

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 139**

51 Int. Cl.:

H04B 7/00 (2006.01)

H04B 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03809054 .4**

96 Fecha de presentación: **14.10.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1570579**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.09.2005**

54 Título: **DISEÑO DE TRANSMISIÓN ADAPTABLE EN TASA DE TRANSMISIÓN PARA SISTEMAS MIMO.**

30 Prioridad:
16.10.2002 US 419319 P
14.02.2003 US 367234

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.11.2011

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

72 Inventor/es:
AGRAWAL, Avneesh;
VIJAYAN, Rajiv y
KADOUS, Tamer

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 368 139 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

Diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión para sistemas MIMO

La presente solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional US número de Serie 60/419.319, titulada "Diseños de Señalización MIMO para Sistemas Adaptables en Tasa de transmisión", presentada el 16 de octubre 2002, transferida al cesionario de la presente solicitud.

ANTECEDENTES**I. Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a la comunicación de datos, y más específicamente, a un diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión para sistemas de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

II. Antecedentes

Un sistema MIMO utiliza múltiples (N_T) antenas de transmisión y múltiples (N_R) antenas de recepción para la transmisión de datos. Un canal MIMO formado por las N_T antenas de transmisión y las N_R antenas de recepción se puede descomponer en N_S canales independientes, en el que $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. Cada uno de los N_S canales independientes corresponde a una dimensión. El sistema MIMO puede ofrecer un rendimiento mejorado (por ejemplo, una mayor producción y / o una mayor fiabilidad) si se utilizan las dimensionalidades adicionales creadas por las múltiples antenas de transmisión y recepción.

En un sistema de comunicación inalámbrica, los datos que se deben transmitir son procesados generalmente (por ejemplo, codificados y modulados) para proporcionar símbolos de datos. Para un sistema MIMO, una o varias corrientes de símbolos de datos se pueden enviar desde un transmisor a un receptor. Múltiples corrientes de símbolos de datos pueden ser transmitidas en paralelo desde múltiples antenas de transmisión utilizando la multiplexación espacial, que explota las dimensionalidades adicionales del canal MIMO. Para alcanzar una elevada producción, es deseable transmitir tantas corrientes de símbolo de datos en paralelo como sea posible. Sin embargo, el número de corrientes de símbolos de datos que pueden ser transmitidas y las tasa de transmisiones que pueden ser utilizadas para estas corrientes dependen típicamente de la condición del canal. Varios diseños de transmisión para multiplexación espacial están disponibles actualmente, incluyendo (1) un diseño de "multiplexación de antenas" que transmite una corriente de símbolos de datos desde cada antena y (2) un diseño de "multiplexación en automodo (eigenmode)" que transmite una corriente de símbolos de datos en cada canal independiente del canal MIMO.

Alternativamente, una única corriente de símbolos de datos puede ser transmitida desde múltiples antenas de transmisión utilizando diversidad de transmisión para incrementar la fiabilidad de la transmisión de datos. La diversidad se consigue mediante el uso de múltiples antenas de transmisión, así como de múltiples antenas de recepción para proporcionar un número de trayectos de propagación a la corriente de símbolos de datos. La diversidad de transmisión se puede utilizar si se desea una mayor fiabilidad o si la condición del canal es tan pobre que es mejor utilizar toda la potencia de transmisión disponible para una corriente de símbolos de datos. Distintos diseños de transmisión para transmitir diversidad se encuentran disponibles actualmente, incluyendo (1) un diseño de "diversidad de espacio - tiempo" descrito por S. M. Alamouti en un documento titulado "Una Técnica de Diversidad de Transmisión Simple para Comunicaciones Inalámbricas", IEEE JSAC, octubre 1998, y (2) un diseño de "diversidad de retraso" descrito por B. Raghothaman et al. en un documento titulado "Rendimiento de Diversidad de Transmisión en Bucle Cerrado con Retraso de Realimentación", Trigésima Cuarta Conferencia de Asilomar de Sistemas de Señales, y Ordenadores, 2000.

Para conseguir un alto rendimiento, un sistema MIMO puede ser diseñado para que soporte uno o más sistemas de transmisión para multiplexación espacial y uno o más sistemas de transmisión para diversidad de transmisión. Para un sistema MIMO de este tipo, en cualquier intervalo de transmisión dado, un diseño de transmisión específico puede ser seleccionado para su uso en función de la condición del canal y del resultado deseado (por ejemplo, mayor rendimiento o mayor fiabilidad). Sin embargo, los diseños convencionales de transmisión para la multiplexación espacial a menudo son muy diferentes en diseño a los diseños de transmisión convencionales para transmitir diversidad. Por lo tanto, la complejidad del transmisor y del receptor en el sistema puede ser incrementada en gran medida si son necesarios para soportar los sistemas de transmisión múltiples (y diferentes) para la multiplexación espacial y la diversidad de transmisión. Además para un alto rendimiento, es deseable aprovechar al máximo la potencia de transmisión total disponible para el sistema y la potencia total disponible para cada una de las N_T antenas de transmisión para la transmisión de datos, con independencia del número de corrientes de símbolos de datos que se están transmitiendo.

Por lo tanto, hay una necesidad en la técnica de un sistema de transmisión que pueda soportar la multiplexación espacial, proporcionar diversidad de transmisión, y aprovechar completamente la potencia de transmisión disponible en los sistemas MIMO.

5 El documento de Miyashita K et al, "Transmisión de datos de alta tasa de transmisión de transmisión con multiplexación por división de espacio de autohaz (eigenbeam) (E-SDM) en un canal MIMO" CONFERENCIA DE TECNOLOGÍA VEHICULAR IEEE , NUEVA YORK, páginas 1302 - 1306, XP010608639 ISBN: 0-7803 - 7467-3 describe un procedimiento para asignar los bits así como la potencia de transmisión a cada subcorriente sobre la base del criterio de minimizar la tasa de transmisión de error de bit total (BER).

10 El documento de Foschini G J: " ARQUITECTURA DE ESPACIO - TIEMPO EN CAPAS PARA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN UN ENTORNO DE DESVANECIMIENTO CUANDO SE UTILIZAN ANTENAS DE ELEMENTOS MÚLTIPLES" Bell Labs Technical Journal, Wiley, páginas 41 - 59, XP000656005 describe la comunicación digital en un entorno de desvanecimiento Rayleigh cuando la característica del canal es desconocida en el transmisor, pero es conocida en el receptor.

De acuerdo con los aspectos de la invención, se proporciona un procedimiento de procesamiento de datos para su transmisión en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) de acuerdo con la reivindicación 1, y se proporciona un transmisor correspondiente de acuerdo con la reivindicación 14

Sumario

15 En la presente memoria descriptiva se proporciona un diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión que soporta la multiplexación espacial y proporciona diversidad de transmisión para los sistemas MIMO. El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión tiene un cierto número de características deseables, que incluyen: (1) soportar la transmisión de un número variable de corrientes de símbolos de datos, por lo que es adecuado para su uso en sistemas adaptables en tasa de transmisión, (2) proporcionar diversidad de transmisión para cada corriente de símbolos de datos y (3) permitir que la potencia total disponible para cada antena de transmisión se utilice para la transmisión de datos, con independencia del número de corrientes de símbolos de datos que se están transmitiendo, por lo que resulta eficiente en potencia. El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión es muy adecuado para los sistemas MIMO de portador único, y también puede ser utilizado para sistemas MIMO de portadores múltiples.

25 En una realización, se proporciona un procedimiento para el procesamiento de datos para su transmisión en un sistema MIMO. De acuerdo con el procedimiento, se recibe al menos una corriente de símbolos de datos para su transmisión desde una pluralidad de antenas de transmisión. Cada corriente de símbolos de datos es escalada con un peso respectivo que corresponde a la cantidad de potencia de transmisión asignada a esa corriente de símbolos de datos. La cantidad total de potencia de transmisión asignada a todas las al menos una corriente de símbolos de datos es menor o igual a la potencia de transmisión total disponible para el sistema. La o las corrientes de datos escaladas se multiplican entonces por una matriz de base de transmisión para proporcionar una pluralidad de corrientes de símbolos de transmisión, habiendo una corriente de símbolos de transmisión para cada antena de transmisión.

