

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 188**

51 Int. Cl.:

H04B 7/06 (2006.01)

H04B 7/04 (2006.01)

H04L 25/03 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2008** **E 08712791 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015** **EP 2119038**

54 Título: **Métodos y sistemas para precodificación combinada y diversidad de retardo cíclico**

30 Prioridad:

13.02.2007 SE 0700367

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

21.05.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**JÖNGREN, GEORGE y
GÖRANSSON, BO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 536 188 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

Métodos y sistemas para precodificación combinada y diversidad de retardo cíclico

Campo técnico

5 La presente invención se refiere de manera general a sistemas, dispositivos, software y métodos de radiocomunicación y, más particularmente, a mecanismos y técnicas para combinar precodificación y diversidad de retardo cíclico asociada con la misma.

Antecedentes

10 En sus comienzos la radiotelefonía fue diseñada y usada para comunicaciones de voz. Según continuó madurando la industria de la electrónica de consumo y aumentaron las capacidades de los procesadores, más dispositivos llegaron a estar disponibles para un uso que permitió la transferencia inalámbrica de datos entre dispositivos y más aplicaciones llegaron a estar disponibles para operar en base a tales datos transferidos. De particular interés son Internet y las redes de área local (LAN). Estas dos innovaciones permitieron a múltiples usuarios y múltiples dispositivos comunicar e intercambiar datos entre diferentes dispositivos y tipos de dispositivo. Con la llegada de estos dispositivos y capacidades, los usuarios (tanto de negocios como residenciales) encontraron la necesidad de 15 transmitir datos, así como voz, desde ubicaciones móviles.

La infraestructura y las redes que soportan esta transferencia de voz y datos han evolucionado del mismo modo. Aplicaciones de datos limitadas, tales como mensajería de texto, fueron introducidas en los denominados sistemas "2G", tales como el Sistema Global para comunicaciones Móviles (GSM). Los datos por paquetes sobre sistemas de radiocomunicación llegaron a ser más utilizables en GSM con la adición del Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS). Los sistemas 3G y, entonces, las radiocomunicaciones de ancho de banda incluso mayor introducidas por los estándares de Acceso Radio Terrestre Universal (UTRA) hicieron a aplicaciones como navegar la web más 20 fácilmente accesibles a millones de usuarios (y con un retardo más tolerable).

Incluso según se lanzan nuevos diseños de red por los fabricantes de redes, están bajo discusión y desarrollo sistemas futuros que proporcionan flujos máximos de datos mayores a dispositivos de usuario final. Por ejemplo, el denominado proyecto de estandarización de Evolución a Largo Plazo (LTE) del 3GPP se pretende que proporcione una base técnica para las radiocomunicaciones en las décadas venideras. Entre otras cosas de importancia con respecto a los sistemas LTE está que proporcionarán comunicaciones de enlace descendente (es decir, la dirección de transmisión desde la red al terminal móvil) usando multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) como formato de transmisión y proporcionarán comunicaciones de enlace ascendente (es decir, la dirección de 30 transmisión desde el terminal móvil a la red) usando acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) de portadora única.

Otro rasgo interesante de LTE es su soporte de múltiples antenas tanto en el lado de transmisión como el lado de recepción. Esto proporciona la oportunidad de influir varias técnicas diferentes para mejorar la calidad y/o tasa de datos de las señales radio recibidas. Tales técnicas incluyen, por ejemplo, diversidad contra desvanecimiento (por 35 ejemplo, diversidad espacial), conformando el haz de antena total para maximizar la ganancia en la dirección del objetivo (conformación de haz) y la generación de lo que se puede ver como "canales" múltiples, paralelos para mejorar la utilización del ancho de banda (multiplexación espacial o múltiples entradas múltiples salidas (MIMO)).

La precodificación es una técnica popular usada en conjunto con transmisión de múltiples antenas. El principio básico implicado en la precodificación es mezclar y distribuir los símbolos de modulación sobre las antenas mientras 40 que también se tienen en cuenta potencialmente las condiciones del canal actual. La precodificación se puede implementar, por ejemplo, multiplicando la información que transporta un vector de símbolo que contiene símbolos de modulación por una matriz que se selecciona para coincidir con el canal. Las secuencias de vectores de símbolos forman de esta manera un conjunto de flujos de símbolo paralelos y cada flujo de símbolos tal se conoce como una "capa". De esta manera, dependiendo de la elección del precodificador en una implementación particular, una capa puede corresponder directamente a una cierta antena o una capa se puede distribuir, a través de la correlación del precodificador, sobre varias antenas. 45

La diversidad de retardo cíclico (CDD) es una forma de precodificación de bucle abierto en la cual la matriz de precodificación es variada intencionadamente sobre la frecuencia dentro del ancho de banda de transmisión (o sistema). Típicamente, esto se realiza introduciendo diferente retardo de tiempo cíclico para las diferentes antenas o se realiza alternativamente variando la fase de las señales transmitidas desde las diferentes antenas. Este tipo de cambio de fase supone que el canal eficaz, que comprende el canal verdadero y la precodificación CDD, varía más rápido sobre la frecuencia que el canal original. Distribuyendo la transmisión sobre la frecuencia, este tipo de selectividad en frecuencia inducida artificialmente es útil en el logro de diversidad de frecuencia. 50

Una de las características más significativas de las condiciones de canal radio a considerar en el contexto de transmisión con múltiples antenas y alta tasa es el denominado rango de canal. En términos generales, el rango de canal puede variar desde uno hasta el mínimo del número de antenas de transmisión y recepción. Por ejemplo, dado un sistema 4x2 como ejemplo, es decir, un sistema con cuatro antenas de transmisión y dos antenas de recepción, 55

el rango de canal máximo es dos. El rango de canal asociado con una conexión particular varía en tiempo y frecuencia según el desvanecimiento rápido altera los coeficientes de canal. Además, el rango de canal determina cuántas capas, también conocidas como el rango de transmisión, se pueden transmitir con éxito simultáneamente. Por ejemplo, si el rango de canal es uno en el instante de la transmisión de dos capas, hay una fuerte probabilidad de que las dos señales que corresponden a las dos capas interfieran tanto que ambas de las capas se detecten erróneamente en el receptor. En conjunto con la precodificación, adaptar la transmisión al rango de canal implica esfuerzos para usar tantas capas como el rango de canal.

