

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 200**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/04** (2007.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2006 E 15179482 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018 EP 3038271**

54 Título: **Sistema de comunicación inalámbrica del tipo multientrada-multisalida, métodos y estructuras de datos asociados**

30 Prioridad:

**05.12.2005 US 294823**

**20.12.2005 US 313532**

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

**27.02.2019**

73 Titular/es:

**INTEL CORPORATION (100.0%)  
2200 Mission College Boulevard  
Santa Clara, CA 95052, US**

72 Inventor/es:

**LIN, XINTIAN E;  
BLACKHAM, RAYMOND;  
HOLT, KEITH;  
HO, MINNIE y  
LI, QINGHUA**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 702 200 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**

Sistema de comunicación inalámbrica del tipo multientrada-multisalida, métodos y estructuras de datos asociados

5 Las formas de realización de la invención suelen estar destinadas a sistemas de comunicaciones y más en particular, a un sistema de comunicación inalámbrica del tipo multientrada, multisalida (MIMO) así como a sus métodos y estructuras de datos asociados.

El uso de múltiples rutas de señalización, p.e., mediante el uso de la tecnología de multientrada, multisalida (MIMO) puede aumentar, en gran medida, el margen efectivo de un canal de comunicación inalámbrica. A pesar de las ventajas notables obtenidas desde la introducción de la tecnología MIMO en un dispositivo de comunicaciones, persisten los problemas de puesta en práctica que han limitado la amplia adopción de dichas tecnologías.

10 En consecuencia, todavía no se han realizado puestas en práctica de la tecnología MIMO que permitan la amplia adopción de dichas tecnologías. Una diversidad de puestas en práctica de la tecnología MIMO, a modo de ejemplo, así como sus métodos y estructuras de datos asociadas, se dan a conocer en la idea inventiva siguiente que elimina una o más de estas limitaciones convencionales.

15 El documento de Hua Zhang et al: "A Tracking approach for Precoded MIMO-OFDM Systems with Low Data Rate CSI Feedback", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005, PIMRC 2005, 16º Simposio Internacional del IEEE, sobre PIMRC, 1 de enero de 2005, páginas 241-245, da a conocer un sistema MIMO de bucle cerrado.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Las formas de realización de la presente invención se ilustran a modo de ejemplo y no con carácter limitativo, en las Figuras y en los dibujos adjuntos en donde las referencias numéricas similares se refieren a elementos similares y en donde:

20 La Figura 1 es un diagrama de bloques de comunicaciones, a modo de ejemplo, dentro del que se pueden poner en práctica formas de realización de la invención;

La Figura 2 proporciona una representación gráfica de un proceso de formación de haces a modo de ejemplo, según una forma de realización;

25 La Figura 3 es un diagrama de flujo de un método, a modo de ejemplo, para la formación de haces utilizando un libro de código no uniforme, en conformidad con una forma de realización;

La Figura 4 es una ilustración gráfica de un libro de código uniforme;

La Figura 5 es una ilustración gráfica de un libro de código no uniforme, en conformidad con una forma de realización;

La Figura 6 es un diagrama de flujo de un método, a modo de ejemplo, para la formación de haces utilizando un libro de código jerárquico, en conformidad con una forma de realización;

30 La Figura 7 es una ilustración gráfica de un libro de código jerárquico, en conformidad con una forma de realización;

La Figura 8 es un diagrama de bloques de un dispositivo de comunicación, a modo de ejemplo, dentro del que pueden ponerse en práctica formas de realización de la invención en conformidad con una forma de realización; y

35 La Figura 9 es un diagrama de bloques de un artículo de fabricación, a modo de ejemplo, que incluye un contenido que, cuando se ejecuta por una máquina de acceso, hace que la máquina ponga en práctica uno o más aspectos de las formas de realización de la invención.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

Formas de realización de un sistema de comunicación inalámbrica, métodos y estructuras de datos asociadas se suelen presentar para poner en práctica una o más formas de realización de tecnología MIMO, a modo de ejemplo.

40 En la solicitud de patente de Estados Unidos co-pendiente nº 11/036,906, titulada *Sistema de generación de libro de código y métodos asociados*, presentada con fecha 13 de enero de 2005 por Lin et al, (en adelante, denominada la solicitud de patente de Lin), se presentó un agente de generación de libro de código (CGA) con una o más palabras de códigos matriciales dinámicamente generadas a partir de, p.e., palabras de códigos matriciales que se generan dinámicamente desde, p.e., libros de códigos vectoriales para vectores de 2, 3, 4, ..., N unidades. Los expertos en esta técnica apreciarán que dichos vectores unitarios N-dimensionales están ya dispuestos en dichos dispositivos de comunicaciones para soportar 45 varias otras características tales como, p.e., formación de haces de flujo de datos único. En consecuencia, la solicitud de Lin co-pendiente representa una mejora significativa en las puestas en práctica de la tecnología MIMO.

50 Con esta solicitud, la referencia de Lin se extiende para introducir un agente de gestión de código innovador (CMA). En conformidad con una forma de realización, más completamente descrita a continuación, un agente de gestión de libro de código (CMA), que puede solicitarse, de forma selectiva, para generar dinámicamente y/o utilizar uno o más de libros de códigos uniformes, no uniformes y/o jerárquicos en soporte de p.e., una puesta en práctica de tecnología MIMO de bucle

cerrado (o, formación de haces). El agente CMA aquí dado a conocer puede incluir también y/o acoplarse a uno o más de los agentes CGA, aunque el alcance de la invención no está así limitado.

La formación de haces es una técnica útil para aumentar la relación de señal a ruido (SNR) efectiva percibida por los receptores dentro de sistemas de tecnología MIMO. En un sistema de realimentación operativa explícito, información asociada con una matriz de formación de haces se reenvía al transmisor. Para codificar eficiente la matriz de formación de haces, una serie de libros de códigos vectoriales pueden diseñarse y/o generarse dinámicamente, p.e., según se da a conocer en la solicitud de patente co-pendiente anteriormente referida. En canales no en correlación, la matriz de formación de haces está uniformemente distribuida en la denominada variedad de Steifel (véase, p.e., Figura 4). A este respecto, en las puestas en práctica tradicionales se optimiza, en gran medida, un libro de código vectorial para cubrir la variedad completa con los criterios siguientes:

$$C(m, N) = \underset{c_i}{\operatorname{arg\,max}}(\min(d_c(c_i, c_j), i < j = 1, \dots, N), c_i \in C_m \text{ with } \|c_i\| = 1) \quad (1)$$

en donde  $m$  es la dimensión del libro de código vectorial y  $N$  es el número de palabras de código existentes en el libro de código. El espacio  $m$ -tuplo complejo se indica por  $C_m$ . La distancia cordal se define como:

$$d_c(c_i, c_j) = \sqrt{1 - \|c_i^H c_j\|^2} \quad (2)$$

en donde se utiliza un producto interior normal.

Cuando se cuantifica el vector de formación de haces  $v_m$ , se selecciona la palabra de código con la más pequeña distancia cordal:

$$\hat{v}_m = \underset{c_i}{\operatorname{arg\,min}}(d_c(c_i, v_m), c_i \in C(m, N)) \quad (3)$$

Esta clase de libro de código "uniforme" puede diseñarse y ponerse en práctica también utilizando una o más de las técnicas dadas a conocer en la solicitud de patente co-pendiente antes referida. Los libros de códigos allí descritos representan una mejora en el orden de magnitud de un factor de 2-4 en eficiencia de cuantización con el mismo o mejor rendimiento en comparación con otros sistemas.

En situaciones en donde se envían paquetes de datos consecutivos, el tiempo entre paquetes es corto. En canales estáticos o de desvanecimiento lento, las características de los canales no suelen cambiar prácticamente durante este periodo de tiempo. En consecuencia, solamente se requiere una pequeña corrección de dirección de haces para corregir la deriva posterior. En las formas de realización descritas a continuación, esta propiedad de canales estáticos o de desvanecimiento lento se refuerza en el diseño y utilización de nuevos libros de códigos con una reducción efectiva de la complejidad de la cuantización (y, como dicha complejidad de cálculo) al mismo tiempo que se mejora la exactitud de la formación de haces.

La referencia, a través de toda esta descripción, a "una sola forma de realización" o "una realización" significa que una propiedad, estructura o característica particular descrita en relación con la forma de realización está incluida en al menos una forma de realización de la presente invención. De este modo, las apariciones de las expresiones "en una sola forma de realización" o "en una forma de realización" en varios lugares a través de esta descripción no todas ellas se refieren necesariamente a la misma forma de realización. Además, las propiedades estructuras, o características particulares pueden combinarse en cualquier manera adecuada en una o más formas de realización.

