

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 460**

51 Int. Cl.:

**H04L 1/06** (2006.01)

**H04L 25/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03781530 .5**

96 Fecha de presentación: **24.10.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1556985**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.07.2005**

54 Título: **PILOTOS PARA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN 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 de la mención BOPI:  
**03.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.01.2012**

73 Titular/es:  
**QUALCOMM, INCORPORATED**  
**5775 MOREHOUSE DRIVE**  
**SAN DIEGO, CA 92121, US**

72 Inventor/es:  
**KETCHUM, John W.;**  
**WALLACE, Mark;**  
**WALTON, Rodney, J. y**  
**HOWARD, Steven J.**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 371 460 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 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 múltiple entrada múltiple salida (MIMO).

**II. Antecedentes**

10 Un sistema MIMO emplea múltiples ( $N_T$ ) antenas transmisoras y múltiples ( $N_R$ ) antenas receptoras para la transmisión de datos. Un canal MIMO formado por las  $N_T$  antenas transmisoras y  $N_R$  receptoras se puede descomponer en  $N_S$  canales independientes, que también se denominan como modos Eigen, 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 MIMO puede proporcionar un rendimiento mejorado (por ejemplo una capacidad de transmisión incrementada y/o una mayor fiabilidad) si se utilizan las dimensionalidades adicionales creadas por las múltiples antenas transmisoras y receptoras.

15 En un sistema de comunicación inalámbrico, los datos a ser transmitidos se modulan primero en una señal portadora de frecuencia de radio (RF) para generar una señal de RF modulada que es más adecuada para la transmisión a través de un canal inalámbrico. En un sistema MIMO se pueden generar 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 a través de un número de trayectorias de propagación en el canal inalámbrico. Las características de las trayectorias de propagación varían típicamente a lo largo del tiempo debido a un número de factores tales como, por ejemplo, el desvanecimiento, el multitrayecto e interferencias externas. En consecuencia, las señales de RF moduladas transmitidas pueden experimentar diferentes condiciones en el canal (por ejemplo diferentes efectos de desvanecimiento y multitrayecto) y pueden estar asociadas con ganancias complejas y relaciones señal a ruido (SNR) diferentes.

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 inalámbricos, 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 típicamente en base a símbolos conocidos y se procesa de una manera conocida. El piloto se puede usar por el receptor para la estimación del canal, adquisición de tiempos y frecuencia, demodulación de datos y otros similares.

35 El documento WO02/15433 (EP 1315311) se refiere a la transmisión de dos pilotos P1 y P2 mutuamente ortogonales desde antenas respectivas y la estimación de la respuesta a impulsos del canal en una estación móvil a partir de los pilotos recibidos.

El documento US 2002/0041635 desvela cómo se transmite un preámbulo de datos a través de una pluralidad de subportadoras usando al menos dos antenas. Cada subportadora está asignada a una antena transmisora y modulada con un código de pseudo ruido que es único para esa antena.

40 El documento WO 01/76110 se refiere al uso de códigos Walsh para generar señales ortogonales representativas de señales pilotos y el uso de estas señales para reducir la interferencia entre enlaces vecinos.

El documento WO 02/01732 se refiere a la asignación de diferentes códigos ortogonales a diferentes antenas transmisoras de modo que la estación remota que recibe las señales transmitidas pueda identificar por separado las señales desde las diferentes antenas.

45 El documento WO 01/97400 se refiere a la transmisión de pilotos distintos en antenas transmisoras separadas, por lo cual cada piloto se hace ortogonal a los otros mediante el uso de códigos Walsh.

El documento WO02/060138 también describe la transmisión de una señal piloto desde una antena, siendo la señal piloto ortogonal a las otras señales piloto transmitidas desde las otras antenas.

50 El documento US2002/0085620 describe la transmisión de diferentes señales de referencia desde diferentes antenas usando secuencias pseudo aleatorias respectivas, permitiendo así a un receptor separar las señales usando las secuencias pseudo aleatorias.

El documento US 2002/0044591 muestra la modulación de dos señales piloto usando varias combinaciones de dos

códigos octagonales (por ejemplo códigos Walsh) y un código aleatorizado y la transmisión desde cuatro antenas.

El documento US 2002/0098872 también se refiere a la transmisión de pilotos ortogonales desde diferentes antenas.

El documento EP 1175022 describe la transmisión de señales piloto ortogonales desde antenas respectivas que usan técnicas de división de tiempo, frecuencia o código.

- 5 Se afrontan varios retos en el diseño de una estructura piloto para un sistema MIMO. Como un factor, la estructura de piloto necesita acometer las dimensionalidades 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 MIMO, es deseable minimizar las transmisiones piloto hasta donde sea posible. Además, si el sistema MIMO es un sistema de acceso múltiple que soporta comunicación con múltiples usuarios, entonces la estructura del piloto necesita diseñarse de modo que los pilotos necesarios para dar soporte a los múltiples usuarios no consuman una gran parte de los recursos disponibles del sistema.
- 10

Por lo tanto hay una necesidad en la técnica de pilotos para sistemas MIMO que respondan a las consideraciones anteriores.

### **Sumario**

- 15 Se proporcionan en el presente documento pilotos adecuados para sistemas MIMO. Estos pilotos pueden soportar varias funciones que pueden ser necesarias para una adecuada operación del sistema, tal como la adquisición de tiempos y frecuencia, estimación del canal, calibración y otros similares.

De acuerdo con la invención, se genera un piloto dirigido como se define por las reivindicaciones adjuntas.

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 serán más evidentes a partir de la descripción detallada establecida a continuación cuando se toma en conjunto con los dibujos en los que los caracteres de referencia similares identifican de modo correspondiente a todo lo largo del documento y en los que:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Descripción detallada**

- 40 La expresión “de ejemplo” se usa en el presente documento para indicar “que sirve como un ejemplo, caso o ilustración”. Cualquier realización o diseño descrito en el presente documento como “de ejemplo” no se ha de interpretar necesariamente como preferida o ventajosa sobre otras realizaciones o diseños.

- La FIG. 1 muestra un sistema MIMO de acceso múltiple 100 que da soporte a un número de usuarios y es capaz de implementar los pilotos descritos en el presente documento. El sistema MIMO 100 incluye un número de puntos de acceso (AP) 110 que soportan la comunicación para un número de terminales de usuario (UT) 120. Por simplicidad, solamente se muestran en la FIG. 1 dos puntos de acceso 110a y 110b. 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 como estación base o usar alguna otra terminología.
- 45

Los terminales de usuario 120 pueden estar dispersos en todo el sistema. Cada terminal de usuario puede ser un terminal fijo o móvil que puede comunicar con el punto de acceso. Un terminal de usuario puede describirse también como un terminal de acceso, una estación móvil, una estación remota, un equipo de usuario (UE), un dispositivo inalámbrico o alguna otra terminología. Cada terminal de usuario puede comunicar con uno o posiblemente múltiples puntos de acceso en el enlace descendente y/o 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 el presente documento, 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 de acceso 110a comunica con los terminales de usuario 120a a 120f y el punto de acceso 110b comunica con los terminales de usuario 120f a 120k. La asignación de terminales de usuario a puntos de acceso se basa típicamente 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 del sistema 130 conecta a los puntos de acceso 110 y puede estar diseñado para realizar un cierto número de funciones tal como (1) la coordinación y control para los puntos de acceso conectados a él, (2) el enrutado 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 el presente documento pilotos adecuados para su uso en sistemas MIMO, tal como el mostrado en la FIG. 1. Estos pilotos pueden soportar varias funciones que pueden ser necesarias para una operación apropiada del sistema, tal como la adquisición de tiempos y frecuencia, estimación del canal, calibración y otros similares. Se puede considerar a los pilotos como de diferentes tipos que se diseñan y usan para diferentes funciones. La Tabla 1 lista cuatro tipos de pilotos y su descripción corta para un diseño de pilotos de ejemplo. Se pueden definir también menos pilotos, diferentes y/o pilotos adicionales.

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 tiempos y frecuencia
Piloto 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 en modos Eigen específicos de un canal 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 piloto en base a cualquier combinación de estos varios tipos de pilotos. Por ejemplo, en el enlace descendente, un punto de acceso puede transmitir un piloto de balizamiento, un piloto MIMO y un piloto de portadora para todos los terminales de usuario dentro de su área de cobertura y puede transmitir opcionalmente 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 acceso puede transmitir un piloto MIMO para 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 el presente documento se pueden usar para varios tipos de sistemas MIMO. Por ejemplo, los pilotos se pueden usar para (1) sistemas MIMO de portadora única, (2) sistemas MIMO de portadora múltiple que emplean multiplexado por división de frecuencia ortogonal (ODFM) o alguna otra técnica de modulación de portadora múltiple, (3) sistemas MIMO que implementan técnicas de acceso múltiple tal como acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de código (CDMA), (4) sistemas MIMO que implementan multiplexado por división de frecuencia (FDM), multiplexado por división de tiempo (TDM) y/o multiplexado por división de código (CDM) para transmisiones de datos, (5) sistemas MIMO que implementan el duplexado por división de tiempo (TDD), duplexado por división de frecuencia (FDD) y/o duplexado por división de código (CDD) para los canales del enlace descendente y ascendente y (6) otros tipos de sistemas MIMO. Por claridad, los pilotos se describen a continuación primero para los sistemas MIMO que

implementan OFDM (es decir un sistema MIMO-OFDM) y a continuación para un sistema MIMO-OFDM de TDD.

El OFDM divide de modo efectivo el ancho de banda del sistema global en un cierto número ( $N_F$ ) de subbandas ortogonales, que se denominan también como tonos, bolsas de frecuencia o subcanales de frecuencia. Con OFDM, cada subbanda se asocia con una subportadora respectiva tras de lo cual se pueden modular los datos. En un sistema MIMO-OFDM, cada subbanda se puede asociar con un cierto número de modos Eigen y cada modo Eigen de cada subbanda se puede ver como un canal de transmisión independiente.

Por claridad, se describe a continuación una estructura de piloto específica para un sistema MIMO-OFDM de ejemplo. En este sistema 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 de -32 a +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  $\{7, 21\}$ ) se pueden usar para un piloto de portadora y posiblemente 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 ello, 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 OFDM se describe con más detalle en la anteriormente mencionada Solicitud de Patente provisional de Estados Unidos N° de Serie 60/421.309. Se pueden implementar también un número diferente de subbandas y otras estructuras de subbandas OFDM para el sistema OFDM-MIMO y esto cae dentro del ámbito de la invención.

En OFDM, los datos a ser transmitidos en cada subbanda utilizable se modulan primero (es decir se mapean los símbolos) usando un esquema de modulación particular (por ejemplo BPSK, QPSK o M-QAM) seleccionado para uso para esa subbanda. Un símbolo de modulación se puede transmitir en cada subbanda utilizable en cada periodo de símbolo. 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 en las subbandas no usadas. Para cada periodo de símbolo OFDM, los símbolos de modulación para 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) se transforman al dominio del tiempo usando una transformada de Fourier rápida inversa (IFFT) para tener 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 como adición de un prefijo cíclico) para formar un símbolo OFDM correspondiente, que se transmite a continuación a través del canal inalámbrico. Un periodo de símbolo OFDM, que se denomina también en el presente documento con un periodo de símbolo, corresponde a la duración del símbolo OFDM.

### **1. Piloto de balizamiento**

El piloto de balizamiento incluye un conjunto específico de símbolos piloto que se transmiten para cada una de las  $N_T$  antenas transmisoras. El mismo conjunto de símbolos piloto se transmite para los  $N_B$  periodos de símbolo designados para la transmisión de pilotos de balizamiento. En general,  $N_B$  puede ser cualquier valor entero igual a uno o mayor.

En un ejemplo, 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 como un símbolo OFDM "B". Los 12 símbolos de modulación BPSK para los símbolos OFDM B se dan en la Tabla 2. Los valores de señal de cero se transmiten en las restantes 52 subbandas no utilizadas.

Tabla 2 -Símbolos piloto

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

En el ejemplo 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 del piloto de balizamiento.

5 El símbolo OFDM B se diseña para facilitar la adquisición de tiempos y frecuencias del sistema por los terminales de usuario. En el ejemplo del símbolo OFDM B descrito anteriormente, solamente se usan 12 de las 64 subbandas  
 10 totales y estas subbandas están separadas 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 de frecuencia grueso inicial y corregir su frecuencia de modo que la deriva de fase en toda la duración del piloto de balizamiento sea pequeña (por ejemplo menos de 45 grados a lo largo de la  
 15 duración del piloto de balizamiento a una velocidad de muestreo de 20 MHz). Si la duración del piloto de balizamiento es de 8  $\mu$ s, entonces los 45 grados (o menos) de deriva de fase a lo largo de los 8  $\mu$ s es igual a 360 grados durante 64  $\mu$ s, que es aproximadamente 16 kHz.

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

En general, el conjunto de símbolos piloto usados para el piloto de balizamiento se puede deducir usando cualquier esquema de modulación. Así, se pueden usar también otros símbolos OFDM deducidos usando BPSK o algún otro esquema de modulación para el piloto de balizamiento.

25 En un diseño de ejemplo, están disponibles cuatro antenas transmisoras para la transmisión del piloto de balizamiento. La Tabla 4 lista los símbolos OFDM a ser transmitidos desde cada una de las cuatro antenas transmisoras para la transmisión del piloto de balizamiento que se extiende dos periodos de símbolo.

Tabla 3 - Piloto de balizamiento

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

30 **2. Piloto MIMO**

El piloto MIMO incluye un conjunto específico de símbolos piloto que se transmiten 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 símbolo designados para la transmisión del piloto MIMO. Sin embargo, el conjunto de símbolos piloto para cada antena transmisora se “cubre” con una única secuencia ortogonal o código asignado a esa antena. La  
 35 cobertura es un proceso mediante el que un piloto dado o símbolo de datos (o un conjunto de L pilotos/símbolos de datos con el mismo valor) a ser transmitidos 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 tener una estimación del piloto o símbolos de datos transmitidos. 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 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.

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

50 Los 52 símbolos de modulación QPSK forman una única “palabra” que se diseña para facilitar la estimación de canal por los terminales de usuario. Esta palabra única se selecciona para tener una variación de pico a promedio mínima en la forma de onda generada en base a estos 52 símbolos de modulación.

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

Un símbolo OFDM con una variación pico a promedio mínima se puede obtener de varias maneras. Por ejemplo, se puede realizar una búsqueda aleatoria en la que se forman aleatoriamente un gran número de conjuntos de símbolos pilotos formados y evaluados para encontrar el conjunto que tenga la mínima variación pico a promedio. El símbolo OFDM P mostrado en la Tabla 2 representa un símbolo OFDM de ejemplo que se puede usar para el piloto MIMO. En general, el conjunto de símbolos piloto usados para el piloto MIMO se puede deducir usando cualquier esquema de modulación. Por ello, se pueden usar varios otros símbolos OFDM deducidos usando QPSK o cualquier otro esquema de modulación para el piloto MIMO.

