

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 062**

51 Int. Cl.:

H04B 17/00 (2015.01)

H04L 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2005 E 10175807 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2254272**

54 Título: **Control de velocidad en bucle abierto para un sistema de comunicaciones TDD**

30 Prioridad:

16.11.2004 US 628785 P

17.03.2005 US 663419 P

05.07.2005 US 175787

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

19.12.2017

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

5775 Morehouse Drive

San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

WALTON, JAY RODNEY;

SURINENI, SHRAVAN K.;

MEYLAN, ARNAUD y

NANDA, SANJIV

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 647 062 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Control de velocidad en bucle abierto para un sistema de comunicaciones TDD

5 **I. Reivindicación de prioridad bajo 35 U.S.C. §119**

La presente solicitud de patente reivindica la prioridad de la solicitud provisional n.º de serie 60/628.785, titulada "Control de velocidad en bucle abierto para un sistema de comunicación TDD", presentada en 17 de marzo de 2005, ambas asignadas al asignatario de la misma.

10

ANTECEDENTES**I. Campo**

15 La presente invención se refiere en general a las comunicaciones y, más específicamente, al control de velocidad para un sistema de comunicaciones.

II. Antecedentes

20 En un sistema de comunicaciones inalámbricas, una estación transmisora procesa datos de tráfico para uno o más flujos de datos, genera una o más señales moduladas y transmite la(s) señal(es) modulada(s) a través de un canal inalámbrico hasta una estación receptora. La(s) señal(es) modulada(s) puede(n) experimentar varias condiciones de canal perjudiciales tales como, por ejemplo, desvanecimiento de señal, multitrayectoria y efectos de interferencia. La estación receptora recibe la(s) señal(es) modulada(s) y procesa una o más señales recibidas para recuperar los datos de tráfico.

25

El control de velocidad se refiere al proceso para controlar la velocidad para cada flujo de datos enviado por la estación transmisora a la estación receptora. Una "velocidad" puede estar asociada a una velocidad de transferencia de datos particular, a un esquema de codificación o a una velocidad de código particulares, a un esquema de modulación particular, etc., para utilizarse para un flujo de datos. El control de velocidad trata de seleccionar una velocidad que sea tan alta como sea posible ajustándose al mismo tiempo a una tasa de error de paquete objetivo (PER) para cada flujo de datos en función de las condiciones de canal de manera que el flujo de datos pueda recibirse de manera fiable.

30

El control de velocidad se lleva a cabo normalmente en la manera de un bucle cerrado. Para el control de velocidad en bucle cerrado, la estación transmisora transmite normalmente una señal piloto que es utilizada por la estación receptora para estimar la calidad de canal, la cual puede cuantificarse mediante una relación de señal a ruido más interferencia (SNR). Después, la estación receptora selecciona una o más velocidades basándose en la calidad de canal estimada y envía la(s) velocidad(es) seleccionada(s) a la estación transmisora. La estación transmisora procesa los datos de tráfico basándose en GB 2 350 753 A, EP 0 868 034 A2 y US 2001/0048675 A1 muestran ejemplos para tales sistemas de bucle cerrado.

35

40

El control de velocidad en bucle cerrado es generalmente efectivo pero es posible que no esté siempre disponible. Además, el control de velocidad en bucle cerrado tiene algunas desventajas. En primer lugar, la estación transmisora utiliza recursos de sistema para transmitir la señal piloto a la estación receptora, y la estación receptora utiliza recursos de sistema para devolver la(s) velocidad(es) seleccionada(s). En segundo lugar, normalmente se generan retardos adicionales en la estación transmisora para transmitir la señal piloto y en la estación receptora para devolver la(s) velocidad(es) seleccionada(s).

45

Por lo tanto, en la técnica existe la necesidad de tecnologías para llevar a cabo un control de velocidad cuando el control de velocidad en bucle cerrado no esté disponible o cuando se desee un buen rendimiento utilizando menos recursos de sistema, por ejemplo datos suplementarios de transmisión para comunicar la calidad de canal, y con menos retardo.

50

RESUMEN

Esta necesidad se satisface mediante la materia objeto de las reivindicaciones independientes. En este documento se describen técnicas para llevar a cabo un control de velocidad en bucle abierto en un sistema de comunicaciones dúplex por división de tiempo (TDD). Según un ejemplo de la invención, se describe un aparato que incluye un procesador y un controlador. El procesador estima la calidad de canal de un primer enlace de comunicaciones basándose en una transmisión (por ejemplo, una transmisión de señal piloto) recibida a través del primer enlace. El controlador estima la calidad de canal de un segundo enlace de comunicaciones basándose en la calidad de canal estimada del primer enlace y en un parámetro asimétrico indicativo de una diferencia en las calidades de canal del primer y del segundo enlace.

55

60

Según otro ejemplo, se describe un aparato que incluye un procesador y un controlador. El procesador obtiene un primer conjunto de estimaciones de SNR para un primer conjunto de canales de transmisión en un primer enlace basándose en una transmisión recibida a través del primer enlace. El controlador obtiene un segundo conjunto de estimaciones de SNR para un segundo conjunto de canales de transmisión en un segundo enlace basándose en el primer conjunto de estimaciones de SNR y en un parámetro asimétrico. El controlador selecciona además un conjunto de velocidades para

65

el segundo conjunto de canales de transmisión basándose en el segundo conjunto de estimaciones de SNR.

Según otro ejemplo adicional, se describe un aparato que incluye un procesador y un controlador. El procesador obtiene al menos una estimación de SNR para un primer enlace basándose en una transmisión recibida a través del primer enlace. El controlador obtiene al menos una estimación de SNR para un segundo enlace basándose en la al menos una estimación de SNR para el primer enlace. El controlador selecciona además al menos una velocidad para al menos un flujo de datos basándose en la al menos una estimación de SNR para el segundo enlace y ajusta la transmisión del al menos un flujo de datos basándose en una retroalimentación recibida para paquetes en el al menos un flujo de datos.

Según otro ejemplo adicional, se describe un aparato que incluye un controlador y un primer y un segundo procesador. El primer procesador determina las SNR recibidas para un primer conjunto de subbandas de un primer canal de transmisión en un primer enlace basándose en una transmisión de señal piloto recibida a través del primer enlace. El controlador selecciona al menos una subbanda entre un segundo conjunto de subbandas de un segundo canal de transmisión en un segundo enlace basándose en las SNR recibidas para el primer canal de transmisión. El segundo procesador procesa datos para la transmisión en la al menos una subbanda del segundo canal de transmisión.

Otros diversos aspectos y realizaciones de la invención se describen posteriormente en mayor detalle.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIG. 1 muestra un proceso llevado a cabo por una estación transmisora para el control de velocidad en bucle abierto según una o más realizaciones.

La FIG. 2 muestra un proceso para llevar a cabo un control de velocidad en bucle abierto en un sistema TDD según una o más realizaciones.

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques de una estación transmisora y de una estación receptora según una o más realizaciones

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La expresión "a modo de ejemplo" se utiliza en este documento con el sentido de "que sirve como ejemplo, instancia o ilustración". Cualquier realización descrita en este documento como "a modo de ejemplo" no debe considerarse necesariamente como preferida o ventajosa sobre otras realizaciones.

Las técnicas de control de velocidad en bucle abierto descritas en este documento pueden utilizarse para un sistema de única entrada y única salida (SISO), para un sistema de única entrada y múltiples salidas (SIMO), para un sistema de múltiples entradas y única salida (MISO) y para un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Un sistema MIMO utiliza múltiples (T) antenas de transmisión en una estación transmisora y múltiples (R) antenas de recepción en una estación receptora para la transmisión de datos. Un canal MIMO formado por las T antenas de transmisión y por las R antenas de recepción puede descomponerse en S canales espaciales, donde $S \leq \min \{T, R\}$. Gran parte de la siguiente descripción es para un sistema MIMO.

Las técnicas de control de velocidad en bucle abierto también pueden utilizarse para sistemas de única portadora y de múltiples portadoras. Pueden obtenerse múltiples portadoras con técnicas de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) o con alguna otra técnica de modulación de múltiples portadoras. La OFDM divide el ancho de banda global del sistema en múltiples (K) subbandas de frecuencia ortogonales, que se llaman también tonos, subportadoras, contenedores (*bins*) o canales de frecuencia. Con OFDM, cada subbanda está asociada a una subportadora respectiva que puede modularse con datos. Para un sistema MIMO que utiliza OFDM, que se denomina un sistema MIMO-OFDM, hay S canales espaciales disponibles para cada una de las K subbandas. Pueden formarse S canales espaciales de banda ancha con los canales espaciales de las K subbandas.

Por motivos de claridad, la siguiente descripción asume que en cada canal de transmisión se envía un flujo de datos. Un canal de transmisión puede ser un canal espacial en un sistema MIMO, un canal espacial ortogonal (o modo propio) en un sistema MIMO que transmite en modos propios, un canal espacial de banda ancha en un sistema MIMO-OFDM, un modo propio de banda ancha en un sistema MIMO-OFDM que transmite en modos propios, etc. Un canal de transmisión también puede denominarse un canal paralelo, un canal de datos, un canal de tráfico, un canal físico, o como un término de otra terminología.

Para un sistema MIMO TDD calibrado, puede suponerse que las respuestas del canal inalámbrico entre dos estaciones son recíprocas entre sí. Por lo tanto, si la matriz \mathbf{H} representa la respuesta de canal desde una estación A hasta una estación B, entonces un canal recíproco implica que la respuesta de canal desde la estación B hasta la estación A viene dada por \mathbf{H}^T , donde \mathbf{H}^T denota la traspuesta de \mathbf{H} . Para un canal recíproco puede suponerse que los cambios en la pérdida masiva de trayectoria, ensombrecimiento, multitrayectoria, desvanecimiento de señal, etc., son idénticos para los dos enlaces del canal inalámbrico. Esta reciprocidad puede aprovecharse para el control de velocidad en bucle abierto.

5 El enlace desde la estación A hasta la estación B puede denotarse como enlace (A, B), y el enlace desde la estación B hasta la estación A puede denotarse como enlace (B, A). Para la estación A, el enlace (A, B) es el enlace de transmisión y el enlace (B, A) es el enlace de recepción. Para la estación B, el enlace (B, A) es el enlace de transmisión y el enlace (A, B) es el enlace de recepción. Se considera que el enlace (A, B) y el enlace (B, A) son simétricos si la SNR observada en la estación A para una transmisión desde la estación B es la misma que la SNR observada en la estación B para una transmisión desde la estación A, suponiendo que las condiciones de canal no han cambiado en el intervalo de tiempo de interés. Pueden conseguirse enlaces simétricos para dos estaciones A y B, por ejemplo, si las características de la unidad transmisora y de la unidad receptora son las mismas para estas dos estaciones.

10 En la práctica, los enlaces simétricos pueden ser difíciles de conseguir debido a varios factores tales como la diversidad de fabricación, la tolerancia de los componentes, etc. Además, diferentes estaciones pueden fabricarse con diferentes capacidades, por ejemplo, diferentes niveles de potencia de transmisión, diferentes factores de ruido de receptor, diferentes dimensiones de matrices, etc. Como resultado, los enlaces para las estaciones A y B pueden no ser simétricos, tal y como se ilustra posteriormente.

15 La Tabla 1 muestra capacidades a modo de ejemplo para las estaciones A y B.

Tabla 1

	Potencia de transmisión	Factor de ruido de receptor	Número de antenas de recepción
Estación A	17 dBm	6 dB	4
Estación B	14 dBm	10 dB	2

20 Para el ejemplo mostrado en la Tabla 1, el nivel de señal recibido (RSL) observado en la estación B cuando la estación A transmite a su máxima potencia en un canal sin pérdidas puede calcularse como:

$$\text{RSL}(A \rightarrow B) = 17 \text{ dBm} - 10 \text{ dB} + 10 \log_{10}(2) = 10 \text{ dBm} . \quad \text{Ec (1)}$$

25 El RSL observado en la estación A cuando la estación B transmite a su máxima potencia en un canal sin pérdidas puede calcularse como:

$$\text{RSL}(B \rightarrow A) = 14 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} + 10 \log_{10}(4) = 14 \text{ dBm} . \quad \text{Ec (2)}$$

30 Un parámetro asimétrico $\text{ASYM}(t,r)$ puede definirse como la diferencia entre (1) la SNR observada en la estación r cuando la estación t transmite a un nivel de potencia conocido en un canal conocido y (2) la SNR observada en la estación t cuando la estación r transmite. Para el ejemplo descrito anteriormente, los parámetros asimétricos para las estaciones A y B pueden calcularse como:

$$\text{ASYM}(A, B) = \text{RSL}(A \rightarrow B) - \text{RSL}(B \rightarrow A) = -4 \text{ dB} , \quad \text{y} \quad \text{Ec (3)}$$

$$\text{ASYM}(B, A) = \text{RSL}(B \rightarrow A) - \text{RSL}(A \rightarrow B) = -\text{ASYM}(A, B) = 4 \text{ dB} . \quad \text{Ec (4)}$$

Cuando los enlaces son simétricos, los parámetros asimétricos pueden darse como:

$$\text{ASYM}(B, A) = \text{ASYM}(A, B) = 0 \text{ dBm} . \quad \text{Ec (5)}$$

40 Cuando los enlaces son asimétricos, como es el caso del ejemplo mostrado en la Tabla 1, los parámetros asimétricos son distintos de cero y se determinan mediante la diferencia en las SNR observadas por las dos estaciones para las transmisiones desde la otra estación. Un valor positivo para el parámetro $\text{ASYM}(t,r)$ denota que la SNR observada por la estación r desde la estación t es mayor que la SNR observada por la estación t desde la estación r . A la inversa, un valor negativo para el parámetro $\text{ASYM}(t,r)$ denota que la SNR observada por la estación r desde la estación t es menor que la SNR observada por la estación t desde la estación r .

