

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 865**

51 Int. Cl.:
H04L 27/26 (2006.01)
H04L 25/03 (2006.01)
H04L 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08727240 .7**
96 Fecha de presentación: **01.04.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2156632**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.02.2010**

54 Título: **DETERMINACIÓN DE UNA MATRIZ DE CANAL POR MEDICIÓN DE INTERFERENCIA.**

30 Prioridad:
09.04.2007 US 922703 P
31.08.2007 US 897877

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.12.2011

73 Titular/es:
Alcatel Lucent
3, avenue Octave Gréard
75007 Paris, FR

72 Inventor/es:
KRAMER, Gerhard Guenter, Theodor;
WHITING, Philip, Alfred y
ZIVKOVIC, Miroslav

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 369 865 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

Determinación de una matriz de canal por medición de interferencia.

- 5 Esta aplicación reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional de U.S. N° 60/922.703, presentada el 9 de Abril de 2007 por Gerhard Kramer, Philip A. Whiting and Miroslav Zivkovic.

Campo de la Invención

- 10 La invención se refiere a sistemas de comunicación de multicanal.

Explicación de la Técnica Relacionada

- 15 Esta sección introduce aspectos que pueden ser de ayuda para facilitar una mejor comprensión de la invención. De acuerdo con esto, las afirmaciones de esta sección deben leerse con este objetivo y no deben ser entendidas como admisiones acerca de lo que está en la técnica anterior o lo que no está en la técnica anterior.

- 20 Una variedad de sistemas de comunicación utilizan múltiples canales para aumentar las velocidades de datos y/o para separar diferentes flujos de datos que se están comunicando. Ejemplos de tales sistemas incluyen algunos sistemas de comunicación inalámbricos, sistemas de digital subscriber line (DSL – Línea de Abonado Digital) y sistemas dense wavelength division multiplexed (DWDM – Multiplexados por División de Longitud de Onda Densos). En tales sistemas, los diferentes canales comparten una porción de un enlace de comunicación físico de manera que puede ocurrir diafonía intercanal entre canales. Por ejemplo, un sistema de DSL transmite el tono de DSL para cada canal sobre el mismo par de hilos de cobre trenzados. Por esa razón, una transmisión en un tono de DSL puede ser detectada en un receptor de DSL en el canal de frecuencia de uno o más tonos de DSL diferentes.
- 25 Generalmente, la presencia de diafonía intercanal implica que una comunicación transmitida a un canal puede, hasta cierto punto, ser recibida en uno o más de los otros canales.

- 30 Muchos sistemas de comunicación de multicanal pueden ser descritos mediante el modelo de diafonía lineal. El modelo de diafonía lineal define la relación entre los símbolos transmitidos y recibidos en un intervalo de tiempo de comunicación mediante la relación:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{Z}. \quad (1)$$

- 35 En la ecuación (1), los vectores complejos de N componentes \mathbf{X} , \mathbf{Y} y \mathbf{Z} representan el símbolo o la señal transmitido o transmitida, el símbolo o la señal recibida o recibida y el ruido, respectivamente. En particular, los componentes k-ésimos X_k , Y_k y Z_k de estos vectores son la señal transmitida, la señal recibida y la señal de ruido en el canal k-ésimo. La matriz compleja de $N \times N$, \mathbf{H} , se denominará matriz de canal. El componente (k,m)-ésimo $H_{k,m}$ describe cómo produce el enlace de comunicación físico una señal en el canal k-ésimo en respuesta a un símbolo que es transmitido al canal m-ésimo. Los elementos de la diagonal de la matriz de canal, \mathbf{H} , describen acoplamientos de canal directos, y los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, \mathbf{H} , describen acoplamientos inter-canal.
- 40

- 45 La Publicación "Interference Mitigation en MIMO Systems by Subset Antenna Transmission" de Kim K. et al. describe los sistemas de MIMO que reciben indicadores de CSI en presencia de un fuerte interferidor de co-canal dominante y que determinan los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal.

BREVE COMPENDIO

- 50 Varias realizaciones proporcionan métodos y aparatos que pueden estimar la matriz de canal de un enlace de comunicación físico en un sistema de comunicación de multicanal. En particular, las realizaciones se basan en signal-to-interference-plus-noise ratios (SINR – Relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido) medidas para determinar uno o más elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal. Las SINRs permiten la determinación de la fase o fases relativa o relativa de los citados elementos de fuera de la diagonal.

- 55 Una primera realización caracteriza un aparato que incluye un transmisor. El transmisor está configurado para transmitir símbolos a uno o más receptores por medio de una pluralidad de canales de comunicación de un enlace de comunicación físico. El transmisor está configurado para estimar una fase de uno o más elementos de fuera de la diagonal de una matriz de canal para el enlace de comunicación físico basándose en valores de relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido en uno o más receptores.
- 60

Una segunda realización caracteriza un método. El método incluye recibir una pluralidad de mediciones de relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido para uno o más receptores. Los uno o más receptores están acoplados a un transmisor por medio de un enlace de comunicación físico. El enlace de comunicación físico soporta

una pluralidad de canales de comunicación entre el transmisor y los uno o más receptores. El método incluye también determinar una fase de uno o más elementos de fuera de la diagonal de una matriz de canal para el enlace de comunicación físico basándose en la pluralidad de relaciones señal-a-interferencia-más-ruido recibidas.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente una realización de un sistema de comunicación de multicanal;

10 la Figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra un método para estimar uno o más elementos de fuera de la diagonal de una matriz de canal para un enlace de comunicación físico que soporta múltiples canales, por ejemplo, en el sistema de comunicación de multicanal de la Figura 1.

la Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de comunicación de digital subscriber line (DSL – Línea de Abonado Digital) que es una realización del sistema de comunicación de multicanal de la Figura 1;

15 la Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra otro sistema de comunicación de DSL que es otra realización del sistema de comunicación de multi-canal de la Figura 1;

la Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de comunicación óptica dense wavelength-division multiplexed (DWDM – Multiplexado por División de Longitud de Onda Densa) que es otra realización del sistema de comunicación de multicanal de la Figura 1;

20 la Figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de comunicación inalámbrico de multiple-input multiple-output (MIMO – Múltiple-Entrada Múltiple-Salida) que es otra realización del sistema de comunicación de multicanal de la Figura 1;

la Figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra otro sistema de comunicación inalámbrico que es otra realización del sistema de comunicación de multicanal de la Figura 1;

25 la Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método de evaluar la magnitud y la fase relativa del uno o más elemento o elementos de una matriz de canal, por ejemplo, de acuerdo con el método de la Figura 2; y la Figura 9 es un diagrama de bloques que ilustra una realización de un transmisor que implementa el método de la Figura 2, por ejemplo, en uno de los sistemas de comunicación de multicanal de las Figuras 1 y 3 – 7.

30 En las Figuras y texto, números de referencia iguales indican elementos con funciones similares.

En las Figuras, las dimensiones relativas de algunas características pueden estar exageradas para mostrar con mayor claridad una o más de las estructuras que se están ilustrando aquí.