35 La matriz de base de transmisión está definida de tal manera que (1) cada corriente de símbolos de datos es transmitida desde la pluralidad de antenas de transmisión y (2) cada corriente de símbolos de transmisión es transmitida con (o cerca de) la potencia total disponible para la antena asociada. La matriz de base de transmisión puede ser una matriz de Walsh-Hadamard, una matriz de transformada de Fourier discreta (DFT), o alguna otra matriz.

Varios aspectos y realizaciones de la invención se describen en mayor detalle a continuación.

Breve descripción de los dibujos

40 Las características, naturaleza y ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de la descripción detallada que se establece más adelante, cuando se toma en conjunto con los dibujos, en los cuales los mismos caracteres de referencia identifican correspondientemente en todos ellos y en la que:

la figura 1 muestra un diagrama de flujo de un proceso para transmitir N_D corrientes de símbolo de datos desde N_T antenas utilizando el diseño de transmisión adaptable;

45 la figura 2 muestra un diagrama de bloques de un sistema transmisor y de un sistema receptor en un sistema MIMO;

la figura 3 muestra el procesamiento espacial en los sistemas transmisor y receptor para el diseño de transmisión adaptable de tasa de transmisión, y

la figura 4 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de transmisión (TX) en el sistema transmisor.

Descripción detallada

50 Un diseño de transmisión adaptable de tasa de transmisión para los sistemas MIMO se describe en la presente memoria descriptiva. Para un sistema MIMO de multiportadores, el diseño de transmisión puede ser utilizado para cada uno de los portadores múltiples disponibles para la transmisión de datos. Para mayor claridad, el diseño de transmisión adaptable de tasa de transmisión se describe a continuación para un sistema MIMO de un único portador.

Para un sistema MIMO de un único portador, el canal MIMO formado por las N_T antenas transmisión y las N_R antenas de recepción se puede descomponer en N_S canales independientes, siendo $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. El número de canales independientes es determinado por el número de automodos para el canal MIMO, lo cual a su vez depende de una matriz \underline{H} de respuesta de canal que describe la respuesta entre las N_T antenas de transmisión y las N_R antenas de recepción. Para simplificar, en la descripción que sigue se supone que $N_T \leq N_R$ y que la matriz \underline{H} de respuesta de canal es de rango completo (es decir, $N_S = N_T \leq N_R$). Con estos supuestos, para cada período de símbolo, hasta N_T símbolos se pueden transmitir en paralelo desde las N_T antenas de transmisión.

El modelo de un sistema de MIMO de un único portador puede ser expresado como

$$\underline{y} = \underline{H}\underline{x} + \underline{n} \quad , \quad \text{Ecuación (1)}$$

10 en la que

\underline{x} es un vector de "datos" $\{N_T \times 1\}$ con N_T entradas para los símbolos de datos que se van a transmitir desde las N_T antenas de transmisión;

\underline{y} es un vector de "recibir" $\{N_R \times 1\}$ con N_R entradas para los símbolos recibidos a través de las N_R antenas de recepción;

15 \underline{H} es la matriz de respuesta de canal $\{N_R \times N_T\}$; y

\underline{n} es un vector de adición con ruido Gaussiano (AWGN).

Se supone que el vector de datos \underline{x} es tal que $E[\underline{x}\underline{x}^H] = \underline{I}$, en el que E es la operación esperada, "H" es la transpuesta conjugada, e I es la matriz de identidad con unos a lo largo de la diagonal y ceros en el resto. Se supone que el vector \underline{n} tiene una media cero y una matriz de covarianza $\underline{\Delta}_n = \sigma^2 \underline{I}$ en la que σ^2 es la varianza del ruido.

20 En un sistema típico, hay restricciones en (1) la potencia total de transmisión, P_{tot} que se puede utilizar para todas las N_T antenas de transmisión y (2) la potencia máxima o total, P_{ant} , para cada antena de transmisión. Típicamente la potencia P_{ant} por antena se da como $P_{ant} = P_{total} / N_T$. Estas restricciones pueden ser impuestas por (1) la limitación del amplificador de potencia utilizado para accionar cada antena de transmisión, (2) los requisitos reglamentarios, y (3) posiblemente otros factores. El modelo para un sistema MIMO con estas restricciones de potencia puede entonces ser expresado como:

25

$$\underline{y} = \sqrt{\frac{P_{tot}}{N_T}} \underline{H}\underline{x} + \underline{n} \quad , \quad \text{Ecuación (2)}$$

en la que $\sqrt{P_{tot} / N_T}$ es un factor de escala que toma en cuenta las restricciones de potencia total y por antena.

30 En un sistema de transmisión convencional, N_D corrientes de símbolos de datos se transmiten concurrentemente desde las N_T antenas de transmisión utilizando multiplexación de antena, en la que N_D puede ser cualquier número entero de 1 a N_T (es decir, $N_T \geq N_D \geq 1$). Para este sistema de transmisión convencional, en cualquier periodo de símbolos determinado los N_D símbolos de datos se transmiten simultáneamente desde las N_D antenas, y las $(N_T - N_D)$ antenas restantes no se utilizan. Si la potencia de transmisión total y la potencia por la antena están restringidas como se ha descrito más arriba, entonces este diseño de transmisión presentará una pérdida de potencia si se utilizan menos de N_T antenas para la transmisión de datos, como es el caso si $N_D < N_T$. Debido a la restricción de potencia por antena, no se podrá asignar más de la potencia total de transmisión P_{tot} a las N_D antenas utilizadas para la transmisión de datos cuando $N_D < N_T$. Además, si las N_D corrientes de símbolos de datos son corrientes redundantes (es decir, las mismas), entonces hay un riesgo de cancelación de estas corrientes en el receptor.

35

40 El número específico de corrientes de símbolos de datos para transmitir puede depender de varios factores, tales como, por ejemplo, la condición del canal, la cantidad de datos a transmitir, y así sucesivamente. Como ha indicado más arriba, los diferentes canales independientes pueden experimentar diferentes condiciones de canal y conseguir diferentes relaciones de señal a ruido (SNR). Para un canal MIMO de rango deficiente, la estrategia óptima es la de transmitir menos de sus N_T corrientes de símbolo de datos, pero asignar más de la potencia total de transmisión P_{tot} a las corrientes de símbolos de datos que lograr mayores SNR. Sin embargo, para el diseño de transmisión de multiplexación de antena que se ha descrito con anterioridad en el que cada corriente de símbolos de datos se transmite desde una antena, la asignación óptima de la potencia de transmisión total no se puede conseguir debido a la restricción de potencia por antena. Como resultado, se producirá algo de pérdida en el rendimiento.

45

El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión que se ha descrito en la presente memoria descriptiva soporta la multiplexación espacial, proporciona diversidad de transmisión, y tiene las siguientes características beneficiosas:

- 5 • Soporta la transmisión de un número variable de corrientes de símbolo de datos (de uno a N_T) utilizando el mismo procesamiento espacial de transmitir y recibir, manteniendo sus características principales.
- Proporciona un mejor rendimiento que el diseño de diversidad espacio - tiempo para una única corriente de símbolos de datos por medio de la transmisión desde todas las antenas de transmisión N_T .
- 10 • Permite que la potencia completa P_{ant} de cada una de las N_T antenas de transmisión se pueda utilizar para la transmisión de datos, con independencia del número de corrientes de símbolos de datos que se transmiten, haciéndola eficiente de esta manera en potencia sin pérdida de potencia cuando menos de las N_T corrientes de símbolo de datos están siendo transmitidas.
- Permite la asignación flexible de la potencia de transmisión total P_{tot} de las corrientes de símbolos de datos que se transmiten.

15 El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión y sus características beneficiosas se describen en mayor detalle a continuación.

