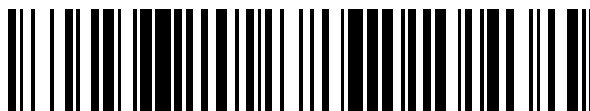


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 039**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)

H04B 7/0417 (2007.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04L 1/20 (2006.01)

H04L 1/06 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.11.2005** **PCT/US2005/041696**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2006** **WO06055718**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2005** **E 05826650 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018** **EP 1829262**

54 Título: **Control de tasa de bucle cerrado para un sistema de comunicación MIMO**

30 Prioridad:

16.11.2004 US 628568 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
23.05.2018

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 MOREHOUSE DRIVE
SAN DIEGO, CALIFORNIA 92121, US

72 Inventor/es:

WALTON, JAY RODNEY y
WALTON, MARK S

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 669 039 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 tasa de bucle cerrado para un sistema de comunicación MIMO

I. Reivindicación de prioridad en virtud del artículo 35 U.S.C. §119

[1] La presente solicitud de patente reivindica prioridad de la solicitud provisional n.º de serie 60/628.568, titulada "Closed-Loop Rate Control for a MIMO Communication System", presentada el 16 de noviembre de 2004.

ANTECEDENTES

I. Campo

[2] La presente divulgación se refiere en general a la comunicación de datos y, de forma más específica, a unas técnicas para llevar a cabo el control de tasa para un sistema de comunicación.

II. Antecedentes

[3] Un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) emplea múltiples (T) antenas transmisoras en una estación transmisora y múltiples (R) antenas receptoras en una estación receptora para transmisión de datos. Un canal MIMO formado por las T antenas transmisoras y las R antenas receptoras se puede descomponer en S canales espaciales, donde $S \leq \min\{T, R\}$. Los S canales espaciales pueden usarse para transmitir datos de tal manera que se alcanza mayor un rendimiento global y/o una mayor fiabilidad. La publicación US-A-2003/165189 es un ejemplo de sistema de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO.

[4] Los canales espaciales pueden experimentar diferentes condiciones de canal (por ejemplo, diferentes efectos de desvanecimiento, trayectorias múltiples e interferencias) y pueden alcanzar diferentes relaciones señal-ruido (SNR). La SNR de cada canal espacial determina su capacidad de transmisión, que típicamente se cuantifica mediante una tasa de transferencia de datos particular que puede transmitirse de forma fiable en el canal espacial. Si la SNR varía de canal espacial en canal espacial, entonces la tasa de transferencia de datos admitida también varía de canal espacial en canal espacial. Además, las condiciones de canal típicamente varían con el tiempo, y las tasas de transferencia de datos admitidas por los canales espaciales también varían con el tiempo.

[5] El control de tasa, que también se denomina adaptación de tasa, es un desafío importante en un sistema MIMO que experimenta condiciones de canal variables. El control de tasa implica controlar la tasa de transferencia de datos de cada flujo de datos basándose en las condiciones de canal. La finalidad del control de tasa debería ser aumentar al máximo el rendimiento global en los canales espaciales cumpliendo al mismo tiempo ciertos objetivos de rendimiento, que pueden cuantificarse mediante una tasa de errores de paquetes (PER) particular y/o algún otro criterio.

[6] Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de disponer de técnicas para llevar a cabo con eficacia el control de tasa en un sistema MIMO.

SUMARIO

[7] Las técnicas para llevar a cabo el control de tasa en un sistema MIMO se describen en las reivindicaciones adjuntas.

[8] A continuación se describen diversos detalles del control de tasa. También se describen en más detalle diversos aspectos y modos de realización de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[9]

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una estación transmisora y una estación receptora.

La figura 2 muestra un mecanismo de control de tasa con un bucle interno y un bucle externo.

La figura 3 muestra un proceso para llevar a cabo un control de tasa en un sistema MIMO.

La figura 4 muestra un aparato para llevar a cabo el control de tasa en el sistema MIMO.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[10] El término "a modo de ejemplo" se usa en el presente documento en el sentido de "que sirve de ejemplo, caso o ilustración". No debe considerarse necesariamente que cualquier modo de realización descrito en el presente documento como "a modo de ejemplo" sea preferido o ventajoso con respecto a otros modos de realización.

[11] Las técnicas de control de tasa descritas en el presente documento se pueden usar para diversos sistemas MIMO, tales como un sistema MIMO de portadora única con una subbanda de frecuencias única, un sistema MIMO multiportadora con múltiples subbandas, un sistema MIMO de portadora única con múltiples subbandas, etc. Se pueden obtener múltiples subbandas con multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA) y otras técnicas de modulación o diferentes. La OFDM divide todo el ancho de banda del sistema en múltiples (K) subbandas ortogonales, que también se denominan tonos, subportadoras, *bins*, etc. Con OFDM, cada subbanda se asocia con una respectiva subportadora que puede modularse con datos. El SC-FDMA divide de manera similar todo el ancho de banda del sistema en K subbandas. En general, los símbolos de modulación se envían en el dominio de frecuencia con OFDM, y en el dominio del tiempo con SC-FDMA.

[12] Para un sistema MIMO con una subbanda única, hay S canales espaciales disponibles para transmisión de datos. Para un sistema MIMO con múltiples (K) subbandas, hay S canales espaciales disponibles para cada una de las K subbandas. Para cualquier sistema MIMO, se pueden formar M canales de transmisión con todos los canales espaciales para todas las subbandas disponibles, donde $M \geq 1$. En general, cada canal de transmisión puede corresponder a uno o múltiples canales espaciales para una o múltiples subbandas en un sistema MIMO. Por ejemplo, un canal de transmisión puede corresponder a uno o múltiples canales espaciales en un sistema MIMO con una única subbanda. En otro ejemplo, un canal de transmisión puede corresponder a uno o múltiples canales espaciales de banda ancha en un sistema MIMO con múltiples subbandas, donde cada canal espacial de banda ancha incluye un canal espacial para cada una de las K subbandas. Un canal de transmisión también se puede denominar canal paralelo, canal de datos, canal de tráfico, canal físico, etc.

[13] Para mayor claridad, gran parte de la siguiente descripción es para un sistema MIMO que usa OFDM o SC-FDMA. También para mayor claridad, la siguiente descripción supone que se envía un flujo de datos en cada canal de transmisión. Los términos "flujo de datos" y "canal de transmisión" son pues intercambiables para gran parte de la siguiente descripción. El número de flujos de datos puede ser configurable y puede seleccionarse basándose en las condiciones del canal y/u otros factores.

[14] La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una estación transmisora 110 y una estación receptora 150 en un sistema MIMO 100. Para la transmisión de enlace descendente, la estación transmisora 110 puede ser un punto de acceso, la estación receptora 150 puede ser un terminal de usuario, y el primer y segundo enlaces de comunicación son el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente. Para la transmisión de enlace ascendente, la estación transmisora 110 puede ser un terminal de usuario, la estación receptora 150 puede ser un punto de acceso, y el primer y segundo enlaces de comunicación son el enlace ascendente y el enlace descendente, respectivamente. La figura 1 muestra una transmisión de datos con control de tasa de bucle cerrado para M flujos de datos, donde $M \geq 1$.

[15] En la estación transmisora 110, un controlador/procesador principal 140 determina una tasa para cada flujo de datos basándose en la información disponible para ese flujo de datos. Esta información puede incluir información de retroalimentación proporcionada por la estación receptora 150 y/o información (por ejemplo, estimaciones de canal) obtenida por la estación transmisora 110. La tasa para cada flujo de datos puede indicar una tasa de transferencia de datos específica, un sistema de codificación o una tasa de código específicos, un sistema de modulación específico, un tamaño de paquete y/u otros parámetros que se usarán para el flujo de datos. El controlador/procesador principal 140 genera diversos controles de codificación y modulación basándose en las tasas para los M flujos de datos.

[16] Un procesador de datos de transmisión (TX) 120 recibe M flujos de datos y los controles de codificación y modulación para estos flujos de datos. El procesador de datos TX 120 procesa cada flujo de datos (por ejemplo, lo formatea, codifica, intercala y somete a correlación de símbolos) de acuerdo con la tasa seleccionada y genera un flujo de símbolos de datos, que son símbolos de modulación para datos. El procesador de datos TX 120 proporciona M flujos de símbolos de datos.

[17] Un procesador espacial TX 130 recibe y multiplexa los M flujos de símbolos de datos con símbolos piloto, que son símbolos de modulación para un piloto. Un piloto es una transmisión de referencia que la estación receptora 150 conoce *a priori* y que se usa para desempeñar diversas funciones tales como estimación de canal, adquisición, sincronización de frecuencia y temporización, desmodulación de datos, etc. Un procesador espacial TX 130 realiza un procesamiento espacial de los símbolos de datos y piloto, si procede, y proporciona T flujos de símbolos de transmisión para las T antenas transmisoras.

[18] Un transmisor (TMTR) 132 procesa los T flujos de símbolos de transmisión de una manera especificada por el sistema. Por ejemplo, el transmisor 132 puede realizar una modulación OFDM o SC-FDMA si el sistema MIMO usa OFDM o SC-FDMA, respectivamente. El transmisor 132 genera T señales moduladas para los T flujos de símbolos de transmisión. Las T señales moduladas se transmiten desde T antenas transmisoras y a través del primer enlace de comunicación 148 hasta la estación receptora 150. El primer enlace de comunicación 148 distorsiona cada señal modulada con una respuesta de canal particular y además degrada la señal modulada con ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) y posiblemente interferencias de otras estaciones transmisoras.

