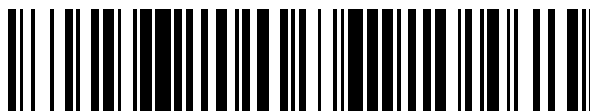


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 559 418**

51 Int. Cl.:

H04L 25/02 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

H04L 5/00 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04J 13/00 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.01.2007 E 08168532 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2015 EP 2026518**

54 Título: **Procedimiento y aparato para multiplexado de símbolos piloto en un sistema de comunicación inalámbrica**

30 Prioridad:

20.01.2006 US 760482 P

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

12.02.2016

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 MOREHOUSE DRIVE, R-132D
SAN DIEGO, CA 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

**KIM, BYOUNG-HOON;
WEI, YONGBIN y
DABBAGH, AMIR**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 559 418 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para multiplexado de símbolos piloto en un sistema de comunicación inalámbrica

5 ANTECEDENTES

La presente divulgación se refiere, en general, a la comunicación y, más específicamente, a técnicas para transmitir símbolos piloto en un sistema de comunicación inalámbrica.

10 Antecedentes

En un sistema de comunicación inalámbrica, una estación transmisora (p. ej., una estación base o un terminal) puede utilizar múltiples (T) antenas de transmisión para una transmisión de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO) a una estación receptora equipada con múltiples (R) antenas de recepción. Las múltiples antenas de transmisión y recepción forman un canal de MIMO que puede ser usado para aumentar el caudal y / o mejorar la fiabilidad. Por ejemplo, la estación transmisora puede transmitir hasta T flujos de datos simultáneamente desde las T antenas de transmisión para mejorar el caudal. Alternativamente, la estación transmisora puede transmitir un único flujo de datos desde hasta T antenas de transmisión para mejorar la recepción por parte de la estación receptora.

20 Pueden alcanzarse buenas prestaciones si puede estimarse exactamente la respuesta de canal de MIMO. Por ejemplo, la estación receptora puede usar la respuesta de canal de MIMO para realizar la detección de datos para la transmisión de MIMO, para seleccionar una matriz de correlación espacial a aplicar por parte de la estación transmisora para la transmisión de MIMO, etc. La estimación de canal recibe habitualmente soporte por la transmisión de símbolos piloto que son conocidos *a priori* por la estación receptora. La estación receptora puede luego estimar la respuesta de canal de MIMO en base a los símbolos piloto recibidos y a los símbolos piloto conocidos.

30 Las estimaciones de canal obtenidas en base a símbolos piloto son habitualmente desvirtuadas tanto por el ruido como por la interferencia. El ruido puede llegar desde diversos orígenes tales como el canal inalámbrico, los sistemas electrónicos del receptor, etc. La interferencia puede incluir interferencia entre antenas e interferencia entre transmisores. La interferencia entre antenas es interferencia debida a transmisiones desde otras antenas de transmisión. La interferencia de símbolos piloto entre antenas puede estar presente si las múltiples transmisiones de símbolos piloto son enviadas simultáneamente desde todas las T antenas de transmisión y la transmisión de símbolos piloto desde cada antena interfiere con las transmisiones de símbolos piloto desde las otras antenas. La interferencia entre transmisores es interferencia debida a transmisiones desde otras estaciones transmisoras. La interferencia entre transmisores también puede ser mencionada como interferencia intersectorial, interferencia intercelular, interferencia entre terminales, etc. La interferencia entre antenas y la interferencia entre transmisores pueden afectar adversamente la estimación de canal, lo que puede luego degradar las prestaciones de datos.

40 Hay por tanto necesidad en la tecnología de técnicas para transmitir símbolos piloto en un sistema de comunicación inalámbrica.

45 El documento "Diseños de señales de entrenamiento restringidos por PAR para la estimación de canales de OFDM de MIMO en presencia de desplazamientos de frecuencia", de Hlaing Ming et al., IEEE 2005, se refiere al diseño de señales de entrenamiento en sistemas de OFDM de MIMO. La Publicación de Solicitud de Patente Internacional N° WO2004 / 077730 se refiere a esquemas de transmisión para sistemas de comunicación de múltiples antenas, utilizando modulación de múltiples portadoras.

SUMARIO

50 La presente invención se refiere a un aparato y a un procedimiento según lo definido en las reivindicaciones adjuntas.

55 De acuerdo a un aspecto, se describe un aparato que genera una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, comprendiendo cada secuencia de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados en el dominio del tiempo por un conjunto distinto de sub-portadoras. El aparato genera además una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.

60 De acuerdo a otro aspecto, se describe un aparato que genera una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM), de una secuencia de auto-correlación nula y amplitud constante (CAZAC), tal como una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor. El aparato genera además una pluralidad de

transmisiones de símbolos piloto para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.

5 De acuerdo a otro aspecto más, se describe un aparato que recibe una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, mediante una pluralidad de antenas de recepción, comprendiendo cada transmisión de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados en el dominio del tiempo por un conjunto distinto de sub-portadoras. El aparato procesa la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de canal.

10 De acuerdo a otro aspecto más, se describe un aparato que recibe una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto mediante una pluralidad de antenas de recepción, siendo generadas las transmisiones de símbolos piloto en base al FD-CDM de una secuencia de CAZAC, tal como una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor. El aparato procesa la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de canal.

15 De acuerdo a otro aspecto más, se describe un aparato que genera una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión en base a un primer esquema de multiplexado. El aparato genera además una pluralidad de transmisiones de datos para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a un segundo esquema de multiplexado que es distinto al primer esquema de multiplexado.

20 De acuerdo a otro aspecto más, se describe un aparato que recibe una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, generadas en base a un primer esquema de multiplexado. El aparato recibe además una pluralidad de transmisiones de datos generadas en base a un segundo esquema de multiplexado que es distinto al primer esquema de multiplexado. La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto y la pluralidad de transmisiones de datos son para una transmisión de MIMO enviada desde múltiples antenas de transmisión a múltiples antenas de recepción. Las múltiples antenas de transmisión pueden estar situadas en una única estación transmisora o en múltiples estaciones transmisoras.

Diversos aspectos y características de la divulgación se describen en mayor detalle más adelante.

30 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIG. 1 muestra un sistema de comunicación inalámbrica de acceso múltiple.

35 La FIG. 2 muestra un diagrama de bloques de una estación base y un terminal.

Las FIGS. 3A y 3B muestran dos estructuras de sub-portadora de símbolos piloto, de multiplexado intercalado por división de frecuencia (IFDM).

40 Las FIGS. 4 y 5 muestran dos procesos para generar un símbolo piloto de IFDM.

La FIG. 6 muestra transmisiones de símbolos piloto desde 4 antenas de transmisión para un símbolo piloto de FD-CDM.

45 Las FIGS. 7 y 8 muestran dos procesos para generar el símbolo piloto de FD-CDM.

La FIG. 9 muestra un proceso para enviar símbolos piloto y datos con distintos esquemas de multiplexado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

50 Las técnicas descritas en la presente memoria pueden ser usadas para diversos sistemas de comunicación inalámbrica, tales como los sistemas de comunicación de acceso múltiple, los sistemas de difusión, las redes inalámbricas de área local (WLAN), etc. Los términos "sistemas" y "redes" se usan a menudo de manera intercambiable. Los sistemas de acceso múltiple pueden ser sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), sistemas de acceso múltiple por división del tiempo (TDMA), sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), sistemas de FDMA ortogonal (OFDMA), sistemas de FDMA de portadora única (SC-FDMA), sistemas de acceso múltiple por división espacial (SDMA), etc. Las técnicas también pueden ser usadas para sistemas que emplean distintos esquemas de acceso múltiple para el enlace descendente y el enlace ascendente, p. ej., OFDMA para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente. El enlace descendente (o enlace directo) se refiere al enlace de comunicación desde las estaciones base a los terminales, y el enlace ascendente (o enlace inverso) se refiere al enlace de comunicación desde los terminales a las estaciones base.

Un sistema de OFDMA utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM). Un sistema de SC-FDMA utiliza el multiplexado por división de frecuencia de portadora única (SC-FDM). El OFDM y el SC-FDM dividen el ancho de banda del sistema en múltiples (K) sub-portadoras ortogonales, que son usualmente mencionadas como

tonos, contenedores, etc. Cada sub-portadora puede ser modulada con datos. En general, los símbolos se envían en el dominio de la frecuencia con OFDM y en el dominio del tiempo con SC-FDM. El SC-FDM incluye (a) el IFDM, que transmite información por sub-portadoras que están uniformemente distribuidas entre una asignación de frecuencia dada y (b) el multiplexado localizado por división de frecuencia (LFDM), que transmite información por sub-portadoras adyacentes.

La **FIG. 1** muestra un sistema inalámbrico de comunicación de acceso múltiple 100 con múltiples estaciones base 110. Una estación base es generalmente una estación fija que se comunica con los terminales, y que también puede ser mencionada como un Nodo B, un Nodo B mejorado (eNodo B), un punto de acceso, etc. Cada estación base 110 proporciona cobertura de comunicación para un área geográfica específica. El término "célula" puede referirse a una estación base y / o a su área de cobertura, según el contexto en el que se usa el término. Para mejorar la capacidad del sistema, un área de cobertura de estación base puede ser dividida en múltiples áreas más pequeñas, p. ej., tres áreas más pequeñas. Cada área más pequeña puede ser servida por una respectiva estación transceptora base (BTS). El término "sector" puede referirse a una BTS y / o a su área de cobertura, según el contexto en el cual se usa el término. Para una célula sectorizada, las BTS para todos los sectores de esa célula están habitualmente co-situadas dentro de la estación base para la célula.

Los terminales 120 pueden estar dispersos por todo el sistema. Un terminal puede ser fijo o móvil, y también puede ser mencionado como un equipo de usuario, una estación móvil, un equipo móvil, un terminal de acceso, una estación, etc. Un terminal puede ser un teléfono celular, un asistente digital personal (PDA), un módem inalámbrico, un dispositivo de comunicación inalámbrica, un dispositivo de mano, una unidad de abonado, un ordenador portátil, un teléfono sin cables, etc.

Un controlador de sistema 130 puede acoplarse con las estaciones base 110 y proporcionar coordinación y control para estas estaciones base. El controlador de sistema 130 puede ser una única entidad de red o una colección de entidades de red.

La **FIG. 2** muestra un diagrama de bloques de un diseño de una estación base 110 y un terminal 120 en el sistema 100. La estación base 110 está equipada con múltiples (U) antenas 220a a 220u, que pueden ser usadas para la transmisión de datos por el enlace descendente, y la recepción de datos en el enlace ascendente. El terminal 120 está equipado con múltiples (V) antenas 152a a 152v, que pueden ser usadas para la transmisión de datos por el enlace ascendente y la recepción de datos por el enlace descendente. Cada antena puede ser una antena física o una formación de antenas.

En el enlace descendente, en la estación 110, un procesador de datos de transmisión (TX) y de símbolos piloto 214 recibe datos desde un origen de datos 212, procesa (p. ej., formatea, codifica, intercala y correlaciona con símbolos) los datos y genera símbolos de datos. El procesador 214 también genera símbolos piloto según lo descrito más adelante, y proporciona los símbolos piloto y de datos a un procesador espacial de TX 216. Según se usa en la presente memoria, un símbolo de datos es un símbolo para datos, un símbolo piloto es un símbolo para señales piloto y un símbolo cero es un valor de señal de cero, y un símbolo es habitualmente un valor complejo. Los símbolos de datos pueden ser símbolos de modulación procedentes de un esquema de modulación tal como PSK o QAM. Los símbolos piloto son datos que son conocidos *a priori* por ambas estaciones transmisora y receptora. El procesador 216 multiplexa los símbolos piloto y los símbolos de datos, realiza la correlación espacial del transmisor (si es aplicable) y proporciona U flujos de símbolos de salida a U moduladores (MOD) 218a a 218u. Cada modulador 218 realiza la modulación (p. ej., para OFDM, SC-FDM, etc.) sobre su flujo de símbolos de salida para generar segmentos de salida, y procesa además (p. ej., convierte de digital a analógico, filtra analógicamente, amplifica y aumenta la frecuencia) los segmentos de salida para generar una señal de enlace descendente. U señales de enlace descendente, desde los moduladores 218a a 218u, son transmitidas, respectivamente, mediante las U antenas 220a a 220u.

En los terminales 120, las V antenas 152a a 152v reciben las U señales de enlace descendente, y cada antena 152 proporciona una señal recibida a un respectivo demodulador (DEMOD) 254. Cada demodulador 254 procesa (p. ej., filtra, amplifica, reduce la frecuencia y digitaliza) su señal recibida para obtener muestras, y además realiza la demodulación (p. ej., para OFDM, SC-FDM, etc.) sobre las muestras para obtener símbolos recibidos. Cada demodulador 254 proporciona símbolos de datos recibidos a un detector de MIMO 256 y proporciona símbolos piloto recibidos a un procesador de canal 284. El procesador de canal 284 estima la respuesta de canal de MIMO de enlace descendente en base a los símbolos piloto recibidos, y proporciona estimaciones de canal al detector de MIMO 256. El detector de MIMO 256 realiza la detección de MIMO sobre los símbolos de datos recibidos con las estimaciones de canal, y proporciona estimaciones de símbolos de datos. Un procesador de datos de RX 258 procesa adicionalmente (p. ej., desintercala y descodifica) las estimaciones de símbolos de datos y proporciona datos descodificados a un sumidero de datos 260.

En el enlace ascendente, en el terminal 120, los datos procedentes de un origen de datos 272 y los símbolos piloto son procesados por un procesador de datos de TX y símbolos piloto 274, adicionalmente procesados por un

procesador espacial de TX 276, y modulados y procesados por los moduladores 254a a 254v, para generar V señales de enlace ascendente, que son transmitidas mediante V antenas 252a a 252v. En la estación base 110, las señales de enlace ascendente son recibidas por las U antenas 220a a 220u, procesadas y desmoduladas por los demoduladores 218a a 218u, detectadas por un detector de MIMO 232 y procesadas adicionalmente por un procesador de datos de RX 234, para recuperar los datos enviados por el terminal 120. Un procesador de canal 244 estima la respuesta de canal de MIMO de enlace ascendente en base a los símbolos piloto recibidos, y proporciona estimaciones de canal al detector de MIMO 232 para la detección de MIMO.