La Figura 1 ilustra una estructura de transmisión 108 para combinar CDD y, posiblemente dependiente del canal, precodificación. Dentro de la misma, cada capa 110 creada por el transmisor presenta un flujo de información que transporta símbolos de modulación al precodificador basado en CDD 112 como una secuencia de vectores de símbolo 114. El precodificador CDD 112 aplica las dos matrices 116 y 118 ilustradas dentro del mismo a cada vector de símbolo entrante para realizar el proceso de precodificación. Más específicamente, el precodificador CDD 112 primero aplica la matriz $U_{N_T \times r}$ 118 al vector de símbolo 114, seguida por la matriz CDD diagonal 116. La matriz $U_{N_T \times r}$ 118 es un subconjunto de columnas de una matriz unitaria (posiblemente reducida), r indica el rango de transmisión y N_T es el número de antenas de transmisión en el dispositivo de transmisión. La notación $\mathbf{A}_{k \times l}$ significa una matriz $\mathbf{A}$ que tiene k filas y l columnas. La matriz CDD diagonal 116 tiene valores no cero a lo largo de la diagonal que incluye un valor de cambio de fase de antena θ indexado por un parámetro k que es una función de la frecuencia. Si se usa OFDM para la transmisión, k puede representar por ejemplo el índice de subportadora o el índice de elemento de recursos de datos estrechamente relacionado (que excluye elementos de recursos que contienen símbolos de referencia). También se debería señalar que k puede ser una función más arbitraria de la posición de los elementos de recursos en la red de recursos en OFDM. El vector de símbolo de modulación precodificado, resultante entonces se saca, por ejemplo, para correlación de recursos y modulación OFDM 120, anterior a ser transmitido a través de las antenas 122 (también conocidas como puertos de antena).

La estructura de transmisión 108 ilustrada en la Figura 1 se puede utilizar de varias formas. Por ejemplo, una opción es usar una matriz unitaria, independiente de canal, fija $U_{N_T \times r}$ 118 con un cierto número de columnas r correspondiente al rango de transmisión. La matriz unitaria 118 sirve para distribuir cada símbolo en todas las antenas 122, mientras que la matriz CDD diagonal 116 varía (cambia) la fase de cada antena 122. Esto aumenta la selectividad en frecuencia del canal eficaz que experimenta cada capa 110 lo cual, como se mencionó anteriormente, se puede usar para lograr diversidad de frecuencia (así como diversidad de múltiples usuarios cuando se usa programación en el dominio de frecuencia).

Hay, no obstante, ciertos problemas asociados con usar la estructura de transmisión 108 ilustrada en la Figura 1 para realizar precodificación. Las propiedades de correlación espacial varían como una función de k y estas variaciones necesitan ser rápidas a fin de asegurar suficiente diversidad de frecuencia por encima incluso de transmisiones de más bien banda estrecha. Esto hace difícil para un receptor estimar las propiedades de interferencia que se deriva de tal tipo de transmisiones. La estructura de transmisión 108 tampoco proporciona suficiente libertad para diseñar la precodificación sobre los puertos de antena. Además, considerando por ejemplo una transmisión de rango uno $r = 1$, la estructura de transmisión 108 usará inherentemente una columna de la matriz $U_{N_T \times r}$ 118 para aplicar al vector de símbolo entrante 114. Esta columna por ejemplo (en un escenario de dos antenas de transmisión) sería igual a $[1, 1]$. De esta manera, esta columna junto con la matriz CDD diagonal 116, forma un conformador de haz selectivo en frecuencia que se podría variar de una forma periódica sobre el ancho de banda programado. El periodo dependerá de la velocidad seleccionada de las variaciones de fase. No obstante, tal conformación de haz puede ser problemática debido a que, si el canal MIMO se correlaciona en el lado de transmisión, puede ocurrir una cancelación severa de señales en algunas frecuencias. Si la tasa de codificación no es lo bastante baja sobre el ancho de banda programado, esto provocará a su vez errores de comunicación. Una cancelación similar puede ocurrir incluso para rangos de transmisión mayores que uno. Así, generalmente, será difícil usar tasas de codificación altas en conjunto con la estructura de transmisión 108 (y su técnica para precodificación) si el ancho de banda programado está por encima una parte significativa del periodo del conformador de haz mencionado anteriormente. Tal escenario, no obstante, típicamente ocurre cuando se usa el CDD de retardo grande, es decir, correspondiente a variaciones de cambio de fase rápidas en el dominio de frecuencia. El documento del 3GPP R1-070655 "CDD Based Pre-coding for DL MIMO" de QUALCOMM enseña un esquema de precodificación basado en CDD convencional similar a aquel tratado anteriormente para la Fig. 1. Este esquema de esta manera sufre de los mismos inconvenientes que se mencionaron anteriormente. Aquí la mejor precodificación para el canal de datos se selecciona por la estación base en base a la métrica de capacidad de suma y la fiabilidad de realimentación que se notifica por cada UE para la matriz de precodificación mejor propagada cuando se evalúan las submatrices candidatas para cada subbanda. Eligiendo un retardo cíclico adecuado entre cero o un retardo pequeño y un retardo grande, es posible adaptar eficientemente al modo MIMO adecuado con una única estructura de precodificación unificada.

Por consiguiente, sería deseable proporcionar sistemas, métodos, dispositivos y software de precodificación que evite los problemas e inconvenientes antes descritos.

Compendio

Según una realización ejemplar, un método para transmitir señales de información que tienen una pluralidad de vectores de símbolo asociados con las mismas en un canal radio incluye precodificar los vectores de símbolo, cada uno que tiene dos o más símbolos, multiplicando, en el siguiente orden, los vectores de símbolo con: un primer subconjunto de columnas de una matriz unitaria que propaga los símbolos en los vectores de símbolo a través de todas las antenas de transmisión virtuales, una segunda matriz de diversidad de retardo cíclico diagonal que cambia la fase de los símbolos propagados a través de las antenas de transmisión virtuales y una tercera matriz de precodificación que distribuye energía de transmisión a través de las antenas de transmisión físicas, procesando además los vectores de símbolo precodificados para generar las señales de información y transmitir las señales de información.

Según otra realización ejemplar, un transmisor para transmitir señales de información que tienen una pluralidad de vectores de símbolo asociados con las mismas en un canal radio incluye: una pluralidad de antenas de transmisión físicas, un procesador para precodificar los vectores de símbolo, cada uno que tiene dos o más símbolos, multiplicando en el siguiente orden los vectores de símbolo con: un primer subconjunto de columnas de una matriz unitaria que propaga los símbolos en los vectores de símbolo a través de todas las antenas de transmisión virtuales, una segunda matriz de diversidad de retardo cíclico diagonal que cambia la fase de los símbolos propagados a través de las antenas de transmisión virtuales y una tercera matriz de precodificación que distribuye energía de transmisión a través de las antenas de transmisión físicas y para procesamiento adicional de los vectores de símbolo precodificados para generar las señales de información; y una cadena de transmisión de elementos para transmitir las señales de información.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos anexos, que se incorporan en y constituyen una parte de la especificación, ilustran una o más realizaciones y, junto con la descripción, explican estas realizaciones. En los dibujos:

La Figura 1 ilustra una estructura de transmisión que incluye un precodificador convencional;

La Figura 2 ilustra una red de acceso LTE ejemplar en la que se pueden implementar las realizaciones ejemplares;

La Figura 3 representa un procesamiento de señal de información de capa física LTE ejemplar con el cual se pueden asociar las realizaciones ejemplares;

La Figura 4 muestra en más detalle un ejemplo de una función de correlación de antena;

La Figura 5 ilustra una estructura de transmisión que incluye un precodificador según una realización ejemplar;

La Figura 6 es un diagrama de bloques de un dispositivo de transmisión ejemplar en el que se puede implementar una precodificación según estas realizaciones ejemplares;

La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un método para transmitir señales de información según una realización ejemplar;

La Figura 8 es un diagrama de bloques de un dispositivo de recepción ejemplar en el que se pueden procesar señales que se han precodificado según estas realizaciones ejemplares; y

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un método para procesar señales de información recibidas.

