

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 515**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)
H04L 5/00 (2006.01)
H04W 52/50 (2009.01)
H04W 28/22 (2009.01)
H04W 84/12 (2009.01)
H04W 72/12 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2003 E 10174932 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 2378695**

54 Título: **Sistema de WLAN de MIMO**

30 Prioridad:

25.10.2002 US 421309 P
23.10.2003 US 693419

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2019

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

WALTON, J RODNEY;
WALLACE, MARK S;
KETCHUM, JOHN W y
HOWARD, STEVEN J

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 734 515 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

Sistema de WLAN de MIMO

5 **ANTECEDENTES**

Campo

10 **[0001]** La presente invención se refiere en general a la comunicación de datos y, más específicamente, a un sistema de comunicación de red de área local inalámbrica (WLAN) de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO).

Antecedentes

15 **[0002]** Los sistemas de comunicación inalámbrica están ampliamente desplegados para proporcionar diversos tipos de comunicación, tales como voz, datos en paquetes, etc. Estos sistemas pueden ser sistemas de acceso múltiple capaces de dar soporte a la comunicación con múltiples usuarios, secuencialmente o simultáneamente, compartiendo los recursos de sistema disponibles. Entre los ejemplos de sistemas de acceso múltiple se incluyen sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), sistemas de acceso múltiple por división del tiempo (TDMA) y sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

20 **[0003]** Las redes inalámbricas de área local (WLAN) también están ampliamente desplegadas para permitir la comunicación entre dispositivos electrónicos inalámbricos (por ejemplo, ordenadores) a través de un enlace inalámbrico. Una WLAN puede emplear puntos de acceso (o estaciones base) que actúan como concentradores y proporcionan conectividad para los dispositivos inalámbricos. Los puntos de acceso también pueden conectar (o "vincular") la WLAN a las LAN cableadas, permitiendo así que los dispositivos inalámbricos accedan a los recursos de la LAN. El documento US 6 363 267 B1 (LINDSKOG JAN [SE] ET AL), del 26 de marzo de 2002, se refiere al establecimiento y la coordinación de las fases de reposo de terminal móvil dentro de los sistemas de comunicación de LAN.

25 **[0004]** En un sistema de comunicación inalámbrica, una señal modulada de radiofrecuencia (RF) desde una unidad transmisora puede llegar a una unidad receptora mediante una serie de trayectos de propagación. Las características de los trayectos de propagación pueden variar habitualmente con el tiempo debido a diversos factores, tales como el desvanecimiento y el multitrayecto. Para proporcionar diversidad contra los efectos perjudiciales del trayecto y mejorar el rendimiento, se pueden usar múltiples antenas de transmisión y recepción. Si los trayectos de propagación entre las antenas de transmisión y recepción son linealmente independientes (es decir, una transmisión en un trayecto no se forma como una combinación lineal de las transmisiones en los otros trayectos), que generalmente es cierto, al menos en cierta medida, entonces la probabilidad de recibir correctamente una transmisión de datos aumenta a medida que aumenta el número de antenas. Generalmente, la diversidad aumenta y el rendimiento mejora a medida que aumenta el número de antenas de transmisión y recepción.

30 **[0005]** Un sistema de MIMO emplea múltiples (N_T) antenas transmisoras y múltiples (N_R) antenas receptoras para la transmisión de datos. Un canal de MIMO formado por las N_T antenas de transmisión y las N_R antenas de recepción se puede descomponer en N_S canales espaciales, donde $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$. Cada una de las N_S secuencias espaciales corresponde a una dimensión. El sistema de MIMO puede proporcionar un rendimiento mejorado (por ejemplo, una capacidad acrecentada de transmisión y/o una mayor fiabilidad) si se utilizan las dimensiones adicionales creadas por las múltiples antenas transmisoras y receptoras.

35 **[0006]** Los recursos para un sistema de comunicación determinado suelen estar limitados por diversas restricciones y requisitos reglamentarios y por otras consideraciones prácticas. Sin embargo, es posible que se requiera que el sistema preste soporte a una serie de terminales, brinde diversos servicios, logre ciertos objetivos de rendimiento, etc.

40 **[0007]** Existe, por lo tanto, una necesidad en la técnica de un sistema de WLAN de MIMO capaz de prestar soporte a múltiples usuarios y proporcionar un alto rendimiento del sistema.

SUMARIO

45 **[0008]** En este documento se describe un sistema de WLAN de MIMO, de acceso múltiple, con varias capacidades y capaz de lograr un alto rendimiento. En un modo de realización, el sistema emplea MIMO y el multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM) para lograr un alto caudal, combatir los efectos nocivos del trayecto y proporcionar otros beneficios. Cada punto de acceso en el sistema puede dar soporte a múltiples terminales de usuario. La asignación de los recursos de enlace descendente y de enlace ascendente depende de los requisitos de los terminales de usuario, las condiciones del canal y otros factores.

[0009] En este documento también se proporciona una estructura de canal que presta soporte a transmisiones eficaces de enlace descendente y de enlace ascendente. La estructura del canal comprende una serie de canales de transporte que se pueden usar para varias funciones, tales como la señalización de los parámetros del sistema y las asignaciones de recursos, las transmisiones de datos de enlace descendente y de enlace ascendente, el acceso aleatorio del sistema, etc. Varios atributos de estos canales de transporte son configurables, lo que permite que el sistema se adapte fácilmente a condiciones cambiantes de canal y de carga.

[0010] El sistema de WLAN de MIMO presta soporte a múltiples velocidades y modalidades de transmisión para lograr un alto caudal cuando les prestan soporte las condiciones del canal y las capacidades de los terminales de usuario. Las velocidades son configurables según las estimaciones de las condiciones de canal y pueden seleccionarse independientemente para el enlace descendente y el enlace ascendente. También se pueden usar diferentes modalidades de transmisión, en función del número de antenas en los terminales de usuario y de las condiciones del canal. Cada modalidad de transmisión está asociada a un procesamiento espacial diferente en el transmisor y el receptor, y se puede seleccionar para su uso en diferentes condiciones de funcionamiento. El procesamiento espacial facilita la transmisión de datos desde múltiples antenas de transmisión y/o la recepción de datos con múltiples antenas de recepción para mayor caudal y/o diversidad.

[0011] En un modo de realización, el sistema de WLAN de MIMO usa una única banda de frecuencia para el enlace descendente y el enlace ascendente, que comparten la misma banda operativa utilizando el duplexado por división del tiempo (TDD). Para un sistema de TDD, las respuestas de los canales de enlace descendente y de enlace ascendente son recíprocas. Las técnicas de calibración se proporcionan en este documento para determinar y tener en cuenta las diferencias en las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y los terminales de usuario. También se describen técnicas en el presente documento para simplificar el procesamiento espacial en el punto de acceso y los terminales de usuario aprovechando la naturaleza recíproca del enlace descendente y del enlace ascendente y la calibración.

[0012] También se proporciona una estructura piloto con varios tipos de señales piloto utilizadas para diferentes funciones. Por ejemplo, se puede usar una señal piloto de baliza para la adquisición de la frecuencia y del sistema, se puede usar una señal piloto de MIMO para la estimación del canal, se puede usar una referencia guiada (es decir, una señal piloto dirigida) para mejorar la estimación del canal, y se puede usar un piloto portador para el rastreo de fase.

[0013] También se proporcionan varios bucles de control para el correcto funcionamiento del sistema. El control de velocidad se puede ejercer de forma independiente en el enlace descendente y en el enlace ascendente. El control de potencia se puede ejercer para ciertas transmisiones (por ejemplo, servicios de velocidad fija). El control de temporización se puede usar para las transmisiones de enlace ascendente, para tener en cuenta los diferentes retrasos de propagación de los terminales de usuario ubicados por todo el sistema.

[0014] También se proporcionan técnicas de acceso aleatorio para permitir que los terminales de usuario accedan al sistema. Estas técnicas prestan soporte al acceso al sistema por múltiples terminales de usuario, al reconocimiento rápido de los intentos de acceso al sistema y a la asignación rápida de recursos de enlace descendente/enlace ascendente.

[0015] A continuación se describen en más detalle los diversos aspectos y modos de realización de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0016] Las características y la naturaleza de la presente invención resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada expuesta a continuación cuando se considere junto con los dibujos, en los que los mismos caracteres de referencia identifican de forma correspondiente en toda su extensión y en los que:

La figura 1 muestra un sistema de WLAN de MIMO;

la figura 2 muestra una estructura de capas para el sistema de WLAN de MIMO;

las figuras 3A, 3B y 3C muestran una estructura de trama de TDD-TDM, una estructura de trama de FDD-TDM y una estructura de trama de FDD-CDM, respectivamente;

la figura 4 muestra la estructura de trama de TDD-TDM con cinco canales de transporte: BCH, FCCH, FCH, RCH y RACH;

las figuras 5A a 5G muestran varios formatos de unidades de datos de protocolo (PDU) para los cinco canales de transporte;

la figura 6 muestra una estructura para un paquete de FCH/RCH;

la figura 7 muestra un punto de acceso y dos terminales de usuario;

las figuras 8A, 9A y 10A muestran tres unidades transmisoras para las modalidades de diversidad, multiplexado espacial y guía de haces, respectivamente;

las figuras 8B, 9B y 10B muestran tres procesadores de diversidad de TX para las modalidades de diversidad, multiplexado espacial y guía de haces, respectivamente,

la figura 8C muestra un modulador de OFDM,

la figura 8D muestra un símbolo de OFDM;

la figura 11A muestra una unidad de entramado y un aleatorizador dentro de un procesador de datos de TX,

la figura 11B muestra un codificador y una unidad de repetición/punción dentro del procesador de datos de TX;

la figura 11C muestra otro procesador de datos de TX que se puede usar para la modalidad de multiplexado espacial;

las figuras 12A y 12B muestran un diagrama de estados para el funcionamiento de un terminal de usuario;

la figura 13 muestra una línea de tiempo para el RACH;

las figuras 14A y 14B muestran procesos para controlar las velocidades de transmisiones de enlace descendente y enlace ascendente, respectivamente;

la figura 15 muestra el funcionamiento de un bucle de control de potencia; y

la figura 16 muestra un proceso para ajustar la temporización de enlace ascendente de un terminal de usuario.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0017] El término "ejemplar" se usa en el presente documento para significar "que sirve de ejemplo, caso o ilustración". No debe considerarse necesariamente que cualquier modo de realización o diseño descritos en el presente documento como "ejemplar" sea preferido o ventajoso con respecto a otros modos de realización o diseños.

I. Sistema global

[0018] La figura 1 muestra un sistema de WLAN de MIMO 100 que da soporte a una serie de usuarios y es capaz de implementar diversos aspectos y modos de realización de la invención. El sistema de WLAN de MIMO 100 incluye una serie de puntos de acceso (AP) 110 que prestan soporte a la comunicación para una serie de terminales de usuario (UT) 120. Por motivos de simplicidad, solamente se muestran dos puntos de acceso 110 en la figura 1. Un punto de acceso es generalmente una estación fija que se utiliza para la comunicación con los terminales de usuario. Un punto de acceso también puede denominarse una estación base o con alguna otra terminología.

[0019] Los terminales de usuario 120 pueden estar dispersos por todo el sistema. Cada terminal de usuario puede ser un terminal fijo o móvil que puede comunicarse con el punto de acceso. Un terminal de usuario también puede denominarse estación móvil, estación remota, terminal de acceso, equipo de usuario (UE), dispositivo inalámbrico o con alguna otra terminología. Cada terminal de usuario puede comunicarse con uno o posiblemente múltiples puntos de acceso en el enlace descendente y/o el enlace ascendente en cualquier momento dado. El enlace descendente (es decir, el enlace directo) se refiere a la transmisión desde el punto de acceso al terminal de usuario, y el enlace ascendente (es decir, el enlace inverso) se refiere a la transmisión desde el terminal de usuario al punto de acceso.

[0020] En la figura 1, el punto de acceso 110a se comunica con los terminales de usuario 120a a 120f, y el punto de acceso 110b se comunica con los terminales de usuario 120f a 120k. En función del diseño específico del sistema 100, un punto de acceso puede comunicarse con múltiples terminales de usuario simultáneamente (por ejemplo, mediante múltiples canales de código o subbandas) o secuencialmente (por ejemplo, mediante múltiples intervalos de tiempo). En cualquier momento dado, un terminal de usuario puede recibir transmisiones de enlace descendente desde uno o varios puntos de acceso. La transmisión de enlace descendente desde cada punto de acceso puede incluir datos de sobrecarga destinados a ser recibidos por múltiples terminales de usuario, datos específicos del usuario destinados a ser recibidos por terminales de usuario específicos, otros tipos de datos o cualquier combinación de los mismos. Los datos de sobrecarga pueden incluir mensajes piloto, de búsqueda y de difusión, parámetros del sistema, etc.

[0021] El sistema de WLAN de MIMO se basa en una arquitectura de red de controlador centralizado. Por lo tanto, un controlador de sistema 130 se acopla a los puntos de acceso 110 y puede además acoplarse a otros sistemas y redes. Por ejemplo, el controlador de sistema 130 puede acoplarse a una red de datos por paquetes (PDN), una red de área local cableada (LAN), una red de área extensa (WAN), Internet, una red telefónica pública conmutada (PSTN), una red de comunicación celular, etc. El controlador de sistema 130 puede estar diseñado para realizar una serie de funciones tales como (1) coordinación y control para los puntos de acceso acoplados al mismo, (2) encaminamiento de datos entre estos puntos de acceso, (3) acceso y control de comunicación con los terminales de usuario atendidos por estos puntos de acceso, etc.

[0022] El sistema de WLAN de MIMO puede ser capaz de proporcionar un alto caudal con una capacidad de cobertura significativamente mayor que los sistemas de WLAN convencionales. El sistema de WLAN de MIMO puede dar soporte a servicios de voz/datos síncronos, asíncronos e isócronos. El sistema de WLAN de MIMO puede estar diseñado para proporcionar las siguientes características:

- Alta fiabilidad del servicio
- Calidad de servicio (QoS) garantizada
- Altas velocidades de datos instantáneas
- Alta eficacia espectral
- Rango de cobertura extendida.

[0023] El sistema de WLAN de MIMO puede ser operado en varias bandas de frecuencia (por ejemplo, las bandas U-NII de 2,4 GHz y 5,x GHz), sujeto a restricciones de ancho de banda y de emisión, específicas de la banda operativa seleccionada. El sistema está diseñado para dar soporte a implementaciones tanto en interiores como en exteriores, con un típico tamaño de célula máximo de 1 km o menos. El sistema presta soporte a aplicaciones de terminal fijo, aunque algunas modalidades de funcionamiento también dan soporte al funcionamiento portátil y de movilidad limitada.

1. MIMO, MISO y SIMO

[0024] En un modo de realización específica, y como se describe a lo largo de la especificación, cada punto de acceso está equipado con cuatro antenas de transmisión y recepción para la transmisión y recepción, donde se utilizan las mismas cuatro antenas para transmitir y recibir. El sistema también da soporte al caso en el que las antenas de transmisión y recepción del dispositivo (por ejemplo, el punto de acceso, el terminal de usuario) no se comparten, aunque esta configuración normalmente proporciona un rendimiento menor que cuando se comparten las antenas. El sistema de WLAN de MIMO también puede diseñarse de manera que cada punto de acceso esté equipado con algún otro número de antenas de transmisión/recepción. Cada terminal de usuario puede estar equipado con una única antena de transmisión/recepción o múltiples antenas de transmisión/recepción para la transmisión y recepción de datos. El número de antenas empleadas por cada tipo de terminal de usuario puede depender de varios factores tales como, por ejemplo, los servicios a los que debe dar soporte el terminal de usuario (por ejemplo, voz, datos o ambos), consideraciones de coste, restricciones reglamentarias, cuestiones de seguridad, etc.

[0025] Para un apareo dado de punto de acceso de múltiples antenas y terminal de usuario de múltiples antenas, un canal de MIMO está formado por las N_T antenas de transmisión y las N_R antenas de recepción disponibles para su uso para la transmisión de datos. Se forman diferentes canales de MIMO entre el punto de acceso y diferentes terminales de usuario de múltiples antenas. Cada canal de MIMO se puede descomponer en N_S canales espaciales, con $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. Los N_S flujos de datos pueden transmitirse en los N_S canales espaciales. El procesamiento espacial se requiere en un receptor y puede o no realizarse en un transmisor a fin de transmitir múltiples flujos de datos en los N_S canales espaciales.

[0026] Los N_S canales espaciales pueden o no ser ortogonales entre sí. Esto depende de varios factores, tales como (1) si el procesamiento espacial se realizó o no en el transmisor para obtener canales espaciales ortogonales y (2) si el procesamiento espacial, tanto en el transmisor como en el receptor, tuvo o no éxito en la ortogonalización de los canales espaciales. Si no se realiza ningún procesamiento espacial en el transmisor, entonces los N_S canales espaciales pueden formarse con N_S antenas de transmisión y es poco probable que sean ortogonales entre sí.

[0027] Los N_S canales espaciales se pueden ortogonalizar realizando una descomposición en una matriz de respuesta de canal para el canal de MIMO, como se describe a continuación. Cada canal espacial se denomina automodo del canal de MIMO si los N_S canales espaciales están ortogonalizados usando descomposición, lo que requiere un procesamiento espacial tanto en el transmisor como en el receptor, como se describe a continuación.

En este caso, los N_s flujos de datos se pueden transmitir de forma ortogonal en los N_s automodos. Sin embargo, un automodo normalmente se refiere a una construcción teórica. Los N_s canales espaciales no suelen ser completamente ortogonales entre sí debido a varias razones. Por ejemplo, los canales espaciales no serían ortogonales si (1) el transmisor no tiene ningún conocimiento del canal de MIMO o (2) el transmisor y/o el receptor tienen una estimación imperfecta del canal de MIMO. Con fines de simplicidad, en la siguiente descripción, el término "automodo" se usa para representar el caso en el que se hace un intento por ortogonalizar los canales espaciales, incluso aunque el intento puede no ser completamente exitoso, debido, por ejemplo, a una estimación de canal imperfecta.

[0028] Para un número dado (por ejemplo, cuatro) de antenas en el punto de acceso, el número de canales espaciales disponibles para cada terminal de usuario depende de la cantidad de antenas empleadas por ese terminal de usuario y de las características del canal de MIMO inalámbrico que acopla las antenas del punto de acceso y las antenas del terminal de usuario. Si un terminal de usuario está equipado con una antena, entonces las cuatro antenas en el punto de acceso y la antena única en el terminal de usuario forman un canal de entrada múltiple y salida única (MISO) para el enlace descendente y un canal de entrada única y salida múltiple (SIMO) para el enlace ascendente.

[0029] El sistema de WLAN de MIMO puede diseñarse para dar soporte a una serie de modalidades de transmisión. La Tabla 1 enumera las modalidades de transmisión con soporte por parte de un diseño ejemplar del sistema de WLAN de MIMO.

Tabla 1

Modalidades de transmisión	Descripción
SIMO	Los datos se transmiten desde una sola antena, pero pueden ser recibidas por múltiples antenas, para la diversidad de recepción.
Diversidad	Los datos se transmiten de forma redundante desde múltiples antenas de transmisión y/o múltiples subbandas, para proporcionar diversidad.
Guía de haces	Los datos se transmiten en un único (óptimo) canal espacial a toda su potencia, usando la información de guía de fase para el principal automodo.
Multiplexado espacial	Los datos se transmiten en múltiples canales espaciales para lograr una mayor eficacia espectral.

Para simplificar, el término "diversidad" se refiere a la diversidad de transmisión en la siguiente descripción, a menos que se indique lo contrario.

[0030] Las modalidades de transmisión disponibles para su uso para el enlace descendente y el enlace ascendente para cada terminal de usuario dependen de la cantidad de antenas empleadas en el terminal de usuario. La Tabla 2 enumera las modalidades de transmisión disponibles para los diferentes tipos de terminales para el enlace descendente y el enlace ascendente, suponiendo múltiples antenas (por ejemplo, cuatro) en el punto de acceso.

Tabla 2

Modalidades de transmisión	Enlace descendente		Enlace ascendente	
	Terminal de usuario de una sola antena	Terminal de usuario de múltiples antenas	Terminal de usuario de una sola antena	Terminal de usuario de múltiples antenas
MISO (en enlace descendente)/SIMO (en enlace ascendente)	X	X	X	X
Diversidad	X	X		X
Guía de haces	X	X		X
Multiplexado espacial		X		X

Para el enlace descendente, todas las modalidades de transmisión, excepto la modalidad de multiplexado espacial, se pueden usar para terminales de usuario de una sola antena, y todas las modalidades de transmisión se pueden usar para terminales de usuario de múltiples antenas. Para el enlace ascendente, todas las modalidades de transmisión pueden ser utilizadas por terminales de usuario de múltiples antenas, mientras que los terminales de

usuario de una sola antena utilizan la modalidad SIMO para transmitir datos desde la única antena disponible. La diversidad de recepción (es decir, la recepción de una transmisión de datos con múltiples antenas de recepción) se puede utilizar para las modalidades de SIMO, diversidad y guía de haces.

5 **[0031]** El sistema de WLAN de MIMO también puede ser diseñado para prestar soporte a otras diversas modalidades de transmisión, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, se puede usar una modalidad de formación de haces para transmitir datos en un automodo individual, utilizando tanto la información de amplitud como de fase para el automodo (en lugar de solo la información de fase, que es todo lo que utiliza la modalidad de guía de haces). Como otro ejemplo, se puede definir una modalidad de multiplexado espacial "no dirigido", mediante la cual el transmisor simplemente transmite múltiples flujos de datos desde múltiples antenas de transmisión (sin ningún procesamiento espacial) y el receptor realiza el procesamiento espacial necesario para aislar y recuperar los flujos de datos enviados desde las múltiples antenas de transmisión. Como otro ejemplo más, se puede definir una modalidad de multiplexado espacial "multiusuario", mediante la cual el punto de acceso transmite múltiples flujos de datos desde múltiples antenas de transmisión (con procesamiento espacial) a múltiples terminales de usuario al mismo tiempo en el enlace descendente. Como otro ejemplo más, se puede definir una modalidad de multiplexado espacial, mediante la cual el transmisor realiza un procesamiento espacial para intentar ortogonalizar los múltiples flujos de datos enviados en las múltiples antenas de transmisión (pero puede que no sea completamente exitoso debido a una estimación de canal imperfecta) y el receptor realiza el procesamiento espacial necesario para aislar y recuperar los flujos de datos enviados desde las múltiples antenas de transmisión. Por lo tanto, el procesamiento espacial para transmitir múltiples flujos de datos por múltiples canales espaciales se puede realizar (1) tanto en el transmisor como en el receptor, (2) solo en el receptor o (3) solo en el transmisor. Se pueden utilizar diferentes modalidades de multiplexado espacial, en función, por ejemplo, de las capacidades del punto de acceso y los terminales de usuario, la información de estado de canal disponible, los requisitos del sistema, etc.

15 **[0032]** En general, los puntos de acceso y los terminales de usuario pueden diseñarse con cualquier número de antenas de transmisión y recepción. Para mayor claridad, se describen a continuación realizaciones y diseños específicos en los que cada punto de acceso está equipado con cuatro antenas de transmisión/recepción, y cada terminal de usuario está equipado con cuatro o menos antenas de transmisión/recepción.

30 **2. OFDM**

[0033] En un modo de realización, el sistema de WLAN de MIMO emplea OFDM para dividir eficazmente el ancho de banda global del sistema en un número de (N_F) subbandas ortogonales. Estas subbandas también se denominan tonos, recipientes o canales de frecuencia. Con el OFDM, cada subbanda se asocia a una respectiva subportadora que puede modularse con datos. Para un sistema de MIMO que utiliza el OFDM, cada canal espacial de cada subbanda puede verse como un canal de transmisión independiente donde la ganancia compleja asociada a cada subbanda es efectivamente constante en la extensión del ancho de banda de la subbanda.

40 **[0034]** En un modo de realización, 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 índices de $\pm\{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$) se usan para datos, 4 subbandas (por ejemplo, con índices de $\pm\{7, 21\}$) se usan para señales piloto y posiblemente señalización, la subbanda de CC (con índice de 0) no se usa y las subbandas restantes tampoco se utilizan y sirven como subbandas de guarda. Esta estructura de subbanda de OFDM se describe con más detalle en un documento para la norma IEEE 802,11a y titulado "Parte 11: Especificaciones de Capa de Control de Acceso al Medio (MAC) y Capa física (PHY) de LAN inalámbrica: Capa física de alta velocidad en la banda de 5 GHz", septiembre de 1999, que está disponible públicamente. También se pueden implementar diferentes números de subbandas y varias otras estructuras de subbandas de OFDM para el sistema de WLAN de MIMO, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, todas las 53 subbandas con índices desde -26 a +26 pueden usarse para la transmisión de datos. Como otro ejemplo, se puede usar una estructura de 128 subbandas, una estructura de 256 subbandas o una estructura de subbandas con algún otro número de subbandas. Para mayor claridad, el sistema de WLAN de MIMO se describe a continuación con la estructura de 64 subbandas descrita anteriormente.

55 **[0035]** Para el OFDM, los datos a transmitir en cada subbanda se modulan primero (es decir, se correlacionan con símbolos) utilizando un esquema de modulación particular seleccionado para su uso para esa subbanda. Se proporcionan ceros para las subbandas no utilizadas. Para cada período de símbolos, los símbolos de modulación y los ceros para todas las N_F subbandas se transforman al dominio del tiempo utilizando una transformación de Fourier rápida inversa (IFFT), para obtener un símbolo transformado que contiene N_F muestras del dominio del tiempo. La duración de cada símbolo transformado está inversamente relacionada con el ancho de banda de cada subbanda. En un diseño específico para el sistema de WLAN de MIMO, el ancho de banda del sistema es de 20 MHz, $N_F = 64$, el ancho de banda de cada subbanda es de 312,5 KHz y la duración de cada símbolo transformado es de 3,2 μ s.

65 **[0036]** El OFDM puede proporcionar ciertas ventajas, tales como la capacidad para combatir el desvanecimiento selectivo de la frecuencia, que se caracteriza por diferentes ganancias de canal en diferentes frecuencias del ancho

de banda global del sistema. Es bien sabido que el desvanecimiento selectivo de frecuencia causa interferencia entre símbolos (ISI), que es un fenómeno por el cual cada símbolo en una señal recibida actúa como distorsión de los símbolos subsiguientes en la señal recibida. La distorsión de ISI degrada el rendimiento al afectar la capacidad de detectar correctamente los símbolos recibidos. El desvanecimiento selectivo de frecuencia puede combatirse convenientemente con OFDM repitiendo una parte de (o agregando un prefijo cíclico a) cada símbolo transformado para formar un símbolo de OFDM correspondiente, que luego se transmite.

[0037] La longitud del prefijo cíclico (es decir, la cantidad a repetir) para cada símbolo de OFDM depende de la propagación del retardo del canal inalámbrico. En particular, para combatir efectivamente la ISI, el prefijo cíclico debería ser más largo que la propagación de retardo máxima esperada para el sistema.

[0038] En un modo de realización, se pueden usar prefijos cíclicos de diferentes longitudes para los símbolos de OFDM, según la propagación de retardo esperada. Para el sistema específico de WLAN de MIMO descrito anteriormente, se puede seleccionar un prefijo cíclico de 400 nseg (8 muestras) u 800 nseg (16 muestras) para usar con los símbolos de OFDM. Un símbolo de OFDM "corto" utiliza el prefijo cíclico de 400 nseg y tiene una duración de 3,6 μ s. Un símbolo de OFDM "largo" utiliza el prefijo cíclico de 800 nseg y tiene una duración de 4,0 μ s. Se pueden usar símbolos de OFDM cortos si la propagación de retardo máxima esperada es de 400 nseg o menos, y se pueden usar símbolos de OFDM largos si la propagación de retardo es mayor que 400 nseg. Se pueden seleccionar diferentes prefijos cíclicos para usarlos para diferentes canales de transporte, y el prefijo cíclico también se puede seleccionar dinámicamente, como se describe a continuación. Se puede lograr un mayor caudal del sistema utilizando el prefijo cíclico más corto cuando sea posible, ya que se pueden transmitir más símbolos de OFDM de menor duración en un intervalo de tiempo fijo determinado.

[0039] El sistema de WLAN de MIMO también puede diseñarse para no utilizar el OFDM, y esto está dentro del alcance de la invención.

3. Estructura de la capa

[0040] La figura 2 ilustra una estructura de capa 200 que puede utilizarse para el sistema de WLAN de MIMO. La estructura de capa 200 incluye (1) aplicaciones y protocolos de capa superior que corresponden aproximadamente a la capa 3 y superiores del modelo de referencia de ISO/OSI (capas superiores), (2) protocolos y servicios que corresponden a la capa 2 (la capa de enlace) y (3) protocolos y servicios que corresponden a la Capa 1 (la capa física).

[0041] Las capas superiores incluyen varias aplicaciones y protocolos, tales como los servicios de señalización 212, los servicios de datos 214, los servicios de voz 216, las aplicaciones de datos de circuitos, etc. La señalización se proporciona normalmente como mensajes y los datos se proporcionan normalmente como paquetes. Los servicios y aplicaciones en las capas superiores originan y terminan mensajes y paquetes de acuerdo a la semántica y la temporización del protocolo de comunicación entre el punto de acceso y el terminal de usuario. Las capas superiores utilizan los servicios proporcionados por la Capa 2.

[0042] La capa 2 da soporte a la entrega de mensajes y paquetes generados por las capas superiores. En el modo de realización mostrada en la figura 2, la capa 2 incluye una subcapa de control de acceso de enlace (LAC) 220 y una subcapa de control de acceso al medio (MAC) 230. La subcapa de LAC implementa un protocolo de enlace de datos que provee el transporte y la entrega correctos de los mensajes generados por las capas superiores. La subcapa de LAC utiliza los servicios proporcionados por la subcapa de MAC y la Capa 1. La subcapa de MAC es responsable de transportar mensajes y paquetes utilizando los servicios proporcionados por la Capa 1. La subcapa de MAC controla el acceso a los recursos de la Capa 1 por las aplicaciones y servicios en las capas superiores. La subcapa de MAC puede incluir un Protocolo de Enlace de Radio (RLP) 232, que es un mecanismo de retransmisión que puede usarse para proporcionar una mayor confiabilidad para los datos en paquetes. La capa 2 proporciona unidades de datos de protocolo (PDU) a la capa 1.

[0043] La capa 1 comprende la capa física 240 y presta soporte a la transmisión y recepción de señales de radio entre el punto de acceso y el terminal de usuario. La capa física realiza la codificación, el intercalado, la modulación y el procesamiento espacial para varios canales de transporte utilizados para enviar mensajes y paquetes generados por las capas superiores. En esta realización, la capa física incluye una subcapa de multiplexado 242 que multiplexa las PDU procesadas para varios canales de transporte, en el formato de trama adecuado. La capa 1 proporciona datos en unidades de tramas.

[0044] La figura 2 muestra un modo de realización específica de una estructura de capa que se puede usar para el sistema de WLAN de MIMO. Varias otras estructuras de capa adecuadas también pueden diseñarse y usarse para el sistema de WLAN de MIMO, y esto está dentro del alcance de la invención. Las funciones realizadas por cada capa se describen con más detalle a continuación, donde corresponda.

4. Canales de transporte

5 **[0045]** El sistema de WLAN de MIMO puede prestar soporte a una serie de servicios y aplicaciones. Además, otros datos requeridos para el funcionamiento correcto del sistema pueden requerir ser enviados por el punto de acceso o intercambiados entre el punto de acceso y los terminales de usuario. Se pueden definir una serie de canales de transporte para el sistema de WLAN de MIMO, para transportar varios tipos de datos. La Tabla 3 enumera un conjunto ejemplar de canales de transporte y también proporciona una breve descripción para cada canal de transporte.

Tabla 3

Canales de transporte		Descripción
Canal de difusión	BCH	Utilizado por el punto de acceso para transmitir señales piloto y parámetros del sistema a los terminales de usuario.
Canal de control directo	FCCH	Utilizado por el punto de acceso para asignar recursos en el enlace descendente y el enlace ascendente. La asignación de recursos puede realizarse trama a trama. También se utiliza para proporcionar acuse de recibo de los mensajes recibidos en el RACH.
Canal directo	FCH	Utilizado por el punto de acceso para transmitir datos específicos del usuario a los terminales de usuario y posiblemente una referencia (piloto) utilizada por los terminales de usuario para la estimación de canal. También se puede utilizar en una modalidad de difusión para enviar mensajes de página y de difusión a múltiples terminales de usuario.
Canal de acceso aleatorio	RACH	Usado por los terminales de usuario para obtener acceso al sistema y enviar mensajes cortos al punto de acceso.
Canal inverso	RCH	Utilizado por los terminales de usuario para transmitir datos al punto de acceso. También puede llevar una referencia utilizada por el punto de acceso para la estimación de canal.

10 **[0046]** Como se muestra en la Tabla 3, los canales de transporte de enlace descendente utilizados por el punto de acceso incluyen el BCH, el FCCH y el FCH. Los canales de transporte de enlace ascendente utilizados por los terminales de usuario incluyen el RACH y el RCH. Cada uno de estos canales de transporte se describe con más detalle a continuación.

15 **[0047]** Los canales de transporte enumerados en la Tabla 3 representan un modo de realización específico de una estructura de canal que se puede usar para el sistema de WLAN de MIMO. También se pueden definir menos, más o diferentes canales de transporte, para su uso para el sistema de WLAN de MIMO. Por ejemplo, ciertas funciones pueden tener soporte por parte de canales de transporte específicos de la función (por ejemplo, canales piloto, de paginación, de control de potencia y de sincronización). Por lo tanto, otras estructuras de canales con diferentes conjuntos de canales de transporte pueden definirse y usarse para el sistema de WLAN de MIMO, y esto está dentro del alcance de la invención.

25 **5. Estructuras de trama**

[0048] Se pueden definir una serie de estructuras de trama para los canales de transporte. La estructura de trama específica a utilizar para el sistema de WLAN de MIMO depende de varios factores, tales como, por ejemplo, (1) si se utilizan las mismas, o diferentes, bandas de frecuencia para el enlace descendente y el enlace ascendente y (2) el esquema de multiplexado utilizado para multiplexar los canales de transporte entre sí.

30 **[0049]** Si solo está disponible una banda de frecuencia, entonces el enlace descendente y el enlace ascendente pueden transmitirse en diferentes fases de una trama utilizando el duplexado por división del tiempo (TDD), como se describe a continuación. Si se dispone de dos bandas de frecuencia, entonces el enlace descendente y el enlace ascendente pueden transmitirse en diferentes bandas de frecuencia utilizando el duplexado por división de frecuencia (FDD).

35 **[0050]** Tanto para el TDD como para el FDD, los canales de transporte se pueden multiplexar entre sí utilizando el multiplexado por división del tiempo (TDM), el multiplexado por división de código (CDM), el multiplexado por división de frecuencia (FDM), y así sucesivamente. Para el TDM, cada canal de transporte se asigna a una parte diferente de una trama. Para el CDM, los canales de transporte se transmiten simultáneamente, pero cada canal de transporte se canaliza mediante un código de canalización diferente, similar a lo realizado en un sistema de acceso múltiple por división de código (CDMA). Para el FDM, a cada canal de transporte se asigna una parte diferente de la banda de frecuencia para el enlace.

45 **[0051]** La Tabla 4 enumera las diversas estructuras de trama que pueden utilizarse para llevar los canales de transporte. Algunas de estas estructuras de trama se describen con más detalle a continuación. Para mayor

claridad, las estructuras de trama se describen para el conjunto de canales de transporte enumerados en la Tabla 3.

Tabla 4

5

	Banda de frecuencia compartida para enlace descendente y enlace ascendente	Bandas de frecuencia independientes para enlace descendente y enlace ascendente
División del tiempo	Estructura de trama de TDD-TDM	Estructura de trama de FDD-TDM
División de código	Estructura de trama de TDD-CDM	Estructura de trama de FDD-CDM

10 [0052] La figura 3A ilustra un modo de realización de una estructura de trama de TDD-TDM 300a que se puede usar si se usa una única banda de frecuencia tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente. La transmisión de datos se produce en tramas TDD. Cada trama TDD se puede definir para abarcar una duración de tiempo particular. La duración de la trama puede seleccionarse en función de diversos factores, tales como, por ejemplo, (1) el ancho de banda de la banda operativa, (2) los tamaños esperados de las PDU para los canales de transporte, etc. En general, una duración más corta de trama puede proporcionar retrasos reducidos. Sin embargo, una mayor duración de la trama puede ser más eficaz, ya que el encabezado y la sobrecarga pueden representar una fracción más pequeña de la trama. En un modo de realización específica, cada trama de TDD tiene una duración de 2 mseg.

20 [0053] Cada trama de TDD se divide en una fase de enlace descendente y una fase de enlace ascendente. La fase de enlace descendente se divide adicionalmente en tres segmentos para los tres canales de transporte de enlace descendente: el BCH, el FCCH y el FCH. La fase de enlace ascendente se divide además en dos segmentos para los dos canales de transporte de enlace ascendente: el RCH y el RACH.

25 [0054] El segmento para cada canal de transporte puede definirse para que tenga una duración fija o una duración variable que puede cambiar de una trama a otra. En un modo de realización, el segmento del BCH se define para que tenga una duración fija, y los segmentos del FCCH, FCH, RCH y RACH se definen para que tengan duraciones variables.

30 [0055] El segmento para cada canal de transporte se puede usar para transportar una o más unidades de datos de protocolo (PDU) para ese canal de transporte. En el modo de realización específico mostrado en la figura 3A, una PDU del BCH se transmite en un primer segmento 310, una PDU del FCCH se transmite en un segundo segmento 320 y una o más PDU del FCH se transmiten en un tercer segmento 330 de la fase de enlace descendente. En la fase de enlace ascendente, una o más PDU del RCH se transmiten en un cuarto segmento 340 y una o más PDU del RACH se transmiten en un quinto segmento 350 de la trama de TDD.

35 [0056] La estructura de trama 300a representa una disposición específica de los diversos canales de transporte dentro de una trama de TDD. Esta disposición puede proporcionar ciertos beneficios, tales como retrasos reducidos para la transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente. El BCH se transmite primero en la trama de TDD, ya que transporta los parámetros del sistema que pueden usarse para las PDU de los otros canales de transporte dentro de la misma trama de TDD. El FCCH se transmite a continuación, ya que transporta información de asignación de canal, indicativa de cuál(es) terminal(es) de usuario está(n) designado(s) para recibir datos de enlace descendente en el FCH y cuál(es) terminal(es) de usuario está(n) designado(s) para transmitir datos de enlace ascendente en el RCH dentro de la trama de TDD actual. Otras estructuras de trama de TDD-TDM también pueden definirse y usarse para el sistema de WLAN de MIMO, y esto está dentro del alcance de la invención.

45 [0057] La figura 3B ilustra un modo de realización de una estructura de trama de FDD-TDM 300b que se puede usar si el enlace descendente y el enlace ascendente se transmiten utilizando dos bandas de frecuencia independientes. Los datos de enlace descendente se transmiten en una trama de enlace descendente 302a, y los datos de enlace ascendente se transmiten en una trama de enlace ascendente 302b. Cada trama de enlace descendente y de enlace ascendente se puede definir para abarcar una duración cronológica particular (por ejemplo, 2 mseg). Para simplificar, las tramas de enlace descendente y de enlace ascendente pueden definirse para que tengan la misma duración y pueden definirse además para alinearse en las fronteras de trama. Sin embargo, también se pueden utilizar diferentes duraciones de trama y/o fronteras de trama no alineadas (es decir, desplazadas) para el enlace descendente y el enlace ascendente.

55 [0058] Como se muestra en la figura 3B, la trama de enlace descendente se divide en tres segmentos para los tres canales de transporte de enlace descendente. La trama de enlace ascendente se divide en dos segmentos para los dos canales de transporte de enlace ascendente. El segmento para cada canal de transporte se puede definir para que tenga una duración fija o variable, y se puede usar para transportar una o más PDU para ese canal

de transporte.

[0059] En el modo de realización específico mostrado en la figura 3B, la trama de enlace descendente transporta una PDU del BCH, una PDU del FCCH y una o más PDU del FCH en los segmentos 310, 320 y 330, respectivamente. La trama de enlace ascendente transporta una o más PDU del RCH y una o más PDU del RACH en los segmentos 340 y 350, respectivamente. Esta disposición específica puede proporcionar los beneficios descritos anteriormente (por ejemplo, retrasos reducidos para la transmisión de datos). Los canales de transporte pueden tener diferentes formatos de PDU, como se describe a continuación. Otras estructuras de trama de FDD-TDM también pueden definirse y usarse para el sistema de WLAN de MIMO, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0060] La figura 3C ilustra un modo de realización de una estructura de trama de FDD-CDM/FDM 300c, que también se puede usar si el enlace descendente y el enlace ascendente se transmiten utilizando bandas de frecuencia independientes. Los datos de enlace descendente pueden transmitirse en una trama de enlace descendente 304a, y los datos de enlace ascendente pueden transmitirse en una trama de enlace ascendente 304b. Los marcos de enlace descendente y de enlace ascendente pueden definirse para que tengan la misma duración (por ejemplo, 2 mseg) y alinearse en las fronteras de trama.

[0061] Como se muestra en la figura 3C, los tres canales de transporte de enlace descendente se transmiten simultáneamente en la trama de enlace descendente, y los dos canales de transporte de enlace ascendente se transmiten simultáneamente en la trama de enlace ascendente. Para el CDM, los canales de transporte para cada enlace están "canalizados" con diferentes códigos de canalización, que pueden ser códigos de Walsh, códigos de factor de propagación de variables ortogonales (OVSF), funciones cuasi-ortogonales (QOF), etc. Para el FDM, a los canales de transporte para cada enlace se asignan diferentes partes de la banda de frecuencia para el enlace. Diferentes magnitudes de potencia de transmisión también pueden usarse para diferentes canales de transporte en cada enlace.

[0062] También pueden definirse otras estructuras de trama para los canales de transporte de enlace descendente y de enlace ascendente, y esto está dentro del alcance de la invención. Además, es posible utilizar diferentes tipos de estructura de trama para el enlace descendente y el enlace ascendente. Por ejemplo, una estructura de trama basada en el TDM puede usarse para el enlace descendente y una estructura de trama basada en el CMD puede usarse para el enlace ascendente.

[0063] En la siguiente descripción, se supone que el sistema de WLAN de MIMO utiliza una banda de frecuencia para las transmisiones tanto de enlace descendente como de enlace ascendente. Para mayor claridad, la estructura de trama de TDD-TDM mostrada en la figura 3A se utiliza para el sistema de WLAN de MIMO. Para mayor claridad, se describe una implementación específica de la estructura de trama de TDD-TDM a lo largo de la especificación. Para esta implementación, la duración de cada trama de TDD se fija en 2 mseg, y el número de símbolos de OFDM por trama de TDD es una función de la longitud del prefijo cíclico utilizado para los símbolos de OFDM. El BCH tiene una duración fija de 80 μ s y utiliza el prefijo cíclico de 800 nseg para los símbolos de OFDM transmitidos. El resto de la trama de TDD contiene 480 símbolos de OFDM si se usa el prefijo cíclico de 800 nseg, y 533 símbolos de OFDM más 1,2 μ s de tiempo adicional, si se usa el prefijo cíclico de 400 nseg. El exceso de tiempo se puede agregar al intervalo de guarda al final del segmento del RACH. También se pueden usar otras estructuras de trama y otras implementaciones, y esto está dentro del alcance de la invención.

II. Canales de transporte

[0064] Los canales de transporte se utilizan para enviar diversos tipos de datos y se pueden categorizar en dos grupos: canales de transporte comunes y canales de transporte dedicados. Debido a que los canales de transporte comunes y dedicados se usan para diferentes fines, se puede usar un procesamiento diferente para estos dos grupos de canales de transporte, como se describe con más detalle a continuación.

[0065] Canales de transporte comunes. Los canales de transporte comunes incluyen el BCH, el FCCH y el RACH. Estos canales de transporte se utilizan para enviar datos a, o recibir datos de, múltiples terminales de usuario. Para una confiabilidad mejorada, el BCH y el FCCH son transmitidos por el punto de acceso usando la modalidad de diversidad. En el enlace ascendente, el RACH es transmitido por los terminales de usuario utilizando la modalidad de guía de haces (si tiene soporte por parte del terminal de usuario). El BCH se hace funcionar a una velocidad fija conocida, de modo que los terminales de usuario puedan recibir y procesar el BCH sin ninguna información adicional. El FCCH y el RACH dan soporte a múltiples velocidades para admitir una mayor eficacia. Como se usa en el presente documento, cada "velocidad" o "conjunto de velocidades" se asocia a una velocidad de código particular (o esquema de codificación) y a un esquema de modulación particular.

[0066] Canales de transporte dedicados. Los canales de transporte dedicados incluyen el FCH y el RCH. Estos canales de transporte se utilizan normalmente para enviar datos específicos del usuario a, o por, terminales de usuario específicos. El FCH y el RCH pueden asignarse dinámicamente a los terminales de usuario según sea necesario y según estén disponibles. El FCH también se puede utilizar en una modalidad de transmisión para

enviar mensajes de sobregasto, de página y de difusión a los terminales de usuario. En general, los mensajes de sobregasto, de página y de difusión se transmiten antes que cualquier información específica del usuario en el FCH.

- 5 **[0067]** La **figura 4** ilustra una transmisión ejemplar en el BCH, el FCCH, el FCH, el RCH y el RACH basándose en la estructura de trama de TDD-TDM 300a. En esta realización, una PDU de BCH 410 y una PDU de FCCH 420 se transmiten en el segmento de BCH 310 y en el segmento de FCCH 320, respectivamente. El segmento de FCH 330 puede usarse para enviar una o más PDU de FCH 430, cada una de las cuales puede estar destinada a un terminal de usuario específico o a múltiples terminales de usuario. De manera similar, una o más PDU de RCH 440 pueden ser enviadas por uno o más terminales de usuario en el segmento de RCH 340. El inicio de cada PDU de FCH/RCH se indica mediante un desplazamiento de FCH/RCH desde el final del segmento anterior. Una serie de las PDU de RACH 450 pueden enviarse en el segmento de RACH 350 mediante una serie de terminales de usuario para acceder al sistema y/o enviar mensajes cortos, como se describe a continuación.
- 10
- 15 **[0068]** Para mayor claridad, los canales de transporte se describen para la estructura específica de trama de TDD-TDM, mostrada en las figuras 3A y 4.

1. Canal de difusión (BCH) - Enlace descendente

- 20 **[0069]** El punto de acceso utiliza el BCH para transmitir una señal piloto de baliza, una señal piloto de MIMO y parámetros del sistema a los terminales de usuario. Los terminales de usuario utilizan la señal piloto de baliza para adquirir la temporización y la frecuencia del sistema. La señal piloto de MIMO es utilizada por los terminales de usuario para estimar el canal de MIMO formado por las antenas de punto de acceso y sus propias antenas. Las señales piloto de baliza y MIMO se describen con más detalle a continuación. Los parámetros del sistema especifican varios atributos de las transmisiones de enlace descendente y de enlace ascendente. Por ejemplo, dado que las duraciones de los segmentos del FCCH, del FCH, del RACH y del RCH son variables, los parámetros del sistema que especifican la longitud de cada uno de estos segmentos para la trama de TDD actual se envían en el BCH.
- 25
- 30 **[0070]** : La **figura 5A** ilustra un modo de realización de la PDU del BCH 410. En esta realización, la PDU del BCH 410 incluye una parte de preámbulo 510 y una parte de mensaje 516. La parte de preámbulo 510 incluye además una parte de señal piloto de baliza 512 y una parte de señal piloto de MIMO 514. La parte 512 lleva una señal piloto de baliza y tiene una duración fija de $T_{CP} = 8 \mu s$. La parte 514 lleva una señal piloto de MIMO y tiene una duración fija de $T_{MP} = 32 \mu seg$. La parte 516 lleva un mensaje del BCH y tiene una duración fija de $T_{BM} = 40 \mu s$. La duración de la PDU del BCH se fija en $T_{CP} + T_{MP} + T_{BM} = 80 \mu s$.
- 35
- [0071]** Se puede usar un preámbulo para enviar uno o más tipos de señal piloto y/u otra información. Una señal piloto de baliza comprende un conjunto específico de símbolos de modulación que se transmite desde todas las antenas de transmisión. Una señal piloto de MIMO comprende un conjunto específico de símbolos de modulación que se transmite desde todas las antenas de transmisión con diferentes códigos ortogonales, lo que luego permite a los receptores recuperar la señal piloto transmitida desde cada antena. Se pueden usar diferentes conjuntos de símbolos de modulación para las señales piloto de baliza y de MIMO. La generación de las señales piloto de baliza y de MIMO se describe con más detalle a continuación.
- 40
- 45 **[0072]** El mensaje del BCH lleva información de configuración del sistema. La Tabla 5 enumera los diversos campos para un formato ejemplar de mensaje de BCH.

Tabla 5 - Mensaje de BCH

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Contador de tramas	4	Contador de tramas de TDD
Identificador de red	10	Identificador de red (ID)
ID de AP	6	Identificador de Punto de acceso
Nivel de Transmisión de AP	4	Nivel de transmisión de punto de acceso
Nivel de Recepción de AP	3	Nivel de recepción de punto de acceso
Longitud de FCCH	6	Duración del FCCH (en unidades de símbolos de OFDM)
Velocidad del FCCH	2	Velocidad de capa física del FCCH
Longitud del FCH	9	Duración del FCH (en unidades de símbolos de OFDM)
Longitud del RCH	9	Duración del RCH (en unidades de símbolos de OFDM)

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Longitud del RACH	5	Duración del RACH (en unidades de intervalos de RACH)
Tamaño de intervalo de RACH	2	Duración de cada intervalo de RACH (en unidades de símbolos de OFDM)
Intervalo de guarda del RACH	2	Intervalo de guarda al final del RACH
Duración de Prefijo cíclico	1	Duración de prefijo cíclico
Bit de página	1	"0" = mensaje de página enviado en FCH - "1" = ningún mensaje de página enviado
Bit de difusión	1	"0" = mensaje de difusión enviado en FCH - "1" = ningún mensaje de difusión enviado
Bit de Acuse de Recibo del RACH	1	"0" = acuse de recibo del RACH enviado en FCH - "1" = ningún acuse de recibo del RACH enviado
CRC	16	Valor de CRC para el mensaje del BCH
Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo
Reservado	32	Reservado para uso futuro

5 [0073] El valor del Contador de Tramas se puede usar para sincronizar varios procesos en el punto de acceso y los terminales de usuario (por ejemplo, la señal piloto, los códigos de aleatorización, el código de cobertura, etc.). Se puede implementar un contador de tramas con un contador de 4 bits que se reinicia circularmente. Este contador se incrementa al inicio de cada trama de TDD, y el valor del contador se incluye en el campo Contador de Tramas. El campo Identificador de Red indica el identificador (ID) de la red a la que pertenece el punto de acceso. El campo Identificador de AP indica el Identificador del punto de acceso dentro del Identificador de red. Los campos Nivel de Transmisión de AP y Nivel de Recepción de AP indican el nivel máximo de potencia de transmisión y el nivel deseado de potencia de recepción en el punto de acceso, respectivamente. El terminal de usuario puede utilizar el nivel deseado de potencia de recepción para determinar la potencia inicial de transmisión del enlace ascendente.

15 [0074] Los campos Longitud de FCCH, Longitud de FCH y Longitud de RCH indican, respectivamente, las longitudes de los segmentos de FCCH, FCH y RCH para la trama de TDD actual. Las longitudes de estos segmentos se dan en unidades de símbolos de OFDM. La duración del símbolo de OFDM para el BCH se fija en 4,0 µs. La duración del símbolo de OFDM para todos los otros canales de transporte (es decir, el FCCH, el FCH, el RACH y el RCH) es variable y depende del prefijo cíclico seleccionado, que es especificado por el campo Duración del Prefijo Cíclico. El campo Velocidad de FCCH indica la velocidad utilizada para el FCCH para la trama de TDD actual.

