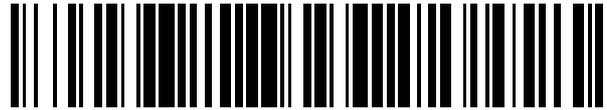


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 515**

51 Int. Cl.:

**H04L 25/03**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2009 E 09773840 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2012 EP 2294769**

54 Título: **Procedimiento y aparato que usa matrices de precodificación en un sistema de telecomunicaciones MIMO**

30 Prioridad:

**01.07.2008 US 77353 P**

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

**07.03.2013**

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET L M ERICSSON  
(PUBL) (100.0%)  
164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**JÖNGREN, GEORGE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 397 515 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimientos y aparatos que usan matrices de precodificación en un sistema de telecomunicaciones MIMO

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a sistemas de telecomunicaciones y, en particular, a procedimientos y a aparatos para transmitir y recibir sobre un enlace de radio de múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO).

**Antecedentes**

10 La técnicas multi-antena pueden aumentar considerablemente las velocidades de transferencia de datos y la fiabilidad de un sistema de comunicación inalámbrica. En particular, el rendimiento se mejora si tanto el transmisor como el receptor están equipados con múltiples antenas. Esto resulta en un canal de comunicación de múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO) y dichos sistemas y/o técnicas relacionadas se denominan comúnmente MIMO.

Varios estándares inalámbricos soportan despliegues de antenas MIMO y técnicas relacionadas con MIMO. La Figura 1 muestra un ejemplo de un sistema 2 de transmisión MIMO. El sistema 2 comprende un precodificador 4 y  $N_T$  antenas 6, donde  $N_T$  es un entero mayor que uno.

15 En el uso, una secuencia de vectores  $\mathbf{s}_k$  de símbolos que transportan información es introducida al precodificador 4 para que sea precodificada antes de la transmisión por medio de las antenas 6 sobre un elemento k de recurso. El elemento k de recurso corresponde a un único uso del canal MIMO, y puede corresponder, por ejemplo, a un intervalo de tiempo, un rango particular de frecuencias, un código de ensanchamiento o cualquier combinación de una o más de estas cantidades. Cada uno de los símbolos r en  $\mathbf{s}_k$  pertenece a una capa específica, donde r (es decir, el número de capas) se conoce como el rango de transmisión. Otro término usado comúnmente para la capa es flujo de símbolos.

20 El vector  $\mathbf{s}_k$  de símbolos es multiplicado en el precodificador 4 por una matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$   $N_T * r$  generando, de esta manera, un vector  $\mathbf{x}_k$  de símbolos precodificados. El vector  $\mathbf{x}_k$  de símbolos precodificados es proporcionado a las antenas 6, donde es transmitido, transmitiendo cada antena un elemento del vector  $\mathbf{x}_k$  de símbolos precodificados.

25 De esta manera, el vector  $\mathbf{x}_k$  de símbolos precodificados puede escribirse como:

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} X_k^{(1)} \\ X_k^{(2)} \\ \vdots \\ X_k^{(N_T)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_k^{(11)} & W_k^{(12)} & \dots & W_k^{(1r)} \\ W_k^{(21)} & W_k^{(22)} & \dots & W_k^{(2r)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_k^{(N_T 1)} & W_k^{(N_T 2)} & \dots & W_k^{(N_T r)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_k^{(1)} \\ S_k^{(2)} \\ \vdots \\ S_k^{(r)} \end{bmatrix} = \mathbf{W}_k \mathbf{s}_k \quad (1)$$

30 Frecuentemente, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  es seleccionada de manera que se adapte a las características del canal MIMO  $\mathbf{H}_k$   $N_R * N_T$  sobre el cual se transmiten las señales (donde  $N_R$  es el número de antenas receptoras). De esta manera, la matriz de precodificación puede ser seleccionada para enfocar la energía de transmisión en un subespacio que es fuerte en el sentido de que transporta la mayor cantidad posible de la energía transmitida al dispositivo receptor. Además, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  puede ser seleccionada para ortogonalizar el canal, lo que significa que después de una ecualización lineal apropiada en el dispositivo receptor, se reduce la interferencia entre capas.

35 Los documentos "Precoding Considerations in LTE MIMO Downlink" de Ericsson, R1-071044, y "Codebook design and Evaluation for E-UTRA MIMO precoding – 4Tx Rank Adaptation" de LG Electronics, R1-070914 expone diferentes aspectos de precodificación para un enlace LTE.

El documento "Peak Power Characteristics of Single Carrier FDMA MIMO Precoding system", de Hyung G. Myung et al., expone el efecto sobre PAPR causado por la precodificación en un sistema de portadora única.

40 Después de la precodificación, los vectores de símbolos precodificados portadores de información son convertidos a señales continuas en el tiempo y son amplificados para producir las señales transmitidas desde las antenas 6. Con el fin de evitar la distorsión de las señales, los amplificadores deben ser dimensionados de manera que puedan cubrir el rango dinámico de las señales a amplificar. La relación de potencia pico a potencia promedio (PAPR) es una medida del rango dinámico relativo de una señal y, generalmente, es deseable que se mantenga pequeña (es decir, cercana al valor uno) con el fin de minimizar los requisitos de los amplificadores y, de esta manera, reducir el costo.

La PAPR es una de entre diversas medidas posibles del rango dinámico de la señal. En adelante, en la presente memoria, las referencias a la reducción de la PAPR de una señal harán referencia a la reducción del rango dinámico de la señal según cualquier medida.

5 Un procedimiento de selección de la matriz de precodificación es mediante el uso de lo que se conoce como un "libro de códigos" de matrices de precodificación predefinidas, desde el cual puede seleccionarse una matriz apropiada. Esto simplifica enormemente el procedimiento de selección. Por ejemplo, la versión actual de la versión 8 de las especificaciones del 3GPP (conocida también como evolución a largo plazo, o LTE, Long Term Evolution) especifica el libro de códigos siguiente cuando se emplean dos antenas de transmisión:

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}_k \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \right\} \quad (2)$$

10 Las primeras cuatro matrices son para un rango de transmisión igual a uno. Las dos últimas matrices son para un rango de transmisión igual a dos.

Sin embargo, el libro de códigos para futuras versiones de las especificaciones 3GPP no está definido.

