

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 398**

51 Int. Cl.:

H04J 11/00 (2006.01)

H04L 1/06 (2006.01)

H04L 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2006 E 14197245 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 2866367**

54 Título: **Codificación y modulación de múltiples flujos de datos en un sistema de comunicación**

30 Prioridad:

16.06.2005 US 691461 P
25.07.2005 US 190106

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.06.2019

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 Morehouse Drive, R-132 D
San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

WALTON, JAY RODNEY y
MEDVEDEV, IRINA

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 715 398 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

Codificación y modulación de múltiples flujos de datos en un sistema de comunicación

5 ANTECEDENTES

I. Campo

10 [0001] La presente divulgación se refiere en general a las comunicaciones y, más específicamente, a técnicas para transmitir múltiples flujos de datos en un sistema de comunicación.

II. Antecedentes

15 [0002] En un sistema de comunicación, un transmisor puede transmitir múltiples flujos de datos a través de múltiples canales de transmisión a un receptor. El transmisor normalmente codifica y modula (o mapea los símbolos de) los datos de cada flujo antes de su transmisión para combatir las condiciones de canales perjudiciales. El receptor realiza una desmodulación y decodificación complementarias para recuperar los datos enviados por el transmisor. La codificación y la modulación realizadas por el transmisor tienen un gran impacto en el rendimiento de la transmisión de datos.

20 [0003] La selección de velocidad se refiere a la selección de un esquema de codificación y modulación apropiado para que cada flujo de datos logre un nivel específico de rendimiento, que se puede cuantificar mediante una tasa de error de paquete (PER) objetivo. La selección de velocidad supone un desafío porque los canales de transmisión pueden experimentar diferentes condiciones de canal (por ejemplo, diferentes efectos de desvanecimiento, multitrayectoria e interferencia) y pueden conseguir diferentes relaciones de señal a ruido e interferencia (SNR). La SNR de un canal de transmisión determina su capacidad de transmisión, que se cuantifica típicamente por una velocidad de datos particular que puede enviarse de manera fiable en el canal de transmisión. Si la SNR varía de un canal de transmisión a otro, entonces la velocidad de datos admitida también variará de un canal a otro. Además, si las condiciones de canal varían con el tiempo, entonces las velocidades de datos admitidas por los canales de transmisión también variarán con el tiempo.

35 [0004] Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de mecanismos para realizar la codificación y modulación de múltiples flujos de datos de manera que se logre un buen rendimiento y se simplifique la selección de velocidad. El documento US2003/0185309 A1 divulga que es posible aumentar una velocidad de datos entre un transmisor y un receptor utilizando un canal de radiofrecuencia de múltiples entradas y múltiples salidas. Un receptor de múltiples flujos y múltiples antenas mide un canal compuesto entre un transmisor de múltiples antenas y un receptor de múltiples antenas para producir una medición de canal compuesto. El receptor selecciona una pluralidad de conjuntos de pesos de sistema de antenas para su uso en el transmisor de múltiples antenas como respuesta a la medición de canal compuesto, donde cada conjunto de pesos de sistema de antenas está asociado con uno de múltiples flujos de datos. Después se transmite la información que describe la pluralidad de conjuntos de pesos de sistema de antenas para su uso en el transmisor de múltiples antenas. El documento US2004/0184398 A1 divulga técnicas para seleccionar un modo de transmisión adecuado para una transmisión de datos en un sistema de comunicación multicanal con múltiples canales de transmisión que tienen SNR variables. En un procedimiento se obtiene inicialmente una estimación de SNR para cada uno de los múltiples canales de transmisión utilizados para transmitir un flujo de datos. Después se calcula una SNR promedio y una varianza no sesgada para las estimaciones de SNR para los múltiples canales de transmisión. Un factor de reducción de potencia se determina, por ejemplo, en función de la varianza de SNR y un factor de sellado. A continuación se calcula una SNR de funcionamiento para los canales de transmisión en función de la SNR promedio y el factor de reducción de potencia. El modo de transmisión se selecciona entonces para el flujo de datos en función de la SNR de funcionamiento. El modo de transmisión seleccionado está asociado con una SNR requerida más alta que es menor que o igual a la SNR de funcionamiento. El procedimiento se puede utilizar en cualquier sistema con múltiples canales de transmisión que tengan SNR variables. El documento US20030112880 A1 divulga técnicas para procesar datos para su transmisión a través de múltiples canales de transmisión. Los canales de transmisión disponibles se segregan en uno o más grupos, y los canales de cada grupo se seleccionan para su uso para la transmisión de datos. Los datos para cada grupo se codifican y modulan en función de un esquema particular de codificación y modulación para proporcionar símbolos de modulación, y los símbolos de modulación para cada canal seleccionado se ponderan en función de un peso asignado. La ponderación "invierte" los canales seleccionados de manera que logran SNR recibidas similares. Con la inversión selectiva de canal, solo se seleccionan los canales "buenos" en cada grupo que tienen SNR en o por encima de un umbral particular, no se usan los canales "malos" y la potencia de transmisión total disponible para el grupo se distribuye a través de los canales buenos del grupo. Se consigue un rendimiento mejorado utilizando solamente los canales buenos de cada grupo y haciendo coincidir la SNR recibida de cada canal seleccionado con la SNR requerida.

SUMARIO

65 [0005] Técnicas para transmitir múltiples flujos de datos a un único receptor utilizando una velocidad de código única y diferentes esquemas de modulación se describen en el presente documento con referencia a las reivindicaciones

adjuntas. Estas técnicas pueden simplificar la codificación y la decodificación, pueden simplificar la selección de velocidad y/o reducir la cantidad de información de velocidad a enviar, y pueden mejorar el rendimiento.

5 [0006] De acuerdo con un modo de realización de la divulgación, se describe un aparato que incluye un controlador y un procesador. El controlador obtiene una selección de una única velocidad de código y múltiples esquemas de modulación para enviar múltiples flujos de datos a un único receptor. El procesador codifica los múltiples flujos de datos de acuerdo con la velocidad de código única y modula los múltiples flujos de datos de acuerdo con los múltiples esquemas de modulación.

10 [0007] De acuerdo con otro modo de realización, se describe un aparato que incluye un procesador y un controlador. El procesador determina estimaciones de canal para que se envíen múltiples flujos de datos a un único receptor. El controlador selecciona una única velocidad de código y múltiples esquemas de modulación para los múltiples flujos de datos en función de las estimaciones de canal.

15 [0008] Posteriormente se describirá en más detalle diversos aspectos y modos de realización de la divulgación.

[0009] La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

20 [0010] Los modos de realización que no estén dentro del alcance de las reivindicaciones se tratarán como ejemplos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0011]

25 La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques de un transmisor y un receptor en un sistema de comunicación multicanal según un modo de realización.

30 La FIG. 2 muestra un proceso para transmitir múltiples flujos de datos a un único receptor utilizando una única velocidad de código y diferentes esquemas de modulación de acuerdo con un modo de realización.

La FIG. 3 muestra un proceso para seleccionar las velocidades para los múltiples flujos de datos con una velocidad independiente por flujo de acuerdo con un modo de realización.

35 La FIG. 4 muestra un proceso para seleccionar las velocidades para los múltiples flujos de datos con un conjunto de velocidades cuantificadas por vector de acuerdo con un modo de realización.

La FIG. 5 muestra un diagrama de bloques de un procesador de datos de transmisión (TX) de acuerdo con un modo de realización.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

40 [0012] El término "a modo de ejemplo" se usa en el presente documento para indicar que "sirve de ejemplo, caso o ilustración". No debe interpretarse necesariamente que cualquier modo de realización descrito en el presente documento como "a modo de ejemplo" sea preferente o ventajoso con respecto a otros modos de realización.

45 [0013] Las técnicas de transmisión de datos y de selección de velocidad descritas en el presente documento pueden usarse en varios sistemas de comunicación multicanal con múltiples canales de transmisión. Por ejemplo, estas técnicas se pueden usar en un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), un sistema de multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), un sistema MIMO que utiliza OFDM (denominado sistema MIMO-OFDM), una sistema de multiplexación por división de tiempo (TDM), un sistema de multiplexación por división de frecuencia (FDM), un sistema de multiplexación por división de código (CDM), y así sucesivamente.

50 [0014] Un sistema MIMO emplea múltiples antenas transmisoras (T) en un transmisor y múltiples antenas receptoras (R) en un receptor para la 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 de transmisión pueden formarse con los S canales espaciales.

55 [0015] Un sistema OFDM divide el ancho de banda global del sistema en múltiples (K) subbandas ortogonales, que también se denominan tonos, subportadoras, celdas y canales de frecuencia. Cada subbanda se asocia con una portadora respectiva que puede modularse con datos. Se pueden formar hasta K canales de transmisión con las K subbandas. Un sistema MIMO-OFDM tiene S canales espaciales para cada una de las K subbandas. Se pueden formar hasta $S \cdot K$ canales de transmisión con los canales espaciales de las K subbandas en el sistema MIMO-OFDM.

60 [0016] En general, se pueden formar múltiples canales de transmisión en los dominios espacial, de frecuencia, de tiempo y/o de código. Por ejemplo, los múltiples canales de transmisión pueden corresponder a diferentes canales espaciales en un sistema MIMO, diferentes canales espaciales de banda ancha en un sistema MIMO-OFDM,

diferentes subbandas en un sistema OFDM o FDM, diferentes ranuras temporales en un sistema TDM, diferentes canales de código en un sistema CDM, y así sucesivamente. Un canal de transmisión también puede denominarse canal físico, canal de tráfico, canal de datos, canal paralelo o con alguna otra terminología. Para mayor claridad, partes de la siguiente descripción son para un sistema MIMO-OFDM.

[0017] La **FIG.1** muestra un diagrama de bloques de un transmisor 110 y un receptor 150 en un sistema de comunicación multicanal 100 de acuerdo con un modo de realización. En el transmisor 110, un procesador de datos de TX 120 recibe datos de tráfico/paquetes, procesa (por ejemplo, codifica, intercala y mapea símbolos de) los datos de tráfico de acuerdo con las M velocidades de un controlador principal 140, y genera M flujos de símbolos de datos, donde $M > 1$. Como se usa en el presente documento, un símbolo de datos es un símbolo de modulación para datos de tráfico, un símbolo piloto es un símbolo de modulación para una señal piloto (que es un dato conocido *a priori* tanto por el transmisor como por el receptor), un símbolo de modulación es un valor complejo para un punto en una constelación de señales para un esquema de modulación (por ejemplo, PSK o QAM), un símbolo de transmisión es un símbolo que se envía desde una antena de transmisión en una subbanda en un período de símbolo, y un símbolo es un valor complejo. Un procesador espacial de TX 130 multiplexa los M flujos de símbolos de datos con símbolos piloto, realiza un procesamiento espacial de los datos y los símbolos piloto (por ejemplo, para dirección propia, no dirección o propagación espacial, que se describen posteriormente), y proporciona T flujos de símbolos de transmisión, donde $T \geq M$. Los M flujos de símbolos de datos son para M flujos de datos. Los T flujos de símbolos de transmisión se generan de tal manera que los M flujos de datos se envían en M canales de transmisión.

