

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 519**

51 Int. Cl.:

**H04L 25/02** (2006.01)  
**H04L 27/26** (2006.01)  
**H04B 7/04** (2006.01)  
**H04L 1/00** (2006.01)  
**H04L 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2005 E 12153312 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014 EP 2453619**

54 Título: **Inserción adaptativa de pilotos para un sistema MIMO-OFDM**

30 Prioridad:

**20.07.2004 US 896277**

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

**22.07.2014**

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)  
5775 Morehouse Drive  
San Diego, CA 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

**WALTON, JAY RODNEY y  
WALLACE, MARK S.**

74 Agente/Representante:

**FÀBREGA SABATÉ, Xavier**

**ES 2 478 519 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**

Inserción adaptativa de pilotos para un sistema MIMO-OFDM

5

**ANTECEDENTES**

**I. Campo**

10 La presente invención se refiere en general a comunicación, y más específicamente a técnicas para transmitir pilotos y señalización en un sistema de comunicación de múltiple entrada y múltiple salida (MIMO).

**II. Antecedentes**

15 Un sistema MIMO emplea múltiples antenas de transmisión (T) en una entidad transmisora y múltiples antenas de recepción (R) en una entidad receptora para transmisión de datos. Un canal MIMO formado por las T antenas de transmisión y las R antenas de recepción puede descomponerse en S canales espaciales, en donde  $S \leq \min \{T, R\}$ . Los S canales espaciales pueden utilizarse para transmitir datos en paralelo para lograr un mayor rendimiento y/o de forma redundante para lograr una mayor fiabilidad.

20

La Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM) es una técnica de modulación de múltiples portadoras que divide de forma efectiva el ancho de banda total del sistema en múltiples (K) subbandas de frecuencia ortogonales. Estas subbandas también se denominan tonos, subportadoras, bins, y canales de frecuencia. Con OFDM, cada subbanda se asocia con una subportadora respectiva que puede modularse con datos. Se pueden enviar hasta K símbolos de modulación en las K subbandas en cada periodo de símbolo.

25

Un sistema MIMO-OFDM es un sistema MIMO que utiliza OFDM. El sistema MIMO-OFDM tiene S canales espaciales para cada una de las subbandas de K. Cada canal espacial de cada subbanda puede llamarse "canal de transmisión" y puede utilizarse para transmitir un símbolo de modulación en cada periodo de símbolo. Cada canal de transmisión puede experimentar diferentes condiciones de canal perjudiciales tales como, por ejemplo, desvanecimiento, trayectos múltiples y los efectos de interferencias. Los  $S \cdot K$  canales de transmisión del canal MIMO también pueden experimentar diferentes condiciones de canal y pueden estar asociados con diferentes ganancias complejas y relaciones de señal a ruido e interferencia (SNRs).

30

Para lograr un alto rendimiento, a menudo es necesario caracterizar el canal MIMO. Por ejemplo, la entidad transmisora puede necesitar una estimación de la respuesta del canal MIMO para llevar a cabo procesado espacial (descrito a continuación) para de transmitir datos a la entidad receptora. La entidad que recibe necesita normalmente una estimación de la respuesta del canal MIMO para realizar procesado espacial del receptor de las señales recibidas desde la entidad transmisora con el fin de recuperar los datos transmitidos.

35

40

La entidad transmisora normalmente transmite un piloto para ayudar a la entidad receptora en la realización de una serie de funciones. El piloto se compone típicamente de símbolos de modulación conocidos que se transmiten de una manera conocida. La entidad receptora puede utilizar el piloto para estimación de canal, sincronización y adquisición de frecuencia, detección de datos, y así sucesivamente. Puesto que el piloto representa sobrecarga de datos en el sistema, es deseable minimizar la cantidad de recursos del sistema utilizados para transmitir el piloto. Así, el sistema puede emplear una estructura de pilotos que proporciona una cantidad adecuada de pilotos para la mayoría de las entidades que reciben en condiciones normales (o en la mayoría) de canal. Sin embargo, esta estructura de pilotos puede ser inadecuada para ciertas entidades receptoras bajo condiciones adversas de canal.

45

50

Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de técnicas para transmitir pilotos para diferentes condiciones de canal.

WO 2004/038988 A divulga pilotos adecuados para su uso en sistemas MIMO y capaz de dar soporte a varias funciones. Los diversos tipos de piloto incluyen - pilotos baliza, pilotos MIMO, una referencia dirigida o un piloto dirigido y un piloto de portadora. El piloto de baliza se transmite desde todas las antenas de transmisión y puede ser utilizado para la adquisición de temporización y frecuencia. El piloto MIMO se transmite desde todas las antenas de transmisión, pero está cubierto con diferentes códigos ortogonales asignados a las antenas de transmisión. El piloto MIMO puede utilizarse para estimación de canal. La referencia dirigida se transmite en modos propios específicos de un canal MIMO y es específica del terminal de usuario. La referencia dirigida se puede utilizar para estimación de canal. El piloto de portadora se puede transmitir en sub-bandas/antenas designadas y puede utilizarse para seguimiento de fase de una señal portadora. Se pueden idear varios esquemas de transmisión de pilotos basados en diferentes combinaciones de estos diferentes tipos de piloto.

55

60

WO 03/034646 A divulga un procedimiento y un aparato para combinar símbolos de piloto y canales de Parámetros de Señalización de Transmisión (TPS) dentro de un cuadro OFDM. El procedimiento utiliza codificación diferencial por bloques Espacio-Tiempo para codificar un mensaje de señalización rápida en un transmisor OFDM. En un

65

receptor OFDM, el mensaje de señalización rápida codificado puede ser decodificado usando retroalimentación diferencial para recuperar información acerca de las respuestas de canal que serían transportadas normalmente por símbolos piloto. En la transmisión de datos inalámbrica que emplea modulación y codificación adaptativas, se proporciona una medición instantánea de calidad de canal, con independencia del origen de la interferencia por ejemplo, la interferencia entre células vecinas, ruido térmico blanco o desplazamiento Doppler residual. Usando la correlación entre una señal cuyos símbolos han sido mapeados y una que también ha sido sometida a decodificación suave y re-codificada, se produce un indicador de calidad de canal. Otra realización utiliza datos TPS como símbolos piloto llevando a cabo decodificación TPS y luego re-codificación.

## 10 RESUMEN

La invención está definida por las reivindicaciones independientes.

15 Técnicas para transmitir de manera adaptable y flexible pilotos adicionales, por ejemplo, en base a las condiciones del canal y/u otros factores, con el fin de lograr un buen rendimiento se describen en el presente documento. Una entidad transmisora transmite un piloto "base" en cada unidad de datos de protocolo (PDU). Una entidad receptora es capaz de obtener una estimación de respuesta de canal suficientemente precisa de un canal MIMO entre las entidades transmisora y receptora con el piloto base bajo condiciones nominales de canal (o la mayoría). La entidad transmisora transmite selectivamente un piloto adicional si y cuando es necesario, por ejemplo, en base a las condiciones del canal y/o otros factores. El piloto adicional puede ser insertado de forma adaptativa en cualquier periodo de símbolo en la PDU, a excepción de periodos de símbolo con otras transmisiones designadas. La entidad receptora es capaz de derivar una estimación mejorada de respuesta de canal con el piloto adicional. El piloto base representa una sobrecarga de datos fija y se selecciona para proporcionar un buen rendimiento bajo condiciones nominales de canal (o la mayoría). El piloto adicional puede ser enviado cuando sea necesario y puede proporcionar un buen rendimiento para condiciones de canal adversas, sin tener que incurrir en una sobrecarga de datos fija y alta para el piloto.

La entidad transmisora envía señalización para indicar que un piloto adicional está siendo enviado. Esta señalización puede ser convenientemente incrustada dentro de un piloto de portadora que se transmite sobre un conjunto designado de P subbandas a través de la mayor parte de las PDU (por ejemplo,  $P = 4$ ). Un conjunto de P símbolos de piloto se envía en el conjunto de P subbandas en cada periodo de símbolo en el que se transmite el piloto de portadora. Diferentes conjuntos de P símbolos de piloto pueden estar formados por diferentes valores de señalización, por ejemplo, un valor de señalización para indicar que los símbolos de datos se transmiten en las restantes subbandas utilizables, otro valor de señalización para indicar que los símbolos de piloto adicionales están siendo transmitidos, y así sucesivamente. La señalización para el piloto adicional puede ser enviada mediante la selección de un conjunto apropiado de P símbolos de piloto y el envío de estos P símbolos de piloto en las P subbandas utilizadas para el piloto de portadora. El piloto adicional y su señalización, pueden ser enviados de forma selectiva y simultánea en casi cualquier periodo de símbolo en la PDU. La señalización para el piloto adicional también puede ser enviada de algún otro modo.

40 Varios aspectos y realizaciones de la invención se describen en más detalle a continuación.

## DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS

45 La Figura 1 muestra una estructura de subbandas OFDM utilizada por IEEE 802.11a;  
 La Figura 2 muestra un ejemplo de formato de PDU adecuado para un sistema MIMO;  
 La Figura 3 muestra un proceso para transmitir un piloto adicional;  
 La Figura 4 muestra un proceso para recibir y utilizar el piloto adicional;  
 La Figura 5 muestra un diagrama de bloques de una entidad transmisora y una entidad receptora;  
 50 La Figura 6 muestra un diagrama de bloques de un procesador espacial de transmisión (TX); y  
 La Figura 7 muestra un diagrama de bloques de un procesador de señalización de piloto TX.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA

55 La palabra "ejemplar" se usa aquí con significado "que sirve como ejemplo, caso o ilustración." Cualquier realización descrita en este documento como "ejemplar" no debe interpretarse necesariamente como preferente o ventajosa sobre otras realizaciones.

