

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 259**

51 Int. Cl.:

H04B 7/04 (2007.01)

H04L 25/03 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.04.2010 PCT/US2010/033061**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.11.2010 WO10127183**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2010 E 10770386 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2425544**

54 Título: **Esquema de retroalimentación diferencial para circuito cerrado MIMO de conformación de haces**

30 Prioridad:

29.04.2009 US 173939 P
29.04.2010 US 770620

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.11.2017

73 Titular/es:

INTEL CORPORATION (100.0%)
2200 Mission College Boulevard, MS: RNB-4-150
Santa Clara, California 95052, US

72 Inventor/es:

LI, QINGHUA;
ZHU, YUAN y
LIN, XINTIAN EDDIE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 640 259 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

Esquema de retroalimentación diferencial para circuito cerrado MIMO de conformación de haces

ANTECEDENTES

5 Las implementaciones de la invención reivindicada en general pueden referirse a las comunicaciones inalámbricas y, en particular, a la conformación de haces en redes de comunicación inalámbrica.

En el enlace descendente del circuito cerrado de múltiple entrada/múltiple salida (MIMO) de conformación de haces en una red inalámbrica que comprende una estación de abonado y una estación base (BS), la estación de abonado (también denominada a veces en el presente documento como una estación móvil (MS) o un equipo de usuario (UE)) cuantifica la matriz de conformación de haces ideal y envía un índice de cuantificación, que corresponde a la matriz de conformación de haces ideal, de vuelta a la estación base (también denominada a veces en el presente documento como un transmisor o un nodo B evolucionado (eNB)). La estación base reconstruye la matriz de conformación de haces de acuerdo con el índice retroalimentado y lleva a cabo la conformación de haces. Del mismo modo, en el enlace ascendente, la estación base cuantifica la matriz de conformación de haces ideal y la estación de abonado reconstruye matriz de conformación de haces de acuerdo con la retroalimentación. Es bien sabido que la conformación de haces aumenta el rendimiento del enlace y el rendimiento del sistema.

La matriz de conformación de haces puede ser retroalimentada diferencialmente. El cambio entre la matriz de conformación de haces actual y la anterior puede cuantificarse por un libro de códigos y el índice de cuantificación correspondiente puede ser retroalimentado. El libro de códigos de cuantificación determina la precisión de la conformación de haces y la capacidad de seguimiento. La retroalimentación diferencial puede ser aplicada a través del tiempo y/o de la frecuencia.

Las realizaciones de la invención pueden encontrar aplicación en una red de área local inalámbrica (WLAN) o una red de área amplia inalámbrica (WWAN), incluyendo una red WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) o similares. La tecnología WiMAX se basa en la familia de estándares IEEE 802.16, incluyendo IEEE 802.16e, IEEE 802.16m y otros. La invención en este documento también puede ser aplicable a otros estándares inalámbricos WWAN subsiguientes, tales como los que operan de acuerdo con 3GPP evolución a largo plazo (LTE), o LTE-Advanced o similares. Además, si bien varios estándares específicos se han expuesto en el presente documento como ejemplos de aplicaciones adecuadas, las implementaciones en el presente documento no se limitan a cualquier estándar o protocolo particular

Se hace referencia a TEXAS INSTRUMENTS ET AL: "Way Forward on 4-Tx Antenna Codebook for SU-MIMO", DRAFT 3GPP; R1-071799 WAY FORWARD 4-TX CODEBOOK, 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP), MOBILE COMPETENCE CENTRE; 650, ROUTE DES LUCIOLES; F-06921 SOPHIA-ANTIPOLIS CEDEX; FRANCE, Vol. RAN WG1, no. St. Julian; 20070403, 3 de abril de 2007 (2007-04-03), el cual da a conocer un diseño de libro de códigos basado propietario para SU-MIMO.

También se hace referencia al documento US 2009/006518 A1, el cual da a conocer un método y un aparato para el establecimiento de un libro de códigos de precodificación para un sistema de comunicación inalámbrica de múltiple entrada/múltiple salida (MIMO). El libro de códigos de precodificación incluye una pluralidad de entradas del libro de códigos. Cada una de las entradas del libro de códigos incluye cuatro conjuntos de vectores para cuatro respectivos rangos de transmisión correspondientes. Los vectores pueden ser predeterminados o generados a partir de matrices unitarias de origen. Además, el libro de códigos está anidado completamente.

40 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta especificación, ilustran una o más implementaciones consistentes con los principios de la invención y, junto con la descripción, explican tales implementaciones. Los dibujos no son necesariamente a escala, haciéndose énfasis por el contrario a ilustrar los principios de la invención. En los dibujos,

45 La Fig. 1 ilustra un diagrama de bloques de ejemplo de un sistema de comunicaciones de acuerdo con algunas implementaciones dadas a conocer en el presente documento.

La Fig. 2 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de comunicación de ejemplo de acuerdo con algunas implementaciones.

La Fig. 3 ilustra un proceso conceptual de formación de un libro de códigos Nx(N-M) de un libro de códigos de NxM como se describe en el presente documento.

La Fig. 4 ilustra un proceso de precodificación o conformación de haces de datos utilizando un libro de códigos diferencial generado dinámicamente como se describe en el presente documento.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA

La siguiente descripción detallada se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia pueden ser usados en diferentes dibujos para identificar elementos iguales o similares. En la siguiente descripción, para fines de explicación y no de limitación, los detalles específicos se exponen, tales como estructuras, arquitecturas, interfaces, técnicas, etc. particulares, a fin de proporcionar una comprensión completa de los diversos aspectos de la invención reivindicada. Sin embargo, será evidente para aquellos expertos en la técnica, teniendo el beneficio de la presente divulgación que los diversos aspectos de la invención reivindicada pueden practicarse en otros ejemplos que se apartan de estos detalles específicos. En ciertos casos, se omiten las descripciones de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos para no recargar la descripción de la presente invención con detalles innecesarios.

