

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 253**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)
H04L 27/26 (2006.01)
H04L 25/02 (2006.01)
H04L 25/03 (2006.01)
H04B 7/04 (2006.01)
H04B 7/06 (2006.01)
H04B 7/08 (2006.01)
H04L 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2003 E 10177035 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 2256978**

54 Título: **Control de velocidad de bucle cerrado para un sistema de comunicación multicanal**

30 Prioridad:

25.10.2002 US 421309 P
31.05.2003 US 448801

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.12.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 554 253 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

Control de velocidad de bucle cerrado para un sistema de comunicación multicanal.

5 ANTECEDENTES

I. Campo

10 La presente invención se refiere generalmente a la comunicación de datos y más específicamente a técnicas para realizar el control de velocidad para la transmisión de datos en canales paralelos múltiples en un sistema de comunicación multicanal.

II. Antecedentes

15 Un sistema de comunicación multicanal utiliza múltiples "canales paralelos" para la transmisión de datos. Estos canales paralelos pueden formarse en el dominio de tiempo, el dominio de frecuencia, dominio espacial, o una combinación de los mismos. Por ejemplo, los canales paralelos múltiples pueden formarse por diferentes intervalos de tiempo en un sistema de comunicación de multiplexación por división de tiempo (TDM), sub-bandas de frecuencia diferentes en un sistema de comunicación de multiplexación por división de frecuencia (FDM), diferentes conjuntos de desunión de sub-

20 bandas en un sistema de comunicación de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), o diferentes canales espaciales en un sistema de comunicación de entrada múltiple-salida múltiple (MIMO). Los sistemas TDM, FDM, OFDM y MIMO se describen en más detalle más adelante.

25 Los canales paralelos múltiples pueden experimentar diferentes condiciones de canal (por ejemplo, diferentes efectos de atenuación, trayectoria múltiple e interferencias) y pueden lograr diferentes relaciones señal-ruido (SNR, Signal-to-Noise Ratio). La SNR de un canal paralelo determina su capacidad de transmisión, que típicamente se cuantifica por una velocidad de datos particular que puede transmitirse de forma fiable en el canal paralelo. Si la SNR varía de canal paralelo a canal paralelo, entonces la velocidad de datos soportada puede variar también de canal a canal. Además, puesto que las condiciones de canal típicamente varían con el tiempo, las velocidades de datos

30 soportadas por los canales paralelos múltiples también varían con el tiempo.

El control de velocidad es un reto principal en un sistema de comunicación multicanal que experimenta condiciones de canal continuamente variables. El control de velocidad implica controlar la velocidad de datos de cada uno de los canales paralelos múltiples basándose en las condiciones de canal. La meta del control de velocidad debe ser

35 maximizar el rendimiento total en los canales paralelos múltiples cumpliendo al mismo tiempo ciertos objetivos de calidad, que pueden cuantificarse por una tasa de error de paquete particular (PER) o algún otro criterio.

Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de técnicas para realizar de forma eficaz el control de velocidad para múltiples canales paralelos que tienen las SNR variables. El documento WO 02/11369 describe requisitos de potencia de ATU-C (una unidad transceptora de ADSL en una oficina central) que pueden reducirse cuando hay un exceso de

40 margen de la relación señal-ruido (SNR) en el receptor de ATU-R (una unidad transceptor de ADSL en una ubicación remota).

SUMARIO

45 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento para seleccionar modos de transmisión para su uso en la transmisión de datos en una pluralidad de canales paralelos en un sistema de comunicación inalámbrica de acuerdo con la reivindicación 1; se proporciona un aparato para seleccionar modos de transmisión para su uso en la transmisión de datos en una pluralidad de canales paralelos en un sistema de comunicación inalámbrica de acuerdo con la reivindicación 7; y se proporciona un aparato de programa informático para seleccionar modos de

50 transmisión para su uso en la transmisión de datos en una pluralidad de canales paralelos en un sistema de comunicación inalámbrica que incluye una unidad de memoria que tiene módulos de instrucciones almacenados en la misma de acuerdo con la reivindicación 13. Se describen en el presente documento técnicas para realizar el control de velocidad de bucle cerrado para transmisión de datos en múltiples canales paralelos. El control de velocidad de bucle cerrado puede lograrse con uno o múltiples bucles. Un bucle interior estima las condiciones de canal para un enlace de comunicación y selecciona una velocidad de datos adecuada para cada uno de los canales paralelos múltiples (por ejemplo, para lograr un alto rendimiento general). Un bucle exterior (que es opcional) estima la calidad de las transmisiones de datos recibidas en los múltiples canales paralelos y ajusta el funcionamiento del bucle interior.

60

Para el bucle interior, las estimaciones de canal se obtienen inicialmente para canales paralelos múltiples (por ejemplo, basándose en los símbolos piloto recibidos). Las estimaciones de canal pueden incluir estimaciones de ganancia de canal para múltiples sub-bandas de cada canal paralelo, una estimación del ruido de fondo en el receptor y así sucesivamente. Después, se selecciona un "modo de transmisión" adecuado para cada canal paralelo basándose en (1) la potencia de transmisión asignada al canal paralelo, (2) las estimaciones de canal para el canal paralelo, (3) un desfase de la SNR proporcionado por el bucle exterior para el canal paralelo y (4) otra información

65

proporcionada por el bucle exterior. Un modo de transmisión indica, entre otras cosas, una velocidad de datos específica para su uso por un canal paralelo. El desfase de la SNR indica la cantidad de reducción a usar para el canal paralelo e influencia la selección del modo de transmisión para el canal paralelo. La otra información de bucle exterior puede dirigir al bucle interior a seleccionar un modo de transmisión con una velocidad de datos inferior a la normalmente seleccionada para el canal paralelo, por ejemplo, si se reciben errores de paquete excesivos para el canal paralelo. El transmisor y el receptor procesan los datos para cada canal paralelo de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para ese canal paralelo.

Para el bucle exterior, el receptor estima la calidad de las transmisiones de datos recibidas mediante los múltiples canales paralelos. Por ejemplo, el receptor puede determinar el estado de cada paquete de datos recibido (por ejemplo, como bueno o malo, como se describe a continuación), puede obtener métricas del decodificador para cada flujo de datos, estimar la SNR recibida para cada canal paralelo, etc. Después, el bucle exterior ajusta el funcionamiento del bucle interior para cada canal paralelo basándose en la calidad recibida estimada para ese canal paralelo. Por ejemplo, el bucle exterior puede ajustar el desfase de la SNR para cada canal paralelo para lograr una tasa de error de paquete objetivo (PER) para ese canal paralelo. El bucle exterior también puede dirigir al bucle interior a seleccionar un modo de transmisión con una velocidad de datos inferior para un canal paralelo si se detectan errores de paquete excesivos para ese canal paralelo.

También se describen en más detalle a continuación diversos aspectos y realizaciones de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las características, la naturaleza y las ventajas de la presente invención resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada expuesta a continuación cuando se toma junto con los dibujos, en los que los mismos caracteres de referencia identifican los mismos componentes y en los que:

la FIG. 1 muestra un transmisor y un receptor en un sistema de comunicación multicanal con control de velocidad de bucle cerrado para N_C canales paralelos;

la FIG. 2 muestra un mecanismo de control de velocidad de bucle cerrado;

la FIG. 3 muestra un proceso ejemplar para transmitir N_C flujos de datos en N_C canales paralelos usando N_C modos de transmisión seleccionados con el control de velocidad de bucle cerrado;

la FIG. 4 muestra un proceso ejemplar para el bucle exterior;

la FIG. 5 muestra un sistema MIMO-OFDM de TDD ejemplar;

la FIG. 6 muestra una estructura de tramas usada en el sistema MIMO-OFDM de TDD;

la FIG. 7 muestra un proceso para transmitir múltiples flujos de datos en múltiples modos propios de banda ancha en el enlace descendente y el enlace ascendente en el sistema MIMO-OFDM de TDD;

la FIG. 8 muestra un proceso para seleccionar N_S modos de transmisión para N_S modos propios de banda ancha;

las FIGS. 9A y 9B muestran un punto de acceso y un terminal en el sistema MIMO-OFDM de TDD para la transmisión de enlace descendente y enlace ascendente, respectivamente;

la FIG. 10 muestra un subsistema transmisor;

la FIG. 11 muestra un subsistema receptor; y

la FIG. 12A y 12B muestran diagramas de tiempo ejemplares para el control de velocidad de bucle cerrado para el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La expresión "a modo de ejemplo" se usa en el presente documento en el sentido de "que sirve como ejemplo, instancia o ilustración". No debe considerarse necesariamente que cualquier realización o diseño descritos en el presente documento como "ejemplar" sean preferidos o ventajosos con respecto a otras realizaciones o diseños.

Como se usa en el presente documento, el control de velocidad implica controlar la velocidad de datos de cada uno de los canales paralelos múltiples basándose en las condiciones de canal. La velocidad de datos para cada canal paralelo se determina por el modo de transmisión seleccionado para su uso por ese canal paralelo. El control de velocidad de este modo puede lograrse controlando los modos de transmisión usados para los canales paralelos múltiples.

La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques de un transmisor 110 y un receptor 150 en un sistema de comunicación multicanal 100 con control de velocidad de bucle cerrado para N_C canales paralelos, donde $N_C > 1$. Los N_C canales paralelos pueden formarse de diversas maneras, como se describe a continuación. Para la transmisión de enlace descendente, el transmisor 110 es un punto de acceso, el receptor 150 es un terminal de usuario, el primer enlace de comunicación 148 es el enlace descendente (es decir el enlace directo) y el segundo enlace de comunicación 152 es el enlace ascendente (es decir, el enlace inverso). Para la transmisión de enlace ascendente, el transmisor 110 es un terminal de usuario, el receptor 150 es un punto de acceso y el primer y segundo enlaces de comunicación son el enlace ascendente y el enlace descendente, respectivamente.

En el transmisor 110, un procesador de datos de transmisión (TX) 120 recibe N_C flujo de datos, un flujo para cada uno de los N_C canales paralelos. Cada canal paralelo se asocia con un modo de transmisión específico que indica un conjunto de parámetros de transmisión a usarse para ese canal paralelo. Un modo de transmisión puede indicar (o puede asociarse con) una velocidad de datos particular, un esquema de codificación particular o velocidad de código, un esquema de intercalación particular, un esquema de modulación particular, etc., para su uso en la transmisión de datos. Un conjunto ejemplar de modos de transmisión se da en la Tabla 2 que se indica a continuación. Para cada canal paralelo, la velocidad de datos se indica por un control de velocidad de datos, el esquema de codificación se indica por el control de codificación y el esquema de modulación se indica por un control de modulación. Estos controles se proporcionan por un controlador 130 y se generan basándose en el modo de transmisión seleccionado para cada canal paralelo usando información de retroalimentación obtenida del receptor 150 y posiblemente otra información (por ejemplo estimaciones de canal) obtenida por el transmisor 110.

El procesador de datos de TX 120 codifica, intercala y modula cada flujo de datos de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para su canal paralelo con el fin de proporcionar una corriente correspondiente de símbolos de modulación. El procesador de datos de TX 120 proporciona N_C corrientes de símbolos de modulación para los N_C flujos de datos. Después, una unidad transmisora (TMTR) 122 procesa las N_C corrientes de símbolos de modulación de una manera especificada por el sistema. Por ejemplo, la unidad transmisora 122 puede realizar un procesamiento OFDM para un sistema OFDM, un procesamiento espacial para un sistema MIMO, o tanto procesamiento espacial como procesamiento OFDM para un sistema MIMO-OFDM (que es un sistema MIMO que utiliza OFDM). También se transmite un piloto para ayudar al receptor 150 a realizar varias funciones, tales como la estimación de canal, adquisición, frecuencia y sincronización temporal, desmodulación coherente, etc. La unidad transmisora 122 multiplexa símbolos piloto con los símbolos de modulación para cada canal paralelo, procesa los símbolos multiplexados y proporciona una señal modulada para cada antena usada para la transmisión de datos. Después, cada señal modulada se transmite mediante el primer enlace de comunicación 148 al receptor 150. El primer enlace de comunicación 148 distorsiona cada señal modulada con una respuesta de canal particular y además degrada la señal modulada con (1) ruido Gaussiano blanco aditivo (AWGN) que tiene una varianza de N_0 y (2) posiblemente la interferencia de otros transmisores.

En el receptor 150, la señal o señales transmitidas se reciben por una o más antenas de recepción y la señal recibida de cada antena se proporciona a una unidad receptora (RCVR) 160. La unidad receptora 160 condiciona y digitaliza cada señal recibida para proporcionar una corriente correspondiente de muestras. La unidad receptora 160 procesa adicionalmente las muestras de una manera que es complementaria a la realizada por la unidad transmisora 122 para proporcionar N_C corrientes de símbolos "recuperados", que son estimaciones de las N_C corrientes de los símbolos de modulación enviados por el transmisor 110.

Después un procesador de datos de recepción (RX) 162 procesa las N_C corrientes de símbolos recuperados de acuerdo con los N_C modos de transmisión N_C seleccionados por los N_C canales paralelos para obtener N_C flujos de datos decodificados, que son estimaciones de los N_C flujos de datos enviados por el transmisor 110. El procesamiento por el procesador de datos de RX 162 puede incluir desmodulación, desintercalado y decodificación. El procesador de datos de RX 162 puede proporcionar adicionalmente el estado de cada paquete de datos recibido y/o métricas del decodificador para cada flujo de datos decodificado.

La unidad receptora 160 también proporciona símbolos piloto recibidos para los N_C canales paralelos a un estimador de canal 164. El estimador de canal 164 procesa estos símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de canal para los N_C canales paralelos. Las estimaciones de canal pueden incluir, por ejemplo, estimaciones de ganancias de canal, estimación N_0 de varianza de ruido, etc. La varianza de ruido N_0 , que es el ruido de fondo observado en el receptor 150, incluye ruido de canal, ruido de circuitería del receptor, interferencia (es decir, diafonía) de otras entidades de transmisión, etc.

Un selector de modo de transmisión (TM) 166 recibe las estimaciones de canal del estimador de canal 164 y posiblemente el estado de paquete y/o las métricas del decodificador del procesador de datos de RX 162. El selector de modo de transmisión 166 calcula una SNR operativa para cada uno de los N_C canales paralelos basándose en las estimaciones de canal y un desfase de la SNR para ese canal paralelo. El selector de modo de transmisión 166 selecciona entonces un modo de transmisión adecuado para cada canal paralelo basándose en la SNR operativa y la información de bucle exterior para el canal paralelo. La selección de modo de transmisión se describe en detalle a continuación.

Un controlador 170 recibe los N_C modos de transmisión seleccionados, TM 1 a TM N_C del selector de modo de transmisión 166 y el estado de paquete del procesador de datos de RX 162 (no mostrado). Después, el controlador 170 reúne la información de retroalimentación para el transmisor 110. La información de retroalimentación puede incluir los N_C modos de transmisión seleccionados para los N_C canales paralelos, confirmaciones positivas (ACK) y/o confirmaciones negativas (NAK) para los paquetes de datos recibidos, un piloto y/u otra información. La información de retroalimentación se envía entonces a través del segundo enlace de comunicación 152 al transmisor 110. El transmisor 110 usa la información de retroalimentación para ajustar el procesamiento de los N_C flujos de datos enviados al receptor 150. Por ejemplo, el transmisor 110 puede ajustar la velocidad de datos, el esquema de codificación, el esquema de modulación, o cualquier combinación de los mismos, para cada uno de los N_C flujos de datos enviados en los N_C canales paralelos al receptor 150. La información de retroalimentación se usa para aumentar la eficiencia del sistema permitiendo que los datos se transmitan en los ajustes mejor conocidos soportados por el primer enlace de comunicación 148.

En la realización mostrada en la FIG. 1, la estimación de canal y la selección de modo de transmisión se realizan por el receptor 150 y los N_C modos de transmisión seleccionados para los N_C canales paralelos se envían nuevamente al transmisor 110. En otras realizaciones, la estimación de canal y la selección de modo de transmisión pueden realizarse (1) por el transmisor 110 basándose en la información de retroalimentación obtenida del receptor 150 y/u otra información obtenida por el transmisor 110 o (2) conjuntamente por el transmisor 110 y el receptor 150.

La FIG. 2 muestra un diagrama de bloques de una realización de un mecanismo de control de velocidad de bucle cerrado 200, que incluye un bucle interior 210 que opera junto con un bucle exterior 220. Con fines de simplicidad, la operación del bucle interior 210 y el bucle exterior 220 para solo un canal paralelo x se muestra en la FIG. 2. En general, el mismo procesamiento puede realizarse independientemente para cada uno de los N_C canales paralelos.

Para el bucle interior 210, el estimador de canal 164 x estima las condiciones de canal para el canal paralelo x y proporciona estimaciones de canal (por ejemplo, estimaciones de ganancia de canal y estimación de ruido de fondo). Un selector 174 dentro del selector de modo de transmisión 166 x calcula una SNR recibida para el canal paralelo x basándose en (1) las estimaciones de canal del estimador de canal 164 x y (2) un desfase de la SNR y/o un ajuste de modo de transmisión para el canal paralelo x de un estimador de calidad 172. Para mayor claridad, la SNR recibida se muestra simbólicamente como proporcionada por el estimador de canal 164 x al selector 174 en la FIG. 2. El selector 174 selecciona entonces un modo de transmisión para el canal paralelo x basándose en la información recibida, como se describe a continuación. El modo de transmisión de selección para el canal paralelo x se incluye en la información de retroalimentación enviada por el controlador 170 al transmisor. En el transmisor, el controlador 130 recibe el modo de transmisión seleccionado para el canal paralelo x y determina la velocidad de datos, codificación y controles de modulación para el canal paralelo x . Los datos se procesan entonces de acuerdo con estos controles por el procesador de datos de TX 120 x , además se multiplexan con los símbolos piloto y se condicionan por la unidad transmisora 122 x y se envían al receptor. La estimación de canal y la selección de modo de transmisión pueden realizarse periódicamente, en momentos programados, siempre que se detecten cambios en el enlace de comunicación, solo cuando sea necesario (por ejemplo, antes y durante la transmisión de datos), o en otros momentos.

El bucle exterior 220 estima la calidad de la transmisión de datos recibida en el canal paralelo x y ajusta la operación del bucle interior 210 para el canal paralelo x . Los símbolos de datos recibidos para el canal paralelo x se procesan por el procesador de datos de RX 162 x y el estado de cada paquete recibido en el canal paralelo x y/o las métricas del decodificador se proporcionan al estimador de calidad 172. Las métricas del decodificador pueden incluir una tasa de error de símbolos recodificada (SER), una métrica de potencia recodificada, una métrica de Yamamoto modificada (para un decodificador convolucional), una relación mínima o media de probabilidad logarítmica (LLR) entre bits en un paquete decodificado (por un decodificador turbo), etc. La SER recodificada es la tasa de error entre los símbolos recibidos de la unidad receptora 160 y los símbolos recodificados obtenidos por el procesamiento (por ejemplo, recodificación, remodulación, etc.) de los datos decodificados del procesador de datos de RX 162. La métrica modificada de Yamamoto es indicativa de la confianza en los datos decodificados y se obtiene basándose en la diferencia entre la (mejor) trayectoria seleccionada a través del enrejado para la decodificación convolucional y la siguiente trayectoria más cercana a través del enrejado. La LLR mínima o media también puede usarse como una indicación de la confianza de los datos decodificados. Estas métricas del decodificador, que son indicativas de la calidad de la transmisión de datos recibida en el canal paralelo x , se conocen en la técnica.

