

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 444 119**

51 Int. Cl.:

H04B 7/04 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2011** **E 11164379 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013** **EP 2518906**

54 Título: **Procedimiento y aparato para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2014

73 Titular/es:

NTT DOCOMO, INC. (100.0%)
Sanno Park Tower 36th Floor 11-1 Nagata-cho 2-
chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-6150, JP

72 Inventor/es:

MIZUTA, SHINJI y
DIETL, GUIDO

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 444 119 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos

[0001] Unas realizaciones según la invención se refieren a sistemas de comunicación inalámbrica, especialmente a comunicaciones múltiple entrada múltiple salida multiusuario inalámbricas (MIMO), y particularmente a un procedimiento y un aparato para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica.

[0002] En el enlace descendente de sistemas de comunicación MIMO multiusuario, el diseño de precodificación y la programación de usuarios son la clave para lograr gran capacidad y baja interferencia inter-usuario. Un procedimiento de precodificación con forzado a cero (ZF- forzado a cero) se utiliza principalmente para este propósito y puede cancelar totalmente la interferencia inter-usuario si se obtiene información de estado de canal perfecta en el transceptor.

[0003] Como otro procedimiento de precodificación para llevar a cabo la propiedad de módulo constante, hay disponible un procedimiento de precodificación de sistema MIMO multiusuario definido en Rel. 8. Aunque este precodificador tiene la propiedad de módulo constante, puede no mitigar adecuadamente la baja interferencia inter-usuario. Esto es debido principalmente a que este procedimiento está basada en tecnologías MIMO de usuario único y el número de matrices de precodificación está limitado por el número de libros de códigos.

[0004] Un ejemplo de procedimiento convencional es una precodificación ZF basada en cuantización de vector de canal (CVQ). En el eNB (nodo B evolucionado), la señal precodificada $x \in \mathbb{C}^M$ se transmite sobre M antenas y se recibe en N antenas en el terminal. Con la matriz de canal de usuario k -ésima $H_k \in \mathbb{C}^{N \times M}$ y el término de ruido Gaussiano blanco complejo $n_k \in \mathbb{C}^M$ (cada entrada tiene varianza uno), la señal recibida se puede escribir como

$$y_k = H_k x + n_k \tag{1}$$

[0005] En caso de precodificación no basada en libro de códigos en el eNB, cada terminal (dispositivo inalámbrico) proporciona un Indicador de Dirección de Canal (CDI) junto con un Indicador de Calidad de Canal (CQI) a través del canal de realimentación. Aquí, el CDI es una entrada en el libro de códigos (en general representada por un índice de libro de códigos)

$$C = \{u_1, u_2, \dots, u_{2^B}\} \tag{2}$$

[0006] Que se obtiene mediante la Cuantización de vector de canal (CVQ) del vector de canal compuesto $\mathbf{h}_{eff,k}^T = \mathbf{w}_k^T H_k \in \mathbb{C}^{1 \times M}$, es decir, la combinación del canal H_k y el filtro de recepción \mathbf{w}_k en el usuario k . Puesto que el filtro de recepción de Mínimo Error Cuadrático Medio (MMSE) finalmente utilizado del usuario k depende del precodificador finalmente escogido que no se conoce en el momento de CVQ porque los canales de otros usuarios son desconocidos debido a la naturaleza no cooperativa del canal de enlace descendente, el receptor debe ser estimado tal como se describe en "3GPP, R1-070346, Philips, "Comparison of MU-MIMO feedback schemes with multiple UE receive antennas". Dicho de otro modo, el cuantizador Q_C no solo calcula el vector de canal compuesto cuantizado $\mathbf{h}_{eff,k}$ sino también una estimación de receptor \mathbf{w}_k que dependen ambos de CVQ:

$$CDI: (\hat{\mathbf{h}}_{eff,k}, \hat{\mathbf{w}}_k) = Q_C(H_k) \tag{3}$$

[0007] Debido al hecho de que los canales de otros usuarios y el precodificador finalmente escogido no es conocido cuando la información de realimentación se calcula en un terminal, el SINR como CQI deben ser aproximados teniendo en cuenta una estimación aproximada de la interferencia multiusuario causada por la información de estado de canal im perfecta en el eNB debido a la cuantización (ver "3GPP, R1-070346, Philips, "Comparison of MU-MIMO feedback schemes with multiple UE receive antennas" para detalles):

$$\text{CQI: } \gamma_k(\hat{\mathbf{h}}_{eff,k}, \hat{\mathbf{w}}_k, \mathbf{H}_k) = \frac{\frac{P_{Tx}}{M} \|\mathbf{H}_k^T \hat{\mathbf{w}}_k\|_2^2 \cos^2 \theta_k}{1 + \frac{P_{Tx}}{M} \|\mathbf{H}_k^T \hat{\mathbf{w}}_k\|_2^2 \sin^2 \theta_k}, \cos \theta_k = \frac{|\hat{\mathbf{h}}_{eff,k}^H \mathbf{H}_k^T \hat{\mathbf{w}}_k|}{\|\mathbf{H}_k^T \hat{\mathbf{w}}_k\|_2} \quad (4)$$

[0008] Mientras que los valores CQI values se usan en el eNB para programar a los usuarios de manera codiciosa tal como se describe en 23GPP, R1-070346, Philips, "Comparison of MU-MIMO feedback schemes with multiple UE receive antennas" y "3GPP, R1-062483, Philips, "Comparison between MU-MIMO codebook-based channel reporting techniques for LTE downlink" y para elegir el MCS adecuado (Esquema de Modulación y Codificación), se

utilizan los CDI para generar la matriz de canal compuesta $\hat{\mathbf{H}}_{eff} \in \mathbb{C}^{D \times M}$, con filas según los vectores de canal compuestos cuantizados de los D usuarios programados (dispositivos inalámbricos). Hay que destacar que como máximo se supone un flujo de datos (símbolo) por usuario, y por lo tanto, D es también el número de flujos de datos transmitidos simultáneamente. Siendo \mathbf{s} el vector de dimensión D de los símbolos programados y suponiendo un esquema de transmisión de forzado a cero (ZF), el precodificador ZF se calcula como

$$\mathbf{P}_{ZF} = \hat{\mathbf{H}}_{eff} (\hat{\mathbf{H}}_{eff}^H \hat{\mathbf{H}}_{eff})^{-1} \quad (5)$$

[0009] La señal precodificada calcula como

$$\mathbf{x} = \mathbf{P}_{ZF} \mathbf{D} \mathbf{s} \quad (6)$$

donde \mathbf{D} es una matriz diagonal con elementos escogidos para una carga de misma potencia.

[0010] A continuación, se describe una implementación (Basada en distancias euclídeas CVQ) del cuantizador Q_c . También son aplicables otras implementaciones de cuantificador tales como SINR a partir de CVQ.

[0011] Hay que recordar que un problema de CVQ es el hecho de que el filtro de recepción MMSE finalmente escogido (filtro de recepción de Mínimo Error Cuadrático Medio) no se conoce cuando el terminal calcula al información de realimentación debido a su dependencia del precodificador finalmente escogido y este precodificador no se puede calcular en los terminales debido a la falta de conocimiento acerca de la información de estado del canal en otros terminales (naturaleza no cooperativa del canal de enlace descendente). Para superar este obstáculo, se supone en primer lugar un filtro de recepción arbitrario. Como el vector de canal compuesto resultante es entonces una combinación lineal arbitraria de las filas de \mathbf{H}_k , se encuentra en el espacio fila de \mathbf{H}_k . Este hecho puede explotarse para CVQ en el sentido de que la entrada de libro de códigos se elige de manera que la distancia al espacio de fila de \mathbf{H}_k se minimiza. Sin embargo, para calcular el CQI, se necesita no sólo el vector de canal compuesto cuantificado sino también una estimación del filtro de recepción. En el caso de CVQ basado en la distancia euclídea, el filtro de recepción también se elige de manera que el vector de canal compuesto resultante en el espacio de filas de \mathbf{H}_k tenga la distancia euclidiana mínima del vector de canal cuantizado. Hay que destacar que el criterio de optimización del filtro de recepción resultante ya no es el error cuadrático medio como en el receptor MMSE finalmente aplicado sino la distancia euclidiana. Esto conduce a una falta de coincidencia entre la verdadera SINR y la realimentada como CQI y que se utiliza para la programación. Finalmente, el proceso del procedimiento CVQ basado en la distancia euclídea se puede resumir como:

$$\hat{\mathbf{h}}_{eff,k} = \arg \max_{\mathbf{u} \in \mathcal{C}} \|\mathbf{Q}_k^H \mathbf{u}\|_2, \mathbf{H}_k = \mathbf{Q}_k \mathbf{R}_k \text{ (QR decomposition)}$$

$$Q_c^{Euclid} : \mathbf{H}_k \mapsto (\hat{\mathbf{h}}_{eff,k}, \hat{\mathbf{w}}_k), \quad \hat{\mathbf{w}}_k = \frac{(\mathbf{H}_k^H (\mathbf{H}_k \mathbf{H}_k^H)^{-1})^T \mathbf{Q}_k \mathbf{Q}_k^H \hat{\mathbf{h}}_{eff,k}}{\|(\mathbf{H}_k^H (\mathbf{H}_k \mathbf{H}_k^H)^{-1})^T \mathbf{Q}_k \mathbf{Q}_k^H \hat{\mathbf{h}}_{eff,k}\|_2} \quad (7)$$

[0012] A continuación, se explican detalles del procedimiento de formación de haces de forzado a cero (ZF) empleando las figuras. La figura 8a muestra una ilustración esquemática de un sistema MIMO multiusuario (MU-MIMO) con una estación base y dos dispositivos inalámbricos (equipo de usuario UE). Ilustra una configuración objetivo para la transmisión de enlace descendente en un sistema MIMO multiusuario. Para ello, se desea un diseño

precodificación y su procedimiento de optimización para el ahorro de energía. En este ejemplo, la estación base comprende cuatro antenas y cada dispositivo inalámbrico comprende dos antenas. Además, La figura 8b muestra una ilustración esquemática de la precodificación de datos. La matriz de precodificación se utiliza para precodificar datos para cada antena de la estación base y los amplificadores de potencia (PA) de cada antena amplifican una señal de datos correspondiente para la transmisión.