10 Algunas implementaciones en el presente documento pueden utilizarse para generar un segundo libro de códigos Nx(N-M) de un segundo rango (N-M) a partir de un primer libro de códigos NxM de un primer rango M. El primer y segundo libro de códigos puede ser utilizado por las estaciones para la precodificación del circuito cerrado MIMO de cualquier manera conocida. Este segundo libro de códigos es ortogonal y complementario al primer libro de códigos. En la práctica, esto puede reducir los requisitos de almacenamiento en el circuito cerrado MIMO de conformación de haces, debido a que el segundo libro de códigos puede ser generado dinámicamente según sea necesario por una estación base y/o una estación móvil. En algunos casos, una matriz de conformación de haces rango superior o matriz de precodificación puede estar formada a partir de una matriz de conformación de haces de rango inferior (p. ej. uno o dos) o matriz de precodificación. Además, se da a conocer una nueva forma de generar la matriz de rotación $\mathbf{Q}_{V(t-1)}$.

La Fig. 1 ilustra un diagrama de bloques de ejemplo de un sistema de comunicación 100 de acuerdo con algunas implementaciones del presente documento. El sistema 100 incluye un transmisor 102 capaz de comunicarse con un receptor 104 a través de un canal MIMO 106. Opcionalmente, el transmisor 102 puede ser consciente de distorsión. El transmisor 102 está configurado para recibir una fuente a ser transmitida. El transmisor 102, bien implícita o explícitamente, como se explica más adelante, tiene en cuenta las condiciones del canal durante la codificación del canal a través de la retroalimentación del circuito cerrado desde el receptor 104. El transmisor 102 transmite la fuente sobre el canal MIMO al receptor 104 de acuerdo con una palabra de código seleccionada de entre sus libros de códigos en base a un índice de palabra de código retroalimentado desde el receptor. El receptor 104 está configurado para recibir la transmisión MIMO y reconstruir la transmisión para generar una fuente reconstruida.

Debe tenerse en cuenta que el transmisor 102 puede ser bien una estación base (BS)/eNB o una estación móvil (MS)/UE, y el receptor 104 puede ser el otro de una estación base/eNB o una estación móvil/UE. Como es la práctica, en el circuito cerrado MIMO de conformación de haces, bien la BS o la MS pueden determinar (p. ej. en base a SINR u otra condición(es) de validez canal) en qué rango transmitir y recibir información. Por ejemplo, en un SINR relativamente bajo, se puede utilizar un esquema de Nx1 (es decir, rango 1) para transmitir toda la energía en un único flujo, donde, si el SINR mejora alrededor de 5 dB se puede utilizar una configuración Nx2 (es decir, rango 2). Del mismo modo, si el SINR supera por ejemplo 20 dB se puede utilizar un esquema Nx3 (es decir, rango 3) para aumentar el rendimiento. En cualquier caso, la BS y la MS pueden generar libros de códigos del rango apropiado antes de la transmisión. Entonces la retroalimentación de un dispositivo de recepción (p. ej. la MS o la BS) en forma de un índice de palabra de código, permite al dispositivo de transmisión (p. ej. la BS o la MS) elegir una palabra de código correspondiente de su libro de códigos generado para la transmisión de conformación de haces.

Tal como se usan en el presente documento, los términos "matriz de conformación de haces" y "matriz de precodificación" pueden intercambiarse. Técnicamente, el primero es la instancia de un único flujo (es decir, rango 1) del último, pero en un sentido más amplio, una matriz de precodificación conforma o forma la salida resultante, incluso si no hay un único haz a ser formado (es decir, para rango 2 o superior, donde hay múltiples flujos). Por lo tanto, en un sentido general en el presente documento, "conformación de haces" puede referirse a "precodificación" y viceversa.

La FIG. 2 ilustra un ejemplo de un sistema 200 para la transmisión del circuito cerrado MIMO de acuerdo con algunas implementaciones. Con este fin, el sistema 200 incluye un transmisor 202 configurado para comunicarse de forma inalámbrica con un receptor 204 sobre un canal MIMO 206. El transmisor 202 incluye una pluralidad de antenas transmisoras 208 para la comunicación MIMO con una pluralidad de antenas receptoras 210 en el receptor

204. El transmisor 202 también incluye un circuito transmisor o dispositivo 212, tal como una interfaz de usuario de radio u otro mecanismo de transmisión inalámbrica para transmitir señales sobre el canal MIMO 206. Del mismo modo, el receptor 204 puede incluir un circuito receptor o dispositivo 214, tal como una interfaz de usuario de radio u otro mecanismo de recepción inalámbrica para recibir las señales del transmisor 202.

5 Además, el transmisor 202 puede incluir uno o más procesadores 216 acoplados a una memoria 218 u otros medios de almacenamiento legibles por procesador. Del mismo modo, el receptor 204 puede incluir uno o más procesadores 222 acoplados a una memoria 224.

10 En algunas implementaciones, el procesador(es) 216, 222 puede ser una única unidad de procesamiento o un número de unidades de procesamiento, las cuales pueden incluir múltiples unidades de computación o múltiples núcleos. El procesador(es) 216, 222 puede implementarse como uno o más microprocesadores, microordenadores, microcontroladores, procesadores de señales digitales, unidades centrales de procesamiento, máquinas de estados, circuitos lógicos y/o cualquier dispositivo que manipula señales en base a instrucciones operativas. Entre otras capacidades, los procesadores 216, 222 se pueden configurar para extraer y ejecutar instrucciones ejecutables por procesador almacenadas en las memorias 218, 224, respectivamente, u otros medios de almacenamiento legibles por procesador.