Si se conocen los parámetros asimétricos, entonces cada estación puede inferir directamente a partir de su receptor las velocidades que puede utilizar para transmitir datos a la otra estación. Por ejemplo, si la estación A transmite señales piloto y/o datos a la estación B, entonces la estación B puede estimar la SNR para cada canal de transmisión en el

enlace (A, B) basándose en las señales piloto y/o en los datos recibidos desde la estación A. Después, la estación B puede estimar la SNR para cada canal de transmisión en el enlace (B, A) de la siguiente manera:

$$\hat{\gamma}_m(B, A) = \gamma_m(A, B) - \text{ASYM}(A, B) , \quad \text{Ec (6)}$$

5

donde $\gamma_m(A, B)$ es una medición de SNR para el canal de transmisión m en el enlace (A, B); y

$\hat{\gamma}_m(B, A)$ es una estimación de SNR para el canal de transmisión m en el enlace (B, A).

10 La estación B puede obtener estimaciones de SNR para los canales de transmisión en el enlace (A, B) basándose en las señales piloto y/o en los datos recibidos, tal y como se describe posteriormente. Después, la estación B puede obtener estimaciones de SNR para los canales de transmisión en el enlace (B, A) basándose en las estimaciones de SNR para el enlace (A, B) y en el parámetro ASYM (A, B), tal y como se muestra en la ecuación (6). Después, la estación B puede utilizar las estimaciones de SNR para el enlace (B, A) para seleccionar velocidades adecuadas para los flujos de datos enviados a través de los canales de transmisión en el enlace (B, A) a la estación A.

15

Asimismo, si la estación B transmite señales piloto y/o datos a la estación A, entonces la estación A puede obtener una estimación de SNR para cada canal de transmisión en el enlace (B, A) basándose en las señales piloto y/o en los datos recibidos desde la estación B. Después, la estación A puede obtener una estimación de SNR para cada canal de transmisión en el enlace (A, B) de la siguiente manera:

20

$$\hat{\gamma}_m(A, B) = \gamma_m(B, A) - \text{ASYM}(B, A) , \quad \text{Ec (7)}$$

donde $\gamma_m(B, A)$ es una medición de SNR para el canal de transmisión m en el enlace (B, A), y

25

$\hat{\gamma}_m(A, B)$ es una estimación de SNR para el canal de transmisión m en el enlace (A, B).

La estación A puede utilizar $\hat{\gamma}_m(A, B)$ para seleccionar una velocidad adecuada para cada canal de transmisión m en el enlace (A, B).

30

El parámetro ASYM puede determinarse para cada enlace de varias maneras. En una realización, las estaciones A y B intercambian sus capacidades (por ejemplo, potencia de transmisión, factor de ruido y número de antenas) mediante señalización. Después, cada estación puede calcular el parámetro ASYM para su enlace de recepción basándose en las capacidades de ambas estaciones. En otra realización, cada estación mide la SNR recibida para su enlace de recepción basándose en una señal piloto transmitida a un nivel de potencia conocido por la otra estación y envía la SNR recibida a la otra estación. Después, cada estación puede calcular el parámetro ASYM basándose en las SNR recibidas para los dos enlaces y en los niveles de potencia de las señales piloto enviadas en los dos enlaces. En otra realización adicional, el parámetro ASYM se determina en función de la retroalimentación de receptor sin ningún intercambio de mensajes inicial. El parámetro ASYM puede inicializarse como $\text{ASYM}(A, B) = 0$. Cuando la estación B transmite a la estación A, la estación A calcula la estimación de SNR como $\hat{\gamma}_m(B, A) = \gamma_m(A, B) - \text{ASYM}(A, B)$, donde $\text{ASYM}(A, B)$ es cero inicialmente. La retroalimentación de la estación A se utiliza para ajustar el parámetro ASYM con el fin de conseguir la tasa de error de paquete deseada. La retroalimentación de la estación A puede ser ACK/NAK proporcionadas por la capa MAC u otro tipo de retroalimentación (por ejemplo, tramas de protocolo de control en tiempo real (RTCP)).

35

40

45

En muchos casos, el parámetro ASYM para cada enlace es un valor fijo o estático. Para estos casos, el parámetro ASYM puede determinarse una vez para cada enlace y utilizarse para todas las siguientes transmisiones de datos enviadas a través de ese enlace. Sin embargo, puede haber situaciones en las que el parámetro ASYM varíe. Por ejemplo, el alcance dinámico de las estaciones puede ser diferente, y no linealidades pueden modificar el valor del parámetro ASYM dependiendo de los niveles de señal reales recibidos. Además, la temperatura ambiente puede afectar al factor de ruido de receptor. Como otro ejemplo, diferentes características de ruido de fase en las cadenas de transmisor y de receptor también pueden influir en el parámetro ASYM en función de la SNR recibida. En estos casos, los cambios y/o errores en el parámetro ASYM pueden representarse mediante un bucle externo, tal y como se describe posteriormente.

50

55

La FIG. 1 muestra un proceso 100 llevado a cabo por la estación transmisora para un control de velocidad en bucle abierto según una o más realizaciones. Inicialmente, puede intercambiarse información con la estación receptora para determinar el parámetro ASYM (bloque 112). El bloque 112 también puede omitirse si el parámetro ASYM se determina

sin ningún intercambio de mensajes inicial, tal y como se ha descrito anteriormente. Después se estima la calidad de canal de un primer canal de transmisión en un primer enlace de comunicaciones en función de la transmisión de señales piloto y/o de datos recibida a través del primer enlace de comunicaciones (bloque 114). Después se estima la calidad de canal de un segundo canal de transmisión en un segundo enlace de comunicaciones en función de la calidad de canal estimada para el primer canal de transmisión y del parámetro ASYM (bloque 116). Se selecciona una velocidad para el segundo canal de transmisión en función de la calidad de canal estimada para el segundo canal de transmisión (bloque 118). La velocidad, el parámetro ASYM y/o el parámetro de ajuste de velocidad pueden ajustarse en función del rendimiento de una transmisión de datos enviada a través del segundo enlace de comunicaciones (bloque 120).

La FIG. 2 muestra un proceso 200 para llevar a cabo un control de velocidad en bucle abierto en un sistema TDD según una o más realizaciones. Inicialmente, las estaciones A y B intercambian información pertinente de manera que cada estación pueda determinar el parámetro ASYM para su enlace de recepción (bloques 210 y 212). Los bloques 210 y 212 pueden llevarse a cabo una vez (por ejemplo, durante el acceso al sistema o el registro), periódicamente o cuando sea necesario.

Después, para la transmisión de datos desde la estación A hasta la estación B, la estación B transmite una señal piloto en el enlace (B, A) (bloque 214). La estación A recibe la señal piloto y obtiene estimaciones de SNR para los canales de transmisión en el enlace (B, A), tal y como se describe posteriormente (bloque 216). Después, la estación A obtiene estimaciones de SNR para los canales de transmisión en el enlace (A, B) basándose en las estimaciones de SNR para el enlace (B, A) y en el parámetro ASYM (bloque 218). La estación A selecciona velocidades para los canales de transmisión en el enlace (A, B) basándose en las estimaciones de SNR para esos canales de transmisión (bloque 220). Después, la estación A transmite flujos de datos a las velocidades seleccionadas a través de los canales de transmisión en el enlace (A, B) (bloque 222).

La estación B recibe los flujos de datos de la estación A y descodifica los paquetes enviados en esos flujos de datos (bloque 224). La estación B puede enviar confirmaciones de recepción (ACK) para paquetes descodificados correctamente (o paquetes válidos) y/o confirmaciones de recepción negativas (NAK) para paquetes descodificados con errores (paquetes eliminados) (bloque 226). La estación A recibe la retroalimentación ACK/NAK y ajusta el parámetro ASYM, las velocidades y/o los parámetros de ajuste de velocidad basándose en la retroalimentación ACK/NAK (bloque 228). La estación A ajusta la transmisión de los flujos de datos basándose en los ajustes determinados en el bloque 228.

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques de la estación A 310 y de la estación B 350 según una o más realizaciones. Para la transmisión en enlace descendente, la estación A es un punto de acceso, la estación B es un terminal de usuario, el enlace (A, B) es el enlace descendente o enlace directo, y el enlace (B, A) es el enlace ascendente o enlace inverso. Para la transmisión en enlace ascendente, la estación A es un terminal de usuario, la estación B es un punto de acceso, el enlace (A, B) es el enlace ascendente y el enlace (B, A) es el enlace descendente. Para una transmisión de igual a igual, las estaciones A y B pueden ser dos terminales de usuario.

En la estación A, un selector de velocidad/controlador 334 selecciona una velocidad para cada uno de los M flujos de datos que van a enviarse a la estación B, donde $M \geq 1$. Los M flujos de datos pueden enviarse a la misma velocidad o a velocidades diferentes, dependiendo de la manera en que se transmitan los flujos de datos y/o de las condiciones de canal. Un procesador de datos de transmisión (TX) 320 recibe datos de tráfico, procesa (por ejemplo, codifica, entrelaza y correlaciona símbolos) los datos de tráfico basándose en las M velocidades seleccionadas, y genera M flujos de símbolos de datos. Tal y como se utiliza en este 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 son datos conocidos a priori tanto por la estación transmisora como por la receptora), un símbolo de modulación es un valor complejo para un punto en una constelación de señales para un esquema de modulación (por ejemplo, M-PSK o M-QAM), y un símbolo es un valor complejo. Un procesador espacial TX 322 multiplexa los M flujos de símbolos de datos con símbolos piloto, lleva a cabo un procesamiento espacial en los datos y en los símbolos piloto si es aplicable y, tal y como se describe posteriormente, proporciona T flujos de símbolos de transmisión para T antenas de transmisión. Una unidad transmisora (TMTR) 324 procesa los T flujos de símbolos de transmisión (por ejemplo, para OFDM) y genera T señales moduladas, las cuales se transmiten a través del enlace (A, B) a la estación B. El enlace (A, B) distorsiona las señales moduladas con una respuesta de canal y degrada adicionalmente las señales moduladas con ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) y, posiblemente, con interferencias de otras estaciones.

En la estación B, una unidad receptora (RCVR) 360 recibe las señales transmitidas a través de R antenas de recepción y procesa (por ejemplo, acondiciona y digitaliza) R señales recibidas para generar R flujos de muestras. La unidad receptora 360 procesa adicionalmente los R flujos de muestras (por ejemplo, para OFDM), proporciona símbolos piloto recibidos a un estimador de canal /procesador 362 y proporciona símbolos de datos recibidos a un procesador espacial de recepción (RX) 364. El estimador de canal 362 estima la respuesta de canal MIMO para el enlace (A, B) y proporciona estimaciones de canal al procesador espacial RX 364. El procesador espacial RX 364 lleva a cabo un procesamiento espacial de receptor en los símbolos de datos recibidos en función de las estimaciones de canal y proporciona M flujos de símbolos de datos detectados, los cuales son estimaciones de los M flujos de símbolos de datos enviados por la estación A. Un procesador de datos RX 368 procesa (por ejemplo, descorrelaciona símbolos, desentrelaza y descodifica) los M flujos de símbolos de datos detectados basándose en las M velocidades seleccionadas y proporciona datos descodificados, los cuales son una estimación de los datos de tráfico enviados por la estación A. El procesador de datos

RX 368 proporciona además el estado de cada paquete recibido (por ejemplo, borrado o válido).

Controladores 340 y 390 controlan el funcionamiento de varias unidades de procesamiento en las estaciones A y B, respectivamente. Unidades de memoria 342 y 392 almacenan datos y códigos de programa utilizados por los controladores 340 y 390, respectivamente.

Las técnicas de control de velocidad en bucle abierto no requieren que la estación receptora B envíe información de retroalimentación explícita a la estación transmisora A para la selección de velocidad específicamente. El término "bucle abierto" en el contexto de control de velocidad en bucle abierto se refiere a la ausencia de tal información de retroalimentación explícita, que puede incluir, por ejemplo, una velocidad por flujo de datos, una SNR por flujo de datos, una SNR por antena, etc. Por el contrario, un esquema de control de velocidad en bucle cerrado requiere normalmente que la estación receptora determine información de retroalimentación en función de las condiciones de canal observadas en la estación receptora y que envíe esta información a la estación transmisora, la cual utiliza después la información para la selección de velocidad para la transmisión de datos a la estación receptora.