El modelo general para un sistema MIMO de un único portador y que es aplicable para el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión se puede expresar como:

$$\underline{y} = \underline{H}\underline{M}\underline{\Lambda}\underline{x} + \underline{n} = \underline{H}_{eff} \underline{\Lambda}\underline{x} + \underline{n} = \underline{H}\underline{\tilde{x}} + \underline{n} , \quad \text{Ecuación (3)}$$

en la que

20 \underline{M} es una matriz de base de transmisión $\{N_T \times N_T\}$, que es una matriz unitaria;

$\underline{\Lambda}$ es una matriz diagonal $\{N_T \times N_T\}$;

$\underline{\tilde{x}}$ es un vector "transmitir" $\{N_T \times 1\}$ con N_T entradas para transmitir N_T símbolos enviados desde las N_T antenas de transmisión, y

\underline{H}_{eff} es una matriz de respuesta del canal "efectiva", que se define como $\underline{H}_{eff} = \underline{H}\underline{M}$.

25 Una matriz unitaria \underline{U} se caracteriza por la propiedad $\underline{U}^H \underline{U} = \underline{I}$, que indica que cada columna de la matriz unitaria es ortogonal a todas las otras columnas de la matriz y cada fila de la matriz unitaria es también ortogonal a todas las otras filas. La matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ contiene valores reales no negativos a lo largo de la diagonal y ceros en el resto. Estos elementos de la diagonal son indicativos de la cantidad de potencia de transmisión asignada a las N_D corrientes de símbolos de datos que se transmiten.

30 Como se describe con detalles adicionales más adelante, la matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ se puede utilizar para asignar diferentes potencias de transmisión a las N_D corrientes de símbolo de datos mientras se conforma a la restricción de la potencia de transmisión total de P_{tot} . La matriz de base de transmisión \underline{M} permite que se envíe cada corriente de símbolos de datos desde las N_T antenas de transmisión y permite, además, que se utilice la potencia completa P_{ant} de cada antena de transmisión para la transmisión de datos.

35 En la ecuación (3), el vector $\underline{\tilde{x}}$ de transmisión puede ser expresado como:

$$\underline{\tilde{x}} = \underline{M}\underline{\Lambda}\underline{x} . \quad \text{Ecuación (4)}$$

El símbolo de transmisión \tilde{x}_k para la k-ésima antena de transmisión (es decir, el elemento k - ésimo del vector de transmisión $\underline{\tilde{x}}$) se puede expresar como:

$$\tilde{x}_k = \sum_{i=1}^{N_T} M_{k,i} \cdot \lambda_{i,i} \cdot x_i , \quad \text{para } k \in K , \quad \text{Ecuación (5)}$$

40 en la que

$M_{k,i}$ es el elemento en la fila k-ésima y columna i-ésima de la matriz de base de transmisión \underline{M} ;

$\lambda_{i,i}$ es el elemento diagonal i-ésimo de la matriz $\underline{\Lambda}$;

x_i es elemento i-ésimo del vector \underline{x} de datos;

\tilde{x}_k es el elemento k-ésimo del vector de transmisión $\underline{\tilde{x}}$, y

\mathbf{K} es el conjunto de todas las antenas de transmisión (es decir, $\mathbf{K} = \{1, 2, \dots, N_T\}$).

La ecuación (3) representa el modelo general que cubre ambas ecuaciones (1) y (2). Esto se logra mediante la definición adecuada de la matriz \mathbf{M} de base de transmisión y de la matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}$. Por ejemplo, la ecuación (3) puede ser igual a la ecuación (2) por medio de (1) definir la matriz \mathbf{M} de base de transmisión como $\mathbf{M} = [\mathbf{m}_1 \ \mathbf{m}_2 \ \dots \ \mathbf{m}_{N_T}]$, en la que \mathbf{m}_i es un vector "índice" $\{N_T \times 1\}$ de la columna i -ésima de \mathbf{M} y está definido como "1" en la posición i -ésima y "0" en cualquier otro lugar, y (2) definir la matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}$ como $\mathbf{\Lambda} = \sqrt{P_{tot}/N_T} \mathbf{I}$. Sin embargo, otras características beneficiosas se pueden obtener mediante la definición de la matriz \mathbf{M} de base de transmisión y la matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}$ de alguna otra manera, tal como se describe a continuación.

Para el siguiente análisis, se considera una matriz \mathbf{M} de base de transmisión arbitraria y una matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}$ arbitraria con entradas diagonales no negativas. La potencia de transmisión para el vector \mathbf{x} es igual a la suma de los cuadrados de los elementos de la diagonal de $\mathbf{\Lambda}$. La restricción de la potencia de transmisión total, entonces se puede expresar como:

$$\text{traza}(\mathbf{\Lambda}^2) \leq P_{tot} \quad \text{Ecuación (6)}$$

De la ecuación (5), la potencia de transmisión para cada una de las antenas de transmisión N_T se puede expresar como:

$$E[\tilde{x}_k \cdot \tilde{x}_k^*] = \sum_{i=1}^{N_T} |M_{k,i}|^2 \cdot \lambda_{i,i}^2, \quad \text{para } k \in \mathbf{K}, \quad \text{Ecuación (7)}$$

en la que "*" denota el complejo conjugado. La restricción de potencia por antena se puede expresar como:

$$\sum_{i=1}^{N_T} |M_{k,i}|^2 \cdot \lambda_{i,i}^2 \leq P_{ant} = \frac{P_{tot}}{N_T} \quad \text{para } k \in \mathbf{K}. \quad \text{Ecuación (8)}$$

Puesto que $\text{traza}(\mathbf{\Lambda}^2) \leq P_{tot}$, como se muestra en la ecuación (6), la restricción de potencia por antena en la ecuación (8) se puede satisfacer con cualquier matriz \mathbf{M} de rango completo cuyos elementos satisfagan lo siguiente:

$$|M_{k,i}|^2 = \frac{1}{N_T}, \quad \text{para } i \in \mathbf{K} \text{ y } k \in \mathbf{K}. \quad \text{Ecuación (9)}$$

La ecuación (9) indica que los elementos de una matriz válida \mathbf{M} tienen una magnitud igual a $1/\sqrt{N_T}$.

La ecuación (9) representa una condición suficiente (pero no una condición necesaria) necesaria para satisfacer la restricción de potencia por antena.

La matriz \mathbf{M} se puede definir de varias maneras mientras satisface la restricción de potencia por antena. En una realización, la matriz \mathbf{M} se define como:

$$\mathbf{M} = \frac{1}{\sqrt{N_T}} \mathbf{W}, \quad \text{Ecuación (10)}$$

en la que \mathbf{W} es una matriz de Walsh-Hadamard. Como ilustración, para $N_T = 4$, la matriz $\mathbf{W}_{4 \times 4}$ de Walsh-Hadamard se puede expresar como:

$$\mathbf{W}_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad \text{Ecuación (11)}$$

Una matriz de Walsh-Hadamard de mayor tamaño $\mathbf{W}_{2N \times 2N}$ se puede definir como:

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

En otra realización, la matriz \underline{M} se define como:

$$\underline{M} = \frac{1}{\sqrt{N_T}} \underline{Q} , \quad \text{Ecuación (13)}$$

5 en la que \underline{Q} es una matriz de transformada de Fourier discreta (DFT). Como ilustración, para $N_T = 4$, la matriz DFT $\underline{Q}_{4 \times 4}$ puede ser expresada como:

$$\underline{Q}_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/4} & e^{-j4\pi/4} & e^{-j6\pi/4} \\ 1 & e^{-j4\pi/4} & e^{-j8\pi/4} & e^{-j12\pi/4} \\ 1 & e^{-j6\pi/4} & e^{-j12\pi/4} & e^{-j18\pi/4} \end{bmatrix} . \quad \text{Ecuación (14)}$$

En general, una matriz $\underline{Q}_{N \times N}$ $N \times N$ DFT se puede definir de tal manera que la entrada (k, i) -ésima, $q_{k,i}^N$ se exprese de la siguiente manera:

$$q_{k,i}^N = e^{-j2\pi \frac{(k-1)(i-1)}{N}} , \text{ para } k = \{1 \dots N\} \text{ y } i = \{1 \dots N\} , \quad \text{Ecuación (15)}$$

10 en la que k es el índice de la fila e i es el índice de la columna de la matriz $\underline{Q}_{N \times N}$. La matriz \underline{M} también se puede definir con varias otras matrices, y esto se encuentra en el alcance de la invención.