Se pueden usar varios códigos ortogonales para cubrir los símbolos OFDM P enviados a través de las  $N_T$  antenas transmisoras. Ejemplos de tales códigos ortogonales incluyen los códigos Walsh y los códigos de factor de dispersión variable ortogonal (OVSVF). Se pueden usar también códigos pseudo ortogonales o códigos cuasi ortogonales para cubrir los símbolos OFDM P. Un ejemplo de un código pseudo 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 la IS-2000. En general, se pueden usar varios tipos de códigos para la cobertura, algunos de los cuales se han indicado anteriormente. Por simplicidad, la expresión "código ortogonal" se usa en el presente documento para referirse genéricamente a cualquier tipo de código adecuado para su uso para 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 están disponibles L códigos ortogonales para su uso. Cada antena transmisora tiene asignado un único código ortogonal. Los  $N_P$  símbolos OFDM P a ser enviados en los  $N_P$  periodos de símbolo desde cada antena transmisora se cubren con el código ortogonal asignado a esa antena transmisora.

En un ejemplo, están disponibles cuatro antenas transmisoras y se asignan 4 secuencias Walsh de 4 chips de  $W_1 = 1111$ ,  $W_2 = 1010$ ,  $W_3 = 1100$  y  $W_4 = 1001$  para el piloto MIMO. Para una secuencia Walsh dada, un valor de "1" indica que se transmite un símbolo OFDM P y un valor de "0" indica que se transmite un símbolo OFDM -P. En un símbolo OFDM -P, se invierte (es decir multiplicado por -1) cada uno de los 52 símbolos de modulación QPSK en el símbolo OFDM P. El resultado de la cobertura para cada antena transmisora es una secuencia de símbolos OFDM P 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 OFDM P cubiertos.

La Tabla 4 lista los símbolos OFDM a ser transmitidos desde cada una de las cuatro antenas transmisoras para una transmisión de piloto MIMO que se extiende durante cuatro periodos de símbolo.

Tabla 4 - Piloto MIMO

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

El canal inalámbrico para el sistema MIMO-OFDM se puede caracterizar por un conjunto de paquetes de respuesta de canal  $\mathbf{H}(k)$ , para cada índice de subbanda  $k \in K$ , en la que  $K = \pm\{1 \dots 26\}$  para la estructura de subbanda de ejemplo descrita anteriormente. La matriz  $\mathbf{H}(k)$  para cada subbanda incluye  $N_T N_R$  valores,  $\{h_{i,j}(k)\}$ , para  $i \in \{1 \dots N_R\}$  y

$j \in \{1 \dots N_T\}$ , en los que  $h_{i,j}(k)$  representa la ganancia de canal entre la  $j$ -ésima antena transmisora y la  $i$ -ésima antena receptora.

El piloto MIMO se puede usar por el receptor para estimar la respuesta del canal inalámbrico. En particular, para recuperar el piloto enviado desde la antena transmisora  $j$  y recibido mediante la antena receptora  $i$ , los símbolos OFDM recibidos en la antena  $i$  se multiplican primero por la secuencia Walsh asignada a la antena transmisora  $j$ . Los símbolos OFDM “descubiertos” para todos los  $N_P$  periodos de símbolo para el piloto MIMO se acumulan a continuación, en el que la acumulación se puede realizar individualmente para cada una de las 52 subbandas utilizables. La acumulación se puede realizar también en el dominio del tiempo en los símbolos OFDM recibidos (tras la eliminación del prefijo cíclico en cada símbolo OFDM). La acumulación se realiza en una forma muestra por muestra a través de los múltiples símbolos OFDM recibidos, en donde las muestras para cada símbolo OFDM corresponden a diferentes subbandas si la acumulación se realiza después de la FFT y para diferentes índices de tiempo si la acumulación se realiza previamente a la FFT. El resultado de la acumulación es  $\{\hat{h}_{i,j}(k)\}$ , 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, en los que los valores complejos son elementos de la matriz  $\hat{\mathbf{H}}(k)$  de la estimación de la respuesta del canal para esa subbanda.

El procesamiento del piloto descrito anteriormente se puede realizar por el punto de acceso para obtener la estimación de la respuesta del canal  $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$  para el enlace ascendente y se puede realizar también 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 el sistema MIMO-OFDM, la matriz de respuesta del canal  $\mathbf{H}(k)$  para cada subbanda se puede diagonalizar para obtener los  $N_S$  modos Eigen para esa subbanda, en el que  $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ . Esto se puede conseguir mediante la realización o bien de una descomposición del valor singular en la matriz de respuesta del canal o bien la descomposición del valor Eigen sobre la matriz de correlación de  $\mathbf{H}(k)$ , que es  $\mathbf{R}(k) = \mathbf{H}^H(k) \mathbf{H}(k)$ . Por claridad, se usa para la descripción siguiente la descomposición del valor singular.

La descomposición del valor singular de la matriz de respuesta del canal  $\mathbf{H}(k)$  se puede expresar como:

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

en la que  $\mathbf{U}(k)$  es una matriz unitaria ( $N_R \times N_R$ ) de los vectores Eigen izquierdos de  $\mathbf{H}(k)$ ;  
 $\mathbf{\Sigma}(k)$  es una matriz diagonal ( $N_R \times N_T$ ) de valores singulares de  $\mathbf{H}(k)$ ;  
 $\mathbf{V}(k)$  es una matriz unitaria ( $N_T \times N_T$ ) de los vectores Eigen derechos de  $\mathbf{H}(k)$  y  
<sup>“tr”</sup> indica la conjugada transpuesta.

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

La descomposición del valor singular se describe con más detalle por Gilbert Strang en un libro titulado “Linear Algebra and Its Applications”, segunda edición, Academic Press, 1980. Un modo Eigen normalmente se refiere a una construcción teórica. El canal MIMO se puede ver también como incluyendo  $N_S$  canales espaciales que se pueden usar para la transmisión de datos/piloto. Cada canal espacial puede o no corresponder a un modo Eigen, dependiendo de si tuvo éxito o no el procesamiento espacial en el transmisor en la diagonalización del canal MIMO. Por ejemplo, las transmisiones continuas de datos se transmiten en canales espaciales (y no en modos Eigen) de un canal MIMO si el transmisor no tiene conocimiento de una estimación imperfecta del canal MIMO. Por simplicidad, la expresión “modo Eigen” se usa también en el presente documento para indicar el caso en el que se realiza un intento de diagonalizar el canal MIMO, incluso 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 todo lo largo de la diagonal y ceros en todos los otros lugares. Estas entradas diagonales se refieren como valores singulares de  $\mathbf{H}(k)$  y representan las ganancias para los canales independientes (o modos Eigen) del canal MIMO para la  $k$ -ésima subbanda.

La descomposición del valor Eigen se puede realizar independientemente para la matriz de respuesta del canal  $\mathbf{H}(k)$  de cada una de las 52 subbandas utilizables para determinar los  $N_S$  modos Eigen para la subbanda. Los valores singulares para cada matriz diagonal  $\mathbf{\Sigma}(k)$  se pueden ordenar de modo que  $\{\sigma_1(k) \geq \sigma_2(k) \geq \dots \geq \sigma_{N_S}(k)\}$ , en la que  $\sigma_1(k)$  es el valor singular más grande,  $\sigma_2(k)$  es el segundo valor singular más grande, y así sucesivamente, y  $\sigma_{N_S}(k)$  es el valor singular más pequeño para la  $k$ -ésima subbanda. Cuando los valores singulares para cada matriz diagonal  $\mathbf{\Sigma}(k)$  se ordenan, los valores Eigen (o columnas) de las matrices asociadas  $\mathbf{U}(k)$  y  $\mathbf{V}(k)$  se ordenan también correspondientemente. Después de la ordenación,  $\sigma_1(k)$  representa el valor singular para el valor Eigen mejor para la



Los valores de “1” y “-1” en la secuencia piloto  $P_{c1}(n)$  se pueden mapear a símbolos piloto usando un esquema de modulación particular. Por ejemplo, usando BPSK, un “1” se pueden mapear a  $1+j$  y un “-1” se pueden mapear a  $-(1+j)$ . Si hay más de 127 símbolos OFDM, entonces la secuencia piloto se puede repetir de modo que  $P_{c1}(n) = P_{c1}(n \bmod 127)$  para  $n > 127$ .

- 5 En un ejemplo, las cuatro secuencias piloto  $P_{c1}(n)$ ,  $P_{c3}(n)$ ,  $P_{c2}(n)$  y  $P_{c4}(n)$  se transmiten en cuatro pares subbanda/antena diferentes. La Tabla 5 muestra una asignación de ejemplo de las cuatro secuencias piloto a las cuatro subbandas piloto y cuatro antenas transmisoras.

Tabla 5 – Piloto de portadora

Subbanda	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
-21	$P_{c1}(n)$	-	-	-
-7	-	$P_{c2}(n)$	-	-
7	-	-	$P_{c3}(n)$	-
21	-	-	-	$P_{c4}(n)$

- 10 Como se muestra en la tabla 5, la secuencia piloto  $P_{c1}(n)$  se transmite en la subbanda -21 de la antena 1, la secuencia piloto  $P_{c2}(n)$  se transmite en la subbanda -7 de la antena 2, la secuencia piloto  $P_{c3}(n)$  se transmite en la subbanda 7 de la antena 3 y la secuencia piloto  $P_{c4}(n)$  se transmite en la subbanda 21 de la antena 4. Cada secuencia piloto se transmite así en una única subbanda y una única antena. Este esquema de transmisión del piloto de portadora en el modo Eigen principal, se usa el vector de dirección  $\underline{v}_1(k)$  para el procesamiento espacial. Por ello, la secuencia piloto  $P_{c1}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(-26)$ , la secuencia piloto  $P_{c2}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(-7)$ , la secuencia piloto  $P_{c3}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(7)$  y la secuencia piloto  $P_{c4}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(26)$ .
- 15 antenas transmisoras en una subbanda nada.

En otro ejemplo, las cuatro secuencias piloto se transmiten en el modo Eigen principal de sus subbandas asignadas. El procesamiento espacial para los símbolos piloto de portadora es similar al procesamiento espacial para la referencia dirigida, que se ha escrito anteriormente y se muestra en la Ecuación (2). Para transmitir el piloto de portadora en el modo Eigen principal, se usa el vector de dirección  $\underline{v}_1(k)$  para el procesamiento espacial. Por ello, la secuencia piloto  $P_{c1}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(-26)$ , la secuencia piloto  $P_{c2}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(-7)$ , la secuencia piloto  $P_{c3}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(7)$  y la secuencia piloto  $P_{c4}(n)$  se procesa espacialmente con el vector de dirección  $\underline{v}_1(26)$ .

20 **II. Pilotos para sistemas MIMO de portadora única**

- Los pilotos descritos en el presente documento se pueden usar también para sistemas MIMO de portadora única que no emplean OFDM. En tal caso, aún es aplicable la mayor parte de la descripción anterior pero sin el índice de subbanda k. Para el piloto de balizamiento, se puede transmitir un símbolo piloto b de modulación específico para cada una de las  $N_T$  antenas transmisoras. Para el piloto MIMO, se puede cubrir un símbolo piloto p de modulación específico con  $N_T$  secuencias ortogonales y transmitidas desde las  $N_T$  antenas transmisoras. El símbolo piloto b puede ser el mismo o diferente del símbolo piloto p. La referencia dirigida se puede transmitir como se muestra en la ecuación (2). Sin embargo, el vector de transmisión  $\underline{x}_m$ , el vector de dirección  $\underline{v}_m$  y el símbolo piloto p no son funciones del índice de subbanda k. El piloto de portadora se puede transmitir en una forma multiplexada por división de tiempo o se puede simplemente omitir.
- 25
- 30

- Para un sistema MIMO-OFDM, el prefijo cíclico se usa típicamente para asegurar la ortogonalidad a través de las subbandas en presencia de un retardo extendido en el sistema y los códigos ortogonales permiten la identificación de las antenas transmisoras individuales. Para un sistema MIMO de portadora única, los códigos ortogonales se basan tanto en la ortogonalidad como en la identificación de la antena. Por ello, los códigos ortogonales usados para cubrir los símbolos piloto en un sistema MIMO de portadora única se pueden seleccionar para tener unas buenas propiedades de correlación cruzada y de pico a lóbulo lateral (es decir la correlación entre cualquiera de dos secuencias ortogonales usadas para la cobertura es pequeña en presencia de la dispersión de retardo en el sistema). Un ejemplo de tal código ortogonal con unas 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 MIMO de portadora única.
- 35
- 40

- Para un sistema 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 es plana a través de la banda de operación). Se describen a continuación varios esquemas para la transmisión de una referencia dirigida en un sistema MIMO de portadora única de banda ancha. En general, un transmisor puede transmitir una forma de onda de referencia que se procesa en la misma o similar manera que el procesamiento usado para transmitir datos de tráfico en modos Eigen de banda ancha específicos. El receptor puede a continuación correlacionar de alguna manera la forma de onda recibida contra una copia generada localmente de la forma de onda de referencia transmitida y extraer información acerca del canal que permita al receptor estimar un filtro
- 45
- 50

ajustado al canal.

En un primer esquema, un transmisor obtiene inicialmente un vector de dirección  $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$  para un modo Eigen. El vector de dirección  $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$  se puede obtener mediante la transmisión de símbolos piloto OFDM periódicamente, mediante la realización de análisis en el dominio de la frecuencia en un piloto MIMO recibido que se ha transmitido sin OFDM o mediante algunos otros medios. Para cada valor de  $k$ , en el que  $1 \leq k \leq N_F$ ,  $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$  es un vector  $N_T$  con  $N_T$  entradas para  $N_T$  antenas transmisoras. El transmisor realiza a continuación una transformada de Fourier rápida inversa y cada una de las  $N_T$  posiciones de vector del vector de dirección  $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ , con  $k$  como la frecuencia variable en el cálculo IFFT, para tener un pulso en el dominio del tiempo correspondiente para una antena de transmisión asociada. Cada posición de vector del vector  $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$  incluye  $N_F$  valores de las  $N_F$  subbandas de frecuencia y el pulso en el dominio del tiempo correspondiente 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 tener un pulso de referencia dirigido para la antena transmisora. Se genera un conjunto de  $N_T$  pulsos de referencia dirigidos para cada modo Eigen y 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 modos Eigen y se pueden transmitir en una forma TDM.

