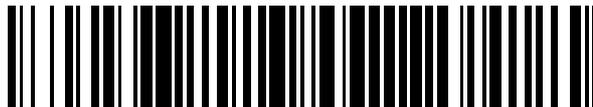


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 490 817**

51 Int. Cl.:

H04B 7/04 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04L 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2004 E 08153985 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 1933513**

54 Título: **Procedimiento y transmisor para la transmisión difundida con ensanchamiento espacial en un sistema de comunicación de múltiples antenas**

30 Prioridad:

17.12.2003 US 530860 P

09.12.2004 US 9824

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

04.09.2014

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 MOREHOUSE DRIVE, R-132D
SAN DIEGO, CA 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 490 817 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

Procedimiento y transmisor para la transmisión difundida con ensanchamiento espacial en un sistema de comunicación de múltiples antenas

1. Reivindicación de prioridad a tenor de USC 35 119

- 5 La presente Solicitud de Patente reivindica prioridad sobre la Solicitud Provisoria con N° de serie 60 / 580.860, titulada "Transmisión difundida con guía de transmisión pseudo-aleatoria en un sistema de comunicación de múltiples antenas", presentada el 17 de diciembre de 2003.

Antecedentes**II. Campo**

- 10 La presente invención se refiere, en general, a comunicaciones y, más específicamente, a técnicas para difundir datos en un sistema de comunicación de múltiples antenas.

III. Antecedentes

- 15 Un sistema de comunicación de múltiples antenas emplea múltiples antenas de transmisión en una entidad transmisora y una o más antenas de recepción en una entidad receptora para la transmisión de datos. El sistema de comunicación de múltiples antenas puede por tanto ser un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) o un sistema de múltiples entradas y única salida (MISO). Un sistema de MIMO emplea múltiples (NT) antenas transmisoras y múltiples (NR) antenas receptoras para la transmisión de datos. Un canal de MIMO formado por las NT antenas transmisoras y las NR antenas receptoras puede ser descompuesto en NS canales espaciales, donde $NS \geq \min\{NT, NR\}$. Los NS canales espaciales pueden ser usados para transmitir datos de una manera como para lograr mayor fiabilidad y / o mayor rendimiento global. Un sistema de MISO emplea múltiples (NT) antenas transmisoras y una única antena receptora para la transmisión de datos. Un canal de MISO formado por las NT antenas transmisoras y la única antena receptora está compuesto por un único canal espacial.

- 25 Un punto de acceso en un sistema de MIMO puede difundir datos a un cierto número de terminales de usuario de múltiples antenas, que pueden estar distribuidos por toda el área de cobertura del punto de acceso. Un canal distinto de MIMO se forma entre el punto de acceso y cada uno de estos **terminales** de usuario. Cada canal de MIMO puede experimentar distintas condiciones de canal (p. ej., distintos efectos de desvanecimiento, multitrayecto e interferencia). En consecuencia, los canales espaciales de cada canal de MIMO pueden lograr distintas razones entre señal y ruido e interferencia (SNR). La SNR de un canal espacial determina su capacidad de transmisión, que es habitualmente cuantificada por una velocidad de datos específica que puede ser fiablemente transmitida por el canal espacial. Para un canal de MIMO variable en el tiempo, la condición de canal cambia con el tiempo y la SNR de cada canal espacial también cambia con el tiempo.

- 35 Una transmisión difundida es una transmisión de datos que está concebida para ser recibida por cualquier número de terminales de usuario en el sistema, en lugar de un terminal de usuario específico. Una transmisión difundida es habitualmente codificada y transmitida de una manera como para lograr una calidad de servicio (QoS) especificada. Esta calidad de servicio puede ser cuantificada, por ejemplo, por la recepción libre de errores de la transmisión difundida por un porcentaje específico (p. ej., 99,9%) de los terminales de usuario dentro de un área dada de cobertura de difusión, en cualquier momento dado. De manera equivalente, la calidad del servicio puede ser cuantificado por una probabilidad de "apagón", que es el porcentaje (p. ej., 0,1%) de los terminales de usuario dentro del área de cobertura de difusión que no pueden descodificar correctamente la transmisión difundida.

- 40 La transmisión difundida observa un conjunto de canales de MIMO para un conjunto de terminales de usuario en el área de cobertura de difusión. El canal de MIMO para cada terminal de usuario puede ser aleatorio con respecto a los canales de MIMO para otros terminales de usuario. Además, los canales de MIMO para los terminales de usuario pueden variar con el tiempo. Para asegurar que la transmisión difundida pueda satisfacer la calidad de servicio especificada, la velocidad de datos para la transmisión difundida se selecciona habitualmente para que sea lo suficientemente baja como para que la transmisión difundida pueda ser descodificada fiablemente incluso por el terminal de usuario con la peor condición de canal (es decir, el terminal de usuario del peor caso). Las prestaciones de difusión para un sistema de ese tipo estarían luego dictadas por la condición esperada de canal del peor caso, para todos los terminales de usuario en el sistema. Un fenómeno similar ocurre para un sistema de MISO.

- 50 La Patente Estadounidense 6198775 (Khayrallah et al) revela un procedimiento de diversidad de transmisión, sistemas y terminales que usan la codificación cifrada.

Por lo tanto, hay necesidad en la tecnología de técnicas para difundir datos más eficazmente en un sistema de comunicación de múltiples antenas.

Resumen

5 En una realización, se describe un procedimiento para difundir datos en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, en el cual al menos un bloque de datos es procesado para obtener al menos un bloque de símbolos de datos. El procesamiento espacial se realiza sobre dicho al menos un bloque de símbolos de datos con una pluralidad de matrices guía, para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión. La pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión es difundida desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras en el sistema, en donde la pluralidad de matrices guía aleatorizan un canal efectivo observado por cada una entre la pluralidad de entidades receptoras para dicho al menos un bloque de símbolos de datos.

10 En otra realización, se describe un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas que incluye un procesador de datos para procesar al menos un bloque de datos, para obtener al menos un bloque de símbolos de datos; un procesador espacial para realizar el procesamiento espacial de dicho al menos un bloque de símbolos de datos, con una pluralidad de matrices guía, para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión; y una pluralidad de unidades transmisoras para difundir la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras en el sistema, en donde la pluralidad de matrices guía aleatorizan un canal efectivo observado por cada una de las entidades receptoras, para dicho al menos un bloque de símbolos de datos.

20 En otra realización, se describe un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas que incluye medios para procesar al menos un bloque de datos, para obtener al menos un bloque de símbolos de datos; medios para realizar el procesamiento espacial sobre dicho al menos un bloque de símbolos de datos, con una pluralidad de matrices guía, para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión; y medios para difundir la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras en el sistema, en donde la pluralidad de matrices guía aleatorizan un canal efectivo observado por cada una de las entidades receptoras, para dicho al menos un bloque de símbolos de datos.

25 En otra realización, se describe un procedimiento para difundir datos en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, en el cual una pluralidad de flujos de datos es procesada para obtener una pluralidad de bloques de símbolos de datos, en donde cada bloque de símbolos de datos corresponde a un bloque de datos codificados. El procesamiento espacial se realiza sobre la pluralidad de bloques de símbolos de datos con una pluralidad de matrices guía, para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión. La pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión es difundida desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras en el sistema, en donde la pluralidad de matrices guía aleatorizan un canal efectivo observado por cada una entre la pluralidad de entidades receptoras, para la pluralidad de bloques de símbolos de datos.

35 En otra realización, se describe un procedimiento para recibir una transmisión difundida en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, en el cual, mediante una pluralidad de antenas de recepción, los símbolos de datos recibidos son obtenidos para al menos un bloque de símbolos de datos, espacialmente procesado con una pluralidad de matrices guía antes de la difusión, desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras. Se obtiene una estimación de canal para un canal efectivo de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), formado por la pluralidad de matrices guía, y un canal de MIMO entre la pluralidad de antenas de transmisión y la pluralidad de antenas de recepción. El procesamiento espacial del receptor es realizado sobre los símbolos de datos recibidos con la estimación de canal, para obtener estimaciones de símbolos de datos para dicho al menos un bloque de símbolos de datos.

45 En otra realización, se describe un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que incluye una pluralidad de unidades receptoras para obtener, mediante una pluralidad de antenas receptoras, símbolos de datos recibidos para al menos un bloque de símbolos de datos, espacialmente procesado con una pluralidad de matrices guía antes de la difusión, desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras; un estimador de canal para obtener una estimación de canal para un canal efectivo de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), formado por la pluralidad de matrices guía, y un canal de MIMO entre la pluralidad de antenas de transmisión y la pluralidad de antenas de recepción; y un procesador espacial para realizar el procesamiento espacial del receptor sobre los símbolos de datos recibidos con la estimación de canal, para obtener estimaciones de símbolos de datos para dicho al menos un bloque de símbolos de datos.

50 En otra realización, se describe un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que incluye medios para obtener, mediante una pluralidad de antenas de recepción, símbolos de datos recibidos para al menos un bloque de símbolos de datos, espacialmente procesado con una pluralidad de matrices guía, antes de la difusión, desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras; medios para obtener una estimación de canal para un canal efectivo de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), formado por la pluralidad de matrices guía, y un canal de MIMO entre la pluralidad de antenas de transmisión y la pluralidad de antenas de recepción; y medios para realizar el procesamiento espacial del receptor sobre los símbolos de datos

recibidos con la estimación de canal, para obtener estimaciones de símbolos de datos para dicho al menos un bloque de símbolos de datos.

5 En otra realización, se describe un procedimiento para recibir una transmisión difundida en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, en el cual, mediante una única antena de recepción, se obtienen símbolos de datos recibidos para un bloque de símbolos de datos, procesado con una pluralidad de vectores guía, antes de la difusión, desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras. Se obtiene una estimación de canal para un canal efectivo de múltiples entradas y múltiples salidas (MISO), formado por la pluralidad de vectores guía, y un canal de MISO entre la pluralidad de antenas de transmisión y la única antena de recepción. La detección de los símbolos de datos recibidos es realizada con la estimación de canal, para obtener las estimaciones de símbolos de datos para el bloque de símbolos de datos.

10 En otra realización, se describe un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que incluye una unidad receptora para obtener, mediante una única antena de recepción, símbolos de datos recibidos para un bloque de símbolos de datos espacialmente procesado con una pluralidad de vectores guía, antes de la difusión desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras; un estimador de canal para obtener una estimación de canal para un canal efectivo de múltiples entradas y múltiples salidas (MISO), formado por la pluralidad de vectores guía, y un canal de MISO entre la pluralidad de antenas de transmisión y la única antena de recepción; y un detector para realizar la detección sobre los símbolos de datos recibidos con la estimación de canal, para obtener estimaciones de símbolos de datos para el bloque de símbolos de datos.

15 En otra realización, se describe un aparato en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que incluye medios para obtener, mediante una única antena de recepción, símbolos de datos recibidos para un bloque de símbolos de datos, espacialmente procesado con una pluralidad de vectores guía, antes de la difusión desde una pluralidad de antenas de transmisión hasta una pluralidad de entidades receptoras; medios para obtener una estimación de canal para un canal efectivo de múltiples entradas y única salida (MISO), formado por la pluralidad de vectores guía, y un canal de MISO entre la pluralidad de antenas de transmisión y la única antena de recepción; y medios para realizar la detección sobre los símbolos de datos recibidos con la estimación de canal, para obtener estimaciones de símbolos de datos para el bloque de símbolos de datos.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 muestra un sistema de MIMO con un punto de acceso y terminales de usuario de múltiples antenas.

La FIG. 2 muestra un proceso para difundir datos con ensanchamiento espacial.

30 La FIG. 3 muestra un proceso para recibir una transmisión difundida.

La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques del punto de acceso y el terminal de usuario de múltiples antenas.

Las FIGs. 5A y 5B muestran dos realizaciones de un procesador de datos de transmisión (TX) y un procesador espacial de TX en el punto de acceso.

35 Las FIGs. 6A y 6B muestran dos realizaciones de un procesador espacial de recepción (RX) y un procesador de datos de RX en el terminal de usuario de múltiples antenas.

La FIG. 7 muestra un sistema de MISO con un punto de acceso y terminales de usuario de antena única.

La FIG. 8 muestra un diagrama de bloques del punto de acceso y el terminal de usuario de antena única.

La FIG. 9 muestra un sistema híbrido de múltiples antenas con un punto de acceso y terminales de usuario de antena única y de múltiples antenas.

40 Las FIGs. 10A y 10B muestran gráficos de la eficacia espectral global lograda para un sistema de MIMO 4 x 4 y un sistema de MISO 4 x 1, respectivamente.

Descripción detallada

45 La palabra "ejemplar" se usa en la presente memoria para significar "que sirve como un ejemplo, caso o ilustración". Cualquier realización descrita en la presente memoria como "ejemplar" no ha de ser necesariamente interpretada como preferida o ventajosa sobre otras realizaciones.

Se describen técnicas para difundir datos usando el ensanchamiento espacial en un sistema de comunicación de múltiples antenas en la presente memoria. El ensanchamiento espacial se refiere a la transmisión de un símbolo de datos (que es un símbolo de modulación para los datos) desde múltiples antenas de transmisión simultáneamente, posiblemente con distintas amplitudes y / o fases, determinadas por un vector guía usado para ese símbolo de datos.

El ensanchamiento espacial también puede llamarse guía de transmisión, guía de transmisión pseudo-aleatoria, diversidad de guía, guía matricial pseudo-aleatoria, guía vectorial pseudo-aleatoria, etc. Según se usa en la presente memoria, “difusión” se refiere a la transmisión de datos a (1) un grupo no especificado de terminales de usuario, p. ej., todos los terminales de usuario dentro de un área de cobertura de difusión (que usualmente se menciona como de difusión), o bien (2) un grupo específico de terminales de usuario (que usualmente se menciona como de multi-difusión). Estas técnicas de transmisión difundida pueden aleatorizar un canal “efectivo” observado por cada terminal de usuario para cada bloque de símbolos de datos difundido por un punto de acceso, por lo que las prestaciones del sistema no están dictadas por la condición esperada del canal del peor caso.

En una realización para difundir datos con ensanchamiento espacial, los datos para N_D flujos de datos son procesados (p. ej., codificados, intercalados y modulados) para obtener N_D bloques de símbolos de datos a difundir en N_M tramos de transmisión, donde $N_D \geq 1$ y $N_M > 1$. Un “tramo de transmisión” puede abarcar dimensiones de tiempo y / o frecuencia, según se describe más adelante. Cada bloque de símbolos de datos es generado a partir de un bloque de datos codificados, que puede ser mencionado como un “bloque de código” o paquete de datos codificados. Cada bloque de código es codificado por separado en el punto de acceso y descodificado por separado en un terminal de usuario. Los N_D bloques de símbolos de datos son divididos en N_M sub-bloques de símbolos de datos, un sub-bloque para cada tramo de transmisión. Se selecciona una matriz guía (p. ej., de manera determinística o pseudo-aleatoria, entre un conjunto de L matrices guía) para cada uno de los N_M sub-bloques de símbolos de datos. Cada sub-bloque de símbolos de datos es procesado espacialmente con la matriz guía seleccionada para ese sub-bloque, para obtener símbolos de transmisión. Los símbolos de transmisión para cada sub-bloque son adicionalmente procesados y difundidos, mediante N_T antenas de transmisión en un tramo de transmisión, a los terminales de usuario dentro del área de cobertura de difusión.

Para una difusión de MIMO, cada matriz guía contiene N_T filas y N_S columnas, donde $N_S > 1$. Los N_D bloques de símbolos de datos son luego difundidos mediante N_S canales espaciales de un canal de MIMO efectivo. Por ejemplo, si $N_D = N_S$, entonces los N_D bloques de símbolos de datos pueden ser multiplexados de modo que un bloque de símbolos de datos sea difundido en cada uno de los N_S canales espaciales. Para una difusión de MISO, cada matriz guía contiene N_T filas y una única columna, y puede ser considerada como un matriz degenerada o vector. Los N_D bloques de símbolos de datos son luego difundidos mediante un único canal espacial de un canal de MISO efectivo. Para ambas difusiones de MIMO y MISO, los N_D bloques de símbolos de datos son procesados espacialmente con N_M matrices guía y observan un conjunto de canales efectivos en cada terminal de usuario.

Diversos aspectos y realizaciones de la invención se describen en mayor detalle más adelante.

Las técnicas de transmisión difundida descritas en la presente memoria pueden ser usadas para un sistema de comunicación de múltiples antenas, que puede ser un sistema de MIMO o un sistema de MISO. Según se usa en la presente memoria, “difusión de MIMO” se refiere a la transmisión difundida por múltiples canales espaciales, y la “difusión de MISO” se refiere a una transmisión difundida por un único canal espacial. El número de canales espaciales disponibles para la transmisión está determinado por el número de antenas de transmisión, el número de antenas de recepción y el enlace o canal inalámbrico. Las técnicas de transmisión difundida también pueden ser usadas para sistemas de portadora única y de múltiples portadoras. Las portadoras múltiples pueden ser proporcionadas por el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM) o por algunas otras estructuras. El OFDM divide efectivamente el ancho de banda global del sistema en múltiples (N_F) sub-bandas ortogonales de frecuencia, que también son denominadas tonos, sub-portadoras, contenedores y canales de frecuencia. Con el OFDM, cada sub-banda está asociada a una respectiva sub-portadora que puede ser modulada con datos.

Las técnicas de transmisión difundida descritas en la presente memoria pueden ser usadas para diversos tipos de datos de difusión. Por ejemplo, estas técnicas pueden ser usadas para servicios de difusión que difunden datos continuamente (p. ej., vídeo, audio, noticias, etc.) a terminales de usuario. Estas técnicas también pueden ser usadas para canales de sobregasto (p. ej., canales de difusión, paginación y control) en un sistema de comunicación inalámbrica.

1. Difusión de MIMO

La **FIG. 1** muestra un sistema 100 de MIMO con un punto de acceso (AP) 110 y terminales de usuario (UT) 120. Un punto de acceso es generalmente una estación fija que se comunica con los terminales de usuario y también puede ser denominada una estación base, o con alguna otra terminología. Un terminal de usuario puede ser fijo o móvil y también puede ser denominado una estación móvil, un dispositivo inalámbrico o con alguna otra terminología. El punto 110 de acceso está equipado con múltiples (N_{ap}) antenas para la transmisión de datos. Cada terminal 120 de usuario está equipado con múltiples (N_{ut}) antenas para la recepción de datos. En general, los terminales de usuario en el sistema pueden ser equipados con los mismos, o distintos, números de antenas. Para mayor simplicidad, la siguiente descripción supone que los terminales de usuario en el sistema de MIMO están equipados con el mismo número de antenas. Para una arquitectura centralizada, el controlador 130 del sistema proporciona coordinación y control para los puntos de acceso.

Para un sistema de MIMO de portadora única, un canal de MIMO formado por las N_{ap} antenas en el punto de acceso y las N_{ut} antenas en un terminal u de usuario dado puede ser caracterizado por una matriz \mathbf{H}_u de respuesta de canal, de dimensiones $N_{ut} \times N_{ap}$, que puede ser expresada como:

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

5 donde la entrada h_{ij} , para $i = 1 \dots N_{ut}$ y $j = 1 \dots N_{ap}$, indica el acoplamiento o ganancia compleja entre la antena j del punto de acceso y la antena i del terminal de usuario. Según se muestra en la FIG. 1, los terminales de usuario pueden estar distribuidos por toda el área de cobertura del punto de acceso. Un canal de MIMO distinto está formado por las N_{ap} antenas en el punto de acceso y las N_{ut} antenas en cada terminal de usuario.

10 Los datos pueden ser transmitidos de diversas maneras en el sistema de MIMO de portadora única. En un esquema sencillo de transmisión, un flujo de símbolos de datos es transmitido desde cada antena del punto de acceso, y N_S flujos de símbolos de datos son transmitidos simultáneamente desde N_S de las N_{ap} antenas del punto de acceso, donde N_S es el número de canales espaciales y $N_S \leq \min\{N_{ap}, N_{ut}\}$. Los símbolos recibidos en el terminal u de usuario para este esquema de transmisión pueden ser expresados como:

$$15 \quad \mathbf{r}_u = \mathbf{H}_u \mathbf{s} + \mathbf{n}_u, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde \mathbf{s} es un vector de dimensiones $N_{ap} \times 1$ con N_S entradas no nulas para N_S símbolos de datos a transmitir simultáneamente por el punto de acceso;

\mathbf{r}_u es un vector de dimensiones $N_{ut} \times 1$ con entradas para N_{ut} símbolos recibidos, obtenidos mediante las N_{ut} antenas en el terminal u de usuario; y

20 \mathbf{n}_u es un vector de ruido observado en el terminal u de usuario.

Para mayor simplicidad, se supone que el ruido es ruido Gaussiano blanco aditivo (AWGN) con un vector de media cero y una matriz de covarianza de $\mathbf{\Lambda}_u = \sigma_u^2 \mathbf{I}$, donde σ_u^2 es la varianza del ruido observado por el terminal u de usuario e \mathbf{I} es la matriz identidad.

25 Los N_S flujos de símbolos de datos transmitidos desde las N_{ap} antenas del punto de acceso interfieren entre sí en el terminal u de usuario. Un flujo dado de símbolos de datos, transmitido desde una antena del punto de acceso, puede ser recibido por todas las N_{ut} antenas del terminal de usuario en distintas amplitudes y fases. Cada flujo de símbolos recibido incluye un componente de cada uno de los N_S flujos de símbolos de datos transmitidos. Los N_{ut} flujos de símbolos recibidos incluirían colectivamente todos los N_S flujos de símbolos de datos. Sin embargo, estos N_S flujos de símbolos de datos están dispersos entre los N_{ut} flujos de símbolos recibidos. El terminal u de usuario realiza el procesamiento espacial del receptor sobre los N_{ut} flujos de símbolos recibidos, para recuperar los N_S flujos de símbolos de datos transmitidos por el punto de acceso.