Detalles técnicos con respecto a algunas de las características operativas de los dispositivos móviles y/o las redes de comunicaciones inalámbricas en donde puede ponerse en práctica CMA pueden encontrarse en, p.e., la IEEE 802.11, edición 1999; Telecomunicaciones de tecnología de la información e intercambio de información entre sistemas – Redes de área local y metropolitana – Requisito específico, parte 11: Control de Acceso a Soportes (MAC) de red WLAN y especificaciones de capa física (PHY), su progenia y sus complementos (p.e., 802.11a, 802.11g y 802.11n). Véase, además, la norma IEEE Std 802.16-2001, la norma IEEE Std. 802.16-2001 para redes de área local y metropolitana, parte 16: Una interfaz de aire para sistemas de accesos inalámbricos de banda ancha fija, su progenia y complementos (p.e., 802.16a, 802.16d y 802.16e).

Entorno de comunicaciones a modo de ejemplo

En la Figura 1, se ilustra un diagrama de bloques de un entorno de comunicaciones inalámbricas 100 a modo de ejemplo dentro de cuyo entorno se puede poner en práctica formas de realización de la invención de forma adecuada. En conformidad con la forma de realización ilustrada a modo de ejemplo de la Figura 1, un entorno de comunicaciones 100, a modo de ejemplo, se ilustra incluyendo el dispositivo de comunicación inalámbrica 102 en comunicación con otro dispositivo de comunicación inalámbrica 106 por intermedio de un enlace de comunicaciones inalámbricas 104. Tal como aquí se utiliza, el entorno de comunicaciones 100 está previsto para representar cualquiera de una amplia gama de redes de

comunicaciones inalámbricas incluyendo, sin limitación, una red de comunicaciones de campo cercano (NFC), una red de área local inalámbrica (WLAN), una red de área metropolitana inalámbrica (WMAN), una red de área amplia inalámbrica (WWAN), una red de radiotelefonía celular, una red de sistema de comunicación personal (PCS) y redes similares.

5 En conformidad con una forma de realización, para fines ilustrativos y no de limitación, la red de comunicaciones 100 se describirá en el contexto de una norma 802.11x (en donde x es a, b, g, n y/o combinaciones y/o su progenia), aunque el alcance de la invención no está limitado a este respecto. En conformidad con esta realización, a modo de ejemplo ilustrativo, el dispositivo 102 puede ser un punto de acceso (AP) mientras que el dispositivo 106 puede ser una estación distante (STA), aunque el alcance de la invención no está limitado a este respecto.

10 En un sistema MIMO de bucle cerrado, una señal de datos se pondera mediante una matriz de formación de haces V y luego, se transmite de forma selectiva por una pluralidad de antenas, según se ilustra. En conformidad con una forma de realización, la señal de datos puede incluir varios flujos de datos ( $N_1 \dots N_s$ ), aunque la invención no está limitada a este respecto. El número de flujos de datos puede representar el número de canales espaciales, con asignaciones de carga de bits, ponderación potencia y subportadoras adecuadas, aunque la invención no está limitada a este respecto.

15 En conformidad con una forma de realización con cuatro (4) antenas transmisoras y tres (3) flujos de datos (para facilidad de ilustración), la señal (x) transmitida por intermedio de las  $N_t$  (4) de 4 antenas puede representarse como

$$\mathbf{x} = \mathbf{V} \times \mathbf{s} \tag{4}$$

en donde  $\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \\ v_{41} & v_{42} & v_{43} \end{bmatrix}$ , y  $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix}$

20 Según se ilustra, s es un vector  $N_s$  de símbolos de datos y V es la matriz de formación de haces de tipo  $N_t$  por  $N_s$  desarrollada a partir de la información (p.e., libros de códigos matriciales y/o sus índices realimentada desde un receptor distante (p.e., 102). Según una forma de realización, la matriz de formación de haces V suele ser unitaria y la carga de bit/potencia puede aplicarse sobre el vector s, según se presentó con anterioridad, aunque la invención no está limitada a este respecto.

25 El dispositivo 106 se ilustra incluyendo un agente de gestión de libros de códigos (CMA) 108 para generar dinámicamente y/o gestionar la utilización de uno o más libros de códigos matriciales cuya información de estado de canal puede caracterizarse y realimentarse a un dispositivo distante, p.e., 102. En conformidad con una forma de realización, descrita más completamente en la solicitud de patente co-pendiente anteriormente presentada (e incorporada aquí), y no memorizando uno o más libros de códigos matriciales, CMA 108 puede compilar los libros de códigos matriciales o una de sus partes, necesarios para caracterizar la información de estado de canal a partir de las palabras de códigos matriciales dinámicamente generadas desde uno más libros de códigos vectoriales para vectores de 2, 3, 4, ..., N unidades.

30 Puesta en práctica de formación de haces a modo de ejemplo

Volviendo a hacer referencia a la Figura 2, se ilustra una representación gráfica de un proceso de formación de haces a modo de ejemplo, en conformidad con una forma de realización. Con referencia a la Figura 2, el proceso, a modo de ejemplo, comienza con el punto de acceso (AP) (p.e., 106) que emite un mensaje de demanda de envío (CTS) (o, paquete de sondeo) a una estación distante a través de un canal de comunicaciones (p.e., 104).

35 La estación distante (STA) (p.e., 102) mide el canal y solicita una instancia del agente de gestión de canal (CMA) 108 para calcular una matriz de formación de haces, p.e., con descomposición de valor singular (SVD) como:

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{U}_1 \mathbf{\Sigma}_1 \mathbf{V}_1^H \tag{5}$$

en donde  $\mathbf{V}_1$  es una matriz  $N_t$  por  $N_t$ ;  $\mathbf{U}_1$  es una matriz  $N_r$  por  $N_r$  y  $\mathbf{\Sigma}_1$  es una matriz  $N_r$  por  $N_t$ .

40 A continuación, el agente STA reenvía la matriz de formación de haces objeto de cuantización  $\hat{\mathbf{V}}_1$ , que es  $N_t$  por  $N_t$ , en un paquete de liberación de envío (CTS) u otro paquete de realimentación (o respuesta).

El punto de acceso AP multiplica el mensaje s, que es  $N_t$  por 1 con  $N_s$  flujos no cero, por la matriz de formación de haces  $\hat{\mathbf{V}}_1$  como  $\hat{\mathbf{V}}_1 \mathbf{s}_1$ . El punto de acceso AP envía el paquete de datos 1 con formación de haces, desde donde el agente STA mide el nuevo canal equivalente  $\mathbf{H}_2 \hat{\mathbf{V}}_1$ .

El agente STA calcula la nueva matriz de formación de haces  $\hat{\mathbf{V}}_2$  como:

$$H_2 \hat{V}_1 = U_2 \Sigma_2 \underbrace{V_2^H \hat{V}_1}_{\tilde{V}_2^H} = U_2 \Sigma_2 \tilde{V}_2^H \quad (6)$$

Si el cambio de canal entre  $H_1$  y  $H_2$  es pequeño y el error de cuantización en  $\hat{V}_1$  es pequeño,  $\tilde{V}_2$  está más próximo a la identidad de identidad. El agente STA cuantifica  $\tilde{V}_2$  a  $\hat{V}_2$  y realimenta  $\hat{V}_2$ . Puesto que  $\hat{V}_2$  es  $N_t$  por  $N_r$ , el punto de acceso AP puede multiplicar directamente el vector del mensaje  $N_t$  por 1 con  $\hat{V}_2$  como  $\hat{V}_2 \hat{V}_1 s_2$ , y enviar el mensaje al agente STA. El agente STA calcula la nueva matriz de formación de haces  $V_3$  como:

$$H_3 \hat{V}_2 = U_3 \Sigma_3 \underbrace{V_3^H \hat{V}_2}_{\tilde{V}_3^H} = U_3 \Sigma_3 \tilde{V}_3^H \quad (7)$$

Puesto que el agente STA puede decidir la recepción de señal desde los más fuertes canales de formación de haces  $N_s$ , solamente realimenta  $N_s$  columnas de la matriz de formación de haces de tipo  $N_t$  por  $N_r$  calculada, que corresponde a los más fuertes canales  $N_s$ . Para este caso, el sondeo no es directo. El punto de acceso AP necesita expandir la matriz de formación de haces de tipo  $N_t$  por  $N_s$  realimentada a la matriz de  $N_t$  por  $N_r$ , de modo que se pueda realizar el sondeo de todos los  $N_t$  canales. La expansión añade  $N_t - N_s$  columnas de modo que la matriz expandida sea una matriz unitaria como:

$$\hat{V} = [b_1 \dots b_{N_s}]_{N_t \times N_s} \rightarrow \bar{V} = [b_1 \dots b_{N_s} b_{N_s+1} \dots b_{N_t}]_{N_t \times N_t} \quad (8)$$

La expansión puede calcularse por la denominada reflexión de Householder como se indica a continuación, o bien, otros métodos.

$$\bar{V} = F_1 \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & F_{N_s-1} \begin{bmatrix} 1 & \\ & F_{N_s} \end{bmatrix} & \\ & & & \end{bmatrix} \quad (9)$$

en donde  $F_i = I - 2w_i w_i^H$  es la matriz de reflexión de Householder del vector de Householder realimentado  $\hat{v}_i$  en la solicitud de patente de Lin co-pendiente;  $w_i = \frac{\hat{v}_i - e_i}{\|\hat{v}_i - e_i\|}$  y  $e_i = [1, 0, \dots, 0]^T$ ;  $\hat{v}_i$  se calcula a partir del índice de realimentación  $q_s$  en la solicitud de patente Lin co-pendiente. La unidad diferencia entre la ecuación (7) y la etapa de reconstrucción en la solicitud de Lin es que  $F_N$  en (8) se sustituye por  $\hat{v}_N$ , en la solicitud de patente de Lin. Para la carga adaptativa de bits o de potencia, los vectores de formación de haces pueden clasificarse en función de sus valores singulares correspondientes antes de la realimentación de cuantización y de índices.