Mediante el uso de una matriz \underline{M} de base de transmisión adecuada y una matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ adecuada, ambas restricción de potencia de transmisión total y restricción de potencia por antena pueden ser satisfechas. En particular, la restricción de potencia de transmisión total puede ser satisfecha mediante la definición de los elementos diagonales de $\underline{\Lambda}$ de forma que se cumpla la ecuación (6). La restricción de potencia por antena se puede satisfacer mediante la definición de los elementos de \underline{M} de manera que se cumpla la ecuación (9). Cada elemento diagonal $\lambda_{i,i}$ en $\underline{\Lambda}$ es indicativo de la cantidad de potencia de transmisión para el uso en una corriente de símbolos de datos asociada x_i .

15 Puesto que no hay restricción en el valor de cualquier elemento individual diagonal de $\underline{\Lambda}$, excepto que $\lambda_{i,i}^2 \leq P_{tot}$, la potencia total de de transmisión P_{tot} puede ser asignada a las corrientes de símbolo de datos N_D de diferentes maneras al mismo tiempo que satisface las restricciones de potencia de transmisión total y de potencia por antena. Esto permite entonces una gran flexibilidad en la asignación de la potencia de transmisión disponible entre las corrientes de símbolo de datos N_D .

20 El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión se puede utilizar para transmitir cualquier número de corrientes de símbolos de datos (es decir, N_D puede tener cualquier valor entre 1 y N_T). El transmisor realiza el procesamiento espacial que se muestra la ecuación (4), independientemente del número de corrientes de símbolos de datos que se transmiten. Los datos del vector \underline{x} incluye N_D entradas distintas de cero para las N_D corrientes de símbolos de datos y $N_T - N_D$ entradas cero. Cada una de las corrientes de símbolos de datos N_D está asociada con un elemento diagonal distinto de cero respectivo en la de la matriz $\underline{\Lambda}$. Cada una de las corrientes N_D de símbolos de datos es procesada usando una fila correspondiente de la matriz de base de transmisión \underline{M} para la transmisión en un canal espacial respectivo, que está definido por una columna o vector propio de la matriz \underline{H}_{eff} de respuesta de canal eficaz.

25 Se puede mostrar que el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión puede proporcionar un rendimiento mejorado con respecto a los diseños de transmisión de diversidad convencionales. Por ejemplo, el diseño de diversidad espacio - tiempo descrito por S. M. Alamouti se utiliza a menudo para transmitir una única corriente de datos de símbolos desde un único par de antenas de transmisión para lograr la diversidad de transmisión. Sin embargo, se puede mostrar que el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión puede proporcionar un mayor rendimiento para la transmisión la única corriente de símbolos de datos. Las SNR, SNR_{ra} recibidas para la corriente de símbolos de datos transmitidos mediante el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión con la mejor columna de \underline{H}_{eff} se puede expresar como:

$$SNR_{ra} \propto \max_i \{ (\| \mathbf{h}_{eff,i} \|^2) \cdot P_{tot} \} , \quad \text{Ecuación (16)}$$

en la que " \propto " indica proporcionalidad, y " $\| \mathbf{h}_{eff,i} \|^2$ " es el cuadrado de $\mathbf{h}_{eff,i}$ que es la columna i-ésima o autovector de la matriz \mathbf{H}_{eff} de respuesta de canal efectivo.

5 La ecuación (16) indica que la SNR de la corriente de símbolos de datos única mejor utilizando el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión es proporcional al cuadrado del mejor vector propio de \mathbf{H}_{eff} . Para obtener la SNR de la ecuación (16), el receptor tendrá que retornar información que indique la mejor columna de \mathbf{H}_{eff} para su uso por el transmisor.

10 Las SNR, SNR_{st} recibidas por la única corriente de símbolo de datos transmitida por medio del diseño de diversidad espacio - tiempo se puede expresar como:

$$SNR_{st} \propto \sum_{i=1}^{N_T} (\| \mathbf{h}_{eff,i} \|^2) \cdot \frac{P_{tot}}{N_T} . \quad \text{Ecuación (17)}$$

15 La ecuación (17) indica que la SNR de la única corriente de datos de símbolos utilizando el diseño de diversidad espacio - tiempo es proporcional a la media de los cuadrados de los N_T vectores propios de \mathbf{H}_{eff} . Las ecuaciones (16) y (17) asumen ambas la transmisión a tasa de transmisión completa (es decir, sin pérdida de tasa de transmisión). Sin embargo, puesto que el diseño de la diversidad espacio - tiempo utiliza sólo dos antenas para la transmisión de la única corriente de símbolo de datos, si $N_T > 2$, entonces habrá una pérdida de tasa de transmisión.

Es bien sabido que la siguiente expresión siempre es cierta:

$$\max_i \{ \| \mathbf{h}_{eff,i} \|^2 \} \geq \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^{N_T} \| \mathbf{h}_{eff,i} \|^2 , \quad \text{Ecuación (18a)}$$

20 y por lo tanto

$$SNR_m \geq SNR_{st} . \quad \text{Ecuación (18b)}$$

25 Las ecuaciones (18a) y (18b) indican que el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión puede proporcionar el mismo rendimiento o mejor que el diseño de diversidad espacio - tiempo. Por otra parte, el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión puede proporcionar una mayor diversidad de transmisión puesto que la corriente de símbolos de datos se transmite desde todas las N_T antenas. Por el contrario, el diseño de diversidad espacio - tiempo transmite la única corriente de símbolos de datos desde solamente un par de antenas de transmisión. La transmisión de la única corriente de símbolos de datos sobre múltiples pares de antenas puede ser posible para el diseño de diversidad espacio - tiempo, pero puede producir una pérdida de tasa de transmisión o alguna otra penalización en el rendimiento.

30 También se debe hacer notar que el uso de la matriz \mathbf{M} de base de transmisión por el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión permite la plena utilización tanto de la de potencia total de transmisión P_{tot} como de la potencia por antena P_{ant} para la transmisión de datos, con independencia del número de corrientes de símbolo de datos que se transmite. Si la matriz \mathbf{M} de base de transmisión no se utiliza (por ejemplo, si $\mathbf{M} = \mathbf{I}$) y se transmite una única corriente de símbolo de datos desde la única mejor antena utilizando multiplexación de antena, entonces la
35 SNR recibida para esta corriente de símbolos de datos se puede expresar como:

$$SNR_{nm} \propto \max_i \{ (\| \mathbf{h}_i \|^2) \cdot \frac{P_{tot}}{N_T} \} . \quad \text{Ecuación (19)}$$

También se puede mostrar que la siguiente expresión también es cierta siempre:

$$\max_i \{ \| \mathbf{h}_{eff,i} \|^2 \} \geq \frac{1}{N_T} \max_i \{ \| \mathbf{h}_i \|^2 \} . \quad \text{Ecuación (20)}$$

40 De esta manera, el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión también supera el diseño de transmisión de multiplexación de antena.

La **figura 1** muestra un diagrama de flujo de una realización de un proceso 100 para transmitir N_D corrientes de símbolo de datos desde N_T antenas utilizando el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión. Como se ha señalado con anterioridad, N_D puede ser cualquier valor entre 1 y N_T (es decir, $N_T \geq N_D \geq 1$).