Los controladores / procesadores 240 y 280 controlan el funcionamiento, respectivamente, en la estación base 110 y en el terminal 120. Las memorias 242 y 282 almacenan datos y códigos de programa, respectivamente, para la estación base 110 y el terminal 120.

Las técnicas descritas en la presente memoria pueden ser usadas con diversas estructuras de sub-portadora. La siguiente descripción supone que se dispone de K sub-portadoras totales para la transmisión, y que están asignados índices entre 0 y K-1.

La **FIG. 3A** muestra una estructura de sub-portadora de símbolos piloto de IFDM 300, que puede ser usada para la transmisión de datos de IFDM u OFDM distribuido. En la estructura de sub-portadora 300, las K sub-portadoras totales están dispuestas en T conjuntos disjuntos, o no solapados, tales que cada conjunto contiene L' sub-portadoras que están uniformemente distribuidas entre las K sub-portadoras totales, donde T y L' son valores enteros adecuadamente seleccionados. Las sub-portadoras consecutivas en cada conjunto están separadas entre sí por T sub-portadoras, donde $K = T \cdot L'$. Por tanto, el conjunto i contiene las sub-portadoras $i, T+i, 2T+i, \dots, (L'+1) \cdot T+i$, para $i \in \{0, \dots, T-1\}$.

La **FIG. 3B** muestra una estructura de sub-portadora de símbolos piloto de IFDM 310, que puede ser usada para la transmisión de datos de LFDM u OFDM localizado. En la estructura de sub-portadora 310, las K sub-portadoras totales están dispuestas en G grupos disjuntos, de modo que cada grupo contenga $N'' = K / G$ sub-portadoras consecutivas, donde N'' y G son valores enteros adecuadamente seleccionados. De tal modo, el grupo 0 incluye las sub-portadoras 0 a $N''-1$, el grupo 1 incluye las sub-portadoras N'' a $2N''-1$, y así sucesivamente, y el grupo G-1 incluye las sub-portadoras K- N'' a K-1.

Las N'' sub-portadoras en cada grupo pueden ser dispuestas en T conjuntos disjuntos, de modo que cada conjunto contenga L'' sub-portadoras que están uniformemente distribuidas entre las N'' sub-portadoras en ese grupo, donde $N'' = L'' \cdot T$. Las N'' sub-portadoras en cada grupo pueden por tanto ser dispuestas de manera similar a lo descrito anteriormente en la FIG. 3A. La FIG. 3B muestra los T conjuntos de sub-portadoras para el grupo 1 de sub-portadoras.

En general, cualquier estructura de sub-portadora puede ser usada para la transmisión de símbolos piloto y datos por el enlace descendente y el enlace ascendente. Por ejemplo, la estructura de sub-portadora 300 puede ser usada para el enlace descendente, y la estructura de sub-portadora 310 puede ser usada para el enlace ascendente. También pueden ser usadas otras estructuras de sub-portadora. En cada enlace, los símbolos piloto y los datos pueden ser enviados usando las mismas estructuras de sub-portadora, u otras distintas.

Una estación transmisora puede transmitir símbolos piloto mediante múltiples (T) antenas de transmisión, usando diversos esquemas de multiplexado, tales como el multiplexado por división del tiempo (TDM), el multiplexado por división de código del dominio del tiempo (TD-CDM), el OFDM, el IFDM, el FD-CDM, etc. Una estación receptora puede recibir los símbolos piloto mediante múltiples (R) antenas de recepción, y puede estimar la respuesta de canal de MIMO así como el ruido de fondo y la interferencia, en base a los símbolos piloto recibidos. Para el enlace descendente, la estación transmisora puede ser la estación base 110, la estación receptora puede ser el terminal 120, T puede ser igual a U, y R puede ser igual a V. Para el enlace ascendente, la estación transmisora puede ser el terminal 120, la estación receptora puede ser la estación base 110, T puede ser igual a V, y R puede ser igual a U. Los símbolos piloto para una transmisión de MIMO pueden comprender una secuencia distinta de símbolos piloto para cada una de las T antenas de transmisión. Una secuencia de símbolos piloto es una secuencia de símbolos conocidos que pueden ser enviados en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, según el esquema de multiplexado usado para los símbolos piloto.

Para los símbolos piloto de TDM, un intervalo temporal designado para los símbolos piloto puede ser dividido en T segmentos temporales que pueden ser asignados a las T antenas de transmisión. La estación transmisora puede enviar una transmisión de símbolos piloto desde cada antena en el segmento temporal asignado a esa antena. La transmisión de símbolos piloto desde cada antena puede ser cualquier secuencia de símbolos piloto, y se le puede adosar un prefijo cíclico para combatir el desvanecimiento selectivo de frecuencia provocado por la dispersión del retardo en un canal de multi-trayecto. Un prefijo cíclico también es mencionado como un intervalo de guardia, un preámbulo, etc. La longitud del prefijo cíclico puede ser seleccionada en base a la dispersión de retardo esperada. También puede usarse una palabra única en lugar del prefijo cíclico. La estación receptora puede estimar la

respuesta de canal de MIMO y el ruido, usando el procesamiento RAKE del dominio del tiempo (que se usa normalmente en sistemas de CDMA) o el procesamiento del dominio de la frecuencia. La estimación del ruido puede ser trivial, dado que los símbolos piloto son enviados desde solamente una antena de transmisión en cualquier segmento temporal dado, y no hay ninguna interferencia desde otras antenas de transmisión. La interferencia de

5 símbolos piloto entre transmisores, procedente de otras estaciones transmisoras, puede ser suprimida usando distintas secuencias de aleatorización de símbolos piloto para distintas estaciones transmisoras.

Para símbolos piloto de TD-CDM, T secuencias ortogonales distintas pueden ser asignadas a las T antenas de transmisión, y usadas para lograr la ortogonalidad en el dominio del tiempo. La estación transmisora puede generar

10 una secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo para cada antena de transmisión, multiplicando una secuencia base del dominio del tiempo con la secuencia ortogonal para esa antena. La estación transmisora puede luego generar una transmisión de símbolos piloto para cada antena de transmisión, en base a su secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo. La transmisión de símbolos piloto desde cada antena de transmisión puede no observar interferencia multi-trayecto debida a flujos de datos, pero puede observar interferencia multi-trayecto

15 debida a transmisiones de símbolos piloto desde otras antenas de transmisión. La estación receptora puede estimar la respuesta de canal de MIMO usando el procesamiento RAKE del dominio del tiempo, que puede explotar la ortogonalidad entre las T transmisiones de símbolos piloto, debido al uso de las secuencias ortogonales asignadas a las T antenas de transmisión. La estación receptora puede estimar el ruido sin interferencia desde los flujos de datos observados. La interferencia de símbolos piloto entre transmisores puede ser suprimida usando distintas secuencias de aleatorización de símbolos piloto para distintas estaciones transmisoras.

20

Para símbolos piloto de OFDM y de IFDM, pueden ser usadas N sub-portadoras para la transmisión de símbolos piloto, y pueden ser dispuestas en T conjuntos disjuntos, p. ej., según se muestra en la FIG. 3A o 3B, incluyendo cada conjunto L sub-portadoras, donde $N = T \cdot L \leq K$. En la FIG. 3A, N puede ser igual a K, y L puede ser igual a L'. En la FIG. 3B, N puede ser igual a N'', y L puede ser igual a L''. En cualquier caso, las L sub-portadoras en cada conjunto pueden ser distribuidas uniformemente entre las N sub-portadoras, para permitir a la estación receptora muestrear el espectro de frecuencias entre todas las N sub-portadoras, lo que puede mejorar las prestaciones de estimación de canal y de ruido. Cada una de las T antenas de transmisión puede tener asignado un conjunto distinto de los T conjuntos de sub-portadoras.

25

30

Para los símbolos piloto de OFDM, la estación transmisora puede enviar una transmisión de símbolos piloto desde cada antena de transmisión, en el dominio de frecuencia, por un conjunto de L sub-portadoras asignado a esa antena. Para cada antena de transmisión, la estación transmisora puede correlacionar L símbolos piloto con L sub-portadoras en el conjunto asignado, correlacionar símbolos cero con las restantes $K - L$ sub-portadoras y generar un símbolo de OFDM en base a los símbolos piloto y cero correlacionados. Las T transmisiones de símbolos piloto desde las T antenas de transmisión ocupan distintas sub-portadoras y son por tanto ortogonales en la frecuencia. La estación receptora puede realizar la estimación de canal y de ruido en base a los símbolos piloto recibidos, usando procesamiento del dominio de frecuencia. La estimación de canal y de ruido no padece de interferencia entre antenas, dado que la ortogonalidad se logra entre las T transmisiones de símbolos piloto. Sin embargo, un inconveniente con el OFDM es la alta razón entre potencia máxima y media (PAPR), lo que significa que la razón entre la potencia máxima y la potencia promediada de una onda de OFDM puede ser alta en el dominio del tiempo. Los símbolos piloto usados para cada antena de transmisión pueden ser generados o seleccionados de modo que la PAPR sea tan baja como sea posible. La interferencia entre transmisores puede ser mitigada con una planificación adecuada de símbolos piloto, saltos de frecuencia, etc.

35

40

45

Para símbolos piloto de IFDM, la estación transmisora puede enviar una transmisión de símbolos piloto desde cada antena de transmisión en el dominio del tiempo, por un conjunto de L sub-portadoras asignado a esa antena. Para cada antena de transmisión, la estación transmisora puede transformar L símbolos piloto, desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, correlacionar los L símbolos transformados con L sub-portadoras en el conjunto asignado, correlacionar símbolos cero con las restantes $K - L$ sub-portadoras y generar un símbolo de TFDM en base a los símbolos transformados, y cero, correlacionados. Las T transmisiones de símbolos piloto desde las T antenas de transmisión ocupan distintas sub-portadoras y son por tanto ortogonales en la frecuencia. Las estaciones receptoras pueden realizar la estimación de canal y de ruido en base a símbolos piloto recibidos, usando procesamiento del dominio de la frecuencia. La estimación de canal y de ruido no padece de interferencia entre antenas, dado que la ortogonalidad se logra entre las T transmisiones de símbolos piloto. Además, una PAPR alta puede evitarse usando símbolos piloto con amplitud constante en el dominio del tiempo. Pueden lograrse unas buenas prestaciones de estimación de canal, generando adecuadamente los símbolos piloto, según se describe más adelante. La interferencia intersectorial puede ser mitigada con planificación adecuada de símbolos piloto, saltos de frecuencia, etc.

50

55

60

Para símbolos piloto de FD-CDM, T secuencias ortogonales distintas pueden ser asignadas a las T antenas de transmisión, y usadas para lograr la ortogonalidad en el dominio de la frecuencia. La estación transmisora puede generar una secuencia de símbolos piloto del dominio de la frecuencia para cada antena de transmisión, multiplicando una secuencia base del dominio de la frecuencia con la secuencia ortogonal para esa antena. La

estación transmisora puede luego generar una transmisión de símbolos piloto para cada antena de transmisión en base a su secuencia de símbolos piloto del dominio de la frecuencia. Las T transmisiones de símbolos piloto desde las T antenas de transmisión pueden ser casi ortogonales en un canal de multi-trayecto, debido al uso de distintas secuencias ortogonales. La estación receptora puede realizar la estimación de canal y de ruido en base a símbolos piloto recibidos, usando procesamiento del dominio de la frecuencia, p. ej., de manera similar a la de los símbolos piloto de OFDM e IFDM.

Varios esquemas de multiplexado para símbolos piloto se describen en mayor detalle más adelante.

1. Símbolos piloto de IFDM

Un símbolo piloto de IFDM puede ser enviado desde las T antenas de transmisión por T conjuntos disjuntos de sub-portadoras, p. ej., según se muestra en la FIG. 3A o 3B, un conjunto de L sub-portadoras para cada antena de transmisión. Los símbolos piloto de IFDM pueden ser generados con una secuencia base que tenga buenas propiedades. Por ejemplo, la secuencia base puede ser seleccionada para que tenga buenas características temporales (p. ej., una envolvente constante del dominio del tiempo) y buenas características espectrales (p. ej., un espectro plano de frecuencia). Estas buenas características temporales y espectrales pueden ser obtenidas con diversas frecuencias de CAZAC (auto-correlación nula de amplitud constante). Algunas secuencias ejemplares de CAZAC incluyen una secuencia de Chu, una secuencia de Frank, una secuencia generalizada semejante a un trino (GCL), una secuencia de Golomb, secuencias P1, P3, P4 y Px, etc.

En un diseño, una secuencia de Chu $c_L(n)$ de longitud L se usa como la secuencia base para el símbolo piloto de IFDM. Esta secuencia de Chu puede ser expresada como:

$$c_L(n) = e^{j \frac{\pi \lambda n^2}{L}}, \quad \text{para } n = 0, \dots, L-1 \text{ con L par,} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$c_L(n) = e^{j \frac{\pi \lambda (n+1)n}{L}}, \quad \text{para } n = 0, \dots, L-1 \text{ con L impar,} \quad \text{Ec. (2)}$$

donde λ es un índice de incremento de frecuencia que se selecciona de modo que λ y L sean primos entre sí y tengan un máximo común denominador de 1. L es la longitud de la secuencia base y puede corresponder al número de sub-portadoras asignadas a cada antena de transmisión para la transmisión de símbolos piloto, y L puede ser un número primo (p. ej., L = 257), lo que puede proporcionar buenas propiedades de correlación cruzada para secuencias de Chu generadas con L - 1 valores distintos de λ . L también puede ser seleccionado en base al número de sub-portadoras usadas para la transmisión de símbolos piloto por cada antena de transmisión (p. ej., L = 256).

En las ecuaciones (1) y (2), λ puede ser usado como un valor o código específico del transmisor, para distinguir los símbolos piloto procedentes de distintas estaciones transmisoras, según se describe más adelante. Puede ser determinado un conjunto de valores para λ en base a la longitud de secuencia L. Por ejemplo, el conjunto puede incluir valores de λ de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 para una longitud de secuencia de L = 7. Distintos valores de λ pueden ser asignados a distintas estaciones transmisoras, p. ej., distintas estaciones base en el enlace descendente o distintos terminales en el enlace ascendente. Dado que dos secuencias base generadas con distintos valores de λ tienen correlación cruzada mínima si la diferencia entre los dos valores de λ y L son primos entre sí, los símbolos piloto enviados por distintas estaciones transmisoras con distintos valores de λ interfieren mínimamente entre sí en tal caso.