Debe apreciarse, sin embargo, que cualquier matriz unitaria  $G$  que transforma  $[1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$  en  $\hat{v}_i$  (dentro de una fase global) puede sustituirse también para la reflexión de Householder anteriormente descrita. A modo de ejemplo, la reflexión de Householder puede sustituirse también con una serie de rotaciones de Given, p.e.,

$$B_i = \Psi(N_i, \varphi_{N_i} - \varphi_{N_i-1}) G(N_i - 1, N_i, \theta_{N_i-1}) \dots \Psi(2, \varphi_2 - \varphi_1) G(1, 2, \theta_1) \quad (10)$$

$$G(m, n, \theta) = \begin{bmatrix} I_{m-1} & & & \\ & \cos \theta & & -\sin \theta \\ & & I_{n-m-1} & \\ & \sin \theta & & \cos \theta \\ & & & & I_{N-m-n} \end{bmatrix}$$

en donde es una rotación de Given entre la fila  $m$  y  $n$  con un ángulo  $\theta$ ;  $\Psi(m, \varphi)$ ; es una matriz de identidad con el  $m$ -ésimo elemento diagonal sustituido por  $e^{j\varphi}$ ; y  $N_i$  es la dimensión compleja de  $v_i$ . Los ángulos  $\theta$  y  $\varphi$  son la representación angular de Given de un vector de norma unitaria. A modo de ejemplo, un vector de norma unitaria 4 puede representarse por

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_1 e^{j\varphi_1} \\ \sin \theta_1 \cos \theta_2 e^{j\varphi_2} \\ \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_3 e^{j\varphi_3} \\ \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 e^{j\varphi_4} \end{bmatrix}$$

De forma similar, la reflexión de Householder puede sustituirse con una rotación de 180 grados alrededor del vector  $[10 \dots 0]^T + v_i$ . A este respecto, el libro de código del vector grueso puede memorizarse en la forma de ángulos  $\theta_j$  y  $\varphi_k$  de Given.

5 Conviene señalar que la matriz de reflexión de Householder  $F_i$  en la solicitud de patente Lin co-pendiente para cuantización (no reconstrucción) puede sustituirse por cualquier matriz  $A_i$  unitaria que tenga  $\hat{v}_i$  o  $v_i$  como la primera columna, en donde  $\hat{v}_i$  y  $v_i$  son el vector objeto de cuantización y el vector para cuantización, respectivamente. A modo de ejemplo, la matriz  $A_i$  que convierte  $v_i$  a  $[e^{j\theta} \ 0.0 \ \dots \ 0.0]^T$  con error de cuantización puede ser  $E_i$ , en donde  $E_i = B_i^H$  y  $B_i$  puede convertir  $[1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$  a  $e^{j\theta} v_i$  con error de cuantización.

10 Estructura de datos de libro de código a modo de ejemplo

Una vez introducida una forma de puesta en práctica operativa anterior, a modo de ejemplo, se realizarán ahora varias mejoras al libro de código uniforme convencional. En conformidad con una forma de realización desarrollada más completamente a continuación, el agente CMA 108 puede solicitarse para reordenar, de forma selectiva, los elementos de un libro de código uniforme, p.e., tal como un libro de código generado con anterioridad, para reducir efectivamente la complejidad de cálculo del proceso de cuantización. En conformidad con una forma de realización, las palabras de código del libro de código están dispuestas de modo que dichas palabras de código con la mayor componente real del primer elemento aparezcan en el libro de código antes que las palabras de código con componentes reales más pequeñas. En consecuencia, no existe ninguna necesidad de buscar el libro de código completo. La realimentación operativa de la mejor de las cinco menos palabras de código es suficiente para la convergencia. Este ordenamiento particular de las palabras de código reduce la complejidad de la cuantización en el modo de seguimiento.

En conformidad con otro aspecto de formas de realización de la invención, el agente CMA 108 puede añadir, de forma selectiva, otros  $m$  elementos a un libro de código uniforme, de cualquier otro modo, para generar un libro de código no uniforme, en donde  $m$  es dos a treinta y dos. Es decir, en conformidad con una forma de realización, desarrollada más completamente a continuación, el agente CMA 108 añade, de forma selectiva, una a  $m$  palabras de código al libro de código para generar un libro de código no uniforme, p.e., cuando se detecte un canal estacionario (o, cambiando lentamente). En conformidad con una forma de realización, las  $m$  palabras de código adicionales del libro de código no uniforme están estrechamente centradas en torno a la palabra de código  $[1,0,\dots,0]^T$ , según se ilustra en la Figura 5. Como alternativa, el agente CMA 108 puede seleccionar dinámicamente un libro de código no uniforme preconfigurado.

30 En conformidad con otro aspecto de formas de realización de la invención, el agente CMA 108 puede utilizar dos conjuntos de palabras de código para la cuantización. El primer conjunto es para cuantización gruesa mientras que el segundo conjunto es para cuantización fina alrededor de un centro seleccionado. En conformidad con una forma de realización, el agente CMA 108 puede concatenar los libros de códigos. La concatenación de un libro de código grueso y uno (o múltiples) libros de códigos finos (con radios decrecientes) forma efectivamente un libro de código de jerarquía según se ilustra en la Figura 7.

Aunque el libro de código concatenado no puede proporcionar el rendimiento de cálculo óptimo para una carga de realimentación dada, permite una cuantización de baja complejidad y una resolución de realimentación escalable. Además, puesto que la matriz de formación de haces se aproxima a la matriz de identidad después de varias iteraciones de realimentación operativa, la estación solamente puede utilizar los libros de códigos finos sin libros de códigos gruesos para la cuantización de algunos vectores en un desvanecimiento lento. Lo que antecede reduce la carga de realimentación operativa para seguimiento de la matriz de formación de haces.

Se apreciará que para la introducción del agente CMA 108, el dispositivo 106 está previsto para representar cualquier de una amplia gama de dispositivos electrónicos con capacidad de comunicación inalámbrica. En algunas formas de realización, el agente CMA 108 es responsable de un receptor acoplado de forma comunicativa para realizar las funciones aquí descritas. En conformidad con algunas formas de realización, el agente CMA 108 puede realizarse en hardware, software, firmware y/o cualquiera de sus combinaciones.

Operación de CMA a modo de ejemplo

Volviendo a la Figura 3, se presenta, en general, un diagrama de flujo de un método, a modo de ejemplo, para utilizar los libros de códigos no uniformes, en conformidad con una forma de realización. El método, a modo de ejemplo, 50 ilustrado en la Figura 3 comienza con el bloque 302 en donde el agente de gestión de código (CMA) 108 selecciona uno o más libros de códigos. En conformidad con una forma de realización, el libro de código puede seleccionarse a

partir de una pluralidad preconstituida de libros de códigos o generarse de forma dinámica en conformidad con las enseñanzas proporcionadas por la solicitud de patente de Lin (incorporada aquí).

5 En el bloque 304, el agente CMA 108 puede reordenar selectivamente el libro de código uniforme, anteriormente introducido. En conformidad con una forma de realización, el agente CMA 108 puede disponer el libro de código como sigue: tomar cualquier palabra de código  $c_0$ , realizar una rotación unitaria o reflexión  $G$ , de modo que  $G \cdot c_0 = [1, 0, \dots, 0]^T$ . Un libro de código equivalente puede formarse mediante la operación global de  $G$  sobre cada palabra de código de  $C(m, N)$   $C'(m, N) = G \cdot C(m, N)$ .