[0018] Una unidad transmisora (TMTR) 132 procesa los T flujos de símbolos de transmisión (por ejemplo, para OFDM) y genera T señales moduladas, que se transmiten desde T antenas y a través de un primer enlace de comunicación 148. El enlace de comunicación 148 distorsiona las señales moduladas con una respuesta de canal y degrada aún más las señales moduladas con ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) y, posiblemente, con la interferencia de otros transmisores.

[0019] En el receptor 150, R antenas reciben las señales transmitidas y proporcionan R señales recibidas a una unidad receptora (RCVR) 160. La unidad receptora 160 acondiciona y digitaliza las R señales recibidas y procesa adicionalmente las muestras de manera complementaria al procesamiento realizado por la unidad transmisora 132. La unidad receptora 160 proporciona símbolos piloto recibidos a un estimador/procesador de canal 172 y R flujos de símbolos de datos recibidos a un procesador espacial de recepción (RX) 170. El estimador de canal 172 obtiene las estimaciones de canal para el enlace de comunicación 148 y proporciona las estimaciones de canal al procesador espacial de RX 170. El procesador espacial de RX 170 realiza un procesamiento espacial de receptor en los R flujos de símbolos de datos recibidos con las estimaciones de canal (por ejemplo, utilizando una técnica de CSI completa, CCMI o MMSE, como se describe posteriormente) y proporciona M flujos de símbolos detectados, que son estimaciones de los M flujos de símbolos de datos enviados por el transmisor 110. Un procesador de datos de RX 180 procesa (por ejemplo, desmapea símbolos, desintercala y descodifica) los M flujos de símbolos detectados de acuerdo con las M velocidades seleccionadas para estos flujos y proporciona datos descodificados, que son una estimación de los datos de tráfico enviados por el transmisor 110. El procesador de datos de RX 180 puede proporcionar además resultados de descodificación (por ejemplo, el estado de cada paquete) a un selector/controlador de velocidad 182.

[0020] Controladores principales 140 y 190 controlan el funcionamiento de varias unidades de procesamiento en el transmisor 110 y el receptor 150, respectivamente. Unidades de memoria 142 y 192 almacenan datos y códigos de programa usados por los controladores 140 y 190, respectivamente.

[0021] Para la selección de velocidad/control de velocidad, el estimador de canal 172 puede procesar los símbolos piloto recibidos y, posiblemente, los símbolos de datos detectados y obtener estimaciones de canal, por ejemplo, estimaciones de SNR, para los canales de transmisión. El selector de velocidad 182 recibe las estimaciones de canal y los resultados de descodificación, selecciona una única velocidad de código para todos los M flujos de datos y un esquema de modulación para cada flujo de datos, y proporciona M velocidades para los M flujos de datos al controlador 190. La velocidad para cada flujo de datos indica la velocidad de código y el esquema de modulación a usar para ese flujo de datos.

[0022] El controlador 190 envía al transmisor 110 información de velocidad (por ejemplo, las M velocidades) y posiblemente otra información (por ejemplo, acuses de recibo (ACK) de paquetes descodificados correctamente) a través de un segundo enlace de comunicación 152. El controlador 140 en el transmisor 110 recibe la información de velocidad y proporciona las M velocidades al procesador de datos de TX 120. La **FIG.1** muestra la selección de velocidad realizada por el receptor 150. En general, la selección de velocidad puede ser realizada por el receptor 150, el transmisor 110 o ambos.

[0023] En un aspecto, se selecciona una única velocidad de código para todos los M flujos de datos y se puede seleccionar un esquema de modulación diferente para cada flujo de datos. Las M velocidades para los M flujos de datos tienen por tanto la misma velocidad de código y pueden tener los mismos o diferentes esquemas de modulación. El uso de una única velocidad de código para todos los flujos de datos puede simplificar la codificación en el transmisor y la descodificación en el receptor, puede simplificar la selección de velocidad y/o reducir la cantidad de retroalimentación de velocidad, y puede mejorar el rendimiento de los flujos de datos.

5 **[0024]** El sistema puede admitir un conjunto de velocidades de código. Cada velocidad de código puede estar asociada con un esquema de codificación específico y una cantidad de redundancia específica. Las velocidades de códigos admitidas pueden estar asociadas con (1) diferentes esquemas de codificación o (2) el mismo esquema de codificación pero diferentes tasas de eliminación selectiva. Un esquema de codificación puede comprender un código convolucional, un turbo código, un código de bloques, algún otro código o una combinación de los mismos.

10 **[0025]** La tabla 1 muestra un conjunto a modo de ejemplo de velocidades admitidas por el sistema. Cada velocidad admitida está asociada con una velocidad de datos específica, una velocidad de código específica, un esquema de modulación específico y una SNR mínima específica requerida para alcanzar el nivel de rendimiento deseado. La velocidad de datos se puede dar en número de bits de información por símbolo de modulación (bits/símbolo). El nivel de rendimiento deseado se puede cuantificar mediante una PER objetivo, por ejemplo, una PER de un 1 % para un canal AWGN sin desvanecimiento. La SNR requerida para cada velocidad puede obtenerse mediante simulación por ordenador, mediciones empíricas, cálculos y/o algún otro medio y para un diseño de sistema específico (por ejemplo, la velocidad de código específica, el esquema de intercalación y el esquema de modulación utilizados para esa velocidad) y un canal AWGN.

20 **[0026]** En el ejemplo mostrado en la tabla 1 se admiten cuatro velocidades de código de 1/4, 1/2, 3/4 y 7/8. Los esquemas de modulación de BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM se pueden usar con velocidades de código de 1/4, 1/2 y 3/4. Los esquemas de modulación de QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM se pueden usar con una velocidad de código de 7/8. Por tanto, solo se permiten ciertas velocidades (o pares de velocidad de código y modulación). En general, el sistema puede admitir cualquier conjunto de velocidades de código, que puede incluir velocidades de código no enumeradas en la tabla 1, tales como velocidades de código de 7/12, 5/8, 5/6, etc. Además, el sistema puede permitir que se utilice cualquier conjunto de esquemas de modulación con cada velocidad de código. La tabla 1 también muestra las SNR requeridas para algunas velocidades.

Tabla 1 - Conjunto de velocidades

Velocidad de datos (bits/símbolo)	Velocidad de código	Esquema de modulación	SNR requerida (dB)
0,25	1/4	BPSK	-1,8
0,5	1/4	QPSK	1,2
1,0	1/4	16-QAM	7,2
1,5	1/4	64-QAM	13,2
2,0	1/4	256-QAM	19,2
0,75	3/4	BPSK	3,8
1,5	3/4	QPSK	6,4
3,0	3/4	16-QAM	13,6
4,5	3/4	64-QAM	19,2
6,0	3/4	256-QAM	26,1
0,5	1/2	BPSK	0,6
1,0	1/2	QPSK	2,9
2,0	1/2	16-QAM	8,7
3,0	1/2	64-QAM	14,4
4,0	1/2	256-QAM	19,9
1,75	7/8	QPSK	8,7
3,5	7/8	16-QAM	15,8
5,25	7/8	64-QAM	22,0
7,0	7/8	256-QAM	28,0

30 **[0027]** La FIG. 2 muestra un proceso 200 para transmitir múltiples (M) flujos de datos a un único receptor utilizando una única velocidad de código y diferentes esquemas de modulación según un modo de realización. Se selecciona una única velocidad de código para todos los M flujos de datos y se selecciona un esquema de modulación para cada

flujo de datos en función de las estimaciones de canal, por ejemplo, estimaciones de SNR, para estos flujos de datos (bloque 210). Las estimaciones para los flujos de datos pueden depender del número de flujos de datos que se transmiten, la técnica de procesamiento espacial de receptor utilizada por el receptor, etc., como se describe a continuación. La selección de velocidad puede realizarse de varias maneras, como también se describe a continuación.

[0028] La selección de velocidad en el bloque 210 puede ser realizada por el receptor, y las velocidades seleccionadas pueden enviarse de vuelta al transmisor, como se muestra en la FIG. 1. De forma alternativa, la selección de velocidad puede ser realizada por el transmisor en función de la información obtenida desde/para el receptor. Por ejemplo, en un sistema de duplexación por división de tiempo (TDD), se puede suponer que el enlace de transmisión desde el transmisor hasta el receptor y el enlace de recepción desde el receptor hasta el transmisor son recíprocos entre sí. En este caso, el transmisor puede obtener estimaciones de canal, por ejemplo, estimaciones de SNR, para el enlace de recepción basándose en una señal piloto recibida desde el receptor. El transmisor puede obtener entonces estimaciones para el enlace de transmisión basándose en las estimaciones para el enlace de recepción y un parámetro asimétrico indicativo de la diferencia, por ejemplo, las diferencias en las SNR para los dos enlaces. El transmisor puede entonces seleccionar las tasas para los flujos de datos basándose en las estimaciones para el enlace de transmisión. El transmisor y el receptor también pueden realizar conjuntamente la selección de velocidad.

[0029] Independientemente de cómo se realice la selección de velocidad, el transmisor obtiene las velocidades seleccionadas para los flujos de datos. El transmisor codifica después los datos de tráfico para todos los flujos de datos de acuerdo con la velocidad de código única seleccionada para estos flujos de datos (bloque 212). Después, el transmisor modula (o mapea los símbolos de) los datos codificados para cada flujo de datos de acuerdo con el esquema de modulación seleccionado para ese flujo (bloque 214). El transmisor procesa además los flujos de datos (por ejemplo, para transmisión espacial, OFDM, etc.) y transmite estos flujos de datos en múltiples canales de transmisión (bloque 216).

[0030] La selección de velocidad en el bloque 210 se puede realizar al comienzo de una transmisión de datos, en cada trama o ranuras temporal, en los tiempos designados, etc. La codificación y la modulación de los flujos de datos se ajustan cada vez que se seleccionan nuevas velocidades para estos flujos de datos.

