan las capacidades adicionales creadas por las múltiples antenas transmisoras y receptoras.

- 15 En un sistema de comunicación inalámbrica, los datos a transmitir se modulan primero sobre una señal portadora de frecuencia de radio (RF) para generar una señal de RF modulada que sea más adecuada para la transmisión por un canal inalámbrico. Para un sistema de MIMO, pueden ser generadas hasta N_T señales de RF moduladas, y transmitidas simultáneamente desde las N_T antenas transmisoras. Las señales de RF moduladas transmitidas pueden alcanzar las N_R antenas receptoras mediante un cierto número de trayectorias de propagación en el canal inalámbrico. Las características de las trayectorias de propagación varían habitualmente a lo largo del tiempo debido a un cierto número de factores tales como, por ejemplo, el desvanecimiento, el multitrayecto e interferencias
- 20 externas. En consecuencia, las señales de RF moduladas transmitidas pueden experimentar diferentes condiciones de canal (por ejemplo diferentes efectos de desvanecimiento y multitrayecto) y pueden estar asociadas a distintas ganancias complejas y razones entre señal y ruido (SNR).

- 25 Para alcanzar un alto rendimiento, es necesario a menudo caracterizar la respuesta del canal inalámbrico. Por ejemplo, la respuesta del canal puede ser necesaria para que el transmisor realice un procesamiento espacial (descrito a continuación) para la transmisión de datos al receptor. La respuesta del canal puede ser necesaria también para que el receptor realice un procesamiento espacial sobre las señales recibidas para recuperar los datos transmitidos.

- 30 En muchos sistemas de comunicación inalámbrica, se transmite un piloto por parte del transmisor, para ayudar al receptor en la realización de un cierto número de funciones. El piloto se genera habitualmente en base a símbolos conocidos y se procesa de una manera conocida. El piloto puede ser usado por el receptor para la estimación del canal, la adquisición de temporización y frecuencia, la demodulación de datos y otros similares.

- 35 Se afrontan varios retos en el diseño de una estructura piloto para un sistema de MIMO. Como un factor, la estructura de piloto necesita abordar las capacidades adicionales creadas por las múltiples antenas transmisoras y múltiples antenas receptoras. Como otro factor, dado que cada transmisión piloto representa una sobrecarga en el sistema de MIMO, es deseable minimizar las transmisiones piloto hasta donde sea posible. Además, si el sistema de MIMO es un sistema de acceso múltiple que presta soporte a la comunicación con múltiples usuarios, entonces es necesario diseñar la estructura del piloto de modo que los pilotos necesarios para dar soporte a los múltiples usuarios no consuman una gran parte de los recursos disponibles del sistema.

- 40 Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de pilotos para sistemas de MIMO que respondan a las consideraciones anteriores.

- 45 El documento US 2002/0041635 describe un sistema en el cual uno o más preámbulos son insertados en tramas de señales de OFDM-MIMO. El preámbulo es recibido por las antenas de un receptor, descodificado y comparado con valores conocidos para proporcionar la sincronización, el entramado, la estimación de canales, los desplazamientos y otras correcciones para la señal.

Según la invención, se proporciona un terminal según la reivindicación 1.

- 50 Se proporcionan en la presente memoria pilotos adecuados para su uso en sistemas de MIMO. Estos pilotos pueden dar soporte a varias funciones que pueden ser necesarias para un adecuado funcionamiento del sistema, tal como la adquisición de temporización y frecuencia, la estimación del canal, la calibración y otros similares. Puede considerarse que los pilotos sean de distintos tipos, que son diseñados y usados para distintas funciones.

Los diversos tipos de piloto pueden incluir: un piloto de balizamiento, un piloto de MIMO, una referencia dirigida o piloto dirigido, y un piloto de portadora. El piloto de balizamiento es transmitido desde todas las antenas transmisoras y puede ser usado para la adquisición de temporización y frecuencia. El piloto de MIMO también es transmitido desde todas las antenas transmisoras, pero está cubierto con distintos códigos ortogonales asignados a las antenas

transmisoras. El piloto de MIMO puede ser usado para la estimación de canal. La referencia dirigida es transmitida por auto-modalidades específicas de un canal de MIMO, y es específica para el terminal de usuario. La referencia dirigida puede ser usada para la estimación de canal y, posiblemente, el control de velocidad. El piloto de portadora puede ser transmitido por ciertas subbandas / antenas designadas, y puede ser usado para el rastreo de fase de una señal portadora.

Diversos esquemas de transmisión de pilotos pueden ser ideados en base a distintas combinaciones de estos diversos tipos de piloto. Por ejemplo, en el enlace descendente, un punto de acceso puede transmitir un piloto de balizamiento, un piloto de MIMO y un piloto de portadora para todos los terminales de usuario dentro de su área de cobertura y, optativamente, puede transmitir una referencia dirigida a cualquier terminal de usuario activo que esté recibiendo una transmisión de enlace descendente desde el punto de acceso. En el enlace ascendente, un terminal de usuario puede transmitir un piloto de MIMO para su calibración y puede transmitir una referencia dirigida y un piloto de portadora cuando esté planificado (p. ej., para transmisiones de datos de enlace descendente y / o de enlace ascendente). El procesamiento para transmitir y recibir estos diversos tipos de pilotos está descrito en mayor detalle más adelante.

Se describen también varios aspectos y realizaciones de la invención con más detalle a continuación.

Breve descripción de los dibujos

Las características y naturaleza de la presente invención devendrán más evidentes a partir de la descripción detallada explicada a continuación, cuando se considere conjuntamente con los dibujos, en los que los caracteres de referencia similares identifican de modo correspondiente en toda la extensión de la memoria y en los que:

la FIG. 1 muestra un sistema de MIMO de acceso múltiple;

la FIG. 2 muestra una estructura de trama ejemplar para la transmisión de datos en un sistema de MIMO-OFDM de TDD;

la FIG. 3 muestra transmisiones de pilotos del enlace descendente y del enlace ascendente para un esquema ejemplar de transmisiones de piloto;

la FIG. 4 muestra un diagrama de bloques de un punto de acceso y un terminal de usuario;

la FIG. 5 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de transmisión que puede generar un piloto de balizamiento;

la FIG. 6A muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de transmisión que puede generar un piloto de MIMO;

la FIG. 6B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de recepción que puede proporcionar una estimación de respuesta de canal en base a un piloto de MIMO recibido;

la FIG. 7A muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de transmisión que puede generar una referencia dirigida; y

la FIG. 7B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de recepción que puede proporcionar una estimación de respuesta de canal en base a una referencia dirigida recibida.

Descripción detallada

La palabra "ejemplar" se usa en la presente memoria para indicar "que sirve como un ejemplo, caso o ilustración". Ninguna realización o diseño descrito en la presente memoria como "ejemplar" ha de ser interpretada necesariamente como preferido o ventajoso sobre otras realizaciones o diseños.

La FIG. 1 muestra un sistema 100 de MIMO de acceso múltiple que da soporte a un cierto número de usuarios y es capaz de implementar los pilotos descritos en la presente memoria. El sistema 100 de MIMO incluye un cierto número de puntos de acceso (AP) 110 que dan soporte a la comunicación para un cierto número de terminales de usuario (UT) 120. Para simplificar, solamente se muestran en la FIG. 1 dos puntos 110a y 110b de acceso. Un punto de acceso es generalmente una estación fija que se usa para la comunicación con los terminales de usuario. Un punto de acceso puede ser denominado también estación base, o usar alguna otra terminología.

Los terminales 120 de usuario pueden estar dispersos por todo el sistema. Cada terminal de usuario puede ser un terminal fijo o móvil que puede comunicarse con el punto de acceso. Un terminal de usuario puede denominarse también un terminal de acceso, una estación móvil, una estación remota, un equipo de usuario (UE), un dispositivo inalámbrico, o con alguna otra terminología. Cada terminal de usuario puede comunicarse con uno o, posiblemente, múltiples puntos de acceso, por el enlace descendente y / o el enlace ascendente, en cualquier momento dado. El enlace descendente (es decir, el enlace directo) se refiere a la transmisión desde el punto de acceso al terminal de usuario y el enlace ascendente (es decir el enlace inverso) se refiere a la transmisión desde el terminal de usuario al

punto de acceso. Como se usa en la presente memoria, un terminal de usuario "activo" es uno que recibe una transmisión de enlace descendente desde un punto de acceso y / o transmite una transmisión de enlace ascendente al punto de acceso.

En la FIG. 1, el punto 110a de acceso se comunica con los terminales 120a a 120f de usuario, y el punto 110b de acceso se comunica con los terminales 120f a 120k de usuario. La asignación de terminales de usuario a puntos de acceso se basa habitualmente en la intensidad de la señal recibida y no en la distancia. En cualquier momento dado, un terminal de usuario puede recibir una transmisión de enlace descendente desde uno o múltiples puntos de acceso. Un controlador 130 del sistema conecta a los puntos 110 de acceso y puede estar diseñado para realizar un cierto número de funciones, tales como (1) la coordinación y el control para los puntos de acceso conectados con él, (2) el encaminamiento de los datos entre estos puntos de acceso y (3) el acceso y el control de la comunicación con los terminales de usuario servidos por estos puntos de acceso.

I. Pilotos

Se proporcionan en la presente memoria pilotos adecuados para su uso en sistemas de MIMO, tal como el mostrado en la FIG. 1. Estos pilotos pueden dar soporte a varias funciones que pueden ser necesarias para un funcionamiento apropiado del sistema, tal como la adquisición de temporización y frecuencia, la estimación del canal, la calibración y otras similares. Se puede considerar a los pilotos como de diferentes tipos, que se diseñan y usan para diferentes funciones. La Tabla 1 enumera cuatro tipos de pilotos y su descripción corta para un diseño ejemplar de pilotos. Se pueden definir también menos pilotos, pilotos diferentes y / o adicionales, y esto cae dentro del alcance de la invención.

Tabla 1 – Tipos de pilotos

Tipo de piloto	Descripción
Piloto de balizamiento	Un piloto transmitido desde todas las antenas transmisoras y usado para adquisición de temporización y frecuencia
Piloto de MIMO	Un piloto transmitido desde todas las antenas transmisoras con diferentes códigos ortogonales, y usado para la estimación del canal.
Referencia dirigida o piloto dirigido	Un piloto transmitido por auto-modalidades específicas de un canal de MIMO para un terminal de usuario específico, y usado para la estimación del canal y, posiblemente, el control de velocidad.
Piloto de portadora	Un piloto usado para seguimiento de fase de una señal portadora.

Referencia dirigida y piloto dirigido son expresiones sinónimas.

Se pueden concebir varios esquemas de transmisiones de piloto en base a cualquier combinación de estos diversos tipos de pilotos. Por ejemplo, en el enlace descendente, un punto de acceso puede transmitir un piloto de balizamiento, un piloto de MIMO y un piloto de portadora para todos los terminales de usuario dentro de su área de cobertura y puede transmitir, optativamente, una referencia dirigida a cualquier terminal de usuario activo que esté recibiendo una transmisión de enlace descendente desde el punto de acceso. En el enlace ascendente, un terminal de usuario puede transmitir un piloto de MIMO para su calibración y puede transmitir una referencia dirigida y un piloto de portadora cuando se planifique (por ejemplo, para transmisiones de datos del enlace descendente y / o ascendente). El procesamiento para transmitir y recibir estos varios tipos de pilotos se describe con más detalle a continuación.

Los pilotos descritos en la presente memoria se pueden usar para varios tipos de sistemas de MIMO. Por ejemplo, los pilotos se pueden usar para (1) sistemas de MIMO de portadora única, (2) sistemas de MIMO de portadora múltiple que emplean el multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM), o alguna otra técnica de modulación de portadora múltiple, (3) sistemas de MIMO que implementan técnicas de acceso múltiple tales como el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), el acceso múltiple por división del tiempo (TDMA) y el acceso múltiple por división de código (CDMA), (4) sistemas de MIMO que implementan el multiplexado por división de frecuencia (FDM), el multiplexado por división del tiempo (TDM) y / o el multiplexado por división de código (CDM) para transmisiones de datos, (5) sistemas de MIMO que implementan el duplexado por división del tiempo (TDD), el duplexado por división de frecuencia (FDD) y / o el duplexado por división de código (CDD) para los canales del enlace descendente y ascendente y (6) otros tipos de sistemas de MIMO. Para mayor claridad, los pilotos se describen a continuación primero para un sistema de MIMO que implementa el OFDM (es decir un sistema de MIMO-OFDM) y a continuación para un sistema de MIMO-OFDM de TDD.

El OFDM divide de modo efectivo el ancho de banda global del sistema en un cierto número (N_F) de subbandas ortogonales, que se denominan también tonos, contenedores de frecuencia o subcanales de frecuencia. Con el

OFDM, cada subbanda se asocia a una subportadora respectiva, sobre la cual se pueden modular los datos. Para un sistema de MIMO-OFDM, cada subbanda se puede asociar a un cierto número de auto-modalidades y cada auto-modalidad de cada subbanda se puede ver como un canal de transmisión independiente.

- 5 Para mayor claridad, se describe a continuación una estructura de piloto específica para un sistema ejemplar de MIMO-OFDM. En este sistema de MIMO-OFDM, el ancho de banda del sistema se divide en 64 subbandas ortogonales (es decir $N_F = 64$), a las que se asignan índices entre -32 y +31. De estas 64 subbandas, 48 subbandas (por ejemplo, con los índices de $\pm\{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$) pueden usarse para transmisiones de datos, 4 subbandas (por ejemplo, con índices de $\pm\{7, 21\}$) se pueden usar para un piloto de portadora y, posiblemente, la señalización, la subbanda de DC (con índice de 0) no se usa y las subbandas restantes tampoco se usan y sirven como subbandas de guarda. Por tanto, del total de 64 subbandas, las 52 subbandas "utilizables" incluyen las 48 subbandas de datos y 4 subbandas piloto, y las restantes 12 subbandas no se usan. Esta estructura de subbandas de OFDM se describe con más detalle en la Solicitud provisional de Patente Estadounidense con N° de Serie 60/421.309. Se pueden implementar también un número diferente de subbandas y otras estructuras de subbandas de OFDM para el sistema de MIMO-OFDM, y esto cae dentro del ámbito de la invención.
- 10 Para el OFDM, los datos a transmitir por cada subbanda utilizable se modulan primero (es decir, se correlacionan con símbolos) usando un esquema de modulación particular (por ejemplo BPSK, QPSK o M-QAM) seleccionado para su uso para esa subbanda. Un símbolo de modulación se puede transmitir en cada subbanda utilizable en cada periodo de símbolos. Cada símbolo de modulación es un valor complejo para un punto específico en una constelación de señales que corresponde al esquema de modulación seleccionado. Los valores de señal de cero se pueden enviar por las subbandas no usadas. Para cada periodo de símbolos de OFDM, los símbolos de modulación para las subbandas utilizables y los valores de señal cero para las subbandas no usadas (es decir, los símbolos de modulación y ceros para todas las N_F subbandas) son transformadas al dominio del tiempo usando una transformada de Fourier rápida inversa (IFFT), para obtener un símbolo transformado que comprende N_F muestras en el dominio del tiempo. Para combatir la interferencia entre símbolos (ISI), una parte de cada símbolo transformado se repite frecuentemente (lo que también se denomina adición de un prefijo cíclico) para formar un correspondiente símbolo de OFDM, que se transmite a continuación por el canal inalámbrico. Un periodo de símbolos de OFDM, que se denomina también, en la presente memoria, un periodo de símbolos, corresponde a la duración de un símbolo de OFDM.
- 15 20 25

1. Piloto de balizamiento

- 30 El piloto de balizamiento incluye un conjunto específico de símbolos piloto que se transmiten desde cada una de las N_T antenas transmisoras. El mismo conjunto de símbolos piloto se transmite para los N_B periodos de símbolos designados para la transmisión de pilotos de balizamiento. En general, N_B puede ser cualquier valor entero igual a uno, o mayor.
- 35 En una realización ejemplar, el conjunto de símbolos piloto para el piloto de balizamiento es un conjunto de 12 símbolos de modulación BPSK para 12 subbandas específicas, que se denomina un símbolo "B" de OFDM. Los 12 símbolos de modulación BPSK para el símbolo B de OFDM se dan en la Tabla 2. Los valores de señal de cero se transmiten por las restantes 52 subbandas no utilizadas.

Tabla 2 - Símbolos piloto

Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$	Índice de Subbanda	Piloto de Balizamiento $b(k)$	Piloto de MIMO $p(k)$
	0	0	-13	0	1-j	1	0	1-j	15	0	1-j		0	1-j	15	0	1-j		0	1-j	15	0	1-j
-26	0	-1-j	-12	-1-j	1-j	2	-1-j	1-j	16	0	-1-j		0	-1-j	16	0	-1-j		1+j	-1-j	16	1+j	-1-j
-25	0	-1+j	-11	0	-1-j	3	0	-1-j	17	0	-1-j		0	-1-j	17	0	-1-j		0	-1-j	17	0	-1-j
-24	1+j	-1+j	-10	0	-1-j	4	0	-1-j	18	-1-j	-1-j		-1-j	-1-j	18	0	-1-j		0	-1-j	18	0	-1-j
-23	0	-1+j	-9	0	1-j	5	0	1-j	19	0	-1+j		0	-1+j	19	0	-1+j		0	-1+j	19	0	-1+j
-22	0	1-j	-8	-1-j	-1-j	6	-1-j	-1-j	20	0	1+j		0	1+j	20	1+j	1+j		1+j	-1+j	20	1+j	-1+j
-21	0	1-j	-7	0	1+j	7	0	1+j	21	0	-1-j		0	-1-j	21	0	-1-j		0	1+j	21	0	1+j
-20	-1-j	1+j	-6	0	-1+j	8	0	-1+j	22	-1-j	-1+j		-1-j	-1+j	22	0	-1+j		0	-1+j	22	0	-1+j
-19	0	-1-j	-5	0	-1-j	9	0	-1-j	23	0	-1-j		0	-1-j	23	0	-1-j		0	1+j	23	0	1+j
-18	0	-1+j	-4	1+j	-1+j	10	1+j	-1+j	24	0	-1-j		0	-1-j	24	1+j	-1+j		1+j	-1+j	24	1+j	-1+j
-17	0	1+j	-3	0	-1+j	11	0	-1+j	25	0	1+j		0	1+j	25	0	1+j		0	1-j	25	0	1-j
-16	1+j	-1+j	-2	0	1-j	12	0	1-j	26	1+j	1-j		1+j	1-j	26	0	1-j		0	-1-j	26	0	-1-j
-15	0	1-j	-1	0	-1+j	13	0	-1+j		0	-1+j		0	-1+j		0	-1+j		0	0		0	0
-14	0	1+j	0	0	0	14	0	0		0	-1-j		0	-1-j		0	-1-j						

Para la realización ejemplar, y como se muestra en la Tabla 2, para el piloto de balizamiento, se transmite el símbolo de modulación BPSK $(1+j)$ en las subbandas -24, -16, -4, 12, 16, 20 y 24, y se transmite el símbolo de modulación BPSK $-(1+j)$ en las subbandas -20, -12, -8, 4 y 8. Los valores de señal cero se transmiten en las restantes 52 subbandas para el piloto de balizamiento.