15 Las memorias 218, 224 pueden incluir cualquier medio de almacenamiento legible por procesador conocido en la técnica incluyendo, por ejemplo, memoria volátil (p. ej. RAM) y/o memoria no volátil (p. ej. flash, etc.), dispositivos de almacenamiento masivo, tales como unidades de disco duro, unidades de estado sólido, medios extraíbles que incluyen unidades externas, unidades extraíbles, disquetes, discos ópticos o similares, o cualquier combinación de los mismos. Las memorias 218, 224 almacenan instrucciones de programa ejecutables por procesador legibles por ordenador como código de programa de ordenador, que pueden ser ejecutadas por los procesadores 216, 222, respectivamente, como una máquina particular, para llevar a cabo los métodos y funciones descritas en las implementaciones en el presente documento. Además, las memorias 218, 224 también pueden incluir otros módulos de programa almacenados en las mismas y ejecutable por el procesador(es) 218, 222, respectivamente, para llevar a cabo las implementaciones en el presente documento, como codecs o similares. Por ejemplo, la memoria 218 puede incluir un codificador de fuente 228 y un codificador de canal 230, como se ha discutido anteriormente. Del mismo modo, la memoria 224 puede incluir un decodificador de fuente 232 y un decodificador de espacio-tiempo 234, como se ha discutido anteriormente. Las memorias 218, 224 también pueden incluir estructuras de datos, tales como vectores SNR almacenados, tablas de búsqueda, esquemas MCS MIMO, matrices de precodificación y similares (no mostrados), como se ha discutido anteriormente.

20 Adicionalmente, el transmisor 202 y el receptor 204 pueden implementarse en una variedad de dispositivos y sistemas, tales como sistemas de comunicaciones móvil, sistemas Wi-Fi o similares. Por ejemplo, el transmisor 202 puede estar incorporado en un dispositivo de computación móvil, tal como un teléfono móvil, teléfono inteligente, ordenador portátil o similares, mientras que el receptor 204 podría ser implementado en una antena móvil, punto de acceso inalámbrico, un segundo dispositivo de computación o similares, o viceversa. Además, mientras que se han descrito las arquitecturas de sistemas de ejemplo, se apreciará que otras implementaciones no se limitan a las arquitecturas de sistemas particulares descritas en el presente documento. Por ejemplo, las técnicas y arquitecturas descritas en el presente documento pueden estar incorporadas en cualquiera de una variedad de dispositivos de comunicación inalámbrica, y las implementaciones del presente documento no se limitan a cualquier tipo de dispositivos de comunicación.

25 En el caso de aguas abajo o de enlace descendente, los transmisores denominados genéricamente 102 y/o 202 de arriba pueden ser referidos a nivel del sistema en el presente documento indistintamente como una estación base (BS), o Nodo B evolucionado (eNB) o punto de acceso (AP). En este caso de enlace descendente, los receptores 104 y/o 204 de arriba pueden ser referidos a nivel del sistema en el presente documento indistintamente como una estación móvil (MS), o equipo de usuario (UE) o estación (STA). Además, los términos BS, eNB y AP pueden intercambiarse conceptualmente, dependiendo de qué protocolo inalámbrico está siendo utilizado, por lo que una referencia a la BS en el presente documento también puede ser vista como una referencia a cualquiera de eNB o AP. Del mismo modo, una referencia a MS en este documento puede también ser vista como una referencia a cualquiera de UE o STA.

30 Una descripción de retroalimentación diferencial se detalla a continuación. En el enlace descendente, bien la estación base o la estación móvil selecciona el número de flujos, es decir, el rango de la matriz de conformación de haces. Tanto la estación base como la estación móvil generan el mismo libro de códigos de acuerdo con la especificación para el rango seleccionado. La estación móvil, por ejemplo, puede retroalimentar el índice de la palabra de código, es decir, la matriz de conformación de haces seleccionada. La estación base entonces busca la matriz de conformación de haces del mismo libro de códigos. En algunos casos, sin embargo, la estación base

5 puede retroalimentar el índice de la palabra de código, es decir, la matriz de conformación de haces seleccionada. La estación móvil puede entonces buscar la matriz de conformación de haces del mismo libro de códigos.

Rescapitulación de la retroalimentación diferencial 802.16m:

5 Las retroalimentaciones diferenciales explotan la correlación entre las matrices de precodificación adyacentes en el tiempo o en frecuencias. La retroalimentación deberá comenzar inicialmente y reiniciar periódicamente mediante el envío de una retroalimentación monoestable que representa plenamente el precodificador por sí mismo. Por lo menos una retroalimentación diferencial seguirá al comienzo y al reinicio de la retroalimentación. El comienzo y el reinicio de la retroalimentación emplea el libro de códigos definido para el modo de base y se envía a través del informe a largo plazo definido en la Asignación de Retroalimentación A-MAP IE para MFM 3 y 6. La retroalimentación diferencial se envía a través del informe a corto plazo definido en la Asignación de Retroalimentación A-MAP IE para MFM 3 y 6.

15 Denotar el índice de retroalimentación, la matriz de retroalimentación correspondiente y el precodificador correspondiente por t , $\mathbf{D}(t)$ y $\mathbf{V}(t)$, respectivamente. El índice secuencial se reinicializa a 0 en $T_{\max} + 1$. Los índices para el comienzo y el reinicio de retroalimentaciones son 0. Supongamos que \mathbf{A} equivale a un vector o una matriz y supongamos que $\mathbf{Q}_{\mathbf{A}}$ equivale una matriz de rotación determinada por \mathbf{A} . Los índices de las retroalimentaciones diferenciales subsiguientes son 1, 2, ..., T_{\max} y los precodificadores correspondientes son:

$$\mathbf{V}(t) = \mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)} \mathbf{D}(t), \text{ para } t = 0, 1, 2, \dots, T_{\max},$$

20 donde la matriz de rotación $\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)}$ es una matriz unitaria $N_t \times N_t$ calculada a partir del precodificador anterior $\mathbf{V}(t-1)$; N_t es el número de antenas de transmisión. La dimensión de la matriz retroalimentada $\mathbf{D}(t)$ es $N_t \times M_t$, donde M_t es el número de flujos espaciales.