En conformidad con una forma de realización, el agente CMA 108 puede ordenar las palabras de códigos en conformidad con la magnitud del primer elemento  $|c_i(1)|$ . Un ejemplo de  $C(2, 12)$  se proporciona en la tabla siguiente

10 (Tabla 1):

|                   |                   |                  |                   |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1.0000 + 0.0000i  | 0.8507 + 0.0000i  | 0.8507 - 0.0000i | 0.8507 - 0.0000i  |
| 0 - 0.0000i       | -0.3599 - 0.3832i | 0.0659 + 0.5216i | 0.5164 + 0.0985i  |
| 0.8507 + 0.0000i  | 0.8507 + 0.0000i  | 0.5257 - 0.0000i | 0.5257 - 0.0000i  |
| 0.2532 - 0.4607i  | -0.4757 + 0.2239i | 0.5824 + 0.6200i | -0.1067 - 0.8439i |
| 0.5257 + 0.0000i  | 0.5257 - 0.0000i  | 0.5257 - 0.0000i | 0.0000 + 0.0000i  |
| -0.8356 - 0.1593i | -0.4097 + 0.7455i | 0.7697 - 0.3623i | -0.9967 - 0.0818i |

15 Una presentación gráfica de estas palabras de código se ilustra en la Figura 4. En conformidad con la representación gráfica de la Figura 4, las coordenadas  $x, y, z$  son  $real(c_i(2)), imag(c_i(2))$  y  $abs(c_i(1))$ , respectivamente. Conviene señalar que la denominada variedad de Steifel de espacio en 2D complejo no es lo mismo que la superficie esférica unitaria en 3D real. Por lo tanto, las palabras de código pueden no ocupar uniformemente la superficie esférica.

20 El vector  $a$  lo largo del eje  $y$  y positivo ilustra la primera palabra de código. Las 5 palabras de código siguientes forman un "Casquete polar" cerca de la primera palabra de código. En el modo de seguimiento anteriormente citado, la matriz de formación de haces puede ser objeto de cuantización por las palabras de código en el "casquete polar", con lo que se reduce la necesidad de búsqueda del libro de código completo. Este ordenamiento particular de las palabras de código reduce la complejidad de la cuantización en el modo de seguimiento. Además, el ordenamiento del libro de código permite también una puesta en práctica de microarquitectura flexible del proceso de cuantización. En este ejemplo ilustrado, el circuito solamente necesita buscar las 6 primeras palabras de código para garantizar la convergencia de formación de haces cuando el canal cambia con lentitud, mientras que un dispositivo de más alto rendimiento puede poner en práctica la complejidad de búsqueda completa para una convergencia más rápida.

25 Según se presentó con anterioridad, en una condición de canal estacionario, la exactitud final de la formación de haces solamente depende de la densidad de palabras de código cerca del casquete polar. En consecuencia, el agente CMA 108 mejora, de forma selectiva, el libro de código introduciendo un "casquete polar" más denso para fines de seguimiento, el bloque 306. Tan solo a modo de ejemplo se proporciona en la tabla 2 siguiente, en donde la palabra de código  $C_{NU}(2, 12 + 4)$  se introduce en donde se añade un conjunto extra de  $m$  apalpas (p.e., en donde  $m$  es 4 en este ejemplo) cerca del denominado "polo norte":

|                   |                   |                  |                   |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1.0000 + 0.0000i  | 0.9962            | 0.9962           | 0.9962            |
| 0 - 0.0000i       | 0 + 0.0872i       | -0.0872          | 0 - 0.0872i       |
| 0.9962            | 0.8507 + 0.0000i  | 0.8507 - 0.0000i | 0.8507 - 0.0000i  |
| 0.0872            | -0.3599 - 0.3832i | 0.0659 + 0.5216i | 0.5164 + 0.0985i  |
| 0.8507 + 0.0000i  | 0.8507 + 0.0000i  | 0.5257 - 0.0000i | 0.5257 - 0.0000i  |
| 0.2532 - 0.4607i  | -0.4757 + 0.2239i | 0.5824 + 0.6200i | -0.1067 - 0.8439i |
| 0.5257 + 0.0000i  | 0.5257 - 0.0000i  | 0.5257 - 0.0000i | 0.0000 + 0.0000i  |
| -0.8356 - 0.1593i | -0.4097 + 0.7455i | 0.7697 - 0.3623i | -0.9967 - 0.0818i |

Una representación gráfica de dicho libro de código no uniforme se presenta haciendo referencia a la Figura 5. En conformidad con el ejemplo ilustrado en la Figura 5, la representación gráfica del libro de código muestra las  $m$  palabras de código (4) adicionales y las palabras de código (en negro) agrupadas cerca de las primeras palabras de código.

35 Una vez generado el libro de código no uniforme, el agente CMA 108 puede efectuar una cuantización selectiva del libro de código no uniforme para su reenvío a un dispositivo de comunicación distante (p.e., 102), bloque 308, como la realimentación operativa explícita, continuando el proceso de tecnología MIMO de bucle cerrado.

5 Volviendo a la Figura 6, se presenta un diagrama de flujo de un método, a modo de ejemplo, para generar un libro de código jerárquico, en conformidad con una forma de realización. En el bloque 602, el agente CMA 108 selecciona un primer libro de código. En conformidad con una forma de realización, el primer libro de código se selecciona para una cuantización gruesa. En conformidad con una forma de realización, el libro de código grueso tiene  $N_c$  vectores y los vectores tienen una dimensión  $M$ . Si las entradas de la matriz de canal están independientemente e idénticamente distribuidas, puede ser deseable que los vectores estén uniformemente distribuidos lo más posible en una variedad Steifel compleja de  $M$  dimensiones (similar a la esfera unitaria). De no ser así, los vectores pueden no estar uniformemente distribuidos.

10 En el bloque 604, el agente CMA 108 selecciona un segundo y/o posteriores libros de códigos. En conformidad con una forma de realización, el segundo libro de código se selecciona para una cuantización fina, alrededor, p.e., de un centro seleccionado.

15 En el bloque 606, el agente CMA 108 puede concatenar al menos subconjuntos de cada uno de los primero y segundo (y/o posteriores) libros de códigos seleccionados para formar un libro de código de jerarquía. Aunque el libro de código concatenado no proporcione el mejor rendimiento para una carga de realimentación dada, permite una cuantización de baja complejidad y una resolución de realimentación operativa escalable. Además, puesto que la matriz de formación de haces se aproxima a la matriz de identidad después de varias realimentaciones operativas, la estación puede solamente utilizar libros de códigos en anillo sin libros de códigos vectoriales para la cuantización de algunos vectores en un modo de desvanecimiento lento. Lo que antecede reduce la carga de realimentación operativa para el seguimiento de la matriz de formación de haces.

20 Una representación gráfica de un libro de código de jerarquía, a modo de ejemplo, se presenta haciendo referencia a la Figura 7. Según se ilustra, para cada vector del libro de código grueso, se define un libro de código fino. Los vectores del libro de código fino (indicados como  $r_j$ s) entorno a los vectores seleccionados del libro de código grueso (indicado como  $v_i$ ). El libro de código fino puede generarse dinámicamente en conformidad con  $v_i$  de la solicitud de patente de Lin co-pendiente para reducir la complejidad de la memorización. El vector fino  $r_j$ s puede constituir un casquete, o un anillo, u otra forma en el colector. El tamaño de perfil del libro de código fino puede ajustarse dinámicamente durante el seguimiento con el fin de reducir el error de cuantización. A modo de ejemplo, la realimentación operativa inicial puede emplear un gran tamaño de perfil puesto que el error de cuantización debido al libro de código grueso es grande y la realimentación de seguimiento última puede un pequeño porque la matriz de formación de haces está próxima a la matriz de identidad.

30 Una realización ejemplo de un libro de código fino es como sigue. Los vectores finos  $r_j$ s del vector grueso  $v_i$  están situados en un anillo  $M-1$  (o círculo) dimensional (complejo), cuyo centro es el vector  $v_i$  (complejo)  $M$ -dimensional y el plano que contiene el anillo es perpendicular al vector  $v_i$  según se ilustra en la Figura 7. Tal como aquí se utiliza, el vector  $v_i$  puede tener  $M$  dimensiones complejas o  $2M$  dimensiones reales. El radio del anillo puede ajustarse dinámicamente para reducir el error de cuantización. Los vectores finos pueden calcularse como:

$$35 \quad r_j = F_i \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta f_j \end{bmatrix}, \quad (11)$$

en donde  $\theta$  es el ángulo entre  $r_j$  y  $v_i$ ,  $F_i = I - 2w_i w_i^H$  es la matriz de reflexión de Householder de  $v_i$ ;  $w_i = \frac{v_i - e_1}{\|v_i - e_1\|}$  y  $e_1 = [1, 0, \dots, 0]^T$ ;  $f_j$  es un vector unitario  $M-1$  dimensional para el  $j$ -ésimo vectores en el anillo. Puesto que  $F_i$  es unitario y su primera columna es  $v_i$ , todas las columnas excepto la primera forman el plano ortogonal a  $V_i$ , que contiene el anillo. Puesto que la matriz de Householder es fácil de calcular, este sistema es eficiente desde el punto de vista del cálculo.

