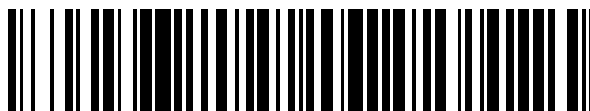


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 125**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04B 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2003 E 10174919 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2017 EP 2267926**

54 Título: **Sistema MIMO con múltiples modos de multiplexación espacial**

30 Prioridad:

25.10.2002 US 421309 P

23.10.2003 US 693429

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

24.07.2017

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

5775 Morehouse Drive

San Diego, CA 92121-1714 , US

72 Inventor/es:

WALTON, JAY, RODNEY;

KETCHUM, JOHN, W;

WALLACE, MARK y

HOWARD, STEVEN, J

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 626 125 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

Sistema MIMO con múltiples modos de multiplexación espacial

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

La presente solicitud de patente reivindica la prioridad de la solicitud provisional con n.º de serie 60/421.309, titulada "Sistema WLAN MIMO", presentada el 25 de octubre de 2002, asignada al cesionario de la misma, y expresamente incorporada como referencia en el presente documento.

10

ANTECEDENTES**I. Campo**

15 La presente invención se refiere en general a la comunicación, y más específicamente a un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) con múltiples modos de transmisión.

II. Antecedentes

20 Un sistema MIMO emplea múltiples (N_T) antenas de transmisión y múltiples (N_R) antenas de recepción para la transmisión de datos, y se representa como un sistema (N_T, N_R). Un canal MIMO formado por N_T antenas de transmisión y N_R antenas de recepción se puede descomponer en N_S canales espaciales, donde $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. Los N_S canales espaciales se pueden utilizar para transmitir N_S flujos de datos independientes para conseguir un mayor caudal de tráfico global. En general, el procesamiento espacial puede realizarse en un transmisor o no, y normalmente se lleva a cabo en un receptor para transmitir y recuperar múltiples flujos de datos simultáneamente.

25

Un sistema MIMO convencional típicamente utiliza un esquema de transmisión específico para transmitir simultáneamente múltiples flujos de datos. Este esquema de transmisión se puede seleccionar basándose en un compromiso de diversos factores tales como los requisitos del sistema, la cantidad de respuesta del receptor al transmisor, las capacidades del transmisor y el receptor, etc. Por lo tanto, el transmisor, el receptor, y el sistema están diseñados para admitir y funcionar de acuerdo con el esquema de transmisión seleccionado. Este esquema de transmisión típicamente tiene características favorables, así como otras desfavorables, que pueden afectar al rendimiento del sistema.

30

35 Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de un sistema MIMO capaz de conseguir un rendimiento mejorado.

SUMARIO

40 En el presente documento se describe un sistema MIMO que admite múltiples modos de multiplexación espacial para un mejor rendimiento y una mayor flexibilidad. La multiplexación espacial se refiere a la transmisión de múltiples flujos de datos simultáneamente a través de múltiples canales espaciales de un canal MIMO. Los múltiples modos de multiplexación espacial pueden incluir (1) un modo direccional de usuario único que transmite múltiples flujos de datos sobre canales espaciales ortogonales a un único receptor, (2) un modo no direccional de usuario único que transmite múltiples flujos de datos desde múltiples antenas a un único receptor sin procesamiento espacial en un transmisor, (3) un modo direccional multi-usuario que transmite múltiples flujos de datos simultáneamente a múltiples receptores con procesamiento espacial en un transmisor, y (4) un modo no direccional multi-usuario que transmite múltiples flujos de datos desde múltiples antenas (cubicadas o no cubicadas) sin procesamiento espacial en el o los transmisores a receptor(es) que tiene(n) múltiples antenas.

45

50 Se selecciona un conjunto de al menos un terminal de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente. Se selecciona un modo de multiplexación espacial para el conjunto de terminales de usuario de entre los múltiples modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema. También se seleccionan múltiples velocidades para múltiples flujos de datos a transmitir a través de múltiples canales espaciales de un canal MIMO para el conjunto de terminales de usuario. El conjunto de terminales de usuario se programa para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente con las velocidades seleccionadas y el modo de multiplexación espacial seleccionado. A continuación, los múltiples flujos de datos se procesan (por ejemplo, se codifican, se intercalan y se modulan) de acuerdo con las velocidades seleccionadas y también se procesan espacialmente de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para la transmisión mediante múltiples canales espaciales.

55

60

A continuación se describen en más detalle diversos aspectos y modos de realización de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

65 La FIG. 1 muestra un sistema MIMO de acceso múltiple;
La FIG. 2 muestra una estructura de tramas y canales para el sistema MIMO;

La FIG. 3 muestra un punto de acceso y dos terminales de usuario en el sistema MIMO;
 La FIG. 4 muestra un procesador de datos de transmisión (TX) en el punto de acceso;
 La FIG. 5 muestra un procesador espacial de TX y moduladores en el punto de acceso;
 La FIG. 6 muestra desmoduladores y un procesador espacial de recepción (RX) en un terminal de usuario de múltiples antenas;
 La FIG. 7 muestra un procesador de datos de RX en el terminal de usuario de múltiples antenas;
 La FIG. 8 muestra un procesador espacial de RX y un procesador de datos de RX que implementan una técnica de cancelación sucesiva de interferencias (SIC);
 La FIG. 9 muestra las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario;
 La FIG. 10 muestra un mecanismo de control de velocidad de bucle cerrado;
 La FIG. 11 muestra un controlador y un programador para programar terminales de usuario;
 La FIG. 12 muestra un proceso para programar terminales de usuario para la transmisión de datos;
 La FIG. 13 muestra un proceso para transmitir datos en el enlace descendente; y
 La FIG. 14 muestra un proceso para recibir datos en el enlace ascendente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La expresión "a modo de ejemplo" se usa en el presente documento en el sentido de "que sirve como ejemplo, instancia o ilustración". No debe considerarse que cualquier modo de realización descrito en el presente documento como "a modo de ejemplo" sea preferente o ventajoso con respecto a otros modos de realización.

Un sistema MIMO puede utilizar una única portadora o múltiples portadoras para la transmisión de datos. Las múltiples portadoras pueden proporcionarse mediante la Multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), otras técnicas de modulación de múltiples portadoras, o algún otro concepto. OFDM divide eficazmente el ancho de banda global del sistema en múltiples (N_f) sub-bandas ortogonales, que también se denominan habitualmente tonos, bins, portadoras y canales de frecuencia. Con OFDM, cada sub-banda se asocia con una portadora respectiva que se puede modular con datos. La siguiente descripción es para un sistema MIMO que utiliza OFDM. Sin embargo, los conceptos descritos en el presente documento son igualmente aplicables para un sistema MIMO de una única portadora.

El sistema MIMO admite múltiples modos de multiplexación espacial para un rendimiento mejorado y una mayor flexibilidad. La Tabla 1 lista los modos de multiplexación espacial admitidos y sus descripciones breves.

Tabla 1

Modo de multiplexación espacial	Descripción
Direccional de usuario único	Se transmiten múltiples flujos de datos sobre canales espaciales ortogonales a un único receptor.
No direccional de usuario único	Se transmiten múltiples flujos de datos desde múltiples antenas a un único receptor sin procesamiento espacial en un transmisor.
Direccional multi-usuario	Se transmiten múltiples flujos de datos simultáneamente (1) desde un único transmisor a múltiples receptores o (2) desde múltiples transmisores a un único receptor, en ambos casos con procesamiento espacial en el o los transmisores.
No direccional multi-usuario	Se transmiten múltiples flujos de datos simultáneamente (1) desde múltiples transmisores a un único receptor o (2) desde un único transmisor a múltiples receptores, en ambos casos sin procesamiento espacial en el o los transmisores.

El sistema MIMO también puede admitir otros y/o diferentes modos de multiplexación espacial, y esto está dentro del alcance de la invención.

Cada modo de multiplexación espacial tiene diferentes capacidades y requisitos. Los modos de multiplexación espacial direccionales típicamente pueden conseguir un mejor rendimiento, pero solo se pueden utilizar si el transmisor tiene suficiente información de estado de canal para ortogonalizar los canales espaciales mediante descomposición o alguna otra técnica, tal como se describe a continuación. Los modos de multiplexación espacial no direccionales requieren muy poca información para transmitir simultáneamente múltiples flujos de datos, pero el rendimiento puede no ser tan bueno como el de los modos de multiplexación espacial direccionales. Se puede seleccionar un modo de multiplexación espacial adecuado para su uso en función de la información de estado del canal disponible, las capacidades del transmisor y el receptor, los requisitos del sistema, etc. A continuación se describe cada uno de estos modos de multiplexación espacial.

1. Modo de multiplexación espacial direccional de usuario único

Un canal MIMO selectivo en frecuencia formado por N_T antenas de transmisión y N_R antenas de recepción se puede caracterizar mediante N_F matrices de respuesta del canal en el dominio de la frecuencia $\underline{\mathbf{H}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, cada una con dimensiones de $N_R \times N_T$. La matriz de respuesta del canal para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \dots & h_{1,N_T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \dots & h_{2,N_T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(k) & h_{N_R,2}(k) & \dots & h_{N_R,N_T}(k) \end{bmatrix},$$

Ecuación (1)

donde la entrada $h_{i,j}(k)$, para $i = 1 \dots N_R$, $j = 1 \dots N_T$, y $k = 1 \dots N_F$, es el acoplamiento (es decir, la ganancia compleja) entre la antena de transmisión j y la antena de recepción i para la sub-banda k .

La matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada sub-banda se puede "diagonalizar" para obtener N_S modos propios para dicha sub-banda. Esta diagonalización se puede conseguir realizando una descomposición de valores singulares de la matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o una descomposición de valores propios de una matriz de correlación de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que es $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k)$, donde " H " denota la conjugada traspuesta.

La descomposición de valores singulares de la matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada sub-banda puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{U}}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{\mathbf{V}}^H(k),$$

Ecuación (2)

Donde

- $\underline{\mathbf{U}}(k)$ es una matriz unitaria ($N_R \times N_R$) de vectores propios izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$;
- $\underline{\Sigma}(k)$ es una matriz diagonal ($N_R \times N_T$) de valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$; y
- $\underline{\mathbf{V}}(k)$ es una matriz unitaria ($N_T \times N_T$) de vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

Una matriz unitaria $\underline{\mathbf{M}}$ se caracteriza por la propiedad $\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \underline{\mathbf{I}}$, donde $\underline{\mathbf{I}}$ es la matriz identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí.

La descomposición de valores propios de la matriz de correlación de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\Lambda}(k)\underline{\mathbf{V}}^H(k),$$

Ecuación (3)

donde $\underline{\Lambda}(k)$ es una matriz diagonal ($N_T \times N_T$) de valores propios de $\underline{\mathbf{R}}(k)$. Como se muestra en las ecuaciones (2) y (3), las columnas de $\underline{\mathbf{v}}(k)$ son vectores propios de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ así como vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

La descomposición de valores singulares y la descomposición de valores propios se describen por Gilbert Strang en un libro titulado "Linear Algebra and Its Applications" ("Álgebra lineal y sus aplicaciones"), segunda edición, Academic Press, 1980. El modo de multiplexación espacial direccional de usuario único puede implementarse con la descomposición de valores singulares o la descomposición de valores propios. Para mayor claridad, en la siguiente descripción se utiliza la descomposición de valores singulares.

Los vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ también se denominan vectores de "direccionamiento" y un transmisor puede utilizarlos para el procesamiento espacial para transmitir datos en los N_S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Un receptor puede utilizar los vectores propios izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para el procesamiento espacial para recuperar los datos transmitidos en los N_S modos propios. Los modos propios se pueden ver como canales espaciales ortogonales obtenidos mediante la descomposición. La matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ contiene valores reales no negativos en la diagonal y ceros en el resto. Estas entradas de la diagonal se denominan los valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ y representan las ganancias del canal para los N_S modos propios de $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Los valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, $\{\sigma_1(k) \sigma_2(k) \dots \sigma_{N_S}(k)\}$, también son las

raíces cuadradas de los valores propios de $\underline{\mathbf{R}}(k)$, $\{\lambda_1(k) \lambda_2(k) \dots \lambda_{N_S}(k)\}$, donde $\sigma_i(k) = \sqrt{\lambda_i(k)}$. La descomposición de valores singulares se puede realizar de forma independiente sobre la matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada una de las N_F sub-bandas con el fin de determinar los N_S modos propios para dicha sub-banda.

Para cada sub-banda, los valores singulares de la matriz $\underline{\Sigma}(k)$ se pueden ordenar de mayor a menor, y los vectores propios de las matrices $\underline{\mathbf{v}}(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}(k)$ se pueden ordenar de la manera correspondiente. Un modo propio de "banda

ancha" se puede definir como el conjunto de modos propios del mismo orden de las N_F sub-bandas tras la ordenación (es decir, el modo propio de banda ancha m incluye el modo propio m de todas las sub-bandas). En general, se pueden utilizar todas o menos de N_F sub-bandas para la transmisión, y las sub-bandas no utilizadas se rellenan con valores de señal de cero. Por simplicidad, la siguiente descripción supone que se utilizan las N_F sub-bandas para la transmisión.

El modo de multiplexación espacial direccional de usuario único (o simplemente, el "modo direccional de usuario único") transmite N_S flujos de símbolos de datos en los N_S modos propios del canal MIMO. Esto requiere un procesamiento espacial tanto en el transmisor como en el receptor.

El procesamiento espacial en el transmisor para cada sub-banda para el modo direccional de usuario único se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) \quad , \quad \text{Ecuación (4)}$$

donde

$\underline{\mathbf{s}}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S entradas distintas de cero para N_S símbolos de datos a transmitir en los N_S modos propios para la sub-banda k ; y

$\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_T entradas para enviar N_T símbolos de transmisión desde las N_T antenas de transmisión para la sub-banda k .

Las N_S entradas de $\underline{\mathbf{s}}(k)$ pueden representar N_S flujos de símbolos de datos y el resto de entradas de $\underline{\mathbf{s}}(k)$, si existen, se rellenan con ceros.

Los símbolos recibidos obtenidos por el receptor para cada sub-banda se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \quad , \quad \text{Ecuación (5)}$$

donde

$\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_R \times 1$) con N_R entradas para N_R símbolos recibidos obtenidos mediante las N_R antenas de recepción para la sub-banda k ; y

$\underline{\mathbf{n}}(k)$ es un vector de ruido para la sub-banda k .

El procesamiento espacial en el receptor para recuperar el vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$ para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) &= \underline{\Sigma}^{-1}(k)\underline{\mathbf{U}}^H(k)\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) \quad , \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k)\underline{\mathbf{U}}^H(k)(\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) \quad , \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k)\underline{\mathbf{U}}^H(k)(\underline{\mathbf{U}}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{\mathbf{V}}^H(k)\underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) \quad , \\ &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k) \quad , \end{aligned} \quad \text{Ecuación (6)}$$

o $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k)\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$ y $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\Sigma}^{-1}(k)\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$,
donde

$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S símbolos de datos detectados para la sub-banda k ;
 $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S símbolos de datos recuperados para la sub-banda k ; y
 $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ es un vector de ruido postprocesado para la sub-banda k .

El vector $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ es una estimación no normalizada del vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$, y el vector $\underline{\mathbf{s}}_{su-s}(k)$ es una estimación normalizada de $\underline{\mathbf{s}}(k)$. La multiplicación por $\underline{\Sigma}^{-1}(k)$ en la ecuación (6) representa las ganancias (posiblemente diferentes) de los N_S canales espaciales y normaliza la salida del procesamiento espacial de recepción de tal manera que los símbolos de datos recuperados con la magnitud adecuada se proporcionan a una unidad de procesamiento posterior.

Para el modo direccional de usuario único, la matriz $\underline{\mathbf{E}}_{su-s}(k)$ de vectores de direccionamiento utilizada por el transmisor para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \quad .$$

Ecuación (7)

La matriz de filtro espacial utilizada por el receptor para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{M}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \quad .$$

Ecuación (8)

5 El modo direccional de usuario único se puede utilizar si el transmisor tiene la información del estado del canal para la matriz de respuesta del canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o la matriz $\underline{\mathbf{V}}(k)$ de vectores propios derechos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$. El transmisor puede estimar $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o $\underline{\mathbf{V}}(k)$ para cada sub-banda basándose en un piloto transmitido por el receptor, tal como se describe a continuación, o el receptor le puede proporcionar esta información a través de un canal de respuesta. El receptor típicamente puede obtener $\underline{\mathbf{H}}(k)$ o $\underline{\mathbf{U}}^H(k)$ para cada sub-banda basándose en un piloto transmitido por el transmisor. La ecuación (6) indica que los N_S flujos de símbolos de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$, distorsionados únicamente por el ruido del canal postprocesado $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$, se pueden obtener para el modo direccional de usuario único con el procesamiento espacial adecuado tanto en el transmisor como en el receptor.

15 La relación de señal a ruido e interferencia (SNR) para el modo direccional de usuario único se puede expresar como:

$$\gamma_{su-s,m}(k) = \frac{P_m(k)\lambda_m(k)}{\sigma^2} \quad , \quad m=1 \dots N_S \quad ,$$

Ecuación (9)

Donde

20 $P_m(k)$ es la potencia de transmisión utilizada para el símbolo de datos transmitido en la sub-banda k del modo propio de banda ancha m ;
 $\lambda_m(k)$ es el valor propio para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m , que es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\Lambda}(k)$; y
 $\gamma_{su-s,m}(k)$ es la SNR para la sub-banda k del modo propio de banda ancha m .

2. Modo de multiplexación espacial no direccional de usuario único

El modo de multiplexación espacial no direccional de usuario único (o simplemente, el "modo no direccional de usuario único") se puede utilizar si el transmisor no tiene suficiente información del estado del canal o si no se admite el modo direccional de usuario único por cualquier motivo. El modo no direccional de usuario único transmite N_S flujos de símbolos de datos desde N_T antenas de transmisión sin ningún procesamiento espacial en el transmisor.

Para el modo no direccional de usuario único, la matriz $\underline{\mathbf{F}}_{ns}(k)$ de vectores de direccionamiento utilizada por el transmisor para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{F}}_{ns}(k) = \mathbf{I} \quad .$$

Ecuación (10)

El procesamiento espacial en el transmisor para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{X}}_{ns}(k) = \underline{\mathbf{s}}(k) \quad ,$$

Ecuación (11)

donde $\underline{\mathbf{x}}_{ns}(k)$ es el vector de símbolos de transmisión para el modo no direccional de usuario único. Un canal espacial de "banda ancha" para este modo se puede definir como el canal espacial correspondiente a una antena de transmisión dada (es decir, el canal espacial de banda ancha m para el modo no direccional de usuario único incluye todas las sub-bandas de la antena de transmisión m).

Los símbolos recibidos obtenidos por el receptor para cada sub-banda se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{x}}_{ns}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \quad .$$

Ecuación (12)

El receptor puede recuperar el vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$ utilizando diversas técnicas de procesamiento de recepción, tal como una técnica de inversión de la matriz de correlación del canal (CCMI) (que también se denomina comúnmente una técnica de cero forzado), una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE), un ecualizador de decisión retroalimentada (DFE), una técnica de cancelación sucesiva de interferencias (SIC), etc.

A. Procesamiento espacial CCMI

El receptor puede utilizar la técnica CCMI para separar los flujos de símbolos de datos. Un receptor CCMI utiliza un filtro espacial que tiene una respuesta de $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, que se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k) = [\underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k)]^{-1}\underline{\mathbf{H}}^H(k) = \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k)\underline{\mathbf{H}}^H(k) \quad . \quad \text{Ecuación (13)}$$

5 El procesamiento espacial mediante el receptor CCMI para el modo no direccional de usuario único se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(k) &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) \quad , \\ &= \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k)\underline{\mathbf{H}}^H(k)(\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) \quad , \\ &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k) \quad , \end{aligned} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde

10 $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) con N_S símbolos de datos recuperados para la sub-banda k ; y $\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k) = \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)\underline{\mathbf{n}}(k)$ es el ruido filtrado de CCMI para la sub-banda k .

Una matriz de autocovarianza $\underline{\varphi}_{ccmi}(k)$ del ruido filtrado de CCMI para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \underline{\varphi}_{ccmi}(k) &= E[\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k)\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}^H(k)] \quad , \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)\underline{\varphi}_{nn}(k)\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}^H(k) \quad , \\ &= \sigma^2 \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k) \quad , \end{aligned} \quad \text{Ecuación (15)}$$

donde $E[x]$ es el valor esperado de x . La última igualdad en la ecuación (15) supone que el ruido $\underline{\mathbf{n}}(k)$ es ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) con media cero, una varianza de σ^2 , y una matriz de autocovarianza de $\underline{\varphi}_{nn}(k) = E[\underline{\mathbf{n}}(k)\underline{\mathbf{n}}^H(k)] = \sigma^2 \mathbf{I}$. En este caso, la SNR para el receptor CCMI se puede expresar como:

$$\gamma_{ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}(k)\sigma^2} \quad , \quad m = 1 \dots N_S \quad , \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde

25 $P_m(k)$ es la potencia de transmisión utilizada para el símbolo de datos transmitido en la sub-banda k del canal espacial de banda ancha m ; $r_{mm}(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ para la sub-banda k ; y $\gamma_{ccmi,m}(k)$ es la SNR para la sub-banda k del canal espacial de banda ancha m .

Debido a la estructura de $\underline{\mathbf{R}}(k)$ la técnica CCMI puede amplificar el ruido.

30 **B. Procesamiento espacial MMSE**

El receptor puede utilizar la técnica MMSE para eliminar la diafonía entre los flujos de símbolos de datos y maximizar las SNR de los flujos de símbolos de datos recuperados. Un receptor MMSE utiliza un filtro espacial que tiene una respuesta de $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$ para $k = 1 \dots N_F$, que se obtiene de tal manera que se minimiza el error cuadrático medio entre el vector de datos estimado del filtro espacial y el vector de datos $\underline{\mathbf{s}}(k)$. Este criterio MMSE se puede expresar como:

$$\min_{(\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k))} E [(\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) - \underline{\mathbf{s}}(k))^H (\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) - \underline{\mathbf{s}}(k))] \quad . \quad \text{Ecuación (17)}$$

40 La solución al problema de optimización planteado en la ecuación (17) se puede obtener de varias maneras. En un procedimiento a modo de ejemplo, la matriz de filtro espacial de MMSE $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$ para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\begin{aligned}\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k) &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)[\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{H}}^H(k) + \underline{\varphi}_{nm}(k)]^{-1} , \\ &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)[\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{H}}^H(k) + \sigma^2 \underline{\mathbf{I}}]^{-1} .\end{aligned}$$

Ecuación (18)

La segunda igualdad en la ecuación (18) supone que el vector de ruido $\mathbf{n}(k)$ es AWGN con media cero y varianza de σ^2 .