[0013] Para esto, primero la estación base recoge la información de estado de canal ($h_{1,eff}$ to $h_{L,eff}$) de los dispositivos inalámbricos, tal como se indica en la figura 9, donde L es el número de dispositivos inalámbricos. Para precodificar con procedimiento de formación de haces de forzado a cero (ZF), se recibe información de estado del canal $h_{1,eff}$, $h_{L,eff}$ desde los dispositivos inalámbricos en el nodo. A partir de la retroalimentación de los dispositivos inalámbricos (los UE), se puede calcular un canal compuesto (matriz de canal compuesto) H_{eff} . El canal compuesto puede indicar la combinación del canal medido H_k en el usuario k y el filtro recibido w_k en el usuario k . Entonces, se puede calcular el precodificador de forzado a cero ZF P_{ZF} .

$$\hat{H}_{eff} = [\hat{h}_{1,eff}, \dots, \hat{h}_{L,eff}]$$

$$P_{ZF} = \hat{H}_{eff}^H \left(\hat{H}_{eff} \hat{H}_{eff}^H \right)^{-1}$$

ZF

[0014] La base matemática para la precodificación de datos de acuerdo con el concepto de forzado a cero se ilustra en la figura 10. Muestra un ejemplo para dos antenas de transmisión (TX) y dos dispositivos inalámbricos (UE, equipo de usuario). Como puede verse, la potencia de transmisión P_{a1} , P_{a2} entre las antenas es desigual. Los datos precodificados se transmiten a los dispositivos inalámbricos. En los dispositivos inalámbricos las señales de recepción se filtran por un filtro de recepción W para obtener los datos transmitidos.

[0015] Sin embargo, el precodificador ZF (un dispositivo que tiene una función de precodificación se conoce como un precodificador) obtenido mediante la ecuación (5) no posee una propiedad de módulo constante. Aquí, la propiedad de módulo constante significa correcciones de fase pura - es decir, sin cambios de amplitud. Por lo tanto, el precodificador ZF carga de forma desigual la potencia de transmisión para cada antena. Cada PA (amplificador de potencia) necesita dar como salida una potencia de transmisión mayor que un precodificador que satisfaga la propiedad. Como resultado, el consumo de potencia de cada PA se volverá mayor. Es el objeto de la presente invención para proporcionar un concepto mejorado para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica, que permite reducir el consumo de potencia para transmitir símbolos a la pluralidad de dispositivos inalámbricos.

[0016] Este objeto se resuelve por un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o un aparato de acuerdo con la reivindicación 14.

[0017] Una realización de la invención proporciona un procedimiento para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica. La matriz de precodificación comprende un vector de precodificación para cada dispositivo inalámbrico de la pluralidad de dispositivos inalámbricos y cada vector de precodificación comprende un elemento de precodificación para cada antena de transmisión de una pluralidad de antenas de transmisión del nodo. cada elemento de precodificación representa un desfase capaz de desplazar una fase de un símbolo a transmitir a través de la antena de transmisión correspondiente al dispositivo inalámbrico correspondiente por un ángulo de fase. El procedimiento comprende calcular una pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia para diferentes ángulos de fase. Los diferentes ángulos de fase se aplican sucesivamente a un elemento de precodificación de un vector de precodificación para el cálculo de los indicadores de intensidad de interferencia. Un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de una matriz de precodificación que comprende el elemento de precodificación considerando los diferentes ángulos de fase respectivos. Además, el procedimiento comprende seleccionar para el elemento de precodificación del vector de precodificación un ángulo de fase correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia calculado que satisface un criterio de intensidad de interferencia predefinido.

[0018] Realizaciones según la presente invención se basan en la idea central de que una matriz de precodificación que comprende una propiedad de módulo constante obtenida por elementos de precodificación son un desfase mientras que los ángulos de fase para los desfases se determinan considerando una intensidad de interferencia entre dispositivos inalámbricos provocada por una transmisión simultánea de datos a los dispositivos inalámbricos. De esta manera, el consumo de potencia para transmitir datos a la pluralidad de dispositivos inalámbricos por el

nodo se puede reducir significativamente, puesto que los diferentes amplificadores de potencia de las diferentes antenas del transmisor del nodo comprende potencia transmisión y consumo de potencia iguales, mientras que la tasa sumada es alta debido a la baja intensidad de interferencia.

5 **[0019]** En algunas realizaciones según la invención todos los elementos de precodificación de la matriz de precodificación representan un desfasador capaz de desplazar la fase de un símbolo a transmitir sin cambiar una amplitud del símbolo. Por lo tanto, el consumo de potencia para a transmisión de datos a través de cada antena de transmisión de la pluralidad de antenas de transmisión del nodo puede ser igual.

10 **[0020]** Algunas realizaciones según la invención comprenden precodificar los símbolos a transmitir a la pluralidad de dispositivos inalámbricos con la matriz de precodificación utilizando el ángulo de fase seleccionado para el elemento de precodificación del vector de precodificación. Los símbolos precodificados pueden ser entonces transmitidos a través de la pluralidad de antenas de transmisión.

15 **[0021]** Las realizaciones según la invención se detallarán posteriormente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos;

20 La figura 2 es una ilustración esquemática de a transmisión de datos a dispositivos inalámbricos;

La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos;

25 Las figuras 4a, 4b ilustran una comparación esquemática de un procedimiento propuesto con el procedimiento de forzado a cero;

30 La figura 5a, 5b son unas ilustraciones esquemáticas que comparan la base matemática de un procedimiento propuesto y el procedimiento de forzado a cero conocido;

La figura 6 es un diagrama que indica una comparación de la eficacia del procedimiento propuesto y un procedimiento de entrada múltiple salida múltiple multiusuario con forzado a cero basado en cuantización de vector de canal conocido;

35 La figura 7 es un diagrama de bloques de un aparato para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos;

La figura 8a es una ilustración esquemática de un sistema de entrada múltiple salida múltiple multiusuario;

40 La figura 8b es una ilustración esquemática de la precodificación de datos;

La figura 9 es una ilustración esquemática de la recepción de información de estado del canal; y

45 La figura 10 es una ilustración de la base matemática del procedimiento de forzado a cero conocido;

[0022] En lo que sigue, los mismos números de referencia se utilizan en parte para los objetos y las unidades funcionales que tienen las mismas o similares propiedades funcionales y su descripción con respecto a una figura se aplicará también a otras figuras con el fin de reducir la redundancia en la descripción de las formas de realización.

50 **[0023]** La figura 1 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento 100 para determinar una matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} (matriz de precodificación optimizada) para precodificar símbolos \mathbf{s} a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica según una realización de la invención. La matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} , \mathbf{P} comprende un vector de precodificación \mathbf{p}_k para cada dispositivo inalámbrico de la pluralidad de dispositivos inalámbricos y cada vector de precodificación \mathbf{p}_k comprende un elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ para cada antena de transmisión de la pluralidad de antenas de transmisión del nodo. Además, cada elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ representa un desfasador capaz de desplazar una fase de un símbolo \mathbf{s} a transmitir a través de la antena de transmisión correspondiente al dispositivo inalámbrico correspondiente por un ángulo de fase. El procedimiento 100 comprende calcular 110 una pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia para diferentes ángulos de fase θ . Los diferentes ángulos de fase se aplican sucesivamente a un elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ de un vector de precodificación \mathbf{p}_k para el cálculo de los indicadores de intensidad de interferencia. Un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de una matriz de precodificación \mathbf{P} que comprende el elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ considerando los diferentes ángulos de fase θ respectivos. Además, el procedimiento 100 comprende seleccionar 120 un ángulo de fase θ correspondiente al indicador de intensidad de interferencias calculado que satisface un criterio de intensidad de

interferencia predefinido para el elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ del vector de precodificación \mathbf{p}_k para obtener la matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} (matriz de precodificación optimizada) para precodificar símbolos \mathbf{s} a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos.

5 **[0024]** Un indicador de intensidad de interferencia representa una intensidad de interferencia entre dispositivos inalámbricos provocada por la transmisión simultánea de datos a los dispositivos inalámbricos por un nodo, si uno de los diferentes ángulos de fase θ se aplica al elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$.

10 **[0025]** Un indicador de intensidad de interferencia puede definirse de diferentes maneras. La definición actual del indicador de intensidad de interferencia puede influir en la velocidad de datos máxima alcanzable y el esfuerzo computacional requerido. Por ejemplo, una representación más precisa del fondo físico de la interferencia entre los dispositivos inalámbricos puede dar lugar a un esfuerzo computacional superior y viceversa.

15 **[0026]** El criterio de intensidad de interferencia predefinido también puede definirse de varias maneras. Por ejemplo, el criterio de intensidad de interferencia predefinido podría ser seleccionar un ángulo de fase correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia calculado que indica una de las intensidades de interferencia menores (por ejemplo una de las cinco intensidades de interferencia menores). Preferentemente, se selecciona un ángulo de fase correspondiente al indicador de intensidad de interferencia calculado que indica la intensidad de interferencia menor de la pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia calculados. Como alternativa, se puede seleccionar un ángulo de fase correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia que indica una intensidad de interferencia menor que un umbral de interferencia. Mediante el establecimiento del umbral de interferencia, se puede ajustar el tiempo del cálculo de la matriz de precodificación y / o la velocidad de transmisión máxima alcanzable. Dicho de otro modo, el criterio de intensidad de interferencia predefinido se puede satisfacer para un indicador de intensidad de interferencia calculado que indica la intensidad de interferencia menor de la pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia calculados o el criterio de intensidad de interferencia predefinido se puede satisfacer para un indicador de intensidad de interferencia calculado que indica una intensidad de interferencia menor que un umbral de interferencia, por ejemplo.

30 **[0027]** Un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica puede ser una estación base o un nodo de relé, por ejemplo. Además, un dispositivo inalámbrico puede ser un teléfono móvil o un ordenador portátil que requiera una transmisión inalámbrica de datos, por ejemplo.

35 **[0028]** Opcionalmente, el procedimiento 100 también puede comprender precodificar los símbolos \mathbf{s} a transmitir a la pluralidad de dispositivos inalámbricos con la matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} aplicando el ángulo de fase seleccionado θ aplicado al elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ del vector de precodificación \mathbf{p}_k . Además, los símbolos precodificados pueden ser transmitidos a la pluralidad de dispositivos inalámbricos.

40 **[0029]** En algunas realizaciones de la invención, todos los elementos de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ de la matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} representan un desfasador capaz de desplazar la fase de un símbolo \mathbf{s} a transmitir sin cambiar una amplitud del símbolo \mathbf{s} (de una señal que contiene el símbolo \mathbf{s}). Dicho de otro modo, solamente se puede variar la fase del símbolo para generar las señales para una transmisión a través de las diferentes antenas del nodo mientras que la amplitud puede ser la misma para todas las antenas. Como alternativa, se puede cambiar la amplitud del símbolo, pero siendo el factor de amplificación igual para cada antena de transmisión de la pluralidad de antenas de transmisión. De esta manera, la potencia transmitida de cada antena de transmisión de la pluralidad de antenas de transmisión del nodo es igual (por ejemplo con una tolerancia de +/- 1 %, +/- 5 %, +/- 10 % de la potencia transmitida de una antena de transmisión), de modo que el consumo de potencia global del nodo se puede reducir en comparación con los conceptos conocidos.