Descripción detallada

La siguiente descripción de las realizaciones ejemplares de la presente invención se refiere a los dibujos anexos. Los mismos números de referencia en diferentes dibujos identifican los mismos o similares elementos. La siguiente descripción detallada no limita la invención. En su lugar, el alcance de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

La siguiente descripción y los dibujos ilustran realizaciones de la invención que comprenden los rasgos de las reivindicaciones independientes así como otras realizaciones de métodos y aparatos relacionados que no comprenden todos los rasgos de las reivindicaciones independientes pero son útiles para una mejor comprensión de la invención reivindicada.

Como se mencionó anteriormente, la estructura de transmisión 108 ilustrada en la Figura 1 y, más particularmente, el precodificador CDD 112, sufren de ciertos inconvenientes cuando se considera su aplicabilidad en el contexto de las matrices 118 que son independientes de canal. Además del problema descrito en la sección Antecedentes, puede ocurrir otro problema con la estructura de transmisión 108 si la precodificación dependiente de canal va a ser usada en conjunto con CDD. Dado que la matriz CDD diagonal 116 se aplica al vector de símbolo 114 antes que, en este ejemplo, la matriz de precodificación dependiente de canal 118, la matriz de precodificación 118 entonces necesitará tratar con un canal eficaz más selectivo en frecuencia, es decir, que comprende el canal verdadero y la

matriz diagonal CDD aplicada 118. A fin de asegurar un esquema de precodificación eficaz bajo estas circunstancias, el precodificador 112 entonces debe conmutar la matriz de representación de elementos 118 a una granularidad de frecuencia más fina que si solamente estuviera presente el canal original. Esto, a su vez, puede conducir a una sobrecarga de señalización sustancialmente mayor debido a que los elementos del precodificador que se usan para precodificar los símbolos transmitidos se identifican típicamente al receptor en forma de señalización (sobrecarga) adicional.

Según realizaciones ejemplares estos problemas se abordan proporcionando una estructura de transmisión diferente en la que se aplica un elemento precodificador (dependiente de canal o independiente de canal) adicional al vector de símbolo sacado de la operación CDD que comprende una aplicación de una matriz CDD diagonal y un subconjunto de columnas de una matriz unitaria independiente de canal como se describió anteriormente. Esto se puede ver, por ejemplo, observando la matriz adicional 515 en la Figura 5, donde para referencia futura, se debería señalar que el vector de símbolo después de la aplicación de la matriz CDD diagonal se conoce como antenas virtuales. El vector resultante $\mathbf{x}(k)$ transmitido en un recurso indexado por k se puede escribir de esta manera como

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{W}_{N_T \times l}(k) \mathbf{D}(k) \mathbf{U}_{l \times r} \mathbf{s}(k) \quad (1)$$

donde $\mathbf{D}(k)$ es la segunda matriz CDD diagonal 516 y se enfatiza que la tercera matriz de precodificación 515, $\mathbf{W}_{N_T \times l}(k)$, potencialmente puede ser diferente para diferentes valores de k . El parámetro l aquí típicamente se fijaría para igualar el rango de transmisión r . Estas realizaciones ejemplares se pueden usar para, por ejemplo, añadir una etapa de precodificación dependiente de canal directamente en la entrada del canal verdadero (es decir, sacar sobre los puertos de antena), que a su vez permite a la CDD ser combinada con precodificación dependiente de canal sin requerir una granularidad de precodificación más fina, ahorrando de esta manera sobrecarga de señalización. Incluso si la tercera matriz de precodificación no es dependiente de canal, la estructura indicada por las realizaciones ejemplares proporciona libertad adicional en la selección de precodificadores adecuados para la tercera etapa de precodificación para evitar alguno de los problemas mencionados previamente asociados con el uso de la estructura 108.

Para proporcionar algún contexto para la discusión más detallada de CDD y precodificación combinadas según estas realizaciones ejemplares, consideremos primero el sistema de radiocomunicación ejemplar ilustrado en las Figuras 2-4. Comenzando con los nodos e interfaces de red de acceso radio en la Figura 2, se verá que este ejemplo particular se proporciona en el contexto de sistemas LTE. Sin embargo, la presente invención no está limitada en su aplicabilidad a transmisores o transmisiones asociadas con sistemas LTE y en su lugar se puede usar en cualquier sistema en donde se emplean múltiples antenas de transmisión y precodificación, incluyendo, pero no limitado a Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA), GSM, UTRA, E-UTRA, Acceso por Paquetes de Alta Velocidad (HSPA), UMB, WiMaX y otros sistemas, dispositivos y métodos. Dado que, no obstante, el ejemplo en la Figura 2 se proporciona en términos de LTE, el nodo de red que transmite y recibe sobre la interfaz aérea se denomina eNodeB, varios de cuyos eNodosB 200 se ilustran dentro de la misma.

En el contexto de la interfaz aérea, cada eNodeB 200 es responsable de transmitir señales hacia y recibir señales desde, una o más celdas 202. Cada eNodeB incluye múltiples antenas, por ejemplo, 2, 4 o más antenas de transmisión y maneja funciones incluyendo, pero no limitado a codificación, decodificación, modulación, demodulación, intercalado, desintercalado, etc., con respecto a la capa física de tales señales. Señalar que la frase "antenas de transmisión" como se usa en la presente memoria está suponiendo específicamente incluir y ser genérica a, antenas físicas, antenas virtuales y puertos de antena. Los eNodosB 200 también son responsables de muchas funciones superiores asociadas con el manejo de comunicaciones en el sistema incluyendo, por ejemplo, programación de usuarios, decisiones de traspaso y similares. El lector interesado que desee más información con respecto a las funciones de transmisión o recepción asociadas con LTE u otros sistemas en los que se puedan desplegar estas realizaciones ejemplares es dirigido hacia el libro titulado "3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband", de Erik Dahlman et al., publicado por Elsevier Ltd, 2007.

Sin embargo, para tratar brevemente el procesamiento en banda base asociado con la transmisión de señales en el enlace descendente (es decir, posiblemente transferido a través de la red central 203 a un eNodeB 200 y luego dentro de las celdas 202 hacia un terminal o estaciones móviles objetivo, por ejemplo, la MS 204 en la Figura 2), consideramos la Figura 3. Dentro de la misma, están siendo procesados dos bloques de transporte de datos 300 para transmisión por un eNodeB 200 usando multiplexación espacial. Se insertan bits de comprobación de redundancia cíclica (CRC) en los pasos 302 para ser usados por el receptor para detectar errores. Se aplica codificación de canal a los bloques de transporte en los pasos 304 para proporcionar protección a los datos de carga útil frente a las degradaciones presentadas por el canal radio. Los pasos de petición de retransmisión automática híbrida (HARQ) 306 operan para extraer o repetir bits de código a partir de los bloques de bits de código proporcionados por el codificador de canal para generar un conjunto preciso de bits a ser transmitidos dentro de un intervalo de tiempo de transmisión (TTI), por ejemplo, en base a diversos criterios tales como el número de bloques de recursos asignados, el esquema de modulación seleccionado y el orden de multiplexación espacial.