El bucle exterior 220 puede proporcionar diferentes tipos de información usada para controlar la operación del bucle interior 210. Por ejemplo, el bucle exterior 220 puede proporcionar un desfase de la SNR para cada canal paralelo. El desfase de la SNR se usa en el cálculo de la SNR operativa para el canal paralelo, como se describe a continuación. La SNR operativa se proporciona entonces a una tabla de consulta 176 (LUT) y se usa para seleccionar el modo de transmisión para el canal paralelo. El desfase de la SNR influye de este modo la selección del modo de transmisión. El bucle exterior 220 también puede proporcionar un ajuste de modo de transmisión para cada canal paralelo. Este ajuste puede dirigir al bucle interior 210 a seleccionar un modo de transmisión con una velocidad de datos inferior para el canal paralelo. El ajuste de modo de transmisión tiene impacto directamente en la selección del modo de transmisión. El desfase de la SNR y el ajuste de modo de transmisión son dos mecanismos para controlar la operación del bucle interior 210. El bucle exterior 220 también puede diseñarse para proporcionar otros tipos de

ajustes para el bucle interior 210. Con fines de simplicidad, solamente el desfase de la SNR y el ajuste de modo de transmisión se describen a continuación. El bucle exterior 220 puede ajustar el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión de diversas maneras, algunas de las cuales se describen a continuación.

5 En una primera realización, el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión para cada canal paralelo se ajustan basándose en los errores de paquete detectados para el flujo de datos recibido en ese canal paralelo. El flujo de datos puede transmitirse en paquetes, bloques, tramas, o algunas unidades de datos diferentes. (Con fines de simplicidad, el paquete se usa en el presente documento para la unidad de datos). Cada paquete puede codificarse con un código de detección de error (por ejemplo, un código de verificación de redundancia cíclica (CRC)) que permite
10 que el receptor determine si el paquete se decodificó correctamente o en error. Cada canal paralelo puede asociarse con una tasa de error de paquete objetivo particular (PER) (por ejemplo, PER al 1 %). El estimador de calidad 172 recibe el estado de cada paquete recibido y la PER objetivo para el canal paralelo x y ajusta el desfase de la SNR para el canal paralelo x por consiguiente. Por ejemplo, el desfase de la SNR para el canal paralelo x puede iniciarse en cero al comienzo de la transmisión de datos en el canal paralelo x . El desfase de la SNR puede reducirse después de esto por ΔDN para cada paquete bueno y aumentarse por ΔUP por cada paquete malo, donde ΔDN y ΔUP pueden seleccionarse basándose en la PER objetivo y el tiempo de respuesta deseado para el bucle exterior. El desfase de la SNR típicamente es un valor positivo o cero pero también puede permitirse que sea un valor negativo (por ejemplo, para explicar una estimación inicial elevada de la SNR recibida). Como alternativa o adicionalmente, el estimador de calidad 172 puede proporcionar una directiva para ajustar el modo de transmisión para el canal paralelo x a la siguiente velocidad de datos más baja, por ejemplo, si se detecta una ráfaga de errores de paquete en el canal paralelo x . El desfase de la SNR y/o el ajuste de modo de transmisión del estimador de calidad 172 se usan por el selector 174 para seleccionar el modo de transmisión para el canal paralelo x .

25 En una segunda realización, el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión para cada canal paralelo se ajustan basándose en las métricas del decodificador para ese canal paralelo. Las métricas del decodificador para cada canal paralelo pueden usarse para estimar la calidad de la transmisión de datos recibida en ese canal paralelo. Si una métrica de decodificación particular para un canal paralelo dado es peor que un umbral seleccionado para esa métrica, entonces el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión para ese canal paralelo pueden ajustarse de acuerdo con ello.

30 En una tercera realización, el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión para cada canal paralelo se ajustan basándose en la SNR recibida y la SNR requerida por ese canal paralelo. La SNR recibida para cada canal paralelo puede determinarse basándose en los símbolos piloto recibidos para ese canal paralelo. El sistema puede soportar un conjunto de modos de transmisión (por ejemplo, como se muestra en la Tabla 2) y cada modo de transmisión soportado requiere una diferente SNR mínima para lograr la PER objetivo. El estimador de calidad 172 puede determinar un margen de SNR para el canal paralelo x , que es la diferencia entre la SNR recibida y la SNR requerida para el canal paralelo x . Si el margen de SNR para el canal paralelo x es un valor negativo, entonces el modo de transmisión para el canal paralelo x puede ajustarse para la siguiente velocidad de datos inferior.

40 La tercera realización también puede usarse para un diseño mediante el que un paquete se desmultiplexa y se transmite a través de múltiples canales paralelos. Si el paquete se recibe en error, entonces puede no ser posible determinar (solo a partir del paquete recibido) qué uno o unos de los canales paralelos provocan que el paquete se reciba en error. Si ninguna otra información está disponible, entonces puede ser necesario ajustar los N_C desfases de la SNR y/o los N_C modos de transmisión para todos N_C canales paralelos, por ejemplo, de manera que la siguiente velocidad de datos más baja se use para cada canal paralelo. Esto puede dar como resultado una cantidad excesiva de reducción en la velocidad de datos general. Sin embargo, usando la tercera realización, el canal paralelo con el margen de SNR más pequeño puede asumirse que ha provocado el error de paquete y el modo de transmisión para este canal paralelo puede ajustarse a la siguiente velocidad de datos inferior.

50 El bucle exterior también puede ajustar la operación del bucle interior de otras formas y esto está dentro del alcance de la invención. En general, el bucle exterior opera a una velocidad que puede ser más rápida o más baja que la velocidad del bucle interior. Por ejemplo, el ajuste del desfase de la SNR por el bucle exterior puede depender de muchos paquetes recibidos. El bucle exterior también puede ajustar la velocidad de datos entre cálculos de bucle interior regularmente programados. De este modo, dependiendo de su diseño específico y forma de operación, el
55 bucle exterior típicamente tiene más influencia sobre la operación del bucle interior para transmisiones de datos más grandes. Para transmisiones en ráfaga, el bucle exterior puede no tener mucha o ninguna influencia sobre la operación del bucle interior.

60 **La FIG. 3** muestra un diagrama de flujo de un proceso 300 para transmitir N_C flujos de datos en N_C canales paralelos usando N_C modos de transmisión seleccionados con el control de velocidad de bucle cerrado. El proceso 300 puede implementarse como se muestra en las FIGS. 1 y 2. Inicialmente, el receptor estima las ganancias de canal y el ruido de fondo N_0 para los N_C canales paralelos (etapa 312). El receptor selecciona entonces un modo de transmisión para cada uno de los N_C canales paralelos basándose en las estimaciones de ganancia de canal, la estimación de ruido de fondo y la información de bucle exterior (si la hubiera) para ese canal paralelo (etapa 314). La información de bucle exterior puede incluir el desfase de la SNR y/o el ajuste de modo de transmisión para cada uno de los N_C canales paralelos. La selección de modo de transmisión se describe a continuación. El receptor envía los N_C modos de

transmisión seleccionados para los N_C canales paralelos, como información de retroalimentación, al transmisor (etapa 316).

5 El transmisor codifica y modula los N_C flujos de datos de acuerdo con los N_C modos de transmisión seleccionados (obtenidos del receptor) para proporcionar N_C corrientes de símbolos de modulación (etapa 322). Después, el transmisor procesa y transmite las N_C corrientes de símbolos de modulación en los N_C canales paralelos al receptor (etapa 324).

10 El receptor procesa las transmisiones de datos recibidas en los N_C canales paralelos del transmisor y obtiene las N_C corrientes de símbolos recuperados (etapa 332). El receptor además procesa las N_C corrientes de símbolos recuperados de acuerdo con los N_C modos de transmisión seleccionados para obtener N_C flujos de datos decodificados (etapa 334). El receptor también estima la calidad de la transmisión de datos recibida en cada uno de los N_C canales paralelos, por ejemplo, basándose en el estado de paquete, las métricas del decodificador, las SNR recibidas, etc. (etapa 336). Después, el receptor proporciona la información de bucle exterior para cada uno de los N_C canales paralelos basándose en la calidad estimada para la transmisión de datos recibida en ese canal paralelo (etapa 338).
15 En la FIG. 3, las etapas 312 a 324 pueden considerarse como parte del bucle interior y las etapas 332 a 338 pueden considerarse como parte del bucle exterior.

20 **La FIG. 4** muestra un diagrama de flujo de un proceso 400 que puede realizarse para el bucle exterior. El estado de los paquetes de datos recibidos en cada uno de los N_C canales paralelos se obtiene y se usa para ajustar el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión para ese canal paralelo (etapa 412). Las métricas del decodificador para cada uno de los N_C canales paralelos también pueden obtenerse y usarse para ajustar el desfase de la SNR y/o el modo de transmisión para ese canal paralelo (etapa 414). La SNR recibida para cada uno de los N_C canales paralelos también puede obtenerse para cada canal paralelo y usarse para calcular el margen de SNR para ese canal paralelo. Los márgenes de SNR para los N_C canales paralelos pueden usarse para ajustar los modos de transmisión para los canales paralelos si se detectan errores de paquete (etapa 416). Un bucle exterior puede implementar una o cualquier combinación de las etapas mostradas en la FIG. 4, dependiendo de su diseño específico.

30 Las técnicas de control de velocidad de bucle cerrado descritas en el presente documento pueden usarse para diversos tipos de sistemas de comunicación multicanal que tienen múltiples canales paralelos que pueden usarse para la transmisión de datos. Por ejemplo, estas técnicas pueden usarse para sistemas TDM, sistemas FDM, sistemas basados en OFDM, sistemas MIMO, sistemas MIMO que utilizan OFDM (es decir sistemas MIMO-OFDM), etc.

35 Un sistema TDM puede transmitir datos en tramas, cada uno de las cuales puede ser de una duración de tiempo particular. Cada trama puede incluir múltiples (N_{TS}) intervalos a los que se les puede asignar diferentes índices de intervalos. Pueden formarse N_C canales paralelos por los N_{TS} intervalos en cada trama, donde $N_C \leq N_{TS}$. Cada uno de los N_C canales paralelos puede incluir uno o múltiples intervalos. Los N_C canales se consideran "paralelos" aunque no se transmiten simultáneamente.

40 Un sistema FDM puede transmitir datos en (N_{SB}) sub-bandas de frecuencia, que pueden separarse arbitrariamente. Los N_C canales paralelos pueden formarse por las N_{SB} sub-bandas, donde $N_C \leq N_{SB}$. Cada uno de los N_C canales paralelos puede incluir una o múltiples sub-bandas.

45 Un sistema OFDM usa OFDM para dividir eficazmente el ancho de banda del sistema general en múltiples (N_F) sub-bandas ortogonales, que también pueden referirse como tonos, depósitos y canales de frecuencia. Cada sub-banda se asocia con un portador respectivo que puede modularse con datos. Pueden formarse N_C canales paralelos por las N_F sub-bandas, donde $N_C \leq N_F$. Los N_C canales paralelos se forman por N_C conjuntos de desunión de una o más sub-bandas. Los N_C son desuniones ya que cada una de las N_F sub-bandas se asigna a solo un conjunto (y de este modo a un canal paralelo), si es que lo hay. Un sistema OFDM puede considerarse como un tipo específico de sistema FDM.

50 Un sistema MIMO emplea múltiples antenas de transmisión (N_T) y múltiples antenas de recepción (N_R) para la transmisión de datos y se representa como un sistema (N_T, N_R). Un canal MIMO formado por las N_T antenas de transmisión y N_R antenas de recepción se compone por N_S canales espaciales que pueden usarse para la transmisión de datos, donde $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. El número de canales espaciales se determina por una matriz de respuesta de canal **H** que describe la respuesta entre las N_T antenas de transmisión y N_R antenas de recepción. Con fines de simplicidad, la siguiente descripción asume que la matriz de respuesta de canal **H** es de rango completo. En este caso, el número de canales espaciales se da como $N_S = N_T \leq N_R$. Los N_C canales paralelos pueden formarse por los N_S canales espaciales, donde $N_C \leq N_S$. Cada uno de los N_C canales paralelos puede incluir uno o múltiples canales espaciales.

60 Un sistema MIMO-OFDM tiene N_S canales espaciales para cada una de las N_F sub-bandas. Los N_C canales paralelos pueden formarse por los N_S canales espaciales de cada una de las N_F sub-bandas, donde $N_C \leq N_F \cdot N_S$. Cada uno de los N_C canales paralelos puede incluir uno o múltiples canales espaciales de una o múltiples sub-bandas (es decir, cualquier combinación de canales espaciales y sub-bandas). Para sistemas MIMO y MIMO-OFDM, los N_C canales paralelos también pueden formarse por las N_T antenas de transmisión, donde $N_C \leq N_T$. Cada uno de los N_C canales paralelos puede asociarse con una o múltiples antenas de transmisión para la transmisión de datos.

Para sistemas MIMO y MIMO-OFDM, los datos pueden transmitirse en los N_S canales espaciales de diversas maneras. Para un sistema MIMO de información de estado de canal parcial (CSI parcial), los datos se transmiten en los N_S canales espaciales sin ningún procesamiento espacial en el transmisor y con procesamiento espacial en el receptor. Para el sistema MIMO de CSI completa, los datos se transmiten en los N_S canales espaciales con procesamiento espacial en el transmisor y en el receptor. Para el sistema MIMO de CSI completa, la descomposición de autovalores o la descomposición de valores individuales puede realizarse en la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}$ para obtener los N_S "modos propios" del canal MIMO. Los datos se transmiten en los N_S modos propios, que son canales espaciales ortogonalizados.

Las técnicas de control de velocidad de bucle cerrado descritas en el presente documento pueden usarse para sistemas de duplexación por división de tiempo (TDD), así como para sistemas de duplexación por división de frecuencia (FDD). Para un sistema TDD, el enlace descendente y el enlace ascendente comparten la misma banda de frecuencia y probablemente se observaran efectos de atenuación y trayectoria múltiple similares. Por lo tanto, la respuesta de canal para cada enlace puede estimarse basándose en un piloto recibido en ese enlace o el otro enlace. Para un sistema FDD, el enlace descendente y el enlace ascendente usan diferentes bandas de frecuencia y probablemente se observaran diferentes efectos de atenuación y trayectoria múltiple. La respuesta de canal para cada enlace puede estimarse basándose en un piloto recibido en ese enlace.

Las técnicas de control de velocidad de bucle cerrado pueden usarse para sistemas MIMO de CSI parcial y CSI completa. Estas técnicas también pueden usarse para el enlace descendente, así como para el enlace ascendente.

Las técnicas de control de velocidad de bucle cerrado se describen ahora en detalle para un sistema de comunicación multicanal ejemplar, que es un sistema MIMO-OFDM de TDD de CSI completa. Con fines de simplicidad, en la siguiente descripción, las expresiones "modo propio" y "modo propio de banda ancha" se usan para representar el caso en el que se hace un intento por ortogonalizar los canales espaciales, aunque puede no ser completamente exitoso, debido, por ejemplo, a una estimación de canal imperfecta.

I. SISTEMA MIMO-OFDM DE TDD

La FIG. 5 muestra un sistema MIMO-OFDM de TDD 500 ejemplar con varios puntos de acceso 510 (AP) que soportan comunicación para varios terminales de usuario 520 (UT). Con fines de simplicidad, únicamente se muestran dos puntos de acceso 510a y 510b en la FIG. 5. Un punto de acceso también puede denominarse como una estación base, un sistema transceptor base, un Nodo B, o alguna otra terminología. Un terminal de usuario puede ser fijo o móvil y puede denominarse también como un terminal de acceso, una estación móvil, un equipo de usuario (UE), un dispositivo inalámbrico, o 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. Un controlador de sistema 530 acopla los puntos de acceso 510 y proporciona coordinación y control para estos puntos de acceso.

La FIG. 6 muestra una estructura de tramas ejemplar 600 que puede usarse en el sistema MIMO-OFDM de TDD 500. La transmisión de datos se produce en unidades de trama de TDD, cada una de las cuales tiene una duración de tiempo particular (por ejemplo, 2 ms). Cada trama de TDD se divide en una fase de enlace descendente y una fase de enlace ascendente y cada fase además se divide en múltiples segmentos para múltiples canales de transporte. En la realización mostrada en la FIG. 6, los canales de transporte de enlace descendente incluyen un canal de difusión (BCH), un canal de control sin retorno (FCCH) y un canal sin retorno (FCH) y los canales de transporte de enlace ascendente incluyen un canal de retorno (RCH) y una canal de acceso aleatorio (RACH).

En la fase de enlace descendente, un segmento de BCH 610 se usa para transmitir una unidad de datos de protocolo de BCH (PDU) 612, que incluye un piloto de señalización 614, un piloto de MIMO 616 y un mensaje de BCH 618. El piloto de señalización es un piloto transmitido desde todas las antenas y se usa para la adquisición de tiempos y frecuencia. El piloto de MIMO es un piloto transmitido desde todas las antenas pero con un código ortogonal diferente para cada antena para poder permitir que los terminales de usuario identifiquen individualmente las antenas. El piloto de MIMO se usa para la estimación de canal. El mensaje de BCH lleva los parámetros del sistema para los terminales de usuario. Un segmento de FCCH 620 se usa para transmitir una PDU de FCCH que lleva asignaciones de recursos de enlace descendente y enlace ascendente (por ejemplo, los modos de transmisión seleccionados para el enlace descendente y el enlace ascendente) y otra señalización para los terminales de usuario. Un segmento de FCH 630 se usa para transmitir una o más PDU de FCH 632 en el enlace descendente. Diferentes tipos de PDU de FCH pueden definirse. Por ejemplo, una PDU de FCH 632a incluye una referencia dirigida 634a y un paquete de datos 636a y una PDU de FCH 632 incluye solo un paquete de datos 636b. La referencia dirigida es un piloto que se transmite en un modo propio de banda ancha específico (como se describe a continuación) y se usa para la estimación de canal.

En la fase de enlace ascendente, un segmento de RCH 640 se usa para transmitir una o más PDU de RCH 642 en el enlace ascendente. Diferentes tipos de PDU de RCH también pueden definirse. Por ejemplo, una PDU de RCH 642a incluye solo un paquete de datos 646a y una PDU de RCH 642b incluye una referencia dirigida 644b y un

paquete de datos 646b. Un segmento de RACH 650 se usa por los terminales de usuario para tener acceso al sistema y para enviar mensajes cortos en el enlace ascendente. Una PDU de RACH 652 puede enviarse en el segmento de RACH 650 e incluye un piloto (por ejemplo, referencia dirigida) 654 y un mensaje 656.

- 5 La FIG. 6 muestra una estructura de tramas ejemplar para un sistema TDD. Otras estructuras de tramas también pueden usarse y esto está dentro del alcance de la invención.

1. Procesamiento espacial

- 10 Para un sistema MIMO-OFDM, la respuesta de canal entre un punto de acceso y un terminal de usuario puede caracterizarse por un conjunto de matrices de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para $k \in K$, donde K representa el conjunto de todas las sub-bandas de interés (por ejemplo, $K = \{1, \dots, N_F\}$). Para un sistema MIMO-OFDM de TDD con una banda de frecuencia compartida, las respuestas de canal de enlace descendente y enlace ascendente pueden asumirse como recíprocas entre sí. Es decir, si $\underline{\mathbf{H}}(k)$ representa una matriz de respuesta de canal de la disposición A de antenas a la disposición B de antenas para la sub-banda k , entonces un canal recíproco implica que el acoplamiento de la disposición B a la disposición A se dé por $\underline{\mathbf{H}}^T(k)$, donde $\underline{\mathbf{A}}^T$ representa la transposición de $\underline{\mathbf{A}}$.

- 20 Sin embargo, las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión y recepción en el punto de acceso típicamente son diferentes de las respuestas de frecuencia de las cadenas de transmisión y recepción en el terminal de usuario. La calibración puede realizarse para obtener matrices de corrección utilizadas para explicar diferencias en las respuestas de frecuencia. Con estas matrices de corrección, la respuesta de canal de enlace descendente "calibrada", $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, observada por el terminal de usuario es la transposición de la respuesta de canal de enlace

- ascendente "calibrada", $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$, observada por el punto de acceso, es decir, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}^T(k)$, para $k \in K$. Con fines de simplicidad, la siguiente descripción asume que las respuestas de canal de enlace descendente y enlace ascendente se calibran y son recíprocas entre sí.