35 Las prestaciones que pueden ser logradas para el terminal u de usuario dependen (en gran medida) de su matriz \mathbf{H}_u de respuesta de canal. Si existe un alto grado de correlación dentro de \mathbf{H}_u , entonces cada flujo de símbolos de datos observaría una gran cantidad de interferencia desde los otros flujos, que no puede ser eliminada por el procesamiento espacial del receptor en el terminal de usuario. El alto nivel de interferencia degrada la SNR de cada flujo de símbolos de datos afectado, posiblemente hasta un punto en donde el flujo de símbolos de datos no puede ser descodificado correctamente por el terminal de usuario.

40 Para una transmisión de datos a un terminal de usuario específico, mediante un canal dado de MIMO, puede alcanzarse la capacidad de sistema si el punto de acceso está dotado de suficiente información de estado de canal con respecto al canal de MIMO. El punto de acceso puede luego usar esta información para procesar datos de una manera como para maximizar el rendimiento para el terminal de usuario (p. ej., seleccionar la velocidad adecuada para cada flujo de datos). Dado que distintos terminales de usuario observan distintos canales de MIMO, el punto de acceso necesitaría habitualmente procesar datos de distinta manera para cada terminal de usuario, para maximizar el

rendimiento para ese terminal de usuario.

Para una transmisión difundida, el punto de acceso transmite los mismos datos a un cierto número de terminales de usuario dentro de un área de cobertura de difusión. Para la difusión, el punto de acceso, habitualmente, no tiene información de estado de canal para los terminales de usuario. Además, habitualmente no es práctico procesar datos concebidos para múltiples terminales de usuario en base a información de estado de canal para un terminal específico de usuario.

La transmisión difundida desde el punto de acceso observa un conjunto de canales de MIMO para distintos terminales de usuario en el área de cobertura de difusión. Un cierto porcentaje de los canales de MIMO pueden ser considerados como “malos”. Por ejemplo, un canal malo puede aparecer cuando la matriz \mathbf{H} de respuesta de canal exhibe un alto grado de correlación, o cuando hay insuficiente dispersión, multitrayecto (ancho de banda de gran coherencia) o desvanecimiento temporal (tiempo de gran coherencia) en el canal. La aparición de canales “malos” es aleatoria, y es deseable minimizar el porcentaje de tiempo en que esto puede ocurrir para cada terminal de usuario.

Para la difusión, el punto de acceso necesita transmitir cada flujo de símbolos de datos a una velocidad suficientemente baja, de modo que el flujo pueda ser recuperado por los terminales de usuario incluso en la condición de canal del peor caso. Las prestaciones de difusión están luego dictadas por la condición esperada de canal del peor caso, para todos los terminales de usuario en el área de cobertura.

A. Transmisión difundida de MIMO

El ensanchamiento espacial puede ser usado para aleatorizar un canal de MIMO efectivo observado por cada terminal de usuario, de modo que las prestaciones de difusión no estén dictadas por una realización de canal único sobre un bloque de código. Con el ensanchamiento espacial, el punto de acceso realiza el procesamiento espacial sobre cada bloque de código, con múltiples matrices guía para aleatorizar efectivamente el canal de MIMO para cada terminal de usuario. En consecuencia, cada terminal de usuario observa un conjunto de canales en la extensión de cada bloque de código y no se atasca en un único canal para una parte extendida del bloque de código.

El procesamiento espacial en el punto de acceso para el ensanchamiento espacial en el sistema de MIMO puede ser expresado como:

$$\underline{\mathbf{x}}_{mimo}(m) = \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m), \quad \text{Ec. (3)}$$

donde

$\underline{\mathbf{s}}(m)$ es un vector de dimensiones $N_s \times 1$ con N_s símbolos de datos a enviar en el tramo m de transmisión;

$\underline{\mathbf{V}}(m)$ es una matriz guía de dimensiones $N_{ap} \times N_s$ para el tramo m de transmisión; y

$\underline{\mathbf{x}}_{mimo}(m)$ es un vector de dimensiones $N_{ap} \times 1$ con N_{ap} símbolos de transmisión a enviar desde las N_{ap} antenas del punto de acceso en el tramo m de transmisión.

Un tramo de transmisión puede abarcar dimensiones de tiempo y / o frecuencia. Por ejemplo, en un sistema de MIMO de portadora única, un tramo de transmisión puede corresponder a un periodo de símbolos, que es la duración temporal para transmitir un símbolo de datos. Como otro ejemplo, en un sistema de MIMO de múltiples portadoras, tal como un sistema de MIMO que utiliza el OFDM, un tramo de transmisión puede corresponder a una sub-banda en un periodo de símbolos de OFDM. Un tramo de transmisión también puede abarcar múltiples periodos de símbolos y / o múltiples sub-bandas. De tal modo, m puede ser un índice para el tiempo y / o la frecuencia. Un tramo de transmisión también puede ser denominado un intervalo de transmisión, un intervalo de señalización, una ranura, etc.

Un conjunto de L matrices guía puede ser generado según se describe más adelante, y usado para el ensanchamiento espacial. Este conjunto de matrices guía se indica como $\{\underline{\mathbf{V}}\}$, o $\underline{\mathbf{V}}(i)$, para $i = 1 \dots L$, donde L puede ser cualquier entero mayor que uno. Una matriz guía en el conjunto puede ser seleccionada para cada tramo m de transmisión, y usada para el procesamiento espacial por el punto de acceso, para ese tramo de transmisión. Los resultados del procesamiento espacial son N_{ap} flujos de símbolos de transmisión para su difusión desde las N_{ap} antenas del punto de acceso.

Los símbolos recibidos en cada terminal de usuario con ensanchamiento espacial pueden ser expresados como:

$$\underline{\mathbf{r}}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) = \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m), \quad \text{Ec. (4)}$$

donde

$\underline{\mathbf{r}}(m)$ es un vector de dimensiones $N_{ut} \times 1$ con N_{ut} símbolos recibidos para el tramo m de transmisión;

$\mathbf{H}(m)$ es una matriz de respuesta de canal de dimensiones $N_{ut} \times N_{ap}$ para el tramo m de transmisión;

$\mathbf{H}_{eff}(m)$ es una matriz de respuesta efectiva de canal, de dimensiones $N_{ut} \times N_s$, para el tramo m de transmisión, que es $\mathbf{H}_{eff}(m) = \mathbf{H}(m) \cdot \mathbf{V}(m)$; y

$\mathbf{n}(m)$ es un vector de ruido para el tramo m de transmisión.

5 Para mayor simplicidad, se supone que la respuesta $\mathbf{H}(m)$ de canal sea constante sobre cada tramo de transmisión. Las cantidades $\mathbf{H}(m)$, $\mathbf{H}_{eff}(m)$, $\mathbf{r}(m)$ y $\mathbf{n}(m)$ son distintas para distintos terminales de usuario, mientras que las cantidades $\mathbf{V}(m)$ y $\mathbf{s}(m)$ son las mismas para todos los terminales de usuario. Para simplificar la notación, se omite el subíndice “ u ” para el terminal u de usuario, en las cantidades específicas del usuario en la ecuación (4) y en la siguiente descripción.

10 Como se muestra en la ecuación (4), debido al ensanchamiento espacial realizado por el punto de acceso, los N_s flujos de símbolos de datos observan la respuesta efectiva de canal $\mathbf{H}_{eff}(m)$ en lugar de la respuesta real de canal $\mathbf{H}(m)$ para cada terminal de usuario. Si se usan múltiples matrices guía para la transmisión difundida, entonces cada flujo de símbolos de datos efectivamente observa un conjunto de canales espaciales de $\mathbf{H}(m)$. Además, si se usan múltiples matrices guía en la extensión de un bloque de código, entonces los símbolos de datos en el bloque de código
15 observarían distintos canales en la extensión del bloque de código.

En general, el punto de acceso puede difundir cualquier número de (N_D) flujos de datos simultáneamente a los terminales de usuario, donde $N_s \geq N_D \geq 1$. Por ejemplo, si $N_D = N_s$, entonces el punto de acceso puede difundir un flujo de datos por cada canal espacial de $\mathbf{H}_{eff}(m)$. El número máximo de flujos de datos que pueden ser difundidos simultáneamente está determinado por el número de canales espaciales para todos los terminales de usuario, el cual,
20 a su vez, está determinado por (1) el número de antenas en el punto de acceso y (2) el número mínimo de antenas en todos los terminales de usuario. Si todos los terminales de usuario están equipados con el mismo número de antenas, entonces $\min \{N_{ap}, N_{ut}\} \geq N_s \geq N_D$. Si $N_D = 1$, entonces el punto de acceso puede difundir un flujo de datos desde sus N_{ap} antenas.

La FIG. 2 muestra un proceso 200 para difundir datos con ensanchamiento espacial. Inicialmente, el punto de acceso
25 procesa datos para N_D flujos de datos, para obtener un conjunto de N_D bloques de símbolos de datos, un bloque para cada flujo de datos (bloque 212). Cada bloque de símbolos de datos contiene símbolos de datos generados a partir de un bloque de datos codificados, que puede ser llamado un bloque de código o un paquete de datos codificados. El procesamiento de datos puede ser realizado según se describe más adelante. El punto de acceso divide luego los N_D bloques de símbolos de datos en N_M sub-bloques de símbolos de datos a difundir en N_M tramos de transmisión, un sub-bloque en cada tramo de transmisión (bloque 214). N_M también se denomina la longitud del bloque y es mayor que uno,
30 o $N_M > 1$. Cada sub-bloque puede contener uno o más símbolos de datos de cada uno de los N_D bloques. Por ejemplo, si $N_D = N_s$, entonces cada sub-bloque puede contener N_s símbolos de datos procedentes de N_s bloques para N_s flujos de datos. Como otro ejemplo, si $N_D = 1$, entonces cada sub-bloque puede contener N_s símbolos de datos procedentes de un bloque para un flujo de datos. El índice m usado para indicar el tramo de transmisión para el conjunto actual de bloques de símbolos de datos se fija en 1 (bloque 216).

Para cada tramo m de transmisión, el punto de acceso selecciona una matriz guía, que es indicada como $\mathbf{V}(m)$, p. ej., a partir del conjunto de L matrices guía (bloque 218). El punto de acceso realiza luego el procesamiento espacial sobre el sub-bloque m de símbolos de datos con la matriz guía $\mathbf{V}(m)$, para obtener símbolos de transmisión (bloque 220). Si el tramo m de transmisión abarca un vector de símbolos de datos, entonces el punto de acceso forma un vector $\mathbf{s}(m)$ con
40 hasta N_s símbolos de datos, a partir del sub-bloque m de símbolos de datos, y procesa espacialmente el vector $\mathbf{s}(m)$ con la matriz $\mathbf{V}(m)$, para obtener el vector $\mathbf{x}_{mimo}(m)$, según se muestra en la ecuación (3). Si el tramo m de transmisión abarca múltiples (N_v) vectores de símbolos de datos, entonces el punto de acceso forma N_v vectores $\mathbf{s}_l(m)$, para $l = 1 \dots N_v$, a partir del sub-bloque m de símbolos de datos, y procesa espacialmente cada vector $\mathbf{s}_l(m)$ con la misma matriz guía $\mathbf{V}(m)$, para obtener un correspondiente vector $\mathbf{x}_{mimo,l}(m)$ de símbolos de transmisión. En cualquier caso, el punto de acceso usa la misma matriz guía $\mathbf{V}(m)$ para el procesamiento espacial, para todos los vectores de símbolos de datos en el tramo m de transmisión. El punto de acceso, además, procesa y difunde los vectores resultantes de símbolos de transmisión mediante las N_{ap} antenas de transmisión en el tramo m de transmisión (bloque 222).

Se toma luego una determinación en cuanto a si todos los N_M sub-bloques de símbolos de datos han sido o no procesados y transmitidos (es decir, si $m = N_M$) (bloque 224). Si la respuesta es “No”, entonces el índice m es incrementado para el siguiente sub-bloque, o tramo de transmisión (bloque 226), y el proceso vuelve al bloque 218. Si la respuesta es “Sí” para el bloque 224, entonces se toma una determinación en cuanto a si hay o no más datos para difundir (bloque 228). Si la respuesta es “Sí”, entonces el proceso vuelve al bloque 212 para iniciar el procesamiento para el siguiente conjunto de bloques de símbolos. En caso contrario, el proceso termina.
50

Cada conjunto de bloques de símbolos de datos es, por tanto, procesado espacialmente con N_M matrices guía, para obtener N_{ap} secuencias de símbolos de transmisión. Cada secuencia de símbolos de transmisión es difundida desde
55

una antena en N_M tramos de transmisión. Las N_M matrices guía aleatorizan el canal efectivo de MIMO observado por cada terminal de usuario, para los N_D bloques de símbolos de datos. La aleatorización del canal de MIMO resulta a partir del uso de distintas matrices guía, y no necesariamente a partir de la aleatoriedad en los elementos de las matrices guía.

- 5 Como se ha indicado anteriormente, puede definirse un tramo de transmisión para abarcar uno o más periodos de símbolos y / o una o más sub-bandas. Para prestaciones mejoradas, es deseable seleccionar el tramo de transmisión para que sea tan pequeño como sea posible, de modo que (1) más matrices guía puedan ser usadas para cada bloque de símbolos de datos y (2) cada terminal de usuario pueda obtener tantas “visiones” del canal de MIMO como sea posible para cada bloque de símbolos de datos. El tramo de transmisión también debería ser más corto que el tiempo de coherencia del canal de MIMO, que es la duración temporal durante la cual puede suponerse que el canal de MIMO sea aproximadamente estático. De manera similar, el tramo de transmisión debería ser más pequeño que el ancho de banda de coherencia del canal de MIMO para un sistema de banda ancha (p. ej., un sistema de OFDM).

B. Recepción de difusión de MIMO

- 15 La **FIG. 3** muestra un proceso 300 para recibir una transmisión difundida con ensanchamiento espacial, por parte de un terminal de usuario dado. Inicialmente, el índice m usado para indicar el tramo de transmisión para el conjunto actual de bloques de símbolos de datos se fija en 1 (bloque 312). El terminal de usuario obtiene símbolos de datos desde las N_{ut} antenas de recepción para el sub-bloque m de símbolos de datos (bloque 314). El terminal de usuario determina la matriz guía $\underline{\mathbf{V}}(m)$ usada por el punto de acceso para el sub-bloque m (bloque 316) y usa $\underline{\mathbf{V}}(m)$ para obtener $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}(m)$, que es una estimación de la respuesta de canal del canal efectivo de MIMO observado por el terminal de usuario para el sub-bloque m (bloque 318). En la siguiente descripción, “^” sobre una matriz, un vector o un escalar indica una estimación de la matriz, vector o escalar efectivos. El terminal de usuario realiza luego el procesamiento espacial del receptor sobre los símbolos de datos recibidos con la estimación $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal y obtiene símbolos detectados (o estimaciones de símbolos de datos) para el sub-bloque m (bloque 320).

- 25 Se toma luego una determinación en cuanto a si todos los N_M sub-bloques de símbolos de datos para el actual conjunto de bloques de símbolos de datos han sido o no recibidos (es decir, si $m = N_M$) (bloque 322). Si la respuesta es “No”, entonces el índice m es incrementado para el siguiente sub-bloque, o tramo de transmisión (bloque 324), y el proceso vuelve al bloque 314. Si la respuesta es “Sí” para el bloque 322, entonces el terminal de usuario procesa (p. ej., demodula, desintercala y descodifica) los símbolos detectados para todos los N_M sub-bloques, para obtener datos descodificados para el actual conjunto de bloques de símbolos de datos (bloque 326). Se toma luego una determinación en cuando a si hay o no más datos para recibir (bloque 328). Si la respuesta es “Sí”, entonces el proceso vuelve al bloque 312 para empezar a recibir el siguiente conjunto de bloques de símbolos de datos. En caso contrario, el proceso termina.

- 35 Cada terminal de usuario puede obtener estimaciones de los símbolos de datos transmitidos, usando diversas técnicas de procesamiento del receptor. Estas técnicas incluyen una técnica de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI) (que también es usualmente mencionada como una técnica de cero forzado), una técnica de mínimos errores cuadrados medios (MMSE), una técnica de cancelación sucesiva de interferencia (SIC), etc. En la siguiente descripción, un flujo de símbolos de datos es difundido por cada canal espacial de $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$.

Para la técnica de CCMI, el terminal de usuario obtiene una matriz $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$ de filtro espacial, para cada tramo m de transmisión, en base a la estimación $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal, según lo siguiente:

$$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = [\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}^H(m) \cdot \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}(m)]^{-1} \cdot \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}^H(m) = \underline{\mathbf{R}}^{-1}(m) \cdot \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}^H(m) , \quad \text{Ec. (5)}$$

- 40 donde “H” indica la traspuesta conjugada. El terminal de usuario puede estimar la matriz de respuesta de canal, p. ej., en base a los símbolos piloto recibidos. Un símbolo piloto es un símbolo de modulación para la señal piloto, que son datos que son conocidos a priori tanto por el punto de acceso como por los terminales de usuario. El terminal de usuario puede luego calcular la matriz estimada de respuesta efectiva de canal como $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) = \hat{\underline{\mathbf{H}}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$. Alternativamente, el terminal de usuario puede estimar directamente la matriz de respuesta efectiva de canal, p. ej., en base a símbolos piloto recibidos que hayan sido transmitidos usando $\underline{\mathbf{V}}(m)$.

El terminal de usuario realiza el procesamiento espacial de CCMI según lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \hat{\mathbf{s}}_{ccmi}(m) &= \mathbf{M}_{ccmi}(m) \cdot \mathbf{r}(m) , \\
 &= \mathbf{R}^{-1}(m) \cdot \hat{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot [\mathbf{H}_{eff}(m) \cdot \mathbf{s}(m) + \mathbf{n}(m)] , \\
 &= \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}_{ccmi}(m) ,
 \end{aligned}
 \tag{Ec. (6)}$$

donde

$\hat{\mathbf{s}}_{ccmi}(m)$ es un vector de dimensiones $N_S \times 1$ con símbolos detectados para el tramo m de transmisión; y

$\mathbf{n}_{ccmi}(m) = \mathbf{M}_{ccmi}(m) \cdot \mathbf{n}(m)$ es el ruido filtrado de CCMI para el tramo m de transmisión.

La SNR para la técnica CCMI puede ser expresada como:

$$\gamma_{ccmi,\ell}(m) = \frac{P_\ell(m)}{r_{\ell\ell}(m) \sigma_n^2} , \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_S , \tag{Ec. (7)}$$

5 donde $P_\ell(m)$ es la potencia de transmisión para el flujo $\{s_\ell\}$ de símbolos de datos en el tramo m de transmisión; $r_{\ell\ell}(m)$ es el ℓ -ésimo elemento diagonal de $\mathbf{R}^{-1}(m)$;

σ_n^2 es la varianza del ruido en el terminal de usuario; y

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

10 La cantidad $P_\ell(m) / \sigma_n^2$ es la SNR del flujo $\{s_\ell\}$ de símbolos de datos en el terminal de usuario antes del procesamiento espacial del receptor, y es usualmente mencionada como la SNR recibida, la SNR operativa o el margen de enlace. La cantidad $\gamma_{ccmi,\ell}(m)$ es la SNR del flujo $\{s_\ell\}$ de símbolos de datos después del procesamiento espacial del receptor y también es mencionada como la SNR de pos-detección. En la siguiente descripción, "SNR" se refiere a la SNR de pos-detección, a menos que se indique lo contrario. Debido a la estructura de $\mathbf{R}(m)$, la técnica CCMI puede amplificar el ruido.

15 Para la técnica MMSE, el terminal de usuario obtiene una matriz $\mathbf{M}_{mmse}(m)$ de filtro espacial para cada tramo m de transmisión, en base a la estimación $\hat{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal, según lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M}_{mmse}(m) &= [\hat{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \hat{\mathbf{H}}_{eff}(m) + \underline{\varphi}_{nn}(m)]^{-1} \cdot \hat{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) , \\
 &= [\hat{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \hat{\mathbf{H}}_{eff}(m) + \sigma_n^2 \mathbf{I}]^{-1} \cdot \hat{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) ,
 \end{aligned}
 \tag{Ec. (8)}$$

donde $\underline{\varphi}_{nn}(m)$ es una matriz de auto-covarianza del vector $\mathbf{n}(m)$ de ruido, que es $\underline{\varphi}_{nn}(m) = E[\mathbf{n}(m) \cdot \mathbf{n}^H(m)]$, donde $E[x]$ es el valor esperado de x . La segunda igualdad en la ecuación (8) supone que el vector $\mathbf{n}(m)$ de ruido es AWGN, con

20 media cero y varianza de σ_n^2 . La matriz $\mathbf{M}_{mmse}(m)$ de filtro espacial minimiza el error cuadrado mínimo entre las estimaciones de símbolos procedentes del filtro espacial y los símbolos de datos.

El terminal de usuario realiza el procesamiento espacial de MMSE según lo siguiente:

$$\begin{aligned}\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(m) &= \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}(m) \quad , \\ &= \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m)] \quad , \\ &= \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{Q}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}_{mmse}(m) \quad ,\end{aligned}\tag{Ec. (9)}$$

donde

$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(m)$ es un vector de dimensiones $N_s \times 1$ con símbolos detectados para el tramo m de transmisión;

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

5 $\underline{\mathbf{n}}_{mmse}(m) = \underline{\mathbf{D}}_Q(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{n}}(m)$ es el ruido filtrado de MMSE.

Las estimaciones de símbolos a partir del filtro espacial son estimaciones no normalizadas de los símbolos de datos. La multiplicación por la matriz $\underline{\mathbf{D}}_Q(m)$ de ajuste a escala proporciona estimaciones normalizadas de los símbolos de datos.