### Resumen de la invención

15 Un problema con las soluciones de precodificadores existentes es que, para un rango de transmisión de dos y superiores, la precodificación tiende a aumentar la PAPR. Usando (1) para el ejemplo de un rango de transmisión de dos, y seleccionando la primera matriz de precodificación de rango dos del libro de códigos LTE (2) proporciona un vector de símbolos precodificados de transmisión:

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_k^{(1)} \\ \mathbf{s}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_k^{(1)} + \mathbf{s}_k^{(2)} \\ \mathbf{s}_k^{(1)} - \mathbf{s}_k^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

20 Tal como puede observarse, las señales de dos capas diferentes son mezcladas entre sí. Dicha mezcla de señales puede aumentar significativamente la PAPR y puede aumentar, de esta manera, el coste y la complejidad del transmisor. Téngase en cuenta que la PAPR tiende a aumentar con el número de señales mezcladas, pero que el aumento relativo para cada señal mezclada adicional disminuye progresivamente, de esta manera, la mezcla de dos capas tiende a producir el mayor aumento de PAPR adicional.

25 Un aumento de PAPR sería un problema particularmente serio en futuras versiones de las especificaciones 3GPP, por ejemplo, en las que se ha tenido especial cuidado para diseñar un enlace ascendente con una única portadora para mantener la PAPR baja. Si debe introducirse una multiplexación espacial en el enlace ascendente, por lo tanto, hay fuertes razones para mantener la PAPR baja.

30 Para mitigar los problemas descritos anteriormente asociados con estas soluciones existentes, los dispositivos de transmisión según la presente invención reducen la PAPR de las señales transmitidas imponiendo una cierta estructura en la matriz de precodificación de manera que se evite la mezcla de señales.

35 Según la presente invención, se proporciona un dispositivo de comunicación adaptado para limitar un aumento de la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causada por la aplicación de una matriz precodificadora para una transmisión con una única portadora sobre un enlace de radio MIMO. El dispositivo de comunicación comprende un transmisor que comprende una pluralidad de antenas, y circuitos (16) de procesamiento. El circuito de procesamiento está adaptado para aplicar una matriz de precodificación a un vector de símbolos, para generar un vector precodificado. La matriz de precodificación tiene cuatro filas y dos o tres columnas. El transmisor está adaptado para transmitir el vector precodificado sobre un enlace de radio MIMO. La matriz de precodificación está restringida de manera que cada fila comprende al menos un elemento cero, de manera que el número de elementos diferentes de cero en cada fila es menor que el número de columnas de dicha matriz de precodificación. La matriz de precodificación está restringida adicionalmente en el sentido de que cada una de las columnas tiene al menos un elemento diferente de cero y cada una de las filas tiene al menos un elemento diferente de cero, de manera que se limita cualquier aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio (PAPR), causado al aplicar la matriz de precodificación al vector de símbolos.

45 Según un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un dispositivo de comunicación adaptado para limitar el aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de una matriz de precodificación para una transmisión con una única portadora sobre un enlace de radio MIMO. El

dispositivo de comunicación comprende un transceptor que comprende una pluralidad de antenas, y circuitos de procesamiento. El circuito de procesamiento está adaptado para determinar una matriz de precodificación usada por un dispositivo de comunicación remoto para generar un vector precodificado a partir de un vector de símbolos, para su transmisión sobre un enlace de radio MIMO al dispositivo de comunicación. El transceptor está adaptado para recibir sobre el enlace de radio MIMO el vector precodificado que ha sido precodificado con la matriz de precodificación determinada, y el circuito de procesamiento está adaptado además para decodificar el vector precodificado recibido. La matriz de precodificación tiene cuatro filas y dos o tres columnas, y está restringida de manera que cada fila comprende al menos un elemento cero, de manera que el número de elementos diferentes de cero en cada fila es menor que el número de columnas en la matriz de precodificación. La matriz de precodificación está restringida adicionalmente en el sentido de que cada una de las columnas tiene al menos un elemento diferente de cero y cada una de las filas tiene al menos un elemento diferente de cero, de manera que se limita cualquier aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio (PAPR), causado al aplicar la matriz de precodificación al vector de símbolos.

Se proporcionan también procedimientos correspondientes de transmisión y recepción sobre el enlace de radio MIMO.

En una realización, la matriz de precodificación está restringida de manera que cada fila tiene un único elemento diferente de cero. Al garantizar que la matriz de precodificación tiene un único elemento diferente de cero por cada fila, se evita la mezcla de señales de capas diferentes.

En otra realización, la matriz de precodificación está restringida de manera que cada columna tiene el mismo número de elementos diferentes de cero. De esta manera, cada capa es transmitida con sustancialmente la misma potencia.

**Breve descripción de los dibujos**

Para una mejor comprensión de la presente invención, y para mostrar más claramente cómo puede ser llevada a cabo, se hará referencia ahora, a modo de ejemplo, a los dibujos siguientes, en los que:

- La Figura 1 muestra un sistema de transmisión MIMO;
- La Figura 2 muestra un dispositivo de comunicación según las realizaciones de la presente invención;
- La Figura 3 muestra un primer procedimiento según las realizaciones de la presente invención;
- La Figura 4 muestra un segundo procedimiento según las realizaciones de la presente invención;
- La Figura 5 muestra un tercer procedimiento según las realizaciones de la presente invención; y
- La Figura 6 muestra un cuarto procedimiento según las realizaciones de la presente invención.

**Descripción detallada**

La Figura 2 muestra un dispositivo 10 de comunicación de una red de telecomunicaciones. El dispositivo 10 de comunicación puede ser un terminal móvil (conocido también como un equipo de usuario) o una estación base de radio (conocida también como un Nodo B o un nodo B evolucionado), o cualquier otro dispositivo adecuado para transmitir y/o recibir comunicaciones MIMO.