20 [0075] El campo Longitud de RACH indica la longitud del segmento de RACH, que se da en unidades de intervalos de RACH. La duración de cada intervalo de RACH viene dada por el campo Tamaño de Intervalo de RACH, en unidades de símbolos de OFDM. El campo Intervalo de guarda del RACH indica la cantidad de tiempo entre el último intervalo de RACH y el inicio del segmento de BCH para la siguiente trama de TDD. Estos diversos campos para el RACH se describen con más detalle a continuación.

25 [0076] El bit de página y el bit de difusión indican si se están enviando o no los mensajes de página y los mensajes de difusión, respectivamente, en el FCH en la trama de TDD actual. Estos dos bits se pueden fijar independientemente para cada trama de TDD. El bit de acuse de recibo del RACH indica si los acuses de recibo de las PDU enviadas en el RACH en tramas de TDD anteriores se envían o no en el FCCH en la trama de TDD actual.

30 [0077] El campo de CRC incluye un valor de CRC para el mensaje completo del BCH. Los terminales de usuario pueden utilizar este valor de CRC para determinar si el mensaje de BCH recibido se ha decodificado correctamente (es decir, es bueno) o con errores (es decir, se ha borrado). El campo Bits de cola incluye un grupo de ceros utilizados para reiniciar el codificador convolutivo en un estado conocido al final del mensaje del BCH.

35 [0078] Como se muestra en la Tabla 5, el mensaje del BCH incluye un total de 120 bits. Estos 120 bits se pueden transmitir con 10 símbolos de OFDM utilizando el procesamiento que se describe en detalle a continuación.

40 [0079] La Tabla 5 muestra un modo de realización específico del formato para el mensaje del BCH. También se pueden definir y usar otros formatos de mensajes del BCH con menos, más y/o diferentes campos, y esto está dentro del alcance de la invención.

2. Canal de control directo (FCCH) - enlace descendente

[0080] En un modo de realización, el punto de acceso puede asignar recursos para el FCH y el RCH trama por trama. El punto de acceso utiliza el FCCH para transmitir la asignación de recursos para el FCH y el RCH (es decir, las asignaciones de canal).

[0081] La **figura 5B** ilustra un modo de realización de la PDU del FCCH 420. En esta realización, la PDU del FCCH incluye solo una parte 520 para un mensaje del FCCH. El mensaje del FCCH tiene una duración variable que puede cambiar de trama a trama, según la cantidad de información de planificación que se transporta en el FCCH para esa trama. La duración del mensaje del FCCH es un número par de símbolos de OFDM y está dada por el campo Longitud del FCCH en el mensaje del BCH. La duración de los mensajes enviados utilizando la modalidad de diversidad (por ejemplo, los mensajes del BCH y del FCCH) se da en un número par de símbolos de OFDM, porque la modalidad de diversidad transmite los símbolos de OFDM en pares, como se describe a continuación.

[0082] En un modo de realización, el FCCH se puede transmitir utilizando cuatro velocidades posibles. La velocidad específica utilizada para la PDU del FCCH en cada trama de TDD se indica mediante el campo Modalidad Phy de FCCH en el mensaje del BCH. Cada velocidad de FCCH corresponde a una velocidad de código particular y a un esquema de modulación particular y se asocia además a una modalidad de transmisión particular, como se muestra en la Tabla 26.

[0083] Un mensaje del FCCH puede incluir cero, uno o múltiples elementos de información (IE). Cada elemento de información puede asociarse a un terminal de usuario específico y puede usarse para proporcionar información indicativa de la asignación de recursos del FCH/RCH para ese terminal de usuario. La Tabla 6 enumera los diversos campos para un formato ejemplar de mensaje del FCCH.

Tabla 6 - Mensaje del FCCH

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
N_IE	6	Número de los IE incluidos en el mensaje del FCCH
N_IE elementos de información, incluyendo cada uno:		
Tipo de IE	4	Tipo de IE
Identificador de MAC	10	Identificador asignado al terminal de usuario
Campos de control	48 o 72	Campos de control para la asignación de canales
Bits de relleno	Variable	Bits de relleno para lograr un número par de símbolos de OFDM en el mensaje del FCCH
CRC	16	Valor de CRC para el mensaje del FCCH
Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo

[0084] El campo N_IE indica el número de elementos de información incluidos en el mensaje del FCCH enviado en la trama de TDD actual. Para cada elemento de información (IE) incluido en el mensaje del FCCH, el campo Tipo de IE indica el tipo particular de este IE. Se definen una serie de tipos de IE, para su uso para asignar recursos para diferentes tipos de transmisiones, como se describe a continuación.

[0085] El campo Identificador de MAC identifica el terminal de usuario específico para el cual está destinado el elemento de información. Cada terminal de usuario se registra en el punto de acceso al comienzo de una sesión de comunicación y el punto de acceso le asigna un Identificador de MAC único. Este Identificador de MAC se utiliza para identificar el terminal de usuario durante la sesión.

[0086] Los campos de control se utilizan para transportar información de asignación de canal para el terminal de usuario y se describen en detalle a continuación. El campo Bits de relleno incluye un número suficiente de bits de relleno para que la longitud total del mensaje del FCCH sea un número par de símbolos de OFDM. El campo CRC del FCCH incluye un valor de CRC que los terminales de usuario pueden usar para determinar si el mensaje de FCCH recibido se ha decodificado correctamente o con errores. El campo Bits de cola incluye ceros utilizados para reiniciar el codificador convolutivo en un estado conocido al final del mensaje del FCCH. Algunos de estos campos se describen con más detalle a continuación.

[0087] El sistema de WLAN de MIMO presta soporte a una serie de modalidades de transmisión para el FCH y el RCH, como se indica en la Tabla 1. Además, un terminal de usuario puede estar activo o inactivo durante una conexión. Por lo tanto, una serie de tipos de IE se definen para su uso para asignar recursos de FCH/RCH para

diferentes tipos de transmisiones. La Tabla 7 enumera un conjunto ejemplar de tipos de IE.

Tabla 7 - Tipos de IE del FCCH

Tipo de IE	Tamaño de IE [bits]	Tipo de IE	Descripción
0	48	Modalidad de diversidad	Solo modalidad de diversidad
1	72	Modalidad de multiplexado espacial	Modalidad de multiplexado espacial - servicios de velocidad variable
2	48	Modalidad Inactiva	Estado inactivo - servicios de velocidad variable
3	48	Acuse de recibo del RACH	Acuse de recibo del RACH - modalidad de diversidad
4		Modalidad de guía de haces	Modalidad de guía de haces
5 a 15	-	Reservado	Reservado para uso futuro

5 [0088] Para los tipos 0, 1 y 4 de IE, los recursos se asignan a un terminal de usuario específico tanto para el FCH como para el RCH (es decir, en pares de canales). Para el tipo 2 de IE, se asignan recursos mínimos al terminal de usuario en el FCH y el RCH para mantener la estimación actualizada del enlace. Un formato ejemplar para cada tipo de IE se describe a continuación. En general, las velocidades y duraciones para el FCH y el RCH pueden asignarse de forma independiente a los terminales de usuario.

10 **A. Tipo 0, 4 de IE - Modalidad de Diversidad/Guía de haces**

15 [0089] Los tipos 0 y 4 de IE se utilizan para asignar recursos de FCH/RCH para las modalidades de diversidad y de guía de haces, respectivamente. Para servicios fijos de baja velocidad (por ejemplo, voz), la velocidad permanece fija durante la llamada. Para servicios de velocidad variable, la velocidad puede seleccionarse independientemente para el FCH y el RCH. El IE del FCCH indica la ubicación de las PDU del FCH y del RCH, asignadas al terminal de usuario. La Tabla 8 enumera los diversos campos de un elemento de información IE ejemplar de tipo 0 y 4.

20 Tabla 8 - IE del FCCH de Tipo 0 y 4

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Tipo de IE	4	Tipo de IE
Identificador de MAC	10	Identificador temporal asignado al terminal de usuario
Desplazamiento de FCH	9	Desplazamiento de FCH desde el inicio de la trama de TDD (en símbolos de OFDM)
Tipo de preámbulo del FCH	2	Tamaño del preámbulo del FCH (en símbolos de OFDM)
Velocidad de FCH	4	Velocidad para el FCH
Desplazamiento del RCH	9	Desplazamiento del RCH desde el inicio de la trama de TDD (en símbolos de OFDM)
Tipo de preámbulo del RCH	2	Tamaño de preámbulo del RCH (en símbolos de OFDM)
Velocidad del RCH	4	Velocidad para el RCH
Ajuste de temporización del RCH	2	Parámetro de ajuste de temporización para el RCH
Control de potencia del RCH	2	Bits de control de potencia para el RCH

25 [0090] Los campos de Desplazamiento de FCH y RCH indican el desplazamiento del tiempo desde el comienzo de la trama de TDD actual hasta el inicio de las PDU del FCH y del RCH, respectivamente, asignadas por el elemento de información. Los campos de velocidad de FCH y RCH indican las velocidades del FCH y del RCH, respectivamente.

30 [0091] Los campos Tipo de preámbulo de FCH y de RCH indican el tamaño del preámbulo en las PDU del FCH y del RCH, respectivamente. La Tabla 9 enumera los valores para los campos de tipo de preámbulo de FCH y RCH y los tamaños de preámbulo asociados.

Tabla 9 - Tipo de preámbulo

Tipo	Bits	Tamaño del preámbulo
0	00	0 símbolos de OFDM
1	01	1 símbolo de OFDM
2	10	4 símbolos de OFDM
3	11	8 símbolos de OFDM

[0092] El campo de ajuste de temporización del RCH incluye dos bits utilizados para ajustar la temporización de la transmisión de enlace ascendente desde el terminal de usuario identificado por el campo Identificador de MAC. Este ajuste de temporización se utiliza para reducir la interferencia en una estructura de trama basada en el TDD (tal como la que se muestra en la Figura 3A) donde las transmisiones de enlace descendente y de enlace ascendente están duplexadas por división del tiempo. La Tabla 10 enumera los valores para el campo Ajuste de temporización de RCH y las acciones asociadas.

Tabla 10 - Ajuste de temporización del RCH

Bits	Descripción
00	Mantener la temporización actual
01	Adelantar la temporización de la transmisión de enlace ascendente en 1 muestra
10	Retrasar la temporización de la transmisión de enlace ascendente en 1 muestra
11	No utilizado

[0093] El campo de control de potencia del RCH incluye dos bits utilizados para ajustar la potencia de transmisión de la transmisión de enlace ascendente desde el terminal de usuario identificado. Este control de potencia se utiliza para reducir la interferencia en el enlace ascendente. La Tabla 11 enumera los valores para el campo de control de potencia del RCH y las acciones asociadas.

Tabla 11 - Control de potencia del RCH

Bits	Descripción
00	Mantener la potencia de transmisión actual
01	Aumentar la potencia de transmisión de enlace ascendente en δ dB, donde δ es un parámetro del sistema.
10	Disminuir la potencia de transmisión de enlace ascendente en δ dB, donde δ es un parámetro del sistema.
11	No utilizado

[0094] La asignación de canal para el terminal de usuario identificado se puede proporcionar de varias maneras. En un modo de realización, al terminal de usuario se asignan recursos de FCH/RCH solo para la trama de TDD actual. En otro modo de realización, los recursos de FCH/RCH se asignan al terminal para cada trama de TDD hasta que se cancelen. En otro modo de realización más, los recursos de FCH/RCH se asignan al terminal de usuario para cada n -ésima trama de TDD, lo que se denomina planificación "diezmada" de tramas de TDD. Los diferentes tipos de asignación pueden ser indicados por una Asignación. Campo de Tipo en el elemento de información del FCCH.

B. Tipo 1 de IE - Modalidad de multiplexado espacial

[0095] El tipo 1 de IE se utiliza para asignar recursos de FCH/RCH a terminales de usuario utilizando la modalidad de multiplexado espacial. La velocidad para estos terminales de usuario es variable, y puede seleccionarse independientemente para el FCH y el RCH. La Tabla 12 enumera los diversos campos de un elemento de información ejemplar IE de tipo 1.

Tabla 12 - Tipo 1 de IE del FCCH

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Tipo de IE	4	Tipo de IE
Identificador de MAC	10	Identificador temporal asignado al terminal de usuario
Desplazamiento de FCH	9	Desplazamiento del FCH desde el final del FCCH (en símbolos de OFDM)
Tipo de preámbulo del FCH	2	Tamaño del preámbulo del FCH (en símbolos de OFDM)
Velocidad del Canal Espacial 1 del FCH	4	Velocidad para el FCH para el canal espacial 1
Velocidad del Canal Espacial 2 del FCH	4	Velocidad para el FCH para el canal espacial 2
Velocidad del Canal Espacial 3 del FCH	4	Velocidad para el FCH para el canal espacial 3
Velocidad del Canal Espacial 4 del FCH	4	Velocidad para el FCH para el canal espacial 4
Desplazamiento del RCH	9	Desplazamiento del RCH desde el final del FCH (en símbolos de OFDM)
Tipo de preámbulo del RCH	2	Tamaño de preámbulo del RCH (en símbolos de OFDM)
Velocidad del Canal Espacial 1 del RCH	4	Velocidad para el RCH para el canal espacial 1
Velocidad del Canal Espacial 2 del RCH	4	Velocidad para el RCH para el canal espacial 2
Velocidad del Canal espacial 3 del RCH	4	Velocidad para el RCH para el canal espacial 3
Velocidad del Canal Espacial 4 del RCH	4	Velocidad para el RCH para el canal espacial 4
Ajuste de temporización del RCH	2	Parámetro de ajuste de temporización para el RCH
Reservado	2	Reservado para uso futuro

[0096] Para el tipo 1 de IE, la velocidad para cada canal espacial puede seleccionarse independientemente en el FCH y el RCH. La interpretación de las velocidades para la modalidad de multiplexado espacial es general, en cuanto a que puede especificar la velocidad por canal espacial (por ejemplo, para hasta cuatro canales espaciales para el modo de realización mostrado en la Tabla 12). La velocidad se da por automodo si el transmisor realiza un procesamiento espacial para transmitir datos en los automodos. La velocidad se da por antena si el transmisor simplemente transmite datos desde las antenas de transmisión y el receptor realiza el procesamiento espacial para aislar y recuperar los datos (para la modalidad de multiplexado espacial no dirigido).

[0097] El elemento de información incluye las velocidades para todos los canales espaciales habilitados y ceros para los que no están habilitados. Los terminales de usuario con menos de cuatro antenas transmisoras fijan en cero los campos de Velocidad de Canal Espacial de FCH/RCH no utilizados. Como el punto de acceso está equipado con cuatro antenas de transmisión/recepción, los terminales de usuario con más de cuatro antenas de transmisión pueden usarlas para transmitir hasta cuatro flujos de datos independientes.

C. Tipo 2 de IE - Modalidad inactiva

[0098] El tipo 2 de IE se usa para proporcionar información de control para los terminales de usuario que funcionan en estado *inactivo* (descrito a continuación). En un modo de realización, cuando un terminal de usuario está en estado *inactivo*, los vectores de dirección utilizados por el punto de acceso y el terminal de usuario para el procesamiento espacial se actualizan continuamente para que la transmisión de datos pueda comenzar rápidamente si, y cuando, se reanuda. La Tabla 13 enumera los diversos campos de un elemento de información ejemplar de tipo 2 de IE.

Tabla 13 - Tipo 2 de IE del FCCH

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Tipo de IE	4	Tipo de IE
Identificador de MAC	10	Identificador temporal asignado al terminal de usuario
Desplazamiento de FCH	9	Desplazamiento del FCH desde el final del FCCH (en símbolos de OFDM)
Tipo de preámbulo del FCH	2	Tamaño del preámbulo del FCH (en símbolos de OFDM)
Desplazamiento del RCH	9	Desplazamiento del RCH desde el final del FCH (en símbolos de OFDM)
Tipo de preámbulo del RCH	2	Tamaño de preámbulo del RCH (en símbolos de OFDM)
Reservado	12	Reservado para uso futuro

D. Tipo 3 de IE - Acuse de recibo rápido de RACH

5

[0099] El tipo 3 de IE se utiliza para proporcionar un acuse de recibo rápido a los terminales de usuario que intentan acceder al sistema mediante el RACH. Para obtener acceso al sistema o para enviar un mensaje corto al punto de acceso, un terminal de usuario puede transmitir una PDU del RACH en el enlace ascendente. Después de que el terminal de usuario envía la PDU del RACH, supervisa el BCH para determinar si el bit de acuse de recibo del RACH está activado. Este bit es activado por el punto de acceso si algún terminal de usuario tuvo éxito al acceder al sistema y se está enviando un acuse de recibo para al menos un terminal de usuario en el FCCH. Si este bit está activado, entonces el terminal de usuario procesa el FCCH para el acuse de recibo enviado en el FCCH. Los elementos de información de Tipo 3 de IE se envían si el punto de acceso desea reconocer que decodificó correctamente las PDU del RACH de los terminales de usuario sin asignar recursos. La Tabla 14 enumera los diversos campos de un elemento de información ejemplar IE de Tipo 3.

10

15

Tabla 14 - Tipo 3 de IE del FCCH

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Tipo de IE	4	Tipo de IE
Identificador de MAC	10	Identificador temporal asignado al terminal de usuario
Reservado	34	Reservado para uso futuro

20

[0100] Se pueden definir y enviar uno o varios tipos de acuse de recibo en el FCCH. Por ejemplo, se puede definir un acuse de recibo rápido y un acuse de recibo basado en la asignación. Se puede utilizar un acuse de recibo rápido para reconocer simplemente que la PDU del RACH ha sido recibida por el punto de acceso, pero que no se han asignado recursos del FCH/RCH al terminal de usuario. Un acuse de recibo basado en asignación incluye asignaciones para el FCH y/o el RCH para la trama de TDD actual.

25

[0101] El FCCH puede implementarse de otras maneras y también puede transmitirse de varias maneras. En un modo de realización, el FCCH se transmite a una velocidad única que se señala en el mensaje del BCH. Esta velocidad puede seleccionarse, por ejemplo, en función de las más bajas razones entre señal y ruido e interferencia (SNR) de todos los terminales de usuario para los que se está enviando el FCCH en la trama de TDD actual. Se pueden utilizar diferentes velocidades para diferentes tramas de TDD, en función de las condiciones de canal de los terminales de usuario destinatarios en cada trama de TDD.

30

35

[0102] En otro modo de realización, el FCCH se implementa con múltiples subcanales del FCCH (por ejemplo, cuatro). Cada subcanal del FCCH se transmite a una velocidad diferente y se asocia a una SNR requerida diferente para recuperar el subcanal. Los subcanales del FCCH se transmiten en orden desde la velocidad más baja a la velocidad más alta. Cada subcanal del FCCH puede o no transmitirse en una trama de TDD dada. El primer subcanal del FCCH (con la velocidad más baja) se transmite primero y puede ser recibido por todos los terminales de usuario. Este subcanal del FCCH puede indicar si cada uno de los subcanales restantes del FCCH se transmitirá o no en la trama de TDD actual. Cada terminal de usuario puede procesar los subcanales del FCCH transmitidos para obtener su elemento de información del FCCH. Cada terminal de usuario puede finalizar el procesamiento del FCCH si se produce alguna de las siguientes situaciones: (1) falla en la decodificación del subcanal del FCCH actual, (2) recepción de su elemento de información del FCCH en el subcanal actual del FCCH o (3) todos los

40

subcanales del FCCH transmitidos han sido procesados. Un terminal de usuario puede finalizar el procesamiento del FCCH tan pronto como encuentra una falla de decodificación del FCCH porque los subcanales del FCCH se transmiten a velocidades ascendentes y es improbable que el terminal del usuario pueda decodificar los subcanales posteriores del FCCH, transmitidos a velocidades más altas.

3. Canal de acceso aleatorio (RACH) - Enlace ascendente

[0103] Los terminales de usuario utilizan el RACH para obtener acceso al sistema y para enviar mensajes cortos al punto de acceso. El funcionamiento del RACH se basa en un protocolo de acceso aleatorio Aloha ranurado, que se describe a continuación.

[0104] La figura 5C ilustra un modo de realización de PDU de RACH 450. En esta realización, la PDU del RACH incluye una parte de preámbulo 552 y una parte de mensaje 554. La parte de preámbulo 552 se puede usar para enviar una referencia guiada (es decir, una señal piloto guiada), si el terminal de usuario está equipado con múltiples antenas. La referencia guiada es una señal piloto compuesta por un conjunto específico de símbolos de modulación que se somete a un procesamiento espacial antes de su transmisión en el enlace ascendente. El procesamiento espacial permite que la señal piloto se transmita en un automodo específico del canal de MIMO. El procesamiento para la referencia guiada se describe con más detalle a continuación. La parte de preámbulo 552 tiene una duración fija de al menos 2 símbolos de OFDM. La parte del mensaje 554 lleva un mensaje del RACH y tiene una duración variable. La duración de la PDU del RACH es, por tanto, variable.

[0105] En un modo de realización, se presta soporte a cuatro velocidades diferentes para el RACH. La velocidad específica utilizada para cada mensaje del RACH se indica mediante un indicador de velocidad de datos (DRI) de 2 bits del RACH, que está integrado en la parte del preámbulo de la PDU del RACH, como se muestra en la figura 5C. En un modo de realización, también se presta soporte a cuatro tamaños de mensaje diferentes para el RACH. El tamaño de cada mensaje del RACH se indica mediante un campo de Duración del mensaje incluido en el mensaje del RACH. Cada velocidad del RACH da soporte a 1, 2, 3 o a los 4 tamaños de mensaje. La Tabla 15 enumera las cuatro velocidades del RACH, sus parámetros de codificación y modulación asociados y los tamaños de mensajes con soporte por parte de estas velocidades del RACH.

Tabla 15

Velocidades del RACH				Tamaños de mensajes del RACH (en bits y símbolos de OFDM)			
bps/Hz	Velocidad de código	Modulación	DRI	96 bits	192 bits	384 bits	768 bits
0,25	0,25	BPSK	(1,1)	8	no disponible	no disponible	no disponible
0,5	0,5	BPSK	(1, -1)	4	8	no disponible	no disponible
1	0,5	QPSK	(-1,1)	2	4	8	no disponible
2	0,5	16 QAM	(-1, -1)	1	2	4	8

[0106] El mensaje del RACH lleva mensajes cortos y solicitudes de acceso desde el terminal de usuario. La Tabla 16 enumera los diversos campos de un formato ejemplar de mensaje de RACH y el tamaño de cada campo para cada uno de los cuatro tamaños de mensaje diferentes.

Tabla 16

Nombres de Campos/Parámetros	Tamaños de mensajes del RACH				Descripción
	96 bits	192 bits	384 bits	768 bits	
Duración del mensaje	2	2	2	2	Duración del mensaje
Tipo de PDU de MAC	4	4	4	4	Tipo de mensaje del RACH
Identificador de MAC	10	10	10	10	Identificador de MAC
Identificador de intervalo	6	6	6	6	Identificador de intervalo de transmisión
Carga útil	44	140	332	716	Bits de información
CRC	24	24	24	24	Valor de CRC para el mensaje del RACH
Bits de cola	6	6	6	6	Bits de cola

[0107] El campo Duración del mensaje indica el tamaño del mensaje del RACH. El campo Tipo de PDU de MAC

indica el tipo de mensaje del RACH. El campo Identificador de MAC contiene el Identificador de MAC que identifica de manera única al terminal de usuario que envía el mensaje del RACH. Durante el acceso inicial al sistema, no se ha asignado un Identificador de MAC único al terminal de usuario. En este caso, se puede incluir un Identificador de MAC de registro (por ejemplo, un valor específico reservado con fines de registro) en el campo de Identificador de MAC. El campo Identificador de intervalo indica el intervalo de inicio del RACH en la que se envió la PDU del RACH (la temporización y la transmisión del RACH se describen a continuación). El campo Carga útil incluye los bits de información para el mensaje del RACH. El campo CRC contiene un valor de CRC para el mensaje del RACH, y el campo Bits de cola se usa para reiniciar el codificador convolutivo para el RACH. El funcionamiento del RACH junto con el BCH y el FCCH para el acceso al sistema se describe con más detalle a continuación.

[0108] El RACH también se puede implementar con un RACH "rápido" (F-RACH) y un RACH "lento" (S-RACH). El F-RACH y el S-RACH pueden diseñarse para dar soporte de manera eficaz a los terminales de usuario en diferentes estados operativos. Por ejemplo, el F-RACH puede ser utilizado por los terminales de usuario que (1) se han registrado en el sistema, (2) pueden compensar sus retrasos de ida y vuelta (RTD) adelantando adecuadamente su temporización de transmisión, y (3) logran la SNR requerida para el funcionamiento en el F-RACH. El S-RACH puede ser utilizado por terminales de usuario que no pueden usar el F-RACH por cualquier motivo.

[0109] Se pueden utilizar diferentes diseños para el F-RACH y el S-RACH para facilitar el acceso rápido al sistema siempre que sea posible y para minimizar la cantidad de recursos del sistema necesarios para implementar el acceso aleatorio. Por ejemplo, el F-RACH puede usar una PDU más corta, emplear un esquema de codificación más débil, requerir que las PDU del F-RACH lleguen aproximadamente alineadas en el tiempo al punto de acceso y utilizar un esquema de acceso aleatorio Aloha ranurado. El S-RACH puede usar una PDU más larga, emplear un esquema de codificación más fuerte, permitir que las PDU del S-RACH lleguen no alineadas en el tiempo al punto de acceso y utilizar un esquema de acceso aleatorio Aloha no ranurado.

[0110] Para simplificar, la siguiente descripción supone que se utiliza un solo RACH para el sistema de WLAN de MIMO.

4. Canal directo (FCH) - enlace descendente

[0111] El punto de acceso utiliza el FCH para transmitir datos específicos del usuario a terminales específicos del usuario y mensajes de página/difusión a múltiples terminales de usuario. El FCH también se puede usar para transmitir señal piloto a terminales de usuario. El FCH se puede asignar trama por trama. Se proporcionan varios tipos de PDU de FCH para asimilar diferentes usos del FCH. La Tabla 17 enumera un conjunto ejemplar de tipos de PDU del FCH.

Tabla 17 - Tipos de PDU del FCH

Código	Tipo de PDU del FCH	Descripción
0	Solo mensaje	Difusión de FCH/servicio de página/mensaje de usuario
1	Mensaje y Preámbulo	Mensaje de usuario del FCH
2	Solo preámbulo	Estado <i>inactivo</i> del FCH

[0112] El Tipo 0 de PDU del FCH se utiliza para enviar mensajes de página/difusión y mensajes/paquetes de usuario en el FCH y solo incluye el mensaje/paquete. (Los datos para un terminal de usuario específico pueden enviarse como un mensaje o un paquete, y estos dos términos se usan indistintamente en el presente documento). El Tipo 1 de PDU del FCH se utiliza para enviar paquetes de usuario e incluye un preámbulo. El Tipo 2 de PDU del FCH incluye solo el preámbulo y ningún mensaje/paquete, y está asociado al tráfico del FCH de estado *inactivo*.

[0113] La figura 5D ilustra un modo de realización de una PDU de FCH 430a para el Tipo 0 de PDU del FCH. En esta realización, la PDU de FCH 430a incluye solo una parte del mensaje 534a para un mensaje de página/difusión o un paquete de usuario. El mensaje/paquete puede tener longitud variable, que viene dada por el campo Longitud de mensaje del FCH en la PDU del FCH. La longitud del mensaje se da en un número entero de tramas PHY (que se describen a continuación). La velocidad y la modalidad de transmisión para el mensaje de página/transmisión se especifican y describen a continuación. La velocidad y la modalidad de transmisión para el paquete de usuario se especifican en el elemento de información asociado del FCCH.

[0114] La figura 5E ilustra un modo de realización de una PDU de FCH 430b para el Tipo 1 de PDU del FCH. En esta realización, la PDU de FCH 430b incluye una parte de preámbulo 532b y una parte de mensaje/paquete 534b. La parte de preámbulo 532b se usa para enviar una señal piloto de MIMO o una referencia guiada y tiene una longitud variable, que viene dada por el campo Tipo de preámbulo de FCH en el elemento de información asociado del FCCH. La parte 534b se usa para enviar un paquete del FCH y también tiene una longitud variable

(en un número entero de tramas PHY), que viene dada por el campo Longitud de mensaje del FCH en la PDU del FCH. El paquete FCH se envía utilizando la velocidad y la modalidad de transmisión especificados por el elemento de información asociado del FCCH.

5 **[0115]** La **figura 5F** ilustra un modo de realización de una PDU de FCH 430c para un Tipo 2 de PDU de FCH. En esta realización, la PDU de FCH 430c incluye solo una parte de preámbulo 532c y ninguna parte de mensaje. La longitud de la parte del preámbulo se indica mediante el IE del FCCH. El Tipo 2 de PDU de FCH se puede usar para permitir que el terminal de usuario actualice su estimación de canal mientras se encuentra en el estado *inactivo*.

10 **[0116]** Se proporcionan varios tipos de mensajes del FCH para asimilar diferentes usos del FCH. La Tabla 18 enumera un conjunto ejemplar de tipos de mensajes de FCH.

Tabla 18 - Tipos de mensajes de FCH

15

Código	Tipo de mensaje de FCH	Descripción
0	Mensaje de página	Mensaje de página: modalidad de diversidad, velocidad = 0,25 bps/Hz
1	Mensaje de difusión	Mensaje de difusión - modalidad de diversidad, velocidad = 0,25 bps/Hz
2	Paquete de usuario	Funcionamiento de canal dedicado - PDU específica del terminal de usuario, velocidad especificada en el FCCH
3-15	Reservado	Reservado para uso futuro

20 **[0117]** Se puede usar un mensaje de página para paginar múltiples terminales de usuario y se envía usando el Tipo 0 de PDU del FCH. Si el bit de página en el mensaje del BCH está activado, entonces se envían primero una o más PDU del FCH con mensajes de página (o "PDU de página") en el FCH. Las PDU de varias páginas pueden enviarse en la misma trama. Las PDU de página se transmiten utilizando la modalidad de diversidad y la velocidad más baja de 0,25 bps/Hz, para aumentar la probabilidad de una recepción correcta por parte de los terminales de usuario.

25 **[0118]** Se puede usar un mensaje de difusión para enviar información a múltiples terminales de usuario, y se envía utilizando el Tipo 0 de PDU de FCH. Si el Bit de difusión en el mensaje del BCH está activado, entonces se envían una o más PDU de FCH con mensajes de difusión (o "PDU de difusión") en el FCH inmediatamente después de cualquier PDU de Página enviada en el FCH. Las PDU de difusión también se transmiten utilizando la modalidad de diversidad y la velocidad más baja de 0,25 bps/Hz para aumentar la probabilidad de una recepción correcta.

30 **[0119]** Se puede usar un paquete de usuario para enviar datos específicos del usuario, y se puede enviar utilizando el Tipo 1 o 2 de PDU de FCH. Las PDU de usuario de Tipo 1 y 2 se envían en el FCH después de cualquier PDU de Página y Difusión enviada en el FCH. Cada PDU de usuario puede transmitirse utilizando la modalidad de diversidad, dirección de haces o multiplexado espacial. El elemento de información del FCCH especifica la velocidad y la modalidad de transmisión utilizados para cada PDU de usuario enviada en el FCH.

35 **[0120]** Un mensaje o paquete enviado en el FCH comprende un número entero de tramas PHY. En un modo de realización y como se describe a continuación, cada trama PHY puede incluir un valor CRC que permite que las tramas PHY individuales en una PDU de FCH se verifiquen y retransmitan si es necesario. Para servicios asíncronos, el RLP puede emplearse para la segmentación, la retransmisión y el reensamblaje de tramas PHY dentro de una PDU de FCH determinada. En otro modo de realización, se proporciona un valor de CRC para cada mensaje o paquete, en lugar de cada trama PHY.

40 **[0121]** La **figura 6** ilustra un modo de realización de la estructura para un paquete de FCH 534. El paquete de FCH comprende un número entero de tramas PHY 610. Cada trama PHY incluye un campo de carga útil 622, un campo CRC 624 y un campo de bit de cola 626. La primera trama PHY para el paquete del FCH incluye además un campo de encabezado 620, que indica el tipo y la duración del mensaje. La última trama PHY en el paquete de FCH incluye además un campo de bits de relleno 628, que contiene bits cero de relleno al final de la carga útil para llenar la última trama PHY. En un modo de realización, cada trama PHY comprende 6 símbolos de OFDM. El número de bits incluidos en cada trama PHY depende de la velocidad utilizada para esa trama PHY.

45 **[0122]** La Tabla 19 enumera los diversos campos para un formato ejemplar de PDU de FCH para los tipos 0 y 1 de PDU de FCH.

55

Tabla 19: Formato de PDU de FCH

	Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Primera trama PHY	Tipo de mensaje de FCH	4	Tipo de mensaje de FCH
	Longitud del mensaje de FCH	16	Número de octetos en PDU de FCH
	Carga útil	Variable	Bits de carga útil
	CRC	16	Valor de CRC para trama PHY (optativo)
	Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo
Cada trama PHY media	Carga útil	Variable	Bits de carga útil
	CRC	16	Valor de CRC para trama PHY (optativo)
	Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo
Última trama PHY	Carga útil	Variable	Bits de carga útil
	Bits de relleno	Variable	Bits de relleno para completar trama PHY
	CRC	16	Valor de CRC para trama PHY (optativo)
	Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo

5 Los campos Tipo de mensaje de FCH y Longitud de mensaje de FCH se envían en el encabezado de la primera trama PHY de la PDU del FCH. Los campos de carga útil, CRC y bits de cola se incluyen en cada trama PHY. La parte de carga útil de cada PDU de FCH transporta los bits de información para el mensaje de página/difusión o el paquete específico del usuario. Los bits de relleno se utilizan para rellenar la última trama PHY de la PDU del FCH, si es necesario.

10 **[0123]** También se puede definir una trama PHY para que incluya algún otro número de símbolos de OFDM (por ejemplo, uno, dos, cuatro, ocho, etc.). La trama PHY puede definirse con un número par de símbolos de OFDM porque los símbolos de OFDM se transmiten en pares para la modalidad de diversidad, que se puede usar para el FCH y el RCH. El tamaño de trama PHY puede seleccionarse en función del tráfico esperado, de modo que se minimice la ineficacia. En particular, si el tamaño de trama es demasiado grande, entonces la ineficacia resulta del uso de una trama PHY grande para enviar una pequeña cantidad de datos. Alternativamente, si el tamaño de trama es demasiado pequeño, entonces la sobrecarga representa una fracción mayor de la trama.

15 **5. Canal inverso (RCH) - Enlace ascendente**

20 **[0124]** El RCH es utilizado por los terminales de usuario para transmitir datos de enlace ascendente y señales piloto al punto de acceso. El RCH se puede asignar por cada trama de TDD. Se pueden designar uno o más terminales de usuario para transmitir en el RCH en cualquier trama de TDD dada. Se proporcionan varios tipos de PDU del RCH para asimilar diferentes modalidades operativas en el RCH. La Tabla 20 enumera un conjunto ejemplar de tipos de PDU del RCH.

25

Tabla 20 - Tipos de PDU del RCH

Código	Tipo de PDU del RCH	Descripción
0	Solo mensaje	Mensaje de usuario del RCH, sin preámbulo
1	Mensaje y preámbulo, no inactivo	Mensaje de usuario del RCH, con preámbulo.
2	Mensaje y preámbulo, inactivo	Mensaje de estado inactivo del RCH con preámbulo

[0125] El Tipo 0 de PDU de RCH se utiliza para enviar un mensaje/paquete en el RCH y no incluye un preámbulo.

El Tipo 1 de PDU de RCH se utiliza para enviar un mensaje/paquete e incluye un preámbulo. El Tipo 2 de PDU de RCH incluye un preámbulo y un mensaje corto, y está asociado al tráfico del RCH de estado *inactivo*.

5 **[0126]** La **figura 5D** ilustra un modo de realización de una PDU de RCH para el Tipo 0 de PDU de RCH. En esta realización, la PDU de RCH incluye solo una parte de mensaje 534a para un paquete de RCH de longitud variable, que es proporcionado, en un número entero de tramas PHY, por el campo de longitud de mensaje de RCH en la PDU de RCH. La velocidad y la modalidad de transmisión para el paquete de RCH se especifican en el elemento de información asociado del FCCH.

10 **[0127]** La **figura 5E** ilustra un modo de realización de una PDU de RCH para el Tipo 1 de la PDU de RCH. En esta realización, la PDU de RCH incluye una parte de preámbulo 532b y una parte de paquete 534b. La parte de preámbulo 532b se usa para enviar una referencia (por ejemplo, una señal piloto de MIMO o una referencia guiada) y tiene una longitud variable, que viene dada por el campo de Tipo de preámbulo de RCH en el elemento de información asociado del FCCH. La parte 534b se utiliza para enviar un paquete de RCH y también tiene una longitud variable, que se proporciona en el campo Longitud de mensaje de RCH en la PDU de RCH. El paquete del RCH se envía utilizando la velocidad y la modalidad de transmisión especificadas en el elemento de información asociado del FCCH.

15 **[0128]** La **figura 5G** ilustra un modo de realización de una PDU de RCH 350d para el Tipo 2 de PDU de RCH. En esta realización, la PDU de RCH incluye una parte de preámbulo 532d y una parte de mensaje 536d. La parte de preámbulo 532d se usa para enviar una referencia y tiene una longitud de 1, 4 u 8 símbolos de OFDM. La parte 536d se usa para enviar un mensaje corto de RCH y tiene una longitud fija de un símbolo de OFDM. El mensaje corto de RCH se envía utilizando una velocidad y una modalidad de transmisión específicas (por ejemplo, velocidad 1/2 o velocidad 1/4 y modulación BPSK).

20 **[0129]** Un paquete enviado en el RCH (para los tipos de PDU 0 y 1) comprende un número entero de tramas PHY. La estructura para un paquete del RCH (para los tipos 0 y 1 de PDU) se muestra en la figura 6, y es la misma que para el paquete de FCH. El paquete de RCH comprende un número entero de tramas PHY 610. Cada trama PHY incluye el campo de carga útil 622, un campo de CRC optativo 624 y el campo de bit de cola 626. La primera trama PHY en el paquete de RCH incluye además el campo de cabecera 620, y la última trama PHY en el paquete incluye además el campo de bit de relleno 628.

25 **[0130]** La Tabla 21 enumera los diversos campos para un formato ejemplar de PDU de RCH para los tipos 0 y 1 de PDU de RCH.

35

Tabla 21 - Formato de PDU de RCH (Tipos 0 y 1 de PDU)

	Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Primera trama PHY	Tipo de mensaje de RCH	4	Tipo de mensaje de RCH
	Longitud de mensaje de RCH	16	Número de octetos en PDU de RCH
	Indicador de velocidad de FCH	16	Indicar la velocidad máxima para cada canal espacial en el FCH
	Carga útil	Variable	Bits de carga útil
	CRC	16	Valor de CRC para trama PHY (optativo)
	Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo
Cada trama PHY media	Carga útil	Variable	Bits de carga útil
	CRC	16	Valor de CRC para trama PHY (optativo)
	Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo
Última trama PHY	Carga útil	Variable	Bits de carga útil
	Bits de relleno	Variable	Bits de relleno para completar trama PHY
	CRC	16	Valor de CRC para trama PHY (optativo)
	Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo

40 Los campos Tipo de mensaje de RCH, Longitud de mensaje de RCH e Indicador de velocidad de FCH se envían en el encabezado de la primera trama PHY de la PDU del RCH. El campo del indicador de velocidad de FCH se usa para transmitir información de velocidad del FCH (por ejemplo, las velocidades máximas con soporte por parte de cada uno de los canales espaciales) al punto de acceso.

[0131] La Tabla 22 enumera los diversos campos para un formato ejemplar de PDU de RCH para el Tipo 2 de PDU de RCH.

5 Tabla 22 - Mensaje de RCH para Tipo 2 de PDU de RCH

Nombres de Campos/Parámetros	Longitud (bits)	Descripción
Indicador de velocidad de FCH	16	Indicar la velocidad máxima para cada canal espacial en el FCH
Solicitud de RCH	1	Solicitud de terminal de usuario para enviar datos adicionales
Reservado	1	Reservado para uso futuro
Bits de cola	6	Bits de cola para el codificador convolutivo

El terminal de usuario utiliza el campo Solicitud de RCH para solicitar capacidad adicional en el enlace ascendente. Este breve mensaje del RCH no incluye un CRC y se transmite en un solo símbolo de OFDM.

10 **6. Actividad de canal dedicado**

[0132] La transmisión de datos en el FCH y el RCH puede ocurrir independientemente. Según las modalidades de transmisión seleccionadas para su uso para el FCH y el RCH, uno o múltiples canales espaciales (para las modalidades de guía de haces y de diversidad) pueden estar activos y usarse para la transmisión de datos para cada canal de transporte dedicado. Cada canal espacial puede estar asociado a una velocidad específica.

[0133] Cuando solo el FCH o solo el RCH tienen las cuatro velocidades fijadas en cero, el terminal de usuario está inactivo en ese enlace. El terminal inactivo aún transmite una PDU inactiva en el RCH. Cuando tanto el FCH como el RCH tienen las cuatro velocidades fijadas en cero, tanto el punto de acceso como el terminal de usuario están apagados y no transmiten. Los terminales de usuario con menos de cuatro antenas de transmisión fijan los campos de velocidad no utilizados en cero. Los terminales de usuario con más de cuatro antenas de transmisión no utilizan más de cuatro canales espaciales para transmitir datos. La Tabla 23 muestra el estado de transmisión y la actividad del canal cuando las velocidades en los cuatro canales espaciales del FCH o del RCH (o de ambos) se fijan en cero.

Tabla 23

Velocidades del FCH	Velocidades del RCH	Actividad del canal	Estado de transmisión
Al menos una velocidad en el FCH ≠ 0	Al menos una velocidad en el RCH ≠ 0	El FCH y el RCH están activos	El FCH y/o el RCH están transmitiendo
Al menos una velocidad en el FCH ≠ 0	Todas las velocidades en el RCH = 0	FCH activo, RCH inactivo	
Todas las velocidades en el FCH = 0	Al menos una velocidad en el RCH ≠ 0	FCH inactivo, RCH activo	Sin transmisiones
Todas las velocidades en el FCH = 0	Todas las velocidades en el RCH = 0	El FCH y el RCH están apagados	

[0134] También puede haber una situación en la que tanto el RCH como el FCH están inactivos (es decir, no transmiten datos) pero siguen transmitiendo preámbulos. Esto se menciona como el estado *inactivo*. Los campos de control utilizados para dar soporte a un terminal de usuario en estado *inactivo* se proporcionan en un elemento de información de Tipo 2 de IE del FCCH, que se muestra en la Tabla 13.

35 **7. Diseños Alternativos**

[0135] Para mayor claridad, se han descrito tipos de PDU específicos, estructuras de PDU, formatos de mensajes, etc., para un diseño ejemplar. También se pueden definir para su uso menos, más y / o diferentes tipos, estructuras y formatos, y esto está dentro del alcance de la invención.

40 **III. Estructuras de subbanda de OFDM**

[0136] En la descripción anterior, la misma estructura de subbanda de OFDM se utiliza para todos los canales de transporte. Se puede lograr una eficacia mejorada utilizando diferentes estructuras de subbanda de OFDM para diferentes canales de transporte. Por ejemplo, una estructura de 64 subbandas puede usarse para algunos canales

de transporte, una estructura de 256 subbandas puede usarse para algunos otros canales de transporte, y así sucesivamente. Además, se pueden usar múltiples estructuras de subbanda de OFDM para un canal de transporte dado.

5 **[0137]** Para un ancho de banda de sistema dado de W , la duración de un símbolo de OFDM depende del número de subbandas totales. Si el número total de subbandas es N , entonces la duración de cada símbolo transformado (sin un prefijo cíclico) es $NW \mu s$ (si W se da en MHz). Se agrega un prefijo cíclico a cada símbolo transformado para formar un símbolo de OFDM correspondiente. La longitud del prefijo cíclico está determinada por la propagación de la demora esperada del sistema. El prefijo cíclico representa la sobrecarga, que se necesita para cada símbolo de OFDM, para combatir un canal selectivo de frecuencia. Esta sobrecarga representa un porcentaje mayor del símbolo de OFDM si el símbolo es corto y un porcentaje menor si el símbolo es largo.

15 **[0138]** Dado que diferentes canales de transporte pueden asociarse a diferentes tipos de datos de tráfico, se puede seleccionar una estructura de subbanda de OFDM adecuada para usar, para que cada canal de transporte coincida con el tipo esperado de datos de tráfico. Si se espera que una gran cantidad de datos se transmita en un canal de transporte dado, entonces se puede definir, para su uso, una estructura de subbanda más grande para el canal de transporte. En este caso, el prefijo cíclico representaría un porcentaje menor del símbolo de OFDM y se puede lograr una mayor eficacia. A la inversa, si se espera que se transmita una pequeña cantidad de datos en un canal de transporte dado, se puede definir, para su uso, una estructura de subbanda más pequeña para el canal de transporte. En este caso, incluso aunque el prefijo cíclico representa un porcentaje mayor del símbolo de OFDM, aún se puede lograr una mayor eficacia al reducir la magnitud de la capacidad excedente, utilizando un símbolo de OFDM de tamaño más pequeño. Por lo tanto, el símbolo de OFDM se puede ver como una "carreta" que se usa para enviar datos, y se puede seleccionar la "carreta" del tamaño adecuado para cada canal de transporte, en función de la cantidad de datos que se espera enviar.

25 **[0139]** Por ejemplo, para el modo de realización descrito anteriormente, los datos en el FCH y el RCH se envían en tramas PHY, cada una de las cuales comprende 6 símbolos de OFDM. En este caso, se puede definir otra estructura de OFDM para su uso, para el FCH y el RCH. Por ejemplo, se puede definir una estructura de 256 subbandas para el FCH y el RCH. Un símbolo de OFDM "grande" para la estructura de 256 subbandas tendría aproximadamente cuatro veces la duración de un símbolo de OFDM "pequeño" para la estructura de 64 subbandas, pero tendría cuatro veces la capacidad de carga de datos. Sin embargo, solo se necesita un prefijo cíclico para un símbolo de OFDM grande, mientras que se necesitan cuatro prefijos cíclicos para los cuatro símbolos pequeños de OFDM equivalentes. Por lo tanto, la cantidad de sobregasto para los prefijos cíclicos se puede reducir en un 75% mediante el uso de la estructura más grande de 256 subbandas.

35 **[0140]** Este concepto se puede ampliar para que se puedan usar diferentes estructuras de subbanda de OFDM para el mismo canal de transporte. Por ejemplo, el RCH presta soporte a diferentes tipos de PDU, cada una de las cuales puede estar asociada a un tamaño determinado. En este caso, se puede usar una estructura de subbanda más grande para un tipo de PDU de RCH de tamaño más grande, y una estructura de subbanda más pequeña se puede usar para un tipo de PDU de RCH de tamaño más grande. También se puede utilizar una combinación de diferentes estructuras de subbanda para una PDU determinada. Por ejemplo, si un símbolo de OFDM largo es equivalente a cuatro símbolos de OFDM cortos, entonces se puede enviar una PDU utilizando $N_{grandes}$ símbolos de OFDM grandes y $3N_{pequeños}$ símbolos de OFDM pequeños, donde $N_{grandes} \geq 0$ y $3N_{pequeños} \geq 0$.

45 **[0141]** Las diferentes estructuras de subbanda de OFDM están asociadas a símbolos de OFDM de diferentes longitudes. Por lo tanto, si se utilizan diferentes estructuras de subbanda de OFDM para diferentes canales de transporte (y/o para el mismo canal de transporte), entonces los desplazamientos del FCH y del RCH para las PDU del FCH y del RCH deberían especificarse con la resolución cronológica adecuada, que es menor que un período de símbolos de OFDM. En particular, el incremento de tiempo para las PDU del FCH y del RCH se puede dar en números enteros de longitud de prefijo cíclico, en lugar del período de símbolos de OFDM.

IV. Velocidades y modalidades de transmisión

55 **[0142]** Los canales de transporte descritos anteriormente se utilizan para enviar diversos tipos de datos para diversos servicios y funciones. Cada canal de transporte puede estar diseñado para dar soporte a una o más velocidades y a una o más modalidades de transmisión.

1. Modalidades de transmisión

60 **[0143]** Se presta soporte a una serie de modalidades de transmisión para los canales de transporte. Cada modalidad de transmisión está asociada a un procesamiento espacial específico en el transmisor y el receptor, como se describe a continuación. La Tabla 24 enumera las una o más modalidades de transmisión con soporte por parte de cada uno de los canales de transporte.

65

Tabla 24

Canales de transporte	Modalidades de transmisión			
	SIMO	Diversidad de transmisión	Guía de haces	Multiplexado espacial
BCH	-	X		-
FCCH	-	X	-	-
RACH	X	-	X	-
FCH	-	X	X	X
RCH	X	X	X	X

Para la modalidad de diversidad, cada símbolo de datos se transmite de forma redundante a través de múltiples antenas de transmisión, múltiples subbandas, múltiples períodos de símbolos o una combinación de los mismos, para lograr diversidad espacial, de frecuencia y/o temporal. Para la modalidad de guía de haces, se usa un solo canal espacial para la transmisión de datos (habitualmente, el mejor canal espacial), y cada símbolo de datos se transmite en el canal espacial único utilizando la potencia total de transmisión disponible para las antenas de transmisión. Para la modalidad de multiplexado espacial, se utilizan múltiples canales espaciales para la transmisión de datos, y cada símbolo de datos se transmite en un canal espacial, donde un canal espacial puede corresponder a un automodo, una antena de transmisión, etc. La modalidad de guía de haces puede verse como un caso especial de la modalidad de multiplexado espacial, por lo que solo se utiliza un canal espacial para la transmisión de datos.

[0144] La modalidad de diversidad se puede utilizar para los canales de transporte comunes (BCH y FCCH) para el enlace descendente desde el punto de acceso a los terminales de usuario. La modalidad de diversidad también se puede utilizar para los canales de transporte dedicados (FCH y RCH). El uso de la modalidad de diversidad en el FCH y el RCH se puede negociar en la configuración de la llamada. La modalidad de diversidad transmite datos en una "modalidad espacial" utilizando un par de antenas para cada subbanda.

[0145] La modalidad de guía de haces puede ser empleada en el RACH por terminales de usuario con múltiples antenas de transmisión. Un terminal de usuario puede estimar el canal de MIMO basándose en la señal piloto de MIMO enviada en el BCH. Esta estimación de canal se puede utilizar luego para realizar la guía de haces en el RACH para los accesos al sistema. La modalidad de guía de haces también se puede utilizar para los canales de transporte dedicados (FCH y RCH). La modalidad de guía de haces puede ser capaz de lograr una mayor razón entre señal y ruido e interferencia (SNR) recibida en el receptor que en la modalidad de diversidad, aprovechando la ganancia de la formación de antenas en el transmisor. Además, la parte de preámbulo de la PDU puede reducirse ya que la referencia guiada solo incluye símbolos para una sola antena "dirigida". La modalidad de diversidad también se puede usar para el RACH.

[0146] La modalidad de multiplexado espacial se puede utilizar para que el FCH y el RCH logren un mayor caudal, cuando las condiciones del canal le presten soporte. Las modalidades de multiplexado espacial y de guía de haces son accionadas por referencia y requieren un control de bucle cerrado para un funcionamiento adecuado. Como tal, a un terminal de usuario se le asignan recursos tanto en el FCH como en el RCH para prestar soporte a la modalidad de multiplexado espacial. Se puede prestar soporte a hasta cuatro canales espaciales en el FCH y el RCH (limitado por el número de antenas en el punto de acceso).

2. Codificación y modulación

[0147] Se presta soporte a una serie de velocidades diferentes para los canales de transporte. Cada velocidad está asociada a una velocidad de código particular y a un sistema de modulación particular, lo cual da como resultado, de forma colectiva, una eficacia espectral (o velocidad de datos) particular. La Tabla 25 enumera las diferentes velocidades con soporte por parte del sistema.

