

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 651**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/0417** (2007.01)

**H04L 1/00** (2006.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2006 PCT/US2006/023095**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.12.2006 WO06138337**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2006 E 06773112 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 1897258**

54 Título: **Predicción robusta de rango de canales en sistemas de comunicaciones MIMO**

30 Prioridad:

**16.06.2005 US 691723 P**

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

**27.09.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SAMPATH, HEMANTH**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

ES 2 683 651 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

Predicción robusta de rango de canales en sistemas de comunicaciones MIMO

## 5 ANTECEDENTES

## I. Campo

10 [1] La presente divulgación se refiere en general a la comunicación, y más específicamente a técnicas para transmitir datos en un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

## II. Antecedentes

15 [2] En un sistema de comunicación inalámbrica, un transmisor (por ejemplo, una estación base o un terminal) puede utilizar múltiples (T) antenas transmisoras para la transmisión de datos a un receptor equipado con múltiples (R) antenas receptoras. Las múltiples antenas transmisoras y receptoras forman un canal MIMO que puede usarse para aumentar el rendimiento y/o mejorar la fiabilidad. Por ejemplo, el transmisor puede transmitir T flujos de datos simultáneamente desde las T antenas transmisoras para mejorar el rendimiento. De forma alternativa, el transmisor puede transmitir un único flujo de datos de manera redundante desde todas las T antenas transmisoras para mejorar la recepción por el receptor.

20 [3] La transmisión desde cada antena transmisora causa interferencia a las transmisiones de las otras antenas transmisoras. En algunos casos, se puede lograr un mejor rendimiento transmitiendo menos de T flujos de datos simultáneamente desde las T antenas transmisoras. Por ejemplo, se puede seleccionar un subconjunto de las T antenas transmisoras y se puede enviar un flujo de datos desde cada antena transmisora seleccionada. La(s) antena(s) transmisora(s) que no se usa(n) para la transmisión no causan interferencia a la(s) antena(s) transmisora(s) que se usan(n) para la transmisión. Por lo tanto, se puede lograr un rendimiento mejorado para el/los flujo(s) de datos enviados en la(s) antena(s) transmisora(s) seleccionada(s).

25 [4] La predicción de rango se refiere a la determinación del rango de un canal MIMO o, de manera equivalente, al número de flujos de datos que pueden transmitirse simultáneamente a través del canal MIMO. Si se envían demasiados flujos de datos, se puede observar una interferencia excesiva de cada uno de estos flujos de datos y puede verse afectado el rendimiento general. Por el contrario, si se envían muy pocos flujos de datos, entonces la capacidad del canal MIMO no se utiliza en su totalidad.

30 [5] Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de técnicas para determinar el rango de un canal MIMO.

35 [6] El documento DE 10254384 se refiere a un procedimiento MIMO de procesamiento de señales que implica un ajuste adaptativo de rango de la velocidad de transmisión. La FIG. 5 del documento DE 10254384 ilustra un gráfico de potencia de transmisión de antena frente a la tasa de error de bit medio (BER) para los canales MIMO que transportan diferentes números de flujos de datos (es decir, 1, 2, 4, 6, 7 y 8, para ser precisos). Como se muestra en la FIG. 5 del documento DE 10254384, como una cuestión general, la BER promedio disminuye a medida que se transportan menos flujos de datos, o a medida que aumenta la potencia de transmisión (aunque esto aumente la interferencia en otra parte). En el documento DE 10254384, un número  $n_d$  de flujos de datos  $DS_1 \dots DS_{n_d}$  que están acoplados correctamente en  $n_d$  subcanales paralelos. Se calcula una constante igual a la cantidad total de potencia que se puede transmitir en el canal MIMO y luego la potencia se distribuye entre los subcanales de manera que la cantidad total de potencia distribuida corresponde a la constante. La FIG. 5 del documento DE 10254384 se usa para determinar cuánta potencia asignar a los diversos subcanales, o, si es necesario, cortar la potencia a uno o más de los subcanales en total. Usando la FIG. 5, se puede producir una lista que indique qué SNR se requiere para un procedimiento de modulación y codificación específico para poder garantizar una BER específica.

40 [7] Un artículo del IEEE titulado "Short-term and long-term diagonalization of correlated MIMO channels with adaptive modulation" ["Diagonalización a corto y largo plazo de canales MIMO correlacionados con modulación adaptativa"] de Kiessling et al., dentro del SIMPOSIO INTERNACIONAL DEL IEEE SOBRE COMUNICACIONES DE RADIO PERSONALES, INTERIORES Y MÓVILES, vol. 2, 15 de septiembre de 2002, páginas 593-597 (ISBN: 0-7803-7589-0) se refiere a una diagonalización a corto y largo plazo de canales MIMO correlacionados con modulación adaptativa (AM). En particular, el artículo mencionado anteriormente muestra el desacoplamiento del canal MIMO en subcanales independientes y luego la aplicación de llenado de agua en estos subcanales.

## 60 SUMARIO

[8] Las técnicas para realizar la predicción de rango en un sistema MIMO se describen en el presente documento. Los aspectos de la presente invención se refieren a un aparato de acuerdo con la reivindicación independiente 1 y a un procedimiento correspondiente que comprende las etapas definidas en la reivindicación independiente 18. Adicionalmente, se proporcionan detalles de implementación preferentes del aparato en las

reivindicaciones dependientes 2-17. Las reivindicaciones dependientes 19-21 proporcionan detalles adicionales del procedimiento.

[9] Diversos aspectos y modos de realización de la divulgación se describen con más detalle a continuación. La presente invención se define y se limita solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas. A continuación, cualquier modo(s) de realización referido(s) y que no caiga(n) dentro del alcance de dichas reivindicaciones adjuntas debe(n) interpretarse como ejemplo(s) útil(es) para comprender la presente invención.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[10] Las características y naturaleza de la presente invención resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada expuesta a continuación cuando se tomen conjuntamente con los dibujos en los que se identifican caracteres de referencia similares correspondientemente de principio a fin.

La FIG. 1 muestra una estación transmisora y una estación receptora.

La FIG. 2 muestra unidades de procesamiento en la estación transmisora.

La FIG. 3 muestra un predictor de rango que realiza una predicción de rango basada en la capacidad.

La FIG. 4 muestra un predictor de rango que realiza la predicción de rango basada en el rendimiento.

La FIG. 5 muestra una unidad de ajuste de capacidad dentro de un predictor de rango.

La FIG. 6 muestra un proceso para realizar la predicción de rango.

La FIG. 7 muestra un aparato para realizar la predicción de rango.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

[11] La expresión "a modo de ejemplo" se usa en el presente documento para significar "que sirve de ejemplo, caso o ilustración". Cualquier modo de realización o diseño descrito en el presente documento como "a modo de ejemplo" no ha de interpretarse necesariamente como preferente o ventajoso sobre otros modos de realización o diseños.

[12] La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de dos estaciones 110 y 150 en un sistema de comunicación inalámbrica 100. Para la transmisión de enlace descendente (o enlace directo), la estación 110 puede formar parte de, y puede contener parte o la totalidad de la funcionalidad de, una estación base, un punto de acceso, un Nodo B y/o alguna otra entidad de red. La estación 150 puede formar parte de, y puede contener parte o la totalidad de la funcionalidad de, un terminal, una estación móvil, un equipo de usuario, una unidad de abonado y/o algún otro dispositivo. Para la transmisión de enlace ascendente (o enlace inverso), la estación 110 puede formar parte de un terminal, una estación móvil, un equipo de usuario, etc., y la estación 150 puede formar parte de una estación base, un punto de acceso, un Nodo B, etc. La estación 110 es un transmisor de una transmisión de datos y está equipada con múltiples (T) antenas. La estación 150 es un receptor de la transmisión de datos y está equipada con múltiples (R) antenas. Cada antena transmisora y cada antena receptora pueden ser una antena física o una red de antenas.

[13] En la estación transmisora 110, un procesador de datos de transmisión (TX) 120 recibe datos de tráfico desde una fuente de datos 112, procesa (por ejemplo, formatea, codifica, entrelaza y mapea con símbolos) los datos de tráfico de acuerdo con un formato de paquete y genera símbolos de datos. Como se usa en el presente documento, un símbolo de datos es un símbolo para datos, un símbolo piloto es un símbolo para piloto, y un símbolo es típicamente un valor complejo. Los símbolos de datos y los símbolos piloto pueden ser símbolos de modulación de un sistema de modulación tal como PSK o QAM. El piloto son datos que se conocen *a priori* tanto por el transmisor como por el receptor. Un formato de paquete puede indicar una velocidad de transferencia de datos o una velocidad de bits de información, un sistema de codificación o velocidad de código, un sistema de modulación, un tamaño de paquete y/u otros parámetros. Un formato de paquete también puede denominarse velocidad, formato de transporte con otra terminología. El procesador de datos de TX 120 demultiplexa los símbolos de datos en M flujos, donde  $1 \leq M \leq T$  y está determinado por el rango proporcionado por un controlador/procesador 140. Los flujos de símbolos de datos se envían simultáneamente a través de un canal MIMO y también se pueden denominar flujos de datos, flujos espaciales, flujos de salida o con alguna otra terminología.

[14] Un procesador espacial de TX 130 multiplexa símbolos piloto con los M flujos de símbolos de datos, realiza el procesamiento espacial del transmisor en los datos multiplexados y en los símbolos piloto y proporciona T flujos de símbolos de salida a T transmisores (TMTR) 132a a 132t. Cada transmisor 132 procesa (por ejemplo, modula, convierte a analógico, filtra, amplifica y aumenta de frecuencia) su flujo de símbolos de salida y genera una señal

modulada. Las T señales moduladas desde los transmisores 132a a 132t se transmiten desde las antenas 134a a 134t, respectivamente.

[15] En la estación receptora 150, las R antenas 152a a 152r reciben las T señales moduladas, y cada antena 152 proporciona una señal recibida a un respectivo receptor (RCVR) 154. Cada receptor 154 procesa (por ejemplo, filtra, amplifica, reduce de frecuencia, digitaliza y demodula) su señal recibida para obtener los símbolos recibidos. Cada receptor 154 proporciona símbolos recibidos para datos de tráfico a un procesador espacial de recepción (RX) 160 y proporciona símbolos recibidos para el piloto a un procesador de canal 194. El procesador de canal 194 estima la respuesta del canal MIMO desde la estación 110 a la estación 150 en base a los símbolos recibidos para el piloto (y posiblemente los símbolos recibidos para los datos de tráfico) y proporciona estimaciones de canal al procesador espacial de RX 160. El procesador espacial de RX 160 realiza una detección MIMO en los símbolos recibidos para los datos de tráfico con las estimaciones de canal y proporciona estimaciones de símbolos de datos. Un procesador de datos de RX 170 procesa además (por ejemplo, desentrelaza y decodifica) las estimaciones de símbolos de datos y proporciona datos decodificados a un colector de datos 172.

