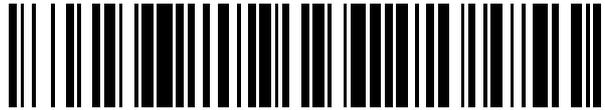


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 515**

51 Int. Cl.:

H04B 7/0417	(2007.01)
H04B 7/06	(2006.01)
H04J 11/00	(2006.01)
H04L 1/00	(2006.01)
H04L 1/06	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.01.2005 PCT/US2005/000828**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2005 WO05071864**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.01.2005 E 05711350 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 1712029**

54 Título: **Procedimientos y aparatos de transmisión de datos con ensanchamiento espacial en un sistema de comunicación MIMO**

30 Prioridad:

13.01.2004 US 536307 P
09.12.2004 US 9200

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

14.02.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

WALTON, JAY, RODNEY;
KETCHUM, JOHN, W.;
WALLACE, MARK, S. y
HOWARD, STEVEN, J.

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 654 515 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

Procedimientos y aparatos de transmisión de datos con ensanchamiento espacial en un sistema de comunicación MIMO

5

ANTECEDENTES

II. Campo

10 **[0001]** La presente invención se refiere en general a la comunicación, y más específicamente a técnicas para transmitir datos en un sistema de comunicación de múltiple entrada múltiple salida.

III. Antecedentes

15 **[0002]** Un sistema MIMO emplea múltiples (NT) antenas transmisoras en una entidad transmisora y múltiples (NR) antenas receptoras en una entidad receptora para la transmisión de datos. Un canal MIMO formado por las NT antenas transmisoras y las NR antenas receptoras puede descomponerse en N_s canales espaciales, donde $N_s \leq \min \{N_T, N_R\}$. Los N_s canales espaciales pueden usarse para transmitir datos en paralelo para lograr un mayor rendimiento y/o de forma redundante para lograr una mayor fiabilidad.

20

[0003] El canal MIMO entre la entidad transmisora y la entidad receptora puede experimentar diversas condiciones de canal deletéreas tales como, por ejemplo, efectos de desvanecimiento, de trayectos múltiples y de interferencia. En general, puede lograrse un buen rendimiento para la transmisión de datos a través del canal MIMO si la interferencia y el ruido observados en la entidad receptora son "blancos" de forma espacial, lo que es una interferencia y una potencia de ruido planas o constantes a través de la dimensión espacial. Sin embargo, este puede no ser el caso si la interferencia proviene de fuentes de interferencia ubicadas en direcciones específicas. Si la interferencia está "coloreada" de forma espacial (no blanca), entonces la entidad receptora puede determinar las características espaciales de la interferencia y colocar nulos de haz en la dirección de las fuentes de interferencia. La entidad receptora también puede proporcionar a la entidad transmisora información de estado de canal (CSI). La entidad transmisora puede procesar los datos de forma espacial de manera que maximice la relación señal-ruido más interferencia (SNR) en la entidad receptora. Por tanto, puede lograrse un buen rendimiento cuando las entidades transmisora y receptora realicen el procesamiento espacial de transmisión y recepción apropiado para la transmisión de datos en presencia de interferencia coloreada de forma espacial.

25

30

35 **[0004]** Para realizar la nulidad espacial de la interferencia, la entidad receptora necesita típicamente determinar las características de la interferencia. Si las características de interferencia cambian con el tiempo, entonces la entidad receptora necesitaría obtener continuamente información de interferencia actualizada con el fin de ubicar con precisión los nulos de haz. La entidad receptora también puede necesitar enviar continuamente información de estado de canal a una velocidad suficiente para permitir que la entidad transmisora realice el procesamiento espacial apropiado. La necesidad de información de interferencia precisa y de información de estado del canal hace que la nulidad espacial de la interferencia no sea práctica para la mayoría de los sistemas MIMO.

40

[0005] El documento XP010803892 "Multistream space-time coding by spatial spreading, scrambling and delay diversity" (Medles A et al.) divulga un marco flexible de ensanchamiento y aleatorización espaciales que permite transmitir un número arbitrario de flujos. El documento XP002357231 "Single-and Multi-Carrier DS-CDMA" (Hanzo L et al) divulga un sistema asistido por GA como una técnica subóptima de detección multiusuario en sistemas CDMA sincrónicos de bits sobre canales de desvanecimiento de Rayleigh de una sola ruta. El documento XP010638423 "Space-time spreading codecs for a multiuser mimo system" (Doostnejad R et al) divulga el uso de la dimensión espacial para permitir el acceso múltiple para el enlace descendente de un sistema de comunicación celular y propone un código de ensanchamiento bidimensional.

50

[0006] Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de técnicas para transmitir datos en presencia de interferencia y ruido coloreados de forma espacial.

55

RESUMEN

[0007] De acuerdo con la presente invención, se proporcionan un procedimiento para transmitir datos desde una entidad transmisora a una entidad receptora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiple entrada múltiple salida (MIMO) de acuerdo con la reivindicación 1 y un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiple entrada múltiple salida (MIMO) de acuerdo con la reivindicación 17.

60

[0008] La presente invención también proporciona un procedimiento para recibir una transmisión de datos enviada por una entidad transmisora a una entidad receptora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiple entrada múltiple salida (MIMO) de acuerdo con la reivindicación 28 y un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiple entrada múltiple salida (MIMO) de acuerdo con la reivindicación 42.

65

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**[0009]**

- 5 La FIG. 1 muestra un sistema MIMO con una entidad transmisora, una entidad receptora y dos fuentes de interferencia.
 La FIG. 2 muestra un modelo para la transmisión de datos con ensanchamiento espacial.
 La FIG. 3 muestra un procesamiento realizado por la entidad transmisora.
 10 La FIG. 4 muestra un procesamiento realizado por la entidad receptora.
 La FIG. 5 muestra un diagrama de bloques de las entidades transmisora y receptora.
 La FIG. 6 muestra un procesador de datos de transmisión (TX) y un procesador espacial de TX en la entidad transmisora.
 15 La FIG. 7 muestra un procesador espacial de recepción (RX) y un procesador de datos de RX en la entidad receptora.
 La FIG. 8 muestra un procesador espacial de RX y un procesador de datos de RX que implementan una técnica de cancelación de interferencia sucesiva (SIC).

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 20 **[0010]** El término "a modo de ejemplo" se usa en el presente documento para significar "que sirve como ejemplo, caso o ilustración". No debe considerarse necesariamente que cualquier modo de realización descrito en el presente documento como "a modo de ejemplo" sea preferido o ventajoso con respecto a otros modos de realización.
- 25 **[0011]** Se describen técnicas para transmitir datos con ensanchamiento espacial en sistemas MIMO de una sola portadora y de portadoras múltiples. El ensanchamiento espacial se refiere a la transmisión de un símbolo de datos (que es un símbolo de modulación para los datos) en múltiples modos propios o canales espaciales (descritos a continuación) de un canal MIMO simultáneamente con un vector de dirección. El ensanchamiento espacial aleatoriza un canal de transmisión observado por un flujo de símbolos de datos, que blanquea de forma efectiva el flujo de
 30 símbolos de datos transmitidos y puede proporcionar diversos beneficios como se describe a continuación.
- [0012]** Para la transmisión de datos con ensanchamiento espacial, una entidad transmisora procesa (por ejemplo, codifica, entrelaza y modula) cada paquete de datos para obtener un bloque correspondiente de símbolos de datos y multiplexa bloques de símbolos de datos sobre N_S flujos de símbolos de datos para la transmisión en N_S canales de
 35 transmisión en un canal MIMO. La entidad transmisora ensancha de forma espacial los N_S flujos de símbolos de datos con matrices de dirección para obtener N_S flujos de símbolos de ensanchamiento. La entidad transmisora procesa además de forma espacial los N_S flujos de símbolos ensanchados para la transmisión de CSI completa en N_S modos propios del canal MIMO o la transmisión parcial de CSI en los N_S canales espaciales del canal MIMO, como se describe a continuación.
- 40 **[0013]** Una entidad receptora obtiene N_R flujos de símbolos recibidos a través de N_R antenas receptoras y realiza el procesamiento espacial del receptor para la transmisión de CSI completa o la transmisión de CSI parcial para obtener N_S flujos de símbolos detectados, que son estimaciones de los N_S flujos de símbolos ensanchados. La entidad receptora desensancha además de forma espacial los N_S flujos de símbolos detectados con las mismas
 45 matrices de dirección usadas por la entidad transmisora y obtiene N_S flujos de símbolos recuperados, que son estimaciones de los N_S flujos de símbolos de datos. El procesamiento espacial y el desensanchamiento espacial del receptor pueden realizarse de forma conjunta o separada. La entidad receptora procesa entonces (por ejemplo, demodula, desentrelaza y decodifica) cada bloque de símbolos recuperados en los N_S flujos de símbolos recuperados para obtener un correspondiente paquete de datos decodificados.
- 50 **[0014]** La entidad receptora también puede estimar la relación señal-ruido más interferencia (SNR) de cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos y seleccionar una velocidad adecuada para el canal de transmisión en base a su SNR. Pueden seleccionarse las mismas velocidades o diferentes para los N_S canales de transmisión. La entidad transmisora codifica y modula los datos para cada canal de transmisión en base a su
 55 velocidad seleccionada.
- [0015]** A continuación se describen con más detalle diversos aspectos y modos de realización de la invención.
- 60 **[0016]** La FIG. 1 muestra un sistema MIMO 100 con una entidad transmisora 110, una entidad receptora 150 y dos fuentes de interferencia 190a y 190b. La entidad transmisora 110 transmite datos a la entidad receptora 150 a través de rutas de línea de vista (como se muestra en la FIG. 1) y/o rutas reflejadas (no mostrado en la FIG. 1). Las fuentes de interferencia 190a y 190b transmiten señales que actúan como interferencia en la entidad receptora 150. La interferencia observada por la entidad receptora 150 desde las fuentes de interferencia 190a y 190b puede estar coloreada de forma espacial.
- 65

1. Sistema MIMO de una sola portadora

[0017] Para un sistema MIMO de una sola portadora, un canal MIMO formado por las N_T antenas transmisoras en la entidad transmisora y por las N_R antenas receptoras en la entidad receptora puede estar caracterizado por una matriz de respuesta de canal $N_R \times N_T$ \mathbf{H} , que puede expresarse como:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,N_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1} & h_{N_R,2} & \dots & h_{N_R,N_T} \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (1)}$$

donde la entrada $h_{i,j}$, para $i = 1 \dots N_R$ y $j = 1 \dots N_T$ indica el acoplamiento o la ganancia de canal compleja entre la antena transmisora j y la antena receptora i .

[0018] Pueden transmitirse datos de diversas maneras en el sistema MIMO. Para un sistema de transmisión de CSI completa, los datos se transmiten en "modos propios" del canal MIMO (descrito a continuación). Para un sistema de transmisión de CSI parcial, se transmiten datos en canales espaciales del canal MIMO (también descrito a continuación).

A. Transmisión de CSI completa

[0019] Para el sistema de transmisión de CSI completa, la descomposición de valores propios puede realizarse en una matriz de correlación de \mathbf{H} para obtener N_S modos propios de \mathbf{H} , de la siguiente manera:

$$\mathbf{R} = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{H} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{E}^H, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde \mathbf{R} es una matriz de correlación $N_T \times N_T$ de \mathbf{H} ;
 \mathbf{E} es una matriz unitaria $N_T \times N_T$ cuyas columnas son vectores propios de \mathbf{R} ;
 $\mathbf{\Lambda}$ es una matriz diagonal $N_T \times N_T$ de valores propios de \mathbf{R} ; y
 H indica una transposición conjugada.

[0020] Una matriz unitaria \mathbf{U} se caracteriza por la propiedad $\mathbf{U}^H \cdot \mathbf{U} = \mathbf{I}$, donde \mathbf{I} es la matriz identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí.

[0021] La entidad transmisora puede realizar el procesamiento espacial con los vectores propios de \mathbf{R} para transmitir datos en los N_S modos propios de \mathbf{H} . Los modos propios pueden verse como canales espaciales ortogonales obtenidos mediante la descomposición. Las entradas diagonales de $\mathbf{\Lambda}$ son valores propios de \mathbf{R} , que representan las ganancias de potencia para los modos propios N_S .

[0022] La entidad transmisora realiza el procesamiento espacial para la transmisión de CSI completa de la manera siguiente:

$$\mathbf{x} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{s}, \quad \text{Ec. (3)}$$

donde \mathbf{s} es un vector $N_T \times 1$ con N_S entradas distintas de cero para que N_S símbolos de datos se transmitan en los N_S canales espaciales; y
 \mathbf{x} es un vector $N_T \times 1$ con N_T símbolos de transmisión para enviarse desde las N_T antenas transmisoras.

[0023] Los símbolos recibidos en esta entidad receptora pueden expresarse como:

$$\mathbf{r} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{j}, \quad \text{Ec. (4)}$$

donde \mathbf{r} es un vector $N_R \times 1$ con N_R símbolos recibidos obtenidos a través de las antenas receptoras N_R ; y
 \mathbf{j} es un vector $N_R \times 1$ de interferencia y ruido observado en la entidad receptora.

[0024] La entidad receptora realiza un procesamiento espacial con una matriz de filtro espacial $N_T \times N_R$ $\mathbf{M} = \mathbf{\Lambda}^{-1} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{H}^H$ para la transmisión de CSI completa, de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}} &= \mathbf{M} \cdot \mathbf{r} \\ &= \mathbf{\Lambda}^{-1} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{H}^H \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{s} + \mathbf{j}) \\ &= \mathbf{\Lambda}^{-1} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{s} + \mathbf{\Lambda}^{-1} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{j} \\ &= \mathbf{s} + \tilde{\mathbf{j}} \end{aligned} \quad \text{Ec. (5)}$$

5 donde $\hat{\mathbf{s}}$ es un vector $N_T \times 1$ con N_S símbolos recuperados o estimaciones de símbolos de datos, que son estimaciones de los N_S símbolos de datos en \mathbf{s} ; y

$\tilde{\mathbf{j}} = \mathbf{\Lambda}^{-1} \cdot \mathbf{E}^H \cdot \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{j}$ es la interferencia y el ruido "posdetección" después del procesamiento espacial en la entidad receptora.

10 [0025] Un modo propio puede verse como un canal efectivo entre un elemento de \mathbf{s} y un elemento correspondiente de $\hat{\mathbf{s}}$ con las entidades transmisora y receptora realizando el procesamiento espacial mostrado en las ecuaciones (3) y (5), respectivamente. Las entidades transmisora y receptora solamente tienen típicamente estimaciones de la matriz de respuesta de canal \mathbf{H} , que pueden obtenerse en base a símbolos piloto. Un símbolo piloto es un símbolo de modulación para piloto, que es un dato conocido *a priori* por las entidades transmisora y receptora. Por simplicidad, la descripción del presente documento no supone ningún error de estimación de canal.

15 [0026] El vector \mathbf{j} puede descomponerse en un vector de interferencia \mathbf{i} y en un vector de ruido \mathbf{n} , de la manera siguiente:

$$\mathbf{j} = \mathbf{i} + \mathbf{n} . \quad \text{Ec. (6)}$$

20 [0027] El ruido puede caracterizarse por una matriz de autocovarianza $N_R \times N_R$ $\mathbf{\Phi}_{nn} = E[\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}^H]$, donde $E[x]$ es el valor esperado de x . Si el ruido es ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) con cero de media y una varianza de σ_n^2 , entonces la matriz de autocovarianza de ruido puede expresarse como: $\mathbf{\Phi}_{nn} = \sigma_n^2 \cdot \mathbf{I}$. De manera similar, la interferencia puede caracterizarse por una matriz de autocovarianza $N_R \times N_R$ $\mathbf{\Phi}_{ii} = E[\mathbf{i} \cdot \mathbf{i}^H]$. La matriz de autocovarianza de \mathbf{j} puede expresarse como $\mathbf{\Phi}_{jj} = E[\mathbf{j} \cdot \mathbf{j}^H] = \mathbf{\Phi}_{nn} + \mathbf{\Phi}_{ii}$, suponiendo que la interferencia y el ruido no están correlacionados.