50 **[0030]** Si todos los elementos de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ representan un desfasador, los indicadores de intensidad de interferencia se pueden calcular para cada elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ y para cada elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ se puede seleccionar un ángulo de fase. Dicho de otro modo, se puede calcular un indicador de intensidad de interferencia para diferentes ángulos de fase θ aplicado a cada elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ de cada vector de precodificación \mathbf{p}_k de la matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} . Además, se puede seleccionar un ángulo de fase θ para cada elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ de cada vector de precodificación \mathbf{p}_k correspondiente al indicador de intensidad de interferencia calculado que indica la intensidad de interferencia menor de todos los indicadores de intensidad de interferencia calculados.

60 **[0031]** Estos indicadores de intensidad de interferencia se pueden calcular de forma iterativa aplicando diferentes conjuntos de ángulos de fase a diferentes elementos de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$. Esto se puede realizar por una pluralidad de bucles, variando en cada iteración un ángulo de fase de un elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ específico.

65 **[0032]** Los diferentes ángulos de fase puede escogerse arbitrariamente entre 0 y 2π . Por ejemplo, se pueden seleccionar los ángulos de fase aleatoriamente entre 0 y 2π a aplicar a un elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ o se puede seleccionar de un conjunto predefinido de ángulos de fase Θ . El conjunto predefinido de ángulos de fase

Θ puede comprender una distribución equidistante (u otra distribución determinista) o una distribución aleatoria de ángulos de fase θ de 0 a 2π. Dicho de otro modo, los diferentes ángulos de fase θ que se aplican a un elemento de precodificación $e^{j\theta_{i,k}}$ pueden estar contenidos en un conjunto predefinido de ángulos de fase Θ que comprende una distribución equidistante de ángulos de fase θ de 0 a 2π.

5 [0033] Tal como se ha dicho más arriba, se puede definir un indicador de intensidad de interferencia de varias maneras diferentes. Por ejemplo, se puede calcular un indicador de intensidad de interferencia a partir de una multiplicación de una matriz de canal H_{eff} y la matriz de precodificación P . La matriz de canal H_{eff} puede estar basada en una información de estado de canal recibida desde la pluralidad de dispositivos inalámbricos. La matriz de canal
10 puede caracterizar los canales entre el nodo y la pluralidad de dispositivos inalámbricos.

[0034] En un ejemplo más detallado, un indicador de intensidad de interferencia se puede calcular a partir de una diferencia entre una matriz de supresión de interferencias y un resultado de la multiplicación de la matriz de canal H_{eff} y la matriz de precodificación P . En este ejemplo, la matriz de supresión de interferencias puede ser una matriz
15 identidad I , una matriz identidad aI ponderada (escalada) (por ejemplo se calculan indicadores de intensidad de interferencia para diferentes valores de ponderación a para la matriz identidad ponderada aI) o la matriz de supresión de interferencias puede ser una matriz diagonal (por ejemplo se pueden calcular indicadores de intensidad de interferencia para los diferentes conjuntos de elementos de la diagonal d de la matriz diagonal D).

20 [0035] Para la programación de dispositivos inalámbricos, el procedimiento propuesto se puede combinar con el procedimiento de forzado a cero para reducir la complejidad computacional.

[0036] A continuación, algunas realizaciones de la invención se describen con más detalle. Las características
25 descritas pueden ser utilizadas juntas o pueden ser utilizadas independientemente entre sí en combinación con el concepto básico descrito anteriormente. Algunas de las explicaciones siguientes se refieren a un nodo con dos antenas de transmisión que dan servicio a dos antenas inalámbricas, sin embargo, la aplicabilidad del concepto propuesto no se limita a un sistema de este tipo y también se puede aplicar a un número arbitrario de antenas de transmisión de un nodo y un número arbitrario de dispositivos inalámbricos.

30 [0037] Como se mencionó anteriormente, el procedimiento convencional obtiene la matriz de precodificación por el procedimiento ZF. Sin embargo, este precodificador no satisface necesariamente la propiedad de módulo constante, lo que significa correcciones de fase pura - es decir, sin cambios de amplitud, por ejemplo. Por lo tanto, el precodificador ZF carga de manera desigual la potencia de transmisión para cada antena. Esto provoca algunos
35 problemas en los amplificadores de potencia (AP) conectados a la antena. Cada PA necesita dar como salida una potencia de transmisión más alta que la de un precodificador que satisface la propiedad. Como resultado, el consumo de potencia de cada PA se volverá mayor. El procedimiento propuesto abordan los problemas descritos anteriormente, y tiene como objetivo garantizar que los PAs conectados a cada antena se cargan de la misma manera realizando la propiedad de módulo constante. Para ello, se puede definir un precodificador con propiedad de módulo constante. Entonces, se explica un procedimiento de optimización para que el precodificador minimice la
40 interferencia inter-usuario (IUI) proporcionando un precodificador a partir de módulo constante.

[0038] El precodificador se puede definir tal como sigue:

$$P = [P_1, P_2, \dots, P_D] \quad (8)$$

donde

$$P_k = [e^{j\theta_{1k}}, e^{j\theta_{2k}}, \dots, e^{j\theta_{Mk}}]^T, k \in \{1, \dots, D\} \quad (9)$$

45 [0039] Cada vector columna corresponde al precodificador del usuario seleccionado (dispositivo inalámbrico) si se supone un flujo de datos por usuario. Dado que cada elemento (elemento de precodificación) del vector (vector de precodificación) es un desfaseador, el precodificador propuesto tiene una propiedad de módulo constante. Es decir, el precodificador corrige únicamente la fase sin cambios de amplitud. A continuación, se describen una función de optimización y un ejemplo de un algoritmo, y mostramos cómo seleccionar el mejor conjunto de $\theta_{i,k}$, $i \in \{1, \dots, M\}$, $k \in \{1, \dots, D\}$ para minimizar la interferencia entre usuarios (IUI - inter user interference). Dicho de otro modo, la matriz de precodificación propuesta puede comprender sólo corrección de fase. De esta manera, la propiedad de módulo constante puede satisfacerse siempre.

55 [0040] A continuación se explica un ejemplo para seleccionar el conjunto óptimo de $\theta_{i,k}$. Si se satisface la siguiente ecuación, la IUI se puede suprimir:

$$\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} = \mathbf{I} \quad (10)$$

5 donde \mathbf{I} es la matriz identidad $D \times D$ (D es el número de dispositivos inalámbricos). Dicho de otro modo, si esto se puede lograr, cada vector de precodificación de equipo de usuario (UE) se volverá ortogonal a los otros canales de UEs y se suprimirán las IUI. Debido a la propiedad de módulo constante, es imposible satisfacer la ecuación anterior (10). Por lo tanto, al menos, $\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P}$ tiene que ser tan cercano a la matriz identidad como para ajustar los elementos de \mathbf{P} . La matriz obtenida no suprimiría completamente la IUI ya que no satisface la ecuación (10). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el precodificador se calcula utilizando la estimación de matriz de canal efectiva $\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}$. La matriz $\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}$ incluye un error de cuantización comparado con el canal real. Por lo tanto, se mantendría una cierta cantidad de IUI incluso si se satisficiera la ecuación. Por otro lado, el precodificador ZF también se obtiene por $\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}$ y permanecerían también algunos IUI. Por lo tanto, se despreciaría el deterioro provocado por el por el procedimiento propuesto.

10 **[0041]** Con la finalidad de hacer que $\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P}$ sea parecida la matriz identidad, se puede describir una ecuación objetivo de la siguiente manera:

$$\mathbf{P}_{\text{CM}} = \arg \min_{\mathbf{P} \in \Pi} \left\| \widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{I} \right\|_{\text{F}}^2; \Pi = \{ \mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi] \} \quad (11)$$

15 **[0042]** En la ecuación (11), \mathbf{I} puede ser reemplazada por la matriz de identidad escalada o una matriz diagonal. Podemos describir estas fórmulas como sigue:

$$(\mathbf{P}_{\text{CM}}, a_{\text{CM}}) = \arg \min_{\mathbf{P} \in \Pi, a \in \mathbb{R}_+} \left\| \widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - a\mathbf{I} \right\|_{\text{F}}^2; \Pi = \{ \mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi] \}, \quad (12)$$

$$(\mathbf{P}_{\text{CM}}, \mathbf{D}_{\text{CM}}) = \arg \min_{\substack{\mathbf{P} \in \Pi, \\ \mathbf{D} \in \text{diag}(d_1, \dots, d_D)}} \left\| \widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{D} \right\|_{\text{F}}^2; \Pi = \{ \mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi] \} \quad (13)$$

20 **[0043]** En relación con esto, \mathbf{P}_{CM} es la matriz de precodificación a determinar, $\widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}}$ es una matriz de canal basada en una información de estado de canal recibida desde la pluralidad de dispositivos inalámbricos, \mathbf{P} es una matriz de precodificación considerando un ángulo de fase específico de los diferentes ángulos de fase para un elemento de precodificación, \mathbf{I} es una matriz identidad, Π es un conjunto de matrices de precodificación considerando diferentes ángulos de fase, a es un factor de ponderación, \mathbf{D} es una matriz diagonal con elementos $d_1 - d_D$, $e^{j\theta_{i,k}}$ es un elemento de precodificación, $\theta_{i,k}$ es un ángulo de fase, a_{CM} es un factor de ponderación correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia que indica la intensidad de interferencia menor, \mathbf{D}_{CM} es una matriz diagonal correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia que indica la intensidad de interferencia menor y

$$\left\| \widehat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{D} \right\|_{\text{F}}^2$$

es un indicador de intensidad de interferencia.

30 **[0044]** Sin embargo, la variable escalar a o los valores de la diagonal en \mathbf{D} se deben optimizar en la ecuación (12) o (13), respectivamente. Estas ecuaciones se pueden utilizar si se requiere un rendimiento más alto que la ecuación (11). A continuación, se explica un ejemplo de un algoritmo para sólo la Ecuación (11), pero se utilizará técnicas similares para las otras dos ecuaciones. Por simplicidad, se explica el caso de $D = 2$ y $M = 2$. El precodificador se puede escribir como

$$\mathbf{P}_{CM} = [\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2] = \begin{bmatrix} e^{j\theta_{1,1}} & e^{j\theta_{1,2}} \\ e^{j\theta_{2,1}} & e^{j\theta_{2,2}} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\in \left\{ m \frac{2\pi}{N} \mid m \in \{0, 1, \dots, N-1\} \right\}$$

[0045] En primer lugar, se define el número finito de conjunto θ . El algoritmo se basa en la idea de encontrar la tupla de fase óptima $\theta_{opt} \in [0, 2\pi[4$ (ángulos de fase) para minimizar

$$\left\| \widehat{\mathbf{H}}_{eff} \mathbf{P} - \mathbf{I} \right\|_F^2$$

(indicador de intensidad de interferencia) calcular todas las combinaciones posibles t como se muestra en el Algoritmo 1 siguiente. Finalmente, se puede obtener \mathbf{P}_{CM} a partir de θ_{opt} .