40 En general, la matriz  $F_i$  puede sustituirse por cualquier otra matriz unitaria en donde la primera columna sea  $v_i$ . A modo de ejemplo,  $F_i$  puede sustituirse por  $B_i$  en (10). Esta sustitución puede permitir en práctica utilizando algoritmos CORDIC. Los vectores  $f_j$ s se obtienen a partir de búsqueda como:

$$\{f_j\}_{j=1}^{N_f} = \arg \max_{\{f_j\}_{j=1}^{N_f}, \|f_j\|=1} \left( \min_{k,l=1,\dots,N_f, k \neq l} \|\cos^2 \theta_0 + \sin^2 \theta_0 \hat{f}_k^H \hat{f}_l\| \right). \quad (11)$$

45 En conformidad con una forma de realización, la búsqueda aumenta (p.e., maximiza sustancialmente) la distancia entre los dos vectores más próximos que tienen la forma general  $\begin{bmatrix} \cos \theta_0 \\ \sin \theta_0 \hat{f}_j \end{bmatrix}$ . Puesto que el resultado de la búsqueda no es sensible a  $\theta_0$ , que determina el radio del anillo, libros de códigos finos con radio distinto pueden generarse dinámicamente manteniendo el mismo valor de  $f_j$ , y cambiando  $\theta$  en (10). En la búsqueda de (11),  $\theta_0$  puede determinarse a partir de la estadística del error de cuantización. Para la cuantización del vector complejo unitario  $4 \times 1$ , el ángulo  $\theta_0$  es aproximadamente 15 grados y  $\theta$  es aproximadamente 20 grados para la realimentación operativa

inicial. El radio  $\theta$  se puede reducir usualmente para las realimentaciones de seguimiento posteriores. Para el sistema OFDM, el valor de  $\theta$  puede permanecer constante para todas las subportadoras para una realimentación operativa.

5 En conformidad con una forma de realización, el libro de código fino está formado por vector central,  $v_i$  y los vectores en anillo  $r_j$ , para  $j = 1, \dots, N_r$ . El número total de vectores del libro de código fino es  $N_r + 1$ , que puede ser una potencia de 2.

10 A modo de otro ejemplo, el libro de código fino puede no solamente tener vectores de palabras de código en el anillo. En cambio, los vectores de palabras de código finos pueden efectuar una dispersión del casquete polar que tiene el vector de libro de código grueso como centro y el anillo como límite. Los vectores finos pueden distribuirse uniformemente en el casquete o pueden tener una más alta densidad cuanto más próximos estén al centro. La distribución puede obtenerse optimizando la exactitud de cuantización (esto es, reduciendo el error de cuantización) para una carga de realimentación operativa dada.

15 Según se presentó con anterioridad, el agente CMA 108 puede concatenar el primer libro de código (grueso) con uno o más libros de códigos (finos) posteriores, bloque 606, antes de la cuantización y proceder al reenvío a un dispositivo de comunicación distante, bloque 608. Debe apreciarse que la concatenación de un libro de código grueso con un libro de código fino reduce el error de cuantización del libro de código grueso a costa de una carga de realimentación adicional para el libro de código fino. Si la resolución del libro de código concatenado no es suficiente, puede concatenar, además, otro libro de código fino, en donde el vector del primer libro de código concatenado es el centro del segundo libro de código concatenado.

20 En el modo de seguimiento anteriormente presentado, la matriz de formación de haces acumulada está próxima a la matriz de identidad, la cuantización solamente se necesita para estar alrededor  $[1 \ 0, \dots, 0]^T$  para cada vector de Householder. Por lo tanto, el agente CMA 108 puede efectuar la rotación del libro de código grueso completo de modo que un vector de palabra de código sea  $[1 \ 0, \dots, 0]^T$ . Esta rotación reduce el error de cuantización para el modo de seguimiento. Sin embargo, la rotación no es deseable desde el punto de vista de la potencia máxima puesto que puede colocar toda la potencia de transmisión en una sola antena. Cuando la matriz de formación de haces observada en el receptor  $\tilde{r}_3$  en la solicitud de patente Lin co-pendiente, se aproxima a la matriz de identidad, el centro puede fijarse en  $[1 \ 0, \dots, 0]^T$  y puede omitirse la cuantización gruesa. Solamente necesita utilizarse la cuantización fina y la realimentación operativa correspondiente, con lo que se reduce la complejidad de cálculo y la carga de realimentación operativa. Esta simplificación se refiere como localización. Puesto que la estadística del error de cuantificación es distinta para diferentes vectores de Householder y diferentes realimentaciones operativas, se utilizan la concatenación, localización y ajuste del radio para cada vector de Householder para cada realimentación operativa.

35 Para fines de ilustración, se supone, a modo de ejemplo, que un transmisor tiene 4 antenas y un receptor tiene 3 antenas. Para la realimentación operativa inicial, los 6, 5 y 4 bit de cuantización se utilizan para la cuantización gruesa de 4, 3 y 2 vectores (de Householder) respectivamente y se utilizan 3 y 4 bits para la cuantización fina para 4 y 3 vectores para mejorar la resolución, respectivamente, cuyo radio  $\theta$  es 20 grados para ambos. Para la segunda forma de realimentación operativa, se omite la cuantización gruesa de 4 vectores. El radio se reduce a 15 grados para libros de códigos finos de 4 y 3 vectores.

#### Realización ejemplo de arquitectura de dispositivo de comunicación

40 Habiendo presentado el entorno de comunicaciones y las características operativas de CMA 108 con respecto a las Figuras 1 a 7 inclusive anteriores, se hace ahora referencia a la Figura 8 que proporciona una arquitectura de dispositivo electrónico, a modo de ejemplo, dentro de la que puede ponerse en práctica el CMA 108.

45 La Figura 8 ilustra un diagrama de flujo de una arquitectura, a modo de ejemplo, de un dispositivo electrónico dentro del que pueden ponerse en práctica las enseñanzas proporcionadas por la presente invención, en conformidad con una forma de realización. El dispositivo electrónico 800 se ilustra incluyendo una o más antenas, un extremo frontal (RFE) 802 de radiofrecuencias (RF), un procesador de banda base 804, una o más interfaces de red 406, uno o más procesadores 808 (p.e., procesadores de aplicaciones y/o de uso general) y una memoria 810. En conformidad con las formas de realización de la invención, el dispositivo 800 puede poner en práctica adecuadamente uno o más aspectos del agente de gestión de libro de código (CMA) 108 y/o las propias estructuras de datos anteriormente introducidas.

50 En algunas formas de realización, el dispositivo electrónico 800 puede representar un sistema que incluye uno o más de un punto de acceso, una estación móvil, una estación base y/o una unidad de abonado y puede incluir otros circuitos. A modo de ejemplo, en algunas formas de realización, el dispositivo electrónico 800 puede ser un ordenador, tal como un ordenador personal, una estación de trabajo o dispositivo similar, que incluye un punto de acceso o una estación móvil como un elemento integral y/o periférico. Además, el dispositivo electrónico 800 puede incluir una serie de dispositivos que están acoplados juntos en una red.

55 En funcionamiento, el dispositivo 800 puede enviar y recibir señales utilizando una o más de las antenas, en donde las señales se procesan por los diversos elementos ilustrados. Tal como aquí se utilizan, las antenas pueden ser un conjunto matricial de antenas o cualquier tipo de estructura de antenas que soporte el procesamiento de tecnología

MIMO. En conformidad con una forma de realización, dichas antenas son antenas prácticamente omnidireccionales pero el alcance de la invención no está limitado a este respecto. El dispositivo 800 puede operar en cumplimiento parcial o completo del estándar de red inalámbrica tal como, p.e., las normas 802.11 o 802.16 anteriormente introducidas.

5 En conformidad con una forma de realización, el extremo frontal de RF 802 puede acoplarse, de forma selectiva, a una o más de las antenas para interactuar con una red inalámbrica. El extremo frontal de RF 802 puede incluir circuitos para soportar la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencias (RF). A modo de ejemplo, en algunas formas de realización, el extremo frontal de RF 802 puede incluir un receptor de RF para recibir señales y realizar una o más tareas de procesamiento tales como amplificación de ruido baja (LNA), filtrado, conversión de frecuencias u  
10 operaciones similares. Además, en algunas formas de realización, el RFE 802 de radiofrecuencias puede incluir mecanismos de transformación y circuitos de formación de haces para soportar el procesamiento de señal MIMO. Además, a modo de ejemplo, en algunas formas de realización, RFE 802 puede incluir circuitos para soportar la conversión ascendente de frecuencias y un transmisor de RF.