Las técnicas de control de velocidad en bucle abierto utilizan información que está disponible para el funcionamiento normal del sistema. Por ejemplo, las técnicas de control de velocidad en bucle abierto pueden utilizar (1) SNR recibidas obtenidas por la estación transmisora A en función de las señales piloto y/o de los datos recibidos desde la estación receptora B, (2) las ACK y/o las NAK recibidas desde la estación B para paquetes enviados por la estación A, y (3) posiblemente otra información. Una capa de control de acceso al medio (MAC) que reside por encima de una capa física en la estación B puede enviar una ACK para cada paquete descodificado correctamente y o bien una NAK o ninguna ACK para cada paquete descodificado con errores. La estación A puede utilizar la retroalimentación ACK/NAK para retransmitir paquetes descodificados con errores. La retroalimentación ACK/NAK no es una información de retroalimentación explícita en lo que respecta a la recomendación de la(s) velocidad(es) a utilizar para la transmisión de datos o en cuánto aumentar o disminuir la(s) velocidad(es) seleccionada(s). Por motivos de claridad, algunas partes de la siguiente descripción suponen que las ACK se devuelven para paquetes descodificados correctamente y que no se devuelve ninguna ACK (o que las ACK están ausentes) para paquetes descodificados con errores.

La FIG. 3 también muestra una realización de un mecanismo de control de velocidad en bucle abierto que incluye un bucle interno y un bucle externo. El bucle interno estima las SNR observadas en la estación receptora B basándose en las señales piloto y/o en los datos recibidos desde la estación B y en el parámetro ASYM, y selecciona una velocidad adecuada para cada flujo de datos enviado a la estación B. El bucle externo ajusta el funcionamiento del bucle interno para conseguir el nivel de rendimiento deseado, el cual puede cuantificarse mediante una tasa de error de paquete objetivo, por ejemplo, una PER del 1%.

Para el bucle interno, la estación B puede transmitir una señal piloto a través del enlace (B, A) a la estación A. En la estación B, la señal piloto se procesa mediante un procesador espacial TX 382 y se envía desde una unidad transmisora 384. En la estación A, la señal piloto se recibe mediante una unidad receptora 330 y se proporciona a un estimador de canal/procesador 332. El estimador de canal 332 determina las SNR recibidas para el enlace (B, A) basándose en la señal piloto recibida y obtiene estimaciones de SNR para el enlace (B, A) basándose en las SNR recibidas. El selector de velocidad 334 obtiene estimaciones de SNR para el enlace (A, B) en función de las estimaciones de SNR para el enlace (B, A) y del parámetro ASYM y selecciona además las velocidades para la transmisión de datos en el enlace (A, B).

Para el bucle externo, la estación B puede enviar una retroalimentación ACK a la estación A para paquetes recibidos correctamente desde la estación A y/o una retroalimentación NAK para paquetes recibidos incorrectamente o paquetes que se esperan pero que no se han recibido. En la estación B, un generador de ACK 380 genera ACK/NAK basándose en el estado de paquete proporcionado por el procesador de datos RX 368. La estación B procesa adicionalmente y transmite las ACK/NAK a la estación A. En la estación A, un detector de ACK/NAK 336 detecta las ACK/NAK transmitidas y proporciona las ACK/NAK detectadas a una unidad de ajuste de velocidad 338. La unidad 338 ajusta el parámetro ASYM, las velocidades y/o uno o más parámetros de ajuste de velocidad basándose en las ACK/NAK detectadas y proporciona los ajustes al selector de velocidad 334. Los parámetros de ajuste de velocidad pueden incluir, por ejemplo, un factor de reducción de SNR, un ajuste para el parámetro ASYM, una indicación para reducir el número de flujos de datos, una indicación para reducir las velocidades de los flujos de datos, etc., tal y como se describe posteriormente. El selector de velocidad 334 utiliza los ajustes junto con las estimaciones de SNR y el parámetro ASYM para seleccionar M velocidades para los M flujos de datos enviados a través del enlace (A, B).

Cada estación puede mantener un bucle interno y un bucle externo para la transmisión de datos en su enlace directo a otra estación. El bucle interno puede activarse mediante las estimaciones de SNR, y el bucle externo puede activarse mediante las ACK/NAK y/u otra información. Cada estación puede obtener y utilizar las estimaciones de SNR para decidir qué velocidades utilizar para la transmisión de datos a la otra estación. La precisión de las estimaciones de SNR para el enlace de transmisión depende de la precisión del parámetro ASYM. Sin embargo, incluso en ausencia de una buena estimación para el parámetro ASYM, el bucle externo puede activar la selección de velocidad por parte de la estación transmisora en el momento oportuno de manera que se utilicen velocidades adecuadas para la transmisión de datos.

La capacidad de estimar de manera precisa las SNR para un enlace en función de una transmisión recibida a través del

otro enlace permite seleccionar las velocidades que sean más próximas a las velocidades más altas soportadas por el enlace. Esto permite enviar cada flujo de datos con un margen de SNR más pequeño, el cual es la diferencia entre la SNR observada en la estación receptora para ese flujo de datos y la SNR requerida para la velocidad seleccionada para el flujo de datos. Márgenes de SNR más pequeños para los flujos de datos dan como resultado una mejor utilización de la capacidad del enlace. Una estimación de SNR precisa también evita un exceso de errores de paquete. Además, la capacidad de utilizar una medición de SNR para el enlace inverso para transmitir datos en el enlace directo permite un rápido seguimiento del canal. No hay necesidad de transmitir en el enlace (A, B), de esperar después la retroalimentación de velocidad en el enlace (B, A) ni de transmitir finalmente datos a la velocidad apropiada en el enlace (A, B). En cambio, la medición de SNR para el enlace (B, A) puede utilizarse para transmitir datos en el enlace (A, B) y el tiempo de ida y vuelta puede ser bastante corto.

Un control de velocidad en bucle abierto puede implementarse de varias maneras y puede utilizarse para varios esquemas de transmisión. A continuación se describen diseños a modo de ejemplo para el bucle interno y para el bucle externo.

1. **Modos de transmisión**

Un sistema MIMO puede soportar múltiples modos de transmisión para un mejor rendimiento y una mayor flexibilidad. La Tabla 2 enumera algunos modos de transmisión a modo de ejemplo.

Tabla 2

Modo de transmisión	Descripción
modo orientado	Se transmiten M flujos de datos en M canales espaciales ortogonales (o modos propios) de un canal MIMO, donde $1 \leq M \leq S$.
modo no orientado	Se transmiten M flujos de datos en M canales espaciales, por ejemplo, desde M antenas de transmisión.
modo de dispersión espacial	Se transmiten M flujos de datos con dispersión espacial para conseguir un rendimiento similar para todos los flujos de datos.

Cada modo de transmisión tiene diferentes capacidades y requisitos. El modo orientado (que también se denomina como orientación propia) transmite datos en los modos propios de un canal MIMO. El modo orientado proporciona normalmente un mejor rendimiento pero requiere un procesamiento espacial tanto en la estación transmisora como en la receptora. El modo no orientado no requiere ningún procesamiento espacial en la estación transmisora, por ejemplo, un flujo de datos puede enviarse desde cada antena de transmisión. Normalmente, el rendimiento del modo no orientado no es tan bueno como el del modo orientado. El modo de dispersión espacial transmite M flujos de datos con diferentes matrices de orientación de manera que esos flujos observan un conjunto de canales eficaces y consiguen un rendimiento similar. Un modo de transmisión adecuado puede seleccionarse para su utilización dependiendo de la disponibilidad de la información de estado de canal (CSI), las capacidades de las estaciones transmisora y receptora, y demás.

Para el modo orientado, los datos se transmiten en S modos propios, como máximo, del canal MIMO formado por T antenas de transmisión y R antenas de recepción. El canal MIMO puede caracterizarse mediante una matriz $\underline{\mathbf{H}}$ de respuesta de canal $R \times T$, la cual puede diagonalizarse para obtener los S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}$. Esta diagonalización puede conseguirse llevando a cabo o bien una descomposición en valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}$ o bien una descomposición en valores propios de una matriz de correlación de $\underline{\mathbf{H}}$, la cual es $\underline{\mathbf{R}} = \underline{\mathbf{H}}^H \underline{\mathbf{H}}$, donde $\underline{\mathbf{H}}^H$ denota la conjugada traspuesta de $\underline{\mathbf{H}}$. La descomposición en valores propios de $\underline{\mathbf{R}}$ puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{R}} = \underline{\mathbf{H}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}} = \underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{\Lambda}} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H , \tag{8}$$

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

$\underline{\mathbf{\Lambda}}$ es una matriz diagonal $T \times T$ de valores propios de $\underline{\mathbf{R}}$.

Una matriz unitaria $\underline{\mathbf{E}}$ está caracterizada por la propiedad $\underline{\mathbf{E}}^H \underline{\mathbf{E}} = \underline{\mathbf{I}}$, donde $\underline{\mathbf{I}}$ es la matriz identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí y cada columna tiene la potencia unidad. Los vectores propios en $\underline{\mathbf{E}}$ pueden utilizarse (1) para un procesamiento espacial por parte de la estación transmisora para transmitir datos en los S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}$ y (2) para un procesamiento espacial de receptor por parte de la estación receptora para recuperar los datos transmitidos en los S modos propios. La matriz diagonal $\underline{\mathbf{\Lambda}}$ contiene valores reales no negativos a lo largo de la diagonal y ceros en el resto de posiciones. Estas entradas diagonales se denominan como los valores propios de $\underline{\mathbf{H}}$ y representan las ganancias de potencia para los S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}$.

Para un sistema MIMO-OFDM, una matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ puede obtenerse para cada subbanda k y descomponerse para obtener los vectores propios $\underline{\mathbf{E}}(k)$ y los valores propios $\underline{\mathbf{\Lambda}}(k)$ para esa subbanda. Los S valores propios para cada subbanda k pueden ordenarse desde el más grande al más pequeño, y los S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}(k)$

se ordenarán por tanto desde la SNR más alta a la SNR más baja. Un modo propio m de banda ancha, para $m = 1, \dots, S$, puede formarse con un modo propio m para cada una de las K subbandas. El modo propio de banda ancha principal (con $m = 1$) está asociado con el valor propio más grande para cada una de las K subbandas, el segundo modo propio de banda ancha (con $m = 2$) está asociado con el segundo valor propio más grande para cada una de las K subbandas y demás.

La Tabla 3 resume el procesamiento espacial en la estación transmisora y en la estación receptora para los tres modos de transmisión proporcionados en la Tabla 2. Para cada subbanda se lleva a cabo el mismo procesamiento, y el índice de subbanda k no se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

	modo orientado	modo no orientado	Dispersión espacial
Transmisor	$\underline{x}_{es} = \underline{E} \cdot \underline{s}$	$\underline{x}_{us} = \underline{s}$	$\underline{x}_{ss} = \underline{V} \cdot \underline{s}$
Canal efectivo	$\underline{H}_{es} = \underline{H} \cdot \underline{E}$	$\underline{H}_{us} = \underline{H}$	$\underline{H}_{ss} = \underline{H} \cdot \underline{V}$
Símbolos recibidos	$\underline{r}_x = \underline{H} \cdot \underline{x}_x + \underline{n} = \underline{H}_x \cdot \underline{s} + \underline{n}$		
Receptor	$\underline{M}_{es} = \underline{\Lambda}^{-1} \cdot \underline{E}^H \cdot \underline{H}^H$	$\underline{M}_{ccmi}^{us} = [\underline{H}^H \cdot \underline{H}]^{-1} \cdot \underline{H}^H$	$\underline{M}_{ccmi}^{ss} = \underline{V}^H \cdot \underline{M}_{ccmi}^{us}$
CSI total/ CCMI	$\hat{\underline{s}}_{es} = \underline{M}_{es} \cdot \underline{r}_{es}$	$\hat{\underline{s}}_{ccmi}^{us} = \underline{M}_{ccmi}^{us} \cdot \underline{r}_{us}$	$\hat{\underline{s}}_{ccmi}^{ss} = \underline{M}_{ccmi}^{ss} \cdot \underline{r}_{ss}$
Receptor MMSE	$\underline{M}_{mmse}^x = [\underline{H}_x^H \cdot \underline{H}_x + \sigma_{ruido}^2 \cdot \underline{I}]^{-1} \cdot \underline{H}_x^H$ $\underline{D}_{mmse}^x = [\text{diag} [\underline{M}_{mmse}^x \cdot \underline{H}_x]]^{-1}$ $\hat{\underline{s}}_{mmse}^x = \underline{D}_{mmse}^x \cdot \underline{M}_{mmse}^x \cdot \underline{r}_x$		

En la Tabla 3, el subíndice "es" denota el modo orientado (u orientación propia), "us" denota el modo no orientado, "ss" denota el modo de dispersión espacial y "x" puede ser "es", "us", o "ss". σ_{ruido}^2 es la varianza del ruido AWGN en el canal MIMO. \underline{s} es un vector $T \times 1$ con M símbolos de datos que van a enviarse en una subbanda en un periodo de símbolo y $T - M$ ceros. \underline{V} es una matriz de orientación $T \times T$ utilizada para la dispersión espacial. \underline{x}_x es un vector $T \times 1$ con T símbolos de transmisión que van a enviarse desde las T antenas de transmisión en una subbanda en un periodo de símbolo para el modo de transmisión x . \underline{H}_x es una matriz de respuesta de canal efectivo $R \times T$ para el modo de transmisión x . \underline{M} es una matriz de filtro espacial $T \times R$ que puede obtenerse utilizando una técnica de CSI total, una técnica de inversión matricial de correlación de canal (CCMI) o una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE). $\hat{\underline{s}}$ es un vector $T \times 1$ de símbolos de datos detectados y es una estimación de \underline{s} . Las técnicas MMSE y CCMI pueden utilizarse 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 respuesta de canal efectivo \underline{H}_{es} , \underline{H}_{us} y \underline{H}_{ss} .