[0031] Se pueden transmitir simultáneamente diferentes números de flujos de datos (por ejemplo, uno, dos, tres o más flujos de datos). Los flujos de datos pueden interferir entre sí, por ejemplo, si estos flujos de datos se envían en múltiples canales espaciales de un canal MIMO. El rendimiento global más alto se puede lograr transmitiendo el número máximo de flujos de datos o posiblemente menos flujos de datos, dependiendo de las condiciones de canal y la cantidad de interferencia entre estos flujos de datos.

[0032] La FIG. 3 muestra un proceso 210a para seleccionar las velocidades para los flujos de datos en un sistema con una velocidad independiente por flujo de acuerdo con un modo de realización. El proceso 210a es un modo de realización del bloque 210 de la FIG. 2. El proceso 210a evalúa diferentes números de flujos de datos y diferentes velocidades de código y selecciona el número de flujos de datos y la velocidad de código que proporcionan el rendimiento global más alto y son compatibles con las condiciones de canal. Cada número diferente de flujos de datos también se denomina combinación de flujos o hipótesis de flujos. El número de combinaciones de flujo a evaluar depende típicamente del número de canales de transmisión disponibles para la transmisión de datos. Por ejemplo, en un sistema MIMO con S canales espaciales, se pueden evaluar S combinaciones de flujos para 1, 2, ... y S flujos de datos. Las velocidades de código a evaluar pueden ser velocidades de código de 1/4, 1/2, 3/4 y 7/8 para el ejemplo mostrado en la tabla 1.

[0033] Inicialmente, una variable `max_otp` utilizada para almacenar el rendimiento global más alto actual se inicializa a cero, o `max_otp = 0` (bloque 310). Una variable M utilizada para indicar el número de flujos de datos a transmitir se inicializa a uno, o `M = 1` (también bloque 310).

[0034] Un bucle 320 evalúa una combinación de flujos a la vez, comenzando con el menor número de flujos de datos (o `M = 1`) para la primera iteración de este bucle. Se selecciona una combinación de flujos con M flujos de datos para su evaluación (bloque 322). Para esta combinación de flujos se determina una estimación de SNR para cada flujo de datos con el supuesto de que M flujos de datos se enviarán en M canales de transmisión (bloque 324). La estimación de SNR se describe posteriormente.

[0035] Un bucle 330 evalúa una velocidad de código a la vez, por ejemplo, comenzando con la velocidad de código más baja para la primera iteración de este bucle. Se selecciona una velocidad de código para su evaluación (bloque 332). Para la velocidad de código actual, se selecciona un esquema de modulación para cada uno de los M flujos de datos en función de la estimación de SNR para ese flujo de datos y, posiblemente, las estimaciones de SNR para los otros flujos de datos (bloque 334). Por ejemplo, la estimación de SNR para cada flujo de datos puede compararse con la SNR requerida para cada esquema de modulación permitido para la velocidad de código actual, y el esquema de modulación de orden más alto con una SNR requerida que es menor que o igual a la estimación de SNR puede

seleccionarse para ese flujo de datos. Otros esquemas para seleccionar los esquemas de modulación para los M flujos de datos se describen posteriormente.

[0036] Después de seleccionar los esquemas de modulación para los M flujos de datos, la velocidad de datos para cada flujo de datos se determina en función del esquema de modulación seleccionado para ese flujo de datos y la velocidad de código actual. El rendimiento global para la velocidad de código actual se calcula entonces como la suma de las velocidades de datos para los M flujos de datos (bloque 336). Si este rendimiento global es mayor que la variable max_otp actual, como se determina en el bloque 338, entonces max_otp se actualiza con este rendimiento global, y se guarda la combinación de flujos actual, la velocidad de código actual y los esquemas de modulación para los M flujos de datos (bloque 340).

[0037] Después se determina si se han evaluado todas las velocidades de código (bloque 342). Si la respuesta es 'No', entonces el proceso vuelve al bloque 332 para evaluar otra velocidad de código, por ejemplo, la siguiente velocidad de código más alta. De lo contrario, si todas las velocidades de código se han evaluado para la combinación de flujos actual, entonces se determina si se han evaluado todas las combinaciones de flujos (bloque 344). Si la respuesta es 'No', entonces la variable M se incrementa como $M = M+1$ (bloque 346), y el proceso vuelve al bloque 322 para evaluar otra combinación de flujos. De lo contrario, si se han evaluado todas las combinaciones de flujos, entonces se proporcionan para su uso la combinación de flujos, la velocidad de código y los esquemas de modulación con el rendimiento global más alto (bloque 348).

[0038] Múltiples velocidades de código para una combinación de flujos dada pueden tener el mismo rendimiento global más alto. En este caso se puede seleccionar la velocidad de código más robusta (que es la velocidad de código más baja) entre estas múltiples velocidades de código. Esto se puede lograr (1) evaluando las velocidades de código en orden secuencial comenzando con la velocidad de código más baja y (2) guardando una velocidad de código más alta solo si el rendimiento global es mayor, como se muestra en la FIG. 3.

[0039] Múltiples combinaciones de flujos también pueden tener el mismo rendimiento global más alto. En un modo de realización, la combinación de flujos con el menor número de flujos de datos se selecciona cuando múltiples combinaciones de flujos tienen el mismo rendimiento global más alto. Esto se puede lograr (1) evaluando las combinaciones de flujos en orden secuencial comenzando con la combinación de flujos que tiene la menor cantidad de flujos de datos y (2) guardando una combinación de flujos solo si el rendimiento global es mayor, como se muestra en la FIG. 3.

[0040] En otro modo de realización, la combinación de flujos con el margen de SNR total más grande se selecciona cuando múltiples combinaciones de flujos tienen el mismo rendimiento global más alto. El margen de SNR para cada flujo de datos m se puede expresar como:

$$SNR_{margen}(m) = SNR_{est}(m) - SNR_{req}(R_m), \text{ para } m = 1, \dots, M, \quad \text{Ec. (1)}$$

donde R_m es la velocidad seleccionada para el flujo de datos m ;

$SNR_{est}(m)$ es la estimación de SNR para el flujo de datos m ;

$SNR_{req}(R_m)$ es la SNR requerida para la velocidad R_m ; y

$SNR_{margen}(m)$ es el margen de SNR para el flujo de datos m .

$SNR_{est}(m)$, $SNR_{req}(R_m)$ y $SNR_{margen}(m)$ se dan en unidades de decibelio (dB). El margen de SNR total para todos los M flujos de datos M se puede expresar como:

$$SNR_{margen_total} = \sum_{m=1}^M SNR_{margen}(m). \quad \text{Ec. (2)}$$

[0041] En otro modo de realización más, cuando múltiples combinaciones de flujos tienen el mismo rendimiento global más alto, se selecciona una combinación de flujos con más flujos de datos si su margen de SNR total excede el margen de SNR total de otra combinación de flujos con menos flujos de datos en una cantidad predeterminada, lo que se denota como Δ margen. En general, cuando múltiples combinaciones de flujos tienen el mismo rendimiento global más alto, se puede seleccionar una combinación de flujos con menos flujos de datos para reducir la interferencia entre estos flujos y simplificar el procesamiento en el transmisor y el receptor. Sin embargo, se puede seleccionar una combinación de flujos con más flujos de datos si se puede lograr un mejor rendimiento (mayor rendimiento global, mayor margen de SNR total, etc.).

[0042] En general, cuando múltiples combinaciones de flujos tienen el mismo rendimiento global más alto, se puede utilizar uno cualquiera, cualquier combinación o todos los modos de realización/criterios descritos anteriormente (velocidad de código, número de flujos, margen de SNR, etc.) para seleccionar una combinación de flujos. Por ejemplo, si múltiples combinaciones de flujos tienen el mismo rendimiento global más alto, entonces (1) se pueden seleccionar las combinaciones de flujos con el menor número de flujos; después, (2) a partir de esas combinaciones de flujos

seleccionadas pueden seleccionarse las combinaciones de flujos con el margen de SNR más alto para el flujo más bajo; después, (3) a partir de esas combinaciones de flujos seleccionadas se pueden seleccionar las combinaciones de flujos con la velocidad de código más robusta, y así sucesivamente, hasta que solo se seleccione una combinación de flujos.

5 **[0043]** En un modo de realización de selección de velocidad, que se muestra en la FIG. 3, un esquema de modulación se selecciona de manera independiente para cada flujo de datos en función de, únicamente, la estimación de SNR para ese flujo de datos. Este modo de realización se puede usar, por ejemplo, si el sistema permite una selección de velocidad independiente por flujo y cada flujo de datos se codifica de forma independiente (lo que se describe posteriormente). La selección de un esquema de modulación con un margen de SNR positivo para cada flujo de datos garantiza que cada flujo de datos pueda recibirse de manera fiable.

10 **[0044]** En otro modo de realización de selección de velocidad, los esquemas de modulación para los M flujos de datos se seleccionan con compartición de margen. Este modo de realización se puede usar, por ejemplo, si el sistema permite selección de velocidad independiente por flujo y los flujos de datos se codifican conjuntamente (lo que se describe posteriormente). Para este modo de realización se selecciona inicialmente un esquema de modulación para cada flujo de datos en función de la estimación de SNR para ese flujo de datos, como se ha descrito anteriormente. El margen de SNR para cada flujo de datos se determina como se muestra en la ecuación (1). El margen de SNR total para todos los M flujos de datos se calcula como se muestra en la ecuación (2). El margen de SNR total se distribuye a uno o más flujos de datos para permitir que se seleccione un esquema de modulación de orden superior para cada uno de los uno o más flujos de datos, si es posible.

15 **[0045]** La distribución del margen de SNR total puede realizarse de varias maneras. En un primer esquema de compartición de márgenes, los M flujos de datos se clasifican en orden descendente según sus estimaciones de SNR, de las estimaciones de SNR más altas a las más bajas. Los flujos de datos clasificados se seleccionan después uno por uno para su posible promoción, comenzando con el flujo de datos que tiene la estimación de SNR más alta. Se calcula una SNR de promoción para el flujo de datos seleccionado como la diferencia entre la SNR requerida para el siguiente esquema de modulación de orden superior (si existe) y la SNR requerida para el esquema de modulación seleccionado inicialmente para este flujo de datos. Si la SNR de promoción es menor que o igual al margen de SNR total, entonces el flujo de datos seleccionado se promueve al siguiente esquema de modulación de orden superior, y la SNR de promoción reduce el margen de SNR total. Por lo tanto, al flujo de datos seleccionado se le asigna un margen de SNR suficiente para seleccionar el siguiente esquema de modulación de orden superior. El mismo procesamiento se repite para cada flujo de datos restante hasta que no se pueda promover ningún flujo de datos.