60 La transmisión de piloto y las técnicas de señalización descritas en este documento pueden ser utilizadas para un sistema de entrada única salida única (SISO), un sistema de una sola entrada y múltiple salida (SIMO), un sistema de múltiple entrada y salida única (MISO) y un sistema MIMO. Estas técnicas se pueden utilizar para un sistema basado en OFDM y para otros sistemas de comunicación de múltiples portadoras. Estas técnicas también se pueden usar con diversas estructuras de subbandas de OFDM. Para mayor claridad, estas técnicas se describen específicamente a continuación para un sistema MIMO-OFDM utilizando la estructura de subbandas de OFDM definida en IEEE 802.11a.

La estructura de subbandas IEEE 802.11 de OFDM divide el ancho de banda total del sistema en 64 subbandas ortogonales (es decir,  $K = 64$ ), a las que se asignan índices de -32 a 31. De estas 64 subbandas, 48 subbandas con índices de  $\pm \{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$  pueden ser usadas para transmisión de datos y piloto y se denominan subbandas "de datos", 4 subbandas con índices de  $\pm \{7, 21\}$  se pueden utilizar para un piloto de portadora y, posiblemente, señalización y se llaman subbandas "de piloto", la subbanda DC con índice de 0 no se utiliza, y las 11 subbandas restantes tampoco se utilizan, y sirven como subbandas de guarda. Por lo tanto, las 64 subbandas totales incluyen 52 subbandas "utilizables" compuestas de 48 subbandas de datos y 4 subbandas piloto y 12 subbandas "no utilizados". Esta estructura de subbandas OFDM se describe en un documento para el estándar IEEE 802.11a titulado "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band", Septiembre de 1999, que está disponible públicamente. En general, un sistema basado en OFDM puede utilizar cualquier estructura de subbandas OFDM con cualquier número de datos, pilotos, y subbandas de guarda.

La Figura 1 muestra un formato de PDU 100 definido por IEEE 802.11 y adecuado para su uso en diversos sistemas de comunicación. En una capa física (PHY) en la pila de protocolos para IEEE 802.11, los datos se procesan y se transmiten en unidades de datos de protocolo (PPDU) de PHY, que también se llaman "thus" en este documento por simplicidad. Cada PDU 110 para IEEE 802.11 incluye una sección de preámbulo 120, una sección de señal 130, y una sección de datos 150. La sección de preámbulo 120 lleva símbolos de entrenamiento cortos y largos que se describen a continuación. La sección de la señal 130 lleva un símbolo OFDM para señalización para la PDU. La sección de datos 150 lleva un número variable de símbolos OFDM para tráfico/paquetes de datos para la PDU. La longitud de la sección de datos 150 se indica mediante la señalización en la sección de señal 130.

La sección preámbulo 120 lleva diez símbolos de entrenamiento cortos enviados en dos períodos de símbolos OFDM seguidos de dos símbolos de entrenamiento largos enviados en dos períodos de símbolos OFDM. Los cuatro símbolos de entrenamiento cortos se forman mediante la realización de una transformada de Fourier discreta inversa (IDFT) en un conjunto específico de 12 símbolos de piloto enviados en 12 subbandas con índices  $\{-24, -20, -16, -12, -8, -4, 4, 8, 12, 16, 20, \text{ y } 24\}$ . Un "símbolo de piloto" es un símbolo de modulación para el piloto y se conoce normalmente *a priori* tanto por la entidad transmisora como receptora. El mismo conjunto de 12 símbolos de piloto se utiliza para todos los símbolos de entrenamiento cortos. Cada símbolo de entrenamiento largo se forma mediante la realización de una IDFT en un conjunto específico de 52 símbolos de piloto enviados en las 52 subbandas utilizables. El mismo conjunto de 52 símbolos de piloto se utiliza también para los dos símbolos largos de entrenamiento. Una entidad receptora puede usar los símbolos de entrenamiento cortos para detección de la señal, estimación imprecisa de la desviación de frecuencia, sincronización de temporización, control automático de ganancia (AGC), y así sucesivamente. La entidad receptora puede usar los símbolos de entrenamiento largos para estimación de canal, estimación precisa de la desviación de frecuencia, y así sucesivamente.

La señalización y los datos se envían en las 48 subbandas de datos en la sección de señal 130 y la sección de datos 150, respectivamente. Un piloto de portadora se envía en las cuatro subbandas piloto en las secciones de señal y de datos. El piloto de portadora se compone de cuatro símbolos de piloto que se envían en las cuatro subbandas piloto a través de las secciones de señal y de datos. Antes de la transmisión, el símbolo de piloto para cada subbanda piloto se multiplica por una secuencia de número pseudoaleatorio (PN) circularmente extendida de 127 chips para generar una secuencia de símbolos predeterminada para esa subbanda de piloto. La entidad receptora puede usar el piloto de portadora para realizar un seguimiento en fase de una señal portadora a lo largo de las secciones de señal y de datos.

La estructura de pilotos mostrada en la Figura 1 comprende diez símbolos de entrenamiento cortos, dos símbolos de entrenamiento largos, y el piloto de portadora. Esta estructura de pilotos es generalmente adecuada para un sistema SINO.

Un sistema MIMO puede utilizar diferentes tipos de pilotos para soportar varias funciones necesarias para el funcionamiento adecuado del sistema, tales como temporización y adquisición de frecuencia, estimación de canal, calibración, etc. La Tabla 1 enumera cuatro tipos de piloto y una descripción corta. Un piloto también se llama una "referencia", y estos dos términos se usan a menudo indistintamente.

Tabla 1 - Tipos de Piloto

Tipo de piloto	Descripción
Piloto de Baliza	Un piloto transmitido desde todas las antenas de transmisión y utilizado para temporización y adquisición de frecuencia
Piloto MIMO no Dirigido	Un piloto transmitido desde todas las antenas de transmisión y utilizado para estimación de canal, con la transmisión piloto desde cada antena de transmisión siendo identificable por una entidad receptora
Piloto MIMO Dirigido	Un piloto transmitido en "modos propio" de un canal MIMO y utilizado para estimación de canal y posiblemente control de tasa
Piloto de Portadora	Un piloto utilizado para el seguimiento de fase de una señal portadora

Los pilotos MIME dirigidos y no dirigidos se describen en detalle a continuación.

La Figura 2 muestra un ejemplo de formato de PDU 200 adecuado para el sistema MIMO. Una PDU 210 para este formato incluye una sección de preámbulo 220, una sección de señal 230, una sección de piloto MIMO 240 y una sección de datos 250. La sección de preámbulo 220 transporta el piloto de baliza. Para la realización mostrada en la Figura 2, el piloto de baliza se compone de diez símbolos de entrenamiento cortos y dos símbolos de entrenamiento largos. La sección de preámbulo 220 es por lo tanto similar a la sección de preámbulo 120 en la Figura 1. La sección de señal 230 transporta la señalización para la PDU 210 y puede incluir (1) un campo que indica si la PDU tiene formato 200 o algún otro formato (por ejemplo, formato 100) y (2) un campo que indica la longitud de la sección de piloto MIMO 240. La sección de piloto MIMO 240 transporta un piloto MIMO "base", que puede ser dirigido o no. El piloto MIMO base se envía normalmente en cada PDU y puede ser transmitido del mismo modo que los datos en la PDU. La sección de datos 250 lleva la PDU de datos para 210. Un piloto de portadora se envía en las cuatro subbandas piloto en la sección de señal 230, la sección de piloto MIMO 240 y la sección de datos 250. Una PDU también puede ser llamada paquete, unidad de datos, marco, ranura, bloque o alguna otra terminología.

El formato PDU 200 incluye una estructura de pilotos de ejemplo para el sistema MIMO. Para reducir la sobrecarga de datos, la estructura de pilotos puede incluir una cantidad de pilotos (el piloto base) mínima (o nominal) necesaria para el funcionamiento adecuado del sistema bajo condiciones de canal normales. Por ejemplo, la sección de piloto MIMO 240 puede transportar T símbolos OFDM para el piloto MIMO para T antenas de transmisión. El piloto adicional puede ser insertado de forma adaptativa y enviado si y cuando es necesario para lograr un rendimiento mejorado. El piloto adicional puede ser beneficioso en determinadas condiciones de canal adversas, tales como aumento de las tasas de desvanecimiento debido al efecto Doppler, a características de interferencias cambiantes, y así sucesivamente. El piloto adicional también puede ser enviado basándose en otros factores, por ejemplo, si la PDU es de una retransmisión porque no se ha recibido un asentimiento (ACK) de una transmisión previa de la PDU. El piloto adicional se puede insertar en la sección de datos de la PDU. Se puede incrustar de forma efectiva señalización para indicar la transmisión del piloto adicional dentro del piloto de portadora, tal y como se describe a continuación, o enviarse en la sección de señal 230.

Un canal MIMO entre una entidad transmisora y una entidad receptora puede estar caracterizado por una matriz R x T de respuesta de canal  $\underline{H}(k)$  para cada subbanda k, que puede expresarse como:

$$\underline{H}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \dots & h_{1,T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \dots & h_{2,T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{R,1}(k) & h_{R,2}(k) & \dots & h_{R,T}(k) \end{bmatrix}, \text{ para } k=1 \dots K, \quad \text{Ec (1)}$$

en donde la entrada  $h_{i,j}(k)$ , para  $i=1 \dots R$  y  $j=1 \dots T$ , denota el acoplamiento o ganancia de canal compleja entre la antena de transmisión j y la antena de recepción i para la subbanda k. Por simplicidad, el canal MIMO se supone que es de rango completo con  $S = T \leq R$ .

La entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{H}(k)$  para cada subbanda k en base a un piloto MIMO no dirigido enviado por la entidad transmisora. El piloto MIMO no dirigido comprende T transmisiones piloto enviadas desde T antenas de transmisión, donde la transmisión piloto desde cada antena de transmisión es identificable por la entidad receptora. Esto puede conseguirse mediante el envío de la transmisión del piloto para cada antena de transmisión con una secuencia ortogonal diferente (por ejemplo, Walsh) utilizando multiplexación de código, en una subbanda diferente utilizando multiplexación de subbanda, en un periodo de símbolo diferente utilizando multiplexación en tiempo, y así sucesivamente. Un piloto MIMO no dirigido enviado mediante multiplexación de código puede ser expresado como:

$$\underline{x}_{piloto}^u(k, n) = \underline{W}(n) \cdot \underline{p}(k, n), \quad \text{para } k \in K_u \quad \text{Ec (2)}$$

en donde  $\underline{p}(k, n)$  es un vector de T símbolos de piloto a enviar desde las T antenas de transmisión en la subbanda k en el periodo de símbolo n;  
 $\underline{W}(n)$  es una matriz diagonal Walsh para T antenas de transmisión en el periodo de símbolo n;  
 $\underline{x}_{piloto}^u(k, n)$  es un vector de símbolos de transmisión para el piloto MIMO no dirigido para la subbanda k en el periodo de símbolo n; y  
 $K_u$  es un conjunto de subbandas en las que se envía el piloto MIMO no dirigido.

Un "símbolo de transmisión " es un símbolo que se envía desde una antena de transmisión. Se puede utilizar la misma matriz Walsh  $\underline{\mathbf{W}}(n)$  para todas las subbandas y por lo tanto puede no ser una función del índice de subbanda  $k$ .

5 Como ejemplo, si  $T = 4$ , entonces a las cuatro antenas de transmisión se les pueden asignar cuatro secuencias Walsh  $W1 = \{1, 1, 1, 1\}$ ,  $W2 = \{1, -1, 1, -1\}$ ,  $W3 = \{1, 1, -1, 1\}$ , y  $W4 = \{1, -1, -1, 1\}$ . La matriz Walsh  $\underline{\mathbf{W}}(1)$  contiene entonces el primer elemento de las cuatro secuencias Walsh a lo largo de su diagonal,  $\underline{\mathbf{W}}(2)$  contiene el segundo elemento de las cuatro secuencias Walsh,  $\underline{\mathbf{W}}(3)$  contiene el tercer elemento de las cuatro secuencias Walsh, y  $\underline{\mathbf{W}}(4)$  contiene el cuarto elemento de las cuatro secuencias Walsh. Las cuatro matrices Walsh  $\underline{\mathbf{W}}(1)$  hasta  $\underline{\mathbf{W}}(4)$  se pueden utilizar en cuatro períodos de símbolos para transmitir el piloto MIMO no dirigido. En general, un piloto no dirigido completo MIMO puede ser enviado en  $T$  (consecutivos o no consecutivos) períodos de símbolos con multiplexación de código, o un período de símbolo para cada chip de la secuencia ortogonal. Al recibir el piloto no dirigido completo MIMO, la entidad receptora puede realizar el procesamiento complementario en el piloto recibido para estimar  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ .

15 La entidad transmisora puede transmitir datos en los  $S$  modos propios de la matriz de respuesta de canal  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  para cada subbanda  $k$  para conseguir rendimiento mejorado. La matriz de respuesta de canal  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  para cada subbanda  $k$  pueden ser "diagonalizada" para obtener los  $S$  modos propios del canal MIMO para esa subbanda. Esta diagonalización puede conseguirse mediante la realización de cualquiera de descomposición en valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  o descomposición en autovalores de una matriz de correlación de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ , que es  $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k) \cdot \underline{\mathbf{H}}(k)$ , donde  $\underline{\mathbf{H}}^H$  denota la transpuesta conjugada de  $\underline{\mathbf{H}}$ . La descomposición en valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{U}}(k) \cdot \underline{\Sigma}(k) \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(k) , \quad \text{Ec(3)}$$

25 en donde  $\underline{\mathbf{U}}(k)$  es una matriz  $R \times R$  unitaria de autovectores izquierdos de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ ;  
 $\underline{\Sigma}(k)$  es una matriz  $R \times T$  diagonal de valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ ; y  
 $\underline{\mathbf{V}}(k)$  es una matriz  $T \times T$  unitaria de autovectores por la derecha de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ .

30 Una matriz unitaria  $\underline{\mathbf{M}}$  se caracteriza por la propiedad  $\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \underline{\mathbf{I}}$ , En donde  $\underline{\mathbf{I}}$  es la matriz identidad. Las columnas de una matriz unitaria son ortogonales entre sí. La entidad transmisora puede usar los autovalores derechos en  $\underline{\mathbf{V}}(k)$  para procesamiento espacial para transmitir datos sobre los  $S$  modos propios de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ . La entidad receptora podrá utilizar los autovalores izquierdos en  $\underline{\mathbf{U}}(k)$  Para el procesamiento espacial del receptor para recuperar los datos transmitidos en los  $S$  modos propios de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ . La matriz diagonal  $\underline{\Sigma}(k)$  contiene valores no negativos reales a lo largo de la diagonal y ceros en otras partes. Estas entradas diagonales se denominan valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  y representan las ganancias de canal para los  $S$  modos propios de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ . La descomposición en valores singulares es descrita por Gilbert Strang en "Linear Algebra and its Applications", segunda edición, Academic Press, 1980.

35 La entidad transmisora puede transmitir un piloto MIMO dirigido tal como sigue:

$$\underline{\mathbf{x}}_{pilot,m}^s(k) = \underline{\mathbf{v}}_m(k) \cdot p_m(k) , \quad \text{para } K \in K_s \quad \text{Ec(4)}$$

40 en donde  $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$  es el  $m$ -ésimo autovector/columna de  $\underline{\mathbf{V}}(k)$ ;  
 $p_m(k)$  es un símbolo de piloto a transmitir en el  $m$ -ésimo modo propio de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ ;  
 $\underline{\mathbf{x}}_{pilot,m}^s(k)$  es un vector de transmisión para el piloto dirigido para el MIMO dirigido para el  $m$ -ésimo modo propio de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ ; y  
 $K_s$  es un conjunto de subbandas en las que se envía el piloto MIMO dirigido.

45 El piloto MIMO dirigido recibido en la entidad receptora puede expresarse como:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_{pilot,m}^s(k) &= \underline{\mathbf{H}}(k) \cdot \underline{\mathbf{x}}_{pilot,m}^s(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \\ &= \underline{\mathbf{U}}(k) \cdot \underline{\Sigma}(k) \cdot \underline{\mathbf{V}}^H(k) \cdot \underline{\mathbf{v}}_m(k) \cdot p_m(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \quad \text{para } K \in K_s. \quad \text{Ec (5)} \\ &= \underline{\mathbf{u}}_m(k) \cdot \sigma_m(k) \cdot p_m(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) , \end{aligned}$$

50 en donde  $\underline{\mathbf{r}}_{pilot}^s(k)$  es un vector de símbolos recibidos para el piloto MIMO dirigido para el  $m$ -ésimo modo propio de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ ;  
 $\sigma_m(k)$  es el  $m$ -ésimo elemento diagonal de  $\underline{\Sigma}(k)$ ; Y

$\underline{u}_m(k)$  es el m-ésimo autovector/columna de  $\underline{U}(k)$ .

Un "símbolo recibido" es un símbolo obtenido de una antena de recepción. La entidad transmisora puede transmitir una piloto MIMO dirigido completo en todos los S modos propios de  $\underline{H}(k)$  en S periodos de símbolo, por ejemplo, en un modo propio por cada período de símbolo utilizando multiplexación en el tiempo como se muestra en la ecuación (4). La entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{U}(k)$ , una columna a la vez, sobre la base del piloto MIMO dirigido enviado utilizando multiplexación en el tiempo, tal y como se muestra en la ecuación (5).

La entidad transmisora puede transmitir también el piloto MIMO dirigido en todos los S modos propios de  $\underline{H}(k)$  simultáneamente en S periodos de símbolo que utilizan multiplexación de código. El piloto MIMO dirigido con multiplexación de código puede ser expresado como:

$$\underline{x}_{\text{pilot}}^T(k, n) = \underline{V}(k, n) \cdot \underline{W}(n) \cdot \underline{p}(k, n), \quad \text{para } k \in K_s \quad \text{Ec (6)}$$

en donde  $\underline{V}(k, n)$  es una matriz de autovalores derechos de  $\underline{H}(k, n)$  para la subbanda  $k$  en el período de símbolo  $n$ . La entidad receptora puede obtener una estimación de  $\underline{U}(k, n)$  después de recibir el piloto MIMO dirigido completo.

La entidad transmisora puede transmitir también el piloto MIMO dirigido completo para todos los S modos propios de  $\underline{H}(k)$  en S subbandas  $k$  hasta  $k + S - 1$  en un periodo de símbolo utilizando multiplexación de subbanda. La entidad transmisora puede transmitir también el piloto MIMO dirigido en menos de S modos propios. Por ejemplo, la entidad transmisora puede transmitir el piloto MIMO dirigido en el mejor o principal modo propio en un período de símbolo, en los dos mejores modos propios en dos períodos de símbolos, y así sucesivamente.

En general, la entidad transmisora puede transmitir los pilotos MIMO dirigido y no dirigido de diversas maneras utilizando multiplexación de, código, subbanda, y/o tiempo. La multiplexación de código permite a la entidad transmisora utilizar la máxima potencia de transmisión disponible para cada antena de transmisión para la transmisión del piloto, lo que puede mejorar el rendimiento de estimación de canal.