[16] La estación receptora 150 puede evaluar las condiciones del canal y enviar información de retroalimentación a la estación transmisora 110. La información de retroalimentación puede indicar, por ejemplo, el rango que se vaya a usar para la transmisión, los indicadores de calidad de canal (CQI), el formato de paquete que se vaya a usar para la transmisión, los acuses de recibo (ACK) y/o los acuses de recibo negativos (NAK) para los paquetes decodificados por la estación receptora 150, otros tipos de información, o cualquier combinación de los mismos. La información de retroalimentación se procesa (por ejemplo, se codifica, entrelaza y asigna con símbolos) por un procesador de señalización de TX 180, se procesa espacialmente por un procesador espacial de TX 182 y se procesa además por los transmisores 154a a 154r para generar R señales moduladas, que se transmiten a través de las antenas 152a a 152r.

[17] En la estación transmisora 110, las R señales moduladas se reciben por las antenas 134a a 134t, se procesan por los receptores 132a a 132t, se procesan espacialmente por un procesador espacial de RX 136 y se procesan además (por ejemplo, se desentrelazan y se decodifican) por un procesador de señalización de RX 138 para recuperar la información de retroalimentación. El controlador/procesador 140 controla la transmisión de datos a la estación receptora 150 en base a la información de retroalimentación.

[18] Los controladores/procesadores 140 y 190 controlan el funcionamiento en las estaciones 110 y 150, respectivamente. Las memorias 142 y 192 almacenan datos y códigos de programa para las estaciones 110 y 150, respectivamente.

[19] Las técnicas de predicción de rango descritas en el presente documento pueden usarse para cualquier sistema de comunicación inalámbrica MIMO, por ejemplo, los sistemas de comunicación inalámbrica MIMO tales como los sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), los sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), los sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), los sistemas de acceso múltiple por división espacial (SDMA), los sistemas FDMA ortogonales (OFDMA), los sistemas FDMA de portadora única (SC-FDMA), etc. Un sistema OFDMA utiliza la multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), y un sistema SC-FDMA utiliza la multiplexación por división de frecuencia de portadora única (SC-FDM). La OFDM y la SC-FDM particionan el ancho de banda del sistema en múltiples (K) subportadoras ortogonales, que también se denominan tonos, ubicaciones, etc. Cada subportadora puede modularse con datos. En general, los símbolos de modulación se envían en el dominio de frecuencia con OFDM y en el dominio de tiempo con SC-FDM.

[20] El canal MIMO formado por las T antenas en la estación transmisora 110 y por las antenas R en la estación receptora 150 puede caracterizarse por una matriz de respuesta de canal MIMO  $R \times T$   $\underline{\mathbf{H}}(k)$  para cada subportadora  $k$ , que puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \cdots & h_{1,T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \cdots & h_{2,T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{R,1}(k) & h_{R,2}(k) & \cdots & h_{R,T}(k) \end{bmatrix}, \quad k = 1, \dots, K, \quad \text{Ec. (1)}$$

donde la entrada  $h_{i,j}(k)$ , para  $i = 1, \dots, R$  y  $j = 1, \dots, T$ , es el acoplamiento o ganancia compleja entre la antena transmisora  $j$  y la antena receptora  $i$  para la subportadora  $k$ .

[21] El canal MIMO puede descomponerse en S canales espaciales, donde  $S \leq \min \{T, R\}$ . Los canales espaciales también pueden denominarse capas espaciales, capas, canales independientes, etc. La matriz de respuesta de canal MIMO  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  puede diagonalizarse para obtener S modos propios del canal MIMO, que pueden verse como canales espaciales ortogonales. Pueden enviarse S flujos de símbolos de datos en los modos propios realizando una formación de haz propia en el transmisor. Los S flujos de símbolos de datos también pueden

enviarse en los S canales espaciales con algún otro procesamiento espacial o sin ningún procesamiento espacial en el transmisor.

5 [22] El número de modos propios (o el número de canales espaciales) se denomina rango del canal MIMO. El canal MIMO se considera de rango completo si  $S = \min \{T, R\}$  y es menor que el rango completo si  $S < \min \{T, R\}$ . El rango está determinado en general por las condiciones del canal. Por ejemplo, el rango es típicamente más alto en los canales inalámbricos con una rica dispersión y es típicamente inferior en los canales correlacionados espacialmente y en los canales de línea de vista (LOS).

10 [23] Se puede lograr un buen rendimiento (por ejemplo, un mayor rendimiento global) transmitiendo datos de manera que el número de flujos de símbolos de datos coincida con el rango del canal MIMO. En un canal de bajo rango, la reducción del número de flujos de símbolos de datos puede reducir sustancialmente la interferencia entre flujos y aumentar las calidades de señal recibidas de los flujos de símbolos de datos transmitidos, lo que puede permitir que estos flujos se envíen a velocidades más altas. Por tanto, es posible lograr un mayor rendimiento global con menos flujos de símbolos de datos. Por el contrario, en un canal de rango completo, se puede enviar la cantidad máxima de flujos de símbolos de datos para utilizar por completo todos los canales espaciales del canal MIMO y maximizar las ganancias MIMO.

15 [24] Las técnicas de predicción de rango descritas en el presente documento determinan el número de flujos de símbolos de datos que se van a transmitir de manera que se puede lograr un buen rendimiento.

20 [25] Las técnicas de predicción de rango se pueden usar con diversos modos operativos tales como un modo de contraseña única (SCW) y un modo de contraseña múltiple (MCW). En el modo SCW, se usa un formato de paquete único para todos los flujos de símbolos de datos, lo que puede simplificar el funcionamiento en el transmisor y en el receptor. En el modo MCW, se puede usar un formato de paquete diferente para cada flujo de símbolos de datos, lo que puede mejorar el rendimiento en algunas condiciones del canal.

25 [26] Las técnicas de predicción de rango también se pueden usar para diversos sistemas de procesamiento espacial tales como un sistema de mapeo directo, un sistema de mapeo pseudoaleatorio, un sistema de formación de haz, etc. En el sistema de mapeo directo, se envía un flujo de símbolos de datos desde cada antena transmisora sin ningún procesamiento espacial. En el sistema de mapeo pseudoaleatorio, cada flujo de símbolos de datos se envía desde todas las T antenas transmisoras, y todos los flujos de símbolos de datos alcanzan calidades de señal recibida similares. En el sistema de formación de haz, cada flujo de símbolos de datos se envía en un modo propio diferente y los flujos de símbolos de datos pueden alcanzar las mismas o diferentes calidades de señal recibida. En general, la calidad de señal se puede cuantificar mediante la relación señal-ruido (SNR), la relación señal-ruido-interferencia (SINR), la relación energía-por-símbolo-ruido (Es/No), etc. Para mayor claridad, la SNR se usa para representar la calidad de la señal en la siguiente descripción.

30 [27] Para mayor claridad, las técnicas de predicción de rango se describen a continuación para un sistema basado en la OFDM, por ejemplo, un sistema OFDMA. Además, las técnicas se describen para el modo SCW con el sistema de mapeo pseudoaleatorio.

35 [28] La FIG. 2 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del procesador de datos de TX 120, del procesador espacial de TX 130 y de los transmisores 132a a 132t en la estación transmisora 110. Dentro del procesador de datos de TX 120, un codificador 210 codifica datos de tráfico de acuerdo con un sistema de codificación y genera bits de código. El sistema de codificación puede incluir un código Turbo, un código convolucional, un código de verificación de paridad de baja densidad (LDPC), un código de verificación de redundancia cíclica (CRC), un código de bloque, etc., o una combinación de los mismos. Un entrelazador de canales 212 entrelaza (o reordena) los bits de código en base a un sistema de entrelazado y proporciona bits entrelazados. Un mapeador de símbolos 214 mapea los bits entrelazados de acuerdo con un sistema de modulación y proporciona símbolos de datos. Un demultiplexor (Demux) 216 demultiplexa los símbolos de datos en M flujos, donde M es el rango predicho/seleccionado del canal MIMO y se proporciona por el controlador/procesador 140.

40 [29] Dentro del procesador espacial de TX 130, un multiplexor (Mux) 220 recibe los M flujos de símbolos de datos desde el procesador de datos de TX 120 y mapea los símbolos de datos y los símbolos piloto a las subportadoras apropiadas en cada período de símbolos. Una unidad de mapeo espacial 222 multiplica los datos y/o símbolos piloto para cada subportadora  $k$  con una matriz de mapeo espacial  $T \times M$   $\mathbf{P}_M(k)$  desde un selector de matriz 224 y proporciona símbolos de salida para esa subportadora. La matriz  $\mathbf{P}_M(k)$  puede ser una submatriz de una matriz de Fourier  $T \times T$ , una matriz Hadamard  $T \times T$ , una matriz ortonormal  $T \times T$ , o alguna otra matriz. El selector de matriz 224 puede determinar la dimensión de  $\mathbf{P}_M(k)$  en base al rango M a partir del controlador/procesador 140. El selector de matriz 224 también puede proporcionar diferentes matrices de mapeo espacial para diferentes subportadoras. La unidad de mapeo espacial 222 proporciona T flujos de símbolos de salida a T transmisores 132a a 132t.

45 [30] Cada transmisor 132 incluye un modulador OFDM (Mod) 230 y una unidad de radiofrecuencia (RF) de TX 232. Dentro de cada transmisor 132, el modulador OFDM 230 recibe un flujo de símbolos de salida y genera símbolos OFDM. En cada período de símbolo, el modulador OFDM 230 realiza una IFFT de K puntos en K símbolos

de salida para K subportadoras y añade un prefijo cíclico para generar un símbolo OFDM para ese período de símbolo. La unidad de RF de TX 232 procesa los símbolos OFDM y genera una señal modulada.

[31] En la estación receptora 150, los símbolos recibidos de los receptores 154a a 154r pueden expresarse como:

$$\mathbf{r}(k) = \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{P}_M(k) \cdot \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{H}_M(k) \cdot \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k), \quad \text{Ec. (2)}$$

donde  $\mathbf{s}(k)$  es un vector  $M \times 1$  de símbolos de datos para la subportadora  $k$ ,

$\mathbf{r}(k)$  es un vector  $R \times 1$  de símbolos recibidos para la subportadora  $k$ ,

$\mathbf{H}_M(k) = \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{P}_M(k)$  es una matriz de respuesta de canal MIMO  $R \times M$  efectiva para la subportadora  $k$ , y

$\mathbf{n}(k)$  es un vector de ruido  $R \times 1$  para la subportadora  $k$ .