La SNR para la técnica MMSE puede ser expresada como:

$$\gamma_{mmse,\ell}(m) = \frac{q_{\ell\ell}(m)}{1 - q_{\ell\ell}(m)} P_\ell(m) \quad , \quad \text{para} \quad \ell = 1 \dots N_s \quad , \tag{Ec. (10)}$$

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

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

Para la técnica SIC, el terminal de usuario procesa los N_{ut} flujos de símbolos recibidos en N_D etapas sucesivas para los N_D flujos de datos. Para cada etapa, el terminal de usuario realiza el procesamiento espacial, ya sea sobre los N_{ut} flujos de símbolos recibidos o bien sobre los N_{ut} flujos de símbolos modificados de la etapa precedente (p. ej., usando CCML, MMSE o alguna otra técnica) para obtener un flujo de símbolos detectados. El terminal de usuario procesa luego (p. ej., demodula, desintercala y descodifica) este flujo de símbolos detectados para obtener un correspondiente flujo de datos descodificados. El terminal de usuario, a continuación, estima y cancela la interferencia debida a este flujo y obtiene N_{ut} flujos de símbolos modificados para la siguiente etapa. El terminal de usuario repite luego el mismo procesamiento sobre los N_{ut} flujos de símbolos modificados, para recuperar otro flujo de datos. Si la interferencia debida a cada flujo de datos puede ser estimada y cancelada con precisión, entonces los flujos de datos recuperados más tarde experimentan menos interferencia y, en general, son capaces de lograr mayores SNR en promedio. Esto permite que la difusión de MIMO emplee mayores velocidades de datos sobre aquellos flujos que son detectados más tarde, mejorando efectivamente el rendimiento de la difusión. Si se emplean distintas velocidades de datos en distintos flujos de datos transmitidos, entonces los terminales de usuario pueden descodificar estos flujos en un orden predeterminado, desde el flujo de la más baja velocidad de datos hasta el flujo de la más alta velocidad de datos.

Para la técnica SIC, pueden lograrse prestaciones mejoradas estimando la interferencia, usando datos descodificados en lugar de los símbolos detectados. En este caso, los N_D bloques de símbolos de datos para cada longitud de bloque son recuperados, un bloque por vez. Cada bloque de símbolos de datos es detectado y descodificado en una etapa, y los datos descodificados son usados para estimar y cancelar la interferencia debida al bloque de símbolos de datos.

30 Para mayor claridad, la siguiente descripción supone que (1) $N_D = N_s$ y cada bloque / flujo de símbolos de datos es transmitido como una entrada del vector $\underline{\mathbf{s}}(m)$ de símbolos de datos y (2) los N_D flujos de símbolos de datos son recuperados en orden secuencial, de modo que el flujo $\{s_\ell\}$ de símbolos de datos es recuperado en la etapa ℓ , donde $\ell = 1 \dots N_s$. Para la técnica SIC, los flujos de símbolos de entrada (recibidos o modificados) para la etapa ℓ , donde $\ell = 1 \dots N_s$, pueden ser expresados como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(m) = \underline{\mathbf{H}}_{eff}^\ell(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}^\ell(m) + \underline{\mathbf{n}}^\ell(m) \quad , \tag{Ec. (11)}$$

35 donde

$\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell}(m)$ es un vector de N_{ut} símbolos modificados para el tramo m de transmisión en la etapa ℓ , y $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^1(m) = \underline{\mathbf{r}}(m)$ para la primera etapa;

$\underline{\mathbf{s}}^{\ell}(m)$ es un vector de $N_s - \ell + 1$ símbolos de datos no recuperados aún para el tramo m de transmisión en la etapa ℓ ;

5 $\underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m)$ es una matriz reducida de respuesta efectiva de canal, de dimensiones $N_{ut} \times (N_{ap} - \ell + 1)$, para el tramo m de transmisión en la etapa ℓ ; y

$\underline{\mathbf{n}}^{\ell}(m)$ es un vector reducido de $\underline{\mathbf{n}}(m)$.

La ecuación (11) supone que los flujos de símbolos de datos recuperados en las $\ell - 1$ etapas anteriores son cancelados. Las dimensiones de la matriz $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ se reducen sucesivamente en una columna para cada etapa, según es recuperado y cancelado un flujo de símbolos de datos. Para la etapa ℓ , la matriz reducida $\underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m)$ de respuesta efectiva de canal se obtiene eliminando $\ell - 1$ columnas en la matriz $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ original, correspondiente a los $\ell - 1$ flujos de

10 símbolos de datos previamente recuperados, o bien $\underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m) = [\underline{\mathbf{h}}_{eff,t}^{\ell}(m) \ \underline{\mathbf{h}}_{eff,t+1}^{\ell}(m) \ \dots \ \underline{\mathbf{h}}_{eff,N_s}^{\ell}(m)]$, donde $\underline{\mathbf{h}}_{eff,t}^{\ell}(m)$ es un vector de dimensiones $N_{ut} \times 1$ para la respuesta efectiva de canal observada por el flujo $\{s_t\}$ de símbolos de datos en el tramo m de transmisión.

Para la etapa ℓ , el terminal de usuario obtiene una matriz $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m)$ de filtro espacial, basada en la estimación reducida $\underline{\hat{\mathbf{H}}}_{eff}^{\ell}(m)$ de respuesta efectiva de canal (en lugar de la estimación original $\underline{\hat{\mathbf{H}}}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal), usando la técnica CCML, según se muestra en la ecuación (5), la técnica MMSE, según se muestra en la ecuación (8), o alguna otra técnica. La matriz $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m)$ de filtro espacial tiene dimensiones de $(N_s - \ell + 1) \times N_{ut}$. Dado que $\underline{\hat{\mathbf{H}}}_{eff}^{\ell}(m)$ es distinta para cada etapa, la matriz $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m)$ también es distinta para cada etapa.

El terminal de usuario realiza el procesamiento espacial para la etapa ℓ , según lo siguiente:

$$\begin{aligned} \underline{\hat{\mathbf{s}}}_{sic}^{\ell}(m) &= \underline{\mathbf{D}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell}(m) \quad , \\ &= \underline{\mathbf{D}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}^{\ell}(m) + \underline{\mathbf{n}}^{\ell}(m)] \quad , \quad \text{Ec. (12)} \\ &= \underline{\mathbf{D}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{Q}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}^{\ell}(m) + \underline{\mathbf{n}}_{sic}^{\ell}(m) \quad , \end{aligned}$$

20 donde

$\underline{\hat{\mathbf{s}}}_{sic}^{\ell}(m)$ es un vector con $N_s - \ell + 1$ símbolos detectados para el tramo m de transmisión en la etapa ℓ ;

$$\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^{\ell}(m) = \underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m)$$

$\underline{\mathbf{D}}_{sic}^{\ell}(m)$ es una matriz de elementos diagonales de $[\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^{\ell}(m)]^{-1}$; y

$\underline{\mathbf{n}}_{sic}^{\ell}(m)$ es el ruido filtrado para el tramo m de transmisión en la etapa ℓ .

25 El terminal de usuario selecciona uno de los flujos de símbolos detectados para su recuperación.

Dado que solamente se recupera un flujo de símbolos de datos en cada etapa, el terminal de usuario puede sencillamente obtener un vector fila $\underline{\mathbf{m}}^{\ell}(m)$ de filtro espacial, de dimensiones $1 \times N_{ut}$, para el flujo $\{s_t\}$ de símbolos de

datos a recuperar en la etapa ℓ . El vector fila $\underline{\mathbf{m}}^{\ell}(m)$ es una fila de la matriz $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^{\ell}(m)$. En este caso, el procesamiento espacial para la etapa ℓ puede ser expresado como:

$$\hat{\mathbf{s}}_{\ell}(m) = \alpha_{\ell} \cdot \underline{\mathbf{m}}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell}(m) = \alpha_{\ell} \cdot \underline{\mathbf{q}}^{\ell}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}^{\ell}(m) + \underline{\mathbf{n}}^{\ell}(m) \quad , \quad \text{Ec. (13)}$$

donde $\underline{\mathbf{q}}^{\ell}(m)$ es la fila de $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^{\ell}(m)$ correspondiente al flujo $\{s_{\ell}\}$ de símbolos de datos y α_{ℓ} es un factor de escala para el flujo $\{s_{\ell}\}$ de símbolos de datos.

- 5 En cualquier caso, el terminal de usuario procesa (p. ej., demodula, desintercala y descodifica) el flujo $\{\hat{s}_{\ell}\}$ de símbolos detectado para obtener un flujo $\{\hat{d}_{\ell}\}$ de datos descodificados. El terminal de usuario también forma una estimación de la interferencia que este flujo causa a los otros flujos de símbolos de datos no recuperados aún. Para estimar la interferencia, el terminal de usuario recodifica, intercala y correlaciona con símbolos el flujo $\{\hat{d}_{\ell}\}$ de datos descodificados, de la misma manera que la efectuada en el punto de acceso, y obtiene un flujo de símbolos $\{\tilde{s}_{\ell}\}$
- 10 "remodulados", que es una estimación del flujo $\{s_{\ell}\}$ de símbolos de datos recién recuperado. El terminal de usuario convolucionna luego el flujo $\{\tilde{s}_{\ell}\}$ de símbolos remodulados con cada uno de los N_{ut} elementos en el vector $\underline{\mathbf{h}}_{eff,\ell}(m)$ de respuesta efectiva de canal para el flujo $\{s_{\ell}\}$, para obtener los N_{ut} componentes $\underline{\mathbf{i}}^{\ell}(m)$ de interferencia producidos por este flujo. Los N_{ut} componentes de interferencia son luego restados a los N_{ut} flujos $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell}(m)$ de símbolos modificados para la etapa ℓ , para obtener N_{ut} flujos $\underline{\mathbf{r}}_{sic,u}^{\ell+1}(m)$ de símbolos modificados para la siguiente etapa, o bien
- 15 $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell+1}(m) = \underline{\mathbf{r}}_{sic}^{\ell}(m) - \underline{\mathbf{i}}^{\ell}(m)$. Los flujos $\underline{\mathbf{r}}_{sic,u}^{\ell+1}(m)$ de símbolos modificados representan los flujos que habrían sido recibidos si el flujo $\{s_{\ell}\}$ de símbolos de datos no hubiera sido transmitido, suponiendo que la cancelación de interferencia fuera efectivamente realizada.

Para la técnica SIC, la SNR de cada flujo de símbolos de datos depende de (1) la técnica de procesamiento espacial (p. ej., CCMI o MMSE) usada para cada etapa, (2) la etapa específica en la cual se recupera el flujo de símbolos de datos y (3) la magnitud de la interferencia debida a los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas posteriores. La SNR para la técnica SIC con CCMI puede ser expresada como:

$$\gamma_{sic-ccmi,\ell}(m) = \frac{P_{\ell}(m)}{r_{\ell}(m) \sigma_n^2} \quad , \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_s \quad , \quad \text{Ec. (14)}$$

donde $r_{\ell}(m)$ es el elemento diagonal de $[\underline{\mathbf{R}}^{\ell}(m)]^{-1}$ para el flujo $\{s_{\ell}\}$ de símbolos de datos, y $\underline{\mathbf{R}}^{\ell}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m)]^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m)$.

La SNR para la técnica SIC con MMSE puede ser expresada como:

$$\gamma_{sic-mmse,\ell}(m) = \frac{q_{\ell}(m)}{1 - q_{\ell}(m)} P_{\ell}(m) \quad \text{para } \ell = 1 \dots N_s \quad , \quad \text{Ec. (15)}$$

- 25 donde $q_{\ell}(m)$ es el elemento diagonal de $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^{\ell}(m)$ para el flujo $\{s_{\ell}\}$ de símbolos de datos, donde $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^{\ell}(m)$ se obtiene según se muestra para la ecuación (9), pero en base a la matriz reducida $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{eff}^{\ell}(m)$ de respuesta efectiva de canal, en lugar de la matriz original $\underline{\hat{\mathbf{H}}}_{eff}^{\ell}(m)$ de respuesta efectiva de canal.

En general, la SNR mejora progresivamente para los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas posteriores, porque se cancela la interferencia de los flujos de símbolos de datos recuperados en etapas anteriores. Esto permite luego que se usen velocidades mayores para los flujos de símbolos de datos recuperados más tarde.

La descripción anterior para la técnica SIC supone que cada bloque de símbolos de datos es enviado como una entrada de $\underline{s}(m)$. En general, cada etapa descodifica y recupera un bloque de símbolos de datos, que puede haber sido demultiplexado y enviado en cualquier número de entradas de $\underline{s}(m)$. La descripción anterior también supone que los flujos de datos son recuperados en un orden secuencial determinado por el índice ℓ de flujo. Pueden lograrse mejores prestaciones recuperando los flujos de datos en un orden secuencial determinado por sus SNR requeridas. Por ejemplo, el flujo de datos que requiere la SNR más baja (p. ej., el flujo de datos enviado con la más baja velocidad de datos y / o la más alta potencia de transmisión) puede ser recuperado primero, seguido por el flujo de datos con la siguiente SNR requerida más baja, y así sucesivamente.

C. Selección de matriz guía

Como se ha señalado anteriormente, un conjunto de L matrices guía puede ser generado y usado para el ensanchamiento espacial. Las matrices guía en el conjunto pueden ser seleccionadas para su uso de diversas maneras. En una realización, las matrices guía son seleccionadas en el conjunto de manera determinística. Por ejemplo, las L matrices guía pueden ser recorridas cíclicamente y seleccionadas en orden secuencial, comenzando con la primera matriz guía $\underline{V}(1)$, luego la segunda matriz guía $\underline{V}(2)$, y así sucesivamente, y luego la última matriz guía $\underline{V}(L)$. En otra realización, las matrices guía son seleccionadas en el conjunto de manera pseudo-aleatoria. Por ejemplo, la matriz guía a usar para cada tramo m de transmisión puede ser seleccionada en base a una función $f(m)$ que selecciona pseudo-aleatoriamente una de las L matrices guía, o la matriz guía $\underline{V}(f(m))$. En otra realización más, las matrices guía son seleccionadas en el conjunto de manera "permutada". Por ejemplo, las L matrices guía pueden ser recorridas cíclicamente y seleccionadas para su uso en orden secuencial. Sin embargo, la matriz guía del comienzo para cada ciclo puede ser seleccionada de manera pseudo-aleatoria, en lugar de ser siempre la primera matriz guía $\underline{V}(1)$. Las L matrices guía también pueden ser seleccionadas de otras maneras, y esto también está dentro del ámbito de la invención.

La selección de matrices guía también puede depender del número de matrices guía (L) en el conjunto y de la longitud de bloque (N_M). En general, el número de matrices guía puede ser mayor, igual o menor que la longitud de bloque. La selección de matrices guía para estos tres casos puede ser realizada según se describe más adelante.

Si $L = N_M$, entonces el número de matrices guía coincide con la longitud de bloque. En este caso, una matriz guía distinta puede ser seleccionada para cada uno de los N_M tramos de transmisión usados para difundir un conjunto de bloques de símbolos de datos. Las N_M matrices guía para los N_M tramos de transmisión pueden ser seleccionadas de manera determinística, pseudo-aleatoria o permutada, según lo descrito anteriormente.

Si $L < N_M$, entonces la longitud de bloque es mayor que el número de matrices guía en el conjunto. En este caso, las matrices guía son reutilizadas para cada conjunto de bloques de símbolos de datos, y pueden ser seleccionadas según lo descrito anteriormente.

Si $L > N_M$, entonces se usa un subconjunto de las matrices guía para cada conjunto de bloques de símbolos de datos. La selección del subconjunto específico a usar para cada conjunto de bloques de símbolos de datos puede ser determinística o pseudo-aleatoria. Por ejemplo, la primera matriz guía a usar para el actual conjunto de bloques de símbolos de datos puede ser la matriz guía posterior a la última usada para un anterior conjunto de bloques de símbolos de datos.

D. Sistema de MIMO

La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques de un punto 110 de acceso y un terminal 120 de usuario en el sistema 100 de MIMO. El terminal 120 de usuario es uno de los terminales de usuario en la FIG. 1. En el punto 110 de acceso, un procesador 420 de datos de TX recibe y procesa (p. ej., codifica, intercala y modula) datos para N_D flujos de datos y proporciona N_S flujos de símbolos de datos, donde $N_S \geq N_D \geq 1$. Un procesador espacial 430 de TX recibe y procesa espacialmente los N_S flujos de símbolos de datos para el ensanchamiento espacial, ingresa multiplexados los símbolos piloto y proporciona N_{ap} flujos de símbolos de transmisión a N_{ap} unidades transmisoras (TMTR) 432a a 432ap. El procesamiento por el procesador 420 de datos de TX se describe más adelante, y el procesamiento espacial por el procesador espacial 430 de TX es como se ha descrito anteriormente. Cada unidad transmisora 432 acondiciona (p. ej., convierte a analógico, filtra, amplifica y aumenta la frecuencia) un respectivo flujo de símbolos de transmisión, para generar una señal modulada. N_{ap} unidades transmisoras 432a a 432ap proporcionan N_{ap} señales moduladas para su transmisión desde las N_{ap} antenas 434a a 434ap, respectivamente.

En el terminal 120 de usuario, N_{ut} antenas 452a a 452ut reciben las N_{ap} señales transmitidas, y cada antena 452 proporciona una señal recibida a una respectiva unidad receptora (RCVR) 454. Cada unidad receptora 454 realiza procesamiento complementario al realizado por la unidad transmisora 432 y proporciona (1) símbolos de datos recibidos a un procesador espacial 460 de RX y (2) símbolos piloto recibidos a un estimador 484 de canal dentro de un controlador 480. El procesador espacial 460 de recepción realiza el procesamiento espacial sobre N_{ut} flujos de símbolos recibidos desde N_{ut} unidades receptoras 454a a 454ut, con matrices de filtro espacial, desde el controlador

480, y proporciona N_S flujos de símbolos detectados, que son estimaciones de los N_S flujos de símbolos de datos difundidos por el punto 110 de acceso. Un procesador 470 de datos de RX procesa luego (p. ej., decorrelaciona, desintercala y descodifica) los N_S flujos de símbolos detectados y proporciona N_D flujos de datos descodificados, que son estimaciones de los N_D flujos de datos.

- 5 Los controladores 440 y 480 controlan el funcionamiento de diversas unidades de procesamiento en el punto 110 de acceso y el terminal 120 de usuario, respectivamente. Las unidades 442 y 482 de memoria almacenan datos y / o códigos de programa usados, respectivamente, por los controladores 440 y 480.

10 La FIG. 5A muestra un diagrama de bloques de un procesador 420a de datos de TX y un procesador espacial 430a, que son una realización del procesador 420 de datos de TX y del procesador espacial 430 de TX en el punto 110 de acceso. Para esta realización, el procesador 420a de datos de TX incluye N_D procesadores 520a a 520nd de flujos de datos de TX, para N_D flujos de datos, $\{d_\ell\}$ para $\ell = 1 \dots N_D$.

15 Dentro de cada procesador 520 de flujos de datos de TX, un codificador 522 recibe y codifica el flujo $\{d_\ell\}$ de datos en base a un esquema de codificación, y proporciona bits de código. El flujo de datos puede llevar uno o más paquetes de datos, y cada paquete de datos es habitualmente codificado por separado, para obtener un bloque de código o paquete de datos codificados. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. El esquema de codificación puede incluir la generación de controles de redundancia cíclica (CRC), la codificación convolutiva, la codificación Turbo, la codificación de controles de paridad de baja densidad (LDPC), la codificación de bloques, otra codificación o una combinación de las mismas. Con el ensanchamiento espacial, la SNR puede variar en la extensión de un bloque de código, incluso si el canal de MIMO es estático sobre el bloque de código. Un esquema de codificación suficientemente potente puede ser usado para combatir la variación de la SNR en la extensión del bloque de código, de modo que el rendimiento codificado sea proporcional a la SNR media en la extensión del bloque de código. Algunos esquemas ejemplares de codificación que pueden proporcionar buenas prestaciones para el ensanchamiento espacial incluyen el código Turbo (p. ej., el definido por la norma IS-856), el código de LDPC y el código convolutivo.

20 Un intercalador 524 de canal intercala (es decir, reordena) los bits de código en base a un esquema de intercalación, para lograr diversidad de frecuencia, de tiempo y / o espacial. La intercalación puede ser realizada sobre un bloque de código, un bloque de código parcial, múltiples bloques de código, uno o más tramos de transmisión, etc. Una unidad 526 de correlación de símbolos correlaciona los bits intercalados en base a un esquema de modulación y proporciona un flujo de símbolos $\{s_\ell\}$ de datos. La unidad 526 agrupa cada conjunto de B bits intercalados para formar un valor de B bits, donde $B \geq 1$, y además correlaciona cada valor de B bits con un símbolo específico de modulación basado en el esquema de modulación (p. ej., QPSK, M-PSK o M-QAM, donde $M = 2^B$). La unidad 526 proporciona un bloque de símbolos de datos para cada bloque de código.

25 En la FIG. 5A, N_D procesadores 520a a 520nd de flujos de datos procesan los N_D flujos de datos y proporcionan N_D bloques de símbolos de datos para cada longitud de bloque de N_M tramos de transmisión. Un procesador 520 de flujos de datos de TX también puede procesar los N_D flujos de datos, p. ej., de manera multiplexada por división del tiempo (TDM). Los mismos, o distintos, esquemas de codificación y modulación pueden ser usados para los N_D flujos de datos. Además, las mismas, o distintas, velocidades de datos pueden ser usadas para los N_D flujos de datos. La velocidad de datos para cada flujo de datos está determinada por los esquemas de codificación y modulación usados para ese flujo.

30 Un multiplexador / demultiplexador (Mux / Demux) 528 recibe y multiplexa / demultiplexa los símbolos de datos para los N_D flujos de datos en N_S flujos de símbolos de datos. Si $N_D = N_S$, entonces el Mux / Demux 528 puede sencillamente proporcionar los símbolos de datos para cada flujo de datos como un respectivo flujo de símbolos de datos. Si $N_D = 1$, entonces el Mux / Demux 528 demultiplexa los símbolos de datos para dicho flujo de datos en N_S flujos de símbolos de datos.