- En el enlace descendente, un piloto de MIMO puede transmitirse por el punto de acceso (por ejemplo, en el segmento de BCH 610) y usarse por el terminal de usuario para obtener una estimación de la respuesta de canal de enlace descendente calibrada, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$, para $k \in K$. El terminal de usuario puede estimar la respuesta de canal de enlace ascendente calibrada como $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}^T(k)$. El terminal de usuario puede realizar la descomposición de valores individuales de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$, para cada sub-banda k , como se indica a continuación:

$$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec.(1)}$$

- 35 donde

$\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k)$ es una matriz unitaria ($N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}}$) de los autovectores izquierdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$;

$\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ es una matriz diagonal ($N_{\text{ap}} \times N_{\text{ut}}$) de valores individuales de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$;

$\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k)$ es una matriz unitaria ($N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}}$) de autovectores derechos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$;

$\underline{\mathbf{A}}^H$ es la transposición conjugada de $\underline{\mathbf{A}}$;

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

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

De forma análoga, la descomposición de valores individuales de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ puede expresarse como:

$$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^T(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec.(2)}$$

- 45

donde $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k)$ son matrices unitarias de los autovectores izquierdo y derecho, respectivamente, de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ y "*" representa el conjugado complejo. La descomposición de valores individuales se describe por Gilbert Strang en un libro titulado "Linear Algebra and Its Applications", Segunda Edición, Academic Press, 1980.

- 50

Como se muestra en las ecuaciones (1) y (2), las matrices de los autovectores izquierdo y derecho para un enlace son el conjugado completo de las matrices de los autovectores derecho e izquierdo, respectivamente para el otro

enlace. Las matrices $\underline{\mathbf{H}}_{ap}(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ pueden usarse por el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente, para el procesamiento espacial y se indican como tales por sus subíndices. La matriz $\underline{\Sigma}(k)$ incluye estimaciones de valores individuales que representan las ganancias para los canales espaciales (o modos propios) de la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada sub-banda k .

- 5 La descomposición del valor individual puede realizarse independientemente para la matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ para cada sub-banda k para determinar los N_S modos propios de esa sub-banda. Las estimaciones de valores individuales para cada matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ pueden ordenarse de manera que $\{\hat{\sigma}_1(k) \geq \hat{\sigma}_2(k) \geq \dots \geq \hat{\sigma}_{N_S}(k)\}$, donde $\hat{\sigma}_1(k)$ es la estimación de valor individual más grande y $\hat{\sigma}_{N_S}(k)$ es la estimación de valor individual más pequeña para la sub-banda k .
- 10 Cuando las estimaciones de valores individuales para cada matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ se ordenan, los autovectores (o columnas) de las matrices asociadas $\underline{\mathbf{U}}(k)$ y $\underline{\mathbf{V}}(k)$ también se ordenan correspondientemente. Un "modo propio de banda ancha" puede definirse como el conjunto de modos propios del mismo orden de todas las sub-bandas después de la ordenación. Por lo tanto, el $m^{\text{ésimo}}$ modo propio de banda ancha incluye los $m^{\text{ésimos}}$ modos propios de todas las sub-bandas. El modo propio de banda ancha "principal" es el asociado con la estimación de valor individual más
- 15 grande en la matriz $\underline{\Sigma}(k)$ para cada una de las sub-bandas. Los N_S canales paralelos pueden formarse por los N_S modos propios de banda ancha.

El terminal de usuario puede transmitir una referencia dirigida en el enlace ascendente (por ejemplo, en el segmento de RCH 640 o el segmento de RACH 650 en la FIG. 6). La referencia dirigida de enlace ascendente para el modo propio m de banda ancha puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{up,sr,m}(k) = \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)p(k) \quad , \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec. (3)}$$

donde $\underline{\mathbf{x}}_{up,sr,m}(k)$ es un vector de N_{ut} enviados desde las N_{ut} antenas del terminal de usuario para la sub-banda k del modo propio m de banda ancha para la referencia dirigida;

$\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)$ es la $m^{\text{ésima}}$ columna de la matriz $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ para la sub-banda k , donde $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k) = [\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,1}(k) \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,2}(k) \dots \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,N_{ut}}(k)]$; y $p(k)$ es el símbolo piloto enviado sobre la sub-banda k .

La referencia dirigida para todos los N_S modos propios de banda ancha puede transmitirse en N_S periodos de símbolos de OFDM, o menos de N_S periodos de símbolos de OFDM usando multiplexación de sub-banda. La referencia dirigida para cada modo propio de banda ancha también puede transmitirse sobre múltiples periodos de símbolos de OFDM.

La referencia dirigida de enlace ascendente recibida en el punto de acceso puede expresarse como:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_{up,sr,m}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{cup}(k) \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \\ &\approx \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,m}(k) \hat{\sigma}_m(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \quad , \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec. (4)} \end{aligned}$$

donde $\underline{\mathbf{r}}_{up,sr,m}(k)$ es un vector de N_{ap} símbolos recibidos en N_{ap} antenas de punto de acceso para la sub-banda k del modo propio m de banda ancha para la referencia dirigida;

$\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,m}(k)$ es la $m^{\text{ésima}}$ columna de la matriz $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k)$ para la sub-banda k , donde $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k) = [\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,1}(k) \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,2}(k) \dots \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,N_{ap}}(k)]$; $\hat{\sigma}_m(k)$ es la estimación de valor individual para la sub-banda del modo propio k de banda ancha m , es decir, el $m^{\text{ésimo}}$ elemento diagonal de la matriz $\underline{\Sigma}(k)$; y $\underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$ es el ruido Gaussiano blanco auditivo (AWGN) para la sub-banda k en el enlace ascendente.

Como se muestra en la ecuación (4), en el punto de acceso, la referencia dirigida recibida (en ausencia de ruido) es aproximadamente $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,m}(k)\hat{\sigma}_m(k)p(k)$. El punto de acceso de este modo puede obtener estimaciones de tanto $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,m}(k)$ como $\hat{\sigma}_m(k)$ para cada sub-banda k basándose en la referencia dirigida recibida para esa sub-banda. La estimación de $\hat{\sigma}_m(k)$ para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m , $\hat{\sigma}_m(k)$, puede expresarse como:

$$\hat{\sigma}_m(k) = \|\mathbf{r}_{\text{up},\text{sr},m}(k)\|^2 = \sum_{i=1}^{N_{\text{ap}}} |r_{\text{up},\text{sr},m,i}(k)|^2, \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M, \quad \text{Ec. (5)}$$

donde $\|\mathbf{a}\|$ representa la norma 2 de $\mathbf{a}$;

$r_{\text{up},\text{sr},m,i}(k)$ es el $i^{\text{ésimo}}$ elemento del vector $\mathbf{r}_{\text{up},\text{sr},m}(k)$; y

5 M representa el conjunto de todos los modos propios de banda ancha de interés, por ejemplo, $M = \{1, \dots, N_S\}$.

La estimación de $\mathbf{u}_{\text{ap},m}(k)$ para la sub-banda k de un modo propio m , $\mathbf{u}_{\text{ap},m}(k)$ de banda ancha, puede expresarse como:

$$\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k) = \mathbf{r}_{\text{up},\text{sr},m}(k) / \hat{\sigma}_m(k), \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M. \quad \text{Ec. (6)}$$

10

El doble sombrero para $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$ y $\hat{\sigma}_m(k)$ indica que estas son estimaciones de estimaciones, es decir, estimaciones obtenidas por el punto de acceso para las estimaciones $\mathbf{u}_{\text{ap},m}(k)$ y $\hat{\sigma}_m(k)$ obtenidas por el terminal de usuario. Si la referencia dirigida para cada modo propio de banda ancha se transmite sobre múltiples periodos de símbolos de OFDM, entonces el punto de acceso puede promediar la referencia dirigida recibida para cada modo propio de banda ancha para obtener estimaciones más precisas de $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$ y $\hat{\sigma}_m(k)$.

15

La Tabla 1 resume el procesamiento espacial en el punto de acceso y el terminal de usuario para la transmisión y recepción de datos en múltiples modos propios de banda ancha.

20

Tabla 1

	Enlace descendente	Enlace ascendente
Punto de Acceso	De transmisión: $\mathbf{x}_{\text{dn}}(k) = \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \mathbf{s}_{\text{dn}}(k)$	De recepción: $\hat{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) = \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k) \mathbf{r}_{\text{up}}(k)$
Terminal de Usuario	De recepción: $\hat{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k) \mathbf{r}_{\text{dn}}(k)$	De transmisión: $\mathbf{x}_{\text{up}}(k) = \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k) \mathbf{s}_{\text{up}}(k)$

En la Tabla 1, $\mathbf{s}(k)$ es un vector de "datos" de símbolos de modulación (obtenidos del mapeo de símbolos en el transmisor), $\mathbf{x}(k)$ es un vector de "transmisión" de símbolos de transmisión (obtenidos después del procesamiento espacial en el transmisor), $\mathbf{r}(k)$ es un vector "recibido" de los símbolos recibidos (obtenidos después del procesamiento de OFDM en el receptor) y $\hat{\mathbf{s}}(k)$ es una estimación del vector $\mathbf{s}(k)$ (obtenido después del procesamiento espacial en el receptor), donde todos los vectores son para la sub-banda k . Los subíndices "dn" y "up" para esos vectores denotan el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente. En la Tabla 1, $\hat{\Sigma}^{-1}(k)$ es una matriz diagonal definida como $\hat{\Sigma}^{-1}(k) = \text{diag}(1/\sigma_1(k) \ 1/\sigma_2(k) \dots 1/\sigma_{N_S}(k))$.

25

30

La referencia dirigida puede transmitirse para un modo propio de banda ancha a la vez por el terminal o puede transmitirse para múltiples modos propios de banda ancha simultáneamente usando una base ortogonal (por ejemplo, códigos de Walsh). La referencia dirigida para cada modo propio de banda ancha puede usarse por el

punto de acceso para obtener $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$ para $k \in K$, para ese modo propio de banda ancha. Si los N_S vectores

35

$\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$ de la matriz $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ se obtienen individualmente (y sobre durante diferentes periodos de símbolos de OFDM) para los N_S modos propios de cada sub-banda, entonces, debido al ruido y otras fuentes de degradación en el enlace inalámbrico, los N_S vectores $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$ de la matriz $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ para cada sub-banda k no serán

probablemente ortogonales entre sí. En este caso, los vectores N_S de la matriz $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k)$ para cada sub-banda k pueden ortogonalizarse usando factorización QR, descomposición polar, o algunas otras técnicas.

En el punto de acceso, una estimación de SNR recibida para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m , $\gamma_{ap,m}(k)$, puede expresarse como:

$$\gamma_{ap,m}(k) = \frac{P_{up,m}(k) \cdot \hat{\sigma}_m^2(k)}{N_{0,ap}}, \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde $P_{up,m}(k)$ es la potencia de transmisión utilizada por el terminal de usuario para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m en el enlace ascendente; y $N_{0,ap}$ es el ruido de fondo en el punto de acceso.

En el terminal de usuario, una estimación de SNR recibida para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m , $\gamma_{ut,m}(k)$, puede expresarse como:

$$\gamma_{ut,m}(k) = \frac{P_{dn,m}(k) \cdot \hat{\sigma}_m^2(k)}{N_{0,ut}}, \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M, \quad \text{Ec. (8)}$$

donde $P_{dn,m}(k)$ es la potencia de transmisión utilizada por el punto de acceso para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m en el enlace descendente; y $N_{0,ut}$ es el ruido de fondo en el terminal de usuario.

Como se muestra en las ecuaciones (7) y (8), la SNR recibida para cada sub-banda de cada modo propio de banda ancha, $\gamma_m(k)$, depende de la ganancia de canal (que es $\hat{\sigma}_m(k)$ o $\hat{\sigma}_m^2(k)$), el ruido de fondo del receptor N_0 y la potencia de transmisión $P_m(k)$. La SNR recibida puede ser diferente para diferentes sub-bandas y modos propios.

La FIG. 7 muestra un diagrama de flujo de un proceso 700 para transmitir múltiples flujos de datos en múltiples modos propios de banda ancha en el enlace descendente y en el enlace ascendente en el sistema ejemplar de MIMO-OFDM de TDD. El proceso 700 asume que la calibración ya se ha realizado y que las respuestas de canal de enlace

descendente y enlace ascendente son la transposición una de la otra, es decir, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k) \approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}^T(k)$. Para el proceso 700, la estimación de canal se realiza en el bloque 710, la selección del modo de transmisión se realiza en el bloque 730 y la transmisión/recepción de datos se realiza en el bloque 760.

Para la estimación de canal, el punto de acceso transmite un piloto de MIMO en el enlace descendente (por ejemplo, en el BCH) (etapa 712). El terminal de usuario recibe y procesa el piloto de MIMO para obtener una estimación de la respuesta de canal de enlace descendente calibrada, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}(k)$, para $k \in K$ (etapa 714). El terminal de usuario estima

entonces la respuesta de canal de enlace ascendente calibrada como $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k) = \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cdn}^T(k)$ y realiza la descomposición de valores individuales (SVD) de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)$ para obtener las matrices $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ y $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k)$, para $k \in K$, como se muestra en la ecuación (1) (etapa 716). El terminal de usuario transmite entonces una referencia dirigida de enlace ascendente (por ejemplo, en el RACH o el RCH) usando las matrices $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k)$, para $k \in K$, como se muestra en la ecuación (3) (etapa 718). El punto de acceso recibe y procesa la referencia dirigida de enlace ascendente para

obtener las matrices $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ and $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k)$, para $k \in K$, como se ha descrito anteriormente (etapa 720).

Para la transmisión de datos de enlace descendente, el terminal de usuario selecciona un modo de transmisión (con la velocidad de datos soportada más alta) para cada modo propio de banda ancha en el enlace descendente

basándose en la matriz diagonal $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$, el ruido de fondo $N_{0,ut}$ en el terminal de usuario y la información de bucle exterior de enlace descendente (por ejemplo, los desplazamientos de SNR y/o los ajustes de modo de transmisión para el enlace descendente) (etapa 740). La selección de modo de transmisión se describe a continuación. El terminal de usuario envía entonces información de retroalimentación, que incluye los N_S modos de transmisión seleccionados por el terminal de usuario para el enlace descendente y además puede incluir el ruido de fondo $N_{0,ut}$ en el terminal de usuario (etapa 742). (La referencia dirigida y transmitida en la etapa 718 también puede observarse como información de retroalimentación enviada por el terminal de usuario).

Para la transmisión de datos de enlace ascendente, el punto de acceso selecciona N_S modos de transmisión para los N_S modos propios de banda ancha, en el enlace ascendente basándose en la matriz diagonal $\hat{\Sigma}(k)$, el ruido de fondo $N_{0,ap}$ en el punto de acceso y la información de bucle exterior de enlace ascendente (por ejemplo, los desplazamientos de SNR y/o los ajustes de modo de transmisión para el enlace ascendente) (etapa 750). El punto de acceso selecciona adicionalmente los N_S modos de transmisión para los N_S modos propios de banda ancha en el enlace descendente basándose en la información de retroalimentación recibida del terminal de usuario (etapa 752). El punto de acceso envía entonces los modos de transmisión seleccionados para el enlace descendente y el enlace ascendente (por ejemplo, en el FCCH) (etapa 754). El terminal de usuario recibe los modos de transmisión seleccionados para ambos enlaces (etapa 756).

Para la transmisión de datos de enlace descendente, el punto de acceso (1) codifica y modula los datos para cada modo propio de banda ancha de enlace descendente de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para ese

modo propio de banda ancha, (2) procesa espacialmente el vector de datos $\underline{s}_{dn}(k)$ con la matriz $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ como se muestra en la Tabla 1, para obtener el vector de transmisión $\underline{x}_{dn}(k)$, para $k \in K$ y (3) transmite el vector $\underline{x}_{dn}(k)$ en el enlace descendente (etapa 762). El terminal de usuario (1) recibe la transmisión de enlace descendente, (2) realiza la

filtración correlacionada en el vector recibido $\underline{r}_{dn}(k)$ con $\hat{\Sigma}^{-1}(k)\hat{\underline{V}}_{ut}^T(k)$ también como se muestra en la Tabla 1, para obtener el vector $\hat{\underline{s}}_{dn}(k)$, para $k \in K$ y (3) desmodula y decodifica los símbolos recuperados de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para cada modo propio de banda ancha de enlace descendente (Etapa 764).

Para la transmisión de datos de enlace ascendente, el terminal de usuario (1) codifica y modula los datos para modo propio de banda ancha de enlace ascendente de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para ese modo

propio de banda ancha, (2) procesa espacialmente el vector de datos $\underline{s}_{up}(k)$ con la matriz $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ para obtener el vector de transmisión $\underline{x}_{up}(k)$, para $k \in K$ y (3) transmite el vector $\underline{x}_{up}(k)$ en el enlace ascendente (etapa 772). El punto de acceso (1) recibe la transmisión de enlace ascendente, (2) realiza la filtración correlacionada en el vector recibido $\underline{r}_{up}(k)$ con

$\hat{\Sigma}^{-1}(k)\hat{\underline{U}}_{ap}^H(k)$ para obtener el vector $\hat{\underline{s}}_{up}(k)$ y (3) desmodula y decodifica los símbolos recuperados de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para cada modo propio de banda ancha de enlace ascendente (etapa 774). Con fines de simplicidad, la operación del bucle cerrado y el ajuste de modo de transmisión por el bucle exterior no se muestran en la FIG. 7.

La FIG. 7 muestra una realización específica de un proceso que puede usarse para transmisión de datos de enlace descendente y enlace ascendente en el sistema MIMO-OFDM de TDD ejemplar. También pueden implementarse otros procesos mediante los que la estimación de canal, la selección de modo de transmisión y/o la transmisión/recepción de datos pueden realizarse de algunas otras formas.

2. Selección del modo de transmisión

La FIG. 8 muestra un diagrama de flujo de un proceso 800 para seleccionar los N_S modos de transmisión para los N_S modos propios de banda ancha. El proceso 800 puede usarse para las etapas 740 y 750 en la FIG. 7. Inicialmente, la potencia de transmisión total, P_{total} , disponible en el transmisor para la transmisión de datos se distribuye a los N_S modos propios de banda ancha basándose en un esquema de distribución de potencia (etapa 812). La potencia de transmisión P_m asignada a cada modo propio de banda ancha se distribuye entonces a las N_F sub-bandas de ese modo propio de banda ancha basándose en el mismo o un diferente esquema de distribución de potencia (etapa 814). La distribución de potencia a través de los N_S modos propios de banda ancha y la distribución de potencia a través de las N_F sub-bandas de cada modo propio de banda ancha pueden realizarse como se describe a continuación.

Una SNR operativa para cada modo propio de banda ancha, $\gamma_{op,m}$, se calcula basándose en (1) las potencias de transmisión asignadas $P_m(k)$ y las ganancias de canal $\sigma_m(k)$ para las sub-bandas de ese modo propio de banda ancha, (2) el ruido de fondo N_0 en el receptor y (3) el desfase de la SNR para ese modo propio de banda ancha (etapa 816). El cálculo de la SNR operativa se describe a continuación. Un modo de transmisión adecuado q_m se selecciona entonces para cada modo propio de banda ancha basándose en la SNR operativa para ese modo propio de banda ancha y una tabla de consultas (etapa 818). La potencia en exceso para cada modo propio de banda ancha se determina y la potencia en exceso total para todos los modos propios de banda ancha se redistribuye a uno o más modos propios de banda ancha para mejorar el rendimiento (etapa 820). El modo de transmisión para cada modo propio de banda ancha puede ajustarse (por ejemplo, a la siguiente velocidad de datos inferior) si se dirige por la información de bucle exterior (etapa 822). Cada una de las etapas en la FIG. 8 se describe en detalle a continuación.

