

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 662**

51 Int. Cl.:

**H04L 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04814424 .0**

96 Fecha de presentación: **15.12.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1695477**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.08.2006**

54 Título: **EXPANSIÓN ESPACIAL EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MULTI-ANTENA.**

30 Prioridad:  
**17.12.2003 US 531021 P**  
**09.12.2004 US 8865**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**07.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**07.02.2012**

73 Titular/es:  
**QUALCOMM, INCORPORATED**  
**5775 MOREHOUSE DRIVE**  
**SAN DIEGO, CA 92121, US**

72 Inventor/es:  
**WALTON, Jay Rodney;**  
**ZHENG, Lizhong;**  
**KETCHUM, John W.;**  
**WALLACE, Mark S. y**  
**HOWARD, Steven J.**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 373 662 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**

Expansión espacial en un sistema de comunicación multi-antena

**Reivindicación de prioridad a tenor de U.S.C. 35, §119**

5 La presente solicitud de Patente reivindica prioridad de la Solicitud Provisional Serial No. 60/531.021, titulada "Orientación de Transmisión Seudo-Aleatoria en un Sistema de Comunicación Multi-Antena", depositada el 17 de Diciembre de 2003, y cedida a la cesionaria de la presente.

**Antecedentes****Campo**

10 La presente invención se refiere en general a comunicación de datos y, más específicamente, a técnicas para transmitir datos en un sistema de comunicación multi-antena.

**Antecedentes**

15 Un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) emplea múltiples ( $N_T$ ) antenas de transmisión en una entidad de transmisión y múltiples ( $N_R$ ) antenas de recepción en una entidad de recepción para la transmisión de datos, y se menciona como sistema ( $N_T, N_R$ ). Un canal MIMO formado por las  $N_T$  antenas de transmisión y las  $N_R$  antenas de recepción puede ser descompuesto en  $N_S$  canales espaciales, donde  $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$ . Los  $N_S$  canales espaciales pueden ser utilizados para transmitir datos de una manera que se consiga una mayor fiabilidad y/o un rendimiento global más alto para el sistema.

20 Los  $N_S$  canales espaciales del canal MIMO pueden experimentar diferentes condiciones de canal (por ejemplo, diferente efectos de desvanecimiento, trayectoria, e interferencia), y pueden conseguir relaciones de señal respecto a ruido e interferencia (SNRs). La SNR de un canal espacial determina su capacidad de transmisión, la cual está cuantificada típicamente por una tasa de datos particular que puede ser transmitida de forma fiable por el canal espacial. Para un canal MIMO que varía en el tiempo, las condiciones de canal cambian con el tiempo y la SNR de cada canal espacial cambia también con el tiempo. Para optimizar el rendimiento, el sistema MIMO puede utilizar alguna forma de retroalimentación con la que la entidad receptora evalúa los canales espaciales y proporciona información de realimentación que indica la capacidad de transmisión de cada canal espacial. La entidad de transmisión puede entonces ajustar la transmisión de datos por los canales espaciales en base a la información de retroalimentación.

30 Sin embargo, esta información de retroalimentación puede no estar disponible por varias razones. Por ejemplo, el sistema MIMO puede no soportar transmisión de retroalimentación desde la entidad de recepción. Según otro ejemplo, el canal MIMO puede cambiar más rápidamente que la tasa a la que puede la entidad receptora estimar el canal y/o enviar la información de retroalimentación. En cualquier caso, si la entidad de transmisión no conoce las condiciones del canal, entonces puede necesitar transmitir datos a una tasa muy baja de modo que la transmisión pueda ser descodificada fiablemente por la entidad de recepción incluso bajo el peor caso de condiciones de canal. El comportamiento de tal sistema podrá entonces ser impuesto por las condiciones de canal del peor caso esperado. El documento EP 1223702 describe una técnica de diversidad de bucle abierto para sistemas que emplean cuatro antenas transmisoras.

**Sumario**

De acuerdo con la invención se proporciona el procedimiento de la reivindicación 1.

De acuerdo con la invención se proporciona el aparato de la reivindicación 16.

40 De acuerdo con la invención se proporciona el procedimiento de la reivindicación 38.

De acuerdo con la invención se proporciona el aparato de la reivindicación 39.

De acuerdo con la invención se proporciona un producto de programa de ordenador de acuerdo con las reivindicaciones 40 y 41.

**Breve descripción de los dibujos**

45 La Figura 1 muestra un proceso para transmitir datos con expansión espacial.

La Figura 2 muestra un proceso para recibir datos con expansión espacial.

La Figura 3 muestra una entidad de transmisión y una entidad de recepción en un sistema MIMO.

La Figura 4 muestra las unidades de procesamiento en la entidad de transmisión.

La Figura 5 muestra las unidades de procesamiento en la entidad de recepción.

La Figura 6 muestra un proceso para generar un conjunto de matrices de orientación utilizadas para expansión espacial.

5 La Figura 7 muestra representaciones gráficas de eficacia espectral global conseguida para un sistema MIMO de 4 x 4.

**Descripción detallada**

La palabra “ejemplar” se utiliza en la presente memoria con el significado de que “sirve como ejemplo, caso, o ilustración”. Cualquier realización descrita en la presente memoria como “ejemplar” no debe ser interpretada necesariamente como preferida o ventajosa frente a otras realizaciones.

10 Técnicas para llevar a cabo expansión espacial en un sistema de comunicación multi-antena se encuentran descritas en la presente memoria. El sistema de comunicación multi-antena puede ser un sistema de múltiples entradas y una sola salida (MISO). La expansión espacial se refiere a la transmisión de un símbolo de datos (que es un símbolo de modulación para datos) desde múltiples antenas de transmisión de forma simultánea, posiblemente con amplitudes y/o fases diferentes determinadas por un vector de orientación utilizado para ese símbolo de datos. La expansión espacial puede denominarse también orientación de transmisión, orientación de transmisión pseudo-aleatoria, diversidad de orientación, orientación pseudo-aleatoria de matriz, orientación pseudo-aleatoria de vector, y así sucesivamente. Las técnicas de procesamiento espacial pueden aleatorizar un canal MIMO o MISO “efectivo” observado por una entidad receptora para cada bloque de símbolos de datos transmitidos por una entidad de transmisión de modo que el rendimiento del sistema no sea impuesto por las condiciones de canal del peor caso.

25 En un ejemplo para transmitir datos con expansión espacial en un sistema MIMO, la entidad de transmisión procesa (por ejemplo, codifica e intercala) datos para  $N_D$  corrientes de datos y genera  $N_D$  bloques de datos codificados, donde  $N_D \geq 1$ . Un bloque de datos codificados puede ser denominado también bloque de códigos o paquete de datos codificado. Cada bloque de códigos es codificado por separado en la entidad de transmisión y decodificado por separado en la entidad de recepción. Cada bloque de códigos está mapeado por símbolos para obtener un bloque correspondiente de símbolos de datos. Los  $N_D$  bloques de símbolos de datos para los  $N_D$  bloques de códigos están divididos en  $N_M$  sub-bloques de símbolos de datos para su transmisión en  $N_M$  separaciones de transmisión, siendo  $N_M > 1$ . Una separación de transmisión puede cubrir dimensiones de tiempo y/o frecuencia, según se describe en lo que sigue. Se selecciona una matriz de orientación (por ejemplo, a partir de un conjunto de  $L$  matrices de orientación) por 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 de orientación seleccionada para ese sub-bloque, para generar símbolos de transmisión, que son además procesados y transmitidos a través de  $N_T$  antenas de transmisión en una separación de transmisión. En efecto, los  $N_D$  bloques de símbolos de datos son procesados espacialmente con  $N_M$  matrices de orientación y por lo tanto observan un conjunto de canales como opuestos a todos los bloques que observan el mismo canal. Las matrices de orientación utilizadas para expansión espacial son matrices unitarias que tienen columnas o vectores ortogonales, y que pueden ser generadas según se describe en lo que sigue.

35 Un sistema MISO puede transmitir también datos con expansión espacial, según se describe en lo que sigue. Diversos aspectos y realizaciones de la invención se describen con mayor detalle en lo que sigue.

40 Las técnicas de expansión espacial descritas en la presente memoria pueden ser utilizadas para sistemas MIMO y MISO. Estas técnicas pueden ser usadas también para sistemas de portadora simple y de portadora múltiple. Las múltiples portadoras pueden ser obtenidas mediante multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM), algunas otras técnicas de modulación de multi-portadora, o alguna otra construcción. El OFDM divide de forma eficaz el ancho de banda global del sistema en múltiples ( $N_F$ ) sub-bandas ortogonales, las cuales se mencionan como tonos, sub-portadoras, depósitos, y canales de frecuencia. Con OFDM, cada sub-banda se asocia a una sub-portadora respectiva que puede ser modulada con datos.

**1. Sistema MIMO**

Para un sistema MIMO de portadora única, un canal MIMO formado por  $N_T$  antenas de transmisión en la entidad de transmisión y  $N_R$  antenas de recepción en la entidad de recepción, puede estar caracterizado por una matriz  $\mathbf{H}$  de respuesta de canal de  $N_R \times N_T$ , que puede ser expresada como:

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

50

en la que  $h_{ij}$  para  $i = 1, \dots, N_R$  y  $j = 1, \dots, N_T$ , indica el acoplamiento o ganancia compleja entre la antena de transmisión  $j$  y la antena de recepción  $i$ .

5 Los datos pueden ser transmitidos de diversas maneras en el sistema MIMO. En un esquema de transmisión simple, se transmite una corriente de símbolos de datos desde cada antena de transmisión sin ningún procesamiento espacial, y hasta  $N_S$  corrientes de símbolos de datos son transmitidas simultáneamente desde las  $N_T$  antenas de transmisión. El modelo para el sistema MIMO para este esquema de transmisión puede ser expresado como:

$$\mathbf{r} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{n}$$

en la que

10  $\mathbf{s}$  es un vector  $N_T \times 1$  con  $N_S$  entradas distintas de cero para  $N_S$  símbolos de datos que van a ser transmitidos por los  $N_S$  canales espaciales de  $\mathbf{H}$ ;

$\mathbf{r}$  es un vector  $N_R \times 1$  con entradas para los  $N_R$  símbolos recibidos obtenidos a través de las  $N_R$  antenas de recepción, y

$\mathbf{n}$  es un vector de ruido observado en la entidad de recepción.

15 Se puede suponer que el ruido es ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) con un vector medio cero y una matriz de covarianza de  $\Delta_n = \sigma^2 \mathbf{I}$ , en la que  $\sigma^2$  es la varianza del ruido e  $\mathbf{I}$  es la matriz de identidad.

20 Las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos transmitidas desde las  $N_T$  antenas de transmisión interfieren entre sí en la entidad de recepción. Una corriente de símbolos de datos dada, transmitida desde una antena de transmisión, es recibida típicamente por todas las  $N_R$  antenas de recepción con amplitudes y fases diferentes. Cada corriente de símbolo recibida incluye una componente de cada una de las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos transmitidas. Las  $N_R$  corrientes de símbolo recibidas pueden incluir en su conjunto todas las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos. Sin embargo, estas  $N_S$  corrientes de símbolos de datos están dispersadas entre las  $N_R$  corrientes de símbolo recibidas. La entidad de recepción lleva a cabo un procesamiento espacial de receptor sobre las  $N_R$  corrientes de símbolo recibidas para recuperar las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos enviadas por la entidad de transmisión.

25 El rendimiento que se puede alcanzar para el sistema MIMO depende (en gran medida) de la matriz  $\mathbf{H}$  de respuesta de canal. Si existe un alto grado de correlación dentro de  $\mathbf{H}$ , entonces cada corriente de símbolos de datos podría observar una gran cantidad de interferencia frente a las otras corrientes. Esta interferencia o intermodulación no puede ser eliminada mediante el procesamiento espacial en la entidad de recepción. El alto nivel de interferencia degrada la SNR de cada corriente de símbolos de datos afectada, posible hasta un punto en que la corriente de símbolos de datos no puede ser descodificada correctamente por la entidad de recepción.

30 Para una matriz  $\mathbf{H}$  de respuesta de canal dada, se puede lograr la capacidad de sistema cuando la entidad de transmisión transmite datos sobre  $N_S$  modos propios derivados de  $\mathbf{H}$ . Si la entidad de recepción puede proporcionar a la entidad de transmisión Información de Estado de Canal (CSI) ya sea parcial o completa, entonces la entidad de transmisión puede procesar las corrientes de datos de una manera que optimiza el rendimiento global para esas corrientes (por ejemplo, utilizando una tasa de datos óptima o casi óptima para cada corriente de datos). Sin embargo, si la entidad de transmisión no está informada o está mal informada, entonces la(s) tasa(s) de datos empleada(s) para las corrientes de datos puede(n) dar como resultado errores de trama o de bloque de códigos para un cierto porcentaje de realizaciones de canal. Por ejemplo, se puede producir una "mala" respuesta de canal cuando  $\mathbf{H}$  presenta un alto grado de correlación, o cuando existe dispersión, multi-trayectoria (gran ancho de banda de coherencia) y/o desvanecimiento temporal (gran tiempo de coherencia) insuficientes en el canal inalámbrico. La ocurrencia de "malos" canales es aleatoria y resulta deseable minimizar el porcentaje de veces que esto puede ocurrir para una selección de tasa de datos dada.

45 Para algunos sistemas MIMO, el comportamiento puede ser impuesto por las condiciones de canal de peor caso. Por ejemplo, si la entidad de recepción no puede enviar información de retroalimentación para indicar la tasa de datos apropiada que se va a usar para cada corriente de símbolos de datos (por ejemplo, debido a que la retroalimentación no esté soportada por el sistema o las condiciones de canal cambien más rápido que la tasa de retroalimentación), entonces la entidad de transmisión puede necesitar transmitir las corrientes de símbolos de datos a tasas bajas de modo que estas corrientes puedan ser recuperadas incluso bajo las condiciones de canal de peor caso. El comportamiento del sistema podrá ser entonces impuesto por las condiciones de canal de peor caso esperadas, lo que resulta altamente indeseable.