[32] Para simplificar, se puede suponer que el ruido es un ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) con un vector promedio cero y una matriz de covarianza de  $\mathbf{n}(k) = \sigma_n^2 \cdot \mathbf{I}$ , donde  $\sigma_n^2$  es la varianza del ruido y  $\mathbf{I}$  es la matriz de identidad.

[33] La estación receptora 150 puede usar diversas técnicas de detección MIMO para recuperar los símbolos de datos enviados por la estación transmisora 110. Estas técnicas de detección MIMO incluyen (1) técnicas de detección MIMO lineales tales como el mínimo error cuadrático medio (MMSE), el forzamiento de cero (ZF) y las técnicas de combinación de relación máxima (MRC) y (2) técnicas de detección de MIMO no lineales tales como la decodificación de probabilidad máxima (ML), la decodificación de esfera de lista (LSD), el ecualizador de retroalimentación de decisión (DFE) y las técnicas de cancelación de interferencia sucesiva (SIC). La estación receptora 150 puede derivar una matriz de filtro espacial para cada subportadora  $k$  en base a la técnica MMSE, ZF o MRC, de la siguiente manera:

$$\mathbf{M}_{mmse}(k) = \mathbf{D}_{mmse}(k) \cdot [\mathbf{H}_M^H(k) \cdot \mathbf{H}_M(k) + \sigma_n^2 \cdot \mathbf{I}]^{-1} \cdot \mathbf{H}_M^H(k), \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\mathbf{M}_{zf}(k) = [\mathbf{H}_M^H(k) \cdot \mathbf{H}_M(k)]^{-1} \cdot \mathbf{H}_M^H(k), \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\mathbf{M}_{mrc}(k) = \mathbf{D}_{mrc}(k) \cdot \mathbf{H}_M^H(k), \quad \text{Ec. (5)}$$

donde

$$\mathbf{Q}_M(k) = [\mathbf{H}_M^H(k) \cdot \mathbf{H}_M(k) + \sigma_n^2 \cdot \mathbf{I}]^{-1} \cdot \mathbf{H}_M^H(k) \cdot \mathbf{H}_M(k), \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\mathbf{D}_{mmse}(k) = [\text{diag}\{\mathbf{Q}_M(k)\}]^{-1},$$

y

$$\mathbf{D}_{mrc}(k) = [\text{diag}\{\mathbf{H}_M^H(k) \cdot \mathbf{H}_M(k)\}]^{-1}.$$

En las ecuaciones (3) y (5),  $\mathbf{D}_{mmse}(k)$  y  $\mathbf{D}_{mrc}(k)$  son matrices diagonales  $M \times M$  de valores de escala usados para obtener estimaciones normalizadas de los símbolos de datos.

[34] La estación receptora 150 puede realizar la detección MIMO de la siguiente manera:

$$\hat{\mathbf{s}}(k) = \mathbf{M}(k) \cdot \mathbf{r}(k) = \mathbf{s}(k) + \tilde{\mathbf{n}}(k), \quad \text{Ec. (7)}$$

donde  $\mathbf{M}(k)$  es una matriz de filtro espacial  $M \times R$  que puede ser  $\mathbf{M}_{mmse}(k)$ ,  $\mathbf{M}_{zf}(k)$  o  $\mathbf{M}_{mrc}(k)$ ,

$\hat{\mathbf{s}}(k)$  es un vector  $M \times 1$  con estimaciones de símbolo de datos  $M$ , y

$\tilde{\mathbf{n}}(k)$  es un vector de ruido después de la detección MIMO.

[35] La estación receptora 150 puede obtener una estimación de  $\mathbf{H}(k)$  o  $\mathbf{H}_M(k)$  en base a los símbolos piloto recibidos de la estación transmisora 110. La estación receptora 150 puede derivar luego  $\mathbf{M}(k)$  en base a  $\mathbf{H}(k)$  o

$\mathbf{H}_M(k)$ . La dimensión de  $\mathbf{M}(k)$  depende del rango M usado para la transmisión. Las estimaciones de símbolo de datos en  $\hat{\mathbf{s}}(k)$  son estimaciones de los símbolos de datos en  $\mathbf{s}(k)$ .

[36] En un modo de realización, la predicción de rango se logra evaluando el rendimiento de diferentes rangos posibles del canal MIMO y seleccionando el rango con el mejor rendimiento o casi el mejor rendimiento. El rendimiento se puede cuantificar mediante diversas medidas tales como la capacidad del canal, el rendimiento, la calidad de la señal (por ejemplo, la SNR), etc. La capacidad del canal se refiere en general a la capacidad teórica de transmisión de un canal de comunicación. La capacidad de un canal MIMO depende de la cantidad de canales espaciales en el canal MIMO y de la calidad de señal de cada canal espacial. El rendimiento se refiere en general a la cantidad de datos enviados a través de un canal de comunicación. El rendimiento depende de la capacidad del canal así como de los parámetros del sistema, por ejemplo, los formatos de paquete disponibles para su uso. La capacidad del canal y el rendimiento se pueden dar en términos de eficiencia espectral, que se da en general en unidades de bits de información por segundo por Hertz (bps/Hz). La capacidad del canal se denomina simplemente capacidad en la descripción a continuación.

[37] En un modo de realización, la predicción de rango representa las pérdidas del sistema. Como se usa en el presente documento, las pérdidas del sistema se refieren a cualquier tipo de pérdida que pueda experimentar la transmisión de datos. Las pérdidas del sistema pueden incluir pérdidas de implementación del sistema (por ejemplo, debido a un sistema de codificación, a un formato de paquete, etc.), pérdidas debidas a la variabilidad del canal (por ejemplo, a la variabilidad en la interferencia y a la potencia de transmisión), pérdidas de procesamiento (por ejemplo, errores de la estimación de canal) y/u otros tipos de pérdidas.

[38] La FIG. 3 muestra un modo de realización de un predictor de rango 300 que realiza la predicción de rango basada en la capacidad y representa las pérdidas del sistema. El predictor de rango 300 evalúa el rendimiento de cada rango posible usando la capacidad como medición de rendimiento. Por simplicidad, la siguiente descripción supone que  $T \leq R$  y que hasta T transmisiones de símbolos de datos pueden enviarse simultáneamente desde T antenas transmisoras. El predictor de rango 300 incluye T secciones de procesamiento 310a a 310t para T rangos posibles de  $m = 1$  a T, respectivamente. Cada sección de procesamiento 310 determina la capacidad promedio para un rango diferente posible que pueda usarse para la transmisión de datos.

[39] Dentro de la sección de procesamiento 310 para el rango  $m$ , donde  $m \in \{1, \dots, T\}$ , una unidad de mapeo espacial 312 recibe la matriz de respuesta de canal MIMO  $\mathbf{H}(k)$  para cada subportadora  $k$ , multiplica  $\mathbf{H}(k)$  por la matriz de mapeo espacial  $T \times m$   $\mathbf{P}_m(k)$  para el rango  $m$  y proporciona una matriz de respuesta de canal MIMO  $R \times m$   $\mathbf{H}_m(k)$  eficaz para la subportadora  $k$ . La unidad 312 realiza el mapeo espacial de la misma manera que la unidad de mapeo espacial 222 en la estación transmisora 110, suponiendo que los  $m$  flujos de símbolos de datos se transmiten para el rango  $m$ .

[40] Una unidad de cálculo de SNR 314 determina las SNR de los  $m$  flujos de símbolos de datos o de manera equivalente los  $m$  canales espaciales para el rango  $m$ . Las SNR son dependientes de la técnica de detección MIMO usada por la estación receptora 150 así como del número de flujos de símbolos de datos enviados simultáneamente. Para la técnica MMSE descrita anteriormente,  $\mathbf{Q}_m(k)$  se determina primero en base a  $\mathbf{H}_m(k)$  como se muestra en la ecuación (6). La SNR de cada flujo de símbolos de datos para el rango  $m$  se puede expresar entonces como:

$$\text{SNR}_{m,i}(k) = \frac{q_{m,i}(k)}{1 - q_{m,i}(k)}, \quad \text{para la } i = 1, \dots, m, \quad \text{Ec. (8)}$$

donde  $q_{m,i}(k)$  es el  $i$ -ésimo elemento de diagonal de  $\mathbf{Q}_m(k)$  para la subportadora  $k$ , y

$\text{SNR}_{m,i}(k)$  es la SNR del flujo de símbolos de datos  $i$  para la subportadora  $k$ .

La ecuación (8) da la SNR en la unidad lineal. La SNR se calcula de diferentes maneras para otras técnicas de detección MIMO.

[41] La SNR promedio de todos los  $m$  flujos de símbolos de datos para el rango  $m$  se puede calcular entonces de la siguiente manera:

$$\text{SNR}_{\text{avg},m}(k) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \text{SNR}_{m,i}(k), \quad \text{Ec. (9)}$$

donde  $\text{SNR}_{\text{avg},m}(k)$  es la SNR promedio de todos los  $m$  flujos de símbolos de datos para la subportadora  $k$ .

[42] Un mapeador de capacidad 316 mapea la  $\text{SNR}_{\text{avg},m}(k)$  promedio para cada subportadora  $k$  a la capacidad y acumula además las capacidades de todas las K subportadoras. El mapeo de capacidad se puede realizar en base a una función de capacidad no restringida, de la siguiente manera:

$$C_{avg,m} = \sum_{k=1}^K \log_2 [1 + SNR_{avg,m}(k)] , \quad \text{Ec. (10)}$$

5 donde  $C_{avg,m}$  es la capacidad promedio de cada canal espacial para el rango  $m$ . En la ecuación (10), la capacidad de cada subportadora se da como:  $\log_2 [1 + SNR_{avg,m}(k)]$ . Las capacidades para todas las  $K$  subportadoras se acumulan entonces para obtener la capacidad promedio para el rango  $m$ . La función de capacidad no restringida no supone ninguna pérdida por codificación o modulación.

10 **[43]** El mapeo de capacidad también se puede realizar en base a una función de capacidad limitada, de la siguiente manera:

$$C_{avg,m} = \sum_{k=1}^K \log_2 [1 + \eta \cdot SNR_{avg,m}(k)] , \quad \text{Ec. (11)}$$

15 donde  $\eta < 1,0$  es un factor de penalización que puede representar varios factores tales como el sistema de modulación, el sistema de codificación, la tasa de codificación, el tamaño del paquete, etc. La capacidad también se puede determinar en base a otras funciones de capacidad o tablas de búsqueda.

20 **[44]** Una unidad de ajuste de capacidad 318 ajusta la capacidad promedio  $C_{avg,m}$  para representar diversos factores, como se describe a continuación. La unidad 318 proporciona una capacidad ajustada  $C_{adj,m}$  para el rango  $m$ .