A. Distribución de potencia a través de los modos propios de banda ancha

Para la etapa 812 en la FIG. 8, la potencia de transmisión total, P_{total} , puede distribuirse a los N_S modos propios de banda ancha usando diversos esquemas. Algunos de estos esquemas de distribución de potencia se describen a continuación.

En un esquema de distribución de potencia uniforme, la potencia de transmisión total, P_{total} , se distribuye uniformemente a través de los N_S modos propios de banda ancha de manera que a todos se les asigna igual potencia. La potencia de transmisión P_m asignada a cada modo propio de banda ancha m puede expresarse como:

$$P_m = \frac{P_{\text{total}}}{N_S}, \text{ para } m \in M. \quad \text{Ec. (9)}$$

En un esquema de distribución de potencia de relleno de agua, la potencia de transmisión total, P_{total} , se distribuye a los N_S modos propios de banda ancha basándose en un procedimiento de "relleno de agua" o "vertido de agua". El procedimiento de relleno de agua distribuye la potencia de transmisión total, P_{total} , a través de los N_S modos propios de banda ancha de manera que la eficiencia espectral general se aumenta. El relleno de agua se describe por Robert G. Gallager in "Information Theory and Reliable Communication", John Wiley and Sons, 1968. El relleno de agua para los N_S modos propios de banda ancha puede realizarse de diversas maneras, algunas de las cuales se describen a continuación.

En una primera realización, la potencia de transmisión total, P_{total} , se distribuye inicialmente a las $N_S N_F$ sub-bandas/modos propios usando el relleno de agua y basándose en sus SNR recibidas, $\gamma_m(k)$, para $k \in K$ y $m \in M$. La SNR recibida, $\gamma_m(k)$, puede calcularse como se muestra en la ecuación (7) u (8) con la suposición de P_{total} como distribuida uniformemente a través de las $N_S N_F$ sub-bandas/modos propios. El resultado de esta distribución de potencia es una potencia de transmisión inicial, $P'_m(k)$, para cada sub-banda/modo propio. La potencia de transmisión P_m asignada a cada modo propio de banda ancha se obtiene entonces al sumar las potencias de transmisión iniciales, $P'_m(k)$, asignadas a las N_F sub-bandas de ese modo propio de banda ancha, como se indica a continuación:

$$P_m = \sum_{k=1}^{N_F} P'_m(k), \text{ para } m \in M. \quad \text{Ec. (10)}$$

En una segunda realización, la potencia de transmisión total, P_{total} , se distribuye a los N_S modos propios de banda ancha basándose en las SNR promedio calculadas para estos modos propios de banda ancha. Inicialmente, la SNR promedio, $\gamma_{\text{avg},m}$, se calcula para cada modo propio de banda ancha m basándose en las SNR recibidas para las N_F sub-bandas de ese modo propio de banda ancha, como se indica a continuación:

$$\gamma_{\text{avg},m} = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \gamma_m(k), \quad \text{Ec. (11)}$$

donde $\gamma_m(k)$ se calcula como se ha descrito anteriormente para la primera realización. Después, el relleno de agua se realiza para distribuir la potencia de transmisión total, P_{total} , a través de los N_S modos propios de banda ancha basándose en sus SNR promedio, $\gamma_{\text{avg},m}$, para $m \in M$.

En una tercera realización, la potencia de transmisión total, P_{total} , se distribuye a los N_S modos propios de banda ancha basándose en las SNR promedio para estos modos propios de banda ancha después de que se aplica la inversión de canal para cada modo propio de banda ancha. Para esta realización, la potencia de transmisión total, P_{total} , primero se distribuye uniformemente a los N_S modos propios de banda ancha. La inversión de canal se realiza entonces (como se describe a continuación) independientemente para cada modo propio de banda ancha para determinar una asignación de potencia inicial, $P''_m(k)$, para cada sub-banda de ese modo propio de banda ancha. Después de la inversión de canal, la SNR recibida es la misma a través de todas las sub-bandas de cada modo propio de banda ancha. La SNR promedio para cada modo propio de banda ancha es igual entonces a la SNR recibida para cualquiera de las sub-bandas de ese modo propio de banda ancha. La SNR recibida, $\gamma''_m(k)$, para una sub-banda de cada modo propio de banda ancha puede determinarse basándose en la asignación de potencia inicial, $P''_m(k)$, como se muestra en la ecuación (7) u (8). La potencia de transmisión total, P_{total} , se distribuye entonces a los N_S modos propios de banda ancha usando el relleno de agua y basándose en sus SNR promedio, $\gamma''_{\text{avg},m}$, para $m \in M$.

También pueden usarse otros esquemas para distribuir la potencia de transmisión total a los N_S modos propios de banda ancha y esto está dentro del alcance de la invención.

B. Asignación de potencia a través de sub-bandas en cada modo propio de banda ancha

Para la etapa 814 en la FIG. 8, la potencia de transmisión asignada a cada modo propio de banda, P_m , puede distribuirse a las N_F sub-bandas de ese modo propio de banda ancha usando diversos esquemas. Algunos de estos esquemas de distribución de potencia se describen a continuación.

En un esquema de distribución de potencia uniforme, la potencia de transmisión para cada modo propio de banda ancha, P_m , se distribuye uniformemente a través de las N_F sub-bandas de manera que a todas se les asigna igual potencia. La potencia de transmisión $P_m(k)$ asignada a cada sub-banda puede expresarse como:

$$P_m(k) = \frac{P_m}{N_F}, \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M. \quad \text{Ec. (12)}$$

Para el esquema de distribución de potencia uniforme, las SNR recibidas para las N_F sub-bandas de cada modo propio de banda ancha probablemente variarán a través de las sub-bandas.

En un esquema de inversión de canal, la potencia de transmisión para cada modo propio de banda ancha, P_m , no se distribuye uniformemente a través de las N_F sub-bandas de manera que logran SNR recibidas similares en el receptor.

En la siguiente descripción, $\sigma_m(k)$ representa la ganancia de canal estimada, que es igual a $\hat{\sigma}_m(k)$ para el enlace descendente y $\hat{\sigma}_m(k)$ para el enlace ascendente. Para el esquema de inversión de canal, se calcula inicialmente una normalización b_m para cada modo propio de banda ancha como se indica a continuación:

$$b_m = \frac{1}{\sum_{k=1}^{N_F} [1/\sigma_m^2(k)]}, \text{ para } m \in M. \quad \text{Ec. (13)}$$

La potencia de transmisión $P_m(k)$ asignada a cada sub-banda de cada modo propio de banda ancha puede entonces calcularse como:

$$P_m(k) = \frac{b_m \cdot P_m}{\sigma_m^2(k)}, \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M. \quad \text{Ec. (14)}$$

Puede calcularse una ponderación de transmisión, $W_m(k)$, para cada sub-banda de cada modo propio de banda ancha, como se indica a continuación:

$$W_m(k) = \sqrt{P_m(k)}, \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M. \quad \text{Ec. (15)}$$

Las ponderaciones de transmisión se usan para escalar los símbolos de modulación en el transmisor. Para el esquema de inversión de canal, se usan todas las N_F sub-bandas para cada modo propio de banda ancha y las SNR recibidas para las sub-bandas son aproximadamente iguales.

En un esquema de inversión de canal selectivo, la potencia de transmisión para cada modo propio de banda ancha, P_m , no se distribuye uniformemente a través de las seleccionadas de las N_F sub-bandas de manera que las sub-bandas seleccionadas logran SNR recibidas similares en el receptor. Las sub-bandas seleccionadas son aquellas con ganancias de canal iguales o mayores a un umbral de ganancia. Para este esquema, se calcula inicialmente una ganancia de potencia promedio, g_m , para cada modo propio de banda ancha, como se indica a continuación:

$$g_m = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \sigma_m^2(k), \text{ para } m \in M. \quad \text{Ec. (16)}$$

Después, se calcula una normalización $\tilde{b}_m$ para cada modo propio de banda ancha, como se indica a continuación:

$$\tilde{b}_m = \frac{1}{\sum_{\sigma_m^2(k) > \beta_m g_m} [1/\sigma_m^2(k)]}, \text{ para } m \in M, \quad \text{Ec. (17)}$$

5 donde $\beta_m g_m$ es el umbral de ganancia y β_m es un factor de escalado, que pueden seleccionarse para aumentar el rendimiento general o basarse en algún otro criterio. La potencia de transmisión asignada a cada sub-banda de cada modo propio de banda ancha, $P_m(k)$, puede expresarse como:

$$P_m(k) = \begin{cases} \frac{\tilde{b}_m \cdot P_m}{\sigma_m^2(k)}, & \text{si } \sigma_m^2(k) \geq \beta_m g_m \\ 0, & \text{de otro} \end{cases} \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M. \quad \text{Ec. (18)}$$

10 Para el esquema de inversión de canal selectivo, pueden seleccionarse N_F o menos sub-bandas para su uso para cada modo propio de banda ancha y las SNR recibidas para las sub-bandas seleccionadas son aproximadamente iguales.

15 También pueden usarse otros esquemas para distribuir la potencia de transmisión P_m a través de las N_F sub-bandas de cada modo propio de banda ancha y esto está dentro del alcance de la invención.

C. Selección de modo de transmisión para cada modo propio de banda ancha

20 Para la etapa 816 en la FIG. 8, se calcula una SNR operativa para cada modo propio de banda ancha. La SNR operativa indica la capacidad de transmisión del modo propio de banda ancha. Pueden usarse diversos procedimientos para la etapa 816, dependiendo de si las SNR recibidas son similares o varían a través de las sub-bandas de cada modo propio de banda ancha. En la siguiente descripción, las SNR se dan en unidades de decibelios (dB).

25 Si la inversión de canal o la inversión de canal selectiva se realiza, entonces las SNR recibidas para las sub-bandas de cada modo propio de banda ancha, $\gamma_m(k)$ para $k \in K$, son similares. La SNR recibida para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m , $\gamma_m(k)$, puede calcularse como:

$$\gamma_m(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k) \cdot \sigma_m^2(k)}{N_0} \right), \text{ para } k \in K \text{ y } m \in M. \text{ (dB)} \quad \text{Ec. (19)}$$

30 La SNR operativa para cada modo propio de banda ancha, $\gamma_{op,m}$, es igual a la SNR recibida para cualquiera de las sub-bandas de ese modo propio de banda ancha menos el desfase de la SNR para ese modo propio de banda ancha como se indica a continuación:

$$\gamma_{op,m} = \gamma_m(k) - \gamma_{os,m}, \text{ para cualquier } k \text{ y } m \in M, \text{ (dB)} \quad \text{Ec. (20)}$$

donde $\gamma_m(k)$, $\gamma_{os,m}$ y $\gamma_{op,m}$ se dan todas en unidades de dB en las ecuaciones (19) y (20).

40 Si la potencia de transmisión P_m para cada modo propio de banda ancha se distribuye uniformemente a través de las sub-bandas, entonces las SNR recibidas para las sub-bandas de cada modo propio de banda ancha probablemente variarán. En este caso, la SNR operativa para cada modo propio de banda ancha, $\gamma_{op,m}$, puede calcularse como:

$$\gamma_{op,m} = \gamma_{avg,m} - \gamma_{bo,m} - \gamma_{os,m}, \quad \text{(dB)} \quad \text{Ec. (21)}$$

45 donde

$\gamma_{avg,m}$ es un promedio de las SNR recibidas para las N_F sub-bandas del modo propio de banda ancha m ; y

y $\gamma_{0,m}$ es un factor de reducción que explica la variación en las SNR recibidas, que puede ser una función de la varianza de las SNR recibidas.

Para la etapa 818 en la FIG. 8, se selecciona un modo de transmisión adecuado para cada modo propio de banda ancha basándose en la SNR operativa para ese modo propio de banda ancha. El sistema puede diseñarse para soportar un conjunto de modos de transmisión. El modo de transmisión que tiene el índice 0 es para una velocidad de datos nula (es decir, ninguna transmisión de datos). Cada modo de transmisión soportado se asocia con una SNR mínima particular requerida para lograr el nivel deseado de rendimiento (por ejemplo, PER al 1 %). La Tabla 2 enumera un conjunto ejemplar de 14 modos de transmisión soportados por el sistema, que se identifican por los índices 0 a 13 del modo de transmisión. Cada modo de transmisión se asocia con una eficiencia espectral particular, una velocidad de código particular, un esquema de modulación particular y la SNR mínima requerida para lograr la PER del 1 % para un canal de AWGN sin atenuación. La eficiencia espectral se refiere a la velocidad de datos (es decir, la velocidad de bits de información) normalizada por el ancho de banda del sistema y se da en unidades de bits por segundo por hertzios (bps/Hz). La eficiencia espectral para cada modo de transmisión se determina por el esquema de codificación y el esquema de modulación para ese modo de transmisión. La velocidad de código y el esquema de modulación para cada modo de transmisión en la Tabla 2 son específicos para el diseño del sistema ejemplar.

Tabla 2

Índice de Modo de Transmisión	Eficiencia Espectral (bps/Hz)	Velocidad de Código	Esquema de Modulación	SNR Requerida (dB)
0	0,0	-	-	
1	0,25	1/4	BPSK	-1,8
2	0,5	1/2	BPSK	1,2
3	1,0	1/2	QPSK	4,2
4	1,5	3/4	QPSK	6,8
5	2,0	1/2	16 QAM	10,1
6	2,5	5/8	16 QAM	11,7
7	3,0	3/4	16 QAM	13,2
8	3,5	7/12	64 QAM	16,2
9	4,0	2/3	64 QAM	17,4
10	4,5	3/4	64 QAM	18,8
11	5,0	5/6	64 QAM	20,0
12	6,0	3/4	256 QAM	24,2
13	7,0	7/8	256 QAM	26,3

Para cada modo de transmisión soportado con una velocidad de datos no nula, la SNR requerida se obtiene basándose en el diseño del sistema específico (es decir, la velocidad de código particular, el esquema de intercalado, el esquema de modulación, etc., usados por el sistema para ese modo de transmisión) y para un canal de AWGN. La SNR requerida puede obtenerse por simulación informática, medidas empíricas, etc., como se conoce en la técnica. Puede usarse una tabla de consultas para almacenar el conjunto de modos de transmisión soportados y sus SNR requeridas.

La SNR operativa para cada modo propio de banda ancha, $\gamma_{op,m}$, puede proporcionarse a la tabla de consultas, que después proporciona el modo de transmisión q_m para ese modo propio de banda ancha. Este modo de transmisión q_m es el modo de transmisión soportado con la velocidad de datos más alta y una SNR requerida, $\gamma_{req,m}$, que es menor que o igual a la SNR operativa (es decir, $\gamma_{req,m} \leq \gamma_{op,m}$). La tabla de consultas selecciona así la velocidad de datos posible más alta para cada modo propio de banda ancha basándose en la SNR operativa para ese modo propio de banda ancha.

D. Reasignación de potencia de transmisión

Para la etapa 820 en la FIG. 8, la potencia de transmisión en exceso para cada modo propio de banda ancha se determina y redistribuye para mejorar el rendimiento. Se usan los siguientes términos para la siguiente descripción:

- Modo propio de banda ancha activo - un modo propio de banda ancha con una velocidad de datos no nula (es decir, un modo de transmisión que tiene un índice de 1 a 13 en la Tabla 2);
- Modo propio de banda ancha saturado - un modo propio de banda ancha con la velocidad de datos máxima (es decir, el modo de transmisión que tiene el índice 13); y
- Modo propio de banda ancha no saturado - un modo propio de banda ancha activo con una velocidad de datos no nula menor que la velocidad de datos máxima (es decir, un modo de transmisión que tiene un índice de 1 a 12).

La SNR operativa para un modo propio de banda ancha puede ser menor que la SNR requerida más pequeña en la tabla de consultas (es decir, $\gamma_{op,m} < -1,8$ dB para los modos de transmisión mostrados en la Tabla 2). En este caso, el modo propio de banda ancha puede desconectarse (es decir, no utilizarse) y la potencia de transmisión para este modo propio de banda ancha puede redistribuirse a otros modos propios de banda ancha.

El modo de transmisión seleccionado q_m para cada modo propio de banda ancha activo se asocia con una SNR requerida, $\gamma_{req,m}$, que es igual o menor que la SNR operativa, es decir, $\gamma_{req,m} \leq \gamma_{op,m}$. La potencia de transmisión mínima requerida para cada modo propio de banda ancha activo, $P_{req,m}$, puede calcularse como:

$$P_{req,m} = \frac{P_m \cdot \gamma_{req,m}}{\gamma_{op,m}}, \text{ para } m \in M. \quad \text{Ec. (22)}$$

La potencia de transmisión requerida es igual a cero ($P_{req,m} = 0$) para cada modo propio de banda ancha que se desconecta (es decir, con el modo de transmisión que tiene el índice cero en la Tabla 2).

La potencia en exceso para cada modo propio de banda ancha, $P_{exceso,m}$, es la cantidad de potencia asignada que está sobre la potencia mínima necesaria para lograr la SNR requerida (es decir, $P_{exceso,m} = P_m - P_{req,m}$). La potencia en exceso total para todos los modos propios de banda ancha, P_{exceso} , puede calcularse como:

$$P_{exceso} = \sum_{m=1}^{N_s} (P_m - P_{req,m}). \quad \text{Ec. (23)}$$

La potencia en exceso total, P_{exceso} , puede redistribuirse de diversas maneras. Por ejemplo, la potencia en exceso total, P_{exceso} , puede redistribuirse a uno o más modos propios de banda ancha de manera que se logra la producción general más alta. En una realización, la potencia en exceso total, P_{exceso} , se redistribuye a un modo propio de banda ancha no saturado a la vez, partiendo del mejor que tiene la velocidad de datos más alta, para mover el modo propio de banda ancha a la siguiente velocidad de datos más alta. En otra realización, la potencia en exceso total, P_{exceso} , se redistribuye al modo propio de banda ancha que puede lograr el aumento más alto en la velocidad de datos con la menor cantidad de potencia de transmisión.

Si todos los modos propios de banda ancha se manipulan a la velocidad de datos más alta, o si la potencia en exceso que queda no puede aumentar la velocidad de datos de cualquier modo propio de banda ancha, entonces la potencia en exceso que queda puede redistribuirse a uno, múltiples o todos los modos propios de banda ancha activos para mejorar los márgenes de SNR para esos modos propios de banda ancha.

E. Ajuste de modo de transmisión

Para la etapa 822 en la FIG. 8, el modo de transmisión para cada modo propio de banda ancha puede ajustarse basándose en la información del bucle exterior. Los modos de transmisión seleccionados para los modos propios de banda ancha de enlace descendente y enlace ascendente pueden ajustarse usando las técnicas que se han descrito anteriormente para la FIG. 2. Por ejemplo, si se reciben errores de paquete excesivos en un modo propio de banda ancha dado, entonces el bucle exterior puede proporcionar un ajuste de modo de transmisión para ese modo propio de banda ancha. Como otro ejemplo, puede mantenerse un promedio en ejecución de las SNR recibidas para cada modo propio de banda ancha y usarse para calcular el margen de SNR para ese modo propio de banda ancha. Si el margen de SNR para un modo propio de banda ancha dado es negativo, entonces el modo de transmisión para el modo propio de banda ancha puede ajustarse a la siguiente velocidad de datos inferior. Si un paquete se transmite a través de múltiples modos propios de banda ancha, entonces el modo de transmisión para el modo propio de banda ancha con el peor margen de SNR puede ajustarse a la siguiente velocidad de datos inferior siempre que se detecten errores de paquete. En cualquier caso, un ajuste de modo de transmisión puede dirigir la selección de otro modo de transmisión con una velocidad de datos más baja que la seleccionada en la etapa 818.