50 La expansión espacial puede ser utilizada para aleatorizar el canal MIMO efectivo observado por la entidad de recepción de modo que el comportamiento de sistema no sea impuesto por las condiciones de canal de peor caso. Con la expansión espacial, la entidad de transmisión realiza el procesamiento espacial con diferentes matrices de orientación para aleatorizar de forma efectiva el canal MIMO de modo que cada bloque de códigos para cada corriente de datos observe un conjunto de canales y no quede relegado a un canal de banda durante un período de tiempo amplio.

El procesamiento espacial en la entidad de transmisión para expansión espacial puede ser expresado como:

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

en la que:

$\underline{\mathbf{s}}(m)$  es un vector de  $N_S$  4 1 con  $N_S$  símbolos de datos que va a ser enviado en la separación de transmisión  $m$ :

$\underline{\mathbf{V}}(m)$  es una matriz de orientación de  $N_T$  4  $N_S$  para la separación de transmisión  $m$ ; y

$\underline{\mathbf{x}}(m)$  es un vector de  $N_T$  4 1 con  $N_T$  símbolos de transmisión que va a ser enviado desde las  $N_T$  antenas de transmisión en la separación de transmisión  $m$ .

En general, hasta  $N_S$  corrientes de símbolos de datos pueden ser transmitidas simultáneamente utilizando los  $N_S$  canales espaciales de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ . Por simplicidad, gran parte de la descripción que sigue supone que  $N_S$  corrientes de símbolos de datos son transmitidas simultáneamente.

Una separación de transmisión puede cubrir dimensiones de tiempo y/o frecuencia. Por ejemplo, en un sistema MIMO de portadora simple, una separación de transmisión puede corresponder a un período de símbolo, que es la duración del tiempo para transmitir un símbolo de datos. Según otro ejemplo, en un sistema MIMO multi-portadora, tal como un sistema MIMO que utiliza OFDM, una separación de transmisión puede corresponde a una sub-banda en un período de símbolo de OFDM. Una separación de transmisión puede cubrir también múltiples períodos de símbolo y/o múltiples sub-bandas. Así,  $m$  puede ser un índice para tiempo y/o frecuencia. La separación de transmisión puede estar también mencionada como un intervalo de transmisión, un intervalo de envío de señales, una ranura, y así sucesivamente.

Se puede generar un conjunto de  $L$  matrices de orientación según se describe en lo que sigue, y ser utilizadas para expansión espacial. Este conjunto de matrices de orientación se indica como  $\{\underline{\mathbf{V}}\}$ , o  $\underline{\mathbf{V}}(i)$  para  $i = 1, \dots, L$ , donde  $L$  puede ser un número entero mayor de uno. Una matriz de orientación del conjunto puede ser seleccionada para cada separación de transmisión  $m$ . La entidad de transmisión podrá entonces realizar procesamiento espacial para cada separación de transmisión  $m$  con la matriz de orientación  $\underline{\mathbf{V}}(m)$  seleccionada para esa separación de transmisión, donde  $\underline{\mathbf{V}}(m) \in \{\underline{\mathbf{V}}\}$ . Los resultados del procesamiento espacial son  $N_T$  corrientes de símbolos de transmisión, las cuales son además acondicionadas y transmitidas desde la  $N_T$  antenas de transmisión.

Los símbolos recibidos en la entidad de recepción con expansión espacial pueden ser expresados como:

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

en la que

$\underline{\mathbf{H}}(m)$  es una matriz de respuesta de canal de  $N_R$  4  $N_T$  para la separación de transmisión  $m$ ;

$\underline{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$  es una matriz de respuesta de canal efectiva de  $R_R$  4  $N_S$  para la separación de transmisión  $m$ . en la que  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m) = \underline{\mathbf{H}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$ ;

$\underline{\mathbf{r}}(m)$  es un vector de  $N_R$  4 1 con  $R_R$  símbolos recibidos para la separación de transmisión  $m$ ; y

$\underline{\mathbf{n}}(m)$  es un vector ruido para la separación de transmisión  $m$ .

Según se muestra en la ecuación (4), debido a la expansión espacial realizada por la entidad de transmisión, las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos observan la respuesta  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$  de canal efectivo en vez de la respuesta  $\underline{\mathbf{H}}(m)$  de canal real. Cada corriente de símbolos de datos es así enviada por un canal espacial de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$  en vez de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ . Las matrices de orientación pueden ser seleccionadas de tal modo que cada corriente de símbolos de datos observe un conjunto de canales espaciales de  $\underline{\mathbf{H}}(m)$ . Además, si se utilizan diferentes matrices de orientación a través de un bloque de códigos, entonces los símbolos de datos para el bloque de códigos podrían observar diferentes canales a través de cada bloque de códigos.

La entidad de recepción puede realizar un procesamiento espacial de receptor sobre los símbolos recibidos con una estimación de la matriz de respuesta de canal efectivo para recuperar las corrientes de símbolos de datos transmitidos. Si la entidad de recepción tiene conocimiento de la matriz de orientación utilizada por la entidad de transmisión para cada separación de transmisión  $m$ , entonces la entidad de recepción puede estimar la matriz de respuesta de canal (por ejemplo en base a los símbolos piloto recibidos) y calcular una matriz de respuesta estimada de canal efectivo como  $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{eff}}(m) = \hat{\underline{\mathbf{H}}}(m) \cdot \underline{\mathbf{V}}(m)$ , donde “ $\hat{\phantom{x}}$ ” indica una estimación de la matriz real. Alternativamente, la entidad de recepción puede estimar directamente la matriz de respuesta de canal efectivo,  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$ , por ejemplo en base a los símbolos piloto recibidos que han sido transmitidos utilizando  $\underline{\mathbf{V}}(m)$ . Un símbolo piloto es un símbolo de modulación para piloto, que es el dato conocido *a priori* por ambas entidades de transmisión y de recepción.

En general, cualquier número ( $N_D$ ) de corrientes de datos pueden ser transmitidas de manera simultánea a través del canal MEMO, donde  $N_S \geq N_D \geq 1$ . Por ejemplo, si  $N_D = N_S$ , entonces puede ser transmitida una corriente de datos por cada uno de los  $N_S$  canales espaciales de  $\underline{H}_{eff}(m)$ . Si  $N_D = 1$ , entonces una corriente de datos puede ser desmultiplexada y transmitida por todos los  $N_S$  canales espaciales de  $\underline{H}_{eff}(m)$ . En cualquier caso, cada corriente de datos es procesada (por ejemplo, codificada, intercalada y modulada) para obtener símbolos de datos, y los símbolos de datos para la totalidad de las  $N_D$  corrientes de datos son desmultiplexados en  $N_S$  corrientes de símbolos de datos para los  $N_S$  canales espaciales de  $\underline{H}_{eff}(m)$ , según se describe en lo que sigue. Una matriz de orientación se utiliza en cuanto a procesamiento espacial para una separación de transmisión, la cual puede cubrir uno o múltiples vectores de símbolos de datos.

La **Figura 1** muestra un proceso 100 para transmitir datos con expansión espacial. Inicialmente, los datos son procesados para obtener un conjunto de  $N_D$  bloques de símbolos de datos para  $N_D$  corrientes de datos, un bloque por cada corriente de datos (bloque 112). Cada bloque de símbolos de datos contiene símbolos de datos generados a partir de un bloque de códigos de datos codificados (o un paquete de datos codificados). El procesamiento de datos puede ser llevado a cabo según se describe en lo que sigue. Los  $N_D$  bloques de símbolos de datos son divididos en  $N_M$  sub-bloques de símbolos de datos que van a ser transmitidos en  $N_M$  separaciones de transmisión, un sub-bloque en cada separación de transmisión (bloque 114).  $N_M$  se menciona también como longitud de bloque y es  $N_M > 1$ . 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  $N_S$  corrientes de datos. Según otro ejemplo, si  $N_D = 1$ , entonces cada sub-bloque puede contener  $N_S$  símbolos de datos procedentes de un bloque para una corriente de datos. El índice  $m$  utilizado para indicar la separación de transmisión para el conjunto actual de bloques de símbolos de datos se establece en 1 (bloque 116).

Una matriz de orientación  $\underline{V}(m)$  se utiliza para procesamiento espacial para cada separación de transmisión  $m$ . La matriz de orientación  $\underline{V}(m)$  puede ser seleccionada a partir del conjunto de  $L$  matrices de orientación  $\{\underline{V}\}$  (bloque 118). El procesamiento espacial se lleva a cabo a continuación sobre el sub-bloque  $m$  de símbolos de datos con la matriz de orientación  $\underline{V}(m)$  para obtener símbolos de transmisión (bloque 120). Si la separación de transmisión  $m$  cubre un vector de símbolo de datos, entonces se forma un vector  $\underline{s}(m)$  con hasta  $N_S$  símbolos de datos a partir del sub-bloque  $m$  de símbolos de datos y se procesa espacialmente con la matriz de orientación  $\underline{V}(m)$  para obtener el correspondiente vector  $\underline{x}(m)$  de símbolo de transmisión, según se muestra en la ecuación (3). Si la separación de transmisión  $m$  cubre múltiples ( $N_V$ ) vectores de símbolos de datos, entonces los  $N_V$  vectores  $\underline{s}_=(m)$ , para  $= = 1, \dots, N_V$  se forman a partir del sub-bloque  $m$  de símbolos de datos, y cada vector  $\underline{s}_=(m)$  es procesado espacialmente con la misma matriz de orientación  $\underline{V}(m)$  para obtener un vector  $\underline{x}_=(m)$  de símbolo de transmisión correspondiente. En cualquier caso, se utiliza la misma matriz  $\underline{V}(m)$  para procesamiento espacial para todos los vectores de símbolo en la separación de transmisión  $m$ , y los vectores de símbolo de transmisión resultantes son procesados y transmitidos a través de las  $N_T$  antenas de transmisión en la separación de transmisión  $m$  (bloque 122).

A continuación se realiza una determinación sobre si los  $N_M$  sub-bloques de símbolos de datos han sido procesados y transmitidos (es decir, si  $m = N_M$ ) (bloque 124). Si la respuesta es "No", entonces el índice  $m$  se incrementa hasta el/la siguiente sub-bloque/separación de transmisión (bloque 126), y el proceso retorna al bloque 118. Si la respuesta es "Sí" para el bloque 124, entonces se realiza una determinación sobre si hay más datos para transmitir (bloque 128). Si la respuesta es "Sí", entonces el proceso retorna al bloque 112 para iniciar el procesamiento para el siguiente conjunto de bloques de símbolos de datos. En otro caso, el proceso termina.

Según se muestra en la Figura 1, cada conjunto de bloques de símbolos de datos es procesado espacialmente con  $N_M$  matrices de orientación para obtener  $N_T$  secuencias de símbolos de transmisión. Cada secuencia de símbolos de transmisión es transmitida por medio de una respectiva de las  $N_T$  antenas de transmisión en  $N_M$  separaciones de transmisión. Las  $N_M$  matrices de orientación aleatorizan el canal MIMO efectivo observado por la entidad de recepción para los  $N_D$  bloques de símbolos de datos. La aleatorización del canal MIMO resulta de la utilización de diferentes matrices de orientación para diferentes separaciones de transmisión y no necesariamente de la aleatoriedad de los elementos de las matrices de orientación.

Según se ha indicado en lo que antecede, la separación de transmisión puede estar definida de modo que cubra uno o más períodos de símbolo y/o una o más sub-bandas. Para un comportamiento mejorado, resulta deseable seleccionar la separación de transmisión de modo que sea tan pequeña como sea posible, de modo que (1) se puedan utilizar más matrices de orientación por cada bloque de símbolos de datos, y (2) la entidad de recepción pueda obtener tantas "miradas" del canal MIMO como sea posible por cada bloque de símbolos de datos. La separación de transmisión puede ser también más corta que el tiempo de coherencia del canal MIMO, el cual es el tiempo de duración durante el que se puede suponer que el canal MIMO está aproximadamente estático. De forma similar, la separación de transmisión puede ser más pequeña que el ancho de banda de coherencia del canal para un sistema basado en OFDM.

La **Figura 2** muestra un proceso 200 para recibir datos con expansión espacial. Inicialmente, el índice  $m$  utilizado para indicar la separación de transmisión para el conjunto actual de bloques de símbolos de datos se establece en 1 (bloque 212). Los símbolos de datos recibidos son obtenidos desde las  $N_R$  antenas de recepción para el sub-bloque  $m$  de símbolos de datos (bloque 214). Se determina la matriz de orientación  $\underline{V}(m)$  utilizado por la entidad de transmisión para el sub-bloque  $m$  (bloque 216) y se utiliza para extraer una estimación de respuesta de canal para el

canal MIMO efectivo observado por el sub-bloque  $m$ . Esta estimación de respuesta de canal se utiliza después para realizar procesamiento espacial de receptor sobre los símbolos de datos recibidos, para obtener los símbolos detectados (o las estimaciones de símbolos de datos) para el sub-bloque  $m$  (bloque 218).