La $\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)}$ tiene la forma $\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)} = [\mathbf{V}(t-1) \ \mathbf{V}^\perp(t-1)]$, donde $\mathbf{V}^\perp(t-1)$ consta de columnas, cada una de las cuales tiene una norma unidad y es ortogonal a las otras columnas de $\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)}$. Para $M_t = 1$, donde $\mathbf{V}(t-1)$ es un vector,

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)} = \begin{cases} \mathbf{I} - \frac{2}{\|\boldsymbol{\omega}\|^2} \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\omega}^H, & \|\boldsymbol{\omega}\| > 0 \\ \mathbf{I}, & \text{de lo contrario} \end{cases},$$

25 donde $\|\mathbf{V}(t-1)\| = 1$ y $\boldsymbol{\omega} = e^{-j\theta} \mathbf{V}(t-1) - \mathbf{e}_1$; θ es la fase de la primera entrada de $\mathbf{V}(t-1)$; $\mathbf{e}_1 = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$. Para $M_t > 1$, supongamos $\mathbf{L} = N_t - M_t$.

Para el cálculo de $\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)}$, se agregan \mathbf{L} columnas a $\mathbf{V}(t-1)$ formando una matriz cuadrada $\mathbf{M} = [\mathbf{V}(t-1) \ \mathbf{E}]$ y las columnas agregadas son

$$\mathbf{E} = [\mathbf{e}_{\tau_1} \ \dots \ \mathbf{e}_{\tau_L}]$$

donde \mathbf{e}_{τ_j} es el vector $N_t \times 1$ cuya entrada en la τ_j -ésima fila es uno y cuyas otras entradas son ceros.

30 $\mathbf{Q}_{\mathbf{V}(t-1)}$ se calcula mediante la ortogonalización y la normalización de las columnas de \mathbf{M} . Los índices τ_j para $j = 1, \dots, \mathbf{L}$ se seleccionan para la estabilidad numérica del proceso de ortogonalización y de normalización. Supongamos

$$\mathbf{g} = (|\operatorname{Re}(\mathbf{V}(t-1))| + |\operatorname{Im}(\mathbf{V}(t-1))|) \mathbf{a}$$

35 donde \mathbf{a} es el vector $1 \times M_t$ con todas las entradas iguales a uno; $\operatorname{Re}(\)$ y $\operatorname{Im}(\)$ toman las partes real e imaginaria de la matriz de entrada, respectivamente; $|\ |$ toma los valores absolutos de la matriz de entrada,

por entrada. La i -ésima fila del vector \mathbf{g} tiene la suma de los valores absolutos de todas las partes reales e imaginarias de $\mathbf{V}^{(t-1)}$ en la misma fila.

Las entradas de \mathbf{g} están ordenadas en un orden creciente. Si $g_i = g_j$ e $i < j$, entonces se utiliza $g_i < g_j$ en la lista de órdenes. La lista de órdenes es

$$5 \quad g_{k_1} < \dots < g_{k_{N_t}},$$

donde k_i para $i = 1, \dots, N_t$ son índices de fila de \mathbf{g} . Los primeros L índices en la lista se asignan a los índices τ_j en \mathbf{E} como

$$\tau_j = k_j, \text{ para } j = 1, \dots, L.$$

Se aplica la ortogonalización de Gram-Schmidt y un proceso de normalización en las últimas L columnas de \mathbf{M} , columna por columna y resultan en $\mathbf{Q}_{V^{(t-1)}}$ como

Para $j = 1: L$

$$\text{Para } k = 1: j + M_t - 1$$

$$\mathbf{m}_{j+M_t} = \mathbf{m}_{j+M_t} - m_{\tau_j, k}^* \mathbf{m}_k$$

Fin

$$\mathbf{m}_{j+M_t} = \frac{\mathbf{m}_{j+M_t}}{\|\mathbf{m}_{j+M_t}\|}$$

15

Fin

$$\mathbf{Q}_{V^{(t-1)}} = \mathbf{M}$$

donde $m_{\tau_j, k}^*$ es el conjugado de la entrada de \mathbf{M} en la τ_j -ésima fila y k -ésima columna.

20 La matriz de retroalimentación $\mathbf{D}(t)$ se selecciona de un libro de códigos diferencial. Denotar el libro de códigos por $D(N_t, M_t, N_w)$, donde N_w es el número de palabras de código en el libro de códigos. Denotar $\mathbf{D}_i(N_t, M_t, N_w)$ la i -ésima palabra de código de $D(N_t, M_t, N_w)$. Las matrices de rotación $\mathbf{Q}_{D_i(N_t, M_t, N_w)}$ de la $\mathbf{D}_i(N_t, M_t, N_w)$ comprenden un conjunto de N_t por N_t matrices que se denota por $\mathbf{Q}_{D(N_t, M_t, N_w)}$.

El libro de códigos diferencial $D(4, 3, N_w)$ se calcula a partir $\mathbf{Q}_{D(4, 1, N_w)}$. La i -ésima palabra de código de $D(4, 3, N_w)$ denotada por $\mathbf{D}_i(4, 3, N_w)$ se calcula como

$$25 \quad \mathbf{D}_i(4, 3, N_w) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_i(4, 1, N_w),$$

donde $\tilde{\mathbf{Q}}_i(4, 1, N_w)$ consta de las tres últimas columnas de la i -ésima matriz en $\mathbf{Q}_{D(4, 1, N_w)}$. El libro de códigos diferencial $D(4, 4, N_w)$ se calcula a partir $\mathbf{Q}_{D(4, 2, N_w)}$. La i -ésima palabra de código de $D(4, 4, N_w)$ es la i -ésima matriz en $\mathbf{Q}_{D(4, 2, N_w)}$.