II. SISTEMA MIMO-OFDM

La FIG. 9A muestra un diagrama de bloques de una realización de un punto de acceso 510x y un terminal de usuario 520x en el sistema MIMO-OFDM de TDD ejemplar. El punto de acceso 510x es uno de los puntos de acceso 510 en la FIG. 5 y el terminal de usuario 520x es uno de los terminales de usuario 520. La FIG. 9A muestra el procesamiento para la transmisión de enlace descendente. En este caso, el punto de acceso 510x es el transmisor 110 en la FIG. 1 y el terminal 520 de usuario es el receptor 150.

Para la transmisión de enlace descendente, en el punto de acceso 510x, los datos de tráfico se proporcionan desde

una fuente de datos 912 a un procesador de datos de TX 920 que desmultiplexa los datos de tráfico en N_C flujos de datos, donde $N_C > 1$. Los datos de tráfico pueden proceder de múltiples fuentes de datos (por ejemplo, una fuente de datos para cada aplicación de capa más alta) y la desmultiplexación puede no necesitarse. Con fines de simplicidad, únicamente se muestra la fuente de datos 912 en la FIG. 9A. El procesador de datos de TX 920 formatea, codifica, intercala, modula y escala cada flujo de datos de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para ese flujo de datos para proporcionar una corriente de símbolos de modulación escalados correspondiente. La velocidad de datos, codificación y modulación para cada flujo de datos puede determinarse por un control de velocidad de datos, un control de codificación y un control de modulación, respectivamente, proporcionados por un controlador 940. El procesador de datos de TX 920 proporciona las corrientes de símbolos de modulaciones escaladas N_C a un procesador espacial de TX 928.

El procesador espacial de TX 928 procesa las N_C corrientes de símbolos de modulaciones escaladas basándose en un esquema de transmisión seleccionado, multiplexa en símbolos piloto y proporciona las N_{ap} corrientes de símbolos de transmisión a las N_{ap} unidades transmisoras (TMTR) 930a a 930ap. El esquema de transmisión seleccionado puede ser para diversidad de transmisión, multiplexación espacial o dirección de haces. La diversidad de transmisión implica transmitir datos de forma redundante de múltiples antenas y/o en múltiples sub-bandas para obtener diversidad y mejorar la fiabilidad. Puede usarse una diversidad de transmisión de tiempo espacio (STTD) para la diversidad de transmisión. La dirección de haces implica la transmisión de datos en un canal espacial individual (mejor) a toda su potencia usando la información de dirección de fase para el modo propio principal. La multiplexación espacial implica transmitir datos en múltiples canales espaciales para lograr eficiencia espectral más alta. El procesamiento espacial para la multiplexación espacial se muestra en la Tabla 1. Cada unidad transmisora 930 realiza el procesamiento de OFDM en su corriente de símbolos de transmisión para proporcionar una corriente de símbolos de OFDM correspondiente, que se procesa adicionalmente para generar una señal modulada. Las N_{ap} señales moduladas de las unidades transmisoras 930a a 930ap se transmiten entonces mediante N_{ap} antenas 932a a 932ap, respectivamente.

En el terminal de usuario 520x, las N_{ap} señales transmitidas se reciben por cada una de las N_{ut} antenas 952a a 952ut y la señal recibida de cada antena se proporciona a una unidad receptora asociada (RCVR) 954. Cada unidad receptora 954 condiciona y digitaliza su señal recibida para proporcionar una corriente de muestras, que además se procesa para proporcionar una corriente correspondiente de símbolos recibidos. Las unidades receptoras 954a a 954ut proporcionan N_{ut} corrientes de símbolos recibidos a un procesador espacial de RX 962, que realiza el procesamiento espacial basándose en el esquema de transmisión seleccionado (por ejemplo, como se muestra en la Tabla 1 para la multiplexación espacial). El procesador espacial de RX 962 proporciona N_C corrientes de símbolos recuperados, que son estimaciones de las N_C corrientes de símbolos de modulación transmitidas por el punto de acceso 510x. Después, un procesador de datos de RX 964 desmodula, desintercala y decodifica cada corriente de símbolos recuperados de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado para proporcionar flujos de datos decodificados correspondientes, que son estimaciones del flujo de datos transmitido por el punto de acceso 510x. El procesamiento por el procesador espacial de RX 962 y el procesador de datos de RX 964 es complementario al realizado por el procesador espacial de TX 928 y el procesador de datos de TX 920, respectivamente, en el punto de acceso 510x.

Un estimador de canal 974 obtiene estimaciones de una o más características de canal del enlace descendente y proporciona estimaciones de canal a un controlador 970. Las estimaciones de canal pueden ser para ganancias de canal, ruido de fondo $N_{0,ut}$, etc. El procesador de datos de RX 964 puede proporcionar el estado de cada paquete de datos recibido. Basándose en los diversos tipos de información recibidos del estimador de canal 974 y el procesador de datos de RX 964, el controlador 970 determina un modo de transmisión para cada uno de los canales paralelos múltiples en el enlace descendente usando las técnicas que se han descrito anteriormente. Cada canal paralelo puede corresponder a un modo propio de banda ancha (como se ha descrito anteriormente) o alguna otra combinación de sub-bandas y modos propios. El controlador 970 proporciona información de retroalimentación, que puede incluir los N_C modos de transmisión seleccionados para el enlace descendente, las estimaciones de canal, el ruido de fondo terminal, las ACK y/o NAK para los paquetes de datos de recepción, etc., o cualquier combinación de los mismos. La información de retroalimentación se procesa por un procesador de datos de TX 978 y un procesador espacial de TX 980, multiplexados con una referencia dirigida, condicionada por las unidades transmisoras 954a a 954ut y transmitidos mediante las antenas 952a a 952ut al punto de acceso 510x.

En el punto de acceso 510x, las N_{ut} señales transmitidas del terminal de usuario 520x se reciben por las antenas 932a a 932ap, condicionadas por las unidades receptoras 930a a 930ap y se procesan por un procesador espacial de RX 934 y un procesador de datos de RX 936 para recuperar la información de retroalimentación enviada por el terminal de usuario 520x. La información de retroalimentación se proporciona entonces al controlador 940 y se usa para controlar el procesamiento de los N_C flujos de datos enviados al terminal de usuario 520x. Por ejemplo, la velocidad de datos, codificación y modulación de cada flujo de datos de enlace descendente puede determinarse basándose en el modo de transmisión seleccionado por el terminal de usuario 520x. Las ACK/NAK recibidas pueden usarse para iniciar ya sea una retransmisión completa o una transmisión en aumento de cada paquete de datos recibido en error por el terminal de usuario 520x. Para una transmisión en aumento, una pequeña porción de un paquete de datos recibido en error se transmite para permitir que el terminal de usuario 520x recupere el paquete.

Un estimador de canal 944 obtiene estimaciones de ganancia de canal basándose en la referencia dirigida recibida. Las estimaciones de ganancia de canal se proporcionan al controlador 940 y se usan (posiblemente junto con la estimación de ruido de fondo $N_{0\text{ ut}}$ del terminal de usuario) para derivar las ponderaciones de transmisión para el enlace descendente. El controlador 940 proporciona los controles de velocidad de datos a la fuente de datos 912 y el procesador de datos de TX 920. El controlador 940 proporciona adicionalmente los controles de codificación y modulación y las ponderaciones de transmisión al procesador de datos de TX 920. La estimación de canal y la selección de modo de transmisión para la transmisión de enlace descendente pueden realizarse como se ha descrito anteriormente.

Los controladores 940 y 970 dirigen la operación en el punto de acceso 510x y el terminal de usuario 520x, respectivamente. Las unidades de memoria 942 y 972 proporcionan almacenaje para los códigos de programación y los datos usados por los controladores 940 y 970, respectivamente.

La FIG. 9B muestra el punto de acceso 510x y el terminal de usuario 520x para la transmisión de enlace ascendente. En este caso, el terminal de usuario 520x es el transmisor 110 en la FIG. 1 y el punto de acceso 510x es el receptor 150. La estimación de canal y la selección de modo de transmisión para la transmisión de enlace ascendente pueden realizarse como se ha descrito anteriormente. El procesamiento de datos en el punto de acceso 510x y el terminal de usuario 520x para la transmisión de enlace ascendente puede realizarse de forma similar a la que se ha descrito anteriormente para la transmisión de enlace descendente. El procesamiento espacial en el punto de acceso 510x y el terminal de usuario 520x para la transmisión de enlace ascendente pueden realizarse como se muestra en la Tabla 1.

A. Subsistemas transmisores y receptores

Para mayor claridad, el procesamiento en el punto de acceso 510x y el terminal de usuario 520x para la transmisión de enlace descendente se describe en más detalle a continuación.

La FIG. 10 muestra un diagrama de bloques de un subsistema 1000, que es una realización de la porción transmisora del punto de acceso 510x. Para esta realización, el procesador de datos de TX 920 incluye un desmultiplexor (Demux) 1010, N_C codificadores 1012a a 1012s, N_C intercaladores de canal 1014a a 1014s, N_C unidades de mapeo de símbolos 1016a a 1016s y N_C unidades de escalado de señales 1018a a 1018s (es decir, un conjunto de codificador, intercalador de canal, unidad de mapeo de símbolos y unidad de escalado de señales para cada uno de los N_C flujos de datos). El desmultiplexor 1010 desmultiplexa los datos de tráfico (es decir, los bits de información) en N_C flujos de datos, donde cada flujo de datos se proporciona a la velocidad de datos indicada por el control de velocidad de datos. El desmultiplexor 1010 puede omitirse si los datos de tráfico ya se proporcionan como N_C flujos de datos.

Cada codificador 1012 recibe y codifica un flujo de datos respectivo basándose en el esquema de codificación seleccionado (como se indica por el control de codificación) para proporcionar los bits de código. Cada flujo de datos puede llevar uno o más paquetes de datos y cada paquete de datos típicamente se codifica por separado para obtener un paquete de datos codificado. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. El esquema de codificación seleccionado puede incluir cualquier combinación de codificación CRC, codificación convolucional, codificación turbo, codificación por bloques, etc. Los bits de codificación de cada codificador 1012 se proporcionan a un intercalador de canal 1014 respectivo, que intercala los bits de código basándose en un esquema de intercalado particular. Si el intercalado depende del modo de transmisión, entonces el controlador 940 proporciona un control de intercalado (como se indica por la línea discontinua) al intercalador de canal 1014. El intercalador proporciona diversidad de tiempo, frecuencia y/o espacial para los bits de código.

Los bits intercalados de cada intercalador de canal 1014 se proporcionan a una unidad de mapeo de símbolos respectiva 1016, que mapea los bits intercalados basándose en el esquema de modulación seleccionado (como se indica por el control de modulación) para proporcionar símbolos de modulación. La unidad 1016 agrupa cada conjunto de bits intercalados B para formar un valor binario de B bits, donde $B > 1$ y además mapea cada valor de B bits en un símbolo de modulación específico basándose en el esquema de modulación seleccionado (por ejemplo, QPSK, M-PSK o M-QAM, donde $M = 2^B$). Cada símbolo de modulación es un valor complejo en una constelación de señales definida por el esquema de modulación seleccionado. Los símbolos de modulación de cada unidad de mapeo de símbolos 1016 se proporcionan entonces a una unidad de escalado de señales respectiva 1013 que escala los símbolos de modulación con las ponderaciones de transmisión, $W_m(k)$ para $k \in K$, para lograr la inversión de canal y la distribución de potencia. Las unidades de escalado de señales 1018a a 1018s proporcionan N_C corrientes de símbolos de modulación escalados.

Cada flujo de datos se transmite en un canal paralelo respectivo que puede incluir cualquier número y cualquier combinación de sub-bandas, antenas de transmisión y canales espaciales. Por ejemplo, un flujo de datos puede transmitirse en todas las sub-bandas útiles de cada modo propio de banda ancha, como se ha descrito anteriormente. El procesador espacial de TX 928 realiza el procesamiento espacial requerido, si lo hubiera, en las N_C corrientes de símbolos de modulación escalada y proporciona las N_{ap} corrientes de símbolos de transmisión. El procesamiento espacial puede realizarse como se muestra en la Tabla 1.

Para un esquema de transmisión mediante el que un flujo de datos se transmite en todas las sub-bandas de cada modo propio de banda ancha (para un sistema MIMO de CSI completa, como se ha descrito anteriormente), pueden usarse N_S conjuntos de codificador 1012, intercalador de canal 1014, unidad de mapeo de símbolos 1016 y unidad de escalado de señales 1018 para procesar N_S flujos de datos (donde $N_C = N_S = N_{ap} < N_{ut}$ para una matriz de respuesta de canal de rango completo) para proporcionar N_{ap} corrientes de símbolos de modulación escalados. El procesador espacial de TX 928 realiza entonces el procesamiento espacial en las N_{ap} corrientes de símbolos de modulación escalados, como se muestra en la Tabla 1, para proporcionar las N_{ap} corrientes de símbolos de transmisión.

Para un esquema de transmisión mediante el que un flujo de datos se transmite en todas las sub-bandas en cada antena de transmisión (para un sistema MIMO de CSI parcial), pueden usarse N_{ap} conjuntos de codificador 1012, intercalador de canal 1014, unidad de mapeo de símbolos 1016 y unidad de escalado de señales 1018 para procesar N_{ap} flujos de datos (donde $N_C = N_{ap}$) para proporcionar N_{ap} corrientes de símbolos de modulación escalados. El procesador espacial de TX 928 simplemente pasa entonces cada corriente de símbolos de modulación escalados como una corriente de símbolos de transmisión. Puesto que el procesamiento espacial no se realiza para este esquema de transmisión, cada símbolo de transmisión es un símbolo de modulación.

En general, el procesador espacial de TX 928 realiza la desmultiplexión apropiada y/o el procesamiento espacial de los símbolos de modulación escalados para obtener símbolos de transmisión para el canal paralelo usado para cada flujo de datos. El procesador espacial de TX 928 además multiplexa símbolos piloto con los símbolos de transmisión, por ejemplo usando la multiplexación por división de tiempo (TDM) o la multiplexación por división de código (CDM). Los símbolos piloto pueden enviarse en todas o un subconjunto de las sub-bandas/modos propios usados para transmitir datos de tráfico. El procesador espacial de TX 928 proporciona N_{ap} corrientes de símbolos de transmisión a N_{ap} unidades transmisoras 930a a 930ap.

Cada unidad transmisora 930 realiza el procesamiento OFDM en una corriente de símbolos de transmisión respectiva y proporciona una señal modulada correspondiente. El procesamiento OFDM típicamente incluye (1) transformar cada conjunto de N_F símbolos de transmisión en el dominio de tiempo usando una transformada de Fourier rápida inversa de N_F puntos (IFFT) para obtener un símbolo "transformado" que contiene N_F muestras y (2) repetir una porción de cada símbolo transformado para obtener un símbolo de OFDM que contiene $N_F + N_{cp}$ muestras. La porción repetida se denomina como el prefijo cíclico y N_{cp} indica el número de muestras que se repiten. Los símbolos de OFDM se procesan adicionalmente (por ejemplo, se convierten en una o más señales análogas, se amplifican, se filtran y se convierten de forma ascendente por frecuencia) por la unidad transmisora 930 para generar la señal modulada. Otros diseños para el subsistema transmisor 1000 también pueden implementarse y están dentro del alcance de la invención.

El controlador 940 puede realizar diversas funciones relacionadas con el control de velocidad de bucle cerrado para el enlace descendente y el enlace ascendente (por ejemplo, selección de modo de transmisión para el enlace ascendente y cálculo de ponderación de transmisión para el enlace descendente). Para la transmisión de enlace ascendente, el controlador 940 puede realizar el proceso 800 en la FIG. 8 y selecciona un modo de transmisión para cada uno de los canales múltiples paralelos en el enlace ascendente. Dentro del controlador 940, una unidad de asignación de potencia 1042 distribuye la potencia de transmisión total, $P_{total, up}$, a los canales múltiples paralelos (por

ejemplo, basándose en las estimaciones de ganancia de canal $\hat{\sigma}_m(k)$ y la estimación de ruido de fondo $N_{0, ap}$ para el punto de acceso). Una unidad de inversión de canal 1044 realiza la inversión de canal para cada canal paralelo. Un selector de modo de transmisión (TM) 1046 selecciona un modo de transmisión adecuado para cada canal paralelo. La unidad de memoria 942 puede almacenar una tabla de consultas 1048 para los modos de transmisión soportados y sus SNR requeridas (por ejemplo, como se muestra en la Tabla 2). Para la transmisión de enlace descendente, el controlador 940 también puede realizar el proceso 800 en la FIG. 8 para determinar la potencia de transmisión para cada sub-banda de cada modo propio de banda ancha y calcula las ponderaciones de transmisión usadas para escalar símbolos de modulación antes de la transmisión en el enlace descendente.

La FIG. 11 muestra un diagrama de bloques de un subsistema receptor 1100, que es una realización de la porción receptora del terminal de usuario 520x. Las N_{ap} señales transmitidas del punto de acceso 510x se reciben por las antenas 952a a 952ut y la señal recibida de cada antena se proporciona a una unidad receptora 954 respectiva. Cada unidad receptora 954 condiciona y digitaliza su señal recibida para obtener una corriente de muestras y además realiza el procesamiento OFDM sobre las muestras. El procesamiento OFDM en el receptor típicamente incluye (1) eliminar el prefijo cíclico en cada símbolo de OFDM recibido para obtener un símbolo transformado recibido y (2) transformar cada símbolo transformado recibido en el dominio de frecuencia usando una transformada de Fourier rápida (FFT) para obtener un conjunto de N_F símbolos recibidos para las N_F sub-bandas. Los símbolos recibidos son estimaciones de los símbolos de transmisión enviados por el punto de acceso 510x. Las unidades receptoras 954a a 954ut proporcionan N_{ut} corrientes de símbolos recibidos al procesador espacial de RX 962.

El procesador espacial de RX 962 realiza el procesamiento espacial o de espacio tiempo en las N_{ut} corrientes de símbolos recibidos para proporcionar N_C corrientes de símbolos recuperados. El procesador espacial de RX 962 puede implementar un ecualizador de fuerza nula lineal (ZF) (que también se denomina como un ecualizador de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI)), un ecualizador de error medio cuadrático mínimo (MMSE), un ecualizador lineal de MMSE (MMSE-LE), un ecualizador de retroalimentación de decisión (DFE), u algún otro

ecualizador.

El procesador de datos de RX 964 recibe las N_C corrientes de símbolos recuperados del procesador espacial de RX 962. Cada corriente de símbolos recuperados se proporciona a una unidad de desmapeo de símbolos respectiva 1132 que desmodula los símbolos recuperados de acuerdo con el esquema de modulación utilizado por esa corriente, como se indica por un controlador de desmodulación proporcionado por el controlador 970. El flujo de datos desmodulados de cada unidad de desmapeo de símbolos 1132 se desintercala por un desintercalador de canales asociado 1134 de una manera complementaria a la realizada en el punto de acceso 510x para ese flujo de datos. Si el intercalado depende del modo de transmisión, entonces el controlador 970 proporciona un control de desintercalado al desintercalador de canales 1134 como se indica por la línea discontinua. Los datos desintercalados de cada desintercalador de canales 1134 se decodifican por un decodificador asociado 1136 de una forma complementaria a la realizada en el punto de acceso 510x, como se indica por un control de decodificación proporcionado por el controlador 970. Por ejemplo, pueden usarse un decodificador turbo o un decodificador Viterbi para el decodificador 1136 si la codificación turbo o convolucional, respectivamente, se realiza en el punto de acceso 510x. El decodificador 1136 también puede proporcionar el estado de cada paquete de datos recibido (por ejemplo, indicando si el paquete se recibió correctamente o en error). El decodificador 1138 puede almacenar adicionalmente los datos desmodulados para paquetes decodificados en error, de manera que estos datos puedan combinarse con datos adicionales de una transmisión en aumento posterior y decodificarse.