La secuencia de Chu tiene una envolvente constante del dominio del tiempo, lo que da como resultado una baja PAPR para los símbolos piloto. La secuencia de Chu también tiene un espectro plano de frecuencias, lo que puede mejorar las prestaciones de estimación de canal, especialmente cuando no se conoce la distribución de la densidad espectral del canal.

En otro diseño, se realiza una transformación inversa discreta de Fourier (IDFT) de L puntos sobre la secuencia $c_L(n)$ de Chu, para obtener una secuencia transformada $C_L(k)$ con L símbolos. La secuencia transformada se usa luego como la secuencia base.

En otro diseño más, se usa una secuencia $pn(n)$ de números pseudo-aleatorios (PN), que tenga buenas propiedades de auto-correlación y correlación cruzada, y propiedades de baja PAPR en el dominio del tiempo, como la secuencia base. La secuencia de PN puede ser obtenida de cualquier manera conocida en la técnica, p. ej., en base a un generador polinómico o con una búsqueda exhaustiva de todas las posibles secuencias de longitud L. También pueden ser usadas otras secuencias como la secuencia base.

Los símbolos piloto de IFDM para las T antenas de transmisión pueden ser generados de diversas maneras. En un esquema, la secuencia base se repite T veces y se concatena para obtener una secuencia base extendida, de la siguiente manera:

$$b_{\text{ext}}(n) = \sum_{i=0}^{T-1} b_L(n - i \cdot L) , \quad \text{Ec. (3)}$$

donde $b_L(n - i \cdot L)$ es una secuencia base que está retardada por $i \cdot L$ muestras, y $b_{\text{ext}}(n)$ es una secuencia base extendida de longitud N.

La secuencia base $b_L(n)$ de longitud L puede ser igual a (a) la secuencia de Chu, de modo que $b_L(n) = c_L(n)$, (b) la secuencia de PN, de modo que $b_L(n) = pn(n)$, o (c) alguna otra secuencia. En la ecuación (3), las T copias de la secuencia base $b_L(n)$ están retardadas y dispuestas de modo que el inicio de la i -ésima secuencia siga inmediatamente después del final de la $(i-1)$ -ésima secuencia. Las T secuencias retardadas se suman para obtener la secuencia base extendida $b_{\text{ext}}(n)$ de longitud N.

Una secuencia de símbolos piloto puede ser generada para cada antena de transmisión, de la siguiente manera:

$$p_i(n) = e^{j \frac{2\pi i n}{N}} \cdot b_{\text{ext}}(n) , \quad \text{para } n = 0, \dots, N-1, \quad \text{Ec. (4)}$$

donde $p_i(n)$ es la secuencia piloto para la antena de transmisión i . La ecuación (4) aplica un desnivel de fase lineal a las N muestras en la secuencia base extendida. La pendiente del desnivel de fase es distinta para distintas antenas de transmisión.

La secuencia base $b_L(n)$ contiene L muestras del dominio del tiempo y ocupa L sub-portadoras consecutivas. La repetición de la secuencia base T veces da como resultado que la secuencia base extendida $b_{\text{ext}}(n)$ ocupe cada T-ésima sub-portadora en el dominio de la frecuencia, con ceros para las T-1 sub-portadoras entre sub-portadoras ocupadas consecutivas. La multiplicación por $e^{j \frac{2\pi i n}{N}}$ en la ecuación (4) desplaza efectivamente la secuencia de símbolos piloto para la antena de transmisión i en i sub-portadoras en el dominio de la frecuencia. Las T secuencias de símbolos piloto para las T antenas son desplazadas en distintos números de sub-portadoras y son por tanto ortogonales en el dominio de la frecuencia, ocupando cada secuencia de símbolos piloto un conjunto distinto de L sub-portadoras, p. ej., según se muestra en la FIG. 3A o 3B.

La FIG. 4 muestra un proceso 400 para generar los símbolos piloto de IFDM. Una pluralidad de secuencias de símbolos piloto son generadas para una pluralidad de antenas de transmisión, comprendiendo cada secuencia de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados en el dominio del tiempo, por un conjunto distinto de sub-portadoras (bloque 410). La pluralidad de secuencias de símbolos piloto puede ser generada en base a una secuencia de Chu con $\lambda = 1$, una secuencia de Chu definida por un valor de λ específico para el transmisor, alguna otra secuencia de CAZAC, una secuencia de PN, etc. Una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto son generadas en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto (bloque 420).

La FIG. 5 muestra un proceso 500 para generar los símbolos piloto de IFDM. El proceso 500 incluye los bloques 510 y 520 que corresponden, respectivamente, a los bloques 410 y 420 en la FIG. 4. Una secuencia base de longitud L (p. ej., una secuencia de Chu, una IDFT de la secuencia de Chu, una secuencia de PN, etc.) es generada inicialmente (bloque 512). Una secuencia base extendida de longitud N es generada luego repitiendo y concatenando múltiples (T) copias de la secuencia base (bloque 514). Una secuencia de símbolos piloto es generada para cada antena de transmisión, aplicando un desnivel de fase distinto a la secuencia de base extendida, p. ej., según se muestra en la ecuación (4) (bloque 516). Una transmisión de símbolos piloto de longitud N+C puede ser generada para cada antena de transmisión, adosando un prefijo cíclico de longitud C a la secuencia de símbolos piloto para esa antena (bloque 520). La inserción del prefijo cíclico se logra copiando las últimas C muestras de la secuencia de símbolos piloto y adosando estas C muestras al inicio de la secuencia de símbolos piloto. La transmisión de símbolos piloto también puede ser generada de otras maneras, en base a la secuencia de símbolos piloto, p. ej., la secuencia de símbolos piloto puede ser proporcionada directamente como la transmisión de símbolos piloto sin ningún prefijo cíclico.

En otro esquema para generar los símbolos piloto de IFDM para las T antenas de transmisión, que pueden ser usados para cualquier estructura de sub-portadora, incluso las mostradas en las FIGS. 3A y 3B, se genera inicialmente una secuencia base del dominio del tiempo, con L símbolos piloto (p. ej., una secuencia de Chu). Una

transformación de Fourier discreta (DFT) de L puntos se realiza luego sobre la secuencia base del dominio del tiempo, para obtener una secuencia base del dominio de la frecuencia, con L símbolos transformados. Para cada antena de transmisión, los L símbolos transformados son correlacionados con las L sub-portadoras asignadas a esa antena, y N-L símbolos cero son correlacionados con las sub-portadoras restantes. Una IDFT de N puntos se realiza luego sobre los N símbolos transformados y los símbolos cero, para obtener una secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo con N muestras. Un prefijo cíclico puede ser adosado a esta secuencia de símbolos piloto, para obtener la transmisión de símbolos piloto para la antena de transmisión. Los símbolos piloto de IFDM para las T antenas de transmisión también pueden ser generados de otras maneras.

En general, una secuencia de símbolos piloto o una transmisión de símbolos piloto puede ser generada determinando los símbolos o muestras para la secuencia / transmisión de símbolos piloto, en base a ecuaciones adecuadas, p. ej., según lo descrito anteriormente. Una secuencia de símbolos piloto, o una transmisión de símbolos piloto, también puede ser pre-calculada y almacenada en memoria. En este caso, la secuencia de símbolos piloto, o la transmisión de símbolos piloto, puede ser generada, toda vez que sea necesario, leyendo sencillamente de la memoria. Por tanto, el término "generar" puede incluir cualquier acción (p. ej., cálculo, extracción de memoria, etc.) para obtener la secuencia de símbolos piloto o la transmisión de símbolos piloto.

Para los símbolos piloto de IFDM, las T transmisiones de símbolos piloto desde las T antenas de transmisión son disjuntas en la frecuencia y son por tanto ortogonales en un canal de multi-trayecto. La PAPR es baja si se usa una secuencia de símbolos piloto con envolvente constante en el dominio del tiempo. Además, la energía de símbolos piloto está uniformemente distribuida en la frecuencia si se usa una secuencia de CAZAC tal como una secuencia de Chu, lo que puede simplificar la estimación de canal y de ruido, proporcionando a la vez buenas prestaciones.

2. Símbolos piloto de FD-CDM

Los símbolos piloto de FD-CDM pueden ser enviados desde las T antenas de transmisión por el mismo conjunto de N sub-portadoras. Sin embargo, la transmisión de símbolos piloto desde cada antena es multiplicada en el dominio de la frecuencia con una secuencia ortogonal distinta. Los símbolos piloto de FD-CDM pueden ser generados con una secuencia base que tenga buenas características.

En un diseño, una secuencia de Chu $c_N(n)$, de longitud N, se usa como una secuencia base del dominio del tiempo para los símbolos piloto de FD-CDM. Esta secuencia de Chu, para un N par, puede ser expresada como:

$$c_N(n) = e^{j\frac{\pi}{N}n^2}, \quad \text{para } n = 0, \dots, N-1. \quad \text{Ec. (5)}$$

Una IDFT de N puntos puede ser realizada sobre la secuencia de Chu $c_N(n)$, para obtener una secuencia de Chu transformada $C_N(k)$ con N símbolos. La secuencia de Chu transformada puede ser usada como una secuencia base $B_N(k)$ del dominio de la frecuencia. En otro diseño, la secuencia de Chu $c_N(n)$ se usa directamente como la secuencia base del dominio de la frecuencia. En otro diseño más, se usa una secuencia de PN $PN(k)$, de longitud N, como la secuencia base del dominio de la frecuencia. También pueden ser usadas otras frecuencias como la secuencia base. En general, la secuencia base $B_N(k)$ del dominio de la frecuencia, de longitud N, puede ser igual a (a) la secuencia de Chu tal que $B_N(k) = c_N(n)$, donde $n = k$, (b) la secuencia de Chu transformada tal que $B_N(k) = C_N(k)$, (c) la secuencia de PN tal que $B_N(k) = PN(k)$ o (d) alguna otra secuencia.

Los símbolos piloto de FD-CDM para las T antenas de transmisión pueden ser generados de diversas maneras. En un esquema, puede generarse una secuencia de símbolos piloto del dominio de la frecuencia para cada antena de transmisión, según lo siguiente:

$$\tilde{P}_i(k) = W_i(k) \cdot B_N(k), \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1, \quad \text{Ec. (6)}$$

donde $W_i(k)$ es una secuencia ortogonal para la antena de transmisión i , y

$\tilde{P}_i(k)$ es una secuencia de símbolos piloto del dominio de la frecuencia, para la antena de transmisión i .

En general, pueden ser usadas diversas secuencias ortogonales para $W_i(k)$ en la ecuación (6). Por ejemplo, las secuencias ortogonales pueden ser secuencias de Walsh a partir de una matriz de Hadamard, secuencias de una matriz de Fourier, etc. Las secuencias ortogonales también pueden tener cualquier longitud que sea igual o mayor que T, y que sea un divisor entero de N. En un diseño, las secuencias ortogonales están definidas de la siguiente manera:

$$W_i(k) = e^{j\frac{2\pi i k}{T}}, \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1 \text{ e } i = 0, \dots, T-1 \quad \text{Ec. (7)}$$

T secuencias ortogonales pueden ser generadas en base a la ecuación (7) para $i = 0, \dots, T-1$. Estas secuencias ortogonales tienen longitud N pero son periódicas sobre T y por tanto se repiten cada T símbolos. El uso de estas secuencias ortogonales no aumenta la PAPR del dominio del tiempo ni la PAPR del dominio de la frecuencia, lo que es deseable.

La secuencia de símbolos piloto del dominio de la frecuencia para cada antena de transmisión puede ser generada luego de la siguiente manera:

$$\tilde{P}_i(k) = e^{j\frac{2\pi i k}{T}} \cdot B_N(k), \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1. \quad \text{Ec. (8)}$$

La ecuación (8) modula esencialmente la secuencia base del dominio de la frecuencia con la secuencia ortogonal, que está en una frecuencia distinta para cada antena de transmisión. Puede mostrarse que la modulación de la secuencia base del dominio de la frecuencia en $e^{j\frac{2\pi i k}{T}}$ es equivalente a desplazar cíclicamente la correspondiente secuencia base del dominio del tiempo en $L \cdot i$ muestreadores. La secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo para cada antena de transmisión puede luego generarse de la siguiente manera:

$$\tilde{P}_i(n) = b_N((n - i \cdot L) \bmod N), \quad \text{para } n = 0, \dots, N-1, \quad \text{Ec. (9)}$$

donde $b_N(n)$ es una secuencia base del dominio del tiempo, de longitud N, y

$\tilde{P}_i(n)$ es una secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo para la antena de transmisión i .

La secuencia base del dominio del tiempo, $b_N(n)$, puede ser igual a (a) la secuencia de Chu tal que $b_N(n) = c_N(n)$, (b) la secuencia de PN tal que $b_N(n) = pn(n)$ o (c) alguna otra secuencia. El desplazamiento cíclico en la ecuación (9) se logra tomando las últimas $L \cdot i$ muestras de la secuencia base del dominio del tiempo y adosando estas $L \cdot i$ muestras al comienzo de la secuencia base. Distintos números de muestras son desplazados cíclicamente para distintas antenas de transmisión. En particular, 0 muestras son desplazadas cíclicamente para la antena de transmisión 0, L muestras son desplazadas cíclicamente para la antena de transmisión 1, y así sucesivamente, y $(T-1) \cdot L$ muestras son desplazadas cíclicamente para la antena de transmisión $T-1$.

La **FIG. 6** muestra secuencias ejemplares de símbolos piloto y transmisiones de símbolos piloto para $T = 4$ antenas de transmisión para los símbolos piloto de FD-CDM. La secuencia de símbolos piloto para la antena de transmisión 0 es igual a la secuencia base $b_N(n)$. La secuencia de símbolos piloto para la antena de transmisión 1 es igual a la secuencia base desplazada cíclicamente en L muestras. La secuencia de símbolos piloto para la antena de transmisión 2 es igual a la secuencia base desplazada cíclicamente en $2L$ muestras. La secuencia de símbolos piloto para la antena de transmisión 3 es igual a la secuencia base desplazada cíclicamente en $3L$ muestras. La transmisión de símbolos piloto para cada antena de transmisión es generada adosando un prefijo cíclico a la secuencia de símbolos piloto para esa antena de transmisión.

