

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 975**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/04** (2006.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2005 E 05728334 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.02.2015 EP 1733486**

54 Título: **Procesamiento especial con matrices de guía para la guía de transmisión pseudo-aleatoria en un sistema de comunicación de múltiples antenas**

30 Prioridad:

**09.04.2004 US 821390**

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

**01.06.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WALLACE, MARK S.;  
WALTON, JAY RODNEY y  
HOWARD, STEVEN J.**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

**ES 2 536 975 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

Procesamiento especial con matrices de guía para la guía de transmisión pseudo-aleatoria en un sistema de comunicación de múltiples antenas

5

**Antecedentes****I. Campo**

10 La presente invención se refiere, en general, a la comunicación de datos y, más específicamente, a técnicas para realizar el procesamiento espacial para la transmisión de datos en un sistema de comunicación de múltiples antenas.

**II. Antecedentes**

15 Un sistema de comunicación de múltiples antenas emplea múltiples antenas de transmisión, y una o múltiples antenas de recepción, para la transmisión de datos. El sistema 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 ( $N_T$ ) antenas de transmisión en una entidad transmisora, y múltiples ( $N_R$ ) antenas de recepción en una entidad receptora, para la transmisión de datos, y es indicado como un sistema de  $N_R \times N_T$ . Un canal de MIMO, formado por las  $N_T$  antenas transmisoras y las  $N_R$  antenas receptoras, puede ser descompuesto en  $N_S$  canales espaciales, donde  $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$ . Los  $N_S$  canales espaciales pueden ser usados para transmitir datos de manera tal como para lograr mayor fiabilidad y / o mayor caudal global. Un sistema de MISO emplea múltiples ( $N_T$ ) antenas de transmisión y una única antena de recepción para la transmisión de datos. Un canal de MISO, formado por las  $N_T$  antenas de transmisión y la única antena de recepción, está compuesto por un único canal espacial.

25

Cada canal espacial puede experimentar diversas condiciones de canal nocivas tales como, p. ej., desvanecimiento, múltiples trayectos y efectos de interferencia. Los  $N_S$  canales espaciales de un canal de MIMO también pueden experimentar distintas condiciones de canal y pueden lograr distintas razones entre señal y ruido más interferencia (SNR). La SNR de un canal espacial determina su capacidad de transmisión, que está habitualmente cuantificada por una velocidad específica de datos que pueden ser transmitidos de manera fiable por el canal espacial. Para un canal inalámbrico variable en el tiempo, la condición de canal cambia con el tiempo y la SNR de cada canal espacial también cambia con el tiempo.

30

35 Para maximizar el caudal, el sistema de múltiples antenas puede utilizar alguna forma de retro-alimentación, por la cual la entidad receptora evalúa el canal, o los canales, espacial(es) y proporciona información de retro-alimentación que indica la condición del canal o la capacidad de transmisión de cada canal espacial. La entidad transmisora puede luego ajustar la transmisión de datos por cada canal espacial en base a la información de retro-alimentación. Sin embargo, esta información de retro-alimentación puede no estar disponible, por diversos motivos. Por ejemplo, el sistema de múltiples antenas puede no prestar soporte a la transmisión de retro-alimentación desde la entidad receptora, o el canal inalámbrico puede cambiar más rápidamente que la velocidad a la cual la entidad receptora puede estimar el canal inalámbrico y / o enviar de vuelta la información de retro-alimentación. En cualquier caso, si la entidad transmisora no conoce la condición del canal, entonces puede necesitar transmitir datos a una velocidad baja, de modo que la transmisión de datos pueda ser descodificada de forma fiable por la entidad receptora, incluso con la condición de canal del peor caso. Las prestaciones de un sistema de ese tipo estarían determinadas por la condición de canal del peor caso esperado, lo que es sumamente indeseable.

40

45

El documento US2003/0016637 A se refiere a la estimación de canal basada en intervalos temporales, con la diversidad de transmisión confrontada con la dificultad de hallar secuencias de entrenamiento adecuadas con las cualidades de correlación requeridas para un sistema de comunicación de diversidad de transmisión.

50

Para mejorar las prestaciones cuando la información de retro-alimentación no está disponible, la entidad transmisora puede realizar procesamiento espacial de modo que la transmisión de datos no observe la condición de canal del peor caso durante un periodo de tiempo prolongado, según se describe más adelante. Puede usarse luego una velocidad superior para la transmisión de datos. Sin embargo, este procesamiento espacial representa complejidad adicional para la entidad transmisora y, posiblemente, la entidad receptora.

55

Existe por lo tanto la necesidad en la tecnología de técnicas para realizar procesamiento espacial, con complejidad mínima, para mejorar las prestaciones de la transmisión de datos en un sistema de comunicación de múltiples antenas.

**Sumario**

60

Las técnicas para generar y usar matrices de guía para la guía de transmisión pseudo-aleatoria (PRTS) se describen en

la presente memoria. La PRTS se refiere al procesamiento espacial realizado por una entidad transmisora con matrices de guía, de modo que una transmisión de datos observe un conjunto de canales “efectivos”. Estos canales efectivos están formados por el canal real de MIMO o MISO usado para la transmisión de datos y las matrices de guía usadas para la PRTS. Con la PRTS, la transmisión de datos no observa ni una mala realización de canal durante un periodo de tiempo prolongado, y las prestaciones no están determinadas por la condición de canal del peor caso.

Las matrices de guía pueden ser generadas de modo que el cálculo de la PRTS se simplifique. Un conjunto de matrices de guía puede ser generado seleccionando primero una matriz de base, que puede ser una matriz de Walsh, una matriz de Fourier o alguna otra matriz unitaria que tenga columnas ortogonales. Distintas combinaciones de escalares se seleccionan luego, incluyendo cada combinación al menos un escalar para al menos una fila de la matriz de base, un escalar por fila. Cada escalar puede ser un valor real o complejo. Distintas matrices de guía se generan multiplicando la matriz de base por cada una de las distintas combinaciones de escalares, según se describe más adelante. Las distintas matrices de guía son por tanto permutaciones distintas de la matriz de base y retienen ciertas características deseables (p. ej., unitarias) de la matriz de base. Seleccionando una matriz de base adecuada (p. ej., una matriz de Walsh) y escalares adecuados (p. ej.,  $+1, -1, +j$  y  $-j$ , donde  $j = \sqrt{-1}$ ), los elementos de las matrices de guía pertenecen a un conjunto compuesto por  $\{+1, -1, +j, -j\}$ . En este caso, la multiplicación de un símbolo de datos por un elemento de una matriz de guía puede lograrse con sencillas manipulaciones de bits, según se describe más adelante.

Un conjunto de vectores de guía, usados para la transmisión de MISO, puede ser formado con las columnas de las matrices de guía. Cada vector de guía también puede ser visto como una matriz de guía degenerada, que contiene solamente una columna. Diversos aspectos y realizaciones de la invención se describen en mayor detalle más adelante.

**Breve descripción de los dibujos**

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

la FIG. 2 muestra un proceso para generar matrices de guía y vectores de guía, usados para la guía de transmisión pseudo-aleatoria; y

la FIG. 3 muestra un diagrama de bloques de una entidad transmisora de múltiples antenas, una entidad receptora de antena única y una entidad receptora de múltiples antenas.

**Descripción detallada**

La palabra “ejemplar” se usa en la presente memoria para significar “que sirve como 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.

La FIG. 1 muestra un sistema de múltiples antenas 100 con un punto de acceso (AP) 110 y terminales de usuario (UT) 120. Un punto de acceso es, en general, una estación fija que se comunica con los terminales de usuario, y también puede ser mencionado como una estación base, o con alguna otra terminología. Un terminal de usuario puede ser fijo o móvil, y también puede ser mencionado como una estación móvil, un dispositivo inalámbrico, un equipo de usuario, o con alguna otra terminología. Un controlador del sistema 130 se acopla con los puntos de acceso y proporciona coordinación y control para estos puntos de acceso.

El punto de acceso 110 está equipado con múltiples antenas para la transmisión de datos. Cada terminal de usuario 120 puede estar equipado con una única antena, o múltiples antenas, para la transmisión de datos. Un terminal de usuario puede comunicarse con el punto de acceso y también puede comunicarse de igual a igual con otro terminal de usuario. En la descripción siguiente, una entidad transmisora puede ser un punto de acceso o un terminal de usuario, y una entidad receptora también puede ser un punto de acceso o un terminal de usuario. La entidad transmisora está equipada con múltiples ( $N_T$ ) antenas de transmisión, y la entidad receptora puede estar equipada con una única antena, o múltiples ( $N_R$ ) antenas. Existe una transmisión de MISO cuando la entidad receptora está equipada con una única antena, y existe una transmisión de MIMO cuando la entidad receptora está equipada con múltiples antenas.

El sistema 100 puede ser un sistema de portadora única o un sistema de múltiples portadoras. Las múltiples portadoras pueden ser obtenidas con el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM), algunas otras técnicas de modulación de múltiples portadoras o con alguna otra estructura. El OFDM divide efectivamente el ancho de banda global del sistema en múltiples ( $N_F$ ) sub-bandas ortogonales, 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.

En el sistema 100, una entidad transmisora puede transmitir datos a una entidad receptora usando la guía de transmisión pseudo-aleatoria (PRTS) para lograr prestaciones mejoradas. Con la PRTS, la entidad transmisora realiza el procesamiento espacial de modo que la transmisión de datos observe un conjunto de canales efectivos y no esté atascada en una única mala realización de canal durante un periodo de tiempo prolongado. En consecuencia, las prestaciones no están dictadas por la condición de canal del peor caso.

El procesamiento espacial en la entidad transmisora para la guía de transmisión pseudo-aleatoria puede ser expresado como:

$$\underline{x}(m) = \underline{V}(m) \cdot \underline{s}(m) , \quad \text{Ec. (1)}$$

donde  $\underline{s}(m)$  es un vector de dimensiones  $N_T \times 1$ , con hasta  $N_T$  símbolos de datos a enviar en el lapso de transmisión  $m$ ;

$\underline{V}(m)$  es una matriz de guía de dimensiones  $N_T \times N_T$ , usada para el lapso de transmisión  $m$ ; y

$\underline{x}(m)$  es un vector de dimensiones  $N_T \times 1$  con  $N_T$  símbolos de transmisión a enviar desde las  $N_T$  antenas de transmisión en el lapso de transmisión  $m$ .

Según se usa en la presente memoria, un "símbolo de datos" es un símbolo de modulación para datos, un "símbolo piloto" es un símbolo de modulación para señales piloto y un "símbolo de transmisión" es un símbolo a enviar desde una antena de transmisión. Los símbolos piloto son conocidos *a priori* por ambas entidades transmisoras y receptoras.