El piloto adicional puede ser un piloto MIMO, tal y como se describió anteriormente. El piloto adicional también puede ser algún otro tipo de piloto. Por ejemplo, la entidad transmisora puede transmitir un único flujo de símbolos de piloto en un único modo propio o dirigir un único flujo de símbolos de piloto de alguna otra manera. Este piloto adicional se puede utilizar, por ejemplo, para conducir la desviación de temporización, corregir la desviación de frecuencia residual, y así sucesivamente.

La estructura de pilotos incluye el piloto base (por ejemplo, sección de piloto MIMO 240 en la Figura 2) que proporciona un buen rendimiento bajo condiciones nominales de canal. Esto resulta en una baja sobrecarga de datos para el piloto. Pueden transmitirse pilotos adicionales si y cuando es necesario. La cantidad de pilotos adicionales a enviar, así como la colocación del piloto adicional dentro de una PDU puede adaptarse de forma flexible en base a las condiciones del canal y/o otros factores. Por ejemplo, se pueden enviar una mayor cantidad de pilotos adicionales en condiciones más adversas de canal. El piloto adicional se puede enviar en o cerca del comienzo de una PDU, lo que puede simplificar la estimación de canal y la detección de datos y puede reducir aún más los requisitos de almacenamiento temporal. El piloto adicional también puede ser dispersado a lo largo de una PDU, lo que puede mejorar el rendimiento de un canal cambiante en el tiempo.

Haciendo referencia a la Figura 2, pueden ser enviados cuatro símbolos de piloto en las cuatro subbandas piloto en cada periodo de símbolo en la sección de datos 250. Estos símbolos de piloto pueden ser utilizados para indicar/señalar el contenido que se envía en las 48 subbandas de datos. Si cada símbolo de piloto está formado por B bits, a continuación, hasta  $2^{4B}$  diferentes valores de señalización pueden ser determinados con los cuatro símbolos de piloto enviados en las cuatro subbandas de piloto. Por ejemplo, usando modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK), cada símbolo de piloto está formado por un bit, y hasta  $2^4 = 16$  valores diferentes de señalización pueden determinarse con los cuatro símbolos de piloto.

En general, el rendimiento de detección para la señalización incrustada en los cuatro símbolos de piloto se degrada en proporción a la cantidad de valores de señalización definidos para estos símbolos de piloto. La entidad receptora recibe versiones ruidosas de los cuatro símbolos de piloto y necesita determinar el valor de señalización específico enviado por la entidad transmisora en base a estos símbolos de piloto recibidos ruidosos. La entidad receptora puede calcular una métrica (por ejemplo, una distancia) entre los símbolos de piloto recibidos y el conjunto de símbolos de piloto para cada valor de señalización válida. La entidad receptora selecciona entonces el valor de señalización con la mejor métrica (por ejemplo, la distancia más corta) como el valor enviado por la entidad transmisora. La detección de error es más probable cuando hay más valores válidos de señalización entre los que elegir.

En una realización, los cuatro símbolos de piloto se usan para indicar si se envían datos o pilotos adicionales en el símbolo OFDM. La Tabla 2 muestra un conjunto de señalización de ejemplo para esta forma de realización con cuatro bits  $b_1, b_2, b_3$  y  $b_4$  transportados por los cuatro símbolos de piloto con BPSK.

Tabla 2

Bits	Valor	Definición
$b_1b_2b_3b_4$	'0000'	Se están enviando datos en el símbolo OFDM
	'1111'	Se está enviando un piloto MIMO en el símbolo OFDM

5 El piloto MIMO adicional puede ser dirigido o no dirigido, por ejemplo, puede ser enviado en la misma manera que los símbolos de datos en la PDU. Un "símbolo de datos" es un símbolo de modulación para datos.

10 En otra realización, los bits 4B se utilizan para indicar si un piloto adicional está siendo enviado en el símbolo OFDM y, en caso afirmativo, la información específica para el piloto adicional. La Tabla 3 muestra un conjunto de señalización de ejemplo para esta realización con cuatro bits  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  y  $b_4$  transportados por los cuatro símbolos de piloto con BPSK.

Tabla 3

Bits	Valor	Definición
$b_1b_2$	'00'	Se están enviando datos en el símbolo OFDM
	'01'	Se está enviando un piloto MIMO dirigido en el símbolo OFDM
	'10'	Se está enviando un piloto MIMO no dirigido en el símbolo OFDM
	'11'	Reservado
$b_3$	'0'	Se está enviando un piloto adicional con multiplexación de código
	'1'	Se está enviando un piloto adicional con multiplexación de subbanda
$b_4$	'0'	Se está enviando un piloto adicional en 48 subbandas de datos
	'1'	Se está enviando un piloto adicional en 24 subbandas de datos

15 Para la realización mostrada en la Tabla 3, los bits  $b_1$  y  $b_2$  indican si un piloto MIMO no dirigido, un piloto MIMO dirigido o ningún piloto adicional se están enviando en el símbolo OFDM. El bit  $b_3$  indica si el piloto MIMO se envía utilizando multiplexación de código/tiempo o multiplexación de subbanda. Para la multiplexación de código, el piloto MIMO se envía a lo largo de múltiples periodos de símbolo utilizando múltiples secuencias ortogonales. Por ejemplo, un piloto MIMO no dirigido se puede enviar desde cuatro antenas de transmisión en cuatro periodos de símbolo utilizando secuencias Walsh de 4 chips, tal y como se muestra en la ecuación (2). Un piloto MIMO dirigido puede ser enviado por los cuatro modos propios simultáneamente en cuatro periodos de símbolo utilizando secuencias Walsh de 4 chips, tal y como se muestra en la ecuación (6). Para la multiplexación de subbandas, el piloto MIMO se envía en múltiples subbandas en un período de símbolo. Por ejemplo, se puede enviar un piloto MIMO no dirigido desde las cuatro antenas de transmisión en cuatro subbandas diferentes en un período de símbolo (por ejemplo, desde la antena de transmisión 1 en la subbanda  $k$ , desde la antena de transmisión 2 en la subbanda  $k + 1$ , desde la antena de transmisión 3 en la subbanda  $k + 2$ , y desde la antena de transmisión 4 en la subbanda  $k + 3$ ). Un piloto MIMO dirigido puede ser enviado en cuatro modos propios utilizando cuatro subbandas diferentes en un período de símbolo (por ejemplo, en modo propio 1 utilizando la subbanda  $k$ , en modo propio 2 utilizando la subbanda  $k + 1$ , en modo propio 3 utilizando la subbanda  $k + 2$  y en modo propio 4 utilizando la subbanda  $k + 3$ ). El bit  $b_4$  indica el número de subbandas utilizadas para el piloto adicional. Por ejemplo, se pueden enviar símbolos de piloto adicionales en todas las 48 subbandas de datos o en sólo 24 subbandas de datos (por ejemplo, cada subbanda de datos).

35 Las Tablas 2 y 3 muestran dos realizaciones específicas de la señalización incrustadas en las cuatro subbandas de pilotos con cuatro bits usando BPSK. En general, pueden utilizarse los bits 4B para el piloto de portadora para transmitir cualquier tipo de información para el piloto adicional, tal como (1) si el piloto adicional está siendo enviado, (2) el tipo de piloto adicional que está siendo enviado (por ejemplo, piloto MIMO no dirigido, piloto MIMO dirigido y así sucesivamente), (3) la forma en que está siendo enviado el piloto (por ejemplo, multiplexación de código, multiplexación de subbanda, multiplexación en el tiempo, y así sucesivamente), (4) el número de subbandas utilizado para el piloto adicional (por ejemplo, todas, media, un cuarto, o algún otro número de subbandas de datos) y (5) posiblemente otra información pertinente. Más valores de señalización proporcionan más flexibilidad en la transmisión del piloto adicional. Sin embargo, el rendimiento de detección es también peor con más valores de señalización. Podría llegarse a una solución de compromiso entre rendimiento de detección y flexibilidad de inserción de pilotos.

45



La señalización adicional para el piloto en una PDU dada también se puede enviar en la sección de señal 230 de la PDU. Esta señalización puede indicar alguna o todas las informaciones posibles indicadas anteriormente para el piloto adicional. Por otra parte, esta señalización puede indicar los períodos de símbolos específicos en los que se ha enviado el piloto adicional (por ejemplo, en el medio de la sección de datos 250, en todos los cuartos de la sección de datos, en cada periodo de símbolo L-ésimo, y así sucesivamente).

