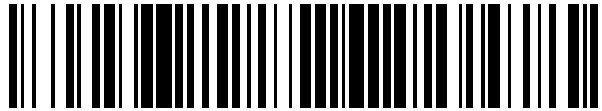


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 485**

51 Int. Cl.:

H04B 7/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2009 PCT/US2009/033566**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2009 WO09102662**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2009 E 09711375 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 2255459**

54 Título: **Sistemas y procedimientos para la formación de haces distribuidos basados en la portadora y la interferencia causada**

30 Prioridad:

13.02.2008 US 30818

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

25.04.2019

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
Attn: International IP Administration 5775
Morehouse Drive
San Diego, California 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

**GHADY, NAVID HASSANPOUR;
SORIAGA, JOSEPH B.;
SMEE, JOHN EDWARD y
HOU, JILEI**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 710 485 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

Sistemas y procedimientos para la formación de haces distribuidos basados en la portadora y la interferencia causada

5 CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente divulgación se refiere en general a los sistemas de comunicación inalámbrica. Más específicamente, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para la formación de haces distribuidos basados en la portadora y la interferencia causada.

10

ANTECEDENTES

[0002] Los dispositivos de comunicación inalámbrica se han ido reduciendo en tamaño y volviéndose más potentes con el fin de satisfacer las necesidades de los consumidores y mejorar la portabilidad y la comodidad. Los consumidores se han tornado dependientes de dispositivos de comunicación inalámbrica, tales como teléfonos celulares, asistentes digitales personales (PDA), ordenadores portátiles y similares. Los consumidores han llegado a esperar un servicio fiable, áreas de cobertura ampliadas y una funcionalidad acrecentada. Los dispositivos de comunicación inalámbrica pueden denominarse como estaciones móviles, estaciones, terminales de acceso, terminales de usuario, terminales, unidades de abonado, equipo de usuario, etc.

15

20

[0003] Un sistema de comunicación inalámbrica puede prestar soporte simultáneamente a la comunicación para múltiples dispositivos de comunicación inalámbrica. Un dispositivo de comunicación inalámbrica puede comunicarse con una o más estaciones base (que, alternativamente, pueden denominarse puntos de acceso, Nodos B, etc.) a través de las transmisiones en el enlace ascendente y el enlace descendente. El enlace ascendente (o enlace inverso) se refiere al enlace de comunicación desde los dispositivos de comunicación inalámbrica hasta las estaciones base, y el enlace descendente (o enlace directo) se refiere al enlace de comunicación desde las estaciones base hasta los dispositivos de comunicación inalámbrica.

25

30

[0004] Los sistemas de comunicación inalámbrica pueden ser sistemas de acceso múltiple capaces de prestar soporte a la comunicación con múltiples usuarios compartiendo los recursos disponibles del sistema (por ejemplo, ancho de banda y potencia de transmisión). Entre los ejemplos de dichos sistemas de acceso múltiple se incluyen sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y sistemas de acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA).

35

Se llama la atención sobre el documento US 2007/280116 A1, que proporciona un sistema y una metodología para la transmisión eficiente de múltiples usuarios en una comunicación inalámbrica con retroalimentación limitada. Se describe un esquema de transmisión multiusuario no cooperativo basado en retroalimentación, en el que los usuarios en un sistema de comunicación inalámbrica pueden comunicar independientemente retroalimentación de información del canal seleccionado a la estación base. La estación base puede entonces elegir ponderaciones de codificación previa adecuadas en función de la información de canal recibida. También se describe un enfoque de retroalimentación basado en el umbral adaptativo para la transmisión multiusuario, en el que la calidad de la retroalimentación para cada usuario puede ser cuantificada por un umbral especial por el sistema antes de participar en la comunicación multiusuario.

40

45

Se presta también atención al documento EP-A-1 821 444, que proporciona un aparato y un procedimiento para la transmisión y la recepción en un sistema de comunicación multiusuario de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). En un transmisor, una porción de filtro recibe información cuantificada del estado del canal (CSI) e información de la calidad del canal (CQI) desde un receptor, calcula el valor del filtro de transmisión utilizando el CSI cuantificado y el CQI, determina un nivel apropiado de codificación y modulación adaptativa (AMC) para el receptor, y envía una señal piloto que incluye el valor del filtro de transmisión e información sobre el nivel determinado de AMC en las subportadoras en uno de los símbolos de preámbulo y datos. Se utiliza una antena para enviar la salida de la porción de filtro y recibe datos desde el receptor.

50

55

De acuerdo con la presente invención, un procedimiento para la formación de haces distribuidos basados en la portadora y la interferencia causada, siendo implementado el procedimiento por una estación base, como se expone en la reivindicación 1, y un aparato para formación de haces distribuidos basados en la portadora y la interferencia causada, como se establece en la reivindicación 11, y se proporciona un producto de programa informático para la formación de haces distribuidos basados en la portadora y la interferencia causada, como se establece en la reivindicación 15. Los modos de realización preferidos de la invención se divulgan en las reivindicaciones dependientes.

60

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

65

[0005]

La figura 1 ilustra estaciones base que comparten un libro de códigos y que eligen por separado una palabra de código (vector de formación de haz) del libro de códigos;

5 La figura 2 ilustra cómo una estación base puede seleccionar una palabra de código al maximizar una función de utilidad que se basa en la relación señal a interferencia más ruido, donde la función de utilidad puede tomar diferentes formas dependiendo de la información de estado del canal que se recibe;

10 La figura 3 ilustra un ejemplo de información de estado de canal que puede ser devuelta desde un usuario a una estación base;

La figura 4 ilustra otro ejemplo de información de estado de canal que puede ser devuelta desde un usuario a una estación base;

15 La figura 5 ilustra otro ejemplo de información de estado de canal que puede ser devuelta desde un usuario a una estación base;

La figura 6 muestra ciertos parámetros que pueden tomarse en consideración cuando se genera un libro de códigos;

20 La figura 7 ilustra la interacción entre una estación base y una estación móvil que tiene múltiples antenas;

La figura 8 ilustra un procedimiento para la formación de haces distribuidos en base a la portadora y la interferencia causada;

25 La figura 9 ilustra bloques de medios más función, correspondientes al procedimiento de la figura 8; y

La figura 10 ilustra diversos componentes que pueden usarse en un dispositivo inalámbrico.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 **[0006]** Se divulga un procedimiento para la formación de haces distribuidos en base a la portadora y la interferencia causada. De acuerdo con el procedimiento, la información del estado del canal puede ser recibida desde los usuarios. Un vector de formación de haz de transmisión puede determinarse basándose en la maximización de una función de utilidad que comprende una relación de señal a interferencia causada más ruido. El vector de formación de haz de
35 transmisión se puede utilizar para la formación del haz.

[0007] También se describe una estación base configurada para la formación de haces distribuidos en base a la portadora y la interferencia causada. La estación base comprende un procesador, una memoria en comunicación
40 electrónica con el procesador e instrucciones almacenadas en la memoria. Las instrucciones pueden ser ejecutables para recibir información del estado del canal desde los usuarios. Las instrucciones también pueden ser ejecutables para determinar un vector de formación de haz de transmisión basado en la maximización de una función de utilidad que comprende una relación de señal a interferencia causada más ruido. Las instrucciones también pueden ser
ejecutables para usar el vector de formación de haz de transmisión para la formación del haz.

45 **[0008]** También se divulga un aparato para la formación de haces distribuidos en base a la portadora y la interferencia causada. El aparato puede comprender medios para recibir información de estado de canal desde los usuarios. El aparato también puede comprender medios para determinar un vector de formación de haz de transmisión basado en la maximización de una función de utilidad que comprende una relación de señal a interferencia causada más ruido. El aparato también puede comprender medios para usar el vector de formación de haz de transmisión para
50 la conformación del haz.

[0009] También se divulga un producto de programa informático para la formación de haces distribuidos en base a la portadora y la interferencia causada. El producto de programa informático comprende un medio legible por
55 ordenador que tiene instrucciones en el mismo. Las instrucciones pueden comprender código para recibir información de estado de canal desde los usuarios. Las instrucciones también pueden comprender código para determinar un vector de formación de haz de transmisión basado en la maximización de una función de utilidad que comprende una relación de señal a interferencia causada más ruido. Las instrucciones también pueden comprender código para usar el vector de formación de haz de transmisión para la conformación del haz.