Inicialmente, la potencia de transmisión total P_{tot} se asigna a las N_D corrientes de símbolos de datos (indicadas por \underline{x}) (paso 112). El número específico de corrientes de símbolos de datos para transmitir y la cantidad de potencia a asignar a cada corriente de símbolos de datos pueden ser determinados con base a la condición del canal. Por ejemplo, se puede utilizar un procedimiento de "llenado de agua" para determinar el número de corrientes de símbolos de datos para transmitir y la cantidad de potencia que se debe asignar a cada corriente de símbolos de datos, de tal manera que el rendimiento general se maximice. El llenado de agua se describe en detalle en la Solicitud de Patente norteamericana comúnmente asignada, Número de Serie 10/056.275, titulada "Reasignación de Exceso de Potencia para Información de Estado de Canal Completo (CSI) en Sistemas de Entradas Múltiples y Salidas Múltiples (MIMO)," presentada el 23 de enero de 2002, y por el documento de Robert G. Gallager "Teoría de la Información y Comunicación Fiable", John Wiley and Sons, 1968, ambos de los cuales se incorporan a la presente memoria descriptiva por referencia.

La cantidad de potencia de transmisión asignada a cada corriente de símbolos de datos x_i está indicada por un peso respectivo $\lambda_{i,j}$. Los elementos diagonales N_T de la matriz $\underline{\Lambda}$ se componen de N_D pesos para las N_D corrientes de símbolo de datos y $(N_T - N_D)$ ceros. La cantidad total de potencia de transmisión asignada a las N_D corrientes de

$$\sum_{i=1}^{N_T} \lambda_{i,j}^2 \leq P_{tot}$$

símbolo de datos es menor o igual a la potencia de transmisión total del sistema (es decir,

Una matriz \underline{M} de base de transmisión es seleccionada a continuación para su uso (paso 114). La matriz \underline{M} de base de transmisión se puede definir de manera que cada corriente de símbolos de datos es transmitida desde todas las N_T antenas y la potencia completa de cada antena se utiliza para la transmisión de datos. La matriz \underline{M} de base de transmisión se puede definir como (1) la matriz \underline{W} de Walsh-Hadamard que se ha descrito en las ecuaciones (10) a (12), (2) la matriz DFT que se ha descrito en las ecuaciones (13) a (15), o (3) alguna otra matriz.

Cada corriente de símbolo de datos x_i se escala entonces con su peso asociado $\lambda_{i,j}$ en la matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ (paso 116). Este escalado da como resultado que cada corriente de símbolos de datos se transmita con su potencia asignada. Las corrientes de símbolos de datos escaladas N_D se multiplican entonces por la matriz \underline{M} de base de transmisión para obtener N_T corrientes de símbolos de datos de transmisión (indicado como por $\tilde{\underline{x}}$) para las N_T antenas de transmisión (paso 118). El escalado de las N_D corrientes de símbolos de datos con la matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ y la multiplicación por la matriz \underline{M} de base de transmisión se muestran en la ecuación (4). Cada símbolo de corriente de símbolos de datos de transmisión \tilde{x}_k es procesada y a continuación se transmite desde una antena asociada (paso 120).

La **figura 2** muestra un diagrama de bloques de una realización de un sistema de transmisión 210 y de un sistema receptor 250 en un sistema MIMO 200. En el sistema transmisor 210, los datos para las N_D corrientes son proporcionados por una fuente 212 de datos y codificados y modulados por un procesador 214 de datos de transmisión (TX) para proporcionar símbolos de modulación, que también se conocen como símbolos de datos. La tasa de transmisión de datos, codificación y modulación de cada corriente pueden ser determinadas por controles proporcionados por un controlador 230. Los símbolos de datos son escalados adicionalmente con la matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ y procesados espacialmente por la matriz \underline{M} de base de transmisión por un procesador 220 espacial TX para proporcionar los símbolos de transmisión. Los símbolos piloto, que pueden ser utilizados para la estimación de canal, se multiplexan con los símbolos de transmisión. Una corriente de símbolos de transmisión multiplexados y pilotos se proporciona para, y es procesada por, cada transmisor (TMTR) 222 para proporcionar una señal de RF modulada correspondiente. Las señales N_T moduladas de los transmisores 222a a 222t son entonces transmitidas desde N_T antenas 224a a 224t.

En el sistema receptor 250, las N_T señales transmitidas son recibidas por N_R antenas 252a a 252r. Cada receptor (RCVR) 254 procesa una señal recibida de una antena asociada 252 para proporcionar una corriente de símbolos recibida correspondiente. Un procesador 260 espacial de recepción (RX) procesa las N_R corrientes de símbolos recibidas de N_R receptores 254a a 254r para proporcionar N_D corrientes de símbolos "recuperadas", que son estimaciones de las N_D corrientes de símbolos de datos transmitidos por el sistema transmisor. Las N_D corrientes de símbolos recuperadas son procesadas adicionalmente por un procesador 270 de datos RX para obtener los datos decodificados, que son una estimación de los datos transmitidos por el sistema transmisor.

El procesador 260 espacial RX también puede derivar una estimación de la respuesta del canal entre las N_T antenas de transmisión y las N_R antenas de recepción (por ejemplo, sobre la base de los símbolos piloto). La estimación de canal se describe en detalle en la Solicitud de Patente Provisional norteamericana, Número de Serie 60/438.601, titulada "Sistemas de Transmisión Piloto para Sistemas de Comunicación Inalámbrica de Multiportadores", presentada el 7 de enero de 2003, asignada al cesionario de la presente solicitud y que se incorpora a la presente memoria descriptiva por referencia. La estimación de respuesta de canal \hat{H} puede ser utilizada para realizar el procesamiento espacial o la equalización en el receptor. El procesador espacial RX 260 puede estimar además las SNR de las corrientes de símbolos recuperados y / o los símbolos piloto recibidos. El controlador 280 recibe la estimación de respuesta de canal \hat{H} y las SNR recibidas y proporciona reinformación sobre el canal MIMO y / o las corrientes. Por ejemplo, la realimentación puede indicar el número de corrientes de símbolos de datos para transmitir, cuáles de los canales espaciales o autovectores se utilizarán para la transmisión de datos, y las SNR o tasa de transmisión recibidos para cada corriente. La reinformación es procesada por un procesador de datos TX 288, procesada adicional-

mente por un procesador espacial TX 290, acondicionada por los transmisores 254a a 254r, y enviada de vuelta al sistema transmisor 210.

En el sistema transmisor 210, las señales moduladas transmitidas por el sistema receptor 250 son recibidas por las antenas 224, son condicionadas por los receptores 222a a 222t, demoduladas por un procesador espacial RX 240, y procesadas por un procesador de datos RX 242 para recuperar la reinformación enviada por el sistema receptor. La reinformación es proporcionada entonces al controlador 230 y se puede utilizar para (1) determinar el número de corrientes de símbolos de datos para transmitir, (2) determinar la tasa de transmisión y la codificación y el diseño de modulación a utilizar en cada corriente de símbolos de datos y (3) generar varios controles para el procesador de datos TX 214 y el procesador espacial TX 220.

Los controladores 230 y 280 dirigen la operación en los sistemas transmisor y receptor, respectivamente. Las unidades de memoria 232 y 282 proporcionan almacenamiento de los códigos de los programas y de los datos utilizados por los controladores 230 y 280, respectivamente.

La **figura 3** muestra un diagrama de bloques del procesamiento espacial en los sistemas transmisor y receptor para el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión. Dentro del procesador espacial TX 220 en el sistema transmisor 210, los datos del vector \underline{x} son multiplicados en primer lugar por la matriz diagonal $\underline{\Lambda}$ por una unidad 310 y a continuación es multiplicada adicionalmente con la matriz \underline{M} de base de transmisión por una unidad 312 para obtener el vector de transmisión $\underline{\tilde{x}}$. El vector $\underline{\tilde{x}}$ es procesado entonces por un transmisor 314 y se transmite por el canal MIMO al sistema receptor 250. La unidad 312 realiza el procesamiento espacial para el sistema transmisor.