20 **[0046]** En un segundo esquema de compartición de márgenes, los M flujos de datos se clasifican en orden ascendente según sus estimaciones de SNR, desde las estimaciones de SNR más bajas hasta las más altas. Los flujos de datos clasificados se seleccionan después uno por uno para su posible promoción, comenzando con el flujo de datos que tiene la estimación SNR más baja.

25 **[0047]** En un tercer esquema de compartición de márgenes, los M flujos de datos se clasifican en orden ascendente en función de sus SNR diferenciales, desde las SNR diferenciales más bajas hasta las más altas. La SNR diferencial para un flujo de datos es la diferencia entre la SNR requerida para el siguiente esquema de modulación de orden superior y la estimación de SNR para el flujo de datos. Los flujos de datos clasificados se seleccionan después uno por uno para su posible promoción, comenzando con el flujo de datos que tiene la SNR diferencial más baja. Este esquema intenta promover primero el flujo de datos que necesita la menor cantidad de margen de SNR para la promoción, lo que puede mejorar el rendimiento y permitir la promoción de más flujos de datos.

30 **[0048]** En un cuarto esquema de compartición de márgenes, los M flujos de datos se clasifican en orden ascendente en función de sus SNR de promoción, desde las SNR de promoción más bajas hasta las más altas. Los flujos de datos clasificados se seleccionan después uno por uno para su posible promoción, comenzando con el flujo de datos que tiene la SNR de promoción más baja. Este esquema intenta promover primero el flujo de datos que tiene la SNR de promoción más pequeña, lo que puede permitir que se promuevan más flujos de datos.

35 **[0049]** También se pueden usar otros esquemas para realizar una compartición de márgenes, y esto está dentro del alcance de la divulgación. En general, el margen de SNR total puede distribuirse a los M flujos de datos en varios órdenes y maneras. En un modo de realización, un flujo de datos puede promocionarse a un esquema de modulación que es más de un orden superior. Por ejemplo, el flujo de datos seleccionado se puede promover tanto como sea posible en función del margen de SNR total. En otro modo de realización, la cantidad de margen de SNR que puede asignarse a un flujo de datos está limitada a estar dentro de un valor predeterminado SNR_{asig_max} . SNR_{asig_max} limita la cantidad de margen de SNR negativo observado por cualquier flujo de datos y garantiza que no se enviará ningún flujo de datos a una velocidad con una SNR requerido que esté excesivamente por encima de la estimación de SNR para ese flujo de datos. SNR_{asig_max} puede ser un valor fijo para todas las velocidades de código. De forma alternativa, SNR_{asig_max} puede ser un valor variable que depende de la velocidad de código, de manera que un valor SNR_{asig_max} más pequeño puede usarse para una velocidad de código menos robusta (por ejemplo, una velocidad de código de 7/8) y un valor SNR_{asig_max} más alto puede usarse para una velocidad de código más robusta (por ejemplo, una velocidad de código de 1/2).

[0050] Un sistema puede permitir solamente ciertas combinaciones de velocidades, por ejemplo, para reducir la cantidad de información de velocidad que enviar de vuelta al transmisor. El conjunto de combinaciones de velocidades permitidas por el sistema se denomina a menudo conjunto de velocidades cuantificadas por vector. La tabla 2 muestra un conjunto de velocidades cuantificadas por vector a modo de ejemplo para un sistema en el que el transmisor puede transmitir hasta cuatro flujos de datos y se pueden seleccionar velocidades de código de 1/4, 1/2 y 3/4. Para cada combinación de velocidades, el rendimiento total (OTP), el número de flujos de datos a transmitir (n.º flujos), la velocidad de código que se utilizará para todos los flujos de datos y el esquema de modulación que se utilizará para cada flujo de datos se indican en la tabla 2. En la Tabla 2, "B" denota BPSK, "Q" denota QPSK, "16" denota 16-QAM, "64" denota 64-QAM y "256" denota 256-QAM. Como ejemplo, para la combinación de velocidad con un rendimiento global de 19,5 bits de información/periodo de símbolo, se transmiten cuatro flujos de datos, se utiliza la velocidad de código de 3/4 para los cuatro flujos de datos, se utiliza 256-QAM para los flujos de datos 1 y 2, se usa 64-QAM para el flujo de datos 3, y se usa 16-QAM para el flujo de datos 4. Para combinaciones de velocidades con un solo flujo de datos, se pueden admitir todas o un subconjunto de las velocidades que se muestran en la tabla 1. El conjunto de velocidades también se puede definir para cubrir otras velocidades de código como, por ejemplo, velocidades de código de 7/12, 5/8, 5/6, 7/8, etc.

Tabla 2 - Conjunto de velocidades cuantificadas por vector

OTP	N.º flujos	Velocidad de código	MOD para flujo			
			1	2	3	4
1,0	2	1/4	Q	Q		
1,5	2	1/2	Q	B	-	-
2,0	2	1/2	Q	Q	-	-
3,0	2	1/2	16	Q	-	-
3,0	2	3/4	Q	Q	-	-
4,5	2	3/4	16	Q		
5,25	2	3/4	64	B	-	-
6,0	2	3/4	64	Q	-	-
7,5	2	3/4	64	16	-	-
9,0	2	3/4	64	64	-	-
9,0	2	3/4	256	16	-	-
10,5	2	3/4	256	64	-	-
12,0	2	3/4	256	256	-	-
6,0	3	1/2	64	16	Q	-
7,0	3	1/2	64	64	Q	-
7,0	3	1/2	256	16	Q	-
9,0	3	1/2	256	64	16	-
9,75	3	3/4	64	64	B	-
12,0	3	3/4	64	64	16	-
12,0	3	3/4	256	64	Q	-
13,5	3	3/4	256	64	16	-
13,5	3	3/4	256	256	Q	-
15,0	3	3/4	256	256	16	-
16,5	3	3/4	256	256	64	-
7,5	4	1/2	64	16	Q	B
9,0	4	1/2	64	64	16	Q
11,0	4	1/2	64	64	64	16

OTP	N.º flujos	Velocidad de código	MOD para flujo			
			1	2	3	4
10,5	4	3/4	64	16	Q	Q
13,5	4	3/4	64	64	16	Q
13,5	4	3/4	256	64	Q	Q
15,0	4	3/4	256	64	16	Q
18,0	4	3/4	256	64	64	16
19,5	4	3/4	256	256	64	16
21,0	4	3/4	256	256	256	16

5 **[0051]** La FIG. 4 muestra un proceso 210b para seleccionar las velocidades para los flujos de datos en un sistema con un conjunto de velocidades cuantificadas por vector de acuerdo con un modo de realización. El proceso 210b es otro modo de realización del bloque 210 de la FIG. 2. El proceso 210b evalúa diferentes combinaciones de flujos y diferentes velocidades de código en función del conjunto de velocidades admitido por el sistema y selecciona la combinación de velocidades que proporciona el rendimiento global más alto y es compatible con las condiciones de canal.

10 **[0052]** Inicialmente, la variable max_otp se inicializa a cero, y la variable M se inicializa a uno (bloque 410). En la primera iteración del bucle 420 se selecciona una combinación de flujos con M flujos de datos para su evaluación (bloque 422), y se determina una estimación de SNR para cada uno de los M flujos de datos (bloque 424). Después, el bucle 430 se realiza una vez para cada velocidad de código que se puede seleccionar para la combinación de flujo actual.

15 **[0053]** En cada iteración del bucle 430 se selecciona una velocidad de código para su evaluación, por ejemplo, comenzando con la velocidad de código más baja permitida para la combinación de flujos actual (bloque 432). Para la velocidad de código actual, el margen de SNR total para cada combinación de velocidades permitida se determina en función de las estimaciones de SNR para los M flujos de datos (bloque 434). El margen de SNR total para una combinación de velocidad dada con M flujos de datos se puede determinar de la siguiente manera. El margen de SNR para cada flujo de datos m en la combinación de velocidades se calcula primero como se muestra en la ecuación (1), donde $SNR_{req}(R_m)$ es la SNR requerida para la velocidad especificada para el flujo de datos m por la combinación de velocidades. Debido a que se especifica la velocidad para cada flujo de datos en la combinación de velocidades, el margen de SNR para cada flujo de datos puede ser un valor positivo o negativo. Si el margen de SNR para cualquier flujo de datos en la combinación de velocidad es peor que un valor predeterminado (por ejemplo, -2 dB), entonces esa combinación de velocidades se puede descartar. Este valor predeterminado puede ser un valor fijo o un valor variable que depende de la velocidad de código. Por ejemplo, se puede usar un valor más negativo (por ejemplo, -3 dB) para una velocidad de código más robusta (por ejemplo, velocidad de código de 1/2), y un valor menos negativo (por ejemplo, -1 dB) se puede usar para una velocidad de código menos robusta (por ejemplo, velocidad de código de 3/4). El margen de SNR total se calcula entonces como la suma de los márgenes de SNR para los M flujos de datos, como se muestra en la ecuación (2).

30 **[0054]** Se identifica la combinación de velocidades con el rendimiento global más alto y un margen de SNR total no negativo (bloque 436). Si múltiples combinaciones de tasas tienen el mismo rendimiento global, entonces se selecciona la combinación de velocidades con el mayor margen de SNR total entre estas múltiples combinaciones de velocidades. Si el rendimiento global más alto es mayor que la variable max_otp actual, como se determina en el bloque 438, entonces max_otp se actualiza con este rendimiento global, y se guarda la combinación de velocidades con este rendimiento global más alto (bloque 440).

35 **[0055]** Después se determina si se han evaluado todas las velocidades de código (bloque 442). Si la respuesta es 'No', el proceso vuelve al bloque 432 para evaluar otra velocidad de código. De lo contrario, si todas las velocidades de código se han evaluado para la combinación de flujos actual, entonces se determina si se han evaluado todas las combinaciones de flujos (bloque 444). Si la respuesta es 'No', entonces la variable M se incrementa como $M = M+1$ (bloque 446), y el proceso vuelve al bloque 422 para evaluar otra combinación de flujos. De lo contrario, si se han evaluado todas las combinaciones de flujos, se proporciona para su uso la combinación de velocidades con el rendimiento global más alto (bloque 448).