60 **[0010]** Un sistema de comunicación inalámbrica puede proporcionar comunicación para un cierto número de células, cada una de las cuales puede estar servida por una estación base. Una estación base puede ser una estación fija que se comunica con terminales de acceso. Una estación base puede denominarse, de forma alternativa, punto de acceso, Nodo B o con alguna otra terminología.

65 **[0011]** Los terminales de acceso pueden ser fijos (*es decir*, estacionarios) o móviles. Los terminales de acceso también pueden denominarse terminales de usuario, terminales, unidades de abonado, estaciones remotas,

estaciones móviles, estaciones, etc. Los terminales de acceso pueden ser dispositivos inalámbricos, teléfonos celulares, asistentes digitales personales (PDA), dispositivos de mano, módems inalámbricos, ordenadores portátiles, ordenadores personales, etc. Se puede usar una variedad de algoritmos y procedimientos para las transmisiones en un sistema de comunicación inalámbrica entre las estaciones base y los terminales de acceso.

[0012] Un enlace de comunicación que facilita la transmisión desde una estación base a un terminal de acceso puede denominarse como un enlace directo, y un enlace de comunicación que facilita la transmisión desde un terminal de acceso a una estación base puede denominarse como un enlace inverso. De forma alternativa, un enlace directo se puede denominarse enlace descendente o canal directo, y un enlace inverso se puede denominar enlace ascendente o canal inverso.

[0013] Una célula puede dividirse en múltiples sectores. Un sector es un área de cobertura física dentro de una célula. Las estaciones base dentro de un sistema de comunicación inalámbrica pueden utilizar antenas que concentran el flujo de energía dentro de un sector particular de la célula. Dichas antenas pueden denominarse antenas direccionales.

[0014] La presente divulgación propone un procedimiento de conformación de haces distribuidos que utiliza una métrica de selección de haces novedosa basada en la portadora y la interferencia causada (C/CI). Este procedimiento puede dar como resultado una mejora significativa del rendimiento con respecto a los procedimientos conocidos (por ejemplo, en términos de la tasa de suma). La presente divulgación también introduce extensiones del procedimiento de conformación de haces distribuidos para niveles variables de información de estado de canal (CSI) y múltiples antenas de recepción. Los libros de códigos de formación de haz con variaciones de potencia a través de antenas también se presentan en el presente documento.

[0015] La presente divulgación propone un procedimiento de formación de haces distribuidos para la maximización de una utilidad agregada a través de una red celular inalámbrica. La presente divulgación propone un esquema que selecciona el haz que maximiza la relación entre la potencia de la señal y el ruido más la interferencia causada por el haz en cuestión en sectores adyacentes o los sectores en el conjunto activo. De acuerdo con este esquema, la selección del haz se puede hacer en la estación base en lugar de la estación móvil. Utilizando información adicional del estado del canal (CSI), la estación base puede evitar causar interferencias en sectores adyacentes y puede mejorar considerablemente el rendimiento del sistema.

[0016] Las técnicas descritas en este documento pueden aplicarse en un sistema en el que existen K estaciones base, cada una con N antenas de transmisión. Se puede suponer que cada estación base está sirviendo a un solo usuario con M antenas de recepción. También se puede suponer que estos usuarios se asignan de forma biyectiva a las estaciones base de antemano. También se puede suponer que cada estación base utiliza un vector $N \times 1$ \mathbf{w}_i , $i = 1, \dots, K$ para la formación de haz a su usuario asignado. Por lo tanto, el canal puede ser modelado como:

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}_{ii} \mathbf{w}_i x_i + \mathbf{n}_i + \sum_{j \neq i} \mathbf{H}_{ji} \mathbf{w}_j x_j \quad i = 1, \dots, K \quad (1)$$

donde \mathbf{y}_i y \mathbf{n}_i son $M \times 1$ vectores, \mathbf{H}_{ji} es la matriz de canales $M \times N$ entre el usuario i y la estación base j , \mathbf{w}_i es el vector de formación de haz $N \times 1$, y los términos x_i son símbolos de datos con restricciones de potencia para cada estación

base $E|x_i^2| < P_i$.

[0017] Si se supone que $M = 1$, entonces $n_i \sim N(0, N_i)$ y los términos y_i serán escalares. Los términos \mathbf{H}_{ji} son vectores \mathbf{h}_{ji} . La relación de señal a interferencia más ruido (SINR) se puede definir como:

$$\text{SINR}_i = \frac{|\mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ji} \mathbf{w}_j|^2 P_j + N_i} \quad (2)$$

[0018] En la práctica, algunos de los coeficientes de canal \mathbf{h}_{ji} pueden ser despreciables. Por lo tanto, el número de términos de interferencia puede ser igual al número de usuarios en el conjunto activo del usuario i , que suele ser menor que el número total de usuarios en la red, K .

[0019] El objetivo puede ser maximizar una función de utilidad basada en SINR utilizando un algoritmo distribuido.

Por ejemplo, esto puede significar maximizar $\sum_{i=1}^K U_i(\text{SINR}_i)$ en base a encontrar $\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}_i} M(\mathbf{w}_i)$ donde $M(\mathbf{w}_i)$ es una función métrica cuya optimización se realiza únicamente sobre el vector de formación de haz \mathbf{w}_i en la

estación base i . En otras palabras, el proceso de optimización puede ser distribuido; *es decir*, cada estación base puede elegir por separado su propia \mathbf{w}_i .

5 **[0020]** La presente divulgación propone una métrica basada en la portadora y la "interferencia causada". Esta métrica puede expresarse como:

$$M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{h}_{ii}\mathbf{w}_i|^2 P_i / N_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij}\mathbf{w}_i|^2 P_j / N_j + 1} \quad (3)$$

$$M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{h}_{ii}\mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij}\mathbf{w}_i|^2 P_j + N} \quad \text{or} \quad M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{h}_{ii}\mathbf{w}_i|^2}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij}\mathbf{w}_i|^2} \quad (4)$$

10 **[0021]** La "interferencia causada" a cada usuario puede escalarse por varios factores de ponderación posibles antes de sumarse, como se muestra en la ecuación (4A):

$$M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{h}_{ii}\mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} \alpha_{ij} |\mathbf{h}_{ij}\mathbf{w}_i|^2 P_j + \alpha_0 N} \quad (4A)$$

15 donde α_{ij} es un factor de ponderación que puede estar basado en la utilidad de reducir la interferencia al usuario j .

20 **[0022]** Con referencia a la figura 1, múltiples estaciones base 102a, 102b, 102k pueden compartir un libro de códigos 104 de palabras de código 106. Cada palabra de código 106 puede corresponder a un vector de formación de haz que puede seleccionarse. En otras palabras, las palabras de código 106 pueden representar posibles selecciones para \mathbf{w}_i .

[0023] Cada estación base 102a, 102b, 102k puede elegir por separado su propia \mathbf{w}_i . Por lo tanto, cada estación base 102a, 102b, 102k se muestra con un componente de selección de palabras en clave 108a, 108b, 108k.

25 **[0024]** De acuerdo con la presente divulgación, los usuarios pueden enviar información de canal de enlace descendente a todas las estaciones base en su conjunto activo o todas las estaciones base que causan una interferencia significativa. Por lo tanto, cada estación base puede recibir información de estado de canal (CSI) realimentada por su(s) propio(s) usuario(s) más el(los) usuario(s) afectado(s) por su transmisión.

30 **[0025]** Con referencia a la figura 2, se muestra una estación base 202 que recibe información de estado de canal 210a de uno o más usuarios asignados 212a. Además, la estación base 202 se muestra recibiendo información de estado de canal 210b de uno o más usuarios 212b que pueden verse afectados por las transmisiones de la estación base 202.

35 **[0026]** La estación base 202 puede maximizar una función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ 214 que se basa en SINR. Dicho de otra manera, la estación base 202 puede elegir una palabra de código 206 (*es decir*, un vector de formación de haz \mathbf{w}_i^*) que maximiza la relación de señal a interferencia causada más ruido. Un componente de selección de palabras de código 208 se muestra en la figura 2 para proporcionar esta funcionalidad.