El dispositivo 10 de comunicación comprende una pluralidad de antenas 12. La Figura 2 muestra al menos tres antenas, pero las personas con conocimientos en la materia entenderán que puede haber solo dos, o más de tres antenas. En ciertas realizaciones de la presente invención, el dispositivo 10 de comunicación tiene cuatro antenas 12. Cada antena 12 está acoplada al circuito 14 de Rx/Tx respectivo, y cada circuito 14 de Rx/Tx está acoplado además a un circuito 16 de procesamiento. Tal como se ha descrito anteriormente, cada circuito 14 de Rx/Tx comprende un amplificador para amplificar la señal a transmitir por su antena 12 respectiva. Una vez más, será evidente para las personas con conocimientos en la materia que, en configuraciones alternativas, el dispositivo 10 de comunicación puede comprender menos circuitos 14 de Rx/Tx separados que el número de antenas 12, con señales desde más de una antena 12 acopladas al mismo circuito 14 de Rx/Tx. Por ejemplo, el dispositivo 10 de comunicación puede comprender un solo circuito 14 de Rx/Tx, en el que las señales desde todas las antenas 12 están acopladas al único circuito 14 de Rx/Tx.

El circuito de procesamiento está adaptado para una transmisión de una única portadora y, en particular, puede estar adaptado para transmisiones multiplexadas por división de frecuencias ortogonales con transformada discreta de Fourier con espectro ensanchado (DFTS-OFDM).

En ciertas realizaciones de la presente invención, las antenas 12 son operables para recibir transmisiones desde otros dispositivos de comunicación. Estas transmisiones son demoduladas en el circuito 14 de Tx/Rx, y son

5 decodificadas en el circuito 16 de procesamiento. En otras realizaciones de la presente invención, las antenas 12 son operables para transmitir señales a otros dispositivos de comunicación. Dichas señales pueden ser generadas en el circuito 16 de procesamiento, antes de ser moduladas en el circuito 14 de Tx/Rx y son pasadas a la antena 12 para su transmisión. A continuación, se describirán detalles adicionales de la operación precisa de los componentes del dispositivo 10 de comunicación.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento según la presente invención. El procedimiento comienza en la etapa 20.

10 En la etapa 22, el circuito de procesamiento recibe un vector  $\mathbf{s}_k$  de símbolos, para la transmisión sobre un elemento k de recurso, en el que el vector de símbolos comprende r símbolos  $\mathbf{s}_k$ , donde r es un número entero igual o mayor que uno, y se hace referencia al mismo como el rango de transmisión. El vector  $\mathbf{s}_k$  de símbolos puede ser recibido desde un número de fuentes, dependiendo del tipo de dispositivo 10 de comunicación. Por ejemplo, si el dispositivo 10 de comunicación es un terminal móvil, el vector  $\mathbf{s}_k$  de símbolos puede comprender datos almacenados en una memoria del terminal móvil, o datos de voz del usuario del terminal móvil, para su transmisión a una estación base de radio. Si el dispositivo de comunicación es una estación de base de radio, el vector  $\mathbf{s}_k$  de símbolos puede comprender datos recibidos desde una red troncal de la red de telecomunicaciones, para su transmisión a un terminal móvil.

En particular, en realizaciones de la presente invención, r es igual a dos o tres.

20 En la etapa 24, el circuito de procesamiento aplica una matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$   $N_T * r$  al vector  $\mathbf{s}_k$  de símbolos, para generar un vector precodificado, donde  $N_T$  es el número de antenas 12. Las características y las restricciones de la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  se describirán, en mayor detalle, a continuación. La matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  puede ser generada o seleccionada en cualquiera de entre un número de maneras.

En particular, en realizaciones de la presente invención,  $N_T$  es igual a cuatro.

En la etapa 26, el circuito de procesamiento envía símbolos precodificados respectivos del vector precodificado al circuito 14 de Rx/Tx respectivo, donde son modulados antes de ser transmitidos por las antenas 12 respectivas.

25 Según realizaciones de la presente invención, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está configurada para minimizar, o al menos limitar, la mezcla de flujos de símbolos en el vector de precodificación transmitido y, de esta manera, para minimizar, o al menos limitar, el aumento de la PAPR de las señales transmitidas causado por la aplicación de la matriz de precodificación.

30 Por ejemplo, en una realización, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está configurada para tener al menos un elemento cero por cada fila. Esto significa que la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está configurada también para tener al menos un elemento diferente de cero por cada fila, es decir, ninguna fila tiene todos sus elementos iguales a cero, ya que esto significaría que una de las antenas no se usa. Además, en una realización, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está configurada para tener al menos un elemento cero por cada columna. Esto significa que la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está configurada también para tener al menos un elemento diferente de cero por cada columna, es decir, ninguna columna tiene todos sus elementos iguales a cero, ya que esto significaría que una capa no es transmitida.

35 En una realización, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está configurada de manera que cada fila tiene un único elemento diferente de cero. De esta manera, la mezcla de señales de diferentes capas se reduce ya que la señal transmitida en la antena l-ésima 12 será

$$x_k^{(l)} = W_k^{(lm)} s_k^{(m)}$$

40 en la que m es la columna de la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  en la que reside el elemento diferente de cero.

45 Tal como se ha indicado anteriormente, es deseable para que el uso de los amplificadores en el circuito 14 de Rx/Tx esté equilibrado, reducir la complejidad del transmisor. En una realización adicional, por lo tanto, la norma (es decir, el valor absoluto) de cada fila de la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está restringida a ser la misma. En la realización en la que cada fila tiene un único elemento diferente de cero, esto significa que cada elemento diferente de cero tiene la misma norma.

La matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  puede estar configurada también de manera que cada columna tenga el mismo número de elementos diferentes de cero, de manera que se consigue una potencia por capa equilibrada. En particular, en una realización en la que cada elemento diferente de cero tiene la misma norma, esto implica que cada capa es transmitida con la misma potencia de transmisión global.

50 En una realización adicional, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$  está restringida para corresponder a la denominada

5 precodificación unitaria en la que las columnas en la matriz de precodificación forman un conjunto ortonormal escalado. La terminología "precodificación unitaria" se deriva del hecho de que las columnas de una matriz unitaria  $\mathbf{W}$  (es decir, una matriz que cumple  $\mathbf{W}^*\mathbf{W} = \mathbf{W}\mathbf{W}^* = \mathbf{I}$ , donde  $\mathbf{W}^*$  es el conjugado complejo de  $\mathbf{W}$  e  $\mathbf{I}$  es la matriz identidad) forman, de hecho, un conjunto ortonormal y de que puede considerarse que las matrices de precodificación corresponden a subconjuntos columna de matrices unitarias.