40 **[0056]** Múltiples combinaciones de velocidades para una combinación de flujos dada pueden lograr el mismo rendimiento global más alto y tener márgenes de SNR totales no negativos. En este caso, se puede seleccionar la combinación de velocidades con la velocidad de código más robusta o la combinación de velocidades con el margen de SNR total más grande. Múltiples combinaciones de velocidades para diferentes combinaciones de flujos pueden lograr el mismo rendimiento global más alto y tener márgenes de SNR totales no negativos. En este caso, se puede

seleccionar la combinación de velocidades con la menor cantidad de flujos de datos, la combinación de velocidades con el margen de SNR total más grande, la combinación de velocidades con más flujos de datos pero un margen SNR total mayor por Δ margen, o alguna otra combinación de velocidades.

5 **[0057]** En otro modo de realización para seleccionar velocidades en un sistema con un conjunto de velocidades cuantificadas por vector, el conjunto de velocidades está ordenado por la SNR requerida para un flujo de datos designado (por ejemplo, el primer flujo de datos), por ejemplo desde la SNR requerida más baja hasta la SNR requerida más alta en el flujo de datos designado. Se puede imponer un margen de SNR mínimo de SNR_{margen_min} en el flujo de datos designado. Las combinaciones de velocidades en el conjunto de velocidades se pueden evaluar, una a la vez, de acuerdo con los esquemas descritos anteriormente y, además, comparando el margen de SNR del primer flujo de datos (que es el SNR requerido menos el SNR real para el primer flujo de datos) con el margen de SNR mínimo. Dado que las combinaciones de velocidades están ordenadas por la SNR requerida del primer flujo de datos, de la más baja a la más alta, el margen de SNR es cada vez peor. Por lo tanto, al encontrar una combinación de velocidades en la que el primer flujo de datos tiene un margen de SNR peor que el margen de SNR mínimo, las combinaciones de velocidades restantes pueden ignorarse ya que el primer flujo de datos para estas combinaciones de velocidades tendrá un margen de SNR peor que el margen de SNR mínimo. Esta ordenación reduce el número de combinaciones de velocidades que se evalúan. Una de las combinaciones de velocidades cuyo margen de SNR del primer flujo de datos es mejor que SNR_{margen_min} se puede seleccionar entonces mediante cualquiera de las técnicas descritas anteriormente. La SNR requerida puede ordenar las combinaciones de velocidades para cualquier flujo de datos, y no necesariamente el primer flujo de datos. Además, la ordenación se puede realizar en todas las combinaciones de velocidades en el conjunto de velocidades o solo en las combinaciones de velocidades para cada velocidad de código.

25 **[0058]** En otro modo de realización para seleccionar velocidades en un sistema con un conjunto de velocidades cuantificadas por vector, se calcula una SNR requerida total para cada combinación de velocidades como la suma de las SNR requeridas para las velocidades especificadas para todos los flujos de datos en esa combinación de velocidades. La SNR total requerida y el rendimiento global para cada combinación de velocidades en el conjunto de velocidades se pueden almacenar en una tabla de consulta. Para la selección de velocidad, una estimación de SNR total se calcula como la suma de las estimaciones de SNR para todos los M flujos de datos. Después se selecciona la combinación de velocidades con el rendimiento global más alto y una SNR requerida total que es menor que o igual a la estimación de SNR total. Este modo de realización no limita la cantidad de margen de SNR que puede asignarse a cada flujo de datos.

35 **[0059]** Modos de realización a modo de ejemplo para realizar la selección de velocidad para un sistema con velocidad independiente por flujo y un sistema con un conjunto de velocidades cuantificadas por vector se han descrito anteriormente. La selección de velocidad también se puede realizar de otras maneras, con y sin compartición de margen.

40 **[0060]** La FIG.5 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del procesador de datos de TX 120 en el transmisor 110 de acuerdo con un modo de realización. El procesador de datos de TX 120 incluye un codificador 510, un desmultiplexor (Demux) 520 y M pares de intercalador 522 y unidad de mapeo de símbolos 524 para los M flujos de datos. El codificador 510 codifica los datos de tráfico de acuerdo con la velocidad de código única y genera bits de código. La velocidad de código única puede incluir un código convolucional, un turbo código, un código de comprobación de paridad de baja densidad (LDPC), un código de verificación de redundancia cíclica (CRC), un código de bloques, etc., o una combinación de los mismos. En un modo de realización, el codificador 510 implementa un codificador convolucional binario de velocidad de 1/2 que genera dos bits de código para cada bit de datos. Después, una unidad de eliminación selectiva (no mostrada en la FIG. 5) suprime o elimina de manera selectiva tantos bits de código como sea necesario para lograr la velocidad de código única. El desmultiplexor 520 recibe los bits de código desde el codificador 510, desmultiplexa los bits de código en M flujos y proporciona los M flujos de bits de código a M intercaladores 522a a 522m.

55 **[0061]** El codificador 510 codifica cada paquete de datos de tráfico por separado y el paquete codificado puede enviarse en uno o múltiples flujos de datos. Si cada uno de los M flujos de datos se codifica y modula de manera independiente, entonces el codificador 510 puede hacerse funcionar M veces para codificar por separado los paquetes para los M flujos de datos, y el desmultiplexor 520 proporciona cada paquete codificado a un intercalador 522 para un flujo de datos. De forma alternativa, se pueden usar M codificadores individuales para los M flujos de datos (no mostrados en la FIG. 5). Si los M flujos de datos se codifican conjuntamente pero se modulan de manera independiente, entonces el codificador 510 codifica cada paquete y el desmultiplexor 520 divide cada paquete codificado en múltiples subpaquetes o bloques y proporciona estos subpaquetes a diferentes intercaladores 522. En cualquier caso, cada intercalador 522 intercala o reordena los bits de código en su flujo de acuerdo con un esquema de intercalación y proporciona bits intercalados a una unidad de mapeo de símbolos asociada 524. Cada unidad de mapeo de símbolos 524 mapea los bits intercalados de acuerdo con el esquema de modulación seleccionado para su flujo y proporciona un flujo de símbolos de datos. M unidades de mapeo de símbolos 524a a 524m proporcionan M flujos de símbolos de datos.

65

[0062] Las técnicas de transmisión de datos y de selección de velocidad descritas en el presente documento pueden usarse en varios sistemas y varios tipos de canales de transmisión. La respuesta de frecuencia de un canal de transmisión selectivo en frecuencia m puede estar dada por $h_m(k)$ para $k=1, \dots, K$, donde $h_m(k)$ es la ganancia de canal compleja para la subbanda k del canal de transmisión m . La SNR recibida para cada subbanda k del canal de transmisión m , $\gamma_m(k)$, se puede expresar como:

$$\gamma_m(k) = 10 \log_{10} \left(P_m(k) \cdot \frac{|h_m(k)|^2}{N_0} \right), \text{ para } k = 1, \dots, K \text{ y } m = 1, \dots, S, \quad \text{Ec. (3)}$$

donde $P_m(k)$ es la potencia de transmisión utilizada para la subbanda k de canal de transmisión m y N_0 es la varianza de ruido en el receptor. La ecuación (3) muestra una expresión a modo de ejemplo para la SNR recibida. En general, una expresión de SNR recibida puede incluir términos para varios factores. Por ejemplo, en un sistema MIMO, la SNR recibida depende del procesamiento espacial realizado por el transmisor y el receptor, como se describe a continuación. La SNR recibida en la ecuación (3) y otras cantidades de SNR en la siguiente descripción se dan en unidades de dB.

[0063] Se puede enviar un flujo de datos en cada canal de transmisión. Se puede obtener una estimación de SNR para cada flujo de datos/canal de transmisión de varias maneras. Un modo de realización para obtener la estimación de SNR se describe a continuación. Para este modo de realización, la SNR promedio para cada flujo de datos m , $\gamma_{\text{pro},m}$, se calcula como:

$$\gamma_{\text{pro},m} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K \gamma_m(k). \quad \text{Ec. (4)}$$

La varianza de las SNR recibidas para cada flujo de datos m , $\sigma_{\text{snr},m}^2$, se puede calcular como:

$$\sigma_{\text{snr},m}^2 = \frac{1}{(K-1)} \cdot \sum_{k=1}^K (\gamma_m(k) - \gamma_{\text{pro},m})^2. \quad \text{Ec. (5)}$$

La estimación de SNR para cada flujo de datos m , $SNR_{\text{est}}(m)$, se puede calcular como:

$$SNR_{\text{est}}(m) = \gamma_{\text{pro},m} - \gamma_{\text{bo},m}, \quad \text{Ec. (6)}$$

donde $\gamma_{\text{bo},m}$ es un factor de reducción de potencia para el flujo de datos m . El factor de reducción de potencia $\gamma_{\text{bo},m}$ puede usarse para tener en cuenta la variabilidad en las SNR recibidas a través del flujo de datos y puede calcularse en función de la SNR promedio y la varianza de SNR, por ejemplo, $\gamma_{\text{bo},m} = K_{\text{bo}} \cdot \sigma_{\text{snr},m}^2$ donde K_{bo} es una constante. El factor de reducción de potencia también puede tener en cuenta otros factores como, por ejemplo, el orden de diversidad para el flujo de datos, los esquemas de codificación e intercalación utilizados para el flujo de datos, el tamaño de paquete, etc.

[0064] En un sistema MIMO-OFDM, el canal MIMO entre el transmisor y el receptor puede caracterizarse por un conjunto de K matrices de respuesta de canal, $\mathbf{H}(k)$ para $k = 1, \dots, K$. Cada matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ tiene una dimensión de $R \times T$ y contiene una ganancia compleja entre cada antena transmisora y cada antena receptora para la subbanda k . Cada matriz $\mathbf{H}(k)$ incluye S canales espaciales, donde $S \leq \min \{T, R\}$. Pueden formarse hasta S canales espaciales de banda ancha para el canal MIMO, donde cada canal espacial de banda ancha incluye un canal espacial para cada una de las K subbandas. Por ejemplo, cada canal espacial de banda ancha puede corresponder a las K subbandas de una antena de transmisión. Como otro ejemplo, cada canal espacial de banda ancha puede incluir un modo propio para cada una de las K subbandas. Cada canal espacial de banda ancha puede usarse como un canal de transmisión.

[0065] En sistemas MIMO y MIMO-OFDM, se pueden formar diferentes canales de transmisión con el transmisor realizando un procesamiento espacial diferente. Por ejemplo, el transmisor puede realizar una dirección propia, ninguna dirección o una propagación espacial.