En el sistema receptor 250, las señales transmitidas son procesadas por un receptor 354 para obtener el vector recibido \underline{y} . Dentro del procesador espacial RX 260, el vector recibido \underline{y} es multiplicado en primer lugar con una ma-

triz $\underline{\hat{H}}_{eff}^H$ por una unidad 356. Una matriz canal de estimación de respuesta de canal $\underline{\hat{H}}_{eff}$ se pueden obtener

como $\underline{\hat{H}}_{eff} = \underline{\hat{H}}\underline{M}$ y la matriz $\underline{\hat{H}}_{eff}^H$ es la transpuesta conjugada de $\underline{\hat{H}}_{eff}$. La matriz $\underline{\hat{H}}_{eff}^H$ también se conoce como matriz de filtro conjugada para el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión. El vector resultante

de la unidad 356 es escalado adicionalmente por una matriz diagonal inversa $\underline{\hat{\Lambda}}^{-1}$ por una unidad 358 para obtener el vector $\underline{\hat{x}}$, que es una estimación del vector de datos \underline{x} . Las unidades 356 y 358 realizan el procesamiento espacial (es decir, filtrado conjugado) para el sistema receptor.

La **figura 4** muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial TX 220x, que es una realización de procesador espacial TX 220 en la figura 2. El procesador espacial TX 220x incluye un número de procesadores espaciales de corriente de símbolos de datos 410a a 410t, un procesador para cada uno de las N_D corrientes de símbolos de datos a transmitir. Cada procesador 410 recibe una corriente de símbolos de datos asignada x_i , el peso $\lambda_{i,j}$ de la corriente asignada, y un vector \underline{m}_i correspondiente de la matriz \underline{M} de base de transmisión.

Dentro de cada procesador 410, los símbolos de datos en la corriente asignada x_i son escalados en primer lugar con el peso $\lambda_{i,j}$ por un multiplicador 412. Los símbolos de datos escalados se multiplica adicionalmente por N_T multiplicadores 414a a 414t con N_T elementos $M_{1,j}$ a $M_{N_T,j}$, respectivamente, del vector \underline{m}_i . Cada corriente de símbolos de datos x_i es transmitida de esta manera desde todas las N_T antenas y representada por un vector $\underline{\tilde{x}}_i$, que se puede expresar como:

$$\underline{\tilde{x}}_i = \underline{m}_i \cdot \lambda_{i,j} \cdot x_i \quad \text{Ecuación (21)}$$

Los símbolos de salida de los multiplicadores 414a a 414t se proporcionan entonces a los N_T sumadores 420a a 420t, respectivamente, un sumador para cada antena de transmisión. Cada sumador 420 recibe los símbolos de salida para su antena asignada, que son N_D multiplicadores 414 en N_D procesadores 410 asignados para procesar las N_D corrientes de símbolos de datos. Cada sumador 420 a continuación suma los símbolos de salida y proporciona los símbolos de transmisión para su antena asignada. La suma realizada por cada sumador 420 puede ser expresada como:

$$\underline{\tilde{x}}_t = \sum_{i=1}^{N_D} \underline{\tilde{x}}_{t,i} \quad \text{Ecuación (22)}$$

en la que

$\tilde{x}_{k,i}$ es el elemento k-ésimo en el vector $\tilde{\mathbf{x}}_i$ para la corriente de símbolos de datos i - ésima, y

\tilde{x}_k es la corriente de símbolos de transmisión para la k-ésima antena de transmisión.

5 Los símbolos de transmisión de cada sumador 420 son proporcionados a un multiplexor respectivo 430 y son multiplexados con símbolos piloto para proporcionar una corriente de símbolos de transmisión y piloto multiplexados para la antena correspondiente.

10 El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión que se ha descrito en la presente memoria descriptiva puede ser utilizado para sistemas MIMO de un único portador, así como los sistemas MIMO de portadores múltiples. Para un sistema MIMO de portadores múltiples, cada uno de los portadores múltiples disponible para la transmisión de datos puede ser considerado como un sistema MIMO de un único portador. La potencia de transmisión total P_{tot} y la potencia por antena P_{ant} pueden ser divididas en partes iguales (o, posiblemente, desigualmente) entre los N_F portadores de manera que $P_{tot_car} = P_{tot} / N_F$ y $P_{ant_car} = P_{ant} / N_F$. El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión se puede aplicar a cada uno de los N_F portadores con la restricción de potencia total por portador de P_{tot_car} y la restricción de potencia por antena /portador de P_{ant_car} .

15 El diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión que se ha descrito en la presente memoria descriptiva puede ser implementado por diversos medios en los sistemas transmisor y receptor. Por ejemplo, el procesamiento para el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión pueden ser implementado en hardware, software, o en una combinación de ambos. Para una implementación de hardware, los elementos utilizados para realizar el procesamiento en los sistemas transmisor y receptor se puede implementar en uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores de señal digital (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos de lógica programable (PLD), matrices de puertas programable en campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria descriptiva, o una combinación de los mismos.

25 Para una implementación de software, el procesamiento para el diseño de transmisión adaptable en tasa de transmisión puede ser implementado con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, y otros similares) que realizan las funciones descritas en la presente memoria descriptiva. Los códigos de software se puede almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, unidades de memoria 232 y 282 en la figura 2) y ejecutados por un procesador (por ejemplo, los controladores 230 y 280). Cada unidad de memoria puede ser implementada en el procesador o ser externa al procesador, en cuyo caso se puede acoplar comunicativamente al procesador a través de diversos medios, como es conocido en la técnica.

30 La descripción anterior de las realizaciones desveladas se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o utilice la presente invención. Varias modificaciones a estas realizaciones serán evidentes a los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en la presente memoria descriptiva se pueden aplicar a otras realizaciones sin separarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) de procesamiento de datos para la transmisión en un sistema de comunicación de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO), que comprende:
 - 5 recibir al menos una corriente de símbolos de datos para la transmisión desde una pluralidad de N_T antenas;
 - escalar (116) cada una de las al menos una corriente de símbolo de datos con un peso respectivo que corresponde a una cantidad de potencia de transmisión asignada a la corriente de símbolos de datos, en el que la cantidad total de la potencia de transmisión asignada a la al menos una corriente de símbolos de datos es menor o igual a la potencia de transmisión total disponible para el sistema; y
 - 10 procesar espacialmente (118) la al menos una corriente de símbolos de datos con una matriz de base de transmisión para proporcionar una pluralidad de corrientes de símbolos de transmisión, una corriente de símbolos de transmisión para cada una de la pluralidad de antenas, en la que la matriz de base de transmisión está definida de tal manera que cada una de las al menos una corriente de símbolos de los datos se transmite desde la pluralidad de antenas y cada corriente de símbolos de transmisiones transmitida en
 - 15 (120) a, o cerca de, la potencia para la antena respectiva, en la que $|M_{k,i}|^2 = 1/N_T$, para $i \in K$ y $k \in K$, en la que \mathbf{M} es la citada matriz de base de transmisión, $M_{k,j}$ es el elemento en la fila k -ésima y en la columna i -ésima de la matriz de base de transmisión \mathbf{M} , K es el conjunto de todas las antenas de transmisión (es decir, $K = \{1, 2, \dots, N_T\}$).
 - 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la matriz de base de transmisión es una matriz de Walsh-Hadamard.
 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la matriz de base de transmisión es una matriz de transformada de Fourier discreta (DFT).
 4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
 - 25 asignar la potencia total de transmisión a la al menos una corriente de símbolos de datos, y en el que el peso de cada corriente de símbolos de datos se determina en base a la cantidad de potencia de transmisión asignada a la corriente de símbolos de datos.
 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que la cantidad de potencia de transmisión asignada a cada una de las al menos una corriente de símbolos de datos es determinada en base a la condición del canal.
 - 30 6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que una única corriente de símbolos de datos es transmitida desde la pluralidad de antenas a la, o cerca de la, potencia total disponible para cada una de la pluralidad de antenas.
 7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que la única corriente de símbolos de datos es transmitida en un canal espacial asociado con la mejor calidad de señal recibida.
 8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que N_T corrientes de símbolos de datos son transmitidos desde N_T antenas a, o cerca de, la potencia completa disponible para cada una de las N_T antenas, en el que N_T es un entero mayor que uno.
 - 35 9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que N_D corrientes de símbolos de datos transmitidas desde las N_T antenas a, o cerca de, la potencia completa disponible para cada una de las N_T antenas, en el que N_T es un entero mayor que uno y N_D es un número entero menor que o igual a N_T .
 - 40 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que un número variable de corrientes de símbolos de datos es transmitido en base a la condición del canal.
 11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada una de las al menos una corriente de símbolos de datos está asociada con una tasa de transmisión en particular determinada, al menos en parte, en base a una calidad de señal recibida de la corriente de símbolos de datos.
 - 45 12. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además: multiplexar símbolos piloto en cada una de la pluralidad de corrientes de símbolos de transmisión.
 13. El procedimiento de procesamiento de símbolos de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el citado sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) es un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) de portador único.