35 El procesador espacial 430a de TX recibe N_D bloques de símbolos de datos desde el procesador 420a de datos de TX y N_M matrices guía $\underline{V}(m)$ desde el controlador 440, para cada longitud de bloque de N_M tramos de transmisión. Las matrices guía pueden ser extraídas desde un almacenamiento 542 de matrices guía (SM) dentro de la unidad 442 de memoria, o generadas por el controlador 440 según se necesiten. Dentro del procesador espacial 430a de TX, una unidad 532 de multiplicación matricial realiza el procesamiento espacial sobre los símbolos de datos para cada tramo m de transmisión con la matriz guía $\underline{V}(m)$ y proporciona símbolos de transmisión para ese tramo de transmisión. Un multiplexador 534 multiplexa los símbolos de transmisión con símbolos piloto, p. ej., de manera multiplexada por división del tiempo. Para cada tramo de transmisión, el procesador espacial 430a de TX proporciona N_{ap} secuencias de símbolos de transmisión para su difusión desde las N_{ap} antenas del punto de acceso, en uno o más periodos de símbolos y / o sobre una o más sub-bandas para ese tramo de transmisión. El procesador espacial 430a de TX multiplexa además las N_{ap} secuencias de símbolos de transmisión para distintos tramos de transmisión y proporciona N_{ap} flujos de símbolos de transmisión, $\{x_j\}$, para $j = 1 \dots N_{ap}$, para las N_{ap} antenas del punto de acceso.

55 La FIG. 5B muestra un diagrama de bloques de un procesador 420b de datos de TX y un procesador espacial 430b de

TX, que son otra realización del procesador 420 de datos de TX y el procesador espacial 430 de TX en el punto 110 de acceso. Para esta realización, el procesador 420b de datos de TX incluye un procesador 520 de flujos de datos de TX para un flujo $\{d\}$ de datos. El procesador 520 de flujos de datos de TX procesa el flujo $\{d\}$ de datos según lo descrito anteriormente para la FIG. 5A, y proporciona símbolos de datos. Un demultiplexador 529 demultiplexa los símbolos de

5 datos procedentes del procesador 520 en N_S flujos de símbolos de datos, $\{s_\ell\}$, para $\ell = 1 \dots N_S$, por lo que cada bloque de símbolos de datos es difundido por N_S canales espaciales de $\underline{H}(m)$.

Dentro del procesador espacial 430b de TX, un multiplexador 530 recibe los N_S flujos de símbolos de datos desde el procesador 420b de datos de TX, ingresa multiplexados símbolos piloto, y proporciona N_S flujos de datos, o símbolos piloto. La unidad 532 de multiplicación matricial realiza el procesamiento espacial sobre los datos, o símbolos piloto,

10 para cada tramo m de transmisión con la matriz guía $\underline{V}(m)$, y proporciona símbolos de transmisión para ese tramo de transmisión. El procesador espacial 430b de TX proporciona N_{ap} flujos de símbolos de transmisión, $\{x_j\}$ para $j = 1 \dots N_{ap}$, para las N_{ap} antenas del punto de acceso. El procesador espacial 430b de TX realiza el ensanchamiento espacial sobre símbolos, tanto piloto como de datos, mientras que el procesador espacial 430a de TX realiza el ensanchamiento espacial sobre símbolos de datos, pero no símbolos piloto.

15 Las FIGs. 5A y 5B muestran realizaciones ejemplares del procesador 420 de datos de TX y el procesador espacial 430 de TX en el punto 110 de acceso. Los procesadores 420 y 430 también pueden ser implementados de otras maneras, y esto también está dentro del ámbito de la invención.

La FIG. 6A muestra un diagrama de bloques de una realización de las unidades de procesamiento en el terminal 120 de usuario, que puede ser usada conjuntamente con la realización del punto de acceso mostrada en la FIG. 5A. Las N_{ut}

20 unidades receptoras 454a a 454ut proporcionan símbolos piloto recibidos, $\{r_i^p\}$, para $i = 1 \dots N_{ut}$, al estimador 484 de canal. Si el punto 110 de acceso transmite símbolos piloto sin ensanchamiento espacial (según se muestra en la FIG.

5A), entonces el estimador 484 de canal obtiene $\hat{H}(m)$, que es una estimación de la matriz $\underline{H}(m)$ de respuesta de canal, en base a los símbolos piloto recibidos. El estimador 484 de canal obtiene luego la matriz guía $\underline{V}(m)$ para cada tramo m

25 de transmisión y obtiene $\hat{H}_{eff}(m)$, que es una estimación de la matriz de respuesta efectiva de canal, como $\underline{H}_{eff}(m) = \hat{H}(m) \cdot \underline{V}(m)$. El terminal 120 de usuario está sincronizado con el punto 110 de acceso, de modo que ambas entidades usen la misma matriz guía $\underline{V}(m)$ para cada tramo m de transmisión. Si el punto 110 de acceso transmite

30 símbolos piloto con ensanchamiento espacial (según se muestra en la FIG. 5B), entonces el estimador 484 de canal estima directamente la matriz de respuesta efectiva de canal en base a los símbolos piloto recibidos. En cualquier caso, el estimador 484 de canal proporciona la matriz estimada $\hat{H}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal para cada tramo de transmisión.

El controlador 480 obtiene una matriz $\underline{M}(m)$ de filtro espacial y, posiblemente, una matriz diagonal $\underline{D}(m)$, para cada tramo de transmisión, en base a la matriz estimada $\hat{H}_{eff}(m)$, y usando CCMI, MMSE o alguna otra técnica. El

35 procesador espacial 460 de RX obtiene los símbolos de datos recibidos, $\{r_i^d\}$, para $i = 1 \dots N_{ut}$, desde las unidades receptoras 454a a 454ut, y las matrices $\underline{M}(m)$ y $\underline{D}(m)$ desde el controlador 480. El procesador espacial 460 de RX realiza el procesamiento espacial del receptor sobre los símbolos de datos recibidos para cada tramo de transmisión con las matrices $\underline{M}(m)$ y $\underline{D}(m)$, y proporciona símbolos detectados al procesador 470 de datos de RX.

Para la realización mostrada en la FIG. 6A, el procesador 470a de datos de RX incluye un multiplexador / demultiplexador 668 y N_D procesadores 670a a 670nd de flujos de datos de RX, para los N_D flujos de datos. El Mux / Demux 668 recibe y multiplexa / demultiplexa los N_S flujos de símbolos detectados para los N_S canales espaciales en

40 N_D flujos de símbolos detectados para los N_D flujos de datos. Dentro de cada procesador 670 de flujos de datos de RX, una unidad 672 decorrelacionadora de símbolos demodula los símbolos detectados para el flujo de datos asociado, de acuerdo al esquema de modulación usado para ese flujo, y proporciona datos demodulados. Un desintercalador 674 de canal desintercala los datos demodulados de una manera complementaria a la intercalación realizada sobre ese flujo por el punto 110 de acceso. Un descodificador 676 descodifica los datos desintercalados de una manera complementaria a la codificación realizada por el punto 110 de acceso sobre ese flujo. Por ejemplo, un descodificador Turbo o un descodificador de Viterbi pueden ser usados para el descodificador 676, si la codificación Turbo o convolutiva, respectivamente, es realizada por el punto 110 de acceso. El descodificador 676 proporciona un flujo de datos descodificados, que incluye un paquete de datos descodificados para cada bloque de símbolos de datos.

La FIG. 6B muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial 460b de RX y un procesador 470b de datos de RX, que implementan la técnica SIC para el terminal 120 de usuario. El procesador espacial 460b de RX y el procesador 470b de datos de RX implementan N_D etapas en cascada del procesamiento del receptor para los N_D flujos de datos. Para mayor simplicidad, $N_D = N_S$ y cada flujo de símbolos de datos corresponde a un respectivo flujo de datos. Cada una de las etapas 1 a $N_D - 1$ incluye un procesador espacial 660, un cancelador 662 de interferencia, un

50

procesador 670 de flujos de datos de RX y un procesador 680 de flujos de datos de TX. La última etapa incluye solamente un procesador espacial 660nd y un procesador 670nd de flujos de datos de RX. Cada procesador 670 de flujos de datos de RX incluye una unidad de decorrelación de símbolos, un desintercalador de canal y un descodificador, según se muestra en la FIG. 6A. Cada procesador 680 de flujos de datos de TX incluye un codificador, un intercalador de canal y una unidad correlacionadora de símbolos, según se muestra en la FIG. 5B.

Para la etapa 1, el procesador espacial 660a realiza el procesamiento espacial del receptor sobre los N_{ut} flujos de símbolos recibidos y proporciona un flujo $\{\hat{s}_1\}$ de símbolos detectados. El procesador 670a de flujos de datos de RX demodula, desintercala y descodifica el flujo $\{\hat{s}_1\}$ de símbolos detectados y proporciona un correspondiente flujo $\{\hat{d}_1\}$ de datos descodificados. El procesador 680a de flujos de datos de TX codifica, intercala y modula el flujo $\{\hat{d}_1\}$ de datos descodificados de la misma manera realizada por el punto 110 de acceso para ese flujo, y proporciona un flujo $\{\tilde{s}_{11}\}$ de símbolos remodulados. El cancelador 662a de interferencia procesa el flujo $\{\tilde{s}_{11}\}$ de símbolos remodulados con la matriz estimada $\hat{H}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal, para obtener N_{ut} componentes de interferencia, debidos al flujo $\{s_1\}$ de símbolos de datos. Los N_{ut} componentes de interferencia son restados a los N_{ut} flujos de símbolos recibidos para obtener N_{ut} flujos de símbolos modificados, que son proporcionados a la etapa 2.

Cada una de las etapas 2 a $N_D - 1$ realiza el mismo procesamiento que la etapa 1, si bien sobre los N_{ut} flujos de símbolos modificados de la etapa precedente, en lugar de los N_{ut} flujos de símbolos recibidos. La última etapa realiza el procesamiento espacial y descodificación sobre los N_{ut} flujos de símbolos modificados procedentes de la etapa $N_D - 1$ y no realiza la estimación y cancelación de interferencia.

Cada uno de los procesadores espaciales 660a a 660nd puede implementar la técnica CCMI, la MMSE o alguna otra técnica. Cada procesador espacial 660 multiplica un vector $\mathbf{r}_{sic}^{\ell}(m)$ de símbolos de entrada (recibidos o modificados) por una matriz $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(m)$ de filtro espacial, para obtener un vector $\hat{\mathbf{s}}_{sic}^{\ell}(m)$ de símbolos detectados, y proporciona el flujo de símbolos detectados para esa etapa. La matriz $\mathbf{M}_{sic}^{\ell}(m)$ se obtiene en base a la estimación reducida $\hat{\mathbf{H}}_{eff}^{\ell}(m)$ de respuesta efectiva de canal para la etapa.

2. Difusión de MISO

La FIG. 7 muestra un sistema 700 de MISO con un punto 710 de acceso y terminales 720 de usuario. El punto 710 de acceso está equipado con múltiples (N_{ap}) antenas para la transmisión de datos. Cada terminal 720 de usuario está equipado con una única antena para la recepción de datos. Los terminales de usuario pueden estar distribuidos por toda la extensión del área de cobertura del punto 710 de acceso. Un canal distinto de MISO está formado por las N_{ap} antenas en el punto de acceso y la única antena de cada terminal de usuario. El canal de MISO para un terminal de usuario dado puede ser caracterizado por un vector fila \mathbf{h} de respuesta de canal, de dimensiones $1 \times N_{ap}$, que es $\mathbf{h} = \{h_1, h_2 \dots h_{N_{ap}}\}$, donde la entrada h_j , para $j = 1 \dots N_{ap}$, indica el acoplamiento entre la antena j del punto de acceso y la antena del terminal de usuario.

El ensanchamiento espacial puede ser usado para aleatorizar el canal efectivo de MISO observado por cada terminal de usuario de antena única, de modo que las prestaciones de difusión no estén dictadas por la condición esperada del canal del peor caso. Para el sistema de MISO, el punto de acceso realiza el procesamiento espacial con vectores guía, que son matrices guía degeneradas que contienen solamente una columna.

El procesamiento espacial en el punto de acceso para el ensanchamiento espacial en el sistema de MISO puede ser expresado como:

$$\mathbf{x}_{miso}(m) = \mathbf{v}(m) \cdot s(m) , \quad \text{Ec. (16)}$$

donde

$s(m)$ es un símbolo de datos a enviar en el tramo m de transmisión;

$\mathbf{v}(m)$ es un vector guía de dimensiones $N_{ap} \times 1$, para el tramo m de transmisión; y

$\underline{\mathbf{x}}_{miso}(m)$ es un vector de dimensiones $N_{ap} \times 1$, con N_{ap} símbolos de transmisión a enviar desde las N_{ap} antenas del punto de acceso en el tramo m de transmisión.

Un conjunto de L vectores guía puede ser generado, y se indica como $\{\underline{\mathbf{v}}\}$, o $\underline{\mathbf{v}}(i)$ para $i = 1 \dots L$. Un vector guía en el conjunto es seleccionado para cada tramo m de transmisión, y es usado para el procesamiento espacial por el punto de acceso para ese tramo de transmisión.

Los símbolos recibidos en cada terminal de usuario de antena única, con ensanchamiento espacial, pueden ser expresados como:

$$\mathbf{r}(m) = \underline{\mathbf{h}}(m) \cdot \underline{\mathbf{v}}(m) \cdot s(m) + \mathbf{n}(m) = \mathbf{h}_{eff}(m) \cdot s(m) + \mathbf{n}(m) , \quad \text{Ec. (17)}$$

donde

$r(m)$ es un símbolo recibido para el tramo m de transmisión;

$h_{eff}(m)$ es una respuesta efectiva de canal para el tramo m de transmisión, que es

$$\mathbf{h}_{eff}(m) = \underline{\mathbf{h}}(m) \cdot \underline{\mathbf{v}}(m) ;$$

y

$n(m)$ es el ruido para el tramo m de transmisión.

Según se muestra en la ecuación (17), debido al ensanchamiento espacial realizado por el punto de acceso, el flujo de símbolos de datos difundido por el punto de acceso observa la respuesta efectiva $h_{eff}(m)$ de canal, que incluye la respuesta $\underline{\mathbf{h}}(m)$ real de canal y el vector guía $\underline{\mathbf{v}}(m)$. El terminal de usuario puede obtener $\hat{\underline{\mathbf{h}}}(m)$, que es una estimación del vector $\underline{\mathbf{h}}(m)$ de respuesta de canal (p. ej., en base a símbolos piloto recibidos). El terminal de usuario puede luego calcular $\hat{h}_{eff}(m)$, que es una estimación de la respuesta efectiva de canal, como $\hat{h}_{eff}(m) = \hat{\underline{\mathbf{h}}}(m) \cdot \underline{\mathbf{v}}(m)$. Alternativamente, el terminal de usuario puede estimar directamente la respuesta efectiva de canal, p. ej., en base a símbolos piloto recibidos que hayan sido transmitidos usando $\underline{\mathbf{v}}(m)$. En cualquier caso, el terminal de usuario puede realizar la detección (p. ej., el filtrado coincidente y / o la ecualización) sobre los símbolos $r(m)$ recibidos, con la estimación $\hat{h}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal, para obtener los símbolos detectados $\hat{s}(m)$.

La transmisión difundida y la recepción para el sistema de MISO pueden ser realizadas de manera similar a la descrita anteriormente para las FIGs. 2 y 3. Sin embargo, solamente un canal espacial está disponible y se usa para la transmisión difundida en el sistema de MISO. Con referencia a la FIG. 2, para la transmisión difundida en el sistema de MISO, un bloque de símbolos de datos es generado (bloque 212) y dividido en N_M sub-bloques, que han de ser difundidos en N_M tramos de transmisión (bloque 214). Un vector guía es seleccionado para cada sub-bloque, o tramo de transmisión (bloque 218), y usado para el procesamiento espacial para el símbolo, o los símbolos, de datos en el sub-bloque (bloque 220). Los símbolos de transmisión para cada sub-bloque son difundidos mediante las N_{ap} antenas del punto de acceso en el tramo de transmisión asociado (bloque 222).

Con referencia a la FIG. 3, para la recepción de difusión en el sistema de MISO, uno o más símbolos de datos recibidos son obtenidos desde la única antena en el terminal de usuario para cada sub-bloque (bloque 314). El vector guía usado por el punto de acceso para cada sub-bloque es determinado (bloque 316) y usado para obtener la estimación $\hat{h}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal (bloque 318), que es luego usada para la detección del símbolo, o los símbolos, de datos recibido(s) para el sub-bloque (bloque 320). Después de que todos los N_M sub-bloques para el bloque actual de símbolos de datos han sido recibidos, los símbolos detectados para el bloque son procesados (demodulados, desintercalados y descodificados) para obtener los datos descodificados para el bloque (bloque 326).

La FIG. 8 muestra un diagrama de bloques del punto 710 de acceso y el terminal 720 de usuario en el sistema 700 de MISO. El terminal 720 de usuario es uno de los terminales de usuario en la FIG. 7. En el punto 710 de acceso, un procesador 820 de datos de TX realiza el procesamiento de datos sobre un flujo $\{d\}$ de datos para obtener un correspondiente flujo $\{s\}$ de símbolos de datos. El procesador 820 de datos de TX puede ser implementado con el procesador 520 de flujos de datos de TX en la FIG. 5B. Un procesador espacial 830 de TX realiza el ensanchamiento espacial sobre el flujo de símbolos de datos con los vectores guía (p. ej., según se muestra en la ecuación (16)), introduce multiplexando los símbolos piloto y proporciona N_{ap} flujos de símbolos de transmisión. Las N_{ap} unidades transmisoras 832a a 832ap acondicionan los N_{ap} flujos de símbolos de transmisión para generar N_{ap} señales moduladas, que son transmitidas, respectivamente, desde las N_{ap} antenas 834a a 834ap.

- En el terminal 720 de usuario, las N_{ap} señales transmitidas son recibidas por una antena 852, y la señal recibida desde la antena es acondicionada por una unidad receptora 854 para obtener símbolos recibidos. Un estimador 884 de canal obtiene la estimación $\hat{h}_{eff}(m)$ de la respuesta efectiva de canal, en base a los símbolos piloto recibidos y al vector guía $\mathbf{v}(m)$ usado para cada tramo de transmisión. Un detector 860 realiza la detección (p. ej., el filtrado coincidente y / o la
- 5 ecualización) sobre los símbolos de datos recibidos con la estimación $\hat{h}_{eff}(m)$ de respuesta efectiva de canal, y proporciona un flujo de símbolos detectados $\{\hat{s}\}$. Un procesador 870 de datos de RX procesa (p. ej., decorrelaciona, desintercala y descodifica) el flujo de símbolos detectados y proporciona un flujo $\{\hat{d}\}$ de datos descodificados. El procesador 870 de datos de RX puede ser implementado con el procesador 670a de flujos de datos de RX en la FIG. 6A.
- 10 Los controladores 840 y 880 controlan el funcionamiento de diversas unidades de procesamiento en el punto 710 de acceso y el terminal 720 de usuario, respectivamente. Las unidades 842 y 882 de memoria almacenan datos y / o códigos de programa usados, respectivamente, por los controladores 840 y 880.

3. Sistemas basados en OFDM

- 15 Las técnicas de transmisión difundida descritas en la presente memoria pueden ser usadas para sistemas tanto de portadora única como de múltiples portadoras. Las portadoras múltiples pueden ser obtenidas con el OFDM o alguna otra estructura. Para un sistema basado en OFDM, el ensanchamiento espacial puede ser realizado sobre cada una de las sub-bandas usadas para la difusión.

- 20 Para un sistema de MIMO que utiliza el OFDM (es decir, un sistema de MIMO-OFDM), un vector $\underline{\mathbf{s}}(k,n)$ de símbolos de datos puede ser formado para cada sub-banda k en cada periodo n de símbolos de OFDM. El vector $\underline{\mathbf{s}}(k,n)$ contiene hasta N_S símbolos de datos para su difusión mediante los N_S canales espaciales de la sub-banda k en el periodo n de símbolos de OFDM. El índice m para el tramo de transmisión es sustituido por k,n para la sub-banda k y el periodo n de símbolos de OFDM. Hasta N_F vectores $\underline{\mathbf{s}}(k,n)$, para $k = 1 \dots N_F$, pueden ser difundidos simultáneamente sobre las N_F sub-bandas en un periodo de símbolos de OFDM. Un tramo de transmisión puede abarcar una o más sub-bandas en uno o más periodos de símbolos de OFDM.

- 25 Los N_D bloques de símbolos de datos pueden ser difundidos de diversas maneras en el sistema de MIMO-OFDM. Por ejemplo, cada bloque de símbolos de datos puede ser difundido como una entrada del vector $\underline{\mathbf{s}}(k,n)$ para cada una de las N_F sub-bandas. En este caso, cada bloque de símbolos de datos es difundido sobre todas las N_F sub-bandas y logra diversidad de frecuencia. Cada bloque de símbolos de datos puede además abarcar uno o más periodos de símbolos de OFDM. Cada bloque de símbolos de datos puede, por tanto, abarcar dimensiones de frecuencia y / o de
- 30 tiempo (por diseño del sistema), más la dimensión espacial (con el ensanchamiento espacial).

- Las matrices guía también pueden ser seleccionadas de diversas maneras para el sistema de MIMO-OFDM. Las matrices guía para las sub-bandas pueden ser seleccionadas de manera determinística, pseudo-aleatoria o permutada, según lo descrito anteriormente. Por ejemplo, las L matrices guía en el conjunto pueden ser recorridas cíclicamente y seleccionadas en orden secuencial para las sub-bandas 1 a N_F en el periodo n de símbolos de OFDM, luego las sub-
- 35 bandas 1 a N_F en el periodo $n + 1$ de símbolos de OFDM, y así sucesivamente. El número de matrices guía en el conjunto puede ser menor, igual o mayor que el número de sub-bandas. Los tres casos descritos anteriormente para $L = N_M$, $L < N_M$ y $L > N_M$ también pueden ser aplicados para las sub-bandas, siendo N_M reemplazado por N_F .

- 40 Para un sistema de MISO que utiliza el OFDM (es decir, un sistema de MISO-OFDM), un símbolo $s(k,n)$ de datos puede ser difundido por cada sub-banda k en el periodo n de símbolos de OFDM. Hasta N_F símbolos de datos, $s(k,n)$, para $k = 1 \dots N_F$, pueden ser difundidos simultáneamente sobre las N_F sub-bandas en un periodo de símbolos de OFDM. Cada bloque de símbolos de datos puede ser difundido sobre una o múltiples sub-bandas y / o en uno o múltiples periodos de símbolos de OFDM. Los vectores guía pueden ser seleccionados de una manera similar a la de las matrices guía en el sistema de MIMO-OFDM.