5 El procesamiento espacial mediante el receptor MMSE para el modo no direccional de usuario único se compone de dos etapas. En la primera etapa, el receptor MMSE multiplica el vector $\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k)$ para los N_R flujos de símbolos recibidos por la matriz de filtro espacial de MMSE $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$ para obtener un vector $\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{mmse}(k)$ para N_S flujos de símbolos detectados, de la forma siguiente:

$$\begin{aligned}\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{mmse}(k) &= \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) , \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)(\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)) , \\ &= \underline{\mathbf{Q}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{mmse}(k) ,\end{aligned}$$

Ecuación (19)

10 donde $\underline{\mathbf{n}}_{mmse}(k) = \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{n}}(k)$ es el ruido filtrado MMSE y $\underline{\mathbf{Q}}(k) = \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{H}}(k)$.

Los N_S flujos de símbolos detectados son estimaciones no normalizadas de los N_S flujos de símbolos de datos.

15 En la segunda etapa, el receptor MMSE multiplica el vector $\underline{\mathbf{s}}_{mmse}(k)$ por una matriz de escalado $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)$ para obtener un vector $\underline{\hat{\mathbf{s}}}_{mmse}(k)$ para los N_S flujos de símbolos de datos recuperados, de la forma siguiente:

$$\underline{\hat{\mathbf{s}}}_{mmse}(k) = \underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{mmse}(k) ,$$

Ecuación (20)

20 donde $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(k)$ es una matriz diagonal cuyos elementos diagonales son los elementos diagonales de $\underline{\mathbf{Q}}(k)$, i.e., $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(k) = \text{diag}[\underline{\mathbf{Q}}(k)]$. Los N_S flujos de símbolos de datos recuperados son estimaciones normalizadas de los N_S flujos de símbolos de datos.

Utilizando la matriz identidad inversa, la matriz $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ se puede reescribir como:

$$\begin{aligned}\underline{\mathbf{Q}}(k) &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\varphi}_{nm}^{-1}(k)\underline{\mathbf{H}}(k)[\underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\varphi}_{nm}^{-1}(k)\underline{\mathbf{H}}(k) + \underline{\mathbf{I}}]^{-1} , \\ &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k)[\underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k) + \sigma^2 \underline{\mathbf{I}}]^{-1} .\end{aligned}$$

Ecuación (21)

25 La segunda igualdad en la ecuación (21) supone que el ruido es AWGN con media cero y varianza de σ^2 .

La SNR para el receptor MMSE se puede expresar como:

$$\gamma_{mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}(k)}{1 - q_{mm}(k)} P_m(k) , \quad m = 1 \dots N_S ,$$

Ecuación (22)

30 Donde

$q_{mm}(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ para la sub-banda k ; y $\gamma_{mmse,m}(k)$ es la SNR para la sub-banda k del canal espacial de banda ancha m .

35 **C. Procesamiento de recepción de cancelación sucesiva de interferencias**

El receptor puede procesar los N_R flujos de símbolos recibidos utilizando la técnica SIC para recuperar los N_S flujos de símbolos de datos. Para la técnica SIC, el receptor inicialmente realiza el procesamiento espacial sobre los N_R flujos de símbolos recibidos (por ejemplo, utilizando CCMI, MMSE, o alguna otra técnica) y obtiene un flujo de símbolos de datos recuperados. El receptor también procesa (por ejemplo, desmodula, desintercala y decodifica) este flujo de símbolos de datos recuperados para obtener un flujo de datos decodificados. A continuación, el receptor estima la interferencia que este flujo causa a los $N_S - 1$ flujos de símbolos de datos restantes y cancela la interferencia estimada de los N_R flujos de símbolos recibidos para obtener N_R flujos de símbolos modificados. Entonces el receptor repite el mismo procesamiento sobre los N_R flujos de símbolos modificados para recuperar otro flujo de símbolos de datos.

40

45

Para un receptor SIC, los flujos de símbolos (es decir, recibidos o modificados) de entrada para la etapa ℓ , donde $\ell = 1 \dots N_S$, se puede expresar como:

$$\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(k) = \mathbf{H}^{\ell}(k)\mathbf{x}_{ns}^{\ell}(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{H}^{\ell}(k)\mathbf{s}^{\ell}(k) + \mathbf{n}(k) , \quad \text{Ecuación (23)}$$

5 donde

$\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(k)$ es un vector de N_R símbolos modificados para la sub-banda k en la etapa ℓ , y $\mathbf{r}_{ns}^1(k) = \mathbf{r}_{ns}(k)$ para la primera etapa;

$\mathbf{s}^{\ell}(k)$ es un vector de $(N_T - \ell + 1)$ símbolos de datos no recuperados todavía para la sub-banda k en la etapa ℓ , y

10 $\mathbf{H}^{\ell}(k)$ es una matriz de respuesta del canal reducida $N_R \times (N_T - \ell + 1)$ para la sub-banda k en la etapa ℓ .

La ecuación (23) supone que los flujos de símbolos de datos recuperados en las $(\ell - 1)$ etapas anteriores se cancelan. La dimensionalidad de la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ se reduce sucesivamente en una columna para cada etapa a medida que un flujo de símbolos de datos se recupera y se cancela. Para la etapa ℓ , la matriz de respuesta del canal reducida $\mathbf{H}^{\ell}(k)$ se obtiene eliminando $(\ell - 1)$ columnas en la matriz original $\mathbf{H}(k)$ correspondientes a los $(\ell - 1)$ flujos de símbolos de datos recuperados previamente, por ejemplo, $\mathbf{H}^{\ell}(k) = [\mathbf{h}_{j_{\ell}}(k) \mathbf{h}_{j_{\ell+1}}(k) \dots \mathbf{h}_{j_{N_T}}(k)]$, donde $\mathbf{h}_{j_n}(k)$ es un vector $N_R \times 1$ para la respuesta del canal entre la antena de transmisión j_n y las N_R antenas de recepción. Para la etapa ℓ , se asignan a los $(\ell - 1)$ flujos de símbolos de datos recuperados en las etapas anteriores los índices $\{j_1 j_2 \dots j_{\ell-1}\}$, y se asignan a los $(N_T - \ell + 1)$ flujos de símbolos de datos no recuperados todavía los índices $\{j_{\ell} j_{\ell+1} \dots j_{N_T}\}$.

15

Para la etapa ℓ , el receptor SIC obtiene una matriz de filtro espacial $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ para $k = 1 \dots N_F$, basándose en la matriz de respuesta del canal reducida $\mathbf{H}^{\ell}(k)$ (en lugar de la matriz original $\mathbf{H}(k)$) utilizando la técnica CCMI mostrada en la ecuación (13), la técnica MMSE mostrada en la ecuación (18), o alguna otra técnica. La matriz $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ tiene una dimensionalidad de $(N_T - \ell + 1) \times N_R$. Como $\mathbf{H}^{\ell}(k)$ es diferente para cada etapa, la matriz de filtro espacial $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ es diferente para cada etapa.

25

El receptor SIC multiplica el vector $\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ para los N_R flujos de símbolos modificados por la matriz de filtro espacial $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ para obtener un vector $\tilde{\mathbf{s}}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ para $(N_T - \ell + 1)$ flujos de símbolos detectados, de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{s}}_{sic}^{\ell}(k) &= \mathbf{M}_{sic}^{\ell}(k)\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(k) , \\ &= \mathbf{M}_{sic}^{\ell}(k)(\mathbf{H}^{\ell}(k)\mathbf{s}^{\ell}(k) + \mathbf{n}^{\ell}(k)) , \\ &= \mathbf{Q}_{sic}^{\ell}(k)\mathbf{s}^{\ell}(k) + \mathbf{n}_{sic}^{\ell}(k) , \end{aligned} \quad \text{Ecuación (24)}$$

30 donde $\mathbf{n}_{sic}^{\ell}(k) = \mathbf{M}_{sic}^{\ell}(k)\mathbf{n}^{\ell}(k)$ es el ruido filtrado para la sub-banda k de la etapa ℓ , $\mathbf{n}^{\ell}(k)$ es un vector reducido de $\mathbf{n}(k)$, y $\mathbf{Q}_{sic}^{\ell}(k) = \mathbf{M}_{sic}^{\ell}(k)\mathbf{H}^{\ell}(k)$. Entonces el receptor SIC selecciona uno de los flujos de símbolos detectados para su recuperación. Como en cada etapa solo se recupera un flujo de símbolos de datos, el receptor SIC simplemente puede obtener un vector fila $(1 \times N_R)$ del filtro espacial $\mathbf{m}_{je}^{\ell}(\mathbf{k})$ para el flujo de símbolos de datos $\{s_{j\ell}\}$ a recuperar en la etapa ℓ . El vector fila $\mathbf{m}_{je}^{\ell}(\mathbf{k})$ es una fila de la matriz $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$. En este caso, el procesamiento espacial para que la etapa ℓ recupere el flujo de símbolos de datos $\{s_{j\ell}\}$ se puede expresar como:

35

$$\tilde{s}_{j\ell}(k) = \mathbf{m}_{j\ell}^{\ell}(k)\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(k) = \mathbf{q}_{j\ell}^{\ell}(k)\mathbf{s}^{\ell}(k) + \mathbf{m}_{j\ell}^{\ell}(k)\mathbf{n}(k) , \quad \text{Ecuación (25)}$$

donde $\mathbf{q}_{j\ell}^{\ell}(k)$ es la fila de $\mathbf{Q}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ correspondiente al flujo de símbolos de datos $\{s_{j\ell}\}$.

40 En cualquier caso, el receptor escala el flujo de símbolos detectados $\{\tilde{s}_{j\ell}\}$ para obtener un flujo de símbolos recuperados $\{\hat{s}_{j\ell}\}$ y también procesa (por ejemplo, desmodula, desintercala y decodifica) el flujo $\{\tilde{s}_{j\ell}\}$ para obtener un flujo de datos decodificados $\{\hat{d}_{j\ell}\}$. El receptor también establece una estimación de la interferencia que causa este flujo al resto de flujos de símbolos de datos no recuperados todavía. Para estimar la interferencia, el receptor vuelve a codificar, intercalar y asignar símbolos al flujo de datos decodificados $\{\hat{d}_{j\ell}\}$ de la misma manera que se realizó en el transmisor y obtiene un flujo de símbolos "remodulados" $\{\tilde{s}_{j\ell}\}$ que es una estimación del flujo de símbolos de datos que se acaban de recuperar. Entonces el receptor convolucionna el flujo de símbolos remodulados con cada uno de los N_R elementos en el vector de respuesta del canal $\mathbf{h}_{j\ell}(k)$ para el flujo $\{s_{j\ell}\}$ para obtener N_R componentes de la interferencia $\mathbf{j}_{j\ell}(k)$ causada por este flujo. Los N_R componentes de la interferencia se restan entonces de los N_R flujos de símbolos modificados $\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k})$ para la etapa ℓ para obtener N_R flujos de símbolos modificados $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(\mathbf{k})$ para la siguiente etapa $\ell + 1$, por ejemplo, $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(\mathbf{k}) = \mathbf{r}_{sic}^{\ell}(\mathbf{k}) - \mathbf{j}_{j\ell}(\mathbf{k})$. Los flujos de símbolos modificados $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(\mathbf{k})$ representan los flujos que se habrían recibido si el flujo de símbolos de datos $\{s_{j\ell}\}$ no se hubiese transmitido (por ejemplo, suponiendo que se realizó de manera efectiva la cancelación de interferencias).

50

El receptor SIC procesa los N_R flujos de símbolos recibidos en N_S etapas sucesivas. Para cada etapa, el receptor SIC (1) realiza el procesamiento espacial sobre los N_R flujos de símbolos recibidos o bien sobre los N_R flujos de

55

símbolos modificados de la etapa anterior para obtener un flujo de símbolos de datos recuperados, (2) decodifica este flujo de símbolos de datos recuperados para obtener un flujo de datos decodificados correspondiente, (3) estima y cancela la interferencia debida a este flujo, y (4) obtiene N_R flujos de símbolos modificados para la siguiente etapa. Si la interferencia debida a cada flujo de datos se puede estimar y cancelar con precisión, entonces los flujos de datos recuperados posteriormente experimentan menos interferencia y pueden conseguir relaciones SNR más altas.

Para la técnica SIC, la SNR de cada flujo de símbolos de datos recuperados depende de (1) la técnica de procesamiento espacial (por ejemplo, CCMI o MMSE) utilizada para cada etapa, (2) la etapa específica en la que se recupera el flujo de símbolos de datos, y (3) la magnitud de la interferencia debida a los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas posteriores. La SNR para el receptor SIC con CCMI se puede expresar como:

$$\gamma_{sic-ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}^\ell(k) \sigma^2}, \quad m = 1 \dots N_s, \quad \text{Ecuación (26)}$$

donde $r_{mm}^\ell(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal de $[\mathbf{R}^\ell(k)]^{-1}$ para la sub-banda k , donde $\mathbf{R}^\ell(k) = [\mathbf{H}^\ell(k)]^H \mathbf{H}^\ell(k)$.

La SNR para el receptor SIC con MMSE se puede expresar como:

$$\gamma_{sic-mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}^\ell(k)}{1 - q_{mm}^\ell(k)} P_m(k), \quad m = 1 \dots N_s, \quad \text{Ecuación (27)}$$

donde $q_{mm}^\ell(k)$ es el m -ésimo elemento diagonal $\mathbf{Q}_{sic}^\ell(k)$ para la sub-banda k , donde $\mathbf{Q}_{sic}^\ell(k)$ se obtiene como se muestra en la ecuación (21) pero basándose en la matriz de respuesta del canal reducida $\mathbf{H}^\ell(k)$ en lugar de en la matriz original $\mathbf{H}(k)$.

En general, la SNR mejora progresivamente para los flujos de símbolos de datos recuperados en las etapas posteriores debido a que se cancela la interferencia de los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas anteriores. Esto permite utilizar mayores velocidades para los flujos de símbolos de datos recuperados posteriormente.

3. Modo de multiplexación espacial direccional multi-usuario

El modo de multiplexación espacial direccional multi-usuario (o simplemente, el "modo direccional multi-usuario") admite la transmisión de datos desde un único transmisor a múltiples receptores simultáneamente basándose en las "firmas espaciales" de los receptores. La firma espacial para un receptor viene dada por un vector de respuesta del canal (para cada sub-banda) entre las N_T antenas de transmisión y cada antena de recepción en el receptor. El transmisor puede obtener las firmas espaciales de los receptores como se describe a continuación. El transmisor puede entonces (1) seleccionar un conjunto de receptores para la transmisión simultánea de datos y (2) obtener los vectores de direccionamiento para los flujos de símbolos de datos a transmitir a los receptores seleccionados de tal manera que la diafonía del flujo de transmisión se elimina apropiadamente en los receptores.

Los vectores de direccionamiento para el modo direccional multi-usuario se pueden obtener de varias maneras. A continuación se describen dos esquemas a modo de ejemplo. Por simplicidad, la siguiente descripción es para una sub-banda y asume que cada receptor está equipado con una antena.

En un esquema de inversión de canal, el transmisor obtiene los vectores de direccionamiento para múltiples receptores utilizando la inversión de canal. El transmisor inicialmente selecciona N_T receptores de antena única para la transmisión simultánea. El transmisor obtiene un vector fila $1 \times N_T$ de respuesta del canal $\mathbf{h}(k)$ para cada receptor selecciona y forma una matriz $N_T \times N_T$ de respuesta del canal $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$ con los N_T vectores fila para los N_T receptores. A continuación, el transmisor utiliza la inversión de canal para obtener una matriz $\mathbf{F}_{mu-s}(k)$ de N_T vectores de direccionamiento para los N_T receptores seleccionados, de la forma siguiente:

$$\mathbf{F}_{mu-s}(k) = \mathbf{H}_{mu-s}^{-1}(k) . \quad \text{Ecuación (28)}$$

El procesamiento espacial en el transmisor para cada sub-banda para el modo direccional multi-usuario se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{mu-s}(k) = \mathbf{F}_{mu-s}(k) \mathbf{s}(k) . \quad \text{Ecuación (29)}$$

donde $\mathbf{x}_{mu-s}(k)$ es el vector de símbolos transmitidos para el modo direccional multi-usuario.

Los símbolos recibidos en los N_T receptores seleccionados para cada sub-banda se pueden expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{mu-s}(k) &= \mathbf{H}_{mu-s}(k)\mathbf{x}_{mu-s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad , \\ &= \mathbf{H}_{mu-s}(k)\mathbf{F}_{mu-s}(k)\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad , \\ &= \mathbf{s}(k) + \mathbf{i}(k) + \mathbf{n}(k) \quad , \end{aligned}$$

Ecuación (30)

donde $\mathbf{r}_{mu-s}(k)$ es un vector ($N_T \times 1$) de símbolos recibidos para la sub-banda k en los N_T receptores seleccionados, e $\mathbf{i}(k)$ representa la interferencia de diafonía debida a la estimación imperfecta de $\mathbf{F}_{mu-s}(k)$ en el transmisor. Cada receptor seleccionado obtendría solo una entrada del vector $\mathbf{r}_{mu-s}(k)$ para cada antena de recepción. Si el procesamiento espacial en el transmisor es eficaz, entonces la potencia en $\mathbf{i}(k)$ es baja, y cada flujo de símbolos de datos recuperados sufre poca diafonía del resto de los ($N_T - 1$) flujos de símbolos de datos enviados a los otros receptores.

El transmisor también puede transmitir un piloto direccional a cada receptor seleccionado, tal como se describe a continuación. Cada receptor podría entonces procesar su piloto direccional para estimar la ganancia y la fase del canal y desmodular coherentemente los símbolos recibidos desde su única antena con estimaciones de la ganancia y la fase del canal para obtener símbolos de datos recuperados.

Las relaciones SNR conseguidas para el modo direccional multi-usuario son una función de la autocovarianza de la matriz de respuesta del canal $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$. Se pueden conseguir SNR más altas seleccionando terminales de usuario "compatibles". Se pueden evaluar diferentes conjuntos y/o combinaciones de terminales de usuario, y se puede seleccionar el conjunto/combinación con las SNR más altas para la transmisión de datos.

Aunque que el esquema de inversión de canal es atractivo en su sencillez, en general proporcionará un bajo rendimiento, debido a que el acondicionamiento previo de los flujos de símbolos de datos con la matriz de respuesta del canal inversa en la ecuación (29) fuerza al transmisor a poner la mayor parte de su potencia en los peores modos propios del canal MIMO. Además, en algunos canales, en particular en los que tienen elevadas correlaciones entre los elementos de $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$, la matriz de respuesta de canal es menor que el rango completo, y no será posible calcular una inversa.

En un esquema de precodificación, el transmisor precodifica N_T flujos de símbolos de datos a enviar a los N_T receptores seleccionados de tal manera que estos flujos de símbolos de datos sufren poca diafonía en los receptores. El transmisor puede formar la matriz de respuesta del canal $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$ para los N_T receptores seleccionados. A continuación, el transmisor realiza la factorización QR sobre $\mathbf{H}_{mu}(k)$ de tal manera $\mathbf{H}_{mu}(k) = \mathbf{F}_{tri}(k)\mathbf{Q}_{mu}(k)$, donde $\mathbf{F}_{tri}(k)$ es una matriz triangular izquierda inferior y $\mathbf{Q}_{mu}(k)$ es una matriz unitaria.

El transmisor realiza una operación de precodificación sobre el vector de símbolos de datos a transmitir, $\mathbf{s}(k) = [s_1(k) s_2(k) \dots s_{N_T}(k)]^T$, para obtener un vector de símbolos precodificados $\mathbf{a}(k) = [a_1(k) a_2(k) \dots a_{N_T}(k)]^T$, de la forma siguiente:

$$a_\ell(k) = \frac{1}{f_{\ell\ell}(k)} \left(s_\ell(k) - \sum_{i=1}^{\ell-1} f_{\ell i}(k) a_i(k) \right) \text{mod}(M/2), \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_T, \quad \text{Ecuación (31)}$$

Donde

M es el número de niveles, separados a intervalos unitarios, en la dimensión de fase o cuadratura de una constelación de señales QAM en cuadratura; y $f_{ij}(k)$ es el elemento de $\mathbf{F}_{tri}(k)$ en la fila i y la columna j .

La operación de módulo (mod) añade un número suficiente de múltiplos enteros de M al argumento de modo que el resultado cumple $a_i(k) \in [-M/2, M/2)$. Después de esta operación de precodificación, los símbolos de transmisión se calculan procesando el vector de símbolos precodificados $\mathbf{a}(k)$ con la matriz de direccionamiento unitaria $\mathbf{Q}_{mu}(k)$ para generar el vector de símbolos de transmisión.

$$\mathbf{x}_{mu-pc}(k) = \mathbf{Q}_{mu}^H(k)\mathbf{a}(k).$$

El vector de símbolos de recepción para el esquema de precodificación se puede expresar como:

$$\mathbf{r}_{mu-pc}(k) = \mathbf{H}_{mu}(k)\mathbf{Q}_{mu}^H(k)\mathbf{a}(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{F}_{tri}(k)\mathbf{a}(k) + \mathbf{n}(k) \quad .$$

Ecuación (32)

Se puede mostrar que $\mathbf{F}_{tri}(k)\mathbf{a}(k) \text{mod}(M/2) = \mathbf{s}(k)$. Por lo tanto, el vector de símbolos de datos se puede estimar como $\hat{\mathbf{s}}_{mu-pc}(k) = \mathbf{r}_{mu-pc}(k) \text{mod}(M/2)$. Cada uno de los N_T receptores seleccionados solo obtiene uno de los N_T elementos de $\mathbf{r}_{mu-pc}(k)$ y puede estimar los símbolos de datos enviados al mismo realizando la operación mod ($M/2$) sobre sus símbolos recibidos.