10 Dependiendo del número de antenas de transmisión,  $N_T$ , y el rango  $r$  de transmisión, es posible que no pueda satisfacerse una o más de estas restricciones en la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$ . Por ejemplo, para un rango de transmisión de tres y cuatro antenas de transmisión, no es posible tener simultáneamente un único elemento diferente de cero por cada fila y el mismo número de elementos diferentes de cero por cada columna de la matriz de precodificación  $\mathbf{W}_k$ . En dicho caso, por lo tanto, es necesario relajar una o más de estas restricciones. Por ejemplo, pueden permitirse diferentes números de elementos diferentes de cero por columna, o más de un elemento diferente de cero por cada fila. Esto significa que la mezcla de las señales es inevitable; sin embargo, las restricciones se pueden aplicar con límites blandos, de manera que si es imposible tener un único elemento diferente de cero por cada fila (mientras se tiene el mismo número de elementos diferentes de cero por cada columna), se aplica una restricción de dos elementos diferentes de cero en algunas filas. De esta manera, se limita, al menos, la mezcla de las señales, de manera que se limita el aumento en la PAPR de las señales transmitidas.

20 La matriz de precodificación puede ser seleccionada o generada por cualquiera de entre una serie de procedimientos. Por ejemplo, la matriz de precodificación puede ser seleccionada desde un "libro de códigos", es decir, una pluralidad de matrices de precodificación predefinidas. El libro de códigos puede comprender una pluralidad de matrices de precodificación predeterminadas, cada una de las cuales satisface los requisitos indicados anteriormente para un rango de transmisión particular, o un subconjunto (es decir, dos o más) de las cuales satisfacen los requisitos indicados anteriormente para un rango de transmisión particular. Es decir, se definen todas las matrices de precodificación o un subconjunto de las mismas de manera que se limita cualquier aumento de PAPR, o de manera que no se experimente ningún aumento de PAPR, por la aplicación de las matrices de precodificación a un vector de símbolos. En una realización, hay ocho matrices de precodificación en el subconjunto. En otra realización, al menos la mitad de las matrices de precodificación para un rango de transmisión particular satisfacen los requisitos indicados anteriormente. En una realización ejemplar en la que es necesario cierto compromiso en los requisitos anteriores, al menos la mitad de las matrices de precodificación para al menos un rango de transmisión pueden tener una columna con un elemento diferente de cero más que las otras columnas.

30 Un posible libro de códigos para un rango de transmisión de dos y que satisface las restricciones de un único elemento diferente de cero por cada fila y el mismo número de elementos diferentes de cero por cada columna es

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}_k \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\}$$

Como alternativa, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}$  puede ser generada en tiempo real.

35 Tal como se ha descrito anteriormente, la matriz de precodificación  $\mathbf{W}$  puede ser generada o seleccionada para adaptarse a las características del canal MIMO sobre el que se transmitirán las señales. Esto se conoce como precodificación dependiente de canal o precodificación de bucle cerrado.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento en un dispositivo de comunicación de recepción según las realizaciones de la presente invención.

40 El procedimiento comienza en la etapa 30. En la etapa 32, el dispositivo 10 de comunicación mide las condiciones de canal y evalúa las matrices de precodificación predeterminadas en el libro de códigos para determinar su idoneidad. Las matrices de precodificación evaluadas son cualquiera que satisfaga los requisitos para limitar una PAPR adicional, tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 3.

45 El dispositivo 10 de comunicación de recepción puede recibir una indicación desde el dispositivo de transmisión de qué canal medir. En base al conocimiento de las condiciones de canal, la matriz de precodificación y el nivel de ruido y de interferencia, el receptor puede calcular las relaciones señal a interferencia y ruido (SINRs) para cada capa. Con esta información, puede asignar las SINRs a una medida de rendimiento, por ejemplo, la suma predicha rendimiento sobre todas las capas.

Según una realización, para cada matriz de precodificación el dispositivo 10 de comunicación calcula las relaciones señal a interferencia y a ruido (SINRs) resultantes en la entrada del demodulador (es decir, después de la ecualización), y usa las SINRs para predecir el rendimiento en caso de que se use esa matriz de precodificación (por ejemplo, predice el rendimiento para el usuario condicionado por la elección de la matriz de precodificación).

5 En la etapa 34, la matriz de precodificación apropiada es seleccionada, y en la etapa 36 esto se indica al dispositivo de comunicación de transmisión. Una matriz de precodificación adecuada es una matriz que proporciona una buena métrica de rendimiento, por ejemplo, la matriz de precodificación con el rendimiento predicho más alto. La matriz de precodificación seleccionada puede aplicarse a una amplia banda de frecuencias, o pueden aplicarse diferentes matrices de precodificación a diferentes frecuencias, es decir, para una adaptación a diferentes condiciones de canal a diferentes frecuencias. En una realización, el libro de códigos es conocido tanto por el dispositivo 10 de comunicación de recepción como por el dispositivo de comunicación de transmisión. Cada matriz de precodificación en el libro de códigos tiene un índice, y el índice correspondiente a la matriz seleccionada es indicado al dispositivo de comunicación de transmisión. En las transmisiones LTE de enlace ascendente, por ejemplo, esto se haría en el PDCCH (canal físico de control del enlace descendente). A continuación, el UE decodificaría el PDCCH y asignaría los bits decodificados a una matriz de precodificación.

20 Justo después, en la etapa 38, el dispositivo 10 de comunicación de recepción recibe una transmisión desde el dispositivo de comunicación de transmisión que es un vector de símbolos precodificado usando la matriz de precodificación seleccionada. El vector precodificado recibido es demodulado usando el circuito 14 de Tx/Rx. En la etapa 40, la señal demodulada es decodificada por el circuito 16 de procesamiento. El circuito de procesamiento puede usar su conocimiento de la matriz de precodificación seleccionada para decodificar la señal demodulada.