- 45 Para un sistema basado en OFDM, cada unidad transmisora 423 en la FIG. 4 y cada unidad transmisora 832 en la FIG. 8 realizan la modulación de OFDM sobre los símbolos de transmisión para todas las N_F sub-bandas de una antena de transmisión asociada. Para la modulación de OFDM, los N_F símbolos de transmisión a difundir sobre las N_F sub-bandas en cada periodo de símbolos de OFDM son transformados para el dominio del tiempo, usando una transformación rápida inversa de Fourier (IFFT) de N_F puntos, para obtener un símbolo "transformado" que contiene N_F segmentos. Para combatir la interferencia entre símbolos (ISI), que es provocada por el desvanecimiento selectivo de frecuencia,
- 50 una parte (o N_{cp} segmentos) de cada símbolo transformado es habitualmente repetido para formar un correspondiente símbolo de OFDM. Cada símbolo de OFDM es difundido en un periodo de símbolos de OFDM, que tiene $N_F + N_{cp}$ periodos de segmentos, donde N_{cp} es la longitud del prefijo cíclico. Cada unidad transmisora genera un flujo de símbolos de OFDM y acondiciona adicionalmente el flujo de símbolos de OFDM para generar una señal modulada, para su difusión desde la antena asociada. Cada unidad receptora 454 en la FIG. 4 y cada unidad receptora 854 en la

FIG. 8 realizan la demodulación complementaria de OFDM sobre su señal recibida para obtener símbolos de datos recibidos y símbolos piloto recibidos.

4. Diversidad de transmisión

El ensanchamiento espacial puede ser usado en combinación con diversos esquemas de diversidad de transmisión, tales como la diversidad de transmisión de espacio-tiempo (STTD), la diversidad de transmisión de espacio-frecuencia (SFTD), la diversidad de transmisión ortogonal (OTD), etc. La STTD transmite cada par de símbolos de datos desde dos antenas en dos periodos de símbolos para lograr diversidad de espacio y tiempo. La SFTD transmite cada par de símbolos de datos desde dos antenas en dos sub-bandas para lograr diversidad de espacio y de frecuencia. La OTD transmite dos símbolos de datos simultáneamente desde dos antenas en dos periodos de símbolos, usando dos códigos ortogonales, para lograr diversidad de espacio y de tiempo. El ensanchamiento espacial puede proporcionar prestaciones mejoradas para estos esquemas de diversidad de transmisión.

Para el esquema de STTD, el punto de acceso genera dos vectores de símbolos codificados, p. ej.,

$\underline{s}_1(m) = [s_a(m) \ s_b(m)]^T$ y $\underline{s}_2(m) = [s_b^*(m) \ -s_a^*(m)]^T$, para cada par de símbolos $s_a(m)$ y $s_b(m)$ de datos a difundir en el tramo m de transmisión, donde "*" indica la conjugada compleja y "T" indica la traspuesta. Cada vector incluye dos símbolos codificados que han de ser difundidos desde las N_{ap} antenas del punto de acceso en un periodo de símbolos. El vector $\underline{s}_1(m)$ es difundido en el primer periodo de símbolos, y el vector $\underline{s}_2(m)$ es difundido en el siguiente periodo de símbolos. Cada símbolo de datos está incluido en ambos vectores y es, por tanto, difundido sobre dos periodos de símbolos.

El punto de acceso realiza el ensanchamiento espacial sobre los dos vectores $\underline{s}_1(m)$ y $\underline{s}_2(m)$ usando la misma matriz guía, según lo siguiente:

$$\underline{x}_{std,i}(m) = \underline{V}_{std}(m) \cdot \underline{s}_i(m) , \quad \text{para } i = 1, 2 \quad \text{Ec. (18)}$$

donde

$\underline{V}_{std}(m)$ es una matriz guía de dimensiones $N_{ap} \times 2$ para el tramo m de transmisión; y

$\underline{x}_{std,i}(m)$ es un vector de dimensiones $N_{ap} \times 1$ con N_{ap} símbolos de transmisión a enviar desde las N_{ap} antenas del punto de acceso en el periodo i de símbolos del tramo m de transmisión.

Si el terminal de usuario está equipado con una única antena, entonces los símbolos recibidos pueden ser expresados como:

$$r_i(m) = \underline{h}(m) \cdot \underline{V}_{std}(m) \cdot \underline{s}_i(m) + n_i(m) = \underline{h}_{eff,std}(m) \cdot \underline{s}_i(m) + n_i(m) , \quad \text{Ec. (19)}$$

donde

$r_i(m)$ es un símbolo recibido para el periodo i de símbolos del tramo m de transmisión;

$\hat{h}(m)$ es un vector fila de respuesta de canal, de dimensiones $1 \times N_{ap}$, para el tramo m de transmisión;

$\underline{h}_{eff,std}(m)$ es un vector fila de respuesta efectiva de canal, de dimensiones 1×2 , para el tramo m de transmisión, que es $\underline{h}_{eff,std}(m) = \underline{h}(m) \cdot \underline{V}_{std}(m) = [h_{eff,1}(m) \ h_{eff,2}(m)]$; y

$n_i(m)$ es el ruido para el periodo i de símbolos del tramo m de transmisión.

Se supone que la respuesta $\underline{h}(m)$ de canal es constante sobre los dos periodos de símbolos del tramo m de transmisión.

El terminal de usuario de antena única puede obtener estimaciones de los dos símbolos de datos, $s_a(m)$ y $s_b(m)$, de la siguiente manera:

$$\hat{s}_a(m) = \frac{\hat{h}_{eff,1}^*(m) \cdot r_1(m) - \hat{h}_{eff,2}(m) \cdot r_2^*(m)}{\beta'(m)} = s_a(m) + n'_a(m) ,$$

y

$$\hat{s}_b(m) = \frac{\hat{h}_{eff,2}^*(m) \cdot r_1(m) + \hat{h}_{eff,1}^*(m) \cdot r_2^*(m)}{\beta'(m)} = s_b(m) + n'_b(m) , \quad \text{Ec. (20)}$$

donde

$\hat{h}_{eff,i}(m)$ es una estimación de $h_{eff,i}(m)$, para $i = 1, 2$;

$n'_a(m)$ y $n'_b(m)$ son ruido pos-procesado, respectivamente, para los símbolos detectados $\hat{s}_a(m)$ y $\hat{s}_b(m)$.

- 5 Si el terminal de usuario está equipado con múltiples antenas, entonces los símbolos recibidos pueden ser expresados como:

$$\underline{r}_i(m) = \underline{H}(m) \cdot \underline{V}_{std}(m) \cdot \underline{s}_i(m) + \underline{n}_i(m) = \underline{H}_{eff, std}(m) \cdot \underline{s}_i(m) + \underline{n}_i(m) , \quad \text{Ec. (21)}$$

donde

$\underline{r}_i(m)$ es un vector de dimensiones $N_{ut} \times 1$ con N_{ut} símbolos recibidos para el periodo i de símbolos del tramo m de transmisión;

- 10 $\underline{H}(m)$ es una matriz de respuesta de canal, de dimensiones $N_{ut} \times N_{ap}$, para el tramo m de transmisión;

$\underline{H}_{eff, std}(m)$ es una matriz de respuesta efectiva de canal, de dimensiones $N_{ut} \times 2$, para el tramo m de transmisión, que es $\underline{H}_{eff, std}(m) = \underline{H}(m) \cdot \underline{V}_{std}(m) = [\underline{h}_{eff,1}(m) \ \underline{h}_{eff,2}(m)]$; y

$\underline{n}_i(m)$ es un vector de ruido para el periodo i de símbolos del tramo m de transmisión.

- 15 Se supone que la respuesta $\underline{H}(m)$ de canal es constante sobre los dos periodos de símbolos del tramo m de transmisión.

El terminal de usuario de múltiples antenas puede obtener estimaciones de los dos símbolos de datos, $s_a(m)$ y $s_b(m)$, de la siguiente manera:

$$\hat{s}_a(m) = \frac{\hat{\underline{h}}_{eff,1}^H(m) \cdot \underline{r}_1(m) - \underline{r}_2^H(m) \cdot \hat{\underline{h}}_{eff,2}(m)}{\beta''(m)} = s_a(m) + n''_a(m) ,$$

y

$$\hat{s}_b(m) = \frac{\hat{\underline{h}}_{eff,2}^H(m) \cdot \underline{r}_1(m) + \underline{r}_2^H(m) \cdot \hat{\underline{h}}_{eff,1}(m)}{\beta''(m)} = s_b(m) + n''_b(m) , \quad \text{Ec. (22)}$$

- 20 donde

$\hat{\underline{h}}_{eff,i}(m)$ es una estimación de $\underline{h}_{eff,i}(m)$, para $i = 1, 2$; y

$n''_a(m)$ y $n''_b(m)$ son ruido pos-procesado, respectivamente, para los símbolos detectados $\hat{s}_a(m)$ y $\hat{s}_b(m)$.

- 25 Para el esquema SFTD, los dos vectores $\underline{s}_1(m)$ y $\underline{s}_2(m)$ son difundidos por dos sub-bandas distintas en el mismo periodo de símbolos. El mismo procesamiento de transmisión y recepción descrito anteriormente puede ser realizado para el esquema SFTD, donde el índice i indica ahora sub-banda en lugar de periodo de símbolos. Dado que se supone que la respuesta de canal sea aproximadamente constante sobre el tramo de transmisión, pueden ser usadas dos sub-bandas adyacentes k y $k + 1$ para difundir los dos vectores $\underline{s}_1(m)$ y $\underline{s}_2(m)$.

5. Sistema híbrido de múltiples antenas

La **FIG. 9** muestra un sistema 900 de múltiples antenas con un punto 910 de acceso y terminales 920 de usuario. El punto 910 de acceso está equipado con múltiples (N_{ap}) antenas para la transmisión de datos. Cada terminal 920 de usuario puede estar equipado con una única antena o múltiples (N_{ua}) antenas para la recepción de datos. Cada terminal de usuario de múltiples antenas tiene un respectivo canal de MIMO con el punto de acceso y es capaz de recibir transmisiones difundidas de MIMO y MISO desde el punto de acceso. Cada terminal de usuario de antena única tiene un respectivo canal de MISO con el punto de acceso y es capaz de recibir una transmisión difundida de MISO y, posiblemente, una parte de una transmisión difundida de MIMO desde el punto de acceso, según lo descrito más adelante.

El punto 910 de acceso puede difundir datos de diversas maneras en el sistema 900. En una realización, el punto 910 de acceso envía (1) una transmisión por difusión de MIMO que puede ser recibida por terminales de usuario de múltiples antenas y (2) una transmisión de difusión de MISO que puede ser recibida por terminales de usuario, tanto de antena única como de múltiples terminales. Las transmisiones de difusión de MIMO y MISO pueden ser enviadas (1) en distintos intervalos temporales, usando el multiplexado por división del tiempo (TDM), (2) sobre conjuntos disjuntos distintos de sub-bandas, usando el multiplexado por división de frecuencia (FDM), (3) sobre distintos canales de código, usando el multiplexado por división de código (CDM), por algún otro esquema de multiplexado, o cualquier combinación de los mismos. En otra realización, el punto 910 de acceso envía una transmisión de difusión de MIMO de manera tal que los terminales de usuario de antena única puedan recuperar una parte de la transmisión difundida (p. ej., para el servicio básico de difusión) y los terminales de usuario de múltiples antenas puedan recuperar toda la transmisión difundida (si tienen suficiente margen de enlace). En otra realización más, el punto 910 de acceso puede ajustar la transmisión difundida (p. ej., entre difusiones de MIMO y de MISO) en base a las condiciones de canal esperadas para los terminales de usuario.

6. Esquemas de transmisión difundida

Un sistema de múltiples antenas puede realizar la difusión de MIMO de diversas maneras. En un primer esquema de difusión de MIMO, el punto de acceso difunde múltiples (N_D) flujos de datos simultáneamente y usa la misma velocidad de datos y la misma potencia de transmisión para todos los flujos de datos, donde $N_S \geq N_D \geq 1$. La velocidad de datos puede ser seleccionada, por ejemplo, en base al canal efectivo del peor caso esperado para los terminales de usuario de múltiples antenas, lo que debería ser mejor que el canal efectivo del peor caso esperado para estos terminales de usuario. La mayoría de los terminales de usuario de múltiples antenas dentro del área de cobertura de difusión pueden luego recuperar los N_D flujos de datos.

En un segundo esquema de difusión de MIMO, el punto de acceso difunde N_D flujos de datos simultáneamente y usa distintas velocidades de datos, pero la misma potencia de transmisión, para estos flujos. Este esquema de difusión puede ser usado para proporcionar servicios de difusión "escalonados" sobre el área de cobertura de difusión. Cada flujo de datos tiene un área distinta de cobertura de difusión, determinada por su velocidad de datos. El flujo de datos con la más baja velocidad de datos tiene el área más grande de cobertura de difusión, y el flujo de datos con la más alta velocidad de datos tiene el área más pequeña de cobertura de difusión. Cada terminal de usuario puede ser capaz de recuperar uno, algunos, o todos los flujos de datos, según (1) su ubicación y condición de canal y (2) la técnica de procesamiento espacial del receptor empleada. Si un terminal de usuario usa una técnica lineal de procesamiento espacial del receptor (p. ej., la técnica CCMI o MMSE), entonces puede recuperar flujos de datos con mayores velocidades de datos, si tiene un margen de enlace suficientemente alto. El terminal de usuario puede ser capaz de recuperar solamente flujos de datos con menores velocidades de datos si tiene un bajo margen de enlace (p. ej., está situado en el límite del área de cobertura). Si el terminal de usuario usa la técnica SIC, entonces puede ser capaz de recuperar flujos de datos con mayores velocidades de datos, así como flujos de datos con menores velocidades de datos, incluso si está situado en el límite del área de cobertura. El terminal de usuario puede recuperar primero los flujos de datos de menor velocidad y realizar la cancelación de interferencia para lograr mayores SNR, necesarias para recuperar los flujos de datos de mayor velocidad.

En un tercer esquema de difusión de MIMO, el punto de acceso difunde N_D flujos de datos simultáneamente y usa la misma velocidad de datos, pero distintas potencias de transmisión, para estos flujos. Distintas potencias de transmisión pueden ser obtenidas multiplicando los símbolos de datos para cada flujo de datos por un factor de ajuste a escala que determina la magnitud de la potencia de transmisión para ese flujo de datos. Los servicios de difusión escalonados también pueden ser logrados con este esquema de difusión. El flujo de datos con la más alta potencia de transmisión tiene la más grande área de cobertura de difusión, y puede ser recuperado por la mayoría de los terminales de usuario. Por el contrario, el flujo de datos con la más baja potencia de transmisión tiene la más pequeña área de cobertura de difusión. Los flujos de datos de menor potencia también pueden ser recuperados por los terminales de usuario con bajo margen de enlace, si usan la técnica SIC.

Los esquemas segundo y tercero de difusión de MIMO pueden ser usados para prestar soporte tanto a terminales de usuario de múltiples antenas como a terminales de usuario de antena única. Los terminales de usuario de antena única

5 pueden recuperar el flujo de datos con la más baja velocidad de datos o la más alta potencia de transmisión. Los restantes flujos de datos actuarían como interferencia para este flujo de datos. Los terminales de usuario de múltiples antenas pueden recuperar más flujos de datos usando las antenas adicionales. Si un terminal de usuario de múltiples antenas usa la técnica SIC descrita anteriormente, entonces los flujos de datos pueden ser recuperados en un orden secuencial determinado por sus SNR requeridas. El flujo de datos con la más baja velocidad de datos o la más alta potencia de transmisión es recuperado en primer lugar, seguido por el flujo de datos con la siguiente velocidad de datos más baja o la siguiente potencia de transmisión más alta, y así sucesivamente.

10 En un cuarto esquema de difusión de MIMO, el punto de acceso transmite distintos números de flujos de datos, según la capacidad esperada de los canales inalámbricos para los terminales de usuario. La capacidad de canal es una función de la SNR operativa, así como de las características de canal (p. ej., si las ganancias de canal para los distintos pares de antenas de transmisión / recepción están o no correlacionadas). Cuando la capacidad de canal esperada es baja, el punto de acceso puede difundir menos flujos de datos y distribuir la potencia de transmisión disponible sobre estos menos flujos, de modo que cada flujo pueda lograr una mayor SNR. Por el contrario, cuando la capacidad de canal esperada es mayor, el punto de acceso puede difundir más flujos de datos.

15 Para ambas difusiones de MIMO y MISO, el punto de acceso puede ajustar la velocidad de datos para cada flujo de datos, en base a diversos factores, tales como la capacidad de canal, los requisitos del servicio, etc. Otros esquemas de difusión también pueden ser implementados con el ensanchamiento espacial, y esto también está dentro del ámbito de la invención.

7. Prestaciones de difusión

20 Las prestaciones de cada flujo de símbolos de datos dependen del orden de diversidad logrado para ese flujo. El orden de diversidad para cada flujo de símbolos de datos, a su vez, depende del número de antenas de transmisión, del número de antenas de recepción, de la técnica de procesamiento espacial del receptor y de si fue usado o no el ensanchamiento espacial. En general, las prestaciones mejoran según aumenta el orden de diversidad.

25 Sin el ensanchamiento espacial, cada uno de los N_S flujos de símbolos de datos observa el mismo orden de diversidad cuando se usa una técnica lineal de procesamiento espacial del receptor (p. ej., la técnica CCMI o MMSE) para detectar los flujos de símbolos de datos. Si $N_{ut} \geq N_{ap}$ y se difunde un flujo de símbolos de datos por cada canal espacial de $\mathbf{H}_{eff}(m)$, de modo que $N_D = N_S = N_{ap}$, entonces cada flujo de símbolos de datos observa un orden de diversidad de $N_{ut} - N_{ap} + 1$. Para un canal simétrico de MIMO con $N_{ap} = N_{ut}$, cada flujo de símbolos detectado tiene un orden de diversidad de uno y una distribución de Rayleigh para su SNR. Todos los flujos de símbolos de datos tienen la misma distribución de SNR.

30 Sin el ensanchamiento espacial, cada flujo de símbolos de datos observa un orden de diversidad distinto cuando se usa la técnica SIC para detectar los N_S flujos de símbolos de datos. Nuevamente, si $N_{ut} \geq N_{ap}$ y se difunde un flujo de símbolos de datos por cada canal espacial de $\mathbf{H}_{eff}(m)$, entonces el orden de diversidad para cada flujo de símbolos de datos es $N_{ut} - N_{ap} + \ell$, donde ℓ es el número de etapa en la cual se detecta el flujo. Así, los flujos de símbolos de datos que son detectados más tarde tienen mayor orden de diversidad y tienden a tener mejores SNR, que permiten que se usen mayores velocidades de datos para estos flujos.

35 Con el ensanchamiento espacial, el orden de diversidad para cada flujo de símbolos de datos mejora efectivamente por el uso de múltiples matrices guía distintas para cada bloque de código dentro del flujo. Cada matriz guía distinta permite que el bloque de código obtenga una "visión" distinta del canal de MIMO, lo que puede compararse con tener una antena distinta de transmisión o recepción. El orden de diversidad para cada flujo de símbolos de datos puede entonces ser relacionado con el número de distintas matrices guía usadas para el bloque de código, que puede ser mucho mayor que el número de antenas del punto de acceso y que el número de antenas de terminales de usuario. El ensanchamiento espacial proporciona habitualmente una mejora mayor para flujos de símbolos de datos con órdenes inferiores de diversidad.

40 El ensanchamiento espacial puede ser usado para mejorar el rendimiento y / o el área de cobertura para una transmisión difundida. Los sistemas convencionales de MIMO y MISO (sin ensanchamiento espacial) seleccionan habitualmente una velocidad de datos para la transmisión difundida en base a la condición de canal del peor caso esperado, para todos los terminales de usuario en el área de cobertura de difusión. Esta condición de canal del peor caso corresponde habitualmente a un canal "malo" que no se desvanece, ni cambia, en la extensión de un bloque de código entero. Con el ensanchamiento espacial, el canal efectivo de MIMO o MISO es aleatorizado en la extensión de cada bloque de código, y la probabilidad de que algún terminal de usuario observe un canal malo para el bloque de código entero se reduce significativamente. Esto permite luego que se use una mayor velocidad de datos para la transmisión difundida. De manera equivalente, para una velocidad dada de datos, el ensanchamiento espacial puede proporcionar una mayor área de cobertura de difusión. En general, una mayor velocidad de datos para una transmisión difundida corresponde a un área más pequeña de cobertura de difusión. Además, un requisito de apagón más restrictivo (o una menor probabilidad de apagón) corresponde a un área más pequeña de cobertura de difusión. El

ensanchamiento espacial puede proporcionar prestaciones mejoradas (p. ej., una mayor velocidad de datos, una mayor área de cobertura de difusión y / o una menor probabilidad de apagón) sobre los sistemas convencionales de MIMO y MISO.

5 La FIG. 10A muestra gráficos de la función de distribución acumulativa (CDF) de la eficacia espectral global lograda para un sistema ejemplar de MIMO. Para este sistema de MIMO, el punto de acceso está equipado con cuatro antenas ($N_{ap} = 4$), los terminales de usuario están aleatoriamente distribuidos en toda la extensión del área de cobertura, y cada terminal de usuario está equipado con cuatro antenas ($N_{ut} = 4$). Se supone que los canales de MIMO para los terminales de usuario son como los descritos anteriormente para la ecuación (1) y que la SNR operativa por cada antena de recepción es de 20 dB para los terminales de usuario situados en el límite de cobertura. Los terminales de usuario usan la técnica MMSE.

10 El gráfico 1010 muestra la CDF de la eficacia espectral global para el caso en el cual el ensanchamiento espacial no es realizado para la transmisión por difusión, lo que es equivalente a realizar la guía de transmisión con una única matriz guía ($L = 1$) todo el tiempo. La eficacia espectral está dada en unidades de bits por segundo por Hercio (bps / Hz). Para una eficacia espectral x dada, la CDF indica el porcentaje de terminales de usuario que logran una eficacia espectral global peor que x . Por ejemplo, el punto 1012 indica que el uno por ciento (10^{-2}) de los terminales de usuario logran eficacia espectral global peor que 9 bps / Hz. Si el punto de acceso difunde datos a una velocidad global de 9 bps / Hz, entonces un uno por ciento de los terminales no podrán descodificar correctamente la transmisión difundida. Este porcentaje también se denomina la probabilidad de apagón.