25 **[45]** Un selector de rango 330 recibe las capacidades ajustadas  $C_{adj,1}$  a  $C_{adj,T}$  para todos los  $T$  rangos posibles 1 a  $T$ . El selector de rango 330 determina primero la capacidad total  $C_{total,m}$  para cada rango  $m$ , de la siguiente manera:

$$C_{total,m} = m \cdot C_{avg,m} . \quad \text{Ec. (12)}$$

30 **[46]** El selector de rango 330 luego selecciona uno de los  $T$  rangos posibles. En un modo de realización, el selector de rango 330 proporciona el rango con la capacidad total más grande, de la siguiente manera:

$$M = \arg \max_{m \in \{1, \dots, T\}} (C_{total,m}) . \quad \text{Ec. (13)}$$

35 **[47]** En otro modo de realización, el selector de rango 330 selecciona el rango más bajo con una capacidad total que está dentro de un porcentaje predeterminado de la capacidad total más grande, de la siguiente manera:

$$M = \min \{ \arg (C_{total,m} > \beta \cdot C_{max}) \} , \quad \text{Ec. (14)}$$

40 donde  $C_{max}$  es la capacidad total más grande para todos los  $T$  rangos posibles y  $\beta \leq 1,0$ . Un rango más bajo es en general más robusto frente a condiciones de canal deletéreas y errores de estimación de canal. Por tanto, si un rango inferior puede alcanzar una capacidad total que se acerque a la capacidad total más grande, entonces el rango inferior puede seleccionarse para su uso.

45 **[48]** Un generador de CQI 332 recibe las capacidades ajustadas  $C_{adj,1}$  a  $C_{adj,T}$  para todos los  $T$  rangos posibles, así como el rango seleccionado  $M$ . En un modo de realización, el generador de CQI 332 determina una SNR efectiva para la capacidad ajustada  $C_{adj,M}$  del rango  $M$  seleccionado, de la siguiente manera:

$$SNR_{eff,M} = 10 \log_{10} (2^{C_{adj,M}} - 1) , \quad \text{Ec. (15)}$$

50 donde  $SNR_{eff,M}$  se da en unidades de decibelios (dB). El generador de CQI 332 también puede determinar la SNR efectiva en base a alguna otra función o a una tabla de búsqueda de SNR frente a la capacidad.

55 **[49]** En un modo de realización, el generador de CQI 332 cuantifica la SNR efectiva a un número predeterminado de bits para obtener una CQI para el rango  $M$  seleccionado. En otro modo de realización, el generador de CQI 332 mapea la SNR efectiva a un formato de paquete en base a una tabla de búsqueda de velocidad del formato de paquete frente a la SNR requerida. Esta tabla de búsqueda de velocidad contiene una SNR requerida para cada formato de paquete admitido por el sistema. La SNR requerida para cada formato de paquete puede ser la SNR mínima necesaria para transmitir de manera fiable paquetes en un canal AWGN con una cierta tasa de error de paquete objetivo (PER), por ejemplo, una PER del 1 %. La tabla de búsqueda de velocidad puede generarse mediante simulación por ordenador, por medición empírica, por pruebas y/o por algún otro mecanismo.

[50] La FIG. 4 muestra un modo de realización de un predictor de rango 400 que realiza la predicción de rango basada en el rendimiento y representa las pérdidas del sistema. El predictor de rango 400 evalúa el rendimiento de cada rango posible usando el rendimiento como medición de rendimiento. El predictor de rango 400 incluye T secciones de procesamiento 410a a 410t para T rangos posibles de  $m = 1$  a T, respectivamente. Cada sección de procesamiento 410 determina el rendimiento para un rango posible diferente que puede usarse para la transmisión de datos.

[51] Dentro de la sección de procesamiento 410 para el rango  $m$ , donde  $m \in \{1, \dots, T\}$ , las unidades 412, 414, 416 y 418 funcionan de la misma manera que las unidades 312, 314, 316 y 318, respectivamente, en la FIG. 3. Una unidad de cálculo de SNR 420 recibe la capacidad ajustada  $C_{adj,m}$  para el rango  $m$  y determina la SNR efectiva, por ejemplo, como se muestra en la ecuación (15). Una tabla de búsqueda de velocidad 422 recibe la SNR efectiva para el rango  $m$  y proporciona el formato de paquete con el rendimiento más grande y una SNR requerida que es menor que la SNR efectiva.

[52] Un selector de rango 430 recibe los rendimientos  $TP_1$  a  $TP_T$  para todos los T rangos posibles y determina el rendimiento total  $TP_{total,m}$  para cada rango, de la siguiente manera:

$$TP_{total,m} = m \cdot TP_m . \quad \text{Ec. (16)}$$

[53] El selector de rango 430 luego selecciona uno de los T rangos posibles. En un modo de realización, el selector de rango 430 proporciona el rango con el mayor rendimiento total, de la siguiente manera:

$$M = \arg \max_{m \in \{1, \dots, T\}} (TP_{total,m}) . \quad \text{Ec. (17)}$$

[54] En otro modo de realización, el selector de rango 430 selecciona el rango más bajo con un rendimiento total que está dentro de un porcentaje predeterminado del mayor rendimiento total, de la siguiente manera:

$$M = \min \{ \arg (TP_{total,m} > \beta \cdot TP_{max}) \} , \quad \text{Ec. (18)}$$

donde  $TP_{max}$  es el mayor rendimiento total para todos los T rangos posibles.

[55] Un generador de CQI 432 puede recibir las SNR efectivas para todos los T rangos posibles y proporcionar la SNR efectiva para el rango M seleccionado como el CQI, como se muestra en la FIG. 4. El generador de CQI 432 también puede recibir los formatos de paquete para todos los T rangos posibles y proporcionar el formato de paquete para el rango M seleccionado como el CQI (no mostrado en la figura 4).

[56] Las FIGS. 3 y 4 muestran dos modos de realización de predicción de rango en base a las mediciones de rendimiento de la capacidad y del rendimiento, respectivamente. El rendimiento se puede considerar como una versión cuantificada de la capacidad, donde la cuantificación está determinada por los formatos de paquete soportados. La diferencia entre capacidad y rendimiento disminuye en general con formatos de paquete más compatibles.

[57] La predicción de rango también se puede realizar en base a otras medidas de rendimiento. En otro modo de realización, la predicción de rango se realiza en base a una medición de rendimiento de calidad de señal, por ejemplo, la SNR. La SNR promedio de cada subportadora  $k$  para el rango  $m$  puede determinarse, por ejemplo, como se muestra en la ecuación (9) y acumularse sobre las subportadoras K para obtener la SNR promedio para el rango  $m$ . Los ajustes se pueden aplicar a la SNR promedio para cada rango  $m$  para obtener una SNR ajustada para ese rango. Las SNR ajustadas para los T rangos posibles se pueden usar luego para seleccionar un rango y para determinar el CQI para el rango seleccionado.

[58] La capacidad promedio  $C_{avg,m}$  en las FIGS. 3 y 4 es indicadora de la capacidad de cada canal espacial en el canal MIMO con rango  $m$ . La capacidad promedio calculada  $C_{avg,m}$  está sujeta a diversas fuentes de error tales como, por ejemplo, errores de estimación de canal. La capacidad promedio  $C_{avg,m}$  también puede no ser alcanzable debido a diversas razones tales como, por ejemplo, un conjunto finito de formatos de paquete soportados por el sistema y utilizables para la transmisión de datos. Además, la capacidad calculada en un instante de tiempo puede ser diferente de la capacidad en otro instante de tiempo cuando se envíen los datos, por ejemplo, debido a cambios en las condiciones del canal, a variaciones en la interferencia y a la potencia de transmisión, etc. Además, ciertas restricciones pueden imponerse en la selección de rango. La capacidad promedio  $C_{avg,m}$  puede ajustarse para representar estos diversos factores.

[59] La FIG. 5 muestra un modo de realización de una unidad de ajuste de capacidad 318x, que puede usarse para cada unidad de ajuste de capacidad 318 en la FIG. 3 y para cada unidad de ajuste de capacidad 418 en la FIG.

4. Dentro de la unidad de ajuste de capacidad 318x, una unidad 510 ajusta la capacidad promedio para el rango  $m$  para representar la pérdida de codificación. Diferentes códigos de corrección de errores pueden tener diferentes cantidades de pérdidas, que pueden determinarse por las capacidades de corrección de errores de estos códigos. Por ejemplo, un código convolucional puede tener una pérdida mayor que un código Turbo. Un ajuste para la pérdida de codificación, que también se denomina reducción de brecha a capacidad. En un aspecto, se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{SNR}_{\text{avg},m} = 2^{C_{\text{avg},m}} - 1, \quad \text{Ec. (19)}$$

$$C_{\text{gap},m} = \log_2 [1 + \text{SNR}_{\text{avg},m} / g], \quad \text{Ec. (20)}$$

donde  $g \geq 1,0$  es un factor que representa la pérdida de codificación. Diferentes códigos pueden estar asociados con diferentes valores de  $g$ .

**[60]** Una unidad 512 ajusta la capacidad del rango  $m$  para representar los errores de estimación de canal. En un aspecto, esto puede ser de la siguiente manera:

$$\text{SNR}_{\text{gap},m} = 2^{C_{\text{gap},m}} - 1, \quad \text{Ec. (21)}$$

$$\text{SNR}_{\text{ch},m} = \text{Channel\_Backoff} (\text{SNR}_{\text{gap},m}, m, \text{modelo de canal}), \quad \text{Ec. (22)}$$

$$C_{\text{ch},m} = \log_2 [1 + \text{SNR}_{\text{ch},m}], \quad \text{Ec. (23)}$$

donde Channel\_Backoff es una función que reduce la SNR del rango  $m$  para representar los errores de estimación de canal.

**[61]** La cantidad de pérdida debida a errores de estimación de canal puede depender de diversos factores tales como el rango del canal MIMO (por ejemplo, más pérdida para un rango más alto), el modelo de canal (por ejemplo, más pérdida para una movilidad alta), etc. El modelo de canal puede cuantificarse por la configuración de antena, la movilidad o el Doppler y/u otros factores. La cantidad de pérdida debida a los errores de estimación de canal puede determinarse en base a la simulación del ordenador, a la medición empírica, a las pruebas y/o a otros medios. La pérdida también se puede determinar para diferentes escenarios de funcionamiento, tales como diferentes configuraciones de antena (por ejemplo,  $2 \times 4$ ,  $4 \times 2$ ), diferentes rangos de candidatos, diferentes Doppler, etc. En general, la función Channel\_Backoff se puede definir para cualquier número de escenarios de funcionamiento y en base a cualquier cantidad de parámetros de entrada, así como de cualquier tipo de parámetros de entrada. La función Channel\_Backoff se puede almacenar en una o más tablas de búsqueda, por ejemplo, una tabla de búsqueda para cada escenario de funcionamiento.