35 En esta memoria, varias realizaciones se describen de manera más completa mediante las Figuras y la Descripción Detallada de Realizaciones Ilustrativas. No obstante, las invenciones pueden ser puestas en práctica de varias maneras y no están limitadas a las realizaciones específicas que se describen en las Figuras y en la Descripción Detallada de Realizaciones Ilustrativas.

40 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES ILUSTRATIVAS

En esta memoria, algunas realizaciones pueden incorporar aparatos y/o métodos descritos en la Solicitud de Patente de U.S. Nº 11/897.809 titulada “DETERMINING CHANNEL MATRICES BY CORRELATED TRANSMISSIONS TO DIFFERENT CHANNELS”, por Mamoun Guenach, Gerhard Kramer, Jerome Louveaux, Jochen Maes, Michael Peeters, Luc Vandendorpe, Jan Verlinden, Philip Whiting, Geert Ysebaert and Miroslav Zivkovic (Docket No.: 45 Guenach 1-12-1-1-1-1-20-1-9); y/o descritos en la Solicitud de Patente de U.S. Nº 11/848.684 titulada “METHOD AND APPARATUD FOR SELF-TUNING PRECODER”, por Adrian de Lind van Wijngaarden, Gerhard Kramer, Philip Whiting and Miroslav Zivkovic (Docket No. DE LIND VAN WIJNGAARDEN 21-10-18-7). Las dos Solicitudes de Patente de U.S. citadas anteriormente fueron presentadas el 31 de Agosto de 2008.

50 En esta memoria, algunas realizaciones pueden incorporar aparatos y/o métodos descritos en la Solicitud de Patente de U.S. No. 11/796.366 presentada el 26 de Abril de 2007 por Gerhard Kramer, Carl Nuzman, Philip Whiting and Miroslav Zivkovic.

55 Varias realizaciones estiman una matriz de canal, \mathbf{H} , del sistema de comunicación 10, que se ilustra esquemáticamente en la Figura 1. El sistema de comunicación 10 incluye un enlace 12 de comunicación físico, un transmisor 14 y uno o más receptores 16. El enlace 12 de comunicación físico soporta N diferentes canales de comunicación sobre los cuales el transmisor 14 puede transmitir flujos de símbolos de datos a los uno o más receptores 16.

60 En el sistema de comunicación 10, el enlace 12 de comunicación físico provoca también diafonía intercanal que puede hacer que un símbolo de dato, que es transmitido en un canal, sea recibido en múltiples canales y en los uno o más receptor o receptores 16. Las propiedades de transmisión del enlace 12 de comunicación físico pueden ser descritas mediante el modelo de diafonía lineal de la ecuación (1), en el que la matriz de canal, \mathbf{H} , es una matriz de canal de $N \times N$ compleja. Debido a la diafonía intercanal, puede resultar deseable estimar uno o más de los

elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**, por ejemplo para compensar previa o posteriormente la diafonía que es producida por el enlace 12 de comunicación físico. El transmisor 14 está configurado para hacer tales estimaciones, por ejemplo, sin basarse en un protocolo de comunicación que soporte intercambios de mediciones directas de los citados elementos de fuera de la diagonal.

5 En particular, los uno o más receptores 16 miden una o más SINRs o miden objetos directamente indicativos de valores de tales SINRs de canal. En esta memoria, la SINR de canal se refiere a la SINR de un único canal o a una SINR que está promediada entre unas pocas bandas de frecuencia vecinas, por ejemplo, la SINR en un módem de DSL para un solo bucle de comunicación local de un sistema de comunicación de DSL promediado entre varios tonos de DSL vecinos. Los uno o más receptores 16 pueden realizar tales mediciones durante las estandarizaciones de la sesión de comunicaciones y/o durante una transmisión de datos regular. El o los uno o más receptor o receptores 16 está o están configurado o configurados para transmitir las citadas mediciones de la o las SINR o SINRs del canal o los citados objetos directamente indicativos del mismo al transmisor 14, por ejemplo, por medio del enlace 12 de comunicación físico.

10 15 En el sistema de comunicación 10, el transmisor 14 estima los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**, basándose en valores del o de los SINR o SINRs del canal, por ejemplo, mediante el método 20 de la Figura 2.

20 En referencia a la Figura 2, el método 20 incluye recibir una secuencia temporal de valores medidos de la SINR de un canal para un enlace de comunicación físico, por ejemplo, la SINR de un canal único o la SINR de canal promediada entre unas pocas bandas de frecuencia vecinas (etapa 22). En algunas realizaciones, el transmisor 14 puede recibir, por ejemplo, por medio del enlace 12 de comunicación físico de retorno, valores de la SINR de canal que han sido medidos directamente por uno o más receptores 16. En otras realizaciones, el transmisor 14 puede recibir valores medidos de una o más propiedades de canal que son directamente indicativas de la SINR del canal cuando se combinan con propiedades de transmisión directa del canal. Es decir, el transmisor 14 de tales realizaciones evalúa la SINR del canal a partir de valores medidos de una o más propiedades del canal y de las propiedades de transmisión directa del canal, por ejemplo, tal como se describe a continuación. Ejemplos de tales propiedades de transmisión directa son la potencia transmitida al canal único y la ganancia directa del canal único.

25 30 En la etapa 22, el receptor de las SINRs de canal medidas puede conocer la forma particular de símbolos de datos transmitidos durante los intervalos de tiempo en los cuales se miden las SINRs del canal. Por ejemplo, puede existir una correspondencia conocida entre las formas de los símbolos de datos transmitidos y las SINRs recibidas en la etapa 22.

35 El método 20 incluye estimar uno o más elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, por ejemplo, para encontrar una fase del mismo, para el enlace de comunicación físico que acopla el transmisor a uno o más receptores (etapa 24). Los uno o más elementos de fuera de la diagonal se estiman basándose en los valores medidos de las SINRs de canal que fueron recibidas en la etapa 22. En algunas realizaciones, formas conocidas de símbolos de datos transmitidos individuales se utilizan junto con los valores medidos de SINRs de canal para estimar cada elemento de fuera de la diagonal de la matriz de canal. En algunas realizaciones, los valores de SINRs de canal o de SINRs de canal único se utilizan para estimar toda la porción de fuera de la diagonal de la matriz de canal para el enlace 12 de comunicación físico.

40 45 En esta memoria, la fase puede referirse bien a un ángulo de fase o bien a un factor de fase. Una estimación de un ángulo de fase y una estimación de una función trigonométrica del ángulo de fase son, las dos, estimaciones del ángulo de fase. Por ejemplo, evaluar las partes real e imaginaria de un número complejo proporciona una estimación de una fase del número complejo. También, en esta memoria, una fase puede referirse a una fase relativa o a una fase absoluta.

50 55 En el método 20, la matriz de canal, **H**, es preferiblemente substancialmente constante en el periodo de tiempo sobre el cual se miden las secuencia de SINRs y en el que se usan para estimar uno o más de los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**. Por ejemplo, los elementos de la diagonal de la matriz de canal que tienen la mayor magnitud pueden cambiar en menos de aproximadamente 10 por ciento en el citado periodo de tiempo.