Un lapso de transmisión puede abarcar dimensiones de tiempo y / o de frecuencia. Para un sistema de portadora única, un lapso de transmisión puede corresponder a un periodo de símbolos, que es el intervalo temporal para transmitir un símbolo de datos. Para un sistema de múltiples portadoras, tal como un sistema de MIMO que utiliza el OFDM, un lapso de transmisión puede corresponder a una sub-banda en un periodo de símbolos de OFDM. Un lapso 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 lapso de transmisión también puede ser denominado un intervalo de transmisión, un intervalo de señalización, una ranura, o con alguna otra terminología.

La guía de transmisión pseudo-aleatoria puede ser usada para lograr diversidad de transmisión o dispersión espacial, y también puede ser usada en combinación con una modalidad guiada, según se describe más adelante. El procesamiento espacial en la entidad receptora también se describe más adelante.

### 1. Generación de matriz de guía

La entidad transmisora puede realizar el procesamiento espacial para la guía de transmisión pseudo-aleatoria con un conjunto de matrices de guía (o matrices de transmisión), que pueden ser indicadas como  $\{\underline{V}\}$ , o  $\underline{V}(i)$ , para  $i = 1 \dots L$ , donde  $L$  puede ser cualquier entero mayor que uno. Las matrices de guía deberían ser matrices unitarias y satisfacer lo siguiente:

$$\underline{V}^H(i) \cdot \underline{V}(i) = \underline{I}, \text{ para } i = 1 \dots L, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde  $\underline{I}$  es la matriz identidad, con unos a lo largo de la diagonal y ceros en el resto. Cada matriz de guía  $\underline{V}(i)$  incluye  $N_T$  columnas y puede ser expresada como  $\underline{V}(i) = [\underline{v}_1(i) \ \underline{v}_2(i) \ \dots \ \underline{v}_{N_T}(i)]$ . La ecuación (2) indica que cada columna de  $\underline{V}(i)$  debería tener energía unitaria, o sea,  $\|\underline{v}_a(i)\| = \underline{v}_a^H(i) \cdot \underline{v}_a(i) = 1$ , para  $a = 1 \dots N_T$ . Esta condición asegura que los  $N_T$  símbolos de datos transmitidos simultáneamente usando  $\underline{V}(i)$  tienen la misma energía. La ecuación (2) también indica que el producto interno Hermitiano de dos columnas cualesquiera de  $\underline{V}(i)$  debería ser cero, o sea,  $\underline{v}_a^H(i) \cdot \underline{v}_b(i) = 0$ , para  $a = 1 \dots N_T$ ,  $b = 1 \dots N_T$  y  $a \neq b$ . Esta condición garantiza que los  $N_T$  símbolos de datos transmitidos simultáneamente son ortogonales entre sí en las antenas de transmisión.

El conjunto de  $L$  matrices de guía puede ser generado de diversas maneras. En una realización, las  $L$  matrices de guía son generadas a partir de una matriz de base que es, preferiblemente, una matriz unitaria. La matriz de base puede ser usada como una de las  $L$  matrices de guía. Las otras  $L-1$  matrices de guía pueden ser generadas multiplicando las filas de la matriz de base por distintos escalares, según se describe más adelante. En general, un escalar puede ser cualquier valor real o complejo. Sin embargo, para asegurar que las matrices de guía sean matrices unitarias, los escalares se seleccionan para que tengan magnitud unitaria y fases entre  $0$  y  $2\pi$  (o entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ ).

En una realización, la matriz de base es una matriz de Walsh. Una matriz de Walsh  $\underline{W}_{2 \times 2}$  de dimensiones  $2 \times 2$  y una

matriz de Walsh  $\underline{W}_{4 \times 4}$  de dimensiones 4x4 pueden ser expresadas como:

$$\underline{W}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad \underline{W}_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec.(3)}$$

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

$$\underline{W}_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} \underline{W}_{N \times N} & \underline{W}_{N \times N} \\ \underline{W}_{N \times N} & -\underline{W}_{N \times N} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (4)}$$

Según lo indicado por la ecuación (4), las matrices de Walsh tienen dimensiones que son potencias de dos (p. ej., 2, 4, 8, y así sucesivamente), debido a la forma en que se forman estas matrices.

10 Para un sistema de dimensiones  $N_R \times 2$ , con  $N_R \geq 2$ , cuatro matrices de guía ejemplares pueden ser generadas a partir de la matriz de Walsh  $\underline{W}_{2 \times 2}$ , según lo siguiente:

$$\underline{W}_{2 \times 2}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad \underline{W}_{2 \times 2}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \underline{W}_{2 \times 2}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}, \quad \text{y} \quad \underline{W}_{2 \times 2}^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix},$$

donde  $\underline{W}_{2 \times 2}$  es igual a  $\underline{W}_{2 \times 2}^1$ ;

15  $\underline{W}_{2 \times 2}^2$  se obtiene multiplicando la segunda fila de  $\underline{W}_{2 \times 2}$  por -1 o  $e^{j\pi}$ ;

$\underline{W}_{2 \times 2}^3$  se obtiene multiplicando la segunda fila de  $\underline{W}_{2 \times 2}$  por  $+j$  o  $e^{j\pi/2}$ ; y

20  $\underline{W}_{2 \times 2}^4$  se obtiene multiplicando la segunda fila de  $\underline{W}_{2 \times 2}$  por  $-j$  o  $e^{-j\pi/2}$ .

Pueden ser generadas matrices de guía adicionales multiplicando la segunda fila de  $\underline{W}_{2 \times 2}$  por otros escalares, p. ej.,  $e^{\pm j3\pi/4}$ ,  $e^{\pm j\pi/4}$ ,  $e^{\pm j\pi/8}$ , y así sucesivamente. El conjunto de L matrices de guía puede ser formado de la siguiente manera:

25  $\underline{V}(1) = g_2 \cdot \underline{W}_{2 \times 2}^1$ ,  $\underline{V}(2) = g_2 \cdot \underline{W}_{2 \times 2}^2$ , y así sucesivamente, donde el ajuste a escala en  $g_2 = 1/\sqrt{2}$  da como resultado que cada columna de  $V(i)$  tenga energía unitaria.

Para un sistema de dimensiones  $N_R \times 4$ , con  $N_R \geq 4$ , cuatro matrices de guía ejemplares pueden ser generadas a partir de la matriz de Walsh  $\underline{W}_{4 \times 4}$ , de la siguiente manera:

$$\underline{W}_{4 \times 4}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \underline{W}_{4 \times 4}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix},$$

30

$$\underline{W}_{4 \times 4}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ j & -j & j & -j \\ j & j & -j & -j \\ j & -j & -j & j \end{bmatrix}, \quad \text{y} \quad \underline{W}_{4 \times 4}^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ j & -j & j & -j \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix},$$

donde  $\underline{W}_{4 \times 4}^1$  es igual a  $\underline{W}_{4 \times 4}$ ;

$\underline{W}_{4 \times 4}^2$  se obtiene multiplicando por -1 cada una de las filas entre 2 y 4 de  $\underline{W}_{4 \times 4}$ ;

$\underline{W}_{4 \times 4}^3$  se obtiene multiplicando por +j cada una de las filas entre 2 y 4 de  $\underline{W}_{4 \times 4}$ ; y

$\underline{W}_{4 \times 4}^4$  se obtiene multiplicando por +j la fila 2 de  $\underline{W}_{4 \times 4}$ .

El conjunto de L matrices de guía puede ser formado de la siguiente manera:  
 $\underline{V}(1) = g_4 \cdot \underline{W}_{4 \times 4}^1$ ,  $\underline{V}(2) = g_4 \cdot \underline{W}_{4 \times 4}^2$ , y así sucesivamente, donde el ajuste a escala en  $g_4 = 1/\sqrt{4} = 1/2$  da como resultado que cada columna de  $\underline{V}(i)$  tenga energía unitaria.

En general, para una matriz de base de dimensiones NxN, cada una de las filas entre 2 y N de la matriz de base puede ser multiplicada independientemente por uno entre K posibles escalares distintos. De tal modo,  $K^{N-1}$  matrices de guía distintas pueden ser obtenidas a partir de  $K^{N-1}$  distintas permutaciones de los K escalares para las N-1 filas. Por ejemplo, cada una de las filas 2 a N puede ser multiplicada independientemente por un escalar de  $e^{j0} = +1$ ,  $e^{j\pi} = -1$ ,  $e^{j\pi/2} = +j$  o  $e^{-j\pi/2} = -j$ . En este caso, para N = 4, 64 matrices de guía distintas pueden ser generadas a partir de la matriz de Walsh  $\underline{W}_{4 \times 4}$  con los cuatro escalares distintos. Pueden ser generadas matrices de guía adicionales con otros escalares, p. ej.,  $e^{\pm j3\pi/4}$ ,  $e^{\pm j\pi/4}$ ,  $e^{\pm j\pi/8}$  y así sucesivamente. En general, cada fila de la matriz de base puede ser multiplicada por cualquier escalar que tenga la forma  $e^{j\theta}$ , donde  $\theta$  puede ser cualquier valor de fase. También en general, NxN matrices de guía pueden ser generadas a partir de matrices de Walsh de dimensiones NxN, tales como

$$\underline{V}(i) = g_N \cdot \underline{W}_{N \times N}^i, \quad \text{donde} \quad g_N = 1/\sqrt{N}$$

Las matrices de guía obtenidas en base a una matriz de Walsh tienen ciertas propiedades deseables. Si las filas de la matriz de Walsh son multiplicadas por escalares de  $\pm 1$  y  $\pm j$ , entonces cada elemento de una matriz de guía resultante es +1, -1, +j o -j y, por tanto, tiene un valor no nulo solamente para el componente real o imaginario. En este caso, la multiplicación de un símbolo de datos por un elemento de la matriz de guía puede ser realizada solamente con manipulación de bits. Por ejemplo, una multiplicación de un símbolo de datos de valores complejos,  $a + jb$ , por -1 puede ser realizada invirtiendo el bit de signo de ambos componentes real e imaginario del símbolo de datos, o sea,  $(a + jb) (-1 + j0) = -a -jb$ . Una multiplicación por +j puede ser realizada permutando los componentes real e imaginario del símbolo de datos e invirtiendo el bit de signo del componente real, o sea,  $(a + jb) (0 + j) = -b + ja$ . Una multiplicación por -j puede ser realizada permutando los componentes real e imaginario del símbolo de datos e invirtiendo los bits de signo de ambos componentes real e imaginario, o sea,  $(a + jb) (0 - j) = -b - ja$ . De tal modo, si los elementos de las L matrices de guía pertenecen a un conjunto compuesto por  $\{+1, -1, +j, -j\}$ , entonces el cálculo realizado por la entidad transmisora para la guía de transmisión pseudo-aleatoria puede ser simplificado en gran medida.