40 **[0027]** Como se indicó anteriormente, la optimización de $M(\mathbf{w}_i)$ 214 puede realizarse únicamente sobre el vector de formación de haz \mathbf{w}_i en la estación base i . Como se describirá con mayor detalle a continuación, la función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ 214 puede tener diferentes formas dependiendo de la información de estado del canal 210 que se recibe. Los ejemplos de la función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ 214 se proporcionaron anteriormente en las ecuaciones (3) y (4).

45 **[0028]** Una vez que se ha seleccionado una palabra de código particular 206a (*es decir*, el vector de formación de haz \mathbf{w}_i), la palabra de código seleccionada 206a puede usarse para la formación de haz. Un componente de formación de haz 216 se muestra en la figura 2 para proporcionar esta funcionalidad.

50 **[0029]** Son posibles diferentes niveles de retroalimentación de la información del estado del canal. Ahora se describirán algunos ejemplos de los diferentes niveles de retroalimentación. En esta descripción, se asumirá que cada usuario tiene una antena de recepción (*es decir*, $M = 1$).

[0030] La retroalimentación completa de la información del estado del canal puede ser práctica cuando el desvanecimiento es lento y solo se retroalimentan los cambios (innovaciones) en el valor del canal. En este caso, cada estación base i puede encontrar el \mathbf{w}_i^* que se maximiza:

$$\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{|\mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2 P_i / N_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij} \mathbf{w}_i|^2 P_j / N_j + 1} \quad (5)$$

[0031] Esta búsqueda se puede hacer en el espacio restringido cuantificado donde solo hay 2^n palabras clave disponibles o en el espacio continuo. La palabra de código óptima en el espacio cuantificado se puede encontrar buscando entre 2^n candidatos. La solución de maximización en el espacio continuo puede ser la solución de error de

media cuadrática mínima (MMSE). Asumiendo $\mathbf{B} = \sum_{j \neq i} \mathbf{h}_{ij}^H \mathbf{h}_{ij} P_j / N_j$, el óptimo \mathbf{w}_i^* se puede expresar como:

$$\mathbf{w}_i^* = \frac{(\mathbf{I} + \mathbf{B})^{-1} \mathbf{h}_{ii}}{\|(\mathbf{I} + \mathbf{B})^{-1} \mathbf{h}_{ii}\|} \quad (6)$$

[0032] Cuando no es posible retroalimentar toda la información del canal a las estaciones base en el conjunto activo, la dirección cuantificada más la amplitud puede servir como un reemplazo para la retroalimentación completa. En este caso, cada uno de los usuarios puede retroalimentar una versión cuantificada del canal (esta versión cuantificada puede ser un elemento en el libro de códigos fijo) más la amplitud del canal a las estaciones base correspondientes. Los vectores que representan la dirección del canal cuantificado se pueden elegir en cada usuario de la siguiente

manera, $\hat{\mathbf{w}}_i = \arg \max_{\mathbf{w}_i} |\mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2$, $i = 1, \dots, K$. La información de amplitud $|\mathbf{h}_{ii}|^2$ $i = 1, \dots, K$ también puede retroalimentarse. En este caso:

$$\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{|\mathbf{h}_{ii}|^2 |\hat{\mathbf{w}}_i^H \mathbf{w}_i|^2 P_i / N_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij}|^2 |\hat{\mathbf{w}}_j^H \mathbf{w}_i|^2 P_j / N_j + 1} \quad (7)$$

[0033] Cuando los usuarios tienen capacidades limitadas en cuanto a la retroalimentación de información del canal, es posible considerar un escenario en el que solo una versión cuantificada de la dirección del canal se retroalimenta a las estaciones base en el conjunto activo. Las estaciones base pueden usar esta información de canal cuantificada para estimar la óptima \mathbf{w}_i^* en base a la portador y la interferencia causada. En este caso:

$$\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{|\hat{\mathbf{w}}_i^H \mathbf{w}_i|^2}{\sum_{j \neq i} |\hat{\mathbf{w}}_j^H \mathbf{w}_i|^2} \quad (8)$$

$$\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{|\hat{\mathbf{w}}_i^H \mathbf{w}_i|^2 P_i / N_i}{\sum_{j \neq i} |\hat{\mathbf{w}}_j^H \mathbf{w}_i|^2 P_j / N_j + 1} \quad (9)$$

[0034] En las métricas anteriores es posible volver a escribir las ecuaciones omitiendo los términos N_i . Tal omisión puede ser relevante, especialmente en SNR altas. Por ejemplo:

$$\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{|\mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij} \mathbf{w}_i|^2 P_j} \quad (10)$$

o asumiendo restricciones de potencia similares a través de la red

$$\mathbf{w}_i^* = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{|\mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{h}_{ij} \mathbf{w}_j|^2} \quad (11)$$

5 [0035] En las figuras 3 a 5 se ilustran diferentes niveles de retroalimentación de información del estado del canal. Con referencia a la figura 3, cuando la información de estado del canal completo 310 recibe información de los usuarios, un componente de selección de palabras de código 308 puede seleccionar una palabra de código de un libro de códigos 304 maximizando una función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ 314 como la proporcionada anteriormente en la ecuación (5).

10 [0036] Refiriéndose a la figura 4, cuando la información de estado del canal 410 devuelta por los usuarios solo incluye una versión cuantificada de la dirección del canal 418 y la amplitud 420 del canal, un componente de selección de palabras de código 408 puede seleccionar una palabra de código de un libro de códigos 404 maximizando una función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ 414, como la proporcionada anteriormente en la ecuación (7).

15 [0037] Con referencia a la figura 5, cuando la información de estado del canal 510 devuelta por los usuarios solo incluye una versión cuantificada de la dirección del canal 518, un componente de selección de palabras de código 508 puede seleccionar una palabra de código de un libro de códigos 504 maximizando una función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ 514 tal como el proporcionado anteriormente en la ecuación (8) o el proporcionado anteriormente en la ecuación (9).

20 [0038] La métrica de la portadora y la interferencia causada es uno de los posibles candidatos para decisiones de formación de haces distribuidos en estaciones base. Se ha elegido esta métrica porque puede lograr una solución óptima globalmente a través de un formato de decisión distribuido en SNR altas (que suele ser el caso en las nuevas generaciones de sistemas celulares inalámbricos). Otras funciones métricas que disminuyen monótonamente con la interferencia causada y que aumentan monótonamente con la potencia de la señal pueden reemplazar la métrica propuesta y, según los méritos de cada una, pueden tener características de rendimiento similares.

25 [0039] El tamaño del libro de códigos se puede expresar como 2^n . El tamaño del libro de códigos puede ser un parámetro de optimización. Para SNR altas, aumentar el tamaño del libro de códigos puede mejorar el rendimiento del sistema.

30 [0040] Los sistemas existentes pueden asumir que la potencia transmitida desde cada antena de transmisión en la estación base es la misma. Puede ser posible asumir una restricción de potencia de transmisión total que se traduce en vectores de formación de haz con la norma de la unidad y las variaciones de potencia a través de diferentes antenas.

35 [0041] Una de las razones para fijar la potencia transmitida desde cada antena puede ser evitar dificultades derivadas de un amplio rango de transmisión de potencia a través de antenas idénticas. Para alcanzar un compromiso entre las limitaciones de la implementación y la necesidad de capturar las variaciones de desvanecimiento en diferentes antenas, puede ser beneficioso diseñar libros de códigos que no asuman la misma potencia de transmisión por antena. Estos libros de códigos pueden permitir variaciones de potencia predeterminadas a través de las antenas. Por ejemplo, puede haber dos niveles de potencia diferentes para cada antena de transmisión.