30 Los libros de códigos diferenciales $D(8, 5, N_w)$, $D(8, 6, N_w)$ y $D(8, 7, N_w)$ se calculan a partir de $D(8, 3, N_w)$, $D(8, 2, N_w)$ y $D(8, 1, N_w)$, respectivamente. Las i -ésimas palabras de código $\mathbf{D}_i(8, 5, N_w)$, $\mathbf{D}_i(8, 6, N_w)$ y $\mathbf{D}_i(8, 7, N_w)$ de $D(8, 5, N_w)$, $D(8, 6, N_w)$ y $D(8, 7, N_w)$ se calculan, respectivamente, como

$$\begin{aligned}
 \mathbf{D}_i(8,5,N_w) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_i(8,3,N_w) \\
 \mathbf{D}_i(8,6,N_w) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_i(8,2,N_w) \\
 \mathbf{D}_i(8,7,N_w) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_i(8,1,N_w)
 \end{aligned}$$

5 donde $\tilde{\mathbf{Q}}_i(8,k,N_w)$ consta de las últimas $8-k$ columnas de la $i^{\text{ésima}}$ matriz en $\mathbf{Q}_{D(8,k,N_w)}$. El libro de códigos diferencial $D(8,8,N_w)$ se calcula a partir de $D(8,4,N_w)$. La $i^{\text{ésima}}$ palabra de código de $D(8,8,N_w)$ es la $i^{\text{ésima}}$ matriz en $\mathbf{Q}_{D(8,4,N_w)}$.

Dos aspectos de la invención deben tenerse en cuenta en el presente documento. El primer aspecto es la relación complementaria entre el libro de códigos $N_t \times M_t$ y el libro de códigos $N_t \times (N_t - M_t)$. El segundo aspecto es el cálculo eficiente de la expansión complementaria, es decir, la adición de columnas complementarias y ortogonales a un vector o matriz dada. Este cálculo se emplea para el cálculo de $\mathbf{Q}_{V^{(t-1)}}$ y $\mathbf{Q}(N_t, k, N_w)$.

10 Para el primer aspecto, los autores de la invención han descubierto una relación complementaria entre los libros de códigos de rangos parciales. Es decir, el subespacio (también llamado rango) abarcado por una palabra de código de un libro de códigos $N_t \times M_t$ puede ser ortogonal y complementario al subespacio (o rango) por una palabra de código de un de libro de códigos $N_t \times (N_t - M_t)$. Para mayor claridad, aquí N_t es el número de antenas y M_t es un primer rango o número de flujos de transmisión. Por lo tanto, la cantidad $(N_t - M_t)$ define un segundo rango o número de flujos que, cuando se añade a M_t , resulta en un rango completo (p. ej. el número de flujos igual al número de N antenas). Por lo tanto, el libro de códigos $N_t \times (N_t - M_t)$ puede ser generado a partir del libro de códigos $N_t \times M_t$. Aunque el número de palabras de código en los dos libros de códigos puede no ser el mismo, todavía cabe señalar que un subconjunto del libro de códigos $N_t \times (N_t - M_t)$ puede ser generado a partir de un subconjunto del libro de códigos $N_t \times M_t$. Los pasos se describen a continuación y algunos se muestran conceptualmente como el proceso 300 en la Fig. 3.

En primer lugar, elegir una palabra de código $D_{N \times M}$ del libro de códigos $N_t \times M_t$. A continuación añadir $N_t - M_t$ columnas a $D_{N \times M}$, de tal manera que las columnas añadidas son ortogonales a las columnas de $D_{N \times M}$ [acto 310].

Las $N_t - M_t$ columnas añadidas forman una matriz $\tilde{D}_{N \times (N-M)}$.

- 5 Rotar $\tilde{D}_{N \times (N-M)}$ por una $N_t \times N_t$, de tal manera que el libro de códigos $N_t \times (N_t - M_t)$ rotado está en una ubicación deseada [acto 320]. La ubicación deseada es aquella orientación (mostrada en la Fig. 3 como norte polar o dirección superior) como la del libro de códigos $N_t \times M_t$.

Este esquema de generación de un libro de códigos diferencial complementario puede ilustrarse matemáticamente, adicionalmente a lo mostrado en la Fig. 3, como sigue.

10
$$D_{N \times M} \xrightarrow{\text{Expansión complementaria}} Q = \begin{bmatrix} D_{N \times M} & \tilde{D}_{N \times (N-M)} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Rotación}} D_{N \times (N-M)} = R_{N \times N} \tilde{D}_{N \times (N-M)}$$

Por ejemplo, la palabra de código original $D_{N \times M} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$. Las columnas añadidas forman $\tilde{D}_{N \times (N-M)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$. Dado

que $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ suele ser el centro del libro de códigos original y $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ es el centro del libro de códigos complementario,

tenemos que rotar $\tilde{D}_{N \times (N-M)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ a $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$. Para este ejemplo, la matriz de rotación puede ser

$R_{N \times N} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$. En general, la matriz de rotación tiene una estructura diagonal por bloques y puede ser

15
$$R_{N_t \times N_t} = \begin{bmatrix} & & I_{N_t - M_t} \\ & & \\ I_{M_t} & & \end{bmatrix},$$

donde I_K es la matriz de identidad de K por K. Si el libro de códigos diferencial se distribuye de manera uniforme en el conjunto de la matriz unitaria, entonces el paso de rotación puede ser omitido. Además, si el libro de códigos diferencial es simétrico alrededor de un centro, entonces es aplicable la matriz de rotación R. De lo contrario, se pueden usar otras matrices de rotación si se desea para alcanzar objetivos similares.

- 20 Para el segundo aspecto, el cálculo de $Q_{V^{(t-1)}}$ es también la expansión complementaria Q en la Figura 3 y $Q_{(N_t, k, N_t)}$ descrita arriba. Las $N_t - M_t$ columnas añadidas no son únicas y las diferentes opciones sólo se diferencian por una matriz de rotación $(N_t - M_t) \times (N_t - M_t)$ como $\tilde{D}_{N \times (N-M), \text{opción 1}} = \tilde{D}_{N \times (N-M), \text{opción 2}} Q_{(N-M) \times (N-M)}$, donde $Q_{(N-M) \times (N-M)}$ es la matriz de rotación $(N_t - M_t) \times (N_t - M_t)$. Para el cálculo eficiente de $Q_{V^{(t-1)}}$ o Q en la Figura 3, primero agregamos $L = N_t - M_t$ vectores con uno único en las entradas y luego orthogonalizamos la matriz adjunta como sigue. El único en cada uno de los vectores reduce el número de multiplicaciones.