Las figuras 3 – 6 ilustran diferentes realizaciones específicas del sistema de comunicación de multicanal 10 mostrado en la Figura 1.

60 La Figura 3 ilustra parte de un sistema de comunicación de digital subscriber line (DSL – Línea de Abonado Digital) 10A. El sistema de comunicación de DSL 10A incluye una oficina telefónica central 2, un bucle de comunicación local 3 y un único abonado de DSL 4. La oficina telefónica central 2 y sus módems de DSL 5 funcionan como el transmisor 10 de la Figura 1.

El bucle de comunicación local 3, por ejemplo, un par trenzado de hilos de cobre, funciona como el enlace 12 de realización físico de la Figura 1. El módem de DSL 6 del abonado de DSL 4 funciona como el receptor 16 de la Figura 1. En el sistema de comunicación de DSL 10A, cada canal es un intervalo de frecuencia para uno de los tonos de DSL, es decir, los tonos T_1, \dots, T_N . Cada tono de DSL puede ser utilizado para transmitir un flujo de símbolos de comunicaciones entre los módems de DSL 5, 6 de la oficina telefónica central 2 y el abonado de DSL 4. Los tonos de DSL T_1, \dots, T_N están poco separados en frecuencia de manera que transmitir un símbolo en uno de los tonos de DSL, por ejemplo, T_k , puede hacer que el flujo sea detectado en el módem 6 del abonado de DSL en un intervalo de frecuencia de otro de los tonos de DSL, por ejemplo, T_m , siendo $m \neq k$. En el sistema de comunicación de DSL 10A, el módem 6 del abonado de DSL 4 mide valores de una o más SINRs de canal o propiedades de canal directamente indicativas del mismo durante la inicialización y/o de manera regular durante una operación ordinaria. El módem 6 del abonado de DSL 4 transmite tales valores medidos al módem 5 de la oficina telefónica central 2 por medio del mismo bucle de comunicación local 3.

La Figura 4 ilustra una parte de un sistema de comunicación de DSL 10B que incluye una oficina telefónica central 2, una pluralidad de bucles de comunicación locales 3, y una pluralidad de abonados de DSL 4. La oficina telefónica central 2 y su pluralidad de módems de DSL 5 funcionan como el transmisor 10 de la Figura 1. La pluralidad de bucles de comunicación locales 3 funciona como el enlace 12 de comunicación físico de la Figura 1. La pluralidad de módems 6 de los abonados de DSL 4 separados funciona como los uno o más receptores 16 de la Figura 1. En esta realización, cada bucle de comunicación local 3 forma un canal directo separado del enlace 12 de comunicación físico. Cada uno de tales canales está en correspondencia con uno de los módems de DSL 6 de un abonado de DSL 4 y con uno de los módems de DSL 5 de la oficina telefónica central 2.

En la Figura 4, los bucles de comunicación locales 3 tienen diafonía entre ellos, debido a que algunos de sus pares trenzados de hilos de cobre comparten mazo, mazos, cable o cables. En el mazo, mazos, cable o cables, la cercanía de los pares trenzados de hilos de cobre de los diferentes bucles de comunicación locales 3 pueden provocar diafonía entre ellos. La diafonía puede hacer que el flujo de datos, que es transmitido en un tono por el módem de DSL 5 de la oficina telefónica central 2, sea detectado por los módems de DSL 6 de más de un abonado de DSL 4. Por esa razón, los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal pueden ser distintos de cero en el sistema de comunicación de DSL 10B. Los módems 6 de los abonados de DSL 4 miden valores de SINR o SINRs de canal o una o más propiedades de canal directamente indicativas del mismo durante la inicialización y/o de manera regular durante una operación ordinaria. Los módems 6 de los abonados de DSL 4 transmiten tales valores medidos a los módems 5 de la oficina telefónica central 2 por medio de bucles de comunicación locales 3.

Algunas realizaciones del sistema de comunicación 10B de la Figura 4 pueden también utilizar múltiples tonos de DSL para transmitir datos entre los módems de DSL 5, 6. Entonces, un canal individual es ordenado mediante un único bucle de comunicación local 3 y un tono de DSL o alternativamente, es ordenado mediante el único bucle de comunicación local 3 y un grupo disjunto de unos pocos tonos de DSL. En tales realizaciones, una pequeña separación de los tonos de DSL, es decir, T_1, \dots, T_N , y/o una gran proximidad de los pares trenzados de los hilos de cobre de unos diferentes de los bucles de comunicación locales 3 pueden producir elementos de fuera de la diagonal distintos de cero en la matriz de canal que describe tal enlace 12 de comunicación físico.

Algunas realizaciones del sistema de comunicación de DSL 10B de la Figura 4 pueden transmitir datos a abonados de DSL 4 tal como se describe en la Solicitud de Patente Provisional de U.S. Nº 60/795.369, presentada por Gerhard Kramer et al el 26 de Abril de 2006.

La Figura 5 ilustra un sistema de comunicación óptico DWDM 10C que incluye una línea de transmisión por fibra óptica 12, un transmisor 14 óptico y un receptor 16 óptico. La misma línea de transmisión por fibra óptica 12 funciona como el enlace 12 de realización físico de la Figura 1 y soporta transmisiones de símbolos de datos ópticos en un conjunto de canales de longitud de onda $\lambda_1, \dots, \lambda_N$. Los canales de longitud de onda $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ están poco separados de manera que una transmisión de símbolos de datos ópticos en uno de los canales de longitud de onda, por ejemplo, λ_k , puede hacer que el receptor 16 óptico detecte símbolos de datos ópticos en uno o más de los canales de longitud de onda, por ejemplo, los canales λ_j para $j \neq k$. El receptor 16 óptico mide valores de SINR o de SINRs para uno o más canales de longitud de onda o propiedades de canal DWDM directamente indicativas del mismo durante la inicialización y/o de manera regular durante una operación ordinaria. El receptor 16 óptico transmite tales valores medidos al transmisor 14 óptico, por ejemplo, un enlace de transmisión por fibra óptica 12.

La Figura 6 ilustra una porción de un sistema de comunicación inalámbrico de multiple-input multiple-output (MIMO – Múltiple-Entrada Múltiple-Salida) 10D. En el sistema de comunicación de MIMO 10D, un enlace 12 de comunicación de espacio libre transporta símbolos de datos transmitidos desde un transmisor 14 inalámbrico a un receptor 16 inalámbrico. El transmisor 14 inalámbrico tiene una pluralidad de dispositivos de transmisión independientes $8_1, \dots, 8_N$, y el receptor 16 inalámbrico tiene una pluralidad de dispositivos receptores independientes $9_1, \dots, 9_N$. El enlace 12 de comunicación de espacio libre interconecta los dispositivos de transmisión $8_1, \dots, 8_N$ y los dispositivos receptores $9_1, \dots, 9_N$ de manera que la matriz de canal para el enlace 12 de comunicación de espacio libre puede tener tanto elementos en la diagonal distintos de cero como elementos de fuera de la diagonal distintos de cero. El receptor 16

inalámbrico mide SINRs para cada uno de los dispositivos receptores $9_1, \dots, 9_N$ o una o más propiedades de canal directamente indicativas del mismo durante la inicialización y/o de manera regular durante una operación ordinaria. El receptor 16 inalámbrico transmite tales valores medidos al transmisor 14 inalámbrico, por ejemplo, por medio del mismo enlace 12 de comunicación de espacio libre.