30 [0028] Se considera que la interferencia y el ruido son blancos de forma espacial si sus matrices de autocovarianza son de la forma $\sigma^2 \cdot \mathbf{I}$ debido a que el ruido y la interferencia no están correlacionados. Para la interferencia y el ruido blancos de forma espacial, cada antena receptora observa la misma cantidad de interferencia y ruido, y la interferencia y el ruido observados en cada antena receptora no están correlacionados con la interferencia y el ruido observados en todas las demás antenas receptoras. Para la interferencia y el ruido coloreados de forma espacial, las matrices de autocovarianza tienen términos fuera de diagonal distintos de cero debido a la correlación entre la interferencia y el ruido observados en diferentes antenas receptoras. En este caso, cada antena receptora i puede observar una cantidad diferente de interferencia y ruido, que sea igual a la suma de los N_R elementos en la i -ésima fila de la matriz $\mathbf{\Phi}_{ii}$.

40 [0029] Si la interferencia y el ruido están coloreados de forma espacial, entonces los vectores propios óptimos para la transmisión de CSI completa pueden derivarse como:

$$\mathbf{R}_{\text{opt}} = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{\Phi}_{jj}^{-1} \cdot \mathbf{H} = \mathbf{E}_{\text{opt}} \cdot \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{E}_{\text{opt}}^H . \quad \text{Ec. (7)}$$

45 [0030] Los vectores propios \mathbf{E}_{opt} dirigen la transmisión de datos en la dirección de la entidad receptora y colocan además nulos de haz en la dirección de la interferencia. Sin embargo, la entidad transmisora necesitaría estar dotada con la matriz de autocovarianza $\mathbf{\Phi}_{jj}$ para derivar los autovectores \mathbf{E}_{opt} . La matriz $\mathbf{\Phi}_{jj}$ se basa en la interferencia y en el ruido observados en la entidad receptora y solo pueden determinarse por la entidad receptora. Para anular de forma espacial la interferencia, la entidad receptora necesitaría enviar esta matriz, o su equivalente, de vuelta a la entidad transmisora, lo que puede representar una gran cantidad de información de estado de canal para enviar de vuelta.

[0031] El ensanchamiento espacial puede usarse para blanquear de forma espacial la interferencia y el ruido observados por la entidad receptora y puede mejorar potencialmente el rendimiento. La entidad transmisora realiza el ensanchamiento espacial con un conjunto de matrices de dirección de tal manera que el desensanchamiento espacial complementario en la entidad receptora blanquea de forma espacial la interferencia y el ruido.

5 [0032] Para la transmisión de CSI completa con ensanchamiento espacial, la entidad transmisora realiza el procesamiento de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{x}}_{fcsi}(m) = \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) , \quad \text{Ec. (8)}$$

10 donde $\underline{\mathbf{s}}(m)$ es un vector de símbolos de datos para el periodo de transmisión m ;
 $\underline{\mathbf{V}}(m)$ es una matriz de dirección $N_T \times N_T$ para el periodo de transmisión m ;
 $\underline{\mathbf{E}}(m)$ es una matriz de vectores propios para el periodo de transmisión m ; y
 $\underline{\mathbf{x}}_{fcsi}(m)$ es un vector de símbolos de transmisión para el periodo de transmisión m .

15 [0033] Un periodo de transmisión puede cubrir las dimensiones de tiempo y/o frecuencia. Por ejemplo, en un sistema MIMO de una sola portadora, un periodo de transmisión puede corresponder a un período de símbolo, que es el tiempo de duración para transmitir un símbolo de datos. Un periodo de transmisión también puede cubrir múltiples periodos de símbolos. Como se muestra en la ecuación (8), cada símbolo de datos en $\underline{\mathbf{s}}(m)$ se ensancha de forma espacial con una respectiva columna de $\underline{\mathbf{V}}(m)$ para obtener N_T símbolos ensanchados, que puedan transmitirse entonces en todos los modos propios de $\underline{\mathbf{H}}(m)$.

20 [0034] Los símbolos recibidos en esta entidad receptora pueden expresarse como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{fcsi}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{x}}_{fcsi}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m) . \quad \text{Ec. (9)}$$

25 [0035] La entidad receptora deriva una matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m) = \underline{\Lambda}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) . \quad \text{Ec. (10)}$$

30 [0036] La entidad receptora realiza un procesamiento espacial del receptor y un desensanchamiento espacial usando $\underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m)$ y $\underline{\mathbf{V}}^H(m)$, respectivamente, de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{fcsi}(m) &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{fcsi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{fcsi}(m) , \\ &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\Lambda}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m)] , \quad \text{Ec. (11)} \\ &= \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}_{fcsi}(m) , \end{aligned}$$

35 donde $\underline{\mathbf{j}}_{fcsi}(m)$ es la interferencia y el ruido "posdetección" después del procesamiento espacial y del desensanchamiento espacial en la entidad receptora, que es:

$$\underline{\mathbf{j}}_{fcsi}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\Lambda}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{j}}(m) . \quad \text{Ec. (12)}$$

40 [0037] Como se muestra en la ecuación (12), la interferencia y el ruido recibidos en $\underline{\mathbf{j}}(m)$ se transforman por las transposiciones conjugadas de $\underline{\mathbf{V}}(m)$, $\underline{\mathbf{E}}(m)$ y $\underline{\mathbf{H}}(m)$. $\underline{\mathbf{E}}(m)$ es una matriz de vectores propios que no puede computarse de forma óptima para la interferencia y el ruido coloreados de forma espacial si no se conoce la matriz de autocovarianza $\varphi_{\underline{\mathbf{E}}}(m)$, lo que a menudo es el caso.

45 [0038] Las entidades transmisora y receptora pueden, por azar, funcionar con una matriz $\underline{\mathbf{E}}(m)$ que dé como resultado más interferencia y ruido que estén observados por la entidad receptora. Este puede ser el caso, por ejemplo, si un modo de $\underline{\mathbf{E}}(m)$ está correlacionado con la interferencia. Si el canal MIMO es estático, las entidades transmisora y receptora pueden funcionar entonces continuamente con una matriz $\underline{\mathbf{E}}(m)$ que proporcione un rendimiento deficiente. El desensanchamiento espacial con la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$ blanquea de forma espacial la interferencia y el ruido. La efectividad del blanqueo de la interferencia y del ruido depende de las características de la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(m)$ y de la interferencia $\underline{\mathbf{j}}(m)$. Si existe un alto grado de correlación entre la señal y la interferencia deseadas, esto limita entonces la cantidad de ganancia proporcionada por el blanqueo de la interferencia y del ruido.

[0039] La SNR de cada modo propio con la transmisión de CSI completa puede expresarse como:

$$\gamma_{fcsi,\ell}(k) = \frac{P_{\ell}(m)\lambda_{\ell}(m)}{\sigma_j^2}, \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_s, \quad \text{Ec. (13)}$$

- 5 donde $P_{\ell}(m)$ es la potencia de transmisión usada para el símbolo de transmisión enviado en el nodo propio ℓ en el periodo de transmisión m ;
 $\lambda_{\ell}(m)$ es el valor propio para el modo propio ℓ en el periodo de transmisión m , que es el elemento diagonal ℓ -ésimo de $\underline{\Lambda}(m)$;
 σ_j^2 es la varianza de la interferencia y del ruido recibidos; y
 10 $\gamma_{fcsi,\ell}(m)$ es la SNR del modo propio ℓ en el periodo de transmisión m .

B. Transmisión de CSI parcial

[0040] Para la transmisión de CSI parcial con ensanchamiento espacial, la entidad transmisora realiza el procesamiento de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{x}}_{pcsi}(m) = \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m), \quad \text{Ec. (14)}$$

20 donde $\underline{\mathbf{x}}_{pcsi}(m)$ es el vector de datos de transmisión para el período de transmisión m . Como se muestra en la ecuación (14), cada símbolo de datos en $\underline{\mathbf{s}}(m)$ se ensancha de forma espacial con una respectiva columna de $\underline{\mathbf{V}}(m)$ para obtener N_T símbolos ensanchados, que pueden transmitirse entonces desde todas las N_T antenas transmisoras.

[0041] Los símbolos recibidos en esta entidad receptora pueden expresarse como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{pcsi}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m) = \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m), \quad \text{Ec. (15)}$$

30 donde $\underline{\mathbf{r}}_{pcsi}(m)$ es el vector de símbolos recibido para el periodo de transmisión m y $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ es una matriz de respuesta de canal efectiva, que es:

$$\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m). \quad \text{Ec. (16)}$$

[0042] La entidad receptora puede derivar estimaciones de los símbolos de datos transmitidos en $\underline{\mathbf{s}}$ que usen varias técnicas de procesamiento del receptor. Estas técnicas incluyen una técnica de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI) (que también se denomina comúnmente técnica de cero forzado), una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE), una técnica de cancelación de interferencia sucesiva (SIC), etc. La entidad receptora puede realizar el procesamiento espacial y el desensanchamiento espacial del receptor de forma conjunta o separada, como se describe a continuación. En la descripción siguiente, se envía un flujo de símbolos de datos para cada elemento del vector de símbolos de datos $\underline{\mathbf{s}}$.

[0043] Para la técnica CCMI, la entidad receptora puede derivar una matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$, de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) = \underline{\mathbf{R}}_{eff}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m). \quad \text{Ec. (17)}$$

45 [0044] La entidad receptora puede realizar entonces el procesamiento y desensanchamiento espaciales de CCMI, de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(m) &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{pcsi}(m), \\ &= \underline{\mathbf{R}}_{eff}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m)], \\ &= \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}_{ccmi}(m), \end{aligned} \quad \text{Ec. (18)}$$

50 donde $\underline{\mathbf{j}}_{ccmi}(m)$ es la CCMI filtrada y la interferencia y el ruido desensanchados, que es:

$$\underline{\mathbf{j}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{R}}_{eff}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{j}}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{R}}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{j}}(m) . \quad \text{Ec. (19)}$$

[0045] Como se muestra en la ecuación (19), la interferencia y el ruido $\underline{\mathbf{j}}(m)$ se blanquea con $\underline{\mathbf{V}}^H(m)$. Sin embargo, debido a la estructura de $\underline{\mathbf{R}}(m)$, la técnica CCMI puede amplificar la interferencia y el ruido.

[0046] La entidad receptora también puede realizar el procesamiento espacial de CCMI y el desensanchamiento espacial de forma separada, de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \underline{\hat{\mathbf{s}}}_{ccmi}(m) &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\tilde{\mathbf{M}}}_{ccmi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{psci}(m) , \\ &= \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{R}}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m)] , \\ &= \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}_{ccmi}(m) , \end{aligned} \quad \text{Ec. (20)}$$

donde $\underline{\tilde{\mathbf{M}}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{R}}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}^H(m)$. En cualquier caso, un canal espacial puede verse como un canal efectivo entre un elemento de $\underline{\mathbf{s}}$ y un elemento correspondiente de $\underline{\hat{\mathbf{s}}}$ con la entidad transmisora realizando el procesamiento espacial con la matriz identidad $\underline{\mathbf{I}}$ y la entidad receptora realizando el procesamiento espacial del receptor apropiado para estimar $\underline{\mathbf{s}}$.

[0047] La SNR para la técnica CCMI puede expresarse como:

$$\gamma_{ccmi,\ell}(m) = \frac{P_\ell(m)}{r_{\ell\ell}(m) \sigma_j^2} , \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_s , \quad \text{Ec. (21)}$$

donde $P_\ell(m)$ es la potencia usada para el flujo de símbolos de datos $\{s_\ell\}$ en el periodo de transmisión m ;

$r_{\ell\ell}(m)$ es el ℓ -ésimo elemento de diagonal de $\underline{\mathbf{R}}_{eff}^{-1}(m)$;

σ_j^2 es la varianza de la interferencia y del ruido recibidos; y

$\gamma_{ccmi,\ell}(m)$ es la SNR del flujo de símbolos de datos $\{s_\ell\}$ en el periodo de transmisión m .

[0048] La cantidad $P_\ell(m) / \sigma_j^2$ es la SNR del flujo de símbolos de datos $\{s_\ell\}$ en la entidad receptora antes del procesamiento espacial del receptor y se conoce comúnmente como la SNR recibida. La cantidad $\gamma_{ccmi,\ell}(m)$ es la SNR del flujo de símbolos de datos $\{s_\ell\}$ después del procesamiento espacial del receptor y también se denomina SNR posdetección. En la siguiente descripción, "SNR" se refiere a la SNR posdetección a menos que se indique lo contrario.

[0049] Para la técnica MMSE, la entidad receptora puede derivar una matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m)$, de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) + \underline{\varphi}_{jj}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) . \quad \text{Ec. (22)}$$

[0050] La matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m)$ minimiza el error cuadrático medio entre las estimaciones de símbolo del filtro espacial y los símbolos de datos. Si no se conoce la matriz de autocovarianza $\underline{\varphi}_{jj}(m)$, que a menudo es el caso, entonces la matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m)$ puede aproximarse como:

$$\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) + \sigma_j^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) . \quad \text{Ec. (23)}$$

[0051] La entidad receptora puede realizar el procesamiento y el desensanchamiento espaciales MMSE de forma conjunta, de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \underline{\hat{\mathbf{s}}}_{mmse}(m) &= \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{psci}(m) , \\ &= \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}(m)] , \\ &= \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{Q}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{j}}_{mmse}(m) , \end{aligned} \quad \text{Ec. (24)}$$

donde $\mathbf{Q}(m) = \mathbf{M}_{mmse}(m) \cdot \mathbf{H}_{eff}(m)$;

$\mathbf{D}_Q(m)$ es una matriz diagonal cuyos elementos diagonales son los elementos diagonales de $\mathbf{Q}^{-1}(m)$ o $\mathbf{D}_Q(m) = [\text{diag} [\mathbf{Q}(m)]]^{-1}$; y

$\mathbf{j}_{mmse}(m)$ es el MMSE filtrado y la interferencia y el ruido desensanchados, que es:

5

$$\begin{aligned} \mathbf{j}_{mmse}(m) &= \mathbf{D}_Q(m) \cdot \mathbf{M}_{mmse}(m) \cdot \mathbf{j}(m) , \\ &= \mathbf{D}_Q(m) \cdot [\mathbf{H}_{eff}^H(m) \cdot \mathbf{H}_{eff}(m) + \varphi_{jj}(m)]^{-1} \cdot \mathbf{H}_{eff}^H(m) \cdot \mathbf{j}(m) . \end{aligned} \quad \text{Ec. (25)}$$

10

[0052] Las estimaciones de símbolos de la matriz de filtro espacial $\mathbf{M}_{mmse}(m)$ son estimaciones no normalizadas de los símbolos de datos. La multiplicación con $\mathbf{D}_Q(m)$ proporciona estimaciones normalizadas de los símbolos de datos. La entidad receptora también puede realizar un procesamiento espacial y un desensanchamiento espacial MMSE por separado, similar al descrito anteriormente para la técnica CCMI.

[0053] La SNR para la técnica MMSE se puede expresar como:

15

$$\gamma_{mmse,\ell}(m) = \frac{q_{\ell\ell}(m)}{1 - q_{\ell\ell}(m)} P_{\ell}(m) , \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_S , \quad \text{Ec. (26)}$$

donde $q_{\ell\ell}(m)$ es el ℓ -ésimo elemento diagonal de $\mathbf{Q}(m)$; y

$\gamma_{mmse,\ell}(m)$ es la SNR del flujo de símbolos de datos $\{s_{\ell}\}$ en el periodo de transmisión m .

20

[0054] Para la técnica SIC, la entidad receptora procesa los N_R flujos de símbolos recibidos en N_S etapas sucesivas para recuperar los N_S flujos de símbolos de datos. Para cada etapa ℓ , la entidad receptora realiza el procesamiento y el desensanchamiento espacial en los N_R flujos de símbolos recibidos o en los N_R flujos de símbolos modificados de la etapa anterior (por ejemplo, usando la CCMI, la MMSE o alguna otra técnica) para obtener un flujo de símbolos recuperados $\{\hat{s}_{\ell}\}$. La entidad receptora también procesa (por ejemplo, demodula, desentrelaza y decodifica) este flujo de símbolos de datos recuperados para obtener un correspondiente flujo de datos decodificados $\{\hat{d}_{\ell}\}$. La entidad receptora establece a continuación una estimación de la interferencia que causa que los otros flujos de símbolos de datos no se recuperen todavía. Para estimar la interferencia, la entidad receptora vuelve a codificar, entrelazar y asignar símbolos al flujo de datos decodificados de la misma manera que se realizó en la entidad transmisora y obtiene un flujo de símbolos "remodulados" $\{\hat{S}_{\ell}\}$, que es una estimación del flujo de símbolos de datos que acaban de recuperarse. La entidad receptora ensancha entonces de forma espacial el flujo de símbolos remodulados con la matriz de dirección $\mathbf{V}(m)$ y se multiplica además el resultado con la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(m)$ para cada periodo de transmisión de interés para obtener N_R componentes de interferencia causados por este flujo. Los componentes de interferencia N_R se sustraen entonces de los N_R flujos de símbolos modificados o recibidos para la etapa actual para obtener N_R flujos de símbolos modificados para la siguiente etapa. La entidad receptora repite entonces el mismo procesamiento en los N_R flujos de símbolos modificados para recuperar otro flujo de datos.