En el paso 308, las palabras de código sacadas del bloque HARQ se aleatorizan (multiplican) por una secuencia o máscara de aleatorización a nivel de bit, que ayuda a la recepción en la supresión de interferencia para la señal radio. La modulación de datos seleccionada, por ejemplo, Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK), Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) 16, o QAM 64, entonces se aplica en el paso 310 para transformar bloques de bits aleatorizados en los bloques correspondientes de símbolos de modulación. Estos símbolos de modulación entonces se correlacionan en diferentes antenas y/o diferentes puertos de antena en el paso 312. En nomenclatura de LTE, un puerto de antena corresponde a la transmisión de una señal de referencia de enlace descendente particular que puede o no, corresponder a una antena física, real. Los símbolos a ser transmitidos en cada antena (1-n en la Figura 3, por ejemplo, 2, 4, 8, 16) entonces se correlacionan a los bloques de recursos respectivos 314 y se envían fuera para procesamiento OFDM (no mostrado) anterior a la transmisión por el eNodeB 200.

De particular interés en el procesamiento de enlace descendente para estas realizaciones ejemplares es el paso/bloque de correlación de antena 312. El proceso de correlación de antena se puede subdividir además en correlación de capa de las palabras de código sacadas desde el bloque de modulación 310 y precodificación de los vectores de símbolo resultantes para generar los símbolos correlacionados de antena (o puerto de antena), como se muestra en la Figura 4. Dentro de la misma se proporciona un ejemplo con dos conjuntos de palabras de código que se correlacionan por la función de correlación de capas 400 en tres capas. Se ilustran en la Figura 4 dos vectores de símbolo v_1 y v_2 asociados con las tres capas. Estos vectores de símbolo entonces se precodifican aplicando una o más matrices de precodificación por la función de precodificación 402, es decir, por la multiplicación de matriz de la matriz o matrices de precodificación con los vectores de símbolo entrantes. Según una realización ejemplar, la función de precodificación 402 puede aplicar tres matrices diferentes como se describirá más adelante con respecto a la Figura 5. Se apreciará que las selecciones de correlación de tres capas y cuatro antenas en la Figura 4 son puramente ejemplares. La selección del número de capas, como se describió anteriormente, variará en base al rango de canal (entre posiblemente otros criterios) y el número de antenas puede variar de sistema en sistema o incluso entre dispositivos de transmisión dentro de sistemas.

La Figura 5 ilustra un precodificador según realizaciones ejemplares que se puede usar para realizar precodificación, por ejemplo, como se describe con respecto a los bloques 312 y 402 anteriores. Dentro de la misma, cada capa 510 creada por el transmisor presenta un flujo de símbolos de modulación para el precodificador basado en CDD 512 como una secuencia de vectores de símbolo 514. El precodificador CDD 512 aplica las tres matrices 515, 516 y 518 ilustradas dentro del mismo a cada vector de símbolo entrante para realizar el proceso de precodificación. Más específicamente, el precodificador CDD 512 según esta realización ejemplar primero aplica la matriz $U_{l \times r}$ 518, la cual es un subconjunto de columnas de una matriz I x I unitaria posiblemente reducida, al vector de símbolo 514, seguida por la matriz CDD diagonal 516, seguida entonces por una matriz de precodificación $W_{N_T \times l}$ 515 provocando el vector de transmisión dado previamente en la ecuación (1).

Las columnas de la matriz 518 se toman de una matriz unitaria posiblemente reducida. Una matriz unitaria presenta la propiedad de que su inversa es igual a la transposición conjugada compleja de la matriz unitaria de interés. De esta manera, las columnas de la matriz 518 son ortogonales y de igual norma. La primera matriz aplicada 518 opera para propagar los símbolos a través de los puertos de antena. La segunda matriz CDD aplicada 516 tendrá las cualidades de una matriz diagonal, es decir, los elementos en una diagonal son no cero y los restantes elementos de la matriz son cero. Esta matriz CDD 516 opera para variar (cambiar) la fase de cada antena o puerto de antena 522. La tercera matriz aplicada, de precodificación 515 opera para distribuir la energía de transmisión a través de las antenas o los puertos de antena. Se puede determinar o bien de manera independiente de canal o bien en base a, al menos en parte, las condiciones actuales de canal radio provocando una operación del precodificador dependiente de canal. Como se trató anteriormente, la aplicación de estas matrices a los vectores de símbolo entrantes se puede realizar por una unidad de procesamiento dentro del transmisor por medio de multiplicación de matrices.

El parámetro l se introduce en esta realización ejemplar como un parámetro de tamaño de las tres matrices usadas para realizar precodificación, es decir, el número de columnas en la última matriz de precodificación aplicada 515, el número de filas y columnas en la segunda matriz CDD diagonal aplicada 516 y el número de filas en la primera matriz unitaria aplicada 518. De esta manera, a diferencia de la estructura de transmisión ilustrada en la Figura 1, el tamaño de las matrices implicadas en la realización de la precodificación según estas realizaciones ejemplares puede variar dinámicamente para un transmisor dado según el rango de transmisión del canal (o el número de capas), por ejemplo, el número de filas en la matriz unitaria 518 puede ser diferente del número de antenas de transmisión. Como se mencionó previamente, el parámetro l se fija típicamente igual al rango de transmisión r . Por el contrario, las matrices 116 y 118 tratadas anteriormente con respecto a la Figura 1 se dimensionaron de manera fija al número de antenas de transmisión asociadas con el transmisor particular que realiza la precodificación.

Mirando más de cerca a las tres matrices usadas para realizar la precodificación según esta realización ejemplar mostradas en la Figura 5, la matriz $U_{l \times r}$ 518 es, como la matriz 118, un subconjunto de columnas de una matriz unitaria (posiblemente reducida) donde l indica el número de filas en la matriz y r indica el rango de transmisión y el número de columnas. La matriz CDD diagonal 516 incluye elementos $\exp(j\theta_n k)$ a lo largo de la diagonal en donde

θ_n representa un valor de fase asociado con una antena o puerto de antena particular y k es un índice asociado con un elemento de recursos particular (por ejemplo índices de todas las subportadoras o índices solamente de aquellas subportadoras que transportan datos más que aquellas que transportan símbolos de referencia). La matriz $W_{N_T \times l}$ 515 es una matriz de precodificación que puede tener diversos valores, por ejemplo, para realizar conformación de haces dependiente de canal o precodificación de una manera independiente de canal, algunos ejemplos de las cuales se describen más adelante y que tiene un tamaño de N_T (el número de antenas/puertos de antena de transmisión en el dispositivo de transmisión) por l . El vector de símbolo de modulación precodificado, resultante entonces se saca para, por ejemplo, correlación de recursos y modulación OFDM 520, anterior a ser transmitido a través de las antenas 522.