40 [0042] En los sistemas existentes, primero se puede generar una matriz de fase aleatoria diagonal y se puede multiplicar por una matriz de transformada de Fourier discreta (DFT). Los términos \mathbf{w}_i se pueden elegir como la columna del producto de las matrices de fase aleatoria DFT y diagonal, *es decir*, $\mathbf{\Omega}$.

$$\mathbf{\Omega} = \begin{bmatrix} e^{j\phi_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\phi_2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & e^{j\phi_N} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{N}} \left[e^{j \frac{2\pi mn}{N}} \right], \quad m, n = 0, \dots, N-1 \quad (12)$$

45 Las entradas de los términos \mathbf{w}_i son todas de norma constante.

50 [0043] La restricción de la norma por unidad de entrada se puede relajar a la norma de la unidad para todo el vector. En este caso, los términos \mathbf{w}_i pueden ser una columna de $\mathbf{\Omega}$, donde $[\mathbf{\Omega}, \mathbf{S}, \mathbf{V}] = \text{SVD}(\mathbf{G})$ y \mathbf{G} es una matriz con entradas complejas aleatorias con una distribución de Gauss compleja de norma de unidad. Por lo tanto, aunque existen variaciones de potencia a través de las antenas, las palabras en clave (*es decir*, los términos \mathbf{w}_i) pueden ser la norma de unidad.

[0044] La presente divulgación también propone un esquema que permite variaciones de potencia fijas en las entradas de libros de códigos. Puede suponerse que se permiten L niveles de potencia para cada antena.

$$\tilde{\mathbf{w}}_i = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} \bullet \mathbf{w}_i / \text{Norm} \left(\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} \bullet \mathbf{w}_i \right), \quad I_i \in \{P_1, P_2, \dots, P_L\} \quad (13)$$

5 donde \bullet es el producto de Hadamard (por pares) y \mathbf{w}_i es la palabra en clave. Por lo tanto, este esquema puede agregar otra dimensión al libro de códigos existente al agregar más bits $\log_2(L)$ de información a la estructura de cada palabra de código. Si el número total de bits es fijo, existe un compromiso entre el número de bits asignado a la retroalimentación de amplitud (*por ejemplo*, bits $\log_2(L)$), en contraste con la retroalimentación de dirección (n bits; donde el tamaño del libro de códigos \mathbf{w}_i es 2^n).

10 [0045] La figura 6 muestra ciertos parámetros que pueden tomarse en consideración cuando se genera un libro de códigos 604. El libro de códigos 604 se muestra con varias palabras de código 606a, 606b, 606nn (*por ejemplo*, 2^n).

15 [0046] Como se indicó anteriormente, el tamaño 624 del libro de códigos 604 puede ser un parámetro de optimización. Aumentar el tamaño del libro de códigos puede mejorar el rendimiento del sistema, particularmente para SNR altas.

20 [0047] Además, los parámetros de variación de potencia 626 pueden tomarse en consideración cuando se genera un libro de códigos 604. Los parámetros de variación de potencia 626 pueden indicar, *por ejemplo*, si el libro de códigos 604 permite variaciones de potencia a través de antenas, si las palabras de código 606 dentro del libro de códigos 604 son una norma de unidad, si las variaciones de potencia son fijas, *etc.*

25 [0048] En la descripción anterior, se asumió que cada usuario tiene una antena de recepción (*es decir*, $M = 1$). Sin embargo, al menos algunos de los usuarios pueden tener múltiples antenas de recepción (*es decir*, $M \geq 2$). En este caso, puede existir un vector de combinación \mathbf{u} en el receptor. En el caso de $M = 2$, SINR_i y $M(\mathbf{w}_i)$ se pueden expresar como:

$$\text{SINR}_i = \frac{|\mathbf{u}_i \mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{u}_j \mathbf{h}_{ji} \mathbf{w}_j|^2 P_j + N_i} \quad (14)$$

$$M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{u}_i \mathbf{h}_{ii} \mathbf{w}_i|^2 P_i / N_i}{\sum_{j \neq i} |\mathbf{u}_j \mathbf{h}_{ij} \mathbf{w}_j|^2 P_j / N_j + 1} \quad (15)$$

30 [0049] Se pueden aplicar procedimientos similares a los descritos anteriormente cuando al menos algunos de los usuarios tienen múltiples antenas de recepción. Una diferencia puede ser que puede haber dos variables de optimización, los términos \mathbf{u} y \mathbf{w} . Si bien la estación base puede dar por sentado \mathbf{u} y encontrar el vector de formación de haz óptimo \mathbf{w} , el receptor puede encontrar el filtro de recepción óptimo \mathbf{u} . El filtro de recepción \mathbf{u} se puede adoptar como un filtro coincidente o como un filtro de recepción de error cuadrático mínimo (MMSE).

40 [0050] En tal configuración, el receptor puede asumir que los usuarios están utilizando vectores propios dominantes o filtros coincidentes como sus filtros de receptor. (Suponiendo que el filtro del receptor MMSE se aplique al usuario, puede necesitar el conocimiento de los canales entre ese usuario y sus otras estaciones base interferentes. Devolver esta información puede ser poco práctico). Después de asumir el filtro de recepción, la estación base puede encontrar la solución MMSE que maximiza la métrica anterior. Este \mathbf{w}_i^* puede ser utilizado para la transmisión al usuario i . El usuario puede aplicar un filtro de recepción MMSE para maximizar su SINR (que se muestra arriba), que proporciona \mathbf{u}_i^* .

45 [0051] Este proceso puede continuarse de manera iterativa. La próxima vez que el usuario devuelva el canal equivalente $\mathbf{u}_j \mathbf{h}_{ij}$ a la estación base i . Por lo tanto, la estación base puede encontrar el \mathbf{w}_i^* con precisión. Después de

la siguiente transmisión, el usuario vuelve a encontrar la u óptima; en base al canal de enlace descendente equivalente. Este proceso puede repetirse hasta que converja a un estado estable.

5 [0052] La figura 7 muestra una estación base 702 con múltiples antenas 734a, 734b y un usuario (estación móvil) 728 con múltiples antenas 732a, 732b. Un componente de selección de palabras de código 708 en la estación base 702 puede asumir el filtro de recepción y encontrar la solución MMSE que maximice la métrica anterior. Este \mathbf{w}_i^* puede utilizarse para la transmisión al usuario 728. Un componente de cálculo de filtro de recepción 730 en el usuario 728 puede entonces aplicar un filtro de recepción MMSE para maximizar su SINR (que se muestra arriba), que proporciona \mathbf{u}_i^* .
10 Entonces, el usuario puede retroalimentar el canal equivalente 736 a la estación base 702. Como se indicó anteriormente, este proceso se puede repetir hasta que converja en un estado estable.

15 [0053] La figura 8 ilustra un procedimiento 800 para la formación de haces distribuidos en base a la portadora y la interferencia causada. De acuerdo con el procedimiento 800, la información del estado del canal puede ser recibida 802 desde los usuarios. La información del estado del canal puede ser información completa del estado del canal. Alternativamente, la información del estado del canal puede consistir en una versión cuantificada del canal y de la amplitud del canal. De manera alternativa, la información del estado del canal puede consistir en la versión cuantificada del canal.

20 [0054] Un vector de formación de haz de transmisión (\mathbf{w}_i) puede determinarse 804 basándose en la maximización de una función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ que incluye una relación de interferencia a la señal más el ruido. Como se mencionó anteriormente, la función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ puede tener diferentes formas dependiendo de la información de estado del canal que se recibe.

25 [0055] Hay varias formas en que el vector de formación de haz de transmisión puede determinarse 804. Por ejemplo, el vector de formación de haz de transmisión puede determinarse seleccionando una palabra de código de un libro de códigos. Alternativamente, se puede calcular el vector de formación de haz de transmisión (*por ejemplo*, en base a la resolución de la ecuación (6) anterior). Una vez que se ha determinado un vector de formación de haz de transmisión 804 particular, el vector de formación de haz de transmisión se puede usar 806 para formación de haz.

30 [0056] El procedimiento 800 de la figura 8, descrito anteriormente, puede realizarse mediante diversos componentes y/o módulos de hardware y/o software, correspondientes a los bloques de medios más función 900 ilustrados en la figura 9. En otras palabras, los bloques 802 a 806 ilustrados en la figura 8 corresponden a los bloques de medios más función 902 a 906 ilustrados en la figura 9.

35 [0057] La figura 10 ilustra diversos componentes que pueden utilizarse en un dispositivo inalámbrico 1002. El dispositivo inalámbrico 1002 es un ejemplo de dispositivo que puede estar configurado para implementar los diversos procedimientos descritos en el presente documento. El dispositivo inalámbrico 1002 puede ser una estación base o una estación móvil.