25 Las señales recibidas son filtradas, convertidas en sentido descendente a la banda base y muestreadas en el circuito 14 de Rx/Tx, y a continuación son suministradas a una unidad de procesamiento de banda base en el procesador 16. La unidad de procesamiento de banda base conoce la matriz de precodificación usada en la transmisión y con la ayuda de una estimación del primer canal ecualiza el canal y, a continuación, decodifica el vector precodificado. En una realización, por ejemplo, en las transmisiones LTE de enlace ascendente, esto podría realizarse transformando la señal al dominio de frecuencia por medio de una DFT (transformada discreta de Fourier), realizando una ecualización en el dominio de frecuencia combinando apropiadamente las señales de cada subportadora (por ejemplo, ecualizador MMSE), y a continuación aplicando una DFT inversa para volver de nuevo al dominio del tiempo. El conocimiento de qué matriz de precodificación se usó puede ser necesario para saber cómo combinar las señales cuando se realiza la ecualización.

30 La técnica anterior, conocida como precodificación de bucle cerrado, es particularmente adecuada para escenarios en los que las condiciones del canal son relativamente estáticas. La movilidad de los dispositivos de transmisión y recepción puede ser baja, o el canal puede exhibir propiedades a largo plazo incluso si la movilidad es alta. Por ejemplo, cuando cualquiera de entre el dispositivo de transmisión y el dispositivo de recepción es una estación base de radio, su movilidad será cero.

35 Como alternativa, la matriz de precodificación puede ser seleccionada independientemente del canal MIMO. Esto se conoce como precodificación de bucle abierto o precodificación independiente de canal.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de recepción de una transmisión MIMO en la que se ha empleado precodificación de bucle abierto.

40 El procedimiento comienza en la etapa 42. En la etapa 44, el dispositivo 10 de comunicación de recepción recibe una indicación de la matriz de precodificación que se ha usado, o que se usará en la próxima transmisión MIMO. De esta manera, el dispositivo de transmisión determina, por sí mismo, la matriz de precodificación apropiada a usar (por ejemplo, mediciones de enlace inverso) y, a continuación indica, de manera explícita, la matriz de precodificación al receptor. La matriz de precodificación empleada por el dispositivo de transmisión es cualquier matriz que satisface los requisitos para limitar una PAPR adicional, tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 3. Tal como se ha descrito anteriormente, en una realización, cada matriz de precodificación en el libro de códigos tiene un índice, y es el índice correspondiente a la matriz seleccionada el que es indicado al dispositivo 10 de comunicación de recepción.

45 En la etapa 46, el dispositivo 10 de comunicación de recepción recibe el vector precodificado. Esto puede ocurrir después de la etapa 44, o sustancialmente de manera concurrente a la etapa 44.

50 En la etapa 48, el dispositivo 10 de comunicación de recepción decodifica el vector precodificado usando el conocimiento de la matriz de precodificación, por ejemplo, tal como se ha descrito con respecto a la etapa 38 de la realización anterior.

De esta manera, en esta realización, el circuito de procesamiento del dispositivo de comunicación de transmisión

selecciona o genera una matriz de precodificación sin una entrada desde el dispositivo de recepción. Dicha precodificación de bucle abierto es particularmente adecuada para escenarios en los que las condiciones del canal son susceptibles de cambio rápido, o la movilidad de los dispositivos de transmisión y/o recepción es alta.

5 La Figura 6 es un diagrama de flujo de un procedimiento de generación de una o más matrices de precodificación según realizaciones de la presente invención. El procedimiento puede ser realizado, por ejemplo, en el circuito 16 de procesamiento con el fin de generar una matriz de precodificación adecuada, o fuera de línea con el fin de generar un libro de códigos de matrices de precodificación.

El procedimiento comienza en la etapa 50.

10 En la etapa 52, se genera un conjunto de elementos A. Los elementos son los que irán eventualmente en la matriz de precodificación y, por lo tanto, pueden tener una restricción aplicada a los mismos en el sentido de que todos tendrán la misma norma. Un conjunto de elementos ejemplar es  $A = \{-1, 1, -j, j\}$ , donde  $j^2 = -1$ . Dicho un conjunto de elementos tiene el beneficio de que la complejidad computacional se ahorra cuando las matrices de precodificación resultantes se usan en el transmisor o en el receptor.

15 En la etapa 54, se generan todas las filas posibles de longitud r que contienen los elementos definidos en el conjunto de elementos. En una realización, se aplica una restricción a las filas de manera que cada fila puede contener sólo un elemento diferente de cero. A partir de las filas, generadas de esta manera, se genera un conjunto de candidatos de posibles matrices de precodificación. El conjunto de candidatos contiene matrices de todas las combinaciones posibles de filas, donde el número de filas en cada matriz es igual al número de antenas de transmisión.

20 En la etapa 56, el número de matrices de precodificación en el conjunto de candidatos se reduce aplicando una o más restricciones, tal como se ha descrito anteriormente para generar un conjunto de factibilidad de matrices de precodificación. Las restricciones aplicadas pueden ser una cualquiera o más de entre: cada columna tiene un número igual de elementos diferentes de cero; cada columna tiene al menos un elemento diferente de cero, o las matrices de precodificación son unitarias.

25 En la etapa 58, el propio conjunto de factibilidad se reduce para generar un libro de códigos de matrices de precodificación a partir de las cuales puede seleccionarse una matriz de precodificación final en la etapa 60, tal como se ha descrito anteriormente. El libro de códigos puede ser elegido a partir del conjunto de factibilidad, por ejemplo, evaluando una medida de la distancia entre pares de matrices en el conjunto de factibilidad que tienen el mismo rango de transmisión. Por lo tanto, en esta realización, el libro de códigos es seleccionado maximizando la distancia mínima entre pares de matrices de precodificación en el libro de códigos. Se conocen diversas medidas de distancia en la técnica, incluyendo la distancia cordal, proyección de norma dos, y Fubini-estudio (véase, por ejemplo, Love D J y Heath R W Jr, "Limited feedback unitary precoding for spatial multiplexing systems", 2005 IEEE Trans. Inf. Theory vol 51, pp 2.967-76). El libro de códigos puede ser seleccionado también maximizando el rendimiento estimado.

30 Por lo tanto, la presente invención proporciona un procedimiento y un dispositivo de comunicación para transmitir sobre un enlace de radio MIMO. Un aumento en la PAPR de las señales transmitidas es limitado aplicando un vector de precodificación que está restringido en una o en más maneras. La reducción del aumento de la PAPR reduce la complejidad del dispositivo de transmisión y, de esta manera, reduce el coste del dispositivo y aumenta su fiabilidad.