En otra realización, la matriz de base es una matriz de Fourier. Una matriz de Fourier  $\underline{D}_{2 \times 2}$  de dimensiones 2x2 es igual a la matriz de Walsh  $\underline{W}_{2 \times 2}$ , o sea,  $\underline{D}_{2 \times 2} = \underline{W}_{2 \times 2}$ . Una matriz de Fourier  $\underline{D}_{3 \times 3}$  de dimensiones 3x3 y una matriz de Fourier  $\underline{D}_{4 \times 4}$  de dimensiones 4x4 pueden ser expresadas como:

$$\underline{D}_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/3} & e^{-j4\pi/3} \\ 1 & e^{-j4\pi/3} & e^{-j2\pi/3} \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad \underline{D}_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (5)}$$

En general, para una matriz de Fourier  $\underline{\mathbf{D}}_{N \times N}$  de dimensiones  $N \times N$ , el elemento  $d_{n,m}$  en la  $n$ -ésima fila de la  $m$ -ésima columna de  $\underline{\mathbf{D}}_{N \times N}$  puede ser expresado como:

$$d_{n,m} = e^{-j2\pi \frac{(n-1)(m-1)}{N}}, \text{ para } n = \{1 \dots N\} \text{ y } m = \{1 \dots N\}. \quad \text{Ec. (6)}$$

5 A diferencia de las matrices de Walsh, pueden formarse matrices de Fourier de cualquier dimensión cuadrada (p. ej., 2, 3, 4, 5 y así sucesivamente).

10 Para un sistema de dimensiones  $N_R \times 3$ , con  $N_R \geq 3$ , pueden ser generadas cuatro matrices de guía ejemplares a partir de la matriz de Fourier  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}$ , de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/3} & e^{-j4\pi/3} \\ 1 & e^{-j4\pi/3} & e^{-j2\pi/3} \end{bmatrix}, \quad \underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & e^{j\pi/3} & e^{-j\pi/3} \\ -1 & e^{-j\pi/3} & e^{j\pi/3} \end{bmatrix},$$

$$\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ e^{j\pi/2} & e^{-j\pi/6} & e^{-j5\pi/6} \\ e^{j\pi/2} & e^{-j5\pi/6} & e^{-j\pi/6} \end{bmatrix} \text{ y } \underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ e^{j\pi/2} & e^{-j\pi/6} & e^{-j5\pi/6} \\ 1 & e^{-j4\pi/3} & e^{-j2\pi/3} \end{bmatrix},$$

donde  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^1$  es igual a  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}$ ;

$\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^2$  se obtiene multiplicando por -1 cada una de las filas 2 y 3 de  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}$ ;

$\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^3$  se obtiene multiplicando por +j cada una de las filas 2 y 3 de  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}$ ; y

15  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^4$  se obtiene multiplicando por +j la fila 2 de  $\underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}$ .

Cada una de las filas 2 y 3 puede ser multiplicada independientemente por un escalar de +1, -1, +j o -j. Para  $N = 3$ , un total de 16 matrices de guía puede ser generado con los cuatro escalares. Pueden ser generadas matrices de guía adicionales con otros escalares, p. ej.,  $e^{\pm j2\pi/3}$ ,  $e^{\pm j\pi/3}$ ,  $e^{\pm j\pi/4}$ ,  $e^{\pm j\pi/6}$  y así sucesivamente. El conjunto de L matrices de guía

20 puede ser formado de la siguiente manera:  $\underline{\mathbf{V}}(1) = g_3 \cdot \underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^1$ ,  $\underline{\mathbf{V}}(2) = g_3 \cdot \underline{\mathbf{D}}_{3 \times 3}^2$  y así sucesivamente, donde el

ajuste a escala en  $g_3 = 1/\sqrt{3}$  da como resultado que cada columna de  $\underline{\mathbf{V}}(i)$  tenga energía unitaria.

Para el sistema de dimensiones  $N_R \times 4$ , con  $N_R \geq 4$ , pueden ser generadas cuatro matrices de guía ejemplares a partir de la matriz de Fourier  $\underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}$ , de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix}, \quad \underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -j & 1 & j \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & j & 1 & -j \end{bmatrix},$$

$$\underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ j & -1 & -j & 1 \\ j & -j & j & -j \\ j & 1 & -j & -1 \end{bmatrix}, \text{ y } \underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ j & -1 & -j & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix},$$

donde  $\underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}^1$  es igual a  $\underline{\mathbf{D}}_{4 \times 4}$ ;

$\underline{D}_{4 \times 4}^2$  se obtiene multiplicando por -1 cada una de las filas 2 a 4 de  $\underline{D}_{4 \times 4}$ ;

$\underline{D}_{4 \times 4}^3$  se obtiene multiplicando por +j cada una de las filas 2 a 4 de  $\underline{D}_{4 \times 4}$ ; y

5  $\underline{D}_{4 \times 4}^4$  se obtiene multiplicando por +j la fila 2 de  $\underline{D}_{4 \times 4}$ .

Cada una de las filas 2 a 4 puede ser multiplicada independientemente por un escalar de +1, -1, +j o -j. Para N = 4, un total de 64 matrices de guía puede ser generado con cuatro escalares. Matrices de guía adicionales pueden ser generadas con otros escalares, p. ej.,  $e^{\pm j3\pi/4}$ ,  $e^{\pm j2\pi/3}$ ,  $e^{\pm j\pi/3}$ ,  $e^{\pm j\pi/4}$ ,  $e^{\pm j\pi/6}$ ,  $e^{\pm j\pi/8}$  y así sucesivamente. El conjunto de L matrices de guía puede ser formado de la siguiente manera: y así sucesivamente.

10 Para N = 4, los elementos de la matriz de Fourier  $\underline{D}_{4 \times 4}$  están en el conjunto {+1, -1, +j, -j}. Si las filas de  $\underline{D}_{4 \times 4}$  son multiplicadas por escalares de  $\pm 1$  y  $\pm j$ , entonces los elementos de las matrices de guía resultantes también están en el conjunto {+1, -1, +j, -j}. En este caso, el cálculo para el procesamiento espacial puede ser simplificado luego, según lo descrito anteriormente.

15 Para N = 3, los elementos de la matriz de Fourier  $\underline{D}_{3 \times 3}$  están un conjunto compuesto por  $\left\{ +1, -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right\}$ . Si las filas de  $\underline{D}_{3 \times 3}$  son multiplicadas por escalares de  $e^{\pm j\pi/6}$  (rotación de  $\pm 30^\circ$ ),  $e^{\pm j\pi/3}$  (rotación de  $\pm 60^\circ$ ),  $e^{\pm j\pi/2}$  (rotación de  $\pm 90^\circ$ ),  $e^{\pm j2\pi/3}$  (rotación de  $\pm 120^\circ$ ),  $e^{\pm j5\pi/6}$  (rotación de  $\pm 150^\circ$ ) y  $e^{j\pi} = -1$  (rotación de  $180^\circ$ ), entonces los elementos de las matrices resultantes son tales que al menos un componente pertenece a un conjunto compuesto por {0, +1, -1, + 1/2, -1/2}. Una multiplicación para este componente puede ser realizada con un desplazamiento (si es necesario para una división entre 2) y una inversión del bit de signo (si es necesario). Una multiplicación de un símbolo de datos de valores complejos,  $a + jb$ , por un elemento de una matriz de guía de ese tipo requeriría entonces, a lo sumo, una multiplicación real para un componente con una magnitud de  $\sqrt{3}/2$ .

20 La FIG. 2 muestra un diagrama de flujo de un proceso 200 para generar matrices de guía y vectores de guía usados para la guía de transmisión pseudo-aleatoria. Se obtiene inicialmente una matriz de base (bloque 212). La matriz de base puede ser una matriz de Walsh, una matriz de Fourier o alguna otra matriz unitaria con columnas ortogonales. Una matriz de Walsh puede simplificar el cálculo para la PRTS, pero tiene una dimensión que es una potencia de dos. Puede formarse una matriz de Fourier de cualquier dimensión, y ciertas dimensiones (p. ej., cuatro) pueden proveer el cálculo simplificado para la PRTS.

25 Una combinación distinta de escalares se selecciona luego para una nueva matriz de guía a generar (bloque 214). La primera fila de la matriz de base se deja habitualmente sin cambios (o multiplicada por +1), y cada una de las otras N-1 filas puede ser multiplicada por uno cualquiera de los K posibles escalares, donde, en general,  $N \geq 2$  y  $K \geq 2$ . La combinación seleccionada puede incluir N-1 escalares para las filas 2 a N de la matriz de base, a razón de un escalar por fila. Los K escalares pueden ser seleccionados de modo que los elementos de la matriz de guía resultante tengan formatos que puedan simplificar el cálculo. Por ejemplo, K puede ser cuatro, y los cuatro posibles escalares pueden ser +1, -1, +j y -j. Para la primera matriz de guía, la combinación de escalares puede ser de todos +1. En general, cero, uno o más de los escalares en la combinación seleccionada puede(n) ser igual(es) a +1, lo que corresponde a ningún cambio en la fila de la matriz de base que está siendo multiplicada por este escalar. En cualquier caso, la nueva matriz de guía se forma multiplicando las N-1 filas de la matriz de base por la combinación seleccionada de N-1 escalares (bloque 216). La matriz de guía generada puede ser almacenada en una memoria o usada de inmediato para el procesamiento espacial.

30 Se toma luego una determinación en cuanto a si se necesita o no otra matriz de guía (bloque 218). Si la respuesta es sí, entonces el proceso vuelve al bloque 214 y se selecciona una combinación distinta de escalares para la próxima matriz de guía. Si está siendo generado un conjunto de L matrices de guía, entonces se usan L distintas combinaciones de escalares, de modo que no sean generadas matrices de guía duplicadas para el conjunto. Si se están generando matrices de guía sobre la marcha, entonces la combinación de escalares para cada matriz de guía puede ser seleccionada de forma de evitar que sean generadas matrices de guía duplicadas, p. ej., dentro de un número predeterminado de lapsos de transmisión.

35 Las distintas combinaciones de escalares pueden ser seleccionadas de manera determinística para evitar la

5 duplicación. Como ejemplo para  $N = 4$  y  $K = 4$ , puede usarse un contador de base 4 de 3 dígitos, estando los tres dígitos etiquetados como  $x$ ,  $y$  y  $z$ . El dígito  $x$  puede estar asociado a la fila 2 de la matriz de base, el dígito  $y$  puede estar asociado a la fila 3 y el dígito  $z$  puede estar asociado a la fila 4. Cada dígito tiene una gama entre 0 y 3. El escalar  $+1$  puede ser usado para la fila 2 de la matriz de base si  $x = 0$ , el escalar  $-1$  puede ser usado si  $x = 1$ , el escalar  $+j$  puede ser usado si  $x = 2$  y el escalar  $-j$  puede ser usado si  $x = 3$ . Los dígitos  $y$  y  $z$ , de manera similar, determinan cuáles escalares usar, respectivamente, para las filas 3 y 4 de la matriz de base. El contador puede ser incrementado en el bloque 214 para cada nueva matriz de guía. Por ejemplo, el contador puede contar desde 000 hasta 003, luego de 010 a 013, luego de 020 a 023, luego de 030 a 033, luego de 100 a 103, y así sucesivamente, y finalmente de 330 a 333. Los tres dígitos ( $xyz$ ) del contador determinarán cuáles escalares usar para las filas 2 a 4 de la matriz de base. También pueden ser usados otros mecanismos y esquemas para seleccionar distintas combinaciones de escalares a usar para las filas de la matriz de base, para generar distintas matrices de guía. Después de que ha sido seleccionada una combinación distinta de escalares en el bloque 214, se genera otra matriz de guía usando esta combinación de escalares en el bloque 216.