Para el cálculo de $Q_{V^{(t-1)}}$, L columnas se anexan a $V^{(t-1)}$ formando de una matriz cuadrada $M = [V^{(t-1)} \ E]$ y las columnas adjuntas son

$$E = [e_{\tau_1} \ \dots \ e_{\tau_L}]$$

donde \mathbf{e}_{τ_j} es el vector $N_t \times 1$ cuya entrada en la τ_j -ésima fila es uno y cuyas otras entradas son ceros. $\mathbf{Q}_{V^{(t-1)}}$ se calcula por la ortogonalización y la normalización de las columnas de \mathbf{M} . Los índices τ_j para $j=1, \dots, L$ se seleccionan para la estabilidad numérica del proceso de ortogonalización y de normalización. Supongamos que

$$\mathbf{g} = \left(\left| \operatorname{Re}(\mathbf{V}(t-1)) \right| + \left| \operatorname{Im}(\mathbf{V}(t-1)) \right| \right) \mathbf{a},$$

5 donde \mathbf{a} es el vector $1 \times M_t$ con todas las entradas iguales a uno; $\operatorname{Re}(\)$ y $\operatorname{Im}(\)$ toman las partes real e imaginaria de la matriz de entrada, respectivamente; $\left| \right|$ toma los valores absolutos de la matriz de entrada, entrada por entrada. La i -ésima fila del vector \mathbf{g} tiene la suma de los valores absolutos de todas las partes reales e imaginarias de $\mathbf{V}(t-1)$ en la misma fila.

10 Las entradas de \mathbf{g} están ordenadas en un orden creciente. Si $g_i = g_j$ e $i < j$, entonces se utiliza $g_i < g_j$ en la lista de órdenes. La lista de órdenes es

$$g_{k_1} < \dots < g_{k_{N_t}},$$

donde k_i para $i=1, \dots, N_t$ son índices de fila de \mathbf{g} . Los primeros L índices en la lista se asignan a los índices τ_j en \mathbf{E} como

$$\tau_j = k_j, \text{ para } j = 1, \dots, L.$$

15 Se aplica la ortogonalización de Gram-Schmidt y un proceso de normalización en las últimas L columnas de \mathbf{M} , columna por columna y resultan en $\mathbf{Q}_{V^{(t-1)}}$ como

Para $j=1:L$

Para $k=1:j+M_t-1$

$$\mathbf{m}_{j+M_t} = \mathbf{m}_{j+M_t} - m_{\tau_j, k}^* \mathbf{m}_k$$

20 Fin

$$\mathbf{m}_{j+M_t} = \frac{\mathbf{m}_{j+M_t}}{\|\mathbf{m}_{j+M_t}\|}$$

Fin

$$\mathbf{Q}_{V^{(t-1)}} = \mathbf{M}$$

dónde $m_{\tau_j, k}^*$ es el conjugado de la entrada de \mathbf{M} en la τ_j -ésima fila y k -ésima columna.

25 La Fig. 4 ilustra un proceso 400 de precodificación o de conformación de haces de datos utilizando un libro de códigos diferencial generado dinámicamente como se describe en el presente documento. Bien la BS o la MS (o una de sus contrapartes UE o eNB) pueden decidir cambiar el rango de la matriz de conformación de haces utilizada en el circuito cerrado MIMO de conformación de haces (o de precodificación) [acto 402]. Por ejemplo, las condiciones de canal (p. ej. SINR) pueden mejora suficientemente en 5, 10 o 20 dB, de tal manera que la BS o la MS decide

30 cambiar el rango de un número inferior (p. ej. un único flujo de datos) a un rango superior (p. ej., tres flujos para un caso de cuatro antenas).

Tanto la BS como la MS pueden obtener libros de códigos diferenciales de un rango complementario [acto 404]. En algunas implementaciones, estos libros de códigos de, por ejemplo, rango 1 o 2 se pueden almacenar en una memoria en el BS y el MS, siendo el tamaño de almacenamiento relativamente pequeño.

35 A continuación, la BS y la MS pueden cada una generar libros de códigos del nuevo rango a través del proceso complementario descrito en el presente documento [acto 406]. A veces, este nuevo rango será más alto que el rango complementario. En algunas implementaciones, los nuevos libros de códigos diferenciales pueden ser almacenados localmente en una memoria dinámica durante el tiempo que se necesitan.

40 Dependiendo de qué estación está transmitiendo y cuál está recibiendo, la BS o la MS pueden recibir o transmitir un índice diciendo a la otra estación qué palabra de código utilizar para la precodificación del nuevo libro de códigos

- 5 para el circuito cerrado MIMO de transmisión de datos [acto 408]. Una vez más, dependiendo de qué estación está transmitiendo y cuál está recibiendo, la BS o la MS pueden recibir o transmitir datos precodificados con la palabra de código correspondiente al índice transmitido o recibido en el acto 408 [acto 410]. Así es cómo se utiliza el libro de códigos y los esquemas de generación de matriz de rotación descritos en este documento en el circuito cerrado MIMO de conformación de haces (o de precodificación).
- 10 Por lo tanto, el esquema en el presente documento puede ser utilizado para generar un segundo libro de códigos $N \times (N-M)$ de un segundo rango $(N-M)$ de un primer libro de códigos $N \times M$ de un primer rango M . Este segundo libro de códigos es ortogonal y complementario al primer libro de códigos. En la práctica, esto puede reducir los requisitos de almacenamiento en el circuito cerrado MIMO de conformación de haces, debido a que el segundo libro de códigos puede ser generado dinámicamente según sea necesario por una estación base y/o una estación móvil. En algunos casos, una matriz de conformación de haces de rango superior o matriz de precodificación, puede estar formada de una matriz de conformación de haces de rango inferior (p. ej. uno o dos) o matriz de precodificación. También, se da a conocer una forma novedosa para generar la matriz de rotación $Q_{V(i-1)}$.
- 15 La descripción anterior de una o más implementaciones proporciona ilustración y descripción, pero no está destinada a ser exhaustiva o a limitar el alcance de la invención a la forma precisa dada a conocer. Modificaciones y variaciones son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores, o pueden adquirirse de la práctica de diversas implementaciones de la invención. Por ejemplo, cualquiera o todos los actos de la Fig. 3 o 4, o procesos similares descritos, pueden llevarse a cabo como resultado de la ejecución por un ordenador (o procesador o lógica dedicada) de las instrucciones contenidas en un medio legible por ordenador, tales como una memoria, disco, etc.
- 20 Ningún elemento, acto o instrucción utilizada en la descripción de la presente solicitud debe interpretarse como crítica o esencial para la invención salvo que se describa explícitamente como tal. También, como se usa en este documento, se pretende que el artículo "un" incluya uno o más elementos.