Para el primer esquema, un receptor muestrea la señal recibida para tener vector recibido  $\underline{\mathbf{r}}_m(n)$ , elimina el prefijo cíclico, y realiza una transformada de Fourier rápida en cada posición de vector del vector  $\underline{\mathbf{r}}_m(n)$  recibido para obtener una estimación de una entrada correspondiente de  $\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{v}}_m(k)$ . Cada posición de vector del vector  $\underline{\mathbf{r}}_m(n)$  recibido (después de la eliminación del prefijo cíclico) incluye  $N_F$  muestras en el dominio del tiempo. El receptor usa a continuación la estimación de  $\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{v}}_m(k)$  para sintetizar un filtro ajustado en el dominio del tiempo que se puede usar para filtrar una transmisión de datos recibida. Los filtros ajustados en el dominio del tiempo incluyen un pulso de filtro ajustado para cada una de las antenas receptoras. La síntesis de filtros ajustados en el dominio del tiempo se describe en la Solicitud de Patente de Estados Unidos asignada en común N° de Serie 10/017.308 titulada "Time-Domain Transmit and Receive Processing with Channel Eigen-mode Decomposition for MIMO Systems", presentada el 7 de diciembre de 2001.

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

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

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

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

La FIG. 2 muestra un ejemplo de una estructura de trama 200 que se puede usar para un sistema MIMO-OFDM de TDD. La transmisión de datos ocurre en unidades de tramas TDD, cada una de las cuales se extiende en una duración de tiempo particular (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 el ejemplo mostrado 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 el ejemplo mostrado 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 del BCH 210 para transmitir una unidad de datos de protocolo BCH (PDU) 212, que incluye una parte 214 para un piloto de balizamiento, una parte 216 para un piloto MIMO y una parte 218 para un mensaje BCH. El mensaje BCH transporta parámetros del sistema para los terminales de usuario en el sistema. Se usa un segmento del FCCH 210 para transmitir una PDU FCCH, que transporte asignaciones para los recursos del enlace descendente y del enlace ascendente y otras señalizaciones para los terminales de usuario. Se usa un segmento FCH 230 para transmitir una o más PDU FCH 232. Se pueden definir diferentes tipos de PDU FCH. Por ejemplo, una PDU FCH 232a incluye una parte 234a para un piloto y una parte 236a para un paquete de datos. Una PDU FCH 232b incluye una parte única 236b para un paquete de datos. Una PDU FCH 232c incluye una

parte única 234c para un piloto.

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

En el ejemplo mostrado en la FIG. 2, los pilotos de balizamiento y MIMO se envían en el enlace descendente en cada trama TDD en el segmento BCH. Un piloto puede o no ser enviado en cualquier PDU FCH/RCH dada. Si se envía el piloto, entonces se puede extender a la totalidad o sólo una parte de la PDU, como se muestra la FIG. 2. Se envía un piloto en una PDU RACH para permitir al punto de acceso estimar los vectores pertinentes durante el acceso. La parte de piloto se denomina también como un “preámbulo”. El piloto que se envía en cualquier PDU FCH/RCH dada puede ser una referencia dirigida o un piloto MIMO, dependiendo de la finalidad para la que se usa el piloto. El piloto enviado en una PDU RACH es típicamente una referencia dirigida, aunque se puede enviar en su lugar también un piloto 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 por simplicidad. Las duraciones de las varias partes en la FIG. 2 no están dibujadas a escala.

La estructura de trama y canales de transporte mostrados en la FIG. 2 se describe con detalle en la anteriormente mencionada Solicitud de Patente de Estados Unidos provisional N° de Serie 60/421.309.

### 1. Calibración

Para un sistema MIMO-OFDM de TDD con una banda de frecuencia compartida, la respuesta en el canal del enlace descendente y del enlace ascendente se puede suponer que son recíprocas entre sí. Esto es, si  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  representa una matriz de respuesta del canal desde una matriz de antenas A a una matriz de antenas B para la subbanda  $k$ , entonces un canal recíproco implica que el acoplamiento desde la matriz B a la matriz A viene dado por  $\underline{\mathbf{H}}^T(k)$ , en el que  $\underline{\mathbf{H}}^T$  indica la transpuesta de  $\underline{\mathbf{H}}$ . En el sistema MIMO-OFDM de TDD se pueden explotar las características del canal recíproco para simplificar la estimación de canal y 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 típicamente diferentes de la respuesta de frecuencia de las cadenas de transmisión y recepción en el terminal de usuario. Una respuesta del canal del enlace descendente “efectiva”,  $\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ , y una respuesta de la cadena de canal del enlace ascendente “efectiva”,  $\underline{\mathbf{H}}_{up}(k)$ , que incluye las respuestas de las cadenas de transmisión y recepción aplicables, se puede expresar como:

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

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

en las que  $\underline{\mathbf{I}}_{ap}(k)$  y  $\underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)$  son matrices diagonales  $N_{ap} \times N_{ap}$  para las respuestas de frecuencia de la cadena de transmisión y la cadena de recepción, respectivamente, en el punto de acceso para la subbanda  $k$ ,  $\underline{\mathbf{I}}_{ut}(k)$  y  $\underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$  son matrices diagonales  $N_{ut} \times N_{ut}$  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 de ecuaciones (4), se obtiene lo siguiente:

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

en la que  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = \underline{\mathbf{I}}_{ut}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$  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.

Se puede realizar una calibración para tener las estimaciones,  $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ap}(k)$  y  $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}(k)$  de las matrices diagonales reales,  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ , para  $k \in K$ . Las matrices  $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ap}(k)$  y  $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}(k)$  contienen factores de corrección de error que pueden tener en cuenta 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 del canal de enlace ascendente calibrada,  $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ , observada por el terminal de usuario y una respuesta del canal de enlace ascendente calibrada,  $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ , observada por el punto de acceso se pueden expresar entonces como:

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

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

$$\mathbf{H}_{odn}(k) \approx \mathbf{H}_{cup}^{-1}(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (6c)}$$

La precisión de la relación en la ecuación (6c) depende de la precisión de las matrices de corrección,  $\mathbf{K}_{ap}(k)$  y  $\mathbf{K}_{ut}(k)$ , que a su vez depende de la calidad de las estimaciones de la respuesta de canal del enlace descendente y del enlace ascendente efectivas,  $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$  y  $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$ , usadas para deducir estas matrices de corrección. Se puede definir un vector de corrección  $\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$  para incluir solamente los  $N_{ut}$  elementos diagonales de  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ , y se puede definir un vector de corrección  $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$  para incluir solamente los  $N_{ap}$  elementos diagonales de  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ . La calibración se describe en detalle en la anteriormente mencionada Solicitud de Patente de Estados Unidos N° de Serie 60/421.462.

Los pilotos descritos en el presente documento se pueden usar también para sistemas MIMO y MIMO-OFDM que no realicen la calibración. Por claridad, la descripción siguiente supone que se realizará la calibración y que se usan las matrices de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  y  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$  en los trayectos de transmisión en el punto de acceso y en el terminal de usuario, respectivamente.

## 2. Pilotos de balizamiento y MIMO

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

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

Tabla 6 - Pilotos de balizamiento y MIMO para BCH

Tipo de Piloto	Periodo de símbolo	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Piloto de balizamiento	1	B	B	B	B
	2	B	B	B	B
Piloto 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:

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

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

$b(k)$  es el símbolo piloto a ser transmitido 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 se escala mediante el vector de corrección  $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$  pero no está sometido a ningún otro procesamiento espacial.

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

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

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

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

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

Como se muestra en la ecuación (8), el piloto MIMO se cubre por el vector  $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$  y se escala adicionalmente por la matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ , pero no se somete a ningún otro procesamiento espacial. Se usa el mismo vector 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 de subbanda  $k$ . Sin embargo, dado que cada secuencia Walsh es una única secuencia de 4 chips Walsh para los 4 periodos de símbolo,  $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$  es una función del periodo de símbolo  $n$ . El vector  $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$  incluye por ello  $N_{\text{ap}}$  chips Walsh a ser usados para las  $N_{\text{ap}}$  antenas transmisoras en el punto de acceso durante el periodo de símbolo  $n$ . 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 símbolo de la transmisión piloto MIMO en 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 símbolo 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 MIMO transmitido en el enlace ascendente se puede expresar como:

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

en la que  $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up,mp},n}(k)$  es un vector de transmisión ( $N_{\text{ut}} \times 1$ ) para la subbanda  $k$  en el periodo de símbolo  $n$  para el piloto MIMO del enlace ascendente. El vector Walsh  $\underline{\mathbf{w}}_{\text{up},n}$  usado para el piloto MIMO del enlace ascendente puede ser el mismo o diferente del vector Walsh  $\underline{\mathbf{w}}_{\text{dn},n}$  usado para el piloto 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 Walsh con una longitud de 2 o superior.

### 3. Procesamiento espacial

25 Como se ha descrito anteriormente, la matriz de respuesta del canal para cada subbanda se puede diagonalizar para obtener los  $N_S$  modos Eigen para esa subbanda. La descomposición del valor singular de la matriz de respuesta del canal del enlace ascendente calibrada,  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ , se puede expresar como:

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

en la que  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  es una matriz unitaria ( $N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}}$ ) de los vectores Eigen izquierdos de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ ;  $\underline{\mathbf{\Sigma}}(k)$  es una matriz diagonal ( $N_{\text{ut}} \times N_{\text{ap}}$ ) de valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$  y  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  es una matriz unitaria ( $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}}$ ) de los vectores Eigen derechos de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ .

De modo similar, la descomposición del valor singular de la matriz de respuesta del canal del enlace descendente calibrada,  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ , se puede expresar como:

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

35 en la que las matrices  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)$  y  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k)$  son matrices unitarias de los vectores Eigen izquierdo y derecho, respectivamente, de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ .

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

En un ejemplo, el terminal de usuario puede estimar la respuesta del canal del enlace descendente calibrada en base al piloto MIMO transmitido por el punto de acceso. El terminal de usuario puede a continuación realizar una descomposición del valor singular de la estimación de respuesta del canal del enlace descendente calibrada

45  $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ , para  $k \in K$ , para obtener la matriz diagonal  $\hat{\underline{\mathbf{\Sigma}}}(k)$  y la matriz  $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^*(k)$  de los vectores Eigen izquierdo de  $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$  para cada subbanda. Este descomposición del valor singular se puede dar como  $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\underline{\mathbf{\Sigma}}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^T(k)$ , en la que ("^") por encima de cada matriz indica que es una estimación de la matriz real. De

modo similar, el punto de acceso puede estimar la respuesta del canal del enlace ascendente calibrada en base a un piloto MIMO transmitido por el terminal usuario. El punto de acceso puede realizar entonces una descomposición del valor singular de la estimación de la respuesta del canal del enlace ascendente calibrada  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$  para  $k \in K$ , para obtener la matriz diagonal  $\hat{\Sigma}(k)$  y la matriz  $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ap}}^*(k)$  de los vectores Eigen izquierdo de  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$  para cada subbanda.

5 La descomposición del valor singular se puede dar como  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\Sigma}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k)$ . El punto de acceso y el terminal de usuario pueden obtener también los vectores Eigen requeridos en base a la referencia dirigida, como se describe a continuación.

10 La transmisión de datos puede suceder en uno de múltiples modos Eigen de banda ancha para cada enlace. El número específico de modos Eigen de banda ancha para usar en la transmisión de datos depende típicamente de las condiciones del canal y se puede seleccionar de varias maneras. Por ejemplo, los modos Eigen de banda ancha se pueden seleccionar mediante el uso de un procedimiento de relleno que intenta maximizar el rendimiento global mediante (1) la selección del mejor conjunto de uno o más modos Eigen de banda ancha para su uso y (2) la distribución de la potencia de transmisión total entre los modos Eigen de banda ancha seleccionados.

El sistema MIMO-OFDM puede de ese modo diseñarse para soportar múltiples modos operativos, que incluyen:

- 15
- Modo de multiplexado espacial - usado para transmitir datos en múltiples modos Eigen de banda ancha y
  - Modo de dirección del haz - usado para transmitir datos en el modo Eigen de banda ancha principal (mejor).

20 La transmisión de datos en múltiples modos Eigen de banda ancha se puede conseguir mediante la realización de un procesamiento espacial con múltiples conjuntos de vectores Eigen en las matrices  $\mathbf{U}_{\text{ap}}(k)$  y  $\mathbf{V}_{\text{ut}}(k)$ , para  $k \in K$  (es decir, un conjunto de vectores Eigen para cada modo Eigen 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 en el modo de multiplexado espacial.

Tabla 7 - Procesamiento espacial para el modo de multiplexado espacial

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

25 En la Tabla 7,  $\mathbf{s}(k)$  es un vector de “datos” con hasta  $N_S$  entradas no cero para los símbolos de modulación a ser transmitidos en los  $N_S$  modos Eigen de la subbanda  $k$ ,  $\mathbf{x}(k)$  es un vector transmitido para la subbanda  $k$ ,  $\mathbf{r}(k)$  es un vector recibido para la subbanda  $k$ , y  $\hat{\mathbf{s}}(k)$  es una estimación del vector de datos  $\mathbf{s}(k)$  transmitido. Los subíndices “dn” y “up” para estos vectores indican las transmisiones del enlace descendente y del enlace ascendente, respectivamente.

30 La transmisión de datos en un modo Eigen de banda ancha se puede conseguir mediante el uso o bien de una “formación del haz” o bien de una “dirección del haz”. Para la formación del haz, los símbolos de modulación se procesan espacialmente con un conjunto de vectores Eigen  $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$  o  $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1}(k)$ , para  $k \in K$ , para el modo Eigen de banda ancha principal. Para redireccionamiento del haz, los símbolos de modulación se procesan espacialmente con un conjunto de vectores Eigen “normalizados” (o “saturados”)  $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$  o  $\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ , para  $k \in K$ , para el modo Eigen de banda ancha principal. Los vectores Eigen normalizados  $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$  y  $\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$  se pueden deducir como se describe a continuación.

35 El procesamiento espacial para el multiplexado espacial y los modos de dirección del haz se describen en detalle en las anteriormente mencionadas Solicitudes de Patente de Estados Unidos provisionales N° de Serie 60/421.309 y 60/421.428. Las referencias dirigidas para el multiplexado espacial y para los modos de dirección del haz se describen a continuación.

40 **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), se puede transmitir una referencia dirigida por parte del terminal de usuario y usarse por el punto de acceso para obtener estimaciones tanto de  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  como de  $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ , para  $k \in K$ , sin tener que estimar el canal MIMO o realizar la descomposición del valor singular. De modo similar, se puede transmitir una referencia dirigida por el punto de acceso y usarse por el terminal de usuario para obtener las estimaciones tanto de  $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$  como de  $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ , para  $k \in K$ .