15 Los procesadores de banda base 804 pueden ser un transmisor con hardware, software y/o firmware (o sus combinaciones) para realizar un procesamiento de banda base. El procesador de banda base puede combinarse o ponerse en práctica por intermedio del procesador 808.

20 El procesador 808 puede efectuar la lectura de instrucciones y datos desde la memoria 810 y realizar acciones en su respuesta. A modo de ejemplo, el procesador 808 puede acceder a instrucciones procedentes de la memoria 810 y realizar formas de realización del método de la presente invención, tales como, p.e., el método 300 (Figura 2), el método 600 (Figura 6) y/o otros métodos aquí descritos. A este respecto el procesador 808 está previsto para representar cualquier tipo de procesador incluyendo, sin limitación, un microprocesador, un procesador de señales digitales, un microcontrolador o dispositivos similares.

25 La memoria 810 representa un elemento que incluye un soporte legible por máquina. A modo de ejemplo, la memoria 810 representa una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), una memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), una memoria de solamente lectura (ROM), una memoria instantánea o cualquier otro tipo de elemento que incluya un soporte legible por procesador 808. La memoria 810 puede memorizar instrucciones para generar y/o utilizar dinámicamente los libros de códigos jerárquicos y/o no uniforme anteriormente introducidos. Como alternativa, dichas instrucciones pueden integrarse también dentro y/o proporcionarse a un procesador de banda base 804.

30 La interfaz de red 806 puede proporcionar comunicaciones entre el dispositivo electrónico 800 y otros sistemas. A modo de ejemplo, en algunas formas de realización, el dispositivo electrónico 800 puede ser un punto de acceso que utiliza la interfaz de red 806 para comunicarse con una red cableada o para comunicarse con otros puntos de acceso. En algunas formas de realización, el dispositivo electrónico 800 puede ser una tarjeta de interfaz de red (NIC) que se comunica con un ordenador o red utilizando un bus conector u otro tipo de puerto.

35 Tal como aquí se utilizan, las formas de realización de CMA 108 se pueden poner en práctica en uno o más de entre RFE 802, un procesador de banda base 804, procesadores 808 y/o sus combinaciones. Según se presentó con anterioridad, el agente CMA 108 puede ponerse en práctica en hardware, software, firmware o sus combinaciones.

40 Aunque los diversos elementos del dispositivo 800 se ilustran como elementos dispares en la Figura 8, se considera que las formas de realización pueden combinar uno o más elementos o que pueden contener más elementos. A modo de ejemplo, los circuitos del procesador 808, memoria 810, interfaz de red 806 y procesador de banda base 804 pueden integrarse adecuadamente en un circuito integrado único. Como alternativa, la memoria 810 puede ser una memoria interna dentro de un procesador de banda base 804 o procesador 808 o puede ser una memoria de control de microprogramas dentro del procesador 810. En algunas formas de realización, los diversos elementos del dispositivo 400 pueden empaquetarse por separado y montarse en una placa de circuito común. En otra forma de  
45 realización, los diversos elementos son segmentos de circuitos integrados separados empaquetados juntos, tal como un módulo de múltiples circuitos integrados y en otras formas de realización, varios elementos están en la misma pastilla de circuito integrado.

#### Formas de realización alternativas

50 La Figura 9 ilustra un diagrama de flujo de un soporte de memorización, a modo de ejemplo, que comprende contenidos que, cuando se solicitan, pueden hacer que una máquina de acceso ponga en práctica uno o más aspectos operativos del agente de gestión de libros de códigos 108 y/o métodos asociados 300 y/o 600 y/o estructuras de datos asociadas (p.e., libros de códigos). A este respecto, el soporte de memorización 900 puede incluir contenidos 902 (p.e., instrucciones, datos o cualquiera de sus combinaciones) que, cuando se ejecuten, hacen que un dispositivo de acceso ponga en práctica uno o más aspectos del agente de gestión de libro de código 108 anteriormente descrito.

55 El soporte (memoria) legible por máquina 900 puede incluir, sin limitación, disquetes flexibles, discos ópticos, CD-ROMs y discos magneto-ópticos, memorias ROM, RAM, EPROM, EEPROM, tarjetas magnéticas u ópticas, memoria instantánea u otro tipo de soporte legible por máquina/multimedia adecuado para memorizar instrucciones electrónicas. Además, la presente invención puede descargarse también como un producto de programa informático,

en donde el programa puede transferirse desde un ordenador distante a un ordenador solicitante por intermedio de señales de datos incluidas en una onda portadora u otro medio de propagación a través de un enlace de comunicaciones (p.e., un módem, conexión de radio o red). Tal como aquí se utilizan, todos dichos soportes se consideran, en el sentido amplio, como medios de memorización.

5 Debe entenderse que formas de realización de la presente invención pueden utilizarse en una diversidad de aplicaciones. Aunque la presente invención no está limitada a este respecto, los circuitos aquí dados a conocer pueden utilizarse en numerosos aparatos tales como en los transmisores y receptores de un sistema de radio. Los sistemas de radio previstos para incluirse dentro del alcance de la presente invención incluyen, a modo de ejemplo, solamente, dispositivos de redes de área local inalámbrica (WLAN) y dispositivos de redes de área amplia (WWAN) que incluyen dispositivos de interfaz de red inalámbrica y tarjetas de interfaz red (NICs), estaciones base, puntos de acceso (APs), pasarelas, puentes, concentradores, sistemas de comunicaciones radiotelefónicas celulares, sistemas de comunicaciones por satélite, sistemas de comunicaciones de radio bidireccionales, dispositivos buscapersonas unidireccionales, dispositivos buscapersonas bidireccionales, sistemas de comunicaciones personales (PCS), ordenadores personales (PCs), asistentes digitales personales (PDAs), redes de sensores, redes de áreas personales (PANs) y dispositivos similares, aunque el alcance de la invención no está limitado a este respecto. Dichos dispositivos pueden utilizarse adecuadamente dentro de cualquiera de una diversidad de elementos.

Formas de realización de la presente invención pueden incluirse también en bloques de circuitos integrados, referidos como memoria de núcleos, memoria caché u otros tipos de memoria que memorizan instrucciones electrónicas a ejecutarse por el microprocesador o memorizar datos que puedan utilizarse en operaciones aritméticas. En general, una forma de realización que utiliza la denominada lógica dominó multietapa en conformidad con la materia reivindicada puede proporcionar una ventaja operativa a microprocesadores, en particular, pueden incorporarse en un decodificador de direcciones para un dispositivo de memoria. Conviene señalar que las formas de realización pueden integrarse en sistemas de radio o dispositivos portátiles, en particular cuando los dispositivos dependen de un consumo de potencia reducido. De este modo, ordenadores portátiles, sistemas de comunicaciones radiotelefónicas celulares, sistemas de comunicaciones de radio bidireccionales, dispositivos de búsqueda unidireccionales, dispositivos de búsqueda bidireccionales, sistemas de comunicaciones personales (PCS), asistentes digitales personales (PDAs), cámaras y otros productos están previstos para incluirse dentro del alcance de protección de la presente invención.

La presente invención incluye varias operaciones. Las operaciones de la presente invención pueden realizarse mediante componentes de hardware, o pueden materializarse en contenidos ejecutables por máquina (p.e., instrucciones) que pueden utilizarse para hacer que un procesador de uso general o de uso especial o circuitos lógicos programados con las instrucciones puedan realizar las operaciones previstas. Como alternativa, las operaciones pueden realizarse mediante una combinación de hardware y software. Además, aunque la invención ha sido descrita dentro del contexto de un dispositivo informático, los expertos en esta técnica apreciarán que dicha funcionalidad puede materializarse adecuadamente en cualquiera de varias formas de realización alternativas tales como, a modo de ejemplo, integradas dentro de un dispositivo de comunicaciones (p.e., un teléfono móvil).