5 La Figura 7 ilustra un sistema de realización inalámbrico 10E alternante en el cual el único receptor 16 inalámbrico de la Figura 6 es reemplazado por una pluralidad de receptores inalámbricos separados $9_1, \dots, 9_N$. De nuevo, el transmisor 14 inalámbrico tiene una pluralidad de dispositivos de transmisión $8_1, \dots, 8_N$ independientes, y el enlace 12 de espacio libre interconecta los dispositivos de transmisión $8_1, \dots, 8_N$ a los receptores $9_1, \dots, 9_N$ separados. Debido a la forma de espacio libre del enlace 12, la matriz de canal puede tener elementos en la diagonal y fuera de la diagonal distintos de cero. Cada receptor $9_1, \dots, 9_N$ inalámbrico transmite tales valores medidos al transmisor 14 inalámbrico.

15 En referencia de nuevo a la Figura 1, el transmisor 14 y/o uno o más receptores 16 lleva o llevan a cabo un conjunto limitado de mediciones directas de propiedades físicas de los N canales que están soportados por el enlace 12 de comunicación físico. Típicamente, las mediciones directas no incluyen mediciones de elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**. Las mediciones directas permiten, no obstante, una evaluación de una o más SINRs de canal en una secuencia de tiempos, por ejemplo, de SINRs de canal único o SINRs de canal único promediadas entre un pequeño grupo de bandas de frecuencia vecinas. A partir de un conjunto de mediciones directas tan limitado, el transmisor 14 estima uno o más elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**, para el enlace 12 de comunicación físico, por ejemplo, hasta una fase por columna absoluta del mismo. Las estimaciones del elemento o elementos de la matriz de canal, **H**, se llevan a cabo típicamente más rápido de lo que la matriz de canal, **H**, cambia substancialmente. Por ejemplo, cada estimación puede ser realizada en un periodo de tiempo en el cual la magnitud del elemento de fuera de la diagonal de la mayor magnitud cambia de magnitud en menos de 10% o incluso menos de 1%.

25 Para un canal "k", el conjunto de mediciones directas llevadas a cabo puede incluir mediciones de las ganancias de un canal directo, d_k , potencias de canal transmitidas, P_k y SINRs de canal k. La SINR del canal k-ésimo aproximadamente en el tiempo "t" recibirá el nombre de $SINR_k[t]$. La ganancia directa del canal-k, es decir, d_k , es la relación Y_k/X_k en ausencia de diafonía y de ruido o una media temporal de la misma. La ganancia de canal directa, d_k , tiene en cuenta el retardo y la atenuación de las transmisiones sobre el canal k-ésimo del enlace 12 de comunicación físico. La ganancia de canal directa, d_k , es también un elemento de la diagonal de la matriz de canal, es decir, $H_{k,k} = H_k$. La potencia del canal transmitida, P_k , es la potencia que el transmisor 14 transmite realmente al canal k-ésimo o una media temporal de la misma. La SINR del canal k-ésimo, es decir, $SINR_k[t]$, define la calidad del canal k-ésimo en el tiempo "t" y puede ser evaluada a partir de:

$$SINR_k[t] = \frac{[E(|d_k X_k|^2)]}{[E(|Y_k - d_k X_k|^2)]} \quad (1a)$$

40 Anteriormente, E(U) es una media temporal de U en una secuencia de intervalos de tiempo de comunicación, por ejemplo, una secuencia de intervalos de tiempo consecutivos, donde la secuencia está temporalmente en o cerca del tiempo "t". El objeto $|Y_k|^2$ es la potencia del canal k-ésimo total que es recibida por los uno o más receptores 16, es decir, promediada en un intervalo de tiempo. El objeto $|Y_k - d_k X_k|^2$ es la suma de la potencia de diafonía y de la potencia del ruido en el canal k-ésimo recibido por los uno o más receptores 16 y promediada sobre un intervalo de tiempo de comunicación. Determinando la SINR del canal k-ésimo, es decir, $SINR_k[t]$, los uno o más receptores 16 pueden promediar $E(|Y_k - d_k X_k|^2)$ sobre una secuencia de intervalos de tiempo de manera que la relación $E(|Y_k - d_k X_k|^2) = E(|Y_k|^2) - |d_k X_k|^2$ es substancialmente válida. Este promedio sobre una secuencia de intervalos de tiempo puede cancelar significativamente las contribuciones de ruido en los objetos promediados $E(|Y_k - d_k X_k|^2)$ y $E(|Y_k|^2)$. A la luz de tal promediación temporal, la ecuación (1a) puede típicamente ser reescrita en la forma:

$$SINR_k[t] = \frac{[|d_k|^2 P_k]}{[E(|Y_k|^2) - |d_k|^2 P_k]} \quad (1b)$$

50 Aquí, $|d_k|^2 P_k$ es la potencia del canal k-ésimo directo, que es recibida por los uno o más receptores 16 en el tiempo "t". Ambas formas de $SINR_k[t]$, es decir, la ecuación (1a) o la ecuación (1b), se utilizan para señales transmitidas especiales en la realización descrita en esta memoria.