- 5 El símbolo B de OFDM está diseñado para facilitar la adquisición de temporización y frecuencia del sistema por los terminales de usuario. Para la realización ejemplar del símbolo B de OFDM descrito anteriormente, solamente se usan 12 de las 64 subbandas totales, y estas subbandas están separadas entre sí por cuatro subbandas. Esta separación de 4 subbandas permite al terminal de usuario tener un error de frecuencia inicial de hasta dos subbandas. El piloto de balizamiento permite al terminal de usuario corregir su error grueso de frecuencia inicial y
- 10 corregir su frecuencia de modo que la deriva de fase en toda la duración del piloto de balizamiento sea pequeña (por ejemplo, menor que 45 grados a lo largo de la duración del piloto de balizamiento, a una velocidad de muestreo de 20 MHz). Si la duración del piloto de balizamiento es de 8 μ s, entonces los 45 grados (o menos) de deriva de fase a lo largo de los 8 μ s son iguales a la de 360 grados durante 64 μ s, que es de aproximadamente 16 kHz.

- 15 El error de frecuencia de 16 kHz es habitualmente demasiado grande para el funcionamiento. Se puede obtener una corrección de frecuencia adicional usando el piloto de MIMO y el piloto de portadora. Estos pilotos abarcan un periodo de tiempo suficientemente largo, de modo que la frecuencia del terminal de usuario se pueda corregir para quedar dentro del objetivo deseado (por ejemplo, 250 Hz). Por ejemplo, si una trama de TDD es de 2 ms (como se describe a continuación) y si la frecuencia del terminal de usuario es precisa dentro de un margen de 250 Hz, entonces habrá menos de un medio ciclo de cambio de fase durante una trama de TDD. La diferencia de fase, entre
- 20 una trama de TDD y otra, del piloto de balizamiento se puede usar para enclavar la frecuencia del terminal de usuario con el reloj en el punto de acceso, reduciendo efectivamente de esa forma el error de frecuencia a cero.

En general, el conjunto de símbolos piloto usados para el piloto de balizamiento se puede obtener usando cualquier esquema de modulación. Así, se pueden usar también otros símbolos de OFDM obtenidos usando BPSK o algún otro esquema de modulación para el piloto de balizamiento, y esto cae dentro del alcance de la invención.

- 25 En un diseño ejemplar, están disponibles cuatro antenas transmisoras para la transmisión del piloto de balizamiento. La Tabla 4 enumera los símbolos de OFDM a transmitir desde cada una de las cuatro antenas transmisoras para una transmisión del piloto de balizamiento que abarca dos periodos de símbolos.

Tabla 3 – Piloto de balizamiento

Periodo de Símbolos	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
1	B	B	B	B
2	B	B	B	B

30 2. Piloto de MIMO

- El piloto de MIMO incluye un conjunto específico de símbolos piloto, que se transmite desde cada una de las N_T antenas transmisoras. Para cada antena transmisora, se transmite el mismo conjunto de símbolos piloto durante N_P periodos de símbolos designados para la transmisión del piloto de MIMO. Sin embargo, el conjunto de símbolos piloto para cada antena transmisora se “cubre” con una única secuencia, o código, ortogonal asignada a esa antena.
- 35 La cobertura es un proceso mediante el que un determinado piloto o símbolo de datos (o un conjunto de L pilotos / símbolos de datos con el mismo valor) a transmitir se multiplica por todos los L chips de una secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos cubiertos, que se transmiten a continuación. El descubrimiento es un proceso complementario mediante el que los símbolos recibidos se multiplican por los L chips de la misma secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos descubiertos, que se acumulan a continuación para obtener una estimación del piloto o símbolo de datos transmitido. La cobertura consigue la ortogonalidad entre las N_T transmisiones piloto desde las N_T antenas transmisoras y permite a un receptor distinguir las antenas transmisoras individuales, como se describe a continuación. La duración de la transmisión del piloto de MIMO puede depender de su uso, como se describe a continuación. En general, N_P puede ser cualquier valor entero, igual a uno o superior.
- 40

- Se puede usar un conjunto, o diferentes conjuntos, de símbolos piloto para las N_T antenas transmisoras. En una realización ejemplar, se usa un conjunto de símbolos piloto para todas las N_T antenas transmisoras para el piloto de MIMO y este conjunto incluye 52 símbolos de modulación QPSK para las 52 subbandas utilizables, lo que se denomina un símbolo “P” de OFDM. Los 52 símbolos de modulación QPSK para el símbolo P de OFDM se dan en la Tabla 2. Se transmiten valores de señal de cero en las restantes 12 subbandas no utilizadas.
- 45

- Los 52 símbolos de modulación QPSK forman una única “palabra” que está diseñada para facilitar la estimación de canal por los terminales de usuario. Esta palabra única se selecciona para que tenga una variación mínima entre máximo y promedio en una onda generada en base a estos 52 símbolos de modulación.
- 50

Es bien conocido que el OFDM está asociado, en general, a variaciones mayores entre máximo y promedio, en la onda transmitida, que las de alguna otra técnica de modulación (por ejemplo, CDMA). Como resultado, para evitar al recorte en los circuitos (por ejemplo, el amplificador de potencia) en la cadena de transmisión, los símbolos de OFDM se transmiten habitualmente con un nivel de potencia reducido, es decir, rebajados a partir del nivel máximo de potencia de transmisión. La rebaja se usa para tener en cuenta las variaciones en la onda para estos símbolos de OFDM. Mediante la minimización de la variación entre máximo y promedio en la onda para el símbolo P de OFDM, se puede transmitir el piloto de MIMO en un nivel de potencia más alto (es decir, se puede aplicar una rebaja más pequeña para el piloto de MIMO). La potencia de transmisión más alta para el piloto de MIMO daría como resultado entonces una calidad mejorada de la señal recibida para el piloto de MIMO en el receptor. La menor variación entre pico y promedio puede reducir también la magnitud de la distorsión y la no linealidad generada por los circuitos en las cadenas de transmisión y recepción. Estos diversos factores pueden dar como resultado una precisión mejorada para una estimación de canal obtenida en base al piloto de MIMO.

Un símbolo de OFDM con una variación mínima entre máximo y promedio puede ser obtenido de varias maneras. Por ejemplo, se puede realizar una búsqueda aleatoria en la que un gran número de conjuntos de símbolos piloto sean aleatoriamente formados y evaluados para encontrar el conjunto que tenga la mínima variación entre máximo y promedio. El símbolo P de OFDM mostrado en la Tabla 2 representa un símbolo ejemplar de OFDM que puede ser usado para el piloto de MIMO. En general, el conjunto de símbolos piloto usados para el piloto de MIMO se puede obtener usando cualquier esquema de modulación. Por tanto, también pueden ser usados varios otros símbolos de OFDM, obtenidos usando QPSK o algún otro esquema de modulación, para el piloto de MIMO, y esto cae dentro del alcance de la invención.

Se pueden usar varios códigos ortogonales para cubrir los símbolos P de OFDM enviados por las N_T antenas transmisoras. Ejemplos de tales códigos ortogonales incluyen los códigos de Walsh y los códigos de factores de dispersión variable ortogonal (OVSF). Se pueden usar también códigos seudo ortogonales o códigos cuasi ortogonales para cubrir los símbolos P de OFDM. Un ejemplo de un código seudo ortogonal es la secuencia M, que es bien conocida en la técnica. Un ejemplo de un código cuasi ortogonal es la función cuasi ortogonal (QOF) definida por el estándar IS-2000. En general, se pueden usar varios tipos de códigos para la cobertura, algunos de los cuales se han indicado anteriormente. Para simplificar, la expresión "código ortogonal" se usa en la presente memoria para referirse genéricamente a cualquier tipo de código adecuado para su uso en la cobertura de símbolos piloto. La longitud (L) del código ortogonal se selecciona para que sea mayor que, o igual a, el número de antenas transmisoras (por ejemplo, $L \geq N_T$) y se dispone de L códigos ortogonales para su uso. Cada antena transmisora tiene asignado un único código ortogonal. Los N_P símbolos P de OFDM a enviar en los N_P periodos de símbolos desde cada antena transmisora son cubiertos con el código ortogonal asignado a esa antena transmisora.

En una realización ejemplar, están disponibles cuatro antenas transmisoras y se asignan 4 secuencias de Walsh de 4 chips, de $W_1 = 1111$, $W_2 = 1010$, $W_3 = 1100$ y $W_4 = 1001$ para el piloto de MIMO. Para una secuencia de Walsh dada, un valor de "1" indica que se transmite un símbolo P de OFDM y un valor de "0" indica que se transmite un símbolo -P de OFDM. Para un símbolo -P de OFDM, se invierte (es decir se multiplica por -1) cada uno de los 52 símbolos de modulación QPSK en el símbolo P de OFDM. El resultado de la cobertura para cada antena transmisora es una secuencia de símbolos P de OFDM cubiertos para esa antena transmisora. La cobertura se realiza, en efecto, por separado para cada una de las subbandas, para generar una secuencia de símbolos piloto cubiertos para esa subbanda. Las secuencias de símbolos piloto cubiertos para todas las subbandas forman la secuencia de símbolos cubiertos P de OFDM.

La Tabla 4 enumera los símbolos de OFDM a transmitir desde cada una de las cuatro antenas transmisoras para una transmisión de piloto de MIMO que abarca cuatro periodos de símbolos.

Tabla 4 – Pilotos de MIMO

Periodo de Símbolos	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
1	+P	+P	+P	+P
2	+P	-P	+P	-P
3	+P	+P	-P	-P
4	+P	-P	-P	+P

Para este conjunto de secuencias de Walsh de 4 chips, la transmisión del piloto de MIMO puede ocurrir en un múltiplo entero de cuatro periodos de símbolos, para asegurar la ortogonalidad entre las cuatro transmisiones de piloto desde las cuatro antenas transmisoras. La secuencia de Walsh simplemente se repite para una transmisión de piloto de MIMO que sea más larga que la longitud de la secuencia de Walsh.

El canal inalámbrico para el sistema de MIMO-OFDM puede ser caracterizado por un conjunto de paquetes de

respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$, para el índice de subbanda $k \in K$, donde $K = \pm\{1 \dots 26\}$ para la estructura ejemplar de subbandas descrita anteriormente. La matriz $\mathbf{H}(k)$ para cada subbanda incluye $N_T N_R$ valores, $\{h_{ij}(k)\}$, para $i \in \{1 \dots N_R\}$ y $j \in \{1 \dots N_T\}$, donde $h_{ij}(k)$ representa la ganancia de canal entre la j -ésima antena transmisora y la i -ésima antena receptora.

- 5 El piloto de MIMO puede ser usado por el receptor para estimar la respuesta del canal inalámbrico. En particular, para recuperar el piloto enviado desde la antena transmisora j y recibido por la antena receptora i , los símbolos de OFDM recibidos en la antena i se multiplican primero por la secuencia de Walsh asignada a la antena transmisora j . Los símbolos de OFDM “descubiertos” para todos los N_p periodos de símbolos para el piloto de MIMO se acumulan luego, donde la acumulación se puede realizar individualmente para cada una de las 52 subbandas utilizables. La
10 acumulación se puede realizar también en el dominio del tiempo sobre los símbolos de OFDM recibidos (tras la eliminación del prefijo cíclico en cada símbolo de OFDM). La acumulación se realiza muestra por muestra, para los múltiples símbolos de OFDM recibidos, donde las muestras para cada símbolo de OFDM corresponden a diferentes subbandas si la acumulación se realiza después de la FFT, y a diferentes índices de tiempo si la acumulación se realiza antes de la FFT. El resultado de la acumulación es $\{\hat{h}_{ij}(k)\}$, para $k \in K$, que son estimaciones de la respuesta del canal desde la antena transmisora j a la antena receptora i para las 52 subbandas utilizables. Se puede realizar el mismo procesamiento para estimar la respuesta del canal desde cada antena transmisora a cada antena receptora. El procesamiento del piloto proporciona $N_T N_R$ valores complejos para cada subbanda, donde los valores complejos son elementos de la matriz $\hat{\mathbf{H}}(k)$ para la estimación de la respuesta del canal para esa subbanda.

- El procesamiento del piloto descrito anteriormente puede ser realizado por el punto de acceso para obtener la
20 estimación de la respuesta del canal, $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$, para el enlace ascendente y también puede ser realizado por el terminal de usuario para obtener la estimación de la respuesta del canal, $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$, para el enlace descendente.

3. Referencia dirigida o piloto dirigido

- Para un sistema de MIMO-OFDM, la matriz de respuesta del canal, $\mathbf{H}(k)$, para cada subbanda se puede “diagonalizar” para obtener las N_S auto-modalidades para esa subbanda, donde $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$. Esto se puede
25 conseguir mediante la realización, bien de una descomposición en valores singulares sobre la matriz de respuesta del canal, $\mathbf{H}(k)$, o bien la descomposición en auto-valores sobre la matriz de correlación de $\mathbf{H}(k)$, que es $\mathbf{R}(k) = \mathbf{H}^H(k) \mathbf{H}(k)$. Para mayor claridad, se usa para la descripción siguiente la descomposición en valores singulares.

La descomposición en valores singulares de la matriz de respuesta del canal, $\mathbf{H}(k)$, se puede expresar como:

$$\mathbf{H}(k) = \mathbf{U}(k) \mathbf{\Sigma}(k) \mathbf{V}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (1)}$$

- 30 donde

$\mathbf{U}(k)$ es una matriz unitaria de dimensiones $(N_R \times N_R)$ de auto-vectores izquierdos de $\mathbf{H}(k)$;

$\mathbf{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal de dimensiones $(N_R \times N_T)$ de valores singulares de $\mathbf{H}(k)$;

$\mathbf{V}(k)$ es una matriz unitaria de dimensiones $(N_T \times N_T)$ de auto-vectores derechos de $\mathbf{H}(k)$; y

“ H ” indica la conjugada traspuesta.

- 35 Una matriz unitaria $\mathbf{M}$ se caracteriza por la propiedad $\mathbf{M}^H \mathbf{M} = \mathbf{I}$, donde $\mathbf{I}$ es la matriz identidad.

- La descomposición en valores singulares está descrita con más detalle por Gilbert Strang en un libro titulado “Linear Algebra and Its Applications” [“Álgebra lineal y sus aplicaciones”], segunda edición, Academic Press, 1980. Una auto-modalidad normalmente se refiere a una construcción teórica. El canal de MIMO se puede ver también como
40 incluyente de N_S canales espaciales que se pueden usar para la transmisión de datos / pilotos. Cada canal espacial puede o no corresponder a una auto-modalidad, según que haya tenido éxito o no el procesamiento espacial en el transmisor para la diagonalización del canal de MIMO. Por ejemplo, los flujos de datos se transmiten por canales espaciales (y no auto-modalidades) de un canal de MIMO si el transmisor no tiene ningún conocimiento, o una estimación imperfecta, del canal de MIMO. Para simplificar, la expresión “auto-modalidad” se usa también en la presente memoria para indicar el caso en el que se realiza un intento de diagonalizar el canal de MIMO, incluso
45 aunque pueda no tener éxito totalmente, debido, por ejemplo, una estimación de canal imperfecta.

La matriz diagonal $\mathbf{\Sigma}(k)$ para cada subbanda contiene valores reales no negativos a lo largo de la diagonal y ceros en todos los otros lugares. Estas entradas diagonales se denominan valores singulares de $\mathbf{H}(k)$ y representan las ganancias para los canales independientes (o auto-modalidades) del canal de MIMO para la k -ésima subbanda.

- La descomposición en auto-valores se puede realizar independientemente para la matriz de respuesta del canal, $\mathbf{H}(k)$, para cada una de las 52 subbandas utilizables, para determinar las N_S auto-modalidades para la subbanda. Los valores singulares para cada matriz diagonal $\mathbf{\Sigma}(k)$ se pueden ordenar de modo que $\{\sigma_1(k) \geq \sigma_2(k) \geq \dots \geq \sigma_{N_S}(k)\}$,

donde $\sigma_1(k)$ es el valor singular más grande, $\sigma_2(k)$ es el segundo valor singular más grande, y así sucesivamente, y $\sigma_{NS}(k)$ es el valor singular más pequeño para la k -ésima subbanda. Cuando los valores singulares para cada matriz diagonal $\Sigma(k)$ se ordenan, los auto-vectores (o columnas) de las matrices asociadas $\underline{U}(k)$ y $\underline{V}(k)$ se ordenan también de manera correspondiente. Después del ordenamiento, $\sigma_1(k)$ representa el valor singular para la mejor auto-modalidad para la subbanda k , que se denomina también frecuentemente la auto-modalidad "principal".

Una auto-modalidad de "banda ancha" se puede definir como el conjunto de auto-modalidades del mismo orden de todas las subbandas después del ordenamiento. Así, la m -ésima auto-modalidad de banda ancha incluye la m -ésima auto-modalidad de todas las subbandas. Cada auto-modalidad de banda ancha se asocia a un conjunto respectivo de auto-vectores para todas las subbandas. La auto-modalidad "principal" de banda ancha es la asociada al valor

singular más grande en cada matriz $\hat{\Sigma}(k)$ de cada subbanda después del ordenamiento.