40 [0058] El dispositivo inalámbrico 1002 puede incluir un procesador 1004 que controle el funcionamiento del dispositivo inalámbrico 1002. El procesador 1004 se puede denominar también unidad central de procesamiento (CPU). La memoria 1006, que puede incluir tanto memoria de solo lectura (ROM) como memoria de acceso aleatorio (RAM), proporciona instrucciones y datos al procesador 1004. Una porción de la memoria 1006 también puede incluir memoria de acceso aleatorio no volátil (NVRAM). El procesador 1004 realiza habitualmente operaciones lógicas y aritméticas basándose en instrucciones de programa almacenadas dentro de la memoria 1006. Las instrucciones en la memoria 1006 pueden ser ejecutables para implementar los procedimientos descritos en el presente documento.
45

[0059] El dispositivo inalámbrico 1002 puede incluir también un alojamiento 1008 que puede incluir un transmisor 1010 y un receptor 1012 para permitir la transmisión y la recepción de datos entre el dispositivo inalámbrico 1002 y una ubicación remota. El transmisor 1010 y el receptor 1012 se pueden combinar en un transceptor 1014. Una antena 1016 puede unirse a la carcasa 1008 y acoplarse eléctricamente al transceptor 1014. El dispositivo inalámbrico 1002 también puede incluir múltiples transmisores, múltiples receptores, múltiples transceptores y/o múltiples antenas (no mostrados).
50

[0060] El dispositivo inalámbrico 1002 también puede incluir un detector de señales 1018 que puede usarse para detectar y cuantificar el nivel de señales recibidas por el transceptor 1014. El detector de señales 1018 puede detectar dichas señales como energía total, chips de energía piloto por pseudo-ruido (PN), densidad espectral de potencia, y otras señales. El dispositivo inalámbrico 1002 también puede incluir un procesador de señales digitales (DSP) 1020 para su uso en el procesamiento de señales.
55

[0061] Los diversos componentes del dispositivo inalámbrico 1002 pueden acoplarse juntos por un sistema de bus 1022 que puede incluir un bus de potencia, un bus de señal de control, y un bus de estado, además de un bus de datos. Sin embargo, con fines de claridad, los diversos buses se ilustran en la figura 10 como el sistema de bus 1022.
60

[0062] Tal como se usa en la presente memoria, el término "determinar" abarca una amplia variedad de acciones y, por lo tanto, "determinar" puede incluir calcular, computar, procesar, obtener, investigar, consultar (por ejemplo, consultar una tabla, una base de datos u otra estructura de datos), verificar y similares. Además, "determinar" puede incluir recibir (por ejemplo, recibir información), acceder, (por ejemplo, acceder a datos de una memoria) y similares. Asimismo, "determinar" puede incluir resolver, seleccionar, elegir, establecer y similares.

[0063] La frase "basándose en" no significa "basándose únicamente en", a menos que se especifique expresamente lo contrario. En otras palabras, la frase "basándose en" describe tanto "basándose únicamente en" como "basándose al menos en".

[0064] Los diversos bloques lógicos, módulos y circuitos ilustrativos descritos en relación con la presente divulgación pueden implementarse o realizarse con un procesador de propósito general, con un procesador de señales digitales (DSP), con un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), con una señal de formación de compuertas programables in situ (FPGA) o con otro dispositivo de lógica programable, lógica de transistor o de compuertas discretas, componentes de hardware discretos o con cualquier combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en el presente documento. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador pero, de forma alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados disponible en el mercado. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

[0065] Las etapas de un procedimiento o algoritmo descrito en relación con la presente divulgación pueden realizarse directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en cualquier forma de medio de almacenamiento conocido en la técnica. Algunos ejemplos de medios de almacenamiento que pueden usarse incluyen memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, un disco duro, un disco extraíble, un disco óptico, etc. Un módulo de software puede comprender una única instrucción o muchas instrucciones, y puede distribuirse por varios segmentos de código diferentes, entre programas diferentes y a través de múltiples medios de almacenamiento. Un medio de almacenamiento puede estar acoplado a un procesador de manera que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. De forma alternativa, el medio de almacenamiento puede estar integrado en el procesador.

[0066] Los procedimientos divulgados en el presente documento comprenden una o más etapas o acciones para lograr el procedimiento descrito. Las etapas y/o acciones del procedimiento se pueden intercambiar entre sí sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. En otras palabras, a menos que se especifique un orden específico de etapas o acciones, el orden y/o el uso de etapas y/o acciones específicas se pueden modificar sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

[0067] Las funciones descritas pueden implementarse en hardware, software, firmware o en cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en software, las funciones pueden almacenarse como una o más instrucciones en un medio legible por ordenador. Un medio legible por ordenador puede ser cualquier medio disponible al que pueda accederse mediante un ordenador. A modo de ejemplo, y no de limitación, un medio legible por ordenador puede comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otros dispositivos de almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para transportar o almacenar código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que pueda accederse mediante un ordenador. Los discos, tal y como se usan en el presente documento, incluyen el disco compacto (CD), el disco de láser, el disco óptico, el disco versátil digital (DVD), el disco flexible y el disco Blu-ray®, donde algunos discos habitualmente reproducen datos de manera magnética, mientras que otros discos reproducen datos de manera óptica con láser.

[0068] El software o las instrucciones pueden transmitirse también por un medio de transmisión. Por ejemplo, si el software se transmite desde una sede de la Red, un servidor u otro origen remoto mediante un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un par trenzado, una línea de abonado digital (DSL) o tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, el cable de fibra óptica, el par trenzado, la DSL o las tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas se incluyen en la definición de medio de transmisión.

[0069] Además, debería apreciarse que los módulos y/u otros medios adecuados para realizar los procedimientos y las técnicas descritos en el presente documento, tales como los ilustrados mediante la figura 8, se pueden descargar y/u obtener de otra manera mediante un dispositivo móvil y/o estación base como sea aplicable. Por ejemplo, un dispositivo de este tipo puede estar acoplado a un servidor para facilitar la transferencia de medios para realizar los procedimientos descritos en el presente documento. De forma alternativa, diversos procedimientos descritos en el presente documento pueden proporcionarse mediante medios de almacenamiento (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), un medio de almacenamiento físico tal como un disco compacto (CD) o un disco flexible, etc.), de tal manera que un dispositivo móvil y/o una estación base pueda obtener los diversos procedimientos tras acoplarse o proporcionar al dispositivo los medios de almacenamiento. Además, se puede utilizar

cualquier otra técnica adecuada para proporcionar a un dispositivo los procedimientos y las técnicas descritos en el presente documento.

- 5 **[0070]** Se entenderá que las reivindicaciones no están limitadas a la configuración y a los componentes precisos ilustrados anteriormente. Pueden hacerse diversas modificaciones, cambios y variaciones en la disposición, el funcionamiento y los detalles de los sistemas, procedimientos y aparatos descritos en el presente documento sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (800) para la formación de haces distribuidos basándose en la portadora y en la interferencia causada, el procedimiento que se implementa por una estación base de una pluralidad de estaciones base, cada estación base que sirve a un solo usuario, el procedimiento que comprende:

recibir (802) información de estado de canal desde los usuarios;

determinar (804) un vector de formación de haz de transmisión basándose en la maximización de una función de utilidad $M(\mathbf{w}_i)$ que comprende una relación de la señal a interferencia causada más ruido, en el que cada estación base determina por separado el vector de formación del haz de transmisión para su usuario; y

utilizar (806) el vector de formación de haz de transmisión para formación de haz; y

en el que la interferencia causada a cada usuario se escala por uno o más factores de ponderación α , en el que la escala se produce como:

$$M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{h}_{ii}\mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} \alpha_{ij} |\mathbf{h}_{ij}\mathbf{w}_i|^2 P_j + \alpha_0 N}$$

en el que \mathbf{w}_i indica el vector de formación de haz de transmisión, \mathbf{h}_{ii} , \mathbf{h}_{ij} indican coeficientes de canal, P_i indica la restricción de potencia para la estación base i .