**[62]** Una unidad 514 ajusta la capacidad del rango  $m$  para representar las variaciones de interferencia. En un aspecto, esto puede ser de la siguiente manera:

$$\text{SNR}_{\text{ch},m} = 2^{C_{\text{ch},m}} - 1, \quad \text{Ec. (24)}$$

$$\text{SNR}_{\text{int},m} = \text{Interence\_Backoff} (\text{SNR}_{\text{ch},m}, \text{variación de interferencia}), \quad \text{Ec. (25)}$$

$$C_{\text{int},m} = \log_2 [1 + \text{SNR}_{\text{int},m}], \quad \text{Ec. (26)}$$

donde Interference\_Backoff es una función que reduce la SNR del rango  $m$  para representar las variaciones en la interferencia observada por la estación receptora 150.

**[63]** La estación receptora 150 puede medir la interferencia a lo largo del tiempo y/o la frecuencia y determinar la variación en la interferencia en base a estas mediciones. La cantidad de pérdida debida a la variación de interferencia puede determinarse en base a la simulación por ordenador, a la medición empírica, a las pruebas y/o a otros medios. La función Interference\_Backoff se puede almacenar en una tabla de búsqueda.

**[64]** Una unidad 516 puede aplicar otros ajustes a la capacidad para el rango  $m$ . En un modo de realización, la unidad 516 puede aplicar un ajuste para representar (1) la variación en la potencia de transmisión a lo largo del tiempo debido al control de potencia y/o (2) una compensación entre la potencia de transmisión del piloto o canal de control y la potencia de transmisión del canal de tráfico. Por ejemplo, la unidad 516 puede reducir o aumentar la capacidad dependiendo de si la potencia de transmisión se reduce o aumenta en un intervalo próximo. En un modo de realización, la unidad 516 puede descalificar el rango  $m$ , si  $m > 1$  y la SNR de rango  $m$  está por debajo de una

SNR predeterminada. Una SNR baja puede indicar que la estación 110 o 150 se encuentra cerca del borde de cobertura y es un candidato para el traspaso. El rango descalificante  $m$  puede dar como resultado la selección de un rango inferior (por ejemplo, rango 1), que puede ser más robusto para condiciones de SNR baja. En un modo de realización, la unidad 516 puede ajustar la capacidad para el rango  $m$  para representar la latencia de terminación de paquete H-ARQ. Con H-ARQ, se envía un paquete en una transmisión y, si es necesario, una o más retransmisiones hasta que la estación receptora 150 decodifique correctamente el paquete. La latencia de terminación de paquete H-ARQ se refiere a la cantidad promedio de transmisión/retransmisiones de paquetes. Más latencia puede indicar inexactitud en la predicción de rango. Por lo tanto, se puede aplicar más reducción para una mayor latencia. En un modo de realización, la unidad 516 puede aplicar un sesgo de manera que se seleccione un rango inferior si se observa variabilidad en el rango. En general, la unidad 516 puede aplicar ajustes para cualquier número de factores y cualquier tipo de factor que puedan afectar al rendimiento de la transmisión de datos.

[65] Una unidad 518 limita la capacidad para el rango  $m$  dentro de un rango de valores mínimos y máximos. El valor mínimo se denomina suelo, se denota como  $C_{\text{suelo}}$ , y se puede establecer en el rendimiento más bajo de todos los formatos de paquete soportados. El valor máximo se denomina techo, se denota como  $C_{\text{techo}}$  y se puede configurar con el mayor rendimiento de todos los formatos de paquete soportados. La capacidad para cada rango  $m$  puede restringirse entonces para estar dentro del suelo y del techo. En un aspecto, esto puede ser de la siguiente manera:

$$C_{\text{adj}, m} = \begin{cases} 0 & \text{if } C_{\text{misc}, m} < C_{\text{floor}} \\ C_{\text{ceiling}} & \text{if } C_{\text{misc}, m} > C_{\text{ceiling}} \\ C_{\text{misc}, m} & \text{if } C_{\text{floor}} \leq C_{\text{misc}, m} \leq C_{\text{ceiling}} \end{cases}, \quad \text{Ec. (27)}$$

donde  $C_{\text{misc}, m}$  es la capacidad para el rango  $m$  de la unidad 516. En la ecuación (27), la capacidad para el rango  $m$  no se modifica si está dentro del rango del suelo y del techo, se establece en el techo si es más grande que el techo y se establece en cero si es menor que el suelo. Establecer la capacidad en cero significa que el rango  $m$  no se seleccionará para su uso.

[66] En general, los ajustes se pueden aplicar para cualquier número y cualquier tipo de factores. La FIG. 5 muestra ajustes que se aplican para algunos factores a modo de ejemplo. Los ajustes utilizados también se pueden aplicar para menos factores, diferentes y/o adicionales. Por ejemplo, el ajuste para los formatos de paquete admitidos en la ecuación (27) puede omitirse. Como otro ejemplo, los ajustes pueden aplicarse solo para los errores de estimación de canal y para la variación de interferencia. Los ajustes proporcionan márgenes en la predicción de rango para que se pueda seleccionar un rango apropiado para su uso a la luz de las diversas fuentes posibles de error en la predicción de rango.

[67] Para mayor claridad, con la excepción de la unidad 516, la FIG. 5 muestra una unidad separada que se usa para aplicar un ajuste para cada factor. Sin embargo, las unidades pueden integrarse en una o más unidades funcionales, por ejemplo, software, hardware o combinaciones de los mismos. También para mayor claridad, el ajuste para cada factor se describe por separado. En general, los ajustes se pueden aplicar individualmente para cada factor, para un subconjunto de factores o para todos los factores considerados. Además, los ajustes pueden aplicarse en otros órdenes además diferentes del orden mostrado en la FIG. 5. Los ajustes pueden aplicarse usando cualquier cantidad de funciones y/o tablas de búsqueda con cualquier cantidad de parámetros de entrada y con cualquier tipo de parámetro de entrada.

[68] En los modos de realización mostrados en las FIGS. 3 a 5, se aplican ajustes a la capacidad promedio de los canales espaciales para cada rango  $m$ . Los selectores de rango 330 y 430 determinan la capacidad total o el rendimiento total para cada rango y seleccionan el rango con el mejor o casi el mejor rendimiento. Aplicar ajustes a la capacidad promedio puede dar como resultado una mayor granularidad para rangos superiores. Los ajustes también se pueden aplicar a la capacidad total o al rendimiento total en lugar de la capacidad promedio o el rendimiento promedio.

[69] La estación receptora 150 puede cuantificar el rango  $M$  seleccionado a un número predeterminado de bits, que se puede determinar en base al rango más alto soportado por el sistema. Por ejemplo, si el sistema admite una configuración 4x4 como la configuración de dimensionalidad más alta, entonces el rango más alto posible es cuatro, y el rango  $M$  seleccionado puede transmitirse usando dos bits.

[70] La estación receptora 150 también puede cuantificar el CQI a un número predeterminado de bits, que se puede determinar por la precisión deseada para el CQI. Más bits permiten informar a el CQI con granularidad más fina, lo que puede ser beneficioso para la selección del formato de paquete. El número de bits para el CQI se puede seleccionar en base a (por ejemplo, proporcional a) el número de formatos de paquetes soportados por el sistema. Más formatos de paquete implican en general etapas más pequeñas en eficiencia espectral entre formatos de

paquete. Un CQI más preciso puede ser beneficioso para seleccionar un formato de paquete adecuado. El CQI puede cuantificarse a tres, cuatro, cinco, seis o algún otro número de bits.

**[71]** La estación receptora 150 puede determinar y notificar el rango y el CQI periódicamente y a una velocidad suficientemente rápida para lograr un buen rendimiento para la transmisión de datos. El rango y el CQI pueden determinarse y notificarse a la misma velocidad, por ejemplo, a cada 5, 10 o 20 milisegundos (ms). De forma alternativa, el rango y el CQI pueden determinarse y notificarse a diferentes velocidades. Por ejemplo, el rango puede determinarse y notificarse a una primera velocidad, y el CQI puede determinarse y notificarse a una segunda velocidad. El rango de un canal MIMO puede cambiar a una velocidad más lenta que la SNR de los canales espaciales y puede notificarse por tanto a una velocidad más lenta que al CQI.

**[72]** El rango y el CQI pueden determinarse por la estación receptora 150 y enviarse de vuelta a la estación transmisora 110, como se muestra en la FIG. 1. El rango y el CQI también pueden determinarse por la estación transmisora 110 usando información de la estación receptora 150. Por ejemplo, en un sistema duplexado por división de tiempo (TDD), el enlace descendente y el enlace ascendente comparten el mismo canal de frecuencia, y puede suponerse que la respuesta del canal para un enlace es recíproca de la respuesta del canal para el otro enlace. En este caso, la estación transmisora 110 puede ser capaz de estimar la respuesta del canal MIMO en base a un piloto enviado por la estación receptora 150. La estación transmisora 110 puede determinar entonces el rango y el formato de paquete que se vayan a usar para la transmisión de datos en base a su estimación de la respuesta de canal MIMO.

**[73]** Para mayor claridad, las técnicas de predicción de rango se han descrito para el modo SCW. Las técnicas también se pueden usar para seleccionar el rango para el modo MCW. La predicción de rango para el modo MCW se puede realizar como se describió anteriormente para el modo SCW. Para cada rango candidato  $m$ , se pueden aplicar ajustes a la capacidad de cada canal espacial o a la capacidad total de todos los canales espaciales para el rango  $m$ . Se puede determinar un CQI para cada canal espacial en el rango  $M$  seleccionado. Se puede generar más de un CQI si  $M$  es mayor que uno.

**[74]** La FIG. 6 muestra un modo de realización de un proceso 600 para realizar una predicción de rango. Las mediciones de rendimiento para una pluralidad de rangos están determinadas (bloque 612). Cada rango es indicador de un número diferente de flujos de símbolos de datos para enviar simultáneamente a través de un canal MIMO o, de manera equivalente, el número de canales espaciales que se vayan a usar para la transmisión de datos. Las mediciones de rendimiento pueden estar relacionadas con la capacidad del canal MIMO, el rendimiento de la transmisión de datos enviada a través del canal MIMO, la calidad de la señal del canal MIMO, etc. Se puede determinar una medición de rendimiento para cada uno de los rangos.