[0066] En lo que respecta a la dirección propia, la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ para cada subbanda puede diagonalizarse realizando una descomposición en valores propios, de la siguiente manera:

$$\mathbf{R}(k) = \mathbf{H}^H(k) \cdot \mathbf{H}(k) = \mathbf{E}(k) \cdot \mathbf{\Lambda}(k) \cdot \mathbf{E}^H(k), \quad \text{Ec. (7)}$$

donde $\mathbf{E}(k)$ es una matriz unitaria de vectores propios, $\mathbf{\Lambda}(k)$ es una matriz diagonal, y "H" denota la transpuesta conjugada. El transmisor puede transmitir datos hasta en S canales espaciales ortogonales (o modos propios) de cada subbanda k usando $\mathbf{E}(k)$. La matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}(k)$ para cada subbanda k contiene las ganancias de potencia para los S modos propios de $\mathbf{H}(k)$. La matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ para cada subbanda también puede diagonalizarse realizando una descomposición en valores singulares, de la siguiente manera:

$$\mathbf{H}(k) = \mathbf{U}(k) \cdot \mathbf{\Sigma}(k) \cdot \mathbf{E}^H(k) , \quad \text{Ec. (8)}$$

donde $\mathbf{U}(k)$ es una matriz unitaria de vectores singulares izquierdos, $\mathbf{E}(k)$ es una matriz unitaria de vectores singulares derechos (que también es la matriz de vectores propios), y $\mathbf{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal de ganancias de canal para los S modos propios de $\mathbf{H}(k)$.

[0067] En lo que respecta a la no dirección, el transmisor transmite datos sin ningún procesamiento espacial, por ejemplo, transmite un flujo de datos desde cada antena de transmisión. En lo que respecta a la propagación espacial, el transmisor transmite datos con diferentes matrices de dirección $\mathbf{V}(k)$ a través de subbandas y/o períodos de símbolos para que la transmisión de datos observe un conjunto de canales efectivos.

[0068] La tabla 3 muestra el procesamiento espacial realizado por el transmisor para la dirección propia ("es"), la no dirección ("ns") y la propagación espacial ("ss") para una subbanda, donde el índice de subbanda k se omite para una mayor claridad. \mathbf{s} es un vector con hasta S símbolos de datos que se enviarán en una subbanda en un período de símbolo. \mathbf{x}_x es un vector con hasta T símbolos de transmisión que se enviarán desde las T antenas transmisoras en una subbanda en un período de símbolo para el modo x, donde x puede ser "es", "ns" o "ss". \mathbf{H}_x es una matriz de respuesta de canal efectivo observada por el vector de datos s para el modo x.

Tabla 3 - Procesamiento espacial de transmisor

	Dirección propia	Sin dirección	Propagación espacial
Procesamiento espacial	$\mathbf{x}_{es} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{s}$	$\mathbf{x}_{ns} = \mathbf{s}$	$\mathbf{x}_{ss} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{s}$
Canal efectivo	$\mathbf{H}_{es} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{E}$	$\mathbf{H}_{ns} = \mathbf{H}$	$\mathbf{H}_{ss} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{V}$

[0069] Los símbolos recibidos obtenidos por el receptor se pueden expresar como:

$$\mathbf{r}_x = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}_x + \mathbf{n} = \mathbf{H}_x \cdot \mathbf{s} + \mathbf{n} , \quad \text{Ec. (9)}$$

donde \mathbf{r}_x es un vector de símbolos recibidos para el modo x y \mathbf{n} es un vector de ruido, que puede suponerse que es AWGN con una varianza de σ_n^2 .

[0070] La tabla 4 muestra el procesamiento espacial realizado por el receptor para obtener símbolos detectados $\hat{\mathbf{s}}$, que son estimaciones de los símbolos de datos \mathbf{s} . La técnica de información de estado de canal completa (CSI completa) se puede utilizar en la dirección propia. Las técnicas de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI) y de error cuadrático medio mínimo (MMSE) se pueden utilizar para la dirección propia, la no dirección y la propagación espacial. En cada técnica, el receptor obtiene una matriz de filtro espacial \mathbf{M} para cada subbanda basándose en la matriz de respuesta de canal real o efectivo para esa subbanda. Después, el receptor realiza un filtrado adaptado espacial en los símbolos recibidos con la matriz de filtro espacial.

Tabla 4 - Procesamiento espacial de receptor

	Procesamiento espacial de receptor	SNR recibida
CSI completa	$\mathbf{M}_{es} = \mathbf{\Lambda}^{-1} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{H}^H$	$\gamma_{es,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k) \cdot \lambda_m(k)}{\sigma_n^2} \right)$
	$\hat{\mathbf{s}}_{es} = \mathbf{M}_{es} \cdot \mathbf{r}_{es}$	
CCMI	$\mathbf{M}_{ccmi} = [\mathbf{H}_x^H \cdot \mathbf{H}_x]^{-1} \cdot \mathbf{H}_x^H$	$\gamma_{ccmi,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_n^2} \right)$
	$\hat{\mathbf{s}}_{ccmi} = \mathbf{M}_{ccmi} \cdot \mathbf{r}_x$	
MMSE	$\mathbf{M}_{mmse} = [\mathbf{H}_x^H \cdot \mathbf{H}_x + \sigma_n^2 \cdot \mathbf{I}]^{-1} \cdot \mathbf{H}_x^H$	$\gamma_{mmse,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{q_m(k)}{1 - q_m(k)} P_m(k) \right)$
	$\hat{\mathbf{s}}_{mmse} = [\text{diag}[\mathbf{M}_{mmse} \cdot \mathbf{H}_x]]^{-1} \hat{\mathbf{s}}_{mmse} = \mathbf{D}_{mmse} \cdot \mathbf{M}_{mmse} \cdot \mathbf{r}_x$	

[0071] La Tabla 4 también muestra la SNR recibida para cada subbanda k de canal de transmisión m para las tres técnicas de procesamiento espacial de receptor. En la técnica de CSI completa, $\lambda_m(k)$ es el elemento diagonal m-ésimo de $\mathbf{\Lambda}(k)$. En la técnica CCMI, $r_m(k)$ es el m-ésimo elemento diagonal de $\mathbf{R}_x^{-1}(k) = [\mathbf{H}_x^H(k) \cdot \mathbf{H}_x(k)]^{-1}$. En la técnica MMSE, $q_m(k)$ es el m-ésimo elemento diagonal de $\mathbf{M}_{mmse}(k) \cdot \mathbf{H}_x(k)$. Como se indica en la tabla 4, las SNR recibidas para cada canal de transmisión dependen de la respuesta de canal MIMO, la técnica de procesamiento espacial de receptor utilizada por el receptor y la potencia de transmisión asignada al canal de transmisión. La potencia de transmisión total P_{total} es típicamente fija en el transmisor. La cantidad de potencia de transmisión P_m asignada a

cada canal de transmisión m puede depender del número de flujos de datos a transmitir, por ejemplo, $P_m = P_{total}/M$. Las SNR recibidas para cada canal de transmisión se pueden usar para obtener la estimación de SNR para ese canal de transmisión, como se describe anteriormente para las ecuaciones (3) a (6).

5 **[0072]** Las técnicas de transmisión de datos y de selección de velocidad descritas en el presente documento pueden implementarse por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, en software o en una combinación de ambos. Para una implementación en hardware, las unidades de procesamiento utilizadas para procesar datos para la transmisión (por ejemplo, el procesador de datos de TX 120 en las FIG. 1 y 5) pueden implementarse en 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),
10 matrices de puertas programables *in situ* (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, dispositivos electrónicos, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento utilizadas para la selección de velocidad (por ejemplo, el selector/controlador de velocidad 182 de la FIG. 1) también pueden implementarse en uno o más ASIC, DSP, procesadores, etc.
15

[0073] En una implementación en software, las técnicas descritas en el presente documento pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que lleven a cabo 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 FIG. 1) y ejecutarse mediante un procesador (por ejemplo, el controlador principal 140 o 190). La unidad de memoria se puede implementar dentro del procesador o ser externa al procesador, pudiéndose acoplar en este caso de forma comunicativa al procesador a través de diversos medios, como se conoce en la técnica.
20

REIVINDICACIONES

1. Un aparato, que comprende:

5 un procesador operativo para determinar estimaciones de canal para una pluralidad de flujos de datos que se enviarán a un único receptor; y

10 un controlador operativo para seleccionar una única velocidad de código para la pluralidad de flujos de datos y una pluralidad de esquemas de modulación para la pluralidad de flujos de datos basándose en las estimaciones de canal,

15 en el que el controlador está operativo para seleccionar una velocidad de código entre una pluralidad de velocidades de código admitidas por el sistema y para proporcionar la velocidad de código como la velocidad de código única para codificar la pluralidad de flujos de datos y en el que cada una de la pluralidad de velocidades de código está asociada con un conjunto respectivo de esquemas de modulación, y en el que el controlador está operativo para seleccionar un esquema de modulación para cada uno de la pluralidad de flujos de datos entre el conjunto de esquemas de modulación asociados con la velocidad de código única.

20 2. El aparato según la reivindicación 1, en el que el controlador está operativo para seleccionar un esquema de modulación para cada uno de la pluralidad de flujos de datos para lograr un margen de SNR no negativo para el flujo de datos.

25 3. El aparato según la reivindicación 1, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que el controlador comprende medios para seleccionar la pluralidad de esquemas de modulación para la pluralidad de flujos de datos de modo que al menos un flujo de datos tiene un margen de SNR negativo y la pluralidad de flujos de datos tiene un margen de SNR total no negativo.

30 4. El aparato según la reivindicación 1, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que el controlador comprende medios para determinar un rendimiento global y un margen de SNR total para cada una de una pluralidad de velocidades de código, y medios para seleccionar una velocidad de código que tiene un rendimiento global más alto y un margen de SNR total no negativo entre la pluralidad de velocidades de código, en el que la velocidad de código única es la velocidad de código seleccionada.

35 5. El aparato según la reivindicación 1, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que el controlador comprende medios para determinar un rendimiento global y un margen de SNR total para cada una de una pluralidad de velocidades de código para cada una de una pluralidad de combinaciones de flujos, en el que cada combinación de flujos corresponde a un número diferente de flujos de datos, y medios para seleccionar una velocidad de código y una combinación de flujos que tienen un rendimiento global más alto y un margen de SNR total no negativo entre la pluralidad de velocidades de código y la pluralidad de combinaciones de flujos, en el que la velocidad de código única es la velocidad de código seleccionada y la pluralidad de flujos de datos son para la combinación de flujos seleccionada.