Tabla 25

Palabra de velocidad	Eficacia espectral (bps/Hz)	Velocidad de código	Esquema de modulación	Bits de información/símbolo de OFDM	Bits de código/símbolo OFDM
0000	0,0	-	apagado	-	-
0001	0,25	1 / 4	BPSK	12	48
0010	0,5	1 / 2	BPSK	24	48
0011	1,0	1 / 2	QPSK	48	96

Palabra de velocidad	Eficacia espectral (bps/Hz)	Velocidad de código	Esquema de modulación	Bits de información/símbolo de OFDM	Bits de código/símbolo OFDM
0100	1,5	3 / 4	QPSK	72	96
0101	2,0	1 / 2	16 QAM	96	192
0110	2,5	5 / 8	16 QAM	120	192
0111	3,0	3 / 4	16 QAM	144	192
1000	3,5	7 / 12	64 QAM	168	288
1001	4,0	2 / 3	64 QAM	192	288
1010	4,5	3 / 4	64 QAM	216	288
1011	5,0	5 / 6	64 QAM	240	288
1100	5,5	11 / 16	256 QAM	264	384
1101	6,0	3 / 4	256 QAM	288	384
1110	6,5	13 / 16	256 QAM	312	384
1111	7,0	7 / 8	256 QAM	336	384

5 [0148] Cada canal de transporte común presta soporte a una o más velocidades y una modalidad de transmisión (o posiblemente más, como puede ser el caso del RACH). El BCH se transmite a una velocidad fija utilizando la modalidad de diversidad. El FCCH se puede transmitir a una entre cuatro velocidades posibles, según lo indicado por el campo Modalidad Phy de FCCH en el mensaje del BCH, utilizando la modalidad de diversidad. En un modo de realización, el RACH puede transmitirse a una entre cuatro velocidades posibles, como lo indica el DRI del RACH integrado en el preámbulo de la PDU del RACH, y cada mensaje del RACH es de uno de los cuatro tamaños posibles. En otro modo de realización, el RACH se transmite a una velocidad única. La Tabla 26 enumera los parámetros de codificación, modulación y transmisión y los tamaños de mensaje con soporte por parte de cada canal de transporte común.

10

Tabla 26 - Parámetros para Canales de Transporte Comunes

Canal de Transporte	Eficacia Espectral (bps / Hz)	Velocidad de Código	Esquema de Modulación	Modalidad de Transmisión	Tamaño de Mensaje	
					bits	Símbolos OFDM
BCH	0,25	1/4	BPSK	Diversidad	120	10
PCCH	0,25	1/4	BPSK	Diversidad	variable	variable
	0,5	1/2	BPSK	Diversidad	variable	variable
	1,0	1/2	QPSK	Diversidad	variable	variable
	2,0	1/2	16 QAM	Diversidad	variable	variable
RACH	0,25	1/4	BPSK	Guía de haces	96	8
	0,5	1/2	BPSK	Guía de haces	96, 192	4, 8
	1,0	1/2	QPSK	Guía de haces	96, 192, 384	2, 4, 8
	2,0	1/2	16 QAM	Guía de haces	96, 192, 384, 768	1, 2, 4, 8

15 El mensaje del FCCH es de tamaño variable y se da en un número par de símbolos de OFDM.

20 [0149] El FCH y el RCH prestan soporte a todas las velocidades enumeradas en la Tabla 25. La Tabla 27 enumera los parámetros de codificación, modulación y transmisión y los tamaños de mensaje con soporte por parte del FCH y del RCH.

Tabla 27 - Parámetros para FCH y RCH

					Tamaño de trama PHY		
					bits de código	Símbolos de modulación	Símbolos de OFDM
0,25 ^A	1 / 4	BPSK	72	72	144	288	6
0,5	1 / 2	BPSK	144	144	288	288	6
1,0	1 / 2	QPSK	288	288	576	288	6
1,5	3 / 4	QPSK	432	144	576	288	6
2,0	1 / 2	16 QAM	576	576	1152	288	6
2,5	5 / 8	16 QAM	720	432	1152	288	6
3,0	3 / 4	16 QAM	864	288	1152	288	6
3,5	7 / 12	64 QAM	1008	720	1728	288	6
4,0	2 / 3	64 QAM	1152	576	1728	288	6
4,5	3 / 4	64 QAM	1296	432	1728	288	6
5,0	5 / 6	64 QAM	1440	288	1728	288	6
5,5	11 / 16	256 QAM	1584	720	2304	288	6
6,0	3 / 4	256 QAM	1728	576	2304	288	6
6,5	13 / 16	256 QAM	1872	432	2304	288	6
7,0	7 / 8	256 QAM	2016	288	2304	288	6

Nota A: cada bit de código de 1/2 velocidad se repite en dos subbandas para obtener una velocidad de código efectiva de 1/4. Los bits de paridad representan los bits de redundancia introducidos por la codificación y se utilizan para la corrección de errores por parte del receptor.

5 **[0150]** El tamaño de trama PHY en la Tabla 27 indica el número de bits de código, símbolos de modulación y símbolos de OFDM para cada trama PHY. Si se utilizan 48 subbandas de datos para la transmisión de datos, entonces cada símbolo de OFDM incluye 48 símbolos de modulación. Para las modalidades de diversidad y de guía de haces, se transmite un flujo de símbolos y el tamaño de trama PHY corresponde a la velocidad única empleada para este flujo de símbolos. Para la modalidad de multiplexado espacial, se pueden enviar múltiples flujos de símbolos en múltiples canales espaciales, y el tamaño general de trama PHY se determina por la suma de los tamaños de trama PHY para los canales espaciales individuales. El tamaño de trama PHY para cada canal espacial está determinado por la velocidad empleada para ese canal espacial.

10 **[0151]** Como ejemplo, supongamos que el canal MIMO es capaz de prestar soporte a cuatro canales espaciales que funcionan con eficacias espectrales de 0,5, 1,5, 4,5 y 5,5 bps/Hz. Las cuatro velocidades seleccionadas para los cuatro canales espaciales serían entonces como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28 - Transmisión ejemplar de multiplexado espacial

Índice de canal espacial	Eficacia espectral (bps/Hz)	Velocidad de código	Esquema de modulación	Carga útil (bits/trama PHY)	Tamaño de trama PHY		
					bits de código	símbolos mod.	Símbolos de OFDM
1	0,5	1 / 2	BPSK	144	288	288	6
2	1,5	3 / 4	QPSK	432	576	288	6
3	4,5	3 / 4	64 QAM	1296	1728	288	6
4	5,5	11 / 16	256 QAM	1584	2304	288	6

20 El tamaño total de la trama PHY es entonces $144 + 432 + 1296 + 1584 = 3456$ bits de información o $288 + 576 + 1728 + 2304 = 4896$ bits de código. Incluso aunque cada uno de los cuatro canales espaciales presta soporte a un número diferente de bits de carga útil, la trama PHY general puede transmitirse en 6 símbolos de OFDM (por ejemplo, 24 μ s, suponiendo 4 μ s/símbolo de OFDM).

25 **V. Procesamiento de capa física**

[0152] La **figura 7** muestra un diagrama de bloques de un punto de acceso 110x y dos terminales de usuario 120x y 120y dentro del sistema de WLAN de MIMO.

5 **[0153]** En el enlace descendente, en el punto de acceso 110x, un procesador de datos de transmisión (TX) 710 recibe datos de tráfico (es decir, bits de información) desde un origen de datos 708 y señalización y otro tipo de información desde un controlador 730 y, posiblemente, un planificador 734. Estos diversos tipos de datos pueden enviarse en canales de transporte diferentes. El procesador de datos de TX 710 "entrama" los datos (si es necesario), cifra los datos entramados/sin entamar, aleatoriza los datos aleatorizados, intercala (es decir, reordena) los datos codificados y correlaciona los datos intercalados con símbolos de modulación. Por simplicidad, un "símbolo de datos" se refiere a un símbolo de modulación para datos de tráfico, y un "símbolo piloto" se refiere a un símbolo de modulación para la señal piloto. La aleatorización aleatoriza los bits de datos. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. El intercalado proporciona diversidad de tiempo, frecuencia y/o espacial para los bits de código. La aleatorización, la codificación y la modulación pueden realizarse basándose en señales de control proporcionadas por el controlador 730 y se describen con más detalle a continuación. El procesador de datos de TX 710 proporciona un flujo de símbolos de modulación para cada canal espacial utilizado para la transmisión de datos.

20 **[0154]** Un procesador espacial de TX 720 recibe uno o más flujos de símbolos de modulación desde el procesador de datos de TX 710 y realiza el procesamiento espacial en los símbolos de modulación para proporcionar cuatro flujos de símbolos de transmisión, un flujo para cada antena de transmisión. El procesamiento espacial se describe en más detalle a continuación.

25 **[0155]** Cada modulador (MOD) 722 recibe y procesa un respectivo flujo de símbolos de transmisión para proporcionar un flujo correspondiente de símbolos de OFDM. Cada flujo de símbolos de OFDM se procesa adicionalmente para proporcionar una correspondiente señal modulada de enlace descendente. Las cuatro señales moduladas de enlace descendente desde el modulador 722a a 722d se transmiten entonces desde las cuatro antenas 724a a 724d, respectivamente.

30 **[0156]** En cada terminal de usuario 120, una o múltiples antenas 752 reciben las señales moduladas de enlace descendente transmitidas, y cada antena de recepción proporciona una señal recibida a un respectivo demodulador (DEMOD) 754. Cada demodulador 754 realiza un procesamiento complementario al realizado por el modulador 722 y proporciona símbolos recibidos. Un procesador espacial de recepción (RX) 760 realiza a continuación el procesamiento espacial en los símbolos recibidos desde todos los demoduladores 754, para proporcionar símbolos recuperados, que son estimaciones de los símbolos de modulación enviados por el punto de acceso.

35 **[0157]** Un procesador de datos de RX 770 recibe y demultiplexa los símbolos recuperados en sus respectivos canales de transporte. Los símbolos recuperados para cada canal de transporte se pueden decorrelacionar, desintercalar, decodificar y desaleatorizar para proporcionar datos decodificados para dicho canal de transporte. Los datos decodificados para cada canal de transporte pueden incluir datos en paquetes, mensajes, señalización, etc., que se proporcionan a un sumidero de datos 772 para su almacenamiento y/o a un controlador 780 para su procesamiento adicional.

40 **[0158]** El procesamiento por el punto de acceso 110 y el terminal 120 para el enlace descendente se describe con más detalle a continuación. El procesamiento para el enlace ascendente puede ser el mismo que, o diferente a, el procesamiento para el enlace descendente.

45 **[0159]** Para el enlace descendente, en cada terminal de usuario activo 120, el procesador espacial de RX 760 estima además el enlace descendente para obtener información de estado de canal (CSI). La CSI puede incluir estimaciones de respuesta de canal, las SNR recibidas, etc. El procesador de datos de RX 770 también puede proporcionar el estado de cada paquete/trama que se recibe en el enlace descendente. Un controlador 780 recibe la información de estado de canal y el estado de paquete/trama y determina la información de retroalimentación a devolver al punto de acceso. La información de retroalimentación es procesada por un procesador de datos de TX 790 y un procesador espacial de TX 792 (si está presente), acondicionada por uno o más moduladores 754 y transmitida a través de una o más antenas 752 de vuelta al punto de acceso.

50 **[0160]** En el punto de acceso 110x, las una o más señales de enlace ascendente transmitidas son recibidas por las antenas 724, demoduladas por los demoduladores 722 y procesadas por un procesador espacial de RX 740 y un procesador de datos de RX 742 de forma complementaria a la realizada en el terminal de usuario. La información de retroalimentación recuperada se proporciona luego al controlador 730 y a un planificador 734.

55 **[0161]** El planificador 734 utiliza la información de retroalimentación para realizar una serie de funciones tales como (1) seleccionar un conjunto de terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente, (2) seleccionar la(s) velocidad(es) de transmisión y la modalidad de transmisión para cada terminal de usuario seleccionado y (3) asignar los recursos de FCH/RCH disponibles a los terminales seleccionados. El planificador 734 y/o el controlador 730 utilizan además información (por ejemplo, vectores de

dirección) obtenida de la transmisión de enlace ascendente para el procesamiento de la transmisión de enlace descendente, como se describe a continuación con mayor detalle.

5 **[0162]** Se presta soporte a una serie de modalidades de transmisión para la transmisión de datos en el enlace descendente y en el enlace ascendente. El procesamiento para cada una de estas modalidades de transmisión se describe con más detalle a continuación.

1. Modalidad de diversidad - Procesamiento de transmisión

10 **[0163]** La **figura 8A** muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad transmisora 800 capaz de realizar el procesamiento de transmisión para la modalidad de diversidad. La unidad transmisora 800 se puede usar para la parte transmisora del punto de acceso y del terminal de usuario.

15 **[0164]** Dentro de un procesador de datos de TX 710a, una unidad de entramado 808 entrama los datos para cada paquete a transmitir en el FCH o RCH. No es necesario realizar el entramado para los otros canales de transporte. El entramado se puede realizar como se ilustra en la figura 6, para generar uno o más tramas PHY para cada paquete de usuario. Un aleatorizador 810 luego aleatoriza los datos entramados/no entramados para cada canal de transporte, para aleatorizar los datos.

20 **[0165]** Un codificador 812 recibe y codifica los datos aleatorizados de acuerdo a un esquema de codificación seleccionado, para proporcionar bits de código. Una unidad de repetición/punción 814 luego repite o punza (es decir, borra) algunos de los bits de código para obtener la velocidad de código deseada. En un modo de realización, el codificador 812 es un codificador de velocidad 1/2, longitud de restricción 7, codificador convolutivo binario. Se puede obtener una velocidad de código de 1/4 repitiendo cada bit de código una vez. Las velocidades de código superiores a 1/2 se pueden obtener eliminando algunos de los bits de código del codificador 812. A continuación se describe un diseño específico para la unidad de entramado 808, el aleatorizador 810, el codificador 812 y la
25 unidad de repetición/punción 814.

30 **[0166]** Un intercalador 818 luego intercala (es decir, reordena) los bits de código de la unidad 814 basándose en un esquema de intercalación seleccionado. En un modo de realización, cada grupo de 48 bits de código consecutivos a transmitir en un canal espacial dado se extiende sobre las 48 subbandas portadoras de datos (o simplemente, subbandas de datos) para proporcionar diversidad de frecuencia. La intercalación se describe en más detalle a continuación.

35 **[0167]** Una unidad de correlación de símbolos 820 luego correlaciona los datos intercalados de acuerdo a un esquema de modulación particular para proporcionar símbolos de modulación. Como se muestra en la Tabla 26, BPSK, 4 QAM o 16 QAM se pueden usar para la modalidad de diversidad, según la velocidad seleccionada. En la modalidad de diversidad, se utiliza el mismo esquema de modulación para todas las subbandas de datos. La correlación de símbolos se puede lograr (1) agrupando conjuntos de B bits para formar valores de B bits, donde B ≥ 1, y (2) correlacionando cada valor de B bits con un punto en una constelación de señales correspondiente al
40 esquema de modulación seleccionado. Cada punto de señal correlacionada es un valor complejo y corresponde a un símbolo de modulación. La unidad de correlación de símbolos 820 proporciona un flujo de símbolos de modulación a un procesador de diversidad de TX 720a.

45 **[0168]** En un modo de realización, la modalidad de diversidad utiliza la diversidad de transmisión en espacio-tiempo (STTD) para la diversidad de transmisión dual, subbanda por subbanda. La STTD da soporte a la transmisión simultánea de flujos de símbolos independientes en dos antenas de transmisión, manteniendo a la vez la ortogonalidad en el receptor.

50 **[0169]** El esquema de STTD funciona de la forma siguiente: Supongamos que dos símbolos de modulación, indicados como s_1 y s_2 , se transmitirán en una subbanda determinada. El transmisor genera dos vectores, $\underline{x}_1 = [s_1 \ s_2]^T$ y $\underline{x}_2 = [s_2^* \ -s_1^*]^T$, donde "*" indica el conjugado complejo y "T" indica la trasposición. Cada vector incluye dos elementos que han de transmitirse desde dos antenas de transmisión en un período de símbolos (es decir, el vector \underline{x}_1 se transmite desde dos antenas en el primer período de símbolos, y el vector \underline{x}_2 se transmite desde dos antenas
55 en el siguiente período de símbolos).

[0170] Si el receptor está equipado con una sola antena receptora, entonces los símbolos recibidos se pueden expresar como:

60
$$r_1 = h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 \quad \text{y} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$r_2 = h_1 s_2^* - h_2 s_1^* + n_2 \quad ,$$

donde r_1 y r_2 son dos símbolos recibidos en dos períodos de símbolos consecutivos en el receptor,

h_1 y h_2 son las ganancias de trayecto de las dos antenas de transmisión a la antena de recepción para la subbanda en cuestión, donde se supone que las ganancias de trayecto son constantes en la subbanda y estáticas durante el período de 2 símbolos; y

n_1 y n_2 son el ruido asociado a los dos símbolos recibidos r_1 y r_2 , respectivamente.

[0171] El receptor puede obtener estimaciones de los dos símbolos transmitidos, s_1 y s_2 , de la siguiente manera:

$$\hat{s}_1 = \frac{h_1^* r_1 - h_2^* r_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} = s_1 + \frac{h_1^* n_1 - h_2^* n_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2}, \text{ y} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\hat{s}_2 = \frac{h_2^* r_1 + h_1^* r_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} = s_2 + \frac{h_2^* n_1 + h_1^* n_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2}.$$

[0172] Alternativamente, el transmisor puede generar dos vectores $\underline{x}_1 = [s_1 \quad -s_2^*]^T$ y $\underline{x}_2 = [s_2 \quad s_1^*]^T$ y transmita los dos vectores de forma secuencial en dos períodos de símbolos desde dos antenas de transmisión. Los símbolos recibidos pueden expresarse entonces como:

$$r_1 = h_1 s_1 - h_2 s_2^* + n_1,$$

$$r_2 = h_1 s_2 + h_2 s_1^* + n_2.$$

El receptor puede entonces obtener estimaciones de los dos símbolos transmitidos de la siguiente manera:

$$\hat{s}_1 = \frac{h_1^* r_1 + h_2^* r_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} = s_1 + \frac{h_1^* n_1 + h_2^* n_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2},$$

$$\hat{s}_2 = \frac{-h_2^* r_1 + h_1^* r_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} = s_2 + \frac{h_1^* n_2 - h_2^* n_1}{|h_1|^2 + |h_2|^2}.$$

[0173] La descripción anterior puede extenderse para un sistema de MIMO-OFDM con dos o más antenas de transmisión, N_R antenas de recepción y múltiples subbandas. Se utilizan dos antenas de transmisión para cualquier subbanda determinada. Supongamos que dos símbolos de modulación, indicados como $s_1(k)$ y $s_2(k)$, se transmitirán en una subbanda k determinada. El transmisor genera dos vectores $\underline{x}_1(k) = [s_1(k) \quad s_2(k)]^T$ y $\underline{x}_2(k) = [s_2^*(k) \quad -s_1^*(k)]^T$ o, equivalentemente, dos conjuntos de símbolos $\{\underline{x}_i(k)\} = \{s_1(k) \quad s_2^*(k)\}$ y $\{\underline{x}_j(k)\} = \{s_2(k) \quad -s_1^*(k)\}$. Cada conjunto de símbolos incluye dos elementos que deben transmitirse secuencialmente en dos períodos de símbolos desde una antena de transmisión respectiva en la subbanda k (es decir, el conjunto de símbolos $\{\underline{x}_i(k)\}$ se transmite en la subbanda k desde la antena i en dos períodos de símbolos, y el conjunto de símbolos $\{\underline{x}_j(k)\}$ se transmite en la subbanda k desde la antena j en el mismo período de 2 símbolos).

[0174] Los vectores de los símbolos recibidos en las antenas de recepción en los dos períodos de símbolos se pueden expresar como:

$$\underline{r}_1(k) = \underline{h}_i(k) s_1(k) + \underline{h}_j(k) s_2(k) + \underline{n}_1(k),$$

$$\underline{r}_2(k) = \underline{h}_i(k) s_2^*(k) - \underline{h}_j(k) s_1^*(k) + \underline{n}_2(k),$$

donde $\underline{r}_1(k)$ y $\underline{r}_2(k)$ son dos vectores de símbolos recibidos en dos períodos de símbolos consecutivos en la subbanda k en el receptor, incluyendo cada vector N_R símbolos recibidos para las N_R antenas de recepción;

$\underline{h}_i(k)$ y $\underline{h}_j(k)$ son los vectores de ganancias de trayectoria desde las dos antenas de transmisión i y j a las N_R antenas de recepción para la subbanda k , incluyendo cada vector las ganancias de canal desde la antena de transmisión asociada a cada una de las N_R antenas de recepción, donde se supone que las ganancias de la trayectoria son constantes en la subbanda y estáticas durante el período de 2 símbolos; y

$\underline{n}_1(k)$ y $\underline{n}_2(k)$ son vectores de ruido asociados a los dos vectores recibidos $\underline{r}_1(k)$ y $\underline{r}_2(k)$, respectivamente.

[0175] El receptor puede obtener luego estimaciones de los dos símbolos transmitidos, $s_1(k)$ y $s_2(k)$, de la siguiente manera:

$$\hat{s}_1(k) = \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{r}_1(k) - \underline{r}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2} = s_1(k) + \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{n}_1(k) - \underline{n}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2},$$

y

$$\hat{s}_2(k) = \frac{\hat{\underline{h}}_j^H(k)\underline{r}_1(k) + \underline{r}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_i(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2} = s_2(k) + \frac{\hat{\underline{h}}_j^H(k)\underline{n}_1(k) + \underline{n}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_i(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2}.$$

[0176] Alternativamente, el transmisor puede generar dos conjuntos de símbolos $\{x(k)\} = \{s_1(k) s_2(k)\}$ y $\{x_j(k)\} = \{-s_2^*(k) s_1^*(k)\}$ y transmitir estos dos conjuntos de símbolos desde dos antenas de transmisión i y j . Los vectores de símbolos recibidos pueden expresarse entonces como:

$$\underline{r}_1(k) = \underline{h}_i(k)s_1(k) - \underline{h}_j(k)s_2^*(k) + \underline{n}_1(k),$$

y

$$\underline{r}_2(k) = \underline{h}_i(k)s_2(k) + \underline{h}_j(k)s_1^*(k) + \underline{n}_2(k).$$

El receptor puede entonces obtener estimaciones de los dos símbolos transmitidos de la siguiente manera:

$$\hat{s}_1(k) = \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{r}_1(k) + \underline{r}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2} = s_1(k) + \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{n}_1(k) + \underline{n}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2},$$

y

$$\hat{s}_2(k) = \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{r}_2(k) - \underline{r}_1^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2} = s_2(k) + \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{n}_2(k) - \underline{n}_1^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2}.$$

[0177] El sistema de STTD es descrito por S.M. Alamouti en un artículo titulado "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications [Una técnica sencilla de diversidad de transmisión para comunicaciones inalámbricas]", Revista IEEE sobre áreas seleccionadas en comunicaciones, vol. 16, No. 8, octubre de 1998, págs. 1451 a 1458. El esquema de STTD también se describe en la Solicitud de Patente Estadounidense cedida en común con N° de serie 09/737.602, titulada "Method and System for Increased Bandwidth Efficiency in Multiple Input - Multiple Output Channels [Procedimiento y sistema para aumentar la eficacia del ancho de banda en canales de entradas múltiples y salidas múltiples]", presentada el 5 de enero de 2001 y la Solicitud de Patente Estadounidense con N° de serie 10/179.439, titulada "Diversity Transmission Modes for MIMO OFDM Communication Systems [Modalidades de transmisión de diversidad para sistemas de comunicación de OFDM de MIMO]", presentada el 24 de junio de 2002.

[0178] El esquema de STTD transmite efectivamente un símbolo de modulación por subbanda a través de dos antenas de transmisión en cada período de símbolos. Sin embargo, el esquema de STTD distribuye la información en cada símbolo de modulación sobre dos símbolos de OFDM sucesivos. Por lo tanto, la recuperación de símbolos en el receptor se realiza en base a dos símbolos consecutivos de OFDM recibidos.

[0179] El esquema de STTD utiliza un par de antenas de transmisión para cada subbanda de datos. Dado que el punto de acceso incluye cuatro antenas de transmisión, cada antena se puede seleccionar para su uso para la mitad de las 48 subbandas de datos. La Tabla 29 enumera un esquema ejemplar de asignación de subbanda y antena para el esquema de STTD.

Tabla 29

Índices de subbanda	Antena de TX	Índice de bit	Índices de subbanda	Antena de TX	Índice de bit	Índices de subbanda	Antena de TX	Índice de bit	Índices de subbanda	Antena de TX	Índice de bit
-	-	-	-13	1,2	26	1	3,4	1	15	1,2	33
-26	1,2	0	-12,	3,4	32	2	1,2	7	16	2,4	39
-25	3,4	6	-11	1,3	38	3	2,4	13	17	1,3	45
-24	1,3	12	-10	2,4	44	4	1,3	19	18	2,3	5
-23	2,4	18	-9	1,4	4	5	2,3	25	19	1,4	11
-22	1,4	24	-8	2,3	10	6	1,4	31	20	3,4	17
-21	1	P0		2	P1	7	3	P2	21	4	P3
-20	2,3	30	-6	1,2	16	8	3,4	37	22	1,2	23
-19	1,2	36	-5	3,4	22	9	1,2	43	23	2,4	29
-18	3,4	42	-4	1,3	28	10	2,4	3	24	1,3	35
-17	1,3	2	-3	2,4	34	11	1,3	9	25	2,3	41
-16	2,4	8	-2	1,4	40	12	2,3	15	26	1,4	47
-15	1,4	14	-1	2,3	46	13	1,4	21	-	-	-
-14	2,3	20	0	-	-	14	3,4	27	-	-	-

[0180] Como se muestra en la Tabla 29, las antenas de transmisión 1 y 2 se utilizan para las subbandas con los índices -26, -19, -13, etc., las antenas de transmisión 2 y 4 se usan para las subbandas con los índices -25, -18, -12, y así sucesivamente, las antenas de transmisión 1 y 3 se utilizan para las subbandas con índices -24, -17, -11, etc. Hay seis pares de antenas diferentes con cuatro antenas de transmisión. Cada uno de los seis pares de antenas se utiliza para 8 subbandas de datos, que están espaciadas aproximadamente de manera uniforme entre las 48 subbandas de datos. El apareo de antenas para la asignación de subbandas es tal que se usan diferentes antenas para subbandas adyacentes, lo que puede proporcionar mayor frecuencia y diversidad espacial. Por ejemplo, las antenas 1 y 2 se usan para la subbanda -26, y las antenas 3 y 4 se usan para la subbanda -25.

[0181] La asignación de antena-subbanda en la Tabla 29 también es tal que las cuatro antenas de transmisión se utilizan para cada bit de código para la velocidad mínima de 1/4, lo que puede maximizar la diversidad espacial. Para la velocidad 1/4, cada bit de código se repite y se envía en dos subbandas (lo que también se conoce como codificación de repetición de subbanda dual). Las dos subbandas utilizadas para cada bit de código se correlacionan con diferentes pares de antenas, de modo que las cuatro antenas se utilicen para transmitir ese bit de código. Por ejemplo, los índices de bit 0 y 1 en la Tabla 29 corresponden al mismo bit de código para la modalidad de diversidad, donde el bit con índice 0 se transmite desde las antenas 1 y 2 en la subbanda -26 y el bit con índice 1 se transmite desde las antenas 3 y 4 en la subbanda 1. Como otro ejemplo, los índices de bits 2 y 3 en la Tabla 29 corresponden al mismo bit de código, donde el bit con índice 2 se transmite desde las antenas 1 y 3 en la subbanda -17 y el bit con índice 3 se transmite desde las antenas 2 y 4 en la subbanda 10.

[0182] El sistema puede dar soporte a otros esquemas de diversidad de transmisión, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, el sistema puede dar soporte a una diversidad de transmisión de espacio-frecuencia (SFTD) que puede lograr diversidad de espacio y frecuencia para cada par de subbandas. Un esquema ejemplar de SFTD funciona de la siguiente manera. Supongamos que dos símbolos de modulación, indicados como $s(k)$ y $s(k+1)$, se generan y correlacionan con dos subbandas adyacentes de un símbolo de OFDM. Para SFID, el transmisor transmitiría los símbolos $s(k)$ y $s(k+1)$ desde dos antenas en la subbanda k y transmitiría los símbolos $s^*(k+1)$ y $-s^*(k)$ desde las mismas dos antenas en la subbanda $k+1$. Las subbandas adyacentes se utilizan para el par de símbolos de modulación porque se supone que la respuesta de canal es constante para la transmisión de los dos pares de símbolos. El procesamiento en el receptor para recuperar los símbolos de modulación es el mismo que para el esquema de STTD, excepto que se procesan los símbolos recibidos para dos subbandas en lugar de dos períodos de símbolos de OFDM.

[0183] La **figura 8B** muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de un procesador de diversidad de TX 720a capaz de implementar el esquema de STTD para la modalidad de diversidad.

[0184] Dentro del procesador de diversidad de TX 720a, un demultiplexador 832 recibe y demultiplexa el flujo de símbolos de modulación $s(n)$ desde el procesador de datos de TX 710a a 48 subflujos, indicados como $s_1(n)$ a $s_k(n)$, para las 48 subbandas de datos. Cada subflujo de símbolos de modulación incluye un símbolo de modulación para cada período de símbolos, que corresponde a una velocidad de símbolos de $(T_{\text{OFDM}})^{-1}$, donde T_{OFDM} es la duración de un símbolo de OFDM. Cada subflujo de símbolos de modulación se proporciona a un respectivo procesador de diversidad de subbanda de TX 840.

[0185] Dentro de cada procesador de diversidad de subbandas de TX 840, un demultiplexador 842 demultiplexa los símbolos de modulación para la subbanda en dos secuencias de símbolos, teniendo cada secuencia una velocidad de símbolos de $(2T_{\text{OFDM}})^{-1}$. Un codificador de espacio-tiempo 850 recibe las dos secuencias de símbolos de modulación y, para cada período de 2 símbolos, usa dos símbolos s_1 y s_2 en las dos secuencias para formar dos conjuntos de símbolos $\{x_i\} = \{s_1 \ s_2^*\}$ y $\{x_j\} = \{s_2 \ -s_1^*\}$ para dos antenas de transmisión. Cada conjunto de símbolos incluye dos símbolos, un símbolo de cada una de las dos secuencias. El conjunto de símbolos $\{x_i\}$ se genera al proporcionar el símbolo s_1 primero y el símbolo s_2^* a continuación, donde s_1 se obtiene mediante un conmutador 856a y s_2^* se obtiene tomando el conjugado de s_2 con una unidad 852a y retrasando el símbolo conjugado en un período de símbolos con una unidad de retardo 854a. De manera similar, el conjunto de símbolos $\{x_j\}$ se genera al proporcionar el símbolo s_2 primero y el símbolo $-s_1^*$ a continuación, donde s_2 se obtiene mediante un conmutador 856b y $-s_1^*$ se obtiene tomando el conjugado negativo de s_1 con una unidad 852b y retrasando el símbolo conjugado negativo en un período de símbolos con una unidad de retardo 854b. Los dos conjuntos de símbolos $\{x_i\}$ y $\{x_j\}$ han de transmitirse desde dos antenas i y j asignadas a la subbanda, como se indica en la Tabla 29. El codificador de espacio-tiempo 850 proporciona el primer conjunto de símbolos $\{x_i\} = \{s_1 \ s_2^*\}$ a un almacén temporal / multiplexador 870 para la primera antena de transmisión i y el segundo conjunto de símbolos $\{x_j\} = \{s_2 \ -s_1^*\}$ a otro almacén temporal / multiplexador 870 para la segunda antena de transmisión j . Los dos símbolos proporcionados por el codificador de espacio-tiempo 850 para cada período de símbolos se denominan símbolos de STTD.

[0186] Los almacenes temporales / multiplexadores 870a a 870d se utilizan para almacenar temporalmente y multiplexar los símbolos de STTD de todos los procesadores de diversidad 840. Cada almacén temporal/multiplexador 870 recibe símbolos piloto y símbolos de STTD desde los procesadores adecuados de diversidad de subbandas de TX 840, según lo determinado por la Tabla 29. Por ejemplo, el almacén temporal / multiplexador 870a recibe símbolos de modulación para las subbandas -26, -24, -22, -19, etc. (es decir, todas las subbandas correlacionadas con la antena 1), el almacén temporal /multiplexador 870b recibe los símbolos de modulación para las subbandas -26, -23, -20, -19, y así sucesivamente (es decir, todas las subbandas correlacionadas con la antena 2), el almacén temporal / multiplexador 870c recibe símbolos de modulación para las subbandas -25, -24, -20, -18, etc. (es decir, todas las subbandas correlacionadas con la antena 3), y el almacén temporal / multiplexador 870d recibe símbolos de modulación para las subbandas -25, -23, -22, -18, etc. (es decir, todas las subbandas correlacionadas con la antena 4).

[0187] Cada almacén temporal / multiplexador 870, luego, para cada período de símbolos, multiplexa cuatro señales piloto, 24 símbolos de STTD y 36 ceros para las cuatro subbandas piloto, 24 subbandas de datos y 36 subbandas no utilizadas, respectivamente, para formar una secuencia de 64 símbolos de transmisión para las 64 subbandas totales. Si bien hay un total de 48 subbandas de datos, solo se usan 24 subbandas para cada antena de transmisión para la modalidad de diversidad, y el número total efectivo de subbandas no utilizadas para cada antena es, por tanto, 36 en lugar de 12. Cada símbolo de transmisión es un valor complejo (que puede ser cero para una subbanda no utilizada) que se envía en una subbanda en un período de símbolos. Cada almacén temporal / multiplexador 870 proporciona un flujo de símbolos de transmisión $x_i(n)$ para una antena de transmisión. Cada flujo de símbolos de transmisión comprende secuencias concatenadas de 64 símbolos de transmisión, una secuencia para cada período de símbolos. Con referencia de nuevo a la figura 8A, el procesador de diversidad de TX 720a proporciona cuatro flujos de símbolos de transmisión, de $x_1(n)$ a $x_4(n)$, a cuatro moduladores de OFDM 722a a 722d.

[0188] La figura 8C muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de un modulador de OFDM 722x, que se puede usar para cada uno de los moduladores de OFDM 722a a 722d en la figura 8A. Dentro del modulador de OFDM 722x, una unidad de transformación de Fourier rápida inversa (IFFT) 852 recibe un flujo de símbolos de transmisión, $x(n)$, y convierte cada secuencia de 64 símbolos de transmisión en su representación en el dominio del tiempo (que se menciona como símbolo transformado) utilizando una transformada rápida de Fourier inversa de 64 puntos. Cada símbolo transformado comprende 64 muestras del dominio del tiempo, correspondientes a las 64 subbandas totales.

[0189] Para cada símbolo transformado, el generador de prefijos cíclicos 854 repite una parte del símbolo transformado, para formar un correspondientes símbolo de OFDM. Como se ha indicado anteriormente, se puede usar una de dos longitudes de prefijos cíclicos diferentes. El prefijo cíclico para el BCH es fijo y es de 800 nseg. El prefijo cíclico para todos los demás canales de transporte es seleccionable (400 nseg u 800 nseg) y se indica mediante el campo Duración del prefijo cíclico del mensaje del BCH. Para un sistema con un ancho de banda de 20 MHz, un período de muestra de 50 nseg y 64 subbandas, cada símbolo transformado tiene una duración de 3,2 mseg (o 64×50 nseg) y cada símbolo de OFDM tiene una duración de 3,6 mseg o 4,0 mseg, en función de si se usa el prefijo cíclico de 400 nseg o de 800 nseg para el símbolo de OFDM.

[0190] La figura 8D ilustra un símbolo de OFDM. El símbolo de OFDM se compone de dos partes: un prefijo cíclico que tiene una duración de 400 u 800 nseg (8 o 16 muestras) y un símbolo transformado con una duración de 3,2 μ s (64 muestras). El prefijo cíclico es una copia de las últimas 8 o 16 muestras (es decir, una continuación cíclica) del símbolo transformado y se inserta delante del símbolo transformado. El prefijo cíclico garantiza que el símbolo de OFDM conserva su propiedad ortogonal en presencia de la dispersión de retardo de multitrayecto, mejorando por ello el rendimiento frente a los efectos nocivos del trayecto, tales como el multitrayecto y la dispersión de canal provocada por el desvanecimiento selectivo de frecuencia.

[0191] El generador de prefijo cíclico 854 proporciona un flujo de símbolos de OFDM a un transmisor (TMTR) 856. El transmisor 856 convierte el flujo de símbolos de OFDM en una o más señales analógicas, y además amplifica, filtra y aumenta en frecuencia las señales analógicas para generar una señal modulada adecuada para su transmisión desde una antena asociada.

[0192] La forma de onda de banda base para un símbolo de OFDM se puede expresar como:

$$x_n(t) = \sum_{k=-N_{sp}/2, k \neq 0}^{N_{sp}/2} c_n(k) \Psi_n(k, t) , \quad \text{Ec. (3)}$$

donde n indica el período de símbolos (es decir, el índice de símbolo de OFDM);

k indica el índice de subbanda;

N_{ST} es el número de subbandas piloto y de datos;

$c_n(k)$ indica el símbolo transmitido en la subbanda k del período de símbolos n ; y

$$\Psi_n(k,t) = \begin{cases} e^{j2\pi k \Delta f (t - T_{CP} - nT_s)} & , \text{ para } nT_s \leq t \leq (n+1)T_s \\ 0 & , \text{ en otro caso} \end{cases} \quad \text{Ec. (4)}$$

donde T_{CP} es la duración del prefijo cíclico;

T_s es la duración del símbolo de OFDM; y

Δf es el ancho de banda de cada subbanda.

2. Modalidad de multiplexado espacial - Procesamiento de transmisión

[0193] La figura 9A muestra un diagrama de bloques de una unidad transmisora 900 capaz de realizar el procesamiento de transmisión para la modalidad de multiplexado espacial. La unidad transmisora 900 es otro modo de realización de la parte transmisora del punto de acceso y del terminal de usuario. Para la modalidad de multiplexado espacial, suponiendo nuevamente que cuatro antenas de transmisión y cuatro antenas de recepción están disponibles, los datos pueden transmitirse en hasta cuatro canales espaciales. Se puede usar una velocidad diferente para cada canal espacial, según su capacidad de transmisión. Cada velocidad está asociada a una velocidad de código y a un esquema de modulación particulares, como se muestra en la Tabla 25. En la siguiente descripción se supone que N_E canales espaciales se seleccionan para su uso para la transmisión de datos, donde $N_E \leq N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$.

[0194] Dentro de un procesador de datos de TX 710b, la unidad de entramado 808 entrama los datos para cada paquete de FCH/RCH, para generar una o más tramas PHY para el paquete. Cada trama PHY incluye el número de bits de datos que pueden transmitirse en todos los N_E canales espaciales dentro de 6 símbolos de OFDM. El aleatorizador 810 aleatoriza los datos para cada canal de transporte. El codificador 812 recibe y codifica los datos aleatorizados de acuerdo a un esquema de codificación seleccionado para proporcionar bits de código. En un modo de realización, se utiliza un esquema de codificación común para codificar los datos para todos los N_E canales espaciales, y se obtienen diferentes velocidades de código para diferentes canales espaciales al punzar los bits de código con diferentes patrones de punción. La unidad de punción 814 punza así los bits de código para obtener la velocidad de código deseada para cada canal espacial. La punción para la modalidad de multiplexado espacial se describe con más detalle a continuación.

[0195] Un demultiplexador 816 recibe y demultiplexa los bits de código desde la unidad de punción 814 para proporcionar N_E flujos de bits de código para los N_E canales espaciales seleccionados para su uso. Cada flujo de bits de código se proporciona a un respectivo intercalador 818, que intercala los bits de código en el flujo entre las 48 subbandas de datos. La codificación y el intercalado para la modalidad de multiplexado espacial se describen con más detalle a continuación. Los datos intercalados de cada intercalador 818 se proporcionan a una respectiva unidad de correlación de símbolos 820.

[0196] En el modo de multiplexado espacial, se pueden usar hasta cuatro velocidades diferentes para los cuatro canales espaciales, según las SNR recibidas, logradas para estos canales espaciales. Cada velocidad está asociada a un esquema de modulación particular, como se muestra en la Tabla 25. Cada unidad de correlación de símbolos 820 correlaciona los datos intercalados de acuerdo a un esquema de modulación particular, seleccionado para el canal espacial asociado para proporcionar símbolos de modulación. Si los cuatro canales espaciales se seleccionan para su uso, entonces las unidades de correlación de símbolos 820a a 820d proporcionan cuatro flujos de símbolos de modulación para los cuatro canales espaciales a un procesador espacial de TX 720b.

[0197] El procesador espacial de TX 720b realiza el procesamiento espacial para la modalidad de multiplexado espacial. Para simplificar, la siguiente descripción supone que se usan cuatro antenas de transmisión, cuatro antenas de recepción y 48 subbandas de datos para la transmisión de datos. Los índices de subbanda de datos vienen dados por el conjunto K , donde $K = \pm \{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$ para la estructura de subbanda de OFDM descrita anteriormente.

[0198] El modelo para un sistema de MIMO-OFDM se puede expresar como:

$$\mathbf{r}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{n}(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (5)}$$

donde $\mathbf{r}(k)$ es un vector de "recepción" con cuatro entradas para los símbolos recibidos a través de las cuatro antenas de recepción para la subbanda k (es decir, $\mathbf{r}(k) = [r_1(k) \ r_2(k) \ r_3(k) \ r_4(k)]^T$);

$\underline{\mathbf{x}}(k)$ es un vector de "transmisión" con cuatro entradas para los símbolos transmitidos desde las cuatro antenas de transmisión para la subbanda k (es decir, $\underline{\mathbf{x}}(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k) \ x_4(k)]^T$);

$\underline{\mathbf{H}}(k)$ es una matriz de respuesta de canal (de dimensiones $N_R \times N_T$) para la subbanda k ; y

$\underline{\mathbf{n}}(k)$ es un vector de ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) para la subbanda k .

Se supone que el vector de ruido $\underline{\mathbf{n}}(k)$ tiene componentes con media cero y una matriz de covarianza de $\underline{\Delta}_n = \sigma^2 \mathbf{I}$, donde \mathbf{I} es la matriz identidad y σ^2 es la varianza de ruido.

[0199] La matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para la sub-banda k se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & h_{1,3}(k) & h_{1,4}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & h_{2,3}(k) & h_{2,4}(k) \\ h_{3,1}(k) & h_{3,2}(k) & h_{3,3}(k) & h_{3,4}(k) \\ h_{4,1}(k) & h_{4,2}(k) & h_{4,3}(k) & h_{4,4}(k) \end{bmatrix}, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (6)}$$

donde la entrada $h_{ij}(k)$, para $i \in \{1,2,3,4\}$ y $j \in \{1,2,3,4\}$, es el acoplamiento (es decir, ganancia compleja) entre la antena de transmisión i y la antena de recepción j para la subbanda k . Para simplificar, se supone que las matrices de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$, para $k \in K$, son conocidas o pueden ser determinadas tanto por el transmisor como por el receptor.

[0200] La matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada sub-banda se puede "diagonalizar" para obtener N_s automodos para dicha sub-banda. Esto se puede lograr realizando la descomposición en autovalores en la matriz de correlación de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que es $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k)$, donde $\underline{\mathbf{H}}^H(k)$ indica la transpuesta conjugada de $\underline{\mathbf{H}}(k)$. La descomposición en autovalores de la matriz de correlación $\underline{\mathbf{R}}(k)$ se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{D}}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde $\underline{\mathbf{V}}(k)$ es una matriz unitaria ($N_T \times N_T$) cuyas columnas son autovectores de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ (es decir, $\underline{\mathbf{V}}(k) = [\underline{v}_1(k) \ \underline{v}_2(k) \ \underline{v}_3(k) \ \underline{v}_4(k)]$, donde cada $\underline{v}_i(k)$ es un autovector para un automodo); y

$\underline{\mathbf{D}}(k)$ es una matriz diagonal ($N_T \times N_T$) de autovalores de $\underline{\mathbf{R}}(k)$.

Una matriz unitaria se caracteriza por la propiedad $\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \mathbf{I}$. Los autovectores $\underline{v}_i(k)$, para $i \in \{1,2,3,4\}$, también se conocen como vectores de dirección de transmisión para cada uno de los canales espaciales.

[0201] La matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ también puede diagonalizarse utilizando la descomposición en valores singulares, que se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{U}}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (8)}$$

donde $\underline{\mathbf{V}}(k)$ es una matriz cuyas columnas son autovectores derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$;

$\underline{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal que contiene valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que son raíces cuadradas positivas de los elementos diagonales de $\underline{\mathbf{D}}(k)$, los autovalores de $\underline{\mathbf{R}}(k)$; y

$\underline{\mathbf{U}}(k)$ es una matriz cuyas columnas son autovectores izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

La descomposición en valores singulares está descrita por Gilbert Strang en un libro titulado "Linear Algebra and Its Applications [Álgebra lineal y sus aplicaciones]", Segunda Edición, Academic Press, 1980. Como se muestra en las ecuaciones (7) y (8), las columnas de la matriz $\underline{\mathbf{V}}(k)$ son autovectores de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ así como autovectores derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Las columnas de la matriz $\underline{\mathbf{U}}(k)$ son autovectores de $\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{H}}^H(k)$, así como autovectores izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

[0202] La matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}(k)$, para cada subbanda, contiene valores reales no negativos a lo largo de la diagonal y ceros en el resto. Los autovalores de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ se indican como $\{\lambda_1(k), \lambda_2(k), \lambda_3(k), \lambda_4(k)\}$ o $\{\lambda_i(k)\}$ para $i \in \{1,2,3,4\}$.

[0203] La descomposición en autovalores se puede realizar independientemente para la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$, para cada una de las 48 subbandas de datos, para determinar los cuatro automodos para esa subbanda (suponiendo que cada matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ es de rango completo). Los cuatro auto valores para cada matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}(k)$

se pueden ordenar de manera que $\{\lambda_1(k) \geq \lambda_2(k) \geq \lambda_3(k) \geq \lambda_4(k)\}$, donde $\lambda_1(k)$ es el autovalor más grande y $\lambda_4(k)$ es el autovalor más pequeño para la subbanda k . Cuando se ordenan los autovalores para cada matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}(k)$, los autovectores (o columnas) de la matriz asociada $\underline{\mathbf{V}}(k)$ también se ordenan de forma correspondiente.

5 **[0204]** Un automodo de "banda ancha" se puede definir como el conjunto de los automodos del mismo orden de todas las subbandas después del ordenamiento (es decir, el automodo de banda ancha m incluye los automodos m de todas las subbandas). Cada automodo de banda ancha está asociado a un respectivo conjunto de autovectores para todas las subbandas. El automodo "principal" de banda ancha es el asociado al valor singular más grande en cada una de las matrices $\underline{\Sigma}(k)$ después del ordenamiento.

10 **[0205]** Un vector $\underline{\mathbf{d}}^m$ puede formarse luego para incluir el autovalor de rango m -ésimo para todas las 48 subbandas de datos. Este vector $\underline{\mathbf{d}}^m$ se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{d}}^m = [\lambda_m(-26) \dots \lambda_m(-22) \dots \lambda_m(22) \dots \lambda_m(26)] , \text{ para } m = \{1, 2, 3, 4\}. \quad \text{Ec. (9)}$$

15 El vector $\underline{\mathbf{d}}^1$ incluye los autovalores para el mejor o principal automodo de banda ancha. Para un sistema de MIMO-OFDM con cuatro antenas de transmisión y cuatro antenas de recepción (es decir, un sistema 4×4), hay hasta cuatro automodos de banda ancha.

20 **[0206]** Si la varianza de ruido σ^2 en el receptor es constante en la banda operativa y es conocida por el transmisor, entonces la SNR recibida para cada subbanda de cada automodo de banda ancha puede determinarse dividiendo el autovalor $\lambda_m(k)$ por la varianza de ruido σ^2 . Para simplificar, se puede suponer que la varianza del ruido es igual a uno (es decir, $\sigma^2 = 1$).

25 **[0207]** Para la modalidad de multiplexado espacial, la potencia de transmisión total P_{total} disponible para el transmisor puede distribuirse a los automodos de banda ancha en función de varios esquemas de asignación de potencia. En un esquema, la potencia de transmisión total P_{total} se distribuye de manera uniforme a los cuatro automodos de banda ancha, de manera que $P_m = P_{total} / 4$, donde P_m es la potencia de transmisión asignada al automodo de banda ancha m . En otro esquema, la potencia de transmisión total P_{total} se distribuye a los cuatro automodos de banda ancha utilizando un procedimiento de llenado con agua.

30 **[0208]** El procedimiento de llenado con agua distribuye la potencia de modo que los automodos de banda ancha con mayores ganancias de potencia reciban mayores fracciones de la potencia de transmisión total. La magnitud de la potencia de transmisión asignada a un automodo de banda ancha dado está determinada por su SNR recibida, que a su vez depende de las ganancias de potencia (o autovalores) para todas las subbandas de ese automodo de banda ancha. El procedimiento de llenado con agua puede asignar potencia de transmisión cero a los automodos de banda ancha con las SNR recibidas suficientemente deficientes. El procedimiento de llenado con agua recibe $\underline{\beta} = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4\}$ para los cuatro automodos de banda ancha, donde β_m es un factor de normalización para el automodo de banda ancha m y se puede expresar como:

$$\beta_m = \frac{1}{\sum_{k \in K} \lambda_m^{-1}(k)} , \text{ para } m = \{1, 2, 3, 4\}. \quad \text{Ec. (10)}$$

35 El factor de normalización β_m mantiene invariante la potencia de transmisión asignada al automodo de banda ancha m , después de que se aplique la inversión del canal, como se describe a continuación. Como se muestra en la ecuación (10), el factor de normalización β_m puede obtenerse en función de los autovalores en el vector $\underline{\mathbf{d}}^m$ y suponiendo que la varianza del ruido sea igual a uno (es decir, $\sigma^2 = 1$).

40 **[0209]** El procedimiento de llenado con agua determina entonces la fracción α_m de la potencia de transmisión total a asignar a cada automodo de banda ancha, en función del conjunto $\underline{\beta}$, de manera que se optimice la eficiencia espectral o algún otro criterio. La potencia de transmisión asignada al automodo de banda ancha m por el procedimiento de llenado con agua puede expresarse como:

$$P_m = \alpha_m P_{total}, \text{ para } m = \{1, 2, 3, 4\}. \quad \text{Ec. (11)}$$

45 Las asignaciones de potencia para los cuatro automodos de banda ancha pueden ser dadas por $\underline{\alpha} = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}$, donde

$$\sum_{m=1}^4 \alpha_m = 1 \text{ y } \sum_{m=1}^4 P_m = P_{total}.$$

50 La modalidad de multiplexado espacial puede seleccionarse para su uso si más de un valor en el conjunto $\underline{\alpha}$ es distinto de cero.

[0210] El procedimiento para realizar el llenado con agua es conocido en la técnica y no se describe en el presente documento. Una referencia que describe el llenado con agua es "Information Theory and Reliable Communication [Teoría de la información y comunicación confiable]", por Robert G. Gallager, John Wiley and Sons, 1968.