La **FIG. 7** muestra un proceso 700 para generar los símbolos piloto de FD-CDM. Una pluralidad de secuencias de símbolos piloto son generadas para una pluralidad de antenas de transmisión, en base al FD-CDM de una secuencia base, p. ej., una secuencia de CAZAC tal como una secuencia de Chu definida por un valor de λ específico del transmisor (bloque 710). Una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto son generadas en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto (bloque 720). Las transmisiones de símbolos piloto pueden ser enviadas por el enlace descendente, y las estaciones base vecinas pueden tener asignados distintos valores específicos del transmisor. Las transmisiones de símbolos piloto también pueden ser enviadas por el enlace ascendente, y distintos terminales pueden tener asignados distintos valores específicos del transmisor.

La **FIG. 8** muestra un proceso 800 para generar los símbolos piloto de FD-CDM. El proceso 800 incluye los bloques 810 y 820 que corresponden, respectivamente, a los bloques 710 y 720 en la FIG. 7. Una secuencia base del dominio del tiempo, de longitud N (p. ej., una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor, una secuencia de PN, etc.), es generada inicialmente (bloque 812). Una secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo para cada antena de transmisión i se genera luego desplazando cíclicamente la secuencia base del dominio del tiempo en $L \cdot i$ muestras (bloque 814). El desplazamiento cíclico en el dominio del tiempo logra la multiplicación del dominio de la frecuencia con la secuencia ortogonal mostrada en la ecuación (7). Una transmisión de símbolos piloto, de longitud $N+C$, puede ser generada para cada antena de transmisión, adosando un prefijo cíclico de longitud C a la secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo para esa antena (bloque 820).

En otro esquema para generar los símbolos piloto de FD-CDM para las T antenas de transmisión, que puede ser usado con secuencias ortogonales cualesquiera y para una estructura cualquiera de sub-portadora, una secuencia base del dominio del tiempo, de longitud N (p. ej., una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor) se genera inicialmente y se transforma con una DFT de N puntos para obtener una secuencia base del dominio de la frecuencia. Para cada antena de transmisión, la secuencia base del dominio de la frecuencia se multiplica con una secuencia ortogonal asignada a esa antena para obtener una secuencia intermedia. Una IDFT de N puntos se realiza luego sobre la secuencia intermedia para obtener una secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo, de longitud N. Puede adosarse un prefijo cíclico a la secuencia de símbolos piloto del dominio del tiempo, para obtener la transmisión de símbolos piloto para la antena de transmisión. Los símbolos piloto de FD-CDM para las T antenas de transmisión también pueden ser generados de otras maneras.

Tanto para los símbolos piloto de IFDM como para los de FD-CDM, con las secuencias de Chu, distintos valores de λ pueden ser asignados a distintas estaciones transmisoras para reducir la interferencia de símbolos piloto y para asistir a las estaciones receptoras para adquirir símbolos piloto desde las distintas estaciones transmisoras. En el enlace descendente, distintos valores de λ pueden ser asignados a estaciones base vecinas, o BTS, un valor de λ para cada estación base o BTS. Cada estación base o BTS puede generar U transmisiones de símbolos piloto para sus U antenas, con el valor de λ asignado, p. ej., según lo descrito anteriormente. Un terminal puede recibir transmisiones de símbolos piloto desde múltiples estaciones base, y puede ser capaz de detectar y distinguir las transmisiones de símbolos piloto desde cada estación base, en base al valor de λ asignado a esa estación base o BTS. En el enlace ascendente, distintos valores de λ pueden ser asignados a distintos terminales que pueden enviar simultáneamente transmisiones de símbolos piloto a la misma estación base o BTS, un valor de λ para cada terminal. Cada terminal puede generar V transmisiones de símbolos piloto para sus V antenas con el valor de λ asignado, p. ej., según lo descrito anteriormente. La estación base puede recibir transmisiones de símbolos piloto desde múltiples terminales, y puede ser capaz de detectar y distinguir las transmisiones de símbolos piloto desde cada terminal, en base al valor de λ asignado a ese terminal.

Es deseable que las secuencias de símbolos piloto desde distintas estaciones transmisoras (p. ej., distintas estaciones base en el enlace descendente o distintos terminales en el enlace ascendente) tengan una correlación cruzada tan baja como sea posible. Las secuencias de símbolos piloto de longitud L para los símbolos piloto de IFDM, o de longitud N para los símbolos piloto de FD-CDM, pueden ser generadas con distintos valores de λ . La correlación cruzada entre estas secuencias de símbolos piloto puede ser determinada para distintos desplazamientos temporales. Puede seleccionarse para su uso un conjunto de valores de λ con una pequeña correlación cruzada entre sus secuencias de símbolos piloto.

También pueden ser usados distintos valores de λ para prestar soporte al multiplexado por división espacial (SDM) en el enlace ascendente. Por ejemplo, múltiples terminales transmitiendo simultáneamente a una estación base dada pueden tener asignados distintos valores de λ . Cada terminal puede generar sus transmisiones de símbolos piloto en base a su valor de λ asignado. Alternativamente, los múltiples terminales que transmiten simultáneamente a la estación base pueden tener asignado el mismo valor de λ , pero distintas secuencias ortogonales o desplazamientos cíclicos distintos. Cada terminal puede generar sus transmisiones de símbolos piloto, en base al valor común de λ , y a sus secuencias ortogonales asignadas o desplazamientos cíclicos.

3. Esquemas de multiplexado de símbolos piloto y de datos

En general, la estación transmisora puede lograr la ortogonalidad entre símbolos piloto y datos usando TDM, FDM, etc. Para el TDM, la estación transmisora puede enviar símbolos piloto en algunos intervalos temporales y enviar datos en otros intervalos temporales. Para el FDM, la estación transmisora puede enviar símbolos piloto por algunas sub-portadoras y enviar datos por otras sub-portadoras. La estación transmisora puede lograr la ortogonalidad entre las transmisiones de símbolos piloto desde las T antenas de transmisión, usando cualquiera de los esquemas de multiplexado descritos anteriormente. La estación transmisora puede enviar símbolos piloto desde T antenas de transmisión usando un primer esquema de multiplexado y puede enviar datos desde las T antenas usando un segundo esquema de multiplexado. En general, el primer esquema de multiplexado puede ser el mismo que el segundo esquema de multiplexado, u otro distinto.

La **FIG. 9** muestra un proceso 900 para enviar símbolos piloto y datos con distintos esquemas de multiplexado. Una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, para una pluralidad de antenas de transmisión, se generan en base a un primer esquema de multiplexado (bloque 912). Una pluralidad de transmisiones de datos para la pluralidad de antenas de transmisión se generan en base a un segundo esquema de multiplexado, que es distinto al primer esquema de multiplexado (bloque 914). La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto pueden ser enviadas en un primer intervalo temporal, y la pluralidad de transmisiones de datos pueden ser enviadas en un segundo intervalo temporal, con TDM (bloque 916). La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto también pueden ser enviadas

por un primer conjunto de sub-portadoras, y la pluralidad de transmisiones de datos pueden ser enviadas por un segundo conjunto de sub-portadoras, con FDM.

El primer esquema de multiplexado puede ser OFDM, y el segundo esquema de multiplexado puede ser SC-FDM (p. ej., IFDM o LFDM), TD-CDM, SDM, etc., El primer esquema de multiplexado puede ser SC-FDM (p. ej., IFDM), y el segundo esquema de multiplexado puede ser OFDM, TD-CDK SDM, etc. El primer esquema de multiplexado puede ser FD-CDM, y el segundo esquema de multiplexado puede ser OFDM, SC-FDM, TD-CDM, SDM, etc. Los esquemas de multiplexado primero y segundo pueden también ser otras combinaciones de esquemas de multiplexado.

El primer esquema de multiplexado puede ser seleccionado para reducir el sobregasto de símbolos piloto, logrando a la vez buenas prestaciones de estimación de canal y de ruido para la transmisión de MIMO. El segundo esquema de multiplexado puede ser seleccionado para lograr buenas prestaciones para la transmisión de datos entre distintos flujos de un único terminal, o entre distintos terminales. Distintos esquemas de multiplexado para símbolos piloto y datos pueden ser dotados inmediatamente de soporte usando procesamiento del dominio de la frecuencia para la estimación de canal y la detección de datos, según se describe más adelante.

4. Estimación de canal

La estación receptora puede recibir transmisiones de símbolos piloto desde la estación transmisora y puede realizar la estimación de canal de diversas maneras, en base a las transmisiones de símbolos piloto recibidos. La estimación de canal puede ser realizada de diversas maneras para distintos esquemas de multiplexado de símbolos piloto. Varias técnicas ejemplares de estimación de canal se describen más adelante.

Para los símbolos piloto de IFDM, la estación receptora puede obtener R transmisiones de símbolos piloto recibidos, mediante las R antenas de recepción, y puede eliminar el prefijo cíclico en cada transmisión de símbolos piloto recibidos, para obtener N muestras del dominio del tiempo. La estación receptora puede transformar luego las N muestras del dominio del tiempo para cada antena de recepción, con una DFT de N puntos, para obtener N símbolos recibidos para las N sub-portadoras usadas para los símbolos piloto de IFDM. Los símbolos recibidos desde cada antena de recepción pueden ser expresados como:

$$R_j(k) = \sum_{i=0}^{T-1} P_i(k) \cdot H_{i,j}(k) + N_j(k), \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1, \quad \text{Ec. (10)}$$

donde $P_i(k)$ es un símbolo transmitido desde la antena de transmisión i por la sub-portadora k , $H_{i,j}(k)$ es una ganancia compleja de canal desde la antena de transmisión i a la antena de recepción j , por la sub-portadora k , $R_j(k)$ es un símbolo recibido desde la antena de recepción j por la sub-portadora k , y $N_j(k)$ es ruido para la antena de recepción j por la sub-portadora k . $P_j(k)$ es una secuencia de símbolos piloto del dominio de la frecuencia, que puede ser obtenida realizando una DFT de N puntos sobre la secuencia de símbolos piloto $p_i(n)$ del dominio del tiempo, para la antena de transmisión i .

Como se muestra en la ecuación (10), el símbolo recibido $R_j(k)$ desde la antena de recepción j está compuesto por la suma de los T símbolos transmitidos, $P_i(k)$, ponderados con las ganancias de canal $H_{i,j}(k)$ entre las T antenas de transmisión y la antena de recepción j . El símbolo recibido $R_j(k)$ está adicionalmente degradado por el ruido $N_j(k)$. Para los símbolos piloto de IFDM, cada antena de transmisión i tiene asignado un subconjunto distinto de las N sub-portadoras. Por tanto, los símbolos transmitidos $P_i(k)$ desde la antena de transmisión i son no nulos solamente para L sub-portadoras asignadas a la antena i .

En un diseño, las ganancias de canal son estimadas en base a la técnica de cuadrados mínimos, según lo siguiente:

$$\hat{H}_{i,j}(k \cdot T + i) = \frac{R_j(k \cdot T + i)}{P_i(k \cdot T + i)}, \quad \text{para } k = 0, \dots, L-1, \quad \text{Ec. (11)}$$

donde $\hat{H}_{i,j}(k \cdot T + i)$ es una estimación de ganancia de canal entre la antena de transmisión j y la antena de recepción j para la sub-portadora $k \cdot T + i$, que es una estimación de $H_{i,j}(k \cdot T + i)$. Dado que cada antena de transmisión tiene asignado un conjunto distinto de L sub-portadoras, la ecuación (11) obtiene las estimaciones de ganancia de canal para cada antena de transmisión i dividiendo los símbolos recibidos desde las L sub-portadoras asignadas a la antena i entre los símbolos transmitidos desde la antena i .

En otro diseño, las ganancias de canal son estimadas en base a la técnica del mínimo error de cuadrados medios (MMSE), según lo siguiente:

$$\hat{H}_{i,j}(k \cdot T + i) = \frac{R_j(k \cdot T + i) \cdot P_i^*(k \cdot T + i)}{|P_i(k \cdot T + i)|^2 + \sigma_N^2(k \cdot T + i)}, \quad \text{para } k = 0, \dots, L-1, \quad \text{Ec. (12)}$$

- 5 donde $\sigma_N^2(k \cdot T + i)$ es la varianza del ruido $N(k \cdot T + i)$ para la sub-portadora $k \cdot T + i$. Para la secuencia de Chu, $|P_i(k \cdot T + i)|^2 = 1$ y el denominador en la ecuación (12) puede ser reemplazado por $1 + \sigma_N^2(k \cdot T + i)$.

Una estimación de ganancia de canal puede ser obtenida en base a la ecuación (11) o (12), o alguna otra ecuación, para cada sub-portadora k de cada par de antenas de transmisión i y antena de recepción j . T.R conjuntos de estimaciones de ganancia de canal pueden ser obtenidos para todas las T antenas de transmisión y las R antenas de recepción, un conjunto para cada par de antenas de transmisión-recepción, incluyendo cada conjunto L estimaciones de ganancia de canal para L sub-portadoras. Cada conjunto de estimaciones de ganancia de canal puede ser transformado con una IDFT de L puntos, para obtener una correspondiente estimación de respuesta de impulso de canal con L tomas, según lo siguiente:

$$\hat{h}_{i,j}(\ell) = \text{IDFT} \{ \hat{H}_{i,j}(k) \}, \quad \text{Ec. (13)}$$

donde $\hat{h}_{i,j}(k)$ es una estimación de respuesta de impulso de canal entre la antena de transmisión j y la antena de recepción j . La estimación de respuesta de impulso de canal también puede ser obtenida a partir de las estimaciones de ganancia de canal, usando cuadrados mínimos, MMSE, MMSE robusto o alguna otra técnica conocida en la tecnología.