5 A continuación se realiza una determinación sobre si los  $N_M$  sub-bloques de símbolos de datos para el conjunto actual de bloque de símbolos de datos han sido recibidos (es decir, si  $m = N_M$ ) (bloque 220). Si la respuesta es "No", entonces el índice  $m$  se incrementa para el/la siguiente sub-bloque/separación de transmisión (bloque 222) y el proceso retorna al bloque 214. Si la respuesta es "Sí" para el bloque 220, entonces los símbolos detectados para la totalidad de los  $N_M$  sub-bloques son procesados (por ejemplo, desmodulados, desintercalados, y descodificados) para obtener datos descodificados para el actual conjunto de bloque de símbolos de datos (bloque 224). A  
10 continuación se realiza una determinación sobre si existen más datos por recibir (bloque 226). Si la respuesta es "Sí", entonces el proceso retorna al bloque 212 para iniciar la recepción del siguiente conjunto de bloques de símbolos de datos. En otro caso, el proceso termina.

#### A. Selección de Matriz de Orientación

15 Según se ha indicado en lo que antecede, un conjunto de  $L$  matrices de orientación pueden ser generadas y utilizadas para expansión espacial. Las matrices de orientación del conjunto pueden ser seleccionadas para su uso de varias maneras. Según un ejemplo, las matrices de orientación se eligen a partir del conjunto de una manera determinística. Por ejemplo, las  $L$  matrices de orientación pueden ser tomadas en bucle y seleccionadas por orden secuencial, empezando por la primera matriz de orientación  $\mathbf{V}(1)$ , a continuación la segunda matriz de orientación  $\mathbf{V}(2)$ , y así sucesivamente, y después la última matriz de orientación  $\mathbf{V}(L)$ . En otro ejemplo, las matrices de  
20 orientación se seleccionan a partir del conjunto de una manera pseudo-aleatoria. Por ejemplo, la matriz de orientación que se va a utilizar para cada separación de transmisión  $m$  puede ser seleccionada en base a una función  $f(m)$  que elige de manera pseudo-aleatoria una de las  $L$  matrices de orientación, o matriz  $\mathbf{V}(f(m))$ . Según otro ejemplo más, las matrices de orientación se seleccionan a partir del conjunto de manera "permutada". Por ejemplo, las  $L$  matrices pueden ser tomadas en bucle y seleccionadas para su uso por orden secuencial. Sin embargo, la matriz de  
25 orientación inicial para cada ciclo puede ser seleccionada de manera pseudo-aleatoria, en vez de que sea siempre la primera matriz de orientación  $\mathbf{V}(1)$ . Las  $L$  matrices de orientación pueden ser también seleccionadas de otras diversas maneras, y esto cae dentro del alcance de la presente invención.

30 La selección de matriz de orientación puede ser dependiente del número de matrices de orientación ( $L$ ) en el conjunto y de la longitud de bloque ( $N_M$ ). En general, el número de matrices de orientación puede ser mayor que, igual a, o menor que la longitud de bloque. La selección de matriz de orientación para estos tres casos puede ser llevada a cabo según se describe en lo que sigue.

35 Si  $L = N_M$ , entonces el número de matrices de orientación se equipara con la longitud de bloque. En este caso, se puede seleccionar una matriz de orientación diferente para cada una de las  $N_M$  separaciones de transmisión utilizadas para transmitir el conjunto de bloques de símbolos de datos. Las  $N_M$  matrices de orientación para las  $N_M$  separaciones de transmisión pueden ser seleccionadas de una manera determinística, pseudo-aleatoria o permutada, según se ha descrito en lo que antecede. Por ejemplo, las  $L$  matrices de orientación del conjunto pueden ser seleccionadas por orden secuencial para cada conjunto de bloque de símbolos de datos, siendo utilizada la misma (preseleccionada) o una diferente (seleccionada de forma pseudo-aleatoria) matriz de inicio para cada conjunto de bloque de símbolos de datos.

40 Si  $L < N_M$ , entonces la longitud de bloque es más larga que el número de matrices de orientación del conjunto. En este caso, las matrices de orientación son reutilizadas para cada conjunto de bloque de símbolos de datos y pueden ser seleccionadas según se ha descrito anteriormente.

45 Si  $L > N_M$ , entonces se utiliza un subconjunto de las matrices de orientación para cada conjunto de bloque de símbolos de datos. La selección del subconjunto específico que se va a usar para cada conjunto de bloque de símbolos de datos puede ser determinística o pseudo-aleatoria. Por ejemplo, la primera matriz de orientación que se va a usar para el actual conjunto de bloque de símbolos de datos puede ser la matriz de orientación después de la última usada para un conjunto de bloque de símbolos de datos anterior.

#### B. Sistema

50 La **Figura 3** muestra un diagrama de bloques de una entidad de transmisión 310 y de una entidad de recepción 350 en un sistema MIMO 300. En la entidad de transmisión 310, un procesador 320 de datos de transmisión (TX) recibe y procesa (por ejemplo, codifica, intercala y modula) datos de tráfico para  $N_D$  corrientes de datos, y proporciona  $N_S$  corrientes de símbolos de datos, donde  $N_S \geq N_D \geq 1$ . Un procesador 330 espacial de TX recibe y procesa espacialmente las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos en cuanto a expansión espacial, los multiplexa en símbolos piloto, y proporciona  $N_T$  corrientes de símbolos de transmisión a  $N_T$  unidades transmisoras (TMTR) 332a a 332t. El  
55 procesamiento mediante el procesador 320 de datos de TX se describe en lo que sigue, y el procesamiento espacial mediante el procesador 330 espacial de TX es según se ha descrito en lo que antecede. Cada unidad 332 transmisora condiciona (por ejemplo, convierte en analógica, filtra, amplifica, y realiza conversión ascendente de frecuencia) una corriente respectiva de símbolos de transmisión para generar una señal modulada. Las  $N_T$  unidades

transmisoras 332a a 332t proporcionan  $N_T$  señales moduladas para su transmisión desde  $N_T$  antenas 334a a 334t, respectivamente.

En la entidad de recepción 350,  $N_R$  antenas 352a a 352t reciben las  $N_T$  señales transmitidas y cada antena 352 proporciona una señal recibida a una unidad 354 receptora (RCVR) respectiva. Cada unidad 354 receptora realiza un procesamiento complementario con el procesamiento realizado por las unidades 332 transmisoras y proporciona (1) símbolos de datos recibidos a un procesador 360 espacial de recepción (RX), y (2) símbolos piloto recibidos a un estimador 384 de canal dentro de un controlador 380. El procesador 360 espacial de recepción realiza el procesamiento espacial sobre  $N_R$  corrientes de símbolos recibidas desde  $N_R$  unidades receptoras 354a a 354r con estimaciones de canal procedentes del estimador 384 de canal, y proporciona  $N_S$  corrientes de símbolos detectadas, las cuales son estimaciones de las  $N_S$  corrientes de símbolos de datos enviadas por la entidad de transmisión 310. Un procesador 370 de datos de RX procesa a continuación (por ejemplo, desmapea, desintercala, y descodifica) las  $N_S$  corrientes de símbolos detectadas y proporciona  $N_D$  corrientes de datos descodificadas, las cuales son estimaciones de las  $N_D$  corrientes de datos.

Los controladores 340 y 380 controlan la operación de varias unidades de procesamiento en la entidad de transmisión 310 y la entidad de recepción 350, respectivamente. Unidades 342 y 382 de memoria almacenan datos y/o códigos de programa utilizados por los controladores 340 y 380, respectivamente.

La **Figura 4** muestra un diagrama de bloques de las unidades de procesamiento en la entidad de transmisión 310. Para el ejemplo mostrado en la Figura 4, el procesador 320 de datos de TX incluye  $N_D$  procesadores de corriente de datos 401a a 410nd para las  $N_D$  corrientes de datos  $\{d_{\perp}\}$ , para  $\perp = 1, \dots, N_D$ . Dentro de cada procesador 410 de corriente de datos, un codificador 412 recibe y descodifica la corriente de datos  $\{d_{\perp}\}$  en base a un esquema de codificación y proporciona bits de código. El esquema de codificación puede incluir generación de comprobación de redundancia cíclica (CRC), codificación convolucional, codificación Turbo, codificación de comprobación de paridad de baja densidad (LDPC), codificación de bloque, otra codificación, o una combinación de las mismas. Un intercalador de canal 414 intercala (es decir, reordena) los bits de código en base a un esquema de intercalación para conseguir diversidad de frecuencia, tiempo y/o espacial. Una unidad 416 de mapeo de símbolo mapea los bits intercalados en base a un esquema de modulación y proporciona una corriente de símbolos de datos  $\{s_{\perp}\}$ . La unidad 416 agrupa cada conjunto de  $B$  bits intercalados para formar un valor de  $B$ -bits, donde  $B \geq 1$ , y además mapea cada valor de  $B$  bits respecto a un símbolo de modulación específico en base al esquema de modulación seleccionado (por ejemplo, QPSK, M-PSK, o M-QAM, donde  $M = 2^B$ ). La codificación se realiza típicamente por separado sobre cada paquete de datos en cada corriente de datos  $\{d_{\perp}\}$  para obtener un paquete de datos codificado o bloque de códigos correspondiente, y a continuación se realiza el mapeo de símbolos en cada bloque de códigos para obtener un bloque correspondiente de símbolos de datos.

En la Figura 4, los  $N_D$  procesadores de corriente de datos 410a a 410nd procesan las  $N_D$  corrientes de datos y proporcionan  $N_D$  bloques de símbolos de datos para cada longitud de bloque de  $N_M$  separaciones de transmisión. Un procesador 410 de corriente de datos puede procesar también las  $N_D$  corrientes de datos, por ejemplo de una manera de multiplexado por división de tiempo (TDM). Se pueden usar esquemas de codificación y modulación iguales o diferentes para las  $N_D$  corrientes de datos. Además, se pueden usar tasas de datos iguales o diferentes para las  $N_D$  corrientes de datos. Un multiplexor/desmultiplexor (Mul/Desmul) 420 recibe y multiplexa/desmultiplexa los símbolos de datos para las  $N_D$  corrientes de datos en  $N_S$  corrientes de símbolos, una corriente de símbolos de datos por cada canal espacial de  $\mathbf{H}_{\text{eff}}(m)$ . Si  $N_D = N_S$ , entonces el Mul/Desmul 420 puede proporcionar simplemente los símbolos de datos para cada corriente de datos como una corriente de símbolos de datos. Si  $N_D = 1$ , entonces el Mul/Desmul 420 desmultiplexa los símbolos de datos para la corriente de datos en  $N_S$  corrientes de símbolos de datos.

El procesador 330 espacial de TX recibe  $N_S$  bloques de símbolos de datos desde el procesador 320 de datos de TX y  $N_M$  matrices de orientación  $\mathbf{V}(m)$  desde el controlador 340 para cada longitud de bloque de  $N_M$  separaciones de transmisión. Las matrices de orientación pueden ser recuperadas desde un almacenamiento 442 de matriz de orientación (SM) del interior de una unidad 342 de memoria, o generadas por el controlador 340 según se necesiten. El procesador 330 espacial de TX realiza un procesamiento espacial sobre los símbolos de datos para cada separación de transmisión  $m$  con la matriz de orientación  $\mathbf{V}(m)$  para esa separación de transmisión y proporciona símbolos para la separación de transmisión. El procesador 330 espacial multiplexa los símbolos de transmisión para cada separación de transmisión  $m$  para obtener  $N_T$  secuencias de símbolos de transmisión, que van a ser enviadas desde las  $N_T$  antenas de transmisión en uno o más períodos de símbolo y/o en una o más sub-bandas. El procesador 330 espacial de TX multiplexa además las  $N_T$  secuencias de símbolos de transmisión para diferentes separaciones de transmisión y proporciona  $N_T$  corrientes de símbolos de transmisión,  $\{x_j\}$  para  $j = 1, \dots, N_T$ , para las  $N_T$  antenas de transmisión.

La **Figura 5** muestra un diagrama de bloques de las unidades de procesamiento en la entidad de recepción 350.  $N_R$  unidades receptoras 354a a 354r proporcionan símbolos piloto recibidos,  $\{r_i^P\}$ , al estimador 384 de canal. En un ejemplo, el estimador 384 de canal deriva  $\hat{\mathbf{H}}(m)$ , que es una estimación de la matriz de respuesta de canal  $\mathbf{H}(m)$ , en base a los símbolos piloto recibidos. El estimador 384 de canal recibe además la matriz de orientación  $\mathbf{V}(m)$  para cada separación de transmisión  $m$  y deriva la matriz de respuesta estimada de canal efectivo como  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m) = \hat{\mathbf{H}}(m) \cdot \mathbf{V}(m)$ . Para este ejemplo, las entidades de recepción y de transmisión están sincronizadas de modo que ambas

entidades utilizan la misma matriz de orientación  $\mathbf{V}(m)$  para cada separación de transmisión  $m$ . En otro ejemplo, el estimador 384 de canal deriva directamente  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$ , la cual es una estimación de la matriz de respuesta efectiva de canal  $\mathbf{H}_{\text{eff}}(m)$ , en base a los símbolos piloto recibidos. Para ambos ejemplos, el estimador 384 de canal proporciona la matriz de respuesta de canal efectivo estimada  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$  al procesador 360 espacial de RX.

5 El procesador 360 espacial de RX obtiene también símbolos de datos recibidos, para  $i = 1, \dots, N_R$ , desde las  $N_R$  unidades receptoras 354a a 354r. El procesador 360 espacial de RX realiza procesamiento espacial de receptor sobre los símbolos de datos recibidos con  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}(m)$  y utilizando uno cualquiera de un número de métodos de procesamiento espacial de receptor conocidos en el estado de la técnica. El procesador 360 espacial de RX proporciona símbolos detectados (o estimaciones de símbolos de datos) al procesador 370 de datos de RX.