15 Los gráficos 1020, 1030 y 1040 muestran las CDF de la eficacia espectral global lograda con el ensanchamiento espacial, usando, respectivamente, 4, 16 y 64 matrices guía. Los puntos 1022, 1032 y 1042 indican que, para un uno por ciento de probabilidad de apagón, la eficacia espectral global es de 12,5, 14,6 y 15,8 bps / Hz con 4, 16 y 64 matrices guía, respectivamente. Para un uno por ciento de probabilidad de apagón, el uso del ensanchamiento espacial mejora la eficacia espectral global, desde 9 bps / Hz hasta aproximadamente 15,8 bps / Hz (con 64 matrices guía) para el sistema ejemplar de MIMO. La línea 1050 es para un 50% de probabilidad de apagón y puede ser mencionada para determinar la eficacia espectral global media para los cuatro casos.

20 La FIG. 10B muestra gráficos de la CDF de la eficacia espectral global lograda para un sistema ejemplar de MISO. Para este sistema de MISO, el punto de acceso está equipado con cuatro antenas ($N_{ap} = 4$), los terminales de usuario están aleatoriamente distribuidos por toda la extensión del área de cobertura, y cada terminal de usuario está equipado con una única antena ($N_{ut} = 1$). Se supone que los canales de MISO para los terminales de usuario son como los descritos anteriormente y que la SNR / Rx operativa es de 10 dB para los terminales de usuario situados en el límite de cobertura.

25 El gráfico 1060 muestra la CDF de la eficacia espectral global para el caso en el cual el ensanchamiento espacial no se realiza ($L = 1$) para la transmisión por difusión. Los gráficos 1070, 1080 y 1090 muestran las CDF de la eficacia espectral global lograda con ensanchamiento espacial, usando, respectivamente, 4, 16 y 64 matrices guía. Los puntos 1062, 1072, 1082 y 1092 indican que, para un uno por ciento de probabilidad de apagón, la eficacia espectral global es de 0,1, 0,8, 1,7 y 2,2 bps / Hz con 1, 4, 16 y 64 matrices guía, respectivamente. Nuevamente, se logra una ganancia significativa por el uso del ensanchamiento espacial para la transmisión difundida.

30 Las FIGs. 10A y 10B muestran las prestaciones para sistemas ejemplares de MIMO y MISO, con algunas hipótesis específicas. En general, la magnitud de la mejora puede depender de diversos factores, tales como, por ejemplo, las características de los canales inalámbricos, el número de antenas de transmisión y de recepción, la técnica de procesamiento espacial usada en los terminales de usuario, los esquemas de codificación y de modulación usados para la transmisión de datos, etc.

8. Generación de matrices y vectores guía

35 Las matrices guía usadas para el ensanchamiento espacial en el sistema de MIMO y los vectores guía usados para el sistema de MISO pueden ser generados de diversas maneras. Algunos esquemas ejemplares para generar estas matrices y vectores guía se describen más adelante. El conjunto de matrices / vectores guía puede ser pre-calculado y almacenado en el punto de acceso y en los terminales de usuario, y extraídos a continuación para su uso según se necesiten. Alternativamente, estas matrices / vectores guía pueden ser calculados en tiempo real según se necesiten.

A. Generación de matrices guía

40 Las matrices guía deberían ser matrices unitarias y satisfacer la siguiente condición:

$$\underline{\mathbf{V}}^H(i) \cdot \underline{\mathbf{V}}(i) = \underline{\mathbf{I}} \quad \text{para } i = 1 \dots L. \quad \text{Ec. (23)}$$

La ecuación (23) indica que cada columna de $\underline{\mathbf{V}}(i)$ tiene energía unitaria y que las columnas de $\underline{\mathbf{V}}(i)$ son ortogonales

entre sí. Esta condición asegura que los N_S símbolos de datos difundidos simultáneamente, usando la matriz guía $\underline{\mathbf{V}}(i)$, tienen la misma potencia y son ortogonales entre sí antes de la transmisión.

Algunas de las matrices guía también pueden estar no correlacionadas, de modo que la correlación entre dos matrices guía no correlacionadas cualesquiera sea cero, o un valor bajo. Esta condición puede ser expresada como:

$$\underline{\mathbf{C}}(ij) = \underline{\mathbf{V}}^H(i) \cdot \underline{\mathbf{V}}(j) \approx \underline{\mathbf{0}} \quad \text{para } i = 1 \dots L, j = 1 \dots L \text{ e } i \neq j, \quad \text{Ec. (24)}$$

5 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 todos ceros. La condición en la ecuación (24) puede mejorar las prestaciones para algunas aplicaciones, pero no es necesaria para la mayoría de las aplicaciones.

10 Un conjunto de L matrices guía $\{\underline{\mathbf{V}}\}$ puede ser generado usando diversos esquemas. En un primer esquema, las L matrices guía son generadas en base a matrices de variables aleatorias. Una matriz $\underline{\mathbf{G}}$ de dimensiones $N_S \times N_{ap}$, con elementos que son variables aleatorias Gaussianas complejas, independientes e idénticamente distribuidas (IID), teniendo cada una una media cero y varianza unitaria, es generada inicialmente. Una matriz de correlación de $\underline{\mathbf{G}}$, de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$, es calculada como $\underline{\mathbf{R}} = \underline{\mathbf{G}}^H \cdot \underline{\mathbf{G}}$ y descompuesta usando la descomposición en autovalores, como:

$$\underline{\mathbf{R}} = \underline{\mathbf{E}} \cdot \underline{\mathbf{D}} \cdot \underline{\mathbf{E}}^H, \quad \text{Ec. (25)}$$

donde

15 $\underline{\mathbf{E}}$ es una matriz unitaria, de dimensiones $N_{ap} \times N_S$, de autovectores de $\underline{\mathbf{R}}$; y $\underline{\mathbf{D}}$ es una matriz diagonal, de dimensiones $N_S \times N_S$, de autovalores de $\underline{\mathbf{R}}$.

20 La matriz diagonal $\underline{\mathbf{D}}$ contiene autovalores de $\underline{\mathbf{R}}$, que representan las ganancias de potencia para las N_S automodalidades de $\underline{\mathbf{G}}$. La matriz $\underline{\mathbf{E}}$ se usa como una matriz guía $\underline{\mathbf{V}}(i)$ y se añade al conjunto. La matriz guía $\underline{\mathbf{V}}(i)$ es una matriz unitaria porque la matriz $\underline{\mathbf{E}}$ se obtiene mediante la descomposición en autovalores. El proceso se repite hasta que todas las L matrices guía sean generadas.

25 En un segundo esquema, las L matrices guía son generadas en base a un conjunto de $(\log_2 L) + 1$ matrices unitarias independientes, distribuidas isotrópicamente. Una matriz unitaria aleatoria está isotrópicamente distribuida si su densidad de probabilidad queda sin cambios por la pre-multiplicación por cualquier matriz unitaria determinística de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$. El índice i para las matrices guía en el conjunto puede ser indicado como $i = \ell_1 \ell_2 \dots \ell_Q$, donde $Q = \log_2 L$, ℓ_1 es el primer bit del índice i , ℓ_Q es el último bit del índice i , y cada bit puede tomar un valor de 0 o 1. Las L matrices guía pueden luego ser generadas de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{V}}(\ell_1 \ell_2 \dots \ell_Q) = \underline{\Omega}_1^{\ell_1} \cdot \underline{\Omega}_2^{\ell_2} \cdot \dots \cdot \underline{\Omega}_Q^{\ell_Q} \cdot \underline{\mathbf{V}}_0, \quad \text{para } \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_Q \in \{0, 1\}, \quad \text{Ec. (26)}$$

donde

$\underline{\mathbf{V}}_0$ es una matriz unitaria independiente isotrópicamente distribuida, de dimensiones $N_{ap} \times N_S$; y

$\underline{\Omega}_j^{\ell_j}$, para $j = 1 \dots Q$, es una matriz unitaria independiente isotrópicamente distribuida, de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$.

30 La matriz $\underline{\mathbf{V}}_0$ puede ser definida, por ejemplo, como $\underline{\mathbf{V}}_0^T = [\underline{\mathbf{I}}_{N_S} \quad \underline{\mathbf{0}}]$, donde $\underline{\mathbf{I}}_{N_S}$ es una matriz identidad de dimensiones $N_S \times N_S$. El segundo esquema está descrito por T. L. Marzetta en "Constelaciones estructuradas de autocodificación unitaria del espacio-tiempo", Transacción del IEEE sobre Teoría de la Información, Vol. 48, N° 4, abril de 2002.

35 En un tercer esquema, las L matrices guía son generadas rotando sucesivamente una matriz guía $\underline{\mathbf{V}}(1)$ inicial unitaria en un espacio complejo N_{ap} -dimensional, según lo siguiente:

$$\underline{\mathbf{V}}(i+1) = \underline{\Theta}^i \cdot \underline{\mathbf{V}}(1), \quad \text{para } i = 1 \dots L-1, \quad \text{Ec. (27)}$$

donde $\underline{\Theta}^j$ es una matriz unitaria diagonal de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$, que puede ser definida como:

$$\underline{\Theta}^i = \begin{bmatrix} e^{j2\pi u_1 i/L} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j2\pi u_2 i/L} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e^{j2\pi u_{N_{ap}} i/L} \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (28)}$$

y $u_1, u_2, \dots, u_{N_{ap}}$ son N_{ap} valores distintos, cada uno dentro de la gama entre 0 y $L-1$, que son escogidos de modo que, p. ej., la correlación entre las matrices guía resultantes, generadas con la matriz $\underline{\Theta}^i$, sea tan baja como sea posible. Los N_{ap} elementos diagonales de $\underline{\Theta}^i$ son raíces L -ésimas de la unidad. La matriz guía $\underline{\mathbf{V}}(1)$ unitaria inicial puede ser formada con N_s columnas distintas de una matriz de Fourier de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$, donde la (n,m) -ésima entrada, $w_{n,m}$, está dada como:

$$w_{n,m} = e^{-j2\pi \frac{(n-1)(m-1)}{N_{ap}}}, \quad \text{para } n = \{1 \dots N_{ap}\} \text{ y } m = \{1 \dots N_{ap}\}, \quad \text{Ec. (29)}$$

donde n es un índice de fila y m es un índice de columna. El tercer esquema está descrito por B. M. Hochwald en "Diseño sistemático de constelaciones unitarias de espacio-tiempo", Transacción del IEEE sobre Teoría de la Información, Vol. 46, N° 6, septiembre de 2000.

En un cuarto esquema, las L matrices guía son generadas con una matriz base $\underline{\mathbf{B}}$ y distintos escalares. La matriz base puede ser una matriz de Walsh, una matriz de Fourier o alguna otra matriz. Una matriz de Walsh de dimensiones 2×2 puede ser expresada como

$$\underline{\mathbf{W}}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Una matriz $\underline{\mathbf{W}}_{2N \times 2N}$ de Walsh de mayor tamaño puede ser formada a partir de una matriz $\underline{\mathbf{W}}_{N \times N}$ de Walsh de tamaño menor, según lo siguiente:

$$\underline{\mathbf{W}}_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{W}}_{N \times N} & \underline{\mathbf{W}}_{N \times N} \\ \underline{\mathbf{W}}_{N \times N} & -\underline{\mathbf{W}}_{N \times N} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (30)}$$

Las matrices de Walsh tienen dimensiones que son potencias de dos. Una matriz $\underline{\mathbf{F}}$ de Fourier de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$ puede ser formada con elementos definidos según se muestra en la ecuación (29).

Una matriz $\underline{\mathbf{W}}$ de Walsh de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$, una matriz $\underline{\mathbf{F}}$ de Fourier, o alguna otra matriz, puede ser usada como la matriz base $\underline{\mathbf{B}}$ para formar otras matrices guía. Cada una de las filas 2 a N_{ap} de la matriz base puede ser multiplicada independientemente por uno entre M posibles escalares distintos, donde $M > 1$. $M^{N_{ap}-1}$ matrices guía distintas pueden ser obtenidas a partir de $M^{N_{ap}-1}$ distintas permutaciones de los M escalares para las $N_{ap}-1$ filas. Por ejemplo, cada una de las filas 2 a N_{ap} puede ser multiplicada independientemente por un escalar de $+1, -1, +j$ o $-j$, donde $j = \sqrt{-1}$. Para $N_{ap} = 4$ y $M = 4$, 64 matrices guía distintas pueden ser generadas a partir de la matriz base $\underline{\mathbf{B}}$ con los cuatro escalares distintos. Matrices guía adicionales pueden ser generadas con otros escalares, p. ej., $e^{\pm j3\pi/4}, e^{\pm j\pi/4}, e^{\pm j\pi/8}$, etc. En general, cada fila de la matriz base puede ser multiplicada por cualquier escalar que tenga la forma $e^{j\theta}$, donde θ puede ser cualquier valor de fase. Matrices guía de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$ pueden ser generadas como $\underline{\mathbf{V}}(i) = g_{N_{ap}} \cdot \underline{\mathbf{B}}(i)$, donde $g_{N_{ap}} = 1 / \sqrt{N_{ap}}$ y $\underline{\mathbf{B}}(i)$ es la i -ésima matriz generada con la matriz base $\underline{\mathbf{B}}$. El ajuste a escala por $g_{N_{ap}}$ asegura que cada columna de $\underline{\mathbf{V}}(i)$ tenga potencia unitaria.

También pueden usarse otros esquemas para generar el conjunto de L matrices guía, y esto también está dentro del ámbito de la invención. En general, las matrices guía pueden ser generadas de una manera pseudo-aleatoria (p. ej., tal como el primer esquema) o de una manera determinística (p. ej., tal como los esquemas segundo, tercero y cuarto).

B. Generación de vectores guía

Los vectores guía usados para el ensanchamiento espacial en un sistema de MISO deberían tener energía unitaria, que es $\|\underline{\mathbf{v}}(i)\|^2 = \underline{\mathbf{v}}^H(i) \cdot \underline{\mathbf{v}}(i) = 1$ para $i = 1 \dots L$, de modo que la potencia de transmisión usada para los símbolos de datos no sea variada por el ensanchamiento espacial. Los elementos de cada vector guía $\underline{\mathbf{v}}(i)$ pueden ser definidos para que

tengan igual magnitud, de modo que la potencia total de transmisión de cada antena del punto de acceso pueda ser usada para la difusión. Esta condición puede ser expresada como $|v_1(i)| = |v_2(i)| = \dots = |v_{N_{ap}}(i)|$, donde $\underline{v}(i) = [v_1(i) v_2(i) \dots v_{N_{ap}}(i)]$. Algunos de los vectores guía también pueden estar no correlacionados, de modo que la correlación entre dos vectores guía no correlacionados cualesquiera sea cero, o un valor bajo. Esta condición puede ser expresada como:

$$c(ij) = \underline{v}^H(i) \cdot \underline{v}(j) \approx 0, \text{ para } i = 1 \dots L, j = 1 \dots L, \text{ e } i \neq j, \quad \text{Ec. (31)}$$

donde $c(ij)$ es la correlación entre los vectores guía $\underline{v}(i)$ y $\underline{v}(j)$.

El conjunto de L vectores guía $\{\underline{v}\}$ puede ser generado usando diversos esquemas. En un primer esquema, los L vectores guía son generados en base a $N_{ap} \times N_{ap}$ matrices \underline{G}' de variables aleatorias. Una matriz de correlación, de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$, de cada matriz \underline{G}' se calcula como $\underline{R}' = \underline{G}'^H \cdot \underline{G}'$ y se descompone según se muestra en la ecuación (25) para obtener una matriz unitaria \underline{E}' de dimensiones $N_{ap} \times N_{ap}$. Cada columna de \underline{E}' puede ser usada como un vector guía $\underline{v}(i)$.

En un segundo esquema, los L vectores guía son generados rotando sucesivamente un vector guía $\underline{v}(1)$ unitario inicial según lo siguiente:

$$\underline{v}(i + 1) = e^{j2\pi i/L} \cdot \underline{v}(i), \text{ para } i = 2 \dots L, \quad \text{Ec. (32)}$$

donde $L \geq N_{ap}$.

En un tercer esquema, los L vectores guía son generados de modo que los elementos de estos vectores tengan la misma magnitud pero distintas fases. Para un vector guía $\underline{v}(i) = [v_1(i) v_2(i) \dots v_{N_{ap}}(i)]$ dado, un vector guía $\tilde{\underline{v}}(i)$ normalizado puede ser formado como:

$$\tilde{\underline{v}}(i) = [Ae^{j\theta_1(i)} \quad Ae^{j\theta_2(i)} \quad \dots \quad Ae^{j\theta_{N_{ap}}(i)}] , \quad \text{Ec. (33)}$$

donde

A es una constante (p. ej., $A = 1/\sqrt{N_{ap}}$); y

$\theta_j(i)$ es la fase del j -ésimo elemento de $\underline{v}(i)$, que es:

$$\theta_j(i) = \angle v_j(i) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{v_j(i)\}}{\text{Re}\{v_j(i)\}} \right) . \quad \text{Ec. (34)}$$

El vector guía $\tilde{\underline{v}}(i)$ normalizado permite que se use la potencia completa de transmisión disponible para cada antena, para la transmisión por difusión.

Las columnas de las matrices guía generadas según lo descrito anteriormente también pueden ser usadas como vectores guía para el ensanchamiento espacial. También pueden ser usados otros esquemas para generar el conjunto de vectores guía, y esto también está dentro del ámbito de la invención.

Las técnicas de transmisión por difusión descritas en la presente memoria pueden ser implementadas por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden ser implementadas en hardware, software o una combinación de los mismos. Para una implementación de hardware, las unidades de procesamiento usadas para realizar o prestar soporte a la transmisión por difusión con ensanchamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario pueden ser implementadas 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), formaciones de compuertas programables en el terreno (FPGA), procesadores, controladores, micro-controladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria, o una combinación de los mismos.

Para una implementación de software, las técnicas de transmisión por difusión pueden ser implementadas con módulos (p. ej., procedimientos, funciones, etc.) que realizan las funciones descritas en la presente memoria. Los códigos de software pueden ser almacenados en unidades de memoria (p. ej., las unidades 442 y 482 de memoria en la FIG. 4 y las unidades 842 y 882 de memoria en la FIG. 8) y ejecutados por un procesador (p. ej., los controladores 440 y 480 en la FIG. 4 y los controladores 840 y 880 en la FIG. 8). La unidad de memoria puede ser implementada dentro del procesador, o ser externa al procesador, en cuyo caso puede estar acoplada comunicativamente con el

procesador mediante diversos medios, según se conoce en la técnica.

Los encabezamientos están incluidos en la presente memoria para referencia y para asistir en la localización de ciertas secciones. Estos encabezamientos no están concebidos para limitar el ámbito de los conceptos descritos a continuación de los mismos, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones en toda la extensión de la especificación entera.

5

La anterior descripción de las realizaciones reveladas se proporciona para permitir a cualquier persona experta en la técnica hacer o usar la presente invención. Diversas modificaciones para estas realizaciones serán inmediatamente evidentes a los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en la presente memoria pueden ser aplicados a otras realizaciones sin apartarse del ámbito de la invención. De tal modo, la presente invención no está concebida para limitarse a las realizaciones mostradas en la presente memoria, sino que ha de concedérsele el más amplio ámbito congruente con los principios y características novedosas reveladas en la presente memoria.

10

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de difusión de datos desde un transmisor inalámbrico de múltiples antenas, que comprende:
 - 5 seleccionar al menos dos matrices guía para la transmisión de al menos un bloque de símbolos de datos obtenidos desde al menos un bloque de datos, en en el que dichas al menos dos matrices guía se proporcionan para aleatorizar un canal efectivo observado por cada una entre una pluralidad de entidades receptoras para dicho al menos un bloque de símbolos de datos;
 - realizar procesamiento espacial sobre dicho al menos un bloque de símbolos de datos con cada una de dichas al menos dos matrices guía, para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión; y
 - 10 difundir una o más señales que comprenden la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde una pluralidad de antenas de transmisión.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - dividir dicho al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;
 - en en el que la selección de dichas al menos dos matrices guía comprende seleccionar una matriz guía para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos; y
 - 15 en en el que la realización del procesamiento espacial comprende realizar procesamiento espacial para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos, con una matriz distinta entre dichas al menos dos matrices guía.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual el procesamiento de dicho al menos un bloque de datos comprende, para cada bloque de datos:
 - codificar el bloque de datos de acuerdo a un esquema de codificación, para obtener un bloque de datos codificados;
 - 20 intercalar el bloque de datos codificados para obtener un bloque de datos intercalados; y
 - correlacionar con símbolos el bloque de datos intercalados, de acuerdo a un esquema de modulación, para obtener el bloque de símbolos de datos.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - 25 determinar una velocidad de datos para cada uno entre dichos al menos un bloque de datos, en base a condiciones de canal esperadas para la pluralidad de entidades receptoras.
5. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - seleccionar dichas al menos dos matrices guía entre un conjunto de L matrices guía, en el que L es un entero mayor que uno.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - 30 generar una pluralidad de matrices guía como matrices unitarias con columnas ortogonales, y en en el que la selección comprende seleccionar dichas al menos dos matrices entre la pluralidad de matrices guía.
7. Un transmisor (110) inalámbrico de múltiples antenas, que comprende:
 - 35 medios para seleccionar el menos dos matrices guía para la transmisión de dicho al menos un bloque de símbolos de datos, obtenido de dicho al menos un bloque de datos, en en el que dichas al menos dos matrices guía se proporcionan para aleatorizar un canal efectivo observado por cada una entre una pluralidad de entidades receptoras para dicho al menos un bloque de símbolos de datos;
 - medios para realizar el procesamiento espacial sobre dicho al menos un bloque de símbolos de datos con cada una de dichas al menos dos matrices guía, para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión; y
 - 40 medios para difundir la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde una pluralidad de antenas de transmisión.
8. El transmisor (110) de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:
 - medios para dividir dicho al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;

en en el que los medios para seleccionar dichas al menos dos matrices guía están configurados para seleccionar una matriz guía para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos; y

5 en en el que el medio para realizar el procesamiento espacial comprende medios para realizar procesamiento espacial para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos, con una matriz distinta de dichas al menos dos matrices guía.