También puede utilizarse una cancelación sucesiva de interferencias para recuperar los M flujos de datos en M etapas. Cada etapa ℓ detecta un flujo de datos utilizando una de las técnicas de procesamiento espacial de receptor mostradas en la Tabla 3, descodifica el flujo de símbolos de datos detectado, estima la interferencia provocada por el flujo de datos descodificado en los flujos de datos no recuperados todavía y cancela la interferencia estimada de los flujos de símbolos recibidos para obtener flujos de símbolos modificados para la siguiente etapa $\ell + 1$. Después, la siguiente etapa $\ell + 1$ detectará, descodificará y cancelará otro flujo de datos.

A continuación se describen la selección de velocidad y el control de velocidad en bucle abierto para una transmisión de datos desde la estación A hasta la estación B en un sistema MIMO-OFDM TDD.

2. Bucle interno

El bucle interno selecciona las velocidades para los M flujos de datos enviados por la estación A a la estación B. Las componentes del bucle interno incluyen la estimación de SNR, la asignación de potencia y la selección de velocidad.

A. Estimación de SNR

La SNR recibida para cada subbanda de cada canal de transmisión en el enlace (B, A) puede determinarse en función de una señal piloto recibida a través del enlace (B, A) y de la técnica de procesamiento espacial de receptor utilizada por

la estación A. La señal piloto puede ser una señal piloto “limpia” enviada sin ningún procesamiento espacial, una señal piloto “orientada” enviada en los modos propios con $\underline{\mathbf{E}}$, o una señal piloto “dispersada” enviada en múltiples canales espaciales con $\underline{\mathbf{V}}$.

- 5 Para la técnica de CSI total para el modo orientado, la SNR recibida para cada subbanda k de cada modo propio m de banda ancha, $\gamma_{es,m}(k)$, puede expresarse como:

$$\gamma_{es,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k) \cdot \lambda_m(k)}{\sigma_{ruido}^2} \right), \quad \text{para } m = 1, \dots, S, \quad \text{Ec (9)}$$

- 10 donde $P_m(k)$ es la potencia de transmisión utilizada para la subbanda k de un modo propio m de banda ancha; y λ_m es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\Delta}(k)$ para la subbanda k .

- 15 Para la técnica MMSE para los tres modos de transmisión, la SNR recibida para cada subbanda k de cada canal espacial m de banda ancha, $\gamma_{mmse,m}(k)$, puede expresarse como:

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

- 20 donde $q_m(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}^x \cdot \underline{\mathbf{H}}_x$ para la subbanda k .

Para la técnica CCMI para los tres modos de transmisión, la SNR recibida para cada subbanda k de cada canal espacial m de banda ancha, $\gamma_{ccmi,m}(k)$, puede expresarse como:

$$\gamma_{ccmi,m}(k) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_{ruido}^2} \right), \quad \text{para } m = 1, \dots, S, \quad \text{Ec (11)}$$

- 25 donde $r_m(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\mathbf{R}}_x^{-1} = [\underline{\mathbf{H}}_x^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_x]^{-1}$ para la subbanda k .

- 30 En las ecuaciones (9), (10) y (11), $P_m(k) / \sigma_{ruido}^2$ es la SNR antes del procesamiento espacial de receptor y está en unidades lineales. Las cantidades $\gamma_{es,m}(k)$, $\gamma_{mmse,m}(k)$ y $\gamma_{ccmi,m}(k)$ son las SNR después del procesamiento espacial de receptor, están en unidades de decibelios (dB) y también se denominan como las SNR recibidas.

- 35 Para el modo de dispersión espacial, los S canales espaciales consiguen SNR recibidas similares debido a la dispersión espacial con matrices $\underline{\mathbf{V}}$ diferentes. Por consiguiente, puede utilizarse la misma velocidad para todos los flujos de datos enviados en estos canales espaciales. Con la dispersión espacial, una SNR media para todos los canales espaciales puede expresarse como:

$$\gamma_{mmse}(k) = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^S \frac{q_m(k)}{1 - q_m(k)} P_m(k) \right), \quad \text{y} \quad \text{Ec (12)}$$

$$\gamma_{ccmi}(k) = 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^S \frac{P_m(k)}{r_m(k) \cdot \sigma_{ruido}^2} \right). \quad \text{Ec (13)}$$

- 40 El cálculo de la media de SNR puede realizarse en unidades lineales, tal y como se muestra en las ecuaciones (12) y (13), o en unidades de dB.

La SNR recibida de cada flujo de datos también puede determinarse en función de los símbolos de datos detectados para ese flujo. Para la estimación de SNR basada en datos, la estación receptora realiza un procesamiento espacial en los símbolos de datos recibidos con la matriz de filtro espacial para cada subbanda para obtener los símbolos de datos detectados. Cada símbolo de datos detectado es normalmente un valor de múltiples bits (o una decisión flexible) que es una estimación de un símbolo de datos transmitido. La estación receptora puede convertir los símbolos de datos detectados en decisiones firmes, determinar la diferencia entre las decisiones flexibles y las decisiones firmes para cada símbolo de datos detectado en cada flujo de datos y calcular una potencia de error media para cada flujo de datos como la media de los cuadrados de magnitud de la diferencia entre las decisiones flexibles y las decisiones firmes para el flujo de datos. Después, la estación receptora puede obtener una SNR recibida basada en datos para cada flujo de datos basándose en la potencia de error media para ese flujo de datos.

La señal piloto se transmite normalmente de manera que las SNR recibidas basadas en señales piloto puedan obtenerse para todos los S canales espaciales, incluso si los datos se transmiten en menos de S canales espaciales. Las SNR recibidas basadas en datos pueden obtenerse para los M flujos de datos que se transmiten realmente. Tanto las SNR recibidas basadas en señales piloto como las SNR recibidas basadas en datos pueden utilizarse para seleccionar las velocidades para la transmisión de datos. Una discrepancia entre las SNR recibidas basadas en señales piloto y las basadas en datos puede ser indicativa de deficiencias en la estación transmisora y/o en la estación receptora. En este caso, la menor o la media de los dos tipos de SNR recibida pueden utilizarse para seleccionar la velocidad para cada flujo de datos.

B. Asignación de potencia

Las SNR recibidas para cada canal de transmisión (por ejemplo, cada modo propio de banda ancha o canal espacial de banda ancha) pueden variar en gran medida a través de las K subbandas totales. Puede conseguirse un mejor rendimiento utilizando determinadas subbandas para la transmisión de datos y/o asignando la potencia de transmisión disponible de diferentes maneras.

En una realización, solo se utilizan subbandas válidas para la transmisión de datos y las subbandas inadecuadas no se utilizan para la transmisión de datos. Para esta realización, la SNR recibida $\gamma_m(k)$ para cada subbanda puede determinarse en función de una potencia de transmisión nominal para la subbanda, por ejemplo, con la potencia de transmisión total para el canal de transmisión distribuido de manera uniforme a través de las K subbandas totales. Una subbanda puede considerarse como (1) una subbanda válida si su SNR recibida supera un umbral de SNR bajo, $\gamma_m(k) > \gamma_{umb_bajo}$, o como (2) una subbanda inadecuada, en caso contrario. La potencia de transmisión total para el canal de transmisión se distribuye de manera uniforme a través de subbandas válidas.

En otra realización, sólo las subbandas válidas se utilizan para la transmisión de datos, las subbandas inadecuadas no se utilizan para la transmisión de datos y la potencia de transmisión total para el canal de transmisión se distribuye de manera no uniforme a través de las subbandas válidas. Para esta realización, cada subbanda puede considerarse como una subbanda válida o como una subbanda inadecuada. Después, la potencia de transmisión total para el canal de transmisión se distribuye de manera uniforme a través de las subbandas válidas. La SNR recibida para cada subbanda válida se determina en función de la potencia de transmisión asignada a esa subbanda. Si la SNR recibida supera un umbral de SNR alto, $\gamma_m(k) > \gamma_{umb_alto}$, donde $\gamma_{umb_alto} > \gamma_{umb_bajo}$, entonces se asigna a la subbanda una potencia de transmisión suficiente para conseguir el umbral de SNR alto, y se recoge el exceso de potencia de transmisión. El exceso total de potencia de transmisión recogida de todas las subbandas válidas con SNR recibidas mayores que γ_{umb_alto} se redistribuye después (por ejemplo, de manera uniforme) a través de las otras subbandas válidas con SNR recibidas inferiores a γ_{umb_alto} . El proceso puede repetirse hasta que se agote todo el exceso de potencia. Esta realización recoge potencias de transmisión de subbandas inadecuadas y el exceso de potencias de transmisión de subbandas muy válidas y redistribuye las potencias de transmisión recogidas a través de las subbandas válidas.

En otra realización adicional, la inversión de canal se realiza de manera que todas las subbandas consigan SNR recibidas similares. Para esta realización, la cantidad de potencia de transmisión asignada a cada subbanda está inversamente relacionada con la SNR recibida para esa subbanda. Las subbandas con SNR recibidas inferiores tienen asignadas más potencias de transmisión, y las subbandas con SNR recibidas superiores tienen asignadas menos potencias de transmisión. Esta realización puede mejorar el rendimiento para determinados esquemas de codificación que prefieren una menor variación en las SNR recibidas a través de un paquete.

En otra realización adicional, sólo se utilizan subbandas válidas para la transmisión de datos, las subbandas inadecuadas no se utilizan para la transmisión de datos, y la inversión de canal se realiza a través de las subbandas válidas. Para esta realización, las subbandas válidas pueden identificarse en primer lugar en función del umbral de SNR γ_{umb_bajo} . Después, la potencia de transmisión total para el canal de transmisión se distribuye de manera no uniforme a través de las subbandas válidas de manera que esas subbandas consigan SNR recibidas similares.

Las subbandas también pueden seleccionarse para la transmisión de datos de otras maneras. La potencia de transmisión total para cada canal de transmisión también puede distribuirse a través de las subbandas seleccionadas de

otras maneras.

Para las realizaciones descritas anteriormente, los umbrales de SNR γ_{umb_bajo} y γ_{umb_alto} pueden ser valores fijos. Como alternativa, esos umbrales de SNR pueden ser una función de la velocidad utilizada para el canal de transmisión y/o de algunos otros factores. Por ejemplo, los valores más bajos pueden utilizarse para los umbrales de SNR para las velocidades más bajas, y los valores más altos pueden utilizarse para los umbrales de SNR para las velocidades más altas.

La asignación de potencia descrita anteriormente puede mejorar el rendimiento sin requerir una retroalimentación explícita de la estación receptora. La estación transmisora puede determinar las SNR recibidas para las subbandas de cada canal de transmisión basándose en la señal piloto de la estación receptora y puede utilizar esas SNR recibidas para seleccionar subbandas para la transmisión de datos y para distribuir la potencia de transmisión total a las subbandas seleccionadas. La estación receptora puede no necesitar conocer la selección de subbandas ni la distribución de potencia de transmisión por parte de la estación transmisora.

C. Selección de velocidad

La velocidad para cada flujo de datos puede seleccionarse de la siguiente manera. La SNR recibida para cada subbanda k utilizada para cada flujo de datos m puede calcularse tal y como se ha descrito anteriormente y se denota como $\gamma_m(k)$. Para un sistema MIMO-OFDM, las SNR recibidas para cada flujo de datos dependen normalmente de la frecuencia y dependen además del modo de transmisión y de la técnica de procesamiento espacial de receptor utilizada para la transmisión de datos. En la siguiente descripción, todas las cantidades de SNR están en unidades de dB.

La SNR media para cada flujo de datos m , $\gamma_{media,m}$, puede calcularse como:

$$\gamma_{media,m} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K \gamma_m(k) , \quad \text{para } m = 1, \dots, M . \quad \text{Ec (14)}$$

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

$$\sigma_{snr,m}^2 = \frac{1}{(K-1)} \cdot \sum_{k=1}^K (\gamma_m(k) - \gamma_{media,m})^2 , \quad \text{para } m = 1, \dots, M . \quad \text{Ec (15)}$$

Un factor de retroceso de variabilidad de SNR para cada flujo de datos m , $\gamma_{os,m}$, que se utiliza para representar la variabilidad en las SNR recibidas a través de las K subbandas puede calcularse como:

$$\gamma_{os,m} = K_{os} \cdot \sigma_{snr,m}^2 , \quad \text{para } m = 1, \dots, M , \quad \text{Ec (16)}$$

donde K_{os} es una constante utilizada para reducir la estimación de SNR a partir de la SNR media para reflejar el hecho de que muchos códigos de corrección de errores no manejan bien una gran variación de SNR a través de un paquete que va decodificarse. El factor K_{os} puede seleccionarse en función del código de corrección de errores y/o de la velocidad de código utilizada para el flujo de datos m . En general, el factor de retroceso de variabilidad de SNR puede calcularse en base a cualquier función de la SNR media y de la varianza de SNR, o

$$\gamma_{os,m} = F(\gamma_{media,m}, \sigma_{snr,m}^2) .$$

Un factor de retroceso MIMO para cada flujo de datos m para el modo orientado, $\gamma_{mimo,m}^{es}$, puede definirse como:

$$\gamma_{mimo,m}^{es} = \frac{m \cdot \beta}{K_d} , \quad \text{para } m = 1, \dots, M , \quad \text{Ec (17)}$$

donde β es una constante positiva y K_d es el orden de diversidad para la transmisión de datos. El factor β reduce la estimación de SNR para dar cuenta de los desajustes de velocidad que puedan producirse debido a (1) ruido en el enlace y en un proceso de estimación de SNR y (2) a una desalineación de los vectores de orientación utilizados por las

estaciones transmisoras y receptoras para el modo orientado. El factor β es normalmente una constante positiva próxima a la unidad (1,0).