En la realización mostrada en la FIG. 11, el estimador de canal 974 estima la respuesta de canal y el ruido de fondo en el terminal de usuario 520x (por ejemplo, basándose en los símbolos piloto recibidos) y proporciona las estimaciones de canal al controlador 970. El controlador 970 realiza diversas funciones relacionadas con el control de velocidad de bucle cerrado para el enlace descendente y el enlace ascendente (por ejemplo, selección de modo de transmisión para el enlace descendente y cálculo de ponderación de transmisión para el enlace ascendente). Para la transmisión de enlace descendente, el controlador 970 puede realizar el proceso 800 en la FIG. 8. Dentro del controlador 970, una unidad de asignación de potencia 1172 distribuye la potencia de transmisión total, $P_{\text{total,dn}}$, a los

canales paralelos múltiples (por ejemplo, basándose en las estimaciones de ganancia de canal $\hat{\sigma}_m(k)$ y el ruido de fondo $N_{0,\text{ut}}$ para el terminal de usuario). Una unidad de inversión de canal 1174 realiza la inversión de canal para cada uno de los canales paralelos múltiples. Un selector de modo de transmisión (TM) 1176 selecciona un modo de transmisión adecuado para cada canal paralelo. La unidad de memoria 972 puede almacenar una tabla de consultas 1178 para los modos de transmisión soportados y sus SNR requeridas (por ejemplo, como se muestra en la Tabla 2). El controlador 970 proporciona N_C modos de transmisión seleccionados para los N_C canales paralelos en el enlace descendente, que pueden ser parte de la información de retroalimentación enviada al punto de acceso 510x. Para la transmisión de enlace ascendente, el controlador 970 también puede realizar el proceso 800 en la FIG. 8 para determinar la potencia de transmisión para cada sub-banda de cada modo propio de banda ancha y calcula las ponderaciones de transmisión usadas para escalar los símbolos de modulación antes de la transmisión en el enlace ascendente.

Para mayor claridad, el subsistema transmisor 1000 se ha descrito para el punto de acceso 510x y el subsistema receptor 1100 se ha descrito para el terminal de usuario 520x. El subsistema transmisor 1000 también puede usarse para la porción transmisora del terminal de usuario 520x y el subsistema receptor 1100 también puede usarse para la porción receptora del punto de acceso 510x.

B. Control de Velocidad de Enlace Descendente y Enlace Ascendente

La FIG. 12A muestra un proceso para realizar el control de velocidad de bucle cerrado para el enlace descendente basándose en la estructura de tramas mostrada en la FIG. 6. Una PDU de BCH se transmite en el primer segmento de cada trama de TDD (véase la FIG. 6) e incluye el piloto de MIMO que puede usarse por el terminal de usuario para estimar y rastrear el enlace descendente. Una referencia dirigida también puede enviarse en el preámbulo de una PDU de FCH enviada al terminal de usuario. El terminal de usuario estima el enlace descendente basándose en el piloto de MIMO y/o la referencia dirigida y selecciona un modo de transmisión adecuado (con la velocidad de datos soportada más alta) para cada modo propio de banda ancha de enlace descendente (es decir, cada canal paralelo). El terminal de usuario envía entonces estos modos de transmisión como modos de transmisión "propuestos" para el enlace descendente en una PDU de RCH enviada al punto de acceso.

El punto de acceso recibe los modos de transmisión propuestos desde el terminal de usuario y programa la transmisión de datos en el enlace descendente en las tramas de TDD posteriores. El punto de acceso selecciona los modos de transmisión para el enlace descendente, que pueden ser los recibidos del terminal de usuario o algunos otros modos de transmisión (con velocidades de datos más bajas) dependiendo de la carga del sistema y otros factores. El punto de acceso envía información de asignación para el terminal de usuario (que incluye los modos de transmisión seleccionados por el punto de acceso para la transmisión de enlace descendente) en el FCCH. El punto de acceso transmite entonces datos en el FCH al terminal de usuario usando los modos de transmisión seleccionados. El terminal de usuario recibe la información de asignación y obtiene los modos de transmisión seleccionados por el punto de acceso. El terminal de usuario procesa entonces la transmisión de enlace descendente de acuerdo con el modo de transmisión seleccionado. Para la realización mostrada en la FIG. 12A, el retardo entre la estimación de canal y la selección de modo de transmisión por el terminal de usuario y el uso de esos modos de transmisión para la

transmisión de enlace descendente típicamente es una trama de TDD, pero puede ser diferente dependiendo de las aplicaciones, configuraciones del sistema y otros factores.

5 **La FIG. 12B** muestra un proceso para realizar el control de velocidad de bucle cerrado para el enlace ascendente basándose en la estructura de tramas mostrada en la FIG. 6. El terminal de usuario transmite una referencia dirigida en el RACH durante el acceso del sistema y en el RCH al ser asignados los recursos de FCH/RCH (véase la FIG. 6). El punto de acceso estima el enlace ascendente basándose en la referencia dirigida recibida y selecciona un modo de transmisión adecuado para cada modo propio de banda ancha de enlace ascendente. El punto de acceso envía información de asignación para el terminal de usuario (que incluye los modos de transmisión seleccionados para la transmisión de enlace ascendente) en el FCCH. El terminal de usuario transmite datos en el RCH al punto de acceso usando los modos de transmisión seleccionados. El punto de acceso procesa la transmisión de enlace ascendente de acuerdo con los modos de transmisión seleccionados.

15 Las técnicas de control de velocidad de bucle cerrado descritas en el presente documento pueden implementarse por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, software o una combinación de ambos. Para una implementación de hardware, los elementos usados para el control de velocidad de bucle cerrado en el transmisor y en el receptor (por ejemplo, los controladores 940 y 970) pueden implementarse en uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores digitales de señales (DSP), dispositivos de procesamiento digital de señales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de compuerta programable de campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación de los mismos.

25 Para una implementación de software, las porciones de control de velocidad de bucle cerrado pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que realizan las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software pueden almacenarse en una unidad de memoria (por ejemplo, la unidad de memoria 942 o 972 en las FIGS. 9A y 9B) y ejecutarse por un procesador (por ejemplo, el controlador 940 o 970). La unidad de memoria puede implementarse en el procesador o de manera externa al procesador, en cuyo caso puede acoplarse de manera comunicativa al procesador a través de diversos medios como se conoce en la técnica.

30 Los títulos se incluyen en el presente documento para referencia y para facilitar la localización de ciertas secciones. Estos títulos no pretenden limitar el alcance de los conceptos descritos en la presente y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a lo largo de toda la memoria descriptiva.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para seleccionar modos de transmisión para usar en la transmisión de datos en una pluralidad de canales paralelos en un sistema de comunicación inalámbrica, que comprende:
 - 5 obtener (312) una estimación de canal para cada uno de los canales paralelos;
 - computar, para cada uno de los canales paralelos, una relación señal-ruido operativa, SNR, basándose en la estimación de canal para el canal paralelo respectivo y un valor de desfase de la SNR para ese canal paralelo, en el que el desfase de la SNR indica una cantidad de reducción para usar en la computación de la relación señal-ruido operativa, SNR,
 - 10 seleccionar una velocidad de datos, un esquema de codificación, un esquema de intercalación y/o un esquema de modulación, para cada canal paralelo respectivo, basándose al menos en parte en la SNR operativa respectiva; y
 - 15 ajustar el valor de desfase de la SNR, para al menos uno de los canales paralelos, basándose en la calidad estimada de las transmisiones de datos recibidas en el canal paralelo respectivo.
- 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente transmitir (316) la velocidad de datos, el esquema de codificación, el esquema de intercalación y/o el esquema de modulación seleccionados como retroalimentación a un dispositivo de transmisión.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el ajuste comprende ajustar (412) el valor de desfase de la SNR basado en los errores de paquete detectados para un flujo de datos recibido en el canal paralelo respectivo.
- 25 4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que el ajuste comprende:
 - 30 disminuir un valor del desfase de la SNR si se detecta un error de paquete en el canal paralelo respectivo; y
 - aumentar el valor del desfase de la SNR si se recibe con éxito un paquete en el canal paralelo respectivo.
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el ajuste comprende ajustar (414) el valor de desfase de la SNR basado en la métrica del decodificador para el canal paralelo respectivo.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el ajuste comprende:
 - 40 comparar una métrica de decodificación para el canal paralelo respectivo con respecto a un valor umbral; y
 - ajustar el valor de desfase de la SNR en base a un resultado de la comparación.
- 45 7. Un aparato para seleccionar modos de transmisión para su uso en la transmisión de datos en una pluralidad de canales paralelos en un sistema de comunicación inalámbrica, que comprende:
 - medios (164) para obtener una estimación de canal para cada uno de los canales paralelos;
 - 50 medios (166) para la computación, para cada uno de los canales paralelos, de una relación señal-ruido operativa, SNR, basándose en la estimación de canal para el canal paralelo respectivo y un valor de desfase de la SNR para el canal paralelo respectivo, donde el desfase de la SNR indica una cantidad de reducción para usar en la computación de la relación señal-ruido operativa, SNR,
 - 55 medios (174) para la selección de una velocidad de datos, un esquema de codificación, un esquema de intercalación y/o un esquema de modulación, para cada canal paralelo respectivo, basándose, al menos en parte, en la SNR operativa respectiva; y
 - 60 medios (172) para ajustar el valor de desfase de la SNR, para al menos uno de los canales paralelos, basándose en la calidad estimada de las transmisiones de datos recibidas en el canal paralelo respectivo.
8. El aparato de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente medios (170) para la transmisión de la velocidad de datos, el esquema de codificación, el esquema de intercalación y/o el esquema de modulación seleccionados como retroalimentación a un dispositivo de transmisión.
- 65

9. El aparato de la reivindicación 7, en el que los medios (172) para el ajuste comprenden medios (172) para ajustar el valor de desfase de la SNR basado en los errores de paquete detectados para un flujo de datos recibido en el canal paralelo respectivo.
- 5 10. El aparato de la reivindicación 9, en el que los medios (172) para el ajuste comprenden:
- medios (172) para disminuir un valor del desfase de la SNR si se detecta un error de paquete en el canal paralelo respectivo; y
- 10 medios (172) para aumentar el valor del desfase de la SNR si se recibe con éxito un paquete en el canal paralelo respectivo.
11. El aparato de la reivindicación 7, en el que los medios (172) para el ajuste comprenden medios (172) para ajustar el valor de desfase de la SNR basado en la métrica del decodificador para el canal paralelo respectivo.
- 15 12. El aparato de la reivindicación 11, en el que los medios (172) para el ajuste comprenden:
- medios (172) para comparar una métrica de decodificación para el canal paralelo respectivo con un valor umbral; y
- 20 medios (172) para ajustar el valor de desfase de la SNR en base al resultado de la comparación.
13. Un aparato de programa informático para seleccionar modos de transmisión para usar en transmitir datos en una pluralidad de canales paralelos en un sistema de comunicación inalámbrica que incluye una unidad de memoria que tiene módulos de instrucciones almacenados en la misma, siendo ejecutables los módulos de instrucciones por uno o más procesadores y comprendiendo los módulos de instrucciones:
- 25 código para obtener una estimación de canal para cada uno de los canales paralelos;
- 30 código para la computación, para cada uno de los canales paralelos, de una relación señal-ruido operativa, SNR, basándose en la estimación de canal para el canal paralelo respectivo y un valor de desfase de la SNR para canal paralelo respectivo, donde el desfase de la SNR indica una cantidad de reducción para usar en la computación de la relación señal-ruido operativa, SNR;
- 35 código para seleccionar una velocidad de datos, un esquema de codificación, un esquema de intercalación y/o un esquema de modulación, para cada canal paralelo respectivo, basándose al menos en parte en la SNR operativa respectiva; y
- 40 código para ajustar el valor de desfase de la SNR, para al menos uno de los canales paralelos, basándose en la calidad estimada de las transmisiones de datos recibidas en el canal paralelo respectivo.
14. El aparato de programa informático de la reivindicación 13, en el que los módulos de instrucciones comprenden adicionalmente código para transmitir la velocidad de datos, el esquema de codificación, el esquema de intercalación y/o el esquema de modulación seleccionados como retroalimentación a un dispositivo de transmisión.
- 45 15. El aparato de programa informático de la reivindicación 13, en el que el código para el ajuste comprende:
- 50 código para disminuir un valor del desfase de la SNR si se detecta un error de paquete en el canal paralelo respectivo; y
- código para aumentar el valor del desfase de la SNR si se recibe con éxito un paquete en el canal paralelo respectivo.
- 55

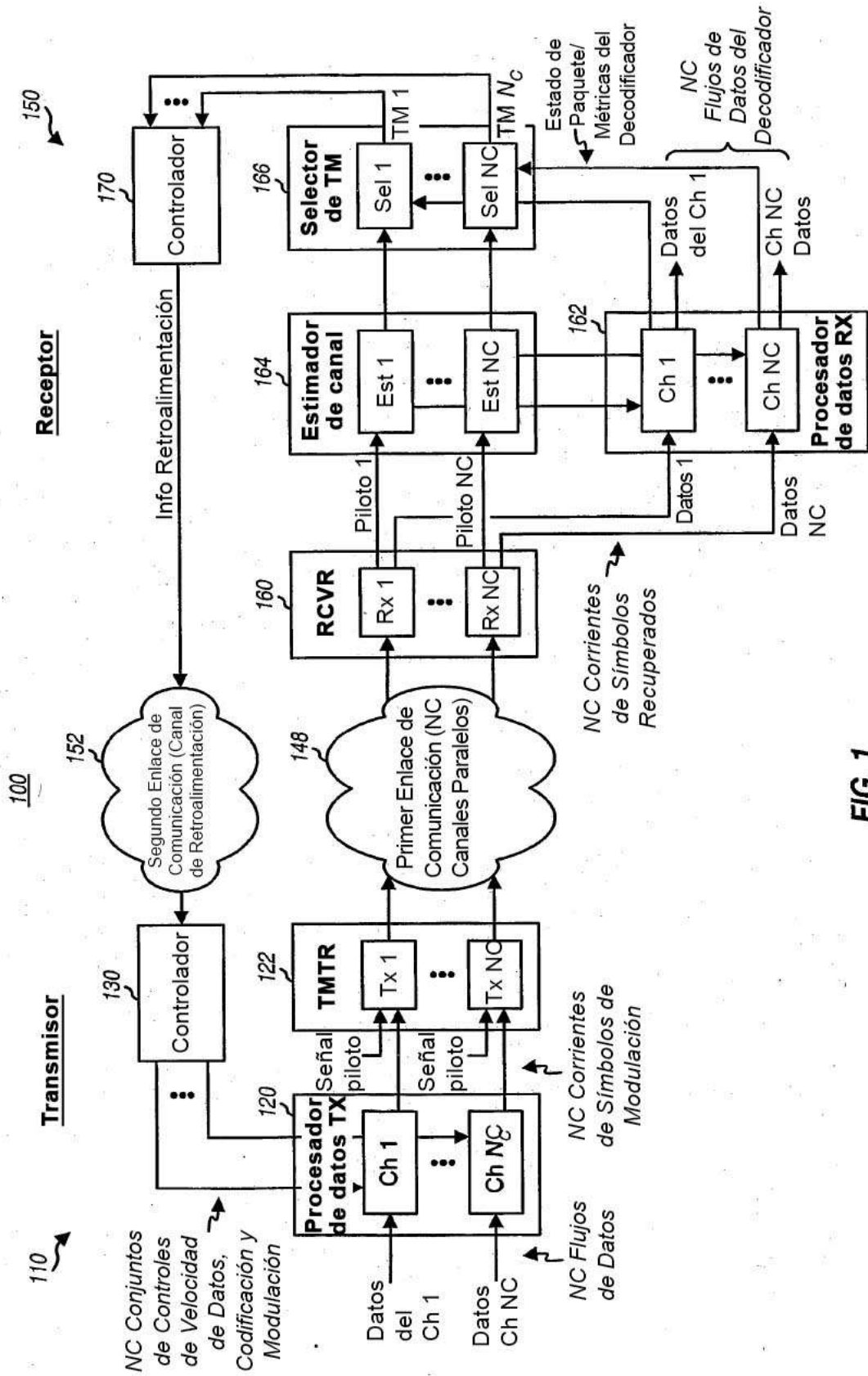
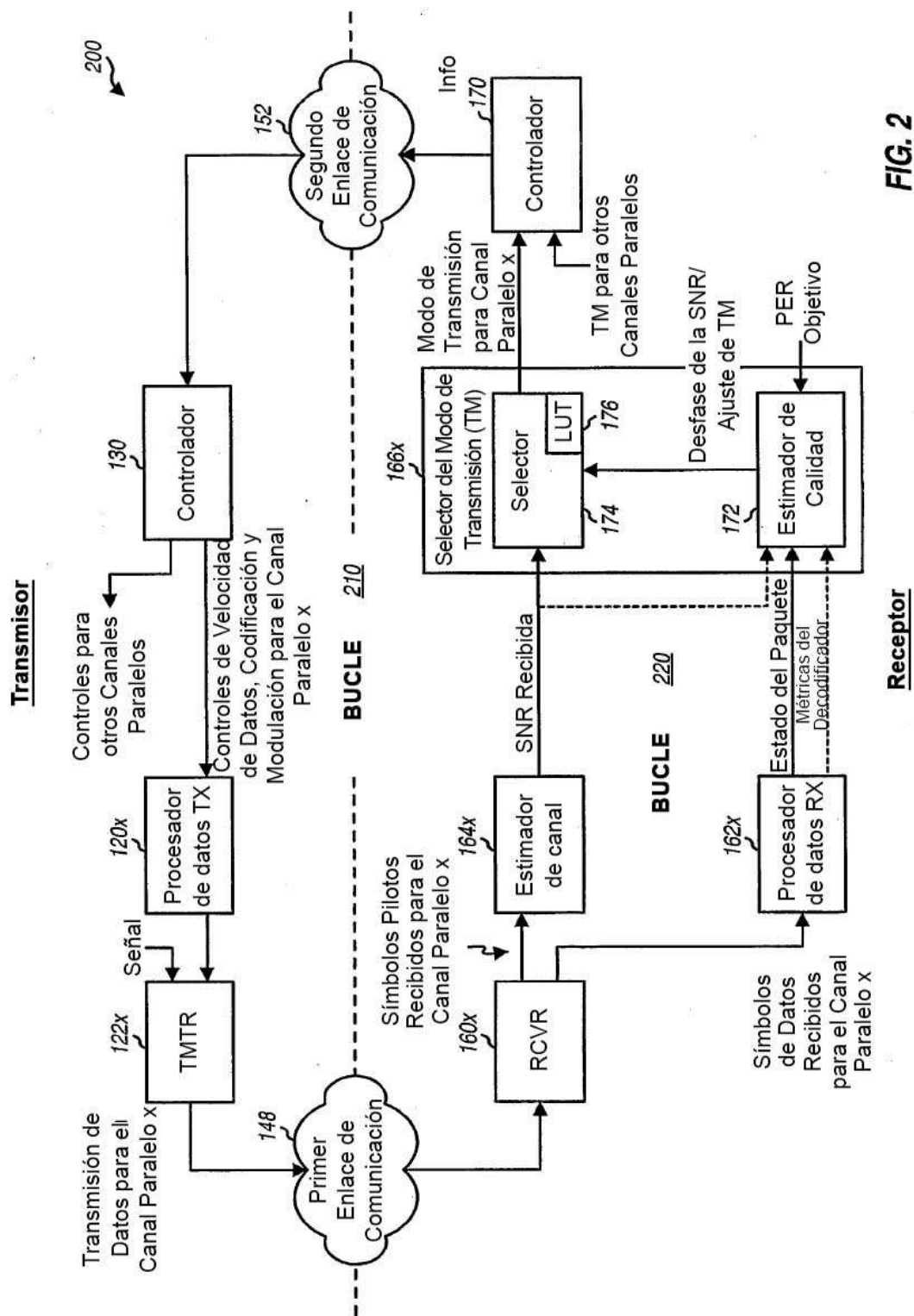
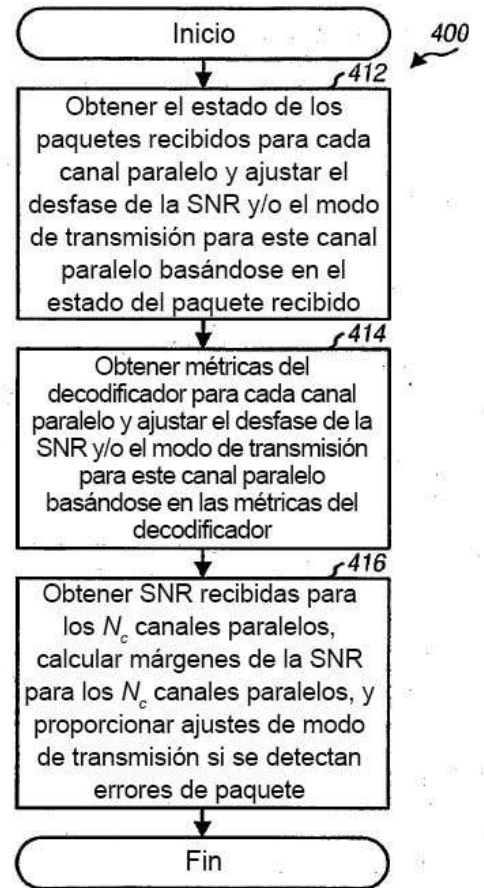
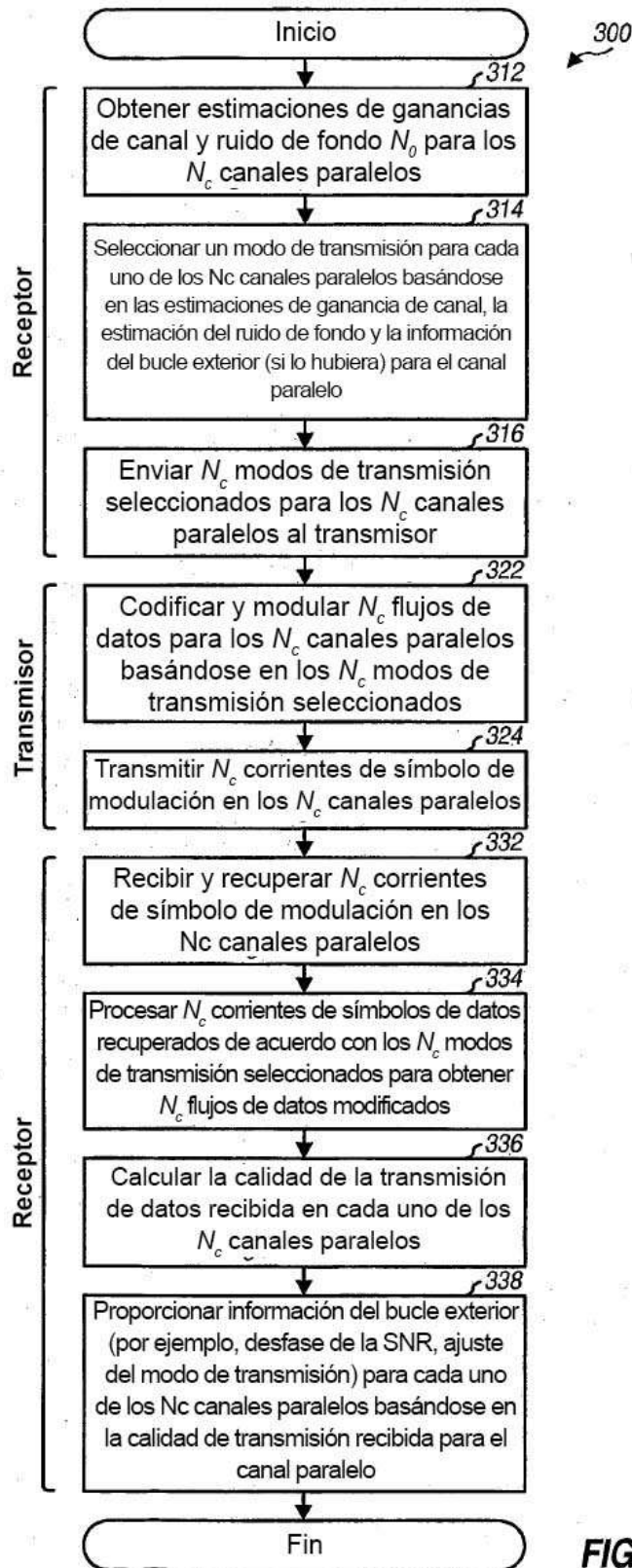