Algoritmo 1:

[0046]

Temp Value is initialized (relatively high value).

for $\theta_{1,1} \in \theta$ do

for $\theta_{2,1} \in \theta$ do

for $\theta_{1,2} \in \theta$ do

for $\theta_{2,2} \in \theta$ do

compute TempValue = $\left\| \widehat{\mathbf{H}}_{eff} \mathbf{P} - \mathbf{I} \right\|_F^2$

if TempValue is smaller than the previous TempValue then

$\theta_{opt} \leftarrow [\theta_{1,1}, \theta_{2,1}, \theta_{1,2}, \theta_{2,2}]^T$

end

end

end

end

end

[0047] La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos según una realización de la invención. Ilustra un ejemplo para un nodo con dos antenas de transmisión y dos dispositivos inalámbricos como también se describe por el algoritmo 1 anterior. Primero, se establece un indicador de intensidad de interferencia inicial por un valor inicial (tempold). El valor inicial puede ser elegido relativamente alto, lo que significa un valor más alto que un indicador de intensidad de interferencia máximo estimado o un indicador de intensidad de interferencia promedio estimado. Entonces, se calculan los indicadores de intensidad de interferencia temp (o tempvalue) para diferentes ángulos de fase $\theta_{1,1}$, $\theta_{1,2}$, $\theta_{2,1}$ y $\theta_{2,2}$ ($0, 2\pi$ y $2\pi/N$, en el que N es la resolución). Además, se actualiza un conjunto de ángulos de fase óptimos θ_{opt} con el conjunto de ángulos de fase aplicado actualmente, si el nuevo indicador de intensidad de interferencia temp es menor que el antiguo indicador de intensidad de interferencia temp_old y el antiguo indicador de intensidad de interferencia temp_old se establece como igual al indicador de intensidad de interferencia temp. Tras el cálculo de indicadores de intensidad de interferencia para todas las permutaciones de diferentes ángulos de fase para los diferentes elementos de precodificación, se obtiene un conjunto θ_{opt} de vectores de precodificación $\theta_{1,1}$, $\theta_{1,2}$, $\theta_{2,1}$ y $\theta_{2,2}$ correspondiente al indicador de intensidad de

interferencia calculado menor. Este conjunto de ángulos de fase se puede utilizar para la matriz de precodificación a aplicar para precodificar símbolos a transmitir a la pluralidad de dispositivos inalámbricos.

5 **[0048]** A continuación, se explica un ejemplo para a programación procedimiento para el procedimiento propuesto. Un procedimiento convencional puede ser aplicado para el programador. Como procedimiento de programación general, en primer lugar el programador utiliza la información de realimentación y preselecciona usuarios que tienen la mejor tasa o tienen la mejor métrica según, por ejemplo, programación de Equidad Proporcional (PF). Después de esto, se encuentra la mejor combinación para MIMO multi-usuario de estos usuarios preseleccionados teniendo en cuenta la IUI. Después de esto, se encuentra la mejor combinación para MIMO multi-usuario de estos usuarios preseleccionados IUI, por ejemplo, el precodificador se calcula utilizando el algoritmo exhaustivo anterior para los usuarios seleccionados y luego se calcula la IUI. Sin embargo, este procedimiento aumentará la complejidad computacional debido a que la búsqueda exhaustiva se realiza para todas las combinaciones. Con el fin de reducir la complejidad computacional, podría ser útil combinar el procedimiento ZF y el procedimiento propuesto. La mejor combinación de usuarios para MIMO multi-usuario se selecciona por el procedimiento ZF convencional. Después de esto, la matriz de precodificador para los usuarios seleccionados se calcula con el procedimiento propuesto. En otras palabras, el procedimiento propuesto puede ser utilizado sólo una vez en la última fase. Si se utiliza esta técnica, se puede reutilizar eficazmente el procedimiento convencional y también se puede reducir la complejidad computacional.

20 **[0049]** A continuación, se presentan resultados de simulación de nivel de capacidad con el procedimiento propuesto. Los parámetros utilizados para la simulación se muestran en la Tabla 1. La figura 6 muestra la diferencia de rendimiento entre el procedimiento ZF basado en CVQ convencional y el procedimiento propuesto. El rendimiento del procedimiento propuesto está cerca del procedimiento ZF basado en CVQ. El procedimiento propuesto no puede alcanzar la ecuación (10) y por lo tanto, no se puede eliminar completamente una cierta cantidad de IUI. por lo tanto, no se puede eliminar completamente una cierta cantidad de $H_{\text{eff}} P_{\text{ZF}} = 1$. Sin embargo, la estimación de la matriz de canal efectiva H_{eff} incluye el error de cuantificación en comparación con el canal real. Por lo tanto, debido a este error también permanecería una cierta cantidad de IUI. Por lo tanto, la diferencia entre el procedimiento propuesto y el ZF convencional se vuelve pequeño.

30 Parámetros de Simulación

Número de antenas TX	4
Número de antenas RX	1
Número de usuarios	20
Número de bits de realimentación	4bit
Correlación de canal	no correlacionado

35 **[0050]** Dicho de otro modo, La figura 6 muestra una simulación de nivel de capacidad para un sistema de entrada múltiple salida múltiple multiusuario forzado a cero basado en una cuantización de vector de canal (ZF MU-MIMO basado en CVQ) en comparación con el procedimiento propuesto. El rendimiento es equivalente al sistema de entrada múltiple salida múltiple multiusuario con forzado a cero, mientras se pueden obtener ahorros en el consumo total de energía por un factor de hasta cuatro. En este ejemplo, se simula un nodo con cuatro antenas de transmisión TX y 20 dispositivos inalámbricos (usuarios) con cada uno una antena de recepción RX. Además, se utiliza una realimentación de 4 bits y una resolución N de 32 con canales no correlacionados.

40 **[0051]** El diagrama indica la relación señal a ruido SNR en dB en función de la velocidad en bps/Hz.

45 **[0052]** Algunas realizaciones de la invención se refieren a una precodificación MIMO (entrada múltiple salida múltiple) multiusuario similar al forzado a cero a partir de la propiedad de módulo constante. Se propone un nuevo procedimiento de precodificación MU-MIMO para redes celulares inalámbricas con la finalidad de reducir el consumo de potencia de amplificadores de potencia (PAs). La presente invención permite que un precodificador tenga la propiedad de módulo constante intentando a la vez mitigar la interferencia multiusuario al máximo, por ejemplo. La propiedad logra correcciones de fase pura sin cambios de amplitud. Un procedimiento convencional tal como el procedimiento de forzado a cero (ZF) no garantiza que los APs conectados a cada antena se carguen por igual debido a la falta de esta propiedad. Por lo tanto, cada AP necesita dar como salida una potencia de transmisión mayor que la de un precodificador que satisface la propiedad. Como resultado, el consumo de potencia de cada PA se volverá mayor.

50 **[0053]** La presente invención se refiere a los problemas descritos anteriormente, y tiene como objetivo garantizar que los APs conectados a cada antena se cargan a partes iguales mediante la realización de la propiedad de módulo constante, por ejemplo.

60 **[0054]** La presente invención permite que los APs conectados a cada antena se carguen de forma equitativa en comunicaciones MIMO multiusuario, lo que permite que todos los APs conectados a cada antena funcionen en la zona de alta eficiencia energética. En consecuencia, se puede reducir el consumo de energía en los eNBs y reducir los OPEX (gastos operativos) eventualmente. Por lo tanto contribuye a proporcionar tecnologías verdes para el

futuro sistema comercial. Se demostró que el procedimiento propuesto ofrece un rendimiento similar en términos de capacidad que la técnica ZF MU-MIMO convencional basada en CVQ.

5 [0055] La figura 2 ilustra un ejemplo para una transmisión desde un nodo 210 (por ejemplo estación base) a dispositivos inalámbricos 220 que indica los datos a transmitir y una interferencia inter-usuario SINR donde PS indica una potencia de señal, donde PN indica una potencia de ruido y PI indica una potencia Inter-usuario. Para interferencia inter-usuario baja, se utiliza principalmente la formación de haces por forzado a cero con conceptos conocidos. El concepto propuesto puede permitir una baja interferencia inter-usuario y alta eficiencia de potencia.

10 [0056] Las figuras 4a y 4b muestran una comparación del procedimiento de forzado a cero y un procedimiento de propiedad de módulo constante que representa el concepto propuesto. La precodificación con forzado a cero carga de manera desigual la potencia de transmisión P en cada amplificador de potencia, de manera que el rango de potencia alcanza desde 0 a $2P_{\max}$, en el que P_{\max} indica la potencia de transmisión máxima del procedimiento de propiedad de módulo constante, que comprende un rango de potencia que va de 0 a P_{\max} . Esto muestra que el
15 procedimiento de forzado a cero ZF puede necesitar como máximo una potencia de salida doble. Dicho de otro modo, el consumo de potencia (del procedimiento ZF) puede ser duplicado en cada amplificador de potencia (en comparación con el concepto propuesto).

20 [0057] Las figuras 5a y 5b comparan el procedimiento de optimización para el precodificador propuesto (procedimiento propuesto de la figura 5b) con el procedimiento de forzado a cero (ZF en la figura 5a). En el caso del procedimiento de forzado a cero, el producto de la matriz de precodificación \mathbf{P}_{ZF} y la matriz de canal \mathbf{H}_{eff} siempre es la matriz identidad I. En comparación, el procedimiento propuesto trata de optimizar el producto de la matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} y la matriz de canal \mathbf{H}_{eff} para que sea lo mas parecida a la matriz identidad, por ejemplo. Por ejemplo, se puede definir un indicador de intensidad de interferencia por

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{I} &= \begin{bmatrix} \hat{h}_{1,1} & \hat{h}_{1,2} \\ \hat{h}_{2,1} & \hat{h}_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\theta_{1,1}} & e^{j\theta_{1,2}} \\ e^{j\theta_{2,1}} & e^{j\theta_{2,2}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \hat{h}_{1,1}e^{j\theta_{1,1}} + \hat{h}_{1,2}e^{j\theta_{2,1}} - 1 & \hat{h}_{1,1}e^{j\theta_{2,1}} + \hat{h}_{1,2}e^{j\theta_{2,2}} \\ \hat{h}_{2,1}e^{j\theta_{1,1}} + \hat{h}_{2,2}e^{j\theta_{2,1}} & \hat{h}_{2,1}e^{j\theta_{1,2}} + \hat{h}_{2,2}e^{j\theta_{2,2}} - 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

25 o

$$\begin{aligned} \|\hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{I}\|_F^2 &= \left| \hat{h}_{1,1}e^{j\theta_{1,1}} + \hat{h}_{1,2}e^{j\theta_{2,1}} - 1 \right|^2 + \left| \hat{h}_{1,1}e^{j\theta_{2,1}} + \hat{h}_{1,2}e^{j\theta_{2,2}} \right|^2 \\ &\quad + \left| \hat{h}_{2,1}e^{j\theta_{1,1}} + \hat{h}_{2,2}e^{j\theta_{2,1}} \right|^2 + \left| \hat{h}_{2,1}e^{j\theta_{1,2}} + \hat{h}_{2,2}e^{j\theta_{2,2}} - 1 \right|^2 \end{aligned}$$

30 [0058] Esto ilustra un ejemplo de un nodo con dos antenas de transmisión y dos dispositivos inalámbricos. En este ejemplo, los indicadores de intensidad de interferencia son funciones de $\theta_{1,1}$, $\theta_{1,2}$, $\theta_{2,1}$ y $\theta_{2,2}$ que representan ángulos de fase de diferentes elementos de precodificación $e^{j\theta_{i,k}}$.