**[75]** Los ajustes se aplican a las mediciones de rendimiento para la pluralidad de rangos para obtener mediciones de rendimiento ajustadas para estos rangos (bloque 614). Los ajustes representan algunos parámetros de pérdida del sistema. Las pérdidas pueden ser una o más pérdidas debido a un código de corrección de errores usado para la transmisión de datos, errores de estimación de canal en el receptor, variación en la interferencia observada por el receptor, variabilidad en la potencia de transmisión debida al control de potencia y/u otros factores. Además, se pueden utilizar otros parámetros de pérdida. Los ajustes se pueden aplicar a la SNR (como se describió anteriormente), a la capacidad, al rendimiento y/o a otras medidas, todas las cuales pueden estar relacionadas. Por ejemplo, la SNR se puede convertir en capacidad, y viceversa, a través de una función de capacidad o de una tabla de búsqueda. Los rangos con mediciones de rendimiento por debajo de un umbral predeterminado pueden omitirse. Las mediciones de rendimiento para los rangos pueden estar limitadas a un rango de valores, que puede determinarse por los formatos de paquete soportados. Los ajustes se pueden aplicar usando tablas de búsqueda, cálculos y/o algún otro medio.

**[76]** Un rango que se vaya a usar para la transmisión de datos se selecciona de entre la pluralidad de rangos en base a las mediciones de rendimiento ajustadas (bloque 616). Se puede seleccionar el rango con la mejor medición de rendimiento ajustada. De forma alternativa, se puede seleccionar el rango más bajo con una medición de rendimiento ajustada que esté dentro de un porcentaje predeterminado de la medición de rendimiento mejor ajustada. Al menos un CQI se determina para el rango seleccionado en base a una medición de rendimiento ajustada para el rango seleccionado (bloque 618). Por ejemplo, se puede determinar un CQI para el modo SCW, mientras que  $M$  CQI se pueden determinar para el modo MCW. Cada CQI puede ser una SNR cuantificada, un formato de paquete u otro tipo de información. Si la predicción de rango se realiza en el receptor, entonces el rango seleccionado y el/los CQI(s) pueden cuantificarse y enviarse al transmisor.

**[77]** El proceso 600 puede realizarse por el controlador/procesador 190 o por algún otro procesador en la estación receptora 150. El proceso 600 también puede realizarse por el controlador/procesador 140 o por algún otro procesador en la estación transmisora 110. Los ajustes pueden realizarse usando tablas de consulta almacenadas en la memoria 192 en la estación receptora 150 o en la memoria 142 en la estación transmisora 110.

**[78]** La FIG. 7 muestra un modo de realización de un aparato 700 para realizar una predicción de rango. El aparato 700 incluye medios para determinar mediciones de rendimiento para una pluralidad de rangos (bloque 712),

5 medios para aplicar ajustes a las mediciones de rendimiento para que la pluralidad de rangos obtengan mediciones de rendimiento ajustadas para estos rangos (bloque 714), medios para seleccionar un rango para su uso para la transmisión de datos de entre la pluralidad de rangos en base a las mediciones de rendimiento ajustadas (bloque 716), y medios para determinar al menos un CQI para el rango seleccionado en base a una medición de rendimiento ajustada para el rango seleccionado (bloque 718).

10 [79] Las técnicas de predicción de rango descritas en el presente documento pueden implementarse por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, firmware, software o una combinación de los mismos. Para una implementación de hardware, las unidades de procesamiento usadas para realizar la predicción de rango pueden implementarse dentro de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables de campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, dispositivos electrónicos, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación de las mismas.

20 [80] Por ejemplo, para una implementación de firmware y/o software, las técnicas de predicción de rango pueden implementarse con instrucciones (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que pueden utilizarse para realizar las funciones descritas en el presente documento. Las instrucciones finales, por ejemplo, como software o firmware, pueden almacenarse en una memoria (por ejemplo, la memoria 192 en la FIG. 1) y ejecutarse mediante un procesador (por ejemplo, el procesador 190). La memoria puede implementarse dentro del procesador o externa al procesador.

25 [81] La descripción anterior de los modos de realización divulgados se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica haga o use la presente invención. Diversas modificaciones a estos modos de realización resultarán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otros modos de realización sin apartarse del alcance de la divulgación. La invención se define y se limita solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato (150; 110) para la comunicación en un sistema de comunicaciones de múltiples entradas y salidas múltiples, MIMO, comprendiendo dicho aparato:
  - 5 al menos un procesador (190; 140) configurado
    - 10 para determinar (612; 712) mediciones de rendimiento para una pluralidad de rangos, cada rango indicador de un número diferente de flujos de datos para enviar simultáneamente a través de un canal MIMO,
    - 15 para aplicar (614; 714) ajustes a las mediciones de rendimiento para que la pluralidad de rangos obtengan mediciones de rendimiento ajustadas, representando los ajustes las pérdidas del sistema, causándose dichas pérdidas del sistema por cualquier dispositivo o unidad usado para procesar cualquiera de dichos flujos de datos cuando se transmitan o reciban en dicho sistema de comunicaciones MIMO; y
    - 20 para seleccionar (616; 716) un rango para su uso para la transmisión de datos entre la pluralidad de rangos en base a las mediciones de rendimiento ajustadas; y
    - 25 una memoria (192; 142) acoplada al al menos un procesador.
  2. El aparato según la reivindicación 1, en el que las mediciones de rendimiento se refieren a la capacidad del canal MIMO.
  3. El aparato según la reivindicación 1, en el que las mediciones de rendimiento se refieren al rendimiento de transmisión de datos enviada a través del canal MIMO.
  4. El aparato según la reivindicación 1, en el que las mediciones de rendimiento se refieren a la calidad de señal del canal MIMO.
  5. El aparato según la reivindicación 1, en el que los ajustes representan las pérdidas del sistema debido a un código de corrección de errores usado para la transmisión de datos.
  6. El aparato según la reivindicación 1, en el que los ajustes representan los errores de estimación de canal en un receptor en dicho sistema de comunicaciones MIMO.
  7. El aparato según la reivindicación 1, en el que los ajustes representan la variación en la interferencia observada por un receptor en dicho sistema de comunicaciones MIMO.
  8. El aparato según la reivindicación 1, en el que los ajustes representan la variación en la potencia de transmisión usada para la transmisión de datos en dicho sistema de comunicaciones MIMO.
  9. El aparato según la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para omitir rangos que tengan mediciones de rendimiento por debajo de un umbral predeterminado.
  10. El aparato según la reivindicación 1, en el que al menos un procesador está configurado para aplicar ajustes a las mediciones de rendimiento para la pluralidad de rangos al excluir, de la pluralidad de rangos, rangos que estén asociados con mediciones de rendimiento con valores que queden fuera de un rango dado de valores, de manera que el procesador realiza la selección de rango solo en base a los rangos entre la pluralidad de rangos asociados con mediciones de rendimiento con valores dentro del rango de valores dado.
  11. El aparato según la reivindicación 10, en el que el rango de valores dado se determina mediante formatos de paquete utilizables para la transmisión de datos en dicho sistema de comunicaciones MIMO.
  12. El aparato según la reivindicación 1, en el que cada una de las mediciones de rendimiento ajustadas está asociada con un valor, y el al menos un procesador está configurado para seleccionar un rango que se espera que proporcione un nivel más alto de rendimiento en base a los valores asociados de las mediciones de rendimiento ajustadas.
  13. El aparato según la reivindicación 1, en el que cada una de las mediciones de rendimiento ajustadas está asociada con un valor, y el al menos un procesador está configurado para determinar un rango que se espera que proporcione un nivel más alto de rendimiento en base a los valores asociados de las mediciones de rendimiento ajustadas, para establecer un rango dado de valores en base al valor de la medición de rendimiento ajustada del rango que se espera que proporcione el nivel más alto de rendimiento, y para seleccionar un rango que se espera que proporcione un nivel más bajo de rendimiento en base a los valores

asociados de las mediciones de rendimiento ajustadas al mismo tiempo que tengan un valor de medición de rendimiento ajustado que se encuentra dentro del rango de valores dado.

- 5
14. El aparato según la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para representar el rango seleccionado con un número predeterminado de bits y para enviar el rango seleccionado a un transmisor en dicho sistema de comunicaciones MIMO.
- 10
15. El aparato según la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para determinar al menos un indicador de calidad de canal, CQI, en base a una medición de rendimiento ajustada para el rango seleccionado.
- 15
16. El aparato según la reivindicación 1, en el que el al menos un procesador está configurado para determinar una relación señal-ruido, SNR, en base a una medición de rendimiento ajustada para el rango seleccionado y para cuantificar la SNR para obtener un indicador de calidad de canal, CQI, para el rango seleccionado.
17. El aparato según la reivindicación 1, en el que la memoria está configurada para almacenar al menos una tabla de búsqueda de ajustes para las mediciones de rendimiento.
- 20
18. Un procedimiento para la comunicación en un sistema de comunicaciones de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, comprendiendo dicho procedimiento:
- determinar (612; 712) mediciones de rendimiento para una pluralidad de rangos, cada rango indicador de un número diferente de flujos de datos para enviar simultáneamente a través de un canal MIMO;
- 25
- aplicar (614; 714) ajustes a las mediciones de rendimiento para que la pluralidad de rangos obtengan mediciones de rendimiento ajustadas, representando los ajustes las pérdidas del sistema, causándose dichas pérdidas del sistema por cualquier dispositivo o unidad usado para procesar cualquiera de dichos flujos de datos cuando se transmitan o se reciban en dicho sistema de comunicaciones MIMO; y
- 30
- seleccionar (616; 716) un rango que se vaya a usar para la transmisión de datos entre la pluralidad de rangos en base a las mediciones de rendimiento ajustadas.
- 35
19. El procedimiento según la reivindicación 18, en el que la determinación de mediciones de rendimiento comprende determinar las mediciones de rendimiento para una o más capacidades del canal MIMO, el rendimiento de la transmisión de datos enviada a través del canal MIMO o la calidad de señal del canal MIMO.
- 40
20. El procedimiento según la reivindicación 18, que comprende además calcular los ajustes para una o más de las mediciones de rendimiento.
- 45
21. El procedimiento según la reivindicación 20, en el que el cálculo comprende calcular para considerar las pérdidas del sistema debidas a uno o más entre un código de corrección de errores usado para la transmisión de datos en dicho sistema de comunicaciones MIMO, errores de estimación de canal en un receptor en dicho sistema de comunicaciones MIMO, variación en la interferencia observada por el receptor, variación en la potencia de transmisión usada para la transmisión de datos en dicho sistema de comunicaciones MIMO o una combinación de los mismos.