55

- 5 En varias realizaciones, los valores de d_k , P_k y/o $(\text{SINR}_k[t])$ pueden ser obtenidos por medio de single-end line tests (SELTs – Ensayos de Línea de un solo extremo) o dual-end line tests (DELTs – Ensayos de Línea de dos extremos) durante el funcionamiento y/o mediante protocolos de inicialización. Los valores de d_k , P_k y/o $(\text{SINR}_k[t])$ pueden ser obtenidos mediante mediciones hechas por el transmisor 14 y/o mediante los uno o más receptores 16. Por ejemplo, una vez en cada N intervalos de tiempo, los uno o más receptores 16 pueden evaluar $|Y_k|^2$ y a continuación, promediar $|Y_k|^2$ en los intervalos de tiempo de un periodo de aproximadamente 0,5 segundos o mayor para obtener $E(|Y_k|^2)$. Los uno o más receptores 16 pueden a continuación resolver la ecuación (1b) para obtener una medición de $\text{SINR}_k[t]$.
- 10 Algunas realizaciones utilizan un protocolo de comunicación del uno o más receptores 16, que proporciona los medios para medir las SINRs del canal, es decir, las $\text{SINR}_k[t]$'s. Por ejemplo, el estándar de VDSL 2 proporciona el que algunos transceptores de DSL medirán valores de SINRs promediados en un grupo de unos pocos tonos de DSL vecinos y a continuación, transmitirán tales valores de SINRs medidos al transceptor de DSL con el cual se comunican por medio del protocolo de VDSL 2. En esta memoria, las SINR del canal se refiere bien a una SINR de un único canal o bien a una SINR de un canal promediada en unos pocos canales de frecuencia vecinos para un bucle de comunicación local 3 en un sistema de comunicación de DSL, donde el valor está promediado en aproximadamente 3 a 10 tonos de DSL vecinos.
- 15 En referencia a la Figura 2, el método 20 puede implicar estimar la magnitud y la fase de uno o más elementos de fuera de la diagonal de una matriz de canal de acuerdo con el método 30 de la Figura 8. Por ejemplo, el transmisor 14 de las Figuras 1, 3, 4, 5, 6 y 7 puede llevar a cabo el método 30 para estimar uno o más elemento o elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal para el enlace 12 de comunicación físico.
- 20 En algunas realizaciones, el método 30 es llevado a cabo mientras se transmiten datos sobre un enlace de comunicación físico entre el transmisor y los uno o más receptores. Estas realizaciones se denominan realizaciones de tiempo de muestra.
- 25 En algunas realizaciones, el método 30 es llevado a cabo mientras no se transmiten datos sobre el enlace de comunicación físico entre el transmisor y los uno o más receptores. Tales realizaciones se denominan realizaciones de tiempo de reposo.
- 30 El método 30 incluye, en el tiempo t_0 , símbolos de transmisión de una primera forma, es decir, \mathbf{X} 's, desde el transmisor hasta los uno o más receptores por medio del enlace de comunicación físico durante una primera secuencia de intervalos de tiempo de comunicación consecutivos (etapa 32). En una realización de tiempo de reposo, el transmisor puede transmitir una secuencia preestablecida a los uno o más receptores en los intervalos de tiempo de la primera secuencia. Por ejemplo la secuencia preestablecida puede ser una secuencia de control fija, una secuencia de los mismos símbolos de datos \mathbf{X} , una secuencia de $+\mathbf{X}$'s y $-\mathbf{X}$'s, una secuencia de símbolos nulos u otra secuencia preestablecida. En una realización de tiempo de muestra, el transmisor puede transmitir una secuencia de símbolos de datos que varían de manera substancialmente arbitraria, \mathbf{X} , a los uno o más receptores en los intervalos de tiempo de la primera secuencia, por ejemplo, símbolos que pertenecen a una constelación fija para transmitir datos digitales por medio del canal de comunicación físico. Es decir, la realización de tiempo de muestra permite que un transmisor envíe una secuencia de datos substancialmente arbitraria a los uno o más receptores por medio de la primera secuencia.
- 35 El método 30 incluye transmitir símbolos de una segunda forma desde el transmisor a los uno o más receptores por medio del enlace de comunicación físico durante una o más segundas secuencias de intervalos de tiempo de comunicación, por ejemplo, secuencias de intervalos de tiempo consecutivos (etapa 34). Cada símbolo de la segunda forma se escribirá como $\mathbf{X}(m)$ donde "m" ordena el tipo de símbolo de la segunda forma. Existen N tipos de símbolos de la segunda forma donde N es el número de canales. En el tiempo t_m de una de las segundas secuencias, la etapa 34 implica transmitir símbolos de la segunda forma, $\mathbf{X}(m)$, al enlace de comunicación físico en los intervalos de tiempo de comunicación de la segunda secuencia. Aquí, $\mathbf{X}(m)$ tiene una forma que es una perturbación de un \mathbf{X} , que es un símbolo de la primera secuencia. En particular, cada símbolo, $\mathbf{X}(m)$, de la segunda forma satisface $\mathbf{X}(m) = \mathbf{X} + s.\mathbf{E}(m)$. En esta ecuación, cada $\mathbf{E}(m)$ es un vector de base que representa una señal transmitida al –único canal "m".
- 40 El método 30 incluye transmitir símbolos de una segunda forma desde el transmisor a los uno o más receptores por medio del enlace de comunicación físico durante una o más segundas secuencias de intervalos de tiempo de comunicación, por ejemplo, secuencias de intervalos de tiempo consecutivos (etapa 34). Cada símbolo de la segunda forma se escribirá como $\mathbf{X}(m)$ donde "m" ordena el tipo de símbolo de la segunda forma. Existen N tipos de símbolos de la segunda forma donde N es el número de canales. En el tiempo t_m de una de las segundas secuencias, la etapa 34 implica transmitir símbolos de la segunda forma, $\mathbf{X}(m)$, al enlace de comunicación físico en los intervalos de tiempo de comunicación de la segunda secuencia. Aquí, $\mathbf{X}(m)$ tiene una forma que es una perturbación de un \mathbf{X} , que es un símbolo de la primera secuencia. En particular, cada símbolo, $\mathbf{X}(m)$, de la segunda forma satisface $\mathbf{X}(m) = \mathbf{X} + s.\mathbf{E}(m)$. En esta ecuación, cada $\mathbf{E}(m)$ es un vector de base que representa una señal transmitida al –único canal "m".
- 45 Por ejemplo, en el sistema de DSL 10B de la Figura 4, el vector de base $\mathbf{E}(m)$ tiene un componente distinto de cero sólo para una señal transmitida al bucle de comunicación local 3 etiquetado por "m". Para diferentes m 's, cada $\mathbf{E}(m)$ puede ser, por ejemplo, una onda senoide para el bucle de comunicación local etiquetado por "m". Diferentes bucles de abonado de DSL locales corresponderían a diferentes valores de "m". Pero $\mathbf{E}(m)$ representaría una onda senoide de la misma frecuencia, es decir, el mismo tono de DSL.
- 50 En algunos sistemas de DSL, cada $\mathbf{E}(m)$ puede alternativamente representar un tono de DSL de frecuencia en un único bucle de comunicación local, es decir, la línea de abonado de DSL. A continuación, para diferentes valores de "m", el bucle de comunicación local y/o el tono de DSL pueden cambiar.
- 55
- 60

5 En la ecuación anterior para $\mathbf{X}(m)$, los \mathbf{X} 's pueden ser, por ejemplo, símbolos de la constelación de símbolos digitales para los símbolos de primera forma de las primeras secuencias. En una realización de tiempo de reposo, el transmisor puede transmitir $\mathbf{X}(m)$'s que satisfacen $\mathbf{X}(m) = \mathbf{X} + s.\mathbf{E}(m)$ para las mismas secuencias preestablecidas de \mathbf{X} 's que pueden ser transmitidas en la etapa 32. Por ejemplo, la secuencia preestablecida de \mathbf{X} 's puede ser una secuencia de control fija o puede ser una secuencia de señales nulas. En una realización de tiempo de muestra, el transmisor puede transmitir símbolos de segunda forma $\mathbf{X}(m)$ ' que satisfacen $\mathbf{X}(m) = \mathbf{X} + s.\mathbf{E}(m)$ para \mathbf{X} 's que difieren de las de la etapa 32. Una realización de tiempo de muestra puede transmitir contenidos de datos substancialmente arbitrarios en las secuencias primera y segunda utilizadas para estimar la matriz de canal, \mathbf{H} . Si la etapa 34 incluye transmitir múltiples secuencias segundas, el canal "m" y correspondientemente el vector de base $\mathbf{E}(m)$ pueden diferir en varias de las segundas secuencias.