[0059] Por lo tanto, la matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} puede obtenerse seleccionando ángulos de fase $\theta_{i,k}$:

$$\mathbf{P}_{CM} = \arg \min_{\mathbf{P} \in \Pi} \|\hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{I}\|_F^2; \Pi = \{\mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi]\}$$

35 [0060] Con el concepto propuesto, se pueden reducir el consumo de potencia en eNBs (nodo B evolucionado) y los OPEX (gastos de operación expenses). Además, el procedimiento propuesto may contribuye a proporcionar tecnología verde para los sistemas comerciales futuros y se pueden generar ingresos.

40 [0061] La figura 7 muestra un diagrama de bloques de un aparato 800 para determinar una matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} para precodificar símbolos s a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica según una realización de la invención. La matriz de precodificación \mathbf{P}_{CM} comprende un vector de precodificación \mathbf{p}_k para cada dispositivo inalámbrico de la pluralidad de dispositivos

inalámbricos y cada vector de precodificación \mathbf{p}_k comprende un elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ para cada antena de transmisión de una pluralidad de antenas de transmisión del nodo. cada elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ representa un desfasador capaz de desplazar una fase de un símbolo s a transmitir a través de la antena de transmisión correspondiente al dispositivo inalámbrico correspondiente por un ángulo de fase θ . The aparato 800 comprende un procesador 810 configurado para calcular una pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia para diferentes ángulos de fase θ . Los diferentes ángulos de fase se aplican sucesivamente a un elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ de un vector de precodificación \mathbf{p}_k . Un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de la matriz de precodificación \mathbf{P} que comprende el elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ considerando los diferentes ángulos de fase respectivos θ . Además, el procesador 810 selecciona para el elemento de precodificación $e^{j\theta}_{i,k}$ del vector de precodificación \mathbf{p}_k un ángulo de fase θ correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia calculado que satisface un criterio de intensidad de interferencia predefinido.

[0062] El aparato 800 o el procesador 810 del aparato 810 pueden comprender una o más características adicionales o unidades que realizan uno o más aspectos del concepto descrito anteriormente.

[0063] Por ejemplo, el aparato 800 también puede comprender a precodificador para precodificar símbolos a transmitir a los dispositivos inalámbricos. Además, el aparato 800 puede comprender un transmisor para transmitir los símbolos precodificados al dispositivo inalámbrico.

[0064] El procesador 810, el precodificador, el transmisor y/u otras unidades opcionales del aparato 800 pueden ser unidades de hardware independientes o parte de un ordenador, un microcontrolador o un procesador de señal digital, así como un programa de ordenador o un producto de software para ejecutar en un ordenador, un microcontrolador o un procesador de señal digital.

[0065] Algunas realizaciones de la invención se refieren a una estación base de un sistema de comunicación inalámbrica que comprende un aparato para determinar una matriz de precodificación para precodificar símbolos a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos según el concepto descrito t.

[0066] Algunas realizaciones de la invención se refieren a un procedimiento para precodificar símbolos de entrada con una matriz de precodificación que comprende el ajuste de fase de dichos símbolos de entrada en un sistema MIMO multiusuario. El procedimiento comprende las etapas de ajuste de fase inicial en dicha matriz de precodificación y el cálculo de un valor de una función de evaluación (indicador de intensidad de interferencia) usando dicha matriz de precodificación y una matriz de canal consistente (que contiene) en retroalimentación (o parámetros obtenidos a partir de la retroalimentación) de UEs seleccionados (dispositivos inalámbricos, equipo de usuario). Además, el procedimiento comprende comparar el valor y un valor de referencia, ajustar la fase de dicha matriz de precodificación de modo que dicho valor se vuelve menor que el valor de referencia y precodificar los símbolos de entrada con la matriz de precodificación resultante.

[0067] En algunos ejemplos, dicha evaluación de función es comparar un producto de dicha matriz de canal y la matriz de precodificación con la matriz de referencia (matriz de supresión de interferencias). Dicha matriz de referencia puede ser una matriz diagonal definida positiva, una matriz identidad escalada (ponderada), o no escalada.

[0068] En algunas realizaciones, dicho valor de referencia se cambia al menor valor de la función de evaluación para cada turno de repetición. Dicho valor de referencia puede ser un valor predeterminado.

[0069] Según un aspecto, dichas fases se seleccionan de un número finito predeterminado de conjuntos de fase.

[0070] En algunos ejemplos, dichos UEs (dispositivos inalámbricos) se seleccionan con el fin de maximizar la tasa conjunta.

[0071] Aunque algunos aspectos del concepto descrito se han descrito en el contexto de un aparato, es evidente que estos aspectos también representan una descripción del procedimiento correspondiente, donde un bloque o dispositivo corresponde a una etapa de procedimiento o una característica de una etapa de procedimiento. Análogamente, los aspectos descritos en el contexto de una etapa de procedimiento también representan una descripción de un bloque o elemento o característica de un aparato correspondiente.

[0072] Dependiendo de ciertos requisitos de implementación, las realizaciones de la invención pueden ser implementadas en hardware o en software. La implementación puede realizarse utilizando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo un disquete, un DVD, un Blue-Ray, un CD, una ROM, una PROM, una EPROM, una EEPROM o una memoria FLASH, que tienen señales de control legibles electrónicamente almacenadas al respecto, que cooperan (o son capaces de cooperar) con un sistema informático programable de tal manera que se lleva a cabo el procedimiento respectivo. Por lo tanto, el medio de almacenamiento digital puede ser legible por ordenador.

[0073] Algunas realizaciones de acuerdo con la invención comprenden un portador de datos que tiene señales de control legibles electrónicamente, que son capaces de cooperar con un sistema informático programable, de tal manera que se lleva a cabo uno de los procedimientos descritos en el presente documento.

5 **[0074]** Generalmente, las realizaciones de la presente invención pueden implementarse como un producto de programa de ordenador con un código de programa, siendo el código de programa operativo para realizar uno de los procedimientos cuando el producto de programa de ordenador se ejecuta en un ordenador. El código de programa puede almacenarse por ejemplo en un soporte legible por máquina.

10 **[0075]** Otras formas de realización comprenden el programa de ordenador para realizar uno de los procedimientos descritos en el presente documento, almacenado en un soporte legible por máquina.

15 **[0076]** Dicho de otro modo, una forma de realización del procedimiento de la invención es, por lo tanto, un programa informático que tiene un código de programa para realizar uno de los procedimientos descritos en el presente documento, cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador.

20 **[0077]** Una realización adicional de los procedimientos de la invención es, por lo tanto, un soporte de datos (o un medio de almacenamiento digital, o un medio legible por ordenador) que comprende, grabado en el mismo, el programa de ordenador para realizar uno de los procedimientos descritos en el presente documento.

25 **[0078]** Una realización adicional del procedimiento de la invención es, por lo tanto, un flujo de datos o una secuencia de señales que representan el programa de ordenador para realizar uno de los procedimientos descritos en el presente documento. El flujo de datos o la secuencia de señales pueden por ejemplo estar configurados para ser transferidos a través de una conexión de comunicación de datos, por ejemplo a través de Internet.

30 **[0079]** Una realización adicional comprende un medio de procesamiento, por ejemplo un ordenador, o un dispositivo lógico programable, configurado o adaptado para realizar uno de los procedimientos descritos en el presente documento.

35 **[0080]** Una forma de realización comprende además un ordenador que tiene instalado en el mismo el programa de ordenador para realizar uno de los procedimientos descritos en el presente documento.

40 **[0081]** En algunas realizaciones, se puede utilizar un dispositivo lógico programable (por ejemplo, una FPGA) para llevar a cabo todas o algunas de las funcionalidades de los procedimientos descritos en el presente documento. En algunas formas de realización, una FPGA puede cooperar con un microprocesador para llevar a cabo uno de los procedimientos descritos en el presente documento. En general, los procedimientos se llevan a cabo preferiblemente en cualquier aparato de hardware.

[0082] Las formas de realización anteriormente descritas son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención. Se entiende que las modificaciones y variaciones de las disposiciones y los detalles descritos en el presente documento serán evidentes para otros expertos en la técnica. Es la intención, por lo tanto, que esté limitada sólo por el alcance de las reivindicaciones adjuntas de patente y no por los detalles específicos presentados a modo de descripción y explicación de las presentaciones realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para determinar una matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , para precodificar símbolos, \mathbf{s} , a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica, en el que la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , \mathbf{P} , comprende un vector de precodificación, \mathbf{p}_k , para cada dispositivo inalámbrico de la pluralidad de dispositivos inalámbricos, en el que cada vector de precodificación, \mathbf{p}_k , comprende un elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, para cada antena de transmisión de una pluralidad de antenas de transmisión del nodo, en el que cada elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, representa un desfase capaz de desplazar una fase de un símbolo, \mathbf{s} , a transmitir a través de la antena de transmisión correspondiente al dispositivo inalámbrico correspondiente por un ángulo de fase, estando el procedimiento **caracterizado por el hecho de que** comprende:
- calcular (110) una pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia para diferentes ángulos de fase, θ , en el que los diferentes ángulos de fase se aplican sucesivamente a un elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, de un vector de precodificación, \mathbf{p}_k , para el cálculo de los indicadores de intensidad de interferencia, en el que un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de una matriz de precodificación, \mathbf{P} , que comprende el elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, considerando el ángulo de fase diferente respectivo, θ ; y
- seleccionar (120) para el elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, del vector de precodificación, \mathbf{p}_k , un ángulo de fase, θ , correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia calculado que satisface un criterio de intensidad de interferencia predefinido.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el criterio de intensidad de interferencia predefinido se satisface para un indicador de intensidad de interferencia calculado que indica la intensidad de interferencia menor de la pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia calculados o el criterio de intensidad de interferencia predefinido se satisface para un indicador de intensidad de interferencia calculado que indica una intensidad de interferencia menor que un umbral de interferencia.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o la 2, en el que un indicador de intensidad de interferencia representa una intensidad de interferencia entre dispositivos inalámbricos provocada por una transmisión simultánea de datos a los dispositivos inalámbricos por un nodo, si uno de los diferentes ángulos de fase, θ , se aplica al elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$.
4. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 3, en el que todos los elementos de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, de la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , representan un desfase capaz de desplazar una fase de un símbolo, \mathbf{s} , a transmitir sin cambiar una amplitud del símbolo, \mathbf{s} .
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que un indicador de intensidad de interferencia se calcula para diferentes ángulos de fase, θ , aplicado a cada elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, de cada vector de precodificación, \mathbf{p}_k , de la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , en el que para cada elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, de cada vector de precodificación, \mathbf{p}_k , un ángulo de fase, θ , se selecciona correspondiente al indicador de intensidad de interferencia calculado que indica la intensidad de interferencia menor de todos los indicadores de intensidad de interferencia calculados.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los diferentes ángulos de fase, θ , que se aplican a un elemento de precodificación, $e^{j\theta}_{i,k}$, están contenidos en un conjunto predefinido de ángulos de fase, Θ , que comprende una distribución equidistante de ángulos de fase, θ , desde 0 a 2π .
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de una multiplicación de una matriz de canal, \mathbf{H}_{eff} , y la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , en el que la matriz de canal, \mathbf{H}_{eff} , está basada en una información de estado de canal recibida desde la pluralidad de dispositivos inalámbricos.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de una diferencia entre una matriz de supresión de interferencias, \mathbf{I} , \mathbf{aI} , \mathbf{D} , y un resultado de la multiplicación de la matriz de canal, \mathbf{H}_{eff} , y la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} .
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la matriz de supresión de interferencias es una matriz identidad, \mathbf{I} .
10. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la matriz de supresión de interferencias es una matriz identidad ponderada, \mathbf{aI} , en el que se calculan indicadores de intensidad de interferencia para diferentes valores de ponderación, \mathbf{a} , para la matriz identidad ponderada, \mathbf{aI} .

11. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la matriz de supresión de interferencias es una matriz diagonal, en el que se calculan indicadores de intensidad de interferencia para diferentes conjuntos de elementos de la diagonal, d , de la matriz diagonal, \mathbf{D} .

5 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , se determina a partir de

$$\mathbf{P}_{CM} = \arg \min_{\mathbf{P} \in \Pi} \left\| \hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{I} \right\|_F^2; \Pi = \{ \mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi[\}$$

$$(\mathbf{P}_{CM}, a_{CM}) = \arg \min_{\mathbf{P} \in \Pi, a \in \mathbb{R}_+} \left\| \hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - a\mathbf{I} \right\|_F^2; \Pi = \{ \mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi[\},$$

o

$$(\mathbf{P}_{CM}, \mathbf{D}_{CM}) = \arg \min_{\substack{\mathbf{P} \in \Pi \\ \mathbf{D} = \text{diag}(d_1, \dots, d_D)}} \left\| \hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{D} \right\|_F^2; \Pi = \{ \mathbf{P} \in \mathbb{C}^{M \times D} \mid [\mathbf{P}]_{i,k} = e^{j\theta_{i,k}}; \theta_{i,k} \in [0, 2\pi[\}$$

10 donde \mathbf{P}_{CM} es la matriz de precodificación a determinar, \mathbf{H}_{eff} es una matriz de canal basada en una información de estado de canal recibida desde la pluralidad de dispositivos inalámbricos, \mathbf{P} es una matriz de precodificación considerando un ángulo de fase específico de los diferentes ángulos de fase para un elemento de precodificación, \mathbf{I} es una matriz identidad, Π es un conjunto de matrices de precodificación considerando diferentes ángulos de fase, a es un factor de ponderación, \mathbf{D} es una matriz diagonal con elementos d_1 - d_D , $e^{j\theta_{i,k}}$ es un elemento de precodificación, $\theta_{i,k}$ es un ángulo de fase, a_{CM} es un factor de ponderación correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia que indica la intensidad de interferencia menor, \mathbf{D}_{CM} es una matriz diagonal correspondiente a un

indicador de intensidad de interferencia que indica la intensidad de interferencia menor y $\left\| \hat{\mathbf{H}}_{\text{eff}} \mathbf{P} - \mathbf{D} \right\|_F^2$

20 es un indicador de intensidad de interferencia.

13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que comprende además precodificar los símbolos, \mathbf{s} , a transmitir a la pluralidad de dispositivos inalámbricos con la matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , aplicar el ángulo de fase seleccionado, θ , para el elemento de precodificación, $e^{j\theta_{i,k}}$, del vector de precodificación, \mathbf{p}_k .

25 14. Aparato (800) para determinar una matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , para precodificar símbolos, \mathbf{s} , a transmitir a una pluralidad de dispositivos inalámbricos por un nodo de un sistema de comunicación inalámbrica, en el que la matriz precodificada, \mathbf{P}_{CM} , comprende un vector de precodificación, \mathbf{p}_k , para cada dispositivo inalámbrico de la pluralidad de dispositivos inalámbricos, en el que cada vector de precodificación, \mathbf{p}_k , comprende un elemento de precodificación, $e^{j\theta_{i,k}}$, para cada antena de transmisión de una pluralidad de antenas de transmisión del nodo, en el que cada elemento de precodificación, $e^{j\theta_{i,k}}$, representa un desfasador capaz de desplazar una fase de un símbolo, \mathbf{s} , a transmitir a través de la antena de transmisión correspondiente al dispositivo inalámbrico correspondiente por un ángulo de fase, θ , estando el aparato **caracterizado por el hecho de que** comprende: un procesador (810) configurado para calcular una pluralidad de indicadores de intensidad de interferencia para diferentes ángulos de fase, θ , en el que los diferentes ángulos de fase se aplican sucesivamente a un elemento de precodificación, $e^{j\theta_{i,k}}$, de un vector de precodificación, \mathbf{p}_k , en el que un indicador de intensidad de interferencia se calcula a partir de una matriz de precodificación, \mathbf{P}_{CM} , que comprende el elemento de precodificación, $e^{j\theta_{i,k}}$, considerando el ángulo de fase diferente respectivo, θ , en el que el procesador (810) está configurado para seleccionar para el elemento de precodificación, $e^{j\theta_{i,k}}$, del vector de precodificación, \mathbf{p}_k , un ángulo de fase, θ , correspondiente a un indicador de intensidad de interferencia calculado que satisface un criterio de intensidad de interferencia predefinido.

15. Programa de ordenador con un código de programa para realizar el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el programa de ordenador se ejecuta en un ordenador o un microcontrolador.