[19] En la estación receptora 150, R antenas receptoras reciben las T señales transmitidas y proporcionan R señales recibidas. Un receptor (RCVR) 160 acondiciona y digitaliza las R señales recibidas y procesa adicionalmente las muestras de una manera complementaria al procesamiento realizado por el transmisor 132. El receptor 160 proporciona los símbolos piloto recibidos a un estimador/procesador de canal 162 y R flujos de símbolos de datos recibidos a un procesador espacial de recepción (RX) 170. El estimador/procesador de canal 162 estima la respuesta de canal MIMO para el primer enlace de comunicación 148 y proporciona estimaciones de canal al procesador espacial RX 170.

[20] El procesador espacial RX 170 realiza el procesamiento espacial de receptor (o filtrado espacial adaptado) de los R flujos de símbolos de datos recibidos basándose en las estimaciones de canal del estimador/procesador de canal 162 y proporciona M flujos de símbolos detectados, que son estimaciones de los M flujos de símbolos de datos enviados por la estación transmisora 110. Un procesador de datos RX 172 procesa (por ejemplo, descorrelaciona símbolos, desintercala y descodifica) los M flujos de símbolos detectados (de acuerdo con las M tasas seleccionadas para estos flujos y proporciona M flujos de datos descodificados, que son estimaciones de los M flujos de datos enviados por la estación transmisora 110. El procesador de datos RX 172 puede proporcionar además el estado de cada paquete de datos recibido y/o unas métricas de descodificador para cada flujo de datos descodificado.

[21] Para el control de tasa, el estimador/procesador de canal 162 puede procesar los símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de SNR, estimaciones de varianza de ruido, etc. La varianza de ruido es el umbral mínimo de ruido observado en la estación receptora 150 e incluye el ruido de canal, el ruido de receptor, la interferencia de otras estaciones transmisoras, etc. El procesador de datos RX 172 también puede obtener estimaciones de SNR basándose en los símbolos de datos detectados. Un controlador/procesador de tasa 180 recibe diversos tipos de información tales como, por ejemplo, las estimaciones de SNR del estimador de canal 162, las estimaciones de SNR, el estado del paquete y/o las métricas de descodificador del procesador de datos RX 172, etc. El controlador/procesador de tasa 180 selecciona una tasa adecuada para cada flujo de datos basándose en la información recibida y proporciona M tasas seleccionadas, tasa 1 a tasa M, para los M flujos de datos.

[22] Un controlador/procesador principal 190 recibe las M tasas seleccionadas del controlador/procesador de tasa 180 y el estado del paquete del procesador de datos RX 172. El controlador/procesador principal 190 genera información de retroalimentación, que puede incluir las M tasas seleccionadas, acuses de recibo (ACK) y/o acuses de recibo negativos (NAK) para los paquetes de datos recibidos y/u otra información. La información de retroalimentación se envía a través del segundo enlace de comunicación 152 a la estación transmisora 110. La estación transmisora 110 usa la información de retroalimentación para ajustar el procesamiento de los M flujos de datos enviados a la estación receptora 150. Por ejemplo, la estación transmisora 110 puede ajustar la tasa de código y/o el sistema de modulación para cada uno de los M flujos de datos enviados a la estación receptora 150. La información de retroalimentación aumenta la eficiencia del sistema permitiendo que se transmitan datos con los mejores ajustes conocidos admitidos por el primer enlace de comunicación 148.

[23] Para el modo de realización mostrado en la figura 1, la estación receptora 150 realiza la estimación de canal y la selección de tasa y envía de vuelta las M tasas para los M flujos de datos a la estación transmisora 110. En otro modo de realización, la estación transmisora 110 realiza la estimación de canal y la selección de tasa basándose en la información de retroalimentación enviada por la estación receptora 150 y/u otra información obtenida por la estación transmisora 110. En otro modo de realización más, la estación transmisora 110 y la estación receptora 150 realizan conjuntamente la estimación de canal y la selección de tasa.

[24] La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de un mecanismo de control de tasa de bucle cerrado 200, que incluye un bucle interno 210 y un bucle externo 220. Para mayor claridad, en la figura 2 se muestra el funcionamiento del bucle interno 210 y el bucle externo 220 para solo un flujo de datos *m*. En un modo de realización, se mantiene un bucle interno y un bucle externo para cada uno de los M flujos de datos. En otro modo de realización, se mantiene un bucle interno y/o un bucle externo para múltiples (por ejemplo, los M) flujos de datos.

[25] El bucle interno 210 sigue las variaciones en la tasa para cada flujo de datos debidas a las condiciones del canal. El bucle interno 210 puede seguir cambios instantáneos en el canal MIMO si la estación receptora 150 puede enviar información de retroalimentación a la estación transmisora 110 en un tiempo inferior al tiempo de

coherencia del canal MIMO. El bucle interno 210 se activa típicamente mediante parámetros que son observables en la capa física, tales como las SNR recibidas. El bucle interno 210 puede funcionar con estimaciones de SNR basadas en piloto y/o estimaciones de SNR basadas en datos, que pueden calcularse tal como se describe a continuación.

[26] El bucle externo 220 corrige los errores de paquetes detectados por fallos de CRC. Con un bucle interno 210 correctamente diseñado, los errores de paquetes deberían ocurrir con poca frecuencia con una PER objetivo dada. Por ejemplo, si la PER objetivo es de 1 %, entonces solo debería recibirse un paquete con errores por cada 100 paquetes que se transmiten. El bucle externo 220 tiene típicamente un tiempo de respuesta más lento que el bucle interno 210. El bucle externo 220 puede contemplarse como un regulador para el bucle interno 210 a fin de asegurar que la tasa seleccionada por el bucle interno 210 para cada flujo de datos pueda alcanzar la PER objetivo.

[27] Para el bucle interno 210, el estimador/procesador de canal 162 estima la SNR del flujo de datos m basándose en símbolos piloto recibidos y proporciona estimaciones de SNR basadas en piloto para el flujo de datos m . El procesador de datos RX 172 estima la SNR del flujo de datos m basándose en los símbolos de datos detectados para el flujo de datos m y proporciona estimaciones de SNR basadas en datos para el flujo de datos m . El procesador de datos RX 172 también puede proporcionar el estado del paquete y/o las métricas de decodificador para el flujo de datos m .

[28] Un selector de tasa 184 situado dentro del controlador/procesador de tasa 180 recibe las estimaciones de SNR para el flujo de datos m y otra información tal como, por ejemplo, el modo de transmisión para los M flujos de datos, el orden de diversidad para el flujo de datos m , un factor de retroceso del bucle externo para el flujo de datos m , etc. Estos diferentes tipos de información se describen a continuación. El selector de tasa 184 calcula una SNR efectiva para el flujo de datos m basándose en toda la información recibida, tal como se describe a continuación. El selector de tasa 184 selecciona a continuación una tasa para el flujo de datos m basándose en la SNR efectiva y una tabla de consulta (LUT) 186 que almacena un conjunto de tasas admitidas por el sistema MIMO y las SNR requeridas. La tasa seleccionada para el flujo de datos m se incluye en la información de retroalimentación enviada por el controlador/procesador principal 190 a la estación transmisora 110. En la estación transmisora 110, el controlador/procesador principal 140 recibe la tasa seleccionada para el flujo de datos m y genera controles de codificación y modulación para el flujo de datos m . A continuación el procesador de datos TX 120 procesa el flujo de datos m de acuerdo con estos controles, el procesador espacial TX 130 lo multiplexa con símbolos piloto y procesa espacialmente, y el transmisor 132 lo acondiciona y envía a la estación receptora 150.

[29] El bucle externo 220 estima la calidad recibida para el flujo de datos m y ajusta el funcionamiento del bucle interno 210 para el flujo de datos m . El procesador espacial RX 170 procesa espacialmente los símbolos de datos recibidos, y el procesador de datos RX 172 procesa adicionalmente (por ejemplo, desmodula y decodifica) los símbolos de datos detectados para el flujo de datos m . El procesador de datos RX 172 proporciona el estado de cada paquete recibido para el flujo de datos m y/o las métricas de decodificador para el flujo de datos m . Un estimador de calidad 182 estima la calidad del flujo de datos m basándose en toda la información del procesador de datos RX 172 y controla el funcionamiento del bucle interno 210 basándose en la estimación de calidad. En un modo de realización, el estimador de calidad 182 ajusta el factor de retroceso de bucle externo para el flujo de datos m . Este factor de retroceso de bucle externo se usa en el cálculo de la SNR efectiva para el flujo de datos m y por lo tanto influye en la selección de tasa, tal como se describe a continuación. En otro modo de realización, el estimador de calidad 182 proporciona un ajuste de tasa para el flujo de datos m . Este ajuste de tasa puede dirigir el bucle interno 210 hacia la selección de una tasa más baja para el flujo de datos m . El factor de retroceso de bucle externo y el ajuste de tasa son dos mecanismos para controlar el funcionamiento del bucle interno 210 y se describen a continuación.

[30] La figura 2 muestra un modo de realización específico del mecanismo de control de tasa 200. En otro modo de realización, la estación receptora 150 envía de vuelta las estimaciones de SNR, las SNR efectivas y/o alguna otra indicación de la calidad de la señal recibida en la estación receptora 150. La estación transmisora 110 selecciona a continuación una tasa para cada flujo de datos basándose en la información obtenida de la estación receptora 150. En general, un mecanismo de control de tasa puede implementarse de diversas maneras. En un modo de realización, el control de tasa se logra tanto con el bucle interno 210 como con el bucle externo 220, tal como se muestra en la figura 2. En otro modo de realización, el control de tasa se logra solo con el bucle interno 210 o solo con el bucle externo 220.