Según estas realizaciones ejemplares, la matriz de precodificación 515 $W_{N_T \times l}$ ahora se aplica directamente sobre la matriz de canal MIMO. Esto supone que, por ejemplo en el caso de una precodificación dependiente de canal, $W_{N_T \times l}$ puede “ver” el canal verdadero que no está afectado por ninguna operación CDD potencial. La matriz CDD diagonal y $U_{l \times r}$ se pueden usar entonces para realizar la operación CDD en el nuevo canal eficaz, mejorado que comprende el canal verdadero y $W_{N_T \times l}$. El número de filas l se puede adaptar además de manera que la operación CDD se realice solamente entre las antenas virtuales tomadas como entrada a $W_{N_T \times l}$.

Por ejemplo, para rango de transmisión uno (y por lo tanto, el número de capas es uno dado que estos ejemplos tienen que ver con multiplexación espacial), l se podría fijar a uno, la matriz diagonal sería 1 y $W_{N_T \times l}$ sería un vector de columna que realiza posiblemente una conformación de haz dependiente de canal. Si se usan diferentes $W_{N_T \times l}$ para diferentes índices k es posible una precodificación dependiente de frecuencia. De manera similar, para rango de transmisión dos, l podría ser dos, $U_{l \times r}$ podría tener dos columnas y $W_{N_T \times l}$ podría ser dependiente de canal y tener dos columnas también. La matriz diagonal junto con $U_{l \times r}$ entonces realiza una operación tipo CDD en las antenas virtuales, lo que significa que las dos capas ven una mezcla de los canales de antenas virtuales que a su vez se forman a partir del canal verdadero y $W_{N_T \times l}$. De esta manera, las tres matrices 515, 516 y 518 se podrían seleccionar, por ejemplo, a partir de la siguiente tabla:

Número Máximo de Capas	W	D	U
1	$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$	$[1]$	$[1]$
2	$\begin{bmatrix} c & d \\ e & f \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} g & 0 \\ 0 & h \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} k & l \\ m & n \end{bmatrix}$

Dentro de la misma, las variables $a, b, c, d, e, f, g, h, k, l, m$ y n representan valores, potencialmente complejos, que se seleccionan para proporcionar las funciones o tipos de matriz descritos anteriormente, provocando un denominado libro de códigos de precodificador. Usando la precodificación como se describió anteriormente e ilustró en la Figura 5, la conformación de haz en las antenas virtuales (puertos de antena) propaga energía en los subespacios designados, cuyos subespacios centran la energía de transmisión hacia el destinatario previsto (por ejemplo, estación móvil) de la transmisión. También es posible una precodificación independiente de canal por ejemplo en el sentido de variar la sección de precodificadores de una manera más aleatoria para evitar centrar la energía en cualquier dirección particular.

Según otra realización ejemplar, una estructura de transmisión podría proporcionar precodificación en donde la matriz de precodificación 515 es decir, $W_{N_T \times l}$, se fija en lugar de ser una matriz independiente de frecuencia y de canal fijo con columnas de norma igual y ortogonal, la matriz CDD diagonal fijada para ser de tamaño $N_T \times N_T$ (es decir, una matriz cuadrada igual al número de antenas de transmisión) y la matriz 518 $U_{l \times r}$ entonces puede ser una única columna de todas. Esta realización ejemplar proporciona otra forma de CDD que no sufre del problema de cancelación mencionado previamente cuando está presente un desvanecimiento correlacionado en el lado de transmisión.

Como se mencionó anteriormente, las técnicas de procesamiento de transmisión descritas en la presente memoria se pueden usar para diversos sistemas de comunicación tales como sistemas de Acceso Múltiple por División de

Código (CDMA), sistemas de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA), sistemas de Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA), sistemas FDMA ortogonales (OFDMA), sistemas FDMA de Portadora Única (SC-FDMA), etc. El transmisor puede, por ejemplo, estar dispuesto dentro de una estación base radio, NodoB, eNodoB o similar, para transmitir señales de información en un canal radio de enlace descendente. Alternativamente, el transmisor, por ejemplo, se puede disponer en una unidad móvil, dispositivo terminal, equipo de usuario o similar para transmitir señales de información en un canal radio de enlace ascendente. Con independencia del tipo particular de sistema de comunicación en el que se presentan estas realizaciones ejemplares, el dispositivo de transmisión típicamente incluirá los componentes ilustrados de manera general en la Figura 6.

Dentro de la misma, el transmisor incluye una pluralidad de antenas de transmisión físicas 602 en este ejemplo en número de cuatro, aunque se pueden usar más o menos de cuatro antenas de transmisión. Las antenas de transmisión físicas 602 están conectadas a un procesador 606 a través de elementos de cadena de transmisión (TX) 604 que pueden incluir uno o más de filtros, amplificadores de potencia o similares, como se apreciará por los expertos en la técnica. El(los) procesador(es) 606, en conjunto con el(los) dispositivo(s) de memoria 608 (y potencialmente otros dispositivos no mostrados) pueden operar para realizar los procesos de transmisión tratados anteriormente con respecto a las Figuras 3-5, por ejemplo, por medio de software almacenado dentro de los mismos, hardware adicional o alguna combinación de software y hardware. De esta manera, la funcionalidad de precodificación descrita anteriormente se puede realizar, por ejemplo, en software ejecutando instrucciones legibles por ordenador desde el dispositivo de memoria 608 para realizar las multiplicaciones de matriz descritas anteriormente con respecto a la Figura 5. De esta manera, será evidente que las realizaciones ejemplares también se refieren a software, por ejemplo, código o instrucciones de programa que se almacenan en un medio legible por ordenador y que, cuando se leen por un ordenador, procesador o similar, realizan ciertos pasos asociados con transmitir señales de información que están precodificadas de la manera descrita anteriormente. Un ejemplo de tales pasos se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 7.

Dentro de la misma, en el paso 700, los vectores de símbolo se precodifican multiplicándolos con una primera matriz unitaria que propaga símbolos en los vectores de símbolo a través de las antenas de transmisión virtuales, una segunda matriz diagonal que cambia una fase de las antenas de transmisión virtuales y una tercera matriz de precodificación que distribuye la transmisión a través de las antenas de transmisión. Después de precodificar los vectores de símbolo, pueden experimentar procesamiento adicional en el paso 702 para generar señales de información. Por ejemplo, tal procesamiento de señal adicional puede incluir correlacionar símbolos precodificados a bloques de recursos a ser transmitidos a través de al menos una de las antenas de transmisión y multiplexar por división de frecuencia ortogonal (OFDM) los bloques de recursos, aunque se podría realizar alternativamente otro procesamiento, por ejemplo, para sistemas no OFDM, aguas abajo de la operación de precodificación. Entonces, en el paso 704, se transmiten las señales de información resultantes.