El orden de diversidad K_d para el modo orientado puede darse como:

$$K_d = R - M + 1 . \quad \text{Ec (18)}$$

El orden de diversidad K_d representa la cantidad de diversidad espacial conseguida para la transmisión de datos. El orden de diversidad aumenta a medida que se utilizan más antenas de recepción para un número dado de flujos de datos. Un orden de diversidad superior corresponde normalmente a una menor variación en las SNR recibidas para cada flujo de datos.

El índice de flujo m de la ecuación (17) representa el hecho de que diferentes flujos de datos pueden tener diferentes cantidades de variabilidad de SNR para el modo orientado. El principal modo propio de banda ancha tiene la SNR media más alta y la menor variabilidad de SNR a través del tiempo y la frecuencia, y un factor de reducción MIMO más pequeño (con $m = 1$) puede utilizarse para este modo propio de banda ancha. El S -ésimo modo propio de banda ancha tiene la SNR media más baja y más variabilidad de SNR a través del tiempo y la frecuencia, y un factor de retroceso MIMO más grande (con $m = S$) puede utilizarse para este modo propio de banda ancha. El índice de flujo m también puede omitirse de la ecuación (17).

Un factor de retroceso MIMO para el modo no orientado y para el modo de dispersión espacial puede definirse como:

$$\gamma_{\text{mimo},m}^{\text{ss}} = \gamma_{\text{mimo},m}^{\text{us}} = \frac{\beta}{K_d(m)} , \quad \text{para } m = 1, \dots, M , \quad \text{Ec (19)}$$

donde $K_d(m)$ es el orden de diversidad observado por el flujo de datos m , que es:

$$K_d(m) = \begin{cases} R - M + 1 & \text{sin cancelación sucesiva de interferencias,} \\ R - M + m & \text{con cancelación sucesiva de interferencias} \end{cases} \quad \text{Ec (20)}$$

Con una cancelación sucesiva de interferencias, después de estimar y cancelar la interferencia debido al flujo de datos m , el orden de diversidad para cada flujo de datos posterior aumenta como si el flujo de datos m no se hubiera transmitido. Por ejemplo, si $R = 4$ y $M = 3$, entonces 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.

La estimación de SNR para cada flujo de datos puede calcularse como:

$$\gamma_{\text{est},m} = \gamma_{\text{media},m} - \gamma_{\text{os},m} - \gamma_{\text{mimo},m} - \gamma_{\text{externo},m} , \quad \text{para } m = 1, \dots, M , \quad \text{Ec(21)}$$

donde $\gamma_{\text{externo},m}$ es un factor de reducción de bucle externo para el flujo de datos m ;

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

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

El factor de retroceso MIMO $\gamma_{\text{mimo},m}$ puede determinarse tal y como se muestra en la ecuación (17) o (19) y puede utilizarse para representar diversas características asociadas con la transmisión MIMO. En general, los diversos factores descritos anteriormente (por ejemplo, K_{os} , K_d y β) pueden seleccionarse para maximizar el rendimiento y minimizar la tasa de error de paquete y pueden determinarse en función de una simulación de cálculo, mediciones empíricas, etc. La estimación de SNR también puede obtenerse en función de otros factores. Por ejemplo, un factor L puede utilizarse para representar variaciones en la longitud de los paquetes. Un paquete más grande requiere generalmente una SNR más alta para conseguir una PER dada.

Para un control de velocidad en bucle abierto, la estación transmisora A puede obtener las estimaciones de SNR para el enlace de recepción (B, A) tal y como se ha descrito anteriormente. Después, la estación A puede obtener las estimaciones de SNR para el enlace de transmisión (A, B) en función de las estimaciones de SNR para el enlace (B, A) y del parámetro ASYM, tal y como se muestra en la ecuación (6) o (7). La estación A puede utilizar las estimaciones de SNR para el enlace (A, B) para seleccionar las velocidades a utilizar para los flujos de datos enviados en el enlace (A, B) a la estación B.

En una realización, la velocidad para cada flujo de datos se selecciona de manera independiente en función de la estimación de SNR para ese flujo de datos. El sistema puede soportar un conjunto de velocidades. La Tabla 4 enumera un conjunto a modo de ejemplo de 14 velocidades soportadas por el sistema. Cada velocidad está asociada a una eficacia espectral específica, a una velocidad de código específica, a un esquema de modulación específico y a una SNR mínima específica requerida para conseguir una PER del 1% para un canal AWGN sin desvanecimiento de señal. La eficacia espectral se refiere a una velocidad de transferencia de datos normalizada por el ancho de banda del sistema y viene dada en unidades de bits por segundo por hercio (bps/Hz). La velocidad de código y el esquema de modulación para cada velocidad en la Tabla 4 son específicos del diseño de sistema a modo de ejemplo. Para cada velocidad no nula, la SNR requerida se obtiene en función del diseño de sistema específico (por ejemplo, la velocidad de código, el esquema de entrelazado y el esquema de modulación utilizado para esa velocidad) y para un canal AWGN. La SNR requerida puede obtenerse mediante una simulación de cálculo, una simulación informática, mediciones empíricas, etc.

Tabla 4

Índice de velocidad	Eficacia espectral (bps/Hz)	Velocidad de código	Esquema de modulación	SNR requerida (dB)
0	0,0	–	–	–
1	0,25	1/4	BPSK	-1,8
2	0,5	1/2	BPSK	1,2
3	1,0	1/2	QPSK	4,2
4	1,5	3/4	QPSK	6,8
5	2,0	1/2	16 QAM	10,1
6	2,5	5/8	16 QAM	11,7
7	3,0	3/4	16 QAM	13,2
8	3,5	7/12	64 QAM	16,2
9	4,0	2/3	64 QAM	17,4
10	4,5	3/4	64 QAM	18,8
11	5,0	5/6	64 QAM	20,0
12	6,0	3/4	256 QAM	24,2
13	7,0	7/8	256 QAM	26,3

Una tabla de consulta puede utilizarse para almacenar el conjunto de velocidades soportadas y la SNR requerida para cada velocidad soportada. La estimación de SNR para cada flujo de datos puede proporcionarse a la tabla de consulta y compararse con las SNR requeridas para las velocidades soportadas. Después, la tabla de consulta proporciona una velocidad seleccionada para cada flujo de datos, que es la velocidad soportada con el mayor rendimiento y una SNR requerida que es inferior o igual a la estimación de SNR para ese flujo de datos.

En otra realización, las velocidades para los M flujos de datos se seleccionan con una compartición de márgenes. La velocidad para cada flujo de datos se selecciona inicialmente en función de la estimación de SNR para ese flujo de datos, tal y como se ha descrito anteriormente. Se determina el margen de SNR para cada flujo de datos. Después se calcula el margen de SNR total y se distribuye entre los flujos de datos de manera que pueda aumentarse una o más velocidades para uno o más flujos de datos.

En otra realización adicional, las velocidades para los M flujos de datos se seleccionan conjuntamente en función de las estimaciones de SNR para esos flujos de datos. El sistema puede soportar un conjunto de velocidades cuantificadas vectorialmente en el que sólo se permiten determinadas combinaciones de velocidades. Cada combinación de velocidad indica un número particular de flujos de datos a transmitir y la velocidad a utilizar para cada flujo de datos. Una combinación de velocidad con el rendimiento global más alto puede seleccionarse en función de las estimaciones de SNR para los flujos de datos.

El número de flujos de datos a transmitir (M) también puede seleccionarse en función de las estimaciones de SNR. En una realización, el rendimiento global se calcula para cada uno de los posibles números de flujos de datos, por ejemplo, para M = 1, 2, ..., S. Para cada valor de M, la potencia de transmisión total se distribuye (por ejemplo, de manera uniforme) a través de M flujos de datos, las SNR recibidas se calculan para cada flujo de datos en función de la potencia de transmisión asignada, la estimación de SNR se obtiene para cada flujo de datos y se utiliza para seleccionar la

velocidad para ese flujo de datos, y el rendimiento global se calcula como la suma de las velocidades de datos seleccionadas para los M flujos de datos. Se determina el mayor rendimiento global entre los S rendimientos globales calculados para los S diferentes números posibles de flujos de datos, y el número de flujos de datos que proporciona este mayor rendimiento global se selecciona como M.

Para el modo de dispersión espacial, el número óptimo de flujos de datos es raramente igual al número de canales espaciales. La transmisión simultánea de S flujos de datos da normalmente como resultado una diafonía excesiva. Por tanto, el rendimiento global que puede conseguirse con S flujos de datos es normalmente inferior al rendimiento global que puede conseguirse con S-1 o menos flujos de datos. Para el modo de dispersión espacial, M puede estar limitado como $M \leq S-1$.

El modo de transmisión a utilizar para la transmisión de datos puede seleccionarse en función de la antigüedad de los vectores de orientación. Si los vectores de orientación son lo suficientemente recientes, entonces los flujos de datos transmitidos con estos vectores de orientación serán adecuados para el canal inalámbrico y la estación receptora recibirá flujos de datos ortogonales. A medida que aumentan los desajustes entre los vectores de orientación y el canal inalámbrico, la ganancia de la orientación propia disminuye debido a una mayor diafonía entre los flujos de datos. En estas condiciones, puede ser más apropiado utilizar el modo de dispersión espacial para la transmisión de datos. El modo de transmisión también puede seleccionarse en función de 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, el tipo de tráfico de datos al que va a darse servicio, etc.

3. Bucle externo

En una realización, el parámetro ASYM es fijo y el bucle externo ajusta el factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos para conseguir la PER objetivo para ese flujo de datos. El factor de retroceso de bucle externo puede mantenerse de manera independiente para cada flujo de datos si los paquetes para cada flujo de datos se codifican por separado y la retroalimentación es por paquete o por ráfaga. El factor de retroceso de bucle externo para cada flujo de datos m puede actualizarse de la siguiente forma:

$$\gamma_{\text{externo},m}(n) = \begin{cases} \gamma_{\text{externo},m}(n-1) + \delta_m & \text{para paquete borrado,} \\ \max \{C, \gamma_{\text{externo},m}(n-1) - P_m \cdot \delta_m\} & \text{para paquete válido,} \end{cases} \quad \text{Ec (22)}$$

donde δ_m es un valor de incremento del factor de reducción de bucle externo para un paquete borrado;

P_m es la fracción de δ_m que ha de restarse para un paquete válido; y

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

C es un valor constante que normalmente es positivo pero que también puede ser negativo.

El valor de incremento δ_m determina la velocidad de convergencia para el bucle externo. El factor de retroceso de bucle externo puede inicializarse al principio de la transmisión de datos en un valor predeterminado (por ejemplo, a cero o a algún otro valor) y, por lo tanto, puede actualizarse en función del estado de los paquetes recibidos en función de la ACK/NAK.

El factor P_m determina la tasa de error de paquete para el flujo de datos m y puede expresarse como:

$$P_m = \frac{\text{PER}_m}{1 - \text{PER}_m}, \quad \text{Ec (23)}$$

donde PER_m es la PER objetivo para el flujo de datos m . Por ejemplo, si $\text{PER}_m = 0,01$ para una PER del 1%, entonces $P_m = 0,0101 = 1/99$.

Para flujos de datos codificados conjuntamente, un único paquete puede codificarse, dividirse y enviarse a través de esos flujos de datos. En este caso, puede ser difícil determinar cuál de los flujos de datos provocó un error de paquete. Para cada flujo de datos puede mantenerse un margen de SNR. El margen de SNR para el flujo de datos m se calcula como la diferencia entre la SNR requerida para la velocidad seleccionada y la estimación de SNR para ese flujo de datos. Para cada paquete borrado, puede suponerse que el flujo de datos con el margen de SNR más pequeño ha provocado el error de paquete, y el factor de retroceso de bucle externo para este flujo de datos puede incrementarse. Para cada paquete

válido, los factores de retroceso de bucle externo para todos los flujos de datos pueden disminuirse. Si todos los flujos de datos tienen márgenes de SNR prácticamente idénticos, lo que es normalmente el caso para el modo de dispersión espacial, entonces puede mantenerse un único factor de retroceso de bucle externo para todos los flujos de datos.