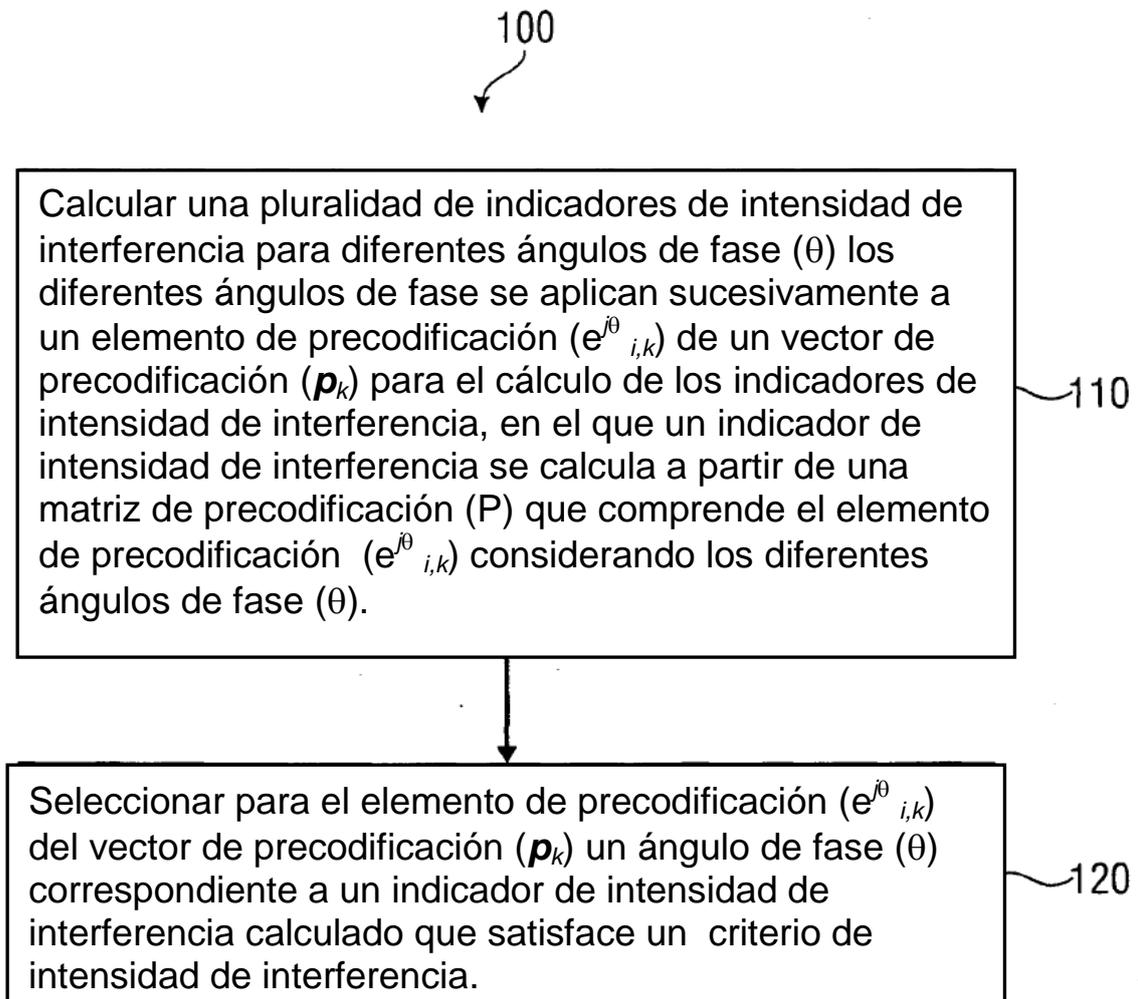


FIG 1

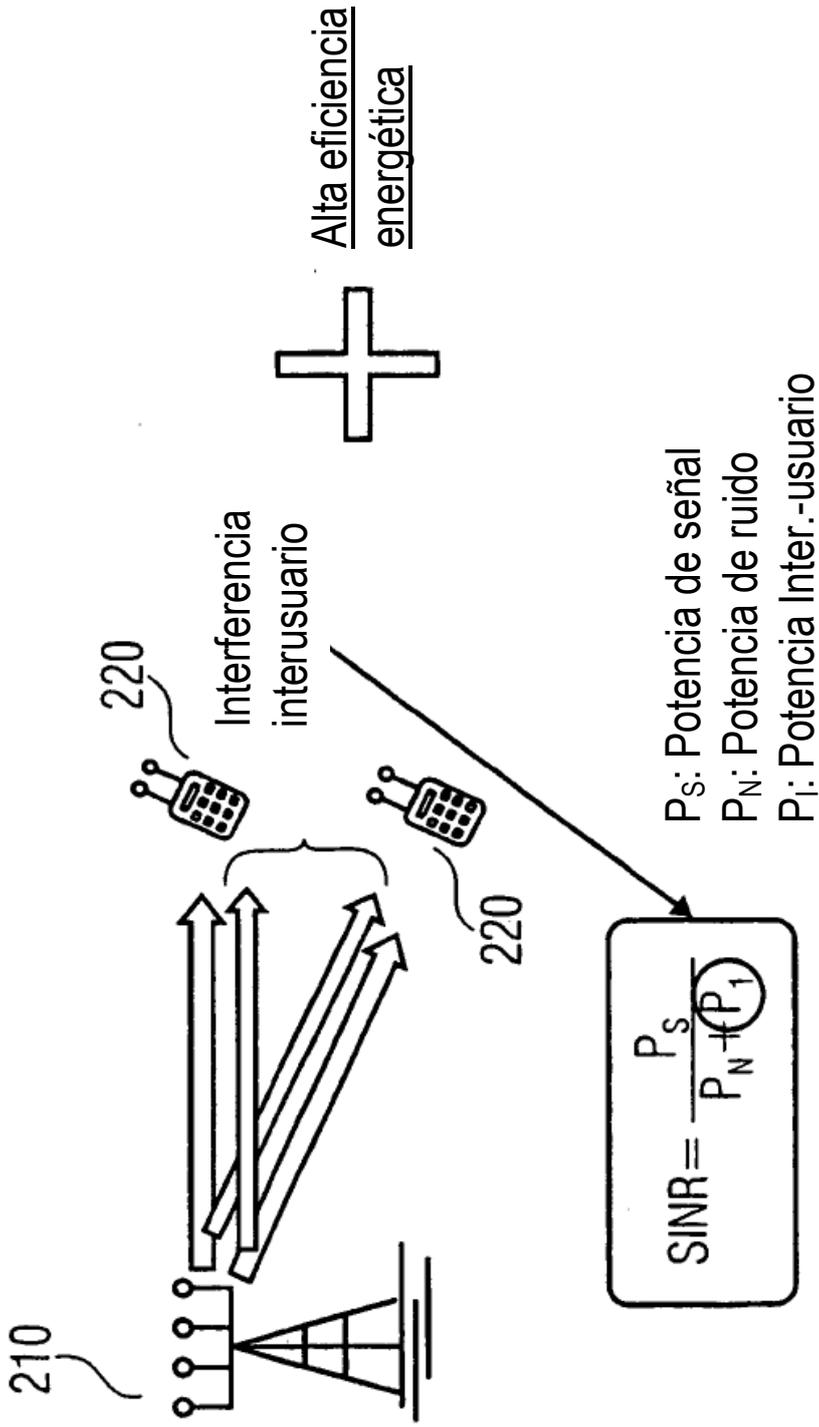


FIG 2

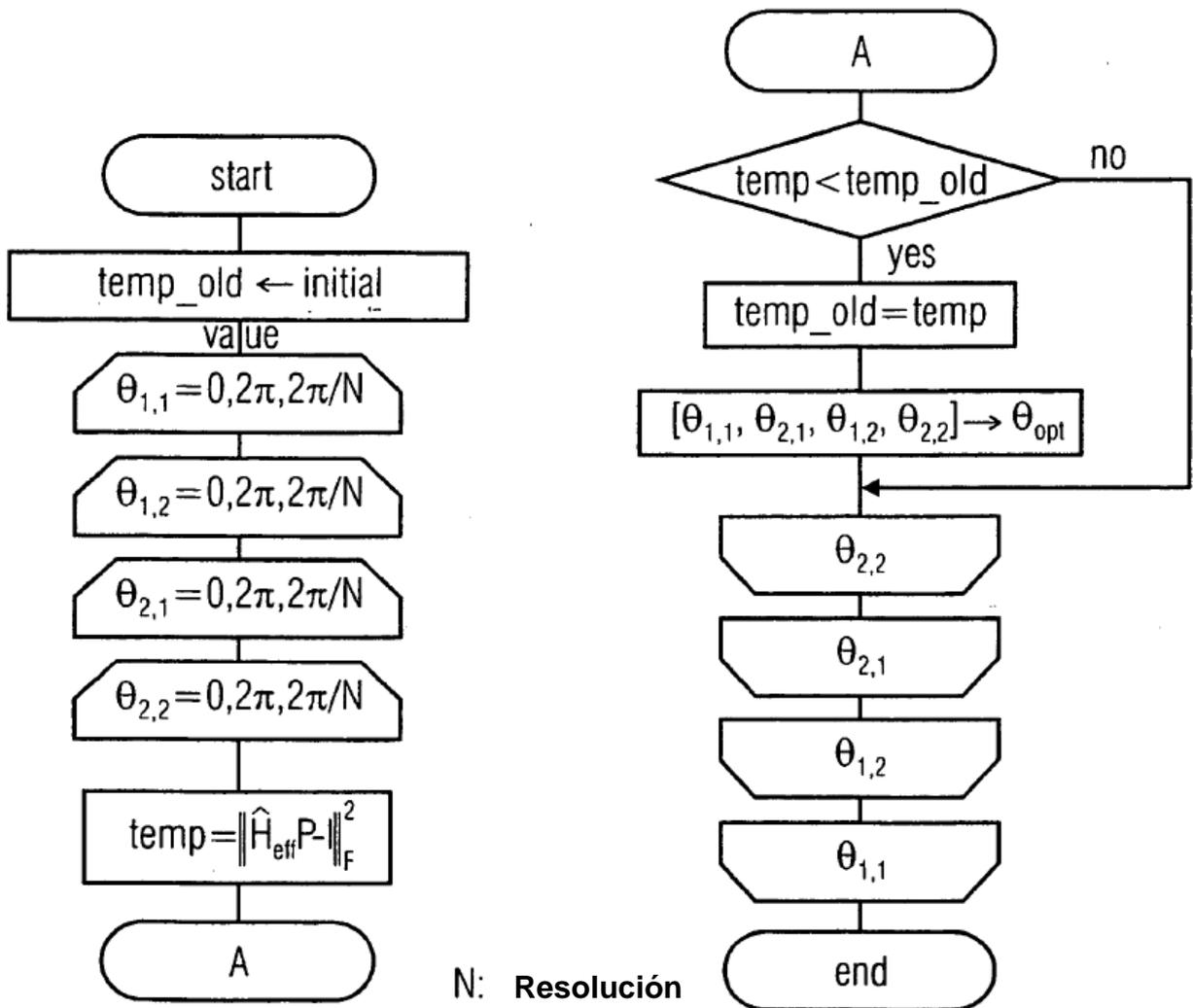


FIG 3

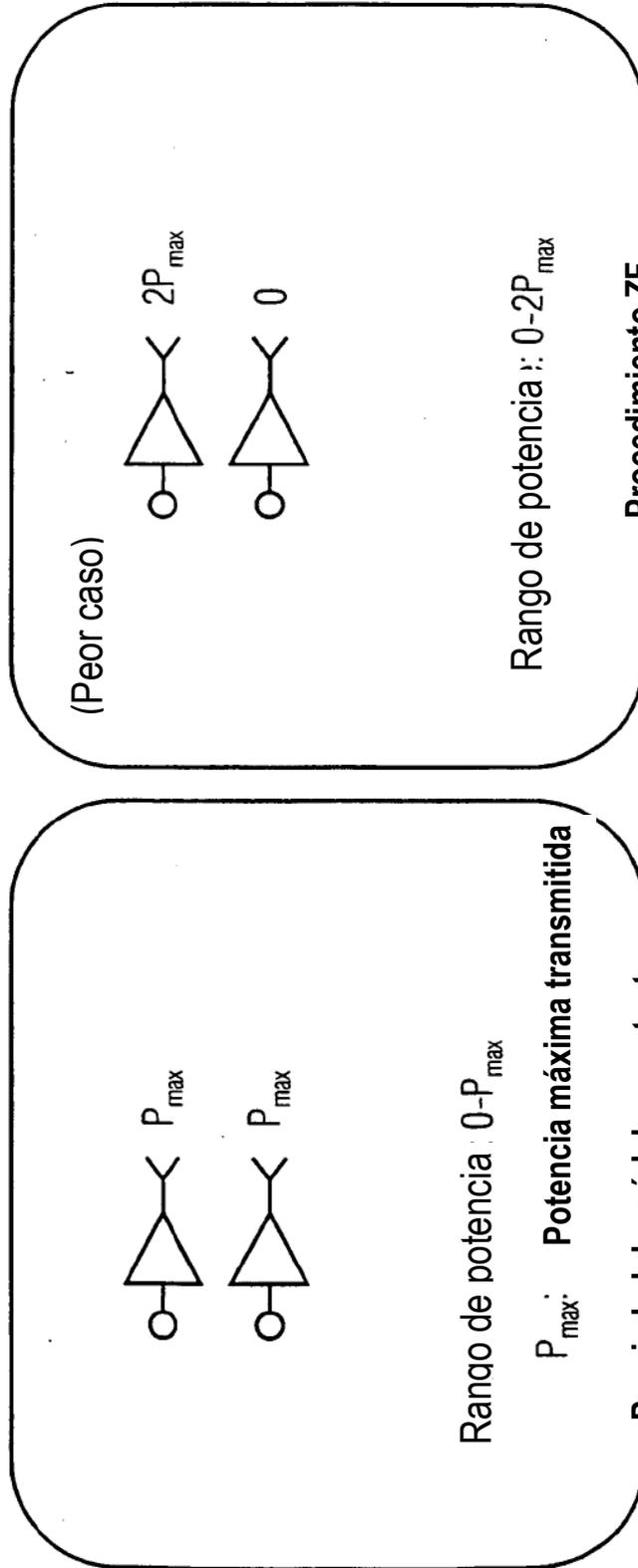


FIG 4A

FIG 4B

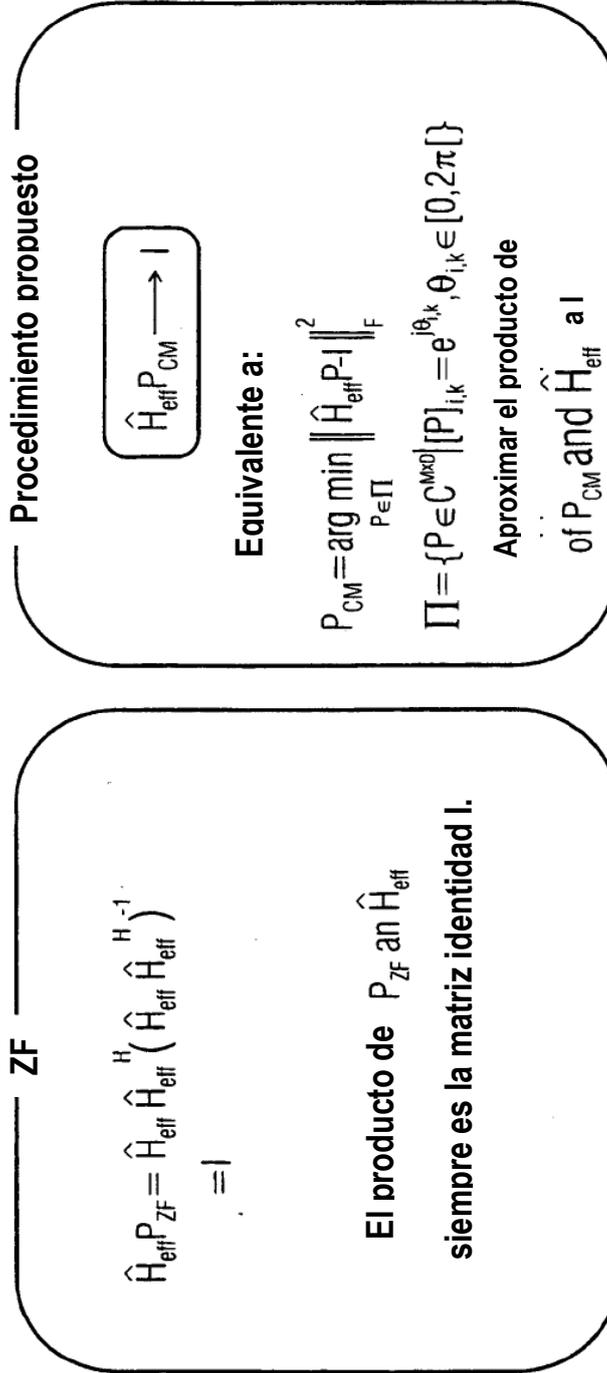


FIG 5A

FIG 5B

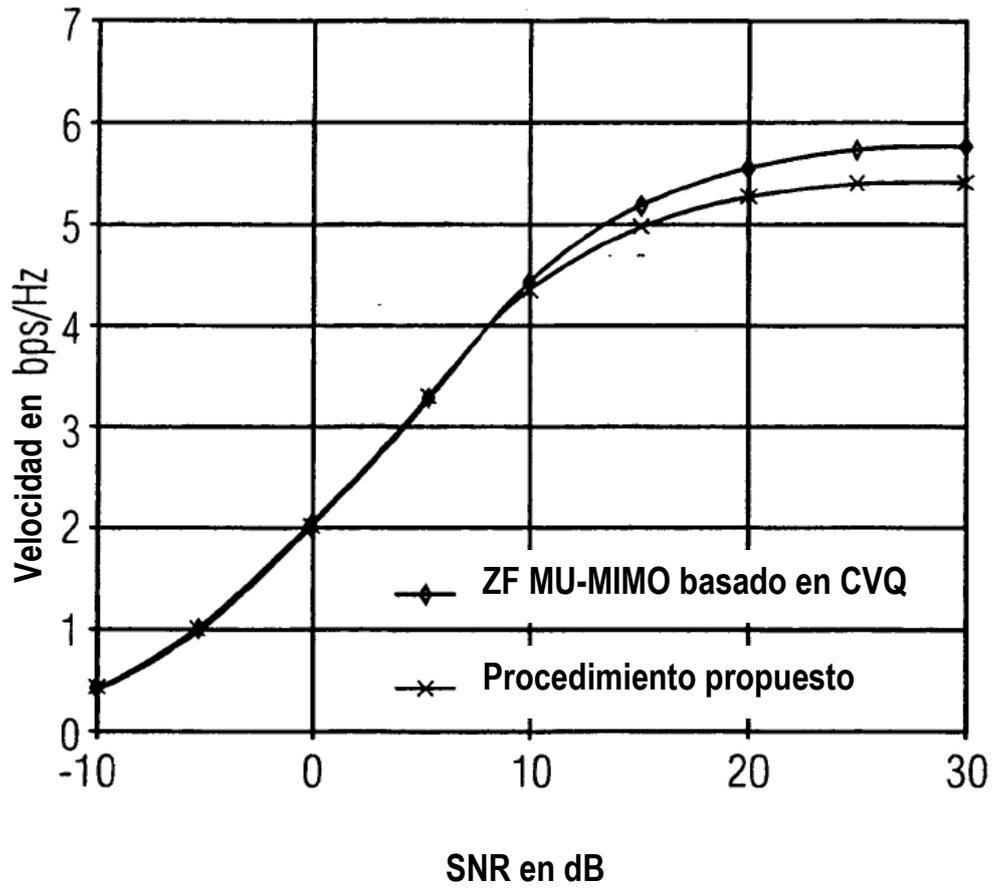


FIG 6

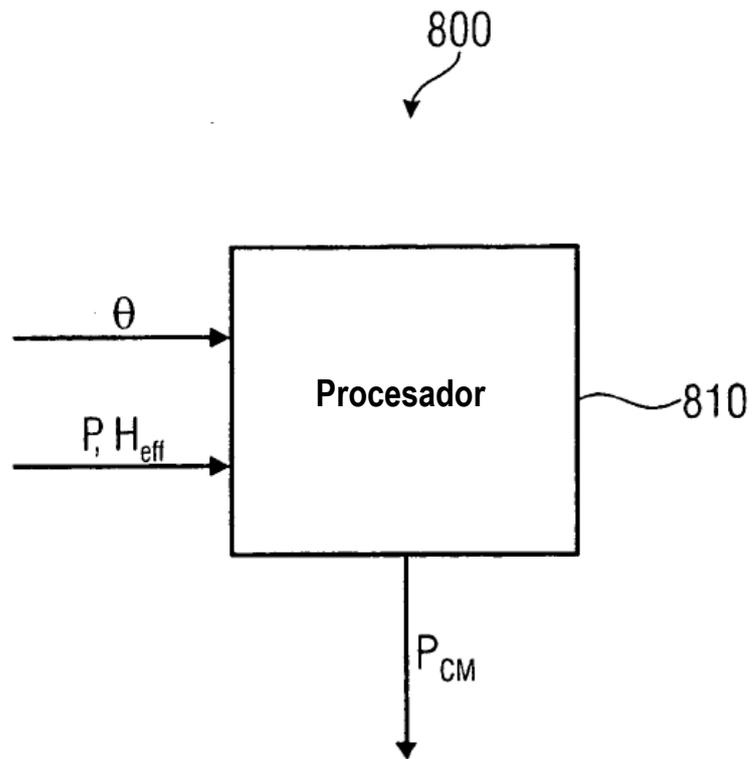


FIG 7

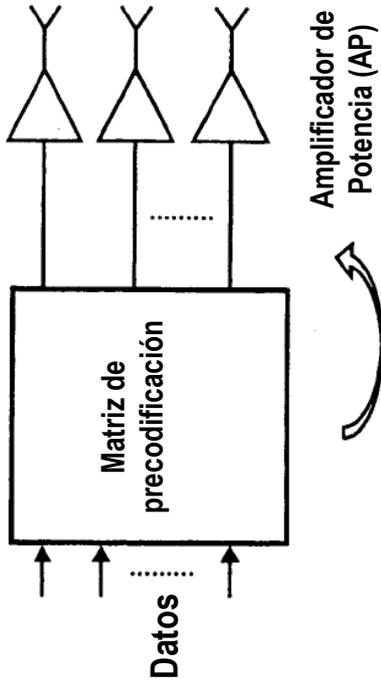
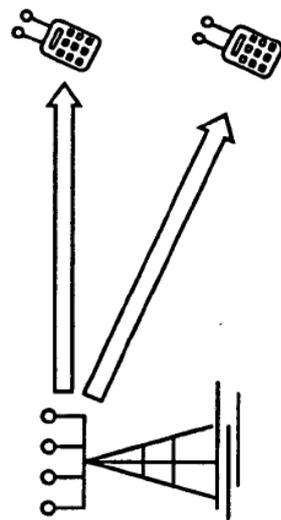


FIG 8B



MIMO Multiusuario (MU-MIMO)

FIG 8A

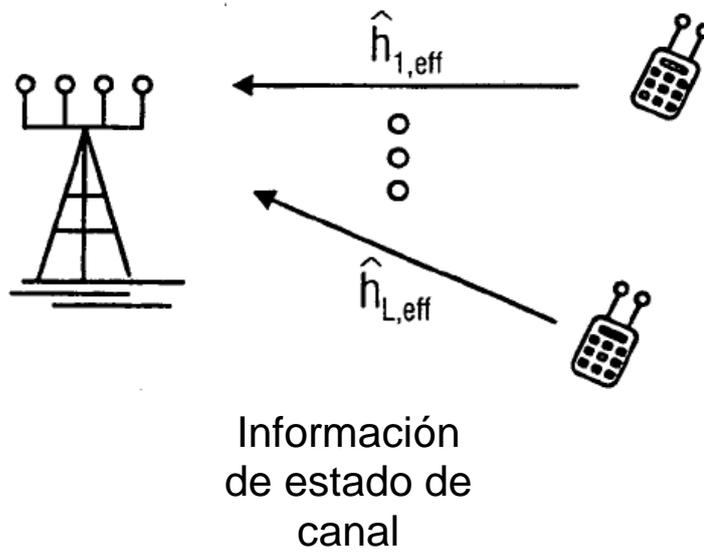