10 Para el ejemplo mostrado en la Figura 5, el procesador 370 de datos de RX incluye un multiplexor/desmultiplexor (Mul/Desmul) 508 y  $N_D$  procesadores de corriente de datos: 510a a 150nd para las  $N_D$  corrientes de datos. El Mul/Desmul 508 recibe y multiplexa/desmultiplexa las  $N_S$  corrientes de símbolos detectadas para los  $N_S$  canales espaciales de  $\mathbf{H}_{\text{eff}}(m)$  en  $N_D$  corrientes de símbolos detectadas para las  $N_D$  corrientes de datos. El Mul/Desmul 508 opera de manera complementaria del Mul/Desmul 420 en la entidad de transmisión 310 de la Figura 4. Dentro de cada procesador 510 de corriente de datos, una unidad 512 de desmapoeo de símbolos desmodula los símbolos detectados para la corriente de datos asociada de acuerdo con el esquema de modulación utilizado para esa corriente y proporciona datos desmodulados. Un desintercalador 514 de canal desintercala los datos desmodulados de una manera complementaria a la intercalación realizada sobre esa corriente por la entidad de transmisión 310. Un descodificador 516 descodifica a continuación los datos desintercalados de una manera complementaria a la codificación realizada por la entidad de transmisión 310 sobre esa corriente. Por ejemplo, se puede usar un descodificador Turbo o un descodificador Viterbi para el descodificador 516 si se realiza codificación Turbo o convolucional, respectivamente, en la entidad de transmisión 310. El descodificador 516 proporciona un paquete de datos descodificados para cada bloque de símbolos de datos.

### C. Sistema MIMO-OFDM

25 Con OFDM, se pueden transmitir hasta  $N_F$  símbolos de modulación por las  $N_F$  sub-bandas en cada período de símbolo de OFDM. Con anterioridad a la transmisión, estos símbolos de modulación son transformados al dominio de tiempo utilizando una transformada rápida de Fourier inversa (IFFT) de  $N_F$  puntos para generar un símbolo "transformado" que contenga  $N_F$  chips de dominio de tiempo. Para combatir la interferencia inter-símbolo (ISI), la cual está causada por el desvanecimiento selectivo de frecuencia, una porción (o  $N_{cp}$  chips) de cada símbolo transformado se repite para formar un símbolo de OFDM correspondiente. Cada símbolo de OFDM es transmitido en un período de símbolo de OFDM, que es de  $N_F + N_{cp}$  períodos de chip, donde  $N_{cp}$  es la longitud cíclica de prefijo.

30 Para un sistema MIMO que utiliza OFDM (es decir, un sistema MIMO-OFDM), se puede realizar la expansión espacial para cada una de las sub-bandas utilizadas para transmisión de datos. El índice  $m$  para separación de transmisión es así sustituido por  $k, n$ , para la sub-banda  $k$  y el período  $n$  de símbolo de OFDM. Se puede formar un vector  $\underline{\mathbf{s}}(k, n)$  para cada sub-banda  $k$  en cada período  $n$  de símbolo de OFDM. Cada vector  $\underline{\mathbf{s}}(k, n)$  contiene hasta  $N_S$  símbolos de datos para su transmisión a través de  $N_S$  canales espaciales de  $\mathbf{H}_{\text{eff}}(k, n)$  para la sub-banda  $k$  en el período  $n$  de símbolo de OFDM. Hasta  $N_F$  vectores,  $\underline{\mathbf{s}}(k, n)$  para  $k = 1, \dots, N_F$ , pueden ser transmitidos concurrentemente por las sub-bandas  $N_F$  en un período de símbolo de OFDM.

35 El conjunto de  $N_D$  bloques de símbolos de datos puede ser transmitido de varias maneras en el sistema MIMO-OFDM. Por ejemplo, cada bloque de símbolos de datos puede ser transmitido 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 transmitido en todas las  $N_F$  sub-bandas y consigue diversidad de frecuencia. Cada bloque de símbolos de datos puede expansionar además uno o múltiples períodos de símbolo de OFDM. Cada bloque de símbolos de datos puede así expansionar las dimensiones de frecuencia y/o tiempo (por diseño del sistema) más la dimensión espacial (con expansión espacial).

40 Las matrices de orientación pueden ser también seleccionadas de varias maneras para el sistema MIMO-OFDM. Las matrices de orientación para las sub-bandas pueden ser seleccionadas de una manera determinística, pseudo-aleatoria o permutada, según se ha descrito en lo que antecede. Por ejemplo, las  $L$  matrices de orientación del conjunto pueden ser tomadas en bucle y seleccionadas por orden secuencial para las sub-bandas 1 a  $N_F$  en el período  $n$  de símbolo de OFDM, a continuación las sub-bandas 1 a  $N_F$  en el período  $n + 1$  de símbolo de OFDM, y así sucesivamente. La separación de transmisión puede estar definida de modo que cubra una o múltiples sub-bandas y uno o múltiples períodos de símbolo de OFDM. El número de matrices de orientación del conjunto puede ser menor que, igual a, o mayor que el número de sub-bandas. Los tres casos descritos anteriormente para  $L = N_M$ ,  $L < N_M$ , y  $L > N_M$  pueden ser aplicados para las sub-bandas, siendo  $N_M$  sustituido por  $N_F$ .

45 Para el sistema MIMO-OFDM, cada unidad 332 transmisora realiza modulación de OFDM sobre los símbolos de transmisión para la totalidad de las  $N_F$  sub-bandas de una antena de transmisión asociada para obtener una corriente correspondiente de símbolos de OFDM. Cada unidad 332 transmisora condiciona además la corriente de símbolos de OFDM para generar la señal modulada. Cada unidad 354 receptora realiza la desmodulación de OFDM complementaria sobre su señal recibida para obtener los símbolos de datos recibidos y los símbolos piloto recibidos.

La modulación y desmodulación de OFDM son conocidas en el estado de la técnica y no van a ser descritas en la presente memoria.

**D. Generación de Matrices de Orientación**

5 Las matrices de orientación utilizadas para la expansión espacial deben ser matrices unitarias y satisfacer la siguiente condición:

$$\mathbf{V}^H(l) \cdot \mathbf{V}(l) = \mathbf{I}, \text{ para } l = 1, \dots, L, \quad \text{Ec. (5)}$$

10 en la que "H" indica la transposición conjugada. Cada matriz de orientación incluye  $N_s$  columnas y puede ser expresada como  $\mathbf{V}(l) = [\mathbf{v}_1(l) \ \mathbf{v}_2(l) \ \dots \ \mathbf{v}_{N_s}(l)]$ . Para una matriz de orientación  $\mathbf{V}(l)$  dada, la condición de la ecuación (5) indica que (1) cada columna de  $\mathbf{V}(l)$  debe tener longitud unitaria, o  $\|\mathbf{v}_a(l)\| = \mathbf{v}_a^H(l) \cdot \mathbf{v}_a(l) = 1$  para  $a = 1, \dots, N_s$ , y (2) el producto interno de hermitiano de dos columnas cualesquiera de  $\mathbf{V}(l)$  debe ser cero, o  $\mathbf{v}_a(l) \cdot \mathbf{v}_b(l) = 0$  para  $a = 1, \dots, N_s$ ,  $b = 1, \dots, N_s$ , y  $a \neq b$ . Esta condición asegura que los  $N_s$  símbolos de datos transmitidos simultáneamente utilizando la matriz de orientación  $\mathbf{V}(l)$  tienen la misma potencia y son ortogonales entre sí con anterioridad a la transmisión.

15 Algunas de las matrices de orientación pueden estar también sin correlacionar de modo que la correlación entre dos matrices de orientación correlacionadas cualesquiera es cero o un valor bajo. Esta condición puede ser expresada como:

$$\mathbf{C}(ij) = \mathbf{V}^H(i) \cdot \mathbf{V}(j) \approx \mathbf{0}, \text{ para } i = 1, \dots, L, \ j = 1, \dots, L, \ \text{y } i \neq j \quad \text{Ec. (6)}$$

en la que  $\mathbf{C}(ij)$  es la matriz de correlación para  $\mathbf{v}(i)$  y  $\mathbf{v}(j)$  y  $\mathbf{0}$  es una matriz de todo ceros.

20 Puede resultar difícil satisfacer la condición de la ecuación (6) para todas las matrices del conjunto. Las matrices de orientación pueden ser derivadas de tal modo que la máxima energía de las matrices de correlación para todos los pares posibles de matrices de orientación se minimice. La matriz de correlación  $\mathbf{C}(ij)$  para un par dado de matrices de orientación puede ser calculada según se muestra en la ecuación (6).

$$N_s \ N_s$$

La energía de  $\mathbf{C}(ij)$  puede ser calculada como  $E(ij) = \|\mathbf{C}(ij)\|^2 = \sum_{m=1} \sum_{n=1} |c_{m,n}(ij)|^2$ , donde  $c_{m,n}(ij)$  es el elemento de

25 la fila  $m^{\text{ésima}}$  y la columna  $n^{\text{ésima}}$  de  $\mathbf{C}(ij)$ . La energía  $E(ij)$  es también (1) la traza de  $\mathbf{C}^H(ij) \cdot \mathbf{C}(ij)$  y (2) el cuadrado de la norma de Frobenius de  $\mathbf{C}(ij)$ . Las matrices de orientación se generan de tal modo que la energía máxima  $E(ij)$  para todos los pares de matrices de orientación se minimice.

30 El conjunto de L matrices orientación  $\{\mathbf{V}\}$  pueden ser generadas de varias maneras, algunas de las cuales se describen a continuación. El conjunto de matrices de orientación pueden ser pre-calculadas y almacenadas en las entidades de transmisión y de recepción, y después recuperadas para su uso según se necesiten. Alternativamente, estas matrices de orientación pueden ser calculadas en tiempo real según se necesiten.

35 La Figura 6 muestra un proceso ejemplar 600 de un primer esquema para generar el conjunto de matrices de orientación  $\{\mathbf{V}\}$ . Inicialmente, el índice  $i$  se establece en 1 para la primera matriz de orientación que va a ser generada (bloque 612). Una matriz  $\mathbf{G}$  de  $N_s \times N_T$  de variables aleatorias, se genera a continuación (bloque 614). Los elementos de  $\mathbf{G}$  son variables aleatorias gaussianas complejas independientes distribuidas idénticamente (IID), teniendo cada una de ellas un valor medio cero y una varianza unitaria. Una matriz de correlación de  $N_T \times N_T$  de  $\mathbf{G}$  se calcula a continuación como  $\mathbf{R} = \mathbf{G}^H \cdot \mathbf{G}$  (bloque 616).

La descomposición de valor propio de la matriz de correlación de  $\mathbf{G}$  se lleva a cabo a continuación (bloque 618), como sigue:

$$40 \quad \mathbf{R} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{E}^H, \quad \text{Ec. (7)}$$

en la que:

$\mathbf{E}$  es una matriz unitaria de  $N_T \times N_s$  de vectores propios de  $\mathbf{R}$ ; y

$\mathbf{D}$  es una matriz diagonal de  $N_s \times N_s$  de valores propios de  $\mathbf{R}$ .

45 La matriz diagonal  $\mathbf{D}$  contiene valores reales no negativos a lo largo de la diagonal y ceros en otras partes. Estas entradas diagonales se conocen como los valores propios de  $\mathbf{R}$  y representan las ganancias de potencia para los  $N_s$  modos propios de  $\mathbf{G}$ .

La correlación entre la matriz  $\mathbf{E}$  de vector propio y cada una de las matrices de orientación ya generadas para el conjunto, se comprueba a continuación (bloque 620). El bloque 620 se salta para la primera matriz de orientación. La comprobación se puede conseguir, por ejemplo, (1) calculando una matriz de correlación  $\mathbf{C}(ij)$  entre la matriz  $\mathbf{E}$  y

5 cada matriz de orientación  $\underline{V}(j)$  ya generada., para  $j = 1, \dots, (j-1)$ , (2) calculando la energía de cada matriz de correlación  $\underline{C}(j)$  según se ha descrito en lo que antecede, (3) comparando la energía para cada matriz de correlación respecto a un umbral, y (4) declarando correlación baja si las energías para la totalidad de las  $j-1$  matrices de correlación son menores que el umbral. Se pueden usar también otras pruebas para comprobar correlación baja, y todo esto cae dentro del alcance de la invención. A continuación se realiza una determinación sobre si el criterio de correlación baja se cumple para la matriz  $\underline{E}$  de vector propio (bloque 622). El criterio de correlación baja no se cumple si la correlación entre la matriz  $\underline{E}$  y cualquier matriz de orientación generada con anterioridad supera el umbral. Si es éste el caso, entonces el proceso retorna al bloque 614 para generar otra matriz  $\underline{G}$ . En otro caso, si se cumple el criterio de correlación baja, entonces se establece que la matriz de orientación  $\underline{V}(i)$  es igual a la matriz  $\underline{E}$  (bloque 624). La matriz de orientación  $\underline{V}(i)$  es una matriz unitaria puesto que la matriz  $\underline{E}$  se obtiene mediante descomposición de valor propio, según se muestra en la ecuación (7).

10 A continuación se realiza una determinación sobre si se han generado la totalidad de las L matrices de orientación para cada conjunto (bloque 626). Si la respuesta es "no", entonces el índice  $i$  se incrementa (bloque 628), y el proceso retorna al bloque 614 para generar la siguiente matriz de orientación. En otro caso, el proceso termina.

15 Las matrices de orientación generadas con el proceso 600 pueden ser mejoradas (1) identificando el par de matrices de orientación con energía más alta para su matriz de correlación, y (2) "separando" estas dos matrices de orientación mediante multiplicación previa de las matrices de orientación por matrices unitarias (de modo que las matrices resultantes sean también matrices unitarias). Las matrices unitarias para la multiplicación previa pueden ser seleccionadas de modo que modifiquen las dos matrices de orientación de una manera determinística o aleatoria. El proceso puede ser iterado hasta que la máxima energía para la matriz de correlación no pueda reducirse más.