Diversos tipos de pos-procesamiento, tales como el truncado, la formación de umbrales, la selección de tomas, etc., pueden ser realizados sobre las L tomas de canal de cada estimación de respuesta de impulso de canal. Para el truncado, se retienen las primeras Q tomas de canal y las restantes $L-Q$ tomas de canal son anuladas con cero, donde Q puede ser seleccionado en base a la dispersión de retardo esperada del canal inalámbrico. Para la formación de umbrales, se anulan con cero las tomas de canal con magnitud por debajo de un umbral, donde el umbral puede ser un valor fijo o un porcentaje específico de la energía total de todas las L tomas de canal. Para la selección de tomas, se retienen las B mejores tomas de canal y todas las otras tomas de canal se anulan con cero, donde B puede ser un valor fijo o un valor configurable, determinado en base a la SNR, etc.

Después de completar el pos-procesamiento, la estimación de respuesta de impulso de canal de L tomas, para cada par de antenas de transmisión-recepción, puede ser rellenada con $N-L$ ceros. Una DFT de N puntos puede ser realizada luego sobre la estimación de respuesta de impulso de canal rellenada con ceros, para obtener N estimaciones de ganancia de canal para las N sub-portadoras del par de antenas de transmisión-recepción. Las estimaciones de ganancia de canal pueden ser usadas para la detección de MIMO de símbolos de datos recibidos y / o para otros fines.

Para los símbolos piloto de FD-CDM, el símbolo recibido desde cada antena de recepción puede ser expresado como:

$$\tilde{R}_j(k) = \sum_{i=0}^{T-1} \tilde{P}_i(k) \cdot H_{i,j}(k) + \tilde{N}_j(k), \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1, \quad \text{Ec. (14)}$$

donde $\tilde{R}_j(k)$ es un símbolo recibido desde la antena de recepción j por la sub-portadora k .

En un diseño, las ganancias de canal se estiman en base a la técnica de cuadrados mínimos, según lo siguiente:

$$\hat{H}_{i,j}(k) = \frac{\tilde{R}_j(k)}{\tilde{P}_i(k)} = H_{i,j}(k) + H_{\text{interf},j}(k) + \tilde{N}_j(k), \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1, \quad \text{Ec. (15)}$$

donde

$$H_{\text{inf},j}(k) = \frac{\sum_{m=0, m \neq i}^{T-1} \tilde{P}_m(k) \cdot H_{m,j}(k)}{\tilde{P}_i(k)}, \quad \text{Ec. (16)}$$

y $\tilde{N}_j(k) = N_j(k) / \tilde{P}_i(k)$ es ruido procesado.

- 5 $H_{\text{inf},j}(k)$ es la interferencia observada por las estimaciones de ganancia de canal $\hat{H}_{i,j}(k)$ para la antena de transmisión i , debida a transmisiones de símbolos piloto desde las otras $T-1$ antenas de transmisión. Para la secuencia ortogonal mostrada en la ecuación (7), la interferencia desde cada antena de transmisión m a la antena de transmisión i puede ser expresada como:

$$\frac{\tilde{P}_m(k) \cdot H_{m,j}(k)}{\tilde{P}_i(k)} = e^{j \frac{2\pi(m-i)k}{T}} \cdot H_{m,j}(k), \quad \text{para } m = 0, \dots, T-1, m \neq i. \quad \text{Ec. (17)}$$

10

Una IDFT de N puntos de la ecuación (17) puede ser expresada como:

$$h_{m,j}(\ell - (m-i) \cdot L) = \text{IDFT} \left\{ e^{j \frac{2\pi(m-i)k}{T}} \cdot H_{m,j}(k) \right\}. \quad \text{Ec. (18)}$$

Las ecuaciones (17) y (18) indican que la interferencia desde la antena de transmisión m a la antena de transmisión i es la respuesta de impulso de canal $h_{m,j}(\ell)$ para la antena de transmisión m , desplazada en $(m-i) \cdot L$ tomas. La magnitud del desplazamiento en $h_{m,j}(\ell)$ es igual a la diferencia en los desplazamientos cíclicos para las antenas de transmisión m e i . L debería por tanto ser mayor que la dispersión de retardo esperada del canal inalámbrico. Una IDFT de N puntos de la ecuación (15) puede luego ser expresada como:

15

$$\hat{h}_{i,j}(\ell) = h_{i,j}(\ell) + h_{\text{inf},j}(\ell) + n(\ell), \quad \text{Ec. (19)}$$

20

donde

$$h_{\text{inf},j}(\ell) = \sum_{m=0, m \neq i}^{T-1} h_{m,j}(\ell - (m-i) \cdot L). \quad \text{Ec. (20)}$$

Las ecuaciones (19) y (20) indican que la estimación de respuesta de impulso de canal, $\hat{h}_{i,j}(\ell)$, entre la antena de transmisión i y la antena de recepción j , incluye la respuesta deseada de impulso de canal $h_{i,j}(\ell)$ más $T-1$ respuestas de impulso de canal desplazadas en el tiempo para las otras $T-1$ antenas de transmisión. La eliminación de las otras secuencias de símbolos piloto en la ecuación (6) puede por tanto ser realizada en el dominio del tiempo, reteniendo las primeras L tomas de canal, que contienen $\hat{h}_{i,j}(\ell)$ para la antena de transmisión i , y descartando las restantes $N-L$ tomas de canal, que contienen $h_{\text{inf},j}(\ell)$ para las otras $T-1$ antenas de transmisión.

25

30

Para la técnica de cuadrados mínimos con una secuencia de Chu que tenga un espectro plano de frecuencia, puede ser realizada una IDFT de N puntos sobre los N símbolos recibidos, $\hat{R}_j(k)$, para N sub-portadoras, después de eliminar la fase de la secuencia de Chu transformada, para obtener N tomas de canal. Para otras secuencias base sin un espectro plano de frecuencia (p. ej., una secuencia de PN), los símbolos recibidos $\hat{R}_j(k)$ pueden ser divididos entre la secuencia base $B_N(k)$ del dominio de la frecuencia y luego transformados con una IDFT de N puntos, para obtener N tomas de canal. Para la secuencia ortogonal mostrada en la ecuación (7), las primeras L tomas de canal pueden ser proporcionadas como la estimación de respuesta de impulso de canal $\hat{h}_{0,j}(\ell)$ para la antena de transmisión 0, las siguientes L tomas de canal pueden ser proporcionadas como la estimación de respuesta de

35

impulso de canal $\hat{h}_{1,j}(\ell)$ para la antena de transmisión 1, y así sucesivamente, y las últimas L tomas de canal pueden ser proporcionadas como la estimación de respuesta de impulso de canal $\hat{h}_{T-1,j}(\ell)$ para la antena de transmisión T – 1.

5 En otro diseño, las ganancias de canal se estiman en base a la técnica de MMSE, según lo siguiente:

$$\hat{H}_{i,j}(k) = \frac{R_j(k) \cdot \tilde{P}_i^*(k)}{|\tilde{P}_i(k)|^2 + \sigma_N^2(k)}, \quad \text{para } k = 0, \dots, N-1. \quad \text{Ec. (21)}$$

10 Una IDFT de N puntos puede ser realizada sobre las N estimaciones de ganancia de canal, a partir de la ecuación (21), para obtener N tomas de canal para T estimaciones de respuesta de impulso de canal para las T antenas de transmisión, según lo descrito anteriormente.

En general, N símbolos recibidos $\tilde{R}_j(\ell)$ desde N sub-portadoras, para cada antena de recepción j, pueden ser procesados con la secuencia base $B_N(k)$ del dominio de la frecuencia, en base a la técnica de cuadrados mínimos, la técnica de MMSE o alguna otra técnica, para obtener N estimaciones iniciales $\hat{H}_{i,j}(k)$ de ganancia de canal. Las N estimaciones iniciales de ganancia de canal pueden ser multiplicadas en el dominio de la frecuencia con la secuencia ortogonal $W_i(k)$ para cada antena de transmisión, para obtener L estimaciones de ganancia de canal para esa antena de transmisión. Las L estimaciones de ganancia de canal para cada antena de transmisión pueden ser transformadas con una IDFT de L puntos, para obtener una estimación $\hat{h}_{i,j}(\ell)$ de respuesta de impulso de canal de L tomas, para esa antena de transmisión. Alternativamente, la eliminación de las otras secuencias de símbolos piloto puede ser realizada en el dominio del tiempo, según lo descrito anteriormente. En cualquier caso, el procesamiento (p. ej., truncado, formación de umbrales, selección de tomas, relleno con ceros, etc.) puede ser realizado sobre la estimación de respuesta de impulso de canal de L tomas, para cada antena de transmisión, para obtener una estimación de respuesta de impulso de canal, rellena con ceros, de N tomas, que puede luego ser transformada con una DFT de N puntos para obtener N estimaciones finales de ganancia de canal para las N sub-portadoras de esa antena de transmisión. El procesamiento puede ser realizado de distintas maneras, según la secuencia base $B_N(k)$ del dominio de la frecuencia y las secuencias ortogonales $W_i(k)$ usadas para los símbolos piloto de FD-CDM. La estimación de canal también puede ser realizada de otras maneras.

30 El ruido de fondo y la interferencia para cada sub-portadora pueden ser estimados en base a los símbolos recibidos y a las estimaciones de ganancia de canal. Para los símbolos piloto de IFDM, el ruido y la interferencia para cada sub-portadora k pueden ser estimados según lo siguiente:

$$\sigma_{N,j}^2(k) = |R_j(k) - \sum_{i=0}^{T-1} P_i(k) \cdot \hat{H}_{i,j}(k)|^2. \quad \text{Ec. (22)}$$

35 donde $\sigma_{N,j}^2(k)$ es la varianza estimada del ruido y la interferencia para la antena de recepción j en la sub-portadora k. El ruido y la interferencia pueden ser estimados de manera similar para los símbolos piloto de FD-CDM, si bien con $R_j(k)$ reemplazado por $\tilde{R}_j(k)$ y $P_i(k)$ reemplazado por $\tilde{P}_i(k)$. La estimación de ruido e interferencia $\sigma_{N,j}^2(k)$ puede ser promediada entre R antenas de recepción para obtener una estimación de ruido e interferencia $\sigma_N^2(k)$ para cada sub-portadora k, que puede ser usada para la detección de MIMO y / o con otros fines. La estimación de ruido e interferencia $\sigma_N^2(k)$ también puede ser promediada sobre todas las sub-portadoras y en el tiempo, para obtener una estimación de ruido e interferencia a largo plazo, que puede ser usada para estimar condiciones operativas y / o con otros fines.

5. Detección de MIMO

45 La estación receptora puede recuperar símbolos de datos enviados por la estación transmisora, en base a diversas técnicas de detección de MIMO, tales como una técnica de MMSE, una técnica de ceros forzados (ZF), una técnica de combinación de razón máxima (MRC), una técnica de ecualización de espacio-frecuencia, etc. Los símbolos de datos recibidos desde las R antenas de recepción para cada sub-portadora k pueden ser expresados como:

$$\mathbf{r}(k) = \mathbf{H}(k) \cdot \mathbf{x}(k) + \mathbf{n}(k) = \sum_{i=0}^{T-1} \mathbf{h}_i(k) \cdot X_i(k) + \mathbf{n}(k), \quad \text{Ec. (23)}$$

donde $\mathbf{r}(k)$ es un vector, de dimensiones $R \times 1$, de símbolos recibidos desde las R antenas de recepción, $\mathbf{x}(k) = [X_0(k) \dots X_{T-1}(k)]^T$ es un vector, de dimensiones $T \times 1$, de símbolos transmitidos, enviados desde las T antenas de transmisión, donde "T" indica una traspuesta,

5 $\mathbf{h}_i(k) = [H_{i,0}(k) \dots H_{i,R-1}(k)]^T$ es un vector, de dimensiones $R \times 1$, de ganancias de canal para la antena de transmisión i ,

$\mathbf{H}(k) = [\mathbf{h}_0(k) \dots \mathbf{h}_{T-1}(k)]$ es una matriz de respuesta de canal de MIMO, de dimensiones $R \times T$, y $\mathbf{n}(k)$ es un vector de ruido, de dimensiones $R \times 1$.

10 Los símbolos transmitidos $X_i(k)$ pueden ser símbolos de datos enviados en el dominio de la frecuencia con OFDM, o la DFT de símbolos de datos enviados en el dominio del tiempo con SC-FDM. Las ganancias de canal en $\mathbf{h}_i(k)$ y $\mathbf{H}(k)$ pueden ser estimadas en base a las transmisiones de símbolos piloto recibidos, según lo descrito anteriormente.

15 Los coeficientes ecualizadores pueden ser obtenidos en base a las técnicas de MMSE, ZF y MRC, de la siguiente manera:

$$\mathbf{w}_i^H(k) = \frac{S_i(k)}{1 + S_i(k) \cdot \mathbf{h}_i^H(k) \cdot \mathbf{\Psi}_i^{-1}(k) \cdot \mathbf{h}_i(k)} \cdot \mathbf{h}_i^H(k) \cdot \mathbf{\Psi}_i^{-1}(k), \quad \text{Ec. (24)}$$

$$\tilde{\mathbf{w}}_i^H(k) = \frac{S_i(k)}{1 + S_i(k) \cdot \mathbf{h}_i^H(k) \cdot \mathbf{h}_i(k)} \cdot \mathbf{h}_i^H(k), \quad \text{Ec. (25)}$$

y

20

$$\tilde{\mathbf{w}}_i^H(k) = \mathbf{h}_i^H(k), \quad \text{Ec. (26)}$$

donde $\mathbf{w}_i^H(k)$ es un vector, de dimensiones $1 \times R$, de coeficientes ecualizadores de MMSE para la antena de

transmisión t , $\tilde{\mathbf{w}}_i^H(k)$ es un vector, de dimensiones $1 \times R$, de coeficientes ecualizadores de ZF para la antena de

transmisión t , $\tilde{\mathbf{w}}_i^H(k)$ es un vector, de dimensiones $1 \times R$, de coeficientes ecualizadores de MRC para la antena
25 de transmisión t , $S_i(k) = E\{|X_i(k)|^2\}$ es un espectro de potencia de $X_i(k)$ enviado desde la antena t , $\mathbf{\Psi}_i(k)$ es una matriz de covarianza de ruido e interferencia, de dimensiones $R \times R$, para la antena i , y "H" indica una traspuesta conjugada.