[31] La estimación de canal y la selección de tasa se pueden realizar periódicamente, en tiempos programados, antes y/o durante la transmisión de datos, siempre que se detecten cambios en las condiciones del canal, etc. La estimación del canal, la selección de tasa y el funcionamiento del bucle externo se describen a continuación.

1. Modos de transmisión

[32] El sistema MIMO puede admitir múltiples modos de transmisión (o modos espaciales) para un rendimiento mejorado y una mayor flexibilidad. La tabla 1 enumera algunos modos de transmisión a modo de ejemplo y descripciones breves de estos. El modo dirigido también se puede denominar modo de formación de haz, modo autodirigido, modo MIMO con formación de haz, etc. El modo no dirigido también se puede denominar modo MIMO básico. El modo de ensanchamiento espacial también se puede denominar modo dirigido de transmisión pseudoaleatoria.

Tabla 1

Modo de transmisión	Descripción
Modo dirigido	Se transmiten múltiples flujos de datos en múltiples canales espaciales ortogonales (o automodos) de un canal MIMO.
Modo no dirigido	Se transmiten múltiples flujos de datos en múltiples canales espaciales (por ejemplo, desde múltiples antenas transmisoras).
Ensanchamiento espacial	Se transmiten múltiples flujos de datos con ensanchamiento espacial para lograr un rendimiento similar para todos los flujos de datos.

[33] Cada modo de transmisión tiene diferentes capacidades y requisitos. El modo dirigido transmite datos en los automodos de un canal MIMO. El modo dirigido típicamente proporciona un mejor rendimiento, pero requiere un procesamiento espacial en la estación transmisora 110 y la estación receptora 150. El modo no dirigido no requiere procesamiento espacial en la estación transmisora 110. Por ejemplo, la estación transmisora 110 puede enviar un flujo de datos desde cada antena transmisora. El rendimiento para el modo no dirigido típicamente no es tan bueno como el modo dirigido. El modo de ensanchamiento espacial transmite M flujos de datos con matrices de dirección diferentes a fin de que estos flujos de datos observen un conjunto de canales efectivos. En consecuencia, los M flujos de datos alcanzan un rendimiento similar, que no viene impuesto por las condiciones del peor canal. Se puede seleccionar un modo de transmisión adecuado en base a la disponibilidad de información de estado del canal, las capacidades de las estaciones transmisora y receptora, etc.

[34] Para el modo dirigido, los datos se transmiten en S automodos del canal MIMO formado por las T antenas transmisoras y las R antenas receptoras. El canal MIMO puede caracterizarse por una matriz de respuestas de canal $R \times T$ $\underline{H}$, que puede diagonalizarse para obtener los S automodos del canal MIMO. Esta diagonalización puede conseguirse realizando una descomposición en valores singulares de $\underline{H}$ o una descomposición en autovalores de una matriz de correlación de $\underline{H}$, que es $\underline{R} = \underline{H}^H \underline{H}$, donde $\underline{H}^H$ denota la transpuesta conjugada de $\underline{H}$. La descomposición en autovalores de $\underline{R}$ se puede indicar como:

$$\underline{R} = \underline{H}^H \cdot \underline{H} = \underline{E} \cdot \underline{\Lambda} \cdot \underline{E}^H, \quad \text{Ec. (1)}$$

donde $\underline{E}$ es una matriz unitaria $T \times T$ de autovectores de $\underline{R}$; y

$\underline{\Lambda}$ es una matriz diagonal $T \times T$ de autovalores de $\underline{R}$.

Una matriz unitaria $\underline{E}$ se caracteriza por la propiedad $\underline{E}^H \cdot \underline{E} = \underline{I}$, donde $\underline{I}$ es la matriz de identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí, y cada columna tiene una potencia unitaria. La estación transmisora 110 puede llevar a cabo un procesamiento espacial de transmisor con los autovectores de $\underline{E}$ a fin de transmitir datos en los S automodos de $\underline{H}$. La estación receptora 150 puede realizar un procesamiento espacial de receptor con los autovectores de $\underline{E}$ a fin de recuperar los datos transmitidos en los S automodos. La matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ contiene posibles valores reales no negativos a lo largo de la diagonal, y ceros en el resto. Estas entradas diagonales se conocen como autovalores de $\underline{H}$ y representan las ganancias de potencia para los S automodos.

[35] Para un sistema MIMO con múltiples subbandas, los S autovalores para cada subbanda k pueden ordenarse de mayor a menor, de tal forma que los automodos de la matriz de respuestas de canal $\underline{H}(k)$ para la subbanda k se clasifiquen desde la SNR más alta a la SNR más baja. El automodo de banda ancha m puede formarse con el m -ésimo automodo para cada una de las subbandas K . El automodo de banda ancha principal (con $m = 1$) está asociado con los autovalores más elevados para las K subbandas, el segundo automodo de banda ancha (con $m = 2$) está asociado con los segundos autovalores más elevados para las K subbandas, y así sucesivamente. Se pueden formar N canales de transmisión con los S automodos de banda ancha.

[36] La tabla 2 resume el procesamiento espacial en la estación transmisora 110 y la estación receptora 150 para los tres modos de transmisión. Se puede realizar el mismo procesamiento espacial para cada subbanda.

Tabla 2

	Modo dirigido	Modo no dirigido	Ensanchamiento espacial
Estación transmisora	$\underline{\mathbf{x}}_{\text{es}} = \underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{s}}$	$\underline{\mathbf{x}}_{\text{us}} = \underline{\mathbf{s}}$	$\underline{\mathbf{x}}_{\text{ss}} = \underline{\mathbf{V}} \cdot \underline{\mathbf{s}}$
Canal efectivo	$\underline{\mathbf{H}}_{\text{es}} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{E}}$	$\underline{\mathbf{H}}_{\text{us}} = \underline{\mathbf{H}}$	$\underline{\mathbf{H}}_{\text{ss}} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{V}}$
Símbolos recibidos	$\underline{\mathbf{r}}_x = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{x}}_x + \underline{\mathbf{n}} = \underline{\mathbf{H}}_x \cdot \underline{\mathbf{s}} + \underline{\mathbf{n}}$		
CSI perfecto/CCMI de receptor	$\underline{\mathbf{M}}_{\text{fcsi}}^{\text{es}} = \underline{\Lambda}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$	$\underline{\mathbf{M}}_{\text{ccmi}}^{\text{us}} = [\underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}^H$	$\underline{\mathbf{M}}_{\text{ccmi}}^{\text{ss}} = \underline{\mathbf{V}}^H \cdot \underline{\mathbf{M}}_{\text{ccmi}}^{\text{us}}$
	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{fcsi}}^{\text{es}} = \underline{\mathbf{M}}_{\text{fcsi}}^{\text{es}} \cdot \underline{\mathbf{r}}_{\text{es}}$	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{ccmi}}^{\text{us}} = \underline{\mathbf{M}}_{\text{ccmi}}^{\text{us}} \cdot \underline{\mathbf{r}}_{\text{us}}$	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{ccmi}}^{\text{ss}} = \underline{\mathbf{M}}_{\text{ccmi}}^{\text{ss}} \cdot \underline{\mathbf{r}}_{\text{ss}}$
MMSE de receptor	$\underline{\mathbf{M}}_{\text{mmse}}^x = [\underline{\mathbf{H}}_x^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_x + \sigma_{\text{noise}}^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_x^H$		
	$\underline{\mathbf{D}}_{\text{mmse}}^x = [\text{diag} [\underline{\mathbf{M}}_{\text{mmse}}^x \cdot \underline{\mathbf{H}}_x]]^{-1}$		
	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{mmse}}^x = \underline{\mathbf{D}}_{\text{mmse}}^x \cdot \underline{\mathbf{M}}_{\text{mmse}}^x \cdot \underline{\mathbf{r}}_x$		

[37] En la Tabla 2, el subíndice "es" denota el modo dirigido (o autodirigido), "us" denota el modo no dirigido,

"ss" denota el modo de ensanchamiento espacial y "x" puede ser "es", "us" o "ss". σ_{noise}^2 es la varianza del ruido AWGN para el canal MIMO. $\underline{\mathbf{s}}$ es un vector $T \times 1$ con M símbolos de datos, que se enviarán en una subbanda en un período de símbolo, y ceros para los elementos $T - M$ restantes. $\underline{\mathbf{V}}$ es una matriz de dirección $T \times T$ usada para el ensanchamiento espacial. $\underline{\mathbf{x}}_x$ es un vector $T \times 1$ con T símbolos de transmisión que se enviarán desde las T antenas transmisoras en una subbanda en un período de símbolo para el modo de transmisión x. $\underline{\mathbf{H}}_x$ es una matriz de respuestas de canal efectivo $R \times T$ para el modo de transmisión x. $\underline{\mathbf{M}}$ es una matriz de filtro espacial $T \times R$ que puede obtenerse basándose en una técnica de conocimiento de estado de canal perfecto (CSI perfecto), una técnica de inversión de matrices de correlación de canal (CCMI) o una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE). $\hat{\underline{\mathbf{s}}}$ es un vector $T \times 1$ de símbolos de datos detectados y es una estimación de $\underline{\mathbf{s}}$. Las técnicas MMSE y CCMI se pueden usar para los tres modos de transmisión. Las matrices de filtro espacial MMSE y CCMI pueden obtenerse de la misma manera para los tres modos de transmisión, aunque con diferentes matrices de respuestas de canal efectivo $\underline{\mathbf{H}}_{\text{es}}$, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{us}}$ y $\underline{\mathbf{H}}_{\text{ss}}$.