En una realización, la referencia dirigida comprende un conjunto de símbolos piloto (por ejemplo los símbolos OFDM P) que se transmiten en un modo Eigen de banda ancha en un periodo de símbolo dado mediante la realización de un procesamiento espacial con un conjunto de vectores Eigen no normalizados o normalizados para ese modo Eigen de banda ancha. En una realización alternativa, la referencia dirigida comprende múltiples conjuntos de símbolos piloto que se transmiten en múltiples modos Eigen de banda ancha en el mismo periodo de símbolo mediante la realización del procesamiento espacial con múltiples conjuntos de vectores Eigen no normalizados o normalizados para esos modos Eigen 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). Por claridad, la descripción a continuación supone que la referencia dirigida se transmite para un modo Eigen de banda ancha en un periodo de símbolo dado.

#### A. Referencia dirigida del enlace descendente - Modo de multiplexado espacial

Para el modo de multiplexado espacial, la referencia dirigida del enlace descendente transmitida en el  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha por el punto de acceso se puede expresar como:

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

en la que  $\mathbf{x}_{dn,sr,m}(k)$  es el vector transmitido para la  $k$ -ésima subbanda del  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha;

$\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}^*(k)$  es el vector Eigen para la  $k$ -ésima subbanda del  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha y

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

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

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

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

$$\mathbf{r}_{dn,sr,m}(k) = \mathbf{H}_{dn}(k) \mathbf{x}_{dn,sr,m}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (13)}$$

$$\approx \hat{\mathbf{V}}_{ut,m}^*(k) \sigma_m(k) p(k) + \mathbf{n}_{dn}(k)$$

en la que  $\sigma_m(k)$  es el valor singular para la  $k$ -ésima subbanda del  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha.

#### B. Referencia dirigida del enlace descendente - Modo de dirección del haz

Para el modo de dirección del haz, el procesamiento espacial en la transmisión se realiza usando un conjunto de vectores Eigen "normalizados" para el modo Eigen de banda ancha principal. La función de transferencia global con un vector Eigen normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  es diferente de la función de transferencia global con un vector Eigen no normalizado  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k)$  (es decir,  $\mathbf{H}_{dn}(k) \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k) \neq \mathbf{H}_{dn}(k) \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ ). Una referencia dirigida generada usando el conjunto de vectores Eigen normalizados para el modo Eigen de banda ancha principal se puede enviar a continuación por el transmisor y usarse por el receptor para deducir el filtro ajustado para el modo de dirección del haz.

Para el modo de dirección del haz, la referencia dirigida del enlace descendente transmitida en el modo Eigen de banda ancha principal por el punto de acceso se puede expresar como:

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

en la que  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  es el vector Eigen normalizado para la  $k$ -ésima subbanda del modo Eigen de banda ancha

principal, que se puede expresar como:

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

en la que  $A$  es una constante (por ejemplo  $A = 1$ ) y

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

$$5 \quad \theta_{ui}(k) = \angle \hat{u}_{ap,1,i}^*(k) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)\}}{\text{Re}\{\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)\}} \right) \quad \text{Ec. (16)}$$

Como se muestra en la ecuación (15), los  $N_{ap}$  elementos del vector  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  tienen iguales magnitudes pero posiblemente fases diferentes. Como se muestra en la ecuación (16), la fase de cada elemento en el vector  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  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  $\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)$ , en la que  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k) = [\hat{u}_{ap,1,1}^*(k) \hat{u}_{ap,1,2}^*(k) \dots \hat{u}_{ap,1,N_{ap}}^*(k)]^T$ ).

- 10 La referencia dirigida del enlace descendente recibida en el terminal de usuario para el modo de dirección del haz se puede expresar como:

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

### C. Referencia dirigida del enlace ascendente - Modo de multiplexado espacial

- 15 Para el modo de multiplexado espacial, la referencia dirigida del enlace ascendente transmitida en el  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha por el terminal de usuario se puede expresar como:

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

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

- 20 La referencia dirigida del enlace ascendente recibida en el punto de acceso para el modo de multiplexado espacial se puede expresar como:

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

### D. Referencia dirigida del enlace ascendente - Modo de dirección del haz

- 25 Para el modo de dirección del haz, la referencia dirigida del enlace ascendente transmitida en el modo Eigen de banda ancha principal por el terminal de usuario se puede expresar como:

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

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

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

- 30 en la que

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

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 vector Eigen  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ .

La referencia dirigida del enlace ascendente recibida en el punto de acceso para el modo de dirección del haz se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{r}}_{up,sr}(k) = \mathbf{H}_{up} \tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) + \mathbf{n}_{up}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (23)}$$

$$\approx \mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) \rho(k) + \mathbf{n}_{up}(k)$$

La Tabla 8 resume el procesamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario para la referencia dirigida para los modos de multiplexado espacial y formación del haz.

Tabla 8 - Procesamiento espacial para la referencia dirigida

	Modo de multiplexado espacial	Modo de dirección del haz
<b>Punto de acceso</b>	$\mathbf{x}_{dn,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}^*(k) \rho(k)$	$\tilde{\mathbf{x}}_{dn,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) \rho(k)$
<b>Terminal de usuario</b>	$\mathbf{x}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut,m}^*(k) \rho(k)$	$\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) \rho(k)$

10 **E. Transmisión de la referencia dirigida**

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

15 En una realización, para el modo de multiplexado espacial, la referencia dirigida se transmite para uno o más modos Eigen de banda ancha para cada trama TDD. El número específico de modos Eigen de banda ancha a transmitir en cada trama TDD puede depender de la duración de la referencia dirigida. La Tabla 9 lista los modos Eigen de banda ancha usados para la referencia dirigida en el preámbulo de una PDU FCH/RCH para varios tamaños de preámbulo, para un diseño de ejemplo con cuatro antenas transmisoras.

Tabla 9

Tamaño de preámbulo	Modos Eigen de banda ancha usados
0 Símbolos OFDM	Sin preámbulo
1 Símbolo OFDM	Modo Eigen de banda ancha m, en el que m = contador de trama mod 4
4 Símbolos OFDM	Ciclo a través de los 4 modos Eigen de banda ancha en el preámbulo
8 Símbolos OFDM	Ciclo a través de los 4 modos Eigen de banda ancha doblemente en el preámbulo

20 Como se muestra en la Tabla 9, la referencia dirigida se transmite en los cuatro modos Eigen de banda ancha dentro de la misma trama TDD cuando el tamaño de preámbulo es de cuatro u ocho periodos de símbolo. La referencia dirigida transmitida en el preámbulo de una PDU FCH por el punto de acceso para el n-ésimo periodo de símbolo se puede expresar como:

$$25 \quad \mathbf{x}_{dn,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap,[(n-1)\text{mod } 4]+1}^*(k) \rho(k), \text{ para } k \in K \text{ y } n \in \{1 \dots L\}, \quad \text{Ec. (24)}$$

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

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

$$30 \quad \mathbf{x}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut,[(n-1)\text{mod } 4]+1}^*(k) \rho(k), \text{ para } k \in K \text{ y } n \in \{1 \dots L\}, \quad \text{Ec. (25)}$$

En las ecuaciones (24) y (25), se pasan cíclicamente los cuatro modos Eigen de banda ancha a través de cada periodo de 4 símbolos por la operación "módulo" 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 una buena estimación del canal rápidamente para una operación apropiada del sistema.

En otra realización, la referencia dirigida se transmite para un modo Eigen de banda ancha para cada trama TDD. La referencia dirigida para los cuatro modos Eigen de banda ancha se puede pasar cíclicamente en las cuatro tramas

5 TDD. Por ejemplo, se pueden usar los vectores de dirección  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ ,  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$ ,  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,3}(k)$  y  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,4}(k)$  para cuatro tramas TDD consecutivas por parte del terminal de usuario. El vector de dirección particular a ser usado para la referencia dirigida en cada trama TDD se puede especificar mediante un contador de trama, que se puede enviar en el mensaje BCH. Este esquema puede permitir un preámbulo más corto para su uso por las PDU FCH y RCH. Sin embargo, puede ser necesario un periodo de tiempo más largo para obtener una buena estimación del canal.

10 Para el modo de dirección del haz, el vector de dirección normalizado para el modo Eigen de banda ancha principal 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 operando en el modo de dirección del haz, el terminal de usuario puede transmitir múltiples símbolos de referencia dirigida, por ejemplo, uno o más símbolos que usen el vector Eigen normalizado  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ , uno o más

15 símbolos que usen el vector Eigen  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  para el modo Eigen principal y posiblemente uno o más símbolos que usen los vectores Eigen para los otros modos Eigen. Los símbolos de referencia dirigida generados con  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  se pueden usar por el punto de acceso para deducir un vector de filtro ajustado del enlace ascendente. Este vector se usa por el punto de acceso para realizar un filtrado ajustado de la transmisión de datos de enlace ascendente enviada por el terminal de usuario usando una dirección del haz. Los símbolos de referencia dirigida generados con

20  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  se pueden usar para obtener  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$ , que se puede usar entonces para deducir el vector Eigen normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  que se usa para la dirección del haz en el enlace descendente. Los símbolos de referencia dirigida generados con los vectores Eigen del  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$  al  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,N_s}(k)$  para los otros modos Eigen se pueden usar por el punto de acceso para obtener del  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,2}(k)$  al  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,N_s}(k)$  y las estimaciones de valores singulares para estos otros modos Eigen. Esta información se puede usar por el punto de acceso para determinar si usar el modo de multiplexado espacial o el modo de dirección del haz para la transmisión de datos del enlace descendente.

Para el enlace descendente, el terminal de usuario puede deducir un vector de filtro ajustado de enlace descendente para el modo de dirección del haz en base a la estimación  $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$  de la respuesta del canal del enlace descendente calibrada. En particular, el terminal de usuario tiene  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k)$  de la descomposición del valor singular de  $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$  y puede entonces deducir el vector Eigen normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ . El terminal de usuario puede a continuación multiplicar

30  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  por  $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$  para obtener  $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  y puede deducir a continuación el vector de filtro ajustado del enlace descendente para el modo de dirección del haz en base a  $\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ . Alternativamente, se puede enviar una referencia dirigida por el punto de acceso usando el vector Eigen normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  y esta referencia dirigida se puede procesar por el terminal de usuario en una forma descrita anteriormente para obtener el vector de filtro ajustado del enlace descendente para el modo de dirección del haz.

### 35 **F. Multiplexado de la subbanda para la referencia dirigida**

Tanto para los modos de multiplexado espacial como de dirección del haz, la referencia dirigida se puede transmitir también para múltiples modos Eigen de banda ancha durante un periodo de símbolo dado usando el multiplexado de subbandas. Las subbandas utilizables se pueden dividir en múltiples conjuntos disjuntos de subbandas, un conjunto para cada modo Eigen de banda ancha seleccionado para la transmisión de la referencia dirigida. Cada conjunto de

40 subbandas se puede usar a continuación para transmitir una referencia dirigida para el modo Eigen de banda ancha asociado. Por simplicidad, la expresión "modo Eigen de banda ancha" se usa en el presente documento aunque se envíe la referencia dirigida solamente en un subconjunto de todas las subbandas utilizables.

Por ejemplo, la referencia dirigida se puede transmitir en los cuatro modos Eigen de banda ancha en un periodo de símbolo. 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 a través de las 52 subbandas utilizables. La referencia dirigida para el modo Eigen de banda ancha principal se puede transmitir entonces a través de las 13 subbandas del conjunto 1, la referencia dirigida para el segundo modo Eigen de banda ancha se puede transmitir en las 13 subbandas del conjunto 2, la referencia dirigida para el tercer modo Eigen de banda ancha se puede transmitir a través de las 13 subbandas del conjunto 3 y la referencia dirigida para el cuarto modo Eigen de banda ancha se puede transmitir en las 13 subbandas del conjunto 4.

Si la referencia dirigida se envía solamente a través de un subconjunto de todas las subbandas utilizables para un modo Eigen de banda ancha dado, 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 ese modo Eigen de banda ancha.

- 5 El general, los múltiples conjuntos de subbandas pueden incluir el mismo o un número diferente de subbandas. Por ejemplo, el número de subbandas a incluir en cada conjunto puede depender de la SNR del modo Eigen de banda ancha asociado con el conjunto (por ejemplo, se pueden asignar más subbandas a un conjunto asociado con un modo Eigen de banda ancha de pobre calidad). Además, las subbandas en cada conjunto se pueden distribuir uniformemente o no uniformemente a través de las subbandas utilizables. Los múltiples conjuntos de subbandas se  
10 pueden asociar también con el mismo o con diferentes conjuntos de símbolos piloto.

El multiplexado de la subbanda se puede usar para reducir la cantidad de cabeceras adicionales necesarias para transmitir la referencia dirigida, lo que puede mejorar la eficiencia 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 el modo de multiplexado espacial (en ausencia de ruido) es aproximadamente  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}^*(k) \sigma_m(k) p(k)$ . De modo similar, como se muestra en la ecuación (19), en el punto de acceso, la referencia dirigida del enlace ascendente recibida para el modo 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.

- 20 Se pueden usar varias técnicas para procesar una referencia dirigida. Por 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  $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k) p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)$ .

- 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 en el  $m$ -ésimo modo Eigen 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 a través de múltiples símbolos de referencia dirigida recibidos para cada modo Eigen de banda ancha para obtener una estimación de  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k)$ , que es un vector Eigen izquierdo escalado de  $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$  para el  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha. Cada una de las  $N_{ap}$  entradas del vector  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$  se obtiene en base a una correspondiente de las  $N_{ap}$  entradas del vector  $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ , en el que las  $N_{ap}$  entradas de  $\mathbf{r}_{up,m}(k)$  son símbolos recibidos desde las  $N_{ap}$  antenas en el punto de acceso. Dado que los vectores Eigen 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 modo Eigen de banda ancha. La estimación del valor singular  $\hat{\sigma}_m(k)$  es entonces igual a la raíz cuadrada de la potencia recibida dividida por 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 deducir 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 ajustado 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 de Estados Unidos asignada en común N° de Serie 09/993.087, titulada "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System", presentada el 6 de noviembre de 2001.

- La referencia dirigida se envía para un modo Eigen de banda ancha en cualquier periodo de símbolo dado (sin multiplexado de subbandas) y se puede usar a su vez para obtener una estimación de un vector Eigen para cada subbanda de ese modo Eigen de banda ancha. De ese modo, el receptor es capaz de obtener solamente una estimación de un vector Eigen en una matriz unitaria para cualquier periodo de símbolo dado. Dado que las estimaciones de múltiples vectores Eigen para la matriz unitaria se obtienen a través de diferentes periodos de símbolo, y debido al ruido y a otras fuentes de degradación en el canal inalámbrico, los vectores Eigen estimados para la matriz unitaria (que se deducen individualmente) no es probable que sean ortogonales entre sí. Los vectores Eigen estimados se pueden usar posteriormente para el filtrado ajustado de una transmisión de datos recibida en el mismo enlace y/o el procesamiento espacial de una transmisión de datos enviada en el otro enlace. En este caso, cualquier error en la ortogonalidad entre estos vectores Eigen estimados daría como resultado una interferencia cruzada entre las transmisiones continuas de datos enviadas en los modos Eigen correspondientes a los vectores

Eigen. La interferencia cruzada puede degradar el rendimiento.