25

30

35

40

45

[0055] 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) usada para cada etapa, de (2) la etapa específica en la que se recupere el flujo de símbolos de datos y (3) la cantidad de interferencia debido a los flujos de símbolos de datos no recuperados todavía. En general, la SNR mejora progresivamente para los flujos de símbolos de datos recuperados en las etapas posteriores porque se cancela la interferencia de los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas anteriores. Esto permite que se usen mayores velocidades para los flujos de símbolos de datos recuperados posteriormente.

C. Modelo del sistema

50

[0056] La FIG. 2 muestra un modelo para la transmisión de datos con ensanchamiento espacial. La entidad transmisora 110 realiza el ensanchamiento espacial (bloque 220) y el procesamiento espacial para la transmisión de CSI completa o de CSI parcial (bloque 230). La entidad receptora 150 realiza el procesamiento espacial del receptor para la transmisión de CSI completa o de CSI parcial (bloque 260) y el desensanchamiento espacial (bloque 270). La siguiente descripción hace referencias a los vectores mostrados en la FIG. 2.

55

[0057] La FIG. 3 muestra un proceso 300 realizado por la entidad transmisora para transmitir datos con ensanchamiento espacial en el sistema MIMO. La entidad transmisora procesa (por ejemplo, codifica y entrelaza) cada paquete de datos para obtener un bloque correspondiente de datos codificados, lo que también se denomina bloque de código o paquete de datos codificados (bloque 312). Cada bloque de código se codifica por separado en la entidad transmisora y se decodifica por separado en la entidad receptora. La entidad transmisora asigna símbolos además a cada bloque de código para obtener un bloque correspondiente de símbolos de datos (también el bloque

312). La entidad transmisora multiplexa todos los bloques de símbolos de datos generados para todos los paquetes de datos sobre N_S flujos de símbolos de datos (indicados por el vector \underline{s}) (bloque 314). Cada flujo de símbolos de datos se envía en un respectivo canal de transmisión. La entidad transmisora ensancha de forma espacial los N_S flujos de símbolos de datos con matrices de dirección y obtiene N_S flujos de símbolos ensanchados (indicados con un vector \underline{w} en la FIG. 2) (bloque 316). El ensanchamiento espacial es de tal manera que cada bloque de símbolos de datos se ensancha de forma espacial con múltiples (N_M) matrices de dirección para aleatorizar el canal de transmisión observado por el bloque. La aleatorización del canal de transmisión resulta del uso de diferentes matrices de dirección y no necesariamente de aleatoriedad en los elementos de las matrices de dirección. La entidad transmisora realiza además el procesamiento espacial en los N_S flujos de símbolos ensanchados para la transmisión de CSI completa o de CSI parcial, como se describió anteriormente, y obtiene N_T flujos de símbolos de transmisión (indicados con el vector \underline{x}) (bloque 318). La entidad transmisora condiciona y envía entonces los N_T flujos de símbolos de transmisión a través de las N_T antenas transmisoras a la entidad receptora (bloque 320).

[0058] La FIG. 4 muestra un proceso 400 realizado por la entidad receptora para recibir datos transmitidos con ensanchamiento espacial en el sistema MIMO. La entidad receptora obtiene N_R flujos de símbolos recibidos (indicados con el vector \underline{r}) a través de las N_R antenas receptoras (bloque 412). La entidad receptora estima la respuesta del canal MIMO (bloque 414), realiza el procesamiento espacial para la transmisión de CSI completa total o de CSI parcial en base a la estimación del canal MIMO y obtiene N_S flujos de símbolos detectados (indicados con un vector $\underline{\hat{w}}$ en la FIG. 2) (bloque 416). La entidad receptora ensancha de forma espacial además los N_S flujos de símbolos detectados con las mismas matrices de dirección usadas por la entidad transmisora y obtiene N_S flujos de símbolos recuperados (indicados con el vector $\underline{\hat{s}}$) (bloque 418). El procesamiento espacial del receptor y el desensanchamiento espacial pueden realizarse de forma conjunta o separada, como se describió anteriormente. La entidad receptora procesa entonces (por ejemplo, demodula, desentrelaza y decodifica) cada bloque de símbolos recuperados en los N_S flujos de símbolos recuperados para obtener un correspondiente paquete de datos decodificados (bloque 420). La entidad receptora también puede estimar la SNR de cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos y seleccionar una velocidad adecuada para el canal de transmisión en base a su SNR (bloque 422). Pueden seleccionarse las mismas velocidades o diferentes para los N_S canales de transmisión.

[0059] Con referencia de nuevo a la FIG. 2, los N_S flujos de símbolos de datos se envían en N_S canales de transmisión del canal MIMO. Cada canal de transmisión es un canal efectivo observado por un flujo de símbolos de datos entre un elemento del vector \underline{s} en la entidad transmisora y un elemento correspondiente del vector $\underline{\hat{s}}$ en la entidad receptora (por ejemplo, el ℓ -ésimo canal de transmisión es el canal efectivo entre el ℓ -ésimo elemento de \underline{s} y el ℓ -ésimo elemento de $\underline{\hat{s}}$). El ensanchamiento espacial aleatoriza los N_S canales de transmisión. Los N_S flujos de símbolos ensanchados se envían en los N_S modos propios del canal MIMO para la transmisión de CSI completa o en los N_S canales espaciales del canal MIMO para la transmisión de CSI parcial.

D. Ensanchamiento espacial

[0060] Las matrices de dirección usadas para el ensanchamiento espacial puede generarse de diversas maneras, como se describe a continuación. En un modo de realización, un conjunto de L matrices de dirección se genera e indica como $\{\underline{V}\}$, o $\underline{V}(i)$ para $i = 1 \dots L$, donde L puede ser cualquier número entero mayor que uno. Estas matrices de dirección son matrices unitarias que tienen columnas ortogonales. Las matrices de dirección de este conjunto se seleccionan y usan para el ensanchamiento espacial.

[0061] El ensanchamiento espacial puede realizarse de diversas maneras. En general, es deseable usar tantas matrices de dirección diferentes como sea posible para cada bloque de símbolos de datos de modo que la interferencia y el ruido se distribuyan de forma aleatoria a través del bloque. Cada bloque de símbolos de datos se transmite en N_M periodos de transmisión, donde $N_M > 1$ y N_M también se denominan longitud del bloque. Puede usarse una matriz de dirección en el conjunto para cada periodo de transmisión. Las entidades transmisora y receptora pueden estar sincronizadas de tal manera que ambas entidades sepan qué matriz de dirección usar para cada periodo de transmisión. Con el ensanchamiento espacial, la entidad receptora observa una distribución de interferencia y ruido a través de cada bloque de símbolos de datos, incluso aunque el canal MIMO sea constante en todo el bloque. Esto evita el caso en el que se reciban altos niveles de interferencia y ruido porque las entidades transmisora y receptora usan continuamente una mala matriz de vectores propios o la entidad receptora observa de forma continua la interferencia coloreada.

[0062] Las L matrices de dirección en el conjunto pueden seleccionarse para su uso de diversas maneras. En un modo de realización, las matrices de dirección se seleccionan a partir del conjunto de una manera determinista. Por ejemplo, las L matrices de dirección pueden ser cíclicas y seleccionarse en orden secuencial, comenzando con la primera matriz de dirección $\underline{V}(1)$, luego la segunda matriz de dirección $\underline{V}(2)$, y así sucesivamente, y luego la última matriz de dirección $\underline{V}(L)$. En otro modo de realización, las matrices de dirección se seleccionan a partir del conjunto de una manera pseudoaleatoria. Por ejemplo, la matriz de dirección que vaya a usarse para cada periodo de transmisión m puede seleccionarse en base a una función $f(m)$ que seleccione de forma pseudoaleatoria una de las L matrices de dirección o la matriz de dirección $\underline{V}(f(m))$. En otro modo de realización más, las matrices de dirección se seleccionan a partir del conjunto de una manera "permutada". Por ejemplo, las L matrices de dirección pueden reciclarse y seleccionarse para su uso en orden secuencial. Sin embargo, la matriz de dirección inicial para cada

ciclo puede seleccionarse de una manera pseudoaleatoria, en lugar de ser siempre la primera matriz de dirección $\mathbf{V}(1)$. Las L matrices de dirección pueden seleccionarse de otras maneras, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

- 5 **[0063]** La selección de matriz de dirección también puede ser dependiente del número de matrices de dirección (L) en el conjunto y de la longitud de bloque (N_M). En general, el número de matrices de dirección puede ser mayor, igual o menor que la longitud del bloque. La selección de la matriz de dirección para estos tres casos puede realizarse como se describe a continuación.
- 10 **[0064]** Si $L = N_M$, entonces el número de matrices de dirección coincide con la longitud de bloque. En este caso, puede seleccionarse una matriz de dirección diferente para cada uno de los N_M periodos de transmisión usados para enviar cada bloque de símbolos de datos. Las N_M matrices de dirección para los N_M periodos de transmisión pueden seleccionarse de manera determinista, pseudoaleatoria o permutada, como se describió anteriormente.
- 15 **[0065]** Si $L < N_M$, entonces la longitud de bloque es mayor que el número de matrices de dirección en el conjunto. En este caso, las matrices de dirección se reutilizan para cada bloque de símbolos de datos y pueden seleccionarse como se describió anteriormente.
- 20 **[0066]** Si $L > N_M$, entonces se usa un subconjunto de las matrices de dirección para cada bloque de símbolos de datos. La selección del subconjunto específico que vaya a usarse para cada bloque de símbolos de datos puede ser determinista o pseudoaleatorio. Por ejemplo, la primera matriz de dirección que vaya a usarse para el bloque de símbolos de datos actual puede ser la matriz de dirección después de la última usada para un bloque de símbolos de datos anterior.
- 25 **[0067]** Como se señaló anteriormente, un periodo de transmisión puede cubrir uno o múltiples periodos de símbolo y/o una o múltiples subbandas. Para un mejor rendimiento, es deseable seleccionar el periodo de transmisión lo más pequeño posible de modo que (1) puedan usarse más matrices de dirección para cada bloque de símbolos de datos y (2) cada entidad receptora pueda obtener tantos "aspectos" del canal MIMO como sea posible para cada bloque de símbolos de datos. El periodo de transmisión también debería ser más corto que el tiempo de coherencia del canal MIMO, que es la duración del tiempo durante el cual puede suponerse que el canal MIMO es aproximadamente estático. De manera similar, el periodo de transmisión debería ser menor que el ancho de banda de coherencia del canal MIMO para un sistema de banda ancha (por ejemplo, un sistema OFDM).

E. Aplicaciones para el ensanchamiento espacial

- 35 **[0068]** El ensanchamiento espacial puede usarse para aleatorizar y blanquear la interferencia y el ruido coloreados de forma espacial tanto para la transmisión de CSI completa como para la transmisión de CSI parcial, como se describió anteriormente. Esto puede mejorar el rendimiento para ciertas condiciones de canal.
- 40 **[0069]** El ensanchamiento espacial también puede usarse para reducir la probabilidad de interrupción bajo ciertos escenarios de funcionamiento. Como ejemplo, un bloque de símbolos de datos para un bloque de código puede dividirse en N_T subbloques de símbolos de datos. Cada subbloque de símbolos de datos puede codificarse y modularse en base a la SNR esperada para el subbloque. Cada subbloque de símbolos de datos puede transmitirse como un elemento del vector de símbolos de datos \mathbf{s} y los N_T subbloques de símbolos de datos pueden transmitirse en paralelo. Entonces puede producirse una interrupción si ninguno de los subbloques de símbolos de datos puede decodificarse libre de errores por la entidad receptora.
- 45 **[0070]** Si la transmisión de CSI parcial sin ensanchamiento espacial se usa para los N_T subbloques de símbolos de datos, entonces cada subbloque se transmite desde una respectiva antena transmisora. Cada subbloque de símbolos de datos observaría entonces la SNR lograda para el correspondiente canal espacial a su antena transmisora. La entidad receptora puede estimar la SNR de cada canal espacial, seleccionar una velocidad apropiada para cada canal espacial en base a su SNR y proporcionar las velocidades para todos los N_T canales espaciales a la entidad transmisora. La entidad transmisora puede codificar y modular entonces los N_T subbloques de símbolos de datos en base a sus velocidades seleccionadas.
- 50 **[0071]** El canal MIMO puede cambiar entre el tiempo n cuando las velocidades se seleccionen para el tiempo $n + \tau$ cuando las velocidades se usen realmente. Este puede ser el caso, por ejemplo, si la entidad receptora se ha movido a una nueva ubicación, si el canal MIMO cambia más rápido que la tasa de retroalimentación, y así sucesivamente. La nueva matriz de respuesta de canal \mathbf{H}_1 en el tiempo $n + \tau$ puede tener la misma capacidad que la matriz de respuesta de canal anterior \mathbf{H}_0 en el tiempo n , que puede expresarse como:
- 55
- 60

$$\text{Cap}(\mathbf{H}_0) = \sum_{i=1}^{N_T} \log_2(1 + \gamma_i(n)) = \sum_{i=1}^{N_T} \log_2(1 + \gamma_i(n + \tau)) = \text{Cap}(\mathbf{H}_1) \quad , \quad \text{Ec. (27)}$$

donde $\gamma(n)$ es la SNR del canal espacial i en el tiempo n y $\log_2(1+\gamma(n))$ es la capacidad del canal espacial i en el tiempo n . Incluso aunque las capacidades de \mathbf{H}_0 y \mathbf{H}_1 sean las mismas, las capacidades de los canales espaciales individuales pueden haber cambiado entre el tiempo n y el tiempo $n+\tau$, de modo que $\gamma(n)$ puede no ser igual a $\gamma(n+\tau)$.

5 **[0072]** Sin ensanchamiento espacial, la probabilidad de interrupción aumenta si $\gamma(n) < \gamma(n+\tau)$ para cualquier canal espacial i . Esto se debe a que es menos probable que un subbloque de símbolos de datos enviados en un canal espacial con una SNR menor se decodifique sin errores y cualquier subbloque de símbolos de datos decodificado con errores corrompa todo el bloque de símbolos de datos bajo la suposición anterior.

10 **[0073]** Si se usa la transmisión de CSI parcial con ensanchamiento espacial para los subbloques de N_T símbolos de datos, entonces cada subbloque se ensancha de forma espacial y se transmite desde todas las N_T antenas transmisoras. Cada subbloque de símbolos de datos se transmitiría entonces en un canal de transmisión formado por una combinación de N_T canales espaciales del canal MIMO y observaría una SNR efectiva que fuera una combinación de las SNR para estos canales espaciales. El canal de transmisión para cada subbloque de símbolo de datos está determinado por las matrices de dirección usadas para el ensanchamiento espacial. Si se usa un número suficiente de matrices de dirección para ensanchar de forma espacial los subbloques de símbolos de datos N_T , entonces la SNR efectiva observada por cada subbloque de símbolos de datos será aproximadamente igual a la SNR media para todos los canales espaciales cuando se encuentre un poderoso código de corrección de errores empleado. Con el ensanchamiento espacial, la probabilidad de interrupción puede depender de la SNR media de los canales espaciales en lugar de las SNR de los canales espaciales individuales. Por tanto, si la SNR media en el tiempo $n+\tau$ es aproximadamente igual a la SNR media en el momento n , entonces la probabilidad de interrupción puede ser aproximadamente la misma aunque las SNR de los canales espaciales individuales puedan haber cambiado entre los tiempos n y $n+\tau$.

25 **[0074]** El ensanchamiento espacial puede mejorar por tanto el rendimiento para el caso en el que la CSI parcial inexacta esté disponible en la entidad transmisora y/o en la entidad receptora. La CSI parcial inexacta puede ser el resultado de la movilidad, de la tasa de retroalimentación inadecuada, etc.