Las realizaciones ejemplares también proporcionan procesamiento del lado de recepción de señales que se han transmitido usando las realizaciones de precodificación ejemplares precedentes. En sistemas que usan pilotos comunes (símbolos de referencia (RS) comunes), el receptor necesita ser consciente de la estructura de transmisión a fin de ser capaz de decodificar adecuadamente la transmisión. LTE es un ejemplo de tal sistema donde este modo de transmisión está usando símbolos de referencia comunes y de esta manera no es transparente al UE. De esta manera, todas las matrices implicadas descritas anteriormente (es decir, W , D y U) necesitan ser conocidas en el lado de recepción (por ejemplo, en el UE) para ser usadas para ecualizar el canal. Por ejemplo, el UE puede formar primero el canal eficaz $H_{\text{eff}} = HW DU$, donde H es una estimación de canal obtenida a partir de los RS comunes, ecualizar el canal eficaz, por ejemplo usando un filtro lineal $\text{inv}(H_{\text{eff}}^* H_{\text{eff}}) H_{\text{eff}}^*$, que produce la secuencia de vectores ecualizada z , que se introduce a un demodulador, produciendo valores blandos de bits codificados que se introducen finalmente a, por ejemplo, un turbo decodificador para producir una estimación de los bits de información transmitidos.

Se apreciará que hay numerosas implementaciones para recibir y decodificar símbolos de información recibidos inalámbricamente y que la precedente es simplemente una implementación ejemplar. El procesamiento del lado de recepción según estas realizaciones ejemplares proporcionará esencialmente un procesamiento espejo a aquel realizado en el lado de transmisión. El receptor usará su conocimiento de la precodificación realizada por el transmisor para realizar su función de estimación/ecualización de canal. Tal conocimiento en la parte del receptor se puede predefinir *a priori* o se puede pasar al receptor explícitamente como parte de la información transmitida.

De esta manera, un receptor ejemplar 800 para recibir y procesar señales de información que se han precodificado como se describió anteriormente se ilustra en la Figura 8. Dentro de la misma, una (o más) antenas de recepción 802 reciben las señales de información que se han precodificado durante el procesamiento del lado de transmisión. Después de pasar a través de uno o más elementos de procesamiento de la cadena de recepción (RX) 804 (por ejemplo, filtros, amplificadores o similares), el(los) procesador(es) 806 procesará(n) las señales de información recibidas para extraer la información contenida dentro de las mismas, por ejemplo, en conjunto con el software de procesamiento almacenado en el(los) dispositivo(s) de memoria 808, usando su conocimiento de la precodificación realizada sobre esas señales de información para calcular una estimación de canal usada en procesamiento del lado de recepción posterior. Por ejemplo, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 9, un método para ecualizar las señales de información recibidas incluye los pasos de formar una estimación de canal asociada con las señales de información recibidas multiplicando una estimación de canal inicial con una pluralidad de matrices, la

pluralidad de matrices que incluye un primer subconjunto de columnas de una matriz unitaria, una segunda matriz diagonal y una tercera matriz de precodificación en el paso 900 y ecualizando las señales de información usando la estimación de canal formada en el paso 902.

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir señales de información que tienen una pluralidad de vectores de símbolo asociados con las mismas en un canal radio, que comprende:

- 5 precodificar (700) dichos vectores de símbolo cada uno que comprende dos o más símbolos multiplicando, en el siguiente orden, dichos vectores de símbolo con:
- un primer subconjunto de columnas de una matriz unitaria (518) que propaga los símbolos en dichos vectores de símbolo a través de todas las antenas de transmisión virtuales,
- una segunda matriz de diversidad de retardo cíclico diagonal (516) que cambia la fase de los símbolos propagados a través de dichas antenas de transmisión virtuales y
- 10 una tercera matriz de precodificación (515) que distribuye energía de transmisión a través de una pluralidad de antenas de transmisión físicas,
- procesar (702) además dichos vectores de símbolo precodificados para generar dichas señales de información y transmitir (704) dichas señales de información.

2. El método según la reivindicación 1, en donde dichas antenas de transmisión físicas son puertos de antena.

- 15 3. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en donde dichos vectores de símbolo se multiplican primero por dicho primer subconjunto de columnas de matriz unitaria, a continuación se multiplican por dicha segunda matriz diagonal y luego se multiplican por dicha tercera matriz de precodificación.

- 20 4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde cuando se transmite usando r capas, dicha tercera matriz de precodificación tiene l columnas, dicha segunda matriz diagonal tiene l filas y l columnas, dicho primer subconjunto de columnas de matriz unitaria tiene l filas y r columnas y dichos vectores de símbolo tienen r elementos.

- 25 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde cuando se transmite usando r capas, dicha tercera matriz de precodificación tiene r columnas, dicha segunda matriz diagonal tiene r filas y r columnas, dicho primer subconjunto de columnas de matriz unitaria es una matriz unitaria que tiene r filas y r columnas y dichos vectores de símbolo tienen r elementos.

6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde dicho primer subconjunto de columnas de matriz unitaria y dicha segunda matriz diagonal proporcionan diversidad de retardo cíclico, CDD, para multiplexación espacial, cuando se representan en el dominio de frecuencia.

- 30 7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde dicha tercera matriz de precodificación está realizando precodificación dependiente de canal.

8. Un transmisor para transmitir señales de información que tienen una pluralidad de vectores de símbolo asociados con las mismas en un canal radio, que comprende:

- una pluralidad de antenas de transmisión físicas (602);
- 35 un procesador (606) para precodificar dichos vectores de símbolo, cada uno que comprende dos o más símbolos, multiplicando, en el siguiente orden, dichos vectores de símbolo con:
- un primer subconjunto de columnas de una matriz unitaria (518) que propaga los símbolos en dichos vectores de símbolo a través de todas las antenas de transmisión virtuales,
- una segunda matriz de diversidad de retardo cíclico diagonal (516) que cambia la fase de los símbolos propagados a través de dichas antenas de transmisión virtuales y
- 40 una tercera matriz de precodificación (515) que distribuye energía de transmisión a través de dichas antenas de transmisión físicas y para
- procesar además dichos vectores de símbolo precodificados para generar dichas señales de información y
- una cadena de transmisión de elementos (604) para transmitir dichas señales de información.

9. El transmisor según la reivindicación 8, en donde dichas antenas de transmisión físicas son puertos de antena.

- 45 10. El transmisor según cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en donde cuando se transmite usando r capas, dicha tercera matriz de precodificación tiene l columnas, dicha segunda matriz diagonal tiene l filas y l columnas, dicho

primer subconjunto de columnas de matriz unitaria tiene l filas y r columnas y dichos vectores de símbolo tienen r elementos.

5 11. El transmisor según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en donde cuando se transmite usando r capas, dicha tercera matriz de precodificación tiene r columnas, dicha segunda matriz diagonal tiene r filas y r columnas, dicho primer subconjunto de columnas de matriz unitaria es una matriz unitaria que tiene r filas y r columnas y dichos vectores de símbolo tienen r elementos.

12. El transmisor según cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en donde dicho primer subconjunto de columnas de matriz unitaria y dicha segunda matriz diagonal proporcionan diversidad de retardo cíclico, CDD, para multiplexación espacial, cuando se representan en el dominio de frecuencia.