9. El transmisor (110) de la reivindicación 7, en el cual el medio para procesar dicho al menos un bloque de datos comprende, para cada bloque de datos:

medios para codificar el bloque de datos de acuerdo a un esquema de codificación, para obtener un bloque de datos codificados;

10 medios para intercalar el bloque de datos codificados, para obtener un bloque de datos intercalados; y

medios para correlacionar con símbolos el bloque de datos intercalados, de acuerdo a un esquema de modulación, para obtener el bloque de símbolos de datos.

10. El transmisor (110) de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:

15 medios para determinar una velocidad de datos para cada uno de dichos al menos un bloque de datos, en base a condiciones de canal esperadas para la pluralidad de entidades receptoras.

11. El transmisor (110) de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:

medios para seleccionar dichas al menos dos matrices guía entre un conjunto de L matrices guía, en el que L es un entero mayor que uno.

12. El transmisor (110) de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:

20 medios para generar una pluralidad de matrices guía como matrices unitarias con columnas ortogonales, y en en el que el medio para seleccionar comprende medios para seleccionar dichas al menos dos matrices entre la pluralidad de matrices guía.

13. El transmisor de la reivindicación 7, en el cual:

los medios para realizar el procesamiento espacial comprenden un procesador (420);

25 y los medios para difundir la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión comprenden una pluralidad de unidades transmisoras (432) configuradas para difundir la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas (434) de transmisión a la pluralidad de entidades receptoras (454) en el sistema.

30 14. El transmisor (110) de la reivindicación 13, en el cual el procesador está configurado para dividir dicho al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos, y realiza procesamiento espacial sobre cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos, con una matriz distinta de dichas al menos dos matrices guía.

15. El transmisor (110) de la reivindicación 13, que comprende adicionalmente un controlador configurado para seleccionar dichas al menos dos matrices guía entre un conjunto de L matrices guía para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos, en el que L es un entero mayor que uno.

35 16. El transmisor (110) de la reivindicación 13, en el cual cada una entre la pluralidad de matrices guía incluye una pluralidad de columnas ortogonales, y en el cual el procesador configura dicho al menos un bloque de símbolos de datos para su difusión mediante una pluralidad de canales espaciales.

40 17. El transmisor (110) de la reivindicación 13, en el cual cada una entre la pluralidad de matrices guía incluye una única columna, y en el cual el procesador configura dicho al menos un bloque de símbolos de datos para su difusión mediante un único canal espacial.

18. El transmisor (110) de la reivindicación 13, en el cual dichas al menos dos matrices guía son matrices unitarias con columnas ortogonales.

45 19. Una unidad (442) de memoria que incluye códigos de software almacenados que son utilizados por uno o más procesadores, comprendiendo los códigos de software código para realizar las etapas del procedimiento de la reivindicación 1.

20. La unidad (442) de memoria de la reivindicación 19, en la cual los códigos de software comprenden adicionalmente:

código para dividir dicho al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;

código para seleccionar una matriz guía para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos; y

5 en en el que el código para realizar procesamiento espacial comprende códigos para realizar procesamiento espacial para cada uno entre la pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos, con una matriz distinta de dichas al menos dos matrices guía.

21. La unidad (442) de memoria de la reivindicación 19, en la cual el código para procesar dicho al menos un bloque de datos comprende, para cada bloque de datos:

10 código para codificar el bloque de datos, de acuerdo a un esquema de codificación, para obtener un bloque de datos codificados;

código para intercalar el bloque de datos codificados, para obtener un bloque de datos intercalados; y

código para correlacionar con símbolos el bloque de datos intercalados, de acuerdo a un esquema de modulación, para obtener el bloque de símbolos de datos.

22. La unidad (442) de memoria de la reivindicación 19, en la cual los códigos de software comprenden adicionalmente:

15 código para determinar una velocidad de datos para cada uno de dichos al menos un bloque de datos, en base a condiciones de canal esperadas para la pluralidad de entidades receptoras.

23. La unidad (442) de memoria de la reivindicación 19, en la cual los códigos de software comprenden adicionalmente:

código para seleccionar dichas al menos dos matrices guía entre un conjunto de L matrices guía, en el que L es un entero mayor que uno.

20 24. La unidad (442) de memoria de la reivindicación 19, en la cual los códigos de software comprenden adicionalmente:

código para generar una pluralidad de matrices guía como matrices unitarias con columnas ortogonales, y en en el que el medio para seleccionar comprende medios para seleccionar dichas al menos dos matrices entre la pluralidad de matrices guía.