30 **2. Sistema MIMO de portadora múltiple**

[0075] El ensanchamiento espacial también puede usarse para un sistema MIMO de portadoras múltiples. Las portadoras múltiples pueden proporcionarse mediante el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM) u otros modelos. OFDM divide de forma efectiva todo el ancho de banda del sistema en múltiples (N_F) subbandas ortogonales de frecuencia, que también se denominan tonos, subportadoras, depósitos y canales de frecuencia. Con OFDM, cada subbanda está asociada con una respectiva subportadora que puede modularse con datos. Para un sistema basado en OFDM, el ensanchamiento espacial puede realizarse en cada una de las subbandas usadas para la transmisión de datos.

40 **[0076]** Para un sistema MIMO que utilice OFDM (es decir, un sistema MIMO OFDM del sistema), un vector de símbolos de datos $\mathbf{s}(k,n)$ puede formarse para cada subbanda k en cada periodo de símbolo OFDM n . El vector $\mathbf{s}(k,n)$ contiene hasta N_S símbolos de datos para enviarse a través de los N_S modos propios o canales espaciales de la subbanda k en el período de símbolo OFDM n . Hasta N_F vectores, $\mathbf{s}(k,n)$ para $k = 1 \dots N_F$, puede transmitirse de forma concurrente en las subbandas N_F en un período de símbolo OFDM. Para el sistema MIMO OFDM, un periodo de transmisión puede cubrir las dimensiones de tiempo y frecuencia. El índice m para el periodo de transmisión puede sustituirse por tanto con k,n para la subbanda k y el periodo de símbolo OFDM n . Un periodo de transmisión puede cubrir una subbanda en un período de símbolo OFDM o múltiples periodos de símbolo OFDM y/o múltiples subbandas.

50 **[0077]** Para el sistema de transmisión de CSI completa, la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ para cada subbanda k puede descomponerse para obtener los modos propios N_S de esa subbanda. Los valores propios en cada matriz diagonal $\underline{\Lambda}(k)$, para $k = 1 \dots N_F$, puede ordenarse de tal manera que la primera columna contenga el valor propio más grande, la segunda columna contenga el siguiente valor propio más grande, y así sucesivamente, o $\lambda_1(k) \geq \lambda_2(k) \geq \dots \geq \lambda_{N_S}(k)$, donde $\lambda_\ell(k)$ es el valor propio en la ℓ -ésima columna de $\underline{\Lambda}(k)$ después del orden. Cuando se ordenan los valores propios para cada matriz $\mathbf{H}(k)$, los vectores propios (o columnas) de la matriz asociada $\underline{\mathbf{E}}(k)$ para esa subbanda también se ordenan de forma correspondiente. Un modo propio de "banda ancha" puede definirse como el conjunto de modos propios del mismo orden de todas las N_F subbandas tras la ordenación (es decir, el ℓ -ésimo modo propio de banda ancha incluye el ℓ -ésimo modo propio de todas las subbandas). Cada modo propio de banda ancha está asociado con un conjunto respectivo de N_F vectores propios para las N_F subbandas. El principio del modo propio de banda ancha es el asociado con el valor propio más grande en cada matriz $\underline{\Lambda}(k)$ después de la ordenación. Los datos pueden transmitirse en los N_S modos propios de banda ancha.

60 **[0078]** Para el sistema de transmisión de CSI parcial, la entidad transmisora puede realizar el ensanchamiento espacial y el procesamiento espacial para cada subbanda y la entidad receptora puede realizar el procesamiento espacial del receptor y el desensanchamiento espacial para cada subbanda.

[0079] Cada bloque de símbolos de datos puede transmitirse de diversas maneras en el sistema MIMO OFDM. Por ejemplo, cada bloque de símbolos de datos puede transmitirse como una entrada del vector $\underline{s}(k,n)$ para cada una de las N_F subbandas. En este caso, cada bloque de símbolos de datos se envía en todas las N_F subbandas y logra diversidad de frecuencia en combinación con diversidad espacial proporcionada por ensanchamiento espacial.

5 Cada bloque de símbolos de datos también puede abarcar uno o múltiples períodos de símbolos de OFDM. Cada bloque de símbolos de datos puede abarcar por tanto dimensiones de frecuencia y/o tiempo (por diseño de sistema) más dimensión espacial (con ensanchamiento espacial).

[0080] Las matrices de dirección también pueden seleccionarse de diversas maneras para el sistema MIMO OFDM. Las matrices de dirección para las subbandas pueden seleccionarse de una manera determinista, pseudoaleatoria o permutada, como se describió anteriormente. Por ejemplo, las L matrices de dirección en el conjunto pueden seleccionarse de forma cíclica en orden secuencial para las subbandas 1 a N_F en el período de símbolos OFDM n , luego para subbandas 1 a N_F en el período de símbolos OFDM $n+1$, y así sucesivamente. El número de matrices de dirección en el conjunto puede ser menor, igual o mayor que el número de subbandas. Los tres casos descritos anteriormente para $L = N_M$, $L < N_M$, y $L > N_M$ también pueden aplicarse para las subbandas, con N_M reemplazándose con N_F .

10
15

3. Sistema MIMO

[0081] La FIG. 5 muestra un diagrama de bloques de una entidad transmisora 110 y de una entidad receptora 150. En la entidad transmisora 110, un procesador de datos de TX 520 recibe y procesa (por ejemplo, codifica, entrelaza y modula) datos y proporciona símbolos de datos. Un procesador espacial de TX 530 recibe los símbolos de datos, realiza el ensanchamiento espacial y el procesamiento espacial para la transmisión de CSI completa o para la transmisión de CSI parcial, multiplexa en símbolos piloto y proporciona N_T de flujos de símbolos de transmisión para N_T unidades transmisoras (TMTR) 532a a 532t. Cada unidad transmisora 532 realiza una modulación OFDM (si es aplicable) y condiciona además (por ejemplo, convierte a analógico, filtra, amplifica y aumenta de frecuencia) un respectivo flujo de símbolos de transmisión para generar una señal modulada. N_T unidades transmisoras 532A a 532t proporcionan N_T señales moduladas para su transmisión desde las N_T antenas 534a a 534t, respectivamente.

20
25

[0082] En la entidad receptora 150, las N_R antenas 552a a 552r reciben las N_T señales de transmisión y cada antena 552 proporciona una señal recibida a una respectiva unidad receptora (RCVR) 554. Cada unidad receptora 554 realiza un procesamiento complementario al realizado por la unidad transmisora 532 (incluida la demodulación OFDM, si es aplicable) y proporciona (1) símbolos de datos recibidos a un procesador espacial de RX 560 y (2) símbolos piloto recibidos a un estimador de canal 584 dentro de un controlador 580. El procesador espacial de RX 560 realiza el procesamiento espacial del receptor y el ensanchamiento espacial en N_R flujos de símbolos recibidos de N_R unidades receptoras 554 con matrices de filtro espacial y matrices de dirección, respectivamente, desde el controlador 580 y proporciona N_S flujos de símbolos recuperados. Un procesador de datos de RX 570 puede procesar (por ejemplo, desasignar, desintercalar y decodificar) los símbolos recuperados y proporciona datos decodificados.

30
35
40

[0083] El estimador de canal 584 puede derivar $\hat{\mathbf{H}}(m)$, que es una estimación de la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(m)$, en base a símbolos piloto transmitidos sin ensanchamiento espacial. De manera alternativa, el estimador de canal 584 puede derivar directamente $\hat{\mathbf{H}}_{eff}(m)$, que es una estimación de la matriz efectiva de respuesta de canal $\mathbf{H}_{eff}(m)$, en base a símbolos piloto transmitidos con ensanchamiento espacial. En cualquier caso, $\hat{\mathbf{H}}(m)$ o $\hat{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ pueden usarse para derivar la matriz de filtro espacial. El estimador de canal 584 estima además la SNR de cada canal de transmisión en base a símbolos piloto recibidos y/o símbolos de datos recibidos. El canal MIMO incluye canales de transmisión N_S para cada subbanda, pero estos canales de transmisión pueden ser diferentes dependiendo de (1) si se usa la transmisión de CSI completa o de CSI parcial, de (2) si se realizó o no el ensanchamiento espacial y (3) de la técnica de procesamiento espacial específica usada por la entidad receptora. El controlador 580 selecciona una velocidad adecuada para cada canal de transmisión en base a su SNR. Cada velocidad seleccionada está asociada con un sistema de codificación particular y con un sistema de modulación particular, que determinan de forma colectiva una velocidad de datos. Pueden seleccionarse las mismas velocidades o diferentes para los N_S canales de transmisión.

45
50

[0084] Las velocidades para todos los canales de transmisión, otra información y datos de tráfico se procesan (por ejemplo, codifican y modulan) por un procesador de datos de TX 590, se procesan de forma espacial (si es necesario) por un procesador espacial de TX 592, se condicionan por unidades transmisoras 554a a través de 554r y se envían a través de las antenas 552a a 552r. En la entidad transmisora 110, las N_R señales enviadas por la entidad receptora 150 se reciben por las antenas 534a a 534t, se condicionan mediante las unidades receptoras 532a a 532t, se procesan de forma espacial mediante un procesador espacial de RX 544 y se procesan además (por ejemplo, se demodulan y decodifican) mediante un procesador de datos de RX 546 para recuperar la información de las velocidades seleccionadas. El controlador 540 puede entonces dirigir el procesador de datos de TX 520 para procesar datos para cada canal de transmisión en base a la velocidad seleccionada para ese canal de transmisión.

55
60

[0085] Los controladores 540 y 580 controlan también el funcionamiento de diversas unidades de procesamiento en la entidad transmisora AP 110 y en la entidad receptora 150, respectivamente. Las unidades de memoria 542 y

65

582 almacenan datos y códigos de programa usados por los controladores 540 y 580, respectivamente.

[0086] La FIG. 6 muestra un diagrama de bloques de un modo de realización de procesador de datos de RX 520 y de procesador de datos de RX 530 en la entidad transmisora 110. Para este modo de realización, el procesador de datos de TX 520 incluye N_D procesadores de flujo de datos de TX 620a a 620nd para flujos de datos $N_D\{d_\ell\}$, para $\ell = 1 \dots N_D$, donde en general $N_D \geq 1$.

[0087] Dentro de cada procesador de flujo de datos de TX 620, un codificador 622 recibe y codifica su flujo de datos $\{d_\ell\}$ en base a un sistema de codificación y proporciona bits de código. Cada paquete de datos en el flujo de datos se codifica por separado para obtener un correspondiente bloque de código o paquete de datos codificados. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. El sistema de codificación puede incluir generación de verificación por redundancia cíclica (CRC), codificación convolucional, codificación Turbo, comprobación por paridad de baja densidad (LDPC), codificación por bloque, otras codificaciones o una combinación de las mismas. Con el ensanchamiento espacial, la SNR puede variar a través de un bloque de código incluso aunque el canal MIMO esté estático sobre el bloque de código. Puede usarse un sistema de codificación suficientemente potente para combatir la variación SNR a través del bloque de código, de modo que el rendimiento codificado sea proporcional a la SNR media a través del bloque de código. Algunos sistemas de codificación a modo de ejemplo que pueden proporcionar un buen rendimiento para el ensanchamiento espacial incluyen el código Turbo (por ejemplo, el definido por IS-856), el código LDPC y el código convolucional.

[0088] Un entrelazador de canal 624 entrelaza (es decir, reordena) los bits codificados en base a un sistema de entrelazado para lograr diversidad de frecuencia, tiempo y/o espacial. El entrelazado puede realizarse a través de un bloque de código, un bloque de código parcial, bloques de código múltiple, y así sucesivamente. Una unidad de asignación de símbolos 626 asigna los bits entrelazados en base a un sistema de modulación y proporciona un flujo de símbolos de datos $\{s_\ell\}$. La unidad 626 agrupa cada conjunto de bits intercalados B para formar un valor de B bits, donde $B \geq 1$, y asigna además cada valor binario de B bits a un símbolo de modulación específica en base al sistema de modulación seleccionado (por ejemplo, QPSK, M-PSK o M-QAM, donde $M = 2^B$). La unidad 626 proporciona un bloque de símbolos de datos para cada bloque de código.

[0089] En la FIG. 6, los N_D procesadores de flujos de datos de TX 620 procesan N_D flujos de datos. Un procesador de flujo de datos de TX 620 también puede procesar los N_D flujos de datos, por ejemplo, en un modo de multiplexado por división de tiempo (TDM).

[0090] Pueden transmitirse datos de diversas maneras en el sistema MIMO. Por ejemplo, si $N_D = 1$, se procesa, se demultiplexa y se transmite un flujo de datos en todos los N_D canales de transmisión del canal MIMO. Si $N_D = N_S$, puede procesarse y transmitirse entonces un flujo de datos en cada canal de transmisión. En cualquier caso, los datos que vayan a enviarse en cada canal de transmisión pueden codificarse y modularse en base a la velocidad seleccionada para ese canal de transmisión. Un multiplexor/demultiplexor (Mux/Demux) 628 recibe y multiplexa/demultiplexa los símbolos de datos para los N_D flujos de datos en N_S flujos de símbolos de datos de símbolos de datos, un flujo de símbolos de datos para cada canal de transmisión. Si $N_D = 1$, entonces Mux/Demux 628 demultiplexa los símbolos de datos para un flujo de datos en N_S flujos de símbolos de datos. Si $N_D = N_S$, entonces Mux/Demux 628 simplemente puede proporcionar los símbolos de datos para cada flujo de datos como un respectivo flujo de símbolos de datos.

[0091] El procesador espacial TX 530 recibe y procesa de forma espacial los N_S flujos de símbolos de datos. Dentro del procesador espacial TX 530, un ensanchador espacial 632 recibe los N_S flujos de símbolos de datos, realiza el ensanchamiento espacial para cada periodo de transmisión m con la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$ seleccionada para ese periodo de transmisión y proporciona N_S flujos de símbolos ensanchados. Las matrices de dirección pueden recuperarse desde un almacenamiento de matriz de dirección (SM) 642 dentro de la unidad de memoria 542 o generarse por el controlador 540 cuando se necesite. Un procesador espacial 634 procesa luego de forma espacial los N_S flujos de símbolos ensanchados con la matriz de identidad \mathbf{I} para la transmisión de CSI parcial o con las matrices $\underline{\mathbf{E}}(m)$ de vectores propios para la transmisión de CSI completa. Un multiplexor 636 multiplexa los símbolos de transmisión desde el procesador espacial 634 con símbolos piloto (por ejemplo, de una manera multiplexada por división de tiempo) y proporciona N_T flujos de símbolos de transmisión para las N_T antenas transmisoras.

[0092] La FIG. 7 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial RX 560a y un procesador de datos de RX 570a, que son un modo de realización del procesador espacial de RX 560 y del procesador de datos de RX 570, respectivamente, en la entidad receptora 150. Las N_R unidades receptoras 554a a 554r proporcionan símbolos piloto recibidos, $\{r_i^p\}$ para $i = 1 \dots N_R$, al estimador de canal 584. El estimador de canal 584 estima la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(m)$ en base a los símbolos piloto recibidos y estima además la SNR de cada canal de transmisión. El controlador 580 deriva una matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}(m)$ y posiblemente una matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}(m)$ para cada intervalo de transmisión m en base a la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(m)$ y posiblemente la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$. La entidad receptora 150 está sincronizada con la entidad transmisora 110 de modo que ambas entidades usan la misma matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$ para cada periodo de transmisión m . La matriz $\underline{\mathbf{M}}(m)$ puede derivarse como

se muestra en la ecuación (10) para la transmisión de CSI completa y como se muestra en las ecuaciones (17) y (23) para la transmisión de CSI parcial con las técnicas CCMI y MMSE, respectivamente. La matriz $\underline{\mathbf{M}}(m)$ puede incluir o no la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$ dependiendo de si el procesamiento espacial del receptor y el desensanchamiento espacial se realizan de forma conjunta o separada.