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar el vector de formación de haz de transmisión comprende seleccionar una palabra de código de un libro de códigos.

3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el tamaño del libro de códigos es un parámetro variable.

4. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el libro de códigos permite variaciones de potencia a través de antenas.

5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que las palabras de código dentro del libro de códigos son una norma de unidad.

6. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que las variaciones de potencia son fijas.

7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar el vector de formación de haz de transmisión comprende calcular el vector de formación de haz de transmisión, y en el que el vector de formación de haz de transmisión se calcula preferiblemente basándose en la resolución de $\mathbf{w}_i^* = ((\mathbf{I}+\mathbf{B})^{-1} \cdot \mathbf{h}_{ii}) / \|\mathbf{h}_{ii}\|$ en el que \mathbf{B} se define como $\sum_{j \neq i} \mathbf{h}_{ij} \mathbf{h}_{ij}^H P_j / N_j$

en el que \mathbf{h}_{ii} , \mathbf{h}_{ij} indican coeficientes de canal, P_i indica la restricción de potencia para la estación base i .

8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se recibe información completa del estado del canal desde los usuarios.

9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la información de estado del canal que se recibe comprende una versión cuantificada de la dirección del canal y, preferiblemente, también la amplitud del canal.

10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que al menos algunos de los usuarios tienen múltiples antenas de recepción.

11. Un aparato (202, 900) para la formación de haces distribuidos basándose en la portadora y en la interferencia causada, el aparato que se implementa por una estación base de una pluralidad de estaciones base, cada estación base que sirve a un solo usuario, que comprende:

medios (902) para recibir información de estado de canal desde los usuarios;

medios (904) para determinar un vector de formación de haz de transmisión basándose en la maximización de una función de utilidad que comprende una relación de la señal a interferencia causada más ruido, en el que cada estación base determina por separado el vector de formación del haz de transmisión para su uso; y

medios (906) para usar el vector de formación de haz de transmisión para formación de haz; y

5 en el que la interferencia causada a cada usuario se escala por uno o más factores de ponderación α , en el que la escala se produce como:

$$M(\mathbf{w}_i) = \frac{|\mathbf{h}_{ii}\mathbf{w}_i|^2 P_i}{\sum_{j \neq i} \alpha_{ij} |\mathbf{h}_{ij}\mathbf{w}_i|^2 P_j + \alpha_0 N}$$

10 en el que \mathbf{w}_i indica el vector de formación de haz de transmisión, \mathbf{h}_{ii} , \mathbf{h}_{ij} indican coeficientes de canal, P_i indica la restricción de potencia para la estación base i .

12. El aparato de la reivindicación 11, en el que los medios para determinar el vector de formación de haz de transmisión comprenden medios para seleccionar una palabra de código de un libro de códigos.

13. El aparato de la reivindicación 12, en el que el tamaño del libro de códigos es un parámetro variable.

14. El aparato de la reivindicación 12. en el que el libro de códigos permite variaciones de potencia a través de antenas.

15. Un producto de programa informático para la formación de haces distribuidos basándose en la portadora y en la interferencia causada, el producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador que tiene instrucciones en el mismo, las instrucciones que comprenden:

20 código para realizar todas las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, cuando se ejecuta en un ordenador.