20 En un segundo esquema, el conjunto de L matrices de orientación se genera en base a un conjunto de  $(\log_2 L) + 1$  matrices unitarias independientes distribuidas isotrópicamente. Una matriz unitaria aleatoria está distribuida isotrópicamente si su densidad de probabilidad se mantiene sin cambio mediante multiplicación previa por cualquier matriz unitaria de  $N_T \times N_T$  determinística. El índice  $i$  para las matrices de orientación del conjunto puede ser indicado como  $i = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_Q$ , donde  $Q = \log_2 L$ ,  $\alpha_1$  es el primer bit del índice  $i$ ,  $\alpha_Q$  es el último bit del índice  $i$ , y cada bit puede tomar un valor cualquiera de 0 ó 1. Las L matrices de orientación pueden ser generadas entonces como sigue:

$$\underline{V}(\ell_1 \ell_2 \dots \ell_Q) = \underline{\Omega}_1^{\ell_1} \cdot \underline{\Omega}_2^{\ell_2} \cdot \dots \cdot \underline{\Omega}_Q^{\ell_Q} \cdot \underline{V}_0, \text{ para } \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_Q \in \{0, 1\} \quad \text{Ec. (8)}$$

en la que

30  $\underline{V}_0$  es una matriz unitaria independiente de  $N_T \times N_S$  distribuida isotrópicamente, y  $\underline{\Omega}_j^{\ell_j}$ , para  $j = 1, \dots, Q$ , es una matriz unitaria independiente de  $N_T \times N_T$  distribuida isotrópicamente.

La matriz  $\underline{V}_0$  puede ser definida, por ejemplo, como  $\underline{V}_0^T = [\underline{I}_{N_S} \underline{0}]$ , donde  $\underline{I}_{N_S}$  es una matriz de identidad de  $N_S \times N_S$ . El segundo esquema ha sido descrito con mayor detalle por T.L. Marzetta et al., en "Configuraciones de Autocodificación de Espacio-Tiempo Estructuradas Unitarias", IEEE Transacción sobre Teoría de la Información, Vol. 48, núm. 4, Abril de 2002.

35 En un tercer esquema, el conjunto de L matrices de orientación se genera haciendo girar sucesivamente una matriz de orientación  $\underline{V}(1)$  inicial unitaria en un espacio complejo de  $N_T$  dimensiones, como sigue:

$$\underline{V}(i + 1) = \underline{\Theta}^i \cdot \underline{V}(1), \text{ para } i = 1, \dots, L-1, \quad \text{Ec. (9)}$$

en la que  $\underline{\Theta}$  es una matriz unitaria diagonal de  $N_T \times N_T$  que puede ser definida como:

$$\underline{\Theta}^i = \begin{bmatrix} e^{j2\pi u_1 i/L} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j2\pi u_2 i/L} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e^{j2\pi u_{N_T} i/L} \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (10)}$$

40 y  $u_1, u_2, \dots, u_{N_T}$  son  $N_T$  valores diferentes, cada uno de ellos dentro de la gama de 0 a L-1, los cuales que se eligen de tal modo que la correlación entre las matrices de orientación resultantes generadas con la matriz  $\underline{\Theta}^i$  sea tan baja como sea posible. Los  $N_T$  elementos en diagonal de  $\underline{\Theta}^i$  son las raíces  $L^{\text{ésimas}}$  de la unidad. La matriz de orientación  $\underline{V}(1)$  inicial unitaria puede ser formada con  $N_S$  columnas diferentes de una matriz de Fourier  $\underline{D}$  de  $N_T \times N_T$ , donde la entrada  $(n, m)^{\text{ésima}}$ ,  $w_{n,m}$ , viene dada como:

$$w_{n,m} = e^{-j2\pi \frac{(n-1)(m-1)}{N_T}}, \text{ for } n = \{1 \dots N_T\} \text{ and } m = \{1 \dots N_T\}, \quad \text{Ec. (11)}$$

en la que  $n$  es un índice de fila y  $m$  es un índice de columna. El tercer esquema ha sido descrito con mayor detalle por B.M. Hochwald et al., en "Diseño Sistemático de Constelaciones de Espacio-Tiempo Unitarias", IEEE Transacción sobre Teoría de la Información, Vol. 46, núm. 6, Septiembre de 2000.

- 5 En un cuatro esquema, el conjunto de  $L$  matrices de orientación se genera con una matriz de base  $\mathbf{B}$  y diferentes valores escalares. La matriz de base puede ser una matriz de Walsh, una matriz de Fourier, o alguna otra matriz. Una matriz de Walsh de  $2 \times 2$  se expresa como:

$$\mathbf{W}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}. \text{ Una matriz Walsh } \mathbf{W}_{2N \times 2N} \text{ de tamaño más grande puede ser formada a partir de una matriz Walsh}$$

$\mathbf{W}_{N \times N}$  de tamaño más pequeño, como sigue:

$$\mathbf{W}_{2N \times 2N} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{N \times N} & \mathbf{W}_{N \times N} \\ \mathbf{W}_{N \times N} & -\mathbf{W}_{N \times N} \end{bmatrix}. \quad \text{Ec. (12)}$$

- 10 Las matrices de Walsh tienen dimensiones que son potencias de dos. Las matrices de Fourier de cualquier dimensión cuadrada (por ejemplo, 2, 3, 4, 5, etcétera) pueden ser formadas según se muestra en la ecuación (11).

- 15 Una matriz de Walsh  $\mathbf{W}$  de  $N_T \times N_T$ , matriz de Fourier  $\mathbf{D}$ , o alguna otra matriz, puede ser utilizada como matriz de base  $\mathbf{B}$  para formar otras matrices de orientación. Cada una de las filas 2 a  $N_T$  de la matriz de base puede ser multiplicada independientemente por uno de  $M$  valores escalares posibles diferentes, donde  $M > 1$ . Se pueden obtener  $M^{N_T-1}$  matrices de orientación diferentes a partir de  $M^{N_T-1}$  permutaciones de los  $M$  valores escalares para las  $N_T - 1$  filas. Por ejemplo, cada una de las filas 2 a  $N_T$  puede ser multiplicada de manera independiente por un valor

- 20 escalar de  $+1, -1, +j$ , o  $-j$ , en la que  $j = \sqrt{-1}$ . Para  $N_T = 4$  y  $M = 4$ , se pueden generar 64 matrices de orientación diferentes a partir de la matriz de base  $\mathbf{B}$  con los cuatro valores escalares diferentes. Se pueden generar matrices de orientación adicionales con otros valores escalares, por ejemplo,  $e^{j\beta\pi/4}$ ,  $e^{j\pi/4}$ ,  $e^{j\pi/8}$ , y así sucesivamente. En general, cada fila de la matriz de base puede ser multiplicada por cualquier valor escalar que tenga la forma  $e^{j\theta}$ , donde  $\theta$  puede ser cualquier valor de fase. Las matrices de orientación de  $N_T \times N_T$  pueden ser generadas como

$\mathbf{V}(i) = g_{N_T} \mathbf{B}(i)$ , donde  $g_{N_T} = 1 / \sqrt{N_T}$  y  $\mathbf{B}(i)$  es la matriz  $i$ ésima generada con la matriz de base  $\mathbf{B}$ . El escalado mediante  $g_{N_T}$  asegura que cada columna de  $\mathbf{V}(i)$  tiene potencia unidad.

- 25 Otros esquemas pueden ser también utilizados para generar el conjunto de matrices de orientación, y esto cae dentro del alcance de la invención. En general, las matrices de orientación pueden ser generadas de una manera pseudo-aleatoria (por ejemplo, tal como el primer esquema) o de una manera determinística (por ejemplo, tal como el segundo y el tercer esquemas).

### E. Rendimiento

- 30 La Figura 7 muestra representaciones gráficas de la función de distribución acumulativa (CDF) de la eficacia espectral global conseguida para un sistema MIMO ejemplar. Para este sistema MIMO, la entidad de transmisión está equipada con cuatro antenas de transmisión ( $N_T = 4$ ) y la entidad de recepción está equipada con cuatro antenas de recepción ( $N_R = 4$ ). El canal MIMO se supone que es según se ha descrito para la ecuación (19). La SNR recibida, la cual es la SNR de los símbolos recibidos con anterioridad al procesamiento espacial de receptor, supone que es de 20 dB. La entidad de recepción se supone que está utilizando una técnica de procesamiento espacial de receptor de mínimo error cuadrático medio (MMSE).

- 40 La representación 710 muestra la CDF de la eficacia espectral global para el caso en que no se lleve a cabo la expansión espacial. La eficacia espectral viene dada en unidades de bits por segundo por Hertzio (bps/Hz). Para una eficacia espectral  $x$  dada, la CDF indica la probabilidad de que la eficacia espectral global sea peor que  $x$ . Por ejemplo, el punto 712 indica que existe un uno por ciento ( $10^{-2}$ ) de probabilidad de que la eficacia espectral global sea peor que 9 bps/Hz sin expansión espacial. Si la entidad de transmisión codifica y transmite datos a una tasa global de 9 bps/Hz, entonces existe una probabilidad de un uno por ciento de que la entidad de recepción no esté

capacitada para descodificar correctamente los datos. Esta probabilidad se conoce también habitualmente como la probabilidad de “corte”.

5 Las representaciones 720, 730 y 740 muestran las CDFs de la eficacia espectral global conseguida con expansión espacial utilizando 4, 16 y 64 matrices de orientación, respectivamente. Los puntos 722, 732 y 742 indican que existe una probabilidad de un uno por ciento de que la eficacia espectral global sea peor que 12,5, 14,6 y 15,8 bps/Hz, respectivamente, con 4, 16 y 64 matrices de orientación, respectivamente. Para una probabilidad de corte de un uno por ciento, el uso de expansión espacial mejora la eficacia espectral global desde 9 bps/Hz hasta aproximadamente 15,8 bps/Hz (con 64 matrices de orientación) para el sistema MIMO ejemplar. La línea 750 es para una probabilidad del 50% y puede ser referenciada para determinar la eficacia espectral global media para los cuatro casos.

La Figura 7 muestra el rendimiento para un sistema MIMO ejemplar con algunas suposiciones específicas. En general, la cantidad de mejora puede depender de varios factores tales como, por ejemplo, las características del canal MIMO, el número de antenas de transmisión y de recepción, la técnica de procesamiento espacial utilizada en la entidad de recepción, los esquemas de codificación y modulación utilizados para la transmisión de datos, etcétera.

## 15 2. Sistema MISO

Un sistema MISO emplea múltiples ( $N_T$ ) antenas de transmisión en una entidad de transmisión y una única antena en una entidad de recepción para la transmisión de datos. Un canal MISO formado por las  $N_T$  antenas de transmisión y la única antena de recepción está compuesto por un único canal espacial. El canal MISO puede estar caracterizado por un vector  $\underline{h}$  de fila de respuesta de canal de  $1 \times N_T$ , el cual es  $\underline{h} = [h_1, h_2, \dots, h_{N_T}]$ , donde la entrada  $h_j$  para  $j = 1, \dots, N_T$ , indica el acoplamiento entre la antena de transmisión  $j$  y la antena de recepción única.

La expansión espacial puede ser utilizada para aleatorizar un canal MISO efectivo observado por una entidad de recepción de antena única de modo que el rendimiento no venga impuesto por las condiciones de canal de peor caso. Para el sistema MISO, la entidad de transmisión realiza un procesamiento espacial con un conjunto de vectores de orientación.

25 El procesamiento espacial en la entidad de transmisión para la expansión espacial en el sistema MISO puede ser expresado como:

$$\underline{x}_{miso}(m) = \underline{v}(m) \cdot s(m), \quad \text{Ec. (13)}$$

en la que

$s(m)$  es un símbolo de datos que va a ser enviado en la separación de transmisión  $m$ ;

30  $\underline{v}(m)$  es un vector de orientación de  $N_T \times 1$  para la separación de transmisión  $m$ ; y

$\underline{x}_{miso}(m)$  es un vector de  $N_T \times 1$  con  $N_T$  símbolos de transmisión que van a ser enviados desde las  $N_T$  antenas de transmisión en la separación de transmisión  $m$ .

Un conjunto de  $L$  vectores de orientación puede ser generado e indicado como  $\{\underline{v}\}$ , o como  $\underline{v}(i)$  para  $i = 1, \dots, L$ . Un vector de orientación del conjunto puede ser seleccionado para cada separación de transmisión  $m$  (por ejemplo, de una manera pseudo-aleatoria o determinística, similar a la descrita en lo que antecede para las matrices de orientación). La entidad de transmisión realiza el procesamiento espacial para cada separación de transmisión  $m$  con el vector de orientación  $\underline{v}(m)$  seleccionado para esa separación de transmisión.

Los símbolos recibidos en la entidad de recepción con expansión espacial pueden ser expresados como:

$$\underline{r}(m) = \underline{h}(m) \cdot \underline{v}(m) \cdot s(m) + n(m) = h_{eff}(m) \cdot s(m) + n(m), \quad \text{Ec. (14)}$$

40 en la que

$r(m)$  es un símbolo recibido para la separación de transmisión  $m$ ;

$h_{eff}(m)$  es una respuesta de canal efectivo para la separación de transmisión  $m$ , que es  $h_{eff}(m) = \underline{h}(m) \cdot \underline{v}(m)$ ;

y

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

45 Según se muestra en la ecuación (14), debido a la expansión espacial realizada por la entidad de transmisión, una corriente de símbolos de datos observa la respuesta de canal efectivo  $h_{eff}(m)$ , la cual incluya la respuesta  $\underline{h}(m)$  de canal real y el vector de orientación  $\underline{v}(m)$ . La entidad de recepción puede realizar la detección (por ejemplo, un filtrado o una ecualización simultánea) sobre los símbolos  $r(m)$  recibidos con una estimación  $\hat{h}_{eff}(m)$  de respuesta de canal efectivo para obtener símbolos  $\hat{s}(m)$  detectados según se conoce en el estado de la técnica. La entidad de

recepción procesa además (por ejemplo, desmodula, desintercala, y descodifica) los símbolos  $r(m)$  detectados para obtener datos descodificados.