45 6. El aparato según la reivindicación 1, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que el controlador comprende medios para determinar un margen de SNR total para cada una de una pluralidad de combinaciones de velocidad, en el que cada combinación de velocidades está asociada con un número específico de flujos de datos, una velocidad de código específica para todos los flujos de datos, un esquema de modulación específico para cada uno de los flujos de datos y un rendimiento global específico para todos los flujos de datos, y medios para seleccionar una combinación de velocidades que tiene un rendimiento global más alto y un margen de SNR total no negativo entre la pluralidad de combinaciones de velocidades, en el que la velocidad de código única y la pluralidad de esquemas de modulación son para la combinación de velocidades seleccionada.

55 7. Un procedimiento para realizar una selección de velocidad en un sistema de comunicación, que comprende:

60 determinar estimaciones de canal para una pluralidad de flujos de datos que se enviarán a un único receptor; y

65 seleccionar una única velocidad de código y una pluralidad de esquemas de modulación para la pluralidad de flujos de datos en función de las estimaciones de canal, en el que la selección comprende seleccionar una velocidad de código entre una pluralidad de velocidades de código admitidas por el sistema y proporcionar la velocidad de código como la velocidad de código única para codificar la pluralidad de flujos de datos y en el que cada una de la pluralidad de velocidades de código está asociada con un conjunto respectivo de esquemas de modulación, y seleccionar un esquema de modulación para cada uno de la

pluralidad de flujos de datos entre el conjunto de esquemas de modulación asociados con la velocidad de código única.

- 5 **8.** El procedimiento según la reivindicación 7, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que la selección de la velocidad de código única y la pluralidad de esquemas de modulación comprende
- 10 seleccionar un esquema de modulación para cada uno de la pluralidad de flujos de datos para lograr un margen de SNR no negativo para el flujo de datos.
- 15 **9.** El procedimiento según la reivindicación 7, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que la selección de la velocidad de código única y la pluralidad de esquemas de modulación comprende
- 20 seleccionar la pluralidad de esquemas de modulación para la pluralidad de flujos de datos de modo que al menos un flujo de datos tiene un margen de SNR negativo y la pluralidad de flujos de datos tiene un margen de SNR total no negativo.
- 25 **10.** El procedimiento según la reivindicación 7, en el que las estimaciones de canal comprenden una estimación de relación de señal a ruido e interferencia, SNR, y en el que la selección de la velocidad de código única y la pluralidad de esquemas de modulación comprende
- 30 determinar un rendimiento global y un margen de SNR total para cada una de una pluralidad de velocidades de código, y
- seleccionar una velocidad de código que tiene un rendimiento global más alto y un margen de SNR total no negativo entre la pluralidad de velocidades de código, en el que la velocidad de código única es la velocidad de código seleccionada.
- 11.** Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo las etapas del procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10.