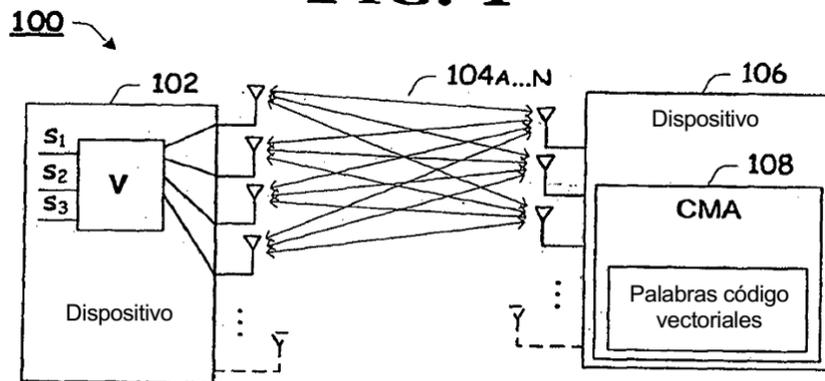
En la descripción anterior, para los fines de explicación, se establecen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar un entendimiento a fondo de la presente invención. Será evidente, sin embargo, para los expertos en esta técnica, que la presente invención puede ponerse en práctica sin algunos de estos detalles concretos. En otras instancias operativas, estructuras y dispositivos bien conocidos se ilustran en forma de diagrama de bloques. Cualquier número de variantes del concepto inventivo se prevén dentro del alcance de la presente invención. A este respecto, las formas de realización ilustradas a modo de ejemplo particulares no se proporcionan para limitar la invención sino simplemente para ilustrarla. De este modo, el alcance de la presente invención no ha de determinarse por las realizaciones a modo de ejemplo concretas anteriormente dadas a conocer sino solamente por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

45

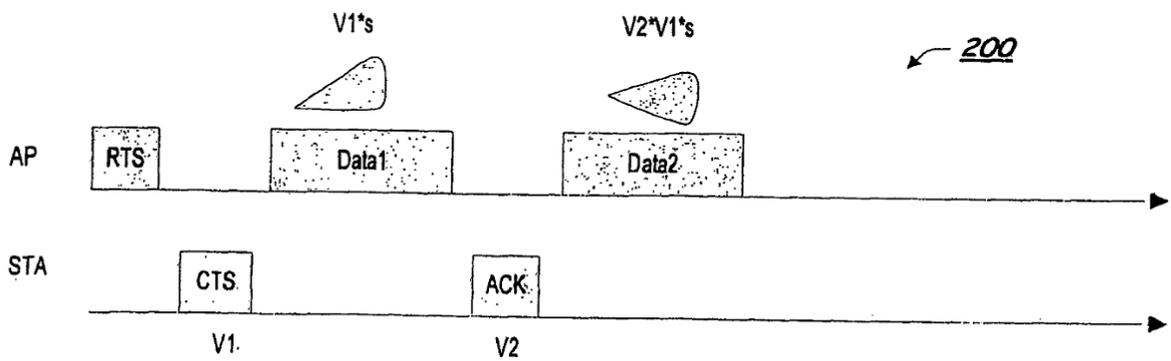
**REIVINDICACIONES**

1. Un método que comprende:  
transmitir una señal inalámbrica a un dispositivo distante (106), donde el dispositivo distante (106) determina la información asociada con una matriz de formación de haces en respuesta a la señal inalámbrica basada en un libro de código jerárquico; y  
5 recibir la información asociada con la matriz de formación de haces enviada de vuelta desde el dispositivo distante.
2. Un método según se reivindica en la reivindicación 1, en donde el libro de código jerárquico comprende un primer libro de código concatenado con un segundo libro de código.
3. Un método según se reivindica en la reivindicación 1, en donde el libro de código jerárquico incluye un primer índice correspondiente a una cuantización gruesa y un segundo índice correspondiente a una cuantización fina.  
10
4. Un método según se reivindica en la reivindicación 3, en donde la información asociada con la matriz de formación de haces comprende el primer índice y el segundo índice del libro de código jerárquico.
5. Un método según se reivindica en la reivindicación 2, en donde un valor del primer libro de código posibilita la búsqueda en un subconjunto del segundo libro de código sin que se requiera una búsqueda en todo el libro de código jerárquico.
6. Un punto de acceso (102), que comprende:  
15 un transmisor para transmitir una señal inalámbrica a un dispositivo distante (106), donde el dispositivo distante (106) determina la información asociada a una matriz de formación de haces en respuesta a la señal inalámbrica basada al menos en parte en un libro de código jerárquico; y  
un receptor para recibir la información asociada con la matriz de formación de haces enviada de vuelta desde el dispositivo  
20 distante.
7. Un punto de acceso según se reivindica en la reivindicación 6, en donde el libro de código jerárquico comprende un primer libro de código concatenado con un segundo libro de código.
8. Un punto de acceso según se reivindica en la reivindicación 6, en donde el libro de código jerárquico incluye un primer índice correspondiente a una cuantización gruesa y un segundo índice correspondiente a una cuantización fina.
9. Un punto de acceso según se reivindica en la reivindicación 8, en donde la información asociada con la matriz de  
25 formación de haces comprende el primer índice y el segundo índice del libro de código jerárquico.
10. Un punto de acceso según se reivindica en la reivindicación 7, en donde un valor del primer libro de código posibilita la búsqueda en un subconjunto del segundo libro de código sin que se requiera una búsqueda en todo el libro de código jerárquico.
11. Un punto de acceso según se reivindica en la reivindicación 7, que comprende, además:  
30 una agrupación de una o más antenas acopladas al transmisor para transmitir la señal inalámbrica al dispositivo distante.
12. Un punto de acceso según se reivindica en la reivindicación 7, que comprende además una agrupación de una o más antenas acopladas al receptor para recibir la información asociada con la matriz de formación de haces enviada de vuelta desde el dispositivo distante.
13. Un soporte de memorización legible por máquina que incluye instrucciones legibles por máquina, preparadas, cuando  
35 se ejecutan, para implementar un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