En una realización, los vectores Eigen estimados para cada matriz unitaria se fuerza que sean ortogonales entre sí. La ortogonalización de los vectores Eigen se puede conseguir usando la técnica de Gram-Schmidt, que se describe en detalle en la referencia anteriormente mencionada de Gilbert Strang, o alguna otra técnica.

- 5 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 estimar de ese modo tanto  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  como  $\hat{\Sigma}(k)$  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 del valor singular de  $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ .

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

Para el modo de dirección del haz, en el enlace ascendente, el vector recibido  $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$  para la referencia dirigida se puede procesar por parte del punto de acceso en una manera similar para obtener una estimación de  $\mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ .

- 15 La conjugada traspuesta de esta estimación es entonces el filtro ajustado para la transmisión del enlace ascendente en el modo de dirección del haz. En el enlace descendente, el vector recibido  $\mathbf{r}_{dn,sr,m}(k)$  para la referencia dirigida se puede procesar por el terminal de usuario en una forma similar para obtener un estimación de  $\mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ . La conjugada traspuesta de esta estimación es entonces el filtro ajustado para la transmisión del enlace descendente en el modo de dirección del haz.

20 **5. Piloto de portadora**

El piloto de portadora se puede transmitir en la subbandas piloto en varias formas para la estructura de trama TDD mostrada en la FIG. 2. En un ejemplo, se reponen las cuatro secuencias piloto para cada canal de transporte. De ese modo, en el enlace descendente, las secuencias piloto se reponen para el primer símbolo OFDM del mensaje BCH, se reponen de nuevo para el primer símbolo OFDM del mensaje FCCH y se reponen para el primer símbolo OFDM enviado en el FCH. En otro ejemplo, las secuencias piloto se reponen al comienzo de cada trama TDD y se repiten tan frecuentemente como sea necesario. Para este ejemplo, las secuencias piloto se pueden atascar durante las partes de preámbulo del BCH y FCH. El piloto de portadora se puede transmitir también de otras formas.

- 25

**6. Esquema de transmisión piloto**

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

- 30

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

Se transmiten un piloto de balizamiento y un piloto MIMO en el enlace descendente por parte del punto de acceso en cada trama TDD (bloque 312) para permitir a todos los terminales de usuario en el sistema adquirir la frecuencia y los tiempos 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.

- 35

Se puede realizar la calibración previamente a la operación normal para calibrar diferencias en las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y terminal de usuario. Para la calibración, se puede transmitir un piloto MIMO tanto para el punto de acceso como para el terminal de usuario (bloques 322 y 326). El piloto MIMO del enlace ascendente se puede usar por el punto de acceso para deducir una estimación del canal del enlace ascendente (bloque 324) y el piloto MIMO del enlace descendente se puede usar por el terminal de usuario para deducir 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 deducir los factores de corrección para el punto de acceso y el terminal de usuario.

- 40
- 45

Durante la operación normal se puede transmitir una referencia dirigida en el enlace ascendente por parte del terminal de usuario (1) si y cuando se desee una transmisión de datos o (2) si se planifica para transmisión de datos (bloque 322). La referencia dirigida del enlace ascendente se puede usar por el punto de acceso para estimar las matrices unitaria y diagonal pertinentes para el terminal de usuario (bloque 334). Se puede transmitir opcionalmente una referencia dirigida por el punto de acceso al terminal de usuario (como se muestra por el bloque discontinuo 336). El terminal de usuario puede actualizar continuamente sus estimaciones del canal de enlace descendente en base al piloto MIMO del enlace descendente y actualizar las matrices unitaria y diagonal pertinentes en base a la

- 50

referencia dirigida del enlace descendente (si se transmite) (bloque 338). Los pilotos de portadora se transmiten por parte del punto de acceso (bloque 340) y del terminal de usuario (bloque 344) en la subbandas piloto durante partes que no se usan para otros pilotos. El piloto de portadora del enlace descendente se usa por parte del terminal de usuario para seguir la fase de la señal portadora del enlace descendente (bloque 342) y el piloto de portadora del enlace ascendente se usa por parte del punto de acceso para seguir 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 MIMO de enlace descendente y transmite una referencia dirigida en el enlace ascendente, que se usa 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 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 se diseña 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 particular 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 varios otros esquemas de transmisión piloto para sistemas MIMO y 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 adquisición de frecuencia y tiempos y seguimiento de la fase de portadora. Como otro ejemplo, los terminales de usuario activos pueden transmitir pilotos MIMO, en lugar de referencias dirigidas, en el enlace ascendente.

#### **IV. Sistema MIMO-OFDM**

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

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

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

En el terminal de usuario 120x, cuatro antenas 452a a 452d reciben las señales moduladas de enlace descendente transmitidas y cada antena proporciona una señal recibida a un demodulador (DEMOD) respectivo 454. Cada demodulador 454 realiza un procesamiento complementario al realizado en el modulador 422 y proporciona los símbolos recibidos. Un procesador espacial de recepción (RX) 460 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 de datos de RX 470 procesa adicionalmente (por ejemplo, desmapea los símbolos, desintercala y decodifica) los símbolos recuperados para proporcionar datos decodificados, que se pueden proporcionar a un receptor de datos 472 para almacenamiento y/o un controlador 480 para un procesamiento adicional.

El procesamiento para el enlace ascendente puede ser el mismo o diferente del procesamiento para el enlace descendente. Los datos y señalización se procesan (por ejemplo, codifican, intercalan y modulan) por un procesador de datos de TX 488, se multiplexan con los símbolos piloto y se procesan espacialmente adicionalmente por un procesador espacial de TX 490. Los símbolos de transmisión desde el procesador espacial de TX 490 se procesan 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 de acceso 410, las señales moduladas de enlace ascendente se reciben por las antenas 424a a 424d,

se demodulan por los demoduladores 422a a 422d y se procesan por el procesador espacial de RX 440 y un procesador de datos de RX 442 en una forma complementaria a la realizada en el terminal de usuario. Los datos decodificados del enlace ascendente se puede proporcionar a un receptor de datos 494 para almacenamiento y/o a un controlador 430 para un procesamiento adicional.

- 5 Los controladores 430 y 480 controlan la operación de varias unidades de procesamiento en el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente. Las unidades de memoria 432 y 482 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 de TX 420a que puede generar un piloto de balizamiento y que se puede implementar dentro de un procesador espacial de TX 420 en la FIG. 4. El procesador 10 420a incluye un número de procesadores de subbanda de piloto de balizamiento 510a a 510k, uno para cada subbanda usada para transmitir el piloto de balizamiento. Cada procesador de subbanda 510 recibe un símbolo piloto  $b(k)$  para el piloto de balizamiento y una matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  para la subbanda asociada.

Dentro de cada procesador de subbanda 510, el símbolo piloto  $b(k)$  se escala mediante 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  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ . Cada 15 multiplicador 514 realiza la multiplicación compleja del símbolo piloto complejo por un factor de corrección complejo respectivo. Los símbolos piloto escalados desde los multiplicadores 514a a 514d se proporcionan a continuación a cuatro memorias intermedias/multiplexores 520a a 520d, respectivamente, que también reciben los símbolos piloto escalados de los otros procesadores de subbanda 510. Cada memoria intermedia/multiplexor 520 multiplexa los 20 símbolos piloto escalados para todas las subbandas usadas para la transmisión del piloto de balizamiento y los valores de señal de cero para las subbandas no utilizadas y proporciona una transmisión continua de símbolos de transmisión para la antena de transmisión asociada.

La FIG. 6A muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de TX 420b que puede generar un piloto MIMO. El procesador 420b se puede implementar dentro del procesador espacial de TX 420 ó 490 en la FIG. 4, pero 25 por claridad se describe a continuación para una implementación de un procesador espacial de TX 420. El procesador 420b incluye un número de procesadores de subbanda de piloto MIMO 610a a 610k, uno para cada subbanda usada para transmitir el piloto MIMO. Cada procesador de subbanda 610 recibe un símbolo piloto  $p(k)$  para el piloto MIMO y una matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  para la subbanda asociada. Cada procesador de subbanda 610 también recibe cuatro secuencias Walsh,  $w_1$  a  $w_4$ , asignadas a las cuatro antenas transmisoras en el punto de acceso.

30 Dentro de cada procesador de subbanda 610, el símbolo piloto complejo  $p(k)$  se cubre mediante las cuatro secuencias Walsh  $w_1$  a  $w_4$  mediante cuatro multiplicadores complejos 612a a 612d, respectivamente. Los símbolos piloto cubiertos se escalan adicionalmente mediante 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  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ . Los símbolos piloto 35 escalados desde 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 de TX 490, el número de secuencias Walsh a usar depende del número de antenas transmisoras disponibles en el terminal de usuario. Además, el 40 escalado se realiza con los factores de corrección de la matriz  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$  para el terminal de usuario.

La FIG. 6B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de RX 460b que puede proporcionar una estimación de respuesta del canal en base a un piloto MIMO recibido. El procesador 460b se puede implementar 45 dentro del procesador espacial de RX 440 ó 460 en la FIG. 4, pero por claridad se describe a continuación para una implementación en el procesador espacial de RX 460. El procesador 460b incluye un número de procesadores de subbanda de piloto MIMO 650a a 650k, uno para cada subbanda usada para la transmisión del piloto MIMO. Cada procesador de subbanda de piloto MIMO 650 recibe un vector  $\mathbf{r}(k)$  y un símbolo piloto conjugado  $p^*(k)$  para la subbanda asociada. Cada procesador de subbanda 650 recibe también las cuatro secuencias Walsh  $w_1$  a  $w_4$  asignadas a las cuatro antenas transmisoras en el punto de acceso.

Cada procesador de subbanda de piloto MIMO 650 incluye cuatro procesadores de subbanda/antena de piloto MIMO 660a a 660d para las cuatro antenas receptoras en el terminal de usuario. Cada procesador 660 recibe una 50 entrada  $r_i(k)$  del vector  $\mathbf{r}(k)$ . Dentro de cada procesador 660, el símbolo recibido  $r_i(k)$  se multiplica primero con el símbolo piloto conjugado  $p^*(k)$  mediante un multiplicador complejo 662. La salida del multiplicador 662 se multiplica adicionalmente por las cuatro secuencias 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 en los 55 acumuladores 666a a 666d, respectivamente, durante la duración de la transmisión del piloto 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  $\hat{h}_{i,j}(k)$  de la ganancia del canal desde la antena transmisora  $j$  a la antena receptora  $i$  para la subbanda  $k$ . Las estimaciones de respuesta del canal  $\{\hat{h}_{i,j}(k)\}$ , para  $i = \{1, 2, 3, 4\}$  y  $j = \{1, 2, 3, 4\}$ , se pueden promediar adicionalmente a través de las múltiples transmisiones de piloto MIMO (no mostradas en la FIG. 6B) para proporcionar una estimación más precisa de la respuesta del canal.

5 Como se muestra en la FIG. 6B, cada procesador de subbanda/antena de piloto MIMO 660 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, en el que  $\hat{\mathbf{h}}_{\text{cdn},i}(k)$  es la  $i$ -ésima fila de la estimación de la respuesta del canal calibrada  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$  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 de respuesta de canal calibrada  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ .

10 La FIG. 7A muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de TX 420c que puede generar una referencia dirigida. El procesador 420c puede implementarse también dentro del procesador espacial de TX 420 ó 490 en la FIG. 4, pero por claridad se describe a continuación para una implementación en el procesador espacial de TX 420. El procesador 420c incluye un número de procesadores de subbanda de referencia dirigida 710a a 710k, uno para cada subbanda usada para transmitir la referencia dirigida. Para generar la referencia dirigida para el modo de multiplexado espacial, cada procesador de subbanda 710 recibe un símbolo piloto  $p(k)$ , el vector de dirección  $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$  para cada modo Eigen de banda ancha en el que se ha de transmitir la referencia dirigida y una matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  para la subbanda asociada.

Dentro de cada procesador de subbanda 710, el símbolo piloto  $p(k)$  se multiplica por los cuatro elementos  $\hat{u}_{\text{ap},1,m}^*(k)$  a  $\hat{u}_{\text{ap},4,m}^*(k)$  del vector de dirección  $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$  para el  $m$ -ésimo modo Eigen de banda ancha mediante cuatro multiplicadores complejos 712a a 712d, respectivamente. Las salidas de los multiplicadores 712a a 712d se escalan adicionalmente mediante cuatro multiplicadores complejos 714a a 714d por 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 escalados 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.

25 Para generar la referencia dirigida en el enlace descendente para el modo de dirección del haz, cada procesador de subbanda 710 recibirá un vector de dirección normalizado  $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ , en lugar de un vector de dirección no normalizado  $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$ . Para una implementación del procesador 420c en el procesador espacial de TX 490, cada procesador de subbanda 710 recibe o bien (1) el vector de dirección  $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},m}(k)$  para cada modo Eigen de banda ancha usado para la referencia dirigida, para el modo de multiplexado espacial, o bien (2) el vector de dirección  $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$  para el modo de dirección del haz. Si se usa el multiplexado de subbanda para la referencia dirigida, entonces los vectores de dirección para los modos Eigen de banda ancha múltiple se pueden usar para múltiples conjuntos disjuntos de subbandas, como se ha descrito anteriormente.

35 La FIG. 7B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de RX 460c 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 de RX 440 ó 460 en la FIG. 4, pero por claridad se describe a continuación para una implementación en el procesador espacial de RX 460. El procesador 460c incluye un número de procesadores de subbanda de referencia dirigida 750a a 750k, uno para cada subbanda usada para la transmisión de la referencia dirigida. Cada procesador de subbanda 750 recibe un vector y un símbolo piloto conjugado  $p^*(k)$  para la subbanda asociada.

40 Dentro de cada procesador de subbanda 750, los cuatro símbolos en el vector recibido  $\mathbf{r}(k)$  se multiplican 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 duración de la transmisión de la referencia dirigida para cada modo Eigen 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 modos Eigen de banda ancha dentro de la misma transmisión de referencia dirigida, en cuyo caso la acumulación se realiza por separado para cada uno de estos modos Eigen 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 modo Eigen de banda ancha dado para tener una estimación de calidad más elevada. Las acumuladores 764a a 764d proporcionan cuatro elementos que son las estimaciones de  $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},m}^*(k) \sigma_m(k)$ , como se muestra en la ecuación (13).