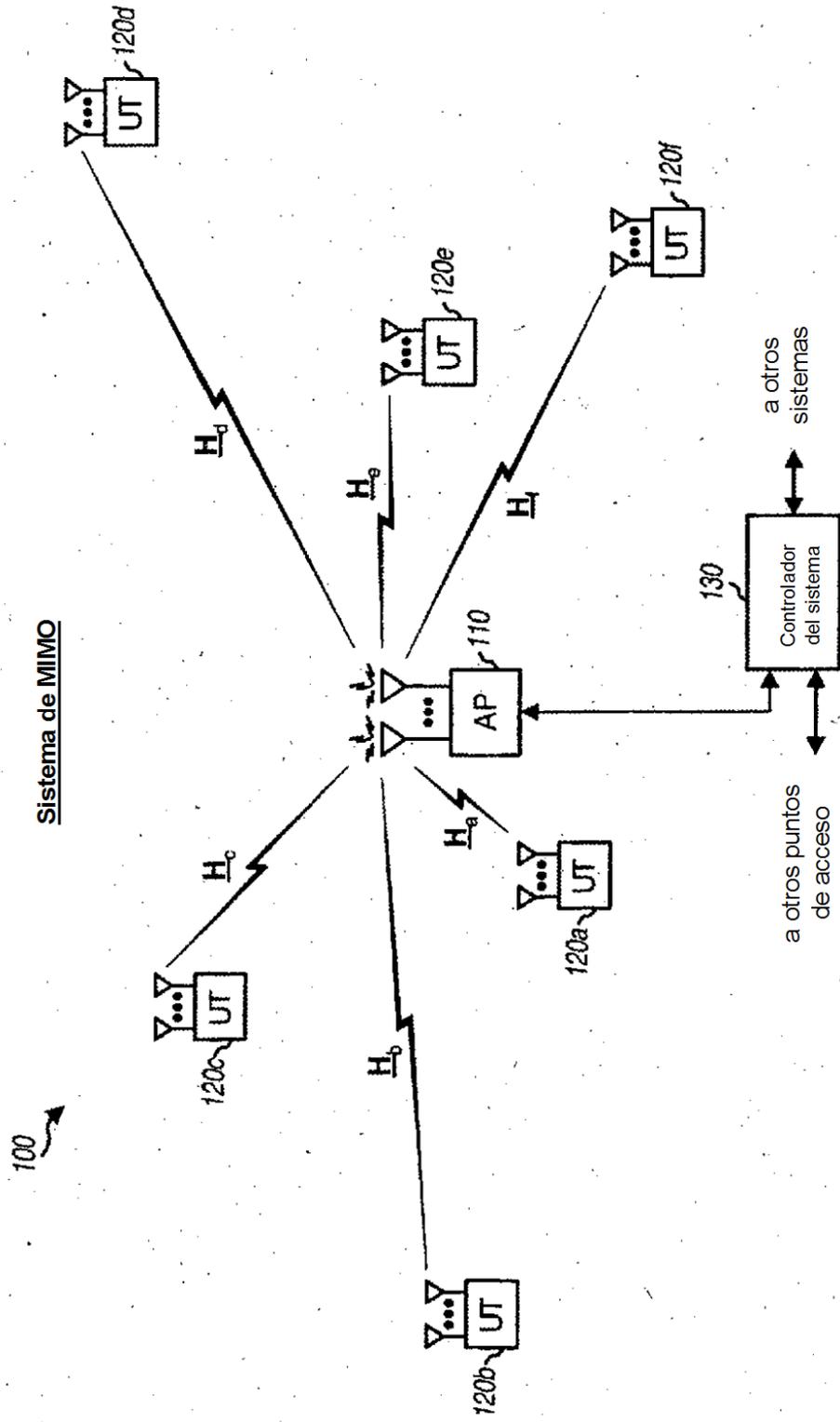


FIG. 1

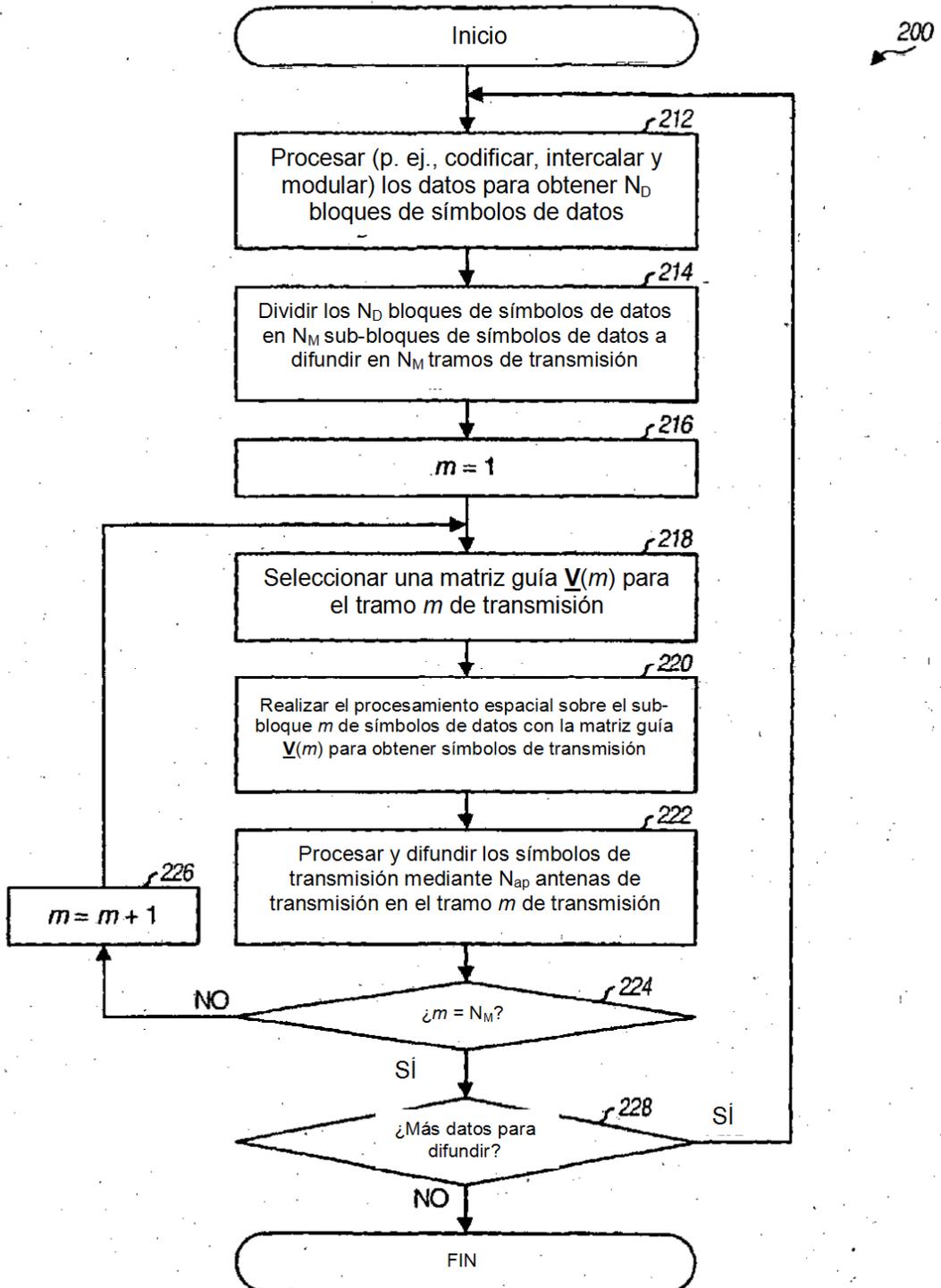


FIG. 2

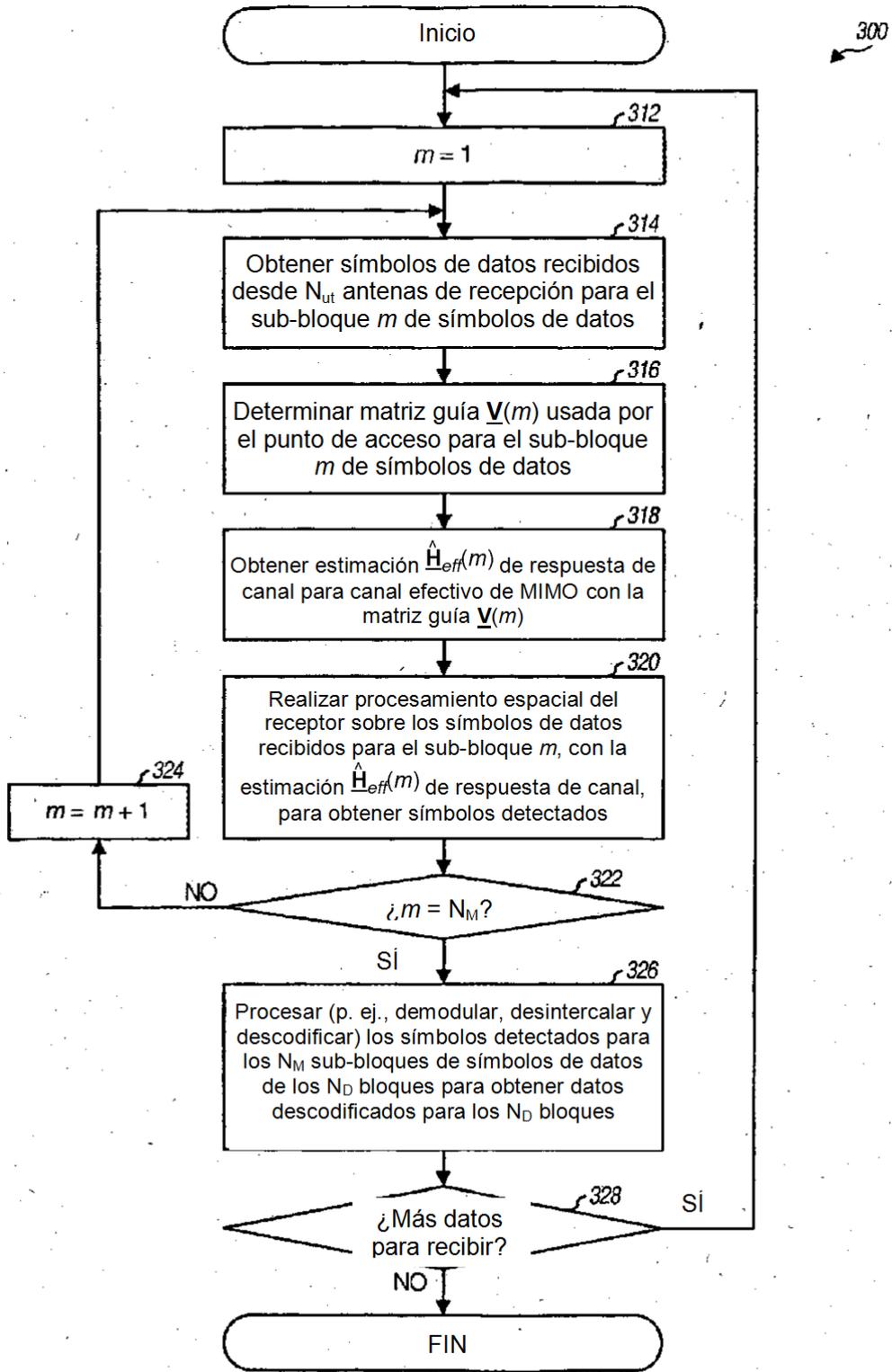


FIG. 3

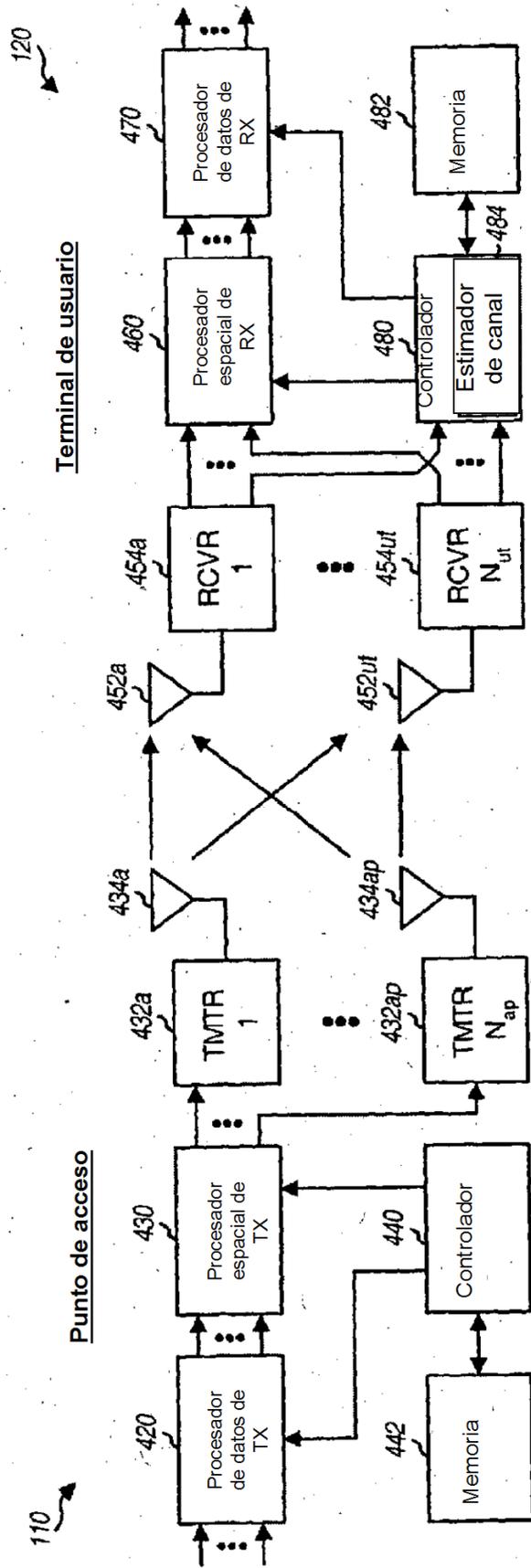


FIG. 4

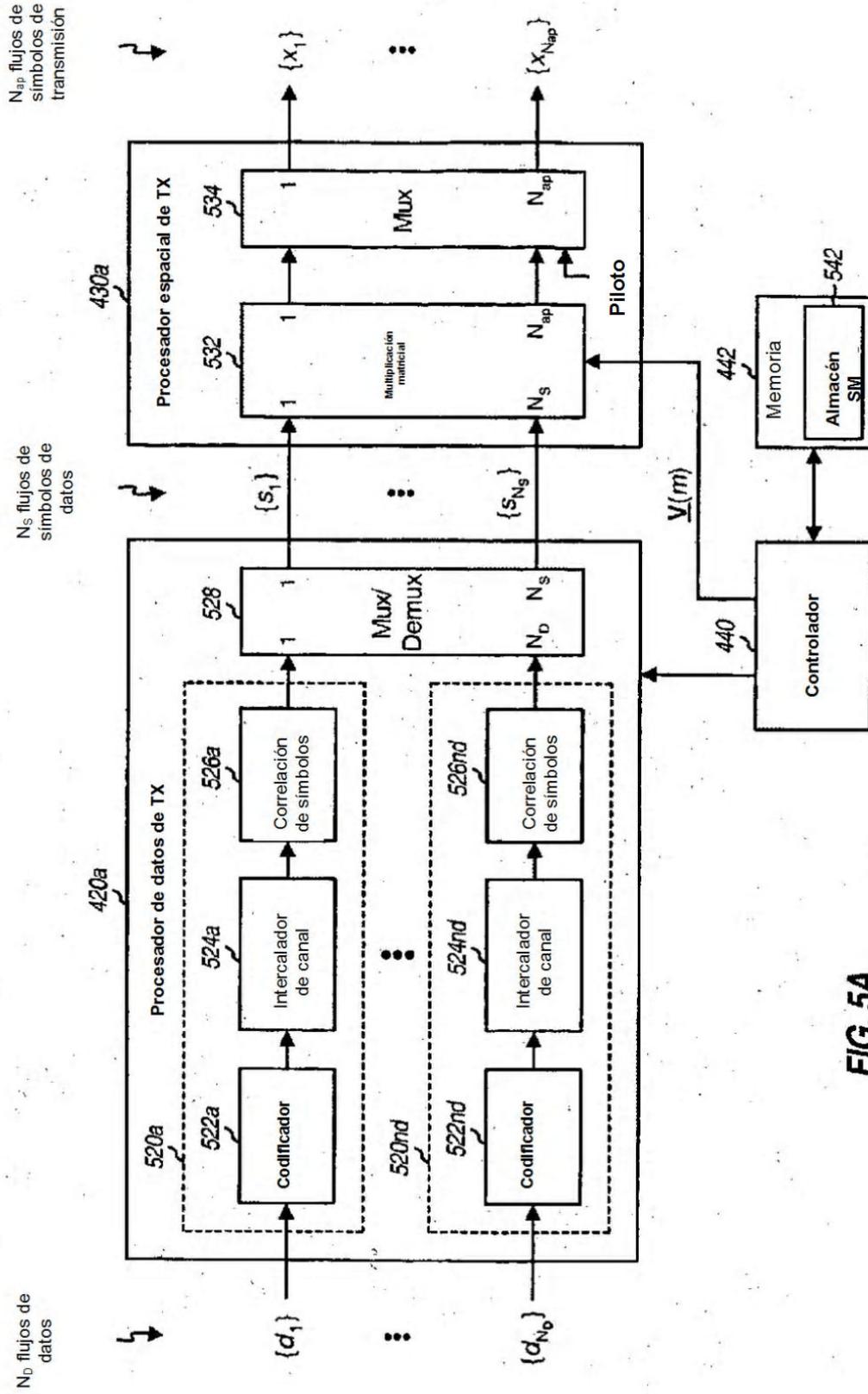


FIG. 5A

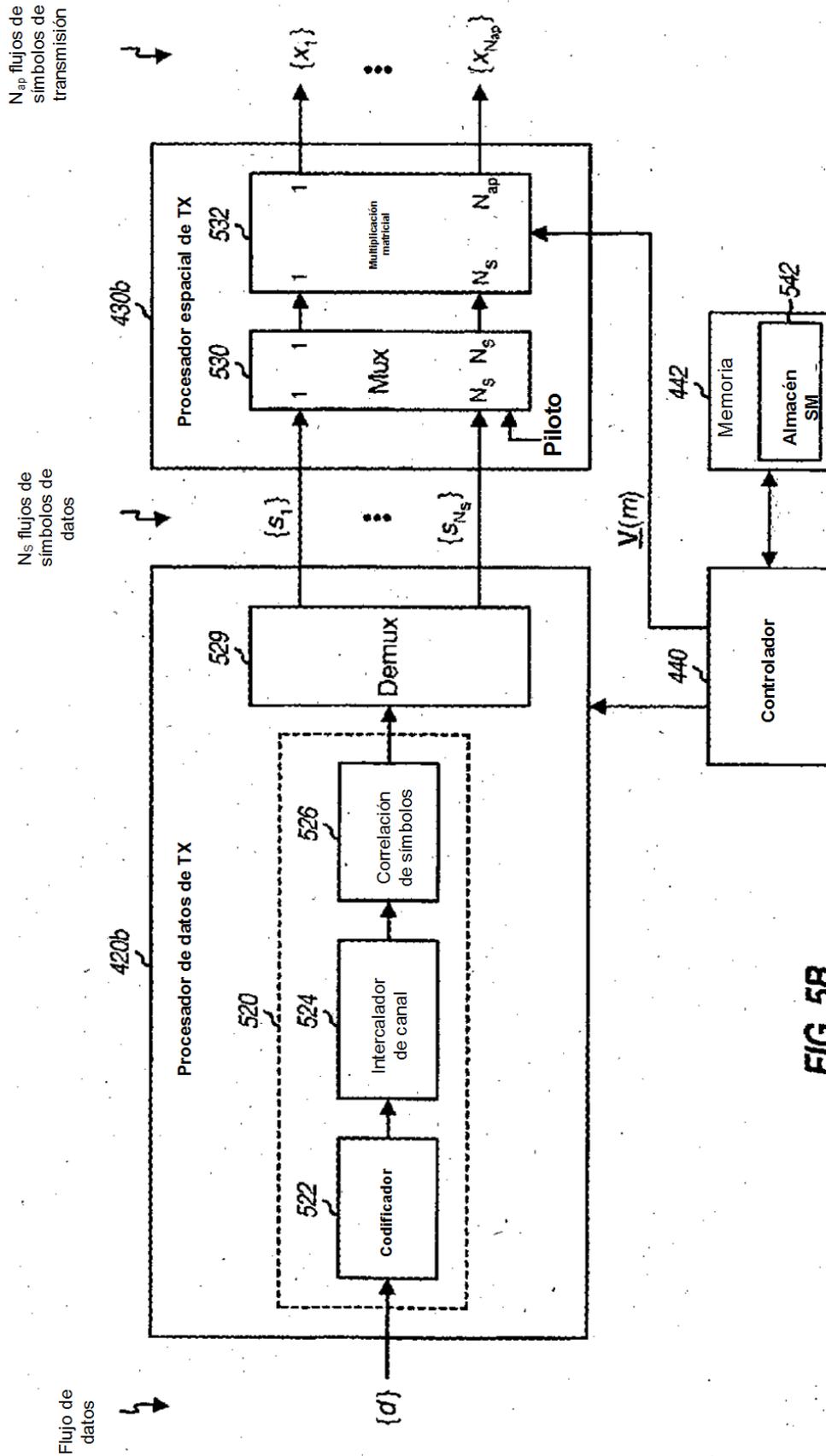


FIG. 5B

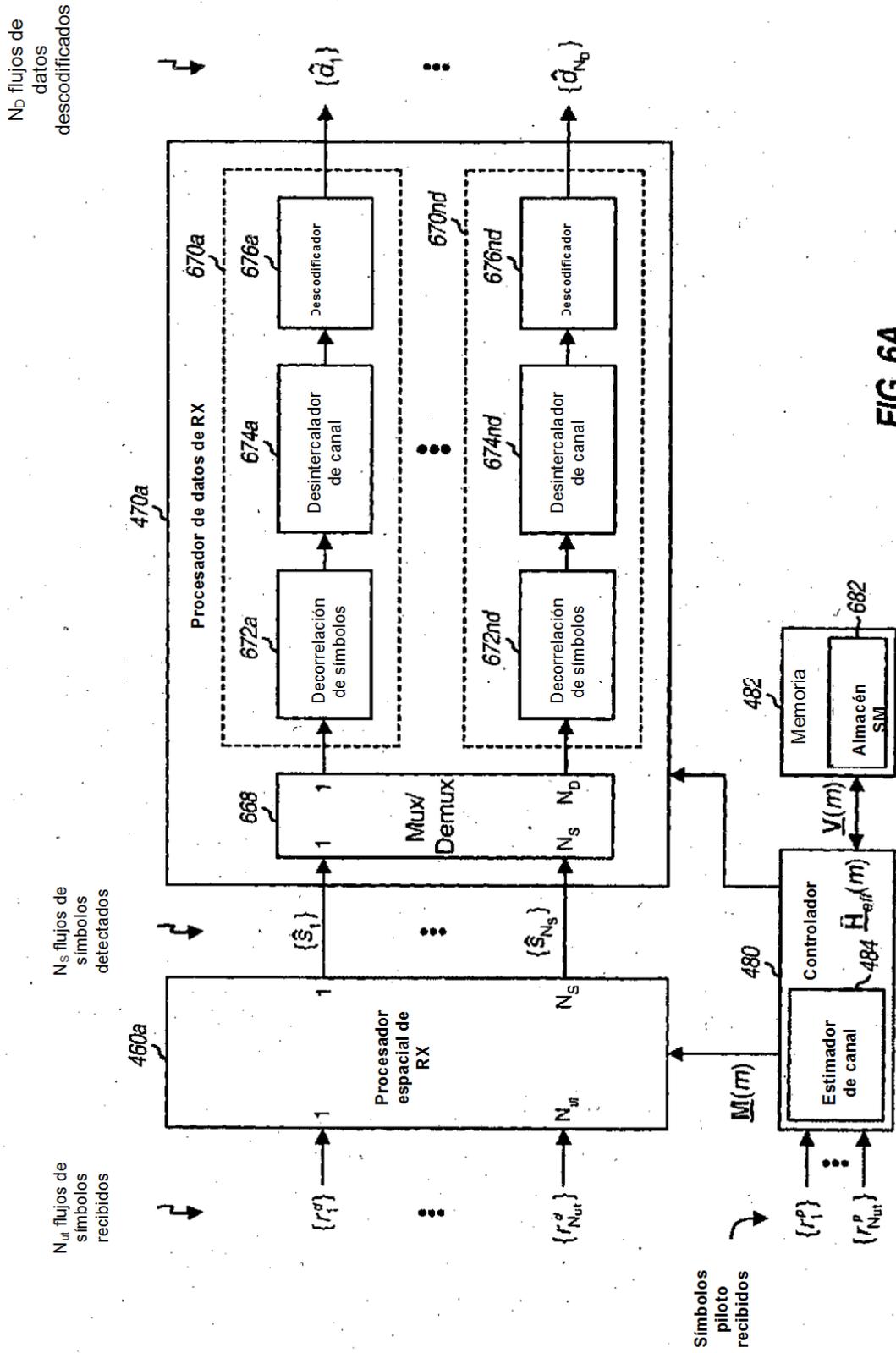


FIG. 6A

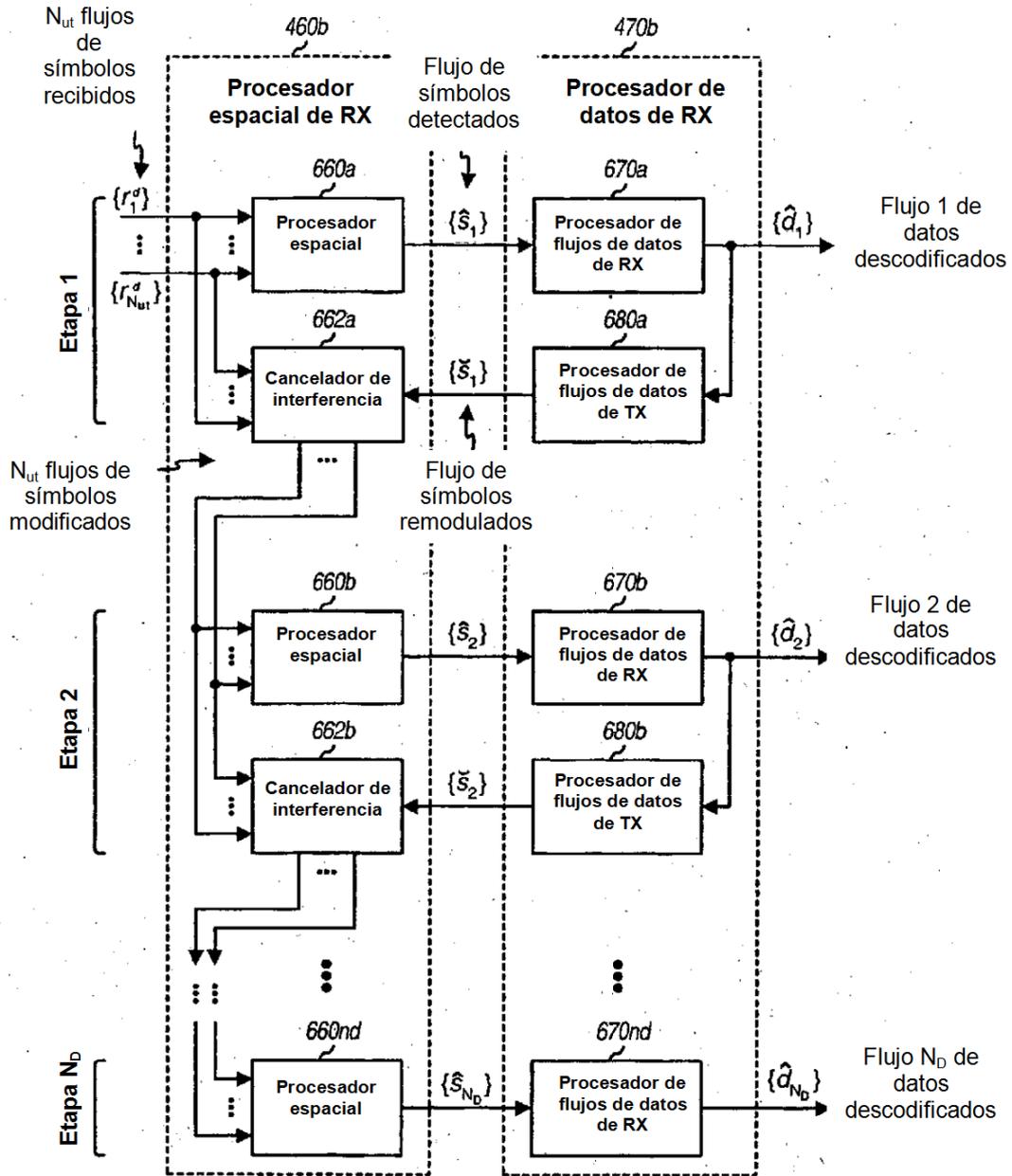


FIG. 6B

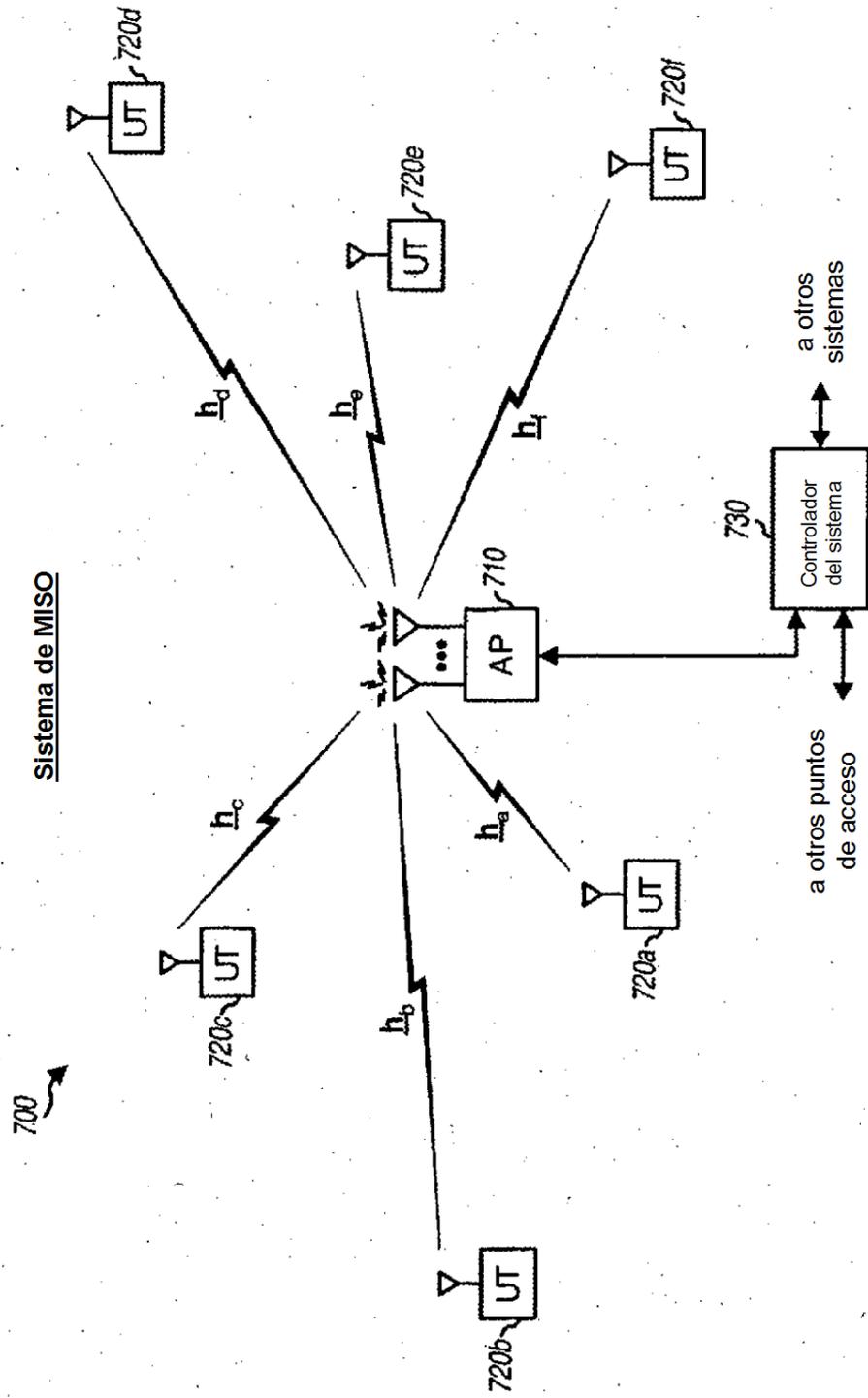


FIG. 7

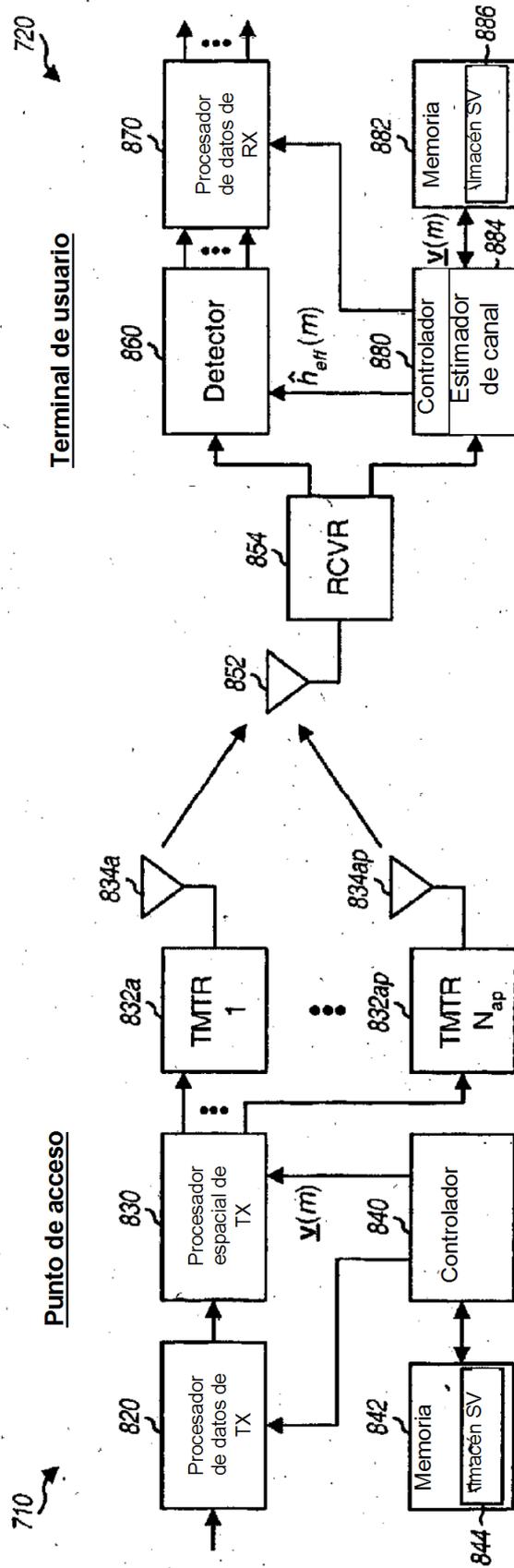


FIG. 8

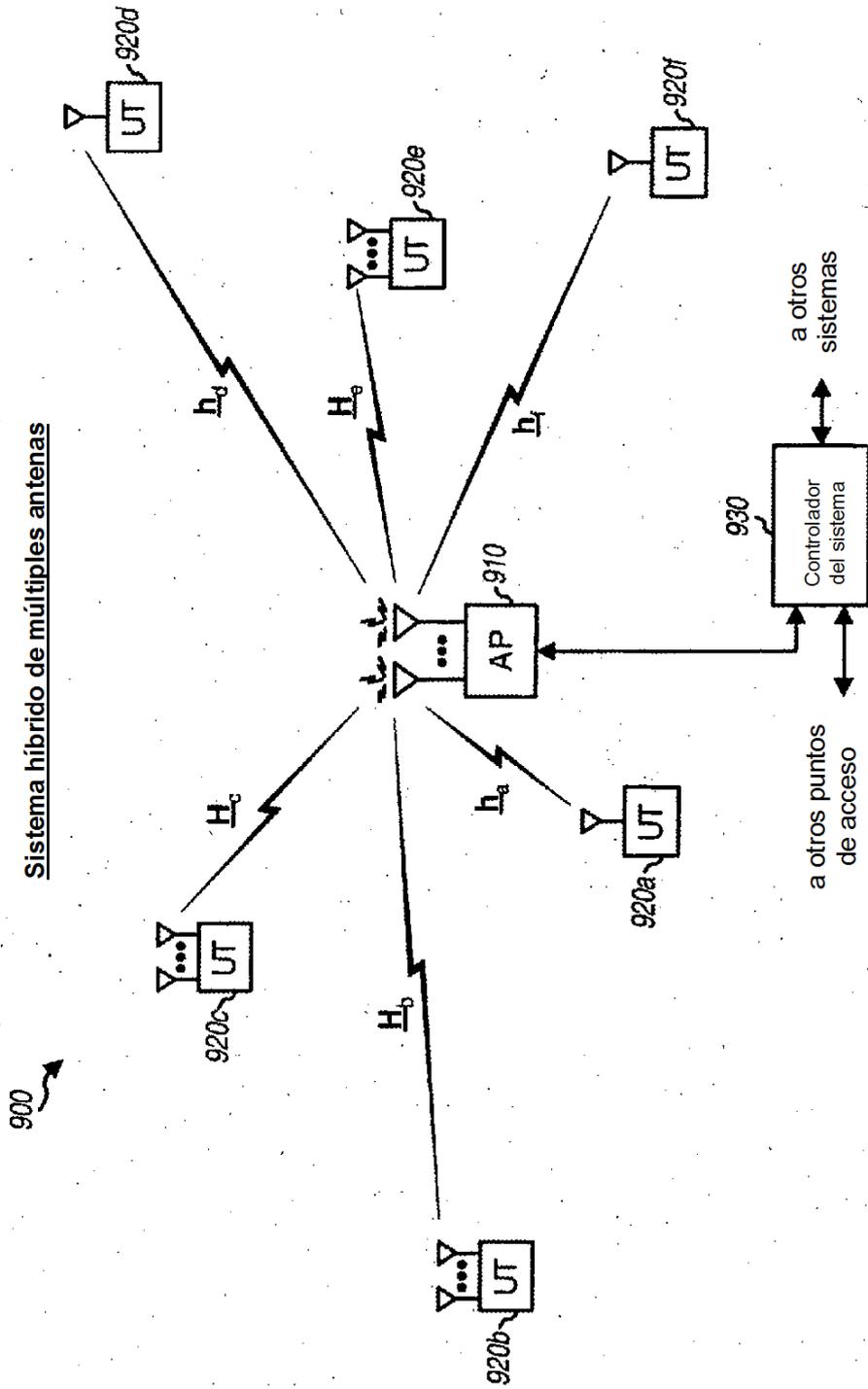


FIG. 9