15 En cada secuencia segunda, el factor de escala, s, que define en ella la forma de los símbolos de segunda forma, tiene una magnitud fija, δ . La magnitud de δ puede ser grande o pequeña comparada con la magnitud de las \mathbf{X} 's de los símbolos de la primera forma. En algunas realizaciones, el factor de escala, s, tiene el mismo valor para cada intervalo de tiempo de una secuencia segunda. En otras realizaciones, el factor de escala, s, tiene un signo que alterna de manera que la secuencia segunda correspondiente de los factores de escala es una corriente alterna que es detectable de manera diferenciada en los uno o más receptores.

20 El método 30 incluye transmitir símbolos de una tercera forma desde el transmisor a los uno o más receptores por medio del enlace de comunicación físico durante una o más terceras secuencias de intervalos de tiempo de comunicación, por ejemplo, intervalos de tiempo consecutivos (etapa 36). Para una tercera secuencia transmitida aproximadamente en el tiempo $t_{m,n}$, la etapa 36 implica transmitir símbolos, es decir, $\mathbf{X}(m, n)$'s, cuyas formas son de nuevo perturbaciones de las primeras formas que los símbolos pueden tener en la primera secuencia. En particular, cada símbolo, $\mathbf{X}(m, n)$ satisface $\mathbf{X}(m, n) = \mathbf{X} + s.(\mathbf{E}(m) + \mathbf{E}(n))/(2)^{0.5}$ donde $\mathbf{E}(m)$ y $\mathbf{E}(n)$ son los vectores de base descritos anteriormente correspondientes a los canales "m" y "n", y " \mathbf{X} " es un símbolo de primera forma que podría ser transmitido en la primera secuencia. Por ejemplo, las \mathbf{X} 's en esta ecuación pueden de nuevo pertenecer a las constelaciones de símbolos digitales para los símbolos de primera forma de las primeras secuencias. En la realización de tiempo de reposo, el transmisor puede transmitir $\mathbf{X}(m, n)$'s que satisfacen $\mathbf{X}(m, n) = \mathbf{X} + s.(\mathbf{E}(m) + \mathbf{E}(n))/(2)^{0.5}$ para las mismas \mathbf{X} 's transmitidas en la etapa 32 ó para la misma secuencia preestablecida transmitida en la etapa 32. Por ejemplo, la secuencia de \mathbf{X} 's puede ser una secuencia de control fija o puede ser una secuencia de señales nulas. En una realización de tiempo de muestra, el transmisor puede transmitir $\mathbf{X}(m,n)$'s que satisfacen $\mathbf{X}(m, n) = \mathbf{X} + s.(\mathbf{E}(m) + \mathbf{E}(n))/(2)^{0.5}$. Aquí, la secuencia temporal de \mathbf{X} 's puede diferir de la transmitida en la etapa 32, porque una realización de tiempo de muestra puede transmitir un contenido de datos substancialmente arbitrario en las secuencias terceras. Si la etapa 36 incluye transmitir múltiples secuencias terceras, el o los canal o canales "m" y/o "n" y el o los correspondiente o correspondientes vector o vectores de base $\mathbf{E}(m)$ y/o $\mathbf{E}(n)$ pueden variar para las diferentes de las secuencias terceras.

40 El método 30 incluye transmitir símbolos de una cuarta forma del transmisor a los uno o más receptores por medio del enlace de comunicación físico durante una o más secuencias cuartas de intervalos de tiempo de comunicación, por ejemplo, intervalos de tiempo consecutivos (etapa 38). Para una cuarta secuencia en el tiempo $t'_{m,n}$, la etapa 38 implica transmitir símbolos, es decir, $\mathbf{X}'(m, n)$'s, que tienen también formas perturbadas con respecto a los símbolos de la primera forma en la primera secuencia. En particular, cada uno de tales símbolos, $\mathbf{X}'(m, n)$ satisface $\mathbf{X}'(m, n) = \mathbf{X} + s.(\mathbf{E}(m) + ph.\mathbf{E}(n))/(2)^{0.5}$ donde los mismos tipos de $\mathbf{E}(m)$ y $\mathbf{E}(n)$ son vectores de base normalizados ortogonales; "ph" es una fase fija, por ejemplo, $\exp(i\pi/2)$; y " \mathbf{X} " es de nuevo un símbolo de la primera forma. Por ejemplo, las \mathbf{X} 's de esta ecuación pueden estar en la constelación de símbolos digitales para símbolos de la primera forma en la primera secuencia. En una realización de tiempo de reposo, el transmisor puede transmitir $\mathbf{X}'(m, n)$'s que satisfacen $\mathbf{X}'(m, n) = \mathbf{X} + s.(\mathbf{E}(m) + ph.\mathbf{E}(n))/(2)^{0.5}$ para la misma secuencia de \mathbf{X} 's preestablecida transmitida en la etapa 32. Por ejemplo, la secuencia de \mathbf{X} 's preestablecida puede ser una secuencia de control fija o puede ser una secuencia de señales nulas. En una realización de tiempo de muestra, el transmisor puede transmitir símbolos $\mathbf{X}'(m, n)$ que satisfacen $\mathbf{X}'(m, n) = \mathbf{X} + s.(\mathbf{E}(m) + ph.\mathbf{E}(n))/(2)^{0.5}$ para \mathbf{X} 's que difieren de las transmitidas en la etapa 32. De nuevo, la realización de tiempo de muestra puede transmitir contenido de datos substancialmente arbitrario en las secuencias cuartas. Si la etapa 38 incluye transmitir múltiples secuencias cuartas, el o los canal o canales "m" y/o "n" correspondiente o correspondientes al vector o vectores de base $\mathbf{E}(m)$ y/o $\mathbf{E}(n)$ puede o pueden cambiar para diferentes secuencias cuartas.

55 En cada secuencia tercera y cuarta, el factor de escala, s, tiene la misma magnitud, δ , tal como se ha explicado con respecto a la etapa 34. El factor de escala, s, puede tener el mismo valor para cada intervalo de tiempo de las secuencias tercera y cuarta o puede tener valores que alternan en signo en tales secuencias para permitir su detección diferencial en el receptor o receptores.

60 El método 30 incluye recibir valores de SINRs de canal que fueron medidos para las secuencias primera, segunda, tercera y cuarta de intervalos de tiempo de comunicación (etapa 40). El transmisor recibe las SINRs de canal

medidas o las evalúa a partir de propiedades directamente indicativas del mismo tal como se recibe del receptor o de los receptores y puede identificar las secuencias cuya SINR de canal es recibida.