14. Un aparato transmisor (210) en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que comprende:
- un medio para recibir al menos una corriente de símbolos de datos para la transmisión desde una pluralidad de N_T antenas;
- 5 un medio (310) para escalar cada una de las al menos una corriente de símbolos de datos con un peso respectivo que corresponde a una cantidad de potencia de transmisión asignada a la corriente de símbolos de datos, en el que la cantidad total de potencia de transmisión asignada a la al menos una corriente de símbolos de datos es menor o igual al total de la potencia de transmisión disponible para el sistema, y
- 10 un medio (312) para el procesamiento espacial de la al menos una corriente de símbolos de datos con una matriz de base de transmisión para proporcionar una pluralidad de corrientes de símbolos de transmisión, una corriente de símbolos de transmisión para cada una de la pluralidad de antenas, en la que la matriz de base de transmisión está definida de manera que cada una de la al menos una corriente de símbolos de datos se transmiten desde la pluralidad de antenas y cada corriente de símbolos de transmisión se transmite a o cerca de la potencia completa disponible para la antena respectiva, en la que $|M_{k,i}|^2 = 1/N_T$, para $i \in K$ y
- 15 $k \in K$, en la que \mathbf{M} es la citada matriz de base de transmisión, $M_{k,i}$ es el elemento en la fila k -ésima y la columna i -ésima de la matriz de base de transmisión \mathbf{M} , K es el conjunto de todas las antenas de transmisión (es decir, $K = \{1, 2, \dots, N_T\}$).
15. El aparato transmisor de la reivindicación 14, en el que la matriz de base de transmisión es una matriz de Walsh-Hadamard o una matriz de transformación de Fourier discreta (DFT).
- 20 16. El aparato transmisor en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende:
- un procesador de datos de transmisión (TX) (214) operativo para procesar datos para proporcionar la citada al menos una corriente de símbolos de datos para transmisión desde una pluralidad de antenas; y
 - en el que el citado medio para escalar es un procesador espacial TX (220).
- 25 17. El aparato transmisor (210) de la reivindicación 16, que comprende además:
- una pluralidad de transmisores (222a - t) asociados a la pluralidad de antenas (224a - t), siendo operativo cada transmisor para procesar una corriente de símbolos de transmisión respectiva para la transmisión desde la antena asociada.