[38] El procesamiento de supresión consecutiva de interferencias (SIC) del receptor también se puede usar para recuperar los M flujos de datos en M etapas. Cada etapa ℓ detecta un flujo de datos mediante una de las técnicas de procesamiento espacial del receptor mostradas en la tabla 2, descodifica el flujo de símbolos de datos detectados, estima la interferencia causada por el flujo de datos descodificados en los flujos de datos restantes aún no recuperados y suprime la interferencia estimada de los flujos de símbolos recibidos para obtener flujos de símbolos modificados para la siguiente etapa $\ell + 1$. A continuación la siguiente etapa $\ell + 1$ detecta, descodifica y suprime otro flujo de datos.

[39] Independientemente de qué sistema de transmisión se selecciona para el uso, el rendimiento del sistema puede mejorarse significativamente si la estación receptora 150 proporciona a la estación transmisora 110 información oportuna y razonablemente precisa con respecto a qué tasas pueden mantenerse de forma fiable. Provista de esta información de retroalimentación, la estación transmisora 110 puede adaptarse rápidamente a los cambios en las condiciones del canal.

2. Estimación de SNR

[40] La estación receptora puede estimar las SNR recibidas basándose en símbolos piloto recibidos y/o símbolos de datos recibidos. Para la estimación de SNR basada en piloto, la estación receptora puede usar los símbolos piloto recibidos para estimar la SNR recibida para cada canal espacial de cada subbanda. La estación receptora puede usar los símbolos piloto recibidos a partir de (1) un piloto sin procesar que se transmite sin ningún procesamiento espacial en el modo no dirigido, (2) un piloto dirigido que se transmite en los automodos con $\underline{\mathbf{E}}$ en el modo dirigido, o (3) un piloto ensanchado que se transmite con $\underline{\mathbf{V}}$ en el modo de ensanchamiento espacial. Las SNR recibidas para los tres modos de transmisión se pueden calcular tal como se describe a continuación.

[41] Para el procesamiento espacial CSI perfecto del receptor en el modo dirigido, la SNR recibida para cada automodo m de cada subbanda k puede expresarse como:

$$\gamma_{es,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k) \cdot \lambda_m(k)}{\sigma_{noise}^2} \right), \quad \text{para } m = 1, \dots, S \text{ y } k = 1, \dots, K, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde $P_m(k)$ es la potencia de transmisión para el automodo m de la subbanda k ;

5 λ_m es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\Delta}(k)$ para la subbanda k ; y

$\gamma_{es,m}(k)$ es la SNR recibida para el automodo m de la subbanda k .

10 **[42]** Para el procesamiento espacial MMSE del receptor en los tres modos de transmisión, la SNR recibida para cada canal espacial m de cada subbanda k puede expresarse como:

$$\gamma_{mmse,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{q_m(k)}{1 - q_m(k)} P_m(k) \right), \quad \text{para } m = 1, \dots, S \text{ y } k = 1, \dots, K, \quad \text{Ec. (3)}$$

15 donde $q_m(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}^x(k) \cdot \underline{\mathbf{H}}_x(k)$ para la subbanda k ; e $\gamma_{mmse,m}(k)$ es la SNR recibida para el canal espacial m de la subbanda k .

[43] Para el procesamiento espacial CCMI del receptor en los tres modos de transmisión, la SNR recibida para cada canal espacial m de cada subbanda k puede expresarse como:

$$20 \quad \gamma_{ccmi,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_{noise}^2} \right), \quad \text{para } m = 1, \dots, S \text{ y } k = 1, \dots, K, \quad \text{Ec. (4)}$$

donde $r_m(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\mathbf{R}}_x(k) = \underline{\mathbf{H}}_x^H(k) \cdot \underline{\mathbf{H}}_x(k)$ para la subbanda k ; e $\gamma_{ccmi,m}(k)$ es la SNR recibida para el canal espacial m de la subbanda k .

25 **[44]** En las ecuaciones (2) a (4), la cantidad $P_m(k)/\sigma_{noise}^2$ es la SNR (en unidades lineales) antes del procesamiento espacial del receptor. Las cantidades $\gamma_{es,m}(k)$, $\gamma_{mmse,m}(k)$ e $\gamma_{ccmi,m}(k)$ son las SNR (en unidades de decibelio (dB)) después del procesamiento espacial del receptor, que son las SNR recibidas.

30 **[45]** Para el modo de ensanchamiento espacial, los S canales espaciales consiguen unas SNR recibidas similares debido al ensanchamiento espacial mediante la matriz $\mathbf{V}$. En consecuencia, puede usarse la misma tasa para los M flujos de datos. Con el ensanchamiento espacial, cada símbolo de datos se transmite en los S canales espaciales y observa una SNR promedio para todos los canales espaciales, lo cual se puede expresar como:

$$35 \quad \gamma_{mmse}(k) = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^S \frac{q_m(k)}{1 - q_m(k)} P_m(k) \right), \quad \text{Ec. (5)}$$

y

$$40 \quad \gamma_{ccmi}(k) = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^S \frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_{noise}^2} \right). \quad \text{Ec. (6)}$$

El promediado de SNR puede indicarse en unidades lineales, tal como se muestra en las ecuaciones (5) y (6), o en dB.

45 **[46]** La SNR recibida para cada flujo de datos también se puede estimar basándose en los símbolos de datos recibidos para ese flujo de datos. Para la estimación de SNR basada en datos, la estación receptora realiza el procesamiento espacial de receptor de los símbolos de datos recibidos con la matriz de filtro espacial para cada subbanda, a fin de obtener símbolos de datos detectados. Cada símbolo de datos detectado es típicamente un valor de múltiples bits (o una decisión programada) que es una estimación de un símbolo de datos transmitido. La estación receptora puede convertir los símbolos de datos detectados en decisiones firmes,
50 determinar la diferencia entre las decisiones firmes y programadas para cada símbolo de datos detectado y calcular un promedio de los cuadrados de la magnitud de la diferencia entre las decisiones firmes y programadas. La estación receptora puede obtener una estimación de SNR basada en datos para cada flujo de

datos basándose en el promedio de los cuadrados de la magnitud de la diferencia entre las decisiones firmes y programadas para ese flujo de datos.

[47] El piloto se transmite típicamente de modo que se pueden obtener estimaciones de SNR basadas en piloto para los S canales espaciales de cada subbanda, incluso si los datos se transmiten en menos de S canales espaciales. Se pueden obtener estimaciones de SNR basadas en datos para los M flujos de datos que se transmiten realmente. En general, las tasas para los flujos de datos pueden seleccionarse basándose en estimaciones de SNR basadas en piloto solo, estimaciones de SNR basadas en datos solo o tanto estimaciones de SNR basadas en piloto como estimaciones de SNR basadas en datos. Usar tanto estimaciones de SNR basadas en piloto como estimaciones de SNR basadas en datos puede ser ventajoso si ninguno de los tipos de estimaciones de SNR por sí solo refleja con precisión la tasa que el canal MIMO puede admitir de manera fiable. Una discrepancia entre las estimaciones de SNR basadas en piloto y las estimaciones de SNR basadas en datos puede ser indicativa de deficiencias en la estación transmisora y/o la estación receptora. En un modo de realización, si se detecta dicha discrepancia, entonces puede usarse el menor o el promedio de los dos tipos de estimaciones de SNR para seleccionar las tasas para los flujos de datos.

3. Selección de tasa

[48] La selección de tasa puede implicar seleccionar un modo de transmisión que se usará para transmisión si se admiten múltiples modos de transmisión, seleccionar el número de flujos de datos que se transmitirán y seleccionar una tasa para cada flujo de datos o un conjunto de tasas para todos los flujos de datos. Estos tres parámetros (modo de transmisión, número de flujos de datos y tasa) están típicamente interrelacionados. Por ejemplo, el modo de transmisión seleccionado para usar puede afectar las estimaciones de SNR, que a su vez pueden afectar las tasas seleccionadas para los flujos de datos. Se pueden evaluar diferentes combinaciones de modo de transmisión y número de flujos de datos. Cada combinación corresponde a un modo de transmisión específico y a un número de flujos de datos específico. Para cada combinación, se puede determinar la tasa para cada flujo de datos y se puede calcular el rendimiento general para todos los flujos de datos. Se puede seleccionar para el uso la combinación con el rendimiento global más alto. Una combinación para un modo de transmisión específico y M flujos de datos puede evaluarse tal como se describe a continuación.

[49] La tasa para cada flujo de datos se puede seleccionar de diversas maneras. Para mayor claridad, a continuación se describe un modo de realización de selección de tasa. Para este modo de realización, las SNR recibidas para los canales espaciales y las subbandas usadas para cada flujo de datos se determinan inicialmente. La siguiente descripción supone que el flujo de datos m se envía en el canal de transmisión m , que es un canal espacial de banda ancha compuesto por el canal espacial m para cada una de las subbandas K . Las SNR recibidas para cada canal espacial de banda ancha son típicamente dependientes de la frecuencia y dependientes además del modo de transmisión usado para la transmisión de datos y la técnica de procesamiento espacial del receptor, tal como se ha descrito anteriormente. La SNR recibida para cada subbanda k usada para el flujo de datos m se denota como $\gamma_m(k)$ y se indica en unidades de dB. $\gamma_m(k)$ puede calcularse basándose en el modo de transmisión y la técnica de procesamiento espacial del receptor, tal como se ha descrito anteriormente.

[50] La SNR promedio para cada flujo de datos se puede calcular como:

$$\gamma_{\text{avg},m} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K \gamma_m(k), \quad \text{para } m=1, \dots, M, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde $\gamma_{\text{avg},m}$ es la SNR promedio para el flujo de datos m , en unidades de dB.

[51] La varianza de las SNR recibidas para cada flujo de datos se puede calcular como:

$$\sigma_{\text{snr},m}^2 = \frac{1}{(K-1)} \cdot \sum_{k=1}^K (\gamma_m(k) - \gamma_{\text{avg},m})^2, \quad \text{para } m=1, \dots, M, \quad \text{Ec. (8)}$$

donde $\sigma_{\text{snr},m}^2$ es la varianza de SNR para el flujo de datos m .