FIG. 1





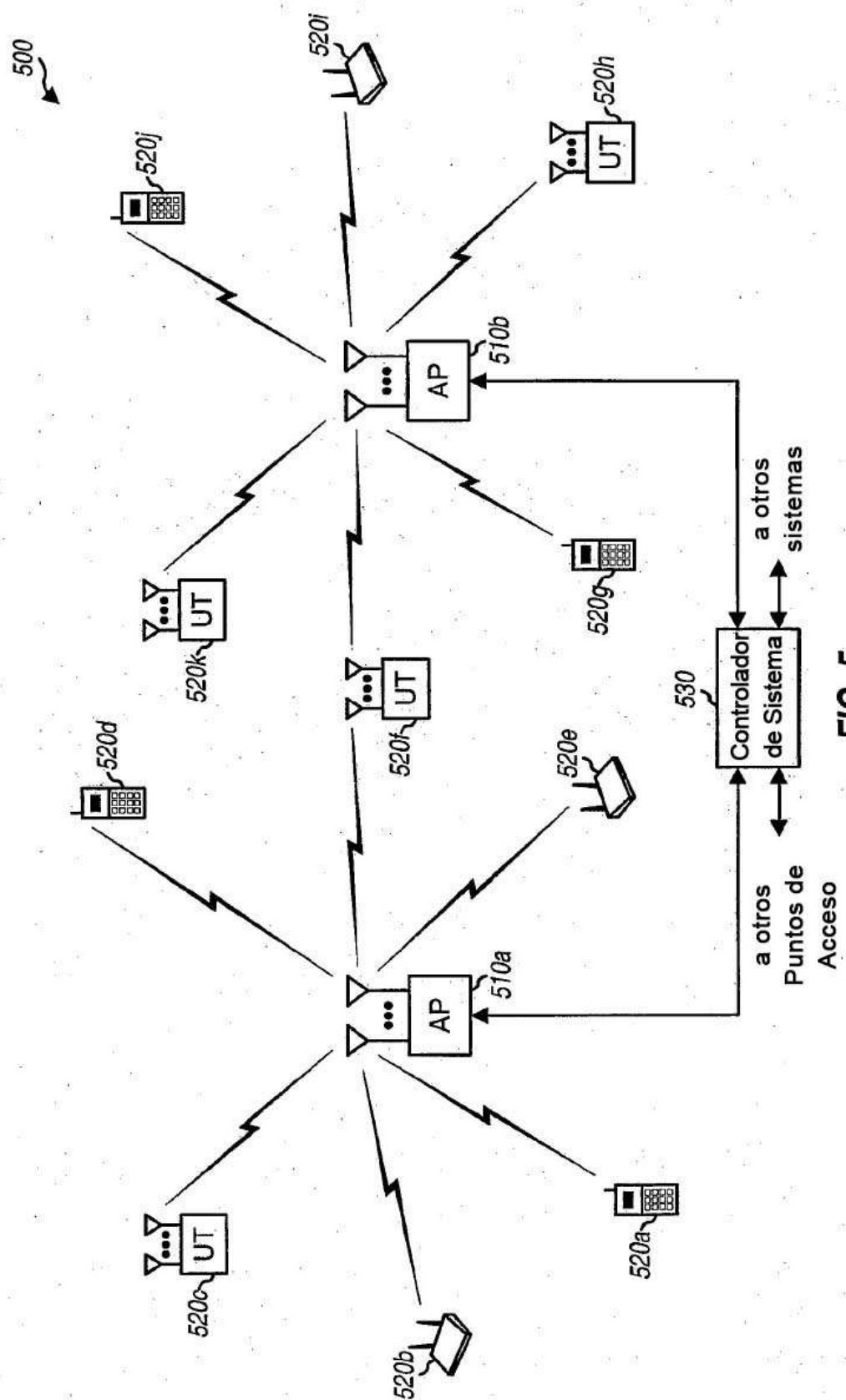


FIG. 5

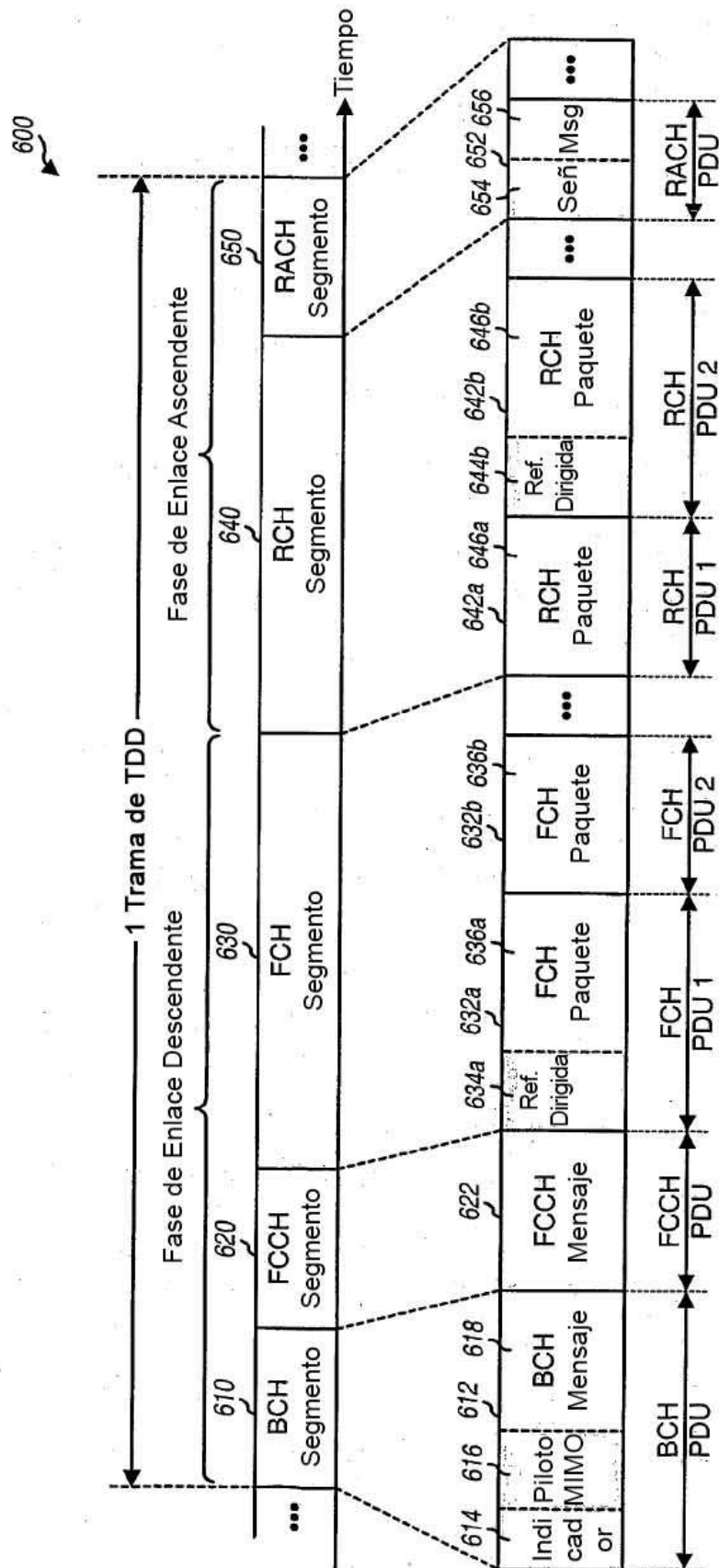
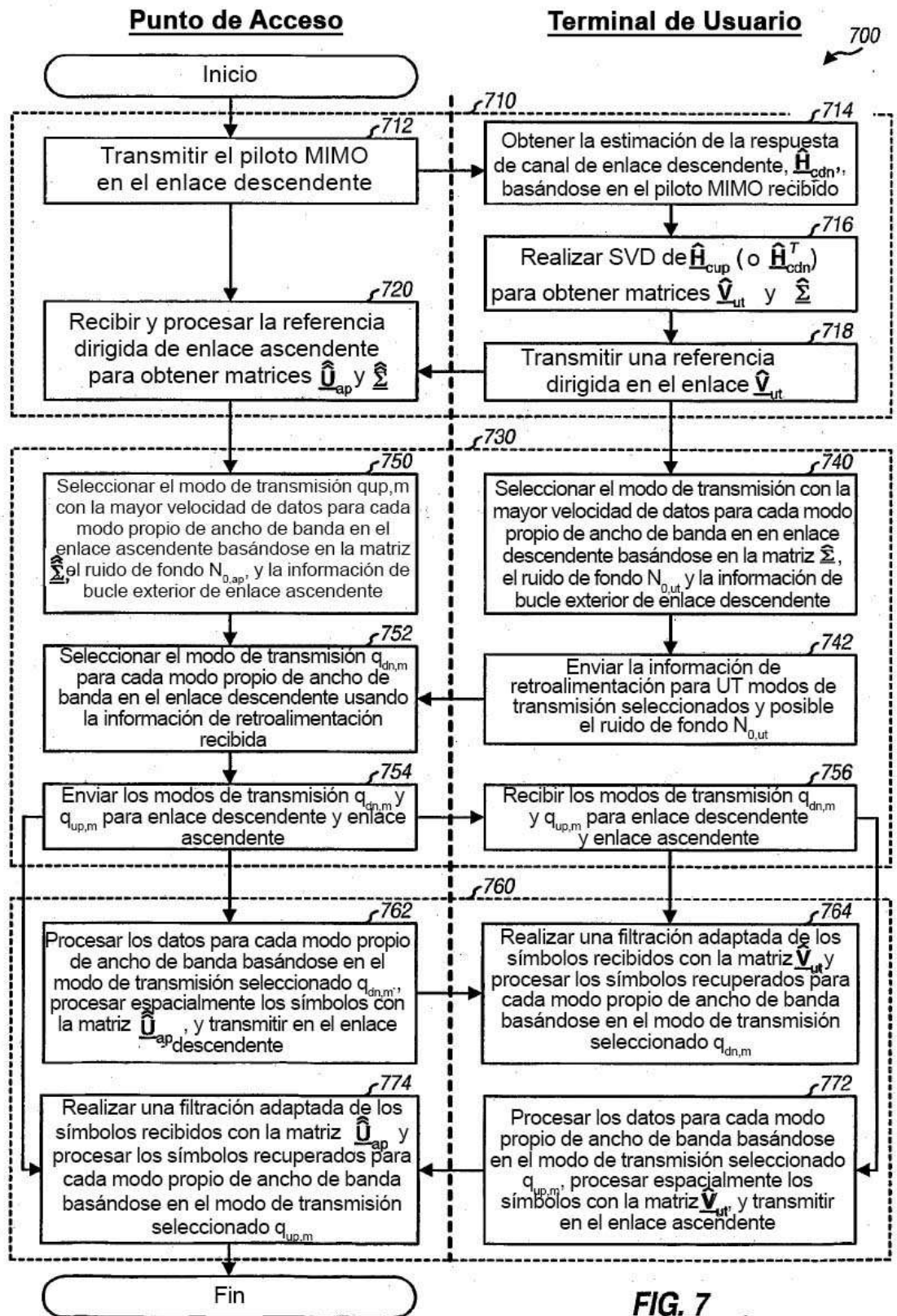
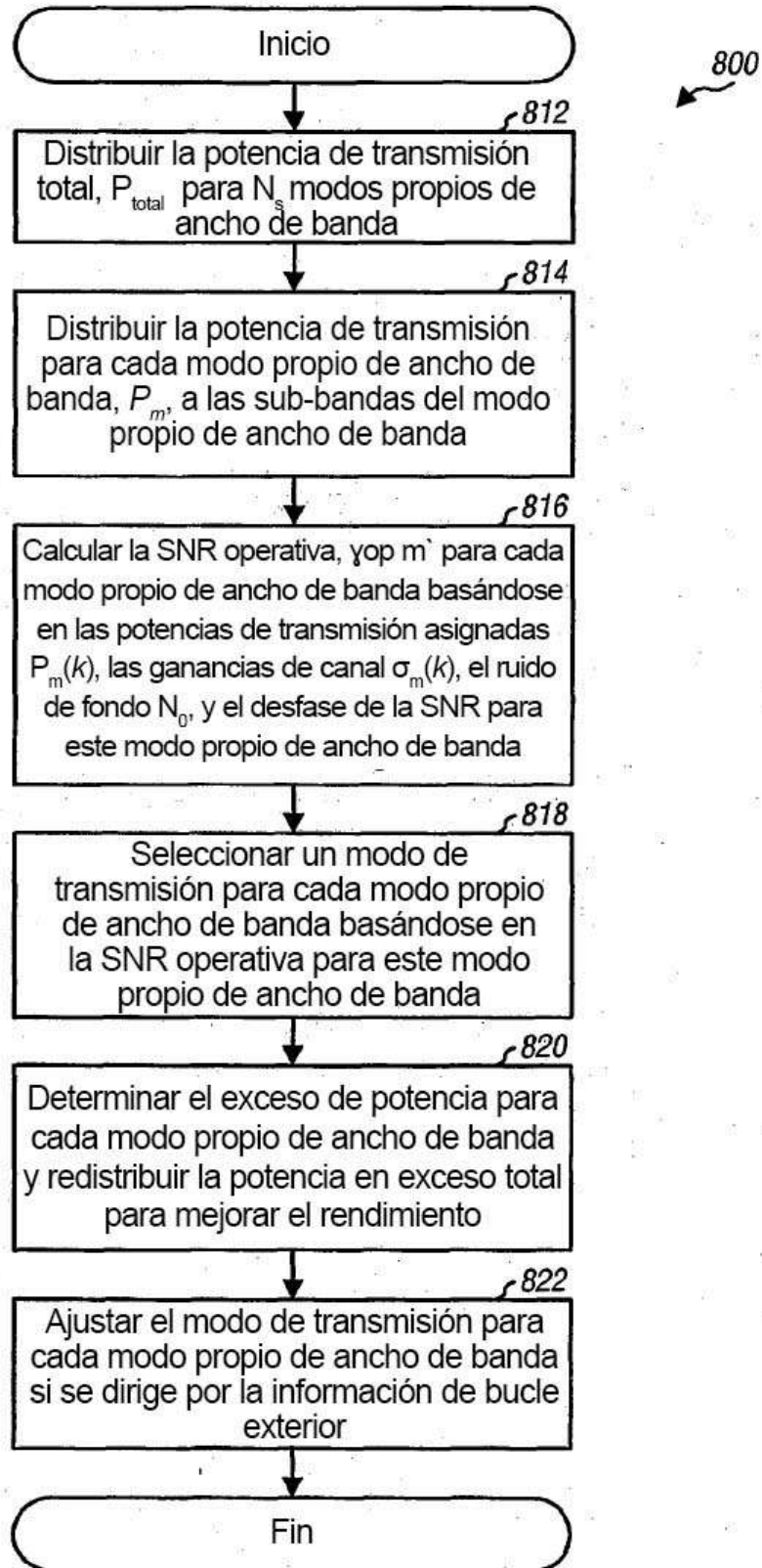