REIVINDICACIONES

1. Un método de realización basado en libro de códigos, circuito cerrado de transmisión a través de N antenas, donde N es un número entero, dos o mayor, que comprende:
- 5 proporcionar un libro de códigos diferencial NxM, donde M es un número entero, de flujos de datos que es menor que N;
- generar un libro de códigos diferencial Nx(N-M) del libro de códigos diferencial NxM, incluyendo:
- realizar una expansión complementaria (310) del libro de códigos diferencial NxM, mediante la adición de las columnas complementarias y ortogonales; y
- 10 precodificar (N-M) flujos de datos para la transmisión a través de las N antenas utilizando una palabra de código seleccionada del libro de códigos diferencial Nx(N-M).
2. El método de la reivindicación 1, en donde el proporcionar incluye la lectura del libro de códigos diferencial NxM de una memoria (218; 224).
3. El método de la reivindicación 1, en donde M es uno, o dos o mayor.
4. El método de la reivindicación 1, en donde N es dos, tres, cuatro u ocho.
- 15 5. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- almacenar el libro de códigos diferencial Nx(N-M) en una memoria.
6. El método de la reivindicación 8, en donde la generación incluye:
- rotar (320) una matriz intermedia producida por la expansión complementaria del libro de códigos diferencial NxM.
- 20 7. Medio de almacenamiento legible por procesador que contiene instrucciones ejecutables por procesador, para la ejecución por un procesador, para llevar a cabo el método de la reivindicación 1.