[52] Se puede calcular un factor de retroceso de la variabilidad de SNR para cada flujo de datos basándose en la SNR promedio y la varianza de SNR para ese flujo de datos, de la siguiente manera:

$$\gamma_{\text{os},m} = K_{\text{snr}} \cdot \sigma_{\text{snr},m}^2, \quad \text{para } m=1, \dots, M, \quad \text{Ec. (9)}$$

donde $\gamma_{\text{os},m}$ es el factor de retroceso de variabilidad de SNR para el flujo de datos m ; y

K_{snr} es una constante que se describe a continuación.

En general, el factor de retroceso de variabilidad de SNR se puede calcular basándose en cualquier función de la SNR promedio y la varianza de SNR, o $\gamma_{\text{os},m} = F(\gamma_{\text{avg},m}, \sigma_{\text{snr},m}^2)$.

[53] Un factor de retroceso MIMO usado para tener en cuenta la transmisión MIMO en el modo dirigido puede definirse como:

$$\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{es}} = \frac{m \cdot \beta}{D}, \quad \text{para } m = 1, \dots, M, \quad \text{Ec. (10)}$$

donde β es una constante positiva que se describe a continuación;

D es el orden de diversidad para la transmisión de datos; y

$\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{es}}$ es el factor de retroceso MIMO para el flujo de datos m en el modo dirigido.

El índice de flujo de datos m puede incluirse en la ecuación (10) u omitirse de la ecuación. El orden de diversidad es indicativo de la cantidad de diversidad espacial observada por una transmisión de datos a través del uso de múltiples antenas receptoras. El orden de diversidad para el modo dirigido se puede indicar como:

$$D = R - M + 1. \quad \text{Ec. (11)}$$

[54] Un factor de retroceso MIMO para el modo no dirigido y el modo de ensanchamiento espacial, sin supresión consecutiva de interferencias en la estación receptora, se puede definir como:

$$\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{ss}} = \gamma_{\text{mimo},m}^{\text{us}} = \frac{\beta}{D}, \quad \text{para } m = 1, \dots, M, \quad \text{Ec. (12)}$$

[55] Un factor de retroceso MIMO para el modo no dirigido y el modo de ensanchamiento espacial, con supresión consecutiva de interferencias en la estación receptora, se puede definir como:

$$\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{sic}} = \frac{\beta}{D(m)}, \quad \text{para } m = 1, \dots, M, \quad \text{Ec. (13)}$$

donde $D(m)$ es el orden de diversidad observado por el flujo de datos m , que se puede indicar como:

$$D(m) = R - M + m, \quad \text{para } m = 1, \dots, M, \quad \text{Ec. (14)}$$

La ecuación (14) supone que los M flujos de datos se detectan y descodifican en orden, de modo que primero se detecta y descodifica el flujo de datos $m = 1$, a continuación el flujo de datos $m = 2$, y así sucesivamente. Si la estimación y supresión de interferencias se llevan a cabo con éxito para un flujo de datos m dado, entonces el orden de diversidad para cada flujo de datos subsiguiente aumenta, como si el flujo de datos m no se hubiera transmitido. Por ejemplo, si $R = 4$ y $M = 3$, el flujo de datos $m = 1$ observa un orden de diversidad de dos, el flujo de datos $m = 2$ observa un orden de diversidad de tres, y el flujo de datos $m = 3$ observa un orden de diversidad de cuatro.

[56] La SNR efectiva para cada flujo de datos se puede calcular como:

$$\gamma_{\text{eff},m} = \gamma_{\text{avg},m} - \gamma_{\text{os},m} - \gamma_{\text{mimo},m} - \gamma_{\text{outer},m}, \quad \text{para } m = 1, \dots, M, \quad \text{Ec. (15)}$$

donde $\gamma_{\text{outer},m}$ es un factor de retroceso de bucle externo para el flujo de datos m (descrito a continuación);

$\gamma_{\text{mimo},m}$ es un factor de retroceso MIMO para el flujo de datos m ; y

$\gamma_{\text{eff},m}$ es la SNR efectiva para el flujo de datos m .

[57] En la ecuación (9), el factor K_{snr} tiene en cuenta la variabilidad en las SNR recibidas para un flujo de datos. Esta variabilidad de SNR puede surgir debido a la selectividad en frecuencia del enlace de comunicación, que es una respuesta en frecuencia no plana que da como resultado la variación de las SNR recibidas a través

de las K subbandas. El factor K_{SNR} reduce la SNR efectiva a partir de la SNR promedio para tener en cuenta el hecho de que el rendimiento de descodificación para algunos códigos de corrección de errores se degrada si hay una gran variación en las SNR para las decisiones programadas que se descodifican. Si el factor K_{SNR} no se aplica, entonces la PER para el flujo de datos puede elevarse. El factor K_{SNR} se puede seleccionar basándose en los detalles específicos del código de corrección de errores usado para el flujo de datos, como, por ejemplo, el tipo de código de corrección de errores, la longitud de restricción, etc. El factor K_{SNR} también puede ser una función de la tasa de código.

[58] En las ecuaciones (10) a (14), el factor de retroceso MIMO tiene en cuenta diversas características asociadas con la transmisión MIMO. El factor de retroceso MIMO se obtiene basándose en el factor β , el índice de flujo m y el orden de diversidad D , que se analizan a continuación.

[59] El factor β se usa para reducir la SNR efectiva a fin de tener en cuenta las discrepancias de tasa que pueden producirse debido a lo siguiente:

1. Latencia en la retroalimentación desde la estación receptora 150 hasta la estación transmisora 110;
2. Ruido en el enlace de comunicación y SNR por proceso de estimación de flujo; y
3. Desalineación de los vectores de dirección usados por la estación transmisora 110 y/o la estación receptora 150 con el canal MIMO en el modo dirigido.

El factor β es típicamente una constante positiva. El factor β también se puede convertir en una función de las SNR recibidas, el tiempo de coherencia del canal MIMO, el retardo de retroalimentación, etc., o cualquier combinación de los mismos.

[60] El orden de diversidad D tiene en cuenta la cantidad de diversidad espacial alcanzada para la transmisión de datos. El orden de diversidad más bajo se obtiene cuando $R = M$, lo cual da un orden de diversidad de uno, o $D = 1$. A medida que se usan más antenas receptoras para un número determinado de flujos de datos, el orden de diversidad aumenta. Un orden de diversidad más alto típicamente corresponde a una menor variación en las SNR recibidas para cada flujo de datos. La división por D en las ecuaciones (10), (12) y (13) tiene en cuenta el hecho de que las SNR recibidas de los flujos de datos en general se comportan mejor cuando el número de flujos de datos que se transmiten es menor que el número de antenas receptoras. En general, a medida que aumenta el orden de diversidad D , se puede usar un factor de retroceso MIMO menor.

[61] El índice de flujo m tiene en cuenta el hecho de que diferentes flujos de datos pueden tener diferentes cantidades de variabilidad de SNR en el modo dirigido. El automodo de banda ancha principal tiene la SNR promedio más alta y típicamente tiene también una menor variabilidad de SNR en el tiempo y la frecuencia. Por lo tanto, se puede usar un factor de retroceso MIMO menor para el automodo de banda ancha principal. El S-ésimo automodo de banda ancha tiene la SNR promedio más baja y típicamente tiene más variabilidad de SNR a lo largo del tiempo y la frecuencia. Por lo tanto, se puede usar un factor de retroceso MIMO mayor para este automodo de banda ancha.

[62] La SNR efectiva también se puede obtener de tal manera que tenga en cuenta otros factores. Por ejemplo, se puede usar un factor L para tener en cuenta variaciones en la longitud de los paquetes enviados en los flujos de datos. Un paquete más grande típicamente requiere una SNR más alta para alcanzar una PER dada. Las variaciones en el tamaño del paquete se pueden manejar añadiendo un factor de retroceso dependiente de la longitud del paquete, por ejemplo, en la ecuación (15).

[63] Los diversos factores descritos anteriormente (por ejemplo, K_{SNR} y β) se pueden seleccionar para aumentar al máximo el rendimiento y reducir al mínimo la tasa de errores de paquetes. Estos factores se pueden determinar basándose en simulación de cálculo, mediciones empíricas, etc.

[64] En un modo de realización de selección de tasa, se puede seleccionar independientemente una tasa para cada flujo de datos entre un conjunto de tasas admitidas por el sistema. La tabla 3 enumera un conjunto a modo de ejemplo de 14 tasas admitidas por el sistema, a las que se les asigna los índices 0 a 13. A cada tasa se le asocia una eficiencia espectral específica (Ef. espectral), una tasa de código específica, un sistema de modulación específico (Mod.) y una SNR mínima requerida específica (SNR req.) para alcanzar una PER del 1 % para un canal AWGN sin desvanecimiento. La eficiencia espectral se refiere a la tasa de transferencia de datos (o tasa de bits de información) normalizada por el ancho de banda del sistema, y se indica en unidades de bits por segundo por hercio (b/s/Hz). La tasa de código y el sistema de modulación para cada tasa de la tabla 3 son para un diseño de sistema específico. La tasa que tiene el índice 0 es para una tasa de transferencia de datos nula (o ninguna transmisión de datos). Para cada tasa con una tasa de transferencia de datos no nula, la SNR requerida se obtiene basándose en el diseño de sistema específico (por ejemplo, la tasa de código, el sistema de intercalado, el sistema de modulación, etc., usados por el sistema para esa tasa) y para un canal AWGN. La SNR requerida se puede obtener mediante cálculo, simulación por ordenador, mediciones empíricas, etc.