Dado que los vectores Eigen tienen una potencia unitaria, el valor singular de  $\sigma_m(k)$  para cada modo Eigen de banda ancha se puede estimar en base a la potencia recibida de la referencia dirigida. Una unidad de cálculo de potencia 766 recibe las salidas de los multiplicadores 762a a 762d y calcula la potencia recibida de la referencia dirigida,  $P_m(k)$ , para cada modo Eigen o 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 por la magnitud del símbolo piloto (es decir,  $\hat{\sigma}_m(k) = \sqrt{P_m(k)/|p(k)|}$ ), en la que  $P_m(k) = \sum_{i=1}^{N_R} |r_i(k)|^2$  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 se escalan a continuación por 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 modo Eigen,  $\hat{\underline{v}}_{ut,m}^*(k) = [\hat{v}_{ut,1,m}^*(k) \hat{v}_{ut,2,m}^*(k) \hat{v}_{ut,3,m}^*(k) \hat{v}_{ut,4,m}^*(k)]$ .

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

Los pilotos descritos en el presente documento se pueden implementar de varias formas. Por ejemplo, el procesamiento para los varios 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 señal digital (DSP), dispositivos de procesamiento de señal digital (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), puertas lógicas programables en campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento o una combinación de los mismos.

Para una implementación en software, algunos de los procesamientos para los varios 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 el presente documento. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo las unidades de memoria 432 y 482 en la FIG. 4) y ejecutarse 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 al procesador a través de varios medios como es conocido en la técnica.

Los encabezamientos se incluyen en el presente documento para referencia y para ayudar a la localización de ciertas secciones. Estos encabezamientos no se pretende que limiten el ámbito de los conceptos descritos en el presente documento y estos conceptos se pueden aplicar en otras secciones a todo lo largo de la especificación completa.

La descripción previa de las realizaciones desveladas se proporciona para permitir que cualquier persona experta en la técnica haga uso de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de generación de un piloto dirigido en un sistema de comunicaciones de entrada múltiple salida múltiple, MIMO, inalámbrico, que comprende:
  - 5 la obtención de un primer símbolo piloto a ser transmitido desde una pluralidad de antenas;  
la obtención de un primer vector de dirección para un primer canal espacial de un canal MIMO en el sistema MIMO y  
el procesamiento del primer símbolo piloto con el primer vector de dirección para obtener un primer grupo de símbolos de transmisión, un símbolo de transmisión para cada una de la pluralidad de antenas, en el que el primer grupo de símbolos de transmisión es para el piloto dirigido para el primer canal espacial.
- 10 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
  - la obtención de un segundo símbolo piloto a ser transmitido desde la pluralidad de antenas;  
la obtención de un segundo vector de dirección para un segundo canal espacial del canal MIMO y  
el procesamiento del segundo símbolo piloto con el segundo vector de dirección para obtener un segundo grupo de símbolos de transmisión para el piloto dirigido para el segundo canal espacial.
- 15 3. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además:
  - la transmisión del primer grupo de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas en un primer periodo de símbolo y  
la transmisión del segundo grupo de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas en un segundo periodo de símbolo.
- 20 4. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además: la transmisión del primer grupo de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas en una primera subbanda y  
la transmisión del segundo grupo de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas en una segunda subbanda.
- 25 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el primer y el segundo grupos de símbolos de transmisión se transmiten en un periodo de símbolo.
6. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el primer y el segundo vectores de dirección se asocian con el primer y del segundo modo Eigen, respectivamente, de una matriz de respuesta del canal para el canal MIMO y en el que el primero y el segundo canales espaciales corresponden al primer y segundo modo Eigen, respectivamente.
- 30 7. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el primer y el segundo vectores de dirección son ortogonales entre sí.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer vector de dirección se obtiene en base a un vector Eigen en una matriz unitaria para una matriz de respuesta del canal para el canal MIMO.
9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer vector de dirección incluye una pluralidad de elementos que tienen igual magnitud, un elemento para cada una de la pluralidad de antenas.
- 35 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer vector de dirección se asocia con un modo Eigen principal de una matriz de respuesta del canal para el canal MIMO.
11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que:
  - 40 la obtención del primer símbolo piloto a ser transmitido desde una pluralidad de antenas comprende la obtención de un primer conjunto de símbolos piloto a ser transmitidos desde una pluralidad de antenas en un primer conjunto de subbandas;  
la obtención del primer vector de dirección para un primer canal espacial de un canal MIMO en el sistema MIMO comprende la obtención de un primer conjunto de vectores de dirección para un primer canal espacial del primer conjunto de subbandas y  
45 el procesamiento del primer símbolo piloto con el primer vector de dirección para obtener un primer grupo de símbolos de transmisión comprende el procesamiento del primer conjunto de símbolos piloto con el primer conjunto de vectores de dirección para obtener un primer conjunto de vectores de símbolo, un vector de símbolo en el primer conjunto de vectores de símbolo para cada subbanda en el primer conjunto de subbandas, en el que cada vector de símbolo en el primer conjunto de vectores de símbolo incluye una pluralidad de símbolos de transmisión para la pluralidad de antenas y corresponde al piloto dirigido para el  
50 primer canal espacial de la subbanda asociada con el vector de símbolo.
12. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende:

- la obtención del segundo conjunto de vectores de dirección para el segundo canal espacial del primer conjunto de subbandas; y  
 el procesamiento del primer conjunto de símbolos piloto con el segundo conjunto de vectores de dirección para obtener un segundo conjunto de vectores de símbolo, en el que cada vector de símbolo en el segundo conjunto de vectores de símbolo corresponde a un piloto dirigido para el segundo canal espacial de la subbanda asociada con el vector de símbolo.
- 5
13. El procedimiento de la reivindicación 12, que comprende además:
- la transmisión del primer conjunto de vectores de símbolo desde la pluralidad de antenas en el primer conjunto de subbandas en un primer periodo de símbolo y  
 la transmisión del segundo conjunto de vectores de símbolo desde la pluralidad de antenas en el primer conjunto de subbandas en un segundo periodo de símbolo.
- 10
14. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además:
- la obtención del segundo conjunto de símbolos piloto a ser transmitidos desde la pluralidad de antenas en un segundo conjunto de subbandas;  
 la obtención del segundo conjunto de vectores de dirección para un primer canal espacial del segundo conjunto de subbandas y  
 el procesamiento del segundo conjunto de símbolos piloto con el segundo conjunto de vectores de dirección para obtener un segundo conjunto de vectores de símbolo, un vector de símbolo en el segundo conjunto de vectores de símbolo para cada subbanda en el segundo conjunto de subbandas, en el que cada vector de símbolo en el segundo conjunto de vectores de símbolo corresponde a un piloto dirigido para el primer canal espacial de la subbanda asociada con el vector de símbolo.
- 15
- 20
15. El procedimiento de la reivindicación 14, que comprende además:
- la transmisión del primer conjunto de vectores de símbolo desde la pluralidad de antenas en el primer conjunto de subbandas y  
 la transmisión del segundo conjunto de vectores de símbolo desde la pluralidad de antenas en el segundo conjunto de subbandas.
- 25
16. El procedimiento de la reivindicación 15, en el que el primer conjunto de vectores de símbolo y el segundo conjunto de vectores de símbolo se transmiten en un periodo de símbolo.
17. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que los símbolos piloto en el primer conjunto se seleccionan para tener una pequeña variación de pico a promedio en una forma de onda generada en base a los símbolos piloto.
- 30
18. Un aparato en un sistema de comunicaciones de entrada múltiple salida múltiple, MIMO, inalámbrico, que comprende:
- medios para la obtención de un primer símbolo piloto a ser transmitido desde una pluralidad de antenas;  
 medios para la obtención de un primer vector de dirección para un primer canal espacial de un canal MIMO en el sistema MIMO y  
 medios (710a) para el procesamiento del primer símbolo piloto con el primer vector de dirección para obtener un primer grupo de símbolos de transmisión, un símbolo de transmisión para cada una de la pluralidad de antenas, en el que el primer grupo de símbolos de transmisión es para el piloto dirigido para el primer canal espacial.
- 35
- 40
19. El aparato de la reivindicación 18, que comprende además:
- medios para la obtención de un segundo símbolo piloto a ser transmitido desde la pluralidad de antenas;  
 medios para la obtención de un segundo vector de dirección para un segundo canal espacial del canal MIMO y medios para el procesamiento del segundo símbolo piloto con el segundo vector de dirección para obtener un segundo grupo de símbolos de transmisión para el piloto dirigido para el segundo canal espacial.
- 45
20. Un procedimiento de recepción de un piloto dirigido en un sistema de comunicación de entrada múltiple salida múltiple, MIMO, inalámbrico, que comprende:
- la recepción de un primer grupo de símbolos desde una pluralidad de antenas para un primer piloto dirigido recibido a través de un primer canal espacial de un canal MIMO en el sistema MIMO, en el que el primer piloto dirigido se genera en base a un símbolo piloto y un primer vector de dirección para el primer canal espacial;  
 el procesamiento del primer grupo de símbolos con el símbolo piloto para tener un segundo grupo de símbolos;  
 la determinación de un primer factor de escalado en base a una potencia estimada de los símbolos en el primer grupo y  
 el escalado de los símbolos en el segundo grupo con el primer factor de escalado para obtener un segundo
- 50

vector de dirección para el primer canal espacial.

21. El procedimiento de la reivindicación 20, en el que el primer piloto dirigido se transmite en una pluralidad de periodos de símbolo, comprendiendo adicionalmente el procedimiento:

la acumulación de los símbolos en el segundo grupo durante la pluralidad de periodos de símbolo.

5 22. El procedimiento de la reivindicación 20, que comprende además:

la deducción de un filtro ajustado para el primer canal espacial en base al segundo vector de dirección.

23. El procedimiento de la reivindicación 20, en el que el segundo vector de dirección se usa para procesamiento espacial de una transmisión de datos enviada a través del canal MIMO.

24. El procedimiento de la reivindicación 20, que comprende además:

10 la deducción de un filtro ajustado en el dominio del tiempo para el primer canal espacial en base al segundo vector de dirección para el primer canal espacial.

25. El procedimiento de la reivindicación 24, en el que el filtro ajustado en el dominio del tiempo comprende un pulso de filtro ajustado para cada una de la pluralidad de antenas.

26. El procedimiento de la reivindicación 20, que comprende además:

15 la recepción de un tercer grupo de símbolos desde la pluralidad de antenas para un segundo piloto dirigido recibido a través del segundo canal espacial del canal MIMO, en el que el segundo piloto dirigido se genera en base al símbolo piloto y un primer vector de dirección para el segundo canal espacial;  
el procesamiento del tercer grupo de símbolos con el símbolo piloto para obtener un cuarto grupo de símbolos;

20 la determinación del segundo factor de escalado en base a una potencia estimada de los símbolos en el tercer grupo y  
el escalado de los símbolos en el cuarto grupo con el segundo factor de escala para obtener un segundo vector de dirección para el segundo canal espacial.

25 27. Un punto de acceso en un sistema de comunicación de entrada múltiple salida múltiple, MIMO, inalámbrico, que comprende:

un procesador espacial de transmisión operativo para generar una pluralidad de pilotos ortogonales para un piloto MIMO en base a un primer símbolo piloto y una pluralidad de secuencias ortogonales para una pluralidad de antenas, en el que la pluralidad de pilotos ortogonales se diseñan para la transmisión desde la pluralidad de antenas en un enlace descendente en el sistema MIMO y

30 un procesador espacial de recepción operativo para procesar un piloto dirigido recibido desde un terminal a través de un canal espacial en un enlace ascendente en el sistema MIMO, en el que el piloto dirigido se genera mediante el terminal en base a un segundo símbolo piloto y un vector de dirección para el canal espacial y en el que el vector de dirección se obtiene por el terminal en base al piloto MIMO recibido a través del enlace descendente.

35 28. El punto de acceso de la reivindicación 27, en el que el procesador espacial de transmisión es operativo además para generar un piloto de balizamiento en base a un tercer símbolo piloto, en el que el piloto de balizamiento comprende un piloto común adecuado para la transmisión desde cada una de la pluralidad de antenas en el enlace descendente.

40 29. El punto de acceso de la reivindicación 27, en el que la pluralidad de secuencias ortogonales son secuencias Walsh.

30. El punto de acceso de la reivindicación 27, en el que el sistema MIMO utiliza multiplexado por división de frecuencia ortogonal, OFDM, en el que el piloto MIMO se genera para un primer conjunto de subbandas y en el que el piloto dirigido se recibe en un segundo conjunto de subbandas.