- 5 En otra realización, el bucle externo ajusta el parámetro ASYM basándose en las ACK para conseguir la PER objetivo. El parámetro ASYM puede actualizarse de la siguiente manera:

$$\text{ASYM}(n) = \begin{cases} \text{ASYM}(n) + \Delta_{\text{ASYM}} & \text{para paquete borrado,} \\ \text{ASYM}(n) - \Delta_{\text{ASYM}} \cdot P_m & \text{para paquete válido,} \end{cases} \quad \text{Ec (24)}$$

donde Δ_{ASYM} es un valor de incremento para el parámetro ASYM para un paquete borrado.

- 10 La descripción anterior es para una realización específica de los bucles internos y externos. Para esta realización, el bucle interno selecciona el modo de transmisión, el número de flujos de datos y la velocidad para cada flujo de datos en función de las SNR recibidas y de otros parámetros. El bucle externo ajusta uno o más de los parámetros en función de la retroalimentación ACK. La selección de velocidad y el control de velocidad también pueden llevarse a cabo de otras maneras. Por ejemplo, el bucle externo puede controlar el bucle interno para reducir o aumentar el número de flujos de datos, ajustar una o más velocidades para uno o más flujos de datos, etc.

- 20 En otra realización de los bucles internos y externos, la antena transmisora A transmite un único flujo de datos a una velocidad que puede seleccionarse en función del parámetro ASYM, tal y como se ha descrito anteriormente. La estación A determina el margen SNR para el flujo de datos y selecciona la siguiente velocidad más alta para el flujo de datos si el margen de SNR es positivo y la(s) transmisión(es) de paquete más reciente(s) es/son satisfactoria(s). La estación A permite un flujo adicional una vez que se haya alcanzado la velocidad más alta para los flujos de datos actuales. Cuando se habilita el flujo de datos adicional, el rendimiento global está limitado a un valor X veces (por ejemplo, $X \approx 1,3$) mayor que el rendimiento global anterior y se distribuye (por ejemplo, de manera uniforme) entre los flujos de datos habilitados.
- 25 La estación A puede seleccionar la siguiente velocidad más alta para uno o ambos flujos de datos si el margen de SNR sigue siendo positivo y las transmisiones de paquetes siguen siendo satisfactorias. Pueden habilitarse flujos de datos adicionales de manera similar. Si se produce la situación de un paquete borrado (por ejemplo, no se recibe una ACK), entonces la estación A puede (1) reducir la velocidad para uno o más flujos de datos o seleccionar la última combinación de velocidades válida conocida y/o (2) reducir el número de flujos de datos. Por ejemplo, la estación A puede reducir la velocidad si la SNR recibida es relativamente estática y puede reducir el número de flujos de datos si la SNR recibida ha cambiado de manera brusca. La estación A también puede reducir la velocidad global en un algún porcentaje (por ejemplo, el 50%) si la reducción de velocidad y/o de flujos todavía da como resultado errores de paquete.

- 35 También pueden implementarse otros diseños para los bucles internos y externos, y esto está dentro del alcance de la invención.

- 40 Un sistema incluye normalmente múltiples puntos de acceso y múltiples terminales de usuario. Cada punto de acceso puede transmitir de manera periódica una señal piloto (o una baliza) y otra señalización. Un terminal de usuario puede buscar señales piloto a partir de los puntos de acceso y puede acceder y registrarse con cada punto de acceso cuya señal piloto se haya recibido con la suficiente intensidad. Puede intercambiarse información pertinente durante el registro para permitir que tanto el terminal de usuario como el punto de acceso determinen los parámetros ASYM para sus enlaces.

- 45 Para la transmisión de datos de enlace ascendente desde el terminal de usuario al punto de acceso, el terminal de usuario puede obtener estimaciones de SNR para el enlace descendente en función de la señal piloto transmitida periódicamente por el punto de acceso y/o la última transmisión de enlace descendente al terminal de usuario. Después, el terminal de usuario puede obtener estimaciones de SNR para el enlace ascendente en función de las estimaciones de SNR de enlace descendente y del parámetro ASYM y puede seleccionar una o más velocidades para la transmisión de enlace ascendente en función de las estimaciones de SNR de enlace ascendente.

- 50 Para la transmisión de datos de enlace descendente desde el punto de acceso al terminal de usuario, el punto de acceso puede no recibir ninguna transmisión desde el terminal de usuario y es posible que no pueda obtener estimaciones de SNR de enlace ascendente. En este caso, el punto de acceso puede empezar con un único flujo de datos y puede utilizar una velocidad predeterminada. En una realización, esta velocidad puede ser una velocidad media (por ejemplo, 24 Mbps para IEEE 802.11a), la última velocidad válida conocida para el terminal de usuario, la velocidad más alta o alguna otra velocidad. Si se intercambian tramas de control antes de la transmisión de datos, entonces el punto de acceso puede transmitir inicialmente una trama de control a la velocidad predeterminada y/o utilizar las velocidades requeridas para la transmisión de tramas de control (por ejemplo, una de las velocidades básicas de 6 Mbps, 12 Mbps o 24 Mbps para IEEE 802.11a) y puede reducir progresivamente la velocidad hasta que la trama de control se reciba correctamente. Después, la velocidad para la transmisión de datos puede seleccionarse en función de la velocidad para la trama de control y/o de

información obtenida a partir de una trama de respuesta de control.

Las técnicas de control de velocidad descritas en este documento pueden implementarse de varias maneras. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, software o en una combinación de los mismos. Para una implementación en hardware, las unidades de procesamiento utilizadas para realizar el control de velocidad en una estación transmisora (por ejemplo, el estimador de canal 322, el selector de velocidad 334, la unidad de ajuste de velocidad 338, etc.) pueden implementarse en uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos de lógica programable (PLD), matrices de puertas programables de campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en este documento, o una combinación de los mismos, cada uno de los cuales puede acoplarse según sea apropiado en uno o más dispositivos. Las unidades de procesamiento utilizadas para soportar el control de velocidad en una estación receptora también pueden implementarse en uno o más ASIC, DSP, procesadores, etc.

Para una implementación en software, las técnicas de control de velocidad pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que lleven a cabo las funciones descritas en este documento. Los códigos de software pueden almacenarse en una unidad de memoria (por ejemplo, la unidad de memoria 342 de la FIG. 3) y ejecutarse por un procesador (por ejemplo, el controlador 340 de la FIG. 3). La unidad de memoria puede implementarse dentro del procesador o de manera externa al procesador, en cuyo caso puede acoplarse de manera comunicativa al procesador a través de varios medios, tal y como se conoce en la técnica.

Los encabezados se incluyen en este documento a modo de referencia y para ayudar a localizar determinadas secciones. Estos encabezados no pretenden limitar el alcance de los conceptos descritos en los mismos, y estos conceptos pueden aplicarse a otras secciones a lo largo de toda la memoria descriptiva.

La descripción anterior de las realizaciones dadas a conocer se proporciona para que cualquier experto en la técnica lleve a cabo o utilice la presente invención. Varias modificaciones de estas realizaciones resultarán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en este documento pueden aplicarse a otras realizaciones sin apartarse del alcance de la invención. Por lo tanto, la presente invención no pretende limitarse a las realizaciones mostradas en este documento, sino que se le concede el alcance más amplio compatible con los principios y características novedosas dados a conocer en este documento.

Otros aspectos:

En un aspecto, un aparato que comprende un procesador operativo para estimar la calidad de canal de un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; y un controlador operativo para estimar la calidad de canal de un segundo enlace de comunicación en base a la calidad de canal estimada del primer enlace de comunicación y un parámetro asimétrico, en el que el parámetro asimétrico es indicativo de una diferencia en calidades de canal del primer y segundo enlaces de comunicación. En el aparato, el procesador puede ser operativo para derivar una estimación de relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para un primer canal de transmisión en el primer enlace de comunicación en base a la transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación, y el controlador puede ser operativo para derivar una estimación de SNR para un segundo canal de transmisión en el segundo enlace de comunicación en base a la estimación de SNR para el primer canal de transmisión y el parámetro asimétrico y para seleccionar una velocidad para el segundo canal de transmisión en base a la estimación de SNR para el segundo canal de transmisión. En el aparato, el procesador puede ser operativo para determinar al menos una SNR recibida para al menos una subbanda de frecuencia del primer canal de transmisión y para derivar la estimación de SNR para el primer canal de transmisión en base a al menos una SNR recibida. En el aparato, el procesador puede ser operativo para derivar la estimación de SNR para el primer canal de transmisión además en base a un orden de diversidad para el primer canal de transmisión. En el aparato, el procesador puede ser operativo para derivar la estimación de SNR para el primer canal de transmisión en base además a un factor que da cuenta de la variabilidad en al menos una SNR recibida. En el aparato, el procesador puede ser operativo para determinar la al menos una SNR recibida en base a una técnica de procesamiento espacial del receptor utilizada por una estación de recepción para la transmisión de datos. En el aparato, el controlador puede ser operativo para determinar el parámetro asimétrico en base a las capacidades de una estación de transmisión y las capacidades de una estación de recepción para la transmisión de datos. En el aparato, las capacidades de cada una de las estaciones de transmisión y de recepción pueden comprender la potencia de transmisión máxima, la figura de ruido del receptor y el número de antenas de recepción. En el aparato, el parámetro asimétrico puede ser indicativo de una diferencia entre una relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para el primer enlace de comunicación y una SNR para el segundo enlace de comunicación. En el aparato, el controlador puede ser operativo para determinar el parámetro asimétrico en base a una SNR recibida para el primer enlace de comunicación y una SNR recibida para el segundo enlace de comunicación. En el aparato, el controlador puede ser operativo para ajustar el parámetro asimétrico en base al rendimiento de la transmisión de datos. En el aparato, el controlador puede ser operativo para recibir retroalimentación para paquetes enviados para la transmisión de datos y para ajustar el parámetro asimétrico en base a la retroalimentación recibida. En el aparato, el procesador puede ser operativo para seleccionar al menos un régimen para una transmisión de datos a través del segundo enlace de comunicación en base a la calidad de canal estimada del segundo enlace de comunicación. En el aparato, el controlador puede ser operativo para seleccionar la al menos una velocidad adicional en base a un factor de

retroceso. En el aparato, el controlador puede ser operativo para recibir retroalimentación para paquetes enviados para la transmisión de datos y para ajustar el factor de retroceso en base a la retroalimentación recibida. En el aparato, el controlador puede ser operativo para ajustar al menos una velocidad, para variar el número de flujos de datos, o ambos, en base al rendimiento de la transmisión de datos.

5 En un aspecto, un procedimiento de realización de selección de velocidad, que comprende estimar la calidad de canal de un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; estimar la calidad de canal de un segundo enlace de comunicación en base a la calidad de canal estimada del primer enlace de comunicación y un parámetro asimétrico indicativo de una diferencia en calidades de canal del primer y
10 segundo enlaces de comunicación; y seleccionar al menos una velocidad para una transmisión de datos a través del segundo enlace de comunicación en base a la calidad de canal estimada del segundo enlace de comunicación. En el procedimiento, la estimación de la calidad de canal del primer enlace de comunicación puede comprender derivar una relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para un primer canal de transmisión en el primer enlace de comunicación en base a la transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación, la estimación de calidad de canal del
15 segundo enlace de comunicación puede comprender derivar una estimación de SNR para un segundo canal de transmisión en el segundo enlace de comunicación en base a la estimación de SNR para el primer canal de transmisión y el parámetro asimétrico, y la selección de la al menos una velocidad puede comprender seleccionar una velocidad para el segundo canal de transmisión en base a la estimación de SNR para el segundo canal de transmisión. El procedimiento puede comprender además determinar el parámetro asimétrico en base a las capacidades de una estación de
20 transmisión y las capacidades de una estación de recepción para la transmisión de datos. El procedimiento también puede comprender determinar el parámetro asimétrico en base a una relación de señal a ruido e interferencia (SNR) recibida para el primer enlace de comunicación y una SNR recibida para el segundo enlace de comunicación. El procedimiento también puede comprender ajustar el parámetro asimétrico en base al rendimiento de la transmisión de datos. El procedimiento puede comprender además ajustar un factor de retroceso en base al rendimiento de la
25 transmisión de datos, y en el que la al menos una velocidad puede seleccionarse además en base al factor de retroceso.

En un aspecto, un aparato que comprende medios para estimar la calidad de canal de un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; y medios para estimar la calidad de canal de un segundo enlace de comunicación en base a la calidad de canal estimada del primer enlace de comunicación
30 y un parámetro asimétrico indicativo de una diferencia en calidades de canal del primer y segundo enlaces de comunicación. El aparato también puede comprender medios para seleccionar al menos un régimen para una transmisión de datos a través del segundo enlace de comunicación en base a la calidad de canal estimada del segundo enlace de comunicación. En el aparato, los medios para estimar la calidad de canal del primer enlace de comunicación puede comprender medios para derivar una relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para un primer canal de
35 transmisión en el primer enlace de comunicación en base a la transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación, medios para estimar la calidad de canal del segundo enlace de comunicación puede comprender medios para derivar una estimación de SNR para un segundo canal de transmisión en el segundo enlace de comunicación en base a la estimación de SNR para el primer canal de transmisión y el parámetro asimétrico, y los medios para seleccionar la al menos una velocidad pueden comprender medios para seleccionar una velocidad para el segundo canal
40 de transmisión en base a la estimación de SNR para el segundo canal de transmisión. El aparato puede comprender además medios para determinar el parámetro asimétrico en base a las capacidades de una estación de transmisión y las capacidades de una estación de recepción para la transmisión de datos. El aparato también puede comprender medios para determinar el parámetro asimétrico en base a una relación de señal a ruido e interferencia (SNR) recibida para el primer enlace de comunicación y una SNR recibida para el segundo enlace de comunicación. El aparato también puede comprender medios para ajustar el parámetro asimétrico en base al rendimiento de la transmisión de datos. El aparato
45 puede comprender además medios para ajustar un factor de retroceso en base al rendimiento de la transmisión de datos, y en el que la al menos una velocidad puede seleccionarse además en base al factor de retroceso.