Tabla 3

Índice de tasa	Ef. espectral (b/s/Hz)	Tasa de código	Sistema de mod.	SNR req. (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

5

[65] Con referencia a la figura 2, la tabla de consulta (LUT) 186 puede almacenar el conjunto de tasas admitidas y la SNR requerida para cada tasa admitida. La SNR efectiva para cada flujo de datos puede proporcionarse a la tabla de consulta 186 y compararse con el conjunto de SNR requeridas para el conjunto de tasas admitidas. La tabla de consulta 186 puede proporcionar a continuación una tasa seleccionada para cada flujo de datos, que es la tasa con la mayor eficiencia espectral y una SNR requerida que es menor o igual a la SNR efectiva para ese flujo de datos.

10

[66] Para mayor claridad, a continuación se describe el proceso de selección de tasa para un ejemplo específico. En este ejemplo, el flujo de datos m se transmite en el canal de transmisión m con cuatro subbandas que han recibido unas SNR de 2,74; 4,27; 6,64 y 9,52 dB. La SNR promedio se calcula como $\gamma_{avg,m} = 5,79$ dB, y

15

la varianza de SNR se calcula como $\sigma_{snr,m}^2 = 8,75$. Para este ejemplo, el factor de retroceso de la variabilidad de SNR se determina basándose en una función $\gamma_{os,m} = F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{snr,m}^2) = 0,25 \cdot \sigma_{snr,m}^2$ y se calcula como $\gamma_{os,m} = 2,19$ dB. Para este ejemplo, el factor de retroceso MIMO se indica como $\gamma_{mimo,m} = 1,0$ dB, y el factor de retroceso del bucle externo es $\gamma_{outer,m} = 0,5$. La SNR efectiva se calcula a continuación como $\gamma_{op} = 5,79 - 2,19 - 1,0 - 0,5 = 2,10$ dB.

20

[67] Mediante el conjunto de tasas admitidas y sus SNR requeridas que se muestran en la tabla 3, se selecciona la tasa con el índice 2 para el flujo de datos m . La tasa seleccionada tiene la SNR requerida más alta (de 1,2 dB) que es menor o igual a la SNR efectiva (de 2,10 dB). La tasa seleccionada indica que se usa una eficacia espectral de 0,5 b/s/Hz, una tasa de código de 1/2 y una modulación BPSK para el flujo de datos m .

25

[68] Como se muestra en las ecuaciones (2) a (4), las SNR recibidas dependen de la potencia de transmisión $P_m(k)$ usada para cada canal espacial de cada subbanda. En un modo de realización, la potencia de transmisión total, P_{total} , se asigna por igual a los M flujos de datos de modo que $P_m(k) = P_{total}/(K \cdot M)$, para $m = 1, \dots, M$ y $k = 1, \dots, K$. A continuación se puede seleccionar una tasa para cada uno de los M flujos de datos tal como se ha descrito anteriormente para las ecuaciones (7) a (15). En otro modo de realización, la potencia de transmisión total, P_{total} , se asigna desigualmente a los M flujos de datos. Por ejemplo, la potencia de transmisión total, P_{total} , puede asignarse mediante llenado de agua (*water filling*) de manera que a los flujos de datos con SNR más alta se les asigna más potencia de transmisión.

30

35

[69] En un modo de realización, se selecciona el número, M , de flujos de datos que se transmitirán para alcanzar el rendimiento total más alto. Para este modo de realización, puede calcularse el rendimiento global para cada uno de los posibles números de flujos de datos. Para un flujo de datos, las SNR recibidas para este flujo de datos se calculan con la potencia de transmisión total P_{total} que se asigna a este flujo de datos, la SNR

efectiva se calcula como se ha descrito anteriormente y se usa para seleccionar una tasa para el flujo de datos, y el rendimiento global es igual a la eficiencia espectral para la tasa seleccionada. Para s flujos de datos, donde $1 < s \leq S$, las SNR recibidas para cada flujo de datos se calculan asignando P_{total}/s a cada flujo de datos, la SNR efectiva para cada flujo de datos se calcula como se ha descrito anteriormente y se usa para seleccionar una tasa para el flujo de datos, y el rendimiento global es igual a la suma de las eficiencias espectrales para las tasas seleccionadas para los s flujos de datos. Se determina el rendimiento global más alto entre los S rendimientos globales calculados para los S números posibles de flujos de datos, y se selecciona M como el número de flujos de datos que proporciona este rendimiento global más alto. Al evaluar el rendimiento global para cada número hipotético de flujos de datos, las SNR recibidas se calculan basándose en el modo de transmisión seleccionado para el uso y la técnica de procesamiento de receptor usada para detectar los flujos de datos.

[70] En un modo de realización, se selecciona un modo de transmisión basándose en las ecuaciones (7) a (15). Por ejemplo, puede calcularse el rendimiento global para cada uno de los modos de transmisión admitidos. Puede seleccionarse para el uso el modo de transmisión con el rendimiento global más alto. También se puede seleccionar un modo de transmisión basándose en otros factores tales como, por ejemplo, las capacidades de las estaciones transmisoras y receptoras, el tiempo de coherencia del canal MIMO, el retardo de retroalimentación, etc.

[71] En otro modo de realización de selección de tasa, las tasas para los M flujos de datos se seleccionan conjuntamente a partir de un conjunto de tasas cuantificadas vectorialmente, que también se puede denominar conjunto de sistemas de modulación y codificación (MCS). El sistema puede admitir solo ciertas combinaciones de tasas, por ejemplo, para reducir la cantidad de información de retroalimentación que se enviará de vuelta a la estación transmisora. La tabla 4 muestra un conjunto de tasas cuantificadas vectorialmente a modo de ejemplo para un sistema en el que la estación transmisora puede transmitir hasta cuatro flujos de datos. Para este conjunto de tasas, los identificadores de tasa (ID) 0 a 13 son para transmisión de un flujo de datos y se indican en la tabla 3 como índices de tasa 0 a 13, respectivamente, los ID de tasa 14 a 24 son para transmisión de dos flujos de datos, los ID de tasa 25 a 35 son para transmisión de tres flujos de datos, y los ID de tasa 36 a 43 son para transmisión de cuatro flujos de datos. Para cada ID de tasa, el número de flujos de datos que se transmitirán (Núm. fl.), la tasa que se usará para cada flujo de datos y el rendimiento global (OTP) se indican en la tabla 4. En un ejemplo, para el ID de tasa 31, el rendimiento global es de 12,0 b/s/Hz, se transmiten tres flujos de datos, se usa la tasa 12 (tasa de código 3/4 y 256 QAM) para el flujo de datos 1, se usa la tasa 9 (tasa de código 2/3 y 64 QAM) para el flujo de datos 2, y se usa la tasa 5 (tasa de código 1/2 y 16 QAM) para el flujo de datos 3.

Tabla 4

ID de tasa	OTP b/s/Hz	Núm. fl.	Tasa para flujo			
			1	2	3	4
14	2,0	2	4	2	-	-
15	2,5	2	4	3	-	-
16	3,0	2	5	3	-	-
17	4,0	2	7	3	-	-
18	4,5	2	7	4	-	-
19	4,5	2	9	2	-	-
20	6,0	2	10	4	-	-
21	6,0	2	9	5	-	-
22	8,0	2	12	5	-	-
23	9,0	2	12	7	-	-
24	12,0	2	12	12	-	-
25	6,0	3	7	5	3	-
26	6,0	3	9	4	2	-
27	8,0	3	10	5	4	-
28	9,0	3	10	7	4	-
29	9,0	3	10	9	2	-

ID de tasa	OTP b/s/Hz	Núm. fl.	Tasa para flujo			
			1	2	3	4
30	12,0	3	10	10	7	-
31	12,0	3	12	9	5	-
32	12,0	3	12	10	4	-
33	13,5	3	12	10	7	-
34	13,5	3	12	12	4	-
35	16,0	3	12	12	9	-
36	8,0	4	9	7	2	2
37	12,0	4	10	10	5	3
38	16,0	4	12	10	9	4
39	16,0	4	12	10	10	3
40	16,0	4	12	12	7	3
41	18,0	4	12	12	9	5
42	18,0	4	12	12	10	4
43	21,0	4	12	12	12	7

[72] Las tasas para los M flujos de datos pueden seleccionarse basándose en las SNR efectivas y el conjunto de tasas cuantificadas vectorialmente de diversas maneras. En un modo de realización, se selecciona una combinación de tasas para los M flujos de datos de manera que la SNR requerida para la tasa para cada flujo de datos sea menor o igual a la SNR efectiva para ese flujo de datos. En otro modo de realización, se selecciona una combinación de tasas con el rendimiento global más alto posible para los M flujos de datos de manera que el margen de SNR total sea no negativo. Para este modo de realización, las combinaciones de tasas del conjunto de tasas se pueden evaluar de una en una, comenzando con la combinación de tasas que tiene el rendimiento global más alto. Para cada combinación de tasas, el margen de SNR para cada flujo de datos se calcula como la diferencia entre la SNR requerida y la SNR efectiva para ese flujo de datos. Los márgenes de SNR para todos los flujos de datos se suman para obtener el margen de SNR total. La combinación de tasas se selecciona si el margen de SNR total es no negativo. En otro modo de realización, se selecciona una combinación de tasas con el rendimiento global más alto para los M flujos de datos de manera que la SNR requerida total sea menor o igual a la SNR efectiva total. Para cada combinación de tasas, la SNR requerida total se puede calcular como la suma de las SNR requeridas para todas las tasas de esa combinación de tasas. La SNR efectiva total se puede calcular como la suma de las SNR efectivas para todos los flujos de datos. Una combinación de tasas también puede seleccionarse de otras maneras.