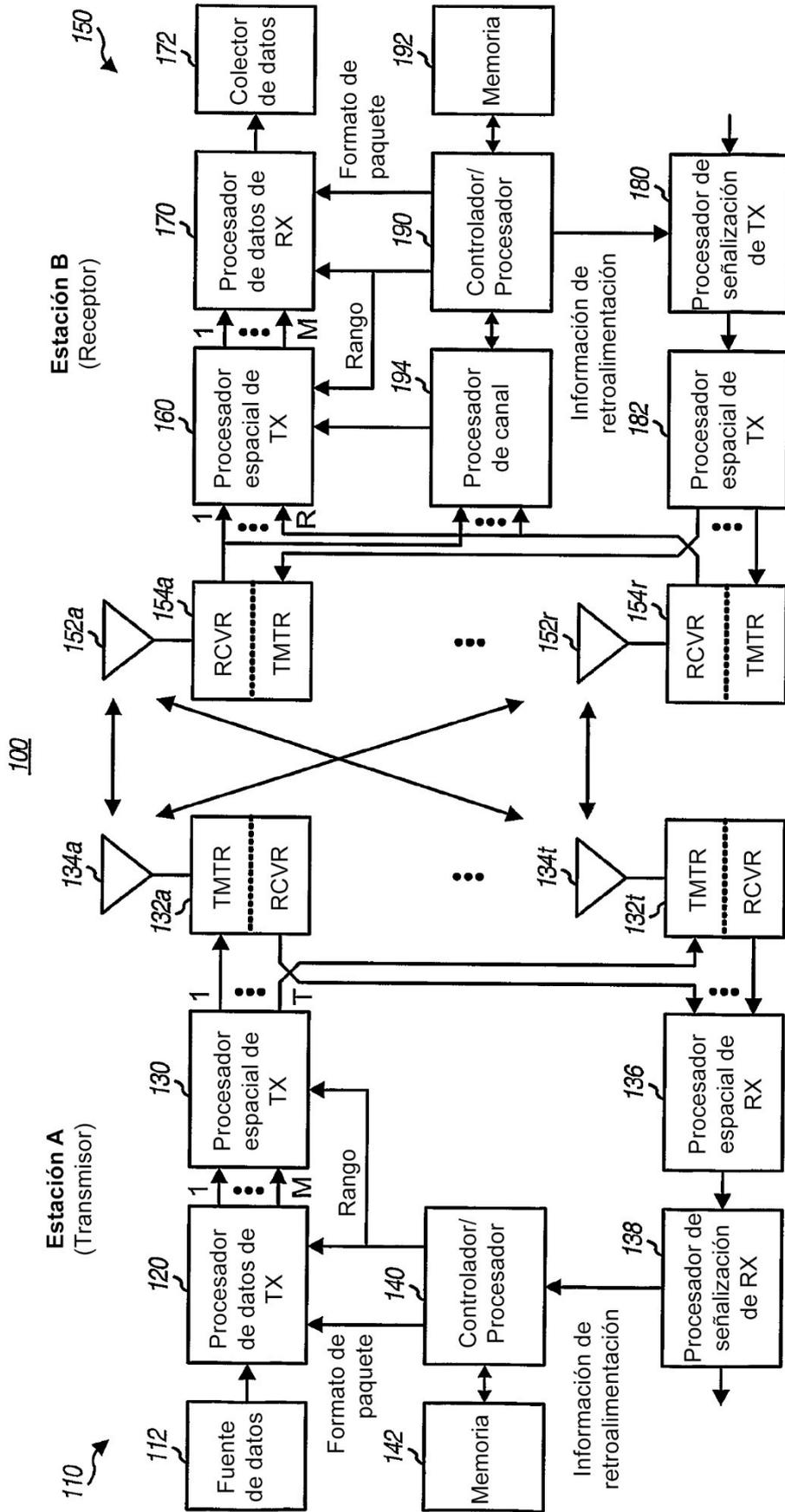


FIG. 1

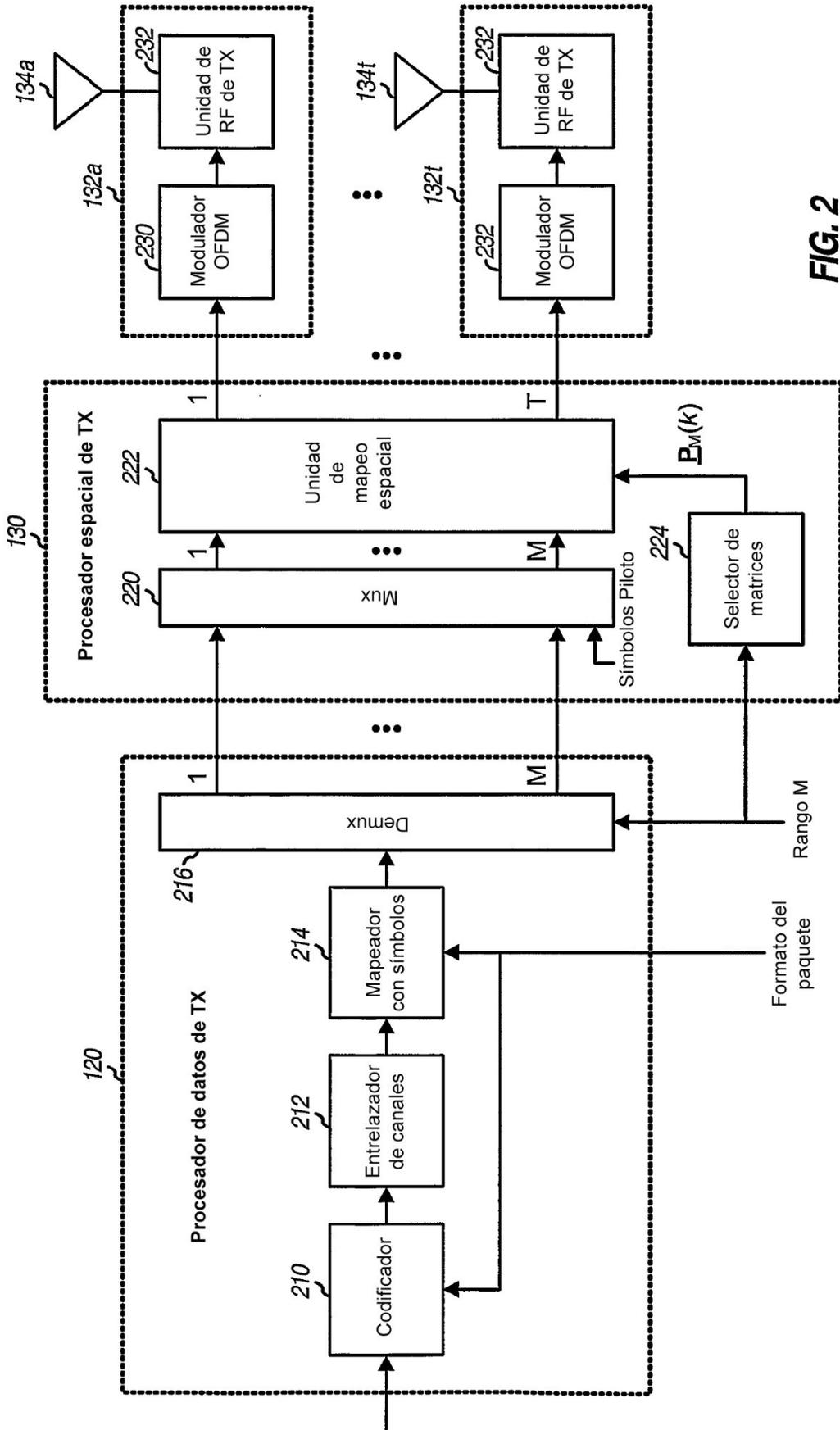


FIG. 2

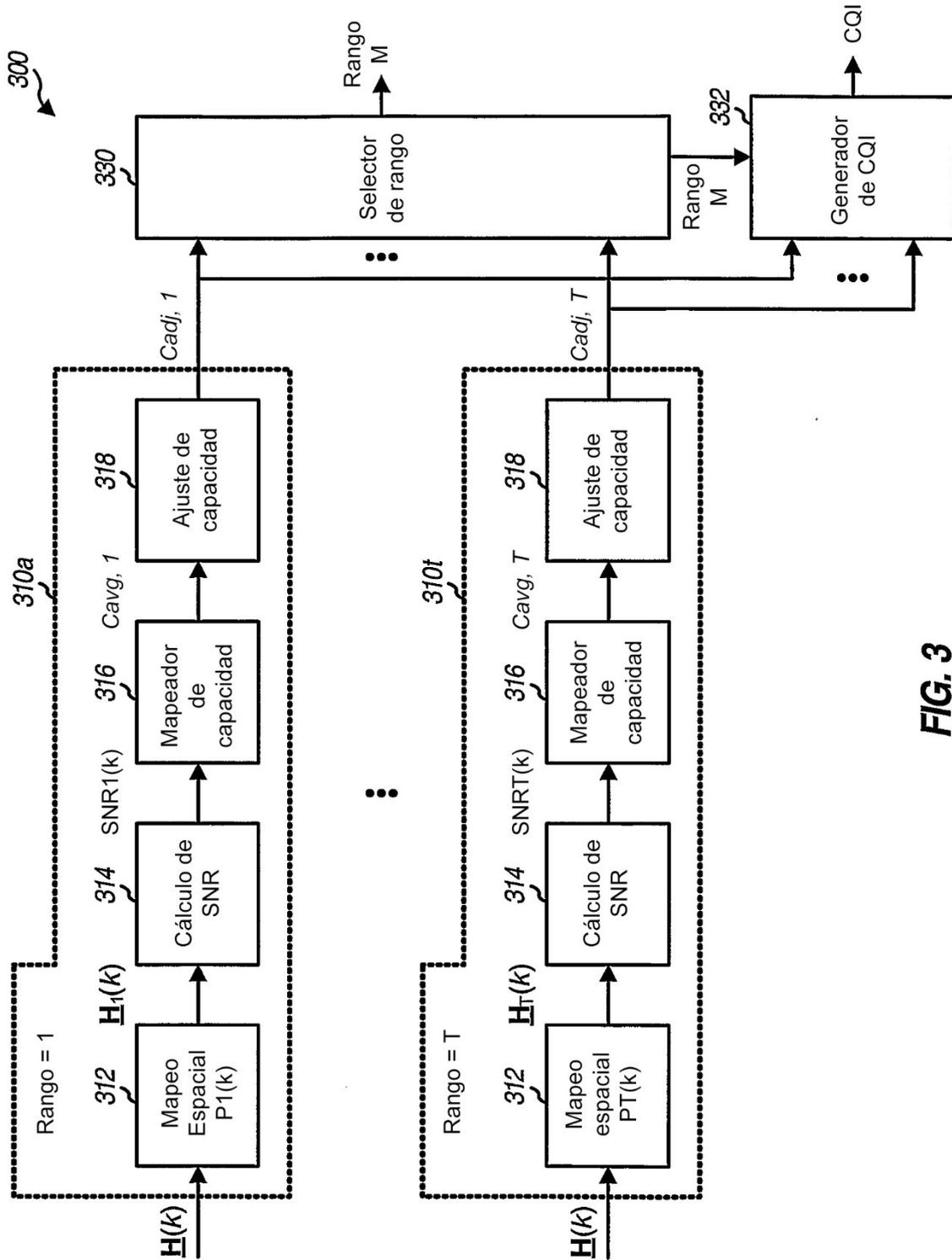


FIG. 3

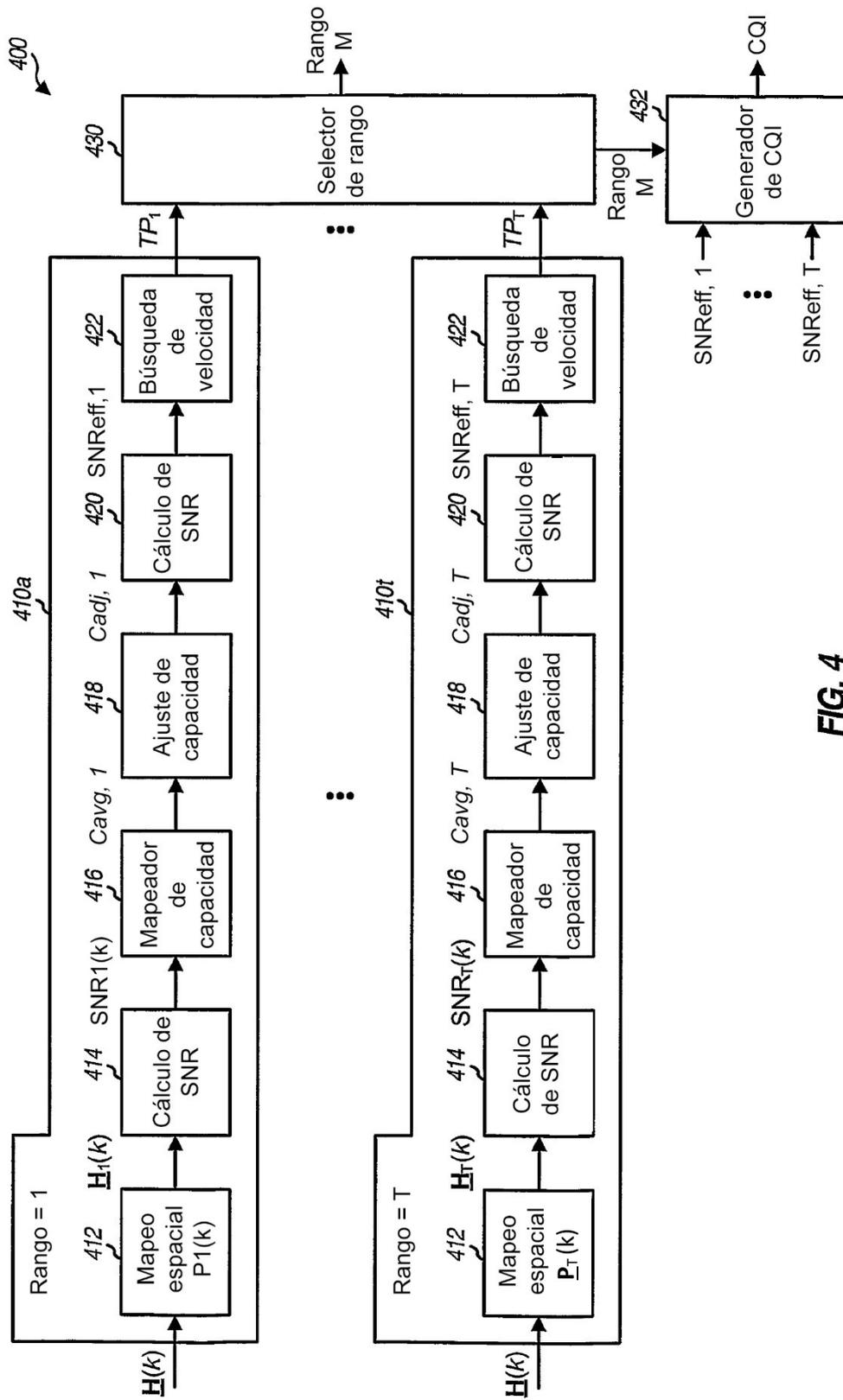