25

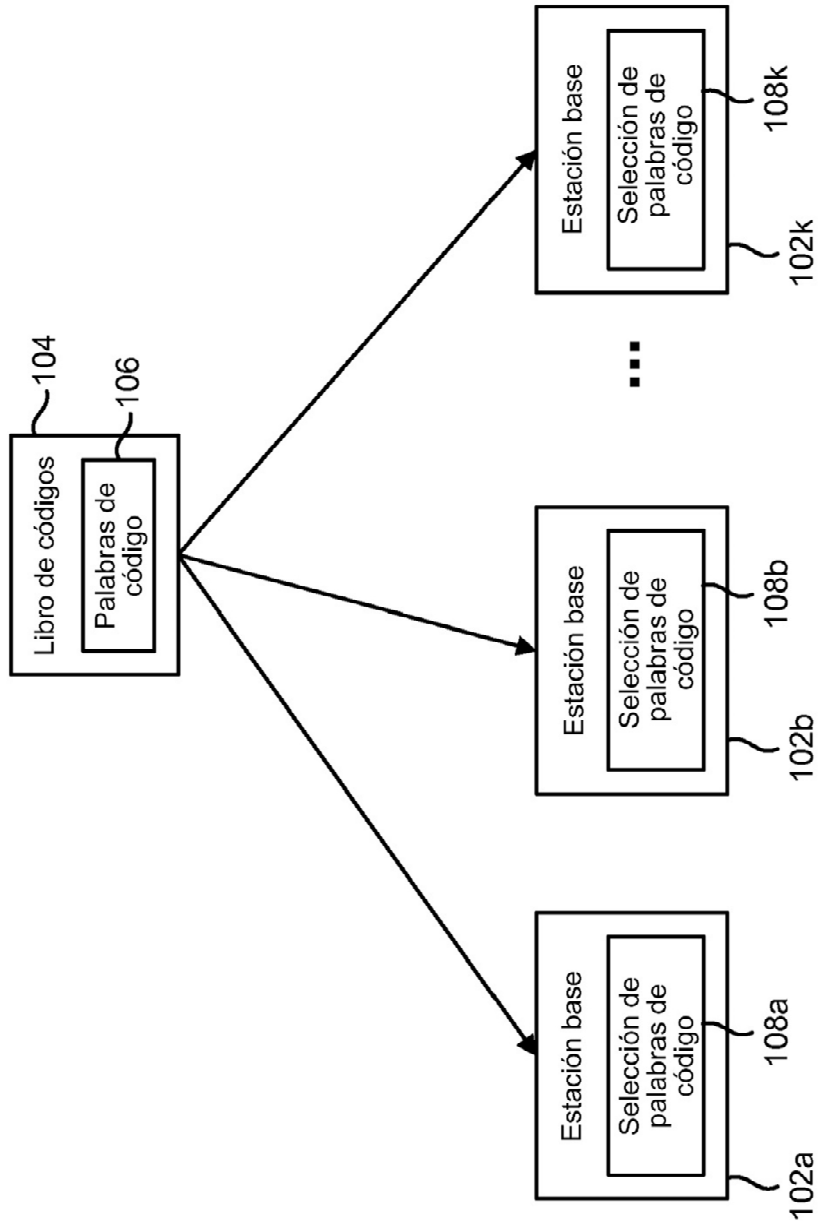


FIG. 1

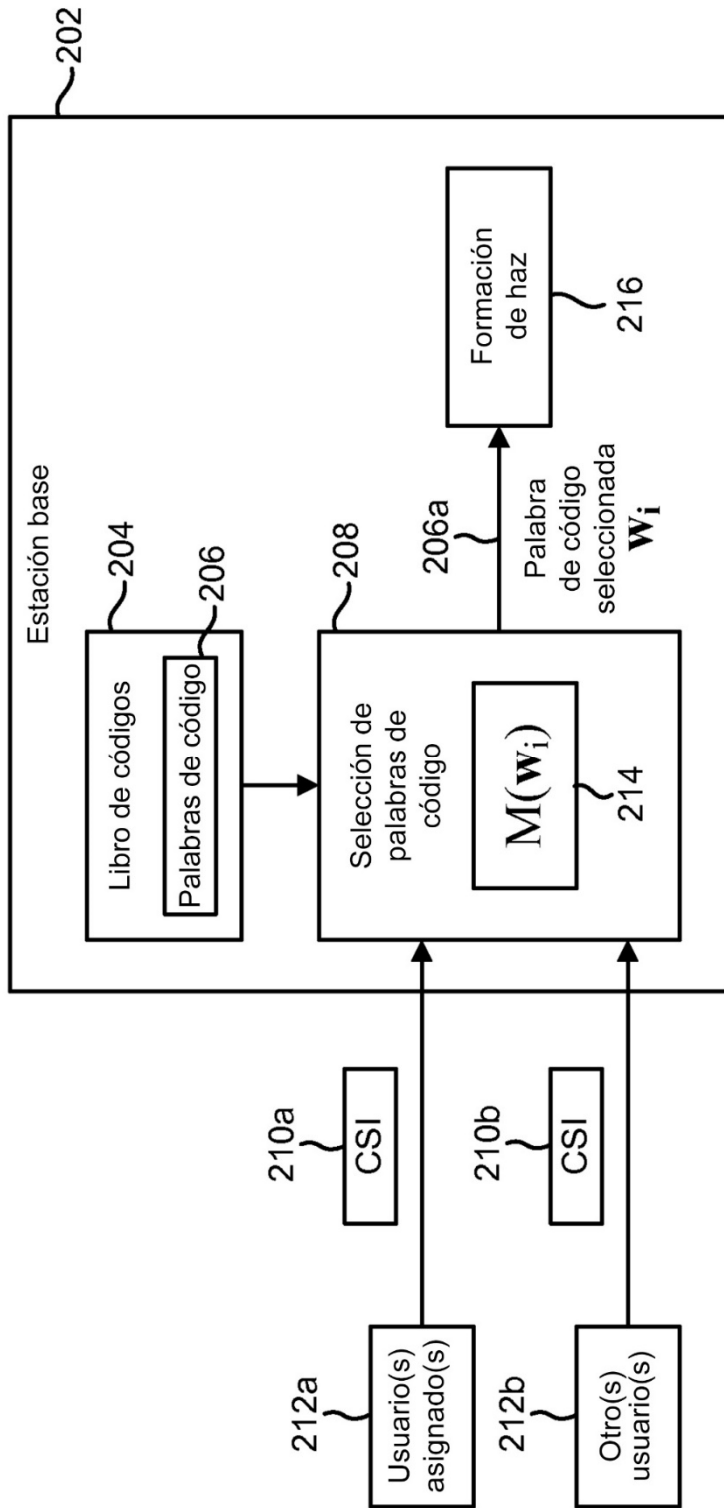


FIG. 2

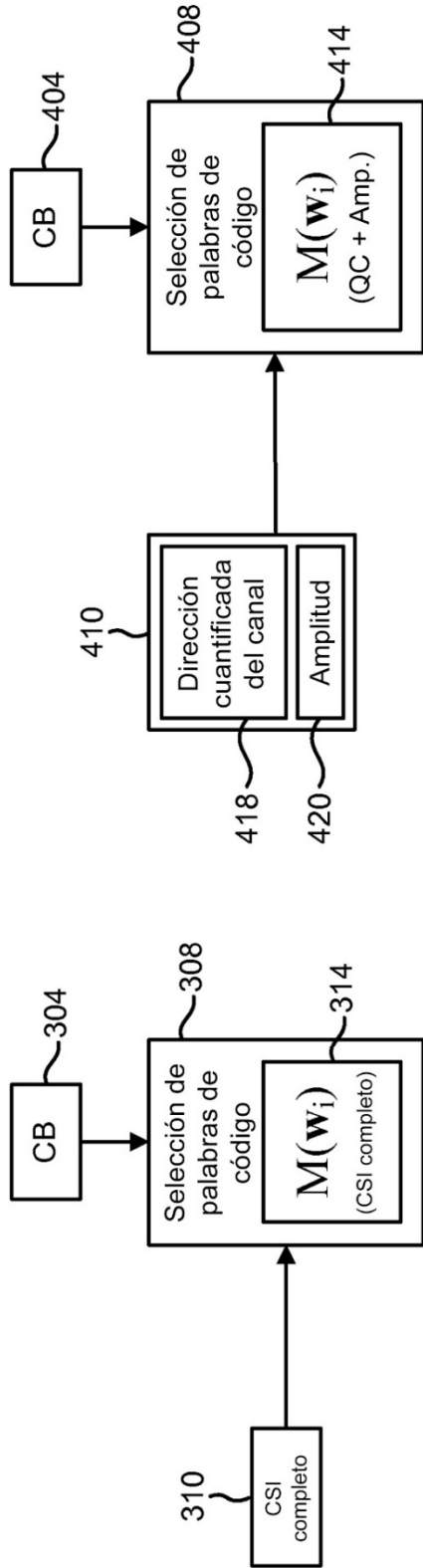


FIG. 4

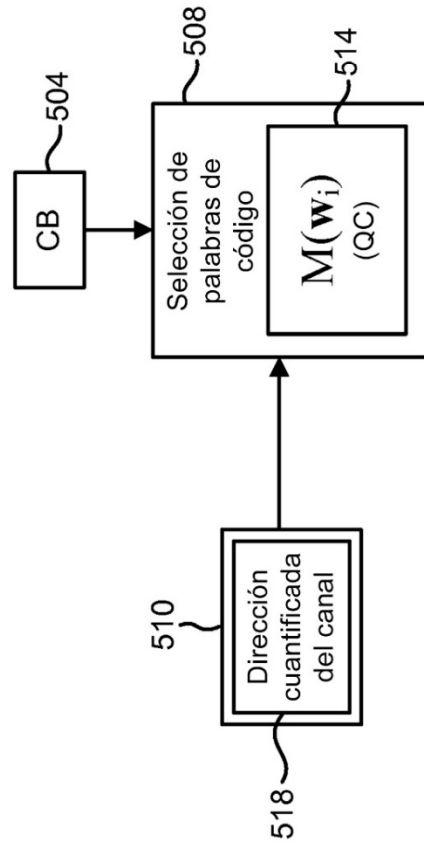


FIG. 5

FIG. 3