4. Actualización de bucle externo

[73] Para el modo de realización mostrado en la figura 2, el bucle externo 220 mantiene una PER objetivo para cada flujo de datos. El bucle externo para cada flujo de datos puede ser activado por errores de paquetes para ese flujo de datos. En un modo de realización, siempre que un paquete se descodifique erróneamente (lo cual equivale a un paquete borrado), el bucle externo aumenta el factor de retroceso de bucle externo $\gamma_{outer,m}$ en un tamaño de paso positivo δ_m . Siempre que un paquete se descodifique correctamente (lo cual equivale a un buen paquete), el bucle externo disminuye el factor de retroceso de bucle externo hacia cero restando una fracción de δ_m . La actualización del bucle externo para el flujo de datos m puede expresarse como:

Si hay errores en el paquete, entonces

$$\gamma_{outer,m}(n) = \gamma_{outer,m}(n-1) + \delta_m, \quad \text{Ec. (16a)}$$

Si no hay errores en el paquete, entonces

$$\gamma_{outer,m}(n) = \max \{0, \gamma_{outer,m}(n-1) - P_m \cdot \delta_m\}, \quad \text{Ec. (16b)}$$

donde P_m es la fracción de δ_m que se restará para cada paquete bueno; y

$\gamma_{outer,m}(n)$ es el factor de retroceso de bucle externo para el paquete n del flujo de datos m .

[74] Para el modo de realización mostrado en el conjunto de ecuaciones (16), el factor de retroceso de bucle externo es un valor no negativo. El factor de retroceso de bucle externo puede inicializarse al comienzo de la transmisión de datos con un valor predeterminado, por ejemplo, cero o un valor negativo para tener en cuenta una estimación inicial alta de las SNR recibidas. El factor de retroceso de bucle externo se actualiza a continuación basándose en el estado de los paquetes recibidos. El factor de retroceso de bucle externo se aumenta en δ_m para cada paquete borrado y se disminuye en $P_m \cdot \delta_m$ para cada paquete bueno, donde $P_m \cdot \delta_m$ es una fracción de δ_m y $\gamma_{outer,m}(n)$ está restringido a ser cero o mayor.

[75] El factor P_m se puede establecer basándose en la PER objetivo para el flujo de datos m y se puede expresar como:

$$P_m = \frac{PER_m}{1 - PER_m}, \quad \text{Ec. (17)}$$

donde PER_m es la PER objetivo para el flujo de datos m . Por ejemplo, si $PER_m = 0,01$ para 1 % de PER, entonces $P_m = 0,0101 = 1/99$. El tamaño de paso de bucle externo δ_m determina la tasa de convergencia para el bucle externo.

[76] Para el modo de realización descrito anteriormente, el factor de retroceso de bucle externo $\gamma_{outer,m}(n)$ depende del flujo de datos, tal como se indica mediante el subíndice " m " en las ecuaciones (16a), (16b) y (17). Este modo de realización se puede usar para un sistema en el que cada flujo de datos se codifica por separado y cada paquete se envía en un flujo de datos. El factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos se puede actualizar basándose en el estado de los paquetes recibidos para ese flujo de datos.

[77] Un sistema puede enviar un solo paquete a través de múltiples flujos de datos, y puede considerarse que estos flujos de datos se han codificado conjuntamente. Por ejemplo, un paquete puede analizarse o desmultiplexarse en M bloques del mismo o diferente tamaño, y cada bloque puede enviarse en un flujo de datos diferente. La estación receptora puede intentar recuperar el paquete basándose en los M bloques recibidos en los M flujos de datos. Si hay un error de paquete, puede ser difícil determinar cuál(es) del (los) M flujos de datos causa(n) el error del paquete.

[78] En un modo de realización, para un sistema con flujos de datos codificados conjuntamente, se puede mantener un margen de SNR para cada flujo de datos. El margen de SNR para el flujo de datos m puede calcularse como la diferencia entre la SNR requerida para la tasa seleccionada y la SNR efectiva para el flujo de datos m . La SNR efectiva para el flujo de datos m puede obtenerse con estimaciones de SNR basadas en piloto y/o basadas en datos. Cada vez que se detecta un error de paquete, se aumenta el factor de retroceso de bucle externo para el flujo de datos con el margen de SNR más bajo, por ejemplo, tal como se muestra en la ecuación (16a). Por lo tanto, se supone que el flujo de datos con el margen de SNR más pequeño ha causado el error de paquete, y su factor de retroceso de bucle externo se incrementa como corresponde. Siempre que se recibe un buen paquete, los factores de retroceso de bucle externo para todos los flujos de datos se reducen, por ejemplo, tal como se muestra en la ecuación (16b). Si todos los flujos de datos tienen márgenes de SNR similares, como puede suceder con el modo de ensanchamiento espacial, los factores de retroceso de bucle externo para todos los flujos de datos se pueden ajustar hacia arriba o hacia abajo para paquetes borrados o buenos, respectivamente. En otro modo de realización, el bucle externo puede seleccionar la siguiente tasa más baja para cada flujo de datos que tiene un margen de SNR negativo.

[79] El bucle externo también puede proporcionar otros tipos de información usada para controlar el funcionamiento del bucle interno 210. En un modo de realización, el bucle externo puede proporcionar un ajuste de tasa para cada flujo de datos m . Este ajuste de tasa puede dirigir el bucle interno para el flujo de datos m hacia la selección de una tasa más baja para el flujo de datos. Este ajuste de tasa puede generarse debido a un rendimiento insatisfactorio, por ejemplo, una ráfaga de errores de paquetes recibidos para el flujo de datos m .

[80] En un modo de realización, el bucle externo puede usar métricas de descodificador, tales como una tasa de errores de símbolos recodificados (SER), una métrica de potencia recodificada, una métrica de Yamamoto modificada (para un descodificador convolucional), una razón de verosimilitud logarítmica (LLR) mínima o promedio entre los bits de un paquete descodificado (para un descodificador turbo), etc. La SER recodificada es la tasa de errores entre los símbolos de datos detectados de un procesador espacial RX 170 y unos símbolos recodificados obtenidos mediante recodificación y remodulación de los datos descodificados del procesador de datos RX 172. La métrica de Yamamoto modificada es indicativa de la confianza en los datos descodificados y se obtiene basándose en la diferencia entre la (mejor) trayectoria seleccionada a través del *trellis* para la descodificación convolucional y la siguiente trayectoria más cercana a través del *trellis*. La LLR mínima o promedio también puede usarse como una indicación de la confianza de los datos descodificados. Estas métricas de descodificador son indicativas de la calidad de una transmisión de datos recibida y son conocidas en la técnica.

[81] El factor de retroceso de bucle externo y/o la tasa para cada flujo de datos se puede ajustar basándose en los errores de paquetes y/o las métricas de descodificador para ese flujo de datos. Las métricas de descodificador para cada flujo de datos pueden usarse para estimar el rendimiento del flujo de datos. Si una métrica de descodificador para un flujo de datos dado es peor que un umbral seleccionado para esa métrica, entonces el factor de retroceso de bucle externo y/o la tasa para ese flujo de datos se pueden ajustar como corresponda.

[82] El bucle externo también puede ajustar el funcionamiento del bucle interno de otras maneras, lo cual también está comprendido en el alcance de la presente invención. En general, la tasa de actualización para el bucle externo puede ser más lenta o más rápida que la tasa de actualización para el bucle interno. Por ejemplo, el bucle externo puede ajustar el factor de retroceso de bucle externo basándose en un número (o bloque) predeterminado de paquetes recibidos. El bucle externo también puede ajustar la tasa entre actualizaciones de bucle interno. El bucle externo típicamente tiene más influencia en el funcionamiento del bucle interno para transmisiones de datos más largas que para transmisiones de ráfagas.

[83] La **figura 3** muestra un modo de realización de un proceso 300 para llevar a cabo el control de tasa en un sistema MIMO. El proceso 300 puede ser realizado por la estación receptora 150, la estación transmisora 110 o ambas estaciones 110 y 150.

[84] Se obtiene al menos una estimación de SNR para cada uno de al menos un flujo de datos basándose en los símbolos piloto recibidos y/o símbolos de datos recibidos para el flujo de datos (bloque 312). Las estimaciones de SNR pueden obtenerse de acuerdo con la técnica de procesamiento espacial de receptor usada para el al menos un flujo de datos, por ejemplo, tal como se muestra en las ecuaciones (2) a (6). Se determinan el orden de diversidad y el factor de retroceso MIMO para cada flujo de datos (bloque 314). También se determina un factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos (bloque 316). Se determina una SNR efectiva para cada flujo de datos basándose en la al menos una estimación de SNR, el factor de retroceso MIMO y el factor de retroceso de bucle externo para ese flujo de datos (bloque 318).

[85] A continuación se selecciona al menos una tasa para el al menos un flujo de datos basándose en la al menos una SNR efectiva para el al menos un flujo de datos (bloque 320). La tasa para cada flujo de datos puede seleccionarse independientemente basándose en la SNR efectiva para ese flujo de datos. De forma alternativa, se puede seleccionar una combinación de tasas para el al menos un flujo de datos basándose en la al menos una SNR efectiva. También se puede seleccionar un modo de transmisión para el al menos un flujo de datos entre múltiples modos de transmisión (por ejemplo, los modos dirigidos, no dirigidos y de ensanchamiento espacial) asociados con un procesamiento espacial de transmisor diferente (322).