El transmisor también puede transmitir múltiples flujos de símbolos de datos a un receptor de múltiples antenas en el modo direccional multi-usuario. La matriz de respuesta del canal $\mathbf{H}_{mu-s}(k)$ incluiría entonces un vector fila para cada antena de recepción del receptor de múltiples antenas.

El modo direccional multi-usuario también admite la transmisión de datos desde múltiples transmisores de múltiples antenas a un único receptor. Cada transmisor de múltiples antenas realiza un procesamiento espacial sobre su flujo de símbolos de datos para direccionar el flujo hacia el receptor. Cada transmisor también transmite un piloto direccional al receptor. Para el receptor, cada transmisor se presenta como una sola transmisión. El receptor realiza el procesamiento espacial (por ejemplo, CCMI, MMSE, etc.) para recuperar los flujos de símbolos de datos direccionales de todos los transmisores.

4. Modo de multiplexación espacial no direccional multi-usuario

El modo de multiplexación espacial no direccional multi-usuario (o simplemente, el "modo no direccional multi-usuario") admite la transmisión simultánea de datos mediante (1) un único transmisor a múltiples receptores (por ejemplo, para el enlace descendente) y (2) múltiples transmisores a un único receptor (por ejemplo, para el enlace ascendente).

Para la transmisión no direccional desde un único transmisor a múltiples receptores, el transmisor transmite un flujo de símbolos de datos desde cada antena de transmisión para un receptor destinatario. Se pueden transmitir uno o múltiples flujos de símbolos de datos para cada receptor destinatario. Cada receptor destinatario incluye al menos N_T antenas de recepción y puede realizar el procesamiento espacial para aislar y recuperar su(s) flujo(s) de símbolos de datos. Cada receptor que desea transmitir datos estima la SNR para cada una de las N_T antenas de transmisión y envía las N_T estimaciones de la SNR al transmisor. El transmisor selecciona un conjunto de receptores para la transmisión de datos basándose en las estimaciones de SNR de todos los receptores que desean transmitir datos (por ejemplo, para maximizar el caudal de tráfico global).

Para la transmisión no direccional desde múltiples transmisores a un único receptor, los transmisores transmiten flujos de símbolos de datos desde sus antenas (por ejemplo, sin procesamiento espacial) de tal manera que estos flujos llegan al receptor aproximadamente alineadas en el tiempo. El receptor puede estimar la matriz de respuesta del canal para todos los transmisores como si fueran un transmisor. El receptor puede recuperar los múltiples flujos de símbolos de datos transmitidos por estos múltiples transmisores utilizando cualquiera de las técnicas descritas anteriormente para el modo no direccional de usuario único (por ejemplo, técnicas CCMI, MMSE y SIC).

5. Procesamiento espacial

La Tabla 2 resume el procesamiento espacial en el transmisor y el receptor para los cuatro modos de multiplexación espacial descritos anteriormente. Para los modos no direccionales, también se pueden utilizar técnicas de procesamiento del receptor distintas de CCMI y MMSE. La última columna en la Tabla 2 indica si se puede utilizar la técnica SIC en el receptor o no.

Tabla 2

Modo de multiplexación espacial	Transmisión $\mathbf{F}(k)$	Recepción $\mathbf{M}(k)$	Escalado	SIC
Direccional de usuario único	$\mathbf{V}(k)$	$\mathbf{U}^H(k)$	$\Sigma^{-1}(k)$	no
Usuario único No direccional	!	$\mathbf{M}_{ccmi}(k)$ $\mathbf{M}_{mmse}(k)$	- $\mathbf{D}^{-1}_{mmse}(k)$	sí
Direccional multi-usuario (transmisor único a múltiples receptores)	$\mathbf{H}^{-1}_{mu-s}(k)$	-	-	no
multi-usuario No direccional (múltiples transmisores a receptor único)	!	$\mathbf{M}_{ccmi}(k)$ $\mathbf{M}_{mmse}(k)$	- $\mathbf{D}^{-1}_{mmse}(k)$	sí

Por simplicidad, el procesamiento espacial para el modo direccional multi-usuario desde múltiples transmisores a un único receptor y el modo no direccional multi-usuario desde un único transmisor a múltiples receptores no se muestra en la Tabla 2.

En la siguiente descripción, un canal espacial de banda ancha puede corresponder a (1) un modo propio de banda ancha, para un modo de multiplexación espacial direccional, (2) una antena de transmisión, para un modo de multiplexación espacial no direccional, o (3) una combinación de uno o más canales espaciales de una o más sub-

bandas. Un canal espacial de banda ancha se puede utilizar para transmitir un flujo de datos independiente.

6. Sistema MIMO

5 **La FIG. 1** muestra un sistema MIMO de acceso múltiple 100 con varios puntos de acceso (AP) 110 que proporcionan comunicación para varios terminales de usuario (UT) 120. Con fines de simplicidad, únicamente se muestran dos puntos de acceso 110a y 110b en la FIG. 1. Un punto de acceso es en general una estación fija que se comunica con los terminales de usuario y que también puede denominarse una estación base, o alguna otra terminología. Un terminal de usuario puede ser fijo o móvil, y también puede denominarse una estación móvil, un dispositivo inalámbrico, o alguna otra terminología. Un controlador del sistema 130 se acopla a y proporciona coordinación y control para los puntos de acceso 110.

15 El sistema MIMO 100 puede ser un sistema de duplexado por división de tiempo (TDD) o un sistema de duplexado por división de frecuencia (FDD). El enlace descendente y el enlace ascendente (1) comparten la misma banda de frecuencias para un sistema TDD y (2) utilizan diferentes bandas de frecuencias para un sistema FDD. La siguiente descripción supone que el sistema MIMO 100 es un sistema TDD.

20 El sistema MIMO 100 utiliza un conjunto de canales de transporte para transmitir diferentes tipos de datos. Los canales de transporte se pueden implementar de varias maneras.

25 **La FIG. 2** muestra una estructura de tramas y canales a modo de ejemplo 200 que se puede utilizar en el sistema MIMO 100. La transmisión de datos se produce en tramas TDD. Cada trama TDD se extiende en una duración temporal predeterminada (por ejemplo, 2 ms) y se divide en una fase de enlace descendente y una fase de enlace ascendente. Cada fase se divide adicionalmente en múltiples segmentos 210, 220, 230, 240, y 250 para múltiples canales de transporte.

30 En la fase de enlace descendente, un canal de difusión (BCH) lleva un piloto de señalización 214, un piloto MIMO 216 y un mensaje BCH 218. El piloto de señalización se utiliza para la sincronización y la obtención de la frecuencia. El piloto MIMO se usa para la estimación de canal. El mensaje BCH lleva los parámetros del sistema para los terminales de usuario. Un canal de control directo (FCCH) lleva la información de programación para las asignaciones de recursos de enlace descendente y enlace ascendente y otra señalización para los terminales de usuario. Un canal directo (FCH) lleva unidades de datos de protocolo (PDU) FCH en el enlace descendente. Por ejemplo, una FCH PDU 232a incluye un piloto 234a y un paquete de datos 236a y una FCH PDU 232b incluye únicamente un paquete de datos 236b. En la fase de enlace ascendente, un canal inverso (RCH) lleva RCH PDU en el enlace ascendente. Por ejemplo, una RCH PDU 242a incluye únicamente un paquete de datos 246a, y una RCH PDU 242b incluye un piloto 244b y un paquete de datos 246b. Los terminales de usuario utilizan un canal de acceso aleatorio (RACH) para poder acceder al sistema y para enviar mensajes cortos en el enlace ascendente. Una RACH PDU 252 enviada en el RACH incluye un piloto 254 y un mensaje 256.

40 **La FIG. 3** muestra un diagrama de bloques de un punto de acceso 110x y dos terminales de usuario 120x y 120y en el sistema MIMO 100. El punto de acceso 110x es uno de los puntos de acceso 510 en la FIG. 1 y está equipado con múltiples (N_{ap}) antenas 324a a 324r. El terminal de usuario 120x está equipado con una única antena 352x, y el terminal de usuario 120y está equipado con múltiples (N_{ut}) antenas 352a a 352ut.

45 En el enlace descendente, en el punto de acceso 110x, un procesador de datos de TX 310 recibe datos de tráfico para uno o más terminales de usuario desde una fuente de datos 308, datos de control desde un controlador 330 y, posiblemente, otros datos desde un programador 334. Los diversos tipos de datos pueden enviarse en diferentes canales de transporte. El procesador de datos de TX 310 procesa (por ejemplo, codifica, intercala y asigna símbolos) los diferentes tipos de datos basándose en uno o más esquemas de codificación y modulación para obtener N_s flujos de símbolos de datos. Como se utiliza en el presente documento, un "símbolo de datos" se refiere a un símbolo de modulación para datos, y un "símbolo piloto" se refiere a un símbolo de modulación para el piloto. Un procesador espacial de TX 320 recibe los N_s flujos de símbolos de datos del procesador de datos de TX 310, realiza un procesamiento espacial sobre los símbolos de datos con las matrices $\mathbf{F}_{ap}(k)$, para $k=1 \dots N_F$, multiplexa en símbolos piloto, y proporciona N_{ap} flujos de símbolos de transmisión para las N_{ap} antenas. Las matrices $\mathbf{F}_{ap}(k)$ se obtienen de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para su uso. A continuación se describe el procesamiento mediante el procesador de datos de TX 310 y el procesador espacial de TX 320.

60 Cada modulador (MOD) 322 recibe y procesa un flujo de símbolos de transmisión respectivo para obtener un flujo de símbolos OFDM, y también acondiciona (por ejemplo, amplifica, filtra y aumenta la frecuencia) el flujo de símbolos OFDM para generar una señal de enlace descendente. Los N_{ap} moduladores 322a a 322ap proporcionan N_{ap} señales de enlace descendente para la transmisión desde N_{ap} antenas 324a a 324ap, respectivamente, a los terminales de usuario.

65 En cada terminal de usuario 120, una o múltiples antenas 352 reciben las N_{ap} señales de enlace descendente, y cada antena proporciona una señal recibida a un desmodulador (desmod) respectivo 354. Cada desmodulador 354 realiza un procesamiento complementario al realizado por el modulador 322 y proporciona un flujo de símbolos

recibidos. Para el terminal de usuario de antena única 120x, un procesador espacial de RX 360x realiza la desmodulación coherente del flujo de símbolos recibidos desde un único desmodulador 354x y proporciona un flujo de símbolos de datos recuperados. Para el terminal de usuario de múltiples antenas 120y, el procesador espacial de RX 360y realiza el procesamiento espacial sobre N_{ut} flujos de símbolos recibidos desde N_{ut} desmoduladores 354 con las matrices de filtro espacial $\mathbf{M}_{ut}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, y proporciona N_{ut} flujos de símbolos de datos recuperados. En cualquier caso, cada flujo de símbolos de datos recuperados $\{\hat{s}_m\}$ es una estimación de un flujo de símbolos de datos $\{s_m\}$ transmitido por el punto de acceso 110x a dicho terminal de usuario 120. Un procesador de datos de RX 370 recibe y demultiplexa los símbolos de datos recuperados en los canales de transporte adecuados. A continuación, los símbolos de datos recuperados para cada canal de transporte se procesan (por ejemplo, se desasignan, desintercalan y decodifican) para obtener datos decodificados para dicho canal de transporte. Los datos decodificados para cada canal de transporte pueden incluir datos de tráfico recuperados, datos de control, etc., que pueden proporcionarse a un colector de datos 372 para su almacenamiento y/o a un controlador 380 para un procesamiento adicional.

En cada terminal de usuario 120, un estimador de canal 378 estima la respuesta del canal de enlace descendente y proporciona estimaciones del canal, que pueden incluir estimaciones de la ganancia del canal, estimaciones de la SNR, etc. El controlador 380 recibe las estimaciones del canal, obtiene los vectores y/o los coeficientes utilizados para el procesamiento espacial en los trayectos de transmisión y recepción, y determina una velocidad adecuada para cada flujo de símbolos de datos en el enlace descendente. Por ejemplo, el controlador 380y para el terminal de usuario de múltiples antenas 120y puede obtener las matrices de filtro espacial $\mathbf{M}_{ut}(k)$ para el enlace descendente y las matrices $\mathbf{F}_{ut}(k)$ de los vectores de direccionamiento para el enlace ascendente basándose en las matrices de respuesta del canal de enlace descendente $\mathbf{H}_{dn}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$. El controlador 380 también puede recibir el estado de cada paquete/trama recibida en el enlace descendente y construir la información de respuesta para el punto de acceso 110x. La información de respuesta y los datos de enlace ascendente se procesan mediante un procesador de datos de TX 390, se procesan espacialmente mediante un procesador espacial de TX 392 (si está presente en el terminal de usuario 120), se multiplexan con símbolos piloto, se acondicionan mediante uno o más moduladores 354, y se transmiten mediante una o más antenas 352 al punto de acceso 110x.

En el punto de acceso 110x, las señales de enlace ascendente transmitidas son recibidas por las antenas 324, desmoduladas por los desmoduladores 322, y procesadas por un procesador espacial de RX 340 y un procesador de datos de RX 342 de forma complementaria a la realizada en los terminales de usuario 120. La información de respuesta recuperada se proporciona al controlador 330 y al programador 334. El programador 334 puede utilizar la información de respuesta para realizar varias funciones tales como (1) programar un conjunto de terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y en el enlace ascendente y (2) asignar recursos del enlace descendente y del enlace ascendente disponibles a los terminales programados.

Los controladores 330 y 380 controlan el funcionamiento de varias unidades de procesamiento en el punto de acceso 110s y en el terminal de usuario 120, respectivamente. Por ejemplo, el controlador 380 puede determinar las velocidades más altas admitidas por los canales espaciales en el enlace descendente para el terminal de usuario 120. El controlador 330 puede seleccionar la velocidad, el tamaño de carga útil, y el tamaño de los símbolos OFDM para cada canal espacial de cada terminal de usuario programado.

El procesamiento en el punto de acceso 110x y los terminales de usuario 120x y 120y para el enlace ascendente puede ser el mismo o diferente del procesamiento para el enlace descendente. Para mayor claridad, a continuación se describe en detalle el procesamiento para el enlace descendente.

La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del procesador de datos de TX 310 en el punto de acceso 110x. Para este modo de realización, el procesador de datos de TX 310 incluye un conjunto de codificador 412, intercalador de canal 414, y unidad de asignación de símbolos 416 para cada uno de los N_s flujos de datos. Para cada flujo de datos $\{d_m\}$, donde $m = 1 \dots N_s$, un codificador 412 recibe y codifica el flujo de datos basándose en un esquema de codificación seleccionado para dicho flujo y proporciona bits codificados. El esquema de codificación puede incluir codificación CRC, convolucional, Turbo, de comprobación de paridad de baja densidad (LDPC), de bloque, y otras, o una combinación de las mismas. Un intercalador de canal 414 intercala (es decir, reordena) los bits codificados basándose en un esquema de intercalado. Una unidad de asignación de símbolos 416 asigna los bits intercalados basándose en un esquema de modulación seleccionado para dicho flujo y proporciona un flujo de símbolos de datos $\{s_m\}$. La unidad 416 agrupa cada conjunto de bits intercalados B para formar un valor binario de B bits, donde $B \geq 1$, y también asigna cada valor binario de B bits a un símbolo de datos específico basándose en el esquema de modulación seleccionado (por ejemplo, QPSK, M-PSK o M-QAM, donde $M = 2^B$). La codificación y la modulación para cada flujo de datos se realizan de acuerdo con los controles de codificación y modulación proporcionados por el controlador 330.

La FIG. 5 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del procesador espacial de TX 320 y los moduladores 322a a 322ap en el punto de acceso 110x. Para este modo de realización, el procesador espacial de TX 320 incluye N_s demultiplexadores (Demux) 510a a 510s, N_F procesadores espaciales de sub-bandas de TX 520a a 520f, y N_{ap} multiplexadores (Mux) 530a a 530ap. Cada demultiplexador 510 recibe un flujo de símbolos de datos respectivo $\{s_m\}$ del procesador espacial de TX 320, demultiplexa el flujo en N_F sub-flujos de símbolos de datos para

las N_F sub-bandas, y proporciona los N_F sub-flujos a N_F procesadores espaciales 520a a 520f. Cada procesador espacial 520 recibe N_S sub-flujos de símbolos de datos para su sub-banda desde N_S demultiplexadores 510a a 510s, realiza el procesamiento espacial de transmisión sobre dichos sub-flujos, y proporciona N_{ap} sub-flujos de símbolos de transmisión para las N_{ap} antenas del punto de acceso. Cada procesador espacial 520 multiplica un vector de datos $\underline{s}_{dn}(k)$ por una matriz $\underline{F}_{ap}(k)$ para obtener un vector de transmisión $\underline{x}_{dn}(k)$. La matriz $\underline{F}_{ap}(k)$ es igual a (1) una matriz $\underline{V}_{dn}(k)$ de vectores propios derechos de $\underline{H}_{dn}(k)$ para el modo direccional de usuario único, (2) la matriz $\underline{F}_{mu}(k)$ para el modo direccional multi-usuario, o (3) la matriz identidad \underline{I} para el modo no direccional de usuario único.

Cada multiplexador 530 recibe N_F sub-flujos de símbolos de transmisión para su antena de transmisión desde N_F procesadores espaciales 520a a 520f, multiplexa estos sub-flujos y los símbolos piloto, y proporciona un flujo de símbolos de transmisión $\{x_j\}$ para su antena de transmisión. Los símbolos piloto se pueden multiplexar en frecuencia (es decir, en algunas sub-bandas), en tiempo (es decir, en algunos periodos de símbolo) y/o en el espacio de códigos (es decir, con un código ortogonal). N_{ap} multiplexadores 530a a 530ap proporcionan N_{ap} flujos de símbolos de transmisión x_j , para $j=1\dots N_{ap}$, para N_{ap} antenas 324a a 324ap.

Para el modo de realización mostrado en la FIG. 5, cada modulador 322 incluye una unidad de transformada rápida de Fourier inversa (IFFT) 542, un generador de prefijos cíclicos 544 y una unidad de RF de TX 546. La unidad IFFT 542 y el generador de prefijos cíclicos 544 forman un modulador OFDM. Cada modulador 322 recibe un flujo de símbolos de transmisión respectivo x_j del procesador espacial de TX 320 y agrupa cada conjunto de N_F símbolos de transmisión para las N_F sub-bandas. La unidad IFFT 542 transforma cada conjunto de N_F símbolos de transmisión al dominio del tiempo utilizando una transformada rápida de Fourier inversa de N_F puntos y proporciona un símbolo transformado correspondiente que contiene N_F chips. El generador de prefijos cíclicos 544 repite una parte de cada símbolo transformado para obtener un símbolo OFDM correspondiente que contiene $N_F + N_{cp}$ chips. La parte repetida (por ejemplo, el prefijo cíclico) garantiza que el símbolo OFDM conserva sus propiedades de ortogonalidad en presencia de una dispersión de retardos de multitrayecto causada por el desvanecimiento selectivo en frecuencia. La unidad de RF de TX 546 recibe y acondiciona el flujo de símbolos OFDM del generador 544 para generar una señal modulada de enlace descendente. Las N_{ap} señales moduladas de enlace descendente se transmiten desde N_{ap} antenas 324a a 324ap, respectivamente.

La FIG. 6 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de los desmoduladores 354a a 354ut y el procesador espacial de RX 360y el terminal de usuario de múltiples antenas 120y. En el terminal de usuario 120y, N_{ut} antenas 352a a 352ut reciben las N_{ap} señales moduladas transmitidas por el punto de acceso 110x y proporcionan N_{ut} señales recibidas a N_{ut} desmoduladores 354a a 354ut, respectivamente. Cada desmodulador 354 incluye una unidad de RF de RX 612, una unidad de eliminación de prefijos cíclicos 614 y una unidad de transformada rápida de Fourier (FFT) 616. Las unidades 614 y 616 forman un desmodulador OFDM. En cada desmodulador 354, la unidad de RF de RX 612 recibe, acondiciona y digitaliza una señal recibida respectiva y proporciona un flujo de chips. La unidad de eliminación de prefijos cíclicos 614 elimina el prefijo cíclico en cada símbolo OFDM recibido para obtener un símbolo transformado recibido. A continuación, la unidad FFT 616 transforma cada símbolo transformado recibido al dominio de la frecuencia con una transformada rápida de Fourier de N_F puntos para obtener N_F símbolos recibidos para las N_F sub-bandas. La unidad FFT 616 proporciona un flujo de símbolos recibidos al procesador espacial de RX 360y y los símbolos piloto recibidos al estimador de canal 378y.

Para el modo de realización mostrado en la FIG. 6, el procesador espacial de RX 360y incluye N_{ut} demultiplexadores 630a a 630ut para las N_{ut} antenas en el terminal de usuario 120y, N_F procesadores espaciales de sub-bandas de RX 640a a 640f y N_F unidades de escalado 642a a 642f para las N_F sub-bandas, y N_S multiplexadores 650a a 650s para los N_S flujos de datos. El procesador espacial de RX 360y obtiene N_{ut} flujos de símbolos recibidos $\{r_i\}$, para $i=1\dots N_{ut}$, de los desmoduladores 354a a 354ut. Cada demultiplexador 630 recibe un flujo de símbolos recibidos respectivo $\{r_i\}$, demultiplexa el flujo en N_F sub-flujos de símbolos recibidos para las N_F sub-bandas, y proporciona los N_F sub-flujos a N_F procesadores espaciales 640a a 640f. Cada procesador espacial 640 obtiene N_{ut} sub-flujos de símbolos recibidos para su sub-banda de N_{ut} demultiplexadores 630a a 630ut, realiza el procesamiento espacial de recepción sobre dichos sub-flujos, y proporciona N_S sub-flujos de símbolos detectados para su sub-banda. Cada procesador espacial 640 multiplica un vector recibido $\underline{r}_{dn}(k)$ por una matriz $\underline{M}_{ut}(k)$ para obtener un vector de símbolos detectados $\underline{s}_{dn}(k)$. La matriz $\underline{M}_{ut}(k)$ es igual a (1) una matriz $\underline{U}_{dn}^H(k)$ de vectores propios izquierdos de $\underline{H}_{dn}(k)$ para el modo direccional de usuario único o (2) la matriz $\underline{M}_{ccmi}(k)$, $\underline{M}_{mmse}(k)$, o alguna otra matriz para el modo no direccional de usuario único.