**FIG. 1**

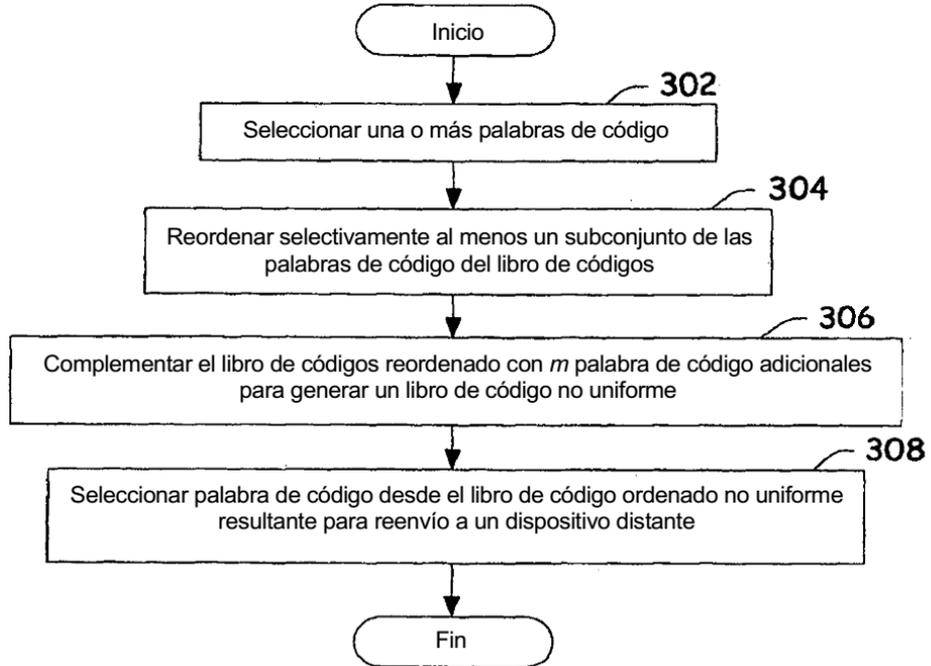


**FIG. 2**



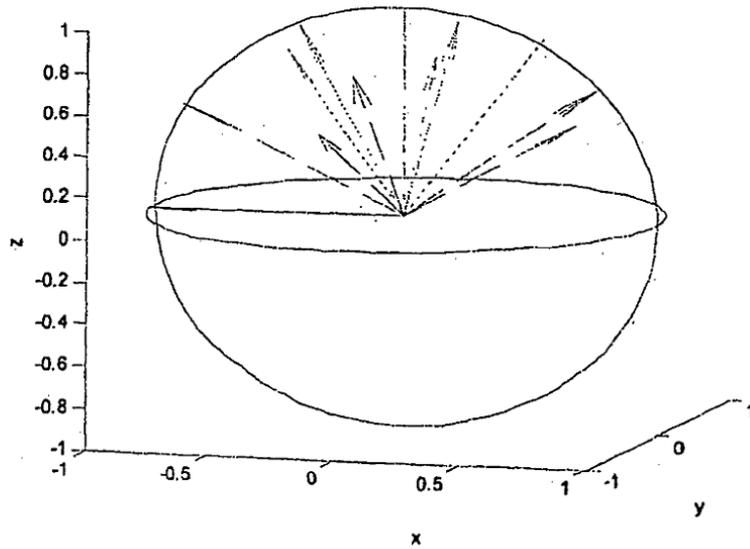
**FIG. 3**

**300** →

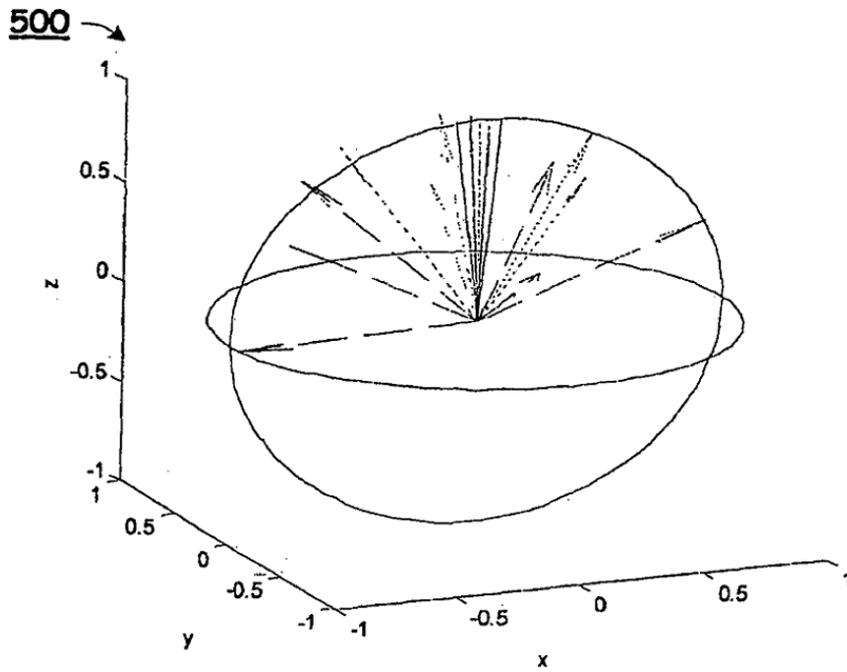


**FIG. 4**

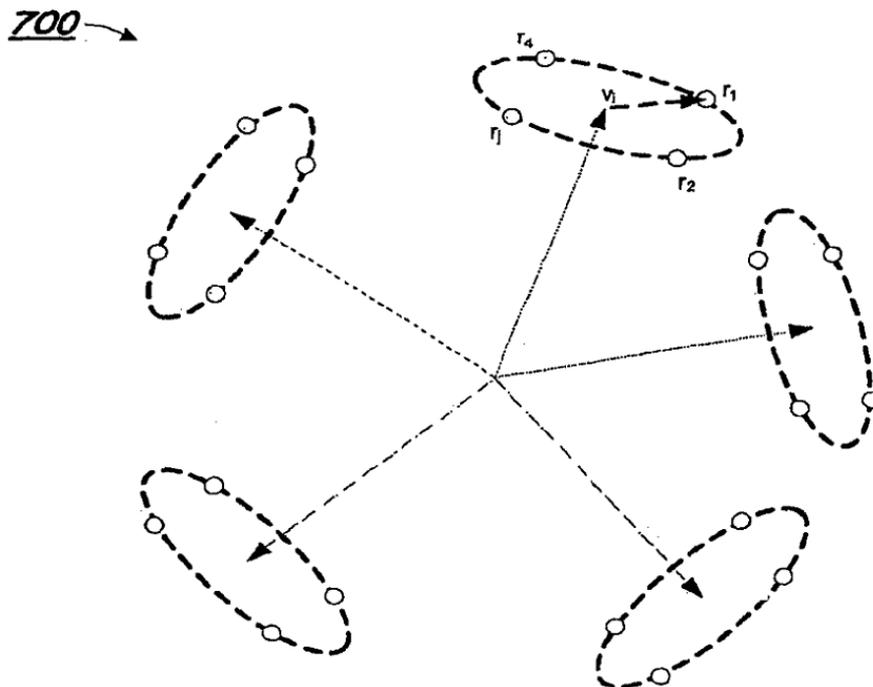
**400** →



# FIG. 5

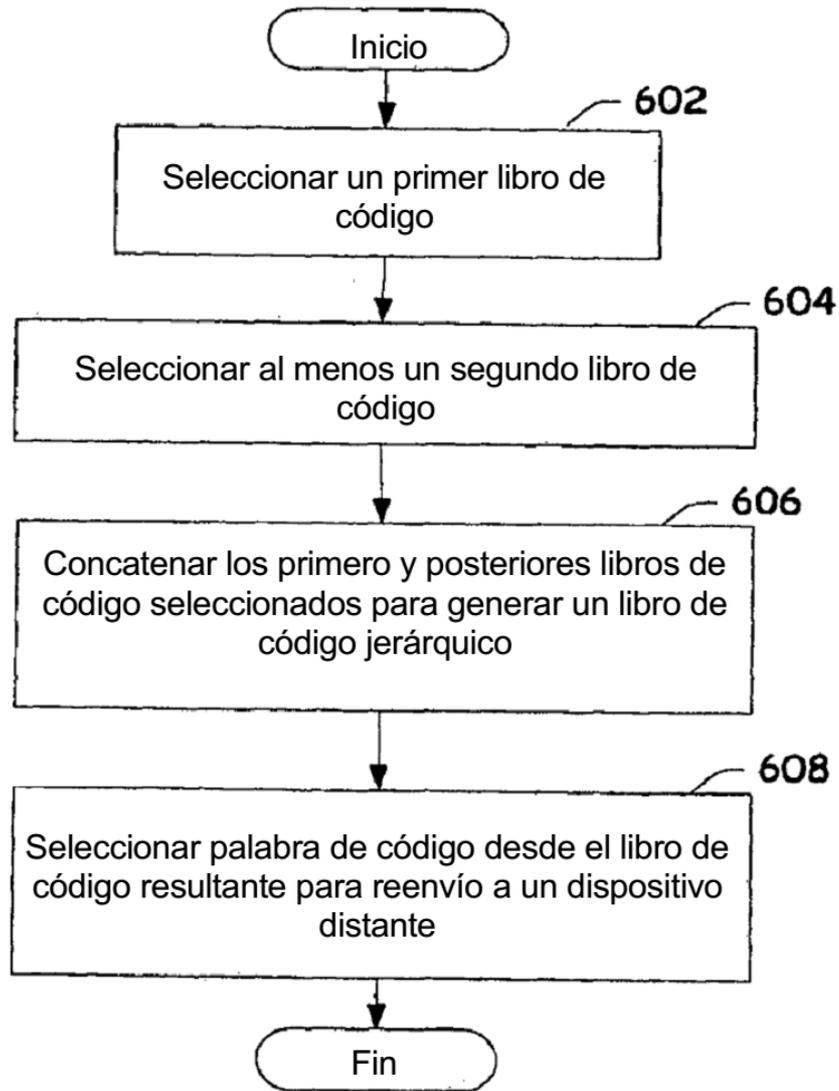


# FIG. 7

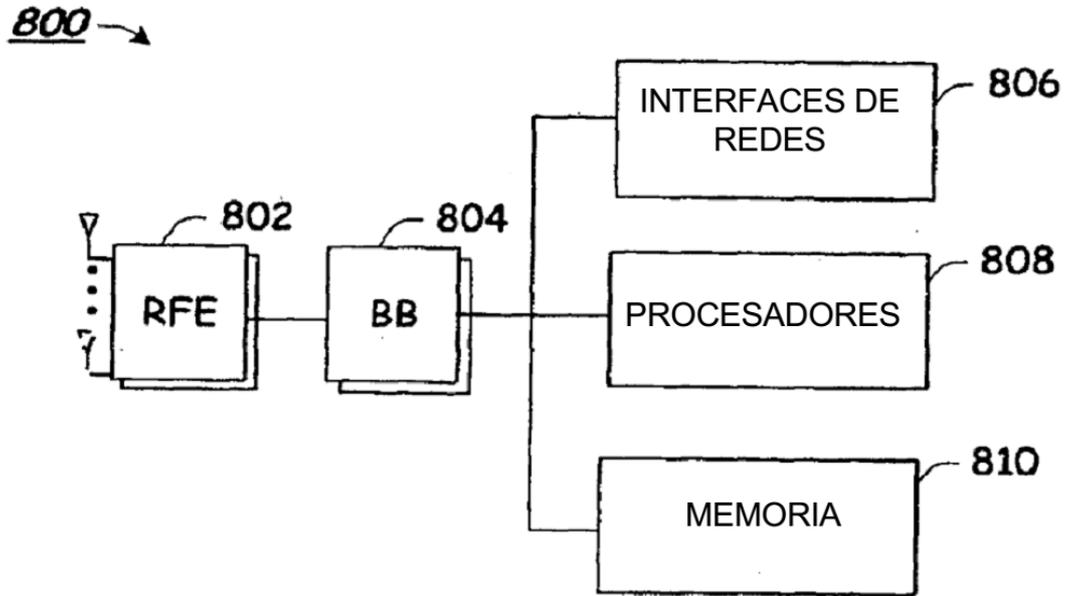


# FIG. 6

600 →



# FIG. 8



# FIG. 9