5 **[0093]** La FIG. 7 muestra el ensanchamiento espacial y el desensanchamiento espacial del receptor que se realizan por separado. El procesador espacial de RX 560 obtiene símbolos de datos recibidos, $\{r_i^d\}$ para $i = 1 \dots N_R$, desde las unidades receptoras 554a a 554r y las matrices $\underline{\mathbf{M}}(m)$ y $\underline{\mathbf{V}}(m)$ desde el controlador 580. Dentro del procesador espacial de RX 560, un procesador espacial 762 realiza el procesamiento espacial del receptor en los
10 símbolos de datos recibidos para cada intervalo de transmisión con las matrices $\underline{\mathbf{M}}(m)$. Entonces, un desensanchador espacial 764 realiza una expansión espacial con la matriz $\underline{\mathbf{V}}(m)$ y proporciona símbolos recuperados al procesador de datos de RX 570. El procesamiento espacial del receptor y el desensanchamiento espacial también pueden realizarse de forma conjunta usando la estimación efectiva del canal MIMO, como se describió anteriormente.

15 **[0094]** Para el modo de realización mostrado en la FIG. 7, el procesador de datos de RX 570a incluye un multiplexor/demultiplexor (Mux/Demux) 768 y N_D procesadores de flujos de datos de RX 770a a 770nd para los N_D flujos de datos. Mux/Demux 768 recibe y multiplexa/demultiplexa los N_S flujos de símbolos recuperados para los N_S canales de transmisión en N_D flujos de símbolos recuperados para los N_D flujos de datos. Con cada procesador de
20 flujos de datos de RX 770, una unidad de desasignación de símbolos 772 demodula los símbolos de datos recuperados de acuerdo con el sistema de modulación usado para dicho flujo y proporciona datos demodulados. Un desentrelazador de canal 774 desentrelaza los datos demodulados de una manera complementaria al desentrelazado realizado en dicho flujo por la entidad transmisora 110. Un decodificador 776 decodifica los datos desentrelazados de una manera complementaria a la codificación realizada por la entidad transmisora 110 en dicho
25 flujo. Por ejemplo, puede usarse un decodificador Turbo o un decodificador Viterbi para el decodificador 776 si la codificación Turbo o convolucional, respectivamente, se realiza por la entidad transmisora 110. El decodificador 776 proporciona un flujo de datos decodificados, que incluye un paquete de datos decodificados para cada bloque de símbolos de datos.

30 **[0095]** La FIG. 8 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de RX 560b y un procesador de datos de RX 570b, que implementan la técnica SIC para la entidad receptora 150. Por simplicidad, el procesador espacial $N_D = N_S$ y de RX 560b y el procesador de datos de RX 570b implementan N_S etapas de procesamiento del receptor en cascada para los N_S flujos de símbolos de datos. Cada una de las etapas 1 a N_S-1 incluye un procesador
35 espacial 860, un cancelador de interferencias 862, un procesador de flujos de datos de RX 870 y un procesador de flujos de datos de TX 880. La última etapa incluye solamente un procesador espacial 810s y un procesador de flujos de datos de RX 870ns. Cada procesador de flujos de datos de RX 870 incluye una unidad de desasignación de símbolos, un desentrelazador de canal y un decodificador, como se muestra en la FIG. 7. Cada procesador de flujos de datos de TX 880 incluye un codificador, un entrelazador de canal y una unidad de asignación de símbolos, como se muestra en la FIG. 6.

40 **[0096]** Para la etapa 1, el procesador espacial 860a realiza el procesamiento espacial del receptor en los N_R flujos de símbolos recibidos y proporciona un flujo de símbolos recuperados $\{s_1\}$. El procesador de flujos de datos de RX 870a demodula, desentrelaza y decodifica el flujo de símbolos de datos recuperados $\{s_1\}$ y proporciona un correspondiente flujo de datos decodificados $\{\hat{d}_1\}$. El procesador de flujos de datos de TX 880a codifica, entrelaza y
45 modula el flujo de datos decodificado $\{\hat{d}_1\}$ de la misma manera realizada por la entidad transmisora 110 para ese flujo y proporciona un flujo de símbolos remodulado $\{\tilde{s}_1\}$. El cancelador de interferencias 862a ensancha de forma espacial el flujo de símbolos remodulados $\{\tilde{s}_1\}$ con la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$ y multiplica además los resultados con la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(m)$ para obtener N_R componentes de interferencia debido al flujo de símbolos de datos $\{s_1\}$. Los N_R componentes de interferencia se restan de los N_R flujos de símbolos recibidos para obtener N_R
50 flujos de símbolos modificados, que se proporcionan a la etapa 2.

[0097] Cada una de las etapas 2 a N_S-1 realiza el mismo procesamiento que la etapa 1, aunque en los N_R flujos de símbolos modificados de la etapa anterior en lugar de en los N_R flujos de símbolos recibidos. La última etapa realiza el procesamiento y la decodificación espaciales en los N_R flujos de símbolos modificados de la etapa N_S-1 y no realiza la estimación ni la cancelación de interferencias.

[0098] Cada uno de los procesadores espaciales 860a a 860ns puede implementar la CCMI, la MMSE cualquier otra técnica. Cada procesador espacial 860 multiplica un vector de símbolos de entrada (recibido o modificado) $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell}(m)$ con una matriz de filtro espacial $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m)$ y la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(m)$ para obtener un vector de símbolos
60 recuperado $\underline{\hat{s}}_{sic}^{\ell}(m)$ y proporciona el flujo de símbolos recuperado para esa etapa. La matriz $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m)$ se deriva en base a una matriz reducida de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}^{\ell}(m)$ para la etapa. La matriz $\underline{\mathbf{H}}^{\ell}(m)$ es igual a $\underline{\mathbf{H}}(m)$ con las columnas para todos los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas anteriores.

4. Selección y control de velocidad

[0099] Para tanto la transmisión de CSI completa como la transmisión de CSI parcial, la entidad receptora puede estimar la SNR de cada canal de transmisión. La computación de la SNR depende de (1) si se usa transmisión de CSI completa o de CSI parcial, de (2) si se realiza el ensanchamiento espacial y (3) de la técnica particular de procesamiento espacial del receptor (por ejemplo, CCMI, MMSE o SIC) usada por la entidad receptora en el caso de la transmisión de CSI parcial. Para un sistema MIMO OFDM, la SNR para cada subbanda de cada canal de transmisión puede estimarse y promediarse para obtener la SNR del canal de transmisión. En cualquier caso, una SNR de funcionamiento, $\gamma_{op}(\ell)$, para cada canal de transmisión, puede computarse en base a la SNR del canal de transmisión, $\gamma_{pd}(\ell)$, y a una compensación SNR, $\gamma_{os}(\ell)$, de la manera siguiente:

$$\gamma_{op}(\ell) = \gamma_{pd}(\ell) + \gamma_{os}(\ell), \quad \text{Ec. (28)}$$

donde las unidades están en decibelios (dB). La compensación de SNR puede usarse para tener en cuenta el error de estimación, la variabilidad en el canal y otros factores. Se selecciona una velocidad adecuada para cada canal de transmisión en base a la SNR de funcionamiento del canal de transmisión.

[0100] El sistema MIMO puede soportar un conjunto específico de velocidades. Una de las velocidades soportadas puede ser una velocidad nula, que es una velocidad de transferencia de datos de cero. Cada una de las velocidades restantes está asociada con una velocidad de transferencia de datos particular distinta de cero, con un sistema de codificación o tasa de código particular, con un sistema de modulación particular y con una SNR mínima particular requerida para alcanzar un nivel de rendimiento deseado, por ejemplo, una tasa de error de paquete del 1% (PER) para un canal AWGN sin desvanecimiento. Para cada tasa distinta de cero soportada, la SNR requerida puede obtenerse en base al diseño del sistema específico (tal como la tasa de código particular, el sistema de entrelazado y el sistema de modulación usados por el sistema para esa velocidad) y para un canal AWGN. La SNR requerida puede obtenerse por simulación informática, medidas empíricas, y así sucesivamente, como se conoce en la técnica. El conjunto de velocidades admitidas y sus SNR requeridas pueden almacenarse en una tabla de búsqueda.

[0101] La SNR de funcionamiento, $\gamma_{op}(\ell)$ de cada canal de transmisión puede proporcionarse a la tabla de búsqueda, que luego devuelve la velocidad $q(\ell)$ para ese canal de transmisión. Esta velocidad es la velocidad más alta admitida con una SNR requerida, $\gamma_{req}(\ell)$, que es menor o igual que la SNR de funcionamiento, o $\gamma_{req}(\ell) \leq \gamma_{op}(\ell)$. La entidad receptora puede seleccionar por tanto la velocidad más alta posible para cada canal de transmisión en función de su SNR de funcionamiento.

5. Generación de matriz de dirección

[0102] Las matrices de dirección usadas para el ensanchamiento espacial pueden generarse de diversas maneras y algunos sistemas a modo de ejemplo se describen a continuación. Un conjunto de L matrices de dirección puede precalcularse y almacenarse en las entidades transmisora y receptora y luego recuperarse para su uso según se necesiten. De manera alternativa, estas matrices de dirección pueden calcularse en tiempo real a medida que se necesiten.

[0103] Las matrices de dirección deberían ser matrices unitarias y cumplir la siguiente condición:

$$\underline{\mathbf{V}}^H(i) \cdot \underline{\mathbf{V}}(i) = \underline{\mathbf{I}}, \quad \text{para } i = 1 \dots L. \quad \text{Ec. (29)}$$

[0104] La ecuación (28) indica que cada columna de $\underline{\mathbf{V}}(i)$ debería tener energía unitaria y el producto interno de Hermitia de dos columnas de $\underline{\mathbf{V}}(i)$ debería ser cero. Esta condición garantiza que los N_S símbolos de datos enviados de forma simultánea usando la matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(i)$ tengan la misma potencia y sean ortogonales entre sí antes de la transmisión.

[0105] Algunas de las matrices de dirección también pueden estar no correlacionadas de modo que la correlación entre dos matrices de dirección no correlacionadas es cero o un valor bajo. Esta condición puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{C}}(ij) = \underline{\mathbf{V}}^H(i) \cdot \underline{\mathbf{V}}(j) \approx \underline{\mathbf{0}}, \quad \text{para } i = 1 \dots L, j = 1 \dots L \text{ e } i \neq j, \quad \text{Ec. (30)}$$

donde $\underline{\mathbf{C}}(ij)$ es la matriz de correlación para $\underline{\mathbf{V}}(i)$ y $\underline{\mathbf{V}}(j)$ y $\underline{\mathbf{0}}$ es una matriz de todo ceros. La condición en la ecuación (30) puede mejorar el rendimiento para algunas aplicaciones, pero no es necesario para la mayoría de las aplicaciones.

[0106] El conjunto de L matrices de dirección $\{\underline{\mathbf{V}}\}$ puede generarse usando diversos sistemas. En un primer sistema, las L matrices de dirección se generan en base a matrices de variables aleatorias. Se genera inicialmente una matriz $N_S \times N_T$ $\underline{\mathbf{G}}$ con elementos que sean independientes variables gaussianas aleatorias complejas distribuidas de forma idéntica, cada una con una media cero y una unidad de varianza. Una matriz de correlación $N_T \times N_T$ de $\underline{\mathbf{G}}$

se computa y se descompone usando la descomposición de valores propios de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{R}}_G = \underline{\mathbf{G}}^H \cdot \underline{\mathbf{G}} = \underline{\mathbf{E}}_G \cdot \underline{\mathbf{D}}_G \cdot \underline{\mathbf{E}}_G^H \quad \text{Ec. (31)}$$

5 **[0107]** La matriz $\underline{\mathbf{E}}_G$ se usa como una matriz de dirección $\underline{\mathbf{V}}(i)$ y se añade al conjunto. El proceso se repite hasta que se generen todas las L matrices de dirección.

[0108] En un segundo sistema, las L matrices de dirección se generan en base a un conjunto de $(\log_2 L) + 1$ matrices unitarias independientes y distribuidas de forma isotrópica (IID), de la manera siguiente:

10

$$\underline{\mathbf{V}}(\ell_1 \ell_2 \dots \ell_Q) = \underline{\Omega}_1^{\ell_1} \cdot \underline{\Omega}_2^{\ell_2} \cdot \dots \cdot \underline{\Omega}_Q^{\ell_Q} \cdot \underline{\mathbf{V}}_0, \quad \text{para } \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_Q \in \{0,1\}, \quad \text{Ec. (32)}$$

donde $\underline{\mathbf{V}}_0$ es una matriz unitaria independiente distribuida de forma isotrópica $N_T \times N_S$; $i = \ell_1, \ell_2 \dots \ell_Q$, donde $Q = \log_2 L$ y ℓ_j es el j -ésimo bit del índice i ; y

15 $\underline{\Omega}_j^{\ell_j}$, para $j = 1 \dots Q$, es una matriz unitaria IID $N_T \times N_T$.

[0109] El segundo sistema se describe por descrito por T.L. Marzetta et al. en "Structured Unitary Space-Time Autocoding Constellations," Transacción de IEEE sobre teoría de la información, vol. 48, No. 4, abril de 2002.

20 **[0110]** En un tercer sistema, las L matrices de dirección se generan haciendo rotar de forma sucesiva un matriz unitaria inicial de orientación $\underline{\mathbf{V}}(1)$ en un espacio complejo dimensional N_T , de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{V}}(i+1) = \underline{\Theta}^i \cdot \underline{\mathbf{V}}(1), \quad \text{para } i = 1 \dots L-1, \quad \text{Ec. (33)}$$

25 donde $\underline{\Theta}^i$ es una matriz unitaria diagonal $N_T \times N_T$ con elementos que son L-ésimas raíces de la unidad. El tercer sistema se describe por B.M. Hochwald et al. en "Systematic Design of Unitary Space-Time Constellations," Transacción de IEEE sobre teoría de la información, vol. 46, No. 6, septiembre de 2000.

30 **[0111]** En un cuarto sistema, el conjunto de L matrices de dirección se genera con una matriz base $\underline{\mathbf{B}}$ y diferentes escalares. La matriz base puede ser una matriz de Walsh, una matriz de Fourier o en alguna otra matriz. Una matriz

de Walsh 2×2 puede expresarse como $\underline{\mathbf{W}}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$. Una matriz de Walsh de mayor tamaño $\underline{\mathbf{W}}_{2N \times 2N}$ puede formarse a partir de una matriz de Walsh de menor tamaño $\underline{\mathbf{W}}_{N \times N}$, de la manera siguiente:

$$\underline{\mathbf{W}}_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{W}}_{N \times N} & \underline{\mathbf{W}}_{N \times N} \\ \underline{\mathbf{W}}_{N \times N} & -\underline{\mathbf{W}}_{N \times N} \end{bmatrix}. \quad \text{Ec. (34)}$$

35

[0112] Las matrices de Walsh tienen dimensiones que son potencias de dos.

[0113] Una matriz $N_T \times N_T$ de Fourier $\underline{\mathbf{D}}$ tiene el elemento $w_{n,m}$ en la n -ésima fila de la m -ésima columna, que puede expresarse como:

40

$$w_{n,m} = e^{-j2\pi \frac{(n-1)(m-1)}{N_T}}, \quad \text{para } n = \{1 \dots N_T\} \text{ y } m = \{1 \dots N_T\}, \quad \text{Ec. (35)}$$

donde n es un índice de fila y m es un índice de columna. Pueden formarse matrices de Fourier de cualquier dimensión cuadrada (por ejemplo, 2, 3, 4, 5, y así sucesivamente).

45

[0114] Una matriz de Walsh $N_T \times N_T$ $\underline{\mathbf{W}}$, una matriz de Fourier $\underline{\mathbf{D}}$, o alguna otra matriz puede usarse como la matriz base $\underline{\mathbf{B}}$ para formar otras matrices de dirección. Cada una de las filas 2 a N_T de la matriz base puede multiplicarse de forma independiente con uno de M escalares diferentes posibles, donde $M > 1$. M^{N_T-1} matrices de dirección diferentes pueden obtenerse a partir de M^{N_T-1} permutaciones diferentes de los M escalares para las filas N_T-1 . Por ejemplo, cada una de las filas 2 a N_T puede multiplicarse de forma independiente con un escalar de +1, -1, +j o -j,

50

donde $j = \sqrt{-1}$. Para $N_T = 4$ y $M = 4$, pueden generarse 64 matrices de dirección diferentes a partir de la matriz base $\underline{\mathbf{B}}$ con los cuatro escalares diferentes Pueden generarse matrices de dirección adicionales con otros escalares, por ejemplo, $e^{\pm j 3\pi/4}$, $e^{\pm j\pi/4}$, $e^{\pm j\pi/8}$, y así sucesivamente. En general, cada fila de la matriz base puede multiplicarse por cualquier escalar que tenga la forma $e^{j\theta}$, donde θ puede ser cualquier valor de fase. $N_T \times N_T$ matrices de dirección

pueden generarse como $\underline{\mathbf{V}}(i) = g_{NT} \cdot \underline{\mathbf{B}}(i)$, donde $g_{NT} = 1/\sqrt{N_T}$ y $\underline{\mathbf{B}}(i)$ es la i -ésima matriz generada con la matriz base $\underline{\mathbf{B}}$. La escala por g_{NT} garantiza que cada columna de $\underline{\mathbf{V}}(i)$ tenga potencia unitaria.