[0211] Para la modalidad de multiplexado espacial, la velocidad para cada canal espacial o automodo de banda ancha puede seleccionarse en función de la SNR recibida, lograda por ese canal espacial / automodo de banda ancha con su potencia de transmisión asignada de P_m . Para simplificar, la siguiente descripción supone la transmisión de datos en los automodos de banda ancha. La SNR recibida para cada automodo de banda ancha se puede expresar como:

$$\gamma_m = \frac{P_m \beta_m}{\sigma^2}, \text{ para } m = \{1, 2, 3, 4\}. \quad \text{Ec. (12)}$$

En un modo de realización, la velocidad para cada automodo de banda ancha se determina basándose en una tabla que incluye las velocidades con soporte por parte del sistema y un rango de las SNR para cada velocidad. La SNR requerida se puede obtener mediante simulación por ordenador, mediciones empíricas, etc. La velocidad particular a utilizar para cada automodo de banda ancha es la velocidad en la tabla con un rango de las SNR que abarcan la SNR recibida para el automodo de banda ancha. En otro modo de realización, la velocidad para cada automodo de banda ancha se selecciona basándose en (1) la SNR recibida para el automodo de banda ancha, (2) un desplazamiento de SNR utilizado para tener en cuenta el error de estimación, la variabilidad en el canal de MIMO y otros factores, y (3) una tabla de velocidades con soporte y sus SNR requeridas. Para esta realización, primero se calcula una SNR promedio recibida para cada automodo de banda ancha, como se ha descrito anteriormente, o como un promedio de las SNR recibidas (en unidades de dBs) para todas las subbandas del automodo de banda ancha. En cualquier caso, una SNR operativa se calcula a continuación como la suma de la SNR recibida y el desplazamiento de la SNR (donde ambas se dan en unidades de dBs). La SNR operativa se compara luego con la SNR requerida para cada una de las velocidades con soporte por parte del sistema. La velocidad más alta en la tabla con una SNR requerida que es menor o igual a la SNR operativa se selecciona entonces para el automodo de banda ancha. La velocidad para el modalidad de diversidad de transmisión y la modalidad de guía de haces también se pueden determinar de manera similar.

[0212] La potencia de transmisión P_m asignada para cada automodo de banda ancha puede distribuirse entre las 48 subbandas de datos de ese automodo de banda ancha, de modo que las SNR recibidas para todas las subbandas sean aproximadamente iguales. Esta asignación no uniforme de potencia entre las subbandas se menciona como inversión de canal. La potencia de transmisión $P_m(k)$ asignada a cada subbanda puede expresarse como:

$$P_m(k) = \frac{\beta_m P_m}{\lambda_m(k)}, \text{ para } k \in K \text{ y } m = \{1, 2, 3, 4\}, \quad \text{Ec. (13)}$$

donde β_m se da en la ecuación (10).

[0213] Como se muestra en la ecuación (13), la potencia de transmisión P_m se distribuye de manera no uniforme entre las subbandas de datos en función de sus ganancias de potencia del canal, lo que está dado por los autovalores $\lambda_m(k)$, para $k \in K$. La distribución de potencia es de tal manera que se logran SNR aproximadamente iguales recibidas en el receptor para todas las subbandas de datos de cada automodo de banda ancha. Esta inversión de canal se realiza independientemente para cada uno de los cuatro automodos de banda ancha. La inversión de canal por automodo de banda ancha se describe con más detalle en la Solicitud de Patente Estadounidense asignada en común con número de serie 10/229.209, titulada "Coded MIMO Systems with Selective Channel Inversion Applied Per Eigenmode [Sistemas de MIMO codificados con inversión de canal selectiva aplicada por automodo]", presentada el 27 de agosto de 2002.

[0214] La inversión del canal se puede realizar de varias maneras. Para la inversión completa del canal, todas las subbandas de datos se utilizan para la transmisión de datos si se selecciona un automodo de banda ancha para su uso. Para la inversión selectiva del canal, todas, o un subconjunto de, las subbandas de datos disponibles, se pueden seleccionar para su uso para cada automodo de banda ancha. La inversión selectiva del canal descarta las subbandas pobres, con la SNR recibida por debajo de un umbral particular, y realiza la inversión del canal solo en las subbandas seleccionadas. La inversión de canal selectivo para cada automodo de banda ancha también se describe en la Solicitud de Patente de EE. UU. Asignada comúnmente con el número de serie 10/229.209, titulada "Coded MIMO Systems with Selective Channel Inversion Applied Per Eigenmode [Sistemas MIMO codificados con inversión de canal selectiva aplicada por automodo]", presentada el 27 de agosto de 2002. Para simplificar, la siguiente descripción supone que se realiza una inversión completa de canal para cada automodo de banda ancha seleccionado para su uso.

[0215] La ganancia a utilizar para cada subbanda de cada automodo de banda ancha puede determinarse en función de la potencia de transmisión $P_m(k)$ asignada a esa subbanda. La ganancia $g_m(k)$ para cada subbanda de datos se puede expresar como:

$$g_m(k) = \sqrt{P_m(k)}, \text{ para } k \in K \text{ y } m = \{1, 2, 3, 4\}. \quad \text{Ec. (14)}$$

Se puede definir una matriz de ganancia diagonal $\mathbf{G}(k)$ para cada subbanda. Esta matriz $\mathbf{G}(k)$ incluye las ganancias para los cuatro automodos para la subbanda k a lo largo de la diagonal, y puede expresarse como: $\mathbf{G}(k) = \text{diag}[g_1(k), g_2(k), g_3(k), g_4(k)]$.

[0216] Para la modalidad de multiplexado espacial, el vector de transmisión $\mathbf{x}(k)$ para cada subbanda de datos se puede expresar como:

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{V}(k)\mathbf{G}(k)\mathbf{s}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (15)}$$

donde

$$\mathbf{s}(k) = [s_1(k) \ s_2(k) \ s_3(k) \ s_4(k)]^T,$$

y

$$\mathbf{x}(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k) \ x_4(k)]^T.$$

El vector $\mathbf{s}(k)$ incluye cuatro símbolos de modulación que se transmitirán en los cuatro automodos para la subbanda k , y el vector $\mathbf{x}(k)$ incluye cuatro símbolos de transmisión que se transmitirán desde las cuatro antenas para la subbanda k . Para simplificar, la ecuación (15) no incluye los factores de corrección utilizados para tener en cuenta las diferencias entre las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario, que se describen detalladamente a continuación.

[0217] La figura 9B muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del procesador espacial de TX 720b, capaz de realizar un procesamiento espacial para la modalidad de multiplexado espacial. Para simplificar, la siguiente descripción supone que los cuatro automodos de banda ancha están seleccionados para su uso. Sin embargo, también se pueden seleccionar menos de cuatro automodos de banda ancha para su uso.

[0218] Dentro del procesador 720b, un demultiplexador 932 recibe los cuatro flujos de símbolos de modulación (indicados como $s_1(n)$ a $s_4(n)$) para ser transmitidos en los cuatro automodos de banda ancha, demultiplexa cada flujo en 48 subflujos para las 48 subbandas de datos y proporciona cuatro subflujos de símbolos de modulación para cada subbanda de datos a un respectivo procesador espacial de subbanda de TX 940. Cada procesador 940 realiza el procesamiento que se muestra en la ecuación (15) para una subbanda.

[0219] Dentro de cada procesador espacial de subbandas de TX 940, los cuatro subflujos de símbolos de modulación (indicados como $s_1(k)$ a $s_4(k)$) se proporcionan a cuatro multiplicadores 942a a 942d, que también reciben las ganancias $g_1(k)$, $g_2(k)$, $g_3(k)$ y $g_4(k)$ para los cuatro automodos de la subbanda asociada. Cada ganancia $g_m(k)$ puede determinarse en función de la potencia de transmisión $P_m(k)$ asignada a esa subbanda/automodo, como se muestra en la ecuación (14). Cada multiplicador 942 ajusta a escala sus símbolos de modulación con su ganancia $g_m(k)$ para proporcionar símbolos de modulación ajustados a escala. Los multiplicadores 942a a 942d proporcionan cuatro subflujos de símbolos de modulación ajustados a escala a cuatro formadores de haces 950a a 950d, respectivamente.

[0220] Cada formador de haces 950 realiza la formación de haces para transmitir un subflujo de símbolos en un automodo de una subbanda. Cada formador de haces 950 recibe un subflujo de símbolos $s_m(k)$ y un autovector $\mathbf{v}_m(k)$ para el automodo asociado. En particular, el formador de haces 950a recibe el autovector $\mathbf{v}_1(k)$ para el primer automodo, el formador de haces 950b recibe el autovector $\mathbf{v}_2(k)$ para el segundo automodo, y así sucesivamente. La formación de haces se realiza utilizando el autovector para el automodo asociado.

[0221] Dentro de cada formador de haces 950, los símbolos de modulación ajustados a escala se proporcionan a cuatro multiplicadores 952a a 952d, que también reciben cuatro elementos, $v_{m,1}(k)$, $v_{m,2}(k)$, $v_{m,3}(k)$ y $v_{m,4}(k)$, del autovector $\mathbf{v}_m(k)$ para el automodo asociado. Cada multiplicador 952 luego multiplica los símbolos de modulación ajustados a escala con su valor de autovector $v_{m,j}(k)$ para proporcionar símbolos "formados por haces". Los multiplicadores 952a a 952d proporcionan cuatro subflujos de símbolos formados por haces (que han de transmitirse desde cuatro antenas) a los sumadores 960a a 960d, respectivamente.

[0222] Cada sumador 960 recibe y suma cuatro símbolos formados por haces para los cuatro automodos para cada período de símbolos, para proporcionar un símbolo preacondicionado para una antena de transmisión

asociada. Los sumadores 960a a 960d proporcionan cuatro subflujos de símbolos precondicionados para cuatro antenas de transmisión a los almacenes temporales/multiplexadores 970a a 970d, respectivamente.

[0223] Cada almacén temporal/multiplexador 970 recibe símbolos piloto y los símbolos precondicionados desde los procesadores espaciales de subbandas de TX 940a a 940k para las 48 subbandas de datos. Cada almacén temporal/multiplexador 970 luego, para cada período de símbolos, multiplexa 4 símbolos piloto, 48 símbolos precondicionados y 12 ceros para 4 subbandas piloto, 48 subbandas de datos y 12 subbandas no utilizadas, respectivamente, para formar una secuencia de 64 símbolos de transmisión para ese período de símbolos. Cada almacén temporal / multiplexador 970 proporciona un flujo de símbolos de transmisión $x_i(n)$ para una antena de transmisión, donde el flujo de símbolos de transmisión comprende secuencias concatenadas de 64 símbolos de transmisión. Los símbolos de transmisión se pueden ajustar a escala con factores de corrección para tener en cuenta las diferencias entre las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario, como se describe a continuación. La posterior modulación de OFDM para cada flujo de símbolos de transmisión se ha descrito anteriormente.

[0224] Los flujos de símbolos paralelos también pueden transmitirse desde las cuatro antenas de transmisión sin procesamiento espacial en el punto de acceso, utilizando la modalidad de multiplexado espacial no dirigido. Para esta modalidad, se pueden omitir el proceso de inversión de canal y la formación de haces mediante el formador de haces 950. Cada flujo de símbolos de modulación, además, se procesa por OFDM y se transmite desde una respectiva antena de transmisión.

[0225] La modalidad de multiplexado espacial no dirigido se puede usar para diversas situaciones, tales como si el transmisor es incapaz de realizar el procesamiento espacial necesario para prestar soporte a la dirección de haces en función de la descomposición en automodos. Esto puede deberse a que el transmisor no ha realizado procedimientos de calibración, es incapaz de generar una estimación suficientemente buena del canal o no tiene en absoluto capacidades de calibración y de procesamiento de automodos. Para la modalidad de multiplexado espacial no dirigida, el multiplexado espacial todavía se utiliza para aumentar la capacidad de transmisión, pero el procesamiento espacial para separar los flujos de símbolos individuales es realizado por el receptor.

[0226] Para la modalidad de multiplexado espacial no dirigido, el receptor realiza el procesamiento espacial para recuperar los flujos de símbolos transmitidos. En particular, un terminal de usuario puede implementar una técnica de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI), una técnica de error cuadrático mínimo (MMSE), una técnica de procesamiento de receptor de cancelación de interferencia sucesiva o alguna otra técnica de procesamiento espacial de receptor. Estas técnicas se describen en detalle en la Solicitud de Patente Estadounidense cedida en común, con N° de Serie 09/993.087, titulada "Sistema de comunicación de acceso múltiple, entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO)", presentada el 6 de noviembre de 2001. La modalidad de multiplexado espacial no dirigido se puede utilizar para las transmisiones tanto de enlace descendente como de enlace ascendente.

[0227] La modalidad de multiplexado espacial de múltiples usuarios presta soporte a la transmisión de datos a múltiples terminales de usuario simultáneamente en el enlace descendente, en función de las "rúbricas espaciales" de los terminales de usuario. La rúbrica espacial para un terminal de usuario viene dada por un vector de respuesta de canal (para cada subbanda) entre las antenas del punto de acceso y cada antena de terminal de usuario. El punto de acceso puede obtener las rúbricas espaciales, por ejemplo, en función de la referencia guiada transmitida por los terminales de usuario. El punto de acceso puede procesar las rúbricas espaciales para los terminales de usuario que desean la transmisión de datos para (1) seleccionar un conjunto de terminales de usuario para la transmisión simultánea de datos en el enlace descendente y (2) obtener vectores de dirección para cada uno de los flujos de datos independientes que se transmitirán a los terminales de usuario seleccionados.

[0228] Los vectores de guía para la modalidad de multiplexado espacial multi-usuario se pueden obtener de varias maneras. A continuación se describen dos esquemas a modo de ejemplo. Por simplicidad, la siguiente descripción es para una sub-banda y supone que cada terminal de usuario está equipado con una sola antena.

[0229] En un primer esquema, el punto de acceso obtiene los vectores de dirección utilizando la inversión de canal. El punto de acceso puede seleccionar N_{ap} terminales de usuario de una sola antena para la transmisión simultánea en el enlace descendente. El punto de acceso obtiene un vector de fila de respuesta de canal de tamaño $1 \times N_{ap}$ para cada terminal de usuario seleccionado y forma una matriz de respuesta de canal \mathbf{H}_{mu} de tamaño $N_{ap} \times N_{ap}$ con los N_{ap} vectores de fila para los N_{ap} terminales de usuario. El punto de acceso luego obtiene una matriz $\mathbf{H}_{guía}$ de N_{ap} vectores de dirección para los N_{ap} terminales de usuario seleccionados como $\mathbf{H}_{guía} = \mathbf{H}_{mu}^{-1}$. El punto de acceso también puede transmitir una referencia guiada a cada terminal de usuario seleccionado. Cada terminal de usuario procesa su referencia guiada para estimar la ganancia y la fase del canal y demodula coherentemente los símbolos recibidos para su única antena con las estimaciones de la ganancia y la fase del canal, para obtener símbolos recuperados.

[0230] En un segundo esquema, el punto de acceso precodifica N_{ap} flujos de símbolos a enviar a N_{ap} terminales de usuario, de modo que estos flujos de símbolos experimenten poca interferencia en los terminales de usuario. El punto de acceso puede formar la matriz de respuesta de canal \mathbf{H}_{mu} para los N_{ap} terminales de usuario

seleccionados y realizar la factorización QR en \mathbf{H}_{mu} , de modo que $\mathbf{H}_{mu} = \mathbf{T}_{tri}\mathbf{Q}_{mu}$, donde \mathbf{T}_{tri} es una matriz triangular inferior izquierda \mathbf{T}_{tri} y \mathbf{Q}_{mu} es una matriz unitaria. El punto de acceso entonces precodifica los N_{ap} flujos de símbolos de datos con la matriz \mathbf{T}_{tri} para obtener N_{ap} flujos de símbolos precodificados \mathbf{a} , y procesa además los flujos de símbolos precodificados con la matriz unitaria \mathbf{Q}_{mu} para obtener los N_{ap} flujos de símbolos de transmisión, para su transmisión a los N_{ap} terminales de usuario. Nuevamente, el punto de acceso también puede transmitir una referencia guiada a cada terminal de usuario. Cada terminal de usuario utiliza la referencia guiada para demodular coherentemente sus símbolos recibidos, para obtener símbolos recuperados.

[0231] Para el enlace ascendente en la modalidad de multiplexado espacial de múltiples usuarios, el punto de acceso puede recuperar N_{ap} flujos de símbolos transmitidos simultáneamente por los N_{ap} terminales de usuario, usando el procesamiento del receptor MMSE, la cancelación de interferencias sucesivas o alguna otra técnica de procesamiento del receptor. El punto de acceso puede estimar la respuesta de canal de enlace ascendente para cada terminal de usuario y utilizar la estimación de la respuesta del canal para el procesamiento espacial del receptor y para planificar las transmisiones de enlace ascendente. Cada terminal de usuario de una sola antena puede transmitir una señal piloto ortogonal en el enlace ascendente. Las señales piloto de enlace ascendente desde los N_{ap} terminales de usuario pueden ser ortogonales en tiempo y/o frecuencia. La ortogonalidad en el tiempo se puede obtener haciendo que cada terminal de usuario cubra su señal piloto de enlace ascendente con una secuencia ortogonal asignada al terminal de usuario. La ortogonalidad en la frecuencia se puede obtener haciendo que cada terminal de usuario transmita su señal piloto de enlace ascendente en un conjunto diferente de subbandas. Las transmisiones de enlace ascendente desde las terminales de usuario deberían estar aproximadamente alineadas en el tiempo en el punto de acceso (por ejemplo, alineadas en el tiempo hasta dentro del prefijo cíclico).

3. Modalidad de guía de haces - Procesamiento de transmisión

[0232] La figura 10A muestra un diagrama de bloques de una unidad transmisora 1000 capaz de realizar el procesamiento de transmisión para la modalidad de guía de haces. La unidad transmisora 1000 es otro modo de realización más de la parte transmisora del punto de acceso y del terminal de usuario.

[0233] Dentro de un procesador de datos de TX 710c, la unidad de entramado 808 entrama los datos de cada paquete de FCH/RCH para generar una o más tramas PHY para el paquete. El aleatorizador 810 aleatoriza luego los datos para cada canal de transporte. El codificador 812 codifica a continuación los datos entramados de acuerdo a un esquema de codificación seleccionado para proporcionar bits de código. La unidad de punción 814 luego punza los bits de código para obtener la velocidad de código deseada para el automodo de banda ancha utilizado para la transmisión de datos. Los bits de código de la unidad de punción 818 están intercalados entre todas las subbandas de datos. La unidad de correlación de símbolos 820 luego correlaciona los datos intercalados de acuerdo a un esquema de modulación seleccionado para proporcionar símbolos de modulación. Un procesador espacial de TX 720c realiza luego un procesamiento de transmisión en los símbolos de modulación para la modalidad de guía de haces.

[0234] La modalidad de guía de haces se puede usar para transmitir datos en un canal espacial o automodo de banda ancha, habitualmente, el asociado a los autovalores más grandes para todas las subbandas de datos. La modalidad de guía de haces puede seleccionarse si la asignación de potencia de transmisión a los automodos de banda ancha da como resultado que solo una entrada en el conjunto \mathbf{a} sea distinta de cero. Mientras que la modalidad de multiplexado espacial realiza la formación de haces para cada uno de los automodos seleccionados de cada subbanda en función de su autovector, la modalidad de guía de haces realiza la guía de haces en función de un autovector "normalizado" para el automodo principal de cada subbanda, para transmitir datos en ese único automodo.

[0235] Los cuatro elementos de cada autovector $\mathbf{v}_1(k)$, para $k \in K$, para el automodo principal pueden tener diferentes magnitudes. Los cuatro símbolos precondicionados, obtenidos basándose en los cuatro elementos del autovector $\mathbf{v}_1(k)$ para cada subbanda pueden tener luego diferentes magnitudes. En consecuencia, los cuatro vectores de transmisión por antena, cada uno de los cuales incluye los símbolos precondicionados para todas las subbandas de datos para una antena de transmisión determinada, pueden tener diferentes magnitudes. Si la potencia de transmisión para cada antena de transmisión es limitada (por ejemplo, debido a las limitaciones de los amplificadores de potencia), entonces es posible que la técnica de formación de haces no utilice completamente la potencia total disponible para cada antena.

[0236] La modalidad de guía de haces utiliza solo la información de fase de los autovectores $\mathbf{v}_1(k)$, para $k \in K$, para el automodo principal y normaliza cada autovector de manera que los cuatro elementos en el autovector tengan iguales magnitudes. El autovector normalizado $\tilde{\mathbf{v}}(k)$ para la subbanda k puede expresarse como:

$$\tilde{\mathbf{v}}(k) = [Ae^{j\theta_1(k)} \quad Ae^{j\theta_2(k)} \quad Ae^{j\theta_3(k)} \quad Ae^{j\theta_4(k)}]^T, \quad \text{Ec. (16)}$$

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

$\theta_i(k)$ es la fase para la subbanda k de la antena de transmisión i , que se da como:

$$\theta_i(k) = \angle v_{1,i}(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{v_{1,i}(k)\}}{\text{Re}\{v_{1,i}(k)\}} \right). \quad \text{Ec. (17)}$$

5

Como se muestra en la ecuación (17), la fase de cada elemento en el vector $\underline{\mathbf{v}}(k)$ se obtiene del elemento correspondiente del autovector $\underline{\mathbf{v}}_1(k)$ (es decir, $\theta_i(k)$ se obtiene de $v_{1,i}(k)$, donde $\underline{\mathbf{v}}_1(k) = [v_{1,1}(k) \ v_{1,2}(k) \ v_{1,3}(k) \ v_{1,4}(k)]^T$).

10 **[0237]** La inversión de canal también se puede realizar para la modalidad de guía de haces, de modo que se pueda usar una velocidad común para todas las subbandas de datos. La potencia de transmisión $\tilde{P}_1(k)$ asignada a cada subbanda de datos para la modalidad de dirección de haces puede expresarse como:

$$\tilde{P}_1(k) = \frac{\tilde{\beta}_1 \tilde{P}_1}{\tilde{\lambda}_1(k)}, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (18)}$$

15

donde $\tilde{\beta}_1$ es un factor de normalización que mantiene invariante la potencia de transmisión total después de que se aplica la inversión del canal;

\tilde{P}_1 es la potencia de transmisión asignada a cada una de las cuatro antenas; y

20

$\tilde{\lambda}_1(k)$ es la ganancia de potencia para la subbanda k del automodo principal para la modalidad de guía de haces.

El factor de normalización $\tilde{\beta}_1$ puede expresarse como:

$$\tilde{\beta}_1 = \frac{1}{\sum_{k \in K} \tilde{\lambda}_1^{-1}(k)}. \quad \text{Ec. (19)}$$

25

La potencia de transmisión \tilde{P}_1 se puede dar como $P_1 = P_{total}/4$ (es decir, asignación uniforme de la potencia de transmisión total entre las cuatro antenas de transmisión). La ganancia de potencia $\tilde{\lambda}_1(k)$ se puede expresar como:

30

$$\tilde{\lambda}_1(k) = \underline{\tilde{\mathbf{v}}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\tilde{\mathbf{v}}}(k). \quad \text{Ec. (20)}$$

[0238] La inversión del canal da como resultado la asignación de potencia de $\tilde{P}_1(k)$, para $k \in K$, para las 48 subbandas de datos. La ganancia para cada subbanda de datos se puede dar entonces como $\tilde{g}(k) = \sqrt{\tilde{P}_1(k)}$.

35 **[0239]** Para la modalidad de guía de haces, el vector de transmisión $\underline{\mathbf{x}}(k)$ para cada subbanda puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{x}}(k) = \underline{\tilde{\mathbf{v}}}(k) \tilde{g}(k) s(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (21)}$$

40 De nuevo, para simplificar, la ecuación (21) no incluye los factores de corrección utilizados para tener en cuenta las diferencias entre las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario.

45 **[0240]** Como se muestra en la ecuación (16), los cuatro elementos del vector de guía normalizado $\underline{\tilde{\mathbf{v}}}(k)$ para cada subbanda tienen igual magnitud pero fases posiblemente diferentes. La guía de haces genera así un vector de transmisión $\underline{\mathbf{x}}(k)$ para cada subbanda, con los cuatro elementos de $\underline{\mathbf{x}}(k)$ con la misma magnitud pero fases posiblemente diferentes.

50 **[0241]** La **figura 10B** muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del procesador espacial de TX 720c capaz de realizar el procesamiento espacial para la modalidad de guía de haces.

[0242] Dentro del procesador 720c, un demultiplexador 1032 recibe y demultiplexa el flujo de símbolos de modulación $s(n)$ en 48 subflujos para las 48 subbandas de datos (indicadas como $s(1)$ a $s(k)$). Cada subflujo de símbolos se proporciona a un respectivo procesador de guía de haces de subbanda de TX 1040. Cada procesador 1040 realiza el procesamiento que se muestra en la ecuación (14) para una subbanda.

55

[0243] Dentro de cada procesador de guía de haces de subbandas de TX 1040, el subflujo de símbolos de modulación se proporciona a un multiplicador 1042, que también recibe la ganancia $\tilde{g}(k)$ para la subbanda

asociada. El multiplicador 1042 luego ajusta a escala los símbolos de modulación con la ganancia $\tilde{g}(k)$ para obtener símbolos de modulación ajustados a escala, que luego se proporcionan a una unidad de guía de haces 1050.

[0244] La unidad de guía de haces 1050 también recibe el autovector normalizado $\tilde{\mathbf{v}}(k)$ para la subbanda asociada. Dentro de la unidad de guía de haces 1050, los símbolos de modulación ajustados a escala se proporcionan a cuatro multiplicadores 1052a a 1052d, que también reciben, respectivamente, los cuatro elementos, $\tilde{v}_1(k)$, $\tilde{v}_2(k)$, $\tilde{v}_3(k)$ y $\tilde{v}_4(k)$, del autovector normalizado $\tilde{\mathbf{v}}(k)$. Cada multiplicador 1052 multiplica sus símbolos de modulación ajustados a escala con su valor de autovector normalizado $\tilde{v}_i(k)$, para proporcionar símbolos precondicionados. Los multiplicadores 1052a a 1052d proporcionan cuatro subflujos de símbolos precondicionados a los almacenes temporales / multiplexadores 1070a a 1070d, respectivamente.

[0245] Cada almacén temporal / multiplexador 1070 recibe los símbolos piloto y los símbolos precondicionados desde los procesadores de guía de haces de subbandas de TX 1040a a 1040k para las 48 subbandas de datos, multiplexa los símbolos piloto y precondicionados y los ceros para cada período de símbolos, y proporciona un flujo de símbolos de transmisión $x(n)$ para una antena de transmisión. La posterior modulación de OFDM para cada flujo de símbolos de transmisión se ha descrito anteriormente.

[0246] El procesamiento para la modalidad de guía de haces se describe con más detalle en la Solicitud de Patente Estadounidense con Número de serie 10/228.393, cedida en común, titulada "Guía de haces y conformación de haces para sistemas de MIMO de banda ancha", presentada el 27 de agosto de 2002. El sistema también puede diseñarse para dar soporte a una modalidad de formación de haces por la cual se transmite un flujo de datos en el automodo principal utilizando el autovector en lugar del autovector normalizado.

4. Entramado para tramas PHY

[0247] La figura 11A muestra un modo de realización de la unidad de entramado 808, que se utiliza para entramar los datos para cada paquete de FCH/RCH antes del procesamiento posterior por parte del procesador de datos de TX. Esta función de entramado puede omitirse para los mensajes enviados en el BCH, el FCCH y el RACH. La unidad de entramado genera un número entero de tramas PHY para cada paquete de FCH/RCH, donde cada trama PHY abarca 6 símbolos de OFDM para el modo de realización descrito en el presente documento.

[0248] Para las modalidades de diversidad y direccionamiento de haces, solo se utiliza un canal espacial o automodo de banda ancha para la transmisión de datos. La velocidad para esta modalidad es conocida, y se puede calcular el número de bits de información que pueden enviarse en la carga útil de cada trama PHY. Para la modalidad de multiplexado espacial, se pueden usar múltiples canales espaciales para la transmisión de datos. Dado que se conoce la velocidad de cada canal espacial, se puede calcular el número de bits de información que pueden enviarse en la carga útil de cada trama PHY para todos los canales espaciales.

[0249] Como se muestra en la FIG. 11A, los bits de información (indicados como $i_1 i_2 i_3 i_4 \dots$) para cada paquete de FCH/RCH se proporcionan a un generador de CRC 1102 y a un multiplexador 1104 dentro de la unidad de entramado 808. El generador 1102 de CRC genera un valor de CRC para los bits en el encabezado (si corresponde) y los campos de carga útil de cada trama PHY y proporciona bits de CRC al multiplexador 1104. El multiplexador 1104 recibe los bits de información, los bits de CRC, los bits de encabezado y los bits de relleno (por ejemplo, ceros), y proporciona estos bits en el orden correcto, como se muestra en la FIG. 6, basándose en una señal de control de trama PHY. La función de entramado se puede omitir proporcionando los bits de información directamente a través del multiplexador 1104. Los bits entramados o no entramados (indicados como $d_1 d_2 d_3 d_4 \dots$) se proporcionan al aleatorizador 810.

5. Aleatorización

[0250] En un modo de realización, los bits de datos para cada canal de transporte se aleatorizan antes de la codificación. La aleatorización aleatoriza los datos para que no se transmita una secuencia larga de todos unos o todos ceros. Esto puede reducir la variación en la potencia entre máxima y media de la onda de OFDM. La aleatorización puede omitirse para uno o más canales de transporte y también puede habilitarse e inhabilitarse selectivamente.

[0251] La figura 11A también muestra un modo de realización del aleatorizador 810. En esta realización, el aleatorizador 810 implementa un polinomio generador:

$$G(x) = x^7 + x^4 + x \quad \text{Ec. (22)}$$

También pueden utilizarse otros polinomios generadores y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

[0252] Como se muestra en la FIG. 11A, el aleatorizador 810 incluye siete elementos de retardo 1112a a 1112g acoplados en serie. Para cada ciclo de reloj, un sumador 1114 realiza la adición de módulo 2 de dos bits

almacenados en los elementos de retardo 1112d y 1112g y proporciona un bit de aleatorización al elemento de retardo 1112a.

5 **[0253]** Los bits entramados/no entramados ($d_1 d_2 d_3 d_4 \dots$) se proporcionan a un sumador 1116, que también recibe bits de aleatorización desde el sumador 1114. El sumador 1116 realiza la adición de módulo 2 de cada bit d_n con un correspondiente bit de aleatorización para proporcionar un bit aleatorizado q_n . El aleatorizador 810 proporciona una secuencia de bits aleatorizados, que se indica como $q_1 q_2 q_3 q_4 \dots$.

10 **[0254]** El estado inicial del aleatorizador (es decir, el contenido de los elementos de retardo 1112a a 1112g) se fija en un número distinto de cero de 7 bits al comienzo de cada trama de TDD. Los tres bits más significativos (MSB) (es decir, el elemento de retardo 1112e a 1112f) siempre se fijan en uno ('1') y los cuatro bits menos significativos (LSB) se fijan en el contador de tramas de TDD, como se indica en el mensaje del BCH.

15 **6. Codificación/Punción**

[0255] En un modo de realización, se utiliza un único código base para codificar datos antes de la transmisión. Este código base genera bits de código para una velocidad de código. Todas las demás velocidades de código con soporte por parte del sistema (como se enumeran en la Tabla 25) se pueden obtener ya sea repitiendo o punzando los bits de código.

20 **[0256]** La **figura 11B** muestra un modo de realización del codificador 812 que implementa el código base para el sistema. En esta realización, el código base es un código convolutivo de velocidad 1/2, longitud de restricción 7 ($K = 7$), con generadores de 133 y 171 (octal).

25 **[0257]** Dentro del codificador 812, un multiplexador 1120 recibe y multiplexa los bits aleatorizados y los bits de cola (por ejemplo, ceros). El codificador 812 incluye además seis elementos de retardo 1122a a 1122f acoplados en serie. Cuatro sumadores 1124a a 1124d también se acoplan en serie y se usan para implementar el primer generador (133). De manera similar, cuatro sumadores 1126a a 1126d están acoplados en serie y se usan para implementar el segundo generador (171). Los sumadores están acoplados además a los elementos de retardo de una manera como para implementar los dos generadores de 133 y 171, como se muestra en la figura 11B.

35 **[0258]** Los bits codificados se proporcionan al primer elemento de retardo 1122a y a los sumadores 1124a y 1126a. Para cada ciclo de reloj, los sumadores 1124a a 1124d realizan la adición en módulo-2 del bit entrante y de cuatro bits anteriores almacenados en los elementos de retardo 1122b, 1122c, 1122e y 1122f, para proporcionar el primer bit de código para ese ciclo de reloj. De manera similar, los sumadores 1126a a 1126d realizan la adición en módulo 2 del bit entrante y de cuatro bits previos almacenados en los elementos de retardo 1122a, 1122b, 1122c y 1122f, para proporcionar el segundo bit de código para ese ciclo de reloj. Los bits de código generados por el primer generador se indican como $a_1 a_2 a_3 a_4 \dots$, y los bits de código generados por el segundo generador se indican como $b_1 b_2 b_3 b_4 \dots$. Un multiplexador 1128 recibe entonces y multiplexa los dos flujos de bits de código desde los dos generadores en un único flujo de bits de código, lo que se indica como $a_1 b_1 a_2 b_2 a_3 b_3 a_4 b_4 \dots$. Para cada bit aleatorizado q_n , se generan dos bits de código a_n y b_n , lo que da como resultado una velocidad de código de 1/2.

45 **[0259]** La figura 11B también muestra un modo de realización de la unidad de repetición/punción 814 que se puede usar para generar otras velocidades de código basándose en la velocidad de código base de 1/2. Dentro de la unidad 814, los bits de código de velocidad 1/2 del codificador 812 se proporcionan a una unidad repetidora 1132 y a una unidad de punción 1134. La unidad repetidora 1132 repite cada bit de código de velocidad 1/2 una vez, para obtener una velocidad de código efectiva de 1/4. La unidad de punción 1134 elimina algunos de los bits de código de velocidad de 1/2 en función de un patrón de punción específico para proporcionar la velocidad de código deseada.

50 **[0260]** La Tabla 30 enumera patrones ejemplares de punción que se pueden usar para las distintas velocidades de código con soporte por parte del sistema. También pueden utilizarse otros patrones de punción, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

55

Tabla 30

Velocidad de código	Patrón de punción
1 / 2	11
7 / 12	11111110111110
5 / 8	1110111011
2 / 3	1110

Velocidad de código	Patrón de punción
11 / 16	111110111111010011100
3 / 4	111001
13 / 16	01111011111101110000101100
5 / 6	1110011001
7 / 8	11101010011001

5 [0261] Para obtener una velocidad de código de k/n , la unidad de punción 1134 proporciona n bits de código para cada grupo de $2k$ bits de código de velocidad de $1/2$, recibidos desde el codificador 812. Por lo tanto, los bits de código de $2 kn$ se eliminan de cada grupo de $2 k$ bits de código. Los bits que se eliminarán de cada grupo se indican con ceros en el patrón de punción. Por ejemplo, para obtener una velocidad de código de $7/12$, dos bits se eliminan de cada grupo de 14 bits de código del codificador 812, siendo los bits borrados los 8° y 14° bits de código en el grupo, según lo indicado mediante el patrón de punción de "111111011110". No se realiza ninguna punción si la velocidad de código deseada es $1/2$.

10 [0262] Un multiplexador 1136 recibe el flujo de bits de código desde la unidad repetidora 1132 y el flujo de bits de código desde la unidad de punción 1134. El multiplexador 1136 luego proporciona los bits de código de la unidad repetidora 1132 si la velocidad de código deseada es $1/4$ y los bits de código de la unidad de punción 1134 si la velocidad de código deseada es $1/2$ o mayor.

15 [0263] También se pueden usar otros códigos y patrones de punción, además de los descritos anteriormente, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, un código Turbo, un código de bloque, algunos otros códigos, o cualquier combinación de los mismos, pueden usarse para codificar datos. Además, se pueden usar diferentes esquemas de codificación para diferentes canales de transporte. Por ejemplo, la codificación convolutiva se puede usar para los canales de transporte comunes, y la codificación Turbo se puede usar para los canales de transporte dedicados.

20 **7. Desintercalado**

25 [0264] En un modo de realización, los bits de código a transmitir están intercalados entre las 48 subbandas de datos. Para las modalidades de diversidad y de guía de haces, un flujo de bits de código se transmite y se intercala entre todas las subbandas de datos. Para la modalidad de multiplexado espacial, se pueden transmitir hasta cuatro flujos de bits de código en hasta cuatro canales espaciales. El intercalado se puede realizar por separado para cada canal espacial, de modo que cada flujo de bits de código se intercale entre todas las subbandas de datos del canal espacial utilizado para transmitir ese flujo. La Tabla 29 muestra una asignación ejemplar de bits de código y subbandas que se puede usar para el intercalado para todas las modalidades de transmisión.

30 [0265] En un modo de realización, el intercalado se realiza entre las 48 subbandas de datos en cada intervalo de intercalado. Para esta realización, cada grupo de 48 bits de código en un flujo se distribuye en las 48 subbandas de datos para proporcionar diversidad de frecuencia. Los 48 bits de código en cada grupo pueden tener índices asignados de 0 a 47. Cada índice de bit de código está asociado a una subbanda respectiva. Todos los bits de código con un índice particular se transmiten en la subbanda asociada. Por ejemplo, el primer bit de código (con índice 0) en cada grupo se transmite en la subbanda -26, el segundo bit de código (con índice 1) se transmite en la subbanda 1, el tercer bit de código (con índice 2) se transmite en la subbanda -17, y así sucesivamente. Este esquema de intercalación se puede utilizar para las modalidades de diversidad, guía de haces y multiplexado espacial. A continuación se describe un esquema de intercalación alternativo para la modalidad de multiplexado espacial.

35 [0266] El intercalado puede realizarse alternativamente o adicionalmente a lo largo del tiempo. Por ejemplo, después del intercalado entre las subbandas de datos, los bits de código para cada subbanda pueden estar intercalados además (por ejemplo, sobre una trama PHY o una PDU) para proporcionar diversidad temporal. Para la modalidad de multiplexado espacial, el intercalado también se puede realizar sobre múltiples canales espaciales.

40 [0267] Además, se puede emplear el intercalado entre las dimensiones de los símbolos de QAM, de manera que los bits de código que forman los símbolos de QAM se correlacionen con diferentes posiciones de bits de los símbolos de QAM.

45 **8. Correlación de símbolos**

50 [0268] La Tabla 31 muestra la correlación de símbolos para varios esquemas de modulación con soporte por parte del sistema. Para cada esquema de modulación (excepto para BPSK), la mitad de los bits se correlacionan con un componente en fase (I) y la otra mitad de los bits se correlacionan con un componente de cuadratura (Q).

5

[0269] En un modo de realización, la constelación de señales para cada esquema de modulación con soporte puede definirse en función de la correlación de Gray. Con la correlación de Gray, los puntos contiguos en la constelación de señales (en ambos componentes I y Q) difieren solo en una posición de bit. La correlación de Gray reduce el número de errores de bit para sucesos de error más probables, lo que corresponde a un símbolo recibido que se correlaciona con una ubicación cerca de la ubicación correcta, en cuyo caso solo se recibiría un bit de código con errores.

Tabla 31

BPSK		
<i>b</i>	I	Q
0	-1	0
1	1	0

QPSK			
<i>b</i> ₀	I	<i>b</i> ₁	Q
0	-1	0	-1
1	1	1	1

16 QAM			
<i>b</i> ₀ <i>b</i> ₁	I	<i>b</i> ₂ <i>b</i> ₃	Q
00	-3	00	-3
01	-1	01	-1
11	1	11	1
10	3	10	3

64 QAM			
<i>b</i> ₀ <i>b</i> ₁ <i>b</i> ₂	I	<i>b</i> ₃ <i>b</i> ₄ <i>b</i> ₅	Q
000	-7	000	-7
001	-5	001	-5
011	-3	011	-3

256 QAM			
<i>b</i> ₀ <i>b</i> ₁ <i>b</i> ₂ <i>b</i> ₃	I	<i>b</i> ₄ <i>b</i> ₅ <i>b</i> ₆ <i>b</i> ₇	Q
0000	-15	0000	-15
0001	-13	0001	-13
0011	-11	0011	-11
0010	-9	0010	-9
0110	-7	0110	-7
0111	-5	0111	-5
0101	-3	0101	-3
0100	-1	0100	-1
1100	1	1100	1
1101	3	1101	3
1111	5	1111	5
1110	7	1110	7
1010	9	1010	9
1011	11	1011	11
1001	13	1001	13
1000	15	1000	15

Factor de normalización <i>K</i> _{Norma}	
Esquema de modulación	Valor

010	-1	010	-1
110	1	110	1
111	3	111	3
101	5	101	5
100	7	100	7

BPSK	1.0
QPSK	$1/\sqrt{2}$
16 QAM	$1/\sqrt{10}$
64 QAM	$1/\sqrt{42}$
256 QAM	$1/\sqrt{170}$

[0270] Los valores de I y Q para cada esquema de modulación que se muestra en la Tabla 31 se ajustan a escala de acuerdo a un factor de normalización K_{norma} , de modo que la potencia promedio de todos los puntos de señal en la constelación de señales asociada sea igual a la unidad. El factor de normalización para cada esquema de modulación se muestra en la Tabla 31. También se pueden usar valores cuantizados para los factores de normalización para los esquemas de modulación con soporte. Un símbolo de modulación s de una constelación de señales particular tendría entonces la siguiente forma:

$$s = (I + jQ) \cdot K_{norma},$$

donde I y Q son los valores en la Tabla 31 para la constelación de señales.

[0271] Para una PDU dada, la modulación puede ser diferente entre las PDU y puede ser diferente para múltiples canales espaciales utilizados para la transmisión de datos. Por ejemplo, para la PDU del BCH, se pueden usar diferentes esquemas de modulación para la señal piloto de baliza, la señal piloto de MIMO y el mensaje del BCH.

9. Procesamiento para la modalidad de multiplexado espacial

[0272] Para la modalidad de multiplexado espacial, una PDU puede transmitirse por múltiples canales espaciales. Se pueden usar varios esquemas para procesar datos para su transmisión por múltiples canales espaciales. A continuación se describen dos esquemas de procesamiento específicos para la modalidad de multiplexado espacial.

[0273] En el primer esquema de procesamiento, la codificación y la punción se realizan por cada canal espacial, para lograr la velocidad de código deseada para cada canal espacial. Los N_E canales espaciales a utilizar para la transmisión de datos se clasifican desde la SNR recibida más alta a la más baja. Los datos para toda la PDU se codifican primero para obtener un flujo de bits de código de velocidad 1/2. Los bits de código se punzan luego para obtener la velocidad de código deseada para cada canal espacial.

[0274] La punción se puede realizar en orden secuencial para los N_E canales espaciales, desde el mejor canal espacial (es decir, la SNR más alta) hasta el peor (es decir, la SNR más baja). En particular, la unidad de punción primero realiza la punción para el mejor canal espacial con la SNR más alta recibida. Cuando se ha generado el número correcto de bits de código para el mejor canal espacial, la unidad de punción realiza entonces la punción del segundo mejor canal espacial con la siguiente SNR más alta recibida. Este proceso continúa hasta que se generan los bits de código para todos los N_E canales espaciales. El orden de punción es desde la SNR recibida más grande a la más pequeña, independientemente de la velocidad de código específica utilizada para cada canal espacial.

[0275] Para el ejemplo que se muestra en la Tabla 28, los 3456 bits de información que se transmitirán en la trama PHY general se codifican primero con el código de base de velocidad 1/2 para obtener 6912 bits de código. Los primeros 3168 bits de código se punzan utilizando el patrón de punción para la velocidad de código 11/16, para obtener 2304 bits de código, que se proporcionan en la trama PHY para el primer canal espacial. Los siguientes 2592 bits de código se punzan luego utilizando el patrón de punción para la velocidad de código 3/4, para obtener 1728 bits de código, que se proporcionan en la trama PHY para el segundo canal espacial. Los siguientes 864 bits de código se punzan luego utilizando el patrón de punción para la velocidad de código 3/4, para obtener 576 bits de código, que se proporcionan en la trama PHY para el tercer canal espacial. Los últimos 288 bits de código para la trama PHY se punzan luego utilizando el patrón de punción para la velocidad de código 1/2, para obtener 288 bits de código, que se proporcionan en la trama PHY para el último canal espacial. Estas cuatro tramas PHY individuales se procesan adicionalmente y se transmiten en los cuatro canales espaciales. La punción para la siguiente trama PHY general se realiza luego de manera similar. El primer esquema de procesamiento puede ser implementado por el procesador de datos de TX 710b en la figura 9A.

[0276] En el segundo esquema de procesamiento, la codificación y la punción se realizan para pares de subbandas. Además, la codificación y la punción se reciclan por todos los canales espaciales seleccionados para cada par de subbandas.

[0277] La **figura 11C** muestra un diagrama de bloques que ilustra un procesador de datos de TX 710d que implementa el segundo esquema de procesamiento. El codificador 812 realiza una codificación convolutiva de velocidad 1/2 de los bits aleatorizados procedentes del aleatorizador 810. A cada canal espacial se le asigna una velocidad particular, que está asociada a una combinación específica de velocidad de código y esquema de modulación, como se muestra en la Tabla 25. Sea b_m el número de bits de código por símbolo de modulación para el canal espacial m (o, de manera equivalente, el número de bits de código enviados en cada subbanda de datos del canal espacial m) y sea r_m la velocidad de código utilizada para el canal espacial m . El valor para b_m depende del tamaño de la constelación del esquema de modulación utilizado para el canal espacial m . En particular, $b_m = 1, 2, 4, 6$ y 8 para BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM, respectivamente.

[0278] El codificador 812 proporciona un flujo de bits de código de velocidad 1/2 al demultiplexador 816, que demultiplexa el flujo de bits de código recibido en cuatro subflujos para los cuatro canales espaciales. El demultiplexado es tal que los primeros $4b_1r_1$ bits de código se envían al almacén temporal 813a para el canal espacial 1, los siguientes $4b_2r_2$ bits de código se envían al almacén temporal 813b para el canal espacial 2, y así sucesivamente. Cada almacén temporal 813 recibe $4b_m r_m$ bits de código cada vez que el demultiplexador 816 recicla por los cuatro canales espaciales. Un total de $b_{total} = \sum_{m=1}^4 4b_m r_m$ bits de código de velocidad 1/2 se proporcionan a los cuatro almacenes temporales 813a a 813d para cada ciclo. El demultiplexador 816, por lo tanto, recorre circularmente las cuatro posiciones para los cuatro canales espaciales, para cada b_{total} bits de código, que es el número de bits de código que se pueden enviar en un par de subbandas utilizando los cuatro canales espaciales.

[0279] Una vez que cada almacén temporal 813 se ha llenado con $4b_m r_m$ chips de código para el canal espacial asociado, los bits de código en el almacén temporal se punzan para obtener la velocidad de código para ese canal espacial. Como los $4b_m r_m$ bits de código de velocidad 1/2 abarcan un número entero de períodos de punción para cada patrón de punción, se proporcionan exactamente $2b_m$ bits de código después de la punción para cada canal espacial m . Los $2b_m$ bits de código para cada canal espacial se distribuyen (intercalan) luego entre las subbandas de datos.

[0280] En un modo de realización, el intercalado se realiza para cada canal espacial en grupos de 6 subbandas a la vez. Los bits de código después de la punción para cada canal espacial pueden numerarse secuencialmente como c_i , para $i = 0, 1, 2, \dots$. Se puede mantener un contador C_m para cada canal espacial, para contar cada grupo de $6b_m$ bits de código proporcionados por la unidad de punción para ese canal espacial. Por ejemplo, para QPSK con $b_m = 2$, el contador se fijaría en $C_m = 0$ para los bits de código c_0 a c_{11} proporcionados por la unidad de punción, $C_m = 1$ después de los bits de código c_{12} a c_{23} , y así sucesivamente. El valor del contador C_m para el canal espacial m se puede expresar como:

$$C_m = \lfloor i / (6b_m) \rfloor \text{mod } 8 \quad \text{Ec. (23)}$$

[0281] Para determinar la subbanda a la que se asigna el bit de código c_i , el índice de bit para el bit de código se determina primero de la siguiente manera:

$$\text{índice de bit} = (i \text{ mod } 6) + 6 \cdot C_m \quad \text{Ec. (24)}$$

El índice de bits se correlaciona luego con la subbanda correspondiente utilizando la Tabla 29.

[0282] Para el ejemplo anterior, el primer grupo de 6 bits de código c_0 a c_5 está asociado a los índices de bit 0 a 5, respectivamente, y el segundo grupo de 6 bits de código c_6 a c_{11} también está asociado a los índices de bit 0 a 5, respectivamente. Los bits de código c_0 y c_6 se correlacionarán con la subbanda -26, los bits de código c_1 y c_7 se correlacionarán con la subbanda 1, y así sucesivamente, como se muestra en la Tabla 29. El procesamiento espacial puede comenzar entonces para este primer grupo de 6 subbandas. El tercer grupo de 6 bits de código c_{12} a c_{17} (con $C_m = 1$) está asociado a los índices de bit 6 a 11, respectivamente, y el cuarto grupo de 6 bits de código c_{18} a c_{23} también está asociado a los índices de bit 6 a 11, respectivamente. Los bits de código c_{12} y c_{18} se correlacionarían con la subbanda -25, los bits de código c_{13} y c_{19} se correlacionarían con la subbanda 2, y así sucesivamente. El procesamiento espacial puede entonces comenzar para este siguiente grupo de 6 subbandas.

[0283] El número 6 en la ecuación (24) proviene del hecho de que el intercalado se realiza en grupos de seis subbandas. La operación (mod 8) en la ecuación (23) proviene del hecho de que hay ocho grupos de intercalado para las 48 subbandas de datos. Dado que cada ciclo del demultiplexador 816 mostrado en la figura 11C produce suficientes bits de código para llenar dos subbandas para cada automodo de banda ancha, se necesitan un total de 24 ciclos para proporcionar los $48b_m$ bits de código para un símbolo de OFDM para cada canal espacial.

[0284] El intercalado en grupos de 6 subbandas a la vez puede reducir los retardos de procesamiento. En particular, el procesamiento espacial puede comenzar una vez que cada grupo de 6 subbandas esté disponible.

[0285] En realizaciones alternativas, el intercalado se puede realizar para cada canal espacial en grupos de N_B subbandas a la vez, donde N_B puede ser cualquier número entero (por ejemplo, N_B puede ser igual a 48 para el intercalado en todas las 48 subbandas de datos).

VI. Calibración

[0286] Para un sistema de TDD, el enlace descendente y el enlace ascendente comparten la misma banda de frecuencia, de manera duplexada por división del tiempo. En este caso, habitualmente existe un alto grado de correlación entre las respuestas de canal de enlace descendente y de enlace ascendente. Esta correlación puede

5 ser aprovechada para simplificar la estimación de canal y el procesamiento espacial. Para un sistema de TDD, se puede suponer que cada subbanda del enlace inalámbrico es recíproca. Es decir, si $\underline{\mathbf{H}}(k)$ representa la matriz de respuesta de canal desde la formación de antenas A a la formación de antenas B para la subbanda k , entonces un canal recíproco implica que el acoplamiento desde la formación B a la formación A viene dado por la traspuesta de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que es $\underline{\mathbf{H}}^T(k)$.

10 **[0287]** Sin embargo, las respuestas (ganancia y fase) de las cadenas de transmisión y recepción en el punto de acceso son habitualmente diferentes a las respuestas de las cadenas de transmisión y recepción en el terminal de usuario. La calibración se puede realizar para determinar la diferencia en las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario, y para tener en cuenta la diferencia, de modo que las respuestas calibradas de enlace descendente y de enlace ascendente se puedan expresar en términos mutuos. Una vez que las cadenas de transmisión/recepción se han calibrado y tenido en cuenta, se puede utilizar una medición para un enlace (por ejemplo, el enlace descendente) para obtener vectores de guía para el otro enlace (por ejemplo, el enlace ascendente).