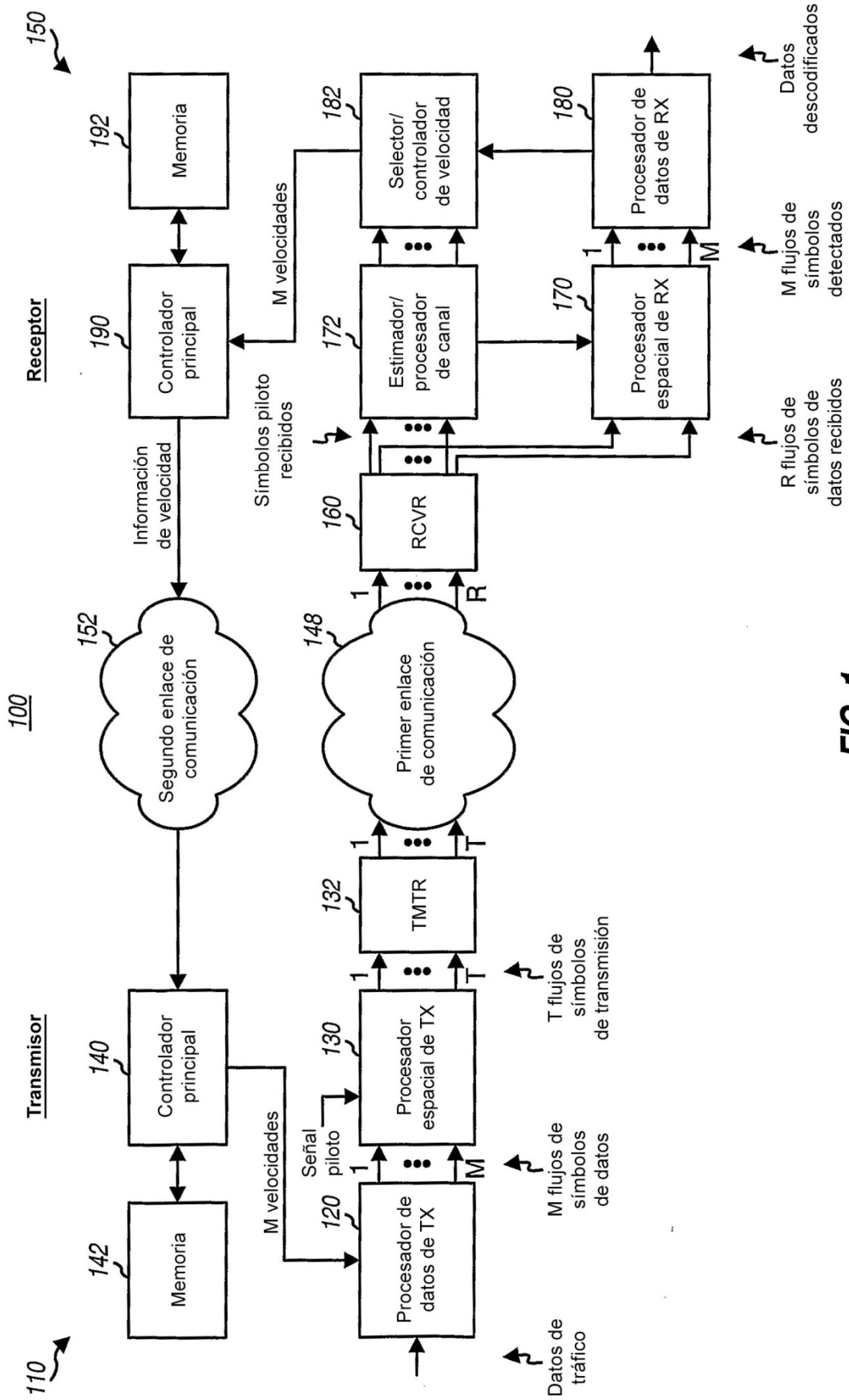


FIG. 1

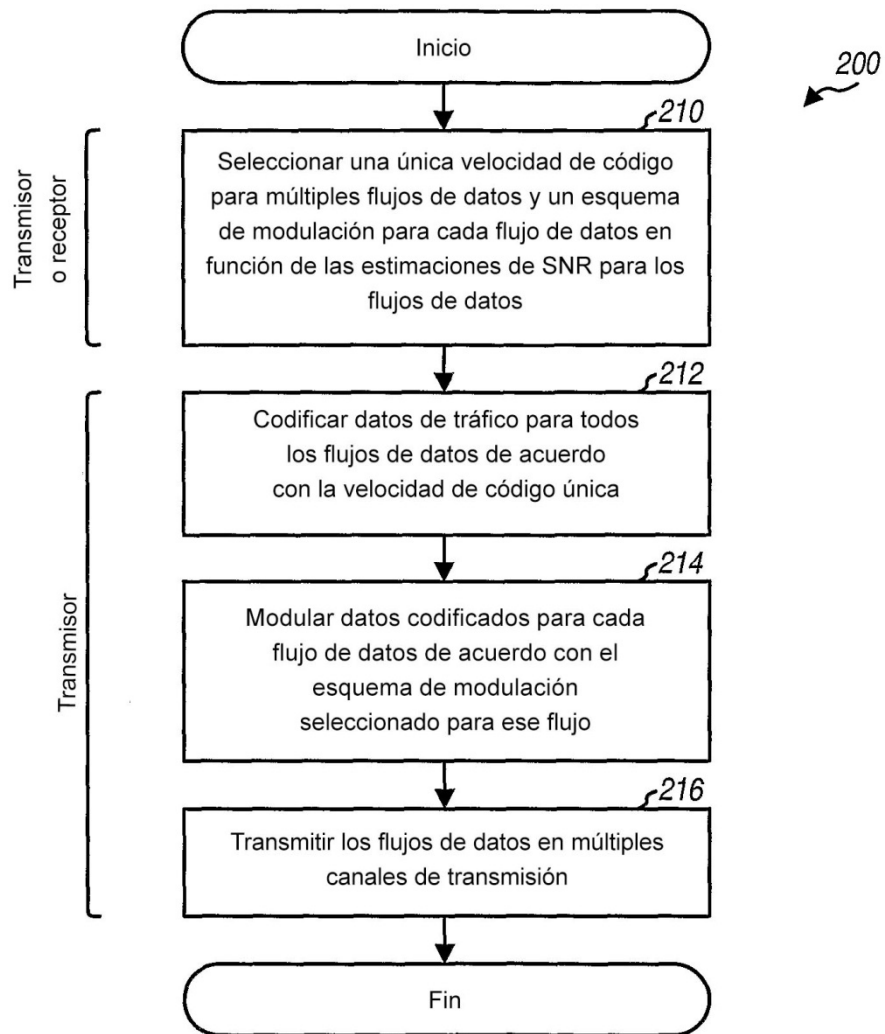


FIG. 2

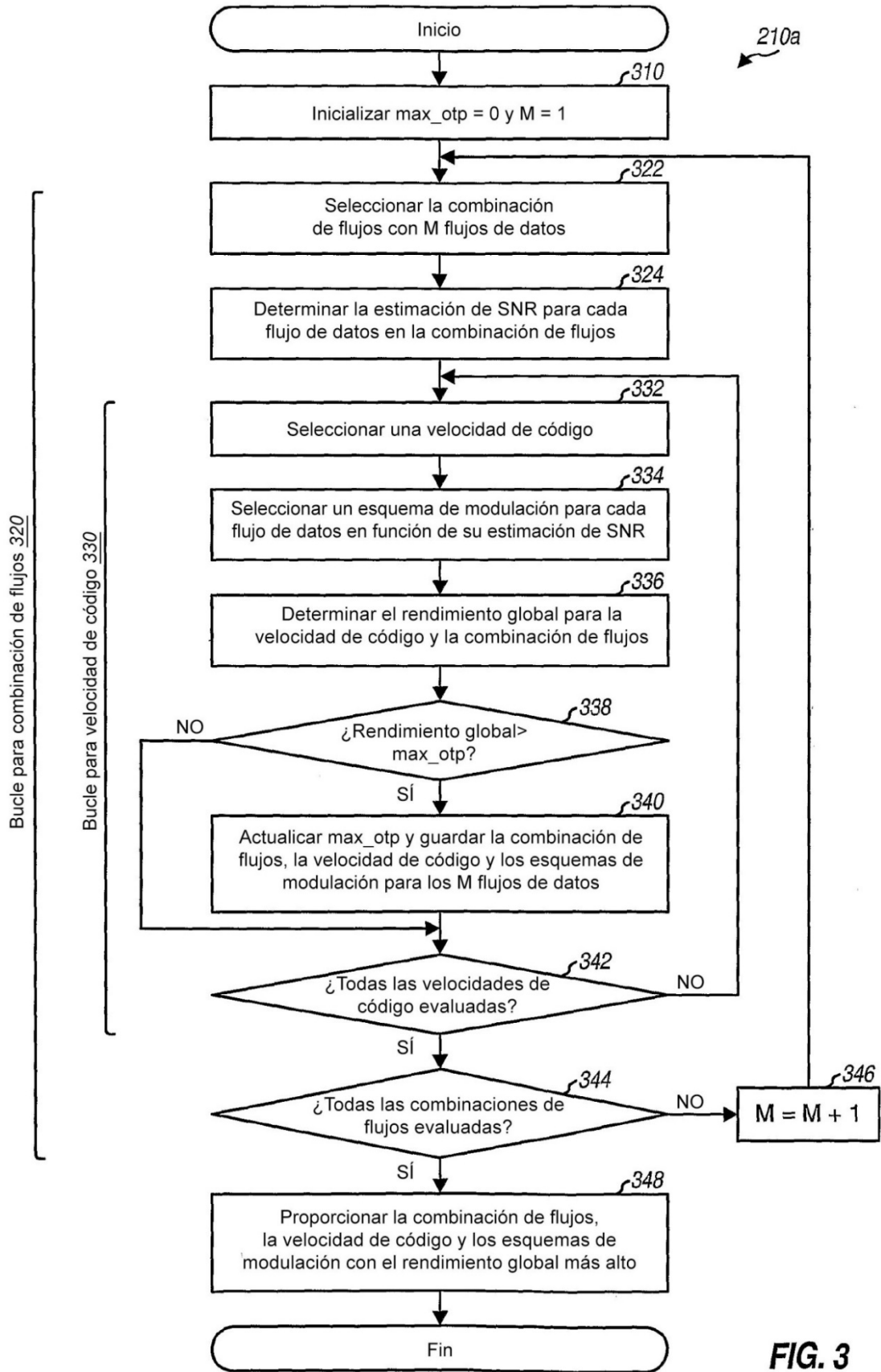
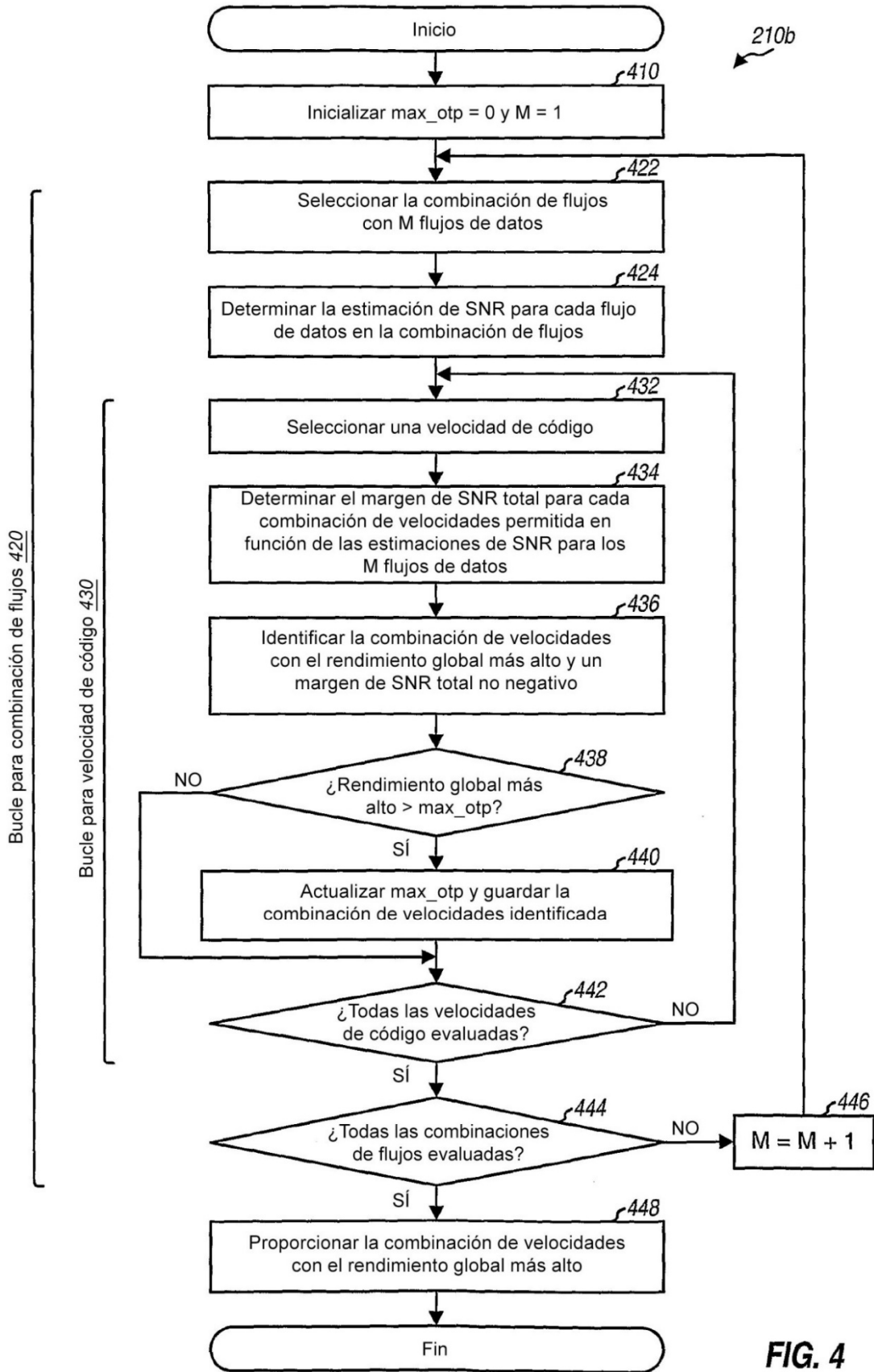


FIG. 3



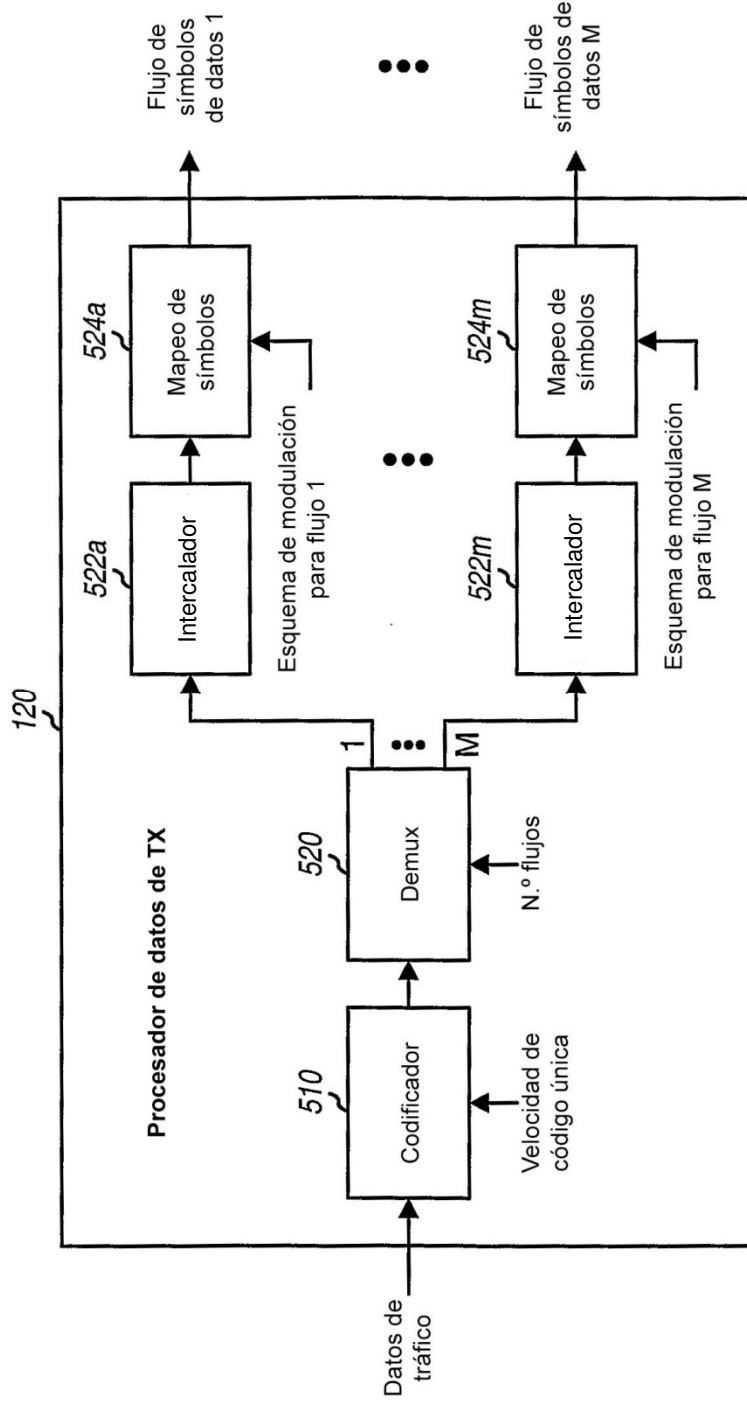


FIG. 5