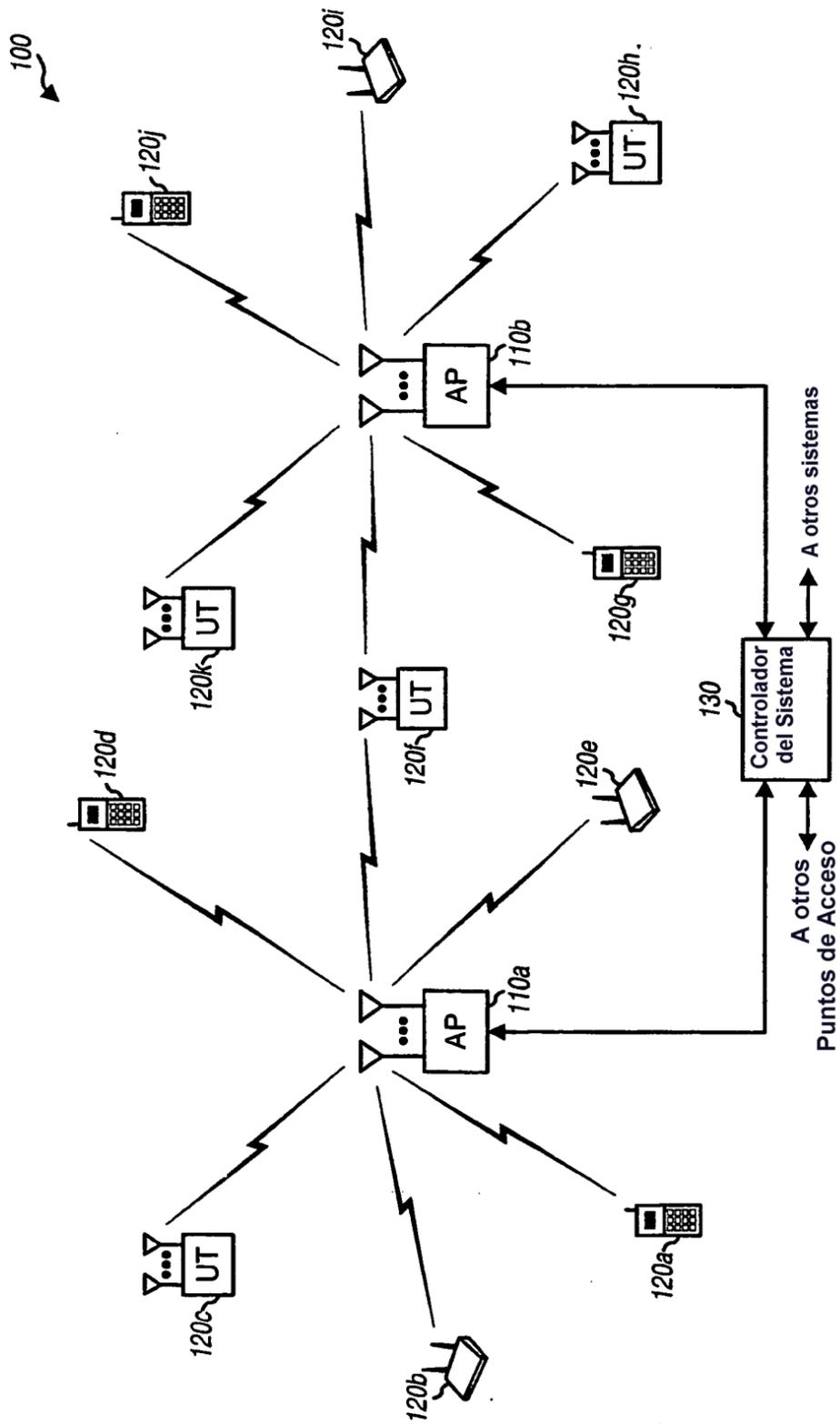


FIG. 1

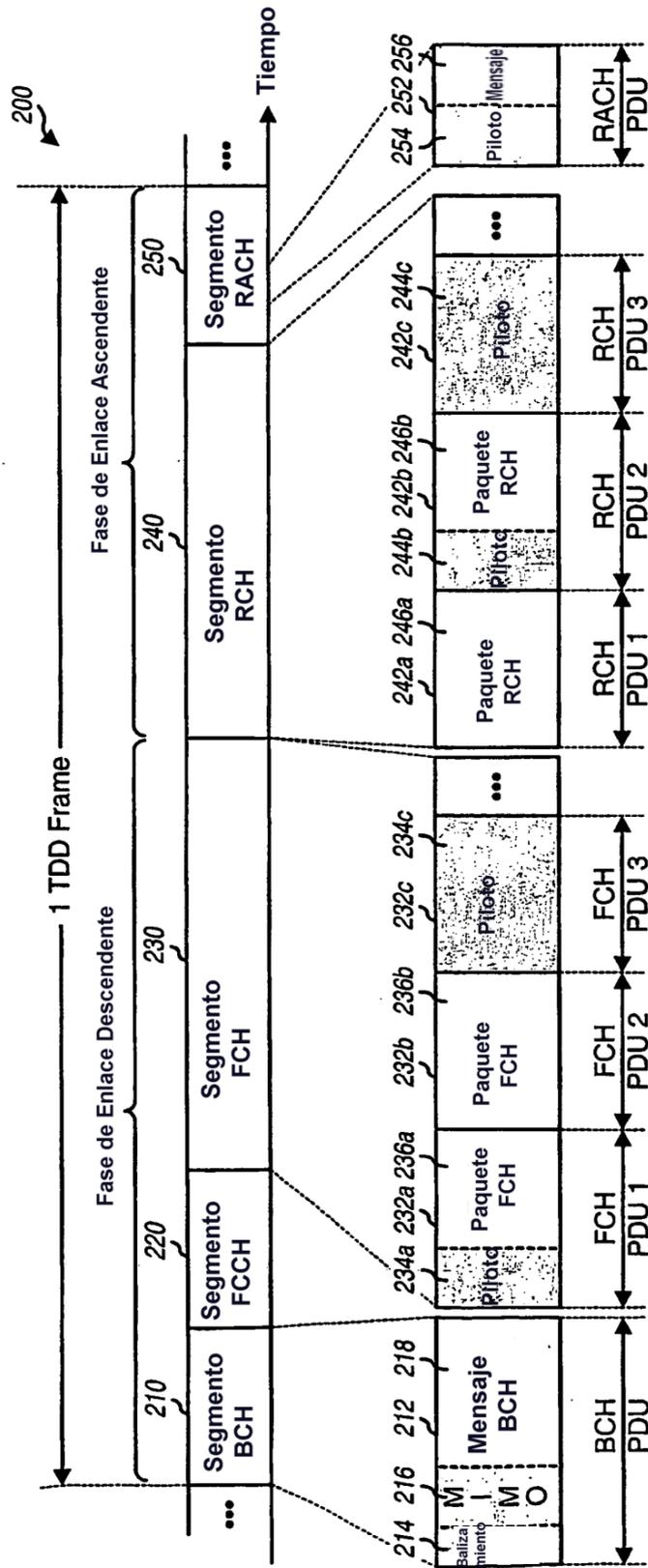


FIG. 2

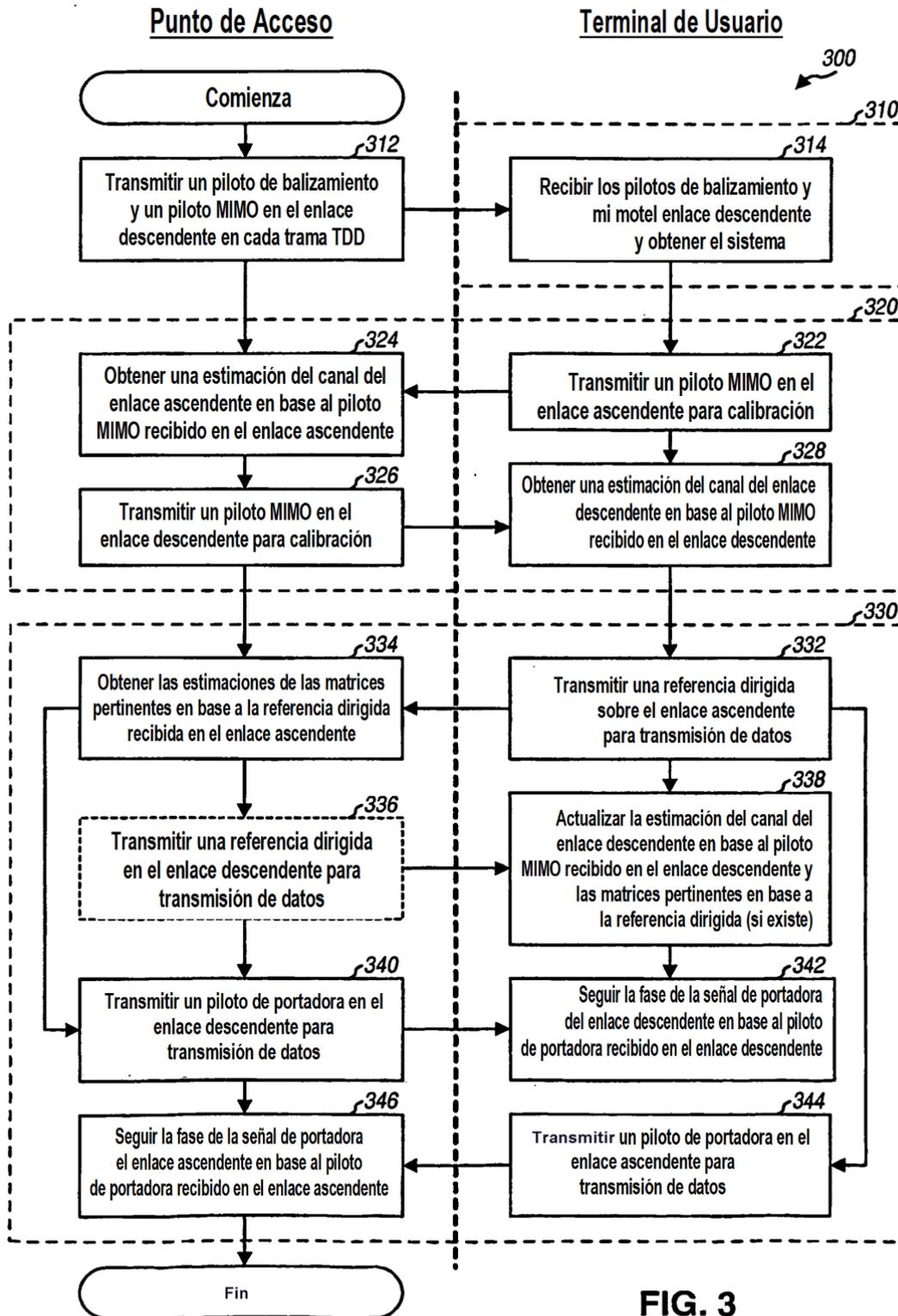


FIG. 3

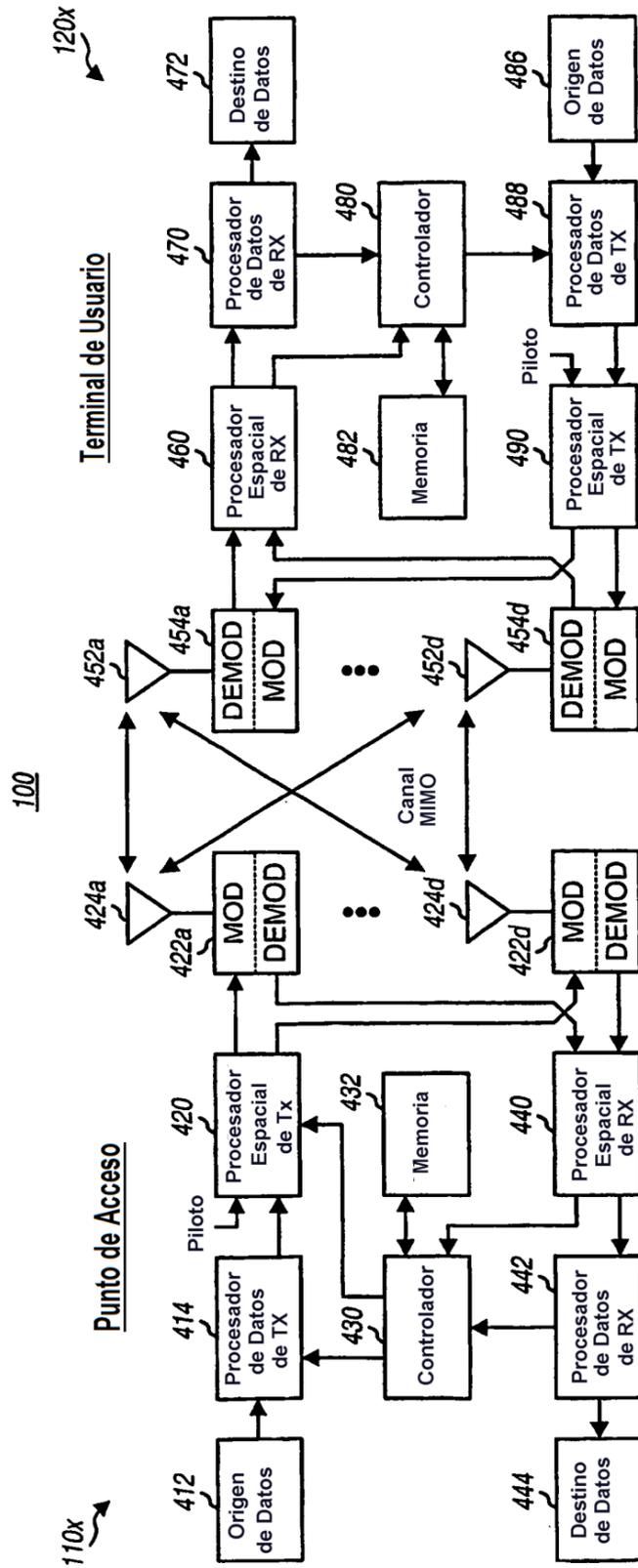


FIG. 4

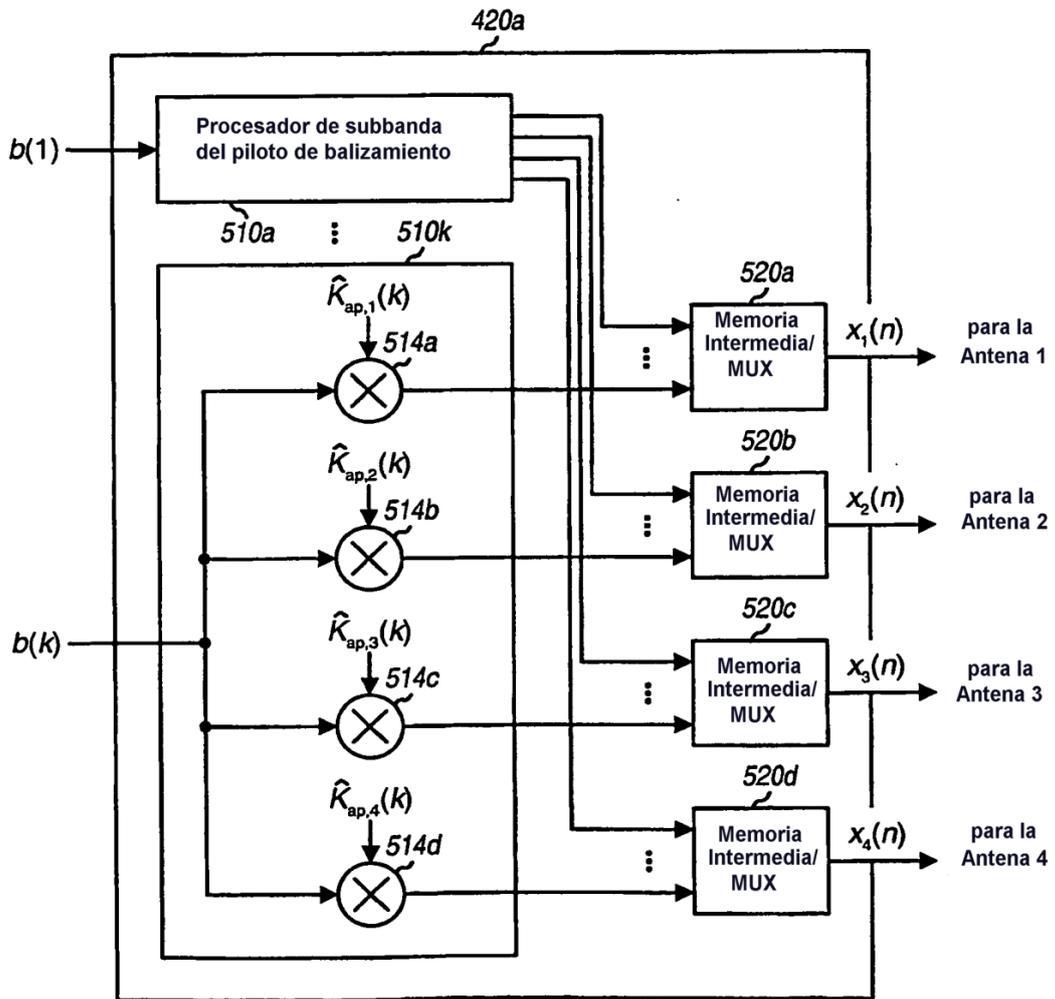