Cada unidad de escalado 642 recibe N_S sub-flujos de símbolos detectados para su sub-banda, escala dichos sub-flujos, y proporciona N_S sub-flujos de símbolos de datos recuperados para su sub-banda. Cada unidad de escalado 642 realiza el escalado de señal del vector de símbolos detectados $\underline{s}_{dn}(k)$ con una matriz diagonal $\underline{D}_{ut}^{-1}(k)$ y proporciona el vector de símbolos de datos recuperados $\underline{\hat{s}}_{dn}(k)$. Cada multiplexador 650 recibe y multiplexa N_F sub-flujos de símbolos de datos recuperados para su flujo de datos de N_F unidades de escalado 642A a 642f y proporciona un flujo de símbolos de datos recuperados. N_S multiplexadores 650a a 650s proporcionan N_S flujos de símbolos de datos recuperados $\{\hat{s}_m\}$, para $m=1\dots N_S$.

La FIG. 7 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de procesador de datos de RX 370y en el terminal de usuario 120y. El procesador de datos de RX 370y incluye un conjunto de unidad de desasignación de símbolos 712, desintercalador de canal 714 y decodificador 716 para cada uno de los N_S flujos de datos. Para cada

flujo de símbolos de datos recuperados $\{\hat{s}_m\}$, donde $m = 1 \dots N_S$, una unidad de desasignación de símbolos 712 desmodula los símbolos de datos recuperados de acuerdo con el esquema de modulación utilizado para dicho flujo y proporciona datos desmodulados. Un desintercalador de canal 714 desintercala los datos desmodulados de una manera complementaria al intercalado realizado sobre dicho flujo por el punto de acceso 110x. A continuación, un decodificador 716 decodifica los datos desintercalados de manera complementaria a la codificación realizada por el punto de acceso 110x sobre dicho flujo. Por ejemplo, se puede utilizar un decodificador Turbo o un decodificador de Viterbi para el decodificador 716 si en el punto de acceso 110x se realiza la codificación Turbo o convolucional, respectivamente. El decodificador 716 proporciona un paquete decodificado para cada paquete de datos recibido. El decodificador 716 comprueba además cada paquete decodificado para determinar si el paquete está correctamente decodificado o tiene errores y proporciona el estado del paquete decodificado. La desmodulación y la decodificación para cada flujo de símbolos de datos recuperados se realizan de acuerdo con los controles de desmodulación y decodificación proporcionados por el controlador 380y.

La FIG. 8 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de RX 360z y un procesador de datos de RX 370z, que implementan la técnica SIC. El procesador espacial de RX 370z y el procesador de datos de RX 370z implementan N_S etapas de procesamiento de recepción sucesivas (es decir, en cascada) para N_S flujos de símbolos de datos. Cada una de las etapas 1 a $N_S - 1$ incluye un procesador espacial 810, un cancelador de interferencias 820, un procesador de flujos de datos de RX 830 y un procesador de flujos de datos de TX 840. La última etapa incluye únicamente un procesador espacial 810s y un procesador de flujos de datos de RX 830s. Cada procesador de flujos de datos de RX 830 incluye una unidad de desasignación de símbolos 712, un desintercalador de canal 714 y un decodificador 716, como se muestra en la FIG. 7. Cada procesador de flujos de datos de TX 840 incluye un codificador 412, un intercalador de canal 414, y una unidad de asignación de símbolos 416, como se muestra en la FIG. 4.

Para la etapa 1, el procesador espacial 810a realiza un procesamiento espacial de recepción sobre los N_{ut} flujos de símbolos recibidos y proporciona un flujo de símbolos de datos recuperados $\{\hat{s}_{j_1}\}$, donde el subíndice j_1 indica la antena del punto de acceso utilizada para transmitir el flujo de símbolos de datos $\{\hat{s}_{j_1}\}$. El procesador de flujos de datos de RX 830a desmodula, desintercala y decodifica el flujo de símbolos de datos recuperados $\{\hat{s}_{j_1}\}$ y proporciona un flujo de datos decodificados correspondiente $\{\hat{d}_{j_1}\}$. El procesador de flujos de datos de TX 840a codifica, intercala y modula el flujo de datos decodificados $\{\hat{d}_{j_1}\}$ de la misma manera realizada por el punto de acceso 110x para dicho flujo y proporciona un flujo de símbolos remodulados $\{\hat{s}_{j_1}\}$. El cancelador de interferencias 820a realiza un procesamiento espacial sobre el flujo de símbolos remodulados $\{\hat{s}_{j_1}\}$ de la misma manera (si existe) realizada por el punto de acceso 110x y también procesa el resultado con la matriz de respuesta del canal $\underline{H}_{dn}(k)$ para obtener N_{ut} componentes de la interferencia debida al flujo de símbolos de datos $\{\hat{s}_{j_1}\}$. Los N_{ut} componentes de la interferencia se restan de los N_{ut} flujos de símbolos recibidos para obtener N_{ut} flujos de símbolos modificados, que se proporcionan a la etapa 2.

Cada una de las etapas 2 a $N_S - 1$ realiza el mismo procesamiento que la etapa 1, aunque sobre los N_{ut} flujos de símbolos modificados de la etapa anterior en lugar de sobre los N_{ut} flujos de símbolos recibidos. La última etapa realiza el procesamiento espacial y la decodificación sobre los N_{ut} flujos de símbolos modificados de la etapa $N_S - 1$ y no realiza la estimación y la cancelación de interferencias.

Cada uno de los procesadores espaciales 810a a 810s puede implementar CCMI, MMSE, o alguna otra técnica de procesamiento de recepción. Cada procesador espacial 810 multiplica un vector de símbolos de entrada (recibidos o modificados) $\underline{r}_{dn}^e(k)$ por una matriz $\underline{M}_{ut}^e(k)$ para obtener un vector de símbolos detectados $\underline{\hat{s}}_{dn}^e(k)$, selecciona y escala uno de los flujos de símbolos detectados, y proporciona el flujo de símbolos escalados como el flujo de símbolos de datos recuperados para dicha etapa. La matriz $\underline{M}_{ut}^e(k)$ se obtiene basándose en una matriz de respuesta del canal reducida $\underline{H}_{dn}^e(k)$ para la etapa.

Las unidades de procesamiento en el punto de acceso 110x y el terminal de usuario 120y para el enlace ascendente se pueden implementar como se ha descrito anteriormente para el enlace descendente. El procesador de datos de TX 390y y el procesador espacial de TX 392y se pueden implementar con el procesador de datos de TX 310 en la FIG. 4 y el procesador espacial de TX 320 en la FIG. 5, respectivamente. El procesador espacial de RX 340 se puede implementar con el procesador espacial de TX 360y o 360z, y el procesador de datos de RX 342 se puede implementar con el procesador de datos 370y o 370z.

Para un terminal de usuario de antena única 120x, el procesador espacial de RX 360x realiza la desmodulación coherente de un flujo de símbolos recibidos con estimaciones del canal para obtener un flujo de símbolos de datos recuperados.

A. Estimación de canal

La respuesta del canal de enlace descendente y de enlace ascendente se puede estimar de varias maneras, tal como con un piloto MIMO o un piloto direccional. Para un sistema MIMO TDD, se pueden utilizar determinadas técnicas para simplificar la estimación de canal.

Para el enlace descendente, el punto de acceso 110x puede transmitir un piloto MIMO a los terminales de usuario 120. El piloto MIMO comprende N_{ap} transmisiones piloto desde N_{ap} antenas del punto de acceso, estando "cubierta" la transmisión piloto de cada antena con una secuencia ortogonal diferente (por ejemplo, una secuencia de Walsh). La cobertura es un proceso mediante el cual un símbolo de modulación dado (o un conjunto de L símbolos de modulación con el mismo valor) a transmitir se multiplica por los L chips de una secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos cubiertos, que se a continuación se transmiten. La cobertura consigue ortogonalidad entre las N_{ap} transmisiones del piloto enviadas desde las N_{ap} antenas del punto de acceso y permite a los terminales de usuario distinguir la transmisión del piloto de cada antena.

En cada terminal de usuario 120, el estimador de canal 378 "descubre" los símbolos piloto recibidos para cada antena del terminal de usuario i con las mismas N_{ap} secuencias ortogonales utilizadas por el punto de acceso 110x para que las N_{ap} antenas obtengan estimaciones de la ganancia compleja del canal entre la antena del terminal de usuario i y cada una de las N_{ap} antenas del punto de acceso. La descubierta es complementaria a la cobertura y es el proceso mediante el cual los símbolos (piloto) recibidos se multiplican por los L chips de la secuencia ortogonal de L chips para obtener L símbolos, que a continuación se acumulan para obtener una estimación del símbolo (piloto) transmitido. El estimador de canal 378 realiza el mismo procesamiento del piloto para cada sub-banda utilizada para la transmisión del piloto. Si los símbolos piloto se transmiten únicamente en un subconjunto de las N_F sub-bandas, entonces el estimador de canal 378 puede realizar una interpolación sobre las estimaciones de la respuesta del canal para las sub-bandas con transmisión del piloto para obtener estimaciones de la respuesta del canal para las sub-bandas sin transmisión del piloto. Para un terminal de usuario de antena única 120x, el estimador de canal 378x proporciona vectores de respuesta del canal de enlace descendente estimada $\mathbf{h}_{dn}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$ para la antena única 352. Para el terminal de usuario de múltiples antenas 120y, el estimador de canal 378y realiza el mismo procesamiento del piloto para las N_{ut} antenas 352a a 352ut y proporciona matrices de respuesta del canal de enlace descendente estimadas $\mathbf{H}_{dn}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$. Cada terminal de usuario 120 también puede estimar la varianza del ruido para el enlace descendente basándose en los símbolos piloto recibidos y proporciona la estimación del ruido de enlace descendente, $\hat{\sigma}_{dn}^2$.

Para el enlace ascendente, el terminal de usuario de múltiples antenas 120y puede transmitir un piloto MIMO que puede ser utilizado por el punto de acceso 110x para estimar la respuesta del canal de enlace ascendente $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$ para el terminal de usuario 120y. El terminal de usuario de antena única 120x puede transmitir un piloto desde su única antena. Los terminales de usuario de múltiples antenas 120 pueden transmitir pilotos ortogonales simultáneamente sobre el enlace ascendente, donde la ortogonalidad se puede conseguir en el tiempo y/o la frecuencia. La ortogonalidad en el tiempo se puede obtener haciendo que cada terminal de usuario cubra su piloto de enlace ascendente con una secuencia ortogonal diferente asignada al terminal de usuario. La ortogonalidad en la frecuencia se puede obtener haciendo que cada terminal de usuario transmita su piloto de enlace ascendente en un conjunto de sub-bandas diferente. Las transmisiones simultáneas del piloto de enlace ascendente desde múltiples terminales de usuario deben estar aproximadamente alineadas en el tiempo en el punto de acceso 120x (por ejemplo, alineadas en el tiempo en el prefijo cíclico).

Para un sistema MIMO TDD, normalmente existe un alto grado de correlación entre las respuestas del canal para el enlace descendente y el enlace ascendente, ya que estos enlaces comparten la misma banda de frecuencias. Sin embargo, las respuestas de las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso típicamente son diferentes de las respuestas de las cadenas de transmisión/recepción en el terminal de usuario. Si las diferencias se determinan y se tienen en cuenta mediante una calibración, entonces se puede suponer que las respuestas globales del canal de enlace descendente y enlace ascendente son recíprocas (es decir, traspuestas) entre sí.

La FIG. 9 muestra las cadenas de transmisión/recepción en el punto de acceso 110x y el terminal de usuario 120y. En el punto de acceso 110x, el trayecto de transmisión se modela mediante una matriz $N_{ap} \times N_{ap}$ $\mathbf{T}_{ap}(k)$ y el trayecto de recepción se modela mediante una matriz $N_{ap} \times N_{ap}$ $\mathbf{R}_{ap}(k)$. En el terminal de usuario 120y, el trayecto de recepción se modela mediante una matriz $N_{ut} \times N_{ut}$ $\mathbf{R}_{ut}(k)$ y el trayecto de transmisión se modela mediante una matriz $N_{ut} \times N_{ut}$ $\mathbf{T}_{ut}(k)$. Los vectores de símbolos recibidos para el enlace descendente y el enlace ascendente para cada sub-banda se pueden expresar como:

$$\mathbf{r}_{dn}(k) = \mathbf{R}_{ut}(k) \mathbf{H}(k) \mathbf{T}_{ap}(k) \mathbf{x}_{dn}(k) \quad , \quad \text{y} \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$\mathbf{r}_{up}(k) = \mathbf{R}_{ap}(k) \mathbf{H}^T(k) \mathbf{T}_{ut}(k) \mathbf{x}_{up}(k) \quad ,$$

donde T denota la traspuesta. La ecuación (34) supone que el enlace descendente y el enlace ascendente son traspuestos entre sí.

Las respuestas "efectivas" de los canales de enlace descendente y enlace ascendente, $\mathbf{H}_{edn}(k)$ y $\mathbf{H}_{eup}(k)$, para cada sub-banda incluyen las respuestas de las cadenas de transmisión y recepción y se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{edn}}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k)\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}(k) \text{ y } \underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}(k)\underline{\mathbf{H}}^T(k)\underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}(k) . \quad \text{Ecuación (34)}$$

Las respuestas efectivas de los canales de enlace descendente y enlace ascendente no son recíprocas entre sí (es decir, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{edn}}(k) \neq \underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}^T(k)$) si las respuestas de las cadenas de transmisión/recepción del enlace descendente y el enlace ascendente no son iguales.

El punto de acceso 110x y el terminal de usuario 120y pueden realizar la calibración para obtener las matrices de corrección $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ para cada sub-banda, que se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}^{-1}(k)\underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}(k) \text{ y } \underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}^{-1}(k)\underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k) . \quad \text{Ecuación (35)}$$

Las matrices de corrección se pueden obtener transmitiendo pilotos MIMO sobre el enlace descendente y el enlace ascendente y obteniendo las matrices de corrección utilizando el criterio MMSE o alguna otra técnica. Las matrices de corrección $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ se aplican en el punto de acceso 110x y el terminal de usuario 120y, respectivamente, como se muestra en la FIG. 9. Las respuestas "calibradas" de los canales de enlace descendente y enlace ascendente, $\underline{\mathbf{K}}_{\text{cdn}}(k)$ y $\underline{\mathbf{K}}_{\text{udn}}(k)$, entonces son recíprocas entre sí y se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{K}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) = (\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k))^T = \underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T(k) . \quad \text{Ecuación (36)}$$

La descomposición de valores singulares de las matrices calibradas de respuesta del canal de enlace ascendente y el enlace descendente, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ y $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ para cada sub-banda se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k) , \text{ y } \quad \text{Ecuación (37)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k) .$$

Como se muestra en el juego de ecuaciones (38), las matrices $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k)$ de vectores propios derechos e izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ son la conjugada completa de las matrices $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ de vectores propios derechos e izquierdos de $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$. La matriz $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ puede ser utilizada por el punto de acceso 110x para el procesamiento espacial de transmisión y de recepción. El terminal de usuario 120y puede utilizar la matriz $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ para el procesamiento espacial de transmisión y de recepción.

Debido a la naturaleza recíproca del canal MIMO para el sistema MIMO TDD, y después de haber realizado la calibración para representar las diferencias en las cadenas de transmisión/recepción, la descomposición de valores singulares solo debe ser realizada por el terminal de usuario 120y o el punto de acceso 110x. Si se realiza por el terminal de usuario 120Y, entonces las matrices $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, se utilizan para el procesamiento espacial en el terminal de usuario, y la matriz $\underline{\mathbf{U}}_{\text{up}}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, se puede proporcionar al punto de acceso ya sea de forma directa (por ejemplo, enviando las entradas de las matrices $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$) o de forma indirecta (por ejemplo, a través de un piloto direccional). En realidad, el terminal de usuario 120y solo puede obtener $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$, que es una estimación de $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, y solo puede obtener $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k)$, $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ y $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k)$ que son estimaciones de $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$, $\underline{\Sigma}(k)$ y $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$, respectivamente. Por simplicidad, la descripción del presente documento supone una estimación del canal sin errores.

Un piloto direccional de enlace ascendente enviado por el terminal de usuario 120y se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{up},m}(k) = \underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)\underline{\mathbf{v}}_{\text{ut},m}(k)p(k) , \quad \text{Ecuación (38)}$$

donde $\underline{\mathbf{v}}_{\text{up},m}(k)$ es la m -ésima columna de $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ y $p(k)$ es el símbolo piloto. El piloto direccional de enlace ascendente recibido en el punto de acceso 110x se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{\text{up},m}(k) = \underline{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)\sigma_m p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k) . \quad \text{Ecuación (39)}$$

La ecuación (40) indica que el punto de acceso 110x puede obtener la matriz $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$, un vector a la vez, basándose en el piloto direccional de enlace ascendente del terminal de usuario 120y.

También se puede realizar un proceso complementario mediante el cual el terminal de usuario 120y transmite un piloto MIMO en el enlace ascendente, y el punto de acceso 110x realiza la descomposición de valores singulares y transmite un piloto direccional en el enlace descendente. La estimación de canal para el enlace descendente y el enlace ascendente también se puede realizar de otras maneras.

En cada terminal de usuario 120, el estimador de canal 378 puede estimar la respuesta del canal de enlace descendente (por ejemplo, basándose en un piloto MIMO o un piloto direccional enviado por el punto de acceso 110x) y proporcionar estimaciones del canal de enlace descendente al controlador 380. Para el terminal de usuario

de antena única 120x, el controlador 380x puede obtener las ganancias complejas del canal utilizadas para la desmodulación coherente. Para el terminal de usuario de múltiples antenas 120y, el controlador 380y puede obtener la matriz $\mathbf{M}_{ut}(k)$ utilizada para el procesamiento espacial de recepción y la matriz $\mathbf{F}_{ut}(k)$ utilizada para el procesamiento espacial de transmisión basándose en estimaciones del canal de enlace descendente. En el punto de acceso 110x, el estimador de canal 328 puede estimar la respuesta del canal de enlace ascendente (por ejemplo, basándose en un piloto direccional o un piloto MIMO enviado por el terminal de usuario 120) y proporcionar estimaciones del canal de enlace ascendente al controlador 380. El controlador 380 puede obtener la matriz $\mathbf{F}_{ap}(k)$ utilizada para el procesamiento espacial de transmisión y la matriz $\mathbf{M}_{ap}(k)$ utilizada para el procesamiento espacial de recepción basándose en estimaciones del canal de enlace ascendente.

La FIG. 9 muestra el procesamiento espacial en el punto de acceso 110x y el terminal de usuario 120y para el enlace descendente y el enlace ascendente para una sub-banda k. Para el enlace descendente, en el procesador espacial de TX 320 del punto de acceso 110x, el vector de datos $\mathbf{s}_{dn}(k)$ se multiplica en primer lugar por la matriz $\mathbf{F}_{ap}(k)$ mediante una unidad 910 y también se multiplica por la matriz de corrección $\mathbf{K}_{ap}(k)$ mediante una unidad 912 para obtener el vector de transmisión $\mathbf{x}_{dn}(k)$. El vector $\mathbf{x}_{dn}(k)$ se procesa mediante una cadena de transmisión 914 de los moduladores 322 y se transmite sobre el canal MIMO al terminal de usuario 120y. Las unidades 910 y 912 realizan el procesamiento espacial de transmisión para el enlace descendente y pueden implementarse en el procesador espacial de sub-bandas de TX 520 en la FIG. 5.

En el terminal de usuario 120y, las señales de enlace descendente se procesan mediante una cadena de recepción 954 de los desmoduladores 354 para obtener el vector de recepción $\mathbf{r}_{dn}(k)$. En el procesador espacial de RX 360y, el vector de recepción $\mathbf{r}_{dn}(k)$ se multiplica en primer lugar por la matriz $\mathbf{M}_{ut}(k)$ mediante una unidad 956 y también se escala con la matriz diagonal inversa $\mathbf{D}_{ut}^{-1}(k)$ mediante una unidad 958 para obtener el vector $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ que es una estimación del vector de datos $\mathbf{s}_{dn}(k)$. Las unidades 956 y 958 realizan el procesamiento espacial de recepción para el enlace descendente y pueden implementarse en el procesador espacial de sub-bandas de RX 640 en la FIG. 6.

Para el enlace ascendente, en el procesador espacial de TX 392y del terminal de usuario 120y, el vector de datos $\mathbf{s}_{up}(k)$ se multiplica en primer lugar por la matriz $\mathbf{F}_{ut}(k)$ mediante una unidad 960 y también se multiplica por la matriz de corrección $\mathbf{K}_{ut}(k)$ mediante una unidad 962 para obtener el vector de transmisión $\mathbf{x}_{up}(k)$. El vector $\mathbf{x}_{up}(k)$ se procesa mediante una cadena de transmisión 964 de los moduladores 354 y se transmite sobre el canal MIMO al punto de acceso 110x. Las unidades 960 y 962 realizan el procesamiento espacial de transmisión para el enlace ascendente.

En el punto de acceso 110x, las señales de enlace ascendente se procesan mediante una cadena de recepción 924 de los desmoduladores 322 para obtener el vector de recepción $\mathbf{r}_{up}(k)$. En el procesador espacial de RX 340, el vector de recepción $\mathbf{r}_{up}(k)$ se multiplica en primer lugar por la matriz $\mathbf{M}_{ap}(k)$ mediante una unidad 926 y también se escala con la matriz diagonal inversa $\mathbf{D}_{ap}^{-1}(k)$ mediante una unidad 928 para obtener el vector $\hat{\mathbf{s}}_{up}(k)$, que es una estimación del vector de datos $\mathbf{s}_{up}(k)$. Las unidades 926 y 928 realizan el procesamiento espacial de recepción para el enlace ascendente.