40 Debería observarse que las realizaciones indicadas anteriormente ilustran en lugar de limitar la invención, y que las personas con conocimientos en la materia serán capaces de diseñar muchas realizaciones alternativas sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas. La expresión "que comprende" no excluye la presencia de elementos o etapas diferentes a los indicados en una reivindicación, "un" o "una" no excluye una pluralidad, y un único circuito de procesamiento u otra unidad puede cumplir las funciones de varias unidades indicadas en las reivindicaciones. Cualquier referencia en las reivindicaciones no debería interpretarse como una limitación de su alcance.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo (10) de comunicación adaptado para limitar un aumento de la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de una matriz de precodificación para una transmisión de una única portadora sobre un enlace de radio MIMO, en el que el dispositivo de comunicación comprende:
- 5 un transmisor que comprende una pluralidad de antenas (12); en el que el dispositivo de comunicación está caracterizado porque comprende
- 10 circuitería (16) de procesamiento adaptada para una transmisión de una única portadora y para aplicar una matriz de precodificación a un vector de símbolos, para generar un vector precodificado, en la que dicha matriz de precodificación tiene cuatro filas y dos o tres columnas, en la que dicho transmisor está adaptado para transmitir dicho vector precodificado sobre un enlace de radio MIMO, en la que dicha matriz de precodificación está restringida de manera que cada fila comprende al menos un elemento cero, de manera que el número de elementos diferentes de cero en cada fila es menor que el número de columnas en dicha matriz de precodificación, y en la que la matriz de precodificación está restringida adicionalmente en el sentido de que cada una de dichas columnas tiene al menos un elemento diferente de cero y cada una de dichas filas tiene al menos un elemento diferente de cero.
- 15
2. Dispositivo de comunicación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha matriz de precodificación es seleccionada a partir de un libro de códigos que comprende una pluralidad de matrices de precodificación predeterminadas.
3. Dispositivo de comunicación según la reivindicación 2, en el que un subconjunto de dicha pluralidad de matrices de precodificación predeterminadas está restringido de manera que se limita cualquier aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de cualquiera de las matrices de precodificación en el subconjunto al vector de símbolos.
- 20
4. Dispositivo de comunicación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho circuito de procesamiento está adaptado para transmisiones multiplexadas por división de frecuencias ortogonales por transformada discreta de Fourier con espectro ensanchado DFTS-OFDM.
- 25
5. Dispositivo de comunicación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo de comunicación es un equipo de usuario.
6. Dispositivo de comunicación según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que dicho dispositivo de comunicación es una estación base de radio.
- 30
7. Un procedimiento en un dispositivo (10) de comunicación para limitar un aumento de la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de una matriz de precodificación para una transmisión de una única portadora sobre un enlace de radio MIMO, caracterizado porque comprende:
- 35 aplicar (24) una matriz de precodificación a un vector de símbolos, generando un vector precodificado, en el que dicha matriz de precodificación tiene cuatro filas y dos o tres columnas, en el que dicha matriz de precodificación está restringida de manera que cada fila comprende al menos un elemento cero, de manera que el número de elementos diferentes de cero en cada fila es menor que el número de columnas en dicha matriz de precodificación, y en el que la matriz de precodificación está restringida adicionalmente en el sentido de que cada columna tiene al menos un elemento diferente de cero y cada una de dichas filas tiene al menos un elemento diferente de cero; y
- 40 transmitir (26) el vector precodificado sobre el enlace de radio MIMO.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicha matriz de precodificación está restringida adicionalmente de manera que cada fila tiene un único elemento diferente de cero.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la matriz de precodificación tiene dos columnas, y en el que dicha matriz de precodificación está restringida de manera que cada columna tiene el mismo número de elementos diferentes de cero, consiguiendo una potencia equilibrada por capa.
- 45
10. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicha matriz de precodificación está restringida de manera que cada columna tiene el mismo número de elementos diferentes de cero.
11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en el que cada elemento diferente de cero tiene el mismo valor absoluto.
- 50
12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7-11, en el que dicha matriz de precodificación es

seleccionada a partir de un libro de códigos que comprende una pluralidad de matrices de precodificación predeterminadas.

5 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que un subconjunto de dicha pluralidad de matrices de precodificación predeterminadas está restringido de manera que se limita cualquier aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de cualquiera de las matrices de precodificación en el subconjunto al vector de símbolos.

14. Dispositivo (10) de comunicación adaptado para limitar un aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de una matriz de precodificación para una transmisión de una única portadora sobre un enlace de radio MIMO, en el que el dispositivo de comunicación comprende:

10 un transceptor que comprende una pluralidad de antenas (12); y  
 circuitería (16) de procesamiento,

15 en el que dicha circuitería de procesamiento está adaptada para determinar una matriz de precodificación usada por un dispositivo de comunicación remoto para generar un vector precodificado a partir de un vector de símbolos para la transmisión de una única portadora sobre un enlace de radio MIMO a dicho dispositivo de comunicación, en el que dicho transceptor está adaptado para recibir sobre el enlace de radio MIMO dicho vector precodificado que ha sido precodificado con dicha matriz de precodificación determinada, en el que dicho circuito de procesamiento está adaptado además para decodificar dicho vector precodificado recibido, caracterizado porque

20 dicha matriz de precodificación tiene cuatro filas y dos o tres columnas, en el que dicha matriz de precodificación está restringida de manera que cada fila comprende al menos un elemento cero, de manera que el número de elementos diferentes de cero en cada fila es menor que el número de columnas en dicha matriz de precodificación, y en el que la matriz de precodificación está restringida adicionalmente en el sentido de que cada una de dichas columnas tiene al menos un elemento diferente de cero y cada una de dichas filas tiene al menos un elemento diferente de cero.

25 15. Dispositivo (10) de comunicación según la reivindicación 14, en el que la circuitería (16) de procesamiento está adaptada para evaluar una pluralidad de matrices de precodificación, y para seleccionar de entre la pluralidad de matrices de precodificación la matriz de precodificación a ser usada por el dispositivo de comunicación remoto para generar el vector precodificado a partir del vector de símbolos, y en el que el transceptor está adaptado para transmitir a dicho dispositivo de comunicación remoto una indicación de la matriz de precodificación seleccionada.