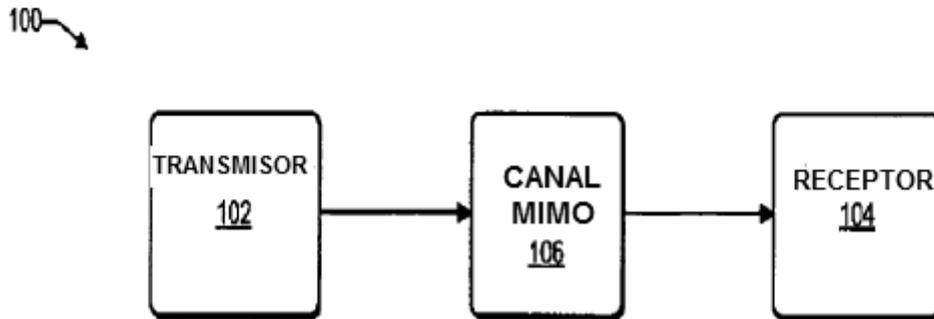


Fig. 1

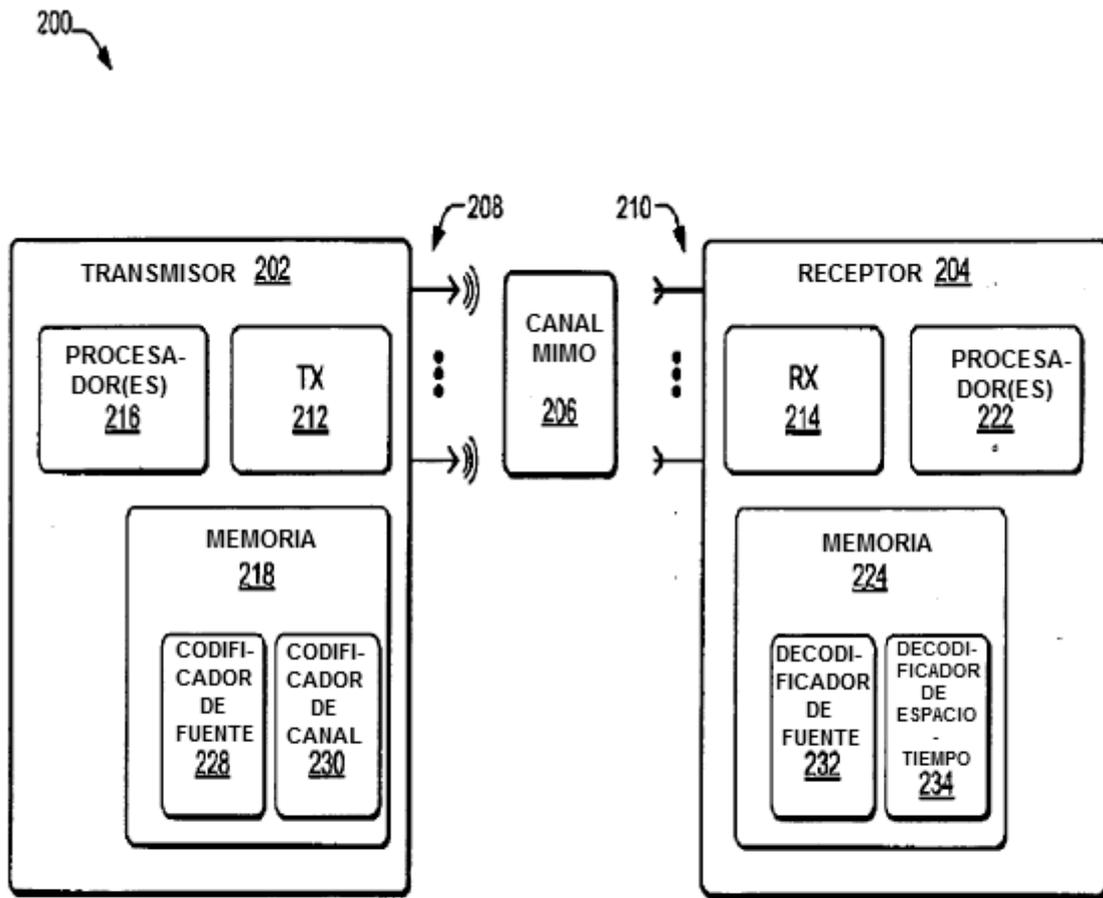


Fig. 2

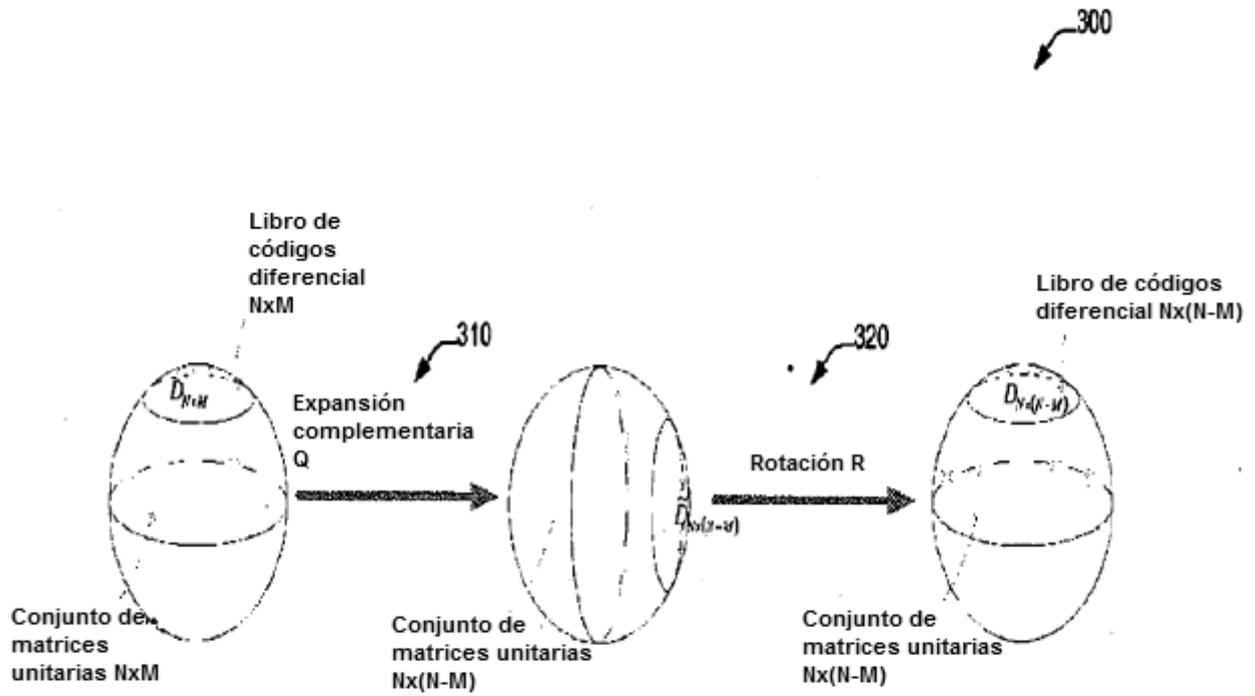


Fig. 3

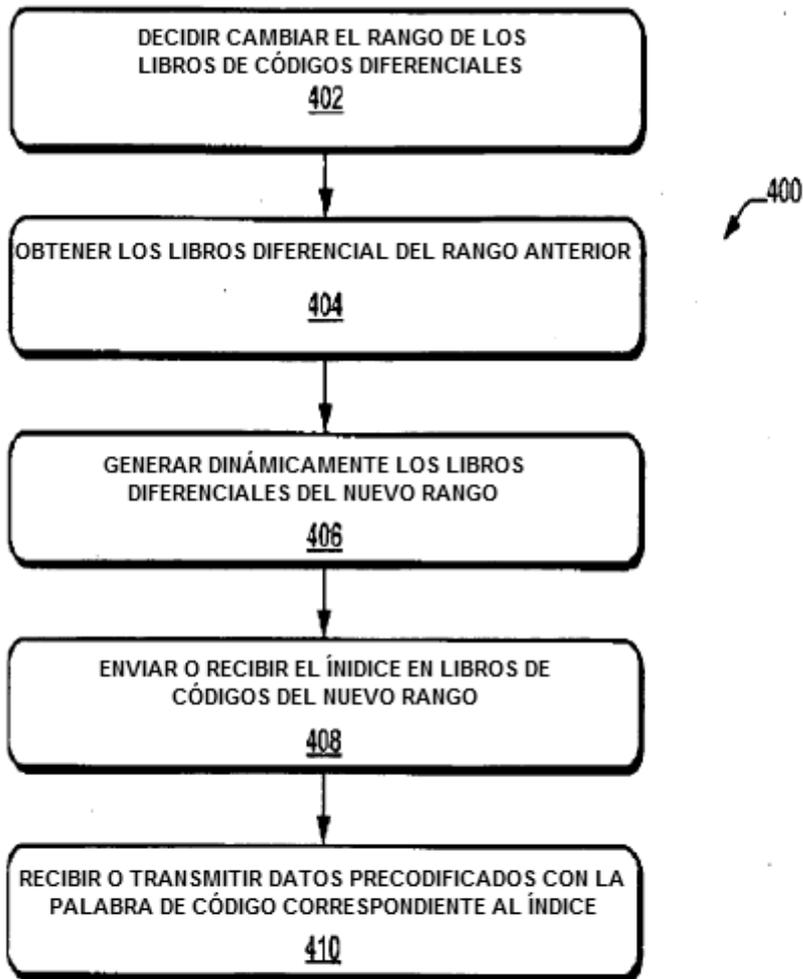


Fig. 4