La matriz de covarianza de ruido e interferencia puede ser expresada como:

30

$$\mathbf{\Psi}_i(k) = \sum_{m=0, m \neq i}^{T-1} S_m(k) \cdot \mathbf{h}_m(k) \cdot \mathbf{h}_m^H(k) + \mathbf{R}(k), \quad \text{Ec. (27)}$$

donde $\mathbf{R}(k) = E\{\mathbf{n}(k) \cdot \mathbf{n}^H(k)\}$ es una matriz de covarianza de ruido, de dimensiones $R \times R$, y $E\{\}$ es una operación de expectación.

35 La matriz de covarianza de ruido puede ser aproximada como $\mathbf{R}(k) = \sigma_N^2(k) \cdot \mathbf{I}$ para ruido no correlacionado, espacialmente y espectralmente, donde $\mathbf{I}$ es una matriz identidad. $\mathbf{R}(k)$ también puede estimarse en base a la ecuación (22).

La detección de MIMO para cada antena de transmisión i puede ser realizada de la siguiente manera:

40

$$Y_i(k) = \mathbf{w}_i^H(k) \cdot \mathbf{r}(k) = B_i(k) \cdot X_i(k) + V_i(k), \quad \text{Ec. (28)}$$

donde $Y_i(k)$ es una estimación sesgada de $X_i(k)$, enviada desde la antena de transmisión i ,

$$B_i(k) = \underline{w}_i^H(k) \cdot \underline{h}_i(k)$$

- 5 $B_i(k)$ es un factor de ajuste a escala para $X_i(k)$, y $V_i(k)$ es ruido e interferencia, tras la detección, para $X_i(k)$.

Los símbolos detectados para cada antena de transmisión i pueden entonces ser expresados como:

$$\hat{X}_i(k) = \frac{Y_i(k)}{B_i(k)} . \quad \text{Ec. (29)}$$

- 10 Los símbolos detectados $\hat{X}_i(k)$ pueden ser proporcionados directamente como estimaciones de símbolos de datos si los símbolos de datos son enviados en el dominio de la frecuencia con OFDM. Los símbolos detectados pueden ser transformados con una IDFT para obtener las estimaciones de símbolos de datos, si los símbolos de datos son enviados en el dominio del tiempo con SC-FDM.

- 15 Los expertos en la técnica entenderán que la información y las señales pueden ser representadas usando cualquiera entre una amplia variedad de distintas tecnologías y técnicas. Por ejemplo, los datos, las instrucciones, los comandos, la información, las señales, los bits, los símbolos y los segmentos que puedan ser mencionados en toda la extensión de la descripción anterior pueden ser representados por voltajes, corrientes, ondas electromagnéticas, campos o partículas magnéticos, campos o partículas magnéticos, o cualquier combinación de los mismos.

- 20 Los expertos apreciarán además que los diversos bloques lógicos ilustrativos, módulos, circuitos y etapas de algoritmo descritos con relación a la divulgación en la presente memoria pueden ser implementados como hardware electrónico, software de ordenador, o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, diversos componentes ilustrativos, bloques, módulos, circuitos y etapas han sido descritos en lo que antecede, generalmente, en términos de su funcionalidad. Si tal funcionalidad es implementada como hardware o software depende de la aplicación específica y de las restricciones de diseño impuestas sobre el sistema global. Los artesanos expertos pueden implementar la funcionalidad descrita de maneras variadas para cada aplicación específica, pero tales decisiones de implementación no deberían ser interpretadas como causantes de un alejamiento del ámbito de la presente divulgación.

- 30 Los diversos bloques lógicos ilustrativos, módulos y circuitos descritos con relación a la divulgación en la presente memoria pueden ser implementados o realizados con un procesador de propósito general, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), una formación de compuertas programables en el terreno (FPGA) u otro dispositivo lógico programable, compuerta discreta o lógica de transistor, componentes discretos de hardware o cualquier combinación de los mismos, diseñada para realizar las funciones descritas en la presente memoria. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador pero, como alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador convencional, controlador, micro-controlador o máquina de estados. Un procesador también puede ser implementado como una combinación de dispositivos informáticos, p. ej., una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores conjuntamente con un núcleo de DSP, o cualquier otra configuración de ese tipo.

- 45 Las etapas de un procedimiento o algoritmo descrito con relación a la divulgación en la presente memoria pueden ser realizadas directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador, o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en memoria RAM, memoria flash, memoria ROM; memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, un disco rígido, un disco extraíble, un CD-ROM o cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocido en la técnica. Un medio de almacenamiento ejemplar está acoplado con el procesador de modo que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. Como alternativa, el medio de almacenamiento puede estar integrado en el procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. Como alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un terminal de usuario.

- 55 Los encabezamientos se incluyen en la presente memoria para referencia y para ayudar a localizar ciertas secciones. Estos encabezamientos no están concebidos para limitar el ámbito de los conceptos descritos bajo los mismos en la presente memoria, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones en toda la extensión de la especificación entera.

La descripción previa de la divulgación se proporciona para permitir a cualquier persona experta en la técnica hacer o usar la divulgación. Diversas modificaciones para la divulgación serán inmediatamente evidentes para los expertos

en la técnica, y los principios genéricos definidos en la presente memoria pueden ser aplicados a otras variaciones sin apartarse del ámbito de la divulgación. Por tanto, la divulgación no está concebida para limitarse a los ejemplos descritos en la presente memoria, sino que ha de acordarse el más amplio ámbito congruente con los principios y características novedosas divulgados en la presente memoria.

5 **Ejemplos adicionales:**

De acuerdo a un aspecto de la invención, se proporciona un aparato que comprende:

10 al menos un procesador para generar una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, comprendiendo cada secuencia de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados, en el dominio del tiempo, por un conjunto distinto de sub-portadoras, y para generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto; y una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.

15 Dicho al menos un procesador puede generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a una secuencia de Chu.

20 Dicho al menos un procesador puede generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor.

Dicho al menos un procesador puede generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a una secuencia de CAZAC (auto-correlación cero de amplitud constante) o una secuencia de números pseudo-aleatorios (PN).

25 Dicho al menos un procesador puede generar una secuencia base extendida repitiendo una secuencia base una pluralidad de veces, y puede generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto aplicando una pluralidad de distintos desniveles de fase a la secuencia base extendida.

30 Dicho al menos un procesador puede generar una secuencia base del dominio del tiempo que comprende una pluralidad de símbolos del dominio del tiempo, transformar la secuencia base del dominio del tiempo para obtener una secuencia base del dominio de la frecuencia, que comprende una pluralidad de símbolos transformados, correlaciona la pluralidad de símbolos transformados con una pluralidad de conjuntos de sub-portadoras para la pluralidad de antenas de transmisión, un conjunto de sub-portadoras para cada antena de transmisión, y puede generar una secuencia de símbolos piloto para cada antena de transmisión, en base a símbolos transformados, en un conjunto de sub-portadoras para la antena de transmisión.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento que comprende:

40 generar una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, comprendiendo cada secuencia de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados en el dominio del tiempo por un conjunto distinto de sub-portadoras; y generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.

45 La generación de la pluralidad de secuencias de símbolos piloto puede comprender generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a una secuencia de Chu, una secuencia CAZAC (de auto-correlación cero de amplitud constante) o una secuencia de números pseudo-aleatorios (PN).

50 La generación de la pluralidad de secuencias de símbolos piloto puede comprender generar una secuencia base extendida repitiendo una secuencia base una pluralidad de veces, y generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto aplicando una pluralidad de distintos desniveles de fase a la secuencia base extendida.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

55 al menos un procesador para recibir una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, mediante una pluralidad de antenas de recepción, comprendiendo cada transmisión de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados en el dominio del tiempo por un conjunto distinto de sub-portadoras, y para procesar la pluralidad de las transmisiones de símbolos piloto recibidos, para obtener estimaciones de canal; y una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.

60 Dicho al menos un procesador puede obtener símbolos recibidos en base a la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos, obtener una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, y puede obtener las estimaciones de canal en base a los símbolos recibidos y a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.

Para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, dicho al menos un procesador puede obtener una pluralidad de conjuntos de símbolos recibidos para una pluralidad de conjuntos de sub-portadoras, en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, ajustar a escala cada conjunto de símbolos recibidos, en base a una correspondiente secuencia de símbolos piloto, para obtener un conjunto de símbolos ajustados a escala, y puede obtener estimaciones de canal para cada antena de transmisión, en base a un conjunto correspondiente de símbolos ajustados a escala.

Para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, dicho al menos un procesador puede obtener una pluralidad de estimaciones de respuesta de impulso de canal, para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, y puede obtener estimaciones de ganancia de canal para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de estimaciones de respuesta de impulso de canal.

Dicho al menos un procesador puede realizar la formación de umbrales en cada estimación de respuesta de impulso de canal, para anular con ceros las tomas de canal con una magnitud por debajo de un umbral, y puede obtener estimaciones de ganancia de canal para cada antena de transmisión, en base a una correspondiente estimación de respuesta de impulso de canal, después de la formación de umbrales.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento que comprende:

recibir una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto mediante una pluralidad de antenas de recepción, comprendiendo cada transmisión de símbolos piloto una pluralidad de símbolos piloto enviados en el dominio del tiempo por un conjunto distinto de sub-portadoras; y procesar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de canal.

El procesamiento de la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos puede comprender obtener símbolos recibidos en base a la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos, obtener una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión y obtener las estimaciones de canal en base a los símbolos recibidos y a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.

El procesamiento de la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos puede comprender, para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, obtener una pluralidad de estimaciones de respuesta de impulso de canal para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, y obtener estimaciones de ganancia de canal para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de estimaciones de respuesta de impulso de canal.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

al menos un procesador para generar una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) de una secuencia de Chu, definida por un valor específico del transmisor, y para generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto; y una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.

Dicho al menos un procesador puede generar la secuencia de Chu con el valor específico del transmisor, y puede generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a la secuencia de Chu.

Dicho al menos un procesador puede generar la secuencia de Chu de la siguiente manera:

$$c(n) = e^{j \frac{\pi \lambda n^2}{N}}$$

donde $c(n)$ es la secuencia de Chu, N es la longitud de la secuencia de Chu, λ es el valor específico del transmisor y n es el índice del tiempo.

Dicho al menos un procesador puede generar cada una de la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a un desplazamiento cíclico distinto de la secuencia de Chu.

Dicho al menos un procesador puede generar una secuencia base del dominio de la frecuencia, en base a la secuencia de Chu, multiplicar la secuencia base del dominio de la frecuencia con una pluralidad de secuencias ortogonales, para obtener una pluralidad de secuencias intermedias, y generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a la pluralidad de las secuencias intermedias.

La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto pueden ser enviadas por el enlace descendente, y las estaciones base vecinas pueden tener asignados distintos valores específicos del transmisor.

- 5 La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto pueden ser enviadas por el enlace ascendente, y los distintos terminales pueden tener asignados distintos valores específicos del transmisor.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento que comprende:

- 10 generar una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) de una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor; y
generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.
- 15 La generación de la pluralidad de secuencias de símbolos piloto puede comprender generar la secuencia de Chu con el valor específico del transmisor, y generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a la secuencia de Chu.

- 20 La generación de la pluralidad de secuencias de símbolos piloto puede comprender generar cada una entre la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a un desplazamiento cíclico distinto de la secuencia de Chu.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

- 25 medios para generar una pluralidad de secuencias de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) de una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor; y
medios para generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en base a la pluralidad de secuencias de símbolos piloto.
- 30 Los medios para generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto pueden comprender medios para generar la secuencia de Chu con el valor específico del transmisor, y medios para generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto en base a la secuencia de Chu.
- 35 Los medios para generar la pluralidad de secuencias de símbolos piloto pueden comprender medios para generar cada una entre la pluralidad de secuencias de símbolos piloto, en base a un desplazamiento cíclico distinto de la secuencia de Chu.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

- 40 al menos un procesador para recibir, mediante una pluralidad de antenas de recepción, una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, generadas en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) de una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor, y para procesar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de canal; y
una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.
- 45 Para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, dicho al menos un procesador puede obtener símbolos recibidos en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, y puede obtener estimaciones de canal para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a los símbolos recibidos.
- 50 Para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, dicho al menos un procesador puede obtener una pluralidad de tomas de canal que comprenden una pluralidad de conjuntos no solapados de tomas de canal, en base a los símbolos recibidos, y puede proporcionar cada uno entre la pluralidad de conjuntos no solapados de tomas de canal como una estimación de respuesta de impulso de canal, para una antena distinta entre la pluralidad de antenas de transmisión.
- 55 Para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, dicho al menos un procesador puede multiplicar los símbolos recibidos con una pluralidad de secuencias ortogonales, para obtener una pluralidad de conjuntos de símbolos para la pluralidad de antenas de transmisión, y puede obtener estimaciones de canal para cada antena de transmisión, en base a un correspondiente conjunto de símbolos.
- 60 Para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, dicho al menos un procesador puede obtener símbolos recibidos en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, ajustar a escala los símbolos recibidos en base a una pluralidad de secuencias de símbolos piloto, determinadas en base a la secuencia de Chu, para obtener una

pluralidad de conjuntos de símbolos ajustados a escala, y puede obtener estimaciones de canal para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de conjuntos de símbolos ajustados a escala.

5 La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos puede ser obtenida mediante el enlace descendente, y en las que las estaciones base vecinas pueden tener asignados distintos valores específicos del transmisor.

La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos puede ser obtenida mediante el enlace ascendente, y en las que distintos terminales pueden tener asignados distintos valores específicos del transmisor.

10 La pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos puede ser obtenida mediante el enlace ascendente, y en las que distintos terminales pueden tener asignado un valor común, específico del transmisor, y distintos desplazamientos cíclicos de una secuencia de símbolos piloto, generada por FD-CDM, de la secuencia de Chu definida por el valor común, específico para el transmisor.

15 De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento que comprende:

recibir, mediante una pluralidad de antenas de recepción, una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, generadas en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) de una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor; y

20 procesar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos para obtener estimaciones de canal.

El procesamiento de la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos puede comprender, para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, obtener símbolos recibidos en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, obtener una pluralidad de tomas de canal que comprenden una pluralidad de conjuntos no solapados de tomas de canal, en base a los símbolos recibidos, y proporcionar cada uno entre la pluralidad de conjuntos no solapados de tomas de canal como una estimación de respuesta de impulso de canal para una antena distinta, entre una pluralidad de antenas de transmisión.