FIG. 6



**FIG. 8**

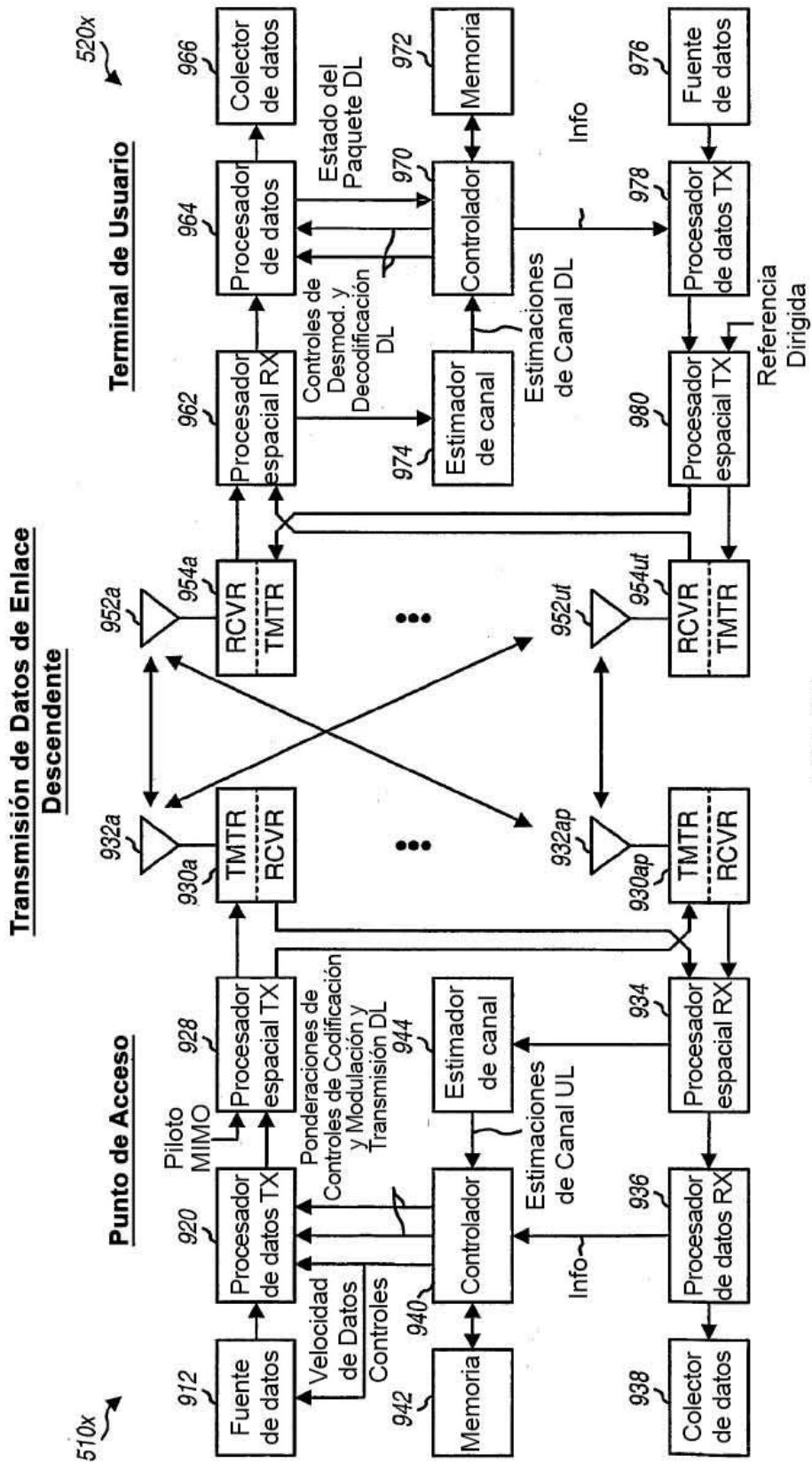


FIG. 9A

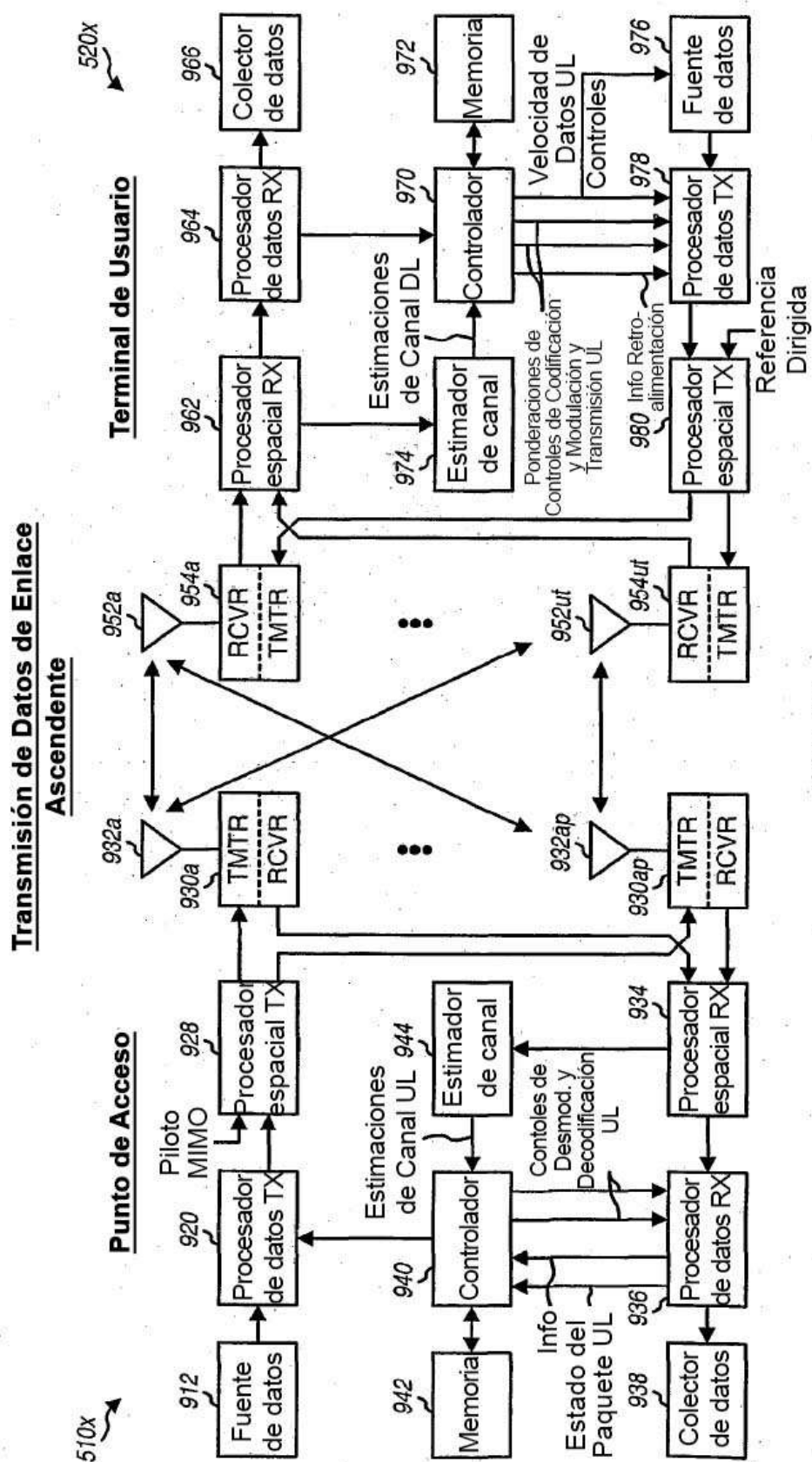


FIG. 9B

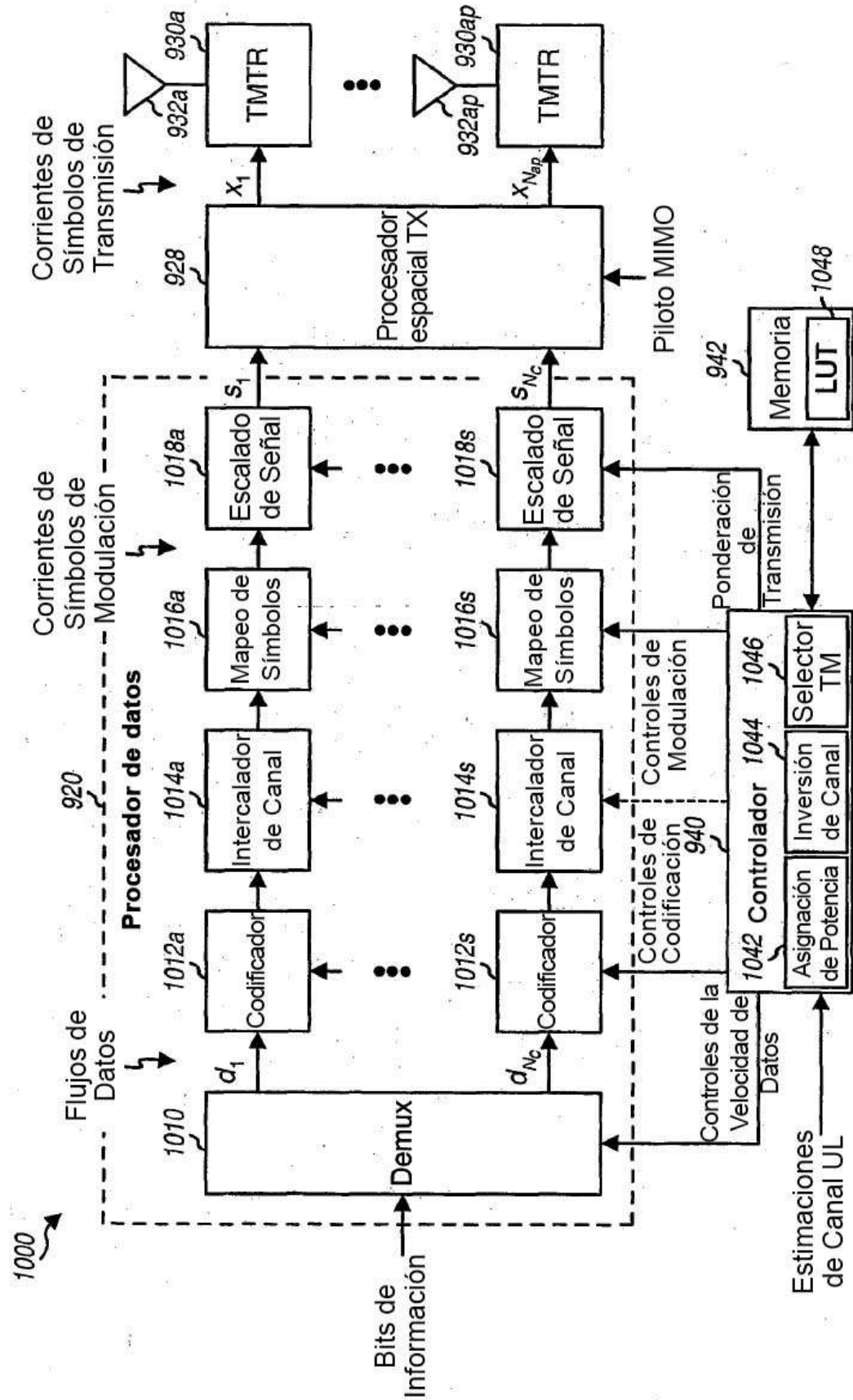


FIG. 10

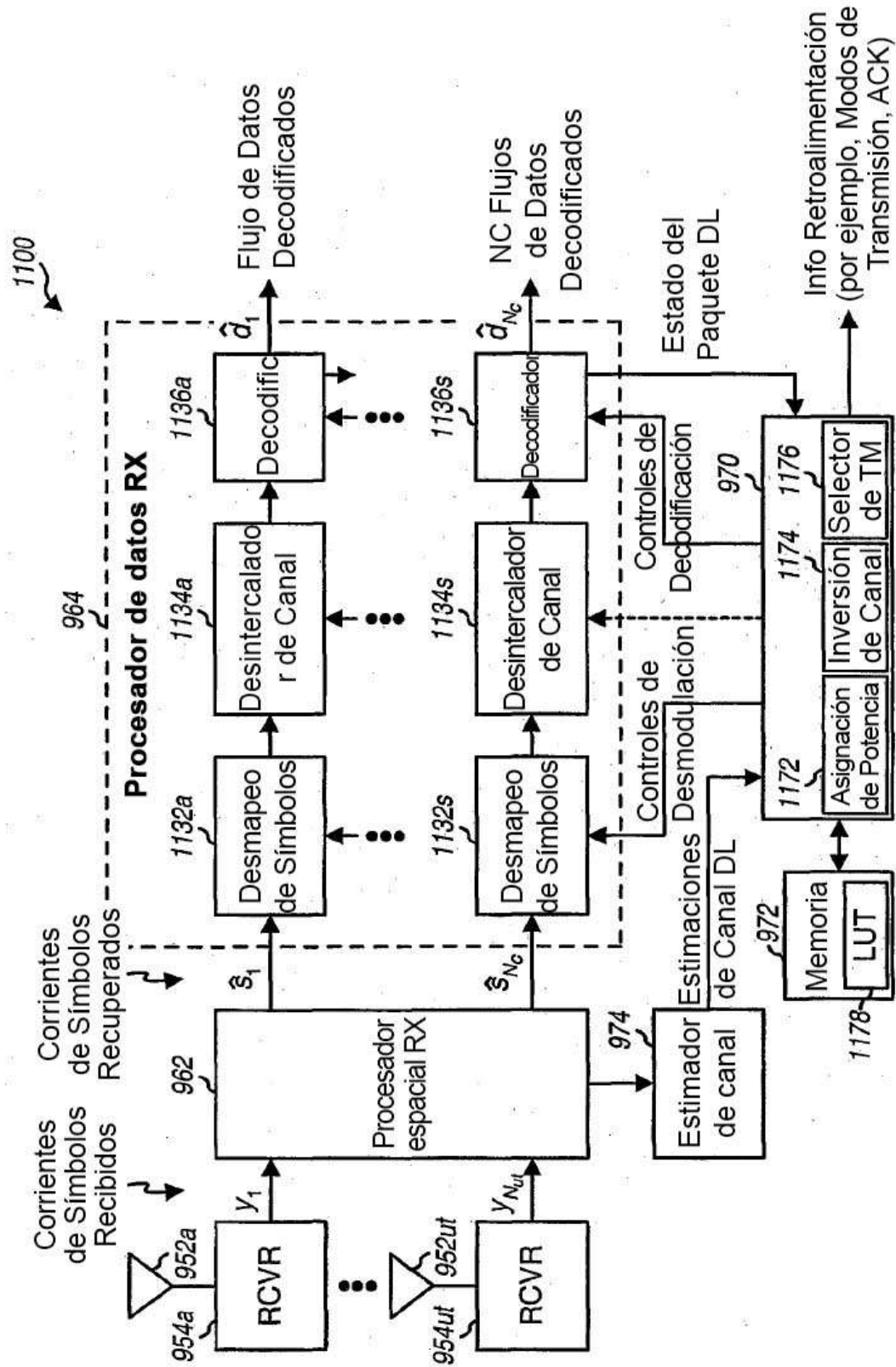


FIG. 11

**Control de Velocidad de
Enlace Descendente**

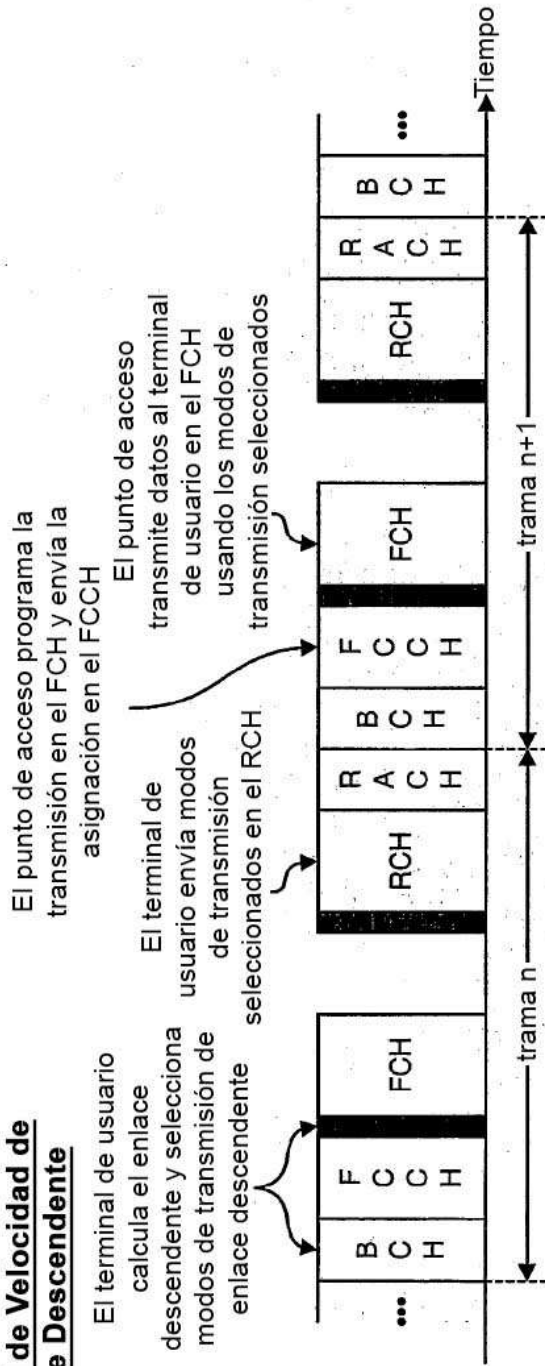


FIG. 12A

**Control de Velocidad de
Enlace Ascendente**

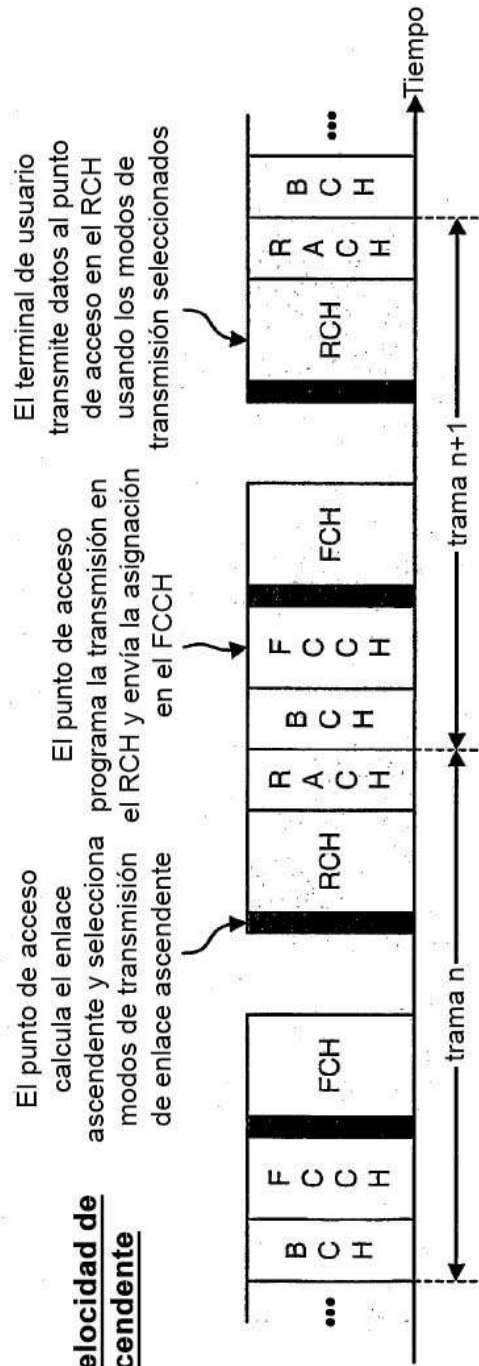


FIG. 12B