10

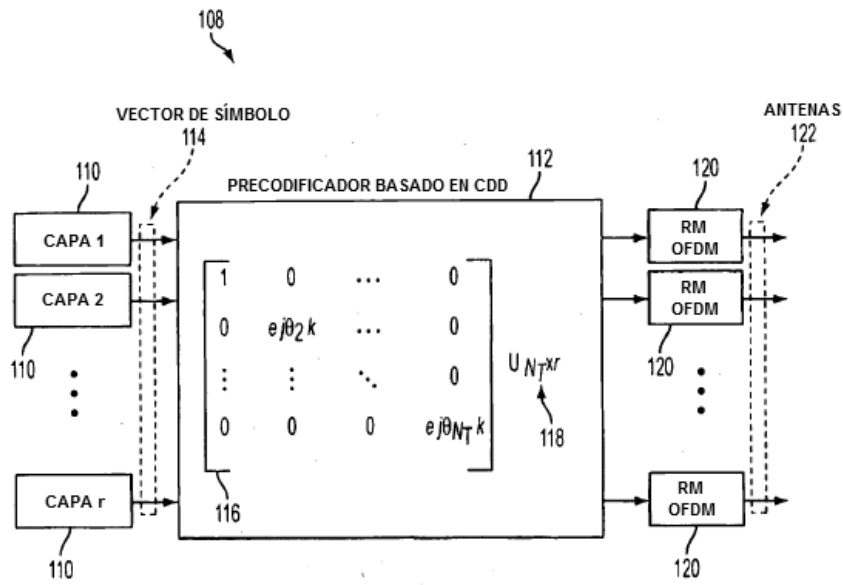


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

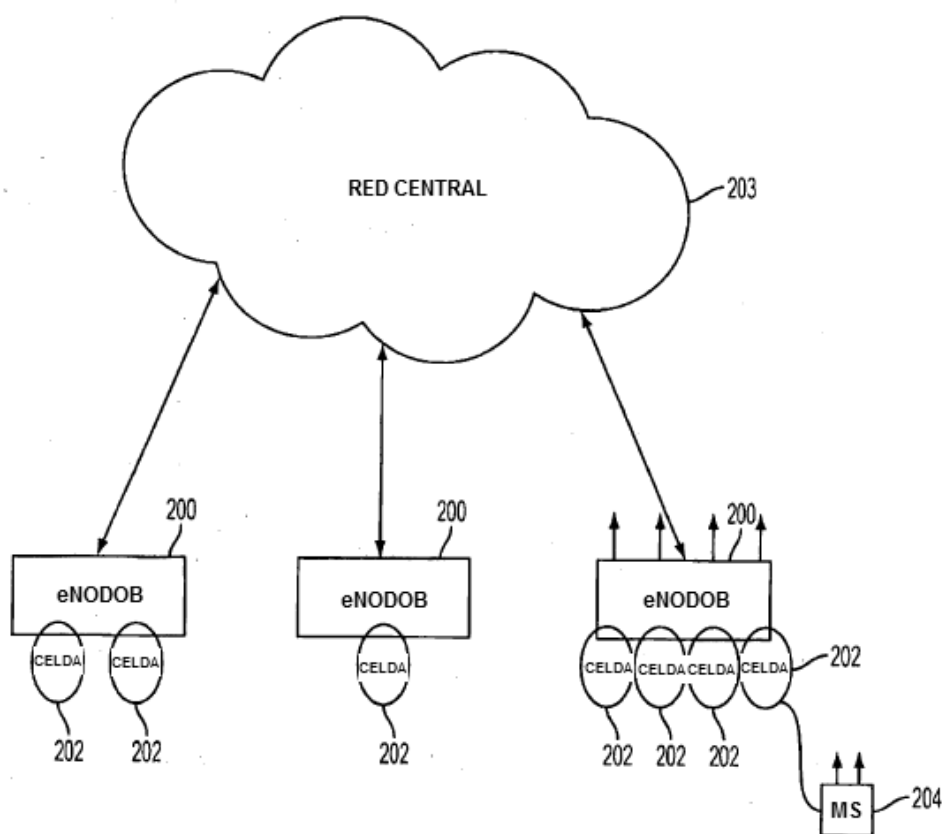


FIG. 2

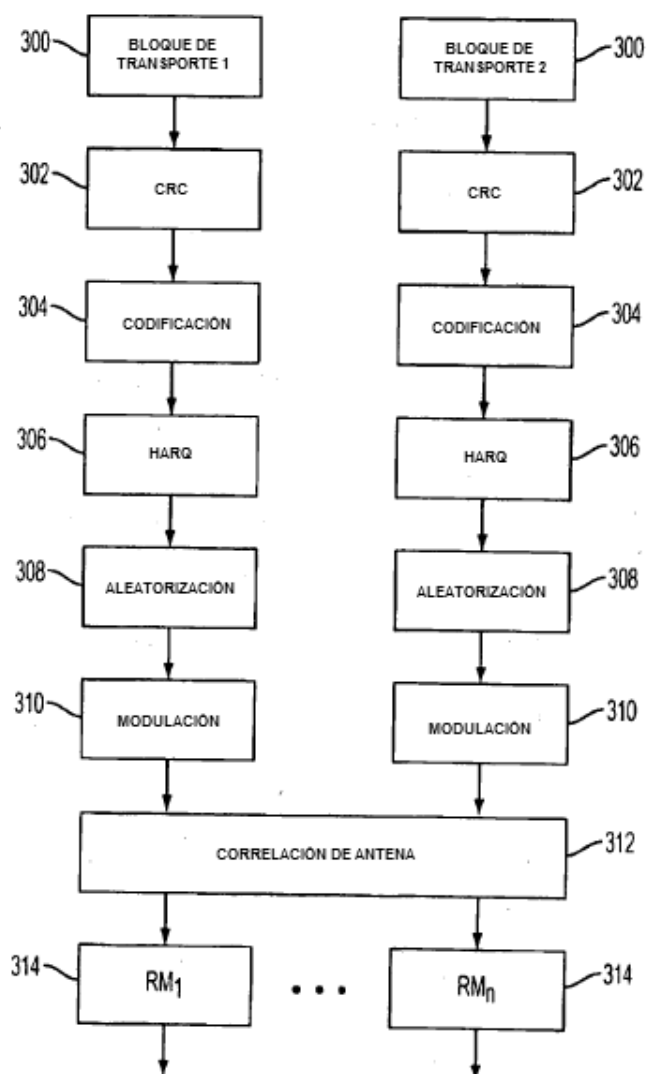


FIG. 3

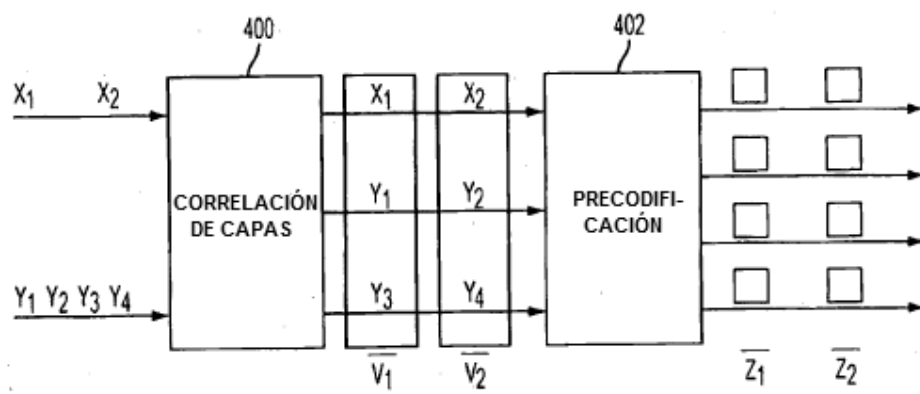


FIG. 4