El piloto de portadora puede ser utilizado para enviar señalización adicional para el piloto, tal y como se describió anteriormente. El piloto de portadora también puede ser utilizado para enviar otros tipos de señalización, tales como, por ejemplo, la tasa (por ejemplo, codificación y esquema de modulación) que se utiliza para una PDU que se está enviando, la tasa a utilizar para el otro enlace (por ejemplo, enlace descendente o de enlace ascendente), información de control de potencia (por ejemplo, comandos de control de potencia ARRIBA y ABAJO utilizados para ajustar la potencia de transmisión), parámetros de transmisión (por ejemplo, los canales de tráfico asignados, subbandas de frecuencia, etc.), un asentimiento (ACK) o un asentimiento negativo (NAK) para una PDU recibida a través del otro enlace, un conjunto de estaciones base a utilizar para la comunicación, y así sucesivamente. Los diferentes tipos de señalización pueden tener diferentes requisitos de fiabilidad y pueden emplear diferentes esquemas de codificación y/o distintos conjuntos de señalización. Independientemente del tipo de señalización a enviar, la entidad transmisora puede enviar de forma conveniente esta señalización en las subbandas de piloto, y la entidad receptora puede detectar rápidamente esta señalización.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de un proceso 300 realizado por la entidad transmisora para enviar pilotos adicionales. El proceso 300 puede realizarse para cada PDU. La entidad transmisora y multiplexa y transmite el piloto base en la PDU (bloque 310). La entidad transmisora determina también si se transmiten o no pilotos adicionales en la PDU, por ejemplo, en base a las condiciones del canal y/u otros factores (bloque 312). Si el piloto adicional no se va a enviar en la PDU, tal y como se determina en el bloque 314, entonces la entidad transmisora procesa y transmite la PDU de la manera normal, sin ningún piloto adicional (bloque 316). Por el contrario, si se va a enviar el piloto adicional, entonces la entidad transmisora determina la cantidad, el tipo, la ubicación, y así sucesivamente, de la piloto adicional a enviar en la PDU, por ejemplo, en base a las condiciones del canal y/u otros factores (bloque 318). La entidad transmisora envía entonces la señalización adicional para el piloto en la PDU, por ejemplo, incrustada en los símbolos de piloto enviados en las cuatro subbandas piloto (bloque 320). La entidad transmisora también multiplexa y transmite el piloto adicional tal y como se indica mediante la señalización (bloque 322). La entidad transmisora también procesa y transmite la PDU a la vista del piloto adicional (bloque 324). Por ejemplo, la longitud de la PDU puede ser extendida por la cantidad de pilotos adicionales que se envía en la PDU.

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo de un proceso 400 realizado por la entidad receptora para recibir y utilizar el piloto adicional. El proceso 400 también se puede realizar para cada PDU. La entidad receptora recibe el piloto base (por ejemplo, el piloto MIMO enviado en la sección piloto MIMO 240) y deriva una estimación de respuesta de canal MIMO basado en el piloto base recibido (bloque 410). La entidad receptora recibe la señalización adicional para el piloto, por ejemplo, a partir de los símbolos de piloto enviados en las cuatro subbandas piloto (bloque 412). La entidad receptora determina si el piloto adicional está siendo enviado o no sobre la base de la señalización recibida (bloque 414). Si no está siendo enviado un piloto adicional, entonces el proceso pasa al bloque 420. De lo contrario, la entidad receptora recibe y demultiplexa el piloto adicional tal y como se indica mediante la señalización recibida (bloque 416). La entidad receptora a continuación, deriva estimación de respuesta de canal MIMO mejorada con el piloto adicional (bloque 418). La entidad receptora usa la estimación de respuesta de canal para realizar la detección de datos en símbolos de datos recibidos para la PDU (bloque 420).

La Figura 5 muestra un diagrama de bloques de una entidad transmisora 510 y una entidad receptora 550 en un sistema MIMO 500. La entidad transmisora 510 puede ser un punto de acceso o un terminal de usuario. La entidad receptora 550 también puede ser un punto de acceso o un terminal de usuario.

En la entidad transmisora 510, un procesador de datos TX 512 procesa (por ejemplo, codifica, entrelaza, y asigna símbolos) tráfico/paquetes de datos para obtener símbolos de datos. Un procesador espacial TX 520 recibe y demultiplexa los símbolos de piloto y de datos en las subbandas apropiadas, realiza el procesado espacial adecuado y proporciona T flujos de símbolos de transmisión para las T antenas de transmisión a T moduladores OFDM (Mod) 530a hasta 530t. Cada modulador OFDM 530 realiza modulación OFDM de un flujo respectivo de símbolos de transmisión y proporciona un flujo de muestras a una unidad transmisora asociada (TMTR) 532. Cada unidad transmisora 532 procesa (por ejemplo, convierte a analógico, amplifica, filtra, y convierte de forma ascendente en frecuencia) su corriente de muestras para generar una señal modulada. Las unidades transmisoras 532a hasta 532t proporcionan T señales moduladas para T antenas transmisoras 534a hasta 534t, respectivamente.

En la entidad receptora 550, R antenas 552a hasta 552r reciben las T señales de transmisión, y cada antena 552 proporciona una señal recibida a una unidad receptora respectiva (RCVR) 554. Cada unidad receptora 554 procesa la señal recibida y proporciona una corriente de muestras correspondiente a un demodulador OFDM asociado (Demod) 560. Cada demodulador 560 OFDM realiza demodulación OFDM en su flujo de muestras y proporciona símbolos de datos recibidos a un procesador espacial recepción (RX) 570 y los símbolos de piloto recibidos a un estimador de canal 584 dentro de un controlador 580. El estimador de canal 584 deriva estimaciones de respuesta de canal para el canal MIMO entre la entidad transmisora 510 y la entidad receptora 550 para subbandas utilizadas

para la transmisión de datos. Las estimaciones de respuesta de canal se pueden derivar con el piloto base y/o el piloto adicional enviado la entidad transmisora 510. El controlador 580 también deriva matrices de filtro espacial basadas en las estimaciones de respuesta de canal MIMO. El procesador espacial RX 570 lleva a cabo un procesamiento espacial de receptor (o filtrado espacial adaptado) sobre los símbolos de datos recibidos para cada subbanda con la matriz de filtrado espacial derivada para esa subbanda y proporciona símbolos de datos detectados para la subbanda. Cada símbolo de datos detectado es una estimación de un símbolo de datos enviado por la entidad transmisora 510. Un procesador de datos RX 572 procesa entonces los símbolos de datos detectados para todas las subbandas y proporciona datos decodificados.

Los controladores 540 y 580 controlan el funcionamiento de las unidades de procesamiento en la entidad transmisora 510 y la entidad receptora 550, respectivamente. Las unidades de memoria 542 y 582 almacenan datos y/o códigos de programa utilizados por los controladores 540 y 580, respectivamente.

La Figura 6 muestra un diagrama de bloques de una realización del procesador espacial TX 520 en la entidad transmisora 510. Dentro del procesador 520, un procesador de datos espacial TX 610 recibe y realiza un procesamiento espacial en los símbolos de datos para su transmisión a través de las T antenas de transmisión o los S modos propios de cada subbanda de datos. El procesador de datos espacial TX 610 proporciona T flujos de símbolos de datos procesados espacialmente para las T antenas de transmisión a los T multiplexores de símbolos (Mux) 640a hasta 640t. Un procesador espacial de pilotos TX 620 realiza un procesamiento espacial en los símbolos de piloto y proporciona (1) un piloto MIMO no dirigido para su transmisión por las T antenas de transmisión o (2) un piloto MIMO dirigido para su transmisión en un máximo de S modos propios de cada subbanda utilizada para la transmisión de pilotos. Un procesador espacial de pilotos TX 620 proporciona símbolos procesados espacialmente de piloto para las T antenas de transmisión de símbolos a T multiplexores de símbolos 640a hasta 640t.

Un procesador de señalización de pilotos TX 630 genera señalización para el piloto adicional, si hay alguno, que se está enviando. Para la realización mostrada en la Figura 6, la señalización para el piloto adicional está integrada dentro de los símbolos de piloto enviados en las cuatro subbandas piloto para el piloto de portadora. El procesador de señalización de pilotos TX 630 proporciona símbolos de piloto de portadora, con la señalización incrustada en su interior, a través de multiplexores de símbolos 640a hasta 640t. Cada multiplexor 640 recibe símbolos y multiplexa los símbolos de datos procesados espacialmente, los símbolos de piloto procesados espacialmente y los símbolos de piloto de portadora para su antena de transmisión en la subbanda y periodo de símbolo apropiados. Los T multiplexores de símbolos 640a hasta 640t proporcionan T flujos para transmitir los símbolos de las T antenas de transmisión a los T moduladores OFDM 530a hasta 530t.

Cada modulador OFDM 530 realiza la modulación OFDM de un flujo respectivo de símbolos de transmisión y proporciona un correspondiente flujo de símbolos OFDM. Para cada periodo de símbolo, cada modulador 530 OFDM obtiene K valores de dominio de frecuencia, por ejemplo, para 48 símbolos de datos y/o piloto a enviar en las 48 subbandas de datos, cuatro símbolos de piloto de portadora a enviar en las cuatro subbandas piloto, y 12 valores de señal cero para las 12 subbandas no utilizadas. Una unidad de transformada rápida de Fourier inversa (IFFT) 650 transforma los K valores del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo con una IFFT de K puntos y proporciona un símbolo "transformado" que contiene K chips en el dominio del tiempo. Para combatir la interferencia entre símbolos (ISI), que es causada por el desvanecimiento selectivo de frecuencia, un generador de prefijo cíclico 652 repite una parte de cada símbolo transformado para formar un símbolo OFDM correspondiente. La parte repetida se denomina a menudo prefijo cíclico o intervalo de guarda. Un periodo de símbolo OFDM (o simplemente, un periodo de símbolo) es la duración de un símbolo OFDM.

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques de una realización del procesador de señalización de pilotos TX 630. El controlador 540 proporciona un valor para el piloto de señalización adicional para una tabla de consulta de señalización (LUT) 710, que proporciona entonces cuatro símbolos de piloto correspondientes a ese valor de señalización a cuatro multiplicadores 712a hasta 712d. Cada multiplicador 712 también recibe una secuencia PN desde un generador PN 714 y, para cada periodo de símbolos, multiplica el símbolo de piloto para ese periodo de símbolo con el valor PN para ese periodo de símbolo para generar un símbolo de piloto mezclado. Los multiplicadores 712a hasta 712d proporcionan cuatro símbolos de piloto mezclados para las cuatro subbandas experimentales a T multiplexores de símbolos 640a hasta 640t. Cada multiplexor de símbolos 640i, para  $i = 1 \dots T$ , multiplexa los símbolos de piloto mezclados en las cuatro subbandas de piloto de empleadas para el piloto de portadora y multiplexa nuevos datos procesados espacialmente y símbolos de piloto para la antena de transmisión  $i$  en las subbandas de datos.