En un aspecto, un aparato que comprende un procesador operativo para derivar una primera pluralidad de estimaciones de relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para una primera pluralidad de canales de transmisión en un primer
50 enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; y un controlador operativo para derivar una segunda pluralidad de estimaciones de SNR para una segunda pluralidad de canales de transmisión en un segundo enlace de comunicación en base a la primera pluralidad de estimaciones de SNR y un parámetro asimétrico y para seleccionar una pluralidad de velocidades para la segunda pluralidad de canales de
55 transmisión en base a la segunda pluralidad de estimaciones de SNR. En el aparato, el procesador puede ser operativo para determinar SNR recibidas para una pluralidad de subbandas de frecuencia de cada uno de la primera pluralidad de canales de transmisión y para derivar una estimación de SNR para cada uno de la primera pluralidad de canales de transmisión en base a las SNR recibidas. En el aparato, el procesador puede ser operativo para determinar las SNR recibidas para cada uno de la primera pluralidad de canales de transmisión en base a una técnica de procesamiento del receptor utilizada por una estación de recepción para una transmisión de datos en la segunda pluralidad de canales de
60 transmisión. El aparato puede comprender además un segundo procesador operativo para codificar y modular una pluralidad de flujos de datos en base a la pluralidad de velocidades. El aparato puede comprender además un segundo procesador operativo para procesar espacialmente una pluralidad de flujos de datos para un modo dirigido, un modo no dirigido o un modo de dispersión espacial. En el aparato, la segunda pluralidad de canales de transmisión puede ser una pluralidad de canales espaciales de un canal de múltiples salidas y múltiples entradas (MIMO). En el aparato, la segunda pluralidad de canales de transmisión puede ser una pluralidad de modos propios de un canal de múltiples salidas y de
65

múltiples entradas (MIMO).

En un aspecto, un procedimiento que comprende derivar una primera pluralidad estimaciones de relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para una primera pluralidad de canales de transmisión en un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; derivar una segunda pluralidad de estimaciones de SNR para una segunda pluralidad de canales de transmisión sobre un segundo enlace de comunicación en base a la primera pluralidad de estimaciones de SNR y un parámetro asimétrico; y seleccionar una pluralidad de velocidades para la segunda pluralidad de canales de transmisión en base a la segunda pluralidad de estimaciones de SNR. En el procedimiento, la derivación de la primera pluralidad de estimaciones de SNR puede comprender la determinación de SNR recibidas para una pluralidad de subbandas de frecuencia de cada uno de la primera pluralidad de canales de transmisión; y derivar una estimación de SNR para cada uno de la primera pluralidad de canales de transmisión en base a las SNR recibidas. El procedimiento puede comprender además el procesamiento espacial de una pluralidad de flujos de datos para un modo dirigido, un modo no dirigido o un modo de dispersión espacial.

En un aspecto, un aparato que comprende medios para derivar una primera pluralidad de estimaciones de relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para una primera pluralidad de canales de transmisión en un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; medios para derivar una segunda pluralidad de estimaciones de SNR para una segunda pluralidad de canales de transmisión sobre un segundo enlace de comunicación en base a la primera pluralidad de estimaciones de SNR y un parámetro asimétrico; y medios para seleccionar una pluralidad de velocidades para la segunda pluralidad de canales de transmisión en base a la segunda pluralidad de estimaciones de SNR. En el aparato, los medios para derivar la primera pluralidad de estimaciones de SNR pueden comprender medios para determinar SNR recibidas para una pluralidad de subbandas de frecuencia de cada uno de la primera pluralidad de canales de transmisión, y medios para derivar una estimación de SNR para cada una de la primera pluralidad de los canales de transmisión basados en las SNR recibidas. El aparato puede comprender además medios para codificar y modular una pluralidad de flujos de datos en base a la pluralidad de velocidades. El aparato puede comprender además medios para procesar espacialmente una pluralidad de flujos de datos para un modo dirigido, un modo no dirigido o un modo de dispersión espacial.

En un aspecto, un aparato que comprende un procesador operativo para derivar al menos una estimación de la señal a ruido e interferencia (SNR) para un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; y un controlador operativo para derivar al menos una estimación de SNR para un segundo enlace de comunicación en base a la al menos una estimación de SNR para el primer enlace de comunicación, para permitir al menos un flujo de datos, seleccionar al menos una velocidad para al menos uno de los datos de acuerdo con la al menos una estimación de SNR para el segundo enlace de comunicación, y para ajustar la transmisión de al menos un flujo de datos en base a la retroalimentación recibida para paquetes en al menos un flujo de datos. En el aparato, el controlador puede ser además operativo para determinar al menos un margen de SNR para al menos un flujo de datos y para ajustar la transmisión del al menos un flujo de datos además en base al al menos un margen de SNR. En el aparato, el controlador puede estar operativo para habilitar inicialmente un único flujo de datos y para seleccionar una velocidad para el único flujo de datos en base a una estimación de SNR para el segundo enlace de comunicación y un parámetro asimétrico. En el aparato, el controlador puede ser operativo para aumentar la velocidad para el único flujo de datos si los paquetes en el único flujo de datos se decodifican correctamente. En el aparato, el controlador puede ser operativo para habilitar un flujo de datos adicional si los paquetes en al menos un flujo de datos habilitado se decodifican correctamente y se considera que el flujo de datos adicional es sostenible. En el aparato, el controlador puede ser operativo para distribuir uniformemente el rendimiento global entre todos los flujos de datos habilitados cuando el flujo de datos adicional está habilitado. En el aparato, el controlador puede estar operativo para incrementar el rendimiento global para todos los flujos de datos habilitados hasta un porcentaje predeterminado cuando se habilita el flujo de datos adicional. En el aparato, el controlador puede estar operativo para deshabilitar un flujo de datos habilitado si un paquete en cualquiera de al menos un flujo de datos habilitado se decodifica por error. En el aparato, el controlador puede estar operativo para reducir una velocidad para un flujo de datos habilitado si un paquete en el flujo de datos habilitado se decodifica por error.

En un aspecto, un procedimiento de transmisión de datos comprende derivar al menos una estimación de la señal a ruido e interferencia (SNR) para un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; y derivar al menos una estimación de SNR para un segundo enlace de comunicación en base a la al menos una estimación de SNR para el primer enlace de comunicación; permitir al menos un flujo de datos; seleccionar al menos una velocidad para al menos uno de los datos de acuerdo con la al menos una estimación de SNR para el segundo enlace de comunicación; y ajustar la transmisión de al menos un flujo de datos en base a la retroalimentación recibida para paquetes en al menos un flujo de datos. El procedimiento puede comprender además determinar al menos un margen de SNR para al menos un flujo de datos, y en el que la transmisión del al menos un flujo de datos se ajusta adicionalmente en base al al menos un margen SNR. El procedimiento puede comprender además permitir un flujo de datos adicional si los paquetes en al menos un flujo de datos habilitado se decodifican correctamente y se considera que el flujo de datos adicional es sostenible. El procedimiento puede comprender además deshabilitar un flujo de datos habilitado si un paquete en cualquiera de al menos un flujo de datos habilitado se decodifica por error. El procedimiento puede comprender además la reducción de una tasa para un flujo de datos habilitado si un paquete en el flujo de datos habilitado se decodifica por error.

5 En un aspecto, un aparato que comprende medios para derivar al menos una estimación de señal a ruido e interferencia (SNR) para un primer enlace de comunicación en base a una transmisión recibida a través del primer enlace de comunicación; medios para derivar al menos una estimación de SNR para un segundo enlace de comunicación en base a al menos una estimación de SNR para el primer enlace de comunicación; medios para habilitar al menos un flujo de datos; medios para seleccionar al menos una velocidad para al menos un flujo de datos en base a al menos una estimación de SNR para el segundo enlace de comunicación; y medios para ajustar la transmisión de al menos un flujo de datos en base a la retroalimentación recibida para paquetes en al menos un flujo de datos. El aparato puede comprender además medios para determinar al menos un margen de SNR para al menos un flujo de datos, y en el que la transmisión del al menos un flujo de datos se ajusta adicionalmente en base al al menos un margen de SNR.

10 En un aspecto, un aparato que comprende un primer procesador operativo para determinar las relaciones de señal a ruido e interferencia (SNR) recibidas para una primera pluralidad de subbandas de un primer canal de transmisión en un primer enlace de comunicación en base a una transmisión piloto recibida a través del primer enlace de comunicación; un controlador operativo para seleccionar al menos una subbanda entre una segunda pluralidad de subbandas de un segundo canal de transmisión sobre un segundo enlace de comunicación en base a las SNR recibidas para el primer canal de transmisión; y un segundo procesador operativo para procesar datos para la transmisión sobre la al menos una subbanda del segundo canal de transmisión. En el aparato, el controlador puede ser operativo para seleccionar cada subbanda entre la primera pluralidad de subbandas que tiene una SNR recibida que excede una SNR umbral, y la al menos una subbanda seleccionada para el segundo canal de transmisión puede corresponder a al menos una subbanda seleccionada para el primer canal de transmisión. En el aparato, el controlador puede ser operativo para asignar potencia de transmisión uniformemente entre la por lo menos una subbanda. En el aparato, el controlador puede ser operativo para asignar potencia de transmisión entre la al menos una subbanda para conseguir SNR recibidas similares para la al menos una subbanda. En el aparato, el controlador puede ser operativo para asignar potencia de transmisión entre la al menos una subbanda, de manera que una SNR recibida para cada una de la al menos una subbanda está dentro de un intervalo predeterminado de SNR.

25 En un aspecto, un procedimiento de transmisión de datos, que comprende determinar relaciones de señal a ruido e interferencia (SNR) recibidas para una primera pluralidad de subbandas de un primer canal de transmisión en un primer enlace de comunicación en base a una transmisión piloto recibida a través del primer enlace de comunicación; seleccionar al menos una subbanda entre una segunda pluralidad de subbandas de un segundo canal de transmisión sobre un segundo enlace de comunicación en base a las SNR recibidas para el primer canal de transmisión; y procesar datos para la transmisión sobre la al menos una subbanda del segundo canal de transmisión. En el procedimiento, la selección de al menos una subbanda entre la segunda pluralidad de subbandas puede comprender seleccionar cada subbanda entre la primera pluralidad de subbandas que tiene una SNR recibida que excede un SNR umbral y la al menos una subbanda seleccionada para el segundo canal de transmisión puede corresponder a la al menos una subbanda seleccionada para el primer canal de transmisión. El procedimiento puede comprender además la asignación de potencia de transmisión para el segundo canal de transmisión entre la al menos una subbanda.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para comunicaciones inalámbricas, que comprende:
 - 5 estimar (116, 218) una relación de señal a ruido y de interferencia, SNR, para un canal de transmisión en un primer enlace de comunicación en base a una SNR estimada para un canal de transmisión en un segundo enlace de comunicación y un parámetro asimétrico, que indica una diferencia en la calidad de canal entre el primer y el segundo enlaces de comunicación, en el que la SNR estimada del segundo enlace de comunicación se calcula reduciendo una SNR promedio de un flujo de datos enviado en un canal de transmisión a través del segundo enlace de comunicación por al menos un factor de retroceso;
 - 10 seleccionar (118, 220) una velocidad para una transmisión de datos en el primer enlace de comunicación en base a la SNR estimada del primer enlace de comunicación;
 - 15 transmitir (222) un flujo de datos a la velocidad seleccionada a través del primer enlace de comunicación;
 - recibir, a través del segundo enlace de comunicación, retroalimentación ACK/NAK para paquetes enviados en el flujo de datos transmitido; y
 - 20 ajustar (120, 228) el al menos un factor de retroceso en base a la retroalimentación ACK/NAK recibida.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que al menos un factor de retroceso comprende al menos un factor de retroceso para cada una de una pluralidad de flujos de datos.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el factor de retroceso para cada flujo de datos depende de un orden de diversidad correspondiente para ese flujo de datos.
4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que un orden de diversidad más alto corresponde a un factor de retroceso más bajo.
- 30 5. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que al menos un factor de retroceso para cada flujo de datos comprende un factor de retroceso MIMO de múltiples entradas y de múltiples salidas para cada flujo de datos para representar características asociadas con transmisiones MIMO.
- 35 6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el factor de retroceso representa la variabilidad en SNR a través de una pluralidad de subbandas.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que ajustar al menos un factor de retroceso comprende calcular el al menos un factor de retroceso en base a una función de la varianza SNR y la SNR promedio.
- 40 8. Un aparato para comunicaciones inalámbricas, que comprende:
 - 45 medios para estimar una relación de señal a ruido y de interferencia, SNR, para un canal de transmisión en un primer enlace de comunicación en base a una SNR estimada para un canal de transmisión en un segundo enlace de comunicación y un parámetro asimétrico, que indica una diferencia en la calidad de canal entre el primer y el segundo enlaces de comunicación, en el que la SNR estimada del segundo enlace de comunicación se calcula reduciendo una SNR promedio de un flujo de datos enviado en un canal de transmisión a través del segundo enlace de comunicación por al menos un factor de retroceso;
 - 50 medios para seleccionar una velocidad para una transmisión de datos en el primer enlace de comunicación en base a la SNR estimada del primer enlace de comunicación;
 - medios para transmitir un flujo de datos a la velocidad seleccionada a través del primer enlace de comunicación;
 - 55 medios para recibir, a través del segundo enlace de comunicación, retroalimentación ACK/NAK para paquetes enviados en el flujo de datos transmitido; y
 - medios para ajustar el al menos un factor de retroceso en base a la retroalimentación ACK/NAK recibida.
 - 60
9. El aparato de la reivindicación 8, en el que el al menos un factor de retroceso comprende al menos un factor de retroceso para cada una de una pluralidad de flujos de datos.
- 65 10. El aparato de la reivindicación 9, en el que el factor de retroceso para cada flujo de datos depende de un orden de diversidad correspondiente para ese flujo de datos.