FIG. 5

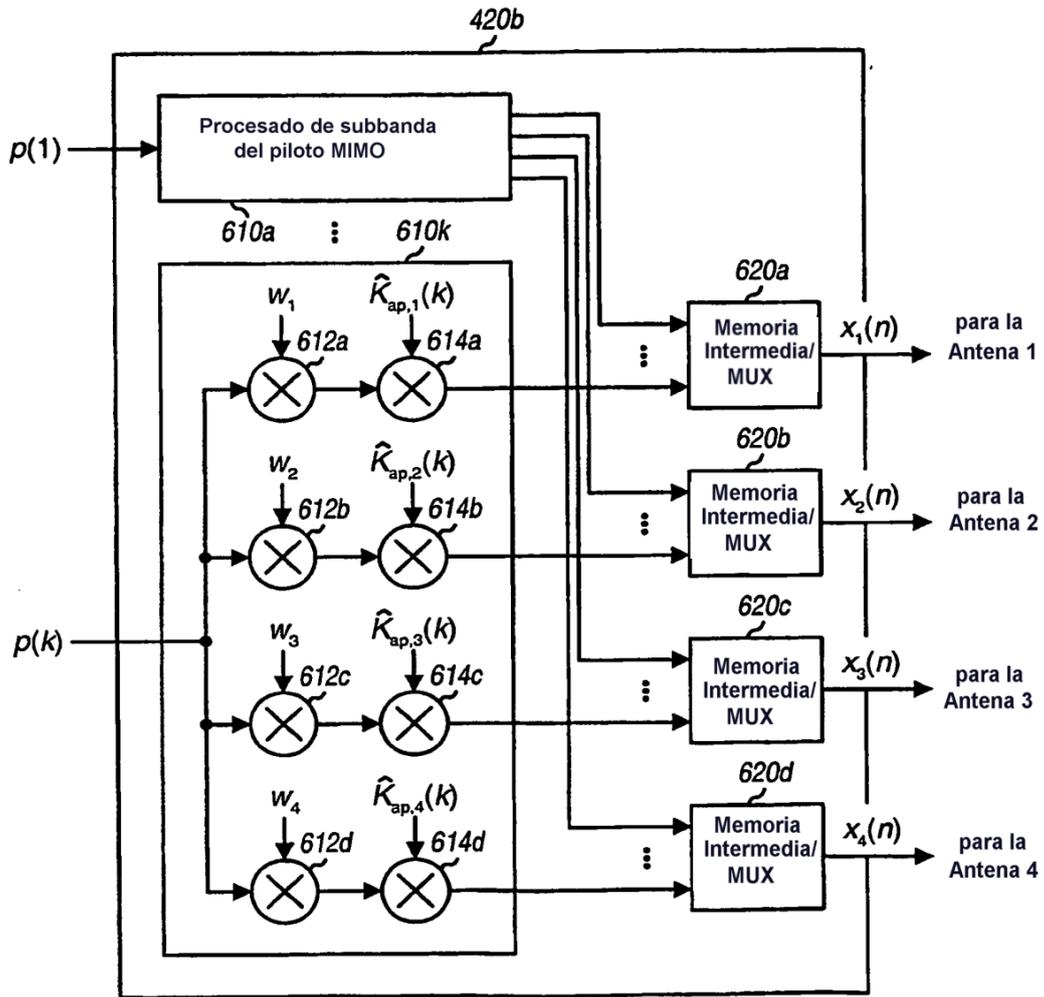


FIG. 6A

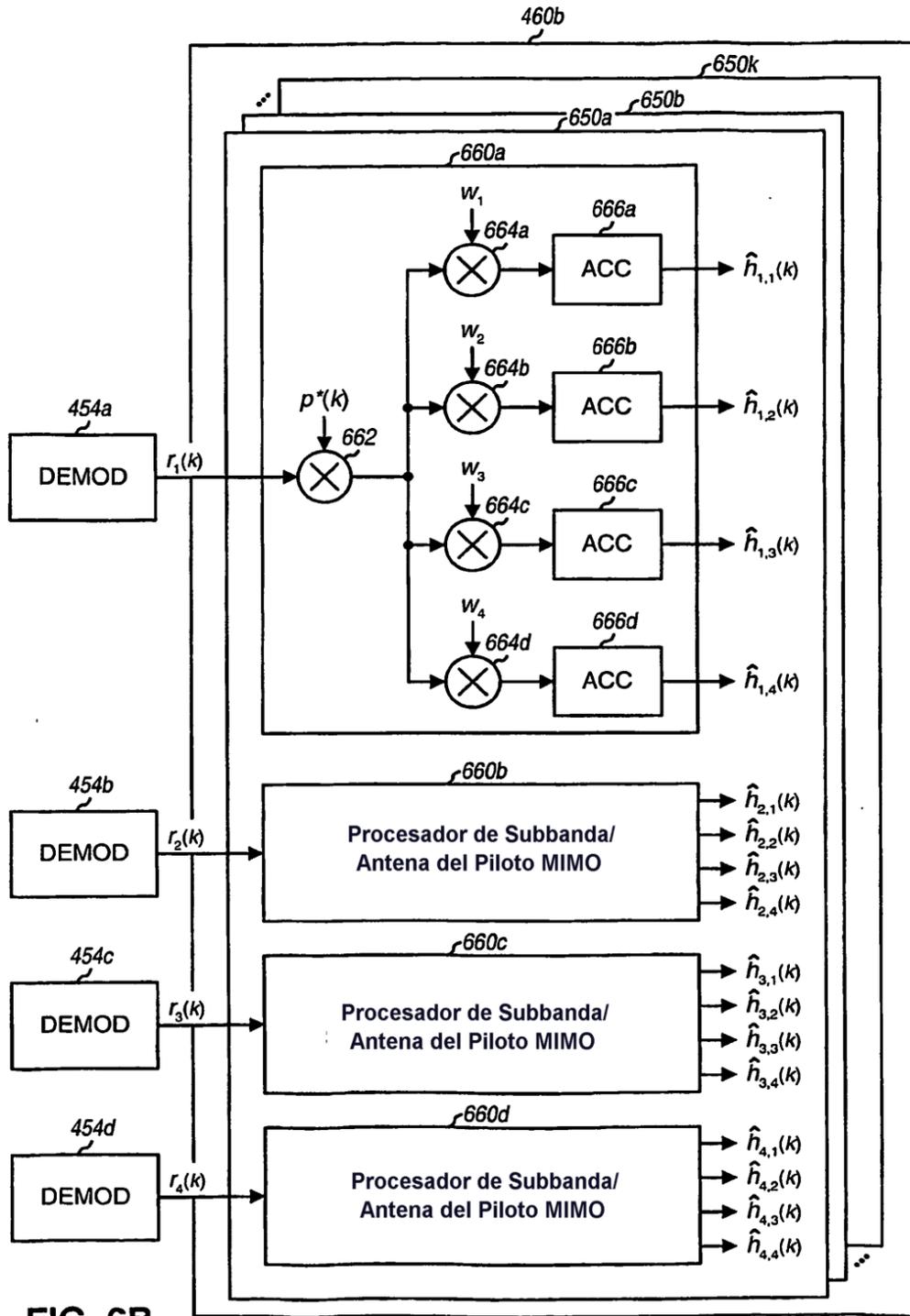


FIG. 6B

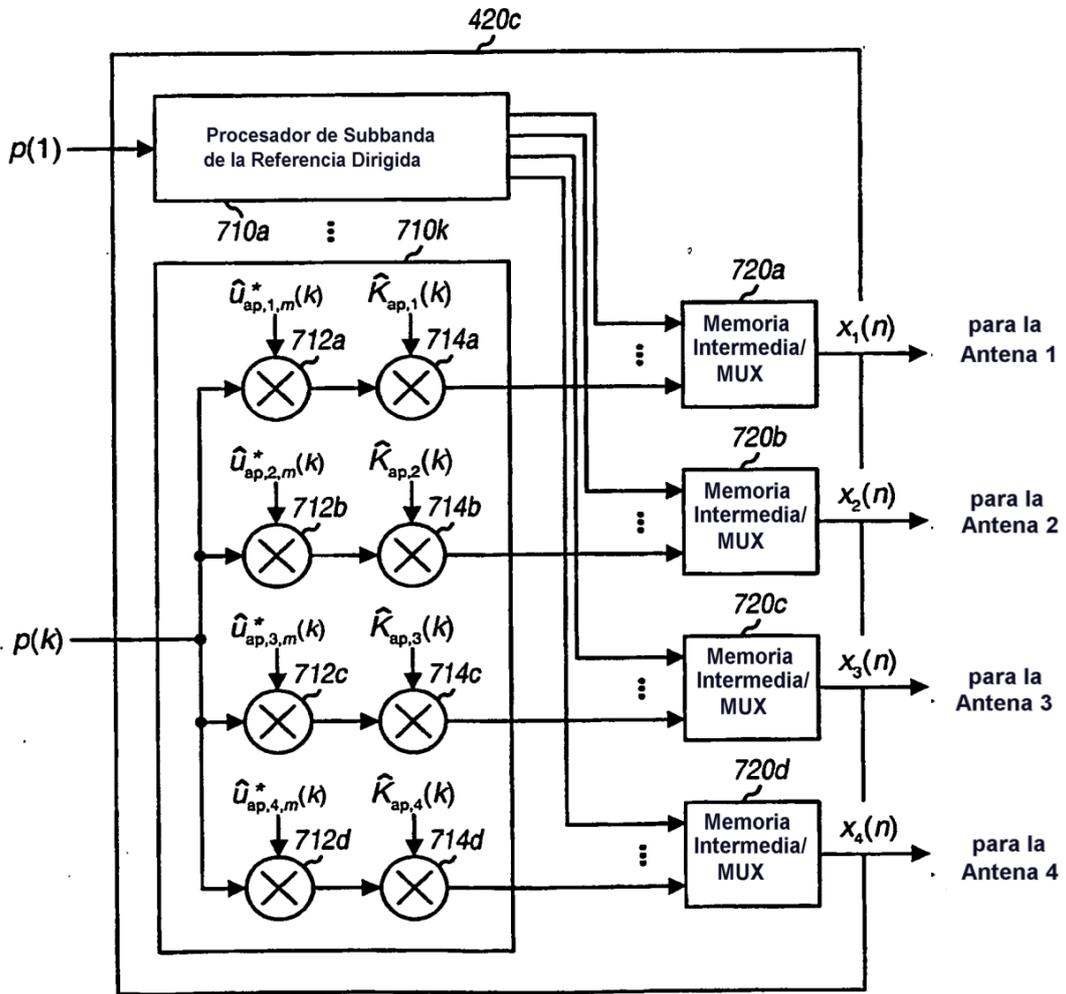


FIG. 7A

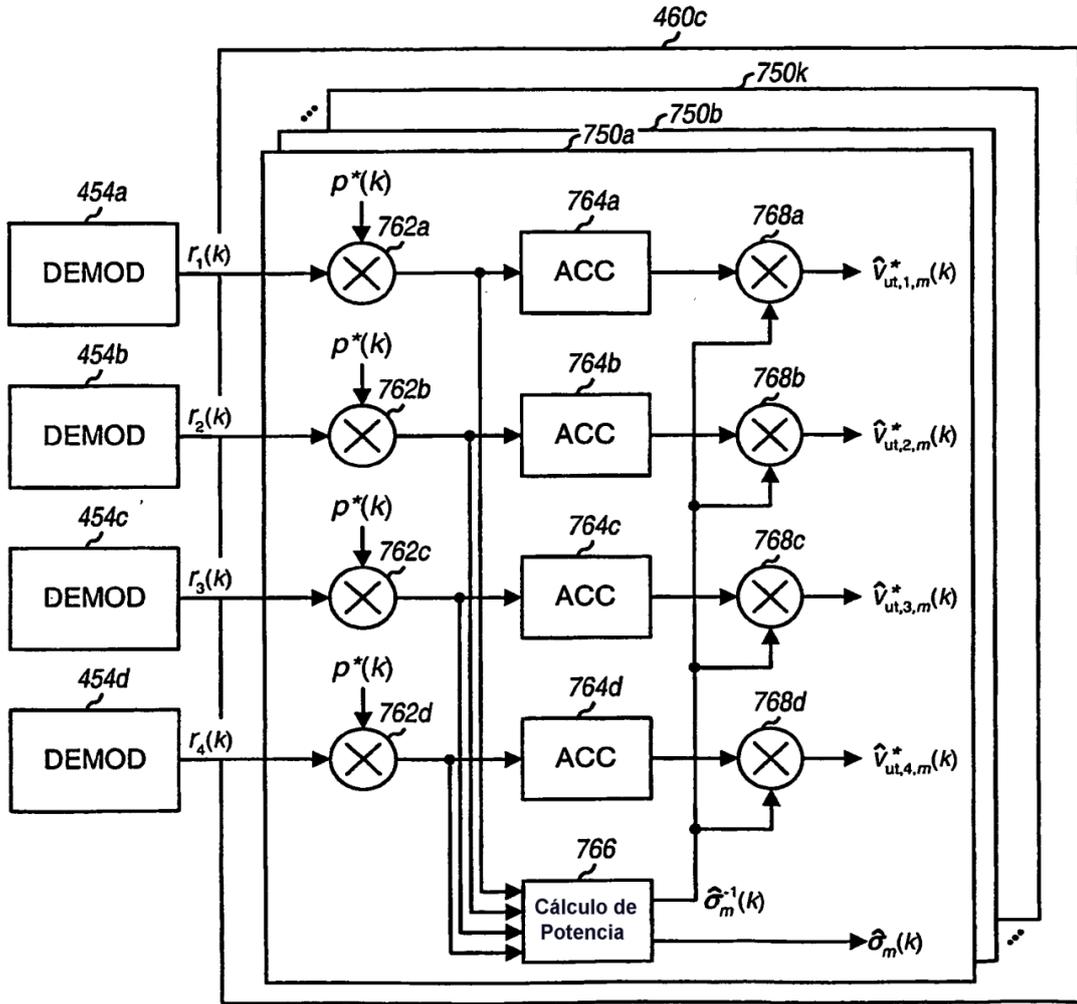


FIG. 7B