5 **[0115]** Otros sistemas también pueden usarse para generar el conjunto de L matrices de dirección, y esto está dentro del alcance de la invención. En general, las matrices de dirección pueden generarse de una manera pseudoaleatoria (por ejemplo, tal como el primer sistema) o de una manera determinística (por ejemplo, tal como los segundo, tercero y cuarto sistema).

10 **[0116]** Las técnicas de ensanchamiento espacial descritas en el presente documento pueden implementarse mediante diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, software o en una combinación de ambos. Para una implementación de hardware, las unidades de procesamiento para ensanchamiento espacial en las entidades transmisoras y para desensanchamiento espacial en la entidad receptora pueden implementarse dentro de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables por campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en el presente documento, o una combinación de los mismos.

15 **[0117]** Para una implementación en software, las técnicas de ensanchamiento espacial pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, y así sucesivamente) que realicen las funciones descritas en el presente documento. Los códigos de software pueden almacenarse en una unidad de memoria (por ejemplo, unidades de memoria 542 o 582 en la FIG. 5) y ejecutarse por un procesador (por ejemplo, el controlador 540 o 580 en la FIG. 5). La unidad de memoria puede implementarse en el procesador o en el exterior del procesador, en cuyo caso puede acoplarse de forma comunicativa al procesador a través de diversos medios, como se conoce en la técnica.

20 **[0118]** Los encabezados se incluyen en el presente documento para referencia y para facilitar la localización de ciertas secciones. Estos encabezados no pretenden limitar el alcance de los conceptos descritos en el presente documento y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a lo largo de toda la memoria descriptiva.

25 **[0119]** 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 alcance de la presente invención. Por 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 (300) de transmisión de datos desde una entidad transmisora a una entidad receptora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que comprende:
 - 5 procesar (312, 314) datos para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de datos para su transmisión en una pluralidad de canales de transmisión en un canal MIMO entre la entidad transmisora y la entidad receptora;
 - 10 realizar (316) el ensanchamiento espacial en la pluralidad de flujos de símbolos de datos con una pluralidad de matrices de dirección para obtener una pluralidad de flujos de símbolos ensanchados, en el que el ensanchamiento espacial comprende la transmisión del símbolo de datos en múltiples modos propios o canales espaciales del canal MIMO de forma simultánea con el vector de dirección;
 - 15 realizar (318) el procesamiento espacial en la pluralidad de flujos de símbolos ensanchados para la información de estado de canal completa, CSI, la transmisión en modos propios múltiples del canal MIMO o la transmisión CSI parcial en canales espaciales del canal MIMO para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas transmisoras en la entidad transmisora.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la realización del procesamiento espacial comprende multiplicar la pluralidad de flujos de símbolos ensanchados con matrices de vectores propios para transmitir la pluralidad de flujos de símbolos extendidos en una pluralidad de modos propios del canal MIMO.
3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la realización del procesamiento espacial comprende proporcionar cada uno de la pluralidad de flujos de símbolos de ensanchamiento como uno de la pluralidad de flujos de símbolos de transmisión.
4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procesamiento de datos comprende codificar y modular datos para cada uno de la pluralidad de flujos de símbolos de datos en base a una velocidad seleccionada para el flujo de símbolos de datos.
5. El procedimiento según la reivindicación 4, que comprende además:
 - 35 obtener la velocidad para cada flujo de símbolos de datos, seleccionándose la velocidad en base a una relación de señal-ruido más interferencia, SNR, de un canal de transmisión para el flujo de símbolos de datos.
6. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procesamiento de datos comprende codificar y modular cada uno de una pluralidad de paquetes de datos para obtener un bloque de símbolos de datos, y
 - 40 multiplexar una pluralidad de bloques de símbolos de datos generados para la pluralidad de paquetes de datos sobre la pluralidad de flujos de símbolos de datos.
7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que la codificación y la modulación comprenden codificar cada paquete de datos en base a un código Turbo, a un código convolucional, o a un código de comprobación de paridad de baja densidad, LDPC, para obtener un bloque de datos codificados, y asignar símbolos a cada bloque de datos codificados en base a un sistema de modulación para obtener un bloque de símbolos de datos.
8. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el multiplexado de la pluralidad de bloques de símbolos de datos comprende
 - 50 multiplexar cada bloque de símbolos de datos en uno de la pluralidad de flujos de símbolos de datos.
9. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el multiplexado de la pluralidad de bloques de símbolos de datos comprende
 - 55 multiplexar cada bloque de símbolos de datos en toda la pluralidad de flujos de símbolos de datos.
10. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que la realización del ensanchamiento espacial comprende realizar un procesamiento espacial en cada bloque de símbolos de datos en la pluralidad de flujos de símbolos de datos con al menos dos matrices de dirección.
11. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la realización del ensanchamiento espacial comprende realizar un procesamiento espacial en la pluralidad de flujos de símbolos de datos usando un conjunto de L matrices de dirección, donde L es un número entero mayor que uno.
12. El procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además:
 - 65

generar las L matrices de dirección como matrices unitarias que tienen columnas ortogonales.

- 5 **13.** El procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además:
seleccionar una matriz de dirección entre las L matrices de dirección para cada intervalo de tiempo, y en el que el ensanchamiento espacial se realiza para cada intervalo de tiempo con la matriz de dirección seleccionada para el intervalo de tiempo.
- 10 **14.** El procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además:
seleccionar una matriz de dirección de entre las L matrices de dirección para cada grupo de al menos una subbanda de frecuencia, y en el que el ensanchamiento espacial se realiza para cada grupo de al menos una subbanda de frecuencia con la matriz de dirección seleccionada para el grupo.
- 15 **15.** El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además:
procesar cada una de la pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para el multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM.
- 20 **16.** El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la realización del ensanchamiento espacial comprende: realizar el procesamiento espacial con al menos dos matrices de dirección diferentes para una pluralidad de subbandas en cada período de símbolos con transmisión de datos.
- 25 **17.** Un aparato (110) en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas múltiples salidas, MIMO, que comprende:
medios para procesar (312, 314) datos para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de datos para su transmisión en una pluralidad de canales de transmisión en un canal MIMO entre una entidad transmisora y una entidad receptora en el sistema MIMO;
30 medios para realizar (316) el ensanchamiento espacial en la pluralidad de flujos de símbolos de datos con una pluralidad de matrices de dirección para obtener una pluralidad de flujos de símbolos ensanchados, en el que el ensanchamiento espacial comprende la transmisión del símbolo de datos en múltiples modos propios o canales espaciales de un canal MIMO de forma simultánea con el vector de dirección;
35 medios para realizar (318) el procesamiento espacial en la pluralidad de flujos de símbolos de ensanchamiento para la información de estado de canal completa, CSI, la transmisión en múltiples modos propios del canal MIMO o la transmisión CSI parcial en canales espaciales del canal MIMO para obtener una pluralidad de flujos de símbolos de transmisión para su transmisión desde una pluralidad de antenas transmisoras en el aparato.
- 40 **18.** El aparato según la reivindicación 17, en el que los medios para realizar el procesamiento espacial comprenden medios para multiplicar la pluralidad de flujos de símbolos ensanchados con matrices de vectores propios para transmitir la pluralidad de flujos de símbolos ensanchados sobre una pluralidad de modos propios del canal MIMO.
- 45 **19.** El aparato según la reivindicación 17, en el que los medios para realizar el procesamiento espacial comprenden medios para proporcionar cada uno de la pluralidad de flujos de símbolos ensanchados como uno de la pluralidad de flujos de símbolos de transmisión.
- 50 **20.** El aparato según la reivindicación 17, en el que los medios para procesar datos comprenden medios para codificar y modular datos para cada uno de la pluralidad de flujos de símbolos de datos de acuerdo con una velocidad seleccionada en base a una relación de señal-ruido e interferencia, SNR, de un canal de transmisión para el flujo de símbolos de datos.
- 55 **21.** El aparato según la reivindicación 17, en el que los medios para procesar datos comprenden medios para codificar y modular cada uno de una pluralidad de paquetes de datos para obtener un bloque de símbolos de datos y medios para multiplexar una pluralidad de bloques de símbolos de datos generados para la pluralidad de paquetes de datos sobre la pluralidad de flujos de símbolos de datos.
- 60 **22.** El aparato según la reivindicación 21, en el que los medios para realizar el ensanchamiento espacial ensanchan de forma espacial cada bloque de símbolos de datos en la pluralidad de flujos de símbolos de datos con al menos dos matrices de dirección.
- 65 **23.** El aparato según la reivindicación 17, que comprende además:
medios para seleccionar una matriz de dirección entre L matrices de dirección para cada intervalo de

tiempo, donde L es un número entero mayor que uno y en el que el ensanchamiento espacial para cada intervalo de tiempo se realiza con la matriz de dirección seleccionada para el intervalo de tiempo.

- 5 **24.** El aparato según la reivindicación 17, en el que el sistema MIMO utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM, y en el que los medios para realizar el ensanchado espacial comprenden medios para realizar el ensanchado espacial con al menos dos matrices de dirección diferentes para una pluralidad de subbandas en cada período de símbolos con transmisión de datos.
- 10 **25.** El aparato según la reivindicación 17, en el que el ensanchamiento espacial realizado por los medios para realizar el ensanchamiento espacial da como resultado una interferencia y un ruido blanqueados observados por la entidad receptora para la pluralidad de flujos de símbolos de datos después del desensanchamiento espacial por la entidad receptora.
- 15 **26.** El aparato según la reivindicación 17, en el que el canal MIMO incluye una pluralidad de canales espaciales, y en el que el ensanchamiento espacial realizado por los medios para realizar el ensanchamiento espacial da como resultado que cada uno de la pluralidad de canales de transmisión alcance una relación señal-ruido e interferencia, SNR, que es una media de SNR de la pluralidad de canales espaciales.
- 20 **27.** El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 a 26, en el que los medios para procesar datos comprenden un procesador de datos; los medios para realizar el ensanchamiento espacial comprenden un ensanchador espacial y los medios para realizar el procesamiento espacial comprenden un procesador espacial.
- 25 **28.** Un procedimiento (400) de recepción de una transmisión de datos enviada por una entidad transmisora a una entidad receptora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas múltiples salidas, MIMO, que comprende:
- 30 obtener (412) una pluralidad de flujos de símbolos recibidos para una pluralidad de flujos de símbolos de datos transmitidos a través de una pluralidad de canales de transmisión en un canal MIMO, en el que la pluralidad de flujos de símbolos de datos se ensanchan de forma espacial con una pluralidad de matrices de dirección y se procesan de forma más espacial antes de la transmisión a través del canal MIMO y en el que el ensanchamiento espacial comprende la transmisión del símbolo de datos en múltiples modos propios o canales espaciales de un canal MIMO de forma simultánea con el vector de dirección; estimar (414) la respuesta del canal MIMO; realizar (416) la información de estado de canal completa, CSI o el procesamiento espacial del receptor de CSI parcial en la pluralidad de flujos de símbolos recibidos con la estimación de canal MIMO para obtener una pluralidad de flujos de símbolos detectados; y realizar (418) un desensanchamiento espacial en la pluralidad de flujos de símbolos detectados con la pluralidad de matrices de dirección para obtener una pluralidad de flujos de símbolos recuperados, que son estimaciones de la pluralidad de flujos de símbolos de datos.
- 40 **29.** El procedimiento según la reivindicación 28, que comprende además:
- 45 obtener una estimación de canal MIMO eficaz que incluya una estimación de respuesta de canal para el canal MIMO y la pluralidad de matrices de dirección usadas para el ensanchamiento espacial; y realizar el procesamiento espacial del receptor y el desensanchamiento espacial de forma conjunta en base a la estimación efectiva del canal MIMO.
- 50 **30.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del desensanchamiento espacial comprende realizar un desensanchamiento espacial en cada bloque de símbolos detectados en la pluralidad de flujos de símbolos detectados con al menos dos matrices de dirección usadas por la entidad transmisora en un bloque correspondiente de símbolos de datos.
- 55 **31.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del desensanchamiento espacial comprende realizar el desensanchamiento espacial de la pluralidad de flujos de símbolos detectados usando un conjunto de L matrices de dirección, donde L es un número entero mayor que uno y en el que las L matrices de dirección son matrices unitarias.
- 60 **32.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del procesamiento espacial del receptor comprende multiplicar la pluralidad de flujos de símbolos recibidos con matrices de vectores propios para una pluralidad de modos propios del canal MIMO para obtener la pluralidad de flujos de símbolos detectados.
- 65 **33.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del procesamiento espacial del receptor comprende

derivar un filtro adaptado en base a una estimación de respuesta del canal para el canal MIMO y multiplicar la pluralidad de flujos de símbolos recibidos con el filtro adaptado para obtener la pluralidad de flujos de símbolos detectados.

- 5 **34.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del procesamiento espacial del receptor comprende realizar el procesamiento espacial del receptor en la pluralidad de flujos de símbolos recibidos en base a una técnica de inversión de matriz de correlación de canal, CCMI.
- 10 **35.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del procesamiento espacial del receptor comprende realizar el procesamiento espacial del receptor en la pluralidad de flujos de símbolos recibidos en base a una técnica de error cuadrático medio mínimo, MMSE.
- 15 **36.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del procesamiento espacial del receptor comprende realizar el procesamiento espacial del receptor en la pluralidad de flujos de símbolos recibidos en base a una técnica de cancelación de interferencia sucesiva, SIC.
- 20 **37.** El procedimiento según la reivindicación 28 que comprende además:
 estimar una relación de señal-ruido e interferencia, SNR, de cada uno de la pluralidad de canales de transmisión para la pluralidad de flujos de símbolos de datos; y
 seleccionar una velocidad para cada una de la pluralidad de flujos de símbolos de datos en base a una
 25 estimación de SNR para el canal de transmisión para el flujo de símbolos de datos.
- 38.** El procedimiento según la reivindicación 28 que comprende además:
 enviar a la entidad transmisora al menos una velocidad para la pluralidad de flujos de símbolos de datos, en
 30 el que la pluralidad de flujos de símbolos de datos se codifican y modulan en base a la al menos una velocidad.
- 39.** El procedimiento según la reivindicación 28 que comprende además:
 35 estimar una relación de señal-ruido e interferencia, SNR, de cada uno de la pluralidad de canales de transmisión para la pluralidad de flujos de símbolos de datos; y
 seleccionar una sola velocidad para la pluralidad de flujos de símbolos de datos en base a las estimaciones de SNR para la pluralidad de canales de transmisión.
- 40 **40.** El procedimiento según la reivindicación 28 que comprende además:
 demodular y decodificar cada una de la pluralidad de flujos de símbolos recuperados en base a una
 velocidad seleccionada para el flujo para obtener datos decodificados.
- 45 **41.** El procedimiento según la reivindicación 28, en el que la realización del desensanchamiento espacial comprende realizar el desensanchamiento espacial de la pluralidad de flujos de símbolos detectados con al menos dos matrices de dirección para una pluralidad de subbandas de cada período de símbolos usado para la
 50 transmisión de datos.
- 42.** Un aparato (150) en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas múltiples salidas, MIMO, que comprende:
 55 medios para obtener (412) una pluralidad de flujos de símbolos recibidos para una pluralidad de flujos de símbolos de datos transmitidos a través de una pluralidad de canales de transmisión en un canal MIMO desde una entidad transmisora a una entidad receptora, en el que la pluralidad de flujos de símbolos de datos se ensanchan de forma espacial con una pluralidad de matrices de dirección y se procesan además de forma espacial antes de la transmisión a través del canal MIMO, y en el que el ensanchamiento espacial comprende la transmisión del símbolo de datos en múltiples modos propios o canales espaciales de un canal MIMO de forma simultánea con el vector de dirección; medios para estimar (414) la respuesta del canal MIMO; medios para realizar (416) la información de estado de canal completa, CSI, o el procesamiento espacial del receptor de CSI parcial en la pluralidad de flujos de símbolos recibidos con la estimación de canal MIMO para obtener una pluralidad de flujos de símbolos detectados; y
 60 medios para realizar un desensanchamiento espacial (418) en la pluralidad de flujos de símbolos detectados con la pluralidad de matrices de dirección para obtener una pluralidad de flujos de símbolos recuperados, que sean estimaciones de la pluralidad de flujos de símbolos de datos.
 65