11. El aparato de la reivindicación 10, en el que un orden de diversidad más alto corresponde a un factor de retroceso más bajo.
- 5 12. El aparato de la reivindicación 9, en el que al menos un factor de retroceso para cada flujo de datos comprende un factor de retroceso MIMO de múltiples entradas y de múltiples salidas para cada flujo de datos para representar características asociadas con transmisiones MIMO.
- 10 13. El aparato de la reivindicación 8, en el que el factor de retroceso representa la variabilidad en SNR a través de una pluralidad de subbandas.
14. El aparato de la reivindicación 8, en el que los medios para ajustar al menos un factor de retroceso comprenden medios para calcular el al menos un factor de retroceso en base a una función de la varianza SNR y la SNR promedio.
- 15

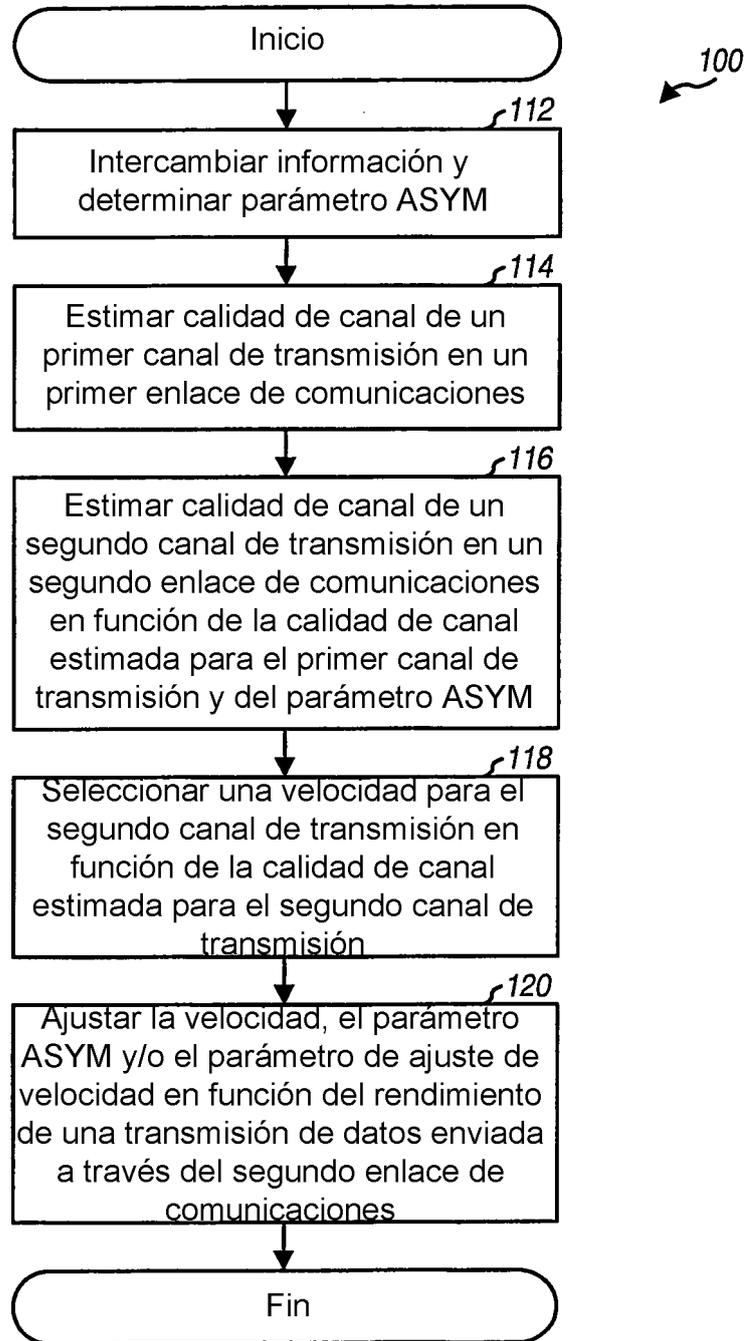


FIG. 1

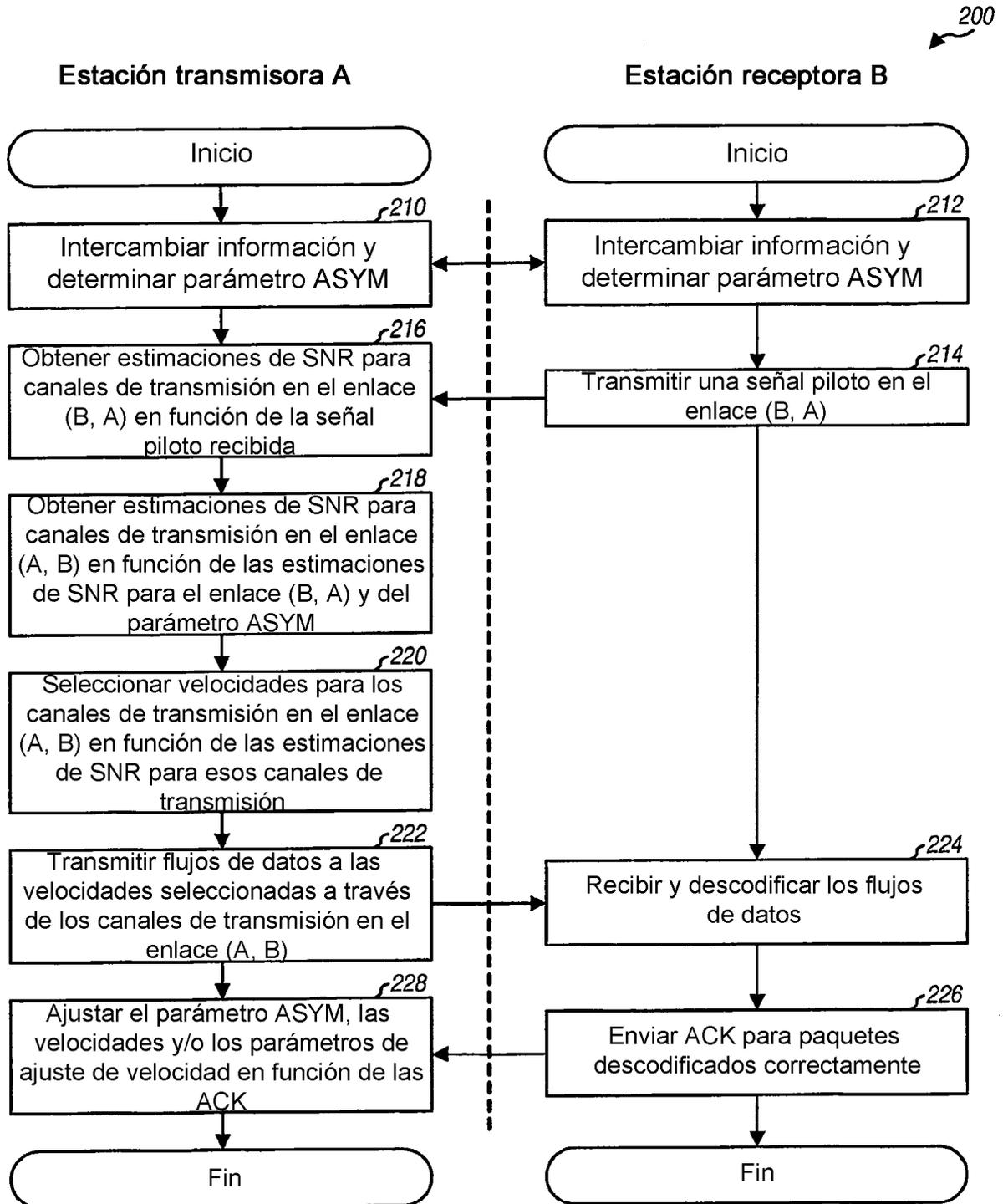


FIG. 2

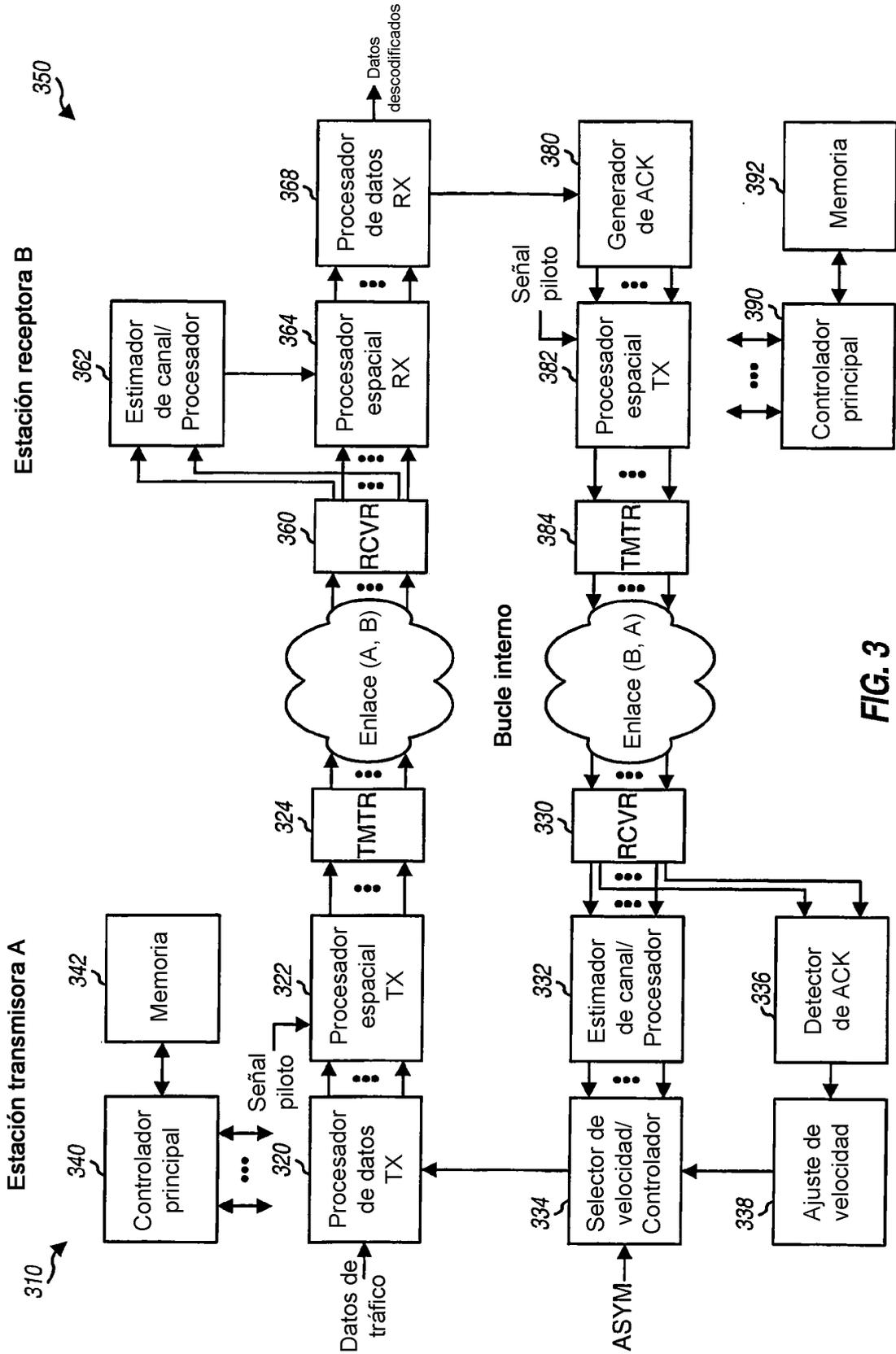


FIG. 3