15 **[0288]** Las respuestas "efectivas" de los canales de enlace ascendente y enlace descendente, $\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{up}(k)$, que incluyen las respuestas de las cadenas de transmisión y recepción aplicables en el punto de acceso y en el terminal de usuario, pueden expresarse como:

20
$$\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{T}}_{ap}(k) \text{ , para } k \in K, \text{ y} \quad \text{Ec. (25)}$$

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

25 donde $\underline{\mathbf{T}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)$ son matrices diagonales de tamaño $N_{ap} \times N_{ap}$ con entradas para las ganancias complejas asociadas a la cadena de transmisión y la cadena de recepción, respectivamente, para las N_{ap} antenas en el punto de acceso para la subbanda k ;

30 $\underline{\mathbf{T}}_{ut}(k)$ y $\underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$ son matrices diagonales de tamaño $N_{ut} \times N_{ut}$ con entradas para las ganancias complejas asociadas a la cadena de transmisión y la cadena de recepción, respectivamente, para las N_{ut} antenas en el terminal de usuario para la subbanda k ; y

$\underline{\mathbf{H}}(k)$ es una matriz de respuesta de canal de tamaño $N_{ut} \times N_{ap}$ para el enlace descendente.

35 **[0289]** Combinando las dos ecuaciones en el conjunto de ecuaciones (25), se puede obtener la siguiente relación:

$$\underline{\mathbf{H}}_{up}(k)\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = (\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k))^T \text{ , para } k \in K, \quad \text{Ec. (26)}$$

donde $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{ut}^{-1}(k)\underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{ap}^{-1}(k)\underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)$.

40 **[0290]** El lado izquierdo de la ecuación (26) representa la respuesta de canal calibrada "verdadera" en el enlace ascendente, y el lado derecho representa la traspuesta de la "verdadera" respuesta del canal calibrado en el enlace descendente. La aplicación de las matrices diagonales $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ a las respuestas efectivas de canal de enlace ascendente y enlace descendente, respectivamente, como se muestra en la ecuación (26), permite que las respuestas de canal calibradas para el enlace descendente y el enlace ascendente se expresen como traspuestas la una de la otra. La matriz diagonal $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ de tamaño $(N_{ap} \times N_{ap})$ para el punto de acceso es la razón entre la respuesta de la cadena de recepción $\underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)$ y la respuesta de la cadena de transmisión $\underline{\mathbf{T}}_{ap}(k)$ (es decir,

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k) = \frac{\underline{\mathbf{R}}_{ap}(k)}{\underline{\mathbf{T}}_{ap}(k)}$$

45), donde la razón se toma elemento por elemento. De manera similar, la matriz diagonal $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ de tamaño $(N_{ut} \times N_{ut})$ para el terminal de usuario es la razón entre la respuesta de la cadena de recepción $\underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$ y la respuesta de la cadena de transmisión $\underline{\mathbf{T}}_{ut}(k)$.

50 **[0291]** Las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ incluyen valores que pueden explicar las diferencias en las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario. Esto permitiría entonces que la respuesta de canal para un enlace sea expresada por la respuesta de canal para el otro enlace, como se muestra en la ecuación (26).

55 **[0292]** La calibración se puede realizar para determinar las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$. Por lo general, la respuesta de canal real $\underline{\mathbf{H}}(k)$ y las respuestas de la cadena de transmisión/recepción no se conocen ni se pueden determinar con exactitud o facilidad. En cambio, las respuestas efectivas de canal de enlace descendente y enlace ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{up}(k)$, pueden estimarse en función de las señales piloto enviadas en el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente, como se describe a continuación. Las estimaciones de las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, que se mencionan como matrices de corrección $\underline{\mathbf{K}}'_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}'_{ut}(k)$, entonces pueden ser obtenidas

basándose en las estimaciones de respuesta de canal de enlace descendente y de enlace ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)$, como se describe a continuación. Las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ incluyen factores de corrección que pueden tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario.

[0293] Las respuestas de canal de enlace ascendente y enlace descendente "calibradas" observadas por el terminal de usuario y el punto de acceso, respectivamente, se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \quad , \text{ para } k \in K, \text{ y} \quad \text{Ec. (27)}$$

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

donde $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ son estimaciones de las "verdaderas" expresiones de respuesta de canal calibradas en la ecuación (26). Combinando las dos ecuaciones en el conjunto de ecuaciones (27), usando la expresión en la ecuación (26), se puede mostrar que $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) \approx \underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T(k)$. La exactitud de la relación $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) \approx \underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T(k)$ depende de la precisión de las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$, que a su vez suele depender de la calidad de las estimaciones de respuesta del canal de enlace descendente y de enlace ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)$.

[0294] La calibración puede realizarse utilizando varios esquemas. Para mayor claridad, a continuación se describe un esquema de calibración específico. Para realizar la calibración, el terminal de usuario adquiere inicialmente la temporización y la frecuencia del punto de acceso en función de la señal piloto de baliza transmitido en el BCH. El terminal de usuario envía entonces un mensaje en el RACH para iniciar un procedimiento de calibración con el punto de acceso. La calibración se puede realizar en paralelo con el registro / la autenticación.

[0295] Dado que las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario son habitualmente planas en la mayor parte de la banda de interés, las diferencias de fase/ganancia de las cadenas de transmisión/recepción pueden caracterizarse con un pequeño número de subbandas. La calibración se puede realizar para 4, 8, 16, 48 o algún otro número de subbandas, que se puede especificar en el mensaje enviado para iniciar la calibración. La calibración también se puede realizar para las subbandas piloto. Las constantes de calibración para subbandas en las que no se realiza explícitamente la calibración se pueden calcular por interpolación en subbandas calibradas. Para mayor claridad, lo siguiente supone que la calibración se realiza para todas las subbandas de datos.

[0296] Para la calibración, el punto de acceso asigna al terminal de usuario una cantidad de tiempo suficiente en el RCH para enviar una señal piloto de MIMO de enlace ascendente, de duración suficiente, más un mensaje. La duración del piloto de MIMO de enlace ascendente puede depender del número de subbandas en las que se realiza la calibración. Por ejemplo, 8 símbolos de OFDM pueden ser suficientes si la calibración se realiza para cuatro subbandas, y más (por ejemplo, 20) símbolos de OFDM pueden ser necesarios para más subbandas. La potencia de transmisión total suele ser fija, por lo que si la señal piloto de MIMO se transmite en un pequeño número de subbandas, entonces se pueden usar mayores cantidades de potencia de transmisión para cada una de estas subbandas y la SNR para cada subbanda es alta. A la inversa, si la señal piloto de MIMO se transmite en un gran número de subbandas, entonces se pueden usar magnitudes más pequeñas de potencia de transmisión para cada subbanda y la SNR para cada subbanda es peor. Si la SNR de cada subbanda no es lo suficientemente alta, entonces se pueden enviar más símbolos de OFDM para la señal piloto de MIMO e integrarlos en el receptor para obtener una SNR general más alta para la subbanda.

[0297] El terminal de usuario luego transmite una señal piloto de MIMO en el RCH, que es utilizado por el punto de acceso para obtener una estimación de la respuesta efectiva del canal de enlace ascendente, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{up}}(k)$, para cada una de las subbandas de datos. Las estimaciones de la respuesta de canal de enlace ascendente se cuantizan (por ejemplo, a valores complejos de 12 bits, con componentes en fase (I) y cuadratura (Q)) y se envían al terminal de usuario.

[0298] El terminal de usuario también obtiene una estimación de la respuesta efectiva de canal de enlace descendente, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{dn}}(k)$, para cada una de las subbandas de datos, en función de la señal piloto de MIMO de enlace descendente enviada en el BCH. Al obtener las estimaciones efectivas de respuesta de canal de enlace ascendente y descendente, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{up}}(k)$ y $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{dn}}(k)$, para todas las subbandas de datos, el terminal de usuario determina los factores de corrección, $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$ y $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$, para cada uno de las subbandas de datos, que serán utilizadas por el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente. Un vector de corrección $\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap}}(k)$ se puede definir para incluir solo los elementos diagonales de $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$, y un vector de corrección $\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ut}}(k)$ se puede definir para incluir solo los elementos diagonales de $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$.

[0299] Los factores de corrección se pueden obtener de varias maneras, incluso mediante un cálculo de la relación matricial y un cálculo de MMSE. Ambos procedimientos de cálculo se describen con más detalle a

continuación. También pueden utilizarse otros procedimientos de cálculo, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

1. Cálculo de la razón matricial

[0300] Para determinar los vectores de corrección $\mathbf{k}'_{ap}(k)$ y $\mathbf{k}'_{ut}(k)$, dadas las estimaciones efectivas de respuesta de canal de enlace descendente y de enlace ascendente, $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ y $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$, una matriz $\underline{\mathbf{C}}(k)$ de tamaño $(N_{ut} \times N_{ap})$ se calcula primero para cada subbanda de datos, de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{C}}(k) = \frac{\hat{\mathbf{H}}_{up}^T(k)}{\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)}, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (28)}$$

donde la razón se toma elemento por elemento. Cada elemento de $\underline{\mathbf{C}}(k)$ se puede calcular como:

$$c_{i,j}(k) = \frac{\hat{h}_{up,i,j}(k)}{\hat{h}_{dn,i,j}(k)}, \text{ para } i = \{1 \dots N_{ut}\} \text{ y } j = \{1 \dots N_{ap}\}, \quad \text{Ec. (29)}$$

donde $\hat{h}_{up,i,j}(k)$ es el elemento (i, j) -ésimo (fila, columna) de $\hat{\mathbf{H}}_{up}^T(k)$, $\hat{h}_{dn,i,j}(k)$ es el elemento (i, j) -ésimo de $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$, y $c_{i,j}(k)$ es el elemento (i, j) -ésimo de $\underline{\mathbf{C}}(k)$.

[0301] El vector de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ para el punto de acceso es entonces igual a la media de las filas normalizadas de $\underline{\mathbf{C}}(k)$. Cada fila de $\underline{\mathbf{C}}(k)$ se normaliza primero ajustando a escala cada uno de los N_{ap} elementos en la fila con el primer elemento en la fila. Por lo tanto, si $\underline{\mathbf{c}}_i(k) = [c_{i,1}(k) \dots c_{i,N_{ap}}(k)]$ es la i -ésima fila de $\underline{\mathbf{C}}(k)$, entonces la fila normalizada $\tilde{\underline{\mathbf{c}}}_i(k)$ puede expresarse como:

$$\tilde{\underline{\mathbf{c}}}_i(k) = [c_{i,1}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,j}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,N_{ap}}(k)/c_{i,1}(k)]. \quad \text{Ec. (30)}$$

La media de las filas normalizadas es entonces la suma de las N_{ut} filas normalizadas, divididas entre N_{ut} , lo que puede expresarse como:

$$\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k) = \frac{1}{N_{ut}} \sum_{i=1}^{N_{ut}} \tilde{\underline{\mathbf{c}}}_i(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (31)}$$

Debido a la normalización, el primer elemento de $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ es la unidad.

[0302] El vector de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$ para el terminal de usuario es igual a la media de las inversas de las columnas normalizadas de $\underline{\mathbf{C}}(k)$. La j -ésima columna de $\underline{\mathbf{C}}(k)$ se normaliza primero ajustando a escala cada elemento de la columna con el j -ésimo elemento del vector $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$, lo que se indica como $K_{ap,j,j}(k)$. Por lo tanto, si

$\underline{\mathbf{c}}_j(k) = [c_{1,j}(k) \dots c_{N_{ut},j}(k)]^T$ es la j -ésima columna de $\underline{\mathbf{C}}(k)$, luego la columna normalizada $\hat{\underline{\mathbf{c}}}_j(k)$ puede expresarse como:

$$\hat{\underline{\mathbf{c}}}_j(k) = [c_{1,j}(k)/K_{ap,j,j}(k) \dots c_{i,j}(k)/K_{ap,j,j}(k) \dots c_{N_{ut},j}(k)/K_{ap,j,j}(k)]^T. \quad \text{Ec. (32)}$$

La media de las inversas de las columnas normalizadas es entonces la suma de las inversas de las N_{ap} columnas normalizadas, divididas entre N_{ap} , que puede expresarse como:

$$\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k) = \frac{1}{N_{ap}} \sum_{j=1}^{N_{ap}} \frac{1}{\hat{\underline{\mathbf{c}}}_j(k)}, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (33)}$$

donde la inversión de las columnas normalizadas, $\frac{1}{\hat{\underline{\mathbf{c}}}_j(k)}$, se realiza elemento a elemento.

2. Cálculo de MMSE

[0303] Para el cálculo de MMSE, los factores de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ y $\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$ se obtienen de las estimaciones efectivas de respuesta de canal de enlace ascendente y de enlace descendente efectivas, $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ y $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$, de modo que el error medio cuadrático (MSE) entre la respuesta calibrada de canal de enlace descendente y la respuesta calibrada de canal de enlace ascendente se minimice. Esta condición puede expresarse como:

$$\min \left| (\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k))^T - (\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)) \right|^2, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (34)}$$

que también se puede escribir como:

$$\min \left| \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)\hat{\mathbf{H}}_{dn}^T(k) - \hat{\mathbf{H}}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \right|^2, \text{ para } k \in K,$$

donde $\hat{\mathbf{K}}_{ap}^T(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ ya que $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ es una matriz diagonal.

[0304] La ecuación (34) está sujeta a la restricción de que el elemento principal de $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ se fije igual a la unidad (es decir, $\hat{\mathbf{K}}_{ap,0,0}(k) = 1$). Sin esta restricción, la solución trivial se obtendría con todos los elementos de las matrices $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ iguales a cero. En la ecuación (34), una matriz $\mathbf{Y}(k)$ se obtiene primero como $\mathbf{Y}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)\hat{\mathbf{H}}_{dn}^T(k) - \hat{\mathbf{H}}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$. El cuadrado del valor absoluto se obtiene a continuación para cada una de las $N_{ap} \cdot N_{ut}$ entradas de la matriz $\mathbf{Y}(k)$. El error cuadrático medio (o el error cuadrático, ya que se omite una división entre $N_{ap} \cdot N_{ut}$) es igual entonces a la suma de todos los $N_{ap} \cdot N_{ut}$ valores al cuadrado.

[0305] El cálculo de MMSE se efectúa para cada subbanda designada para obtener los factores de corrección $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ para esa subbanda. El cálculo de MMSE para una subbanda se describe a continuación. Para simplificar, el índice de subbanda, k , se omite en la siguiente descripción. También para simplificar, los elementos de la estimación de respuesta del canal de enlace descendente $\hat{\mathbf{H}}_{dn}^T$ se indican como $\{a_{ij}\}$, los elementos de la estimación de respuesta de canal de enlace ascendente $\hat{\mathbf{H}}_{up}$ se indican como $\{b_{ij}\}$, los elementos diagonales de la matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ap}$ se indican como $\{u_i\}$ y los elementos diagonales de la matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ut}$ se indican como $\{v_j\}$, donde $i = \{1, \dots, N_{ap}\}$ y $j = \{1, \dots, N_{ut}\}$.

[0306] El error cuadrático medio se puede reescribir a partir de la ecuación (34), de la siguiente manera:

$$\text{MSE} = \sum_{j=1}^{N_{ut}} \sum_{i=1}^{N_{ap}} |a_{ij}u_i - b_{ij}v_j|^2, \quad \text{Ec. (35)}$$

de nuevo sujeta a la restricción $u_1 = 1$. El mínimo error cuadrático medio se puede obtener tomando las derivadas parciales de la ecuación (35) con respecto a u y v y fijando las derivadas parciales en cero. Los resultados de estas operaciones son los siguientes conjuntos de ecuaciones:

$$\sum_{j=1}^{N_{ut}} (a_{ij}u_i - b_{ij}v_j) \cdot a_{ij}^* = 0, \text{ para } i \in \{2, \dots, N_{ap}\}, \text{ y Ec. (36a)}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{ap}} (a_{ij}u_i - b_{ij}v_j) \cdot b_{ij}^* = 0, \text{ para } j \in \{1, \dots, N_{ut}\}. \quad \text{Ec. (36b)}$$

En la ecuación (36a), $u_1 = 1$, por lo que no hay ninguna derivada parcial para este caso, y el índice i varía desde 2 hasta N_{ap} .

[0307] El conjunto de $(N_{ap} + N_{ut} - 1)$ ecuaciones en los conjuntos de ecuaciones (36a) y (36b) puede expresarse más convenientemente en forma de matriz, de la siguiente manera:

$$\mathbf{A}\mathbf{y} = \mathbf{z}, \quad \text{Ec. (37)}$$

donde

$$\underline{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^{N_{ap}} |a_{2j}|^2 & 0 & \dots & 0 & -b_{21} a_{21}^* & \dots & -b_{2N_{ap}} a_{2N_{ap}}^* \\ 0 & \sum_{j=1}^{N_{ap}} |a_{3j}|^2 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \sum_{j=1}^{N_{ap}} |a_{N_{ap}j}|^2 & -b_{N_{ap}1} a_{N_{ap}1}^* & \dots & -b_{N_{ap}N_{ap}} a_{N_{ap}N_{ap}}^* \\ -a_{21} b_{21}^* & \dots & \dots & -a_{N_{ap}1} b_{N_{ap}1}^* & \sum_{i=1}^{N_{ap}} |b_{i1}|^2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \sum_{i=1}^{N_{ap}} |b_{i2}|^2 & 0 & \dots \\ -a_{2N_{ap}} b_{2N_{ap}}^* & \dots & \dots & -a_{N_{ap}N_{ap}} b_{N_{ap}N_{ap}}^* & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \sum_{i=1}^{N_{ap}} |b_{iN_{ap}}|^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_{N_{ap}} \\ v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_{N_{ap}} \end{bmatrix} \quad \underline{\mathbf{z}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ a_{11} b_{11}^* \\ a_{12} b_{12}^* \\ \dots \\ a_{1N_{ap}} b_{1N_{ap}}^* \end{bmatrix}$$

5 **[0308]** La matriz $\underline{\mathbf{A}}$ incluye $(N_{ap} + N_{ut} - 1)$ filas, con las primeras $N_{ap} - 1$ filas correspondientes a las $N_{ap} - 1$ ecuaciones del conjunto de ecuaciones (36a) y las últimas N_{ut} filas correspondientes a las N_{ut} ecuaciones del conjunto de ecuaciones (36b). En particular, la primera fila de la matriz $\underline{\mathbf{A}}$ se genera a partir del conjunto de ecuaciones (36a) con $i = 2$, la segunda fila se genera con $i = 3$, y así sucesivamente. La fila N_{ap} -ésima de la matriz $\underline{\mathbf{A}}$ se genera a partir del conjunto de ecuaciones (36b) con $j = 1$, y así sucesivamente, y la última fila se genera con $j = N_{ut}$. Como se muestra arriba, las entradas de la matriz, $\underline{\mathbf{A}}$ y las entradas del vector $\underline{\mathbf{z}}$ se pueden obtener basándose en las

10 entradas en las matrices $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{dn}^T$ y $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{up}$.

[0309] Los factores de corrección se incluyen en el vector $\underline{\mathbf{y}}$, que se pueden obtener como:

15
$$\underline{\mathbf{y}} = \underline{\mathbf{A}}^{-1} \underline{\mathbf{z}} \quad \text{Ec. (38)}$$

[0310] Los resultados del cálculo de MMSE son las matrices de corrección $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ que minimizan el error cuadrático medio en las respuestas calibradas de canal de enlace descendente y de enlace ascendente, como se muestra en la ecuación (34). Dado que las matrices $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ se obtienen a partir de las estimaciones de respuesta de canal de enlace descendente y de enlace ascendente, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{dn}$ y $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{up}$, la calidad de las matrices de corrección $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ es por lo tanto dependiente de la calidad de las estimaciones de canal $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{dn}$ y $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{up}$. La señal piloto de MIMO puede promediarse en el receptor para obtener estimaciones más precisas para $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{dn}$ y $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{up}$.

25 **[0311]** Las matrices de corrección, $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ y $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$, obtenidas basándose en el cálculo de MMSE son generalmente mejores que las matrices de corrección obtenidas basándose en el cálculo de razón matricial. Esto es especialmente cierto cuando algunas de las ganancias de canal son pequeñas y el ruido de la medición puede degradar en gran medida las ganancias de canal.

30 **3. Pos-cálculo**

[0312] Se puede determinar un par de vectores de corrección, $\underline{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{k}}_{ut}(k)$, para cada una de las subbandas de datos. Como es probable que las subbandas adyacentes estén correlacionadas, el cálculo puede simplificarse. Por ejemplo, el cálculo se puede realizar para cada n -ésima subbanda en lugar de cada subbanda, donde n puede determinarse por la respuesta esperada de las cadenas de transmisión/recepción. Si la calibración se realiza para menos de todos los datos y subbandas piloto, entonces los factores de corrección para las subbandas "no calibradas" se pueden obtener mediante la interpolación de los factores de corrección obtenidos para las subbandas "calibradas".

[0313] También se pueden usar otros varios esquemas de calibración para obtener los vectores de corrección, $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ y $\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$, para el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente. Sin embargo, el esquema descrito anteriormente permite obtener vectores de corrección "compatibles" para el punto de acceso cuando la calibración es realizada por diferentes terminales de usuario.

[0314] Después de la obtención, el terminal de usuario envía los vectores de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ para todas las subbandas de datos, de vuelta al punto de acceso. Si el punto de acceso ya ha sido calibrado (por ejemplo, por otros terminales de usuario), entonces los vectores de corrección actuales se actualizan con los vectores de corrección recién recibidos. Por lo tanto, si el punto de acceso utiliza los vectores de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap1}(k)$ para transmitir la señal piloto de MIMO a partir de la cual el terminal de usuario determina los nuevos vectores de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap2}(k)$, entonces los vectores de corrección actualizados son el producto de los vectores de corrección actuales y nuevos. es decir, $\hat{\mathbf{k}}_{ap3}(k) = \hat{\mathbf{k}}_{ap1}(k) \cdot \hat{\mathbf{k}}_{ap2}(k)$, donde la multiplicación es elemento por elemento. Los vectores de corrección actualizados $\hat{\mathbf{k}}_{ap3}(k)$ pueden ser utilizados entonces por el punto de acceso hasta que se actualicen nuevamente.

[0315] Los vectores de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap1}(k)$ y $\hat{\mathbf{k}}_{ap2}(k)$ pueden ser obtenidos por los mismos, o diferentes, terminales de usuario. En un modo de realización, los vectores de corrección actualizados se definen como $\hat{\mathbf{k}}_{ap3}(k) = \hat{\mathbf{k}}_{ap1}(k) \hat{\mathbf{k}}_{ap2}(k)$, donde la multiplicación es elemento por elemento. En otro modo de realización, los vectores de corrección actualizados pueden redefinirse como $\hat{\mathbf{k}}_{ap3}(k) = \hat{\mathbf{k}}_{ap1}(k) \cdot \hat{\mathbf{k}}_{ap2}^\alpha(k)$, donde α es un factor utilizado para proporcionar promedios ponderados (por ejemplo, $0 < \alpha < 1$). Si las actualizaciones de calibración son poco frecuentes, entonces α , cerca de uno, podría tener el mejor desempeño. Si las actualizaciones de calibración son frecuentes pero ruidosas, entonces es mejor un valor más pequeño para α . Los vectores de corrección actualizados $\hat{\mathbf{k}}_{ap3}(k)$ pueden ser utilizados entonces por el punto de acceso hasta que se actualicen nuevamente.

[0316] El punto de acceso y el terminal de usuario utilizan sus respectivos vectores de corrección $\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$ y $\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$, o las correspondientes matrices de corrección $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ y $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, para $k \in K$, para ajustar a escala los símbolos de modulación antes de la transmisión, como se describe a continuación. Los canales calibrados de enlace descendente y de enlace ascendente que observan el terminal de usuario y el punto de acceso se muestran en la ecuación (27).

VII. Procesamiento espacial

[0317] El procesamiento espacial en el punto de acceso y el terminal de usuario puede simplificarse para un sistema de TDD, después de que se haya realizado la calibración para tener en cuenta la diferencia en las cadenas de transmisión/recepción. Como se ha indicado anteriormente, la respuesta calibrada de canal de enlace descendente es $\mathbf{H}_{cdn}(k) = \mathbf{H}_{dn}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$. La respuesta calibrada de canal de enlace ascendente es $\mathbf{H}_{cup}(k) = \mathbf{H}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \approx (\mathbf{H}_{dn}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k))^T$.

1. Procesamiento espacial de enlace ascendente

[0318] La descomposición en valores singulares de la matriz calibrada de respuesta de canal de enlace ascendente, $\mathbf{H}_{cup}(k)$, se puede expresar como:

$$\mathbf{H}_{cup}(k) = \mathbf{U}_{ap}(k)\underline{\Sigma}(k)\mathbf{V}_{ut}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (39)}$$

donde $\mathbf{U}_{ap}(k)$ es una matriz unitaria de tamaño $(N_{ap} \times N_{ap})$ de autovectores izquierdos de $\mathbf{H}_{cup}(k)$;

$\underline{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal de tamaño $(N_{ap} \times N_{ut})$ de valores singulares de $\mathbf{H}_{cup}(k)$ y

$\mathbf{V}_{ut}(k)$ es una matriz unitaria de tamaño $(N_{ut} \times N_{ut})$ de autovectores derechos de $\mathbf{H}_{cup}(k)$.

[0319] De manera correspondiente, la descomposición en valores singulares de la matriz calibrada de respuesta de canal de enlace descendente, $\mathbf{H}_{cdn}(k)$, se puede expresar como:

$$\mathbf{H}_{cdn}(k) = \mathbf{V}_{ut}^*(k)\underline{\Sigma}(k)\mathbf{U}_{ap}^T(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (40)}$$

Las matrices $\mathbf{V}_{ut}^*(k)$ y $\mathbf{U}_{ap}^*(k)$ También son matrices de autovectores izquierdo y derecho, respectivamente, de $\mathbf{H}_{cdn}(k)$. Como se muestra en las ecuaciones (39) y (40), y basándose en la descripción anterior, las matrices de los autovectores izquierdo y derecho para un enlace son las conjugadas complejas de las matrices de los autovectores derecho e izquierdo, respectivamente, para el otro enlace. Las matrices $\mathbf{V}_{ut}(k)$, $\mathbf{V}_{ut}^*(k)$, $\mathbf{V}_{ut}^T(k)$, y

5 $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^H(k)$ son diferentes formas de la matriz $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, y las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$, $\underline{\mathbf{U}}_{ap}^*(k)$, $\underline{\mathbf{U}}_{ap}^T(k)$, y $\underline{\mathbf{U}}_{ap}^H(k)$ también son diferentes formas de la matriz $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$. Para simplificar, la referencia a las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ en la siguiente descripción también puede referirse a sus otras diversas formas. Las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ son utilizadas por el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente, para el procesamiento espacial y como tales están indicadas por sus subíndices. Los autovectores también suelen denominarse vectores de "guía".

[0320] El terminal de usuario puede estimar la respuesta calibrada de canal de enlace descendente en función de la señal piloto de MIMO enviada por el punto de acceso. El terminal de usuario puede realizar luego la descomposición en valores singulares de la estimación calibrada de respuesta de canal de enlace descendente

10 $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$, para $k \in K$, para obtener la matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ y la matriz $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k)$ de autovectores izquierdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$.

Esta descomposición de valor singular puede darse como $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k) = \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}^T(k)$, donde el sombrero ("^") sobre cada matriz indica que es una estimación de la matriz real.

[0321] De manera similar, el punto de acceso puede estimar la respuesta calibrada de canal de enlace ascendente en función de una señal piloto de MIMO enviada por el terminal de usuario. El punto de acceso puede realizar luego una descomposición en valores singulares para la respuesta calibrada de canal de enlace ascendente $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)$, para $k \in K$, para obtener la matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ y la matriz $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k)$ de autovectores izquierdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)$. Esta descomposición en valores singulares puede darse como $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k) = \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^H(k)$.

20 **[0322]** Una matriz $\underline{\mathbf{F}}_{ut}(k)$ de tamaño $(N_{ut} \times N_{ut})$ se puede definir como:

$$\underline{\mathbf{F}}_{ut}(k) = \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ut}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (41)}$$

Mientras está activo, el terminal de usuario mantiene una estimación actualizada del canal de enlace descendente calibrado $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$ y las matrices $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k)$ de autovectores izquierdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$, que se utilizan para actualizar la matriz $\underline{\mathbf{F}}_{ut}(k)$.

[0323] El terminal de usuario utiliza la matriz $\underline{\mathbf{F}}_{ut}(k)$ para el procesamiento espacial, para las modalidades de guía de haces y multiplexado espacial. Para la modalidad de multiplexado espacial, el vector de transmisión $\underline{\mathbf{x}}_{up}(k)$ para cada subbanda puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{up}(k) = \underline{\mathbf{F}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (42)}$$

35 donde $\underline{\mathbf{s}}_{up}(k)$ es un vector de datos con hasta N_s símbolos a transmitir en los N_s automodos de la subbanda k ;

$\underline{\mathbf{F}}_{ut}(k)$ sustituye a $\underline{\mathbf{V}}(k)$ en la ecuación (15), y el ajuste a escala de la señal por $\underline{\mathbf{G}}(k)$ para lograr la inversión de canal se omite en la ecuación (42) para simplificar; y

40 $\underline{\mathbf{x}}_{up}(k)$ es el vector de transmisión para el enlace ascendente para la subbanda k .

[0324] En el punto de acceso, el vector recibido $\underline{\mathbf{r}}_{up}(k)$ para la transmisión de enlace ascendente se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_{up}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{up}(k) \underline{\mathbf{x}}_{up}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k), \text{ para } k \in K, \text{ Ec. (43)} \\ &= \underline{\mathbf{H}}_{up}(k) \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ut}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \\ &\approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \\ &= \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^H(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \\ &= \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \end{aligned}$$

45 donde $\underline{\mathbf{r}}_{up}(k)$ es el vector recibido para la subbanda k de enlace ascendente; y

$\underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$ es ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) para la subbanda k .

50 La ecuación (43) usa las siguientes relaciones: $\underline{\mathbf{H}}_{up}(k) \underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{cup}(k) \approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)$ y $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k) = \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^H(k)$.

Como se muestra en la ecuación (43), en el punto de acceso, la transmisión de enlace ascendente recibida es transformada por $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)\Sigma(k)$, que es la matriz $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ de autovectores izquierdos de $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ ajustada a escala por la matriz diagonal $\Sigma(k)$ de valores singulares.

5

[0325] El terminal de usuario transmite una referencia guiada en el enlace ascendente utilizando la matriz $\mathbf{F}_{ut}(k)$. La referencia guiada es una transmisión piloto en un automodo de banda ancha que utiliza ya sea guía de haces o formación de haces, y se describe en detalle a continuación. En el punto de acceso, la referencia guiada recibida de enlace ascendente (en ausencia de ruido) es aproximadamente $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)\Sigma(k)$. De este modo, el punto de acceso puede obtener una estimación de la matriz unitaria $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ y la matriz diagonal $\Sigma(k)$ en función de la referencia guiada enviada por el terminal de usuario. Se pueden usar varias técnicas de estimación para obtener la estimación de las matrices unitarias y diagonales.

10

[0326] En un modo de realización, para obtener una estimación de $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$, el vector recibido $\mathbf{r}_m(k)$ para la referencia guiada para la subbanda k del automodo de banda ancha m se multiplica primero con el conjugado complejo de un símbolo de OFDM piloto, $p^*(k)$, enviado para la referencia guiada. La generación de la referencia guiada y el símbolo de OFDM piloto se describen en detalle a continuación. El resultado se integra luego sobre múltiples símbolos recibidos de referencia guiados, para cada automodo de banda ancha, para obtener una estimación de $\hat{\mathbf{u}}_m(k)\sigma_m(k)$, que es un autovector izquierdo escalado de $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ para el automodo de banda ancha m . Dado que los autovectores tienen potencia unitaria, los valores singulares (o $\sigma_m(k)$) en $\Sigma(k)$ puede estimarse basándose en la potencia recibida de la referencia guiada, que se puede medir para cada subbanda de cada automodo de banda ancha.

15

20

[0327] En otro modo de realización, se usa una técnica de MMSE para obtener una estimación de $\hat{\mathbf{u}}_m(k)$ basándose en el vector recibido $\mathbf{r}_m(k)$ para la referencia guiada.

25

[0328] La referencia guiada se puede enviar para un automodo de banda ancha en cualquier período de símbolos dado y, a su vez, se puede usar para obtener una estimación de un autovector para cada subbanda de ese automodo de banda ancha. Por lo tanto, el receptor puede obtener una estimación de un autovector en una matriz unitaria para cualquier período de símbolos dado. Dado que las estimaciones de múltiples autovectores para la matriz unitaria se obtienen en diferentes períodos de símbolos, y debido al ruido y otras fuentes de degradación en el trayecto de transmisión, los autovectores estimados para la matriz unitaria probablemente no sean ortogonales. Si los autovectores estimados se utilizan posteriormente para el procesamiento espacial de la transmisión de datos en el otro enlace, entonces cualquier error en ortogonalidad en estos autovectores estimados resultaría en interferencias entre los automodos, lo que puede degradar el rendimiento.

30

35

[0329] En un modo de realización, los autovectores estimados para cada matriz unitaria se fuerzan a ser ortogonales entre sí. La ortogonalización de los autovectores se puede lograr utilizando diversas técnicas, como la factorización QR, el cálculo del error cuadrático mínimo, la descomposición polar, etc. La factorización QR descompone una matriz \mathbf{M}^T (con columnas no ortogonales) en una matriz ortogonal \mathbf{Q}_F y una matriz triangular superior \mathbf{R}_F . La matriz \mathbf{Q}_F forma una base ortogonal para las columnas de \mathbf{M}^T . Los elementos diagonales de \mathbf{R}_F dan la longitud de los componentes de las columnas de \mathbf{M}^T en las direcciones de las columnas respectivas de \mathbf{Q}_F . La matriz \mathbf{Q}_F puede utilizarse para el procesamiento espacial en el enlace descendente. Las matrices \mathbf{Q}_F y \mathbf{R}_F pueden usarse para obtener una matriz de filtro adaptada mejorada para el enlace ascendente. La factorización QR se puede realizar mediante varios procedimientos, incluido un procedimiento de Gram-Schmidt, una transformación de dueño de casa, y así sucesivamente.

40

45

[0330] También se pueden usar otras técnicas para estimar las matrices unitarias y diagonales basadas en la referencia guiada, y esto está dentro del alcance de la invención.

50

[0331] De este modo, el punto de acceso puede estimar tanto $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ como $\Sigma(k)$ basándose en la referencia guiada enviada por el terminal de usuario, sin tener que realizar una descomposición en valores singulares en $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$.

55

[0332] Una matriz de filtro adaptada normalizada $\mathbf{M}_{ap}(k)$ para la transmisión de enlace ascendente desde el terminal de usuario puede expresarse como:

$$\mathbf{M}_{ap}(k) = \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^H(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (44)}$$

El filtrado adaptado en el punto de acceso para la transmisión de enlace ascendente se puede expresar como:

60

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_{up}(k) &= \mathbf{M}_{ap}(k) \mathbf{r}_{up}(k) \\ &= \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^H(k) (\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k) \hat{\Sigma}(k) \mathbf{s}_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k)) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (45)} \\ &= \mathbf{s}_{up}(k) + \tilde{\mathbf{n}}_{up}(k) \end{aligned}$$

donde $\hat{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$ es una estimación del vector de los símbolos de modulación $\mathbf{s}_{\text{up}}(k)$ transmitidos por el terminal de usuario para la modalidad de multiplexado espacial. Para la modalidad de guía de haces, solo se usa una fila de la matriz $\mathbf{M}_{\text{ap}}(k)$ para proporcionar una estimación de símbolo $\hat{s}(k)$ para el automodo usado para la transmisión de datos.

2. Procesamiento espacial de enlace descendente

[0333] Para el enlace descendente, el punto de acceso utiliza una matriz $\mathbf{F}_{\text{ap}}(k)$ de tamaño $(N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}})$ para el procesamiento espacial. Esta matriz puede expresarse como:

$$\mathbf{F}_{\text{ap}}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (46)}$$

El terminal de usuario obtiene la matriz de corrección $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ y la envía de vuelta al punto de acceso durante la calibración. La matriz $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ se puede obtener basándose en la referencia guiada enviada por el terminal de usuario en el enlace ascendente.

[0334] Para la modalidad de multiplexado espacial, el vector de transmisión $\mathbf{x}_{\text{dn}}(k)$ para el enlace descendente para cada subbanda de datos se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{\text{dn}}(k) = \mathbf{F}_{\text{ap}}(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (47)}$$

donde $\mathbf{x}_{\text{dn}}(k)$ es el vector de transmisión, $\mathbf{s}_{\text{dn}}(k)$ es el vector de datos para el enlace descendente, y el ajuste a escala de la señal por $\mathbf{G}(k)$, para lograr la inversión de canal, se omite nuevamente para simplificar.

[0335] En el terminal de usuario, el vector recibido $\mathbf{r}_{\text{dn}}(k)$ para la transmisión del enlace descendente se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\text{dn}}(k) &= \mathbf{H}_{\text{dn}}(k) \mathbf{x}_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k) \\ &= \mathbf{H}_{\text{dn}}(k) \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k) \\ &\approx \hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k) \\ &= \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\mathbf{\Sigma}}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k) \\ &= \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\mathbf{\Sigma}}(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k) \end{aligned} \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (48)}$$

Como se muestra en la ecuación (48), en el terminal de usuario, la transmisión de enlace descendente recibida se transforma mediante $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$, que es la matriz $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ de autovectores izquierdos de $\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k)$, ajustada a escala por la matriz diagonal $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ de valores singulares.

[0336] Una matriz de filtro adaptada normalizada $\mathbf{M}_{\text{ut}}(k)$ para la transmisión de enlace descendente desde el punto de acceso se puede expresar como:

$$\mathbf{M}_{\text{ut}}(k) = \hat{\mathbf{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (49)}$$

El terminal del usuario puede obtener la matriz diagonal $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ y la matriz $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ de autovectores izquierdos realizando una descomposición en valores singulares en la estimación calibrada de respuesta de canal de enlace descendente $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, como se ha descrito anteriormente.

[0337] El filtrado adaptado en el terminal de usuario para la transmisión de enlace descendente se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k) &= \mathbf{M}_{\text{ut}}(k) \mathbf{r}_{\text{dn}}(k) \\ &= \hat{\mathbf{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k) (\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\mathbf{\Sigma}}(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k)) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (50)} \\ &= \mathbf{s}_{\text{dn}}(k) + \hat{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k) \end{aligned}$$

3. Procesamiento espacial de punto de acceso y terminal de usuario

[0338] Debido al canal recíproco para el sistema de TDD y la calibración, el procesamiento espacial, tanto en el punto de acceso como en el terminal de usuario, puede simplificarse. La Tabla 32 resume el procesamiento espacial en el punto de acceso y el terminal de usuario para la transmisión y recepción de datos.

Tabla 32

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

El procesamiento espacial para la recepción de datos también se conoce comúnmente como filtrado apareado.

[0339] Debido al canal recíproco, $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ es la matriz tanto de autovectores derechos de $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ (para transmitir) como de autovectores izquierdos de $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ (para recibir) para el terminal de usuario. De manera similar, $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ es la matriz tanto de autovectores derechos de $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$ (para transmitir) como de autovectores izquierdos de $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$ (para recibir) para el punto de acceso. La descomposición en valores singulares solo necesita ser realizada por el terminal de usuario para la estimación calibrada de respuesta de canal descendente $\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$, para obtener $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ y $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$. El punto de acceso puede obtener $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ y $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ en función de la referencia guiada enviada por el terminal de usuario y no necesita realizar la descomposición en valores singulares en la estimación de respuesta de canal de enlace ascendente $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$. El punto de acceso y el terminal de usuario pueden tener diferentes versiones de la matriz $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$, debido a los diferentes medios utilizados por el punto de acceso y el terminal de usuario para obtener $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$. Además, la matriz $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ obtenida por el punto de acceso basándose en la referencia guiada es habitualmente diferente a la matriz $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ obtenida por el terminal de usuario utilizando la descomposición en valores singulares. Para simplificar, estas diferencias no se muestran en la obtención anterior.

4. Guía de haces

[0340] Para ciertas condiciones de canal, es mejor transmitir datos solamente en un automodo de banda ancha, habitualmente, el mejor, o el principal, automodo de banda ancha. Este puede ser el caso si las SNR recibidas para todos los otros automodos de banda ancha son lo suficientemente malas como para que se consiga un rendimiento mejorado utilizando toda la potencia de transmisión disponible en el automodo principal de banda ancha.

[0341] La transmisión de datos en un automodo de banda ancha se puede lograr utilizando la formación de haces o la guía de haces. Para la formación de haces, los símbolos de modulación se procesan espacialmente con los autovectores $\hat{\underline{v}}_{ut,1}(k)$ o $\hat{\underline{u}}_{ap,1}(k)$, para $k \in K$, para el principal automodo de banda ancha (es decir, la primera columna de $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ o $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$, después del ordenamiento). Para la guía de haces, los símbolos de modulación se procesan espacialmente con un conjunto de autovectores "normalizados" (o "saturados") $\tilde{\underline{v}}_{ut}(k)$ o $\tilde{\underline{u}}_{ap}(k)$, para $k \in K$, para el principal automodo de banda ancha. Para mayor claridad, la guía de haces se describe a continuación para el enlace ascendente.

[0342] Para el enlace ascendente, los elementos de cada autovector $\hat{\underline{v}}_{ut,1}(k)$, para $k \in K$, para el automodo principal de banda ancha, pueden tener diferentes magnitudes. Por lo tanto, los símbolos precondicionados para cada subbanda, que se obtienen al multiplicar el símbolo de modulación para la subbanda k con los elementos del autovector $\hat{\underline{v}}_{ut,1}(k)$ para la subbanda k , pueden tener diferentes magnitudes. En consecuencia, los vectores de transmisión por antena, cada uno de los cuales incluye los símbolos precondicionados para todas las subbandas de datos para una antena de transmisión dada, pueden tener diferentes magnitudes. Si la potencia de transmisión para cada antena de transmisión es limitada (por ejemplo, debido a las limitaciones de los amplificadores de potencia), entonces es posible que la formación de haces no utilice completamente la potencia total disponible para cada antena.

[0343] La guía de haces utiliza solo la información de fase de los autovectores $\hat{\underline{v}}_{ut,1}(k)$, para $k \in K$, para el automodo principal de banda ancha y normaliza cada autovector de manera que todos los elementos en el autovector tengan magnitudes iguales. El autovector normalizado $\tilde{\underline{v}}_{ut}(k)$ para la subbanda k puede expresarse como:

$$\tilde{\underline{v}}_{ut}(k) = [Ae^{j\theta_1(k)} \quad Ae^{j\theta_2(k)} \quad \dots \quad Ae^{j\theta_{N_{ut}}(k)}]^{-T}, \quad \text{Ec. (51)}$$

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

$\theta_i(k)$ es la fase para la subbanda k de la antena de transmisión i , que se da como:

$$\theta_i(k) = \angle \hat{v}_{ut,1,i}(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{\hat{v}_{ut,1,i}(k)\}}{\text{Re}\{\hat{v}_{ut,1,i}(k)\}} \right). \quad \text{Ec. (52)}$$

Como se muestra en la ecuación (52), la fase de cada elemento en el vector $\hat{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ se obtiene del elemento correspondiente del autovector $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ (es decir, $\theta_i(k)$ se obtiene de $v_{ut,1,i}(k)$, donde $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k) = [v_{ut,1,1}(k) v_{ut,1,2}(k) \dots v_{ut,1,N_{ut}}(k)]^T$).

5. Guía de haces de enlace ascendente

[0344] El procesamiento espacial realizado por el terminal de usuario para la guía de haces en el enlace ascendente se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut} \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) s_{up}(k), \quad k \in K, \quad \text{Ec. (53)}$$

donde $s_{up}(k)$ es el símbolo de modulación a transmitir en la subbanda k ; y

$\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$ es el vector de transmisión para la subbanda k para la guía de haces.

Como se muestra en la ecuación (53), los N_{ut} elementos del vector de guía normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ para cada subbanda tienen igual magnitud pero fases posiblemente diferentes. Por lo tanto, la guía de haces genera un vector de transmisión $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$ para cada subbanda, con los N_{ut} elementos de $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$ que tienen la misma magnitud pero fases posiblemente diferentes.

[0345] La transmisión de enlace ascendente recibida en el punto de acceso para la guía de haces puede expresarse como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{up}(k) &= \mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k), \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec. (54)} \\ &= \mathbf{H}_{cup}(k) \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\ &= \mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \end{aligned}$$

donde $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k)$ es el vector recibido para el enlace ascendente para la subbanda k para la guía de haces.

[0346] Un vector de fila de filtro adaptado $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$ para la transmisión de enlace ascendente que utiliza guía de haces puede expresarse como:

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k) = (\mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H, \quad \text{para } k \in K. \quad \text{Ec. (55)}$$

El vector de filtro adaptado $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$ se puede obtener como se describe a continuación. El procesamiento espacial (o filtrado adaptado) en el punto de acceso para la transmisión de enlace ascendente recibida con guía de haces se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{up}(k) &= \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k) \tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k) \tilde{\mathbf{r}}_{up}(k) \\ &= \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k) (\mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H (\mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k)), \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec. (56)} \\ &= s_{up}(k) + \tilde{n}_{up}(k) \end{aligned}$$

donde $\tilde{\lambda}_{up}(k) = (\mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H (\mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))$ (es decir, $\tilde{\lambda}_{up}(k)$ es el producto interno de $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$ y su traspuesta conjugada),

$\hat{s}_{up}(k)$ es una estimación del símbolo de modulación $s_{up}(k)$ transmitido por el terminal de usuario en el enlace ascendente, y

$\tilde{n}_{up}(k)$ es el ruido pos-procesado.

6. Guía de haces de enlace descendente

[0347] El procesamiento espacial realizado por el punto de acceso para la guía de haces en el enlace descendente se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) s_{dn}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (57)}$$

donde $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ es el autovector normalizado para la subbanda k , que se genera basándose en el autovector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k)$, para el automodo principal de banda ancha, similar al descrito anteriormente para el enlace ascendente.

[0348] Un vector de fila de filtro adaptado $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ para la transmisión de enlace descendente que utiliza la guía de haces se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k) = (\mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))^H, \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (58)}$$

El procesamiento espacial (o filtrado adaptado) en el terminal de usuario para la transmisión de enlace descendente recibida se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{dn}(k) &= \tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k) \tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{E}}_{dn}(k) \\ &= \tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k) (\mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))^H (\mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) s_{up}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k)) \\ &= s_{dn}(k) + \tilde{n}_{dn}(k) \end{aligned}, \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (59)}$$

donde $\tilde{\lambda}_{dn}(k) = (\mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))^H (\mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))$ (es decir, $\tilde{\lambda}_{dn}(k)$ es el producto interno de $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ y su traspuesta conjugada).

7. Procesamiento espacial con inversión de canal

[0349] Para el enlace ascendente, el terminal de usuario puede obtener el vector de transmisión $\mathbf{x}_{up}(k)$ para la modalidad de multiplexado espacial como:

$$\mathbf{x}_{up}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut}(k) \mathbf{G}(k) \mathbf{s}_{up}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (60)}$$

donde $\mathbf{G}(k)$ es una matriz diagonal de ganancias para la inversión de canal descrita anteriormente. La ecuación (60) es similar a la ecuación (15), excepto que $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ se usa en lugar de $\mathbf{v}_{ut}(k)$. Los elementos de $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ se proporcionan a los multiplicadores 952 dentro de los formadores de haces 950 en la figura 9B.

[0350] Para el enlace ascendente, el terminal de usuario puede obtener el vector de transmisión $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$ para la modalidad de guía de haces como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) \tilde{g}(k) s_{up}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (61)}$$

donde $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ es un vector con cuatro elementos que tienen igual magnitud pero fases obtenidas en función del autovector $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ para el automodo principal. El vector $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ puede obtenerse de manera similar a la mostrada anteriormente en las ecuaciones (16) y (17). La ganancia $\tilde{g}(k)$ logra la inversión del canal y puede obtenerse de manera similar a la mostrada anteriormente en las ecuaciones (18) a (20), excepto que $\tilde{\lambda}_1(k) = \tilde{\mathbf{v}}_{ut}^H(k) \hat{\mathbf{H}}_{cup}^H(k) \hat{\mathbf{H}}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ se utiliza para la ecuación (20). Los elementos de $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ se proporcionan a los multiplicadores 1052 dentro de la unidad de guía de haces 1050 en la figura 10B.

[0351] Para el enlace descendente, el vector de transmisión $\mathbf{x}_{dn}(k)$ para la modalidad de multiplexado espacial puede ser obtenido por el punto de acceso como:

$$\mathbf{x}_{dn}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap}^*(k) \mathbf{G}(k) \mathbf{s}_{dn}(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (62)}$$

La ecuación (62) es similar a la ecuación (15), excepto que se utiliza $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap}^*(k)$ en lugar de $\mathbf{v}_{ut}(k)$. Los elementos de $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap}^*(k)$ pueden proporcionarse a los multiplicadores 952 dentro de los formadores de haces 950 en la figura 9B.

[0352] Para el enlace descendente, el vector de transmisión $\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k)$ para la modalidad de guía de haces puede ser obtenido por el punto de acceso como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) \tilde{g}(k) s_{dn}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec. (63)}$$

donde $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ es un vector con cuatro elementos que tienen igual magnitud pero fases obtenidas en función del autovector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$ para el automodo principal. La ganancia $\tilde{g}(k)$ logra la inversión de canal y se puede obtener de manera similar a la que se muestra anteriormente en las ecuaciones (18) a (20), excepto que se utiliza $\tilde{\lambda}_1(k) = \tilde{\mathbf{u}}_{ap}^H(k) \hat{\mathbf{H}}_{cdn}^H(k) \hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ para la ecuación (20). Los elementos de $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ se proporcionan a los multiplicadores 1052 dentro de la unidad de guía de haces 1050 en la figura 10B.

VIII. Estructura piloto

[0353] Se proporciona una estructura piloto para el sistema de WLAN de MIMO, para permitir que los puntos de acceso y los terminales de usuario realicen la adquisición de temporización y frecuencia, la estimación de canales y otras funciones necesarias para el funcionamiento correcto del sistema. La Tabla 33 enumera cuatro tipos de señal piloto y su breve descripción para una estructura piloto ejemplar. También se pueden usar menos tipos, tipos diferentes y / o adicionales de señal piloto para la estructura piloto.

Tabla 33 - Tipos de señal piloto

Tipo de señal piloto	Descripción
Señal piloto de baliza	Una señal piloto transmitida desde todas las antenas de transmisión y utilizada para la adquisición de temporización y frecuencia.
Señal Piloto de MIMO	Una señal piloto transmitida desde todas las antenas de transmisión con diferentes códigos ortogonales y utilizada para la estimación de canal.
Referencia guiada o señal piloto guiada	Una señal piloto transmitida en automodos específicos de un canal de MIMO para un terminal de usuario específico y utilizada para la estimación de canal y, posiblemente, el control de velocidad.
Señal piloto portadora	Una señal piloto utilizada para el rastreo de fase de una señal portadora.

Referencia guiada y señal piloto guiada son términos sinónimos.

[0354] En un modo de realización, la estructura de señales piloto incluye (1) para el enlace descendente: una señal piloto de baliza, una señal piloto de MIMO, una referencia guiada y una señal piloto portadora transmitida por el punto de acceso y (2) para el enlace ascendente: una señal piloto de MIMO, una referencia guiada y una señal piloto portadora transmitida por los terminales de usuario.

[0355] La señal piloto de baliza de enlace descendente y la señal piloto de MIMO se envían en el BCH (como se muestra en la Figura 5A) en cada trama de TDD. La señal piloto de baliza puede ser utilizada por los terminales de usuario para la adquisición de temporización y frecuencia y la estimación de Doppler. La señal piloto de MIMO puede ser utilizada por los terminales de usuario para (1) obtener una estimación del canal de MIMO de enlace descendente, (2) obtener los vectores de guía para la transmisión de enlace ascendente (si se presta soporte a la modalidad de guía de haces o de multiplexado espacial) y (3) obtener un filtro adaptado para la transmisión de enlace descendente. La referencia guiada de enlace descendente también puede ser utilizada por un terminal de usuario especificado para la estimación de canal.