5 Los vectores de orientación utilizados para expansión espacial en el sistema MISO deben tener la misma energía (por ejemplo,  $\|\underline{\mathbf{v}}(i)\|^2 = \underline{\mathbf{v}}^H(i) \underline{\mathbf{v}}(i) = 1$  para  $i = 1, \dots, L$ ), de modo que la potencia de transmisión utilizada para los símbolos de datos no es modificada por la expansión espacial. Algunos de los vectores de orientación pueden estar también sin correlacionar de modo que la correlación entre dos vectores de orientación cualesquiera no correlacionados es cero o un valor bajo. Esta condición puede ser expresada como:

$$\mathbf{c}(ij) = \underline{\mathbf{v}}^H(i) \cdot \underline{\mathbf{v}}(j) \approx 0, \text{ para } i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, \text{ e } i \neq j \quad \text{Ec. (15)}$$

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

10 El conjunto de  $L$  vectores de orientación puede ser generado de varias maneras (por ejemplo, de una manera pseudo-aleatoria o determinística, similar a la descrita en lo que antecede para las matrices de orientación). Las columnas de las matrices de orientación generadas según se ha descrito en lo que antecede pueden ser usadas para los vectores de orientación, para expansión espacial.

15 Las técnicas de expansión espacial descritas en la presente memoria pueden ser implementadas con 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 utilizadas para realizar expansión espacial en la entidad de transmisión pueden estar implementadas dentro de uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASICs), procesadores de señal digital (DSPs), dispositivos de procesamiento de señal digital (DSPDs), dispositivos lógicos programables (PLDs), matrices de puerta programable en campo (FPGAs),  
20 procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria, o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento utilizadas para realizar el procesamiento espacial en la entidad de recepción pueden estar implementadas dentro de uno o más ASICs, DSPs, procesadores, etcétera.

25 Para una implementación de software, las técnicas de expansión espacial pueden ser implementadas con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etcétera) que realicen las funciones descritas en la presente memoria. Los códigos de software pueden estar almacenados en unidades de memoria (por ejemplo, las unidades de memoria 342 y 382 en la Figura 3) y ejecutados por un procesador (por ejemplo, los controladores 340 y 380). La unidad de memoria puede estar implementada dentro del procesador o externa al procesador, en cuyo caso puede estar acoplada comunicativamente con el procesador a través de diversos medios según se conoce en el estado de la técnica.  
30

Se incluyen encabezamientos en la presente memoria como referencia y para ayudar a localizar secciones separadas. Estos encabezamientos no se prevé que limiten el alcance de los conceptos descritos en la presente memoria bajo los mismos, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a través de la descripción completa.

35 La descripción anterior de las realizaciones divulgadas ha sido proporcionada para permitir que cualquier persona experta en la materia realice o utilice la presente invención. Diversas modificaciones de estas realizaciones resultarán fácilmente evidentes para esos expertos en la materia, y los principios genéricos definidos en la presente memoria pueden ser aplicados a otras realizaciones sin apartarse del ámbito de la invención. Así, la presente invención no se prevé que quede limitada a las realizaciones mostradas en la presente memoria sino que se  
40 entiende que constituye el más amplio alcance acorde con las reivindicaciones.

45

50

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un procedimiento de provisión de datos para su transmisión en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiple entrada y múltiple salida MIMO, comprendiendo el procedimiento:
- 5 procesar datos (112, 114) para obtener al menos un bloque de símbolos de datos;
- dividir (114) el al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;
- seleccionar (118) una matriz de orientación para cada sub-bloque de símbolos de datos;
- 10 procesar espacialmente (118, 120) el al menos un bloque de símbolos de datos con una pluralidad de matrices de orientación para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión, correspondiendo cada secuencia a un sub-bloque diferente del al menos un bloque de símbolos de datos, en el que procesar espacialmente el al menos un bloque de símbolos de datos comprende procesar espacialmente cada sub-bloque de símbolos de datos con la matriz de orientación seleccionada para ese sub-bloque;
- 15 proporcionar (122) la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión a una pluralidad de antenas de transmisión para su transmisión, en el que la pluralidad de matrices de orientación aleatorizan un canal MIMO efectivo observado por una entidad de recepción para el al menos un bloque de símbolos de datos realizando el procesamiento espacial con la pluralidad de matrices de orientación.
- 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dividir el al menos un bloque de símbolos de datos comprende:
- 20 dividir el al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos de tal modo que cada sub-bloque incluye símbolos de datos procedentes del al menos un bloque.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- transmitir (122) la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas de transmisión.
- 4.- El procedimiento de la reivindicación 3, que comprende además:
- 25 transmitir cada secuencia de símbolos de datos procesados espacialmente desde la pluralidad de antenas de transmisión por un grupo respectivo de sub-bandas de frecuencia.
- 5.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- seleccionar (118) la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación, donde L es un número entero mayor que uno.
- 30 6.- El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende además:
- seleccionar (118) la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación de una manera determinística.
- 7.- El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende además:
- 35 seleccionar (118) la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación tomando en bucle las L matrices de orientación por orden secuencial.
- 8.- El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende además:
- seleccionar (118) la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación de una manera pseudo-aleatoria.
- 9.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- 40 seleccionar (118) L órdenes diferentes de matrices de orientación a partir de la pluralidad de matrices de orientación para cada una de L secuencias de entre la pluralidad de secuencias, donde L es un número entero mayor que uno.
- 10.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de matrices de orientación son matrices unitarias.
- 45 11.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de matrices de orientación tienen una baja correlación entre dos matrices de orientación cualesquiera.

- 12.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:  
 generar la pluralidad de matrices de orientación con una matriz de base y una pluralidad de valores escalares.
- 13.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:  
 5 generar la pluralidad de matrices de orientación en base a una matriz unitaria inicial y a una matriz diagonal de raíces  $L^{\text{ésimas}}$  de unidad, donde L es un número entero mayor que uno.
- 14.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:  
 generar la pluralidad de matrices de orientación en base a un conjunto de matrices unitarias independientes distribuidas isotrópicamente.
- 10 15.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada sub-bloque de datos está diseñado para su transmisión sobre un grupo respectivo de al menos una sub-banda de frecuencia y desde la pluralidad de antenas de transmisión, y en el que el procesamiento espacial comprende procesar espacialmente el sub-bloque de símbolos de datos para cada grupo de al menos una sub-banda de frecuencia con una respectiva de la pluralidad de matrices de orientación.
- 15 16.- Un aparato (310) para un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO, comprendiendo el aparato:  
 medios (320) para procesar datos para obtener al menos un bloque de símbolos de datos;  
 medios (330) para dividir el al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;  
 20 medios (333) para seleccionar una matriz de orientación para cada sub-bloque de símbolos de datos;  
 medios (330, 340) para procesar espacialmente el al menos un bloque de símbolos de datos con una pluralidad de matrices de orientación para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión, correspondiendo cada secuencia a un sub-bloque diferente del al menos un bloque de símbolos de datos, en el que los medios para procesar espacialmente el al menos un bloque de símbolos de datos comprende medios para procesar espacialmente cada sub-bloque de símbolos de datos con la matriz seleccionada para ese sub-bloque, y  
 25 medios (330) para proporcionar la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión a una pluralidad de antenas de transmisión (334) para su transmisión, en el que la pluralidad de matrices de orientación aleatorizan un canal MIMO efectivo observado por una entidad de recepción para el al menos un bloque de símbolos de datos realizando el procesamiento espacial con la pluralidad de matrices de orientación.
- 30 17.- El aparato (310) de la reivindicación 16, en el que los medios para dividir el al menos un bloque de símbolos de datos comprende:  
 medios para dividir el al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de  
 35 símbolos de datos de tal modo que cada sub-bloque incluye símbolos de datos procedentes del al menos un bloque.
- 18.- El aparato (310) de la reivindicación 16, que comprende además:  
 medios (332) para transmitir la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión desde la pluralidad de antenas (334) de transmisión.
- 19.- El aparato (310) de la reivindicación 18, que comprende además:  
 40 medios (332) para transmitir cada secuencia de símbolos de datos procesados espacialmente desde la pluralidad de antenas (334) de transmisión por un grupo respectivo de sub-bandas de frecuencia.
- 20.- El aparato (310) de la reivindicación 16, que comprende además:  
 medios (340) para seleccionar la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación, donde L es un número entero mayor que uno.
- 45 21.- El aparato (310) de la reivindicación 20, que comprende además:  
 medios (340) para seleccionar la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación de una manera determinística.

- 22.- El aparato (310) de la reivindicación 20, que comprende además:  
 medios para seleccionar la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación tomando en bucle las L matrices de orientación por orden secuencial.
- 23.- El aparato (310) de la reivindicación 20, que comprende además:  
 5            medios (340) para seleccionar la pluralidad de matrices de orientación a partir de un conjunto de L matrices de orientación de una manera pseudo-aleatoria.
- 24.- El aparato (310) de la reivindicación 16, que comprende además:  
 10            medios (340) para seleccionar L órdenes diferentes de matrices de orientación a partir de la pluralidad de matrices de orientación para cada una de L secuencias de entre la pluralidad de secuencias, donde L es un número entero mayor que uno.
- 25.- El aparato (310) de la reivindicación 16, en el que la pluralidad de matrices de orientación son matrices unitarias.
- 26.- El aparato (310) de la reivindicación 16, en el que la pluralidad de matrices de orientación tienen una baja correlación entre dos matrices de orientación cualesquiera.
- 15            27.- El aparato (310) de la reivindicación 16, que comprende además:  
               medios para generar la pluralidad de matrices de orientación con una matriz de base y una pluralidad de matrices de valores escalares.
- 28.- El aparato (310) de la reivindicación 16, que comprende además:  
 20            medios para generar la pluralidad de matrices de orientación en base a una matriz unitaria inicial y a una matriz diagonal de raíces  $L^{\text{ésimas}}$  de unidad, donde L es un número entero mayor que uno.
- 29.- El aparato (310) de la reivindicación 16, que comprende además:  
               medios para generar la pluralidad de matrices de orientación en base a un conjunto de matrices unitarias independientes distribuidas isotrópicamente.
- 25            30.- El aparato (310) de la reivindicación 16, en el que cada sub-bloque de símbolos de datos está diseñado para su transmisión por un grupo respectivo de al menos una sub-banda de frecuencia y desde la pluralidad de antenas de transmisión, y en el que los medios para el procesamiento espacial comprenden medios para procesar espacialmente el sub-bloque de símbolos de datos para cada grupo de al menos una sub-banda de frecuencia con una respectiva de la pluralidad de matrices de orientación.
- 31.- El aparato (310) de la reivindicación 16, en el que:  
 30            los medios (320) para procesamiento de datos incluyen un procesador de datos;  
               los medios (330) para procesamiento espacial incluyen un procesador espacial, y  
               los medios (330) para la provisión de la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial.
- 32.- El aparato (310) de la reivindicación 16, en el que:  
 35            los medios (320) para procesar datos incluyen un procesador de datos;  
               los medios (330) para el procesamiento espacial incluyen un procesador espacial;  
               los medios (330) para proporcionar la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial;  
               los medios (330) para la división incluyen el procesador espacial, y  
               los medios (330) para la selección incluyen el procesador espacial.
- 33.- El aparato (310) de la reivindicación 18, que comprende además:  
 40            los medios (320) para el procesamiento de datos incluyen un procesador de datos;  
               los medios (330) para el procesamiento espacial incluyen un procesador espacial;  
               los medios (330) para proporcionar la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial, y

los medios (332) para transmitir incluyen un procesador de transmisión.

34.- El aparato (310) de la reivindicación 20, que comprende además:

los medios (320) para procesar datos incluyen un procesador de datos;

los medios (330) para el procesamiento espacial incluyen un procesador espacial;

5 los medios (330) para proporcionar la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial, y

los medios (330) para la selección incluyen el procesador espacial.

35.- El aparato (310) de la reivindicación 28, que comprende además:

los medios (320) para el procesamiento de datos incluyen un procesador de datos;

los medios (330) para el procesamiento espacial incluyen un procesador espacial;

10 los medios (330) para la provisión de la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial, y

los medios para generar incluyen el procesador espacial.

36.- El aparato (310) de la reivindicación 29, que comprende además:

los medios (320) para procesar datos incluyen un procesador de datos;

los medios (330) para el procesamiento espacial incluyen un procesador espacial;

15 los medios (330) para la provisión de la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial, y

los medios para generar incluyen el procesador espacial.

37.- El aparato (310) de la reivindicación 34, en el que:

los medios (320) para el procesamiento de datos incluyen un procesador de datos;

los medios (330) para el procesamiento espacial incluyen un procesador espacial;

20 los medios (330) para la provisión de la pluralidad de secuencias incluyen el procesador espacial, y

los medios para la división incluyen el procesador de datos.

38.- Un procedimiento de provisión de datos para su transmisión en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y única salida MISO, comprendiendo el procedimiento:

procesar datos (112, 114) para obtener al menos un bloque de símbolos de datos;

25 dividir (114) el al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;

seleccionar (118) un vector de orientación para cada sub-bloque de símbolos de datos;

30 procesar espacialmente (118, 120) el al menos un bloque de símbolos de datos con una pluralidad de vectores de orientación para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión, correspondiendo cada secuencia a un sub-bloque diferente del al menos un bloque de símbolos de datos, en el que el procesamiento espacial del al menos un bloque de símbolos de datos comprende procesar espacialmente cada sub-bloque de símbolos de datos con el vector de orientación seleccionada para ese sub-bloque, y

35 proporcionar (122) la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión a una pluralidad de antenas de transmisión para su transmisión, en el que la pluralidad de vectores de orientación aleatorizan un canal MISO efectivo observado por una entidad de recepción para el al menos un bloque de símbolos de datos realizando el procesamiento espacial con la pluralidad de vectores de orientación.