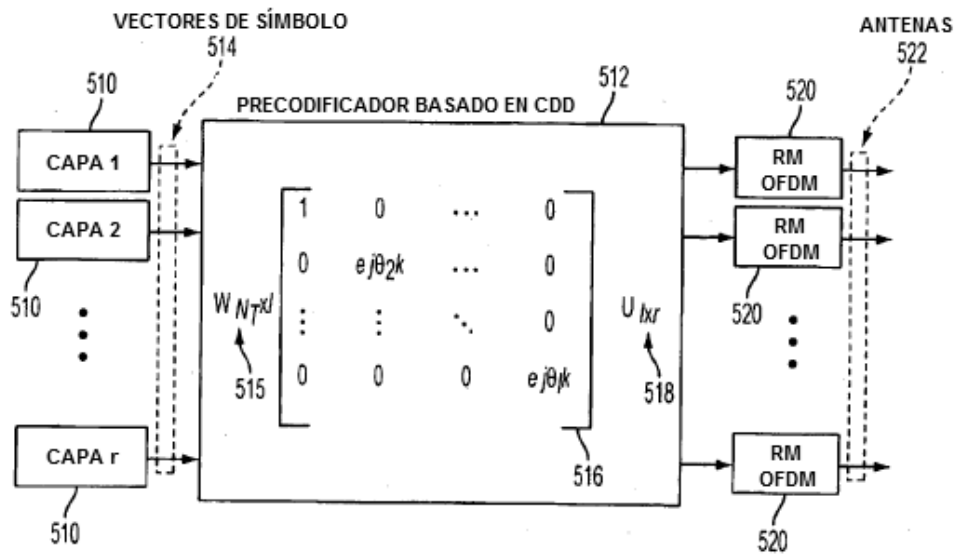


FIG. 5

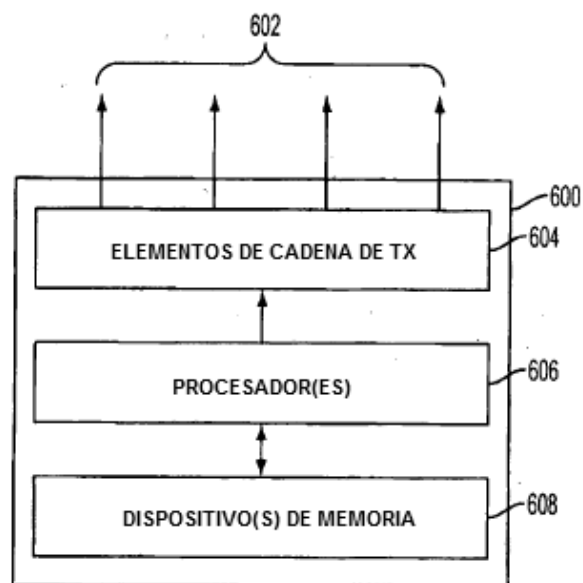


FIG. 6

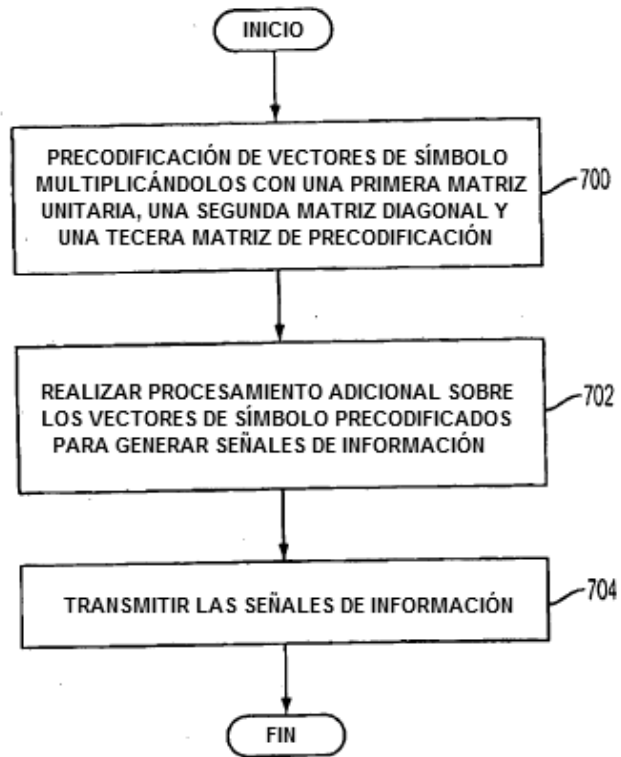


FIG. 7

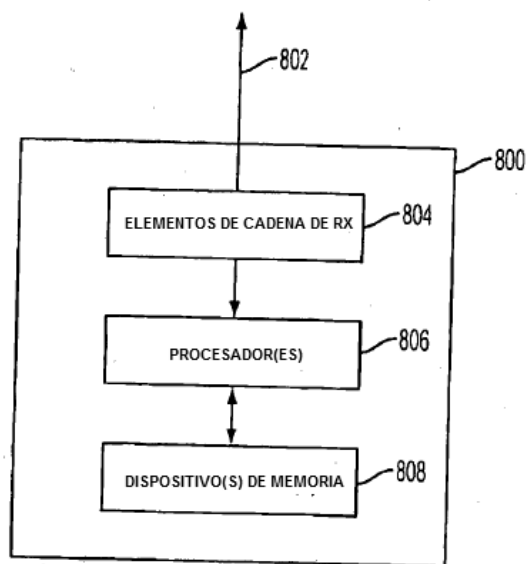


FIG. 8

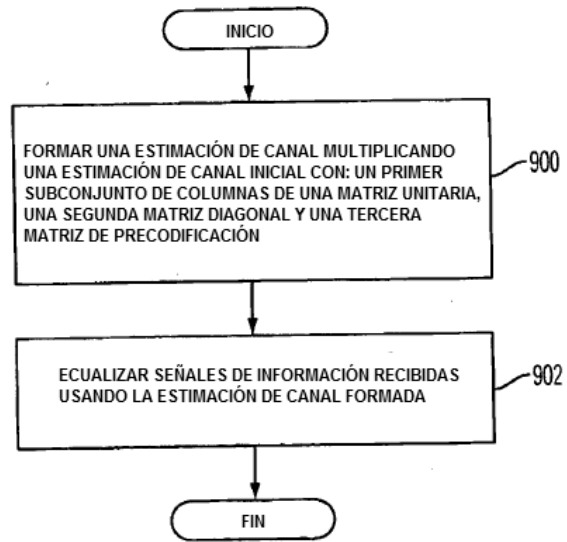


FIG. 9