B. Procesamiento espacial para el sistema MIMO TDD

La Tabla 3 resume la transmisión del piloto y el procesamiento espacial a modo de ejemplo realizados por el punto de acceso y los terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente para varios modos de multiplexación espacial en el sistema MIMO TDD. Para el modo direccional de usuario único, el punto de acceso transmite un piloto MIMO para permitir al terminal de usuario estimar la respuesta del canal de enlace descendente. El terminal de usuario transmite un piloto direccional para permitir al punto de acceso estimar la respuesta del canal de enlace ascendente. El punto de acceso realiza el procesamiento espacial de transmisión y recepción con $\mathbf{u}_{ap}(k)$. El terminal de usuario realiza el procesamiento espacial de transmisión y recepción con $\mathbf{v}_{ut}(k)$.

Para el modo no direccional de usuario único, para la transmisión de datos de enlace descendente, el punto de acceso transmite un piloto MIMO desde todas las antenas y un flujo de símbolos de datos desde cada antena. El terminal de usuario estima la respuesta del canal de enlace descendente con el piloto MIMO y realiza el procesamiento espacial de recepción utilizando las estimaciones del canal de enlace descendente. Para la transmisión de datos de enlace ascendente se produce el procesamiento complementario.

Tabla 3

Modo de multiplexación espacial	Transmisión de datos de enlace descendente	Transmisión de datos de enlace ascendente
Direccional de usuario único	AP transmite piloto MIMO UT transmite piloto direccional AP transmite datos con $\mathbf{u}_{ap}(k)$ UT recibe datos con $\mathbf{v}_{ut}(k)$	AP transmite piloto MIMO UT transmite piloto direccional UT transmite datos con $\mathbf{v}_{ut}(k)$ AP recibe datos con $\mathbf{u}_{ap}(k)$

No direccional de usuario único	AP transmite piloto MIMO AP transmite datos desde cada antena UT utiliza CCMI, MMSE, etc.	UT transmite piloto MIMO UT transmite datos desde cada antena AP utiliza CCMI, MMSE, etc.
Direccional multi-usuario	UT transmiten pilotos ortogonales AP transmite datos direccionales AP transmite piloto direccional UT reciben con piloto direccional	AP transmite piloto MIMO UT transmite piloto direccional UT transmite datos direccionales AP utiliza CCMI, MMSE, etc.
No direccional multi-usuario	AP transmite piloto MIMO UT envían velocidad para cada antena del AP AP transmite datos desde cada antena UT utilizan CCMI, MMSE, etc.	UT transmiten pilotos ortogonales AP selecciona UT compatibles UT transmite datos desde cada antena AP utiliza CCMI, MMSE, etc.

Para el modo direccional multi-usuario, para la transmisión de datos de enlace descendente a terminales de usuario de antena única y/o de múltiples antenas, los terminales de usuario transmiten pilotos ortogonales en el enlace ascendente para permitir al punto de acceso estimar la respuesta del canal de enlace descendente. Un terminal de usuario de antena única transmite un piloto no direccional, y un terminal de usuario de múltiples antenas transmite un piloto direccional. El punto de acceso obtiene vectores direccionales de enlace descendente basándose en los pilotos ortogonales de enlace ascendente, y utiliza los vectores direccionales para transmitir pilotos direccionales y flujos de símbolos de datos a los terminales de usuario seleccionados. Cada terminal de usuario utiliza el piloto direccional para recibir el flujo de símbolos de datos direccionales enviados al terminal de usuario. Para la transmisión de datos de enlace ascendente desde terminales de usuario de múltiples antenas, el punto de acceso transmite un piloto MIMO. Cada terminal de usuario de múltiples antenas transmite un piloto direccional y un flujo de símbolos de datos direccionales en el enlace ascendente. El punto de acceso realiza el procesamiento espacial de recepción (por ejemplo, CCMI, MMSE, etc.) para recuperar los flujos de símbolos de datos.

Para el modo no direccional multi-usuario, para la transmisión de datos de enlace descendente a terminales de usuario de múltiples antenas, el punto de acceso transmite un piloto MIMO en el enlace descendente. Cada terminal de usuario determina y vuelve a enviar la velocidad que puede recibir de cada antena del punto de acceso. El punto de acceso selecciona un conjunto de terminales de usuario y transmite flujos de símbolos de datos para los terminales de usuario seleccionados desde las antenas del punto de acceso. Cada terminal de usuario de múltiples antenas realiza un procesamiento espacial de recepción (por ejemplo, CCMI, MMSE, etc.) para recuperar su flujo de símbolos de datos. Para la transmisión de datos de enlace ascendente desde terminales de usuario de antena única y/o de múltiples antenas, los terminales de usuario transmiten pilotos ortogonales (no direccionales) en el enlace ascendente. El punto de acceso estima la respuesta del canal de enlace ascendente basándose en los pilotos de enlace ascendente y selecciona un conjunto de terminales de usuario compatibles. Cada terminal de usuario seleccionado transmite un flujo de símbolos de datos desde una antena del terminal de usuario. El punto de acceso realiza el procesamiento espacial de recepción (por ejemplo, CCMI, MMSE, etc.) para recuperar los flujos de símbolos de datos.

C. Selección de la velocidad

Cada flujo de datos para el enlace descendente y el enlace ascendente se transmite en un canal espacial de banda ancha m utilizando uno de los modos de multiplexación espacial. Cada flujo de datos también se transmite a una velocidad que se selecciona de tal manera que se pueda conseguir el nivel de rendimiento deseado (por ejemplo, un 1 por ciento de tasa de error de paquetes (PER)) para dicho flujo. La velocidad para cada flujo de datos se puede determinar basándose en la SNR conseguida en el receptor para dicho flujo (es decir, la SNR recibida), donde la SNR depende del procesamiento espacial realizado en el transmisor y en el receptor, como se ha descrito anteriormente.

En un esquema de selección de velocidad a modo de ejemplo, en primer lugar se obtiene la determinación de la velocidad para el canal espacial de banda ancha m , una estimación de la SNR, $\gamma_m(k)$, (por ejemplo, en unidades de dB) para cada sub-banda k del canal espacial de banda ancha, como se ha descrito anteriormente. A continuación se calcula una SNR media, $\gamma_{avg,m}$, para el canal espacial de banda ancha m , de la forma siguiente:

$$\gamma_{avg,m} = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \gamma_m(k)$$

Ecuación (40)

La varianza de las estimaciones de la SNR, $\sigma_{\gamma_m}^2$, también se calcula de la forma siguiente:

$$\sigma_{\gamma_m}^2 = \frac{1}{N_F - 1} \sum_{k=1}^{N_F} (\gamma_m(k) - \gamma_{avg,m})^2$$

Ecuación (41)

Un factor de reducción de SNR, $\gamma_{bo,m}$, se determina basándose en una función $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2)$ de la SNR media y la varianza de la SNR. Por ejemplo, se puede utilizar la función $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2) = K_b \cdot \sigma_{\gamma_m}^2$, donde K_b es un factor de escalado que se puede seleccionar basándose en una o más características del sistema MIMO, tales como el intercalado, el tamaño de paquete y/o el esquema de codificación utilizado para el flujo de datos. El factor de reducción de SNR representa la variación de la SNR en el canal espacial de banda ancha. A continuación se calcula una SNR de funcionamiento, $\gamma_{op,m}$, para el canal espacial de banda ancha m , de la forma siguiente:

$$\gamma_{op,m} = \gamma_{avg,m} - \gamma_{bo,m} \quad \text{Ecuación (42)}$$

A continuación se determina la velocidad para el flujo de datos basándose en la SNR de funcionamiento. Por ejemplo, una tabla de consulta (LUT) puede almacenar un conjunto de velocidades admitidas por el sistema MIMO y sus SNR requeridas. La SNR requerida para cada velocidad se puede determinar mediante una simulación por ordenador, mediciones empíricas, etc., y basándose en una suposición de canal AWGN. La velocidad más alta de la tabla de consulta con una SNR requerida que es igual o inferior a la SNR de funcionamiento se selecciona como la velocidad para el flujo de datos enviado en el canal espacial de banda ancha m .

También se pueden utilizar otros esquemas de selección de la velocidad diferentes.

D. Control de velocidad de bucle cerrado

El control de velocidad de bucle cerrado se puede utilizar para cada uno de los flujos de datos transmitidos en múltiples canales espaciales de banda ancha. El control de velocidad de bucle cerrado puede conseguirse con uno o múltiples bucles.

La FIG. 10 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de un mecanismo de control de velocidad de bucle cerrado 1000, que comprende un bucle interior 1010 que funciona junto con un bucle exterior 1020. El bucle interior estima las condiciones del canal y determina la velocidad admitida por cada canal espacial de banda ancha. El bucle exterior 1020 estima la calidad de las transmisiones de datos recibidas en cada canal espacial de banda ancha y ajusta el funcionamiento del bucle interior consecuentemente. Por simplicidad, el funcionamiento de los bucles 1010 y 1020 para un canal espacial de banda ancha de enlace descendente m se muestra en la FIG. 10 y se describe a continuación.

Para el bucle interior 1010, el estimador de canal 378 en el terminal de usuario 120 estima el canal espacial de banda ancha m y proporciona estimaciones del canal (por ejemplo, estimaciones de la ganancia del canal y una estimación de la varianza del ruido). Un selector de velocidad 1030 en el controlador 380 determina la velocidad admitida por el canal espacial de banda ancha m basándose en (1) las estimaciones del canal del estimador de canal 378, (2) un factor de reducción de la SNR y/o un ajuste de la velocidad para el canal espacial de banda ancha m de un estimador de calidad 1032, y (3) una tabla de consulta (LUT) 1036 de velocidades admitidas por el sistema MIMO y sus SNR requeridas. La velocidad admitida para el canal espacial de banda ancha m se envía mediante el controlador 380 al punto de acceso 110. En el punto de acceso 110, el controlador 330 recibe la velocidad admitida para el canal espacial de banda ancha m y determina los controles de la velocidad de los datos, la codificación, y la modulación para el flujo de datos a enviar en este canal espacial. A continuación, el flujo de datos se procesa de acuerdo con estos controles mediante el procesador de datos de TX 310, se procesa espacialmente y se multiplexa con símbolos piloto mediante el procesador espacial de TX 320, se acondiciona mediante los moduladores 322, y se transmite al terminal de usuario 120.

El bucle exterior 1020 estima la calidad del flujo de datos decodificados recibidos en el canal espacial de banda ancha m y ajusta el funcionamiento del bucle interior 1010. Los símbolos recibidos para el canal espacial de banda ancha m se procesan espacialmente mediante el procesador espacial de RX 360 y también se procesan mediante el procesador de datos de RX 370. El procesador de datos de RX 370 proporciona el estado de cada paquete recibido en el canal espacial de banda ancha m y/o métricas del decodificador al estimador de calidad 1032. El bucle exterior 1020 puede proporcionar diferentes tipos de información (por ejemplo, un factor de reducción de la SNR, un ajuste de la velocidad, etc.) utilizada para controlar el funcionamiento del bucle interior 1010.

De este modo, el control de velocidad de bucle cerrado descrito anteriormente se puede realizar de forma independiente para cada canal espacial de banda ancha de enlace descendente y de enlace ascendente, lo que puede corresponder a (1) un modo propio de banda ancha, para el modo direccional de usuario único, o (2) una antena de transmisión, para los modos no direccionales de usuario único y multi-usuario.

E. Programación de terminales de usuario

La FIG. 11 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización del controlador 330 y el programador 334 para programar terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace

ascendente. En el controlador 330, un procesador de peticiones 1110 recibe peticiones de acceso transmitidas por el terminal de usuario 120 en el RACH y posiblemente peticiones de acceso de otras fuentes. Estas peticiones de acceso son para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente. El procesador de peticiones 1110 procesa las peticiones de acceso recibidas y proporciona las identidades (ID) y el estado de todos los terminales de usuario peticionarios. El estado de un terminal de usuario puede indicar el número de antenas disponibles en el terminal, si el terminal está calibrado, etc.

Un selector de velocidad 1120 recibe estimaciones del canal del estimador de canal 328 y determina las velocidades admitidas por los canales espaciales de banda ancha de enlace descendente y/o de enlace ascendente para los terminales de usuario peticionarios, tal como se ha descrito anteriormente. Para el enlace descendente, cada terminal de usuario 120 puede determinar la velocidad admitida por uno de sus canales espaciales de banda ancha, tal como se ha descrito anteriormente. La velocidad admitida es la velocidad máxima que se puede utilizar para la transmisión de datos en el canal espacial de banda ancha para conseguir el nivel deseado de rendimiento. Cada terminal de usuario 120 puede enviar las velocidades admitidas para todos sus canales espaciales de banda ancha de enlace descendente al punto de acceso 110, por ejemplo, a través del RACH. De forma alternativa, el punto de acceso 110 puede determinar las velocidades admitidas para los canales espaciales de banda ancha de enlace descendente si (1) el enlace descendente y el enlace ascendente son recíprocos y (2) el punto de acceso 110 dispone de la varianza del ruido o el umbral mínimo de ruido en el terminal de usuario 120. Para el enlace ascendente, el punto de acceso 110 puede determinar la velocidad admitida para cada canal espacial de banda ancha para cada terminal de usuario peticionario 120.

Un selector de usuarios 1140 selecciona diferentes conjuntos de uno o más terminales de usuario, de entre todos los terminales de usuario peticionarios, para la posible transmisión de datos en el enlace descendente y/o el enlace ascendente. Los terminales de usuario se pueden seleccionar basándose en varios criterios, tales como los requisitos del sistema, las capacidades y las velocidades admitidas del terminal de usuario, la prioridad del usuario, la cantidad de datos a enviar, etc. Para los modos de multiplexación espacial multi-usuario, los terminales de usuario para cada conjunto también se pueden seleccionar basándose en sus vectores de respuesta del canal.

Un selector de modo 1130 selecciona el modo de multiplexación espacial particular a utilizar para cada conjunto de terminales de usuario basándose en el estado de funcionamiento y las capacidades de los terminales de usuario del conjunto y posiblemente en otros factores. Por ejemplo, el modo direccional de usuario único se puede utilizar para un terminal de usuario de múltiples antenas "calibrado" que ha realizado la calibración de tal manera que la respuesta del canal para un enlace (por ejemplo, el enlace descendente) se puede estimar basándose en un piloto (por ejemplo, direccional) recibido a través del otro enlace (por ejemplo, el enlace ascendente). El modo no direccional de usuario único se puede utilizar para un terminal de usuario de múltiples antenas "sin calibrar" que no ha realizado la calibración o no puede admitir el modo direccional de usuario único por cualquier motivo. El modo direccional multi-usuario se puede utilizar para la transmisión de enlace descendente a múltiples terminales de usuario, cada uno de los cuales está equipado con una o más antenas. El modo no direccional multi-usuario se puede utilizar para la transmisión de enlace ascendente por múltiples terminales de usuario.

El programador 334 recibe los conjuntos de terminales de usuario del selector de usuarios 1140, el modo de multiplexación espacial seleccionado para cada terminal de usuario del selector de modo de 1130, y las velocidades seleccionadas para cada terminal de usuario del selector de velocidad 1120. El programador 1044 programa los terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente. El programador 334 selecciona uno o más conjuntos de terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y uno o más conjuntos de terminales de usuario para la transmisión de datos en el enlace ascendente para cada trama TDD. Cada conjunto incluye uno o más terminales de usuario y se programa para la transmisión simultánea de datos en un intervalo de transmisión designado de la trama TDD.

El programador 334 forma un elemento de información (IE) para cada terminal de usuario programado para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente. Cada elemento de información incluye (1) el modo de multiplexación espacial a utilizar para la transmisión de datos, (2) la velocidad a utilizar para el flujo de datos enviado en cada canal espacial de banda ancha, (3) el inicio y la duración de la transmisión de datos, y (4) posiblemente otra información (por ejemplo, el tipo de piloto que se transmite junto con la transmisión de datos). El programador 334 envía los elementos de información a todos los terminales de usuario programados a través del FCCH. Cada terminal de usuario procesa el FCCH para recuperar su elemento de información, y a continuación recibe una transmisión de enlace descendente y/o envía una transmisión de enlace ascendente de acuerdo con la información de programación recibida.

La FIG. 11 muestra un modo de realización de la programación de los terminales de usuario para transmisión de datos cuando se admiten múltiples modos de multiplexación espacial. La programación puede realizarse de otras maneras, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

La FIG. 12 muestra un diagrama de flujo de un proceso 1200 para programar terminales de usuario para la transmisión de datos en el sistema MIMO 100. Se selecciona un conjunto de al menos un terminal de usuario para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente (bloque 1212). Se selecciona un modo

de multiplexación espacial para el conjunto de terminales de usuario de entre los múltiples modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema (bloque 1214). También se seleccionan múltiples velocidades para múltiples flujos de datos a transmitir mediante múltiples canales espaciales para el conjunto de terminales de usuario (bloque 1216). El conjunto de terminales de usuario se programa para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente con las velocidades seleccionadas y el modo de multiplexación espacial seleccionado (bloque 1218).

La FIG. 13 muestra un diagrama de flujo de un proceso 1300 para transmitir datos en el enlace descendente en el sistema MIMO 100. El proceso 1300 se puede realizar mediante el punto de acceso 110x. Una primera pluralidad de flujos de datos se codifican y se modulan de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos (bloque 1312). Para el modo direccional de usuario único, la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos se procesan espacialmente con una primera pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde múltiples antenas a un primer terminal de usuario en un primer intervalo de transmisión (bloque 1314). La primera pluralidad de vectores de direccionamiento se obtienen de tal manera que la primera pluralidad de flujos de datos se transmiten sobre canales espaciales ortogonales al primer terminal de usuario. Una segunda pluralidad de flujos de datos se codifican y se modulan de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos (bloque 1316). Para el modo no direccional de usuario único, la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos se proporcionan como una segunda pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde las múltiples antenas a un segundo terminal de usuario en un segundo intervalo de transmisión (bloque 1318). Una tercera pluralidad de flujos de datos se codifican y se modulan para obtener una tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos (bloque 1320). Para el modo direccional multi-usuario, la tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos se procesan espacialmente con una segunda pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una tercera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde las múltiples antenas a múltiples terminales de usuario en un tercer intervalo de transmisión (bloque 1322). La segunda pluralidad de vectores de direccionamiento se obtienen de tal manera que la tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos se reciben con la diafonía eliminada en los múltiples terminales de usuario.

La FIG. 14 muestra un diagrama de flujo de un proceso 1400 para recibir datos en el enlace ascendente en el sistema MIMO 100. El proceso 1400 también se puede realizar mediante el punto de acceso 110x. El procesamiento espacial de recepción se realiza en una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un primer modo de multiplexación espacial (por ejemplo, el modo direccional de usuario único) para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados (bloque 1412). La primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados se desmodulan y se decodifican de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de flujos de datos decodificados (bloque 1414). El procesamiento espacial de recepción se realiza en una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un segundo modo de multiplexación espacial (por ejemplo, un modo no direccional) para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados (bloque 1416). La segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados se desmodulan y se decodifican de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de flujos de datos decodificados, que son estimaciones de los flujos de datos transmitidos por uno o múltiples terminales de usuario (bloque 1418).

Cada terminal de usuario realiza los procesos correspondientes para transmitir datos sobre uno o múltiples canales espaciales de banda ancha de enlace ascendente y para recibir datos sobre uno o múltiples canales espaciales de banda ancha de enlace descendente.

La transmisión de datos con múltiples modos de multiplexación espacial, como se describe en el presente documento, se puede implementar mediante diversos medios. Por ejemplo, el procesamiento se puede implementar en hardware, software o una combinación de los mismos. Para una implementación en hardware, las unidades de procesamiento utilizadas para realizar el procesamiento de datos, el procesamiento espacial y la programación en el punto de acceso se pueden implementar en uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores digitales de señales (DSP), dispositivos de procesamiento digital de señales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables por campo (FPGA), procesadores, controladores, micro-controladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento en un terminal de usuario también se pueden implementar en uno o más ASIC, DSP, etc.

Para una implementación en software, el procesamiento en el punto de acceso y en el terminal de usuario para la transmisión de datos con múltiples modos de multiplexación espacial se puede implementar con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etc.) que realizan las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, la unidad de memoria 332 o 382 en la FIG. 3) y ser ejecutados por un procesador (por ejemplo, el controlador 330 o 380). La unidad de memoria se puede implementar dentro del procesador o fuera del procesador.

Los títulos se incluyen en el presente documento para referencia y para facilitar la localización de ciertas secciones. Estos títulos no pretenden limitar el alcance de los conceptos descritos en la presente, y estos conceptos pueden

tener aplicabilidad en otras secciones a lo largo de toda la memoria descriptiva.

Los modos de realización se describen en las siguientes cláusulas.

5 CLÁUSULAS

1. Un procedimiento de transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

10 la selección de al menos un terminal de usuario para la transmisión de datos;
la selección de un modo de multiplexación espacial, de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, a utilizar para el al menos un terminal de usuario;
la selección de una pluralidad de velocidades para una pluralidad de flujos de datos a transmitir a través de una pluralidad de canales espaciales de un canal MIMO para el al menos un terminal de usuario; y la programación del al menos un terminal de usuario para la transmisión de datos con la pluralidad

15 de velocidades seleccionadas y el modo de multiplexación espacial seleccionado.

20 2. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 1, en el que se selecciona un terminal de usuario para la transmisión de datos y el modo de multiplexación espacial seleccionado es un modo de multiplexación espacial direccional.

3. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 2, que comprende además:

25 el procesamiento espacial de la pluralidad de flujos de datos con una pluralidad de vectores de direccionamiento para transmitir la pluralidad de flujos de datos sobre canales espaciales ortogonales al único terminal de usuario.

30 4. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 1, en el que se selecciona un terminal de usuario para la transmisión de datos y el modo de multiplexación espacial seleccionado es un modo de multiplexación espacial no direccional.

5. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 4, que comprende además:

35 la provisión de la pluralidad de flujos de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas al único terminal de usuario.

40 6. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 1, en el que se selecciona una pluralidad de terminales de usuario para la transmisión de datos y el modo de multiplexación espacial seleccionado es un modo de multiplexación espacial direccional.

7. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 6, que comprende además:

45 el procesamiento espacial de la pluralidad de flujos de datos con una pluralidad de vectores de direccionamiento para direccionar la pluralidad de flujos de datos a la pluralidad de terminales de usuario.

8. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 6, que comprende además:

50 la realización de un procesamiento espacial de recepción sobre una pluralidad de flujos de símbolos recibidos para obtener estimaciones de la pluralidad de flujos de datos transmitidos por la pluralidad de terminales de usuario, en el que cada flujo de datos se procesa con un vector de direccionamiento respectivo para direccionar el flujo de datos.