5 El método 30 incluye también evaluar una magnitud de uno o más elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal a partir de las SINRs de canal o de las SINRs del único canal, que son recibidas en la etapa 40 y son medidas para las secuencias primera y segunda de intervalos de tiempo (etapa 42). Para el canal k, la SINR de único canal correspondiente al tiempo "t" se denominará SINR_k[t]. Cada SINR_k[t_m] puede ser determinada a partir de mediciones de potencias por canal recibidas para los intervalos de tiempo de una segunda secuencia en el tiempo "t_m". Por ejemplo, los uno o más receptores mide o miden $E(|Y_k(m)-d_k \cdot X_k|^2)$ o $E(|Y_k(m)|^2)$ en los intervalos de tiempo de la segunda secuencia en el tiempo "t_m". De manera similar, cada SINR_k[t₀] es determinado a partir de mediciones de receptor de potencias de único canal recibidas para los intervalos de tiempo de la primera secuencia en el tiempo "t₀" o mediante promedios de la misma en unas pocas bandas de frecuencia vecinas, por ejemplo, mediciones de $E(|Y_k-d_k \cdot X_k|^2)$ o $E(|Y_k|^2)$ en los intervalos de tiempo de la primera secuencia. La estimación de cada elemento de fuera de la diagonal de la matriz de canal utiliza las SINRs de canal recibidas en la etapa 40.

15 Puesto que un símbolo de datos transmitido, $X(m)$, de una segunda secuencia en el tiempo t_m tiene la forma $X + s \cdot E(m)$, los objetos $E(|Y_k(m)|^2)$ y $E(|Y_k(m)-d_k \cdot X_k|^2)$ para tal segunda secuencia tienen las formas:

$$E(|Y_k(m) - d_k X_k|^2) |_{t_m} = E(|Y_k - d_k X_k + s(H \cdot E(m))_k|^2) |_{t_0} \approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + |s H_{k,m}|^2 \quad (2a)$$

20 Y

$$E(|Y_k(m)|^2) |_{t_m} = E(|Y_k + s \cdot (H \cdot E_m)_k|^2) |_{t_0} \approx E(|Y_k|^2) |_{t_0} + |s|^2 |H_{k,m}|^2 \quad (2b)$$

25 En las ecuaciones (2a) y (2b), se espera que el término "s" lineal substancialmente se promedie a un valor cuya magnitud es pequeña comparada con |s|, siempre que las secuencias segundas sean suficientemente largas. Es decir, una segunda secuencia larga promedia el término "s" lineal en un conjunto de X's cuyas proyecciones sobre el canal "m" son típicamente aproximadamente aleatorias de manera que el término "s" lineal tiene una pequeña magnitud. De las ecuaciones (2a)-(2b) y (1a)-(1b), la SINR_k[t_m] de la segunda secuencia en el tiempo "t_m" puede reescribirse como:

$$30 \quad SINR_k[t_m] = \frac{|d_k|^2 P_k}{E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + |s|^2 |H_{k,m}|^2} \quad (3a)$$

O bien

$$35 \quad SINR_k[t_m] = \frac{|d_k|^2 P_k}{E(|Y_k|^2) |_{t_0} - |d_k|^2 P_k + |s|^2 |H_{k,m}|^2} \quad (3b)$$

De la ecuación (3a) o (3b) para SINR_k[t_m] y la ecuación (1a) o (1b) para SINR_k[t₀], el elemento de fuera de la diagonal (k, m)-ésimo de la matriz de canal, H, se muestra que puede venir dado por:

$$40 \quad |H_{k,m}|^2 = \frac{|d_k|^2 P_k}{|s|^2} \left(\frac{1}{SINR_k[t_m]} - \frac{1}{SINR_k[t_0]} \right) \quad (4)$$

45 La ecuación (4) puede ser utilizada para evaluar magnitudes de elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, H, a partir de mediciones recibidas de las SINRs de canal. Por supuesto, en la etapa 42 anterior, el transmisor puede evaluar el miembro derecho de la ecuación (4) basándose en los valores recibidos de SINR_k[t₀] y SINR_k[t_m], en un valor preestablecido y conocido de |s|, y en mediciones por el transmisor y/o uno o más receptores de d_k y p_k.

5 En una realización del método 30 que transmite una sola segunda secuencia de símbolos, es decir, $\mathbf{X}(m)$'s, la etapa 42 de evaluación puede determinar la magnitud de cada elemento de fuera de la diagonal, $\mathbf{H}_{k,m}$, para el cual una SINR de canal correspondiente es recibida en la etapa 40 de recepción. Si la etapa 40 de recepción incluye recibir las SINRs de canal para cada canal, la etapa 42 de evaluación puede ser llevada a cabo para determinar los elementos de fuera de la diagonal de toda la columna m-ésima de la matriz de canal, \mathbf{H} .

10 Si una realización del método 30 implica transmitir múltiples segundas secuencias de símbolos de datos, es decir, $\mathbf{X}(n)$'s para $n \neq m$, la etapa 42 de evaluación puede determinar las magnitudes de elementos de fuera de la diagonal en uno o más de las otras columnas de la matriz de canal, \mathbf{H} .

Si una realización del método 30 incluye transmitir N segundas secuencias donde N es la dimensión de la matriz de canal, la etapa 42 de evaluación puede ser llevada a cabo para determinar magnitudes de todos los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal.

15 El método 30 incluye también estimar una fase de uno o más elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, \mathbf{H} , de las SINRs de canal que son recibidas en la etapa 40 y son medidas por las secuencias secuencia, segunda, tercera y cuarta de los intervalos de tiempo (etapa 44). Cada SINR $_k[t_{m,n}]$ para una tercera secuencia se obtiene a partir de la medición de los uno o más receptores de potencias de canal recibidas para los intervalos de tiempo de la tercera secuencia de tiempo $t_{m,n}$, por ejemplo, mediciones de $\mathbf{E}(|Y_k(m,n) - d_k X_k|^2)$ o $\mathbf{E}(|Y_k(m,n)|^2)$ en los intervalos de tiempo de la tercera secuencia del tiempo $t_{m,n}$. Cada SINR $_k[t'_{m,n}]$ para una cuarta secuencia se determina a partir de las mediciones de los uno o más receptores de potencias de canal único para los intervalos de tiempo de la cuarta secuencia de tiempo $t'_{m,n}$, por ejemplo las mediciones de $\mathbf{E}(|Y'_k(m,n) - d_k X_k|^2)$ o $\mathbf{E}(|Y'_k(m,n)|^2)$ en los intervalos de tiempo de la cuarta secuencia de tiempo $t'_{m,n}$ o mediante promedios de la misma en unas pocas frecuencias vecinas.