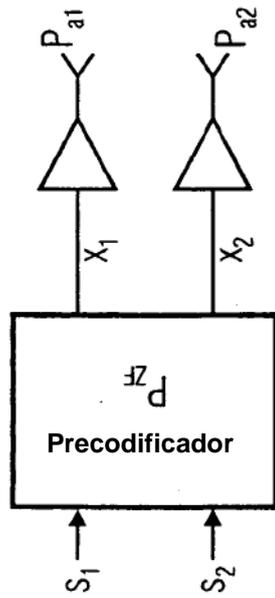


FIG 9

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = P_{ZF} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11}s_1 + p_{12}s_2 \\ p_{21}s_1 + p_{22}s_2 \end{bmatrix}$$



Trans. Pot. $P_{a1}: |p_{11}|^2 + |p_{12}|^2$
 Trans. Pot. $P_{a2}: |p_{21}|^2 + |p_{22}|^2$
 Aquí, $E \left[|s_1|^2 \right] = 1, E \left[|s_2|^2 \right] = 1$

$$\begin{matrix} \longrightarrow \\ |p_{11}|^2 \neq |p_{12}|^2 \\ \neq |p_{21}|^2 \neq |p_{22}|^2 \end{matrix}$$

$$P_{a1} \neq P_{a2}$$

FIG 10