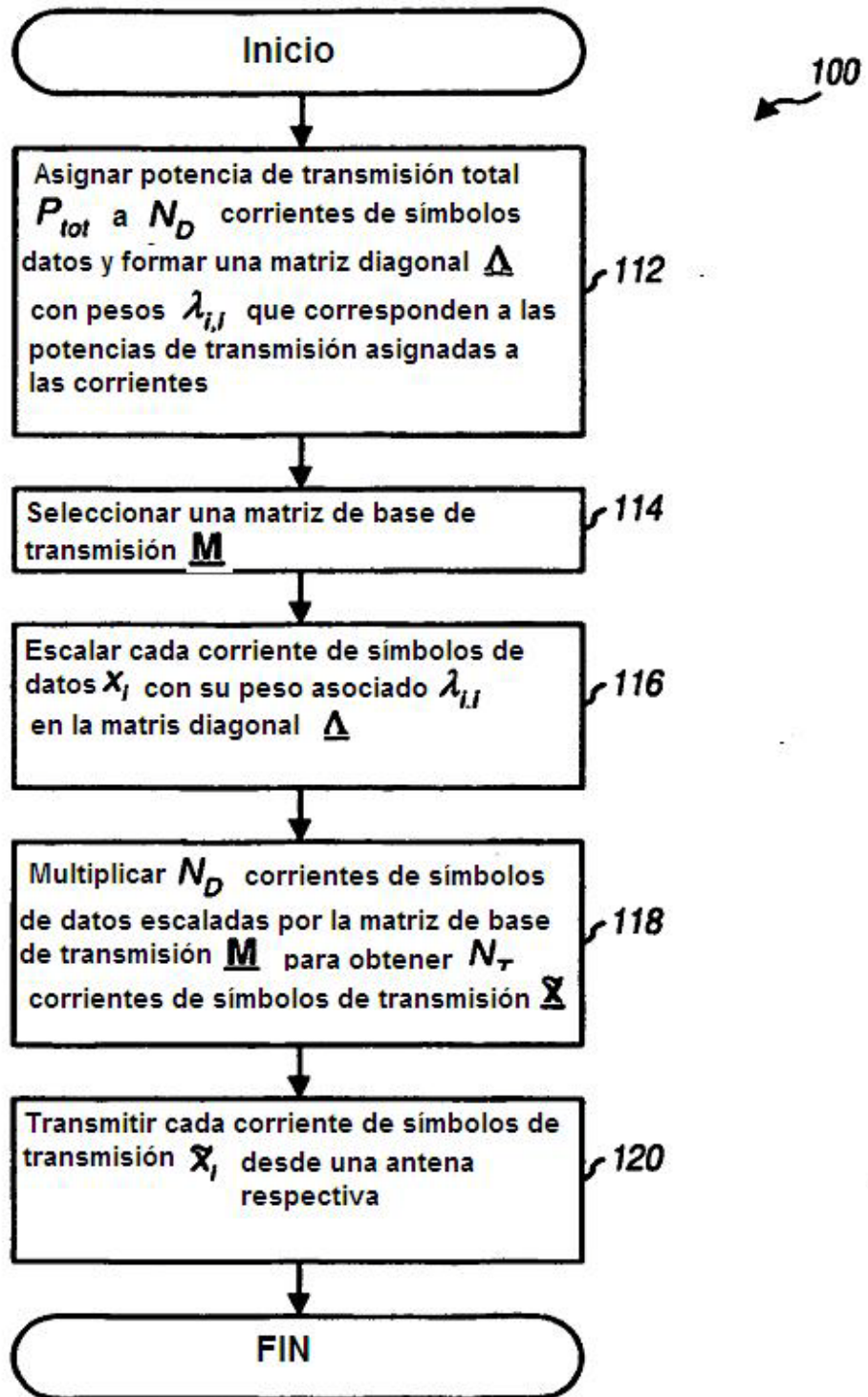


FIG. 1

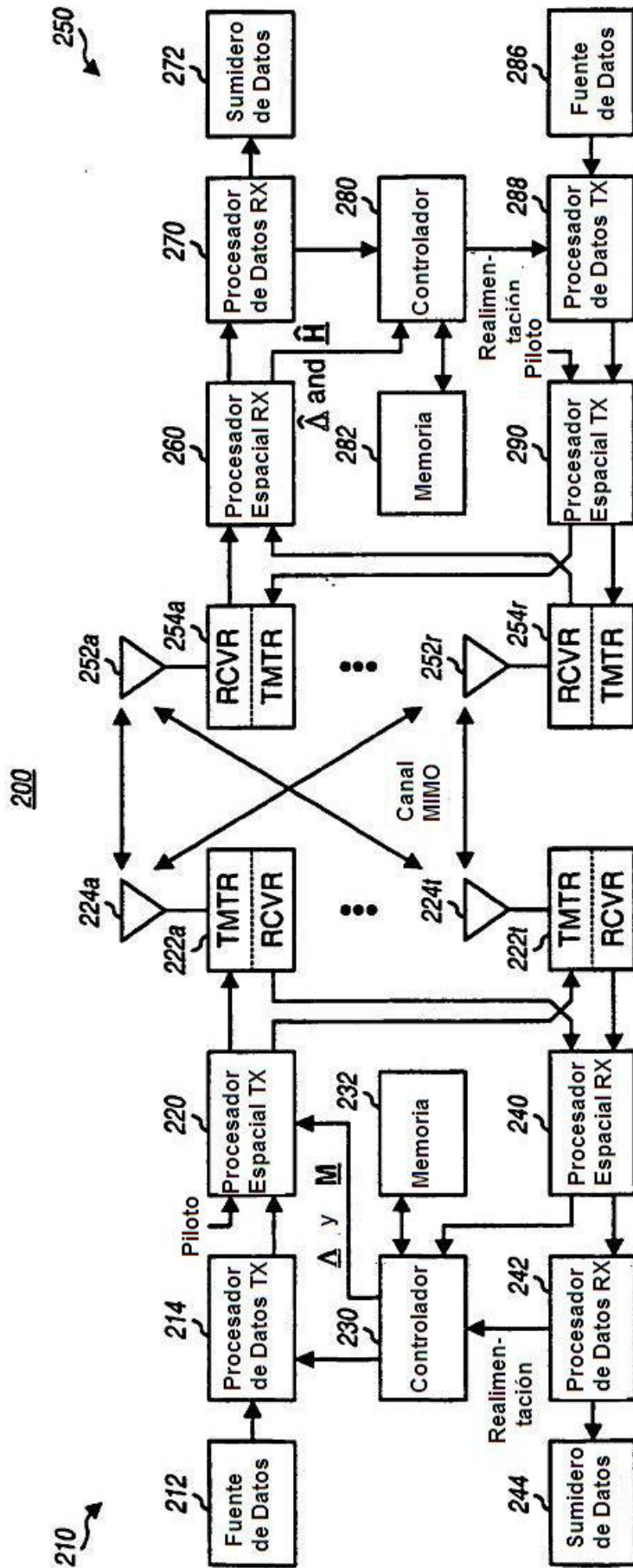


FIG. 2

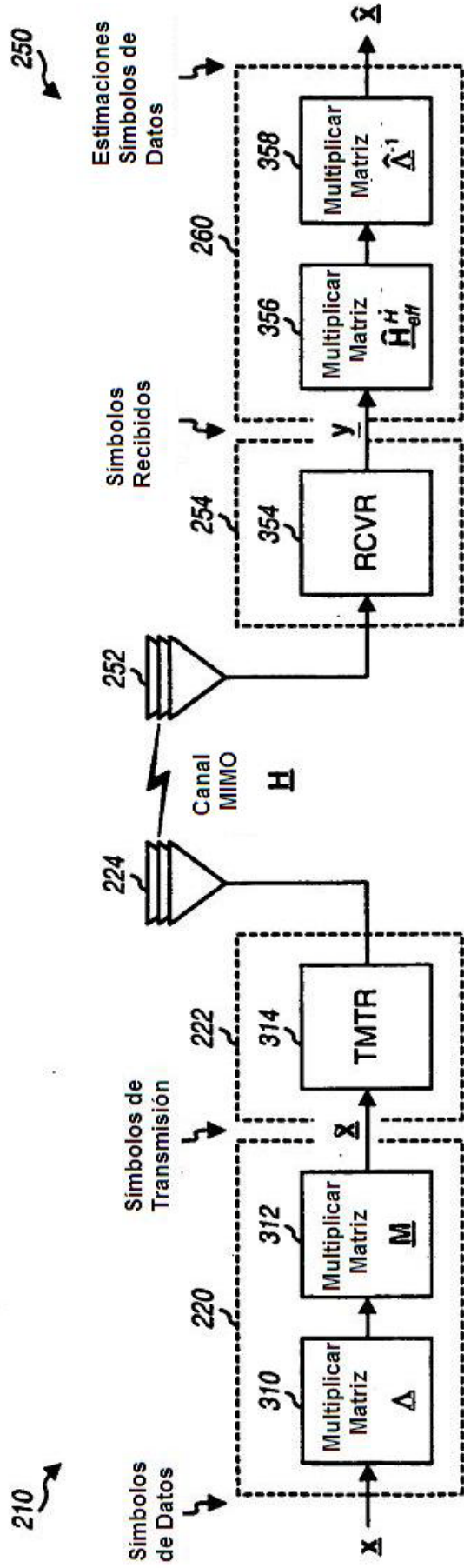


FIG. 3

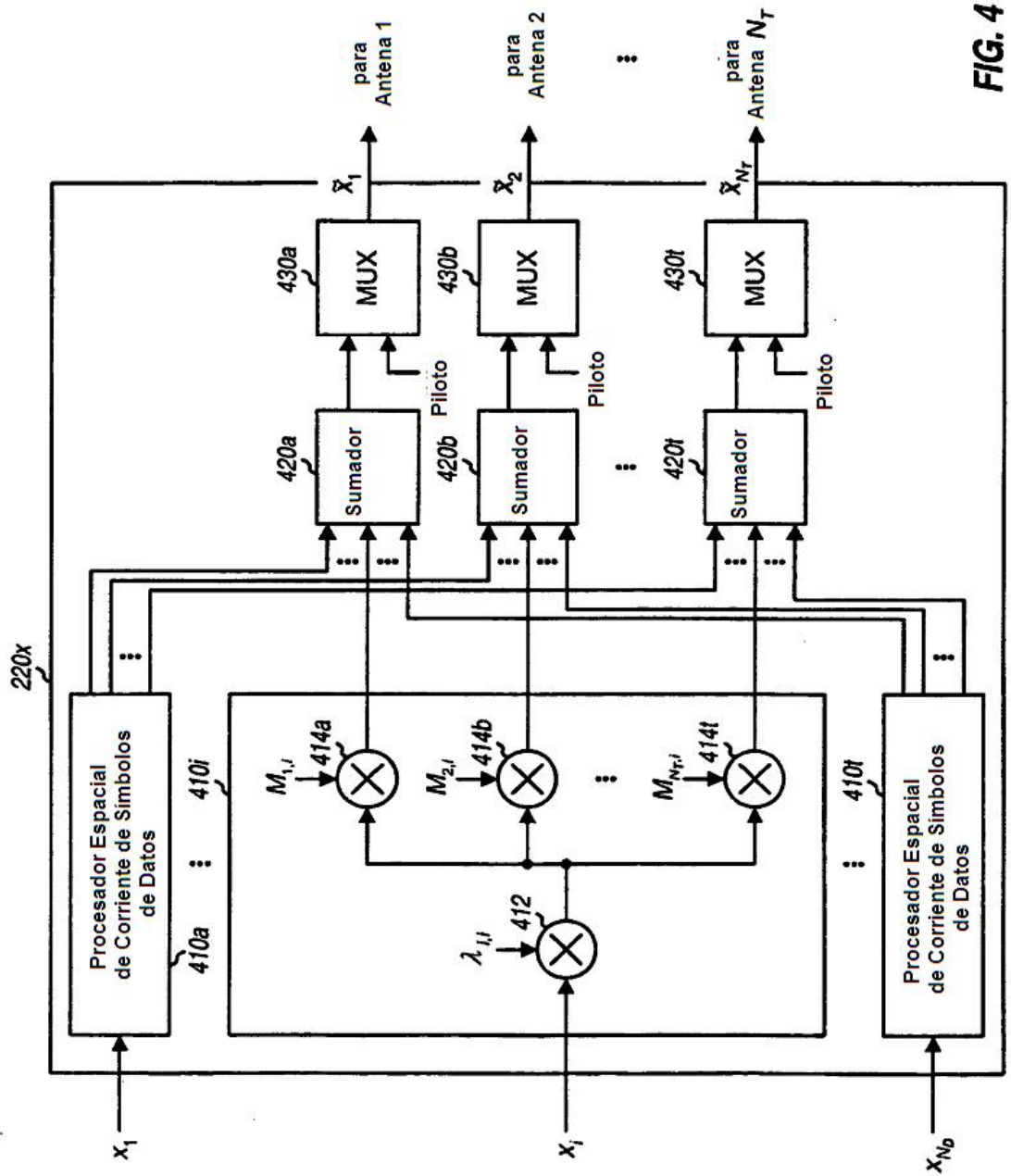


FIG. 4