55 9. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 1, en el que se selecciona una pluralidad de terminales de usuario para la transmisión de datos y el modo de multiplexación espacial seleccionado es un modo de multiplexación espacial no direccional.

10. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 9, que comprende además:

60 la realización de un procesamiento espacial de recepción sobre una pluralidad de flujos de símbolos recibidos para obtener estimaciones de la pluralidad de flujos de datos transmitidos por la pluralidad de terminales de usuario.

11. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 9, que comprende además:

65 la provisión de la pluralidad de flujos de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas a la

pluralidad de terminales de usuario, teniendo cada uno de ellos múltiples antenas.

12. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 1, en el que el sistema MIMO es un sistema de duplexado por división del tiempo (TDD).

5 13. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 12, en el que el modo de multiplexación espacial seleccionado es un modo de multiplexación espacial direccional si el al menos un terminal de usuario está calibrado y la respuesta del canal de enlace descendente es recíproca de la respuesta del canal de enlace ascendente.

10 14. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 12, en el que el modo de multiplexación espacial seleccionado es un modo de multiplexación espacial no direccional si el al menos un terminal de usuario no está calibrado y la respuesta del canal de enlace descendente no es recíproca de la respuesta del canal de enlace ascendente.

15 15. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 1, en el que la selección de una pluralidad de velocidades incluye la estimación de las relaciones de señal a ruido e interferencia (SNR) de la pluralidad de canales espaciales, y la selección de la pluralidad de velocidades basándose en las SNR estimadas de la pluralidad de canales espaciales.

20 16. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

un selector de terminales operativo para seleccionar al menos un terminal de usuario para la transmisión de datos;

25 un selector de modo operativo para seleccionar un modo de multiplexación espacial, de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, a utilizar para el al menos un terminal de usuario;

un selector de velocidad operativo para seleccionar una pluralidad de velocidades para una pluralidad de flujos de datos a transmitir a través de una pluralidad de canales espaciales de un canal MIMO para el al menos un terminal de usuario;

30 y un programador operativo para programar el al menos un terminal usuario para la transmisión de datos con la pluralidad de velocidades seleccionadas y el modo de multiplexación espacial seleccionado.

17. El aparato, de acuerdo con la cláusula 16, que comprende además:

35 un procesador espacial de transmisión operativo para procesar espacialmente la pluralidad de flujos de datos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas al al menos un terminal de usuario.

40 18. El aparato, de acuerdo con la cláusula 16, que comprende además:

un procesador espacial de recepción operativo para procesar espacialmente una pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para obtener estimaciones de la pluralidad de flujos de datos transmitidos por el al menos un terminal de usuario.

45 19. El aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

medios para seleccionar al menos un terminal de usuario para la transmisión de datos;

50 medios para seleccionar un modo de multiplexación espacial, de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, a utilizar para el al menos un terminal de usuario;

medios para seleccionar una pluralidad de velocidades para una pluralidad de flujos de datos a transmitir a través de una pluralidad de canales espaciales de un canal MIMO para el al menos un terminal de usuario; y

55 medios para programar el al menos un terminal usuario para la transmisión de datos con la pluralidad de velocidades seleccionadas y el modo de multiplexación espacial seleccionado.

20. El aparato, de acuerdo con la cláusula 19, que comprende además:

60 medios para procesar espacialmente la pluralidad de flujos de datos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas al al menos un terminal de usuario.

21. El aparato, de acuerdo con la cláusula 19, que comprende además:

65 medios para procesar espacialmente una pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para obtener estimaciones de la pluralidad de flujos de datos

transmitidos por el al menos un terminal de usuario.

22. Un procedimiento de transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

- 5 la selección de un primer terminal de usuario para la transmisión de datos en un primer intervalo de transmisión;
 la selección de un primer modo de multiplexación espacial a utilizar para el primer terminal de usuario;
 10 la selección de un segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en un segundo intervalo de transmisión;
 la selección de un segundo modo de multiplexación espacial a utilizar para el segundo terminal de usuario;
 la programación del primer terminal de usuario para la transmisión de datos en el primer intervalo de transmisión con el primer modo de multiplexación espacial; y
 15 la programación del segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en el segundo intervalo de transmisión con el segundo modo de multiplexación espacial.

23. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 22, en el que el primer modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial direccional y el segundo modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial no direccional.

20 24. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 23, que comprende además:

- el procesamiento espacial de una primera pluralidad de flujos de datos con una pluralidad de vectores de direccionamiento para transmitir la primera pluralidad de flujos de datos sobre canales espaciales ortogonales de un canal MIMO al único terminal de usuario; y
 25 la provisión de una segunda pluralidad de flujos de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas al segundo terminal de usuario.

25 25. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 23, que comprende además:

- la realización del procesamiento espacial de recepción sobre una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos con una pluralidad de vectores propios para obtener estimaciones de una primera pluralidad de flujos de datos transmitidos por el primer terminal de usuario; y la realización del procesamiento espacial sobre una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un filtro espacial para obtener estimaciones de una segunda pluralidad de flujos de datos transmitidos por el segundo terminal de usuario.

30 26. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 23, que comprende además:

- la selección de una primera pluralidad de velocidades para una primera pluralidad de flujos de datos a transmitir a través de una primera pluralidad de canales espaciales de un primer canal MIMO para el primer terminal de usuario; y
 40 la selección de una segunda pluralidad de velocidades para una segunda pluralidad de flujos de datos a transmitir a través de una segunda pluralidad de canales espaciales de un segundo canal MIMO para el primer segundo de usuario, y
 45

en donde el primer terminal de usuario se programa además con la primera pluralidad de velocidades y el segundo terminal de usuario se programa con la segunda pluralidad de velocidades.

50 27. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

- un selector de usuarios operativo para seleccionar un primer terminal de usuario para la transmisión de datos en un primer intervalo de transmisión y para seleccionar un segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en un segundo intervalo de transmisión;
 55 un selector de modo operativo para seleccionar un primer modo de multiplexación espacial a utilizar para el primer terminal de usuario y para seleccionar un segundo modo de multiplexación espacial a utilizar para el segundo terminal de usuario; y
 un programador operativo para programar el primer terminal de usuario para la transmisión de datos en el primer intervalo de transmisión con el primer modo de multiplexación espacial y para programar el segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en el segundo intervalo de transmisión con el segundo modo de multiplexación espacial.
 60

28. El aparato, de acuerdo con la cláusula 27, en el que el primer modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial direccional y el segundo modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial no direccional.
 65

29. El aparato, de acuerdo con la cláusula 28, que comprende además:

un procesador espacial de transmisión operativo para

5 procesar espacialmente una primera pluralidad de flujos de datos con una pluralidad de vectores de direccionamiento para transmitir la primera pluralidad de flujos de datos sobre canales espaciales ortogonales de un canal MIMO para el primer terminal de usuario, y proporcionar una segunda pluralidad de flujos de datos para la transmisión desde una pluralidad de antenas al segundo terminal de usuario.

10 30. El aparato, de acuerdo con la cláusula 28, que comprende además:

un procesador espacial de recepción operativo para

15 realizar un procesamiento espacial de recepción sobre una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos con una pluralidad de vectores propios para obtener estimaciones de una primera pluralidad de flujos de datos transmitidos por el primer terminal de usuario, y la realización de un procesamiento espacial de recepción sobre una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un filtro espacial para obtener estimaciones de una segunda pluralidad de flujos de datos transmitidos por el segundo terminal de usuario.

20 31. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de acceso múltiple de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

25 medios para seleccionar un primer terminal de usuario para la transmisión de datos en un primer intervalo de transmisión;
 medios para seleccionar un primer modo de multiplexación espacial a utilizar para el primer terminal de usuario;
 medios para seleccionar un segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en un segundo intervalo de transmisión;
 30 medios para seleccionar un segundo modo de multiplexación espacial a utilizar para el segundo terminal de usuario;
 medios para programar el primer terminal de usuario para la transmisión de datos en el primer intervalo de transmisión con el primer modo de multiplexación espacial; y
 medios para programar el segundo terminal de usuario para la transmisión de datos en el segundo intervalo de transmisión con el segundo modo de multiplexación espacial.

32. El aparato, de acuerdo con la cláusula 31, en el que el primer modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial direccional y el segundo modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial no direccional.

40 33. El aparato, de acuerdo con la cláusula 32, que comprende además:

45 medios para procesar espacialmente una primera pluralidad de flujos de datos con una pluralidad de vectores de direccionamiento para transmitir la primera pluralidad de flujos de datos sobre canales espaciales ortogonales de un canal MIMO al único terminal de usuario; y
 medios para proporcionar una segunda pluralidad de flujos de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas al segundo terminal de usuario.

50 34. El aparato, de acuerdo con la cláusula 32, que comprende además:

55 medios para realizar un procesamiento espacial de recepción sobre una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos con una pluralidad de vectores propios para obtener estimaciones de una primera pluralidad de flujos de datos transmitidos por el primer terminal de usuario, y
 medios para realizar un procesamiento espacial de recepción sobre una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un filtro espacial para obtener estimaciones de una segunda pluralidad de flujos de datos transmitidos por el segundo terminal de usuario.

60 35. Un procedimiento de transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

65 la codificación y la modulación de una primera pluralidad de flujos de datos para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos;
 el procesamiento espacial de la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos con una primera pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas a un primer terminal de usuario en un primer intervalo de transmisión;

la codificación y la modulación de una segunda pluralidad de flujos de datos para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos; y la provisión de la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos como una segunda pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde la pluralidad de antenas a un segundo terminal de usuario en un segundo intervalo de transmisión.

5
36. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 35, que comprende además:
la obtención de la primera pluralidad de vectores de direccionamiento de tal manera que la primera pluralidad de flujos de datos se transmite sobre una pluralidad de canales espaciales ortogonales de un primer canal MIMO para el primer terminal de usuario.

10
37. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 35, que comprende además:
la codificación y la modulación de una tercera pluralidad de flujos de datos para obtener una tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos; y el procesamiento espacial de la tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos con una segunda pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una tercera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde la pluralidad de antenas a una pluralidad de terminales de usuario en un tercer intervalo de transmisión.

15
20
38. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 37, que comprende además:
la obtención de la segunda pluralidad de vectores de direccionamiento de tal manera que la tercera pluralidad de flujos de datos se recibe con la diafonía eliminada en la pluralidad de terminales de usuario.

25
39. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

un procesador de datos de transmisión operativo para

30
codificar y modular una primera pluralidad de flujos de datos para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos, y
codificar y modular una segunda pluralidad de flujos de datos para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos; y

35
un procesador espacial de transmisión operativo para

40
procesar espacialmente la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos con una primera pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas a un primer terminal de usuario en un primer intervalo de transmisión, y
proporcionar la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos como una segunda pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde la pluralidad de antenas a un segundo terminal de usuario en un segundo intervalo de transmisión.

45
40. Un procedimiento de recepción de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

50
la realización del procesamiento espacial de recepción en una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un primer modo de multiplexación espacial para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados;

55
la desmodulación y la decodificación de la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de flujos de datos decodificados;

la realización del procesamiento espacial de recepción en una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un segundo modo de multiplexación espacial para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados; y

60
la desmodulación y la decodificación de la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de flujos de datos decodificados.

65
41. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 40, en el que el primer modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial direccional, y en el que la primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente con una pluralidad de vectores propios para una pluralidad de canales espaciales de un

canal MIMO para un terminal de usuario.

42. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 40, en el que el segundo modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial no direccional.

5 43. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 42, en el que la segunda pluralidad de flujos de datos decodificados son estimaciones de una pluralidad de flujos de datos transmitidos por un único terminal de usuario.

10 44. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 42, en el que la segunda pluralidad de flujos de datos decodificados son estimaciones de una pluralidad de flujos de datos transmitidos simultáneamente por una pluralidad de terminales de usuario.

15 45. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 42, en el que la segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de inversión de la matriz de correlación del canal (CCMI).

20 46. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 42, en el que la segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE).

47. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 42, en el que la segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de cancelación sucesiva de interferencias (SIC).

25 48. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

un procesador espacial de recepción operativo para

30 realizar un procesamiento espacial de recepción sobre una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un primer modo de multiplexación espacial para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados, y

35 realizar un procesamiento espacial de recepción en una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos de acuerdo con un segundo modo de multiplexación espacial para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados; y

un procesador de datos de recepción operativo para

40 desmodular y decodificar la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de flujos de datos decodificados, y

45 desmodular y decodificar la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de flujos de datos decodificados.

49. Un procedimiento de transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

50 la recepción de información que indica un modo de multiplexación espacial y una pluralidad de velocidades a utilizar para la transmisión de datos, en el que el modo de multiplexación espacial se selecciona de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, y en el que cada una de la pluralidad de velocidades se selecciona de entre un conjunto de velocidades admitidas por el sistema;

55 la codificación y la modulación de una pluralidad de flujos de datos de acuerdo con la pluralidad de velocidades para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de datos; y

60 el procesamiento espacial de la pluralidad de flujos de símbolos de datos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas.

65 50. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 49, en el que el modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial direccional, y en el que la pluralidad de flujos de símbolos de datos se procesan espacialmente con una pluralidad de vectores direccionales para transmitir la pluralidad de flujos de símbolos de datos sobre una pluralidad de canales espaciales ortogonales de un canal MIMO.

51. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 50, que comprende además:

la transmisión de un piloto direccional en cada uno de la pluralidad de canales espaciales ortogonales.

5 52. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 49, en el que el modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial no direccional, y en el que la pluralidad de flujos de símbolos de datos se proporcionan como la pluralidad de flujos de símbolos de transmisión.

10 53. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 49, que comprende además:

la realización de la calibración de tal manera que la respuesta del canal de enlace ascendente sea recíproca de la respuesta del canal de enlace descendente.

15 54. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

un controlador operativo para recibir información que indica un modo de multiplexación espacial y una pluralidad de velocidades a utilizar para la transmisión de datos, en el que el modo de multiplexación espacial se selecciona de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, y en donde cada una de la pluralidad de velocidades se selecciona de entre un conjunto de velocidades admitidas por el sistema;

20 un procesador de datos de transmisión operativo para codificar y modular una pluralidad de flujos de datos de acuerdo con la pluralidad de velocidades para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de datos; y

25 un procesador espacial de transmisión operativo para procesar espacialmente la pluralidad de flujos de símbolos de datos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial seleccionado para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas.

30 55. Un procedimiento de recepción de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

la recepción de información que indica un modo de multiplexación espacial y al menos una velocidad a utilizar para la transmisión de datos, en el que el modo de multiplexación espacial se selecciona de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, y en donde cada una de la al menos una velocidad se selecciona de entre un conjunto de velocidades admitidas por el sistema;

35 el procesamiento espacial de al menos un flujo de símbolos recibidos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial para obtener al menos un flujo de símbolos de datos recuperados; y

40 la desmodulación y la decodificación de al menos un flujo de símbolos de datos recuperados de acuerdo con la al menos una velocidad para obtener al menos un flujo de datos decodificados.

45 56. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 55, en el que el primer modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial direccional, y en el que la pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente con una pluralidad de vectores propios para una pluralidad de canales espaciales de un canal MIMO para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados.

50 57. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 55, en el que el modo de multiplexación espacial es un modo de multiplexación espacial no direccional.

55 58. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 57, en el que una pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de inversión de la matriz de correlación del canal (CCMI), una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE), o una técnica de cancelación sucesiva de interferencias (SIC) para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados.

59. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 57, en el que un flujo de símbolos recibidos se procesa con las estimaciones de ganancia de canal para obtener un flujo de símbolos de datos recuperados.

60 60. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

65 un controlador operativo para recibir información que indica un modo de multiplexación espacial y al menos una velocidad a utilizar para la transmisión de datos, en el que el modo de multiplexación espacial se selecciona de entre una pluralidad de modos de multiplexación espacial admitidos por el sistema, y en donde cada una de la al menos una velocidad se selecciona de entre un conjunto de velocidades admitidas por el

sistema;

5 un procesador espacial de recepción operativo para procesar espacialmente al menos un flujo de símbolos recibidos de acuerdo con el modo de multiplexación espacial para obtener al menos un flujo de símbolos de datos recuperados; y

10 un procesador de datos de recepción operativo para desmodular y decodificar al menos un flujo de símbolos de datos recuperados de acuerdo con la al menos una velocidad para obtener al menos un flujo de datos decodificados.

15 La anterior descripción de los modos de realización divulgados se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la presente invención. Diversas modificaciones de estos modos de realización resultarán fácilmente evidentes a los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otros modos de realización sin apartarse del espíritu o el alcance de la invención. Por lo tanto, la presente invención no pretende limitarse a los modos de realización mostrados en el presente documento, sino que se le concede el alcance más amplio compatible con los principios y características novedosas divulgados en el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (1300) de transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que comprende:

la codificación y la modulación (1312) de una primera pluralidad de flujos de datos para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos; el uso de un modo de multiplexación espacial direccional, el procesamiento espacial (1314) de la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos con una primera pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde una pluralidad de antenas a un primer terminal de usuario en un primer intervalo de transmisión;

la codificación y la modulación (1316) de una segunda pluralidad de flujos de datos para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos; y

el uso de un modo de multiplexación espacial no direccional, la provisión (1318) de la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos como una segunda pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde la pluralidad de antenas a un segundo terminal de usuario en un segundo intervalo de transmisión.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:

la obtención de la primera pluralidad de vectores de direccionamiento de tal manera que la primera pluralidad de flujos de datos se transmite sobre una pluralidad de canales espaciales ortogonales de un primer canal MIMO al primer terminal de usuario.

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:

la codificación y la modulación (1320) de una tercera pluralidad de flujos de datos para obtener una tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos; y

el procesamiento espacial (1322) de la tercera pluralidad de flujos de símbolos de datos con una segunda pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una tercera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde la pluralidad de antenas a una pluralidad de terminales de usuario en un tercer intervalo de transmisión.

4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende además: la obtención de la segunda pluralidad de vectores de direccionamiento utilizando la inversión de canal de tal manera que la tercera pluralidad de flujos de datos se recibe con la diafonía eliminada en la pluralidad de terminales de usuario.

5. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que comprende:

un procesador de datos de transmisión (310, 390x, 390y) operativo para codificar y modular una primera pluralidad de flujos de datos para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos, y codificar y modular una segunda pluralidad de flujos de datos para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos; y un procesador espacial de transmisión (320, 392y) operativo para,

utilizando un modo de multiplexación espacial direccional, procesar espacialmente la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos con una primera pluralidad de vectores de direccionamiento para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas a un primer terminal de usuario en un primer intervalo de transmisión, y

utilizando un modo de multiplexación espacial no direccional, proporcionar la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos como una segunda pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para la transmisión desde la pluralidad de antenas a un segundo terminal de usuario en un segundo intervalo de transmisión.

6. Un procedimiento (1400) de recepción de datos en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:

utilizando un modo de multiplexación espacial direccional, el procesamiento (1412) de una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados;

la desmodulación y la decodificación (1414) de la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad

de flujos de datos decodificados;

utilizando un modo de multiplexación espacial no direccional, el procesamiento (1416) de una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados; y

la desmodulación y la decodificación (1418) de la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de flujos de datos decodificados.

7. El procedimiento, de acuerdo con la cláusula 6, en el que la primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente con una pluralidad de vectores propios para una pluralidad de canales espaciales de un canal MIMO para un terminal de usuario.

8. El procedimiento, de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la segunda pluralidad de flujos de datos decodificados son estimaciones de una pluralidad de flujos de datos transmitidos por un único terminal de usuario.

9. El procedimiento, de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la segunda pluralidad de flujos de datos decodificados son estimaciones de una pluralidad de flujos de datos transmitidos simultáneamente por una pluralidad de terminales de usuario.

10. El procedimiento, de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de inversión de la matriz de correlación del canal "CCMI".

11. El procedimiento, de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de error cuadrático medio mínimo "MMSE".

12. El procedimiento, de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos se procesan espacialmente basándose en una técnica de cancelación sucesiva de interferencias "SIC".

13. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO, que comprende:

un procesador espacial de recepción (340, 360x, 360y) operativo para procesar una primera pluralidad de flujos de símbolos recibidos utilizando un modo de multiplexación espacial direccional para obtener una primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados, y procesar una segunda pluralidad de flujos de símbolos recibidos utilizando un modo de multiplexación espacial no direccional para obtener una segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados; y

un procesador de datos de recepción (342, 370x, 370y) operativo para desmodular y decodificar (1414) la primera pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una primera pluralidad de velocidades para obtener una primera pluralidad de flujos de datos decodificados, y desmodular y decodificar (1418) la segunda pluralidad de flujos de símbolos de datos recuperados de acuerdo con una segunda pluralidad de velocidades para obtener una segunda pluralidad de flujos de datos decodificados.

14. Un programa informático para implementar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 o el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 13 cuando son ejecutadas por un procesador.