Las técnicas de transmisión del piloto y de señalización que se describen en este documento pueden implementarse por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas pueden implementarse en hardware, software, o una combinación de los mismos. Para una implementación hardware, las unidades de procesamiento utilizadas para transmitir pilotos adicionales y señalización pueden ser implementadas dentro de uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores digitales de señal (DSPs), dispositivos de procesamiento digital de señal (DSPDs), dispositivos lógicos programables (PLDs), matrices de puertas programables (FPGAs), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria, o una combinación de los mismos. Las unidades de procesamiento utilizadas para recibir el

piloto de señalización adicional también pueden implementarse dentro de uno o más ASICs, DSPs, y así sucesivamente.

5 Para una implementación software, las técnicas descritas en este documento pueden implementarse con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, y así sucesivamente) que realicen las funciones descritas en este documento. Los códigos software pueden ser almacenados en una unidad de memoria (por ejemplo, las unidades de memoria 542 y/o 582 en la Figura 5) y ser ejecutados por un procesador (por ejemplo, el controlador 540 y/o 580 en la Figura 5). La unidad de memoria puede implementarse dentro del procesador o externa al procesador, en cuyo caso puede estar acoplada de forma comunicativa al procesador a través de diversos medios tal y como se conoce en la técnica.

10 La descripción anterior de las realizaciones descritas se proporciona para permitir a cualquier experto en la técnica realizar o utilizar la presente invención. Diversas modificaciones a estas realizaciones serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica y los principios genéricos aquí definidos pueden aplicarse a otras realizaciones sin alejarse del alcance de la invención. Por lo tanto, la presente invención no pretende estar limitada a las realizaciones aquí mostradas, sino que debe concedérsele el más amplio alcance coherente con las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento (300) de transmisión de pilotos en un sistema de comunicación de múltiples salidas - múltiples entradas, MIMO, que comprende:
  - 5 transmitir (310) en cada unidad de datos de protocolo, PDU, de una capa física un primer piloto adecuado para derivar una estimación de una respuesta de un canal MIMO entre una entidad transmisora y una entidad receptora;
 

transmitir selectivamente (322) en cada PDU un piloto adicional adecuado para derivar una estimación mejorada de la respuesta del canal MIMO; y
  - 10 transmitir (320) señalización para indicar que el piloto adicional se está transmitiendo;
 

en donde el piloto adicional es enviado en un primer conjunto de subbandas de frecuencia en un periodo de símbolo seleccionado para la transmisión de pilotos adicionales, y en el que la señalización se envía al mismo tiempo que el piloto adicional por un segundo conjunto de subbandas de frecuencia en el período de símbolo.
- 15 2. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además:
 

determinar si hay que transmitir el piloto adicional sobre la base de uno o más factores, incluyendo condiciones del canal MIMO.
3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el segundo conjunto de subbandas de frecuencia es para un piloto portador adecuado para el seguimiento de fase de una señal portadora utilizada por la
 20 entidad transmisora.
4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el primer piloto y el piloto adicional son pilotos MIMO no dirigidos enviados desde una pluralidad de antenas en la entidad transmisora y sin procesamiento espacial por la entidad transmisora.
5. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el primer piloto y el piloto adicional son pilotos MIMO dirigidos enviados en los canales espaciales ortogonales del canal MIMO.
 25
6. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el piloto adicional se envía en todas las subbandas utilizables para la transmisión de datos.
7. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el piloto adicional se envía en un subconjunto de las subbandas utilizables para la transmisión de datos.
- 30 8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que cada PDU se extiende a lo largo de una pluralidad de periodos de símbolo designados para la transmisión de datos, y en el que el piloto adicional se transmite de manera selectiva en cada uno de la pluralidad de periodos de símbolo.
9. Un aparato (510) en un sistema de comunicación de múltiples salidas - múltiples entradas, MIMO, que comprende:
 35 medios para transmitir (620, 532, 534) en cada unidad de datos de protocolo, PDU, de una capa física un primer piloto adecuado para derivar una estimación de una respuesta de un canal MIMO entre una entidad transmisora y una entidad receptora;
 

medios para transmitir (620, 532, 534) selectivamente en cada PDU un piloto adicional adecuado para derivar una estimación mejorada de la respuesta del canal MIMO; y
- 40 medios para transmitir señalización (620, 532, 534) para indicar que el piloto adicional se está transmitiendo;
 

en donde el piloto adicional es enviado en un primer conjunto de subbandas de frecuencia en un periodo de símbolo seleccionado para la transmisión de pilotos adicionales, y en el que la señalización se envía al mismo tiempo que el piloto adicional por un segundo conjunto de subbandas de frecuencia en el período de símbolo.
- 45 10. El aparato según la reivindicación 9, en el que cada PDU se extiende a lo largo de una pluralidad de periodos de símbolo designados para la transmisión de datos, y en el que el piloto adicional se transmite de manera selectiva en cada uno de la pluralidad de periodos de símbolo.

11. Un procedimiento (400) de recepción de piloto en un sistema de comunicación de múltiples salidas - múltiples entradas, MIMO, que comprende:
- 5 recibir (410) un primer piloto transmitido en cada unidad de datos de protocolo, PDU, de una capa física y adecuado para derivar una estimación de una respuesta de un canal MIMO entre una entidad transmisora y una entidad receptora;
- recibir (416) un piloto adicional transmitido selectivamente en cada PDU y adecuado para derivar una estimación mejorada de la respuesta del canal MIMO; y
- recibir (412) señalización que indica si el piloto adicional se transmite en cada PDU;
- 10 en el que el piloto adicional se recibe en un primer conjunto de subbandas de frecuencia en un periodo de símbolo y la señalización se recibe al mismo tiempo que el piloto adicional por un segundo conjunto de subbandas de frecuencia en el período de símbolo.
12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que cada PDU se extiende a lo largo de una pluralidad de periodos de símbolo designados para la transmisión de datos, y en el que el piloto adicional se transmite de manera selectiva en cada uno de la pluralidad de periodos de símbolo.
- 15 13. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que el primer piloto y el piloto adicional son pilotos MEVIO no dirigidos enviados desde una pluralidad de antenas en la entidad transmisora y sin procesamiento espacial por la entidad transmisora.
14. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que el primer piloto y el piloto adicional son pilotos MIMO dirigidos enviados en los canales espaciales ortogonales del canal MIMO.
- 20 15. Un aparato (550) en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, que comprende:
- medios (552, 554) para recibir un primer piloto transmitido en cada unidad de datos de protocolo, PDU, de una capa física y adecuado para derivar una estimación de una respuesta de un canal MIMO entre una entidad transmisora y una entidad receptora; y
- 25 medios (552, 554) para recibir un piloto adicional transmitido selectivamente en cada PDU y adecuado para derivar una estimación mejorada de la respuesta del canal MIMO;
- medios (552, 554) para recibir señalización que indica si el piloto adicional se está transmitiendo en cada PDU;
- 30 en el que los medios para recibir un piloto adicional están adaptados para recibir el piloto adicional por un primer conjunto de subbandas de frecuencia en un periodo de símbolo y en el que los medios para recibir señalización están adaptados para recibir la señalización al mismo tiempo que el piloto adicional por un segundo conjunto de subbandas de frecuencia en el periodo de símbolo.