30 16. Procedimiento en un dispositivo (10) de comunicación para limitar un aumento en la relación de potencia pico a potencia promedio, PAPR, causado por la aplicación de una matriz de precodificación para una transmisión de una única portadora sobre un enlace de radio MIMO, que comprende:

35 determinar una matriz (34, 44) de precodificación usada por un dispositivo de comunicación remoto para generar un vector precodificado a partir de un vector de símbolos para una transmisión de una única portadora sobre un enlace de radio MIMO a dicho dispositivo de comunicación;

recibir (38, 46) sobre el enlace de radio MIMO dicho vector precodificado que ha sido precodificado con dicha matriz de precodificación determinada; y

descodificar (40, 48) dicho vector precodificado recibido, caracterizado porque

40 dicha matriz de precodificación tiene cuatro filas y dos o tres columnas, en el que dicha matriz de precodificación está restringida de manera que cada fila comprende al menos un elemento cero, de manera que el número de elementos diferentes de cero en cada fila es menor que el número de columnas en dicha matriz de precodificación, y en el que la matriz de precodificación está restringida adicionalmente en el sentido de que cada una de dichas columnas tiene al menos un elemento diferente de cero y cada una de dichas filas tiene al menos un elemento diferente de cero.

45 17. Procedimiento según la reivindicación 16, que comprende además:

recibir (44) desde el dispositivo de comunicación remoto una indicación de la matriz de precodificación usada para generar el vector precodificado.

18. Procedimiento según la reivindicación 17, que comprende además:

evaluar (32) una pluralidad de matrices de precodificación;

seleccionar (34) de entre la pluralidad de matrices de precodificación la matriz de precodificación a ser usada por el dispositivo de comunicación remoto para generar el vector precodificado a partir del vector de símbolos, y transmitir (36) a dicho dispositivo de comunicación remoto una indicación de la matriz de precodificación seleccionada.