15 De vuelta en la etapa 218, si no se necesita otra matriz de guía (p. ej., porque todas las  $L$  matrices de guía para el conjunto han sido generadas), entonces puede formarse un conjunto de vectores de guía, si es necesario para la transmisión de MISO (bloque 220). Los vectores de guía pueden ser formados con las columnas de las matrices de guía generadas en los bloques 212 a 218. El proceso termina entonces.

20 Las matrices de guía generadas de la forma descrita anteriormente son distintas permutaciones de la matriz de base, donde las permutaciones están determinadas por las distintas combinaciones de escalares. Los escalares son seleccionados para que tengan magnitud unitaria, de modo que las matrices de guía sean matrices unitarias. Los escalares pueden además ser seleccionados de modo que los elementos de las matrices de guía puedan simplificar el cálculo para la PRTS. Los elementos de cada matriz de guía generada a partir de una matriz de Walsh o una matriz de

25 Fourier también tienen idéntica magnitud de  $1/\sqrt{N}$ , lo que simplifica el ajuste a escala de estos elementos y brinda otras ventajas.

30 Las matrices de guía y los vectores de guía usados para la guía de transmisión pseudo-aleatoria pueden ser generados en base a una matriz de base, y almacenados en una memoria. A continuación, una matriz, o un vector, de guía puede ser seleccionado(a) para su uso para cada lapso de transmisión, y la matriz / vector seleccionado(a) es recuperado(a) desde la memoria. De manera alternativa, las matrices / vectores de guía pueden ser generados(as) en tiempo real, según se necesiten.

35 Como se ha indicado anteriormente, cada vector de guía puede ser visto como una matriz de guía degenerada que contiene solamente una columna. De tal modo, según se usa en la presente memoria, una matriz puede contener una o múltiples columnas.

**2. Selección de matrices de guía**

40 Las  $L$  matrices de guía en el conjunto pueden ser seleccionadas para su uso de diversas maneras. En una realización, las matrices de guía son seleccionadas entre el conjunto de  $L$  matrices de guía de manera determinística. Por ejemplo, las  $L$  matrices de guía pueden ser recorridas cíclicamente y seleccionadas en orden secuencial, comenzando en  $\underline{V}(1)$ , luego  $\underline{V}(2)$  y así sucesivamente, y luego  $\underline{V}(L)$ . En otra realización, las matrices de guía son seleccionadas entre el conjunto de manera pseudo-aleatoria. Por ejemplo, la matriz de guía a usar para cada lapso  $m$  de transmisión puede ser seleccionada en base a una función  $f(m)$  que selecciona de manera pseudo-aleatoria una de las  $L$  matrices de guía, o  $\underline{V}(f(m))$ . En otra realización más, las matrices de guía son seleccionadas entre el conjunto de manera "permutada". Por ejemplo, las  $L$  matrices de guía pueden ser recorridas cíclicamente y seleccionadas para su uso en orden secuencial. Sin embargo, la matriz de guía inicial para cada ciclo puede ser seleccionada de una manera pseudo-aleatoria, en lugar de ser siempre  $\underline{V}(1)$ . Las  $L$  matrices de guía también pueden ser seleccionadas de otras formas.

50 La selección de matrices de guía también puede depender del número de matrices de guía ( $L$ ) en el conjunto y del número de lapsos de transmisión ( $M$ ) en un bloque de transmisión sobre el cual ha de aplicarse la guía de transmisión pseudo-aleatoria. El bloque de transmisión puede corresponder a un paquete de datos, un bloque de código o palabra de código, un símbolo de OFDM, una unidad de datos de protocolo (PDU), etc. En general, el número de matrices de guía ( $L$ ) puede ser mayor, igual o menor que la longitud del bloque de transmisión ( $M$ ). Si  $L = M$ , entonces puede seleccionarse una matriz de guía distinta para cada uno de los  $M$  lapsos de transmisión para el bloque de transmisión. Si  $L < M$ , entonces las matrices de guía son reutilizadas para cada bloque de transmisión. Si  $L > M$ , entonces se usa un subconjunto de las matrices de guía para cada bloque de transmisión. Para los tres casos, las matrices de guía pueden ser seleccionadas de manera determinística, pseudo-aleatoria o permutada, según lo descrito anteriormente.

60 **3. Transmisión de MIMO**

En el sistema 100, existe un canal de MIMO entre una entidad transmisora de múltiples antenas y una entidad receptora de múltiples antenas. Para un sistema de portadora única, el canal de MIMO formado por las  $N_T$  antenas en la entidad transmisora y las  $N_R$  antenas en la entidad receptora puede ser caracterizado por una matriz  $\underline{\mathbf{H}}$  de respuesta de canal, de dimensiones  $N_R \times N_T$ , que puede ser expresada como:

$$\underline{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,N_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1} & h_{N_R,2} & \cdots & h_{N_R,N_T} \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde la entrada  $h_{i,l}$  para  $i = 1 \dots N_R$  y  $l = 1 \dots N_T$ , indica el acoplamiento o ganancia compleja entre la antena de transmisión  $l$  y la antena de recepción  $i$ . Existe un canal de MIMO distinto entre cada combinación distinta de entidad transmisora de múltiples antenas y entidad receptora de múltiples antenas. Para simplificar, se supone que el canal de MIMO es de rango completo, con  $N_S = N_T \leq N_R$ .

Para una transmisión de MIMO, la entidad transmisora puede realizar el procesamiento espacial para la guía de transmisión pseudo-aleatoria, según lo siguiente:

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

donde  $\underline{\mathbf{x}}_{mimo,pr}(m)$  es un vector con  $N_T$  símbolos de transmisión a enviar desde las  $N_T$  antenas de transmisión en el lapso de transmisión  $m$ . La matriz de guía  $\underline{\mathbf{V}}(m)$  a usar para cada lapso de transmisión puede ser seleccionada entre el conjunto de  $L$  matrices de guía, según lo descrito anteriormente. Si el sistema utiliza el OFDM, entonces un sub-flujo de símbolos de datos puede ser enviado por cada sub-banda usada para la transmisión de datos. Las entidades de transmisión y recepción realizarán entonces el procesamiento espacial para cada sub-banda de datos por separado.

Los símbolos recibidos en la entidad receptora pueden ser expresados como:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_{pr}(m) &= \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{x}}_{mimo,pr}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) \\ &= \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m), \end{aligned} \quad \text{Ec. (9)}$$

donde  $\underline{\mathbf{r}}_{pr}(m)$  es un vector con  $N_R$  símbolos recibidos desde las  $N_R$  antenas de recepción;  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$  es una matriz efectiva de respuesta de canal de MIMO, de dimensiones  $N_R \times N_T$ , para el lapso de transmisión  $m$ , que es  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$ ; y  $\underline{\mathbf{n}}(m)$  es un vector de ruido.

Para simplificar, se supone que el ruido es ruido Gaussiano blanco aditivo (AWGN) con un vector de media cero y una matriz de covarianza de  $\underline{\mathbf{\Delta}} = \sigma^2 \cdot \mathbf{I}$ , donde  $\sigma^2$  es la varianza del ruido observado por la entidad receptora.

El procesamiento espacial en la entidad transmisora con la matriz de guía  $\underline{\mathbf{V}}(m)$  da como resultado que los símbolos de datos en  $\underline{\mathbf{s}}(m)$  observen una respuesta efectiva de canal de MIMO  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ , que incluye la respuesta real de canal de MIMO  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  y la matriz de guía  $\underline{\mathbf{V}}(m)$ . La entidad receptora puede realizar la estimación de canal de diversas maneras.

Si la entidad transmisora transmite símbolos piloto sin guía de transmisión pseudo-aleatoria, entonces la entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  directamente. Para simplificar, la descripción en la presente memoria supone una estimación de canal sin errores. La entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{\mathbf{H}}(m_p)$  para el lapso de transmisión  $m_p$ , en base a los símbolos piloto recibidos desde la entidad transmisora en este lapso de transmisión.

Si la entidad transmisora transmite símbolos de datos en otro lapso de transmisión  $m_d$  usando una matriz de guía  $\underline{\mathbf{V}}(m_d)$ , entonces la entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_d)$  para este lapso de transmisión de la siguiente manera:  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_d) = \underline{\mathbf{H}}(m_p) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m_d)$ . La respuesta de canal de MIMO se supone constante entre los lapsos de transmisión  $m_p$  y  $m_d$ , de modo que  $\underline{\mathbf{H}}(m_d) = \underline{\mathbf{H}}(m_p)$ . El cálculo de  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_d)$  puede ser simplificado si  $\underline{\mathbf{V}}(m)$  se genera adecuadamente, según lo descrito anteriormente.

Si la entidad transmisora transmite símbolos piloto con guía de transmisión pseudo-aleatoria, entonces la entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$  directamente. La entidad receptora puede obtener una estimación

de  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_p)$  para el lapso de transmisión  $m_p$ , en base a símbolos piloto recibidos desde la entidad transmisora en este lapso de transmisión. Si los símbolos piloto fueron transmitidos usando  $\underline{\mathbf{V}}(m_p)$ , entonces  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_p) = \underline{\mathbf{H}}(m_p) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m_p)$ . La entidad receptora puede luego obtener una estimación de  $\underline{\mathbf{H}}(m_p)$ , según lo siguiente:  $\underline{\mathbf{H}}(m_p) = \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_p) \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(m_p)$ . Si la entidad transmisora transmite símbolos de datos en otro lapso de transmisión  $m_d$ , usando la matriz de guía  $\underline{\mathbf{V}}(m_d)$ , entonces la entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_d)$  para este lapso de transmisión, según lo siguiente:  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_d) = \underline{\mathbf{H}}(m_p) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m_d)$ . Nuevamente, la respuesta de canal de MIMO se supone constante entre los lapsos de transmisión  $m_p$  y  $m_d$ , de modo que  $\underline{\mathbf{H}}(m_d) = \underline{\mathbf{H}}(m_p)$ . El cálculo para  $\underline{\mathbf{H}}(m_p)$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m_d)$  puede ser simplificado si las matrices de guía son generadas adecuadamente.