[0356] Cada terminal de usuario activo transmite una referencia guiada de enlace ascendente que da soporte a la modalidad de guía de haces o de multiplexado espacial y puede ser utilizada por el punto de acceso para (1) obtener los vectores de guía para la transmisión de enlace descendente y (2) obtener un filtro adaptado para la transmisión de enlace ascendente. En general, la referencia guiada solo se envía para/por los terminales de usuario que prestan soporte a las modalidades de guía de haces y/o de multiplexado espacial. La referencia enviada funciona independientemente de si se guía correctamente o no (por ejemplo, debido a una mala estimación de canal). Es decir, la referencia se vuelve ortogonal por cada antena de transmisión, ya que la matriz de guía es diagonal.

[0357] Si se calibra un terminal de usuario, entonces puede transmitir una referencia guiada en el automodo principal del RACH utilizando el vector $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut,0}(k)$, para $k \in K$, donde $\hat{\mathbf{v}}_{ut,0}(k)$ es la columna de $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ para el automodo principal. Si el terminal de usuario no está calibrado, entonces puede transmitir una señal piloto en el RACH utilizando un vector $\mathbf{v}_{ut,p}(k) = [e^{j\theta_1(k)} \ e^{j\theta_2(k)} \ \dots \ e^{j\theta_{N_{ut}}(k)}]^T$, para $k \in K$. El vector $\mathbf{v}_{ut,p}(k)$ para cada subbanda incluye N_{ut} coeficientes aleatorios de guía cuyas fases $\theta_i(k)$, para $i \in \{1, 2, \dots, N_{ut}\}$, se pueden seleccionar de acuerdo

a un procedimiento pseudoaleatorio. Dado que solo importan las fases relativas entre los N_{ut} coeficientes de dirección, la fase del primer coeficiente de guía se puede fijar en cero (es decir, $\theta_1(k) = 0$). Las fases de los otros $N_{ut}-1$ coeficientes de guía pueden cambiar para cada intento de acceso, de modo que todos los 360° estén cubiertos por cada coeficiente de guía en intervalos de $360^\circ/N_{\theta i}$, donde $N_{\theta i}$ es una función de N_{ut} . La perturbación de las fases de los N_{ut} elementos del vector de guía $\underline{v}_{ut,p}(k)$ en cada intento del RACH, cuando se usa el RACH en la modalidad de guía de haces antes de la calibración, es para que el terminal de usuario no use un mal vector de guía para todos los intentos de acceso. Una señal piloto de MIMO puede ser enviada para/por terminales de usuario que no presten soporte a modalidades de guía de haces y/o de multiplexado espacial.

[0358] El punto de acceso no tiene conocimiento del canal para ningún terminal de usuario hasta que el terminal de usuario se comunica directamente con el punto de acceso. Cuando un terminal de usuario desea transmitir datos, primero estima el canal basándose en la señal piloto de MIMO transmitida por el punto de acceso. El terminal de usuario envía entonces una referencia guiada en el preámbulo del RACH cuando intenta acceder al sistema. El punto de acceso utiliza la referencia en el preámbulo del RACH para la detección de señal y la estimación de canal.

[0359] Una vez que se ha concedido al terminal de usuario acceso al sistema y se le han asignado recursos de FCH/RCH por parte del punto de acceso, el terminal de usuario envía una referencia (por ejemplo, una señal piloto de MIMO) al comienzo de cada PDU de RCH que transmita. Si el terminal de usuario está utilizando la modalidad de diversidad, entonces la referencia se envía en el RCH sin guía. Si el terminal de usuario está utilizando la modalidad de guía de haces o de multiplexado espacial, entonces se envía una referencia guiada en el RCH para permitir que el punto de acceso determine el autovector para el automodo principal (para la modalidad de guía de haces) o el conjunto de cuatro autovectores (para la modalidad de multiplexado espacial) para cada una de las 48 subbandas de datos. La referencia guiada permite al punto de acceso mejorar su estimación del canal y rastrear el canal.

1. Señal piloto de baliza - enlace descendente

[0360] La señal piloto de baliza de enlace descendente se incluye en la primera parte del BCH (como se muestra en la Figura 5A) y se transmite en cada trama de TDD. La señal piloto de baliza incluye un símbolo de OFDM específico (indicado como "B") que se transmite desde cada una de las cuatro antenas en el punto de acceso. El mismo símbolo B de OFDM se transmite dos veces en la duración de 2 símbolos para la señal piloto de baliza

[0361] En un modo de realización específica, el símbolo B de OFDM comprende un conjunto de 12 símbolos de modulación de BPSK, $b(k)$, para 12 subbandas específicas, que se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34 - Símbolos piloto

Índice de subbanda	Señal piloto de baliza $b(k)$	Señal piloto de MIMO $p(k)$	Índice de subbanda	Señal piloto de baliza $b(k)$	Señal piloto de MIMO $p(k)$	Índice de subbanda	Señal piloto de baliza $b(k)$	Señal piloto de MIMO $p(k)$	Índice de subbanda	Señal piloto de baliza $b(k)$	Señal piloto de MIMO $p(k)$
1	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	$-1+j$	1	0	0
-14	0	$1+j$	0	0	0	14	0	$-1-j$			

[0362] Para el modo de realización de la señal piloto de baliza que se muestra en la Tabla 34, el símbolo B de OFDM comprende (1) el símbolo de modulación de BPSK ($1+j$) para las subbandas -24, -16, -4, 12, 16, 20 y 24, (2) el símbolo de modulación de BPSK ($-1+j$) para las subbandas -20, -12, -8, 4 y 8, y (3) valores de señal de cero para las 52 subbandas restantes. El símbolo B de OFDM está diseñado específicamente para facilitar la adquisición de temporización y frecuencia por los terminales de usuario. También pueden utilizarse otros símbolos de OFDM para la señal piloto de baliza, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

2. Señal piloto de MIMO - enlace descendente

[0363] La señal piloto de MIMO de enlace descendente se incluye en la segunda parte del BCH (como se muestra en la Figura 5A) y también se transmite en cada trama de TDD. La señal piloto de MIMO incluye un símbolo de OFDM específico (indicado como "P") que se transmite desde cada una de las cuatro antenas en el punto de acceso. El mismo símbolo P de OFDM se transmite ocho veces en la duración de 8 símbolos para la señal piloto de MIMO. Sin embargo, los ocho símbolos P de OFDM para cada antena están "cubiertos" con una secuencia diferente de Walsh de 4 chips asignada a esa antena. La cobertura es un proceso mediante el cual una señal piloto dada o un símbolo de datos (o un conjunto de L símbolos de señales piloto / datos con el mismo valor) a transmitir se multiplica por todos los L chips de una secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos cubiertos, que a continuación se transmiten. La decobertura es un proceso complementario a la cobertura y es el proceso mediante el cual los símbolos (piloto) recibidos se multiplican por los L chips de la secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos, que a continuación se acumulan para obtener una estimación de la señal piloto / símbolo de datos transmitidos. La cobertura consigue ortogonalidad entre las N_T transmisiones de señal piloto enviadas desde las N_T antenas de transmisión y permite a los terminales de usuario distinguir las antenas de transmisión individuales. La cobertura puede lograrse con secuencias de Walsh u otras secuencias ortogonales.

[0364] En un modo de realización específica, el símbolo P de OFDM comprende un conjunto de 52 símbolos de modulación de QPSK, $p(k)$, para las 48 subbandas de datos y 4 subbandas piloto, que se muestran en la Tabla 34. Los valores de señal de cero se transmiten en las 12 subbandas restantes. El símbolo P de OFDM comprende una "palabra" única de 52 símbolos de modulación de QPSK, que está diseñada para facilitar la estimación de canal por parte de los terminales de usuario. Esta palabra única también se selecciona para minimizar la variación entre máximo y promedio en la señal piloto de MIMO transmitida. Esto puede entonces reducir la magnitud de la

distorsión y la no linealidad generada por los circuitos del receptor en los terminales del usuario, lo que puede dar como resultado una precisión mejorada para la estimación de canal. Sin embargo, también pueden utilizarse otros símbolos de OFDM para la señal piloto de MIMO, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

- 5 **[0365]** En un modo de realización, a las cuatro antenas en el punto de acceso se asignan secuencias Walsh de 4 chips de $W_1 = 1111$, $W_2 = 1010$, $W_3 = 1100$ y $W_4 = 1001$ para la señal piloto de MIMO. Para una secuencia de Walsh dada, un valor de "1" indica que se transmite un símbolo P de OFDM y un valor de "0" indica que se transmite un símbolo -P de OFDM (es decir, cada uno de los 52 símbolos de modulación en P está invertido).
- 10 **[0366]** La Tabla 35 enumera los símbolos de OFDM a transmitir desde cada una de las cuatro antenas en el punto de acceso para la señal piloto de baliza y la señal piloto de MIMO. Los símbolos B y P de OFDM son como se ha descrito anteriormente.

Tabla 35 - Señales piloto de baliza y de MIMO

15

Señal piloto	Símbolo de OFDM	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Señal piloto de baliza	1	B	B	B	B
	2	B	B	B	B
Señal Piloto de MIMO	3	+P	+P	+P	+P
	4	+P	-P	+P	-P
	5	+P	+P	-P	-P
	6	+P	-P	-P	+P
	7	+P	+P	+P	+P
	8	+P	-P	+P	-P
	9	+P	+P	-P	-P
	10	+P	-P	-P	+P

- 20 **[0367]** El terminal de usuario puede utilizar el piloto de MIMO para estimar la respuesta de canal del enlace descendente. En particular, para recuperar la señal piloto enviada desde la antena i de punto de acceso y recibida por la antena j de terminal de usuario, la señal piloto recibida por la antena j de terminal se multiplica primero con la secuencia de Walsh asignada a la antena i de punto de acceso. Los ocho símbolos de OFDM recuperados para los ocho períodos de símbolos para la señal piloto de MIMO se acumulan luego, donde la acumulación se realiza individualmente para cada una de las 52 subbandas utilizadas para llevar la señal piloto de MIMO. Los resultados de la acumulación son $\hat{h}_{cdn,i}(k)$, para $k=\pm\{1,\dots,26\}$, que es una estimación de la respuesta calibrada de canal de enlace descendente desde la antena i de punto de acceso a la antena j de terminal de usuario para las 52 subbandas de datos y señal piloto.

- 30 **[0368]** El mismo procesamiento de señal piloto puede ser realizado por el punto de acceso para recuperar la señal piloto de cada antena de punto de acceso en cada antena de terminal de usuario. La señal piloto transmitida desde cada antena de punto de acceso puede recuperarse mediante decodificación con la secuencia de Walsh asignada a esa antena. El procesamiento de señal piloto proporciona $N_{ap} \cdot N_{ut}$ valores para cada una de las 52 subbandas, donde N_{ap} indica el número de antenas en el punto de acceso y N_{ut} indica el número de antenas en el terminal de usuario. Los $N_{ap} \cdot N_{ut}$ valores para cada subbanda son los elementos de la estimación calibrada de respuesta de canal de enlace descendente $\hat{H}_{cdn}(k)$ para esa subbanda.

- 35 **[0369]** La señal piloto de MIMO también puede ser transmitida en el enlace ascendente por el terminal de usuario para su calibración y en la modalidad de diversidad. El mismo procesamiento descrito anteriormente para que el terminal de usuario recupere la señal piloto de MIMO enviada por el punto de acceso también puede ser realizado por el punto de acceso para recuperar la señal piloto de MIMO enviada por el terminal de usuario.

40 **3. Referencia Guiada**

- 45 **[0370]** Una referencia guiada se puede transmitir en la parte del preámbulo de una PDU del RACH (como se muestra en la Figura 5C) o una PDU del RCH (como se muestra en las Figuras 5E y 5G) por cada terminal de usuario activo. Una referencia guiada también puede ser transmitida en la parte del preámbulo de una PDU del FCH (como se muestra en las Figuras 5E y 5F) por el punto de acceso a un terminal de usuario activo.

A. Referencia guiada para multiplexado espacial

[0371] La referencia guiada comprende un símbolo de OFDM específico (por ejemplo, el mismo símbolo P de OFDM utilizado para la señal piloto de MIMO) que se transmite desde todas las antenas de transmisión en el terminal del usuario (para el enlace ascendente) o el punto de acceso (para el enlace descendente). Sin embargo, el símbolo P de OFDM para cada período de símbolos se procesa espacialmente (es decir, se forma como haz) con un vector de guía para un automodo.

[0372] El primer símbolo de referencia guiada transmitido por el terminal de usuario en el preámbulo del RACH se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \cdot \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k) \cdot p(k) \quad , \text{ para } k \in K' \quad \text{Ec. (64)}$$

donde $\underline{\mathbf{x}}(k)$ es el vector de transmisión para la subbanda k ;

$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$ es la matriz de corrección para la subbanda k para el terminal de usuario;

$\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k)$ es el vector de guía para la subbanda k del automodo principal de banda ancha;

$p(k)$ es el símbolo piloto para la subbanda k ; y

$K' = \{-32, \dots, 31\}$ es el conjunto de índices para las 64 subbandas.

El vector $\underline{\mathbf{x}}(k)$ incluye cuatro símbolos de transmisión para cada valor de k , que han de transmitirse desde las cuatro antenas en el terminal de usuario. El vector de guía $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k)$ es la primera columna de la matriz $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k)$ de autovectores derechos de la estimación calibrada de respuesta de canal de enlace ascendente $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$, donde $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) = [\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k) \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},2}(k) \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},3}(k) \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},4}(k)]$ y $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},i}(k)$ es la i -ésima columna de $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k)$. Lo anterior supone que los valores singulares en $\Sigma(k)$ y las columnas de $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k)$ están ordenados como se ha descrito anteriormente.

[0373] El segundo símbolo de referencia guiada transmitido por el terminal de usuario en el preámbulo del RACH incluye el indicador de velocidad de datos (DRI) para la PDU del RACH. El DRI indica la velocidad utilizada para el mensaje del RACH enviado en la PDU del RACH. El DRI se integra en el segundo símbolo de referencia guiada correlacionando el DRI con un símbolo de QPSK específico s_{dri} , como se muestra en la Tabla 15. El símbolo s_{dri} se multiplica luego con el símbolo piloto $p(k)$ antes de realizar el procesamiento espacial. El segundo símbolo de referencia guiada para el RACH se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \cdot \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k) \cdot s_{\text{dri}} \cdot p(k) \quad , \text{ para } k \in K' \quad \text{Ec. (65)}$$

Como se muestra en las ecuaciones (64) y (65), solo se usa el autovector $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k)$ para el automodo principal para la referencia guiada para el RACH.

[0374] Un símbolo de referencia guiada, transmitido por el terminal de usuario en el preámbulo del RCH se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{up},\text{sr},m}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \cdot \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},m}(k) \cdot p(k) \quad , \text{ para } k \in K' \quad \text{Ec. (66)}$$

donde $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up},\text{sr},m}(k)$ es el vector de transmisión para la subbanda k del automodo de banda ancha m ; y

$\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},m}(k)$ es el vector de guía para la subbanda k del automodo de banda ancha m (es decir, la m -ésima columna de $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k)$).

[0375] Un símbolo de referencia guiada transmitido por el punto de acceso en el preámbulo del FCH se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn},\text{sr},m}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \cdot \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},m}^*(k) p(k) \quad , \text{ para } k \in K' \quad \text{Ec. (67)}$$

donde $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn},\text{sr},m}(k)$ es el vector de transmisión para la subbanda k del automodo de banda ancha m ;

$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$ es la matriz de corrección para la subbanda k para el punto de acceso; y

$\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},m}^*(k)$ es el vector de guía para la subbanda k del automodo de banda ancha m .

El vector de guía $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},m}(k)$ es la m -ésima columna de la matriz $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k)$ de autovectores derechos de la estimación

calibrada de respuesta de canal descendente $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, donde $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)=[\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1}(k)\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},2}(k)\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},3}(k)\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},4}(k)]$.

[0376] La referencia guiada se puede transmitir de varias maneras. En un modo de realización, se utilizan uno o más autovectores para la referencia guiada para cada trama de TDD, y dependen de la duración de la referencia guiada, lo que se indica mediante los campos de tipo de preámbulo de FCH/RCH en el elemento de información del FCCH. La Tabla 36 enumera los automodos utilizados para el preámbulo para el FCH y el RCH para varios tamaños de preámbulo, para un diseño ejemplar.

Tabla 36

Tipo	Tamaño del preámbulo	automodos utilizados
0	0 símbolos de OFDM	ningún preámbulo
1	1 símbolo de OFDM	automodo m , donde $m = \text{contador de tramas mod } 4$
2	4 símbolos de OFDM	recorrer circularmente los 4 automodos en el preámbulo
3	8 símbolos de OFDM	recorre circularmente los 4 automodos dos veces en el preámbulo

[0377] Como se muestra en la Tabla 36, la referencia guiada se transmite para los cuatro automodos dentro de una sola trama de TDD cuando el tamaño del preámbulo es de cuatro u ocho símbolos de OFDM. La referencia guiada transmitida por el terminal de usuario para el n -ésimo símbolo de OFDM en el preámbulo para el RCH se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{\text{rp},sr,n}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) \cdot \hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},n \bmod 4}(k) \cdot p(k) \quad , \text{ para } k \in K' \text{ y } n = \{1, \dots, L\}, \quad \text{Ec. (68)}$$

donde L es el tamaño del preámbulo, es decir, $L = 4$ para el Tipo 2 y $L = 8$ para el Tipo 3.

[0378] De manera similar, la referencia guiada transmitida por el punto de acceso para el n -ésimo símbolo de OFDM en el preámbulo para el FCH se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{\text{dp},sr,n}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) \cdot \hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},n \bmod 4}^*(k) p(k) \quad , \text{ para } k \in K' \text{ y } n = \{1, \dots, L\}, \quad \text{Ec. (69)}$$

Como se muestra en las ecuaciones (68) y (69), los cuatro automodos se recorren circularmente en cada período de 4 símbolos mediante la operación $(n \bmod 4)$ para el vector de guía. Este esquema se puede usar si el canal cambia más rápidamente y/o durante la primera parte de una conexión cuando se necesita obtener una buena estimación de canal rápidamente para que el sistema funcione correctamente.

[0379] En otro modo de realización, la referencia guiada se transmite para un automodo de banda ancha para cada trama de TDD. La referencia guiada para cuatro automodos de banda ancha puede recorrerse circularmente en cuatro tramas de TDD. Por ejemplo, los vectores de guía $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$, $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},2}(k)$, $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},3}(k)$ y $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},4}(k)$ pueden ser usados para la primera, la segunda, la tercera y la cuarta trama de TDD, respectivamente, por el terminal de usuario. El vector de guía particular a usar puede ser especificado por los 2 LSB del valor del contador de tramas en el mensaje del BCH. Este esquema permite utilizar una parte de preámbulo más corta en la PDU, pero puede requerir un período de tiempo más largo para obtener una buena estimación del canal.

[0380] Para ambas realizaciones descritas anteriormente, la referencia guiada puede transmitirse en los cuatro automodos que pueden usarse para la transmisión de datos, aunque actualmente se usan menos de cuatro automodos (por ejemplo, porque los automodos no utilizados son deficientes y se descartan por el llenado con agua). La transmisión de la referencia guiada en un automodo no utilizado actualmente permite al receptor determinar cuándo el automodo mejora lo suficiente como para ser seleccionado para su uso.

B. Referencia guiada para la guía de haces

[0381] Para la modalidad de guía de haces, el procesamiento espacial en el lado de transmisión se realiza utilizando un conjunto de autovectores normalizados para el automodo principal de banda ancha. La función de transferencia global con un autovector normalizado es diferente a la función de transferencia global con un autovector no normalizado (es decir, $\mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k) \neq \mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$). Una referencia guiada generada usando el conjunto de autovectores normalizados para todas las subbandas puede ser enviada luego por el transmisor y utilizada por el receptor para obtener los vectores de filtro adaptados para estas subbandas, para la modalidad de guía de haces.

[0382] Para el enlace ascendente, la referencia guiada para la modalidad de guía de haces se puede expresar

como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{\text{up,sr}}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (70)}$$

5 En el punto de acceso, la referencia guiada del enlace ascendente de recepción para la modalidad de guía de haces se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{\text{up,sr}}(k) &= \mathbf{H}_{\text{up}}(k)\tilde{\mathbf{x}}_{\text{up,sr}}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec. (71)} \\ &= \mathbf{H}_{\text{up}}(k)\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \\ &= \mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \end{aligned}$$

10 **[0383]** Para obtener el vector de fila de filtro adaptado $\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ap}}(k)$ para la transmisión de enlace ascendente con guía de haces, el vector recibido $\tilde{\mathbf{r}}_{\text{up,sr}}(k)$ para la referencia guiada primero se multiplica con $p^*(k)$. El resultado se integra luego sobre múltiples símbolos de referencia guiados recibidos, para formar una estimación de $\mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$. El vector $\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ap}}(k)$ es entonces la traspuesta conjugada de esta estimación.

15 **[0384]** Mientras funciona en la modalidad de guía de haces, el terminal de usuario puede transmitir múltiples símbolos de referencia guiada, por ejemplo, uno o más símbolos usando el autovector normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$, uno o más símbolos usando el autovector $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$ para el automodo principal de banda ancha, y posiblemente uno o más símbolos utilizando los autovectores para los otros automodos de banda ancha. Los símbolos de referencia guiados generados con $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ pueden ser utilizados por el punto de acceso para obtener el vector de filtro adaptado $\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ap}}(k)$.
 20 Los símbolos de referencia guiados generados con $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$ se pueden usar para obtener $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1}(k)$, que luego se pueden usar para obtener el autovector normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ que se usa para la guía de haces en el enlace descendente. Los símbolos de referencia guiados, generados con los autovectores $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut},2}(k)$ a $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut},NS}(k)$ para los otros automodos, pueden ser utilizados por el punto de acceso para obtener $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},2}(k)$ a $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},NS}(k)$ y los valores singulares para estos otros automodos. Esta información puede ser utilizada luego por el punto de acceso para determinar si se usa la modalidad de multiplexado espacial o la modalidad de guía de haces para la transmisión de datos.
 25

[0385] Para el enlace descendente, el terminal de usuario puede obtener el vector de filtro adaptado $\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ut}}(k)$ para la modalidad de guía de haces basándose en la estimación calibrada de respuesta de canal de enlace descendente $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$. En particular, el terminal de usuario tiene $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1}(k)$ a partir de la descomposición en valores singulares de $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ y puede obtener el autovector normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$. El terminal de usuario puede entonces multiplicar $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ con $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ para obtener $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$, y luego puede obtener $\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ut}}(k)$ basándose en $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$. Alternativamente, una referencia guiada puede ser enviada por el punto de acceso utilizando el autovector normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$, y esta referencia guiada puede ser procesada por el terminal de usuario de la manera descrita anteriormente para obtener $\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ut}}(k)$.
 30
 35

4. Señal piloto portadora - Enlace ascendente

[0386] La estructura de subbanda de OFDM descrita en este documento incluye cuatro subbandas piloto con índices de -21, -7, 7 y 21. En un modo de realización, una señal piloto portadora se transmite en las cuatro subbandas piloto en todos los símbolos de OFDM que no forman parte de un preámbulo. El receptor puede utilizar la señal piloto portadora para rastrear los cambios de fase debidos a las desviaciones en los osciladores, tanto en el transmisor como en el receptor. Esto puede proporcionar un mejor rendimiento de demodulación de datos.
 40

[0387] La señal piloto portadora comprende cuatro secuencias piloto, $P_{c1}(n)$, $P_{c2}(n)$, $P_{c3}(n)$, y $P_{c4}(n)$, que se transmiten en las cuatro subbandas piloto. Las secuencias piloto se pueden definir como:
 45

$$P_{c1}(n) = P_{c2}(n) = P_{c3}(n) = -P_{c4}(n) \quad , \text{ para } n = \{1, 2, \dots, 127\}, \quad \text{Ec. (72)}$$

donde n es un índice para el período de símbolos de OFDM.
 50

[0388] Las secuencias piloto pueden definirse basándose en varias secuencias de datos. En un modo de realización, la secuencia piloto $P_{c1}(n)$ se genera en base a un polinomio $G(x)=x^7+x^4+x$, donde el estado inicial se establece en todos unos y los bits de salida se correlacionan con valores de señal de la siguiente manera: $1 \Rightarrow -1$ y $0 \Rightarrow 1$. La secuencia piloto $P_{c1}(n)$, para $n = \{1, 2, \dots, 127\}$, puede entonces expresarse como:
 55

$$P_{c1}(n) = \{1,1,1,1,-1,-1,-1,1,-1,-1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,1, \\ 1,1,-1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,-1,1,1,-1,-1,1,-1,-1,1,1,1,1,-1,-1,1,1, \\ -1,-1,1,-1,1,-1,1,1,-1,-1,-1,1,1,-1,-1,-1,1,-1,1,1,1,-1,1,-1,1,-1,1, \\ -1,-1,-1,-1,-1,1,-1,1,-1,1,1,-1,1,-1,-1,-1,1,1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1\}.$$

Los valores de "1" y "-1" en la secuencia piloto $P_{c1}(n)$ pueden correlacionarse con símbolos piloto utilizando un esquema de modulación particular. Por ejemplo, utilizando BPSK, se puede correlacionar un "1" con $1+j$ y un "-1" se puede correlacionar con $-(1+j)$. Si hay más de 127 símbolos de OFDM, entonces la secuencia piloto se puede repetir de manera que $P_{c1}(n) = P_{c1}(n \bmod 127)$ para $n > 127$.

[0389] En un modo de realización, las cuatro secuencias piloto se reinician para cada canal de transporte. Por lo tanto, en el enlace descendente, las secuencias piloto se reinician para el primer símbolo de OFDM del mensaje del BCH, se reinician nuevamente para el primer símbolo de OFDM del mensaje del FCCH y se reinician para el primer símbolo de OFDM enviado en el FCH. En otro modo de realización, las secuencias piloto se reinician al comienzo de cada trama de TDD y se repiten tantas veces como sea necesario. Para esta realización, las secuencias piloto pueden detenerse durante las partes del preámbulo del BCH y el FCH.

[0390] En el modalidad de diversidad, las cuatro secuencias piloto se correlacionan con cuatro pares de subbanda/antena, como se muestra en la Tabla 29. En particular, $P_{c1}(n)$ se usa para la subbanda -21 de la antena 1, $P_{c2}(n)$ se usa para la subbanda -7 de la antena 2, $P_{c3}(n)$ se usa para la subbanda 7 de la antena 3 y $P_{c4}(n)$ se utiliza para la subbanda 21 de la antena 4. Cada secuencia piloto se transmite entonces en la subbanda y la antena asociadas.

[0391] En la modalidad de multiplexado espacial, las cuatro secuencias piloto se transmiten en el automodo principal de sus respectivas subbandas. El procesamiento espacial para los símbolos piloto de portadora es similar al realizado para los símbolos de modulación, como se ha descrito anteriormente. En la modalidad de guía de haces, las cuatro secuencias piloto se transmiten en sus respectivas subbandas utilizando la guía de haces. La guía de haces para los símbolos piloto de portadora también es similar a la que se realiza para los símbolos de modulación.

[0392] Una estructura piloto específica se ha descrito anteriormente para el sistema de WLAN de MIMO. También pueden utilizarse otras estructuras piloto para el sistema, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

IX. Funcionamiento del sistema

[0393] La **figura 12A** muestra un modo de realización específico de un diagrama de estados 1200 para el funcionamiento de un terminal de usuario. Este diagrama de estados incluye cuatro estados: un estado *inicial* 1210, un estado *durmiente* 1220, un estado de *acceso* 1230 y un estado *conectado* 1240. Cada uno de los estados 1210, 1220, 1230 y 1240 puede estar asociado a una serie de subestados (que no se muestran en la Figura 12A para simplificar).

[0394] En el estado *inicial*, el terminal de usuario adquiere la frecuencia y la temporización del sistema y obtiene los parámetros del sistema enviados en el BCH. En el estado *inicial*, el terminal de usuario puede realizar las siguientes funciones:

- Determinación del sistema: el terminal de usuario determina en qué frecuencia de la portadora adquirir el sistema.
- Adquisición de frecuencia/temporización: el terminal de usuario adquiere la señal piloto de baliza y ajusta su frecuencia y temporización en consecuencia.
- Adquisición de parámetros: el terminal de usuario procesa el BCH para obtener los parámetros del sistema asociados al punto de acceso desde el que se recibe la señal de enlace descendente.

Al completar las funciones requeridas para el estado *Inicial*, el terminal de usuario pasa al estado *Durmiente*.

[0395] En el estado *Durmiente*, el terminal de usuario supervisa periódicamente el BCH en busca de parámetros del sistema actualizados, indicaciones de páginas y mensajes de difusión que se envían en el enlace descendente, etc. No se asignan recursos de radio al terminal de usuario en este estado. En el estado *Durmiente*, el terminal de usuario puede realizar las siguientes funciones:

- Si se justifica un registro, el terminal de usuario entra en el estado de *acceso* con una solicitud de registro.
- Si la calibración del transmisor/receptor está justificada, el terminal de usuario ingresa al estado de *acceso* con

una solicitud de calibración.

- 5 • El terminal de usuario monitorea el BCH en busca de una indicación de páginas y mensajes de difusión enviados en el FCH.
- Si el terminal de usuario tiene datos para enviar en el enlace ascendente, ingresa al estado de *Acceso* con una solicitud de recursos
- 10 • El terminal de usuario realiza procedimientos de mantenimiento, como actualizar los parámetros del sistema y rastrear el canal.
- El terminal de usuario puede ingresar a una modalidad de funcionamiento con intervalos para ahorrar energía, si el terminal de usuario 4 presta soporte a esta modalidad.
- 15 Si el terminal de usuario desea recursos de radio desde el punto de acceso para cualquier tarea, pasa al estado de *Acceso*. Por ejemplo, el terminal de usuario puede pasar al estado de *Acceso* en respuesta a una página o un indicador de DST que se envía en el mensaje del BCH, para el registro o la solicitud de calibración, o para solicitar recursos dedicados.
- 20 **[0396]** En el estado de *Acceso*, el terminal de usuario está en proceso de acceder al sistema. El terminal de usuario puede enviar mensajes cortos y/o solicitudes de recursos de FCH/RCH utilizando el RACH. El funcionamiento en el RACH se describe en más detalle a continuación. Si el terminal de usuario es liberado por el punto de acceso, entonces vuelve a pasar al estado *Durmiente*. Si al terminal de usuario se asignan recursos para el enlace descendente y/o el enlace ascendente, entonces pasa al estado *Conectado*.
- 25 **[0397]** En el estado *Conectado*, al terminal de usuario se asignan los recursos de FCH/RCH, aunque no necesariamente para cada trama de TDD. El terminal de usuario puede usar activamente los recursos asignados o puede estar inactivo (mientras se mantiene la conexión) en el estado *Conectado*. El terminal de usuario permanece en el estado *Conectado* hasta que sea liberado por el punto de acceso o si agota su tiempo de espera después de que no haya ninguna actividad durante un período de tiempo de espera determinado, en cuyo caso vuelve a pasar al estado *Durmiente*.
- 30 **[0398]** Mientras está en el estado *Durmiente*, *Acceso* o *Conectado*, el terminal de usuario vuelve a pasar al estado *Inicial* si se apaga o si se interrumpe la conexión.
- 35 **[0399]** La **figura 12B** muestra un modo de realización específico de un diagrama de estados para el estado *Conectado* 1240. En esta realización, el estado *Conectado* incluye tres subestados: un subestado de *configuración* 1260, un subestado *abierto* 1270 y un subestado *inactivo* 1280. El terminal de usuario ingresa al subestado de *configuración* al recibir una asignación en el FCCH.
- 40 **[0400]** En el subestado de *configuración*, el terminal de usuario está en el proceso de configurar la conexión y aún no está intercambiando datos. La configuración de la conexión puede incluir la estimación de canal para el punto de acceso, la determinación de la velocidad, la negociación del servicio, etc. Al entrar en el subestado de *configuración*, el terminal de usuario establece un temporizador para un período de tiempo especificado. Si el temporizador se agota antes de que el terminal de usuario abandone este subestado, entonces vuelve a pasar al estado *Durmiente*. El terminal de usuario realiza la transición al subestado *abierto* al finalizar la configuración de la conexión.
- 45 **[0401]** En el subestado *abierto*, el terminal de usuario y el punto de acceso intercambian datos en el enlace descendente y/o el enlace ascendente. Mientras se encuentra en el subestado *Abierto*, el terminal de usuario supervisa el BCH en busca de parámetros del sistema y de la indicación de los mensajes de página/difusión. Si un mensaje del BCH no se puede decodificar correctamente dentro de un número especificado de tramas de TDD, entonces el terminal de usuario vuelve a pasar al estado *inicial*.
- 50 **[0402]** El terminal de usuario también supervisa el FCCH en busca de la asignación de canales, el control de velocidad, el control de temporización del RCH e información de control de potencia. El terminal de usuario estima la SNR recibida utilizando la señal piloto de baliza del BCH y el preámbulo del FCH y determina la velocidad máxima que se puede mantener de manera fiable en el FCH.
- 55 **[0403]** Las asignaciones de FCH y RCH para el terminal de usuario para cada trama de TDD están dadas por los elementos de información en la PDU del FCCH, transmitida en la trama de TDD actual (o posiblemente anterior). El terminal de usuario no puede asignarse para la transmisión de datos en el FCH y/o RCH para ninguna trama de TDD dada. Para cada trama de TDD en la que el terminal de usuario no está planificado para la transmisión de datos, no recibe una PDU del FCH en el enlace descendente y no transmite en el enlace ascendente.
- 60 **[0404]** Para cada trama de TDD en la que esté planificado el terminal de usuario, las transmisiones de datos en
- 65

el enlace descendente y/o el enlace ascendente se realizan utilizando la velocidad, la modalidad de transmisión y el desplazamiento de temporización del RCH (para el enlace ascendente) indicados en las asignaciones del FCCH (es decir, los elementos de información del FCCH dirigidos al terminal de usuario). El terminal de usuario recibe, demodula y decodifica las PDU del FCH que se le envían. El terminal de usuario también transmite las PDU del RCH, que incluyen el preámbulo y el indicador de velocidad de datos del FCH. El terminal de usuario ajusta la velocidad utilizada en el RCH de acuerdo a la información de control de velocidad contenida en la asignación del FCCH. Si se está aplicando el control de potencia para la transmisión de enlace ascendente, el terminal de usuario ajusta su potencia de transmisión en función de los comandos de control de potencia incluidos en la asignación del FCCH. El intercambio de datos puede ser discontinuo, en cuyo caso el terminal de usuario puede ingresar al subestado *inactivo* toda vez que no se intercambien datos. El terminal de usuario ingresa al subestado *inactivo* cuando el punto de acceso lo controla. Si el punto de acceso no asigna el FCH o el RCH al terminal de usuario dentro de un número especificado de tramas de TDD, entonces el terminal de usuario vuelve a pasar al estado *Durmiente* y retiene su Identificador de MAC.

[0405] En el subestado *inactivo*, tanto el enlace ascendente como el enlace descendente están inactivos. No se está enviando datos en dirección alguna. Sin embargo, los enlaces se mantienen con los mensajes de referencia guiada y de control. En este subestado, el punto de acceso asigna periódicamente las PDU inactivas al terminal de usuario en el RCH y posiblemente al FCH (no necesariamente de manera simultánea). El terminal de usuario puede ser capaz de permanecer en el estado *Conectado por* tiempo indefinido, siempre que el punto de acceso asigne periódicamente las PDU inactivas en el FCH y el RCH para mantener el enlace.

[0406] Mientras se encuentra en el subestado *inactivo*, el terminal de usuario supervisa el BCH. Si un mensaje del BCH no se decodifica correctamente dentro de un número especificado de tramas de TDD, entonces el terminal de usuario regresa al estado *inicial*. El terminal de usuario también supervisa el FCCH en busca de la asignación de canales, el control de velocidad, el control de temporización del RCH e información de control de potencia. El terminal de usuario también puede estimar la SNR de recepción y determinar la velocidad máxima admitida por el FCH. El terminal de usuario transmite una PDU inactiva en el RCH, cuando se asigna, y establece el bit de solicitud del RCH en la PDU inactiva si tiene datos para enviar. Si el punto de acceso no asigna un FCH o RCH al terminal de usuario dentro de un número especificado de tramas de TDD, entonces el terminal de usuario vuelve al estado *Durmiente* y retiene su Identificador de MAC.

[0407] Un temporizador de tiempo de espera se puede establecer en un valor particular al ingresar a cualquiera de los tres subestados. Este temporizador luego se descontará si no hay ninguna actividad mientras está en el subestado. Mientras se encuentre en el subestado *Configuración*, *Activo* o *Inactivo*, el terminal volverá al estado *Durmiente* si el temporizador de tiempo de espera se agota y al estado *Inicial* si se interrumpe la conexión. Mientras esté en el subestado *activo* o *inactivo*, el terminal también volvería al estado *Durmiente* si se libera la conexión.

[0408] Las figuras 12A y 12B muestran un modo de realización específico de un diagrama de estados que puede usarse para el terminal de usuario. Otros diversos diagramas de estados con menos, más y / o diferentes estados y subestados también pueden usarse para el sistema, y esto está dentro del alcance de la invención.

X. Acceso aleatorio

[0409] En un modo de realización, se emplea un esquema de acceso aleatorio para permitir que los terminales de usuario accedan al sistema de WLAN de MIMO. En un modo de realización, el esquema de acceso aleatorio se basa en un esquema Aloha ranurado por el cual un terminal de usuario transmite en un intervalo de RACH seleccionado al azar para intentar obtener acceso al sistema. El terminal de usuario puede enviar varias transmisiones en el RACH hasta que se obtenga el acceso o se haya alcanzado el número máximo de intentos de acceso. Se pueden cambiar varios parámetros para cada transmisión del RACH para mejorar la probabilidad de éxito, como se describe a continuación.

[0410] La **figura 13** ilustra una línea cronológica para el RACH, que se divide en intervalos del RACH. El número de intervalos del RACH disponibles para usar en cada trama de TDD y la duración del intervalo del RACH son parámetros configurables. Puede haber un máximo de 32 intervalos del RACH disponibles para su uso en cada trama TDD. El intervalo de guarda entre el final del último intervalo del RACH y el inicio de la PDU del BCH para la siguiente trama TDD también es un parámetro configurable. Estos tres parámetros para el RACH pueden cambiar de trama a trama y se indican mediante los campos Longitud de RACH, Tamaño de intervalo de RACH e Intervalo de protección de RACH del mensaje del BCH.

[0411] Cuando un terminal de usuario desea acceder al sistema, primero procesa el BCH para obtener los parámetros pertinentes del sistema. El terminal de usuario envía una PDU del RACH en el RACH. Esta PDU del RACH incluye un mensaje de RACH que contiene la información que necesita el punto de acceso para procesar la solicitud de acceso desde el terminal de usuario. Por ejemplo, el mensaje del RACH incluye el Identificador de MAC asignado del terminal de usuario que permite al punto de acceso identificar el terminal de usuario. Un ID de MAC de registro (es decir, un valor de Identificador de MAC específico) puede reservarse para terminales de usuario no registrados. En este caso, el Identificador largo del terminal de usuario se puede incluir en el campo

Carga útil del mensaje del RACH junto con el Identificador de MAC de registro.

[0412] Como se ha descrito anteriormente, la PDU del RACH puede transmitirse a una entre cuatro velocidades de datos, que se enumeran en la Tabla 15. La velocidad seleccionada está incorporada en el preámbulo de la PDU del RACH (como se muestra en la Figura 5C). La PDU del RACH también tiene una longitud variable de 1, 2, 4 u 8 símbolos de OFDM (como también se enumeran en la Tabla 15), que se indica en el campo Duración de mensaje del mensaje del RACH.

[0413] Para transmitir la PDU del RACH, el terminal de usuario primero determina el número de intervalos del RACH que pueden usarse para la transmisión (es decir, la cantidad de intervalos del RACH "utilizables"). Esta determinación se toma en función de (1) el número de intervalos del RACH disponibles en la trama de TDD actual, (2) la duración de cada intervalo del RACH, (3) el intervalo de guarda y (4) la longitud de la PDU de RACH a transmitir. La PDU del RACH no puede extenderse más allá del final del segmento del RACH de la trama de TDD. Por lo tanto, si la PDU del RACH es más larga que un intervalo del RACH más el intervalo de guarda, entonces esta PDU no puede transmitirse en uno o más intervalos del RACH disponibles más adelante. El número de intervalos del RACH que se pueden usar para transmitir la PDU del RACH puede ser menor que el número de intervalos del RACH disponibles, basándose en los factores enumerados anteriormente. El segmento del RACH incluye un intervalo de guarda, que se proporciona para evitar que la transmisión del enlace ascendente de los terminales de usuario interfiera con el siguiente segmento del BCH, lo que es una posibilidad para los terminales de usuario que no compensan su retraso de ida y vuelta.

[0414] El terminal de usuario luego selecciona aleatoriamente uno de los intervalos del RACH utilizables para transmitir la PDU del RACH. El terminal de usuario luego transmite la PDU del RACH comenzando en el intervalo del RACH seleccionado. Si el terminal de usuario conoce el retardo de ida y vuelta al punto de acceso, entonces puede tener en cuenta este retardo ajustando su temporización en consecuencia.

[0415] Cuando el punto de acceso recibe una PDU del RACH, comprueba el mensaje del RACH recibido utilizando el CRC incluido en el mensaje. El punto de acceso descarta el mensaje del RACH si el CRC falla. Si el CRC es aprobado, el punto de acceso activa el bit de acuse de recibo del RACH en el BCH en la trama de TDD posterior y transmite un acuse de recibo del RACH en el FCCH dentro de 2 tramas de TDD. Puede haber un retraso entre la activación del bit de acuse de recibo en el BCH y el envío del acuse de recibo en el FCCH, que se puede usar para tener en cuenta el retardo en la programación y así sucesivamente. Por ejemplo, si el punto de acceso recibe el mensaje en el RACH, puede activar el bit de acuse de recibo en el BCH y tener una respuesta de retraso en el FCCH. El bit de acuse de recibo evita que los terminales de usuario vuelvan a intentarlo y permite que los terminales de usuario no exitosos lo vuelvan a intentar rápidamente, excepto durante los periodos ocupados del RACH.

[0416] Si el terminal de usuario está realizando un registro, entonces utiliza el Identificador de MAC de registro (por ejemplo, 0x0001). El punto de acceso responde enviando un Mensaje de asignación de Identificador de MAC en el FCH. Todos los demás tipos de transmisión del RACH incluyen el Identificador de MAC del terminal de usuario, asignado por el sistema. El punto de acceso reconoce explícitamente todos los mensajes del RACH recibidos correctamente, enviando acuses de recibo en el FCCH utilizando el Identificador de MAC asignado al terminal de usuario.

[0417] Después de que el terminal de usuario envía la PDU del RACH, supervisa el BCH y el FCCH para determinar si su PDU del RACH ha sido o no recibida y procesada por el punto de acceso. El terminal de usuario supervisa el BCH para determinar si está activado o no el bit de acuse de recibo del RACH en el mensaje del BCH. Si este bit está activado, lo que indica que se está enviando un acuse de recibo para este y/o algunos otros terminales de usuario en el FCCH, entonces el terminal de usuario procesa adicionalmente el FCCH para obtener elementos de información de Tipo 3 de IE que contienen acuses de recibo. De lo contrario, si el bit de acuse de recibo del RACH no está activado, entonces el terminal de usuario continúa monitorizando el BCH o reanuda su procedimiento de acceso en el RACH.

[0418] El Tipo 3 de IE del FCCH se utiliza para llevar reconocimientos rápidos para intentos de acceso exitosos. Cada elemento de información de acuse de recibo contiene el Identificador de MAC asociado al terminal de usuario para el que se envía el acuse de recibo. Se utiliza un acuse de recibo rápido para informar al terminal de usuario que su solicitud de acceso se ha recibido, pero no está asociada a una asignación de recursos del FCH/RCH. A la inversa, un reconocimiento basado en la asignación está asociado a una asignación de FCH/RCH. Si el terminal de usuario recibe un reconocimiento rápido en el FCCH, pasa al estado *Durmiente*. Si el terminal de usuario recibe un acuse de recibo basado en la asignación, obtiene la información de planificación enviada junto con el acuse de recibo y comienza a utilizar el FCH/RCH como se asigna en la trama de TDD actual.

[0419] El terminal de usuario reanuda el procedimiento de acceso en el RACH si no recibe un acuse de recibo en el FCCH dentro de un número especificado de tramas de TDD después de transmitir la PDU del RACH. En este caso, el terminal de usuario puede suponer que el punto de acceso no recibió la PDU del RACH correctamente. El terminal de usuario mantiene un contador para contar el número de intentos de acceso. Este contador puede

inicializarse en cero para el primer intento de acceso y se incrementa en uno para cada intento de acceso posterior. El terminal de usuario terminaría el procedimiento de acceso si el valor del contador alcanza el número máximo de intentos.

5 **[0420]** Para cada intento de acceso posterior, el terminal de usuario primero determina varios parámetros para este intento de acceso, que incluyen (1) el tiempo de espera antes de transmitir la PDU del RACH, (2) el intervalo del RACH a utilizar para la transmisión de la PDU del RACH y (3) la velocidad de la PDU del RACH. Para determinar la cantidad de tiempo a esperar, el terminal de usuario primero determina la cantidad máxima de tiempo para esperar el siguiente intento de acceso, que se conoce como la ventana de contienda (CW). En un modo de realización, la ventana de contienda (que se da en unidades de tramas de TDD) aumenta exponencialmente por cada intento de acceso (es decir, $CW = 2^{\text{intento_acceso}}$). La ventana de contienda también se puede determinar basándose en alguna otra función (por ejemplo, una función lineal) del número de intentos de acceso. El tiempo de espera para el siguiente intento de acceso se selecciona entonces aleatoriamente entre cero y CW. El terminal de usuario esperaría este tiempo antes de transmitir la PDU del RACH para el siguiente intento de acceso.

15 **[0421]** Para el siguiente intento de acceso, el terminal de usuario reduce la velocidad de la PDU del RACH, si no se usó la velocidad más baja para el último intento de acceso. La velocidad inicial utilizada para el primer intento de acceso puede seleccionarse en función de la SNR recibida de la señal piloto enviada en el BCH. El fallo del punto de acceso para recibir correctamente la PDU del RACH puede provocar la falta de recepción de una confirmación. Por lo tanto, la velocidad de la PDU del RACH en el siguiente intento de acceso se reduce para mejorar la probabilidad de recepción correcta por parte del punto de acceso.

20 **[0422]** Después de esperar el tiempo de espera seleccionado al azar, el terminal de usuario selecciona de nuevo al azar un intervalo del RACH para la transmisión de la PDU del RACH. La selección del intervalo del RACH para este intento de acceso se puede realizar de manera similar a la descrita anteriormente para la primera tentativa de acceso, excepto que los parámetros del RACH (es decir, la cantidad de intervalos del RACH, la duración del intervalo y el intervalo de guarda) para la trama de TDD actual, tal como se transmite en el mensaje del BCH, se utilizan junto con la longitud actual de la PDU del RACH. La PDU del RACH se transmite luego en el intervalo del RACH seleccionado al azar.

25 **[0423]** El procedimiento de acceso descrito anteriormente continúa hasta que (1) el terminal de usuario reciba un acuse de recibo desde el punto de acceso o (2) se haya alcanzado el número máximo de intentos de acceso permitidos. Para cada intento de acceso, la cantidad de tiempo de espera antes de transmitir la PDU del RACH, el intervalo del RACH a utilizar para la transmisión de la PDU del RACH y la velocidad de la PDU del RACH se pueden seleccionar, como se ha descrito anteriormente. Si se recibe el acuse de recibo, entonces el terminal de usuario funciona como lo indica el acuse de recibo (es decir, espera en estado *Durmiente* si se recibe un acuse de recibo rápido o comienza a usar el FCH/RCH si se recibe un acuse de recibo basado en la asignación). Si se ha alcanzado el número máximo de intentos de acceso permitidos, entonces el terminal de usuario regresa al estado *inicial*.

40 **XI. Control de velocidad, potencia y temporización**

[0424] El punto de acceso planifica las transmisiones de enlace descendente y enlace ascendente en el FCH y el RCH y controla adicionalmente las velocidades para todos los terminales de usuario activos. Además, el punto de acceso ajusta la potencia de transmisión de ciertos terminales de usuario activos en el enlace ascendente. Se pueden mantener varios bucles de control para ajustar la velocidad, la potencia de transmisión y la temporización de cada terminal de usuario activo.

1. Servicios de velocidad fija y variable

50 **[0425]** El punto de acceso puede dar soporte a servicios de velocidad tanto fija como variable en el FCH y el RCH. Los servicios de velocidad fija se pueden usar para voz, video, etc. Los servicios de velocidad variable pueden usarse para datos en paquetes (por ejemplo, navegación en la Red).

55 **[0426]** Para los servicios de velocidad fija en el FCH/RCH, se usa una velocidad fija para toda la conexión. El mejor esfuerzo de entrega se utiliza para el FCH y el RCH (es decir, sin retransmisión). El punto de acceso planifica una cantidad constante de las PDU del FCH/RCH por intervalo de tiempo especificado para satisfacer los requisitos de QoS del servicio. Según los requisitos de retardo, es posible que el punto de acceso no necesite planificar una PDU de FCH/RCH para cada trama de TDD. El control de potencia se ejerce en el RCH pero no en el FCH para servicios de velocidad fija.

60 **[0427]** Para los servicios de velocidad variable en el FCH/RCH, se permite que la velocidad utilizada para el FCH/RCH cambie con las condiciones del canal. Para algunos servicios isócronos (por ejemplo, vídeo, audio), los requisitos de QoS pueden imponer una restricción de velocidad mínima. Para estos servicios, el planificador en el punto de acceso ajusta la asignación del FCH/RCH para que se proporcione una velocidad constante. Para los servicios de datos asíncronos (por ejemplo, navegación de la Red, transferencia de archivos, etc.), se proporciona una entrega de óptimo esfuerzo con la opción de retransmisiones. Para estos servicios, la velocidad es la máxima

que las condiciones del canal puedan sostener de manera confiable. La planificación de las PDU del FCH/RCH para los terminales de usuario suele ser una función de sus requisitos de QoS. Cuando no hay datos para enviar en el enlace descendente/enlace ascendente, se envía una PDU inactiva en el FCH/RCH para mantener el enlace. El control de potencia de bucle cerrado no se ejerce en el FCH o RCH para servicios de velocidad variable.

2. Control de velocidad

[0428] El control de velocidad se puede usar para servicios de velocidad variable que funcionan en el FCH y el RCH para adaptar la velocidad del FCH/RCH a las condiciones cambiantes del canal. Las velocidades a usar para el FCH y el RCH pueden controlarse independientemente. Además, en la modalidad de multiplexado espacial, la velocidad para cada automodo de banda ancha de cada canal de transporte dedicado puede controlarse independientemente. El control de velocidad lo realiza el punto de acceso en función de la retroalimentación proporcionada por cada terminal de usuario activo. El planificador dentro del punto de acceso planifica la transmisión de datos y determina las asignaciones de velocidad para los terminales de usuario activos.

[0429] La velocidad máxima que puede disponer de soporte en cualquiera de los enlaces es una función de (1) la matriz de respuesta del canal para todas las subbandas de datos, (2) el nivel de ruido observado por el receptor, (3) la calidad de la estimación del canal, y posiblemente otros factores. Para un sistema de TDD, se puede considerar que el canal es recíproco para el enlace descendente y el enlace ascendente (después de que se haya realizado la calibración para tener en cuenta cualquier diferencia en el punto de acceso y el terminal de usuario). Sin embargo, este canal recíproco no implica que los niveles mínimos de ruido sean los mismos en el punto de acceso y en el terminal de usuario. Por lo tanto, para un terminal de usuario dado, las velocidades en el FCH y el RCH pueden controlarse independientemente.