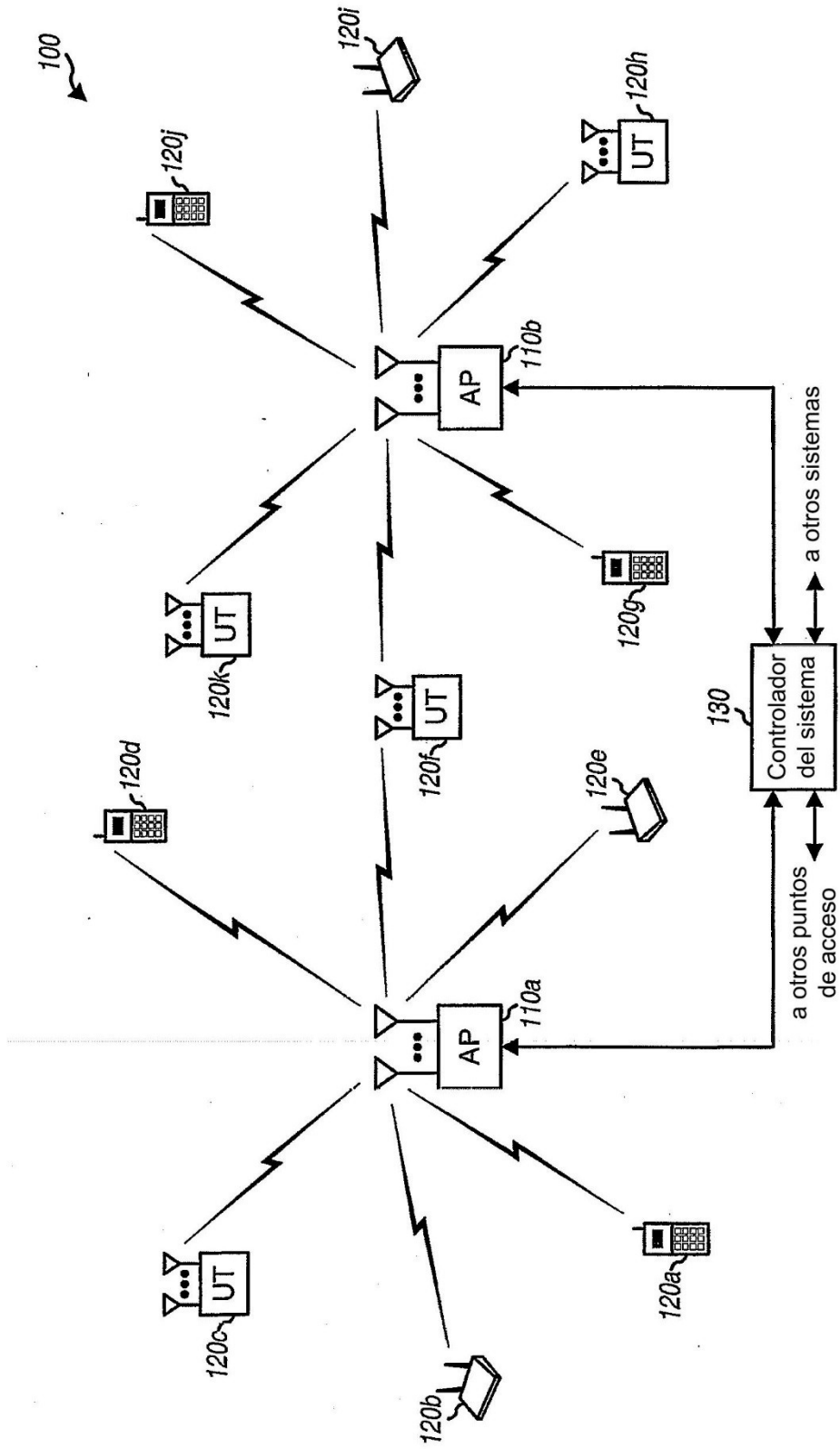


FIG. 1

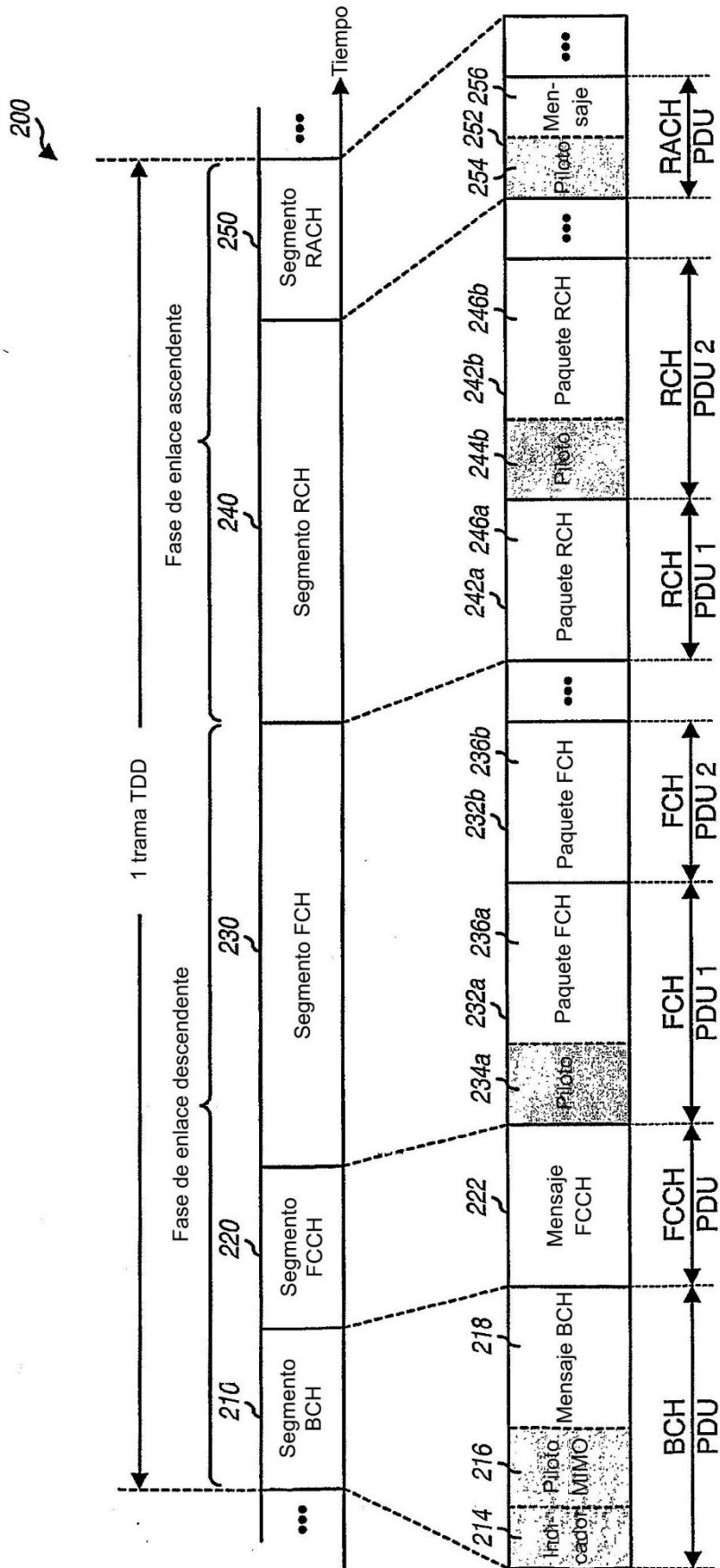


FIG. 2

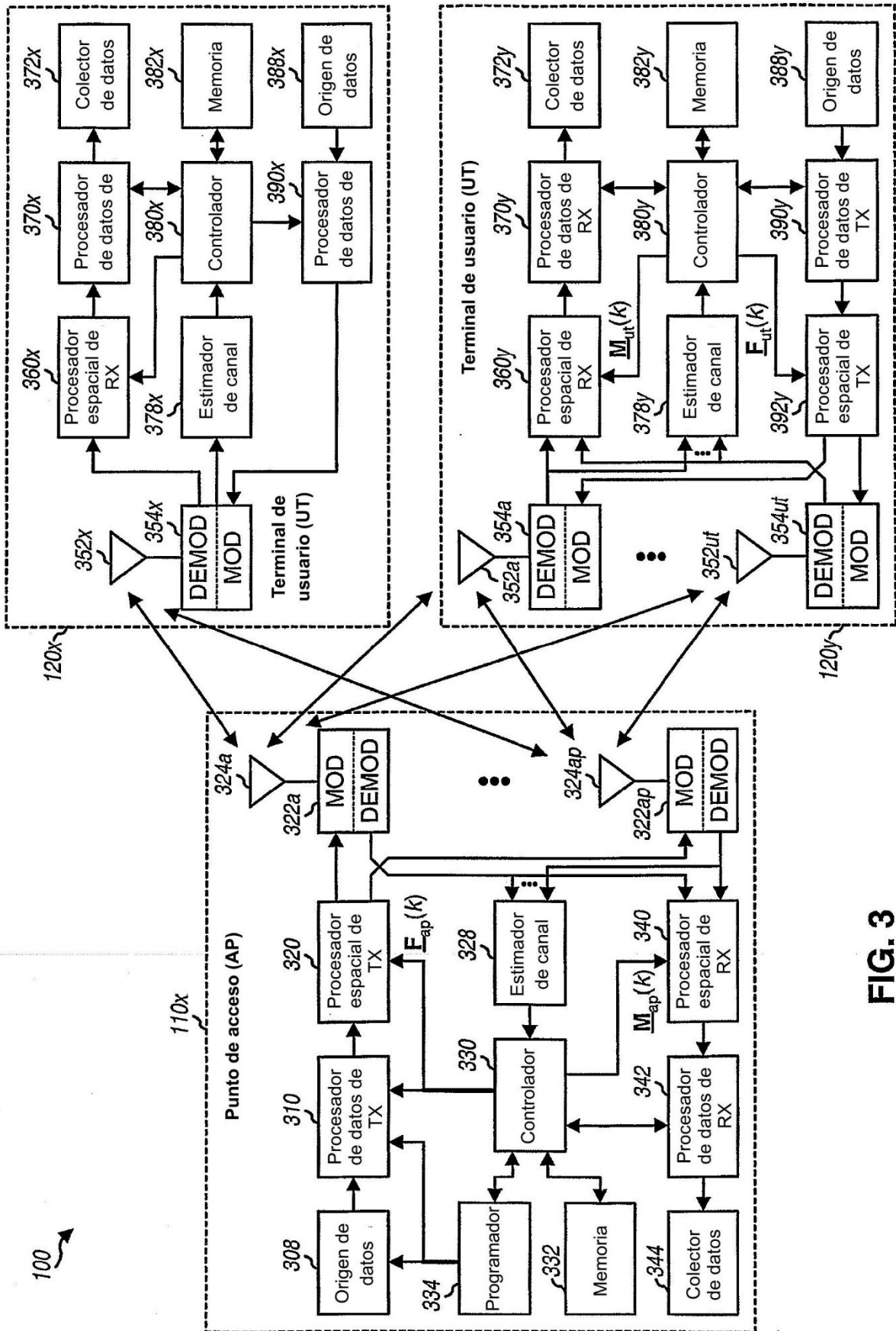


FIG. 3

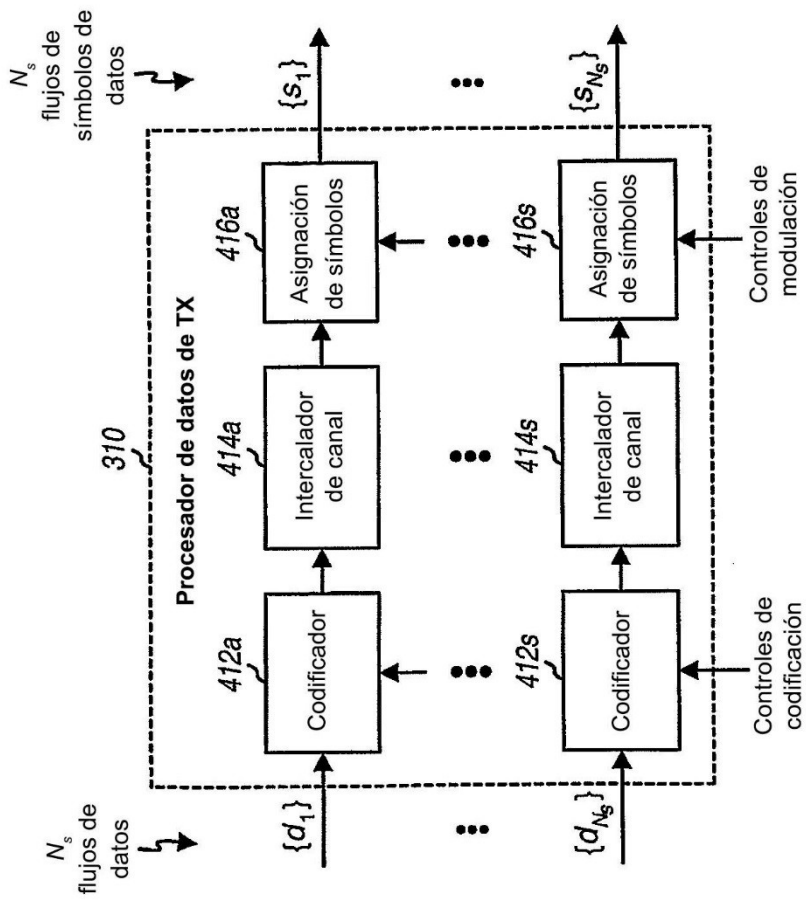


FIG. 4

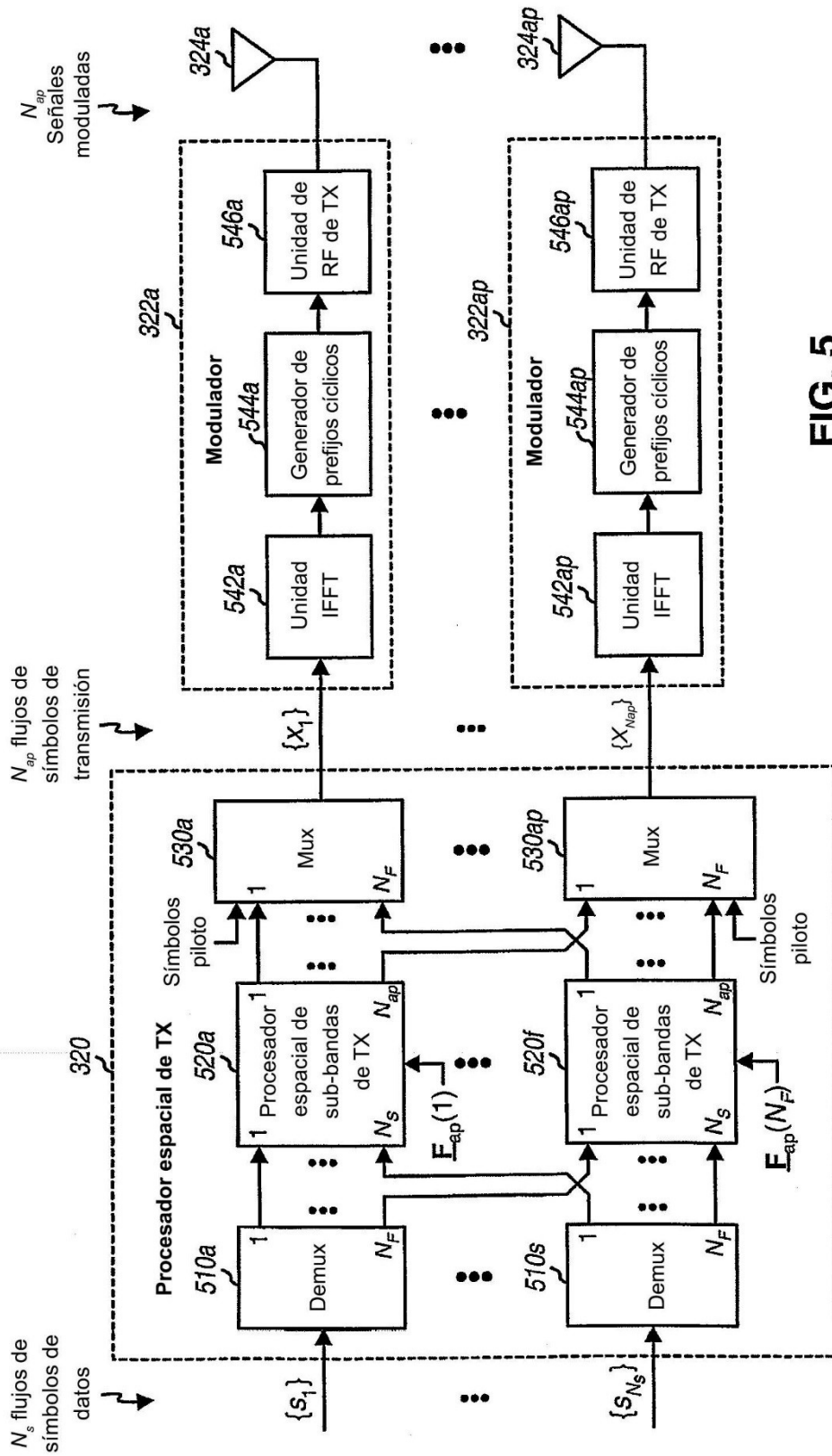


FIG. 5

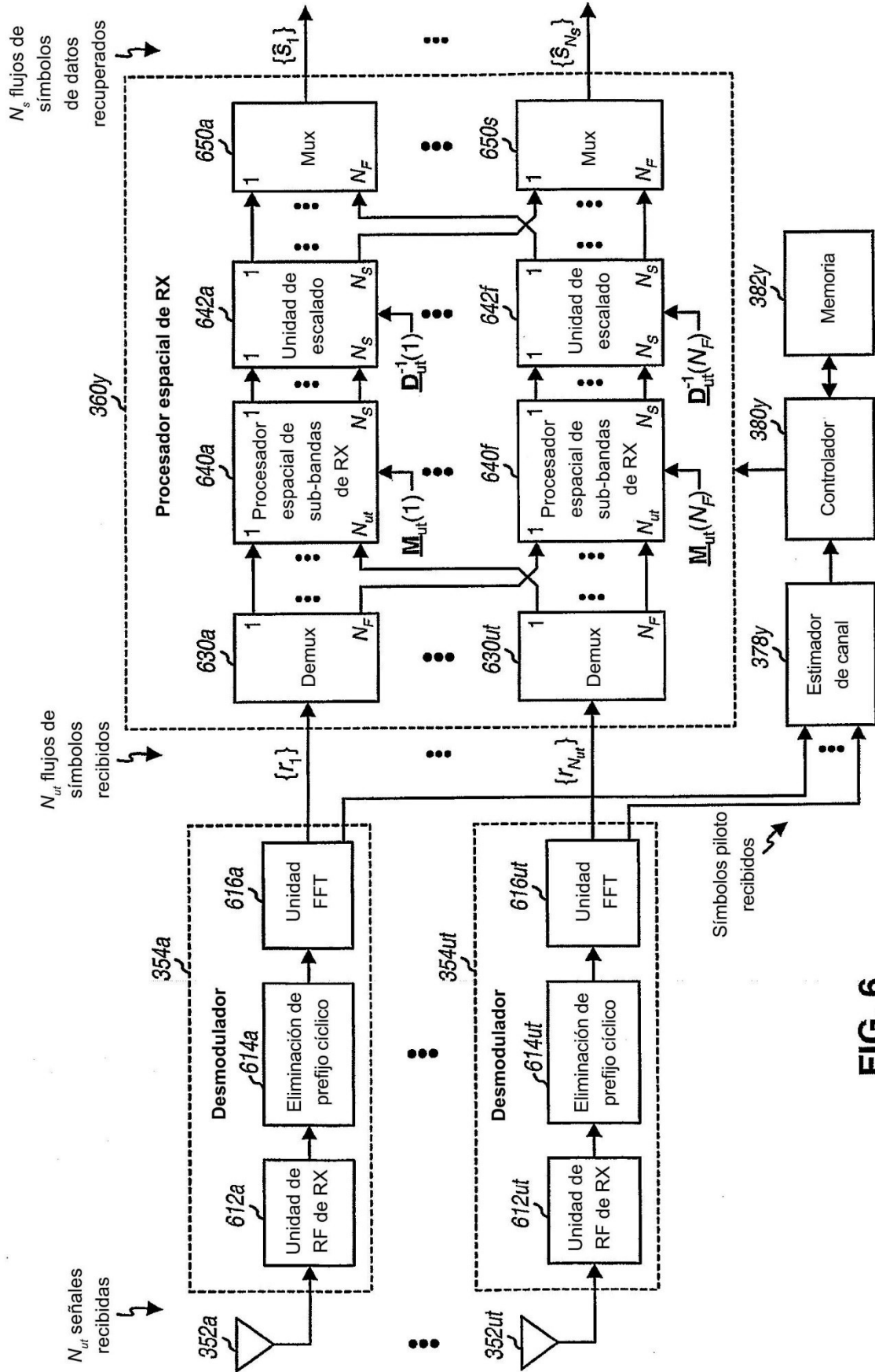


FIG. 6

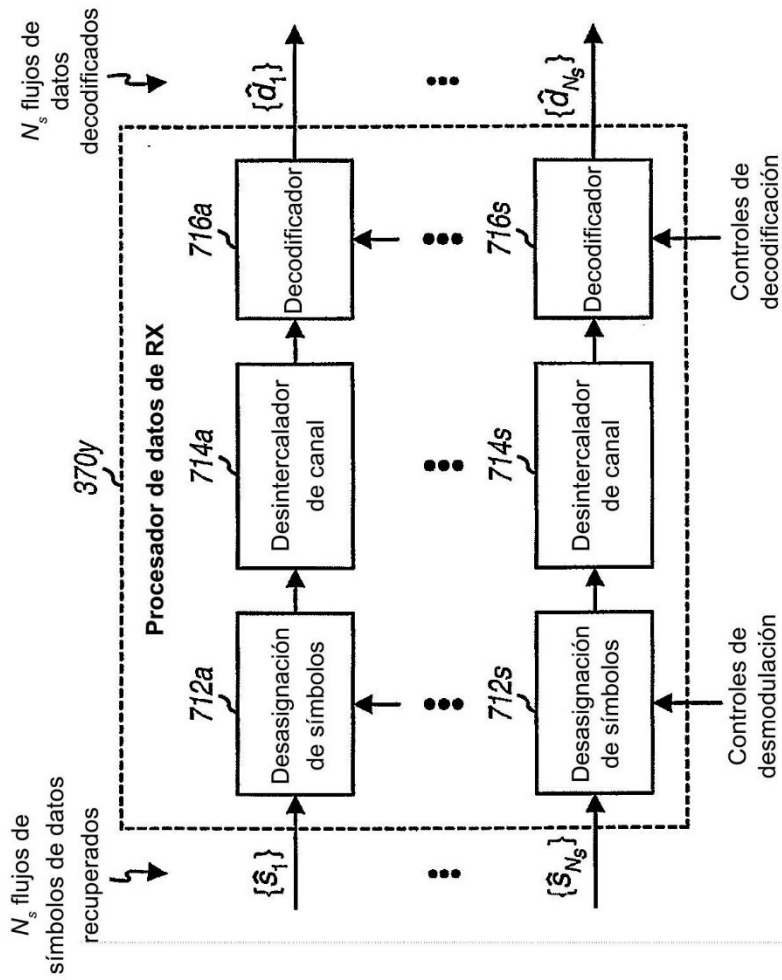


FIG. 7