La entidad receptora puede usar interpolación y / o extrapolación para obtener estimaciones de respuesta de canal de MIMO. Por ejemplo, la entidad transmisora puede transmitir símbolos piloto por un subconjunto de las  $N_F$  sub-bandas totales. La entidad receptora puede obtener una estimación real  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  de respuesta de canal de MIMO, o una estimación efectiva  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$  de respuesta de canal de MIMO, para cada sub-banda piloto  $m$  (que es una sub-banda con transmisión de señal piloto), en base al símbolo piloto recibido por esa sub-banda. Si la entidad receptora obtiene  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ , entonces puede obtener  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  según lo descrito anteriormente. La entidad receptora puede luego interpolar y / o extrapolar  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  para todas las sub-bandas piloto, para obtener  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  para todas las sub-bandas de interés.

Para cada lapso de transmisión  $m$  con transmisión de datos, la entidad receptora puede realizar el procesamiento espacial (o el filtrado correlacionado espacial) sobre los símbolos recibidos en  $\underline{\mathbf{r}}_{pr}(m)$ , ya sea con  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  o con  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ , para obtener un vector  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{pr}(m)$  de símbolos detectados, que son estimaciones de los símbolos de datos transmitidos. La entidad receptora también puede obtener los símbolos detectados usando diversas técnicas de procesamiento del receptor, que incluyen (1) una técnica de inversión matricial de correlación de canal (CCMI), que también es usualmente mencionada como una técnica de cero forzado y (2) una técnica de mínimos errores cuadrados medios (MMSE).

La entidad receptora puede realizar el procesamiento espacial del receptor con la estimación efectiva  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$  de respuesta de canal de MIMO. La Tabla 1 resume el procesamiento espacial del receptor para las técnicas de CCMI y MMSE con  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ . En la Tabla 1,  $\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m)$  es una matriz de filtro espacial para la técnica de CCMI,  $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m)$  es una matriz de filtro espacial para la técnica de MMSE y  $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(m)$  es una matriz diagonal para la técnica de MMSE (que contiene los elementos diagonales de  $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$ ).

Tabla 1

Técnica	Procesamiento espacial del receptor	
CCMI	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{ccmi}(m) = \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{pr}(m)$	Procesamiento espacial del receptor
	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(m) = [\underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m)$	Matriz de filtro espacial
MMSE	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(m) = \underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{pr}(m)$	Procesamiento espacial del receptor
	$\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) = \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}^H(m) + \sigma^2 \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1}$	Matriz de filtro espacial
	$\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(m) = \text{diag} [\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(m) \cdot \underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)]$	

La entidad receptora también puede realizar el procesamiento espacial del receptor con la estimación real  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  de respuesta de canal de MIMO. En este caso, la entidad receptora obtiene una matriz  $\underline{\mathbf{M}}(m)$  de filtro espacial, en base a  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ , y usando, p. ej., la técnica de CCMI o MMSE, en cuyo caso  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  sustituye a  $\underline{\mathbf{H}}_{eff}(m)$  en la Tabla 1. La entidad receptora realiza luego el filtrado correlacionado espacial en  $\underline{\mathbf{r}}_{pr}(m)$  con  $\underline{\mathbf{M}}(m)$ , para obtener  $\hat{\underline{\mathbf{x}}}(m)$ , que es una estimación de  $\underline{\mathbf{x}}(m)$ , de la siguiente manera:  $\hat{\underline{\mathbf{x}}}(m) = \underline{\mathbf{M}}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{pr}(m)$ . La entidad receptora también realiza el ajuste a escala con  $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(m)$  para la técnica de MMSE. La entidad receptora realiza luego el desensanchamiento espacial (o ecualización) sobre  $\hat{\underline{\mathbf{x}}}(m)$  con  $\underline{\mathbf{V}}(m)$  para obtener  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{pr}(m)$ , de la siguiente manera:  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{pr}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \hat{\underline{\mathbf{x}}}(m)$ .

La descripción anterior supone un canal de MIMO de rango completo, con  $N_S = N_T \leq N_R$ , y que la entidad transmisora usa  $N_T \times N_T$  matrices de guía para el procesamiento espacial. Si el canal de MIMO es deficiente en rango, de modo que  $N_S < N_T \leq N_R$ , o si el número de antenas de recepción es menor que el número de antenas de transmisión, de modo que  $N_S = N_R < N_T$ , entonces la entidad transmisora puede seleccionar y usar  $N_S$  columnas de cada matriz de guía de dimensiones  $N_T \times N_T$  para el procesamiento espacial. En este caso,  $\underline{\mathbf{s}}(m)$  es un vector de dimensiones  $N_S \times 1$  con  $N_S$

símbolos de datos para  $N_s$  flujos de símbolos de datos y  $\underline{\mathbf{x}}_{mimo,pr}(m)$  es un vector de dimensiones  $N_T \times 1$  con  $N_T$  símbolos de transmisión para las  $N_T$  antenas de transmisión. La entidad transmisora puede ajustar a escala cada símbolo de

datos en  $\underline{\mathbf{s}}(m)$ , o cada símbolo de transmisión en  $\underline{\mathbf{x}}_{mimo,pr}(m)$ , en  $\mathbf{g}_s = \sqrt{N_T / N_s}$ , de modo que se use la potencia de transmisión total disponible para cada antena de transmisión, para transmitir los  $N_s$  flujos de símbolos de datos.

5 La guía de transmisión pseudo-aleatoria puede ser usada para lograr diversidad de transmisión o ensanchamiento espacial para una transmisión de MIMO, según cómo se apliquen las matrices de guía. Por ejemplo, una PDU que contiene una parte de señal piloto (usada para la estimación de canal) y una parte de datos (que lleva un bloque de símbolos de datos) puede ser transmitida por múltiples sub-bandas y en múltiples periodos de símbolos. Para lograr diversidad de transmisión, la entidad transmisora puede usar (1) distintas matrices de guía entre las múltiples sub-bandas, pero (2) la misma matriz de guía entre la parte guiada pseudo-aleatoria de la PDU para cada sub-banda. En este caso, las matrices de guía para la PDU son solamente una función de la sub-banda, o  $\underline{\mathbf{V}}(k)$ . La entidad transmisora puede usar tantas matrices de guía distintas como sea posible entre las sub-bandas para lograr mayor diversidad de transmisión.

10 Para logra el ensanchamiento espacial, la entidad transmisora puede usar (1) distintas matrices de guía entre las múltiples sub-bandas y (2) distintas matrices de guía entre la parte guiada pseudo-aleatoria de la PDU para cada sub-banda. En este caso, las matrices de guía para la PDU serían una función tanto de la sub-banda como del periodo de símbolos, o  $\underline{\mathbf{V}}(n,k)$ . Para el ensanchamiento espacial, solamente la entidad receptora de destino tiene conocimiento de la matriz de guía usada por la entidad transmisora para cada sub-banda y cada periodo de símbolos, y es capaz de realizar el desensanchamiento espacial complementario para recuperar la PDU transmitida. Las otras entidades receptoras no tienen conocimiento de las matrices de guía y la transmisión de la PDU aparece como espacialmente aleatoria para estas entidades. Como resultado, estas otras entidades receptoras tienen una baja probabilidad de recuperar la PDU transmitida.

15 La guía de transmisión pseudo-aleatoria también puede ser usada para lograr el ensanchamiento espacial para una modalidad guiada. Para la modalidad guiada, la entidad transmisora puede realizar la descomposición en valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ , de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{H}}(m) = \underline{\mathbf{U}}(m) \cdot \underline{\Sigma}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}^H(m) \quad \text{Ec. (10)}$$

30 donde  $\underline{\mathbf{U}}(m)$  es una matriz unitaria, de dimensiones  $N_R \times N_R$ , de auto-vectores izquierdos de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ ;  $\underline{\Sigma}(m)$  es una matriz diagonal, de dimensiones  $N_R \times N_T$ , de valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ ; y  $\underline{\mathbf{E}}(m)$  es una matriz unitaria, de dimensiones  $N_T \times N_T$ , de auto-vectores derechos de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ . La entidad transmisora puede realizar el procesamiento espacial para la modalidad guiada con ensanchamiento espacial, según lo siguiente:

$$\underline{\mathbf{x}}_{mimo,sm}(m) = \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) \quad \text{Ec. (11)}$$

40 Según se muestra en la ecuación (11), la entidad transmisora realiza primero el procesamiento espacial en  $\underline{\mathbf{s}}(m)$  con  $\underline{\mathbf{V}}(m)$  para el ensanchamiento espacial, y luego realiza el procesamiento espacial sobre los símbolos ensanchados resultantes, con  $\underline{\mathbf{E}}(m)$ , para la modalidad guiada. Los símbolos ensanchados (en lugar de los símbolos de datos) son transmitidos en las  $N_s$  auto-modalidades del canal de MIMO. Estas auto-modalidades pueden ser vistas como canales espaciales ortogonales obtenidos por la descomposición de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ . Para la modalidad guiada con ensanchamiento espacial, el canal efectivo de MIMO observado por los símbolos de datos para cada lapso de transmisión incluye tanto a  $\underline{\mathbf{E}}(m)$  como a  $\underline{\mathbf{V}}(m)$ , usados por la entidad transmisora. Para el ensanchamiento espacial, la entidad transmisora usa distintas matrices de guía entre la parte guiada pseudo-aleatoria de una PDU, y solamente la entidad receptora de destino conoce estas matrices de guía.

Los símbolos recibidos en la entidad receptora para la modalidad guiada con ensanchamiento espacial pueden ser expresados como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{sm}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{x}}_{mimo,sm}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{E}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m) \cdot \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}(m) \quad \text{Ec. (12)}$$

La entidad receptora realiza el procesamiento espacial para la modalidad guiada y el desensanchamiento espacial según lo siguiente:

$$\hat{\underline{\mathbf{x}}}_{sm}(m) = \underline{\mathbf{M}}_{sm}(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{sm}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\Sigma}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{U}}^H(m) \cdot \underline{\mathbf{r}}_{sm}(m) = \underline{\mathbf{s}}(m) + \underline{\mathbf{n}}'(m) \quad \text{Ec. (13)}$$

donde  $\underline{\mathbf{M}}_{sm}(m)$  es una matriz de filtro espacial para la modalidad guiada con desensanchamiento espacial, y  $\underline{\mathbf{n}}'(m)$  es el ruido posterior a la detección. La matriz  $\underline{\mathbf{M}}_{sm}(m)$  de filtro espacial puede ser expresada como:

$$\underline{\mathbf{M}}_{sm}(m) = \underline{\mathbf{V}}^H(m) \cdot \underline{\Sigma}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{U}}^H(m) \quad \text{Ec. (14)}$$

5 Como se muestra en las ecuaciones (13) y (14), la entidad receptora puede recuperar los símbolos de datos transmitidos, realizando primero el procesamiento espacial del receptor con  $\underline{\Sigma}^{-1}(m) \cdot \underline{\mathbf{U}}^H(m)$  para la modalidad guiada, seguido por el desensanchamiento espacial con  $\underline{\mathbf{V}}(m)$ .