39.- Un aparato (310) para un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y única salida MISO, comprendiendo el aparato:

40 medios (320) para procesar datos para obtener al menos un bloque de símbolos de datos;

medios (330) para dividir el al menos un bloque de símbolos de datos en una pluralidad de sub-bloques de símbolos de datos;

medios (330) para seleccionar un vector de orientación para cada sub-bloque de símbolos de datos;

5 medios (330, 340) para procesar espacialmente el al menos un bloque de símbolos de datos con una pluralidad de vectores de orientación para obtener una pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión, correspondiendo cada secuencia a un sub-bloque diferente del al menos un bloque de símbolos de datos, en el que los medios para procesar espacialmente el al menos un bloque de símbolos de datos comprenden medios para procesar espacialmente cada sub-bloque de símbolos de datos con el vector de orientación seleccionado para ese sub-bloque, y

10 medios (330) para proporcionar la pluralidad de secuencias de símbolos de transmisión a una pluralidad de antenas de transmisión (334) para su transmisión, en el que la pluralidad de vectores de orientación aleatorizan un canal MISO efectivo observado por una entidad de recepción para el al menos un bloque de símbolos de datos realizando el procesamiento espacial con la pluralidad de vectores de orientación.

15 40.- Un producto de programa de ordenador para el procesamiento de datos en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO, que comprende un medio legible por ordenador que posee un conjunto de códigos almacenado en el mismo, siendo el conjunto de códigos ejecutable por medio de uno o más procesadores para implementar el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.

20 41.- Un producto de programa de ordenador para el procesamiento de datos en un sistema de comunicación inalámbrica de múltiples entradas y única salida MIMO, que comprende un medio legible por ordenador que posee un conjunto de códigos almacenado en el mismo, siendo el conjunto de códigos ejecutable por medio de uno o más procesadores para implementar el procedimiento de la reivindicación 38.