43. El aparato según la reivindicación 42, que comprende además:
- 5 un estimador de canal para obtener una estimación de canal MIMO eficaz que incluya una estimación de respuesta de canal para el canal MIMO y la pluralidad de matrices de dirección usadas para el ensanchamiento espacial, y en el que los medios para realizar el procesamiento espacial del receptor y los medios para realizar el desensanchamiento espacial realizan el procesamiento espacial del receptor y el desensanchamiento espacial de forma conjunta en función de la estimación de canal MIMO eficaz.
- 10 44. El aparato según la reivindicación 42, en el que los medios para realizar el procesamiento espacial del receptor comprenden medios para multiplicar la pluralidad de flujos de símbolos recibidos con matrices de vectores propios para una pluralidad de modos propios del canal MIMO para obtener la pluralidad de flujos de símbolos detectados.
- 15 45. El aparato según la reivindicación 42, en el que los medios para realizar el procesamiento espacial del receptor comprenden medios para multiplicar la pluralidad de flujos de símbolos recibidos con un filtro adaptado, derivado en base a una estimación de respuesta de canal para el canal MIMO, para obtener la pluralidad de flujos de símbolos detectados.
- 20 46. El aparato de la reivindicación 42, en el que los medios para realizar el procesamiento espacial del receptor realizan el procesamiento espacial del receptor en base a una técnica de inversión de matriz de correlación de canal, CCMI, a una técnica de error cuadrático medio mínimo, MMSE, o a una técnica de cancelación de interferencia sucesiva, SIC.
- 25 47. El aparato según la reivindicación 42, que comprende además: medios para estimar una relación señal-ruido e interferencia, SNR de cada uno de la pluralidad de canales de transmisión para la pluralidad de flujos de símbolos de datos; y
- 30 medios para seleccionar una velocidad para cada una de la pluralidad de flujos de símbolos de datos en base a una estimación de SNR para un canal de transmisión para el flujo de símbolos de datos, y en el que cada flujo de símbolos de datos se codifica y modula por la entidad transmisora en base a la velocidad seleccionada para el flujo de símbolos de datos.
48. El aparato según la reivindicación 47, en el que el medio para estimar la SNR comprende un estimador de canal; y
- 35 el medio para seleccionar comprende un controlador.
49. El aparato según la reivindicación 42, que comprende además:
- 40 un procesador de datos para demodular y decodificar cada uno de la pluralidad de flujos de símbolos recuperados en base a una velocidad seleccionada para el flujo para obtener datos decodificados.
50. El aparato según la reivindicación 42, en el que el sistema MIMO utiliza multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM, y en el que el desensanchador espacial realiza un desensanchamiento espacial con al menos dos matrices de dirección diferentes para una pluralidad de subbandas en cada período de símbolo con
- 45 transmisión de datos.
51. Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan por un procesador, realizan las etapas según una cualquiera las reivindicaciones 1 a 16 ó 28 a 41.