#### 10 4. Transmisión de MISO

En el sistema 100, existe un canal de MISO entre una entidad transmisora de múltiples antenas y una entidad receptora de antena única. Para un sistema de portadora única, el canal de MISO formado por las  $N_T$  antenas en la entidad transmisora y la única antena en la entidad receptora puede ser caracterizado por un vector fila  $\underline{\mathbf{h}}$  de respuesta de canal, de dimensiones  $1 \times N_T$ , que puede ser expresado como:

$$\underline{\mathbf{h}} = [h_1 \ h_2 \ \dots \ h_{N_T}], \quad \text{Ec. (15)}$$

20 donde la entrada  $h_i$ , para  $i = 1 \dots N_T$ , indica el acoplamiento entre la antena de transmisión  $i$  y la única antena de recepción. Existe un canal de MISO distinto entre cada combinación distinta de entidad transmisora de múltiples antenas y entidad receptora de antena única.

La entidad transmisora puede transmitir datos desde sus múltiples antenas a la entidad receptora de antena única, usando la guía de transmisión pseudo-aleatoria. La entidad transmisora puede generar un conjunto de  $L$  vectores de guía, que puede ser indicado como  $\{\underline{\mathbf{v}}\}$  o  $\underline{\mathbf{v}}(i)$  para  $i = 1 \dots L$ , según lo descrito anteriormente.

Para una transmisión de MISO, la entidad transmisora puede realizar el procesamiento espacial para la guía de transmisión pseudo-aleatoria, según lo siguiente:

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

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

$\underline{\mathbf{v}}(m)$  es un vector de guía usado para el lapso de transmisión  $m$ ; y  $\underline{\mathbf{x}}_{miso}(m)$  es un vector con  $N_T$  símbolos de transmisión a enviar desde las  $N_T$  antenas de transmisión en el lapso de transmisión  $m$ .

El vector de guía  $\underline{\mathbf{v}}(m)$  a usar para cada lapso de transmisión puede ser obtenido a partir del conjunto de  $L$  matrices de guía. Las  $N_T$  columnas de cada matriz de guía  $\underline{\mathbf{V}}(i)$  en el conjunto  $\{\underline{\mathbf{V}}\}$  pueden ser usadas para formar  $N_T$  distintos vectores de guía. Para utilizar la potencia transmisora total disponible para cada antena de transmisión, cada columna

40 de  $\underline{\mathbf{V}}(i)$  puede ser ajustada a escala en  $\sqrt{N_T}$  y usada como un vector de guía.

Los símbolos recibidos en la entidad receptora pueden ser expresados como:

$$\begin{aligned} r(m) &= \underline{\mathbf{h}}(m) \cdot \underline{\mathbf{x}}_{miso}(m) + n(m) = \underline{\mathbf{h}}(m) \cdot \underline{\mathbf{v}}(m) \cdot s(m) + n(m) \\ &= \underline{\mathbf{h}}_{eff}(m) \cdot s(m) + n(m) \end{aligned} \quad \text{Ec. (17)}$$

45 donde  $r(m)$  es un símbolo recibido para el lapso de transmisión  $m$ ;

$\underline{\mathbf{h}}_{eff}(m)$  es una respuesta de canal efectiva de entrada única y salida única (SISO) para el lapso de transmisión  $m$ , que es  $\underline{\mathbf{h}}_{eff}(m) = \underline{\mathbf{h}}(m) \cdot \underline{\mathbf{v}}(m)$ ; y

50  $n(m)$  es el ruido en la entidad receptora para el lapso de transmisión  $m$ .

La respuesta de canal efectiva de SISO,  $h_{eff}(m)$ , para cada lapso de transmisión  $m$  está determinada por la respuesta de canal real de MISO,  $\underline{h}(m)$ , para ese lapso de transmisión y el vector de guía  $\underline{v}(m)$  usado para el lapso de transmisión. Si la entidad transmisora transmite símbolos piloto sin guía de transmisión pseudo-aleatoria, entonces la entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{h}(m)$  directamente. La entidad receptora puede luego obtener una estimación de  $h_{eff}(m)$  para cada lapso de transmisión usado para la transmisión de datos, según lo siguiente:  $h_{eff}(m) = \underline{h}(m) \cdot \underline{v}(m)$ . La respuesta de canal de MISO se supone constante entre los lapsos de transmisión usados para la transmisión de señales piloto y datos. El cálculo para  $h_{eff}(m)$  puede ser simplificado si  $\underline{v}(m)$  es generado de manera adecuada, según lo descrito anteriormente.

Si la entidad transmisora transmite símbolos piloto con guía de transmisión pseudo-aleatoria, entonces la entidad receptora puede obtener una estimación de  $h_{eff}(m)$  directamente. La estimación de  $h_{eff}(m)$  para cada lapso de transmisión  $m$  incluye el vector de guía  $\underline{v}(m)$  usado para ese lapso de transmisión. Para estimar  $\underline{h}(m)$ , que es de dimensiones  $1 \times N_T$ , la entidad receptora puede obtener estimaciones de  $h_{eff}(m)$  para  $N_T$  lapsos de transmisión, en base a los símbolos piloto transmitidos por la entidad transmisora en los  $N_T$  lapsos de transmisión usando  $N_T$  vectores de guía. La entidad receptora puede luego obtener una estimación de  $\underline{h}(m)$  en base a (1) las  $N_T$  estimaciones distintas de  $h_{eff}(m)$  para los  $N_T$  lapsos de transmisión y (2) los  $N_T$  vectores de guía usados para estos lapsos de transmisión. La entidad receptora puede luego calcular  $h_{eff}(m)$  para cada lapso de transmisión con transmisión de datos, en base a la  $\underline{h}(m)$  obtenida de los símbolos piloto y el vector de guía  $\underline{v}(m)$  usado para ese lapso de transmisión.

La entidad receptora puede realizar la detección (p. ej., el filtrado correlacionado) sobre los símbolos recibidos con la estimación efectiva  $h_{eff}(m)$  de respuesta de canal de SISO, según lo siguiente:

$$\hat{s}(m) = \frac{h_{eff}^*(k) \cdot r(m)}{|h_{eff}(k)|^2} = s(m) + n'(m) \quad \text{Ec. (18)}$$

donde  $s(m)$  es un símbolo detectado para el lapso de transmisión  $m$ , que es una estimación de  $s(m)$ ,  $n'(m)$  es el ruido posterior a la detección y "\*" indica una conjugada.

La entidad receptora también puede realizar el procesamiento espacial del receptor con la estimación real  $\underline{h}(m)$  de respuesta de canal de MISO y el vector de guía  $\underline{v}(m)$ , según lo siguiente:

$$\hat{s}(m) = g_a \cdot \underline{v}^H(m) \cdot \underline{h}^H(m) \cdot r(m) = s(m) + n'(m) \quad \text{Ec. (19)}$$

donde  $g_a = 1/|\underline{v}^H(m) \cdot \underline{h}^H(m)|^2$ .

La guía de transmisión pseudo-aleatoria puede ser usada para lograr diversidad de transmisión o ensanchamiento espacial para una transmisión de MISO, de manera similar a la descrita anteriormente para una transmisión de MIMO.

## 5. Sistema

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques de una entidad transmisora de múltiples antenas 310, una entidad receptora de antena única 350x y una entidad receptora de múltiples antenas 350y en el sistema 100. La entidad transmisora 310 puede ser un punto de acceso o un terminal de usuario de múltiples antenas. Cada entidad receptora 350 también puede ser un punto de acceso o un terminal de usuario.

En la entidad transmisora 310, un procesador de datos de transmisión (TX) 320 procesa (p. ej., codifica, intercala y correlaciona con símbolos) cada paquete de datos para obtener un correspondiente bloque de símbolos de datos. Un procesador espacial de TX 330 recibe y demultiplexa las señales piloto y los símbolos de datos según corresponda para el sistema, realiza el procesamiento espacial para la guía de transmisión pseudo-aleatoria y / o la modalidad guiada, y proporciona  $N_T$  flujos de símbolos de transmisión a las  $N_T$  unidades transmisoras (TMTR) 332a a 332t. El procesador espacial de TX 320 puede realizar el procesamiento espacial con las matrices de guía  $\underline{V}(m)$ , p. ej., según se muestra en la ecuación (8) u (11), para una transmisión de MIMO a la entidad receptora 350y. El procesador espacial de TX 320 puede también realizar el procesamiento espacial con los vectores de guía  $\underline{v}(m)$ , p. ej., según se muestra en la ecuación (16), para una transmisión de MISO a la entidad receptora 350x. Cada unidad transmisora 332 procesa su flujo de símbolos de transmisión (y realiza la modulación de OFDM, si es aplicable) para generar una señal modulada. Las unidades transmisoras 332a a 332t proporcionan  $N_T$  señales moduladas para la transmisión desde las  $N_T$  antenas 334a a 334t, respectivamente.

En la entidad receptora de antena única 350x, una antena 352x recibe las  $N_T$  señales transmitidas y proporciona una señal recibida a una unidad receptora (RCVR) 354x. La unidad receptora 354x realiza el procesamiento complementario al realizado por las unidades transmisoras 332 (p. ej., demodulación de OFDM, si es aplicable) y proporciona (1) símbolos de datos recibidos a un detector 360x y (2) símbolos piloto recibidos a un estimador de canal 384x dentro de un controlador 380x. El estimador de canal 384x estima los canales efectivos de SISO entre la entidad transmisora 310 y la entidad receptora 350x. El detector 360x realiza la detección sobre los símbolos de datos recibidos, en base a las estimaciones efectivas de respuesta de canal de SISO, p. ej. según se muestra en la ecuación (18), y proporciona un flujo de símbolos detectados. Un procesador de datos de recepción (RX) 370x procesa luego (p. ej., demodula símbolos, desintercala y descodifica) el flujo de símbolos detectados y proporciona datos descodificados para cada paquete de datos.

En la entidad receptora de múltiples antenas 350y, las  $N_R$  antenas 352a a 352r reciben las  $N_T$  señales transmitidas, y cada antena 352 proporciona una señal recibida a una respectiva unidad receptora 354. Cada unidad receptora 354 procesa una respectiva señal recibida y proporciona (1) símbolos de datos recibidos a un procesador espacial de recepción (RX) 360y y (2) símbolos piloto recibidos a un estimador de canal 384y dentro de un controlador 380y. El estimador de canal 384y estima para los canales de MIMO, reales o efectivos, entre la entidad transmisora 310 y la entidad receptora 350y. El controlador 380y obtiene matrices de filtro espacial, en base a (1) las estimaciones de respuesta de canal de MIMO y las matrices de guía, o (2) las estimaciones efectivas de respuesta de canal de MIMO. Las matrices de filtro espacial para la técnica de CCMI o MMSE pueden ser obtenidas según se muestra en la Tabla 1. La matriz de filtro espacial para la modalidad guiada con ensanchamiento espacial puede ser obtenida según se muestra en la ecuación (14). El procesador espacial de RX 360y realiza el procesamiento espacial sobre los símbolos de datos recibidos con las matrices de filtro espacial, p. ej., según se muestra en la Tabla 1 o la ecuación (13), y proporciona los símbolos detectados. Un procesador de datos de RX 370y procesa luego los símbolos detectados y proporciona datos descodificados para cada paquete de datos.