[0430] El control de velocidad de bucle cerrado se puede usar para la transmisión de datos en uno o más canales espaciales. El control de velocidad de bucle cerrado puede conseguirse con uno o múltiples bucles. Un bucle interno estima las condiciones del canal y selecciona una velocidad adecuada para cada canal espacial utilizado para la transmisión de datos. La estimación de canal y la selección de velocidad pueden realizarse como se ha descrito anteriormente. Un bucle exterior puede usarse para estimar la calidad de la transmisión de datos recibida en cada canal espacial y para ajustar el funcionamiento del bucle interior. La calidad de transmisión de datos se puede cuantificar por la tasa de error de paquete (PER), las métricas del decodificador, etc., o una combinación de las mismas. Por ejemplo, el bucle exterior puede ajustar el desfase de la SNR para cada canal espacial, para lograr la PER deseada para ese canal espacial. El bucle exterior también puede dirigir al bucle interior para seleccionar una velocidad inferior para un canal espacial si se detectan excesivos errores de paquete para ese canal espacial.

Control de Velocidad de Enlace Descendente

[0431] Cada terminal de usuario activo puede estimar el canal de enlace descendente basándose en la señal piloto de MIMO transmitida en el BCH en cada trama de TDD. El punto de acceso también puede transmitir una referencia guiada en una PDU del FCH enviada a un terminal de usuario específico. Usando la señal piloto de MIMO en el BCH y/o la referencia guiada en el FCH, el terminal de usuario puede estimar la SNR recibida y determinar la velocidad máxima que puede dotarse de soporte en el FCH. Si el terminal de usuario está funcionando en la modalidad de multiplexado espacial, entonces se puede determinar la velocidad máxima para cada automodo de banda ancha. Cada terminal de usuario puede enviar de vuelta al punto de acceso la velocidad máxima con soporte por parte de cada automodo de banda ancha (para la modalidad de multiplexado espacial), la velocidad máxima con soporte por parte del automodo principal de banda ancha (para la modalidad de guía de haces) o la velocidad máxima con soporte por parte del canal de MIMO (para la modalidad de diversidad) en el campo Indicador de velocidad de FCH de la PDU del RCH. Estas velocidades se pueden correlacionar con las SNR recibidas, que luego se pueden usar para realizar el llenado con agua descrito anteriormente. Alternativamente, el terminal de usuario puede devolver información suficiente (por ejemplo, las SNR recibidas) para permitir que el punto de acceso determine la velocidad máxima con soporte por parte del enlace descendente.

[0432] La determinación de si se utiliza la modalidad de diversidad, de guía de haces o de multiplexado espacial se puede tomar en base a la retroalimentación del terminal de usuario. El número de automodos de banda ancha seleccionados para su uso puede aumentar a medida que mejore el aislamiento entre los vectores de guía.

[0433] La **figura 14A** ilustra un proceso para controlar la velocidad de una transmisión de enlace descendente para un terminal de usuario. Una PDU del BCH se transmite en el primer segmento de cada trama de TDD e incluye las señales piloto de baliza y de MIMO que pueden ser utilizadas por los terminales de usuario para estimar y rastrear el canal. Una referencia guiada también puede enviarse en el preámbulo de una PDU del FCH enviada al terminal de usuario. El terminal de usuario estima el canal basándose en el MIMO y/o la referencia guiada y determina la(s) velocidad(es) máxima(s) a la(s) que puede dar soporte el enlace descendente. Se proporciona una velocidad para cada automodo de banda ancha si el terminal de usuario está funcionando en la modalidad de multiplexado espacial. El terminal de usuario luego envía el indicador de velocidad para el FCH en el campo Indicador de velocidad de FCH de la PDU del RCH que envía al punto de acceso.

[0434] El planificador utiliza las velocidades máximas a las que el enlace descendente puede prestar soporte para cada terminal de usuario activo, para planificar la transmisión de datos de enlace descendente en las posteriores tramas de TDD. Las velocidades y otra información de asignación de canal para el terminal de usuario se reflejan en un elemento de información enviado en el FCCH. La velocidad asignada a un terminal de usuario puede afectar la planificación para otros terminales de usuario. El retraso mínimo entre la determinación de velocidad por el terminal de usuario y su uso es aproximadamente una sola trama de TDD.

[0435] Usando el procedimiento ordenado de Gram-Schmidt, el punto de acceso puede determinar con precisión las velocidades máximas con soporte en el FCH, directamente desde el preámbulo del RCH. Esto puede simplificar luego enormemente el control de la velocidad.

Control de Velocidad de Enlace Ascendente

[0436] Cada terminal de usuario transmite una referencia guiada en el RACH durante el acceso al sistema y en el RCH al ser asignados los recursos de FCH/RCH. El punto de acceso puede estimar la SNR recibida para cada uno de los automodos de banda ancha basándose en la referencia guiada en el RCH y determinar la velocidad máxima con soporte por parte de cada automodo de banda ancha. Inicialmente, el punto de acceso puede no tener una buena estimación del canal para permitir un funcionamiento confiable en, o cerca de, la velocidad máxima con soporte por parte de cada automodo de banda ancha. Para mejorar la confiabilidad, la velocidad inicial utilizada en el FCH/RCH puede ser mucho más baja que la velocidad máxima con soporte. El punto de acceso puede integrar la referencia guiada en varias tramas TDD para obtener una estimación mejorada del canal. A medida que la estimación del canal mejora, la velocidad puede aumentar.

[0437] La **figura 14B** ilustra un proceso para controlar la velocidad de una transmisión de enlace ascendente para un terminal de usuario. Cuando está planificado para la transmisión de enlace ascendente, el terminal de usuario transmite una PDU del RCH que incluye la referencia, que es utilizada por el punto de acceso para determinar la velocidad máxima en el enlace ascendente. El planificador luego utiliza las velocidades máximas a las que el enlace ascendente puede prestar soporte para cada terminal de usuario activo, para planificar la transmisión de datos de enlace ascendente en las tramas de TDD posteriores. Las velocidades y otra información de asignación de canal para el terminal de usuario se reflejan en un elemento de información enviado en el FCCH. El retraso mínimo entre la determinación de la velocidad por el punto de acceso y su uso es aproximadamente una sola trama TDD.

3. Control de potencia

[0438] El control de potencia se puede usar para las transmisiones de enlace ascendente en el RCH (en lugar del control de velocidad) para servicios de velocidad fija. Para los servicios de velocidad fija, la velocidad se negocia en la configuración de la llamada y permanece fija durante la conexión. Algunos servicios de velocidad fija pueden estar asociados a un requisito de movilidad limitada. En un modo de realización, el control de potencia se implementa para que el enlace ascendente proteja contra la interferencia entre los terminales de usuario, pero no se usa para el enlace descendente.

[0439] Se utiliza un mecanismo de control de potencia para controlar la potencia de transmisión del enlace ascendente de cada terminal de usuario activo, de modo que la SNR recibida en el punto de acceso se mantenga a un nivel que alcance la calidad de servicio deseada. Este nivel a menudo se conoce como la SNR recibida deseada, el punto operativo o el punto de ajuste. Para un terminal de usuario móvil, la pérdida de propagación probablemente cambiará a medida que el terminal de usuario se desplace. El mecanismo de control de potencia rastrea cambios en el canal para que la SNR recibida se mantenga cerca del punto de ajuste.

[0440] Este mecanismo de control de potencia se puede implementar con dos bucles de control de potencia: un bucle interno y un bucle externo. El bucle interno ajusta la potencia de transmisión del terminal de usuario de manera que la SNR recibida en el punto de acceso se mantenga cerca del punto de ajuste. El bucle externo ajusta el punto de ajuste para lograr un nivel particular de rendimiento, que puede ser cuantificado por una tasa de errores de trama (FER) particular (por ejemplo, FER del 1%), tasa de errores de paquete (PER), tasa de errores de bloque (BLER), tasa de errores de mensaje (MER) o alguna otra medida.

[0441] La **figura 15** ilustra el funcionamiento del control de potencia interno para un terminal de usuario. Una vez que el terminal de usuario tiene asignado el FCH/RCH, el punto de acceso calcula la SNR recibida en el RCH y la compara con el punto de ajuste. La potencia inicial a usar por parte del terminal de usuario puede determinarse en la configuración de la llamada y habitualmente está cerca de su nivel máximo de potencia de transmisión. Para cada intervalo de trama, si la SNR recibida supera el punto de ajuste en un margen positivo particular δ , entonces el punto de acceso puede guiar al terminal de usuario para reducir su potencia de transmisión en una magnitud particular (por ejemplo, 1 dB) en un elemento de información del FCCH enviado a este terminal de usuario. Por el contrario, si la SNR recibida es inferior al umbral menos el margen de δ , entonces el punto de acceso puede guiar el terminal de usuario para aumentar su potencia de transmisión en la magnitud particular. Si la SNR recibida está dentro de los límites aceptables del punto de ajuste, entonces el punto de acceso no solicitará un cambio en la

potencia de transmisión por parte del terminal de usuario. La potencia de transmisión del enlace ascendente se proporciona como el nivel de potencia de transmisión inicial más la suma de todos los ajustes de potencia recibidos desde el punto de acceso.

- 5 **[0442]** El punto de ajuste inicial utilizado en el punto de acceso se establece para lograr un nivel particular de rendimiento. Este punto de ajuste es ajustado por el bucle externo basándose en el FER o PER para el RCH. Por ejemplo, si no se producen errores de trama/paquete durante un período de tiempo especificado, entonces el punto de ajuste puede reducirse en una primera magnitud (por ejemplo, 0,1 dB). Si la FER media es superada por la
- 10 ocurrencia de uno o más errores de trama/paquete, entonces el punto de ajuste puede incrementarse en una segunda magnitud (por ejemplo, 1 dB). El punto de ajuste, el margen de histéresis y el funcionamiento del bucle externo son específicos del diseño de control de potencia utilizado para el sistema.

4. Control de temporización

- 15 **[0443]** El control de temporización se puede usar ventajosamente en una estructura de trama basada en el TDD, en la que el enlace descendente y el enlace ascendente comparten la misma banda de frecuencia de manera duplexada por división del tiempo. Los terminales de usuario pueden estar ubicados por todo el sistema y, por lo tanto, pueden estar asociados a diferentes retardos de propagación al punto de acceso. Para maximizar la eficacia en el enlace ascendente, la temporización de la transmisión de enlace ascendente en el RCH y el RACH desde
- 20 cada terminal de usuario se puede ajustar para tener en cuenta su retraso de propagación. Esto aseguraría entonces que las transmisiones de enlace ascendente desde diferentes terminales de usuario lleguen dentro de una ventana temporal particular en el punto de acceso y no interfieran entre sí en el enlace ascendente, o con la transmisión de enlace descendente.

- 25 **[0444]** La **figura 16** ilustra un proceso para ajustar la temporización de enlace ascendente de un terminal de usuario. Inicialmente, el terminal de usuario envía una PDU del RACH en el enlace ascendente para obtener acceso al sistema. El punto de acceso obtiene una estimación inicial del retardo de ida y vuelta (RTD) asociado al terminal de usuario. El retardo de ida y vuelta puede estimarse basándose en (1) un correlacionador deslizando
- 30 utilizado en el punto de acceso para determinar el inicio de la transmisión y (2) el Identificador de intervalo incluido en la PDU del RACH enviada por el terminal de usuario. El punto de acceso luego calcula un adelanto de temporización inicial para el terminal de usuario en base a la estimación inicial del RTD. El adelanto de temporización inicial se envía al terminal de usuario antes de su transmisión en el RCH. El adelanto de temporización inicial puede enviarse en un mensaje en el FCH, un campo de un elemento de información del FCCH, o por algún otro medio.

- 35 **[0445]** El terminal de usuario recibe el adelanto de temporización inicial desde el punto de acceso y, posteriormente, utiliza este adelanto de temporización en todas las transmisiones de enlace ascendente subsiguientes, tanto en el RCH como en el RACH. Si al terminal de usuario se le asignan recursos del FCH/RCH, entonces su adelanto de temporización se puede ajustar mediante comandos enviados por el punto de acceso en
- 40 el campo Ajuste de temporización del RCH de un elemento de información del FCCH. El terminal de usuario posteriormente ajustaría sus transmisiones de enlace ascendente en el RCH basándose en el adelanto de temporización actual, que es igual al adelanto de temporización inicial más todos los ajustes de temporización enviados por el punto de acceso al terminal de usuario.

- 45 **[0446]** Diversas partes del sistema de WLAN de MIMO y diversas técnicas descritas en el presente documento pueden implementarse por diversos medios. Por ejemplo, el procesamiento en el punto de acceso y en el terminal de usuario pueden implementarse en hardware, software o una combinación de ambos. Para una implementación de hardware, el procesamiento puede implementarse dentro de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), formaciones de compuertas programables in situ (FPGA), procesadores, controladores, micro-controladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento o una combinación de los mismos.

- 55 **[0447]** Para una implementación en software, el procedimiento puede implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que realizan las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, la memoria 732 o 782 en la figura 7) y ejecutarse mediante un procesador (por ejemplo, el controlador principal 730 o 780). La unidad de memoria se puede implementar dentro del procesador o ser externa al procesador, pudiéndose acoplar en este caso de forma comunicativa al procesador mediante diversos medios, como se conoce en la técnica.

- 60 **[0448]** Los títulos se incluyen en el presente documento para referencia y para facilitar la ubicación de ciertas secciones. Estos títulos no pretenden limitar el alcance de los conceptos descritos bajo los mismos, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a lo largo de toda la memoria descriptiva.

- 65 **[0449]** La descripción anterior de los modos de realización divulgados se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la presente invención. Diversas modificaciones para estos modos de realización

5 resultarán inmediatamente evidentes a los expertos en la materia, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otros modos de realización sin apartarse del alcance de la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no pretende limitarse a los modos de realización mostrados en el presente documento, sino que se le ha de conceder el alcance más amplio compatible con los principios y características novedosas divulgados en el presente documento.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de acceso a un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple, de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) (100), que comprende:

 recibir información del sistema mediante un canal de difusión, BCH, (310) en un enlace descendente;

 transmitir una solicitud de acceso mediante un canal de acceso aleatorio, RACH, (350), en un enlace ascendente, en el que la solicitud de acceso se transmite basándose en la información de sistema recibida, **caracterizada por**

10 monitorizar el BCH (310) para determinar si está activado un bit de acuse de recibo del RACH;

 procesar, en respuesta a la determinación de que el bit de acuse de recibo del RACH está activado, un canal de control directo, FCCH, (320) en el enlace descendente, para obtener elementos de información de Tipo 3 de IE que contienen el acuse de recibo de la solicitud de acceso transmitida; y

15 repetir la recepción, transmisión, monitorización y procesamiento si el acuse de recibo no se recibe dentro de un período de tiempo predeterminado.
- 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se transmiten una pluralidad de solicitudes de acceso.
3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que la pluralidad de solicitudes de acceso se transmiten a velocidades sucesivamente más bajas.
- 25 4. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además:

 esperar un período de tiempo pseudoaleatorio antes de transmitir una próxima solicitud de acceso entre la pluralidad de solicitudes de acceso.
- 30 5. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además:

 transmitir una señal piloto guiada junto con la solicitud de acceso en el RACH, enviándose la señal piloto guiada en al menos un automodo de un canal de MIMO para el enlace ascendente.
- 35 6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la información del sistema indica un intervalo de tiempo en el que se permite la transmisión de solicitudes de acceso, y en el que la solicitud de acceso se transmite dentro del intervalo de tiempo.
- 40 7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la información de sistema indica un número particular de intervalos en los que se permite la transmisión de solicitudes de acceso, y en el que la solicitud de acceso identifica un intervalo específico en el que se transmite la solicitud de acceso.
- 45 8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los intervalos tienen una duración temporal configurable por el sistema.
9. Un aparato (120) en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) (100), que comprende:

50 medios para recibir información de sistema mediante un canal de difusión, BCH, (310) en un enlace descendente;

 medios para transmitir una solicitud de acceso mediante un canal de acceso aleatorio, RACH, (350) en un enlace ascendente, en el que la solicitud de acceso se transmite en función de la información de sistema recibida **caracterizada por**

55 medios para monitorizar el BCH (310), para determinar si está activado un bit de acuse de recibo del RACH;

 medios para procesar, si está activado el bit de acuse de recibo del RACH, un canal de control directo, FCCH, (320) en el enlace descendente, para obtener elementos de información de tipo 3 de IE que contienen acuse de recibo de la solicitud de acceso transmitida; y

60 medios para repetir la recepción, transmisión, monitorización y procesamiento si el acuse de recibo no se recibe dentro de un período de tiempo predeterminado.

65

10. El aparato de la reivindicación 9, en el que se transmiten una pluralidad de solicitudes de acceso.

11. El aparato de la reivindicación 10, en el que la pluralidad de solicitudes de acceso se transmiten a velocidades sucesivamente más bajas.

5

12. El aparato de la reivindicación 10, que comprende además:

medios para esperar un período de tiempo pseudoaleatorio antes de transmitir una próxima solicitud de acceso entre la pluralidad de solicitudes de acceso.

10

13. El aparato de la reivindicación 10, que comprende además:

medios para transmitir una señal piloto guiada junto con la solicitud de acceso en el RACH, enviándose la señal piloto guiada en al menos un automodo de un canal de MIMO para el enlace ascendente.