FIG. 4

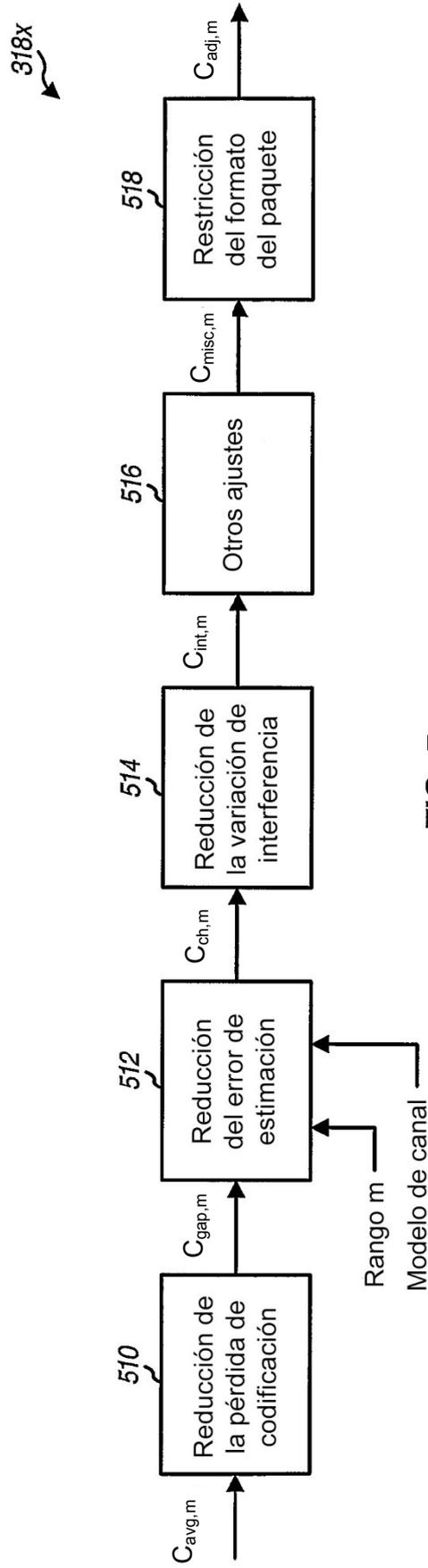
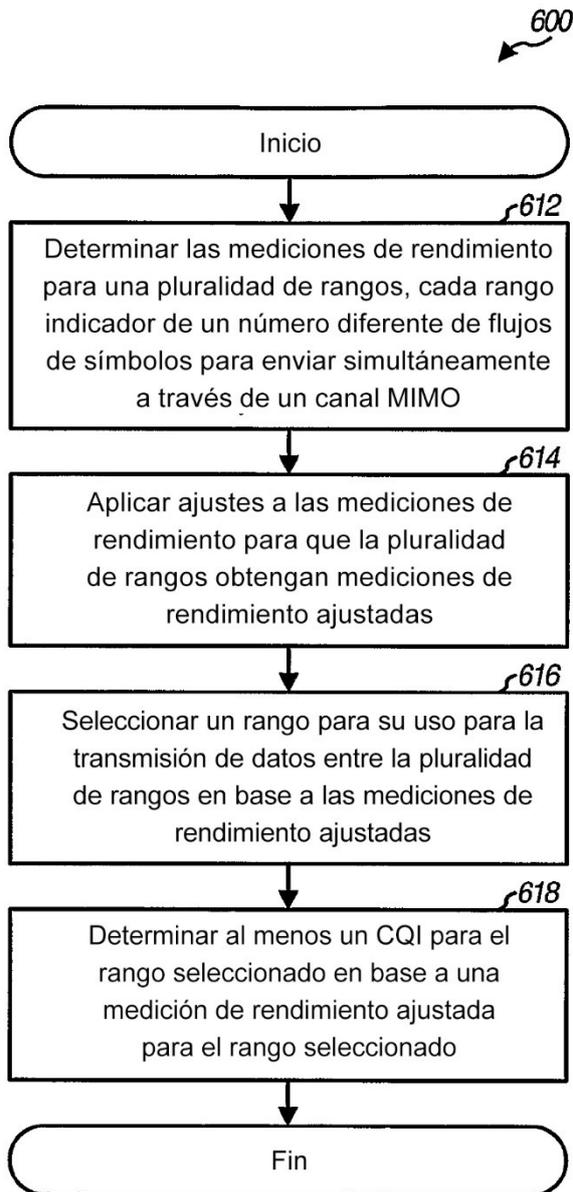
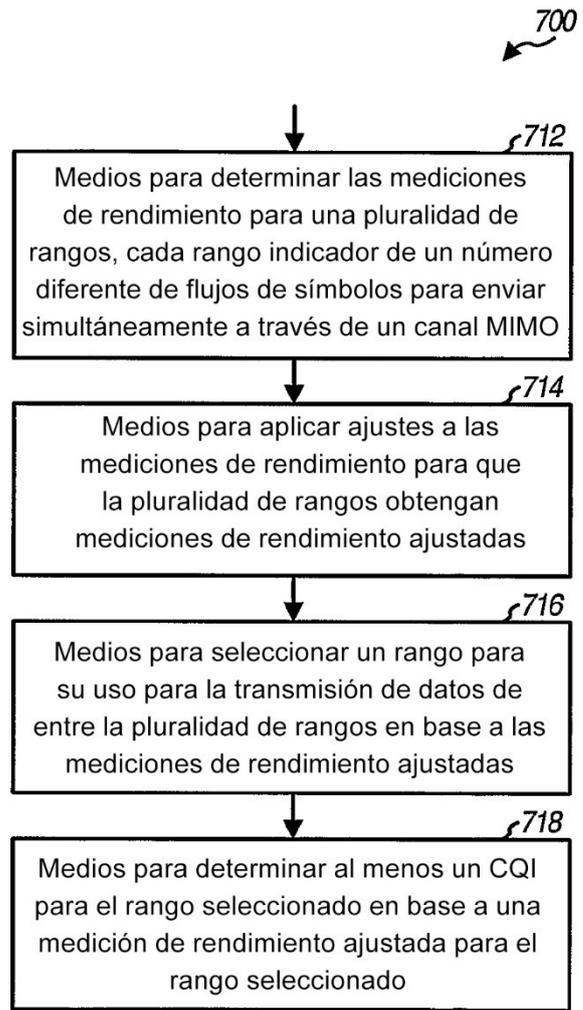


FIG. 5



**FIG. 6**



**FIG. 7**