La matriz $\underline{V}(k)$ incluye N_T auto-vectores que se pueden usar para el procesamiento espacial en el transmisor, donde $\underline{V}(k) = [\underline{v}_1(k) \ \underline{v}_2(k) \dots \underline{v}_{N_T}(k)]$ y $\underline{v}_m(k)$ es la m -ésima columna de $\underline{V}(k)$, que es el auto-vector para la m -ésima auto-modalidad. Para una matriz unitaria, los auto-vectores son ortogonales entre sí. Los auto-vectores se denominan también vectores "de dirección".

Una referencia dirigida (es decir, un piloto dirigido) comprende uno o más conjuntos de símbolos piloto que se transmiten desde las N_T antenas transmisoras. En una realización, se transmite un conjunto de símbolos pilotos por un conjunto de subbandas para una auto-modalidad de banda ancha en un periodo de símbolos dado, mediante la realización de un procesamiento espacial con un conjunto de vectores de dirección para esa auto-modalidad de banda ancha. En otra realización, se transmiten múltiples conjuntos de símbolos piloto por múltiples conjuntos disjuntos de subbandas para múltiples auto-modalidades de banda ancha en un periodo de símbolos dado, mediante la realización del procesamiento espacial con múltiples conjuntos de vectores de dirección para estas auto-modalidades de banda ancha (usando el multiplexado de subbandas, que se describe a continuación). Para mayor claridad, la descripción siguiente supone que se transmite un conjunto de símbolos piloto por una auto-modalidad de banda ancha en un periodo de símbolos dado (es decir, sin ningún multiplexado de subbanda).

En una realización, el conjunto de símbolos piloto para la referencia dirigida es el mismo símbolo P de OFDM usado para el piloto de MIMO. Sin embargo, se pueden usar también otros diversos símbolos de OFDM para la referencia dirigida, y esto cae dentro del ámbito de la invención.

Una referencia dirigida transmitida para la m -ésima auto-modalidad de banda ancha (usando formación de haces, que se describe a continuación) se puede expresar como:

$$\underline{x}_m(k) = \underline{v}_m(k) \cdot p(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde

$\underline{x}_m(k)$ es un vector de transmisión de dimensiones $(N_T \times 1)$ para la m -ésima auto-modalidad de la k -ésima subbanda;

$\underline{v}_m(k)$ es el vector de dirección para la m -ésima auto-modalidad de la k -ésima subbanda; y

$p(k)$ es el símbolo piloto para la k -ésima subbanda (por ejemplo, como se da en la Tabla 2).

El vector $\underline{x}_m(k)$ incluye N_T símbolos de transmisión a enviar desde las N_T antenas transmisoras para la k -ésima subbanda.

La referencia dirigida puede ser usada por el receptor para estimar un vector que se pueda usar para el procesamiento espacial tanto de la recepción como de la transmisión de datos, como se describe a continuación. El procesamiento para la referencia dirigida se describe con más detalle a continuación.

4. Piloto de portadora

La estructura ejemplar de subbandas de OFDM descrita anteriormente incluye cuatro subbandas piloto con índices de -21, -7, 7 y 21. En una realización, un piloto de portadora se transmite por las cuatro subbandas piloto en todos los periodos de símbolos que no se usen para algunos otros tipos de piloto. El piloto de portadora puede ser usado por el receptor para rastrear los cambios en la fase de una señal portadora de RF y las desviaciones en los osciladores, tanto en el transmisor como en el receptor. Esto puede proporcionar un rendimiento mejorado de la demodulación de datos.

En una realización, el piloto de portadora comprende cuatro secuencias piloto $P_{c1}(n)$, $P_{c2}(n)$, $P_{c3}(n)$ y $P_{c4}(n)$, que se transmiten en las cuatro subbandas piloto. En una realización, las cuatro secuencias piloto se definen como sigue:

$$P_{c1}(n) = P_{c2}(n) = P_{c3}(n) = -P_{c4}(n), \quad \text{Ec. (3)}$$

donde n es un índice para el periodo de símbolos (o el símbolo de OFDM).

tengan unas buenas propiedades de correlación cruzada y de pico a lóbulo lateral (es decir, la correlación entre dos secuencias ortogonales cualesquiera, usadas para la cobertura, es pequeña en presencia de dispersión de retardo en el sistema). Un ejemplo de un código ortogonal de ese tipo con buenas propiedades de correlación cruzada y de pico a lóbulo lateral es la secuencia M y sus versiones desplazadas en el tiempo. Sin embargo, se pueden usar también otros tipos de códigos para la cobertura de símbolos piloto para el sistema de MIMO de portadora única.

Para un sistema de MIMO de portadora única de banda ancha, la referencia dirigida se puede transmitir de varias maneras para tener en cuenta el desvanecimiento selectivo de frecuencia (es decir, una respuesta de frecuencia que no sea plana sobre la banda operativa). Se describen a continuación varios esquemas para la transmisión de una referencia dirigida en un sistema de MIMO de portadora única de banda ancha. En general, un transmisor puede transmitir una onda de referencia que se procesa de la misma manera que, o de manera similar a, el procesamiento usado para transmitir datos de tráfico por auto-modalidades específicas de banda ancha. El receptor puede luego correlacionar de alguna manera la onda recibida con una copia generada localmente de la onda de referencia transmitida, y extraer información acerca del canal que permita al receptor estimar un filtro adaptado al canal.

En un primer esquema, un transmisor obtiene inicialmente un vector de dirección $\underline{v}_m(k)$ para una auto-modalidad. El vector de dirección $\underline{v}_m(k)$ se puede obtener transmitiendo periódicamente símbolos piloto de OFDM, realizando análisis en el dominio de la frecuencia en un piloto de MIMO recibido que se haya transmitido sin OFDM, o por algún otro medio. Para cada valor de k , donde $1 \leq k \leq N_F$, $\underline{v}_m(k)$ es un vector de dimensión N_T con N_T entradas para N_T antenas transmisoras. El transmisor realiza luego una transformada de Fourier rápida inversa sobre cada una de las N_T posiciones de vector del vector de dirección $\underline{v}_m(k)$, con k como la variable de frecuencia en el cálculo de la IFFT, para obtener un pulso correspondiente en el dominio del tiempo para una antena de transmisión asociada. Cada posición vectorial del vector $\underline{v}_m(k)$ incluye N_F valores para N_F subbandas de frecuencia, y el pulso correspondiente en el dominio del tiempo es una secuencia de N_F valores en el dominio del tiempo. El terminal añade entonces un prefijo cíclico a este pulso en el dominio del tiempo para obtener un pulso de referencia dirigido para la antena transmisora. Se genera un conjunto de N_T pulsos de referencia dirigidos para cada auto-modalidad, y que se puede transmitir en el mismo intervalo de tiempo para todas las N_T antenas transmisoras. Se pueden generar múltiples conjuntos de pulsos para múltiples auto-modalidades, y se pueden transmitir en una forma de TDM.

Para el primer esquema, un receptor muestrea la señal recibida para obtener un vector recibido $\underline{r}_m(n)$, elimina el prefijo cíclico y realiza una transformada de Fourier rápida en cada posición vectorial del vector $\underline{r}_m(n)$ recibido, para obtener una estimación de una entrada correspondiente de $\underline{H}(k)$ $\underline{v}_m(k)$. Cada posición vectorial del vector $\underline{r}_m(n)$ recibido (después de la eliminación del prefijo cíclico) incluye N_F muestras en el dominio del tiempo. El receptor usa luego la estimación de $\underline{H}(k)$ $\underline{v}_m(k)$ para sintetizar un filtro adaptado al dominio del tiempo que se puede usar para filtrar una transmisión de datos recibidos. El filtro adaptado al dominio del tiempo incluye un pulso de filtro adaptado para cada una de las antenas recibidas. La síntesis del filtro adaptado al dominio del tiempo se describe en la Solicitud de Patente Estadounidense, con N° de Serie 10/017.308, transferida legalmente, titulada "Time-Domain Transmit and Receive Processing with Channel Eigen-mode Decomposition for MIMO Systems" ["Procesamiento de transmisión y recepción en el dominio del tiempo con descomposición de auto-modalidades de canal para sistemas de MIMO"], presentada el 7 de diciembre de 2001.

Para el primer esquema, el procesamiento del transmisor para la referencia dirigida en un sistema de MIMO de portadora única es similar al procesamiento del transmisor para la referencia dirigida en un sistema de MIMO-OFDM. Sin embargo, se transmite otra transmisión después de la referencia dirigida por una onda de portadora única, como la descrita en la Solicitud de Patente Estadounidense con N° de Serie 10/017.308. Además, el receptor usa la referencia dirigida para sintetizar filtros adaptados al dominio del tiempo, como se ha descrito anteriormente.

En un segundo esquema, un transmisor aísla un componente único de multitrayecto para el canal de banda ancha. Esto se puede conseguir, por ejemplo, buscando un piloto de MIMO recibido con un correlacionador deslizante, de manera similar a la realizada frecuentemente en sistemas de CDMA para buscar componentes de multitrayecto. El transmisor entonces trata este componente de multitrayecto como un canal de banda estrecha y obtiene un vector de dirección único $\underline{v}_m$ para el componente de multitrayecto para cada auto-modalidad. De nuevo, se pueden generar múltiples vectores de dirección para múltiples auto-modalidades para este componente de multitrayecto.

III. Estructura piloto para un sistema de MIMO-OFDM de TDD

Los pilotos descritos en la presente memoria se pueden usar para varios sistemas de MIMO y de MIMO-OFDM. Estos pilotos se pueden usar para sistemas que usan una banda de frecuencia común, o bandas de frecuencias separadas, para el enlace descendente y el enlace ascendente. Para mayor claridad, se describe a continuación una estructura piloto ejemplar para un sistema ejemplar de MIMO-OFDM. Para este sistema de MIMO-OFDM, el enlace descendente y el enlace ascendente son duplexados por división del tiempo (TDD) en una única banda de frecuencia.

La FIG. 2 muestra un ejemplo de una estructura 200 de trama que se puede usar para un sistema de MIMO-OFDM de TDD. La transmisión de datos ocurre en unidades de tramas TDD, cada una de las cuales abarca un periodo de tiempo específico (por ejemplo, 2 ms). Cada trama TDD se divide en una fase de enlace descendente y una fase de enlace ascendente. La fase de enlace descendente se divide adicionalmente en múltiples segmentos para múltiples

canales de transporte de enlace descendente. En la realización mostrada en la FIG. 2, los canales de transporte del enlace descendente incluyen un canal de emisión (BCH), un canal de control directo (FCCH) y un canal directo (FCH). De modo similar, la fase de enlace ascendente se divide en múltiples segmentos para múltiples canales de transporte del enlace ascendente. En la realización mostrada en la FIG. 2, los canales de transporte del enlace ascendente incluyen un canal inverso (RCH) y un canal de acceso aleatorio (RACH).

En el enlace descendente, se usa un segmento 210 del BCH para transmitir una unidad de datos de protocolo (PDU) 212 del BCH, que incluye una parte 214 para un piloto de balizamiento, una parte 216 para un piloto de MIMO y una parte 218 para un mensaje del BCH. El mensaje del BCH transporta parámetros del sistema para los terminales de usuario en el sistema. Se usa un segmento 220 del FCCH para transmitir una PDU del FCCH, que transporta asignaciones para los recursos del enlace descendente y del enlace ascendente y otra señalización para los terminales de usuario. Se usa un segmento 230 del FCH para transmitir una o más PDU 232 del FCH. Se pueden definir diferentes tipos de PDU del FCH. Por ejemplo, una PDU 232a del FCH incluye una parte 234a para un piloto y una parte 236a para un paquete de datos. Una PDU 232b del FCH incluye una parte única 236b para un paquete de datos. Una PDU 232c del FCH incluye una parte única 234c para un piloto.

En el enlace ascendente, se usa un segmento 240 del RCH para transmitir una o más PDU 242 del RCH en el enlace ascendente. Se pueden definir también diferentes tipos de PDU del RCH. Por ejemplo, una PDU 242a del RCH incluye una única parte 246a para un paquete de datos. Una PDU 242b del RCH incluye una parte 244b para un piloto y una parte 246b para un paquete de datos. Una PDU 242c del RCH incluye una única parte 244c para un piloto. Un segmento 250 del RACH es usado por los terminales de usuario para obtener acceso al sistema y para enviar mensajes cortos por el enlace ascendente. Se puede enviar una PDU 252 del RACH dentro del segmento 250 del RACH, y que incluye una parte 254 para un piloto y una parte 256 para un mensaje.

Para la realización mostrada en la FIG. 2, los pilotos de balizamiento y de MIMO se envían por el enlace descendente en cada trama TDD en el segmento del BCH. Un piloto puede o no ser enviado en cualquier PDU dada del FCH / RCH. Si se envía el piloto, entonces puede abarcar la totalidad o sólo una parte de la PDU, como se muestra la FIG. 2. Se envía un piloto en una PDU del RACH para permitir al punto de acceso estimar los vectores pertinentes durante el acceso. La parte de piloto se denomina también un "preámbulo". El piloto que se envía en cualquier PDU dada del FCH / RCH puede ser una referencia dirigida o un piloto de MIMO, según la finalidad para la que se usa el piloto. El piloto enviado en una PDU del RACH es habitualmente una referencia dirigida, aunque también se puede enviar en su lugar un piloto de MIMO. El piloto de portadora se transmite en las subbandas piloto y en las partes que no se usan para otras transmisiones piloto. El piloto de portadora no se muestra en la FIG. 2, para simplificar. Las duraciones de las diversas partes en la FIG. 2 no están dibujadas a escala.

La estructura de tramas y los canales de transporte mostrados en la FIG. 2 se describen en detalle en la Solicitud de Patente Estadounidense provisional con N° de Serie 60/421.309.

1. Calibración

Para un sistema de MIMO-OFDM de TDD con una banda de frecuencia compartida, se puede suponer que las respuestas de canal de enlace descendente y de enlace ascendente son recíprocas entre sí. Esto es, si $\underline{H}(k)$ representa una matriz de respuesta de canal desde una formación A de antenas a una formación B de antenas para la subbanda k , entonces un canal recíproco implica que el acoplamiento desde la formación B a la formación A viene dado por $\underline{H}^T(k)$, donde $\underline{H}^T$ indica la traspuesta de $\underline{H}$. Para el sistema de MIMO-OFDM de TDD, se pueden explotar las características recíprocas de canal para simplificar la estimación de canal y el procesamiento espacial, tanto en el transmisor como en el receptor.

Sin embargo, las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión y recepción en el punto de acceso son habitualmente diferentes a las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión y recepción en el terminal de usuario. Una respuesta "efectiva" del canal del enlace descendente, $\underline{H}_{dn}(k)$, y una respuesta "efectiva" del canal del enlace ascendente, $\underline{H}_{up}(k)$, que incluyen las respuestas de las cadenas de transmisión y recepción aplicables, se puede expresar como:

$$\underline{H}_{dn}(k) = \underline{R}_{ut}(k) \underline{H}(k) \underline{I}_{ap}(k), \text{ para } k \in K, \text{ y} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\underline{H}_{up}(k) = \underline{R}_{ap}(k) \underline{H}^T(k) \underline{I}_{ut}(k), \text{ para } k \in K,$$

donde $\underline{I}_{ap}(k)$ y $\underline{R}_{ap}(k)$ son matrices diagonales de dimensión $N_{ap} \times N_{ap}$ para las respuestas de frecuencia de la cadena de transmisión y la cadena de recepción, respectivamente, en el punto de acceso para la subbanda k ;

$\underline{I}_{ut}(k)$ y $\underline{R}_{ut}(k)$ son matrices diagonales de dimensión $N_{ut} \times N_{ut}$ para las respuestas de frecuencia de la cadena de transmisión y la cadena de recepción, respectivamente, en el terminal de usuario para la subbanda k ;

N_{ap} es el número de antenas en el punto de acceso; y

N_{ut} es el número de antenas en el terminal de usuario.

Combinando las ecuaciones en el conjunto (4) de ecuaciones, se obtiene lo siguiente:

$$\underline{\mathbf{H}}_{up}(k) \underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = (\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k) \underline{\mathbf{K}}_{ap}(k))^T, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (5)}$$

donde $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = \underline{\mathbf{I}}_{ut}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k) = \underline{\mathbf{I}}_{ap}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)$. Debido a que $\underline{\mathbf{I}}_{ut}(k)$, $\underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$, $\underline{\mathbf{I}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)$ son matrices diagonales, $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ son también matrices diagonales.

- 5 Se puede realizar una calibración para obtener las estimaciones, $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ de las matrices diagonales reales, $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, para $k \in K$. Las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ contienen factores de corrección que pueden justificar las diferencias en las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario. Una respuesta de canal de enlace ascendente "calibrada", $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$, observada por el terminal de usuario, y una respuesta de canal de enlace ascendente "calibrada", $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$, observada por el punto de acceso, se pueden expresar entonces como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{dn}(k) \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ap}(k), \text{ para } k \in K, \text{ y} \quad \text{Ec. (6a)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{up}(k) \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ut}(k), \text{ para } k \in K, \text{ donde} \quad \text{Ec. (6b)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k) \approx \underline{\mathbf{H}}_{cup}^T(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (6c).}$$

- 15 La precisión de la relación en la ecuación (6c) depende de la precisión de las matrices de corrección, $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, que a su vez depende de la calidad de las estimaciones de las respuestas efectivas de canal del enlace descendente y del enlace ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{up}(k)$, usadas para obtener estas matrices de corrección. Se puede definir un vector de corrección $\underline{\hat{\mathbf{k}}}_{ut}(k)$ para incluir solamente los N_{ut} elementos diagonales de $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, y se puede definir un vector de corrección $\underline{\hat{\mathbf{k}}}_{ap}(k)$ para incluir solamente los N_{ap} elementos diagonales de $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$. La calibración se describe en detalle en la Solicitud de Patente Estadounidense provisional con N° de Serie 60/421.462.
- 20 Los pilotos descritos en la presente memoria se pueden usar también para sistemas de MIMO y de MIMO-OFDM que no realicen la calibración. Para mayor claridad, la descripción siguiente supone que se realiza la calibración y que se usan las matrices de corrección $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ut}(k)$ en los trayectos de transmisión en el punto de acceso y en el terminal de usuario, respectivamente.