25

30

35

35

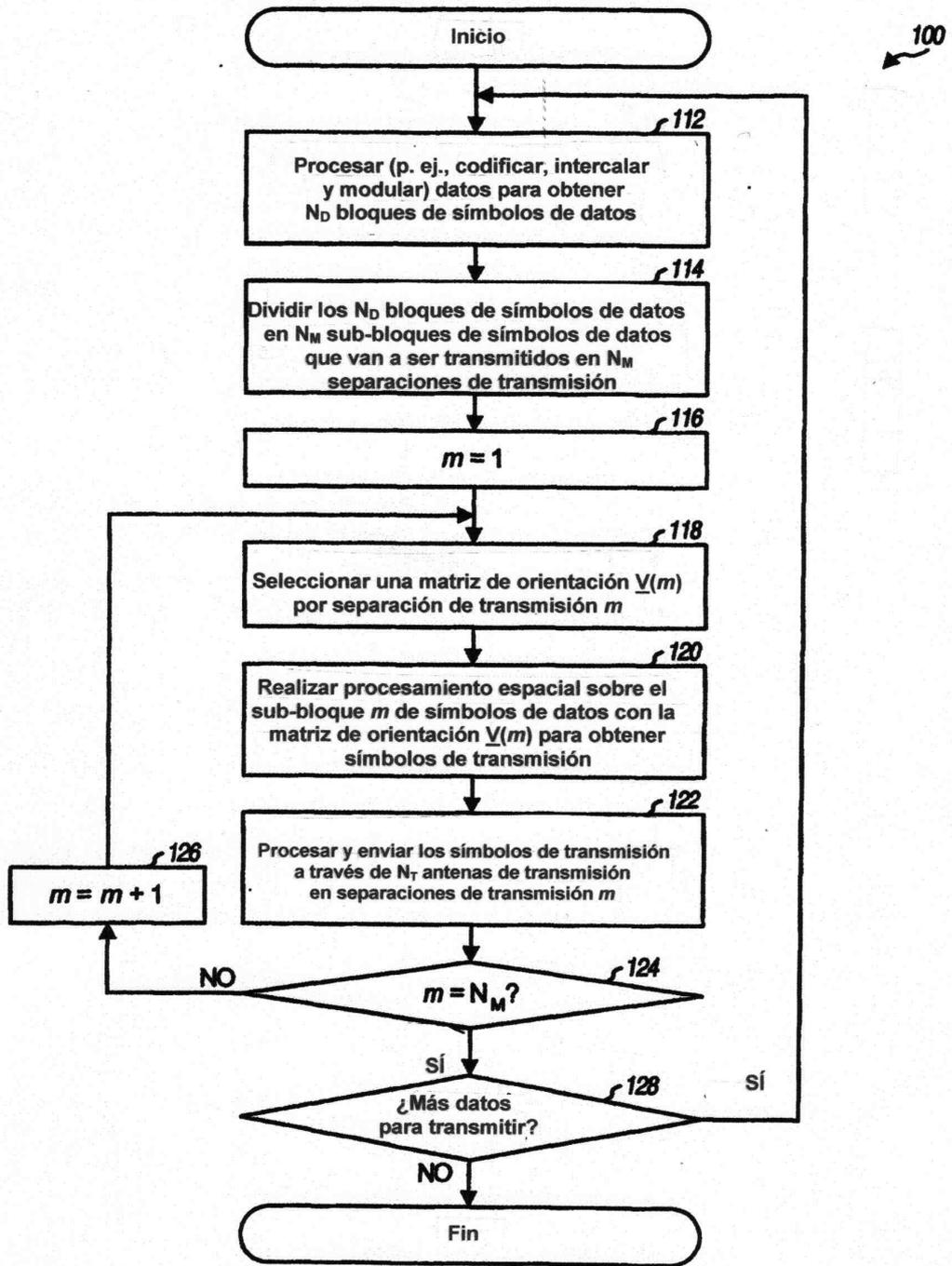


FIG. 1

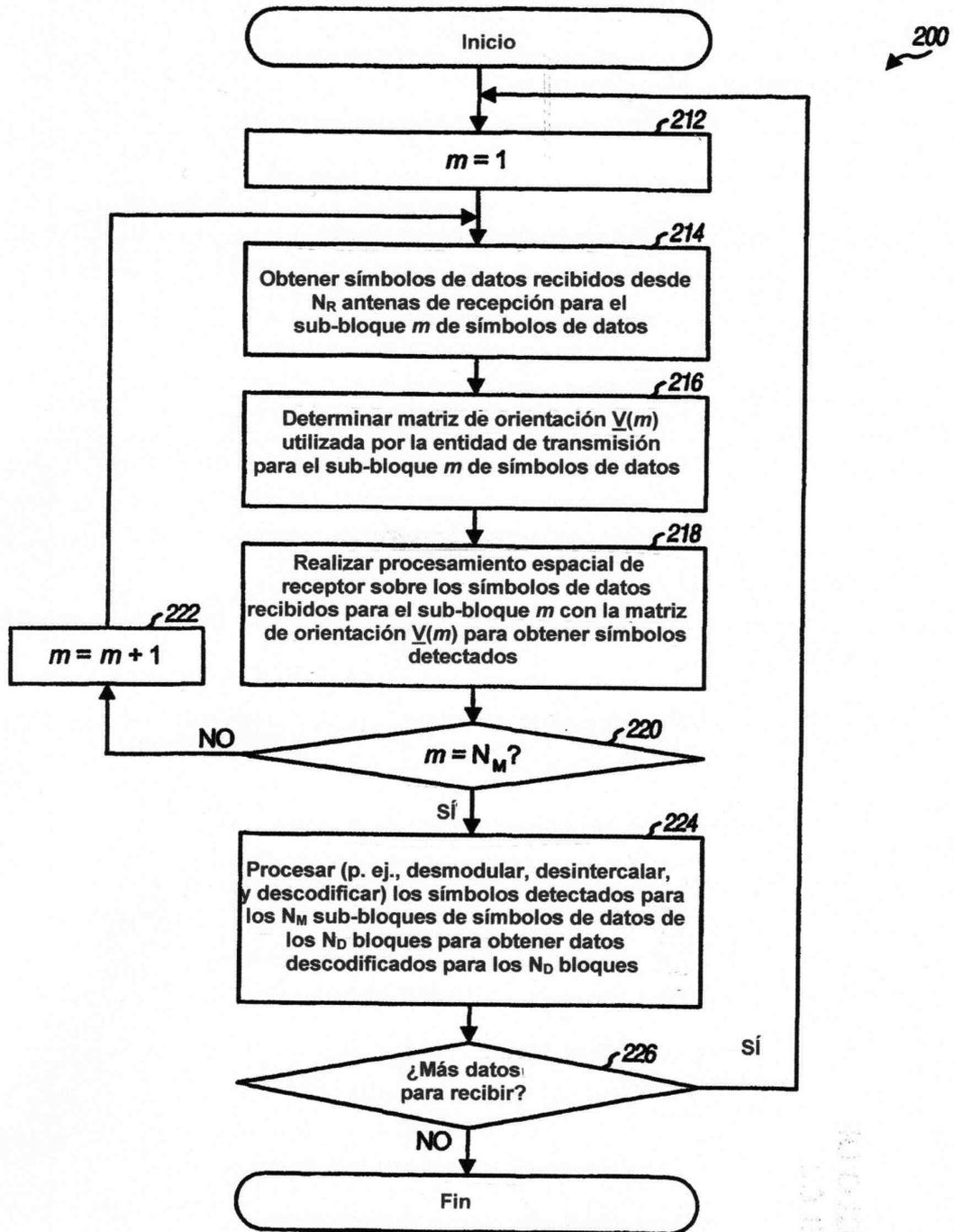


FIG. 2

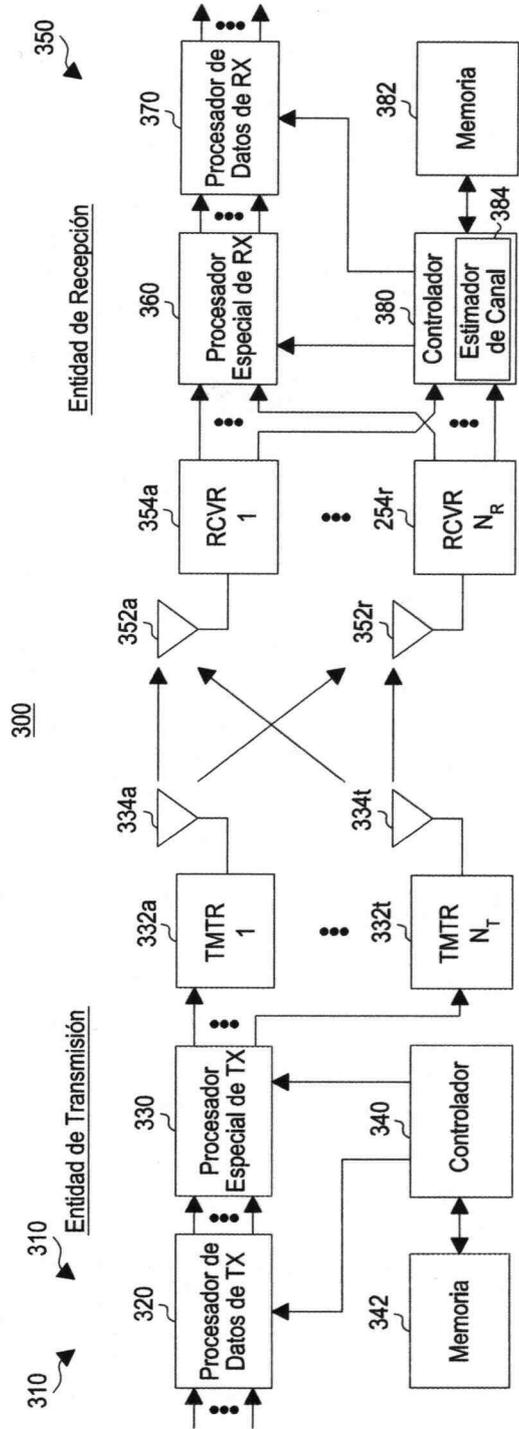


FIG. 3

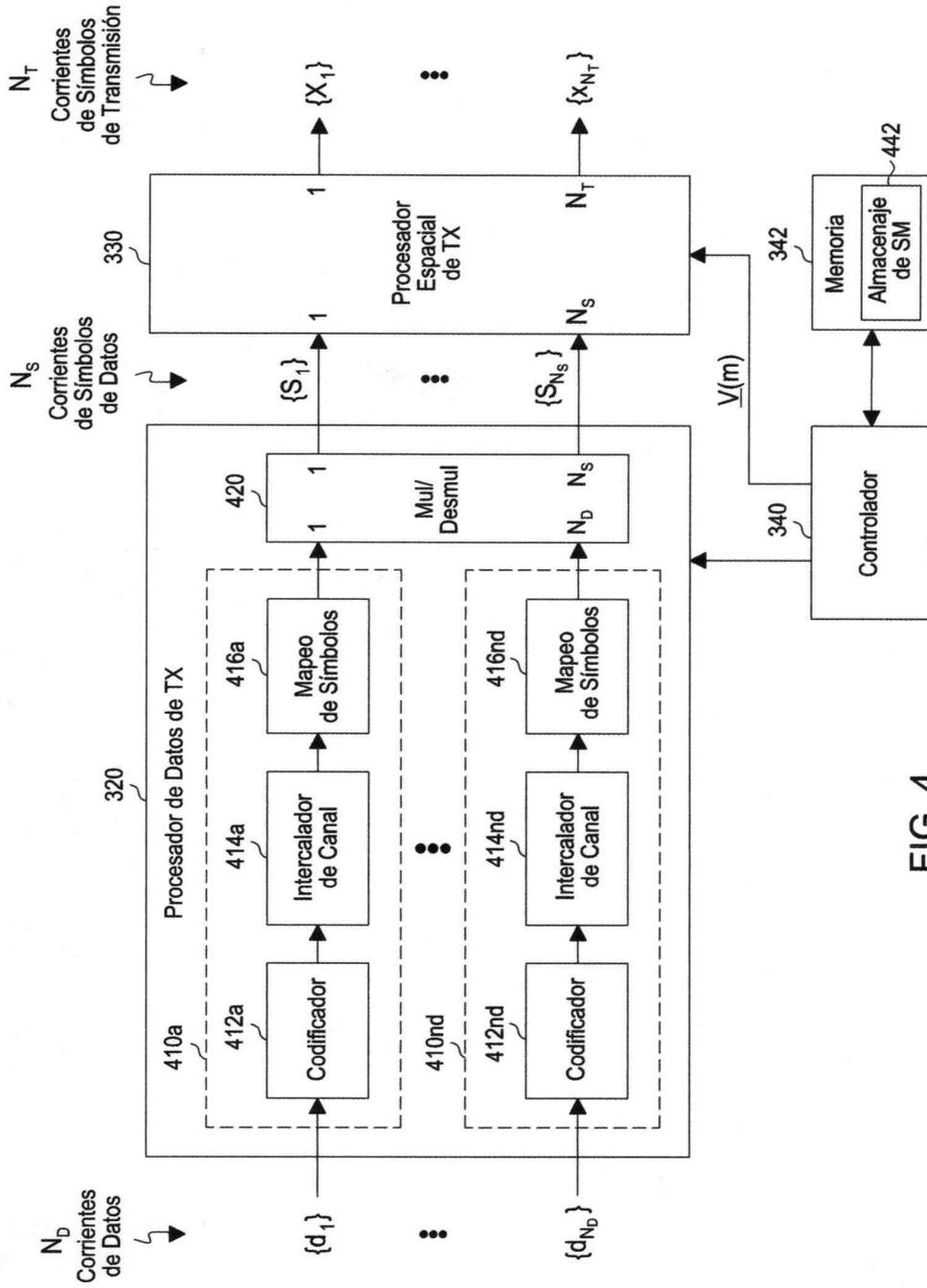


FIG. 4

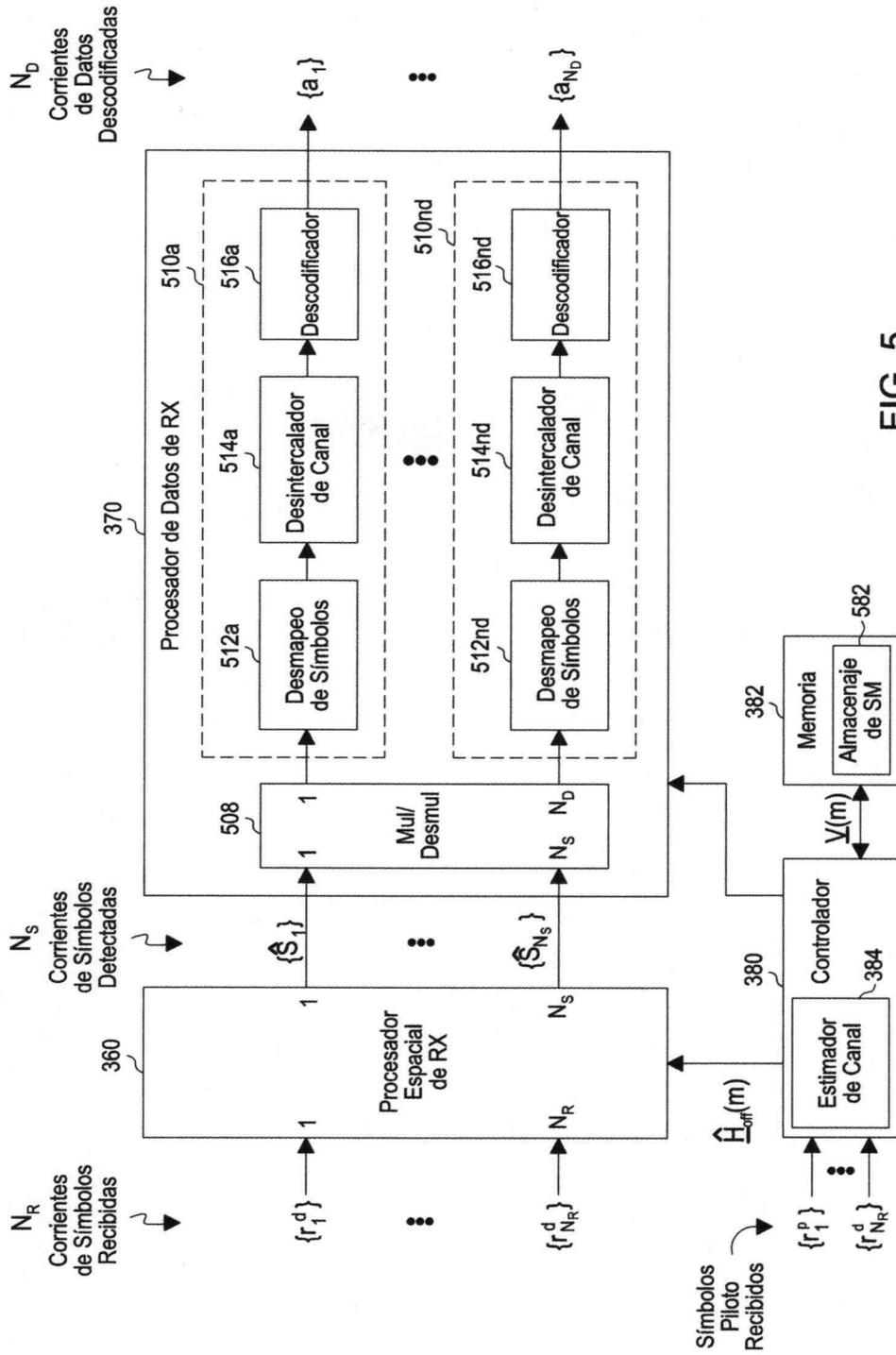


FIG. 5

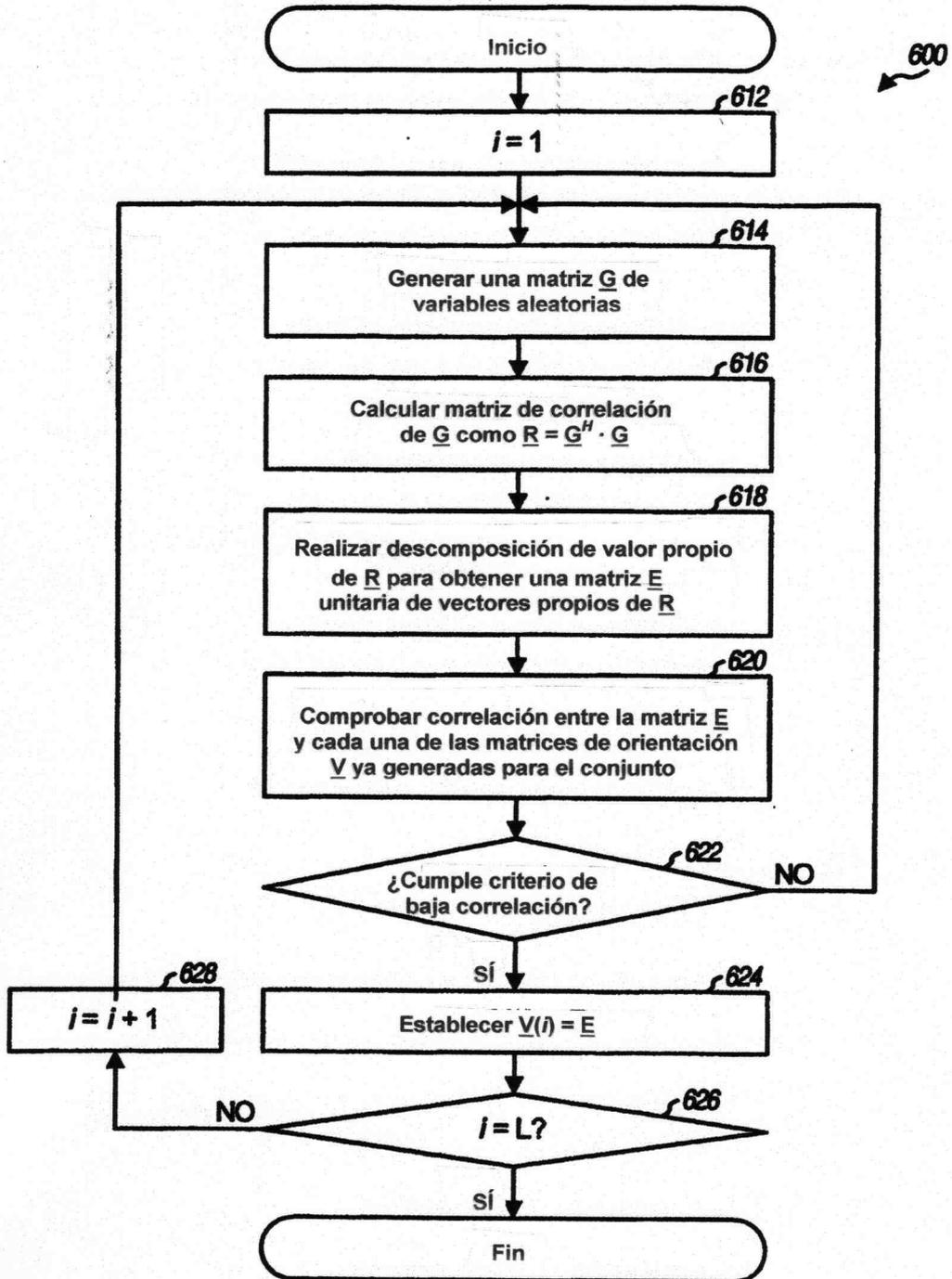


FIG. 6

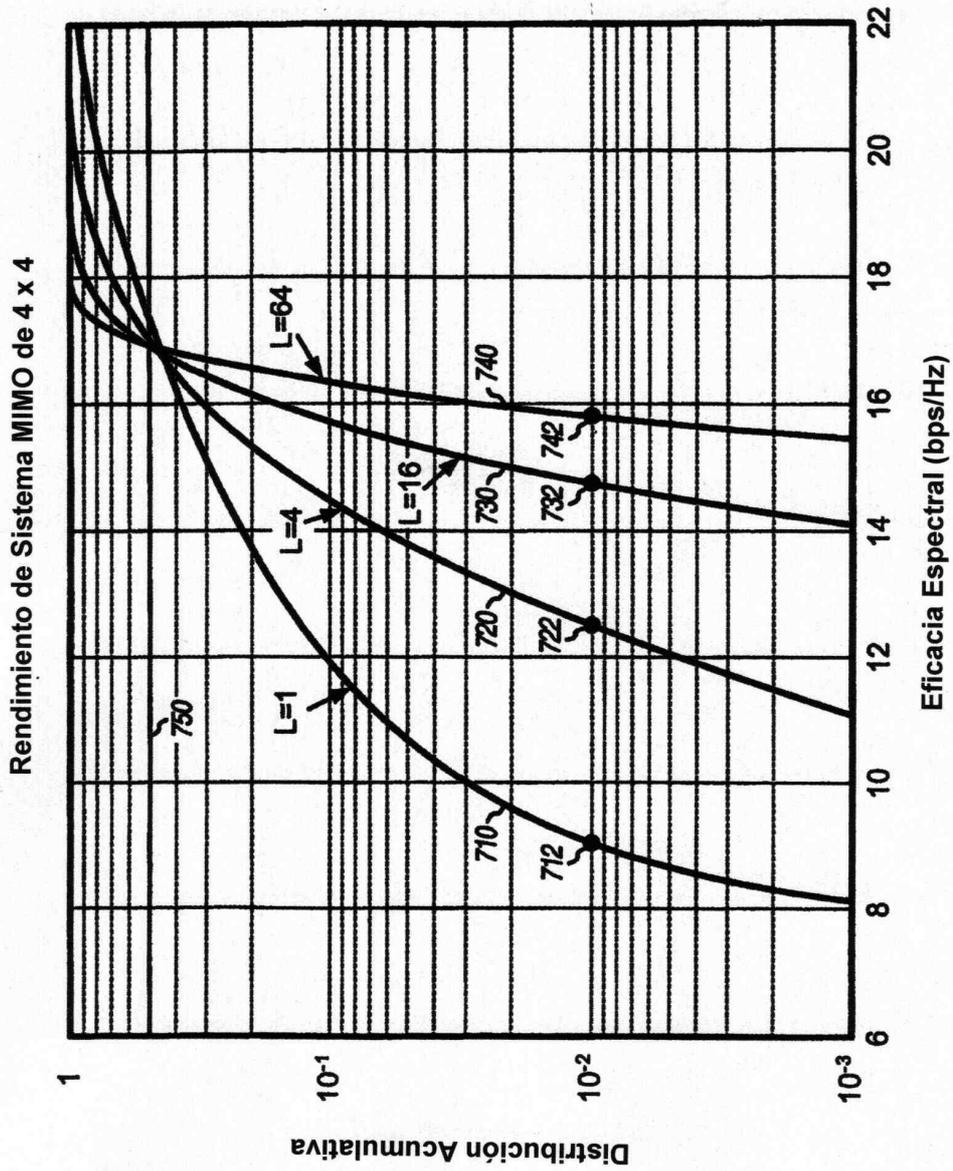


FIG. 7