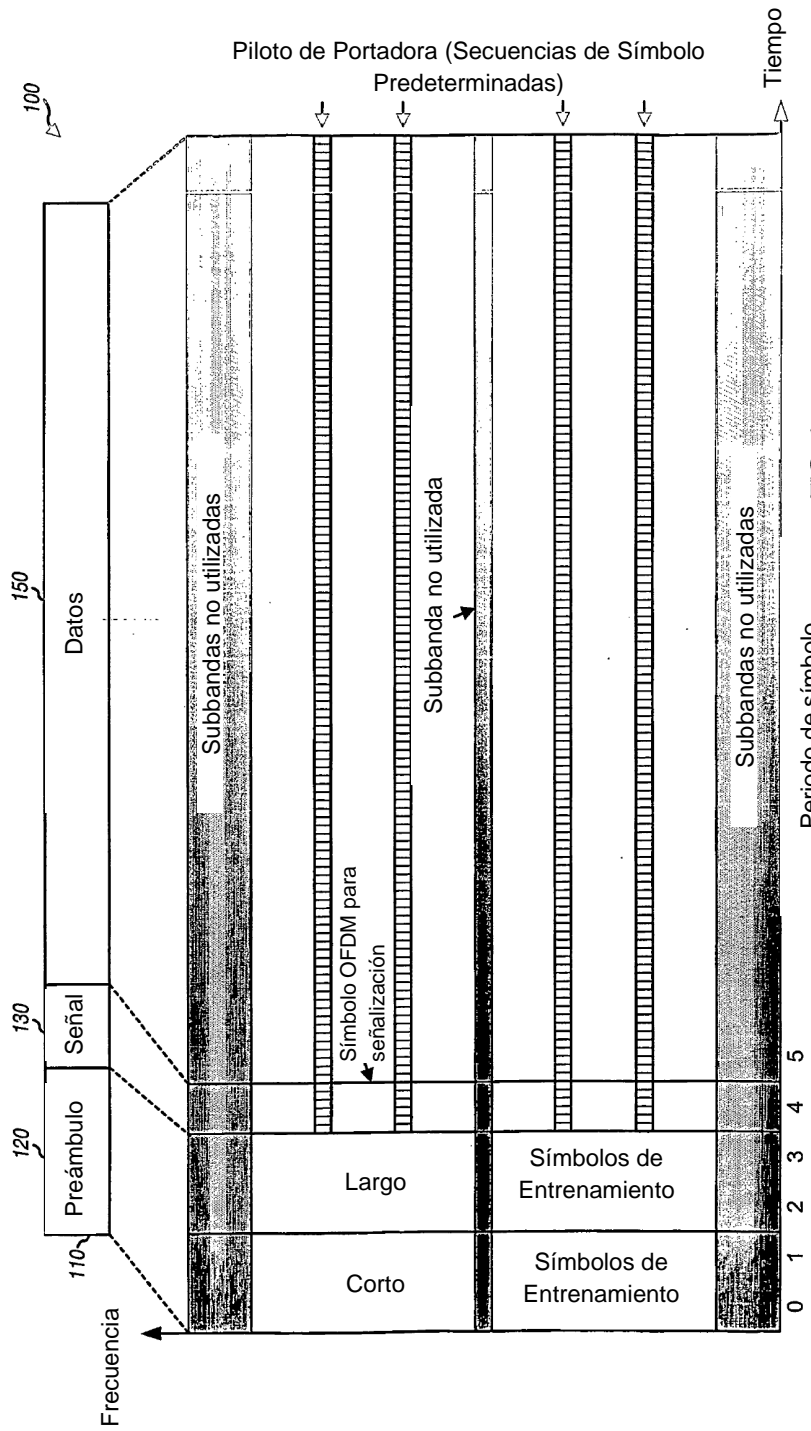


FIG. 1

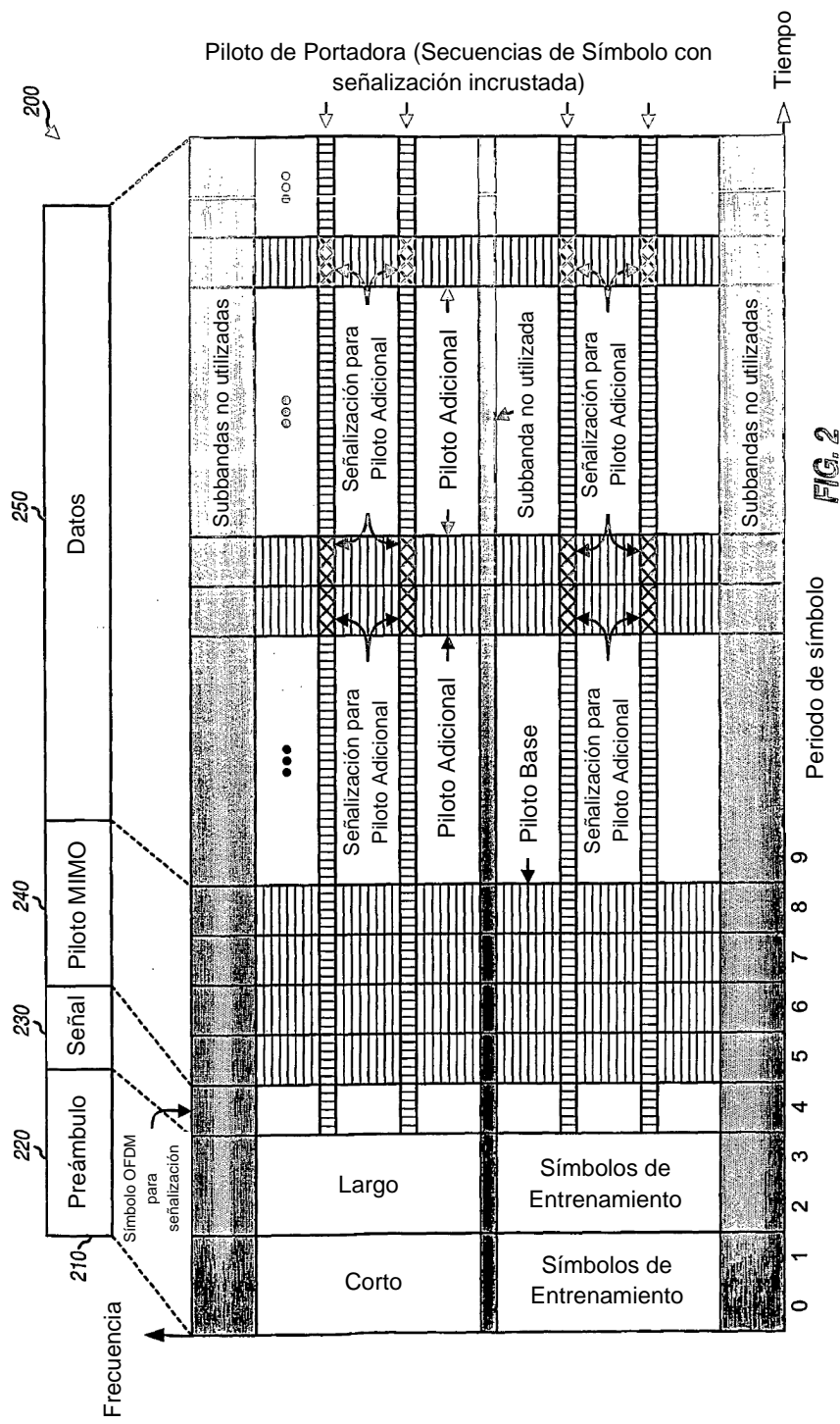
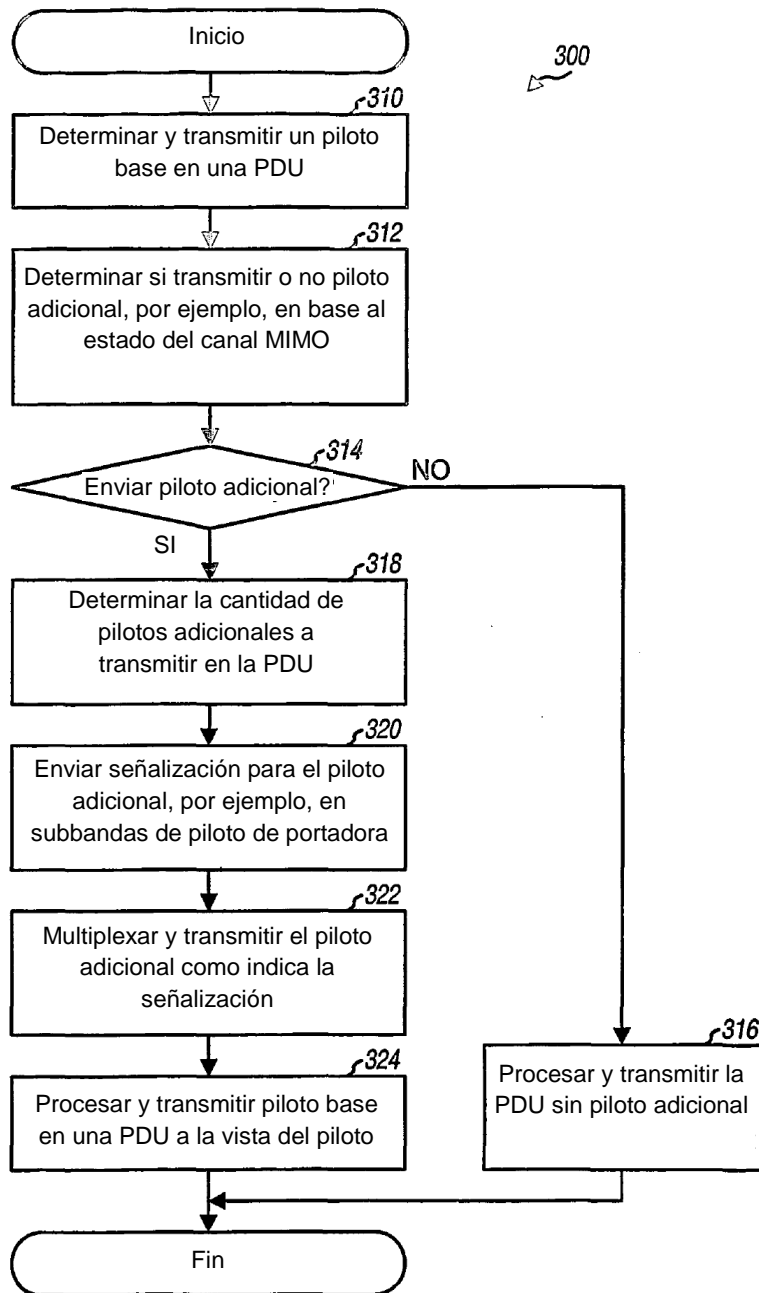
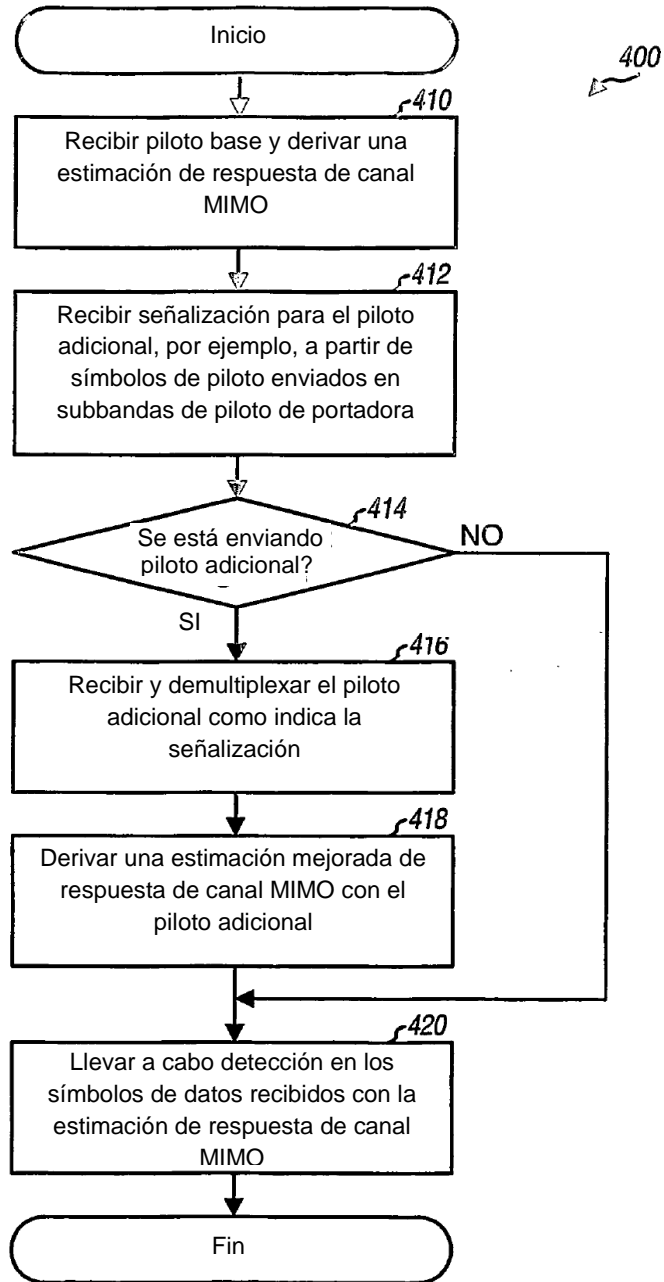