2. Pilotos de balizamiento y MIMO

- 25 Como se muestra en la FIG. 2, el piloto de balizamiento y el piloto de MIMO se transmiten por el enlace descendente en el BCH para cada trama TDD. El piloto de balizamiento puede ser usado por los terminales de usuario para adquisición de temporización y frecuencia. El piloto de MIMO puede ser usado por los terminales de usuario para (1) obtener una estimación del canal de MIMO del enlace descendente, (2) obtener los vectores de dirección para la transmisión del enlace ascendente y (3) obtener un filtro adaptado para la transmisión del enlace descendente, como se describe a continuación.
- 30

En un esquema ejemplar de transmisión de piloto, el piloto de balizamiento se transmite durante dos periodos de símbolos y el piloto de MIMO se transmite durante ocho periodos de símbolos al comienzo del segmento del BCH. La Tabla 6 muestra los pilotos de balizamiento y de MIMO para este esquema ejemplar.

Tabla 6 – Pilotos de balizamiento y de MIMO para el BCH

Tipo de Piloto	Periodo de símbolos	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Piloto de balizamiento	1	B	B	B	B
	2	B	B	B	B
Piloto de MIMO	3	+P	+P	+P	+P
	4	+P	-P	+P	-P
	5	+P	+P	-P	-P
	6	+P	-P	-P	+P

	7	+P	+P	+P	+P
	8	+P	-P	+P	-P
	9	+P	+P	-P	-P
	10	+P	-P	-P	+P

El piloto de balizamiento transmitido en el enlace descendente se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn,bp}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) b(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde

5 $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn,bp}}(k)$ es un vector de transmisión para la subbanda k para el piloto de balizamiento; y

$b(k)$ es el símbolo piloto a transmitir en la subbanda k para el piloto de balizamiento, que se da en la Tabla 2.

Como se muestra en la ecuación (7), el piloto de balizamiento es ajustado a escala mediante el vector de corrección $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$ pero no está sometido a ningún otro procesamiento espacial.

El piloto de MIMO transmitido en el enlace descendente se puede expresar como:

$$10 \quad \underline{\mathbf{x}}_{\text{dn,mp},n}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n} p(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (8)}$$

donde

$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn,mp},n}(k)$ es un vector de transmisión de dimensión $(N_{\text{ap}} \times 1)$ para la subbanda k en el periodo de símbolos n para el piloto de MIMO del enlace descendente;

15 $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ es un vector de dimensión $(N_{\text{ap}} \times 1)$ con N_{ap} chips de Walsh para las N_{ap} antenas transmisoras en el punto de acceso en el periodo de símbolos n para el piloto de MIMO del enlace descendente y

$p(k)$ es el símbolo piloto a transmitir en la subbanda k para el piloto de MIMO, que se da en la Tabla 2.

Como se muestra en la ecuación (8), el piloto de MIMO es cubierto por el vector $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ y ajustado adicionalmente a escala por la matriz de corrección $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$, pero no se somete a ningún otro procesamiento espacial. Se usa el mismo vector de Walsh $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ para todas las subbandas y por ello $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ no es una función del índice k de subbanda. Sin embargo, dado que cada secuencia de Walsh es una única secuencia de 4 chips de Walsh para 4 periodos de símbolos, $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ es una función del periodo n de símbolos. El vector $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ incluye por ello N_{ap} chips de Walsh a usar para las N_{ap} antenas transmisoras en el punto de acceso durante el periodo n de símbolos. Para el esquema mostrado en la Tabla 6, los cuatro vectores $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$, para $n = \{3, 4, 5, 6\}$, para los primeros cuatro periodos de símbolos de la transmisión piloto de MIMO por el BCH son $\underline{\mathbf{w}}_3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1]$, $\underline{\mathbf{w}}_4 = [1 \ -1 \ 1 \ -1]$, $\underline{\mathbf{w}}_5 = [1 \ 1 \ -1 \ -1]$, $\underline{\mathbf{w}}_6 = [1 \ -1 \ -1 \ 1]$ y los cuatro vectores $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$, para $n = \{7, 8, 9, 10\}$, para los siguientes cuatro periodos de símbolos se repiten de modo que $\underline{\mathbf{w}}_7 = \underline{\mathbf{w}}_3$, $\underline{\mathbf{w}}_8 = \underline{\mathbf{w}}_4$, $\underline{\mathbf{w}}_9 = \underline{\mathbf{w}}_5$ y $\underline{\mathbf{w}}_{10} = \underline{\mathbf{w}}_6$.

El piloto de MIMO transmitido en el enlace ascendente se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{up,mp},n}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{w}}_{\text{up},n} p(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (9)}$$

30 donde $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up,mp},n}(k)$ es un vector de transmisión de dimensión $(N_{\text{ut}} \times 1)$ para la subbanda k en el periodo n de símbolos para el piloto de MIMO del enlace ascendente. El vector de Walsh $\underline{\mathbf{w}}_{\text{up},n}$ usado para el piloto de MIMO del enlace ascendente puede ser el mismo que, o diferente a, el vector de Walsh $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$ usado para el piloto de MIMO del enlace descendente. Por ejemplo, si un terminal de usuario está equipado solamente con 2 antenas de transmisión, entonces $\underline{\mathbf{w}}_{\text{up},n}$ puede incluir 2 secuencias de Walsh con una longitud de 2 o superior.

3. Procesamiento espacial

35 Como se ha descrito anteriormente, la matriz de respuesta de canal para cada subbanda se puede diagonalizar para obtener las N_S auto-modalidades para esa subbanda. La descomposición en valores singulares de la matriz calibrada de respuesta de canal del enlace ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$, se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \underline{\mathbf{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (10)}$$

donde

$\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ es una matriz unitaria de dimensión $(N_{ut} \times N_{ut})$ de los auto-vectores izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$;
 $\underline{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal de dimensión $(N_{ut} \times N_{ap})$ de los valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$; y

$\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ es una matriz unitaria de dimensión $(N_{ap} \times N_{ap})$ de los auto-vectores derechos de $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$.

- 5 De modo similar, la descomposición en valores singulares de la matriz calibrada de respuesta de canal del enlace descendente, $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$, se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k) = \underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{U}}_{ap}^T(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (11)}$$

donde las matrices $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}_{ap}^*(k)$ son matrices unitarias de los auto-vectores izquierdos y derechos, respectivamente, de $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$.

- 10 Como se muestra en las ecuaciones (10) y (11), y en base a la descripción anterior, las matrices de los auto-vectores izquierdos y derechos para un enlace son la conjugada compleja de las matrices de los auto-vectores derechos e izquierdos, respectivamente, para el otro enlace. Para simplificar, la referencia a las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ en la siguiente descripción se puede referir también a sus diversas otras formas (por ejemplo, $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ se puede referir a $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k)$, $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^T(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^H(k)$). Las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ pueden ser usadas por el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente, para el procesamiento espacial, y se indican como tales con sus subíndices.

En una realización, el terminal de usuario puede estimar la respuesta calibrada de canal del enlace descendente en base a un piloto de MIMO transmitido por el punto de acceso. El terminal de usuario puede luego realizar una descomposición en valores singulares de la estimación calibrada de respuesta de canal del enlace descendente,

$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$, para $k \in K$, para obtener la matriz diagonal $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ y la matriz $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^*(k)$ de los auto-vectores izquierdos de

- 20 $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$ para cada subbanda. Esta descomposición en valores singulares se puede dar como

$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k) = \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}^T(k)$, donde el acento circunflejo ("^") sobre cada matriz indica que es una estimación de la matriz real. De modo similar, el punto de acceso puede estimar la respuesta calibrada de canal del enlace ascendente en base a un piloto de MIMO transmitido por el terminal de usuario. El punto de acceso puede realizar entonces la descomposición en valores singulares de la estimación calibrada de la respuesta de canal del enlace

- 25 ascendente, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)$, para $k \in K$, para obtener la matriz diagonal $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ y la matriz $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ de los auto-vectores izquierdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)$ para cada subbanda. Esta descomposición en valores singulares se puede dar como

$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k) = \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}^T(k)$. El punto de acceso y el terminal de usuario pueden obtener también los auto-vectores requeridos en base a una referencia dirigida, como se describe a continuación.

- 30 La transmisión de datos puede suceder en una auto-modalidad, o en múltiples auto-modalidades, de banda ancha para cada enlace. El número específico de auto-modalidades de banda ancha a usar para la transmisión de datos depende habitualmente de las condiciones de canal y se puede seleccionar de varias maneras. Por ejemplo, las auto-modalidades de banda ancha se pueden seleccionar mediante el uso de un procedimiento de relleno que intenta maximizar el caudal global mediante (1) la selección del mejor conjunto de una o más auto-modalidades de banda ancha para su uso y (2) la distribución de la potencia de transmisión total entre las auto-modalidades de
- 35 banda ancha seleccionadas.

El sistema de MIMO-OFDM puede por ello diseñarse para dar soporte a múltiples modalidades operativas, que incluyen:

* Modalidad de multiplexado espacial – usada para transmitir datos por múltiples auto-modalidades de banda ancha, y

- 40 * Modalidad de dirección del haz – usada para transmitir datos por la principal (mejor) auto-modalidad de banda ancha.

La transmisión de datos por múltiples auto-modalidades de banda ancha se puede lograr mediante la realización de un procesamiento espacial con múltiples conjuntos de auto-vectores en las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ o $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, para $k \in K$ (es decir, un conjunto de auto-vectores para cada auto-modalidad de banda ancha). La Tabla 7 resume el procesamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario tanto para la transmisión como para la recepción de datos en la modalidad de multiplexado espacial.

45

Tabla 7 – Procesamiento espacial para la modalidad de multiplexado espacial

	Enlace descendente	Enlace ascendente
Punto de acceso	Transmisión: $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$	Recepción: $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$
Terminal de usuario	Recepción: $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^T(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$	Transmisión: $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k) = \underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$

En la Tabla 7, $\underline{\mathbf{s}}(k)$ es un vector de “datos” con hasta N_S entradas no nulas para los símbolos de modulación a transmitir por las N_S auto-modalidades de la subbanda k , $\underline{\mathbf{x}}(k)$ es un vector de transmisión para la subbanda k , $\underline{\mathbf{r}}(k)$ es un vector recibido para la subbanda k y $\hat{\underline{\mathbf{s}}}(k)$ es una estimación del vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$ transmitido. Los subíndices “dn” y “up” para estos vectores indican, respectivamente, las transmisiones del enlace descendente y del enlace ascendente.

La transmisión de datos por una auto-modalidad de banda ancha se puede lograr mediante el uso, bien de una “formación de haces”, o bien de una “dirección de haces”. Para la formación de haces, los símbolos de modulación se procesan espacialmente con un conjunto de auto-vectores $\underline{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$ o $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},1}(k)$, para $k \in K$, para la auto-modalidad principal de banda ancha. Para la dirección de haces, los símbolos de modulación se procesan espacialmente con un conjunto de auto-vectores “normalizados” (o “saturados”) $\tilde{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut}}(k)$ o $\tilde{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$, para $k \in K$, para la auto-modalidad principal de banda ancha. Los auto-vectores normalizados $\underline{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ y $\tilde{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$ se pueden obtener como se describe a continuación.

El procesamiento espacial para las modalidades de multiplexado espacial y de dirección de haces se describe en detalle en las Solicitudes de Patente Estadounidense provisional con números de serie 60 / 421.309 y 60 / 421.428. Las referencias dirigidas para las modalidades de multiplexado espacial y de dirección de haces se describen a continuación.

4. Referencia dirigida

Para un canal recíproco (por ejemplo, después de que se haya realizado la calibración para tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario), una referencia dirigida puede ser transmitida por el terminal de usuario, y usada por el punto de acceso para obtener estimaciones tanto de $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k)$ como de $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$, sin tener que estimar el canal de MIMO o realizar la descomposición en valores singulares. De modo similar, una referencia dirigida puede ser transmitida por el punto de acceso y usada por el terminal de usuario para obtener las estimaciones tanto de $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ como de $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$.

En una realización, la referencia dirigida comprende un conjunto de símbolos piloto (por ejemplo los símbolos P de OFDM) que se transmite por una auto-modalidad de banda ancha en un periodo de símbolos dado, mediante la realización de un procesamiento espacial con un conjunto de auto-vectores no normalizados, o normalizados, para esa auto-modalidad de banda ancha. En una realización alternativa, la referencia dirigida comprende múltiples conjuntos de símbolos piloto que se transmiten por múltiples auto-modalidades de banda ancha en el mismo periodo de símbolos, mediante la realización del procesamiento espacial con múltiples conjuntos de auto-vectores no normalizados, o normalizados, para estas auto-modalidades de banda ancha. En cualquier caso, la referencia dirigida se transmite desde todas las N_{ap} antenas en el punto de acceso (para el enlace descendente) y todas las N_{ut} antenas en el terminal de usuario (para el enlace ascendente). Para mayor claridad, la descripción a continuación supone que la referencia dirigida se transmite para una auto-modalidad de banda ancha en un periodo de símbolos dado.

A. Referencia dirigida de enlace descendente – Modalidad de multiplexado espacial

Para la modalidad de multiplexado espacial, la referencia dirigida del enlace descendente transmitida, por la m -ésima auto-modalidad de banda ancha, por el punto de acceso, se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn},\text{sr},m}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},m}^*(k) p(k), \text{ para } k \in K \quad \text{Ec. (12)}$$

donde

$\underline{x}_{dn,sr,m}(k)$ es el vector transmitido para la k -ésima subbanda de la m -ésima auto-modalidad de banda ancha;

$\underline{\hat{u}}_{ap,m}^*(k)$ es el auto-vector para la k -ésima subbanda de la m -ésima auto-modalidad de banda ancha; y

$p(k)$ es el símbolo piloto a transmitir en la subbanda k para la referencia dirigida (por ejemplo, como se da en la Tabla 2).

El vector de dirección $\underline{\hat{u}}_{ap,m}^*(k)$ es la m -ésima columna de la matriz $\underline{\hat{U}}_{ap}^*(k)$, donde

$$\underline{\hat{U}}_{ap}^*(k) = [\underline{\hat{u}}_{ap,1}^*(k) \ \underline{\hat{u}}_{ap,2}^*(k) \ \dots \ \underline{\hat{u}}_{ap,N_{ap}}^*(k)]$$

La referencia dirigida del enlace descendente recibida en el terminal de usuario para la modalidad de multiplexado espacial se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \underline{r}_{dn,sr,m}(k) &= \underline{H}_{dn}(k) \underline{x}_{dn,sr,m}(k) + \underline{n}_{dn}(k) \quad \text{para } k \in K, \\ &\approx \underline{\hat{y}}_{ul,m}^*(k) \sigma_m(k) p(k) + \underline{n}_{dn}(k) \end{aligned} \quad \text{Ec. (13)}$$

donde $\sigma_m(k)$ es el valor singular para la k -ésima subbanda de la m -ésima auto-modalidad de banda ancha.

B. Referencia dirigida de enlace descendente – Modalidad de dirección de haces

Para la modalidad de dirección de haces, el procesamiento espacial en el transmisor se realiza usando un conjunto de auto-vectores “normalizados” para la auto-modalidad principal de banda ancha. La función de transferencia global con un auto-vector normalizado $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ es diferente a la función de transferencia global con un auto-vector no

normalizado $\underline{\hat{u}}_{ap,1}^*(k)$ (es decir, $\underline{H}_{dn}(k) \underline{\hat{K}}_{ap}(k) \underline{\hat{u}}_{ap,1}^*(k) \neq \underline{H}_{dn}(k) \underline{\hat{K}}_{ap}(k) \underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$). Una referencia dirigida generada usando el conjunto de auto-vectores normalizados para la auto-modalidad principal de banda ancha puede ser enviada luego por el transmisor y usada por el receptor para obtener el filtro adaptado para la modalidad de dirección de haces.

Para la modalidad de dirección de haces, la referencia dirigida del enlace descendente transmitida, por la auto-modalidad principal de banda ancha, por el punto de acceso se puede expresar como:

$$\underline{\tilde{x}}_{dn,sr}(k) = \underline{\hat{K}}_{ap}(k) \underline{\tilde{u}}_{ap}(k) p(k), \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec. (14)}$$

donde $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ es el auto-vector normalizado para la k -ésima subbanda de la auto-modalidad principal de banda ancha, que se puede expresar como:

$$\underline{\tilde{u}}_{ap}(k) = [Ae^{j\theta_{u1}(k)} \ Ae^{j\theta_{u2}(k)} \ \dots \ Ae^{j\theta_{uN_{ap}}(k)}]^T, \quad \text{Ec. (15)}$$

donde A es una constante (por ejemplo, $A = 1$); y

$\theta_{ui}(k)$ es la fase para la k -ésima subbanda de la i -ésima antena de transmisión, que viene dada como:

$$\theta_{ui}(k) = \angle \underline{\hat{u}}_{ap,1,i}^*(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{\underline{\hat{u}}_{ap,1,i}^*(k)\}}{\text{Re}\{\underline{\hat{u}}_{ap,1,i}^*(k)\}} \right) \quad \text{Ec. (16)}$$

Como se muestra en la ecuación (15), los N_{ap} elementos del vector $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ tienen iguales magnitudes, pero, posiblemente, fases diferentes. Como se muestra en la ecuación (16), la fase de cada elemento en el vector $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$

se obtiene a partir del elemento correspondiente del vector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k)$ (es decir, $\theta_{ui}(k)$ se obtiene a partir de $\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)$, donde $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k) = [\hat{u}_{ap,1,1}^*(k) \ \hat{u}_{ap,1,2}^*(k) \ \dots \ \hat{u}_{ap,1,N_{ap}}^*(k)]^T$).

La referencia dirigida del enlace descendente recibida en el terminal de usuario para la modalidad de dirección de haces se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{dn,sr}(k) &= \mathbf{H}_{dn}(k) \tilde{\mathbf{x}}_{dn,sr}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k), \text{ para } k \in K. \\ &\approx \mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) p(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \end{aligned} \quad \text{Ec. (17)}$$

5 C. Referencia dirigida del enlace ascendente – Modo de multiplexado espacial

Para la modalidad de multiplexado espacial, la referencia dirigida del enlace ascendente transmitida, por la m -ésima auto-modalidad de banda ancha, por el terminal de usuario se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k) p(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (18)}$$

El vector $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)$ es la m -ésima columna de la matriz $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, donde $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k) = [\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k) \ \hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k) \ \dots \ \hat{\mathbf{v}}_{ut,N_{us}}(k)]$.