Los controladores 340, 380x y 380y controlan el funcionamiento de las unidades de procesamiento en la entidad transmisora 310 y las entidades receptoras 350x y 350y, respectivamente. Los controladores 340, 380x y 380y pueden generar matrices / vectores de guía según lo descrito anteriormente. Las unidades de memoria 342, 382x y 382y almacenan datos y / o código de programa usados por los controladores 340, 380x y 380y, respectivamente. Por ejemplo, estas unidades de memoria pueden almacenar un conjunto de L vectores de guía (SV) y / o un conjunto de L matrices de guía (SM).

Las técnicas descritas en la presente memoria para generar y usar matrices / vectores de guía para la guía de transmisión pseudo-aleatoria 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 en hardware, las unidades de procesamiento usadas para generar matrices / vectores de guía y / o realizar el procesamiento espacial con estos matrices / vectores de guía, 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 en software, las técnicas descritas en la presente memoria pueden ser implementadas con módulos (p. ej., procedimientos, funciones, etc.) que realicen las funciones descritas en la presente memoria. Los códigos de software pueden ser almacenados en una unidad de memoria (p. ej., la unidad de memoria 342, 382x o 382y en la FIG. 3) y ejecutados por un procesador (p. ej., el controlador 340, 380x o 380y). La unidad de memoria puede ser implementada dentro del procesador o ser externa al procesador, en cuyo caso puede estar comunicativamente acoplada con el procesador mediante diversos medios, según se conoce en la técnica.

Los encabezamientos son incluidos en la presente memoria para referencia y para ayudar a localizar ciertas secciones. Estos encabezamientos no están concebidos para limitar el ámbito de los conceptos descritos en la presente memoria, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones en toda la extensión de la especificación completa.

La anterior descripción de las realizaciones reveladas se proporciona para permitir a cualquier experto en la técnica hacer o utilizar la presente invención. Diversas modificaciones para estas realizaciones serán inmediatamente evidentes para 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 revelados en la presente memoria.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de generación de matrices de guía, usadas para el procesamiento espacial en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que comprende:
 

5 obtener (212) una matriz de base;

seleccionar (214) al menos una combinación distinta de escalares, incluyendo cada combinación al menos un escalar para al menos una fila de la matriz de base, un escalar por fila, siendo cada escalar un valor real o complejo; y

10 formar (216) al menos una matriz de guía multiplicando la matriz de base por dicha al menos una combinación distinta de escalares, en donde una matriz de guía está formada por cada combinación de escalares.
- 15 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 

formar (220) una pluralidad de vectores de guía con columnas de dicha al menos una matriz de guía.
- 20 3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 17, en el que la matriz de base es una matriz de Walsh.
4. El procedimiento de la reivindicación 1 o 17, en el que la matriz de base es una matriz de Fourier.
5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la matriz de base es una matriz unitaria con columnas ortogonales.
- 25 6. El procedimiento de la reivindicación 1 o 17, en el que cada matriz de guía tiene columnas ortogonales.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los escalares para dicha al menos una combinación distinta son seleccionados entre un conjunto que comprende  $+1$ ,  $-1$ ,  $+j$  y  $-j$ , donde  $j$  es una raíz cuadrada de  $-1$ .
- 30 8. El procedimiento de la reivindicación 1 o 17, en el que cada elemento de dicha al menos una matriz de guía pertenece a un conjunto que comprende  $+1$ ,  $-1$ ,  $+j$  y  $j$ , donde  $j$  es una raíz cuadrada de  $-1$ .
9. El procedimiento de la reivindicación 1 o 17, en el que cada matriz de guía incluye elementos que tienen igual magnitud.
- 35 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la matriz de base tiene dimensiones de  $N$  por  $N$ , donde  $N$  es un entero mayor que uno, y en el que cada combinación incluye  $N-1$  escalares para  $N-1$  filas de la matriz de base.
- 40 11. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que  $N$  es una potencia de dos.
12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha al menos una combinación de escalares se obtiene con un contador de base  $K$  que tiene un dígito para cada uno de dichos al menos un escalares en una combinación, donde  $K$  es el número de posibles escalares distintos, utilizables para cada fila de la matriz de base.
- 45 13. Un aparato (340; 380) operable para generar matrices de guía, usadas para el procesamiento espacial en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que comprende:
 

50 medios para obtener una matriz de base;

medios para seleccionar al menos una combinación distinta de escalares, incluyendo cada combinación al menos un escalar para al menos una fila de la matriz de base, un escalar por fila, siendo cada escalar un valor real o complejo; y

55 medios para formar al menos una matriz de guía multiplicando la matriz de base por dicha al menos una combinación distinta de escalares, en donde una matriz de guía está formada por cada combinación de escalares.
- 60 14. El aparato de la reivindicación 13, en el que la matriz de base es una matriz de Walsh.
15. El aparato de la reivindicación 13, en el que cada una entre dichas al menos una matriz de guía tiene columnas

ortogonales.

- 5
16. El aparato de la reivindicación 13, en el que cada elemento de dicha al menos una matriz de guía pertenece a un conjunto que comprende  $+1$ ,  $-1$ ,  $+j$  y  $-j$ , donde  $j$  es una raíz cuadrada de  $-1$ .
- 10
17. Un procedimiento de realización de procesamiento espacial en una entidad transmisora, para la transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que comprende:
- 15
- procesar datos para obtener un bloque de símbolos de datos a transmitir en una pluralidad de lapsos de transmisión;
- obtener una pluralidad de matrices de guía, una matriz de guía para cada uno entre la pluralidad de lapsos de transmisión, en donde la pluralidad de matrices de guía son generadas en base a una matriz de base y al menos una combinación distinta de escalares, incluyendo cada combinación al menos un escalar, usado para multiplicar al menos una fila de la matriz de base para generar una correspondiente matriz de guía;
- 20
- realizar el procesamiento espacial en al menos un símbolo de datos, a transmitir en cada lapso de transmisión con la matriz de guía obtenida para el lapso de transmisión, dando como resultado el procesamiento espacial que el bloque de símbolos de datos observe una pluralidad de canales efectivos, formados con la pluralidad de matrices de guía; y
- transmitir el bloque de símbolos de datos en la pluralidad de lapsos de transmisión.
- 25
18. El procedimiento de la reivindicación 17 o 28, en el que el sistema de comunicación de múltiples antenas utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM), y en el que la pluralidad de lapsos de transmisión corresponden a una pluralidad de sub-bandas.
- 30
19. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que el sistema de comunicación de múltiples antenas utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM), y en el que cada uno entre la pluralidad de lapsos de transmisión corresponde a una o más sub-bandas en un intervalo temporal.
- 35
20. El procedimiento de la reivindicación 17 o 28, en el que la pluralidad de lapsos de transmisión corresponde a una pluralidad de intervalos temporales.
- 40
21. El procedimiento de la reivindicación 17 o 28, en el que cada matriz de guía tiene una columna, y en el que un símbolo de datos es transmitido en cada lapso de transmisión.
- 45
22. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que cada matriz de guía tiene múltiples columnas, y en el que múltiples símbolos de datos son transmitidos simultáneamente en cada lapso de transmisión.
- 50
23. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que la pluralidad de matrices de guía son desconocidas para una entidad receptora, para el bloque de símbolos de datos.
- 55
24. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que la pluralidad de matrices de guía son conocidas solamente para la entidad transmisora y una entidad receptora para el bloque de símbolos de datos.
- 60
25. Un aparato en una entidad transmisora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que comprende:
- medios para procesar datos para obtener un bloque de símbolos de datos a transmitir en una pluralidad de lapsos de transmisión;
- medios para obtener una pluralidad de matrices de guía, una matriz de guía para cada uno entre la pluralidad de lapsos de transmisión, en donde la pluralidad de matrices de guía son generadas en base a una matriz de base y al menos una combinación distinta de escalares, incluyendo cada combinación al menos un escalar, usado para multiplicar al menos una fila de la matriz de base para generar una correspondiente matriz de guía;
- medios para realizar el procesamiento espacial en al menos un símbolo de datos, a transmitir en cada lapso de transmisión con la matriz de guía obtenida para el lapso de transmisión, dando como resultado el procesamiento espacial que el bloque de símbolos de datos observe una pluralidad de canales efectivos, formados con la pluralidad de matrices de guía; y

medios para transmitir el bloque de símbolos de datos en la pluralidad de lapsos de transmisión.

26. El aparato de la reivindicación 25, en el que cada matriz de guía tiene una columna, y en el que un símbolo de datos es transmitido en cada lapso de transmisión.
27. El aparato de la reivindicación 25, en el que cada matriz de guía tiene múltiples columnas, y en el que múltiples símbolos de datos son transmitidos simultáneamente en cada lapso de transmisión.
28. Un procedimiento de realización del procesamiento espacial del receptor, en una entidad receptora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que comprende:
- obtener una pluralidad de matrices de filtro espacial, en base a una estimación de respuesta de canal y a una pluralidad de matrices de guía, una matriz de guía para cada uno entre una pluralidad de lapsos de transmisión, en donde la pluralidad de matrices de guía son generadas en base a una matriz de base y al menos una combinación distinta de escalares, incluyendo cada combinación al menos un escalar usado para multiplicar al menos una fila de la matriz de base, para generar una correspondiente matriz de guía;
- obtener, en la pluralidad de lapsos de transmisión, R secuencias de símbolos recibidos mediante R antenas de recepción, donde R es un entero mayor o igual que uno; y
- realizar el procesamiento espacial del receptor sobre las R secuencias de símbolos recibidos, con la pluralidad de matrices de filtro espacial, para obtener símbolos detectados.
29. El procedimiento de la reivindicación 28, en el que cada matriz de guía tiene N columnas, y en el que cada matriz de filtro espacial tiene dimensiones de N por R, donde N y R son enteros mayores que dos.
30. Un aparato en una entidad receptora en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples antenas, que comprende:
- medios para obtener una pluralidad de matrices de filtro espacial, en base a una estimación de respuesta de canal y a una pluralidad de matrices de guía, una matriz de guía para cada uno entre una pluralidad de lapsos de transmisión, en donde la pluralidad de matrices de guía son generadas en base a una matriz de base y al menos una combinación distinta de escalares, incluyendo cada combinación al menos un escalar usado para multiplicar al menos una fila de la matriz de base, para generar la correspondiente matriz de guía;
- medios para obtener, en la pluralidad de lapsos de transmisión, R secuencias de símbolos recibidos mediante R antenas de recepción, donde R es un entero mayor o igual que uno; y
- medios para realizar el procesamiento espacial del receptor sobre las R secuencias de símbolos recibidos, con la pluralidad de matrices de filtro espacial, para obtener símbolos detectados.
31. El aparato de la reivindicación 30, en el que cada matriz de guía tiene una columna, y en el que cada matriz de filtro espacial tiene dimensiones de uno por uno.
32. El aparato de la reivindicación 30, en el que cada matriz de guía tiene N columnas, y en el que cada matriz de filtro espacial tiene dimensiones de N por R, donde N y R son enteros mayores que dos.