30 El procesamiento de la pluralidad de las transmisiones de símbolos piloto recibidos puede comprender, para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, obtener símbolos recibidos en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, ajustar a escala los símbolos recibidos en base a una pluralidad de secuencias de símbolos piloto, determinadas en base a la secuencia de Chu, para obtener una pluralidad de símbolos ajustados a escala, y obtener estimaciones de canal para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de conjuntos de símbolos ajustados a escala.

35 De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

medios para recibir, mediante una pluralidad de antenas de recepción, una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, generadas en base al multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) de una secuencia de Chu definida por un valor específico del transmisor; y

40 medios para procesar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos, para obtener estimaciones de canal.

45 Los medios para procesar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos pueden comprender, para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, medios para obtener símbolos recibidos en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, medios para obtener una pluralidad de tomas de canal que comprenden una pluralidad de conjuntos no solapados de tomas de canal, en base a los símbolos recibidos, y medios para proporcionar cada uno entre la pluralidad de conjuntos no solapados de tomas de canal, como una estimación de respuesta de impulso de canal, para una antena distinta entre una pluralidad de antenas de transmisión.

50 Los medios para el procesamiento de la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos pueden comprender, para cada transmisión de símbolos piloto recibidos, medios para obtener símbolos recibidos en base a la transmisión de símbolos piloto recibidos, medios para ajustar a escala los símbolos recibidos en base a una pluralidad de secuencias de símbolos piloto, determinadas en base a la secuencia de Chu, para obtener una pluralidad de conjuntos de símbolos ajustados a escala, y medios para obtener estimaciones de canal para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a la pluralidad de conjuntos de símbolos ajustados a escala.

55 De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

60 al menos un procesador para generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a un primer esquema de multiplexado, y para generar una pluralidad de transmisiones de datos para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a un segundo esquema de multiplexado, distinto al primer esquema de multiplexado; y una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.

El primer esquema de multiplexado puede ser el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM) y el segundo esquema de multiplexado puede ser el multiplexado por división de frecuencia de portadora única (SC-FDM), o el multiplexado por división de código (CDM).

5 El primer esquema de multiplexado puede ser el multiplexado por división de frecuencia de portadora única (SC-FDM) y el segundo esquema de multiplexado puede ser el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM) o el multiplexado por división de código (CDM). El primer esquema de multiplexado puede ser el multiplexado por división de código del dominio de la frecuencia (FD-CDM) y el segundo esquema de multiplexado puede ser el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM) o el multiplexado por división de frecuencia de portadora única (SC-FDM).

El primer esquema de multiplexado puede ser el multiplexado intercalado por división de frecuencia (IFDM) y el segundo esquema de multiplexado puede ser el multiplexado localizado por división de frecuencia (LFDM).

15 Dicho al menos un procesador puede enviar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en un primer intervalo temporal y puede enviar la pluralidad de transmisiones de datos en un segundo intervalo temporal, con el multiplexado por división del tiempo (TDM).

20 Dicho al menos un procesador puede enviar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto por un primer conjunto de sub-portadoras, y puede enviar la pluralidad de las transmisiones de datos por un segundo conjunto de sub-portadoras, con el multiplexado por división de frecuencia (FDM).

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento que comprende:

25 generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión, en base a un primer esquema de multiplexado; y

30 generar una pluralidad de transmisiones de datos para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a un segundo esquema de multiplexado, distinto al primer esquema de multiplexado.

El procedimiento puede comprender además:

35 enviar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en un primer intervalo temporal; y
enviar la pluralidad de transmisiones de datos en un segundo intervalo temporal, con el multiplexado por división del tiempo (TDM).

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende:

40 al menos un procesador para recibir una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, generadas en base a un primer esquema de multiplexado, y para recibir una pluralidad de transmisiones de datos, generadas en base a un segundo esquema de multiplexado, distinto al primer esquema de multiplexado, siendo la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto y la pluralidad de transmisiones de datos para una transmisión de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO), enviada desde una pluralidad de antenas de transmisión a una pluralidad de antenas de recepción; y
45 una memoria acoplada con dicho al menos un procesador.

Dicho al menos un procesador puede obtener estimaciones de canal para la pluralidad de antenas de transmisión y la pluralidad de recepción, en base a la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos, y puede realizar la detección de datos para la pluralidad de transmisiones de datos recibidos, en base a las estimaciones de canal.

De acuerdo a un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento que comprende:

55 recibir una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto, generadas en base a un primer esquema de multiplexado; y

60 recibir una pluralidad de transmisiones de datos, generadas en base a un segundo esquema de multiplexado, distinto al primer esquema de multiplexado, siendo la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto y la pluralidad de transmisiones de datos para una transmisión de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO), enviada desde una pluralidad de antenas de transmisión a una pluralidad de antenas de recepción.

El procedimiento puede comprender además:

obtener estimaciones de canal para la pluralidad de antenas de transmisión y la pluralidad de antenas de recepción, en base a la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto recibidos; y

5 realizar la detección de datos para la pluralidad de transmisiones de datos recibidos, en base a las estimaciones de canal.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (110) que comprende:

5 al menos un procesador (214) para generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión (220), en base a un primer esquema de multiplexado, y para generar una pluralidad de transmisiones de datos para la pluralidad de antenas de transmisión, en base a un segundo esquema de multiplexado, distinto al primer esquema de multiplexado,

10 en el que dicho al menos un procesador está además adaptado para enviar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en un primer intervalo temporal, y para enviar la pluralidad de transmisiones de datos en un segundo intervalo temporal, con el multiplexado por división del tiempo, TDM; y

15 una memoria acoplada con dicho al menos un procesador;

caracterizado porque el primer esquema de multiplexado es el multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM, o el multiplexado por división de frecuencia de portadora única, SC-FDM, y el segundo esquema de multiplexado es el multiplexado por división de código, CDM.

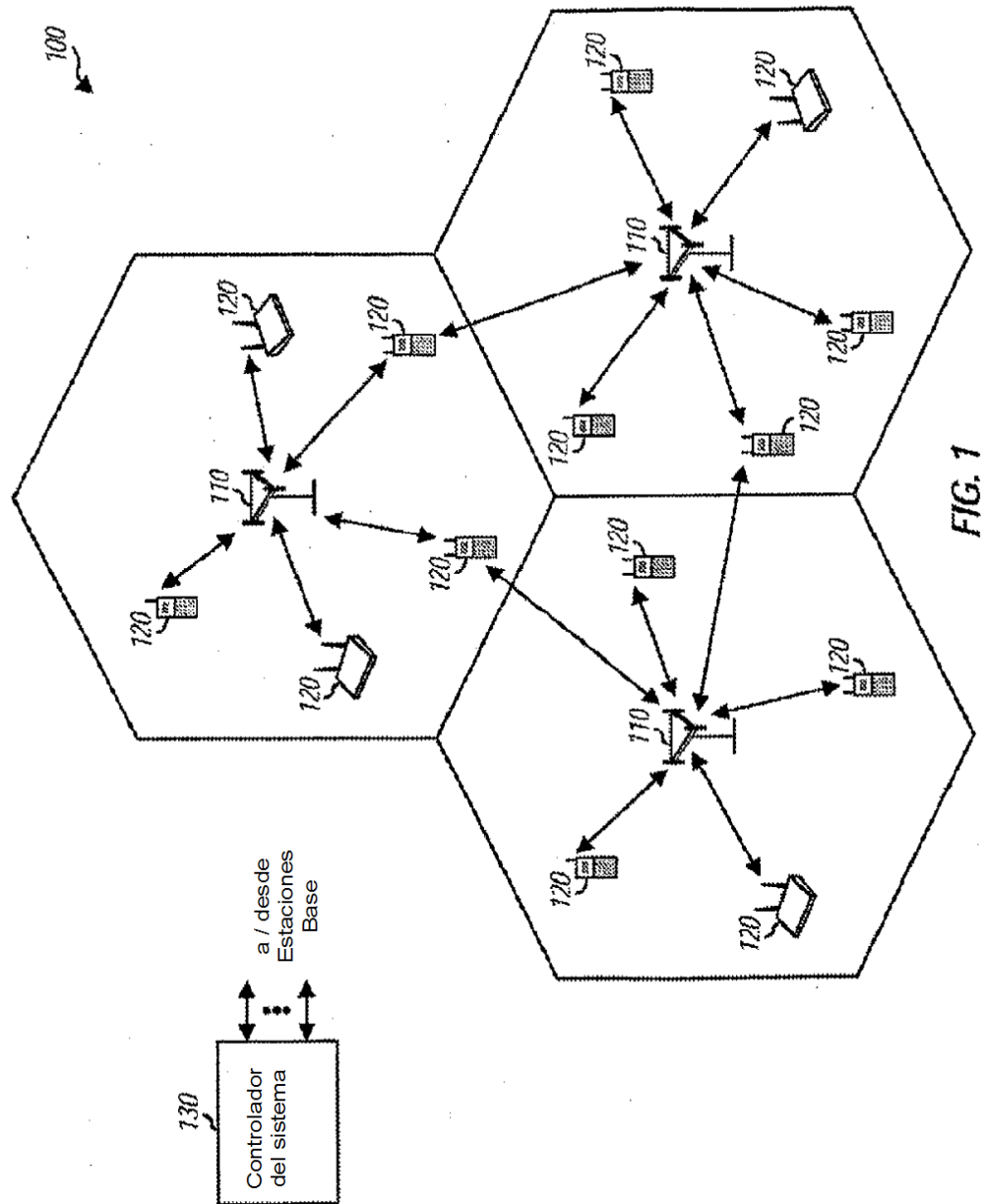
20 2. Un procedimiento que comprende:

generar una pluralidad de transmisiones de símbolos piloto para una pluralidad de antenas de transmisión (220) en base a un primer esquema de multiplexado; y

25 generar una pluralidad de transmisiones de datos para la pluralidad de antenas de transmisión (220) en base a un segundo esquema de multiplexado, distinto al primer esquema de multiplexado; y

30 enviar la pluralidad de transmisiones de símbolos piloto en un primer intervalo temporal, y enviar la pluralidad de transmisiones de datos en un segundo intervalo temporal, con el multiplexado por división del tiempo (TDM);

35 **caracterizado porque** el primer esquema de multiplexado es el multiplexado por división ortogonal de frecuencia, OFDM, o el multiplexado por división de frecuencia de portadora única, SC-FDM, y el segundo esquema de multiplexado es el multiplexado por división de código, CDM.