10 La referencia dirigida del enlace ascendente recibida en el punto de acceso para la modalidad de multiplexado espacial se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{up,sr,m}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k) \mathbf{x}_{up,sr,m}(k) + \mathbf{n}_{up}(k), \text{ para } k \in K. \\ &\approx \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k) p(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \end{aligned} \quad \text{Ec. (19)}$$

D. Referencia dirigida del enlace ascendente – Modalidad de dirección de haces

Para la modalidad de dirección de haces, la referencia dirigida del enlace ascendente transmitida, por la auto-modalidad principal de banda ancha, por el terminal de usuario se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) p(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (20)}$$

15 El auto-vector normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ para la k -ésima subbanda para la auto-modalidad principal de banda ancha se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) = [Ae^{j\theta_{v1}(k)} \ Ae^{j\theta_{v2}(k)} \ \dots \ Ae^{j\theta_{vN_m}(k)}]^T, \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (21)}$$

donde

$$\theta_{vi}(k) = \angle \hat{\mathbf{v}}_{ut,1,i}(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{\hat{\mathbf{v}}_{ut,1,i}(k)\}}{\text{Re}\{\hat{\mathbf{v}}_{ut,1,i}(k)\}} \right) \quad \text{Ec. (22)}$$

Como se muestra en la ecuación (22), la fase de cada elemento en el vector $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ se obtiene a partir del elemento correspondiente del auto-vector $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$.

20 La referencia dirigida del enlace ascendente recibida en el punto de acceso para la modalidad de dirección de haces se puede expresar como:

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k)\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) + \mathbf{n}_{up}(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (23)} \\ &\approx \mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)\end{aligned}$$

La Tabla 8 resume el procesamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario para la referencia dirigida, para las modalidades de multiplexado espacial y formación de haces.

Tabla 8 – Procesamiento espacial para la referencia dirigida

	Modalidad de multiplexado espacial	Modalidad de dirección de haces
Punto de acceso	$\mathbf{x}_{dn,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}^*(k)p(k)$	$\tilde{\mathbf{x}}_{dn,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)p(k)$
Terminal de usuario	$\mathbf{x}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\mathbf{v}_{ut,m}(k)p(k)$	$\mathbf{x}_{up,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)p(k)$

5 E. Transmisión de referencia dirigida

Para la estructura ejemplar de trama mostrada en la FIG. 2, la referencia dirigida se puede transmitir en el preámbulo o parte piloto de una PDU del FCH (para el enlace descendente) o una PDU del RCH (para el enlace ascendente). La referencia dirigida se puede transmitir de varias maneras.

10 En una realización, para la modalidad de multiplexado espacial, la referencia dirigida se transmite para una o más auto-modalidades de banda ancha para cada trama TDD. El número específico de auto-modalidades de banda ancha a transmitir en cada trama TDD puede depender de la duración de la referencia dirigida. La Tabla 9 enumera las auto-modalidades de banda ancha usadas para la referencia dirigida en el preámbulo de una PDU del FCH / RCH para varios tamaños de preámbulo, para un diseño ejemplar con cuatro antenas transmisoras.

Tabla 9

Tamaño de preámbulo	Auto-modalidades de banda ancha usadas
0 Símbolos de OFDM	Sin preámbulo
1 Símbolo de OFDM	Auto-modalidad m de banda ancha, donde $m = \text{contador de tramas mod } 4$
4 Símbolos de OFDM	Recorrido por todas las 4 auto-modalidades de banda ancha en el preámbulo
8 Símbolos de OFDM	Recorrido por todas las 4 auto-modalidades de banda ancha, dos veces, en el preámbulo

15 Como se muestra en la Tabla 9, la referencia dirigida se transmite para todas las cuatro auto-modalidades de banda ancha dentro de la misma trama TDD cuando el tamaño de preámbulo es de cuatro u ocho periodos de símbolos. La referencia dirigida transmitida en el preámbulo de una PDU del FCH por el punto de acceso para el n -ésimo periodo de símbolos se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{dn,sr,n}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)\hat{\mathbf{u}}_{ap,[(n-1) \bmod 4]+1}^*(k)p(k), \text{ para } k \in K \text{ y } n \in \{1 \dots L\} \quad \text{Ec. (24)}$$

20 donde L es el tamaño del preámbulo (por ejemplo, $L = 0, 1, 4$ u 8 para el diseño ejemplar mostrado en la Tabla 9).

La referencia dirigida transmitida en el preámbulo de una PDU del RCH por el terminal de usuario para el n -ésimo periodo de símbolos se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{up,sr,n}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\hat{\mathbf{v}}_{ut,[(n-1) \bmod 4]+1}(k)p(k), \text{ para } k \in K \text{ y } n \in \{1 \dots L\} \quad \text{Ec. (25)}$$

25 En las ecuaciones (24) y (25), las cuatro auto-modalidades de banda ancha son recorridas en cada periodo de 4 símbolos por la operación "mod" para el vector de dirección. Este esquema se puede usar si el canal cambia más rápidamente y / o durante la parte inicial de una sesión de comunicación cuando se necesita obtener rápidamente una buena estimación del canal para un funcionamiento apropiado del sistema.

En otra realización, la referencia dirigida se transmite para una auto-modalidad de banda ancha para cada trama TDD. La referencia dirigida para las cuatro auto-modalidades de banda ancha puede ser recorrida cíclicamente en cuatro tramas TDD. Por ejemplo, los vectores de dirección $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$, $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$, $\hat{\mathbf{v}}_{ut,3}(k)$ y $\hat{\mathbf{v}}_{ut,4}(k)$ pueden ser usados, para cuatro tramas TDD consecutivas, por el terminal de usuario. El vector de dirección específico a usar para la referencia dirigida en cada trama TDD se puede especificar mediante un contador de tramas, que se puede enviar en el mensaje del BCH. Este esquema puede permitir que se use un preámbulo más corto para las PDU del FCH y del RCH. Sin embargo, puede ser necesario un periodo de tiempo más largo para obtener una buena estimación del canal.

Para la modalidad de dirección de haces, el vector de dirección normalizado para la auto-modalidad principal de banda ancha se usa para la referencia dirigida, como se muestra en las ecuaciones (14) y (20). La duración de la referencia dirigida se puede seleccionar, por ejemplo, en base a las condiciones del canal.

Mientras está funcionando en la modalidad de dirección de haces, el terminal de usuario puede transmitir múltiples símbolos de referencia dirigida, por ejemplo, uno o más símbolos usando el auto-vector normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$, uno o más símbolos usando el auto-vector $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ para la auto-modalidad principal y, posiblemente, uno o más símbolos usando los auto-vectores para las otras auto-modalidades. Los símbolos de referencia dirigida generados con $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ pueden ser usados por el punto de acceso para obtener un vector de filtro adaptado del enlace ascendente. Este vector es usado por el punto de acceso para realizar un filtrado adaptado de la transmisión de datos de enlace ascendente enviada por el terminal de usuario, usando la dirección de haces. Los símbolos de referencia dirigida generados con $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ se pueden usar para obtener $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$, que se puede usar entonces para obtener el auto-vector normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ que se usa para la dirección de haces en el enlace descendente. Los símbolos de referencia dirigida generados con los auto-vectores del $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$ al $\hat{\mathbf{v}}_{ut,Ns}(k)$ para las otras auto-modalidades pueden ser usados por el punto de acceso para obtener del $\hat{\mathbf{u}}_{ap,2}(k)$ al $\hat{\mathbf{u}}_{ap,Ns}(k)$ y las estimaciones de valores singulares para estas otras auto-modalidades. Esta información puede ser usada luego por el punto de acceso para determinar si se usa la modalidad de multiplexado espacial o la modalidad de dirección de haces para la transmisión de datos del enlace descendente.

Para el enlace descendente, el terminal de usuario puede obtener un vector de filtro adaptado de enlace descendente para la modalidad de dirección de haces, en base a la estimación calibrada $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ de la respuesta de canal del enlace descendente. En particular, el terminal de usuario obtiene $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k)$ de la descomposición en valores singulares de $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ y puede entonces obtener el auto-vector normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$. El terminal de usuario puede a continuación multiplicar $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ por $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ para obtener $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ y puede obtener a continuación el vector de filtro adaptado del enlace descendente para la modalidad de dirección de haces, en base a $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$. Alternativamente, una referencia dirigida puede ser enviada por el punto de acceso usando el auto-vector normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ y esta referencia dirigida puede ser procesada por el terminal de usuario en la forma descrita anteriormente para obtener el vector de filtro adaptado del enlace descendente para la modalidad de dirección de haces.

F. Multiplexado de la subbanda para la referencia dirigida

Para ambas modalidades de multiplexado espacial y de dirección de haces, la referencia dirigida se puede transmitir también para múltiples auto-modalidades de banda ancha durante un periodo de símbolos dado, usando el multiplexado de subbandas. Las subbandas utilizables se pueden dividir en múltiples conjuntos disjuntos de subbandas, un conjunto para cada auto-modalidad de banda ancha seleccionada para la transmisión de la referencia dirigida. Cada conjunto de subbandas se puede usar a continuación para transmitir una referencia dirigida para la auto-modalidad de banda ancha asociada. Para simplificar, se usa aquí la expresión "auto-modalidad de banda ancha" aunque se envíe la referencia dirigida solamente por un subconjunto de todas las subbandas utilizables.

Por ejemplo, la referencia dirigida se puede transmitir por las cuatro auto-modalidades de banda ancha en un periodo de símbolos. En este caso, las 52 subbandas utilizables se pueden dividir en cuatro conjuntos disjuntos (por ejemplo, etiquetados como conjuntos 1, 2, 3 y 4), incluyendo cada conjunto 13 subbandas. Las 13 subbandas en cada conjunto pueden estar distribuidas uniformemente entre las 52 subbandas utilizables. La referencia dirigida para la auto-modalidad principal de banda ancha se puede transmitir entonces por las 13 subbandas en el conjunto 1, la referencia dirigida para la segunda auto-modalidad de banda ancha se puede transmitir por las 13 subbandas en el conjunto 2, la referencia dirigida para la tercera auto-modalidad de banda ancha se puede transmitir por las 13 subbandas en el conjunto 3 y la referencia dirigida para la cuarta auto-modalidad de banda ancha se puede

transmitir por las 13 subbandas en el conjunto 4.

Si la referencia dirigida se envía solamente por un subconjunto de todas las subbandas utilizables para una auto-modalidad dada de banda ancha, entonces se puede usar la interpolación o alguna otra técnica para obtener estimaciones para las subbandas no utilizadas para la transmisión de la referencia dirigida para esa auto-modalidad de banda ancha.

El general, los múltiples conjuntos de subbandas pueden incluir el mismo número, o un número distinto, de subbandas. Por ejemplo, el número de subbandas a incluir en cada conjunto puede depender de la SNR de la auto-modalidad de banda ancha asociada al conjunto (por ejemplo, se pueden asignar más subbandas a un conjunto asociado a una auto-modalidad de banda ancha de mala calidad). Además, las subbandas en cada conjunto se pueden distribuir uniformemente o no uniformemente entre las subbandas utilizables. Los múltiples conjuntos de subbandas se pueden asociar también a los mismos, o a distintos, conjuntos de símbolos piloto.

El multiplexado de la subbanda se puede usar para reducir la magnitud del sobregasto necesario para transmitir la referencia dirigida, lo que puede mejorar la eficacia del sistema.

G. Estimación del canal con la referencia dirigida

Como se muestra en la ecuación (13), en el terminal de usuario, la referencia dirigida del enlace descendente recibida para la modalidad de multiplexado espacial (en ausencia de ruido) es aproximadamente

$\hat{\mathbf{y}}_{u,m}^*(k)\sigma_m(k)p(k)$. De modo similar, como se muestra en la ecuación (19), en el punto de acceso, la referencia dirigida del enlace ascendente recibida para la modalidad de multiplexado espacial (en ausencia de ruido) es aproximadamente $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k)$. El punto de acceso puede obtener así una estimación de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ y de $\sigma_m(k)$ en base a una referencia dirigida enviada por el terminal de usuario, y viceversa.

Se pueden usar varias técnicas para procesar una referencia dirigida. Para mayor claridad, la descripción a continuación es para el procesamiento de una referencia dirigida del enlace ascendente. El vector recibido en el punto de acceso viene dado en la ecuación (19), que es $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k) \approx \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)$.

En una realización, para obtener una estimación de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$, el vector recibido $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$ para la referencia dirigida enviada por la m -ésima auto-modalidad de banda ancha se multiplica primero por la conjugada compleja del símbolo piloto, $p^*(k)$, que se usa para la referencia dirigida. El resultado se puede integrar sobre múltiples símbolos de referencia dirigida recibidos para cada auto-modalidad de banda ancha, para obtener una estimación de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ $\sigma_m(k)$, que es un auto-vector izquierdo, ajustado a escala, de $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$, para la m -ésima auto-modalidad de banda ancha. Cada una de las N_{ap} entradas del vector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ se obtiene en base a una entrada correspondiente de las N_{ap} entradas del vector $\mathbf{r}_{up,m}(k)$, donde las N_{ap} entradas de $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ son los símbolos recibidos desde las N_{ap} antenas en el punto de acceso. Dado que los auto-vectores tienen potencia unitaria, el valor singular $\sigma_m(k)$ se puede estimar en base a la potencia recibida de la referencia dirigida, que se puede medir para cada subbanda de cada auto-modalidad de banda ancha. La estimación del valor singular $\sigma_m(k)$ es entonces igual a la raíz cuadrada de la potencia recibida dividida entre la magnitud del símbolo piloto $p(k)$.

En otra realización, se usa una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE) para obtener una estimación del vector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ en base al vector recibido $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$ para la referencia dirigida. Dado que los símbolos piloto $p(k)$ son conocidos, el punto de acceso puede obtener una estimación de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ de modo que se minimice el error cuadrático medio entre los símbolos piloto recibidos (obtenidos después de la realización del filtrado adaptado sobre el vector recibido $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$) y los símbolos piloto transmitidos. El uso de la técnica MMSE para el procesamiento espacial en el receptor se describe en la Solicitud de Patente Estadounidense asignada en común con N° de Serie 09/993.087, titulada "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System" ["Sistema de comunicación de acceso múltiple, entradas múltiples y salidas múltiples"], presentada el 6 de noviembre de 2001.

La referencia dirigida se envía para una auto-modalidad de banda ancha en cualquier periodo dado de símbolos (sin multiplexado de subbandas) y se puede usar a su vez para obtener una estimación de un auto-vector para cada subbanda de esa auto-modalidad de banda ancha. De ese modo, el receptor es capaz de obtener una estimación de solamente un auto-vector en una matriz unitaria para cualquier periodo dado de símbolos. Dado que las estimaciones de múltiples auto-vectores para la matriz unitaria se obtienen durante distintos periodos de símbolos, y debido al ruido y a otras fuentes de degradación en el canal inalámbrico, no es probable que los auto-vectores estimados para la matriz unitaria (que se obtienen individualmente) sean ortogonales entre sí. Los auto-vectores estimados se pueden usar posteriormente para el filtrado adaptado de una transmisión de datos recibida por el mismo enlace y / o el procesamiento espacial de una transmisión de datos enviada por el otro enlace. En este caso, cualquier error en la ortogonalidad entre estos auto-vectores estimados daría como resultado una diafonía entre los flujos de datos enviados por las auto-modalidades correspondientes a los auto-vectores. La diafonía puede degradar el rendimiento.

En una realización, los auto-vectores estimados para cada matriz unitaria son forzados a ser ortogonales entre sí. La ortogonalización de los auto-vectores se puede conseguir usando la técnica de Gram-Schmidt, que se describe en detalle en la referencia precitada de Gilbert Strang, o alguna otra técnica.

Se pueden usar también otras técnicas para procesar la referencia dirigida y éstas caen dentro del ámbito de la invención.

El punto de acceso puede, por tanto, estimar tanto $\underline{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ como $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ en base a la referencia dirigida enviada por el terminal de usuario, sin tener que estimar la respuesta del canal del enlace descendente o realizar una descomposición en valores singulares de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$.

El procesamiento en el terminal de usuario para estimar las matrices $\underline{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ y $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$, en base a la referencia dirigida del enlace descendente, se puede realizar de modo similar a lo descrito anteriormente para la referencia dirigida del enlace ascendente.

Para la modalidad de dirección de haces, en el enlace ascendente, el vector recibido $\tilde{\mathbf{r}}_{\text{up},\text{sr},m}(k)$ para la referencia dirigida puede ser procesado por el punto de acceso de una manera similar para obtener una estimación de $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)\underline{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$. La conjugada traspuesta de esta estimación es entonces el filtro adaptado para la transmisión del enlace ascendente en la modalidad de dirección de haces. En el enlace descendente, el vector recibido $\tilde{\mathbf{r}}_{\text{dn},\text{sr},m}(k)$ para la referencia dirigida puede ser procesado por el terminal de usuario en una forma similar para obtener una estimación de $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)\underline{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$. La conjugada traspuesta de esta estimación es entonces el filtro adaptado para la transmisión del enlace descendente en la modalidad de dirección de haces.

5. Piloto de portadora

El piloto de portadora se puede transmitir por la subbandas piloto en varias formas para la estructura de trama TDD mostrada en la FIG. 2. En una realización, se reinician las cuatro secuencias piloto para cada canal de transporte. De ese modo, en el enlace descendente, las secuencias piloto se reinician para el primer símbolo de OFDM del mensaje del BCH, se reinician de nuevo para el primer símbolo de OFDM del mensaje del FCCH y se reinician para el primer símbolo de OFDM enviado por el FCH. En otra realización, las secuencias piloto se reinician al comienzo de cada trama TDD y se repiten tan frecuentemente como sea necesario. Para esta realización, las secuencias piloto se pueden atascar durante las partes de preámbulo del BCH y del FCH. El piloto de portadora se puede transmitir también de otras formas, y esto cae dentro del ámbito de la invención.

6. Esquema de transmisión piloto

Se han descrito anteriormente cuatro tipos de piloto, y se pueden usar para sistemas de MIMO y de MIMO-OFDM. Estos cuatro tipos diferentes de piloto se pueden transmitir de varias formas.

La FIG. 3 muestra transmisiones piloto del enlace descendente y del enlace ascendente para un esquema ejemplar de transmisión piloto. En general, el bloque 310 corresponde a una fase de acceso al sistema, el bloque 320 corresponde a una fase de calibración y el bloque 330 corresponde a una fase de funcionamiento normal.