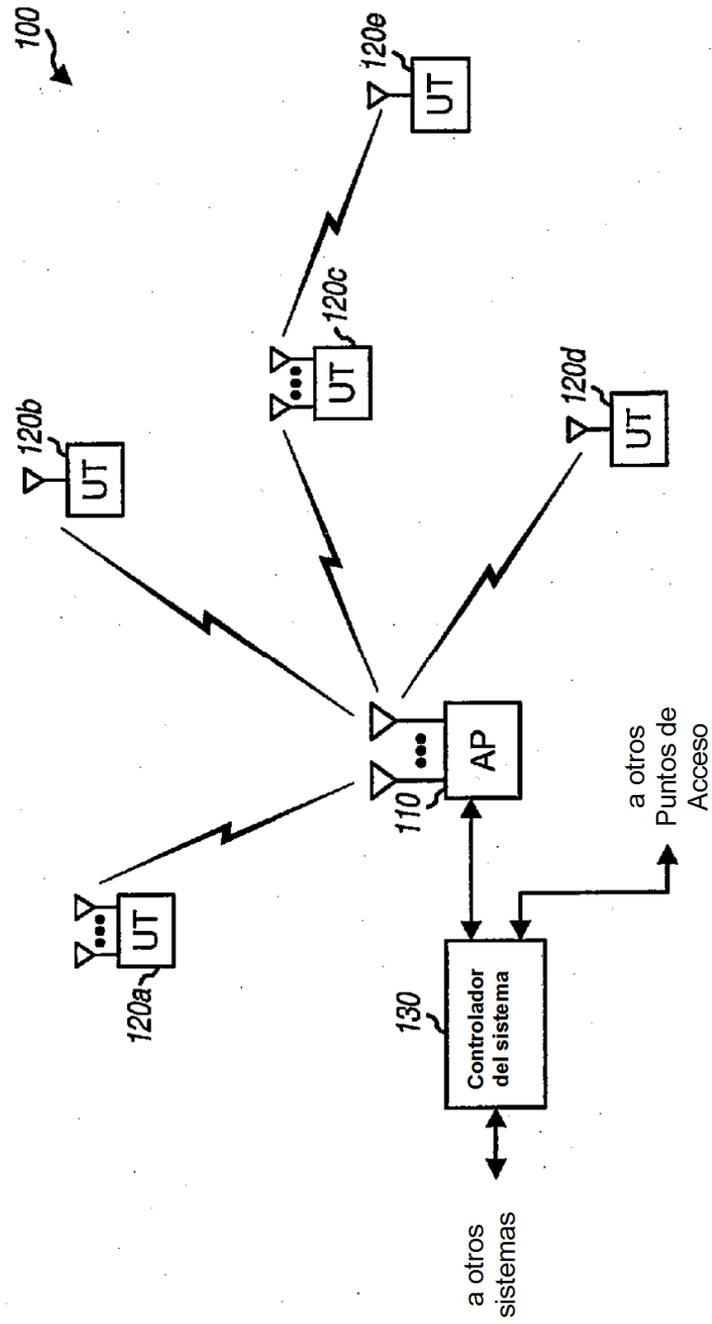
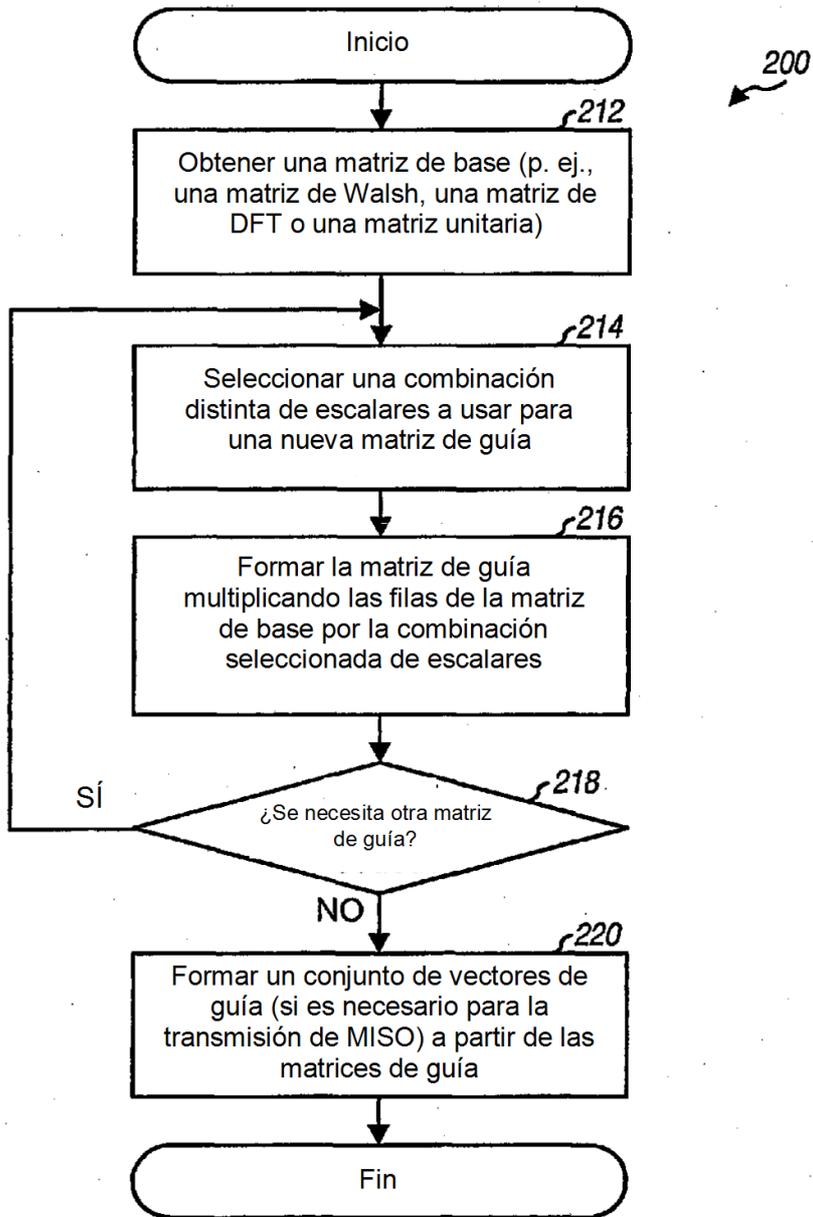


FIG. 1



**FIG. 2**

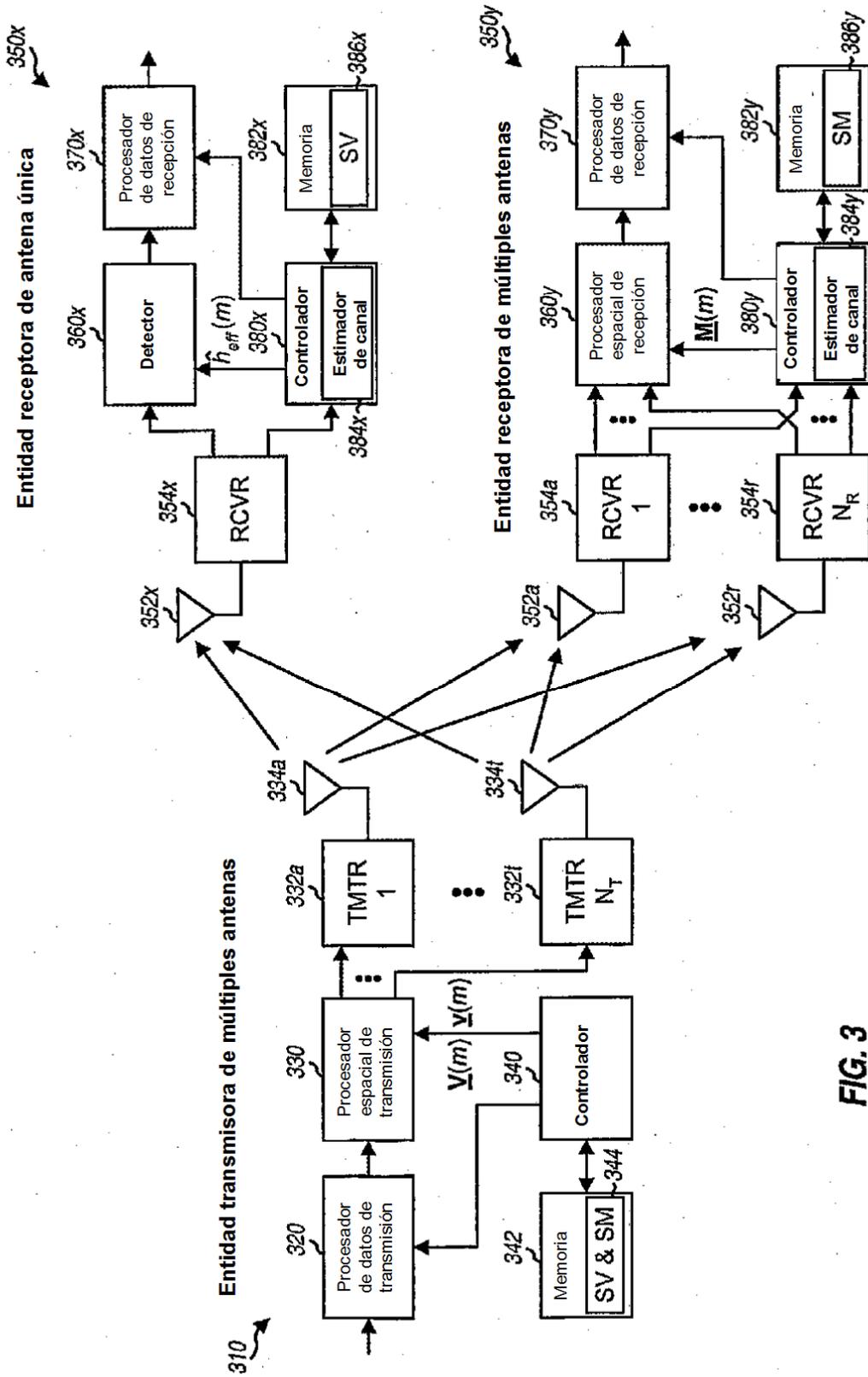


FIG. 3