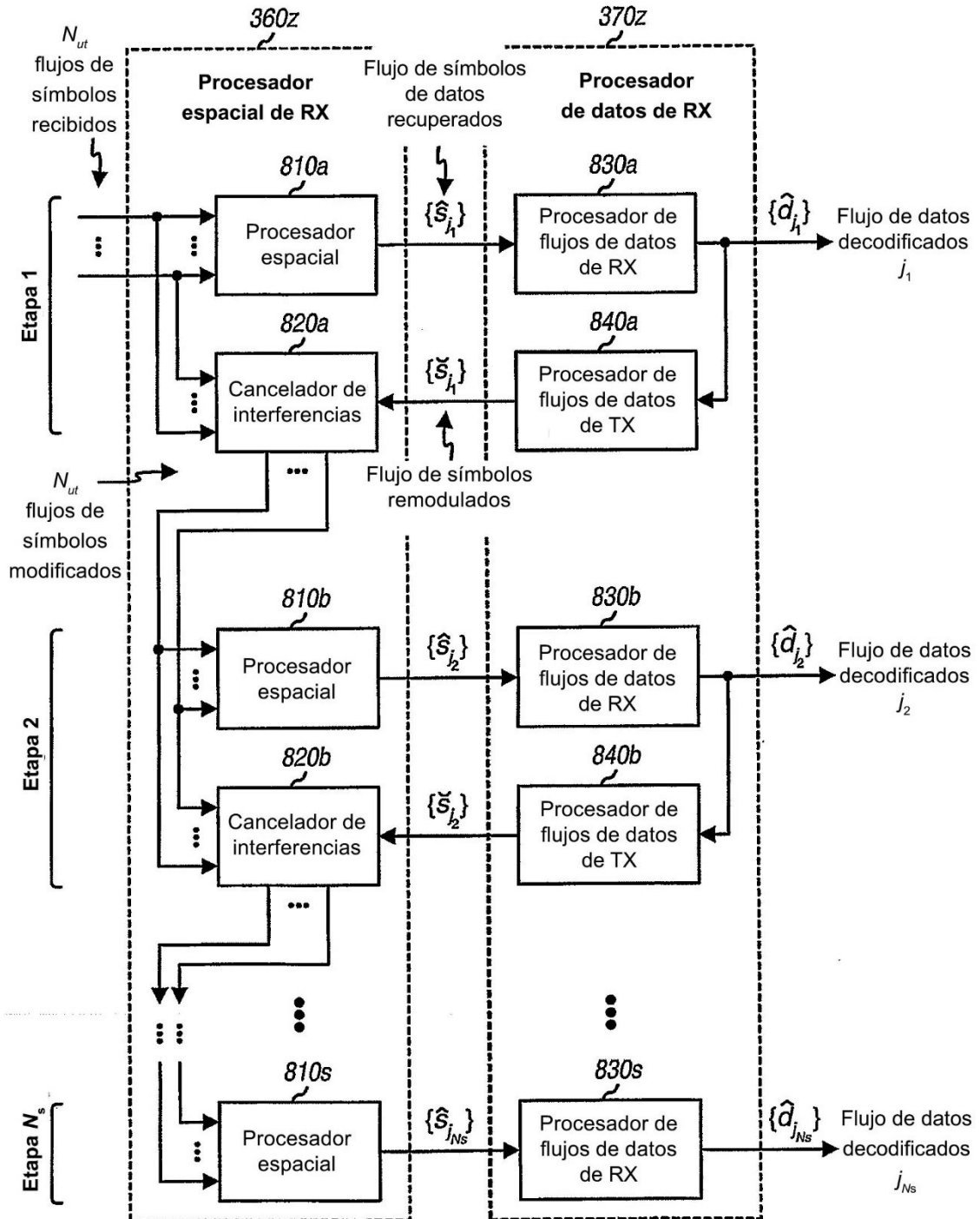


FIG. 8

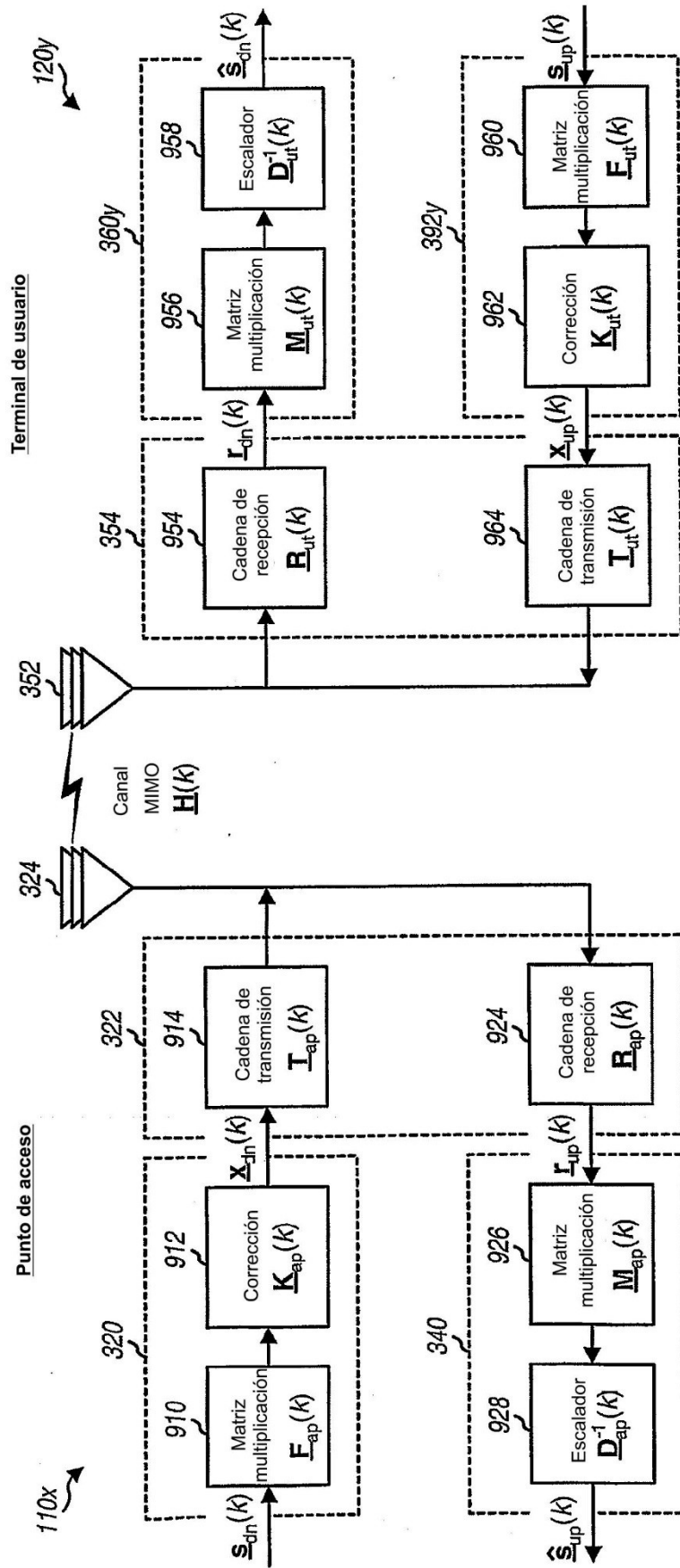


FIG. 9

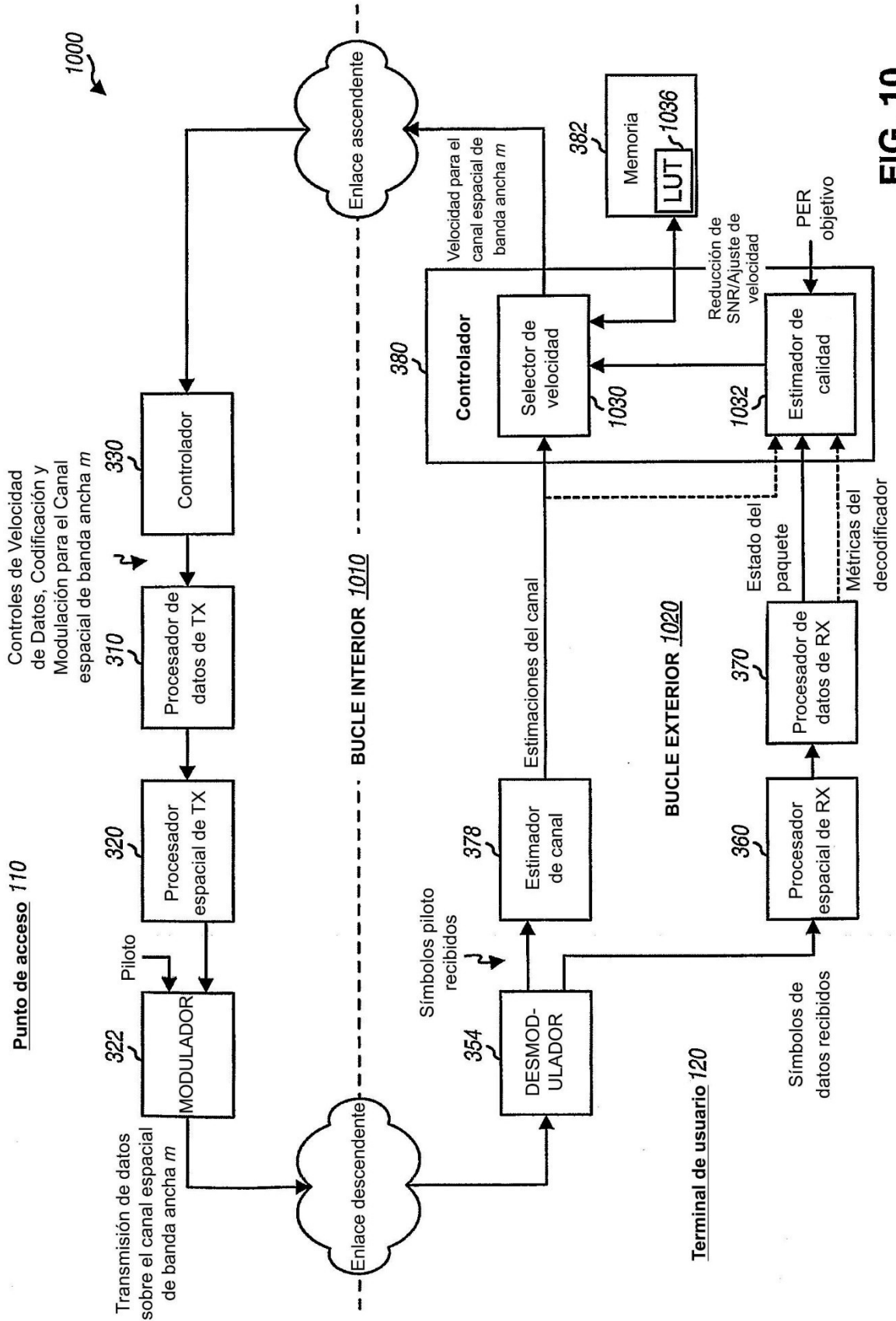


FIG. 10

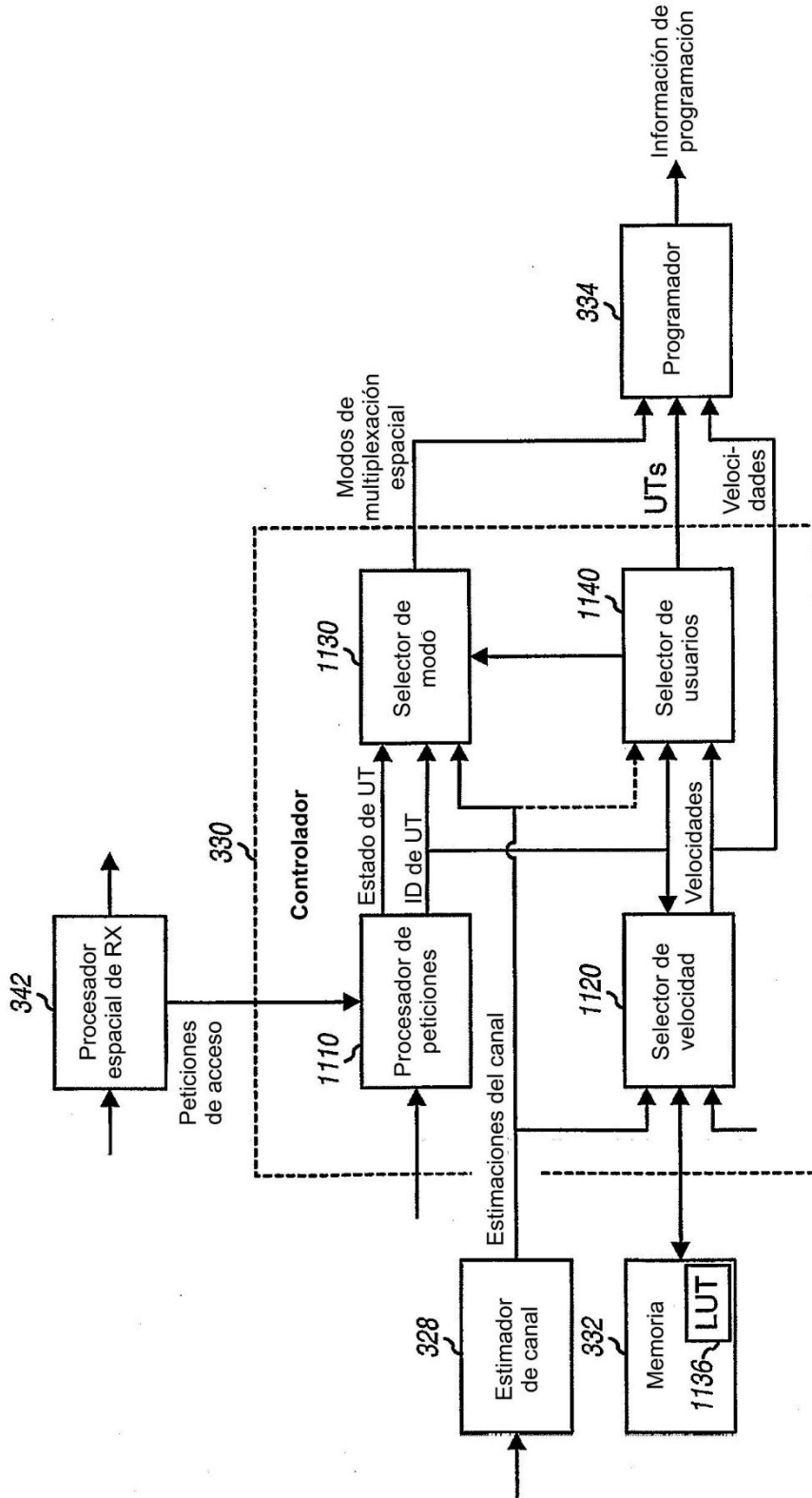


FIG. 11

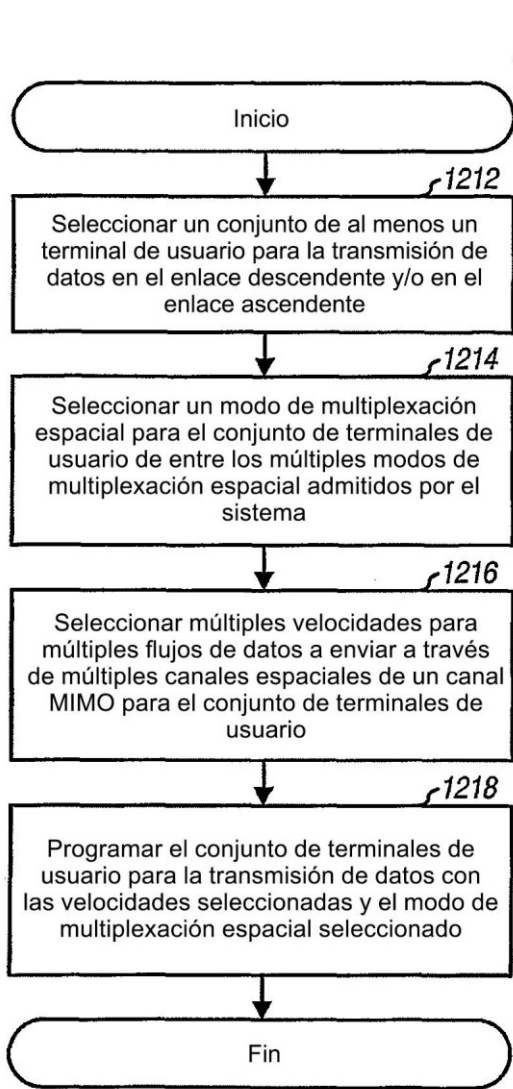


FIG. 12

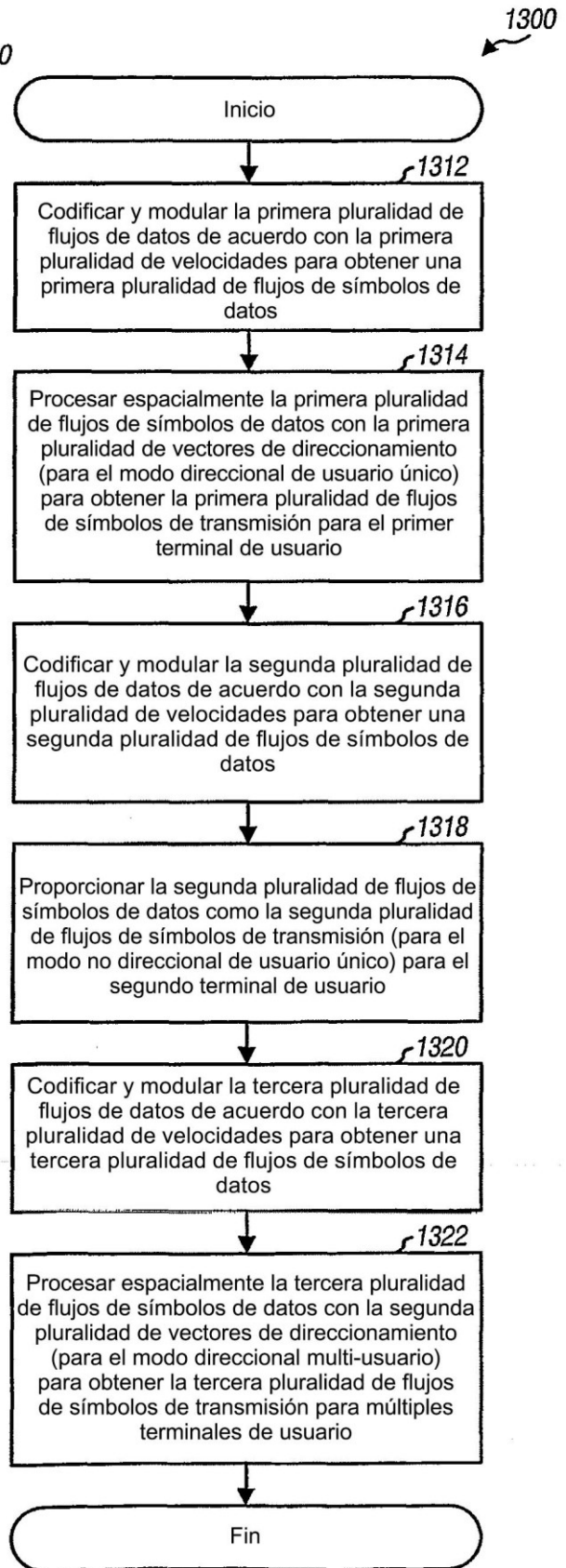


FIG. 13

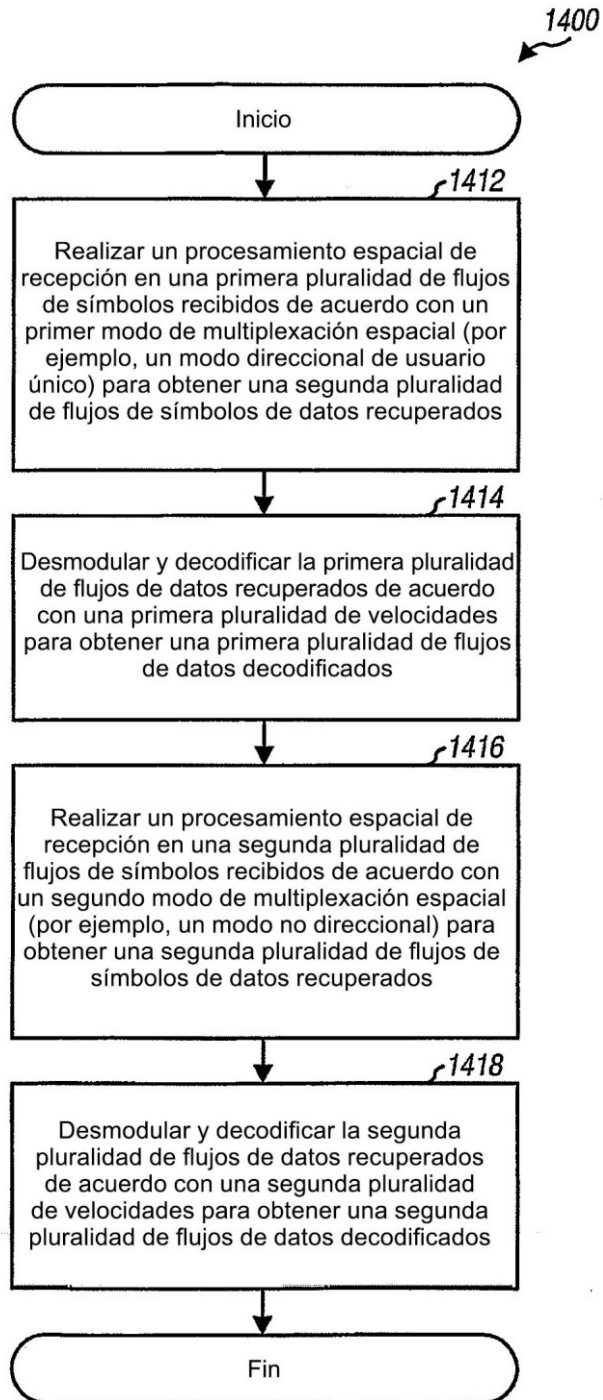


FIG. 14