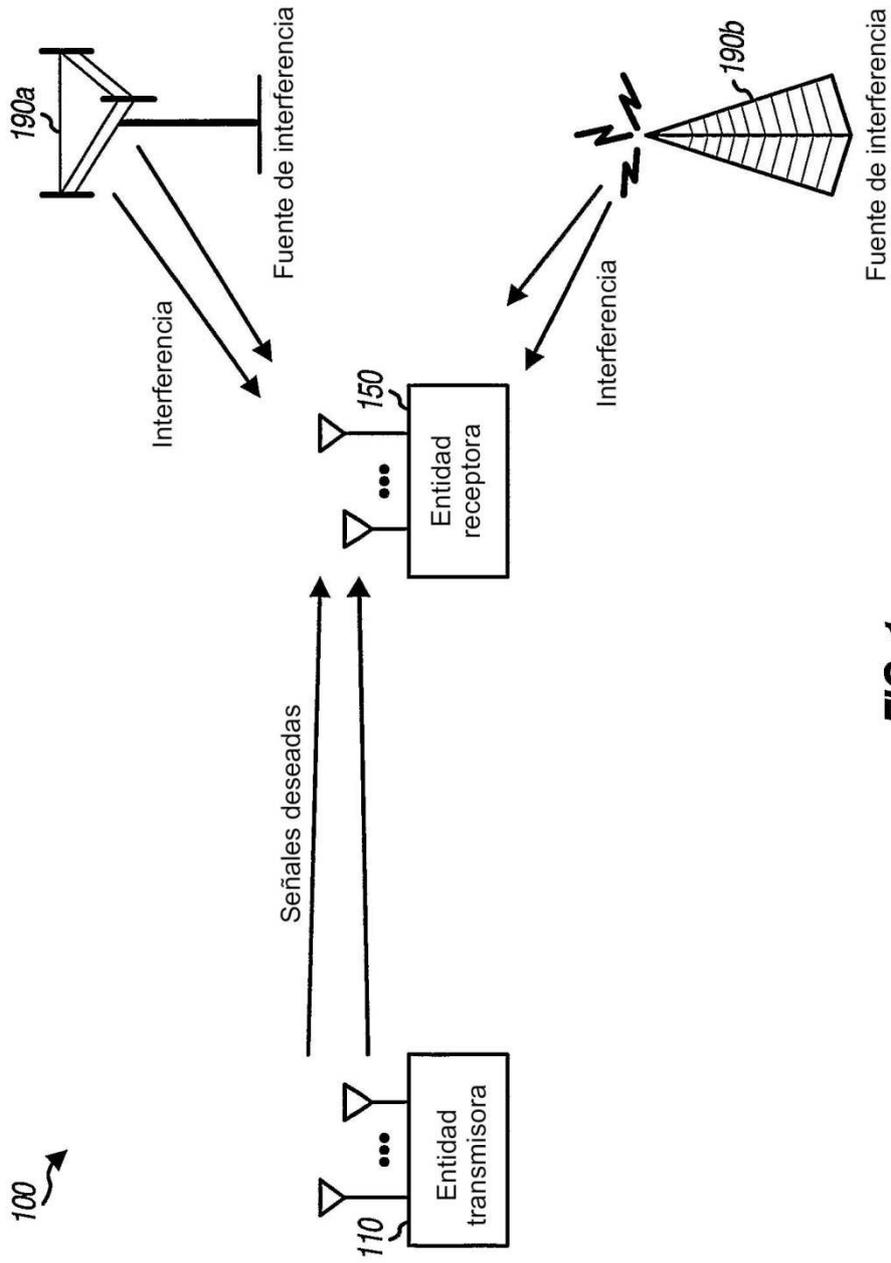


FIG. 1

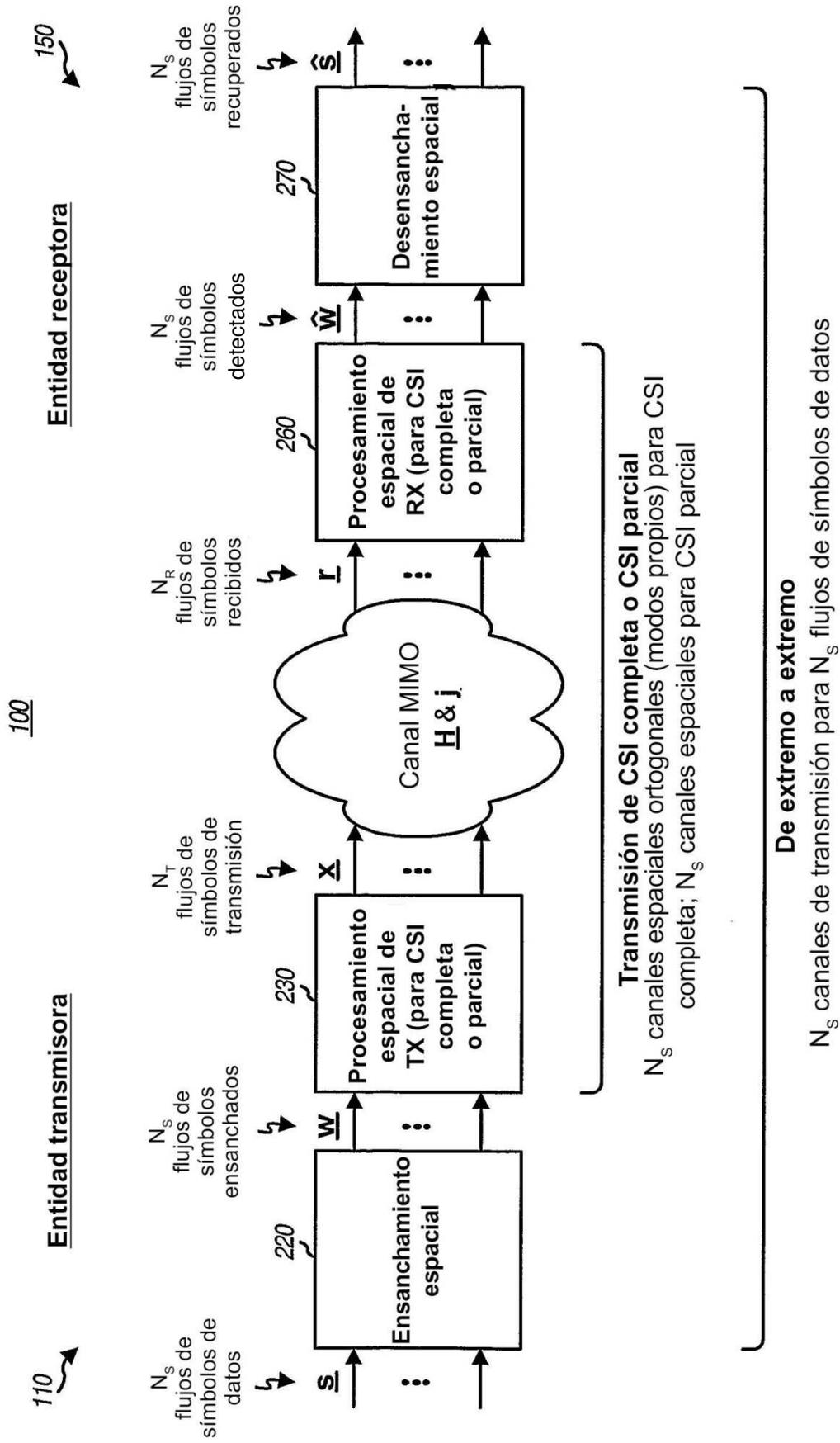


FIG. 2

100

Entidad receptora

Entidad transmisora

110

150

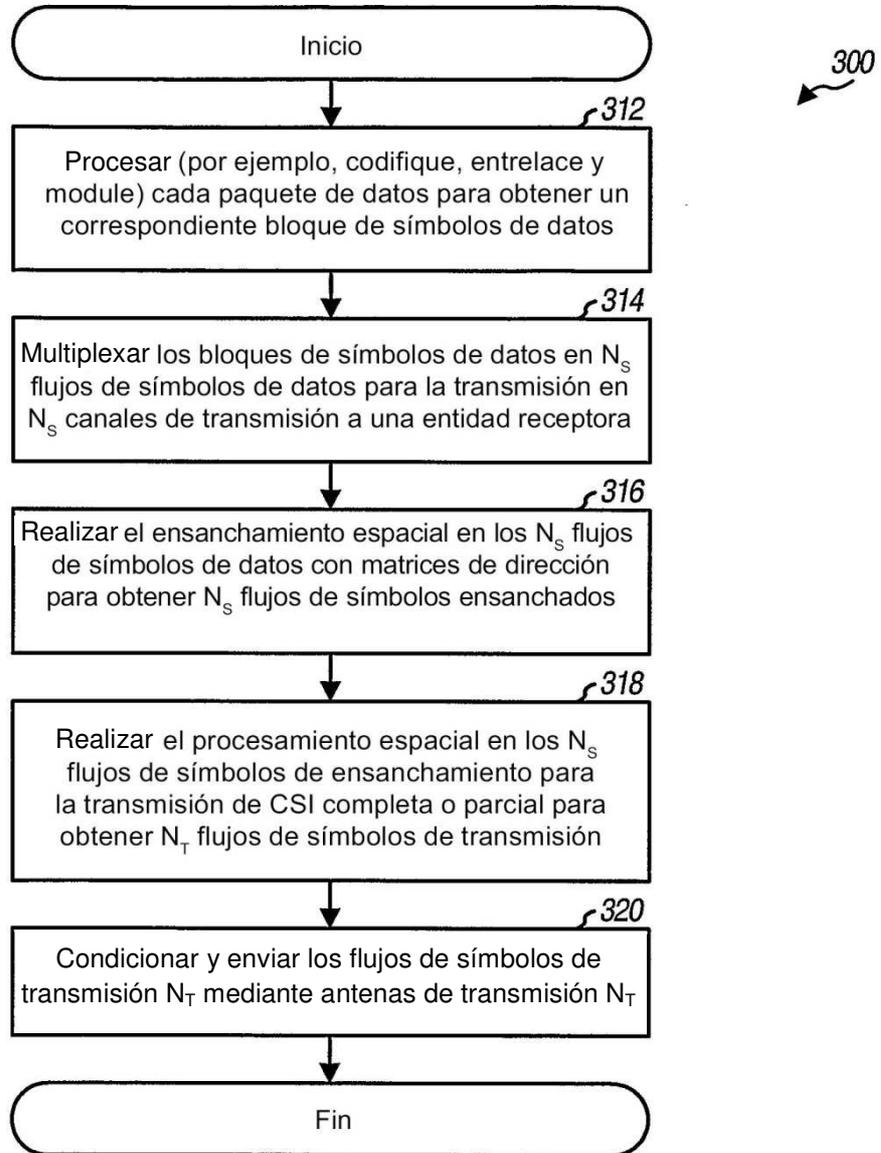


FIG. 3

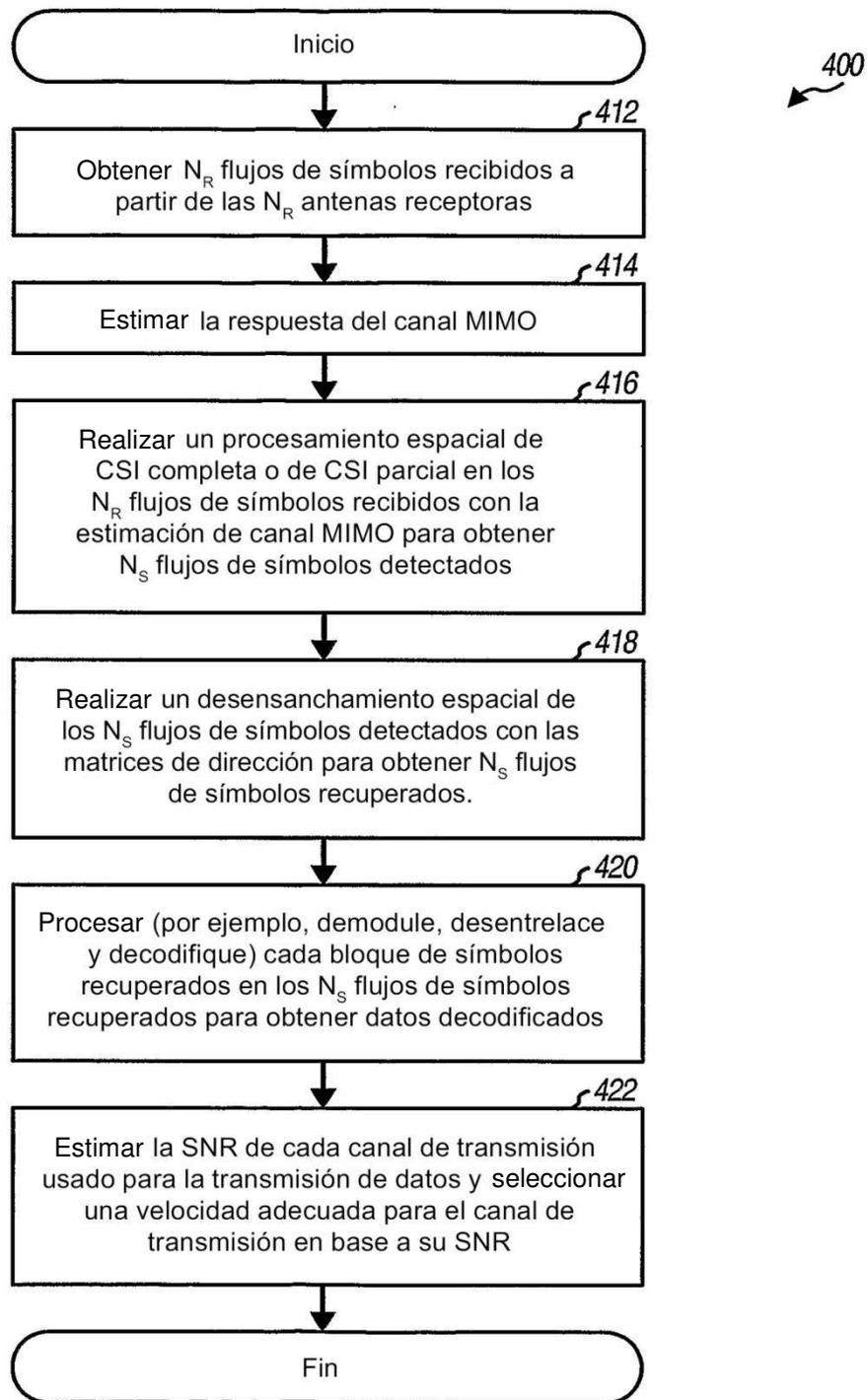


FIG. 4

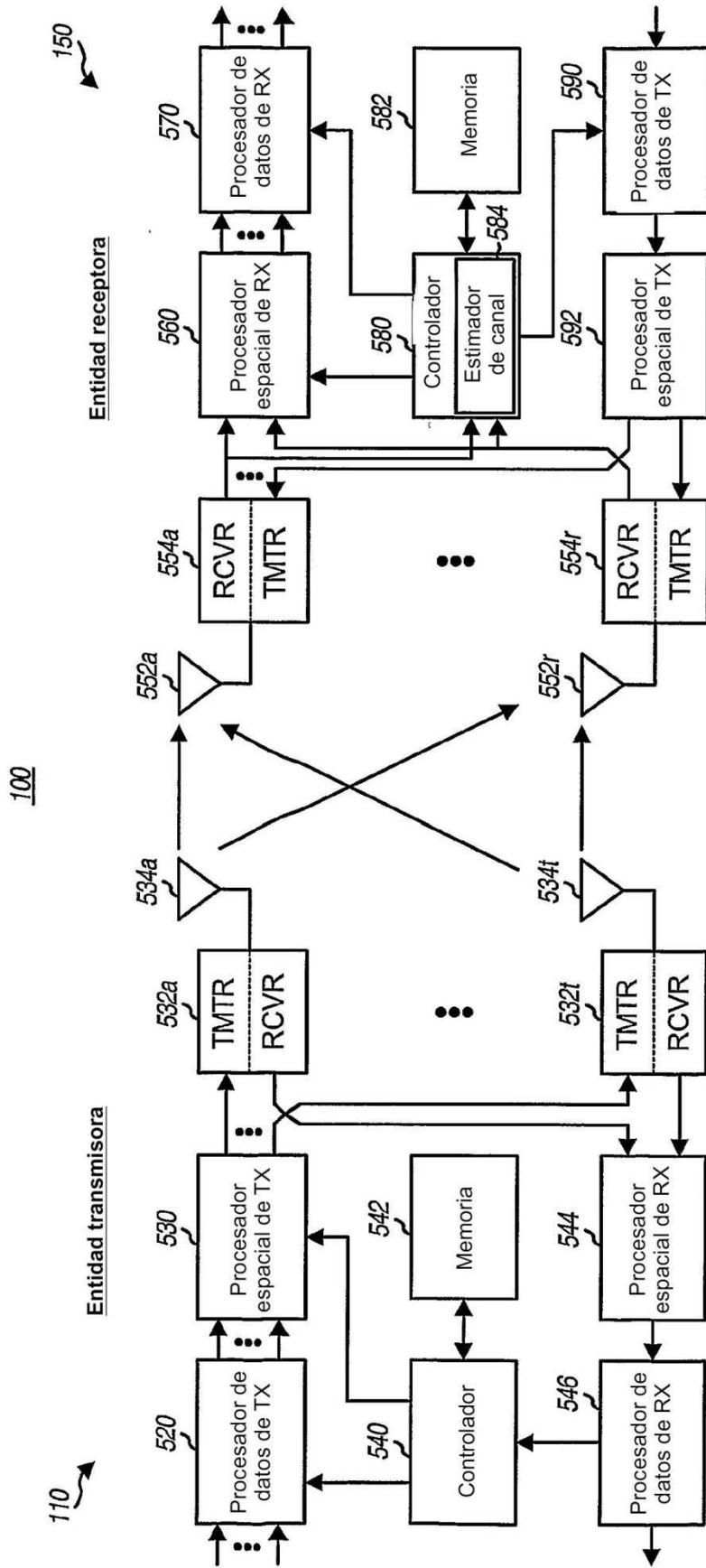


FIG. 5

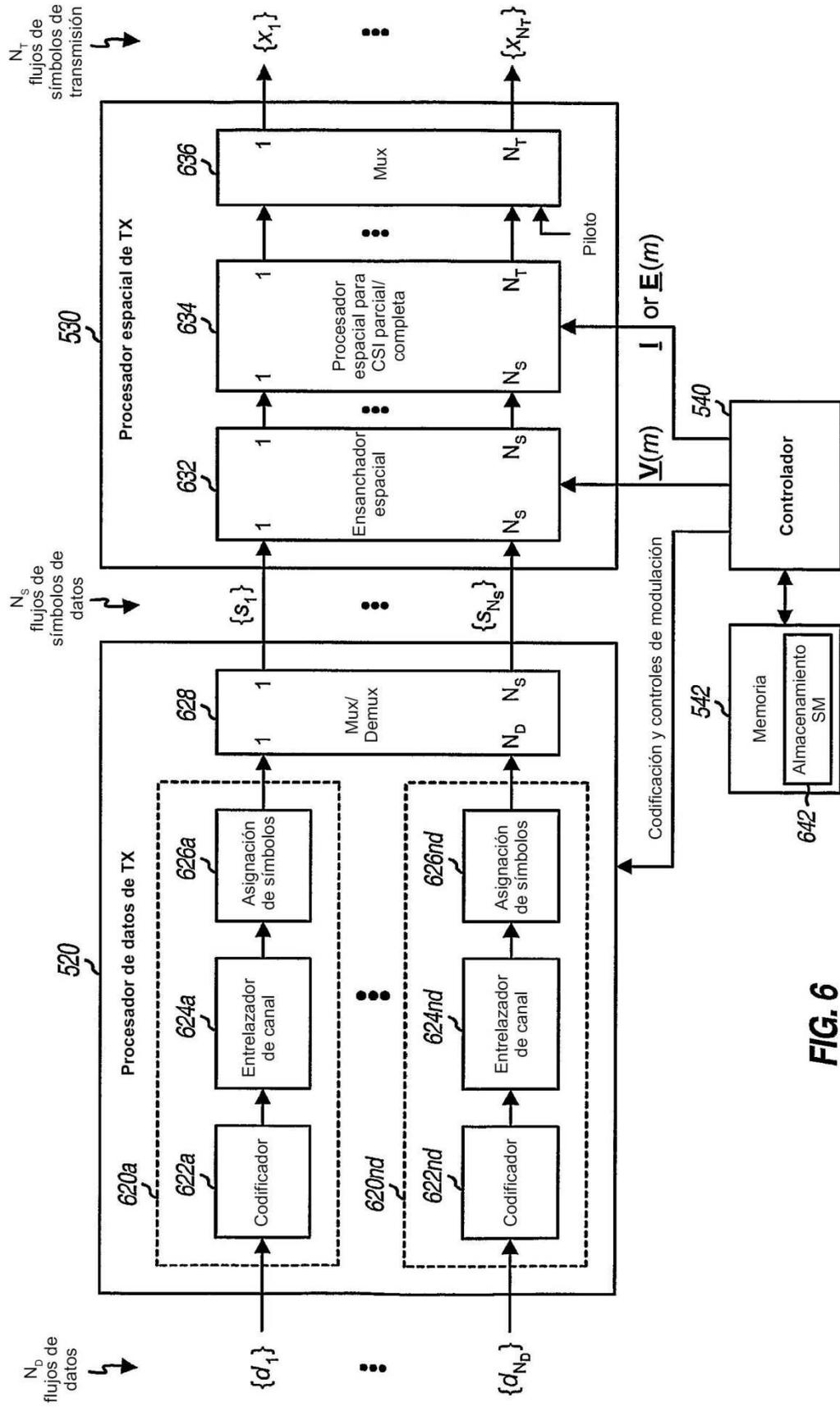


FIG. 6

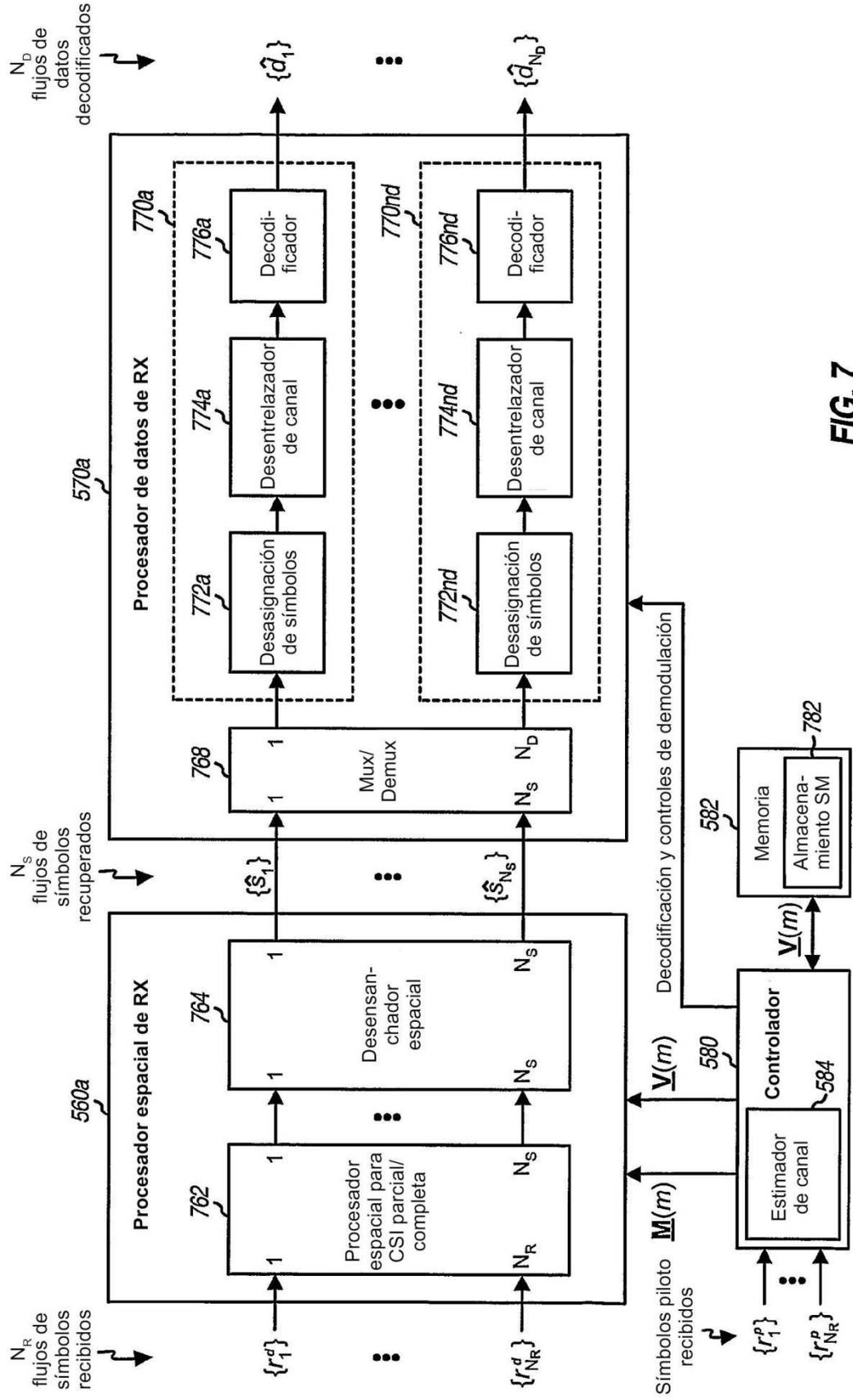


FIG. 7

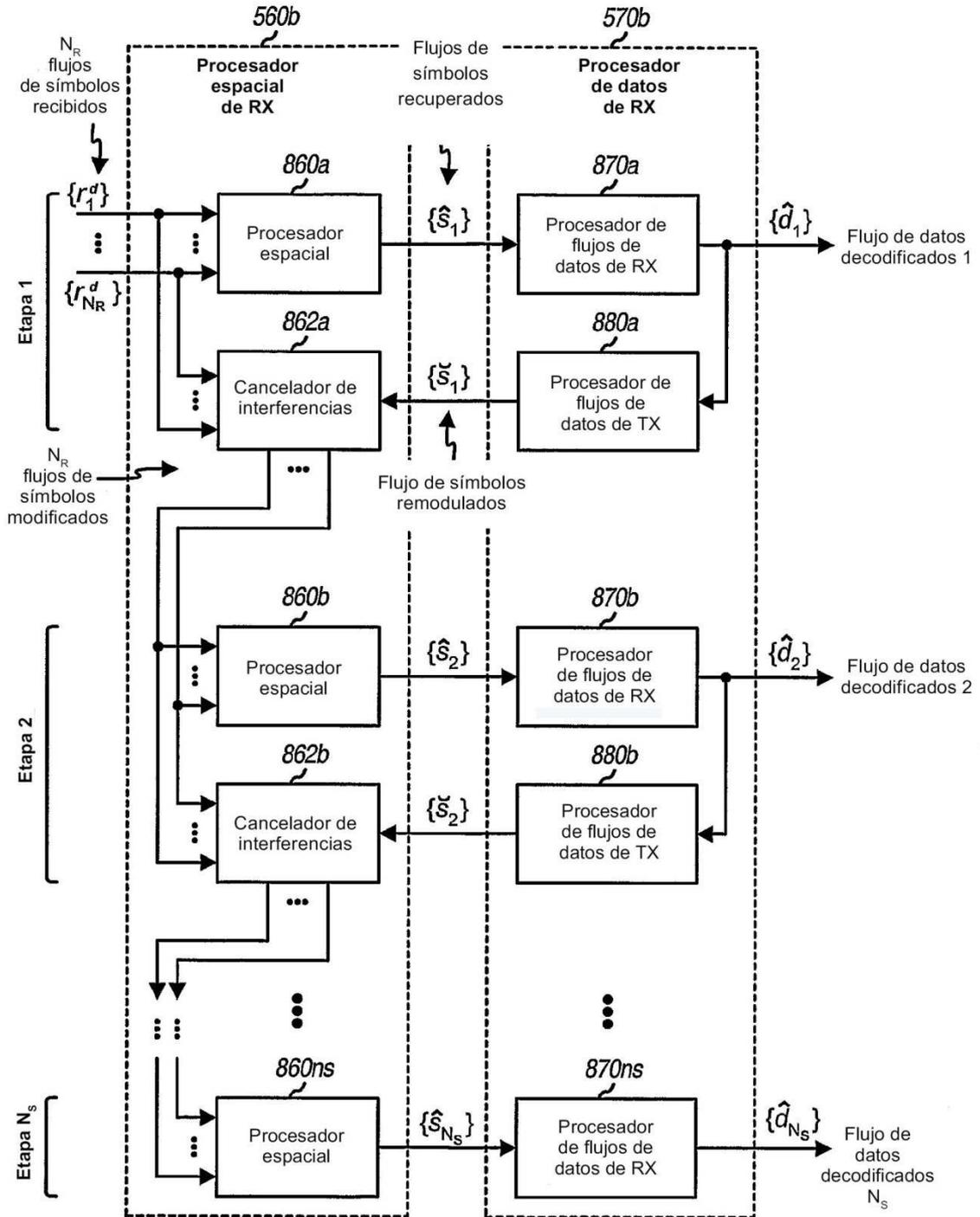


FIG. 8