Un piloto de balizamiento y un piloto de MIMO son transmitidos, por el enlace descendente, por el punto de acceso en cada trama TDD (bloque 312) para permitir a todos los terminales de usuario en el sistema adquirir la frecuencia y la temporización del sistema, y para estimar el canal del enlace descendente (bloque 314). El bloque 314 se puede realizar según sea necesario para acceder al sistema.

Se puede realizar la calibración previamente al funcionamiento normal, para eliminar por calibración las diferencias en las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario. Para la calibración, los pilotos de MIMO pueden ser transmitidos tanto por el punto de acceso como por el terminal de usuario (bloques 322 y 326). El piloto de MIMO del enlace ascendente puede ser usado por el punto de acceso para obtener una estimación del canal del enlace ascendente (bloque 324) y el piloto de MIMO del enlace descendente puede ser usado por el terminal de usuario para obtener o actualizar una estimación del canal del enlace descendente (bloque 328). Las estimaciones de canal de enlace descendente y enlace ascendente se usan a continuación para obtener los factores de corrección para el punto de acceso y el terminal de usuario.

Durante el funcionamiento normal, una referencia dirigida puede ser transmitida, por el enlace ascendente, por el terminal (1) de usuario si, y cuando, desea una transmisión de datos o (2) si se planifica para la transmisión de datos (bloque 332). La referencia dirigida del enlace ascendente puede ser usada por el punto de acceso para estimar las matrices unitaria y diagonal pertinentes para el terminal de usuario (bloque 334). Una referencia dirigida puede ser optativamente transmitida por el punto de acceso al terminal de usuario (como se muestra con el recuadro discontinuo 336). El terminal de usuario puede actualizar continuamente su estimación del canal de enlace descendente en base al piloto de MIMO del enlace descendente y actualizar las matrices unitaria y diagonal pertinentes en base a la referencia dirigida del enlace descendente (si se transmite) (bloque 338). Los pilotos de

portadora son transmitidos por el punto de acceso (bloque 340) y el terminal de usuario (bloque 344), por la subbandas piloto durante partes que no se usan para otros pilotos. El piloto de portadora del enlace descendente es usado por el terminal de usuario para rastrear la fase de la señal portadora del enlace descendente (bloque 342) y el piloto de portadora del enlace ascendente es usado por el punto de acceso para rastrear la fase de la señal portadora del enlace ascendente (bloque 346).

Para el esquema de transmisión piloto mostrado en la FIG. 3, el terminal de usuario estima la respuesta del canal de enlace descendente en base al piloto de MIMO de enlace descendente y transmite una referencia dirigida por el enlace ascendente, que es usado entonces por el punto de acceso para estimar las matrices unitaria y diagonal pertinentes para el terminal de usuario. En ciertos casos, el terminal de usuario puede haber obtenido una mala estimación de la respuesta del canal de enlace descendente, en cuyo caso la referencia dirigida de enlace ascendente puede ser igualmente mala o posiblemente peor. En el peor caso, el vector de dirección usado por el terminal de usuario puede dar como resultado que se apunte un haz nulo al punto de acceso. Si sucede esto, entonces el punto de acceso no será capaz de detectar la referencia dirigida del enlace ascendente. Para evitar esta situación, el terminal de usuario puede perturbar las fases de los N_{ut} elementos del vector de dirección que usa para la referencia dirigida en situaciones en las que detecte que el punto de acceso no está recibiendo apropiadamente la referencia dirigida. Por ejemplo, si el terminal de usuario está designado para transmitir una referencia dirigida de enlace ascendente como parte de un procedimiento de acceso al sistema y si el acceso al sistema no se ha obtenido después de un número específico de intentos de acceso, entonces el terminal de usuario puede comenzar a perturbar las fases de los elementos del vector de dirección.

Se pueden implementar también otros diversos esquemas de transmisión piloto para sistemas de MIMO y de MIMO-OFDM y esto cae dentro del ámbito de la invención. Por ejemplo, los pilotos de balizamiento y de portadora se pueden combinar en un único piloto que se puede usar para la adquisición de frecuencia y temporización, y para el rastreo de la fase de portadora. Como otro ejemplo, los terminales de usuario activos pueden transmitir pilotos de MIMO, en lugar de referencias dirigidas, por el enlace ascendente.

IV. Sistema de MIMO-OFDM

La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques de una realización de un punto 110x de acceso y un terminal 120x de usuario en un sistema 100 de MIMO-OFDM. Para mayor claridad, en esta realización, el punto 110x de acceso está equipado con cuatro antenas que se pueden usar para la transmisión y recepción de datos y el terminal 120x de usuario está equipado también con cuatro antenas para la transmisión / recepción de datos. En general, el punto de acceso y el terminal de usuario pueden estar ambos equipados con cualquier número de antenas transmisoras y cualquier número de antenas receptoras.

Por el enlace descendente, en el punto 110x de acceso, un procesador 414 de datos de transmisión (TX) recibe datos de tráfico desde un origen 412 de datos, y señalización y otros datos desde un controlador 430. El procesador 414 de datos de TX formatea, codifica, intercala y modula (es decir, correlaciona con símbolos) los datos para proporcionar los símbolos de modulación. Un procesador espacial 420 de TX recibe y multiplexa los símbolos de modulación provenientes del procesador 414 de datos de TX con símbolos piloto, realiza el procesamiento espacial requerido y proporciona cuatro flujos de símbolos de transmisión para las cuatro antenas transmisoras.

Cada modulador (MOD) 422 recibe y procesa un respectivo flujo de símbolos de transmisión para proporcionar una correspondiente señal modulada de enlace descendente. Las cuatro señales moduladas del enlace descendente provenientes de los moduladores 422a a 422d se transmiten a continuación desde las antenas 424a a 424d, respectivamente.

En el terminal 120x de usuario, cuatro antenas 452a a 452d reciben las señales moduladas de enlace descendente transmitidas y cada antena proporciona una señal recibida a un respectivo demodulador (DEMOD) 454. Cada demodulador 454 realiza un procesamiento complementario al realizado en el modulador 422 y proporciona los símbolos recibidos. Un procesador espacial 460 de recepción (RX) realiza entonces el procesamiento espacial sobre los símbolos recibidos desde todos los demoduladores 454a a 454d, para proporcionar los símbolos recuperados, que son estimaciones de los símbolos de modulación transmitidos por el punto de acceso. Un procesador 470 de datos de RX procesa adicionalmente (por ejemplo, decorrelaciona, desintercala y descodifica) los símbolos recuperados para proporcionar datos descodificados, que se pueden proporcionar a un sumidero 472 de datos para su almacenamiento y / o a un controlador 480 para un procesamiento adicional.

El procesamiento para el enlace ascendente puede ser el mismo que, o distinto a, el procesamiento para el enlace descendente. Los datos y señalización son procesados (por ejemplo, codificados, intercalados y modulados) por un procesador 488 de datos de TX, multiplexados con los símbolos piloto y procesados espacialmente de forma adicional por un procesador espacial 490 de TX. Los símbolos de transmisión desde el procesador espacial 490 de TX son procesados adicionalmente por los moduladores 454a a 454d para generar cuatro señales moduladas de enlace ascendente, que se transmiten a continuación a través de las antenas 452a a 452d.

En el punto 410 de acceso, las señales moduladas de enlace ascendente son recibidas por las antenas 424a a 424d, demoduladas por los demoduladores 422a a 422d y procesadas por un procesador espacial 440 de RX y un

procesador 442 de datos de RX en una forma complementaria a la realizada en el terminal de usuario. Los datos descodificados para el enlace ascendente pueden ser proporcionados a un sumidero 444 de datos para su almacenamiento y / o a un controlador 430 para un procesamiento adicional.

Los controladores 430 y 480 controlan el funcionamiento de varias unidades de procesamiento en el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente. Las unidades 432 y 482 de memoria almacenan datos y códigos de programa usados por los controladores 430 y 480, respectivamente.

La FIG. 5 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 420a de TX que puede generar un piloto de balizamiento y que se puede implementar dentro del procesador espacial 420 de TX en la FIG. 4. El procesador 420a incluye un cierto número de procesadores 510a a 510k de subbanda de piloto de balizamiento, uno para cada subbanda usada para transmitir el piloto de balizamiento. Cada procesador 510 de subbanda recibe un símbolo piloto $b(k)$ para el piloto de balizamiento y una matriz de corrección $\hat{K}_{ap}(k)$ para la subbanda asociada.

Dentro de cada procesador 510 de subbanda, el símbolo piloto $b(k)$ es ajustado a escala por cuatro multiplicadores 514a a 514d, con cuatro factores de corrección $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$, respectivamente, de la matriz $\hat{K}_{ap}(k)$. Cada multiplicador 514 realiza la multiplicación compleja del símbolo piloto complejo por un respectivo factor de corrección complejo. Los símbolos piloto ajustados a escala provenientes de los multiplicadores 514a a 514d se proporcionan a continuación a cuatro memorias intermedias / multiplexores 520a a 520d, respectivamente, que también reciben los símbolos piloto ajustados a escala desde los otros procesadores 510 de subbanda. Cada memoria intermedia / multiplexor 520 multiplexa los símbolos piloto ajustados a escala para todas las subbandas usadas para la transmisión del piloto de balizamiento y valores de señal de cero para las subbandas no utilizadas, y proporciona un flujo de símbolos de transmisión para la antena de transmisión asociada.

La FIG. 6A muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 420b de TX que puede generar un piloto de MIMO. El procesador 420b se puede implementar dentro del procesador espacial 420 o 490 de TX en la FIG. 4, pero, para mayor claridad, se describe a continuación para una implementación en el procesador espacial 420 de TX. El procesador 420b incluye un cierto número de procesadores 610a a 610k de subbanda de piloto de MIMO, uno para cada subbanda usada para transmitir el piloto de MIMO. Cada procesador 610 de subbanda recibe un símbolo piloto $p(k)$ para el piloto de MIMO y una matriz de corrección $\hat{K}_{ap}(k)$ para la subbanda asociada. Cada procesador 610 de subbanda también recibe cuatro secuencias de Walsh, w_1 a w_4 , asignadas a las cuatro antenas transmisoras en el punto de acceso.

Dentro de cada procesador 610 de subbanda, el símbolo piloto complejo $p(k)$ es cubierto, con las cuatro secuencias de Walsh w_1 a w_4 , por cuatro multiplicadores complejos 612a a 612d, respectivamente. Los símbolos piloto cubiertos son ajustados a escala adicionalmente por cuatro multiplicadores complejos 614a a 614d, con cuatro factores de corrección complejos $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$, respectivamente, de la matriz $\hat{K}_{ap}(k)$. Los símbolos piloto ajustados a escala provenientes de los multiplicadores 614a a 614d se proporcionan a continuación a cuatro memorias intermedias / multiplexores 620a a 620d, respectivamente. El procesamiento posterior es como el descrito anteriormente para la FIG. 5.

Para una implementación del procesador 420b en el procesador espacial 490 de TX, el número de secuencias de Walsh a usar depende del número de antenas transmisoras disponibles en el terminal de usuario. Además, el ajuste a escala se realiza con los factores de corrección de la matriz $\hat{K}_{ut}(k)$ para el terminal de usuario.

La FIG. 6B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 460b de RX que puede proporcionar una estimación de respuesta del canal en base a un piloto de MIMO recibido. El procesador 460b se puede implementar dentro del procesador espacial 440 o 460 de RX en la FIG. 4, pero, para mayor claridad, se describe a continuación para una implementación en el procesador espacial 460 de RX. El procesador 460b incluye un cierto número de procesadores 650a a 650k de subbanda de piloto de MIMO, uno para cada subbanda usada para la transmisión del piloto de MIMO. Cada procesador 650 de subbanda de piloto de MIMO recibe un vector $\underline{r}(k)$ y un símbolo piloto conjugado $p^*(k)$ para la subbanda asociada. Cada procesador 650 de subbanda recibe también las cuatro secuencias de Walsh w_1 a w_4 asignadas a las cuatro antenas transmisoras en el punto de acceso.

Cada procesador 650 de subbanda de piloto de MIMO incluye cuatro procesadores 660a a 660d de subbanda / antena de piloto de MIMO para las cuatro antenas receptoras en el terminal de usuario. Cada procesador 660 recibe una entrada $r_i(k)$ del vector $\underline{r}(k)$. Dentro de cada procesador 660, el símbolo recibido $r_i(k)$ se multiplica primero por el símbolo piloto conjugado $p^*(k)$, mediante un multiplicador complejo 662. La salida del multiplicador 662 se multiplica adicionalmente por las cuatro secuencias de Walsh w_1 a w_4 , mediante cuatro multiplicadores complejos 664a a 664d, respectivamente. Las salidas de los multiplicadores 664a a 664d son acumuladas a continuación por los acumuladores 666a a 666d, respectivamente, durante la transmisión del piloto de MIMO. Cada pareja de multiplicador 664 y acumulador 666 realiza el descubrimiento para una antena transmisora en el punto de acceso. La salida de cada acumulador 666 representa una estimación $h_{i,j}(k)$ de la ganancia del canal desde la antena transmisora j a la antena receptora i para la subbanda k . Las estimaciones de respuesta de canal, $\{h_{i,j}(k)\}$, para $i = \{1,$

2, 3, 4} y $j = \{1, 2, 3, 4\}$, se pueden promediar adicionalmente sobre múltiples transmisiones de piloto de MIMO (no mostradas en la FIG. 6B) para proporcionar una estimación más precisa de la respuesta del canal.

Como se muestra en la FIG. 6B, cada procesador 660 de subbanda / antena de piloto de MIMO proporciona un vector de fila $\hat{\mathbf{h}}_{\text{cdn},i}(k) = [\hat{h}_{i,1}(k) \ \hat{h}_{i,2}(k) \ \hat{h}_{i,3}(k) \ \hat{h}_{i,4}(k)]$ para la antena receptora i asociada, donde $\hat{\mathbf{h}}_{\text{cdn},i}(k)$ es la i -ésima fila de la estimación calibrada de la respuesta del canal, $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, para el enlace descendente (suponiendo que el punto de acceso aplicó su matriz de corrección $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$). Los procesadores 660a a 660d proporcionan colectivamente las cuatro filas de la matriz calibrada de respuesta de canal, $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$.

La FIG. 7A muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 420c de TX que puede generar una referencia dirigida. El procesador 420c puede implementarse también dentro del procesador espacial 420 o 490 de TX en la FIG. 4, pero, para mayor claridad, se describe a continuación para una implementación dentro del procesador espacial 420 de TX. El procesador 420c incluye un cierto número de procesadores 710a a 710k de subbanda de referencia dirigida, uno para cada subbanda usada para transmitir la referencia dirigida. Para generar la referencia dirigida para la modalidad de multiplexado espacial, cada procesador 710 de subbanda recibe un

símbolo piloto $p(k)$, el vector de dirección $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$ para cada auto-modalidad de banda ancha, por el cual ha de transmitirse la referencia dirigida, y una matriz de corrección $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ para la subbanda asociada.

Dentro de cada procesador 710 de subbanda, el símbolo piloto $p(k)$ es multiplicado por los cuatro elementos $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1,m}^*(k)$ a $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},4,m}^*(k)$ del vector de dirección $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$ para la m -ésima auto-modalidad de banda ancha, mediante cuatro multiplicadores complejos 712a a 712d, respectivamente. Las salidas de los multiplicadores 712a a 712d son ajustadas a escala adicionalmente, por cuatro multiplicadores complejos 714a a 714d, con cuatro factores de corrección $\hat{K}_{\text{ap},1}(k)$ a $\hat{K}_{\text{ap},4}(k)$, respectivamente, de la matriz $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$. Los símbolos piloto ajustados a escala de los multiplicadores 714a a 714d se proporcionan a continuación a cuatro memorias intermedias / multiplexores 720a a 720d, respectivamente. El procesamiento posterior es como se ha descrito anteriormente.

Para generar la referencia dirigida en el enlace descendente para la modalidad de dirección de haces, cada procesador 710 de subbanda recibirá un vector de dirección normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$, en lugar del vector de dirección no

normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$. Para una implementación del procesador 420c en el procesador espacial 490 de TX, cada procesador 710 de subbanda recibirá, o bien (1) el vector de dirección $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},m}(k)$ para cada auto-modalidad de banda ancha usada para la referencia dirigida, para la modalidad de multiplexado espacial, o bien (2) el vector de dirección $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$, para la modalidad de dirección de haces. Si se usa el multiplexado de subbanda para la referencia dirigida, entonces los vectores de dirección para múltiples auto-modalidades de banda ancha se pueden usar para múltiples conjuntos disjuntos de subbandas, como se ha descrito anteriormente.

La FIG. 7B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 460c de RX que puede proporcionar estimaciones de los vectores de dirección y valores singulares en base a una referencia dirigida recibida. El procesador 460c se puede implementar dentro del procesador espacial 440 o 460 de RX en la FIG. 4, pero, para mayor claridad, se describe a continuación para una implementación en el procesador espacial de RX 460. El procesador 460c incluye un cierto número de procesadores 750a a 750k de subbanda de referencia dirigida, uno para cada subbanda usada para la transmisión de la referencia dirigida. Cada procesador 750 de subbanda recibe un vector $\mathbf{r}(k)$ y un símbolo piloto conjugado $p^*(k)$ para la subbanda asociada.

Dentro de cada procesador 750 de subbanda, los cuatro símbolos en el vector recibido $\mathbf{r}(k)$ son multiplicador por el símbolo piloto conjugado $p^*(k)$, mediante los multiplicadores complejos 762a a 762d, respectivamente. Las salidas de los multiplicadores 762a a 762d se acumulan a continuación durante la transmisión de la referencia dirigida para cada auto-modalidad de banda ancha, mediante los acumuladores 764a a 764d, respectivamente. Como se muestra en la Tabla 9, la referencia dirigida se puede enviar para múltiples auto-modalidades de banda ancha dentro de la misma transmisión de referencia dirigida, en cuyo caso la acumulación se realiza por separado para cada una de estas auto-modalidades de banda ancha. Sin embargo, se pueden acumular múltiples símbolos de referencia dirigida (que se pueden transmitir en una o en múltiples transmisiones de referencia dirigida) para cualquier auto-modalidad dada de banda ancha, para tener una estimación de calidad más elevada. Los acumuladores 764a a

764d proporcionan cuatro elementos que son la estimación de $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},m}^*(k) \sigma_m(k)$, como se muestra en la ecuación (13).