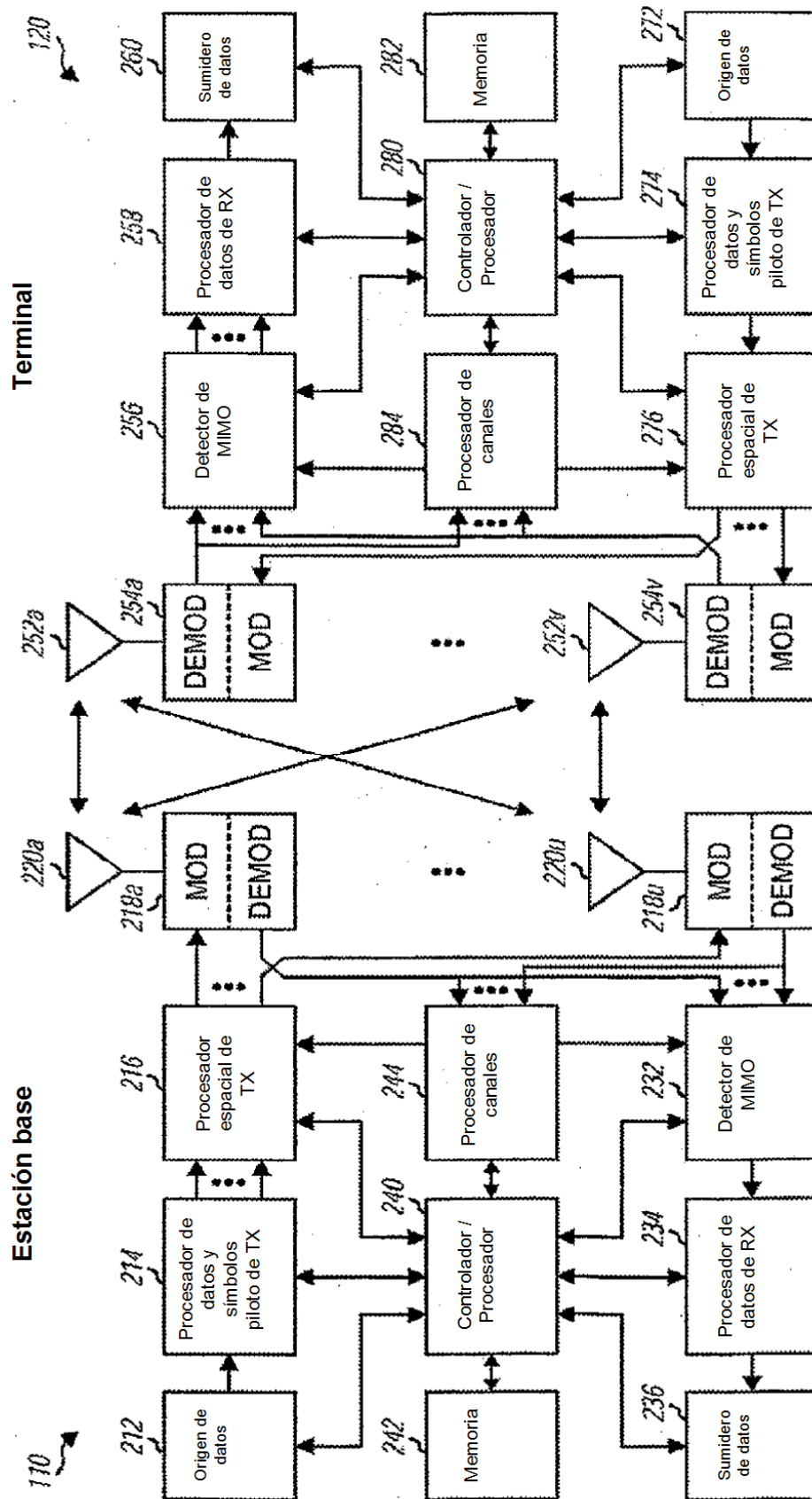


FIG. 2

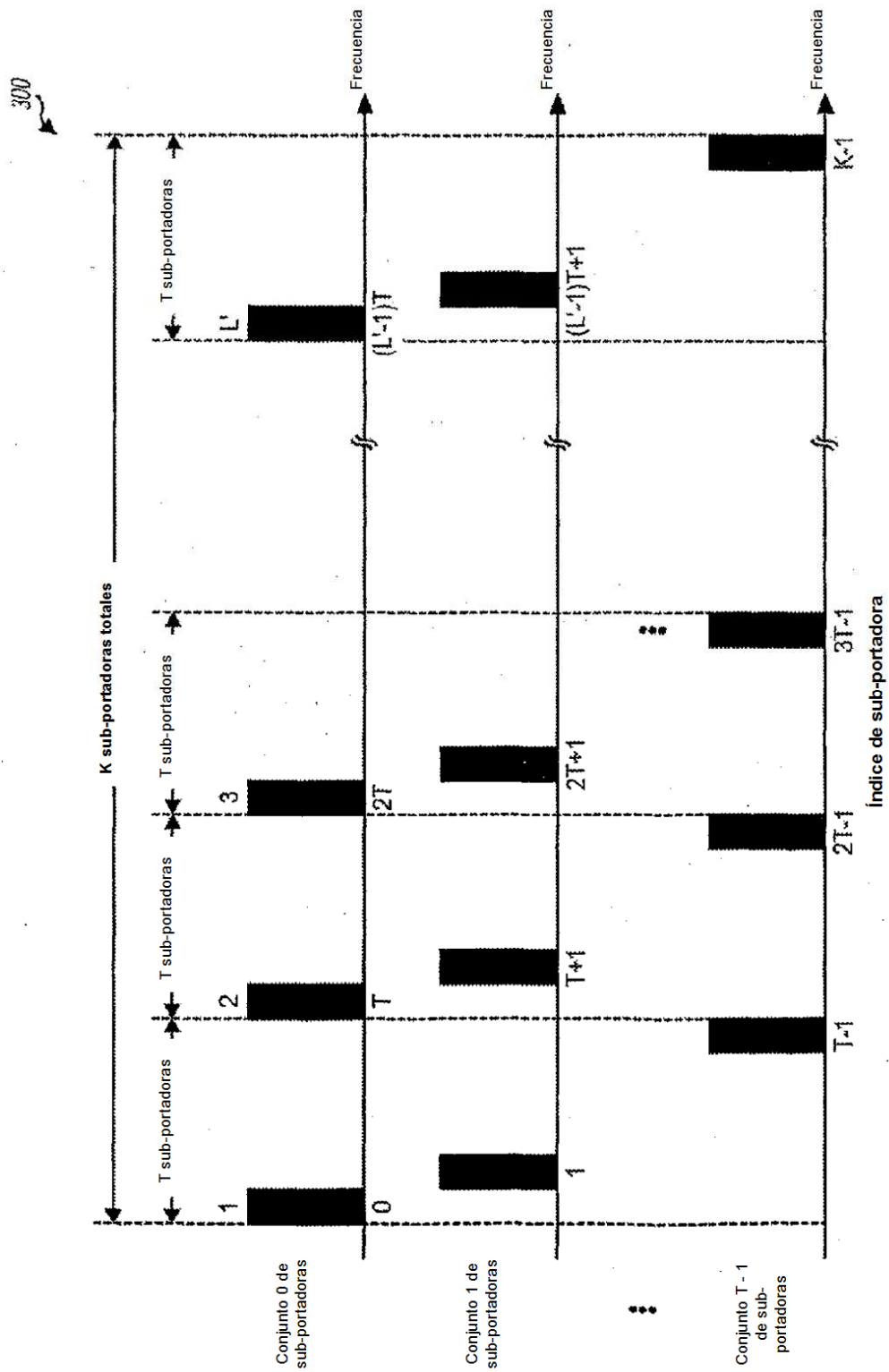


FIG. 3A

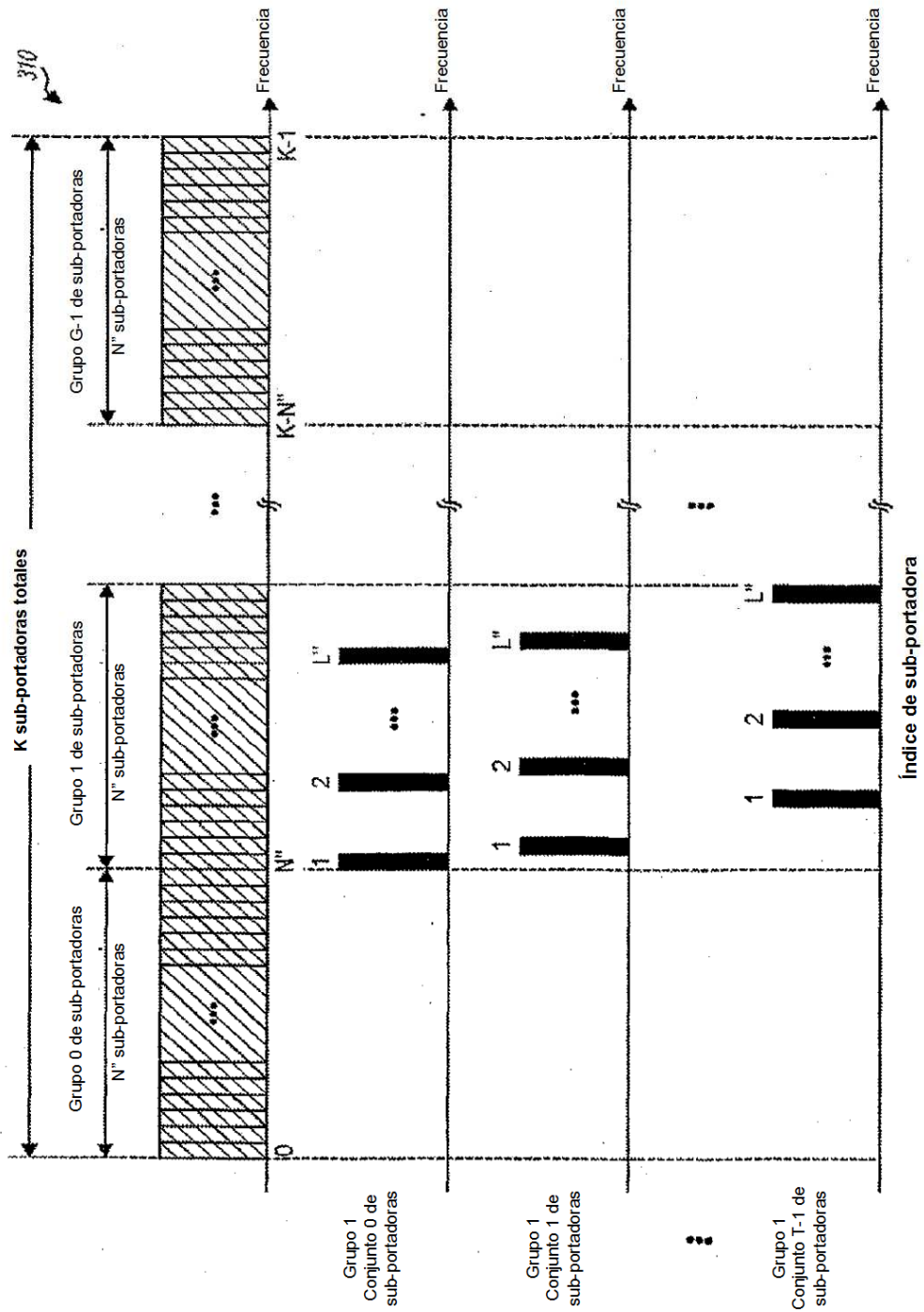
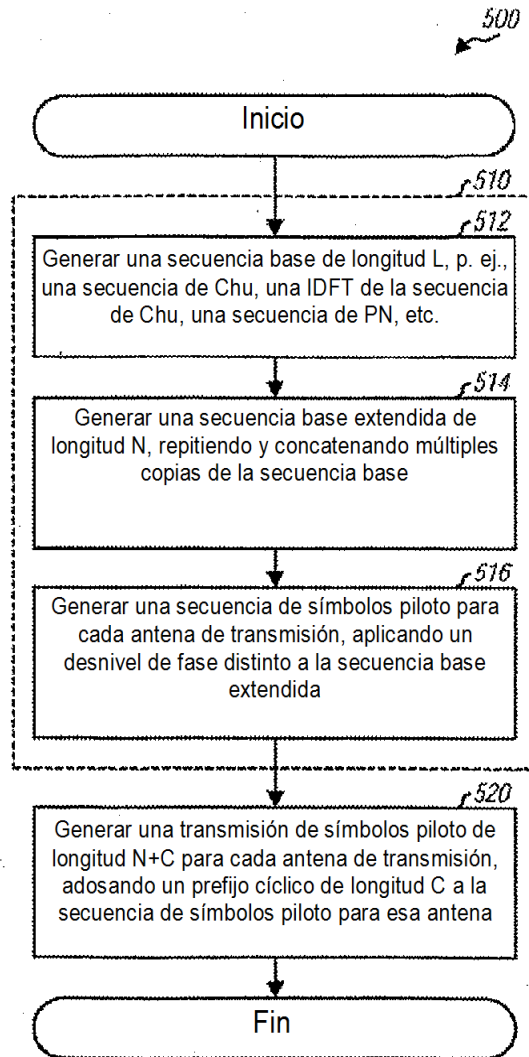
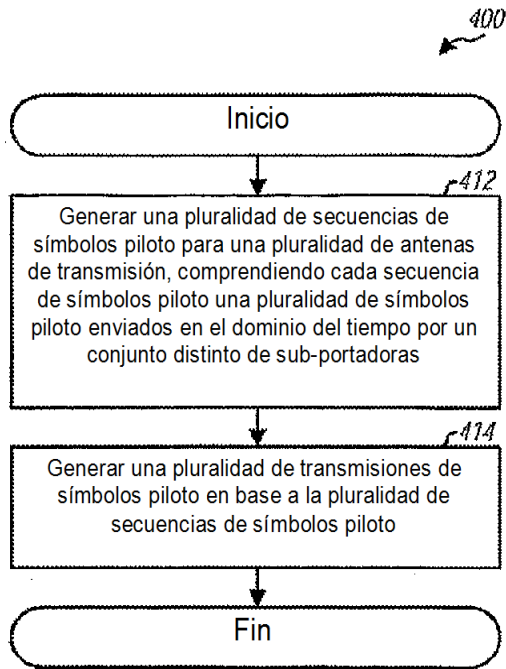


FIG. 3B



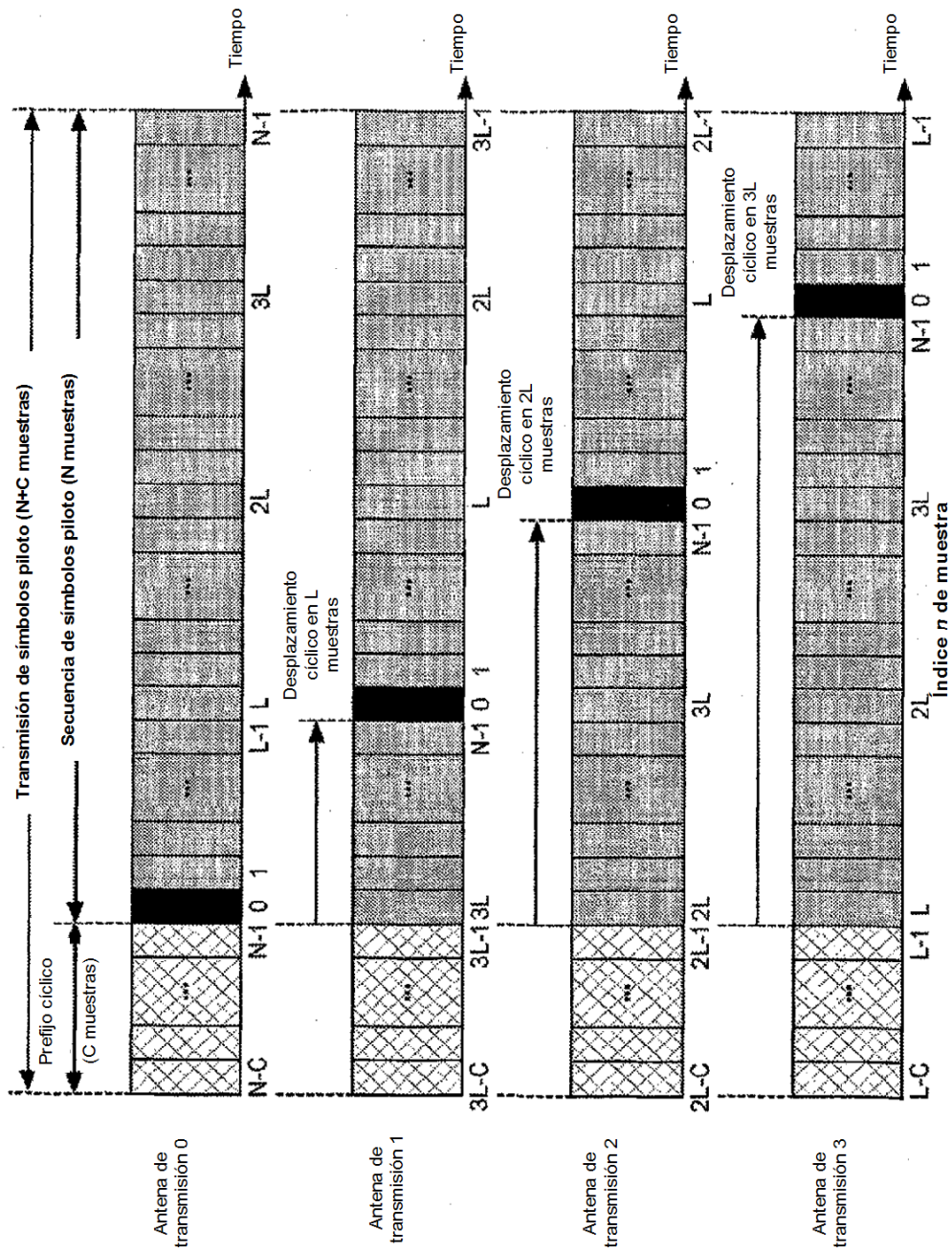


FIG. 6