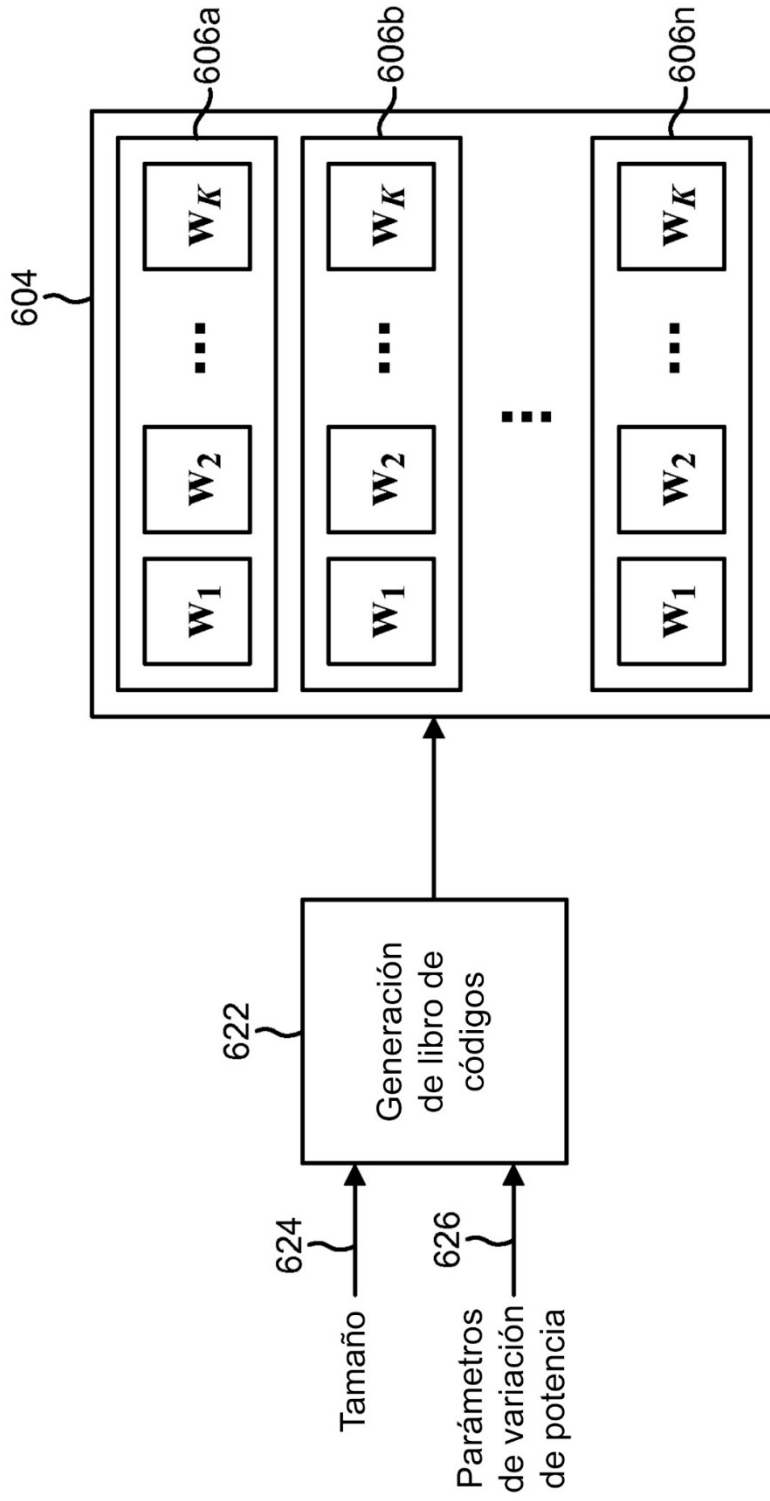


FIG. 6

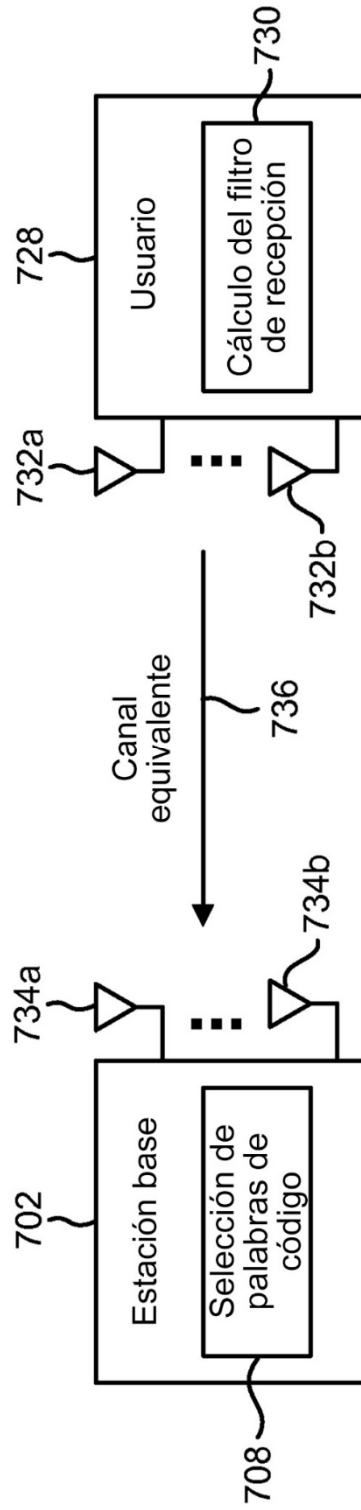


FIG. 7

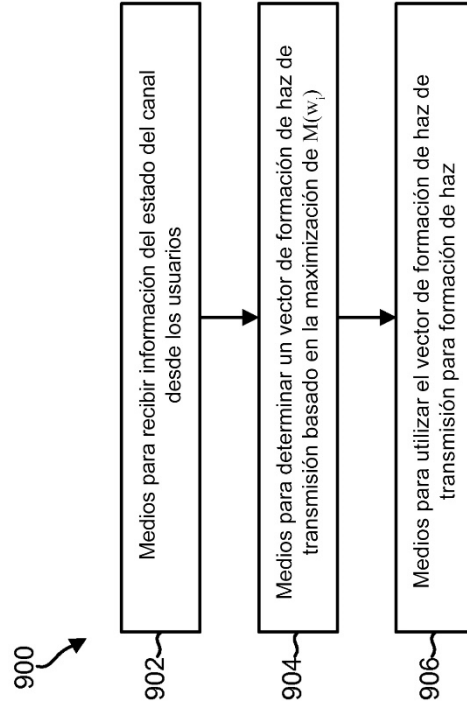


FIG. 9

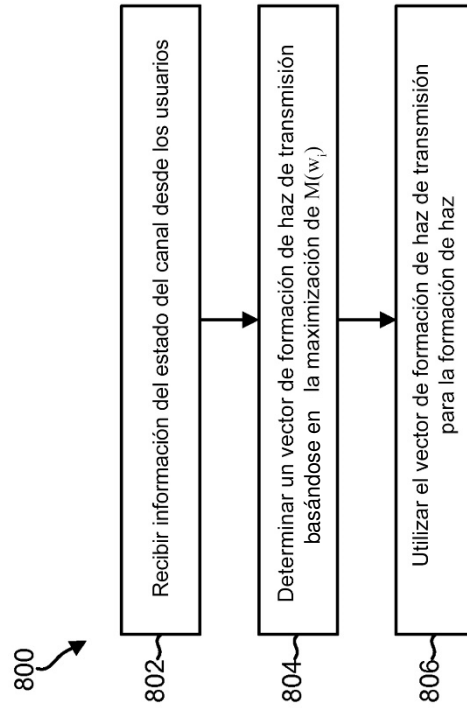


FIG. 8

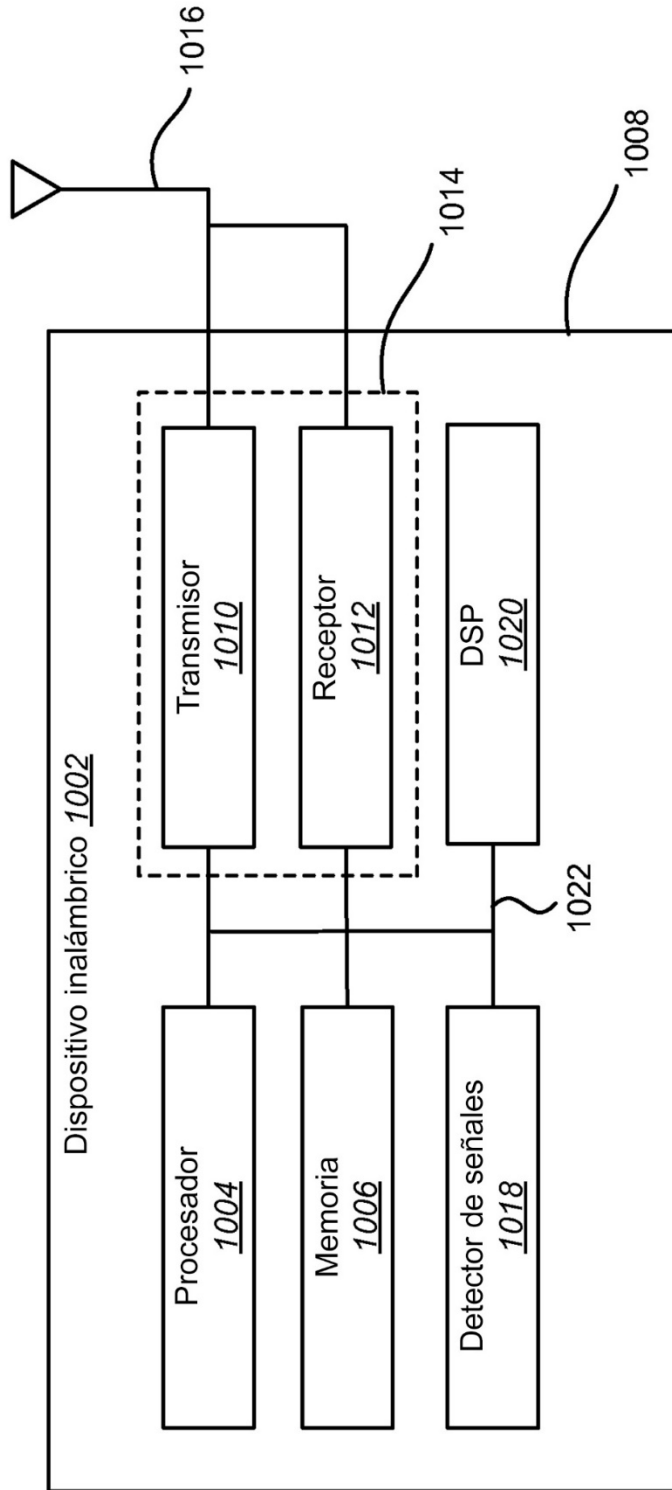


FIG. 10