[86] El factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos se ajusta basándose en el rendimiento (por ejemplo, el estado del paquete y/o las métricas de descodificador) para el flujo de datos (bloque 324). El factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos se puede ajustar independientemente si cada paquete se envía en un flujo de datos. El (los) factor(es) de retroceso de bucle externo para el al menos un flujo de datos también se puede(n) ajustar conjuntamente si un paquete puede enviarse en múltiples flujos de datos, como se ha descrito anteriormente.

[87] La **figura 4** muestra un modo de realización de un aparato 400 para llevar a cabo un control de tasa en un sistema MIMO. El aparato 400 puede residir en la estación receptora 150 o la estación transmisora 110. De forma alternativa, una parte del aparato 400 puede residir en la estación receptora 150, y la parte restante del aparato 400 puede residir en la estación transmisora 110.

[88] El aparato 400 incluye medios para obtener al menos una estimación de SNR para cada uno de al menos un flujo de datos basándose en unos símbolos piloto recibidos y/o símbolos de datos recibidos para el flujo de datos (bloque 412), medios para determinar el orden de diversidad y el factor de retroceso MIMO para cada flujo de datos (bloque 414), medios para determinar un factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos (bloque 416) y medios para determinar una SNR efectiva para cada flujo de datos basándose en la al menos una estimación de SNR, el factor de retroceso MIMO y el factor de retroceso de bucle externo para el flujo de datos (bloque 418). El aparato 400 incluye además medios para seleccionar al menos una tasa para el al menos un flujo de datos basándose en la al menos una SNR efectiva para el al menos un flujo de datos (bloque 420) y medios para seleccionar un modo de transmisión para el al menos un flujo de datos entre múltiples modos de transmisión (422). El aparato 400 incluye además medios para ajustar el factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos basándose en el rendimiento para el flujo de datos (bloque 424).

[89] Diversos medios pueden implementar las técnicas de control de tasa descritas en el presente documento. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, firmware, software o una combinación de ambos. Para una implementación en hardware, las unidades de procesamiento usadas para control de tasa en una estación receptora pueden implementarse dentro de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de

señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables *in situ* (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para desempeñar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento usadas para el control de tasa en una estación transmisora también se pueden implementar en uno o más ASIC, DSP, procesadores, etc.

[90] Para una implementación en firmware o software, las técnicas de control de tasa pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que desempeñan las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, la unidad de memoria 142 o 192 de la figura 1) y ejecutar mediante un procesador (por ejemplo, el procesador 140 o 190). La unidad de memoria puede implementarse en el procesador o fuera del procesador, en cuyo caso puede acoplarse de forma comunicativa al procesador a través de diversos medios como se conoce en la técnica.

REIVINDICACIONES**1.** Un aparato que comprende:

al menos un procesador configurado para,

obtener (412) un primer conjunto de al menos una estimación de SNR basándose en unos símbolos piloto recibidos para cada uno de al menos un flujo de datos,

obtener (412) un segundo conjunto de al menos una estimación de SNR basándose en unos símbolos de datos recibidos para cada uno del al menos un flujo de datos, y

seleccionar (420) una tasa para cada uno del al menos un flujo de datos enviado a través de un canal MIMO basándose en el primer y segundo conjuntos de al menos una estimación de SNR,

en el que el al menos un procesador está configurado para seleccionar la tasa detectando una discrepancia entre el primer y el segundo conjuntos de al menos una estimación de SNR y seleccionar la tasa basándose en un resultado de la detección; y una memoria acoplada al al menos un procesador.

2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para obtener el segundo conjunto de al menos una estimación de SNR de acuerdo con una técnica de procesamiento espacial de receptor usada para el flujo de datos.**3.** El aparato de la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para determinar (418) una SNR efectiva para el flujo de datos basándose en el primer y segundo conjuntos de al menos una estimación de SNR, y para seleccionar la tasa para el flujo de datos basándose en la SNR efectiva para el flujo de datos.**4.** El aparato de la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para determinar (414) un orden de diversidad para el flujo de datos basándose en un número de flujos de datos que se transmiten y un número de antenas receptoras.**5.** El aparato de la reivindicación 4, en el que el al menos un procesador está configurado para determinar el orden de diversidad para el flujo de datos basándose además en un índice para el flujo de datos.**6.** Un procedimiento que comprende:

obtener (312) un primer conjunto de al menos una estimación de SNR basándose en unos símbolos piloto recibidos para cada uno de al menos un flujo de datos,

obtener (312) un segundo conjunto de al menos una estimación de SNR basándose en unos símbolos de datos recibidos para cada uno del al menos un flujo de datos, y

seleccionar (320) una tasa para cada uno del al menos un flujo de datos enviado a través de un canal MIMO basándose en el primer y segundo conjuntos de al menos una estimación de SNR,

en el que seleccionar la tasa comprende detectar una discrepancia entre el primer y el segundo conjuntos de al menos una estimación de SNR y seleccionar la tasa basándose en un resultado de la detección.

7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que obtener el segundo conjunto de al menos una estimación de SNR comprende obtener el segundo conjunto de al menos una estimación de SNR de acuerdo con una técnica de procesamiento espacial de receptor usada para el flujo de datos.**8.** El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además:

determinar (318) una SNR efectiva para el flujo de datos basándose en el primer y segundo conjuntos de al menos una estimación de SNR; y

seleccionar la tasa para el flujo de datos basándose en la SNR efectiva para el flujo de datos.

9. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además determinar (314) un orden de diversidad para el flujo de datos basándose en un número de flujos de datos que se transmiten y un número de antenas receptoras.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que determinar el orden de diversidad para el flujo de datos comprende determinar el orden de diversidad para el flujo de datos basándose además en un índice para el flujo de datos.
- 5 11. Una unidad de memoria para selección de tasa por una estación para un sistema de comunicaciones inalámbricas que incluye uno o más módulos de software almacenados en ella, incluyendo el uno o más módulos de software unos códigos de software que, cuando son ejecutados por uno o más procesadores, realizan el procedimiento de las reivindicaciones 6 a 10.

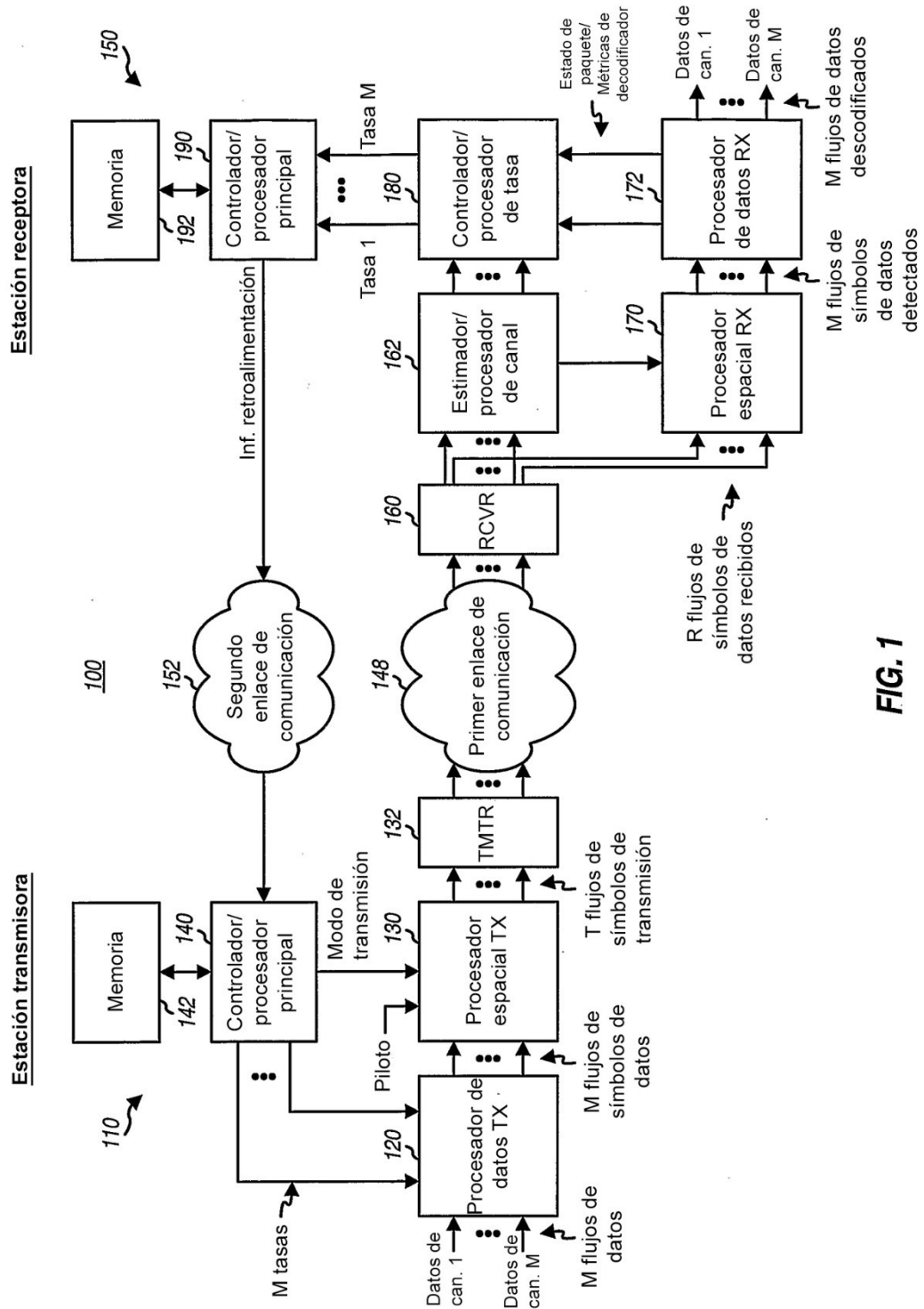


FIG. 1