Dado que los auto-vectores tienen potencia unitaria, el valor singular $\sigma_m(k)$ para cada auto-modalidad de banda

ancha se puede estimar en base a la potencia recibida de la referencia dirigida. Una unidad 766 de cálculo de potencia recibe las salidas de los multiplicadores 762a a 762d y calcula la potencia recibida de la referencia dirigida,

$P_m(k)$, para cada auto-modalidad de la subbanda k . La estimación del valor singular $\hat{\sigma}_m(k)$ es entonces igual a la raíz cuadrada de la potencia recibida calculada de la referencia dirigida, dividida entre la magnitud del símbolo piloto

(es decir, $\hat{\sigma}_m(k) = \sqrt{P_m(k)} / |p(k)|$), donde $P_m(k) = \sum_{i=1}^{N_R} |r_i(k)|^2$ y $r_i(k)$ es el símbolo recibido en la subbanda k de la antena receptora i .

Las salidas de los acumuladores 766a a 766d son ajustadas luego a escala con la inversa de la estimación del valor singular, $\hat{\sigma}_m^{-1}(k)$, mediante los multiplicadores 768a a 768d, respectivamente, para proporcionar una estimación

del vector de dirección para cada auto-modalidad, $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}^*(k) = [\hat{v}_{ut,1,m}^*(k) \ \hat{v}_{ut,2,m}^*(k) \ \hat{v}_{ut,3,m}^*(k) \ \hat{v}_{ut,4,m}^*(k)]$.

El procesamiento para la referencia dirigida para la dirección de haces se puede realizar en una forma similar. El procesamiento para la referencia dirigida en el enlace ascendente también se puede realizar en una forma similar para obtener una estimación del vector de dirección para cada auto-modalidad, $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) = [\hat{u}_{ap,1,m}(k) \ \hat{u}_{ap,2,m}(k) \ \hat{u}_{ap,3,m}(k) \ \hat{u}_{ap,4,m}(k)]$.

Los pilotos descritos en la presente memoria se pueden implementar de varias formas. Por ejemplo, el procesamiento para los diversos tipos de piloto en el punto de acceso y en el terminal de usuario se puede implementar en hardware, software o en una combinación de los mismos. Para una implementación en hardware, los elementos usados para procesar los pilotos para la transmisión y / o recepción se pueden implementar dentro de uno o más circuitos integrados de aplicación específica (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, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria o una combinación de los mismos.

Para una implementación en software, algunos de los procesamiento para los diversos tipos de piloto (por ejemplo, el procesamiento espacial para una transmisión piloto y / o una estimación de canal en base al piloto recibido) se pueden implementar con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones y otros similares) que realicen las funciones descritas en la presente memoria. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, las unidades 432 y 482 de memoria en la FIG. 4) y ser ejecutados por un procesador (por ejemplo, los controladores 430 y 480). La unidad de memoria se puede implementar dentro del procesador o externamente al procesador, en cuyo caso se puede conectar de forma comunicativa con el procesador mediante diversos medios, como es conocido en la técnica.

Los encabezamientos se incluyen la presente memoria para referencia y para ayudar en la localización de ciertas secciones. Estos encabezamientos no están concebidos para limitar el ámbito de los conceptos descritos en la presente memoria, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones en toda la extensión de la especificación completa.

La descripción previa de las realizaciones reveladas se proporciona para permitir que cualquier persona experta en la técnica haga o use la presente invención. Diversas modificaciones para estas realizaciones serán inmediatamente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en la presente memoria pueden ser aplicados a otras realizaciones, sin apartarse del alcance de la invención, según lo definido en las reivindicaciones. Por tanto, la invención, según lo definido en las reivindicaciones, no está concebida para limitarse a las realizaciones mostradas en la presente memoria, sino que ha de concederle el más amplio ámbito congruente con los principios y características novedosas, revelados en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un terminal (120x) en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que comprende:

5 un procesador espacial (460) de recepción, operativo para procesar un piloto de MIMO recibido desde un punto de acceso por un enlace descendente en el sistema de MIMO, para obtener estimaciones de respuesta de canal para el enlace descendente, en el cual el piloto de MIMO comprende una pluralidad de pilotos ortogonales generados en base a un primer símbolo piloto y una pluralidad de secuencias ortogonales asignadas a una pluralidad de antenas en el punto de acceso, con un piloto ortogonal para cada una entre la pluralidad de antenas;

10 estando el terminal **caracterizado por** un procesador espacial (490) de transmisión, operativo para generar un piloto dirigido, en base a un segundo símbolo piloto y un vector de dirección para un canal espacial, por un enlace ascendente en el sistema de MIMO; y

un controlador (480) operativo para obtener el vector de dirección para el canal espacial en el enlace ascendente, en base a las estimaciones de respuesta de canal obtenidas para el enlace descendente.

15 2. El terminal de la reivindicación 1, en el cual el controlador está operativo para realizar la descomposición de una matriz de respuesta de canal, para las estimaciones de respuesta de canal para el enlace descendente, para obtener el vector de dirección para el canal espacial en el enlace ascendente.

20 3. El terminal de la reivindicación 1, en el cual el sistema de MIMO utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM, en el cual las estimaciones de respuesta de canal se obtienen para cada una de entre una primera pluralidad de subbandas, en base al piloto de MIMO recibido en la primera pluralidad de subbandas, y en el cual el piloto dirigido es generado para cada una de entre una segunda pluralidad de subbandas.

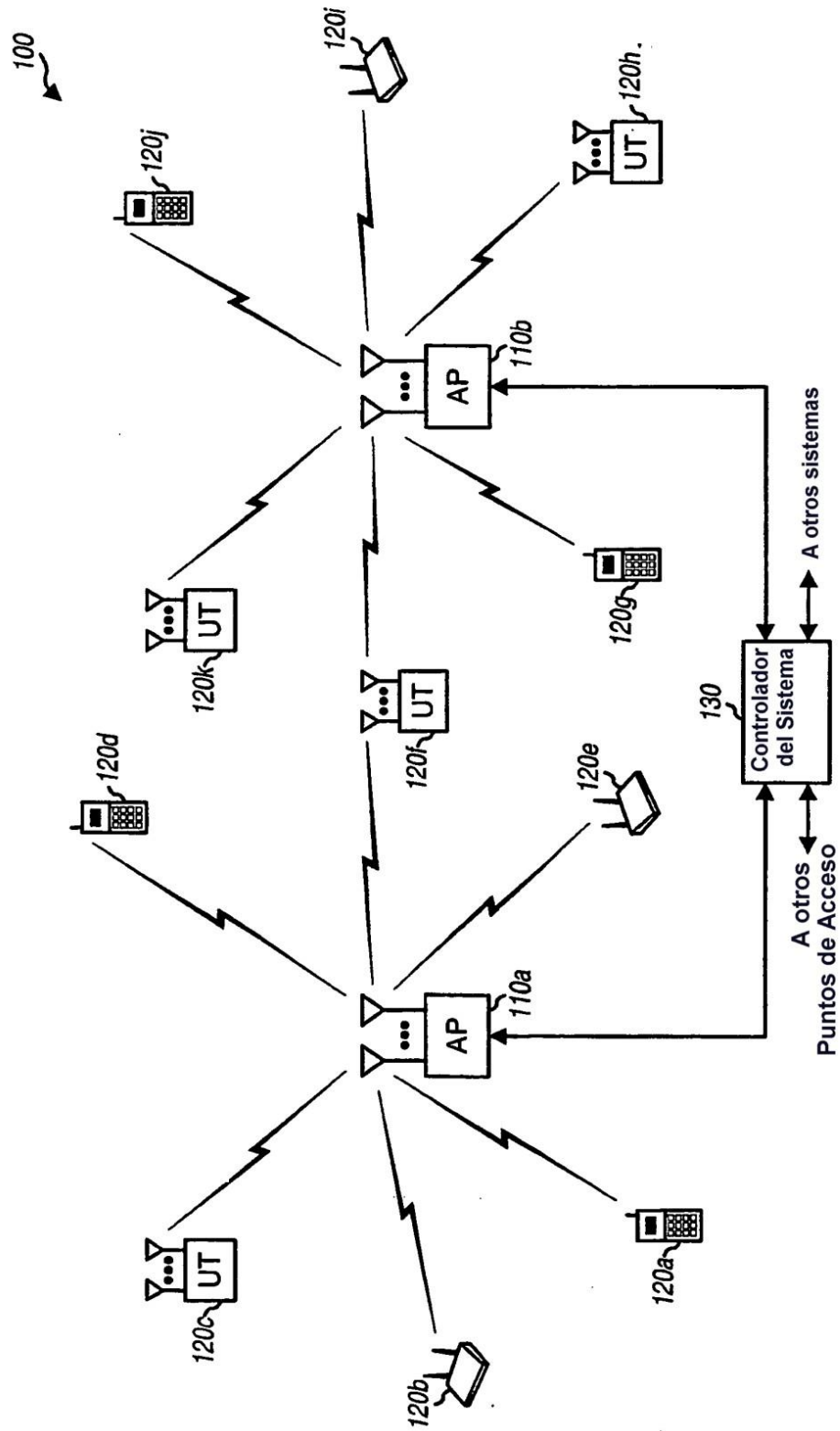


FIG. 1

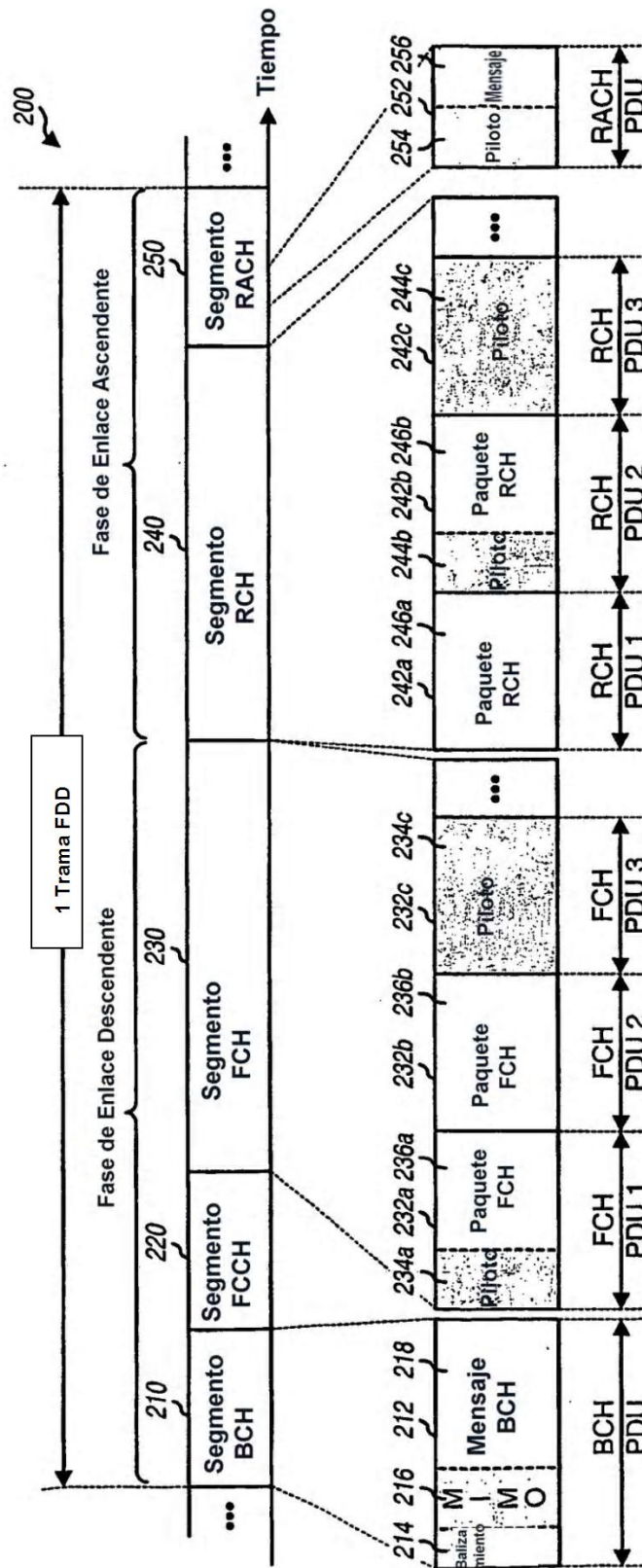
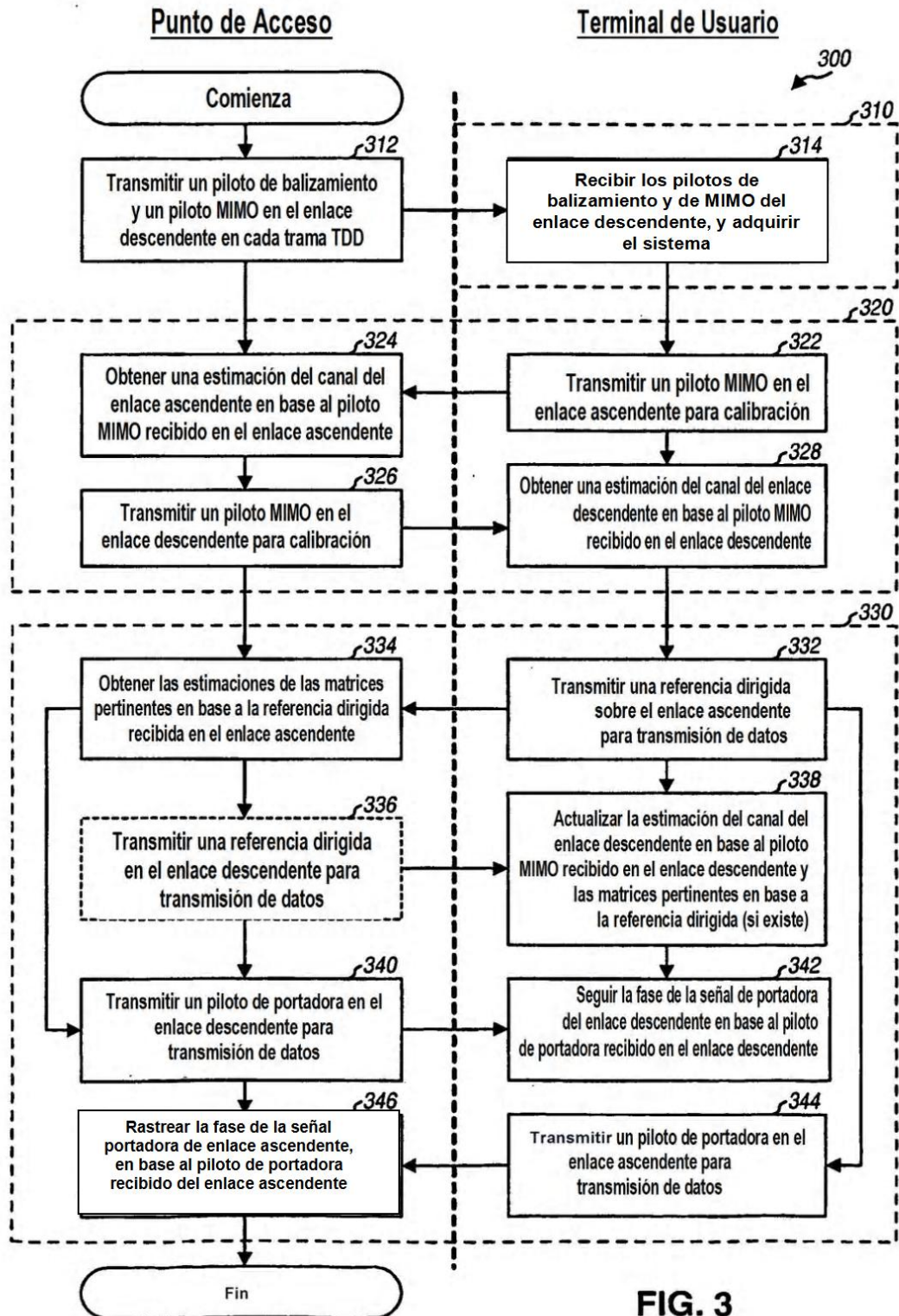