15

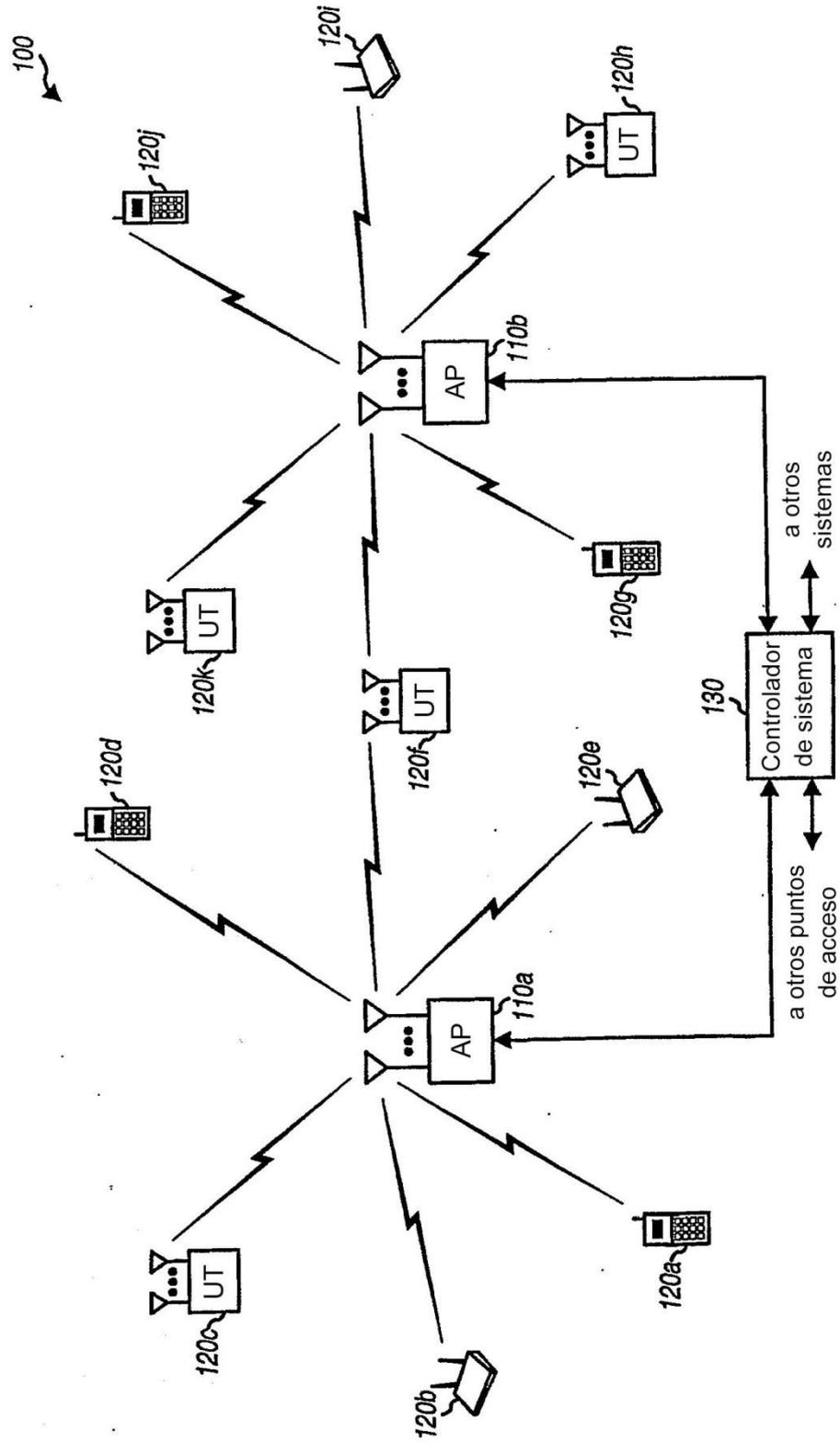


FIG. 1

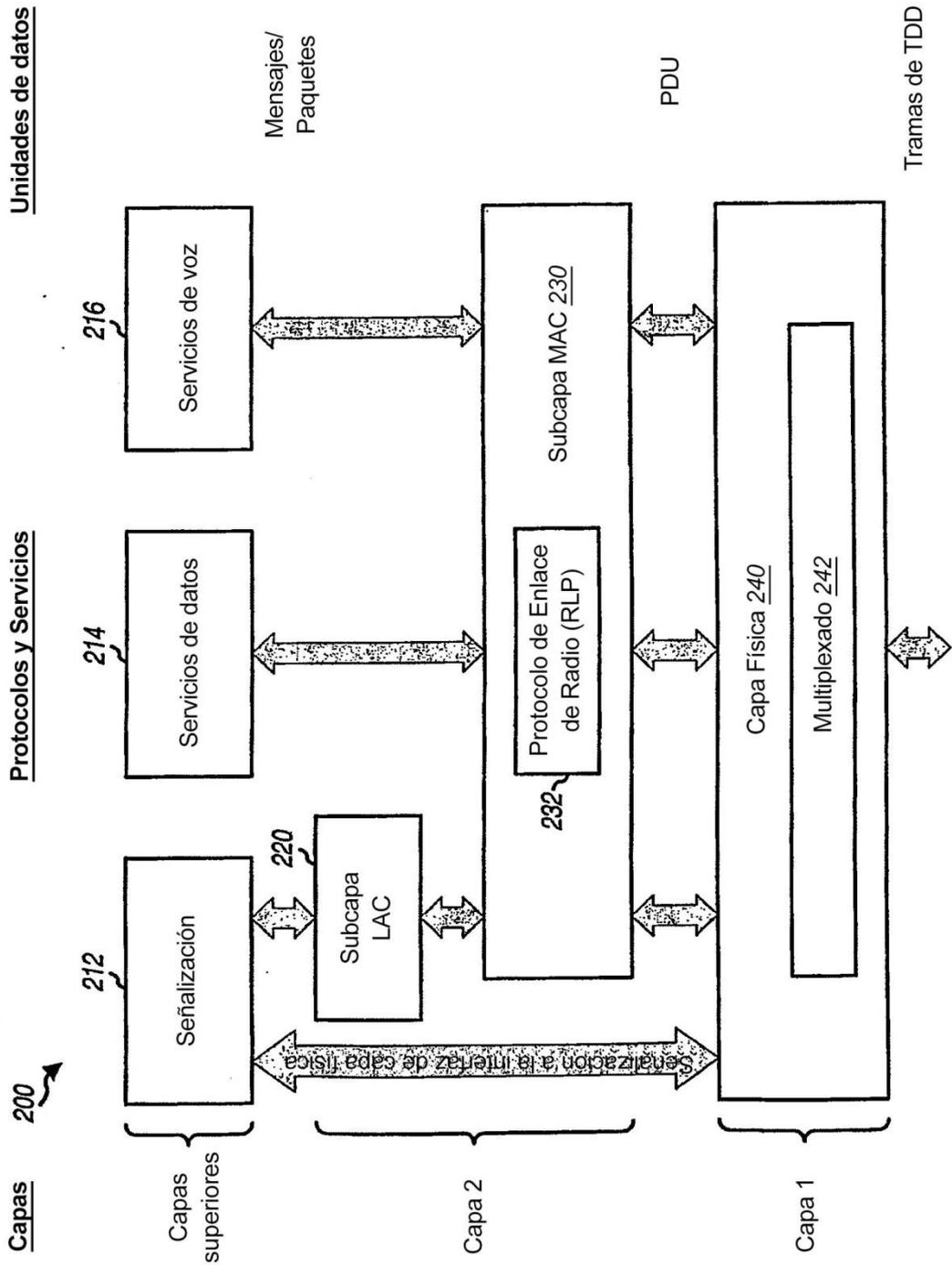


FIG. 2

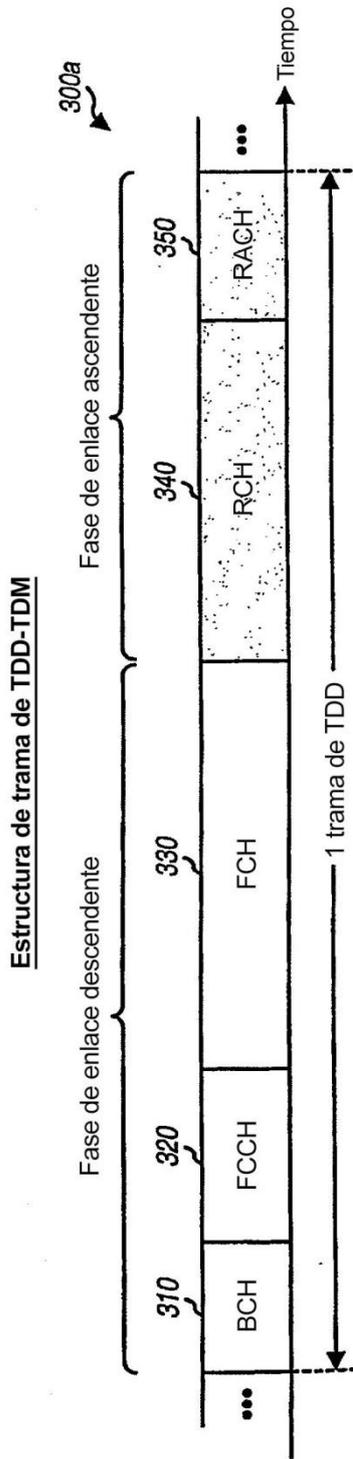


FIG. 3A

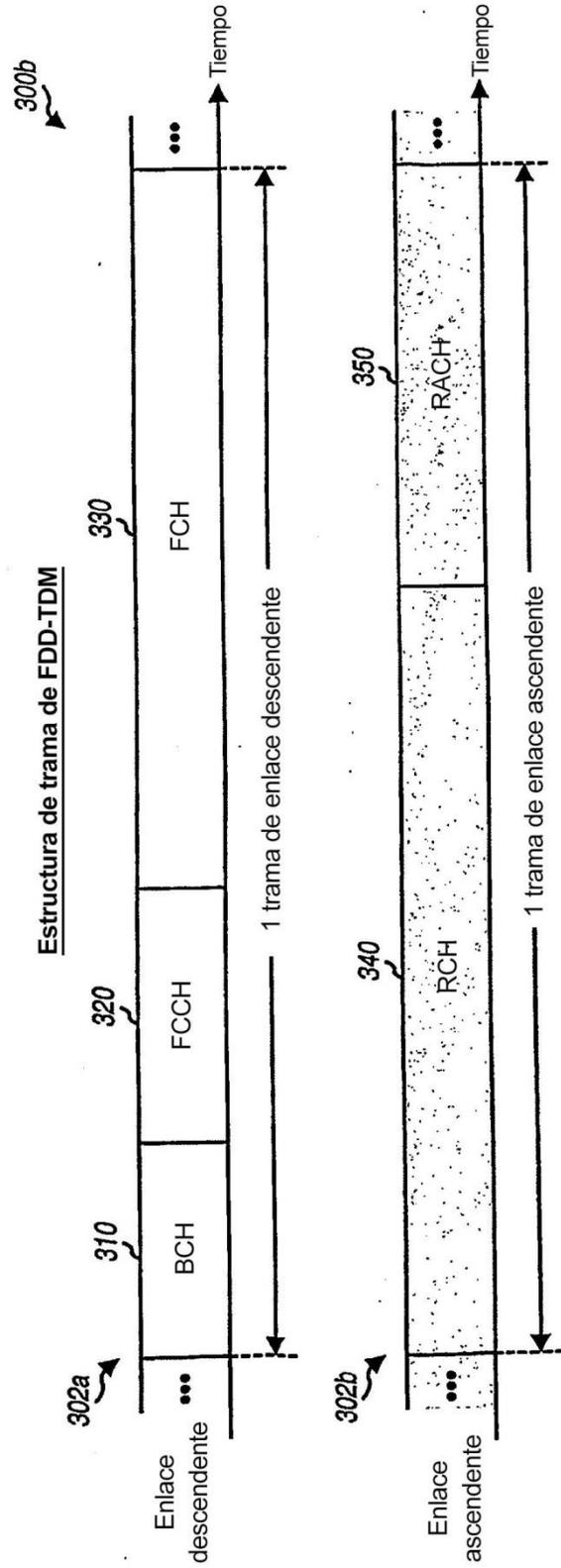


FIG. 3B

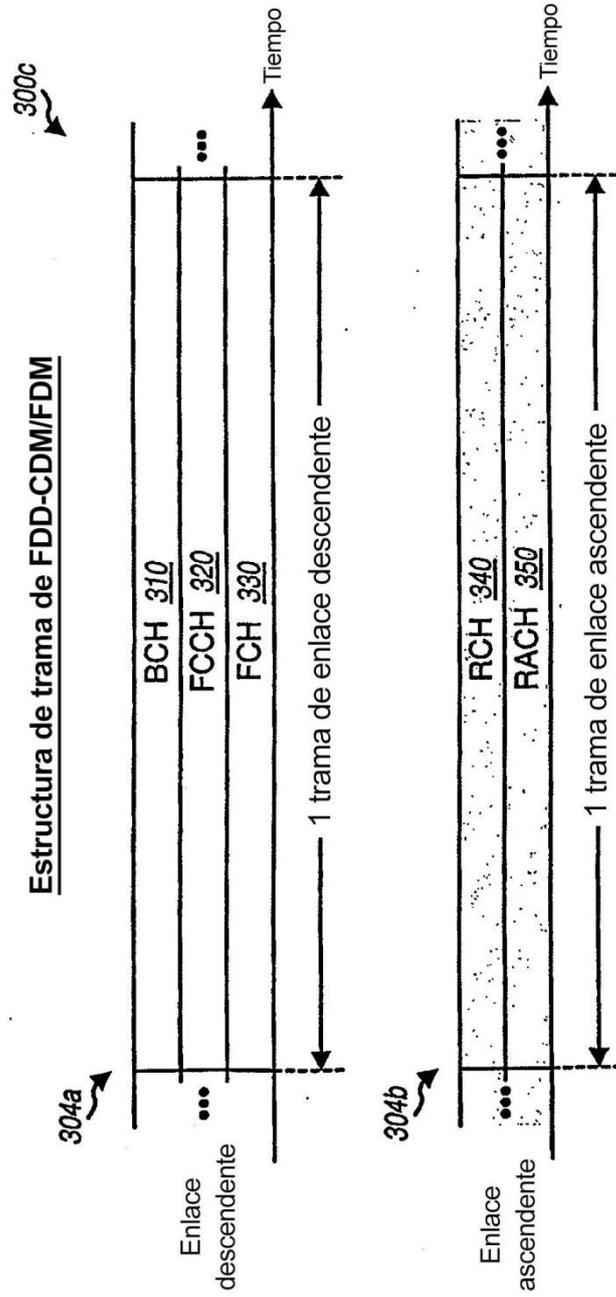


FIG. 3C

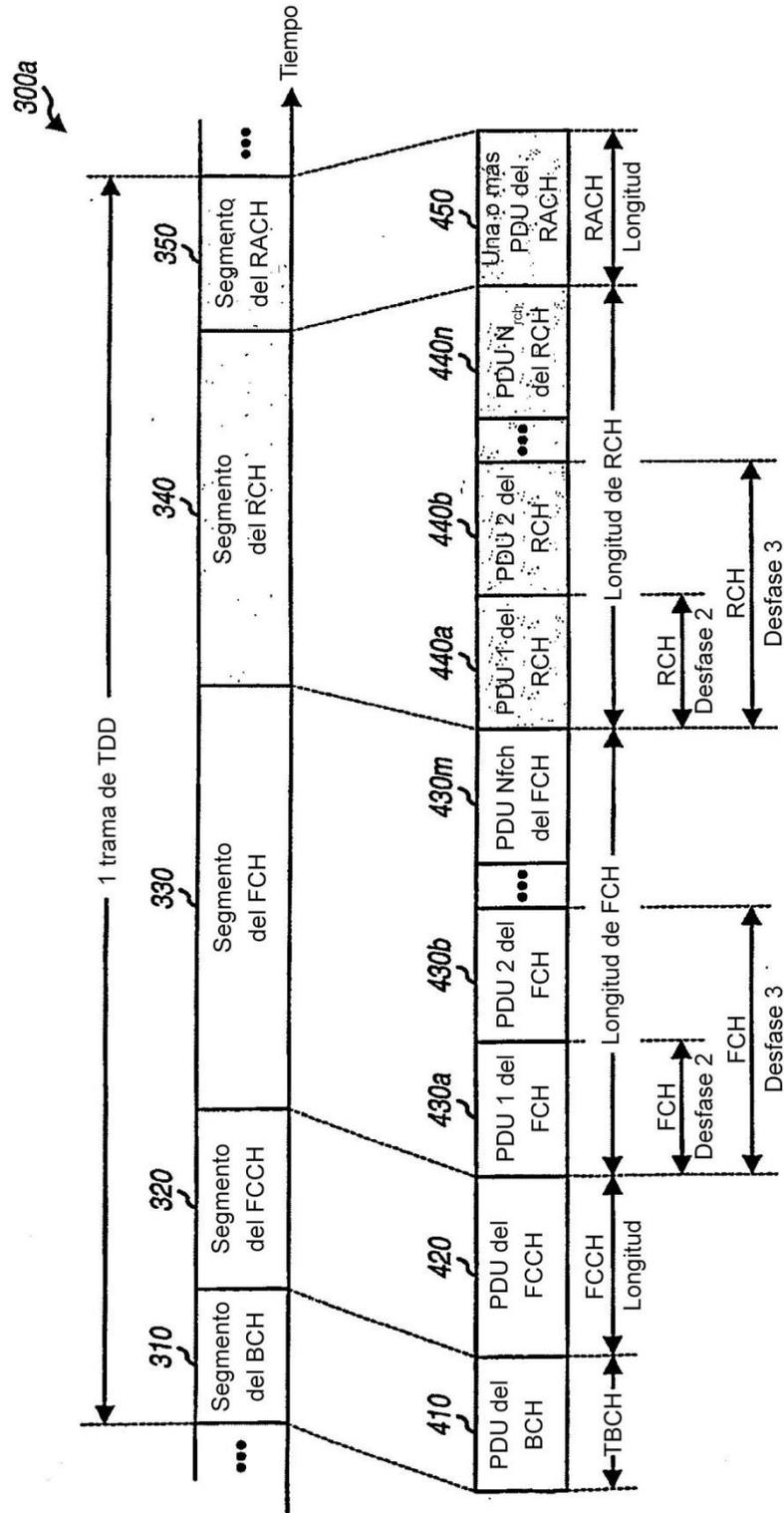


FIG. 4

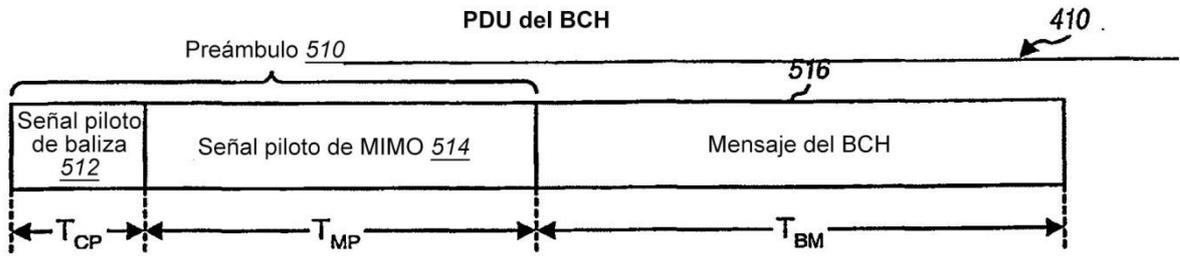


FIG. 5A

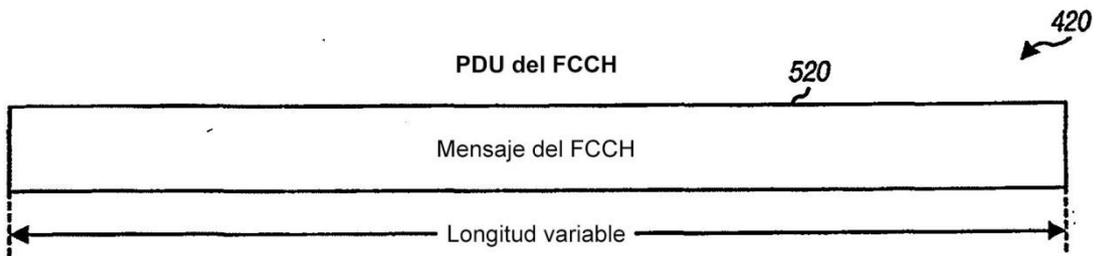


FIG. 5B

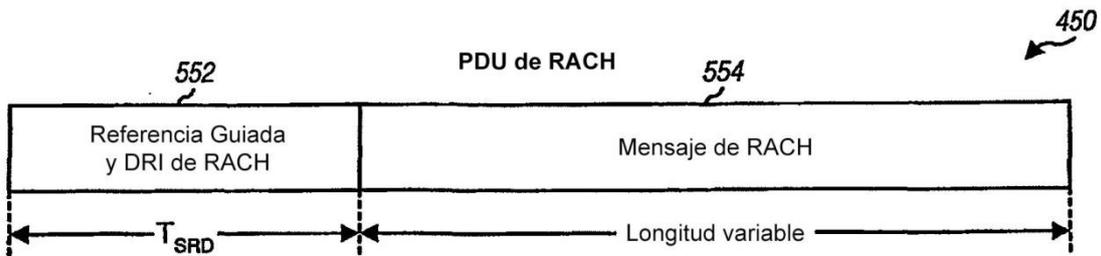


FIG. 5C

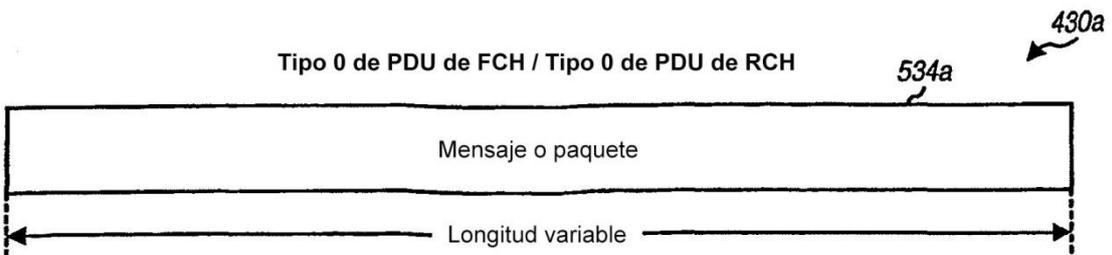


FIG. 5D

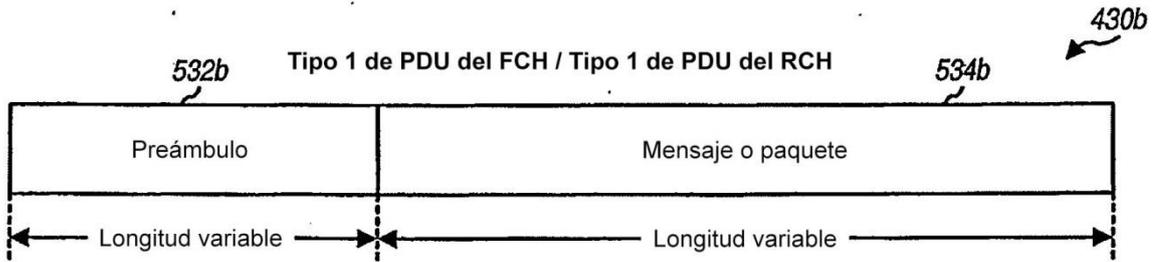


FIG. 5E

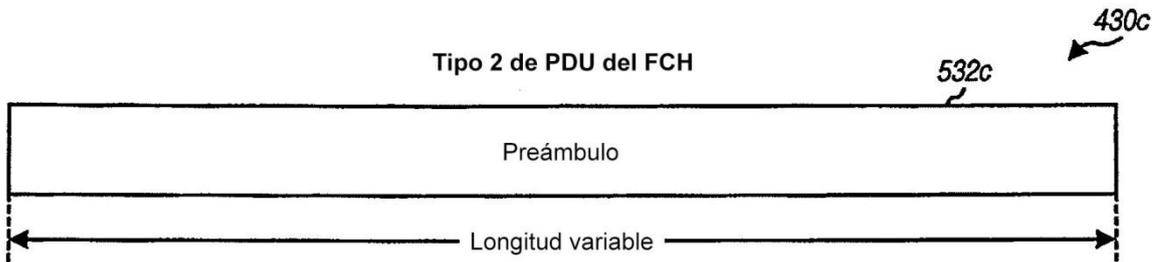


FIG. 5F

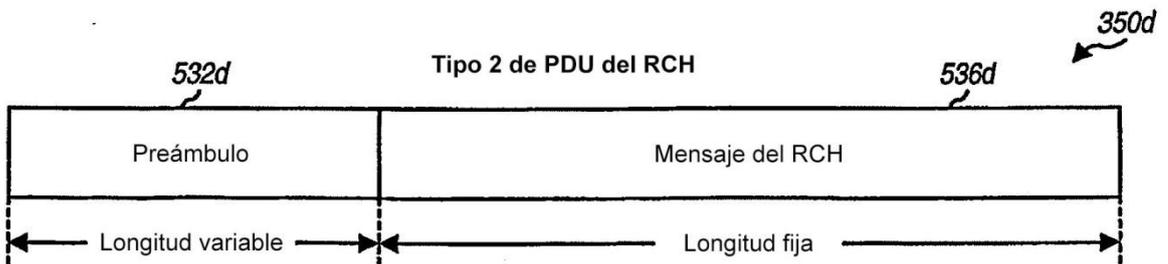


FIG. 5G

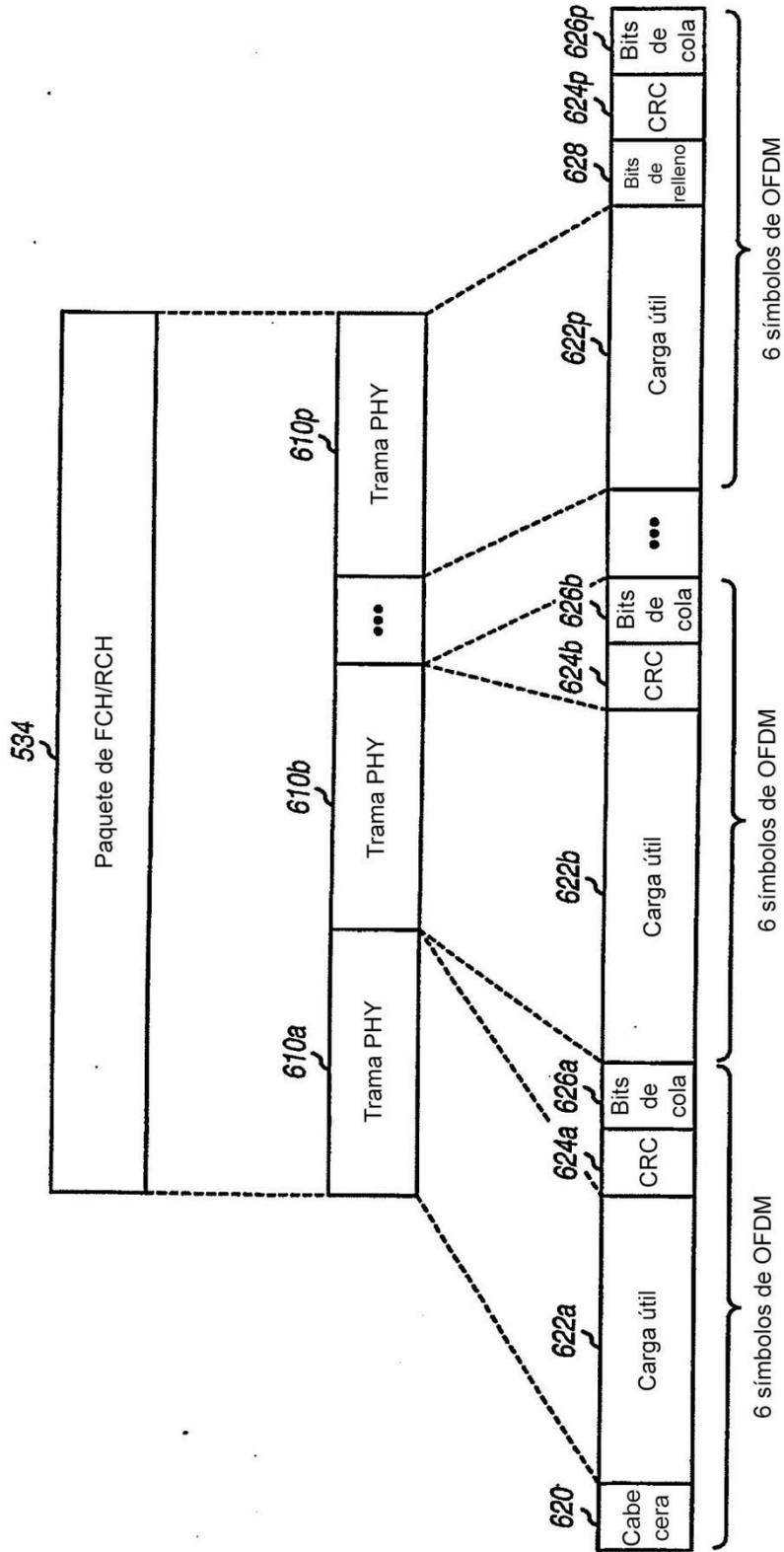


FIG. 6

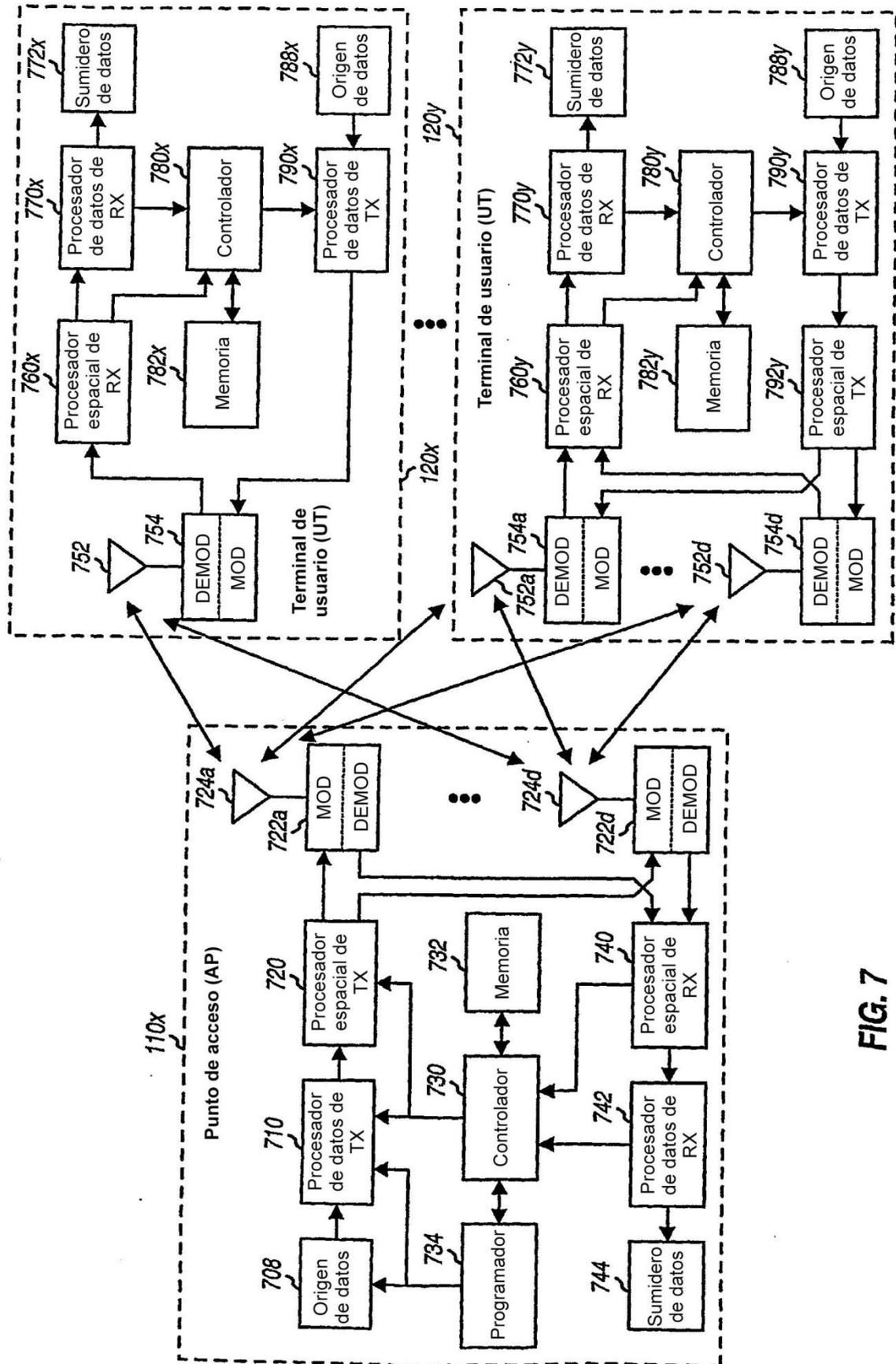


FIG. 7

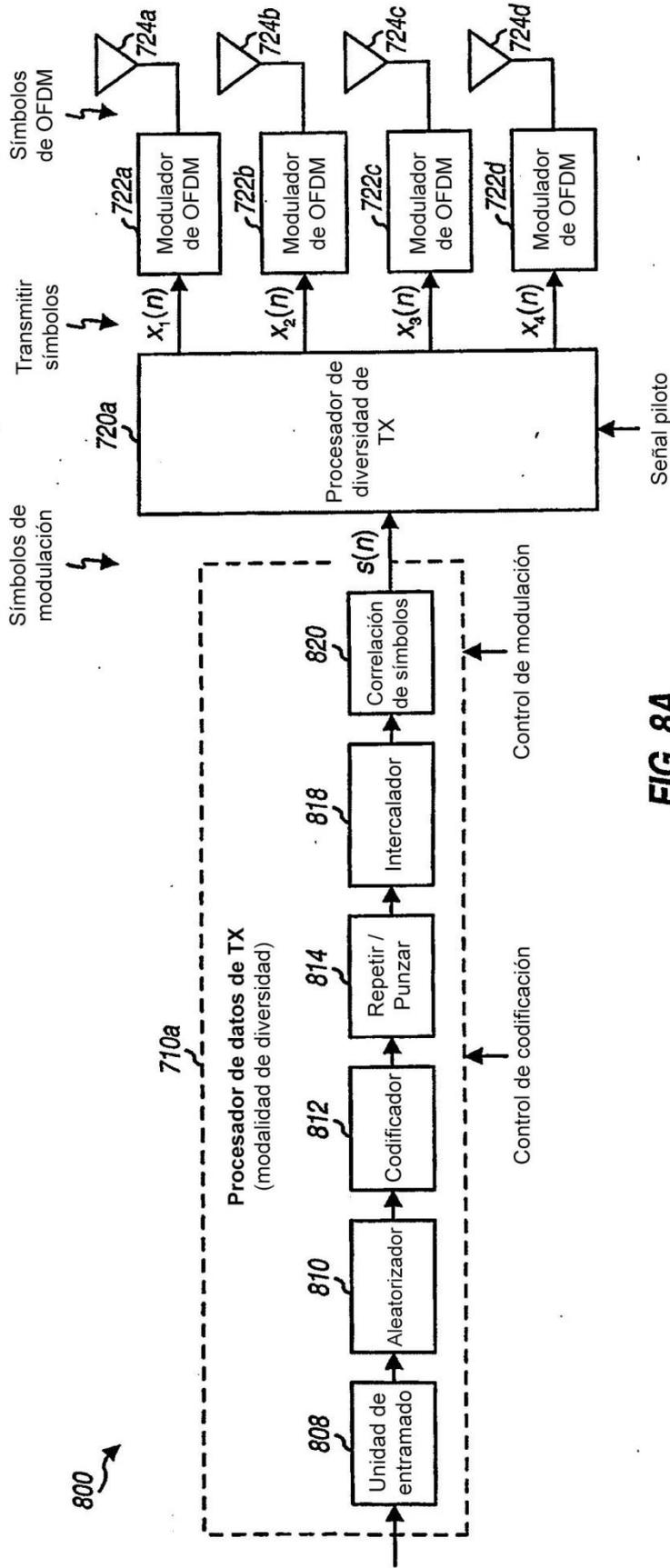


FIG. 8A

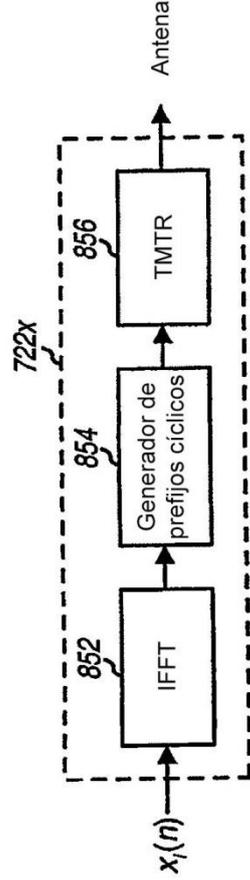


FIG. 8C

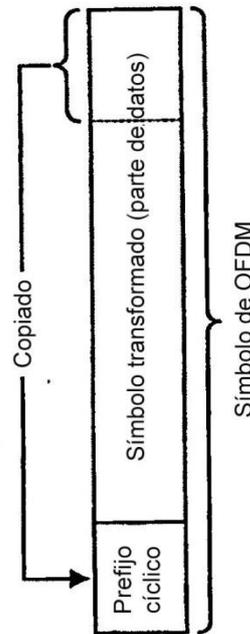


FIG. 8D

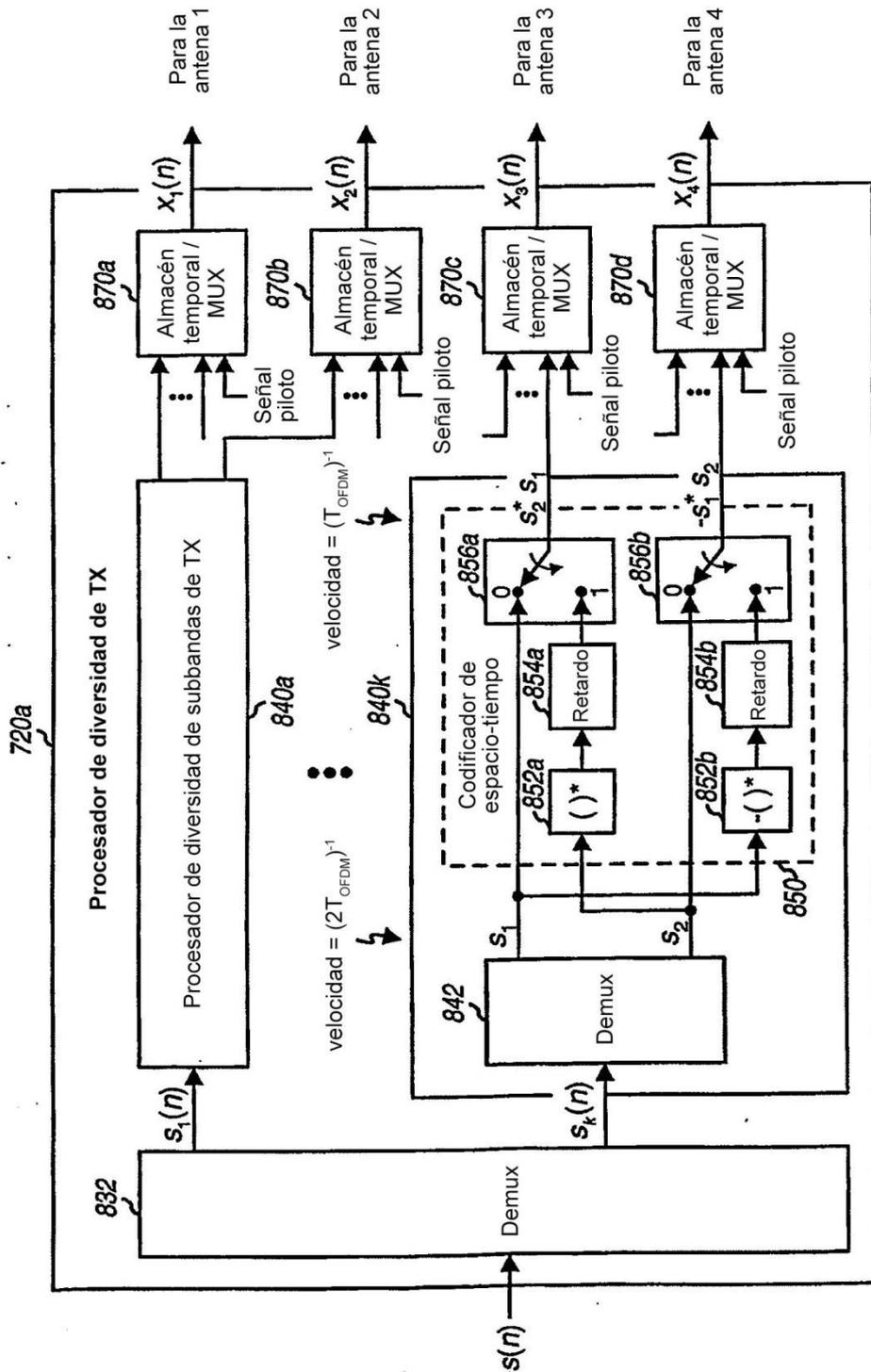


FIG. 8B

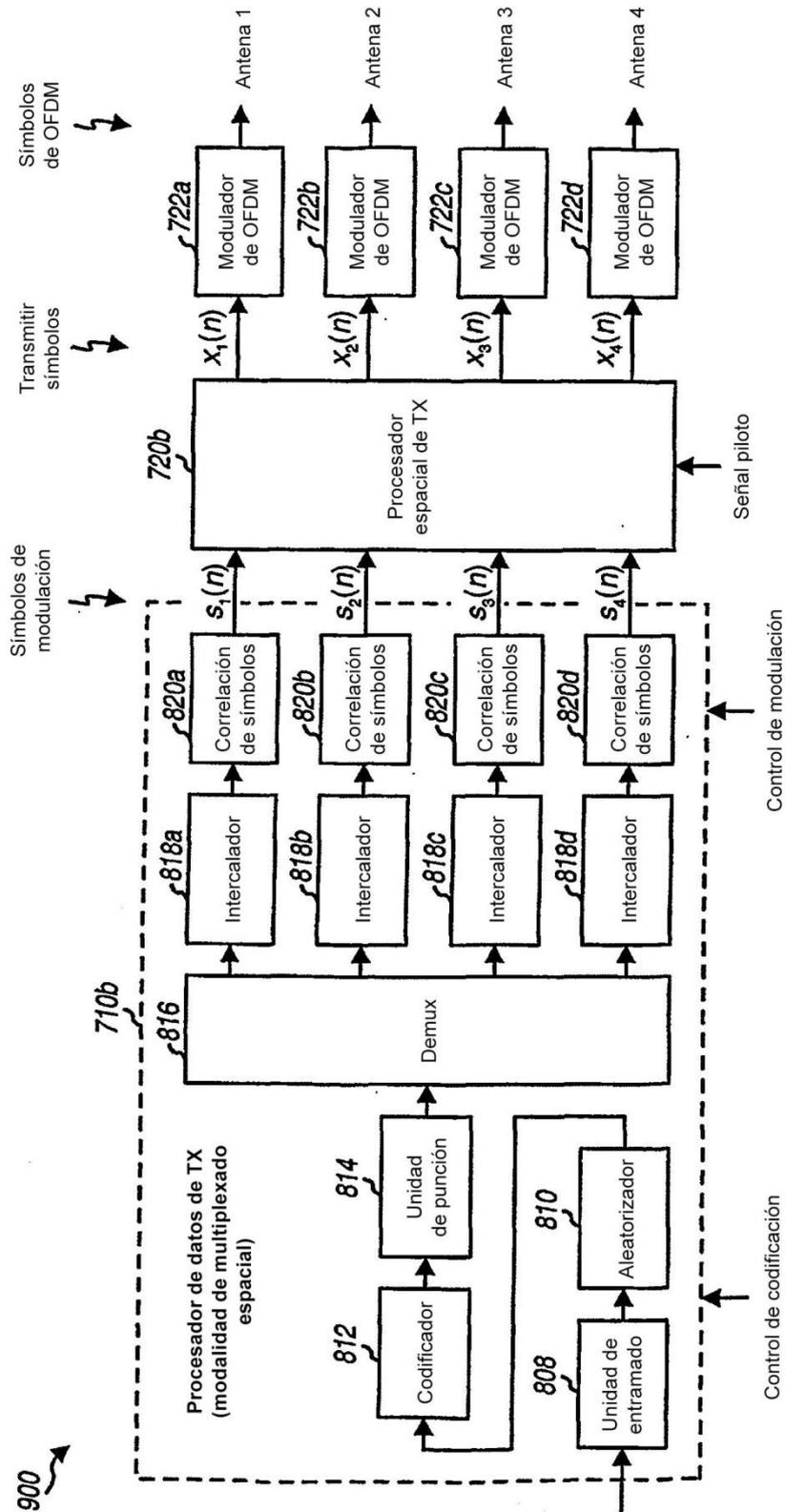


FIG. 9A

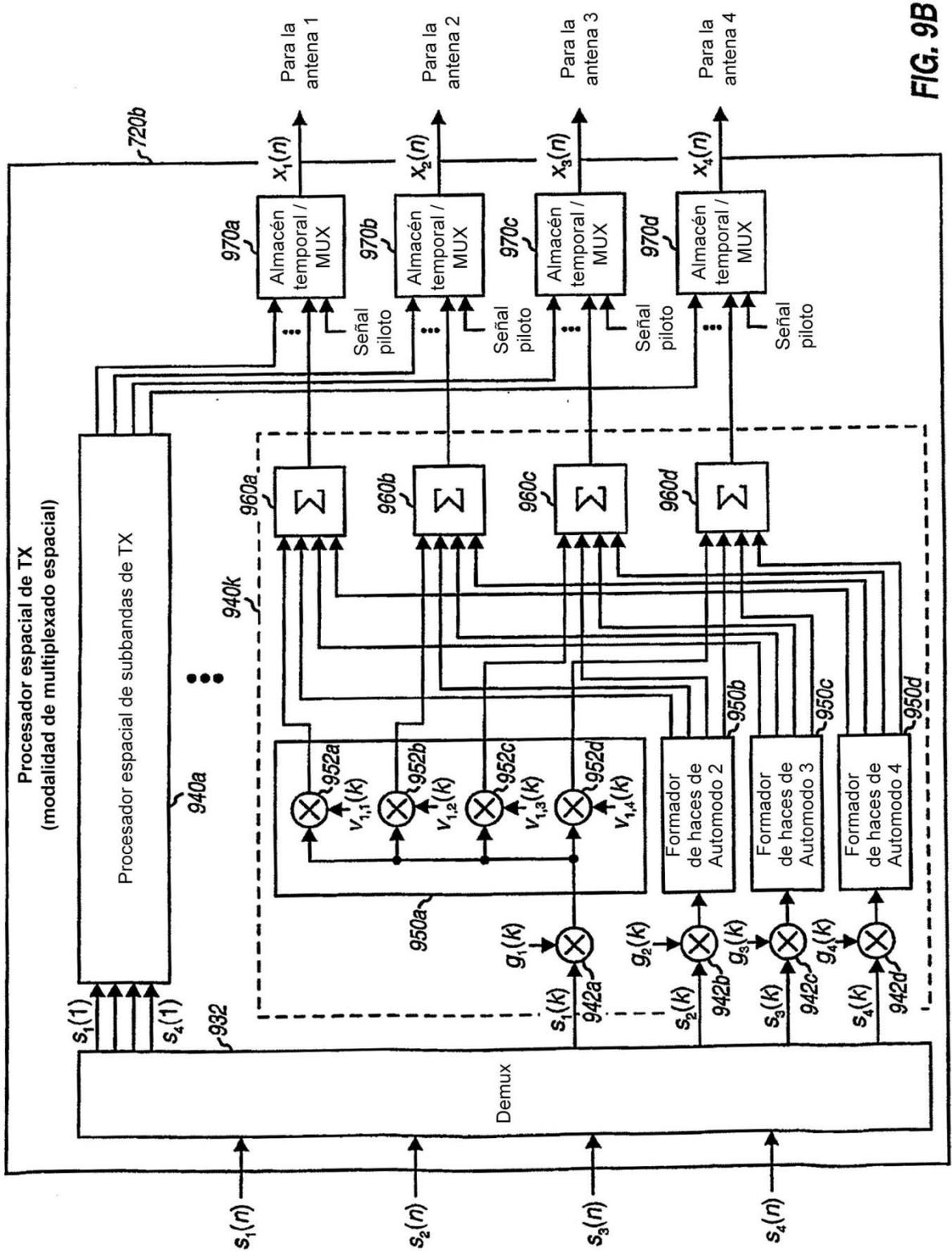


FIG. 9B

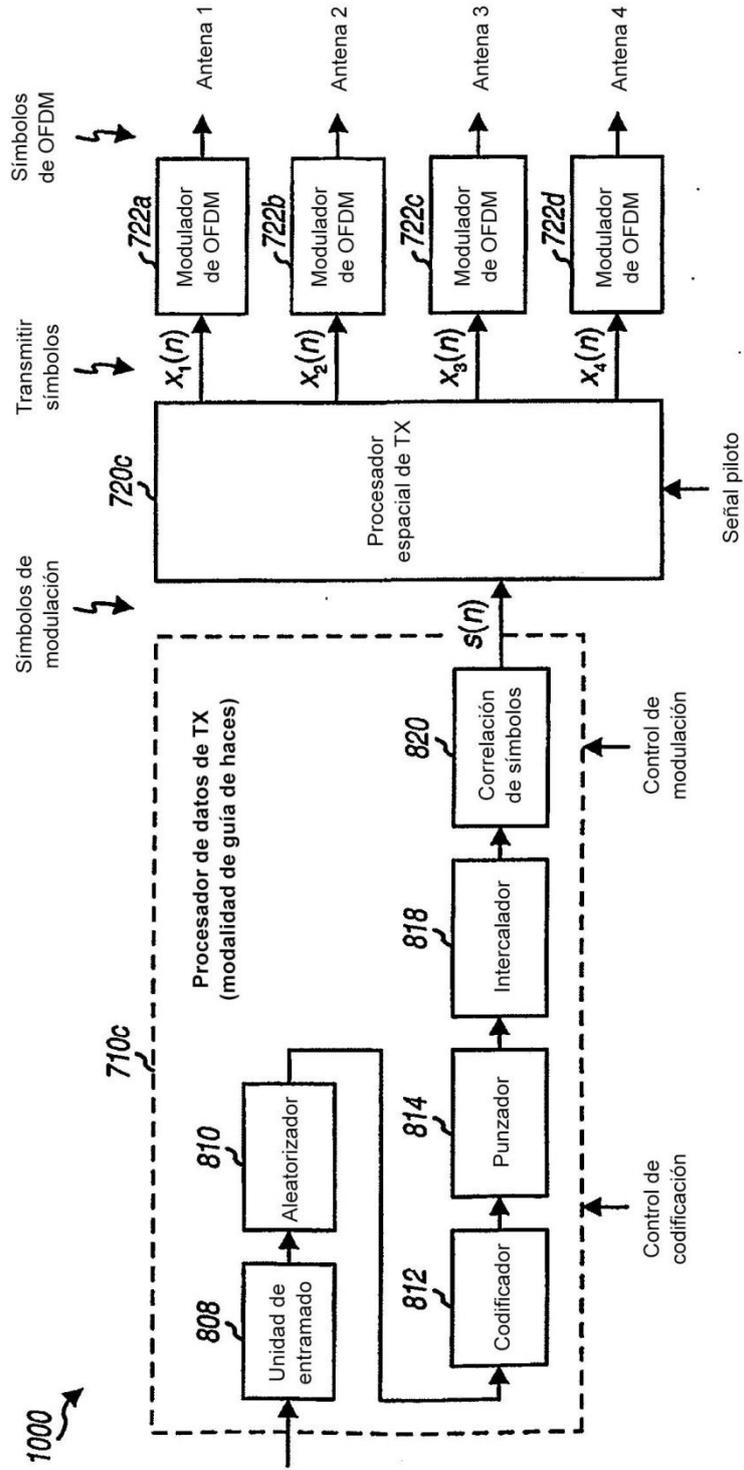


FIG. 10A

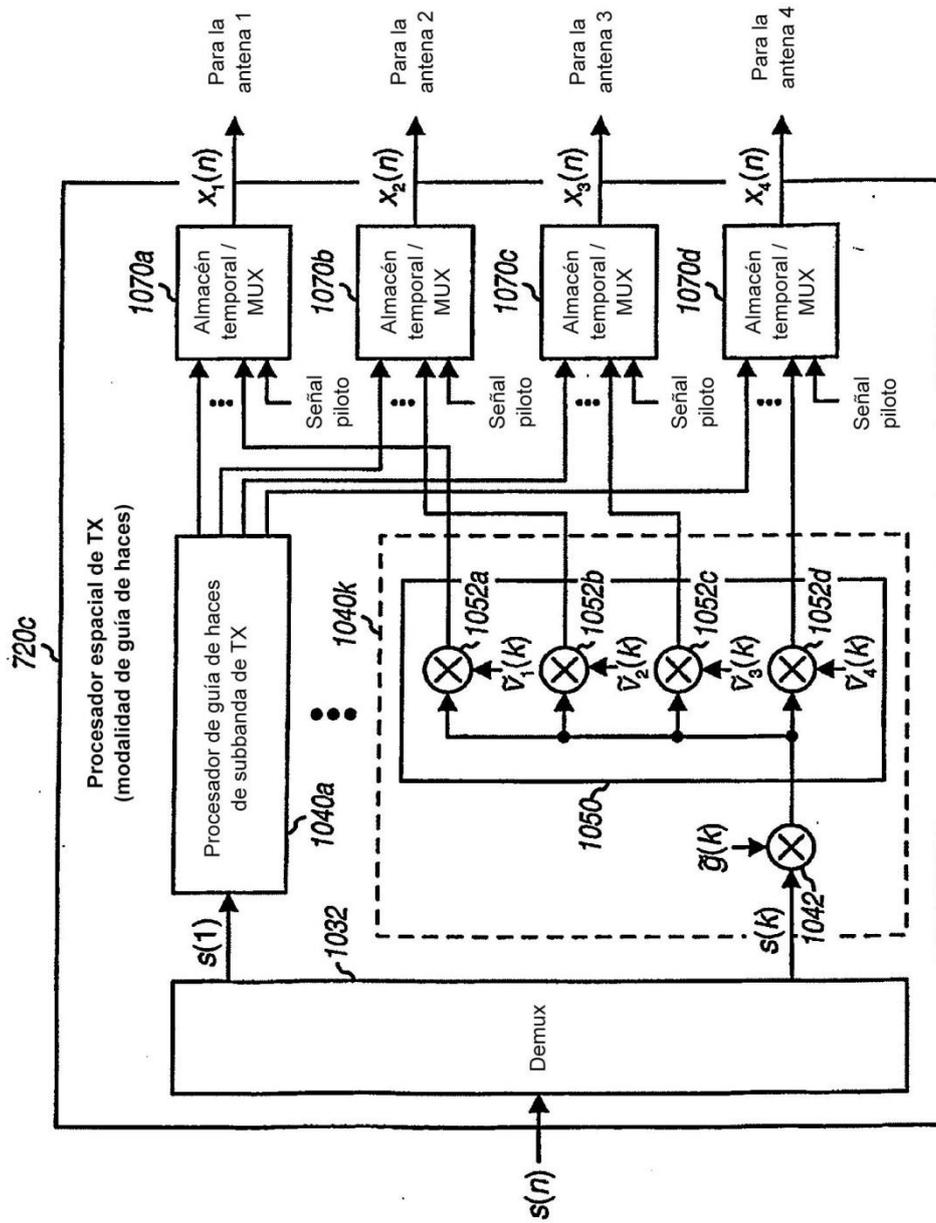


FIG. 10B

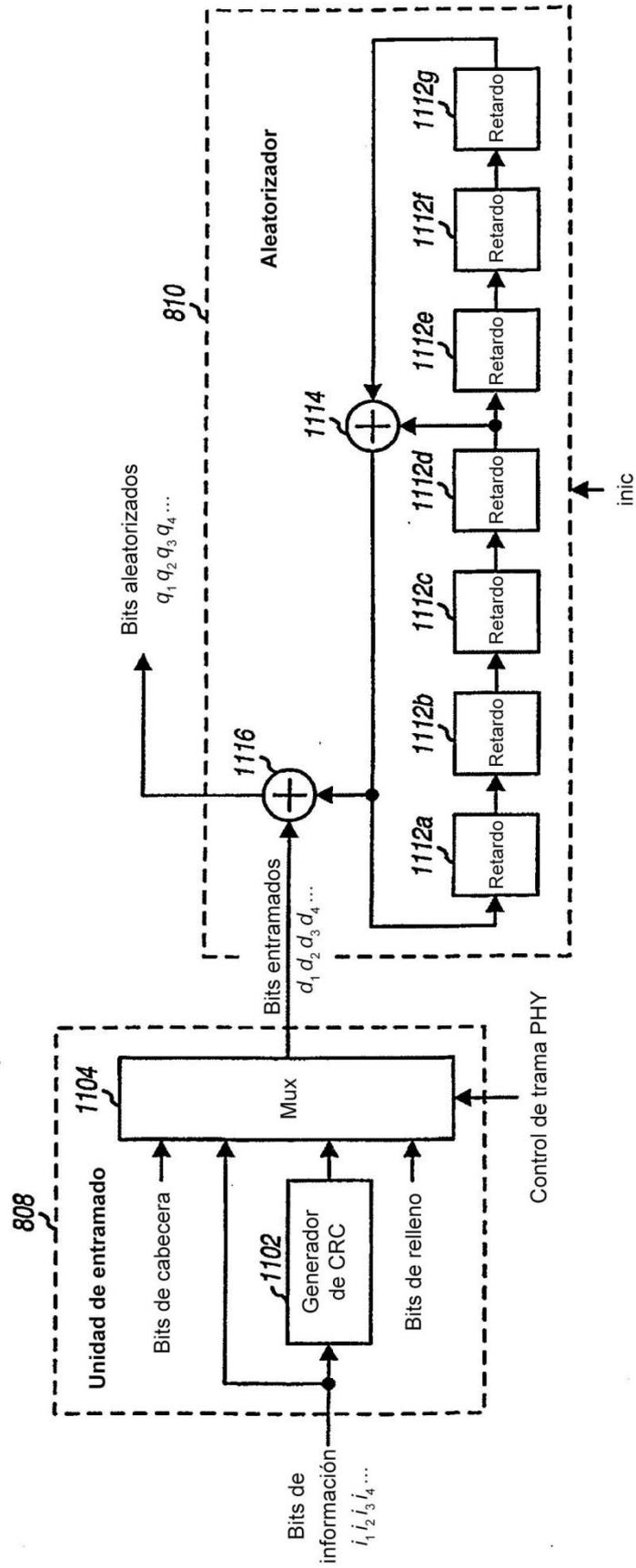


FIG. 11A

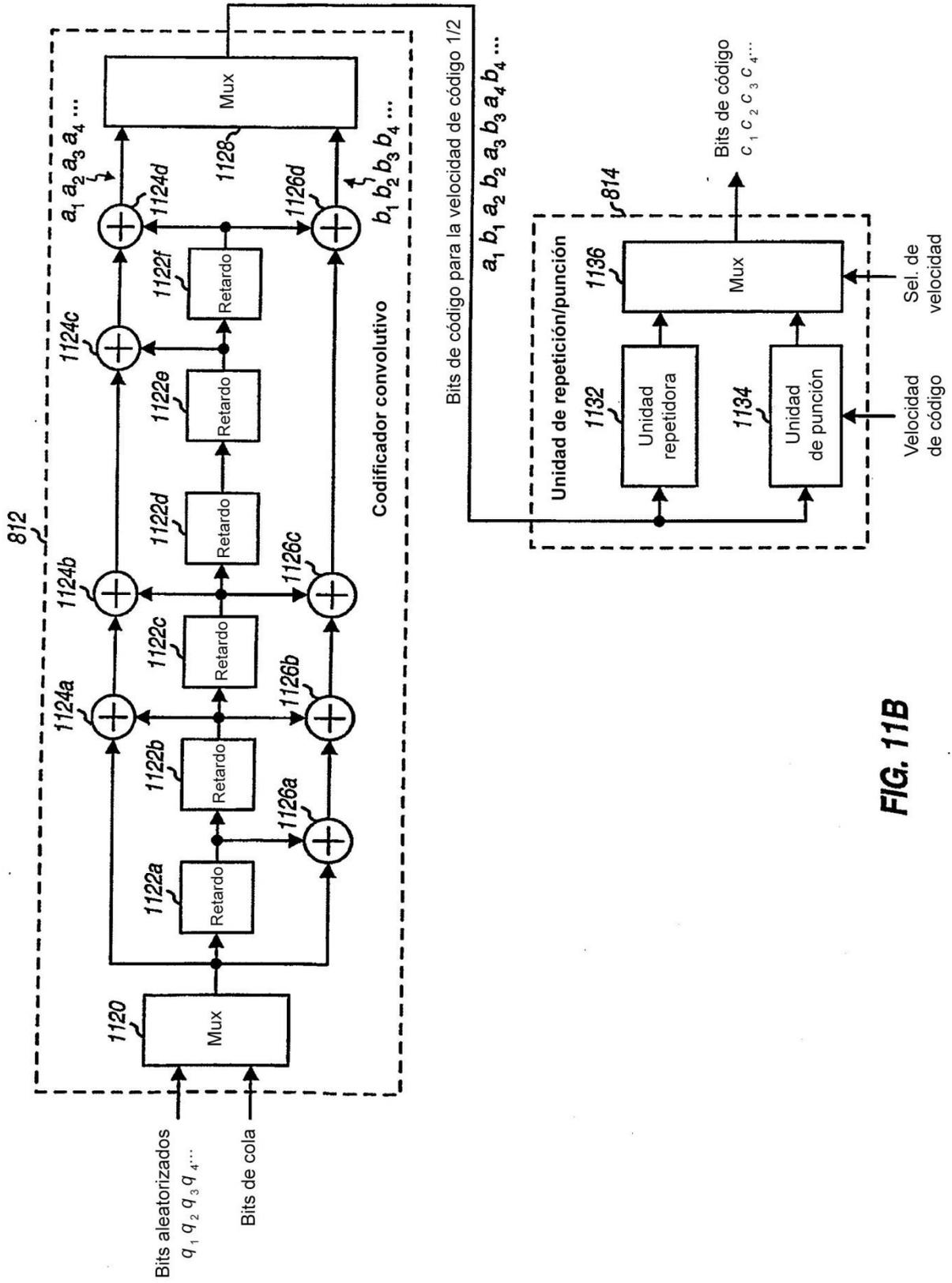


FIG. 11B

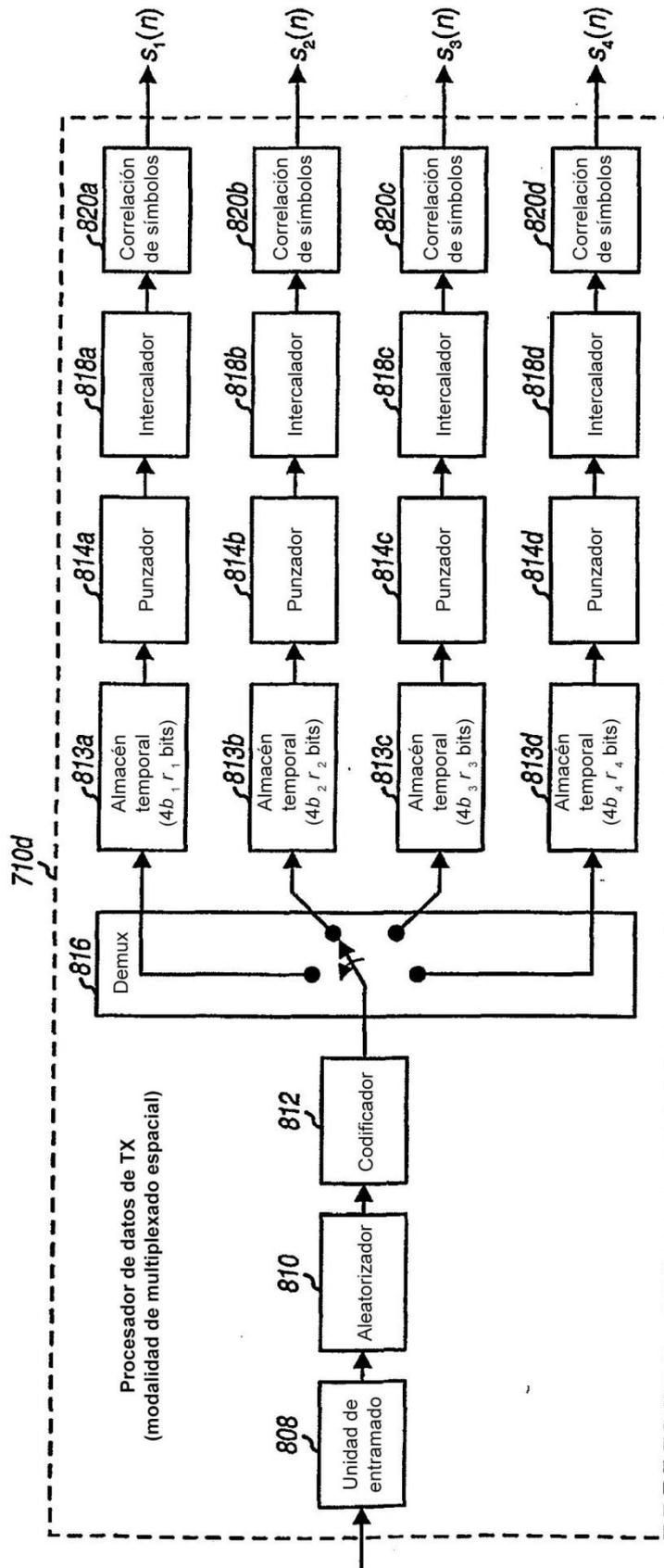


FIG. 11C

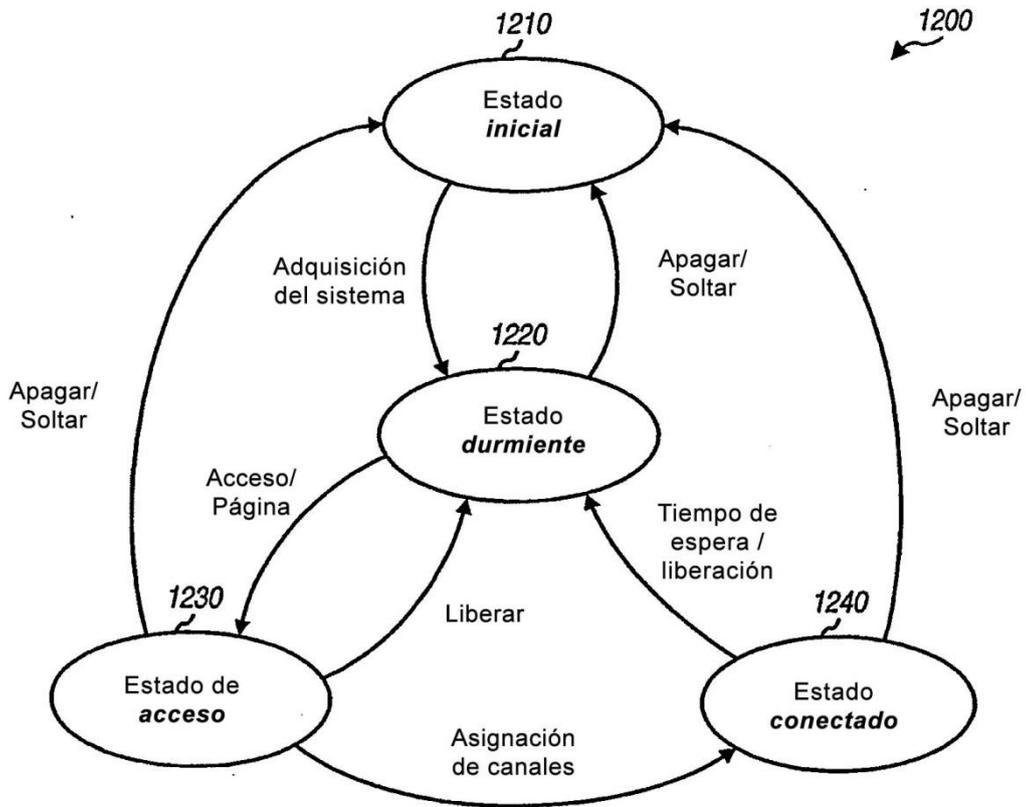


FIG. 12A

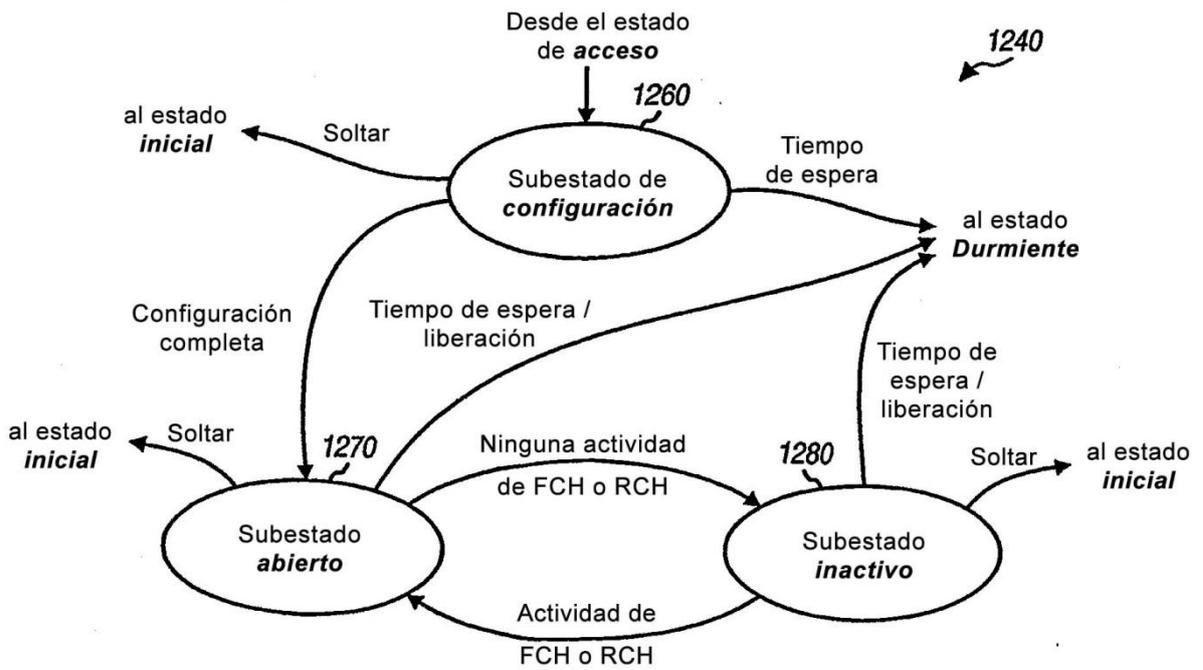


FIG. 12B

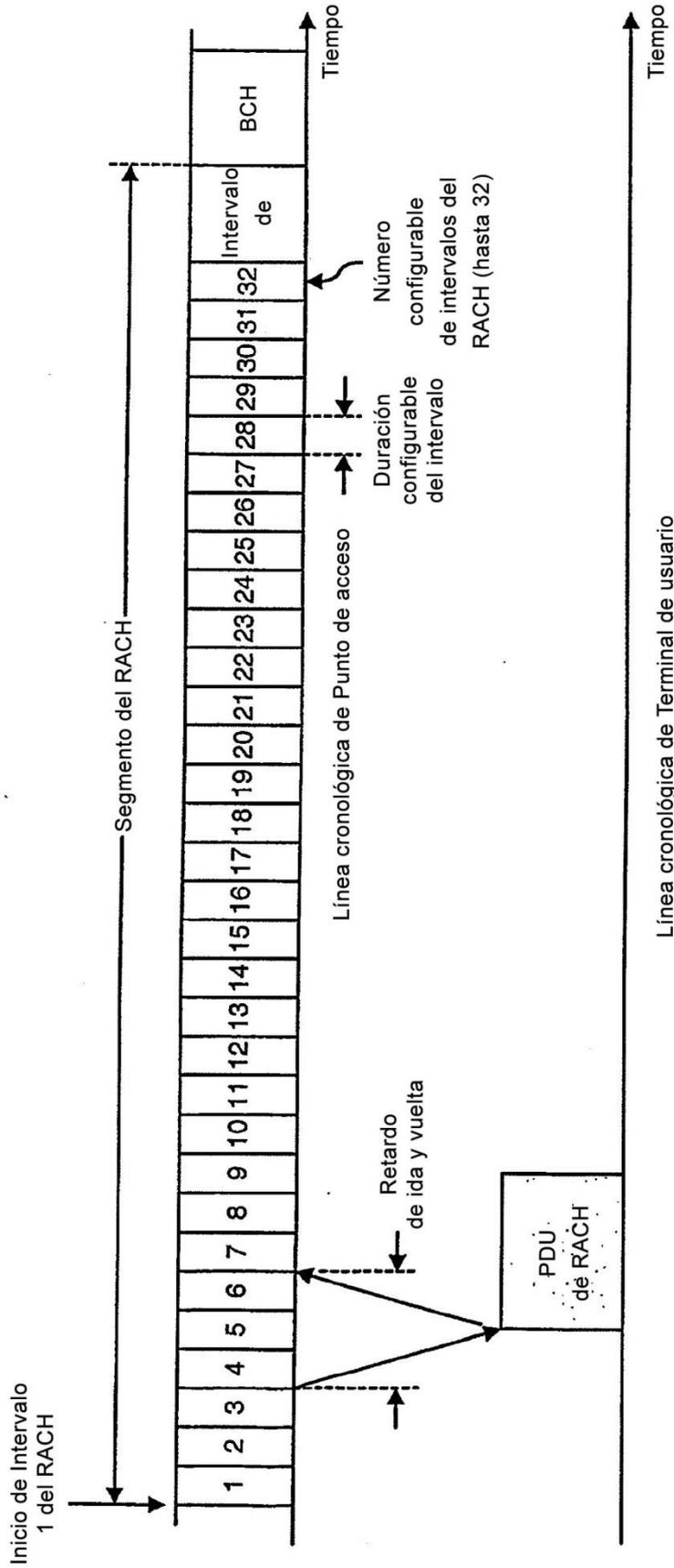


FIG. 13

Control de Velocidad de Enlace Descendente

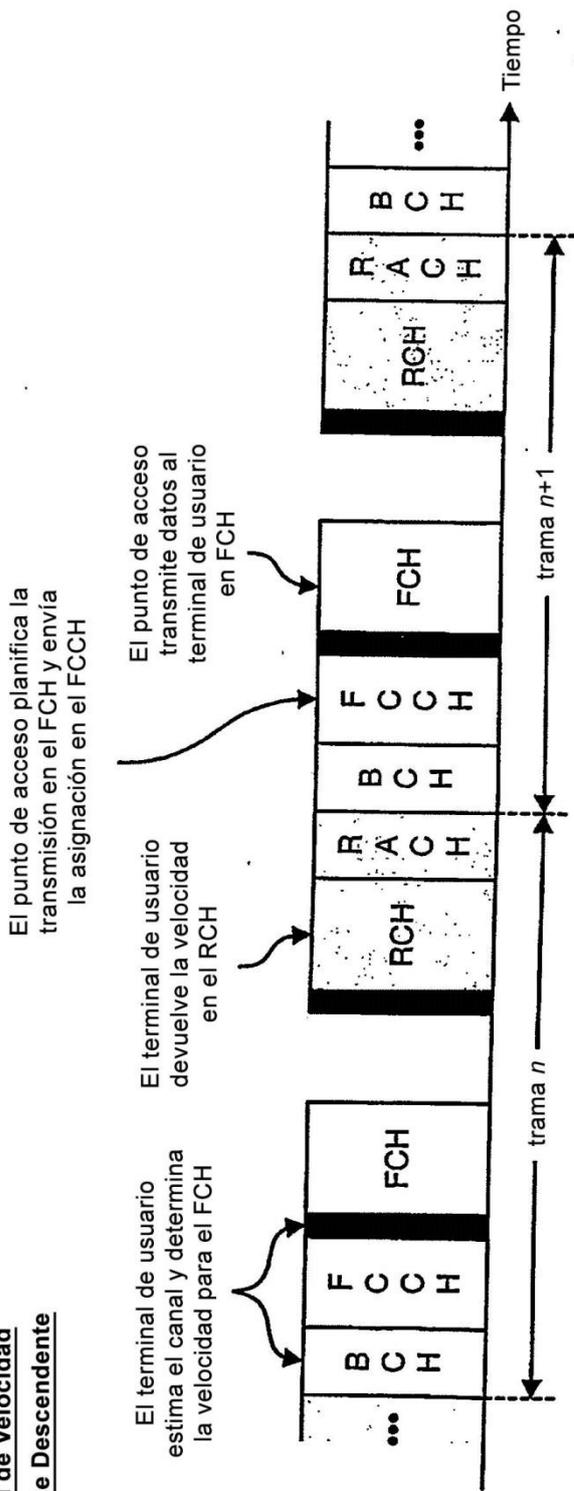


FIG. 14A

Control de Velocidad de Enlace Ascendente

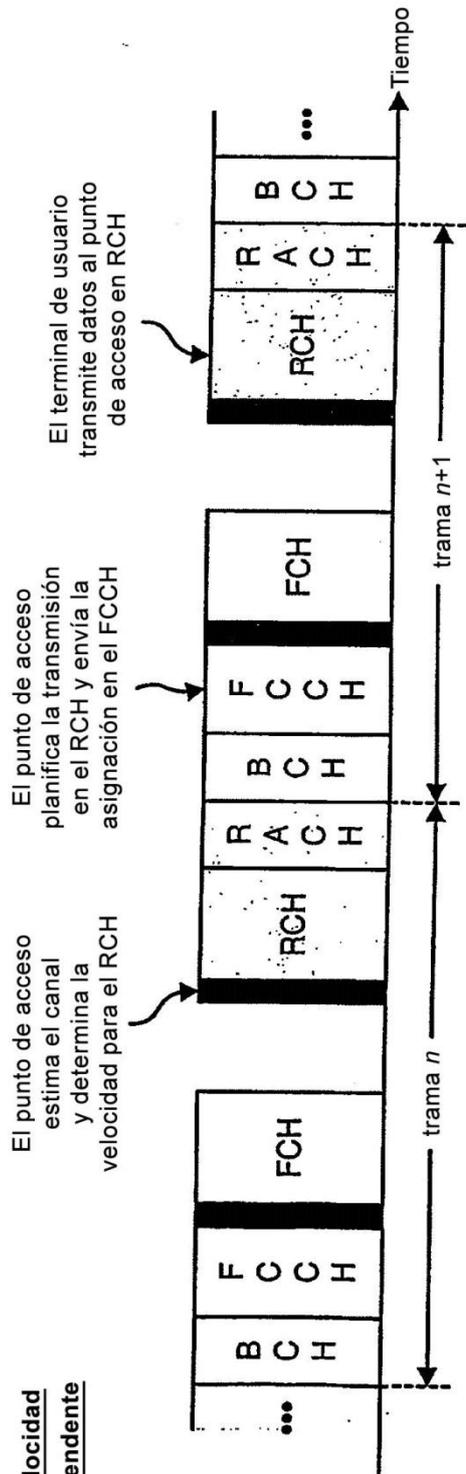


FIG. 14B

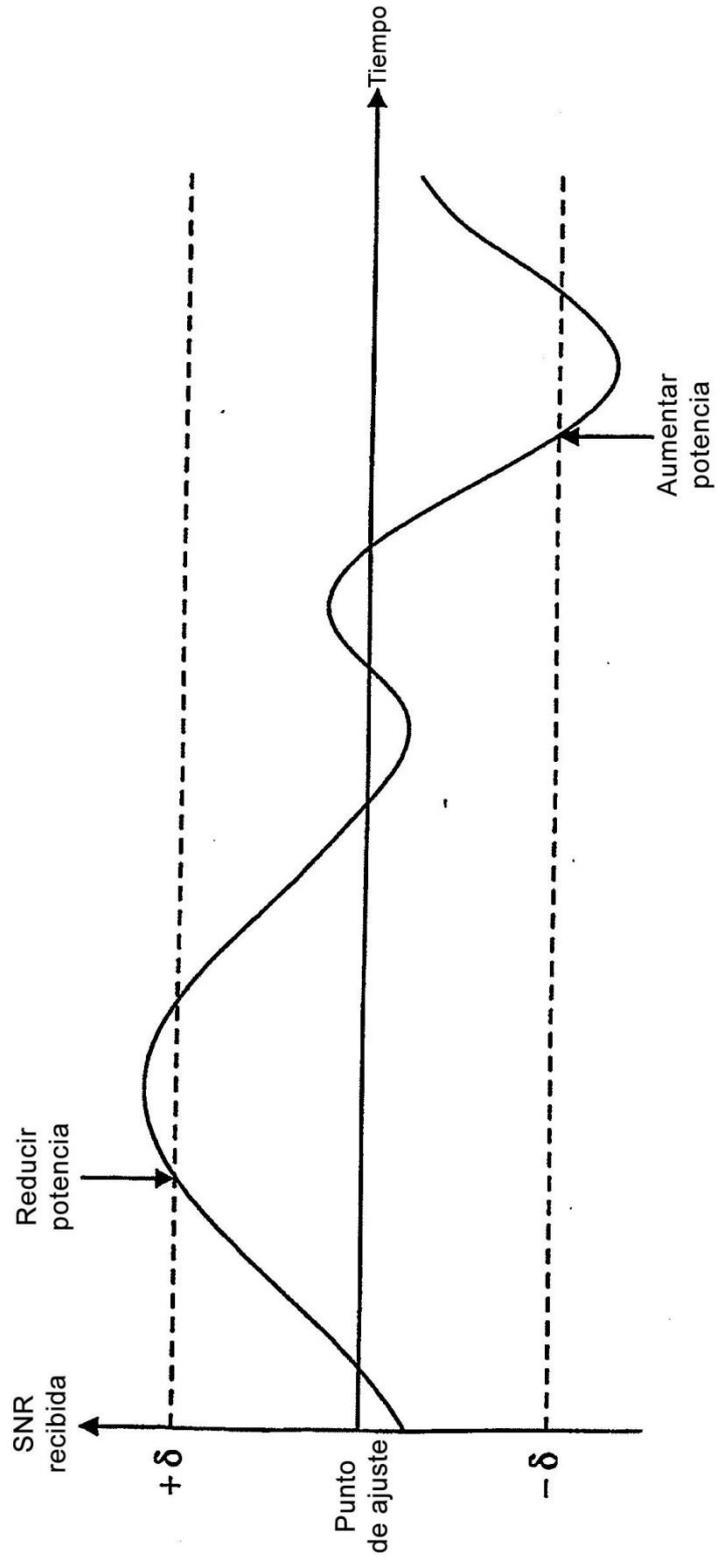
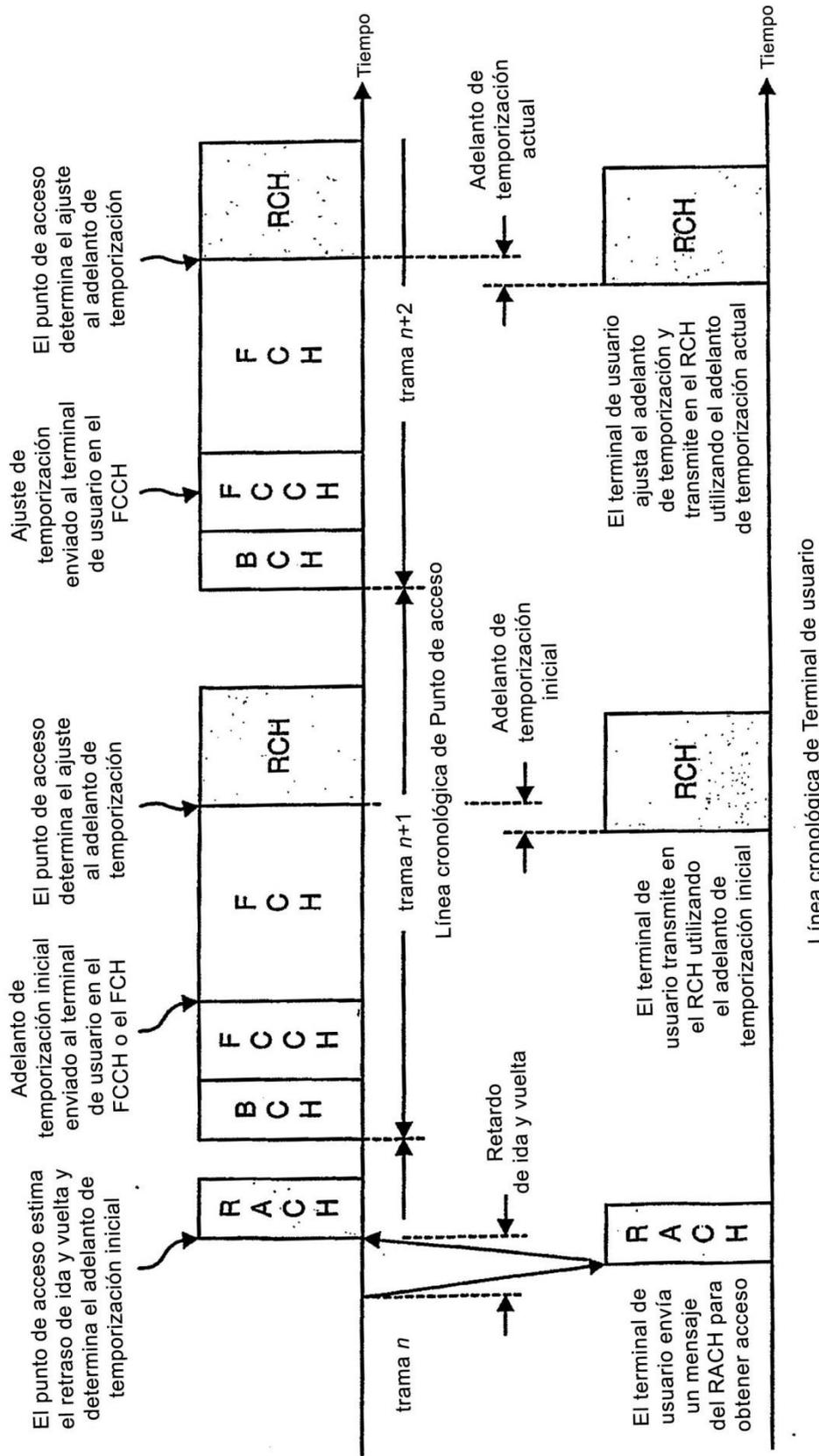


FIG. 15



Línea cronológica de Terminal de usuario

FIG. 16