FIG. 2



**FIG. 3**





**FIG. 4**

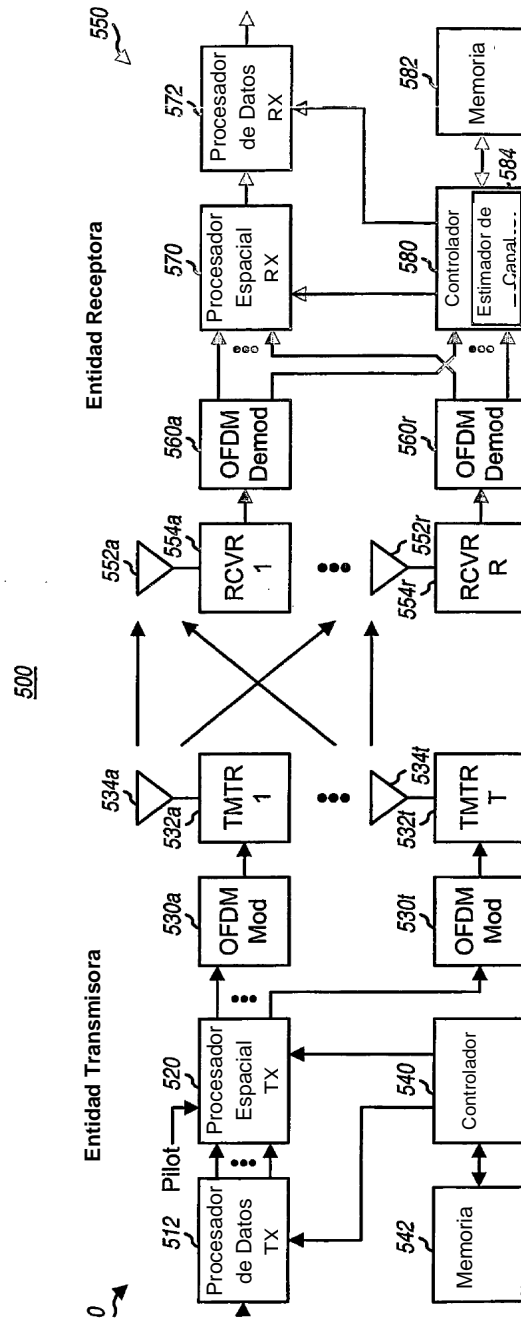


FIG. 5

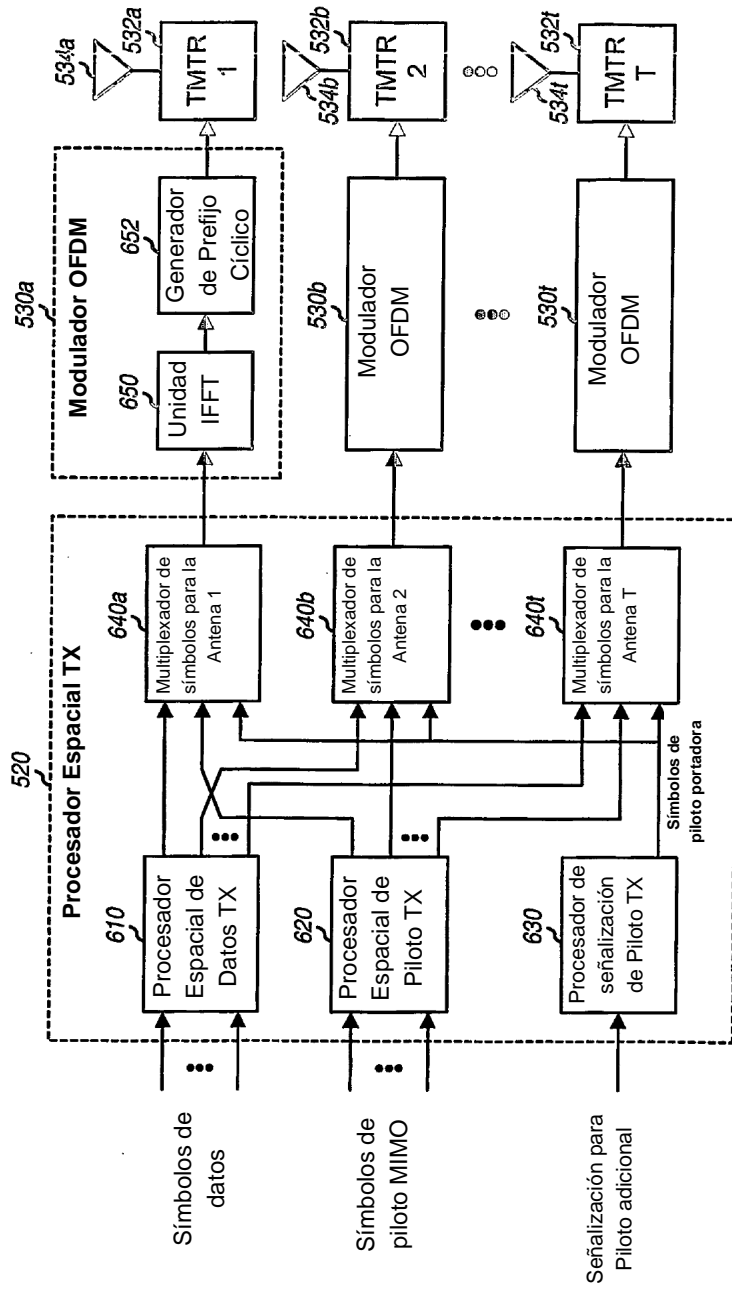


FIG. 6

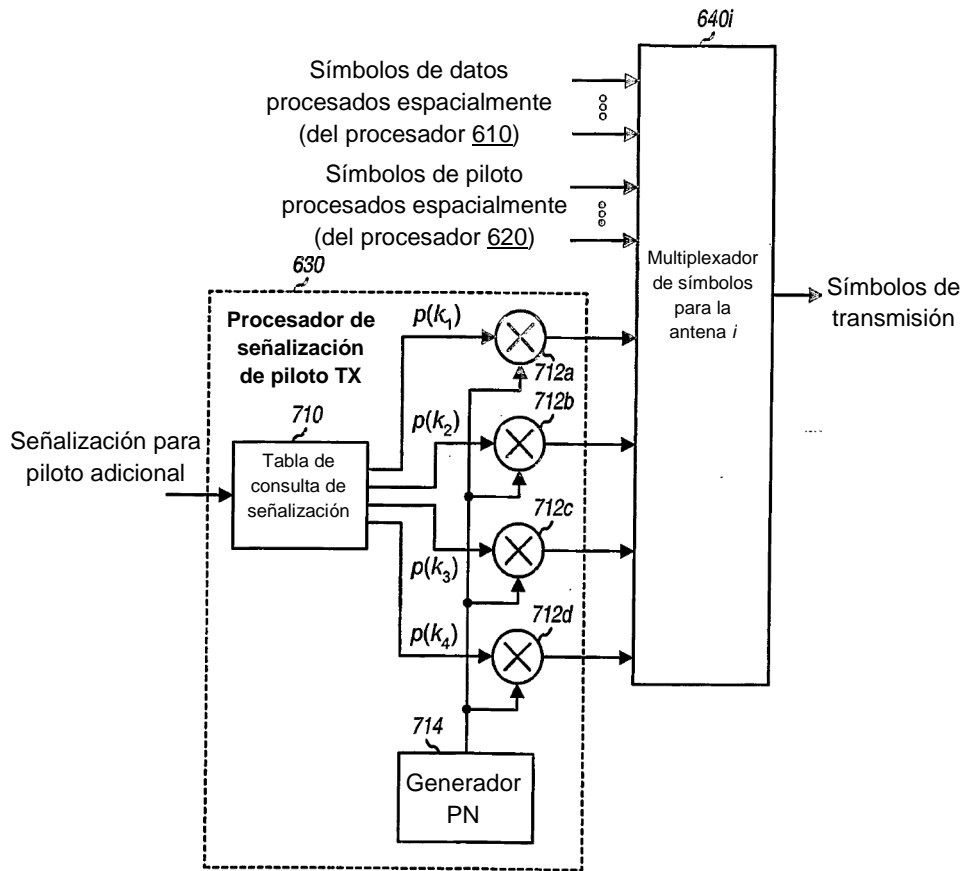


FIG. 7