FIG. 2



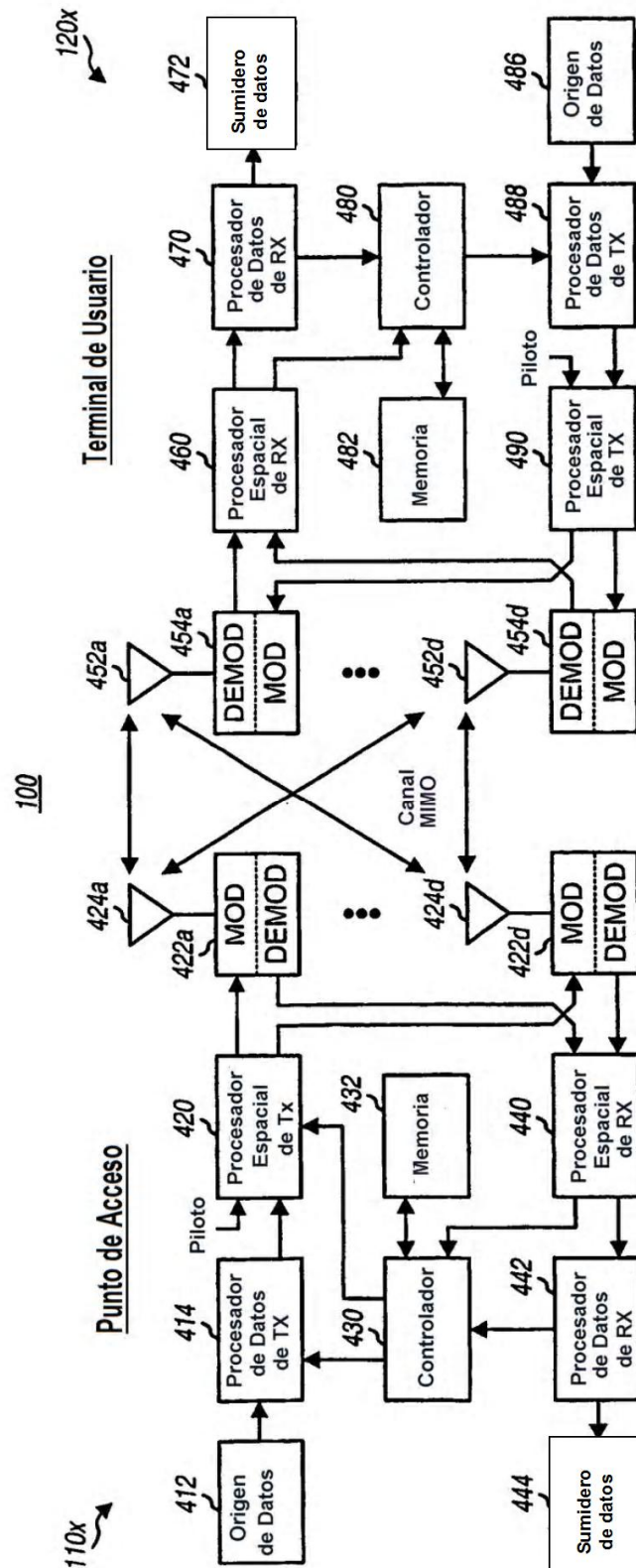


FIG. 4

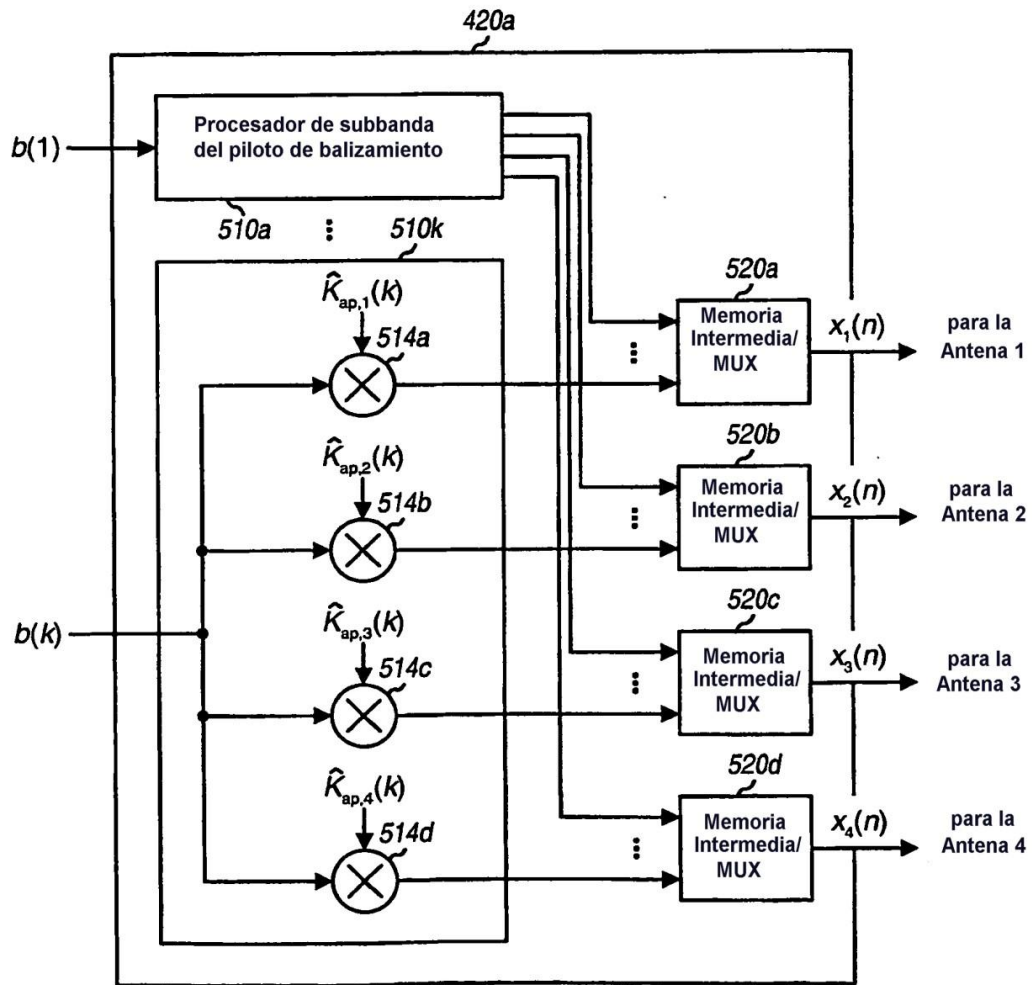


FIG. 5

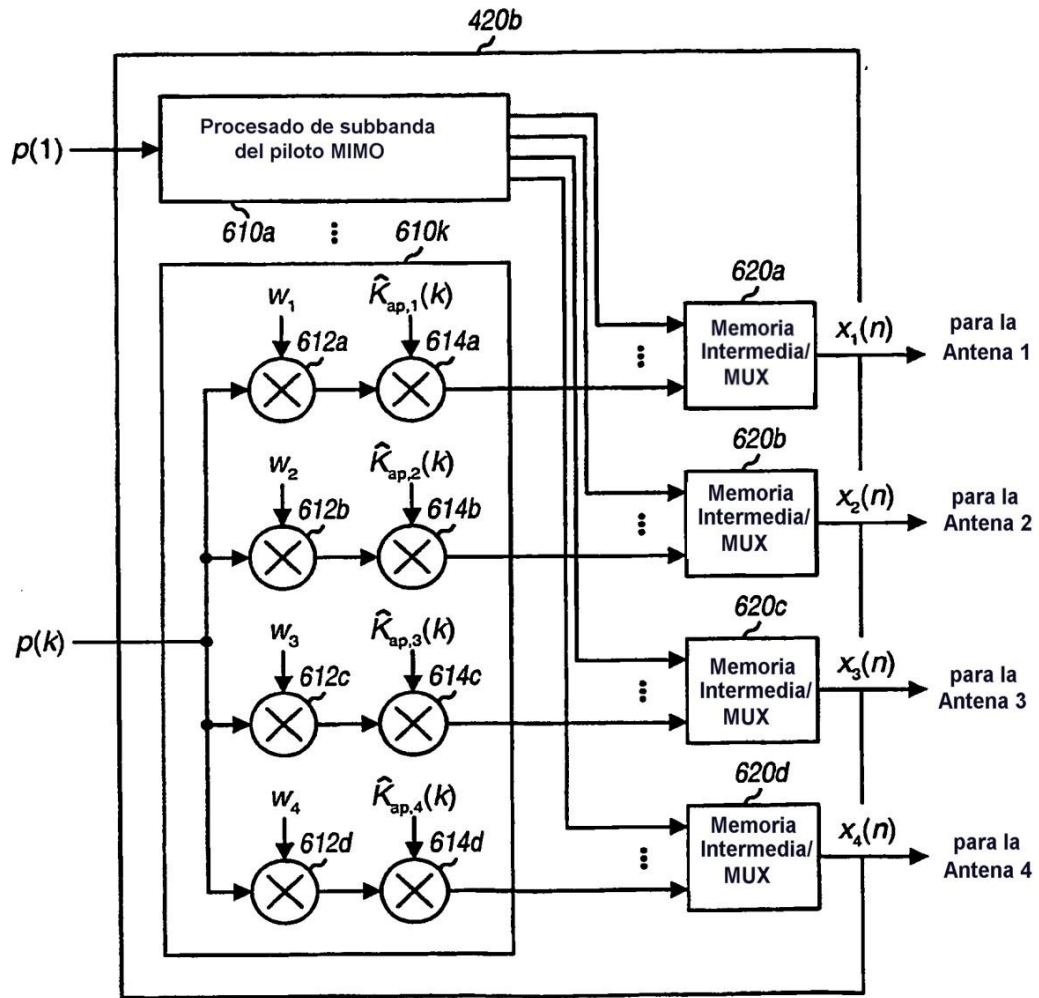
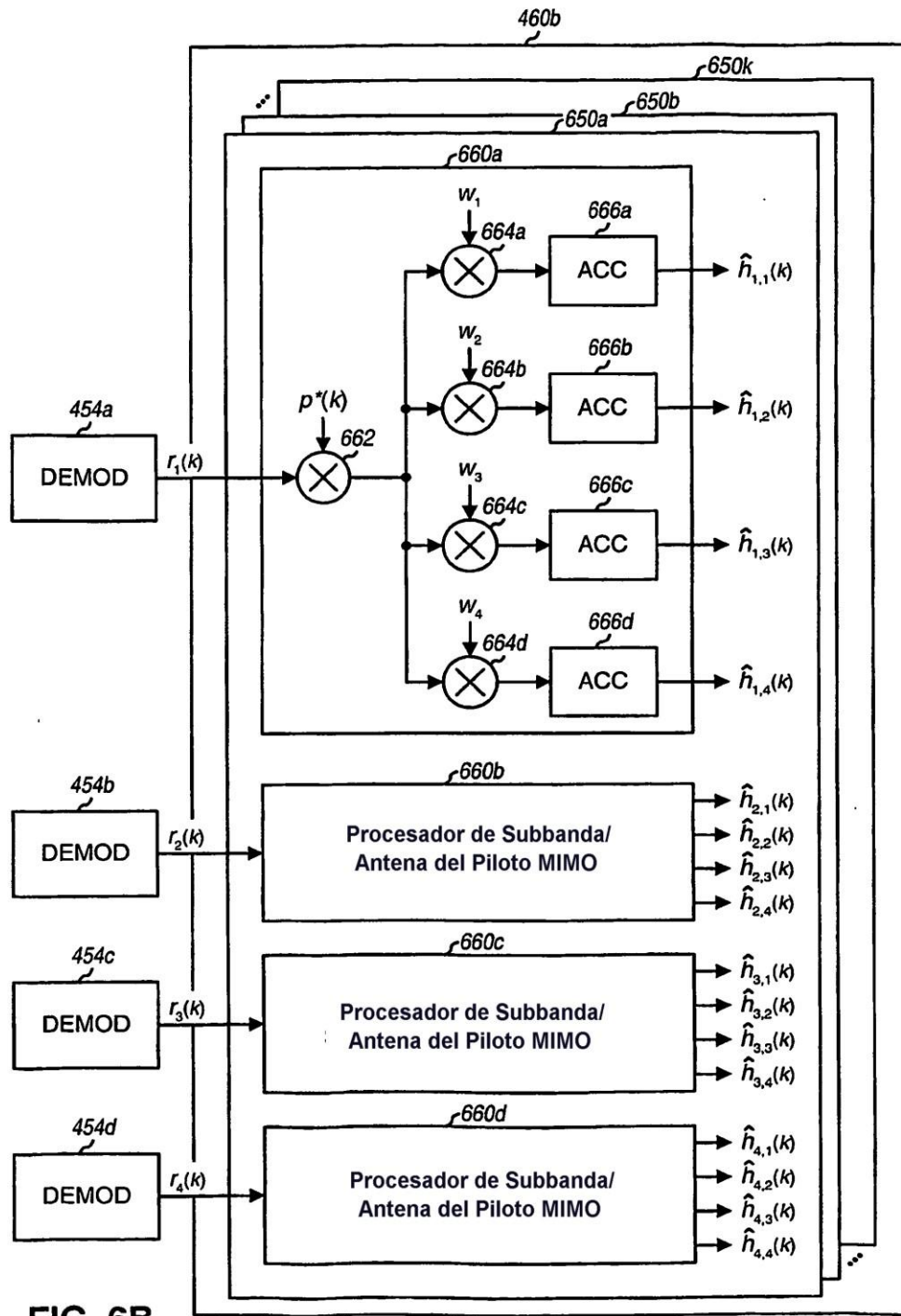


FIG. 6A



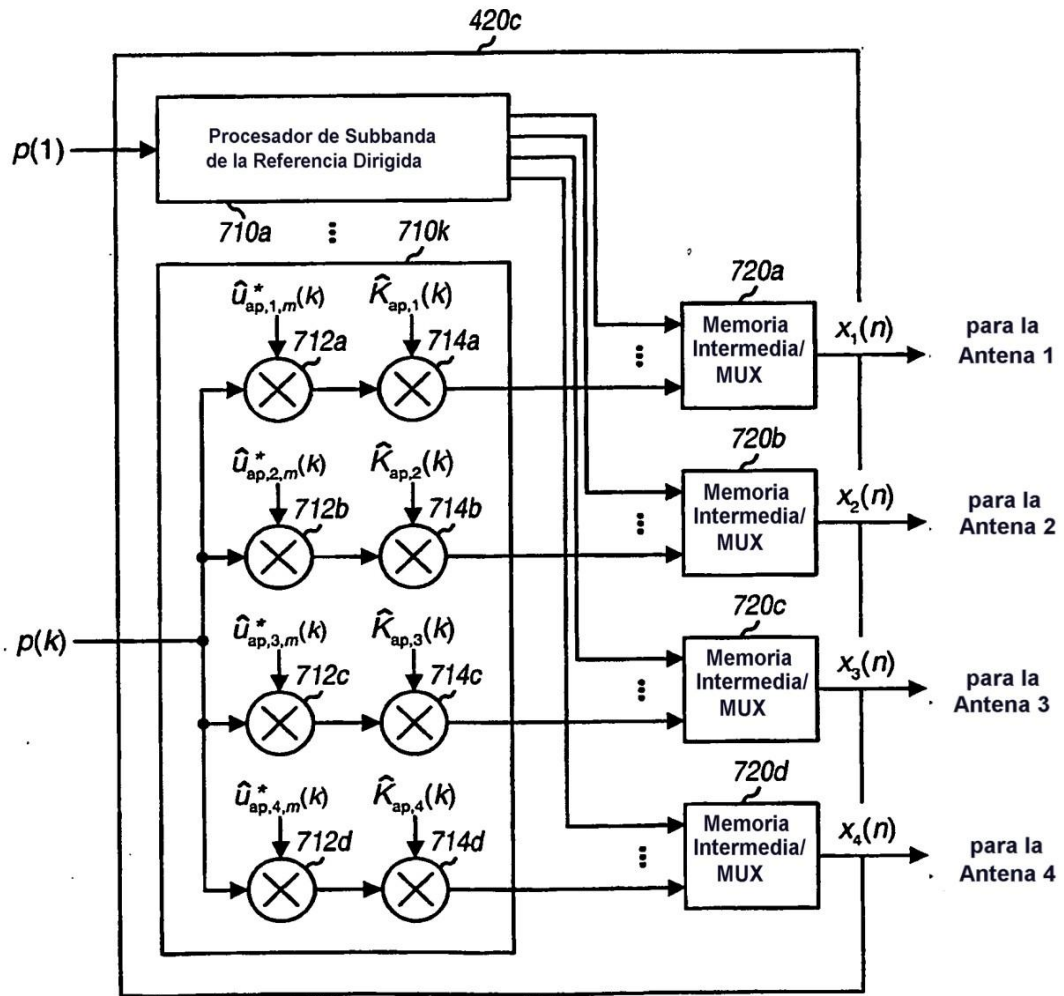


FIG. 7A

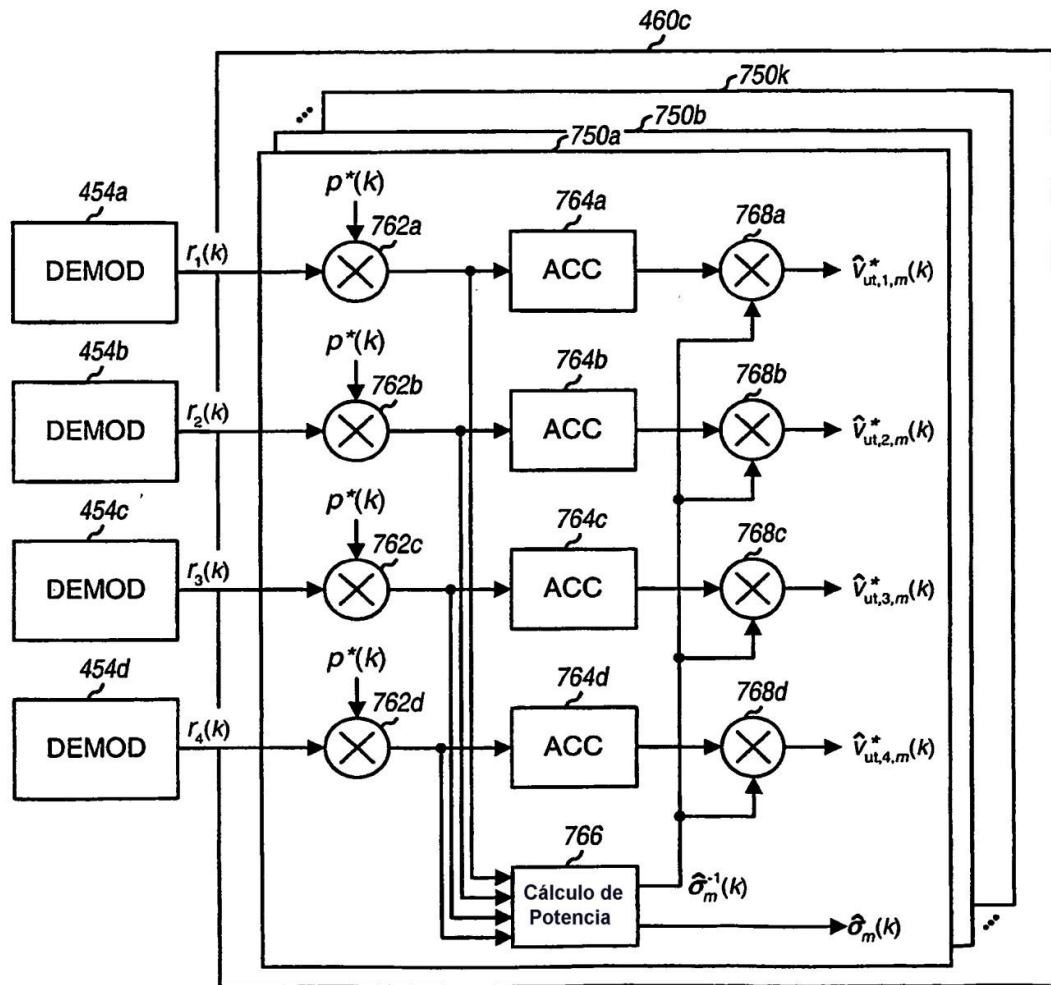


FIG. 7B