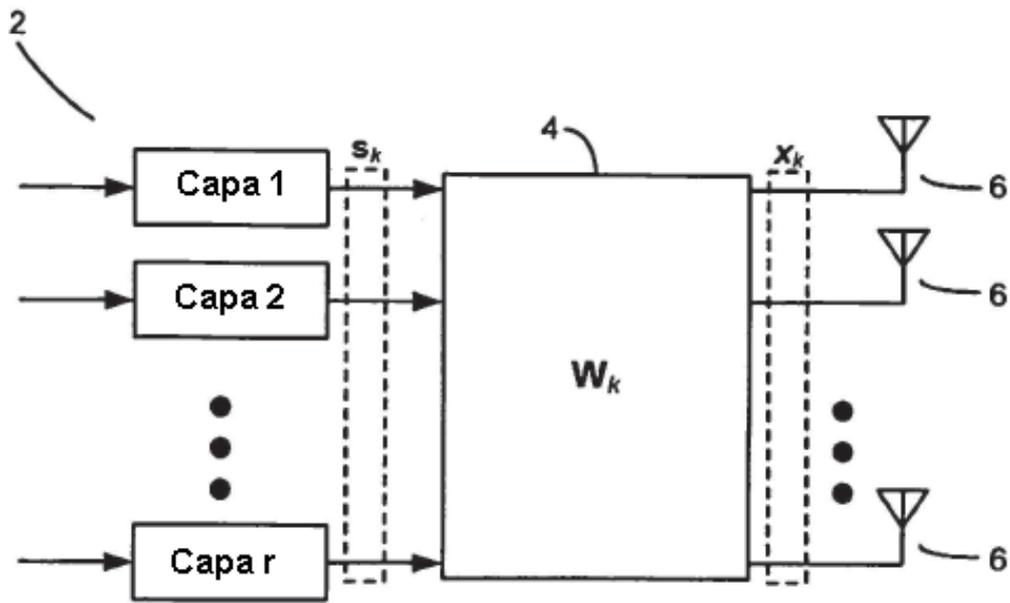


Figura 1

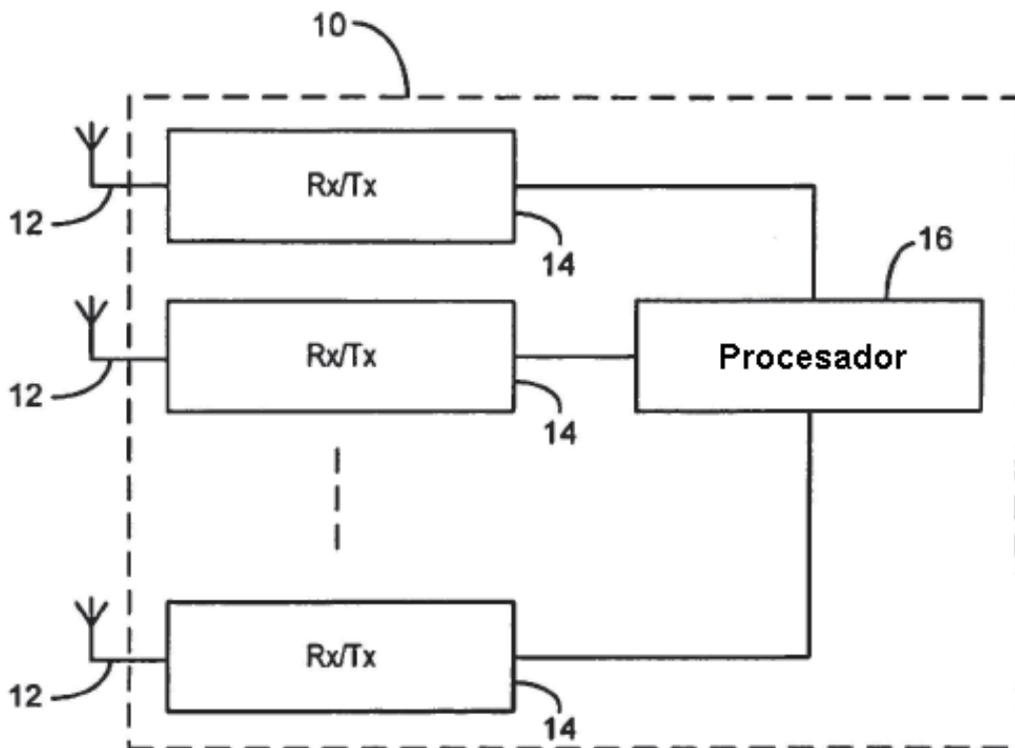


Figura 2

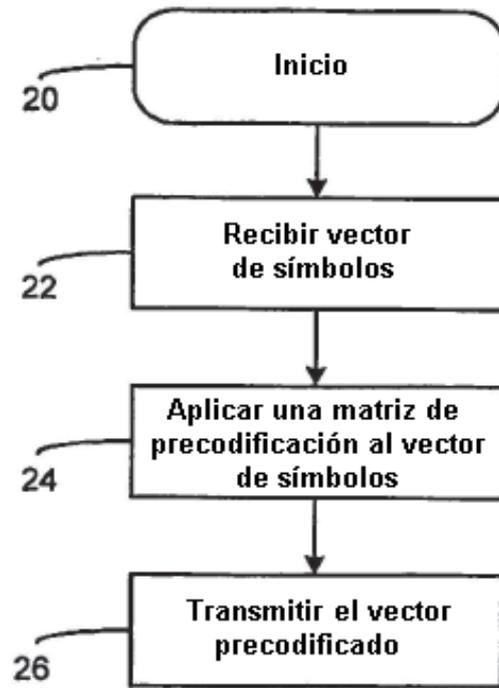


Figura 3

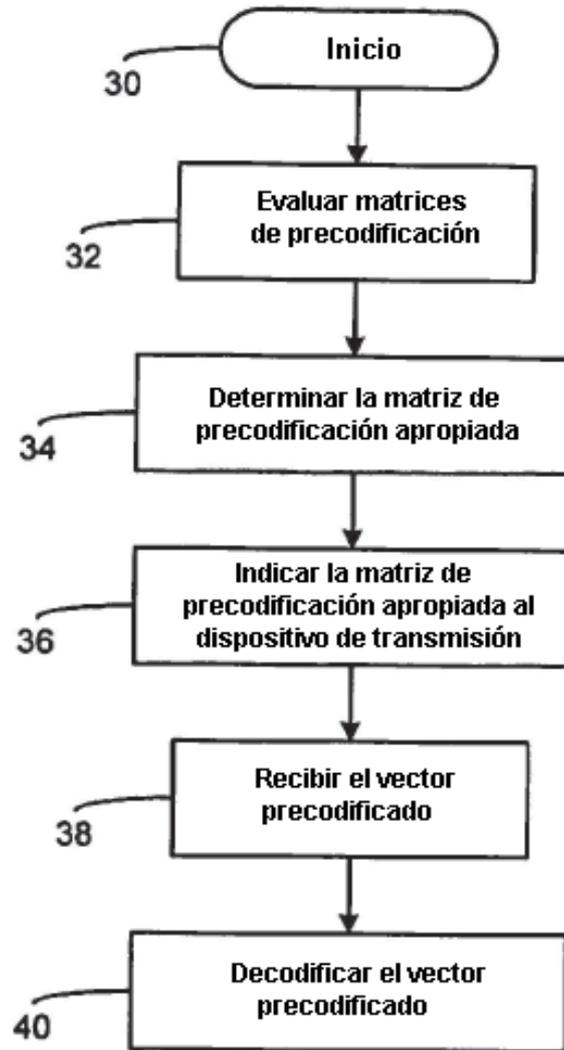


Figura 4

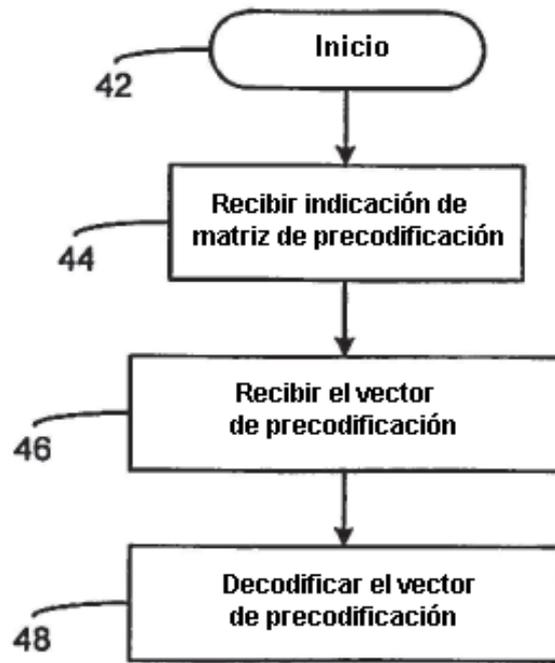


Figura 5

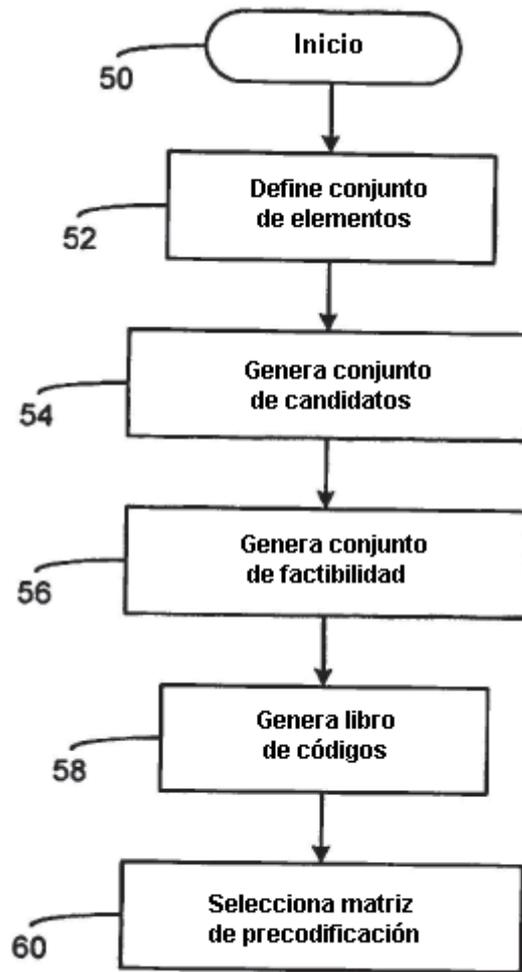


Figura 6