25 En algunas realizaciones, la etapa 44 de estimación determina la fase o fases relativa o relativas de los uno o más elementos de fuera de la diagonal basándose en ecuaciones que describen promedios temporales en intervalos de tiempo de las secuencias tercera y cuarta. En una tercera secuencia de tiempo $t_{m,n}$, un símbolo de datos transmitido, $\mathbf{X}(m,n)$ tiene la forma $\mathbf{X} + s \cdot (\mathbf{E}(m) + \mathbf{E}(n)) / (2)^{0.5}$. Así, los objetos $\mathbf{E}(|Y_k(m,n)|^2)$ y $\mathbf{E}(|Y_k(m,n) - d_k X_k|^2)$, que están promediados en la citada tercera secuencia, tienen las formas:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{E}(|Y_k(m,n) - d_k X_k|^2) |_{t_{m,n}} &= \mathbf{E}(|Y_k - d_k X_k + s[H \cdot E_m + H \cdot E_n] / \sqrt{2}|^2) |_{t_0} \\
 &\approx \mathbf{E}(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} \cdot |H_{k,m} + H_{k,n}|^2 \\
 &\approx \mathbf{E}(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} \\
 &\quad + \frac{|s|^2}{2} \cdot [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \cdot \cos(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})]
 \end{aligned} \tag{5a}$$

35 Y

$$\mathbf{E}(|Y_k(m,n)|^2) |_{t_{m,n}} \approx \mathbf{E}(|Y_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \cos(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})]. \tag{5b}$$

40 En esta memoria, $\mathbf{H}_{km} = M_{km} \cdot \exp(i\phi_{k,m})$ donde M_{kn} y $\phi_{k,m}$ son las respectivas magnitud y fase de H_{km} . En la cuarta secuencia de tiempo $t'_{m,n}$, un símbolo de datos transmitido, $\mathbf{X}'(m,n)$, tiene la forma $\mathbf{X} + s \cdot (\mathbf{E}(m) + ph \cdot \mathbf{E}(n)) / (2)^{0.5}$. Así, si "ph" es "i", los objetos $\mathbf{E}(|Y'_k(m,n)|^2)$ y $\mathbf{E}(|Y'_k(m,n) - d_k X_k|^2)$ que están promediados en la citada cuarta secuencia tienen las formas:

$$\begin{aligned}
 E(|Y'_k(m,n) - d_k X_k|^2) |_{t'_{m,n}} &= E(|Y_k - d_k X_k + s[H \cdot E_m + e^{in/2} H \cdot E_n] / \sqrt{2}|^2) |_{t_0} \\
 &\approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} \cdot |H_{k,m} + e^{in/2} H_{k,n}|^2 \\
 &\approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} \\
 &\quad + \frac{|s|^2}{2} \cdot [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \cdot \sin(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})]
 \end{aligned} \tag{6a}$$

Y

$$E(|Y'_k(m,n)|^2) |_{t'_{m,n}} \approx E(|Y_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \sin(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})]. \tag{6b}$$

5

De las ecuaciones (1a), (1b), (2a), (2b), (5a), (5b), (6a) y (6b), puede verse que las SINRs de canal en los tiempos t_0 , t_m , $t_{m,n}$ y $t'_{m,n}$ definen el coseno y el seno de una fase de un elemento de fuera de la diagonal de la matriz de canal, \mathbf{H} , con respecto a la fase de un elementos de la diagonal de la matriz de canal, \mathbf{H} . Por ejemplo, se sigue que:

10

$$\cos(\phi_{k,m} - \phi_{k,n}) = \frac{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_{m,n}]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_n]} \right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right) \cdot \left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_n]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right)}} \tag{6a}$$

Y

$$\sin(\phi_{k,m} - \phi_{k,n}) = \frac{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t'_{m,n}]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_n]} \right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right) \cdot \left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_n]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right)}}. \tag{6b}$$

15

Así, en algunas realizaciones, la etapa 44 puede implicar evaluar los miembros derechos de las ecuaciones (6a) y (6b) para evaluar la fase o fases de uno o más elementos de fuera de la diagonal en una columna de la matriz de canal, \mathbf{H} , con respecto a una fase de un elemento de la misma columna. La etapa 44 puede implicar evaluar los miembros derechos de las ecuaciones (6a) y (6b) con un valor medido de $\text{SINR}_k[t_0]$, y con valores medidos de $\text{SINR}_k[t_m]$'s, $\text{SINR}_k[t_{m,n}]$'s y $\text{SINR}_k[t'_{m,n}]$'s que son recibidos en la etapa de recepción 40.

20

En varias realizaciones, la etapa 44 puede determinar la fase absoluta de los uno o más elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, \mathbf{H} , o no. En algunas realizaciones, la etapa 44 puede incluir añadir a la fase relativa de un elemento de fuera de la diagonal una fase absoluta medida del elemento de la diagonal de la misma columna de la matriz de canal, \mathbf{H} . La fase del citado elemento de la diagonal puede ser, por ejemplo, una fase para la ganancia de canal directa, d_k . En otras realizaciones, la etapa 44 no encuentra una fase absoluta de tales elementos de fuera de la diagonal. Por ejemplo, el transmisor puede incluir un recodificador configurado para diagonalizar el enlace de comunicación físico basándose en magnitudes y de fases correspondientes de los elementos de fuera de la diagonal del mismo tal como determina el método 30. Tal diagonalización puede ser realizada sin necesidad de fases absolutas de los elementos de fuera de la diagonal. Por el contrario, las fases correspondientes de los citados elementos con respecto a elementos de la diagonal de las mismas columnas pueden ser suficientes para llevar a cabo tal diagonalización de la matriz de canal, \mathbf{H} , mediante tal precodificador.

25

30

- 5 Si una realización del método 30 implica transmitir una tercera secuencia y sólo una cuarta secuencia, la estimación de fase de la etapa 44 puede ser llevada a cabo para determinar una fase relativa del elemento o elementos de fuera de la diagonal para el cual o los cuales se recibieron SINRs de canal k-ésimo correspondientes en la etapa 40.
- 10 Si la etapa de recepción 40 incluye recibir las SINRs de canal para N-1 canales, la estimación de fase de la etapa 44 puede ser llevada a cabo para evaluar fases correspondientes de los elementos de fuera de la diagonal de toda la columna m-ésima de la matriz de canal, **H**.
- 15 Si una realización del método 30 implica transmitir múltiples secuencias segunda, tercera y cuarta de símbolos de datos, la etapa 44 puede ser llevada a cabo de manera que se obtengan fases relativas de elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal en múltiples columnas de la matriz de canal.
- 20 Si una realización del método 30 implica transmitir múltiples secuencias segunda, tercera y cuarta de símbolos de datos, el método 30 puede ser llevado a cabo para evaluar tal fase relativa de cada elemento de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**.
- 25 En otras realizaciones de métodos 20 y/o 30 de las Figuras 2 y 8, los símbolos transmitidos en las secuencias segunda, tercera y/o cuarta de las etapas 32, 34, 36 y 38 pueden tener formas que son diferentes perturbaciones de los símbolos de primera forma transmitidos en la primera secuencia de la etapa 32. Por ejemplo, cada símbolo, **X'**, de una o más de tales secuencias segunda, tercera y/o cuarta pueden ser relativos a los símbolos, es decir, **X'** de la constelación de la primera secuencia mediante la relación $\mathbf{X}' = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{X}$ o alternativamente mediante la relación $\mathbf{X}' = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{D}$ donde **Q** es una matriz de NxN fija y **D** es un vector de longitud N fija. Se modificarían las realizaciones de ejemplo del método 30 de la Figura 8 tal como se describe en esta memoria para transmitir tales símbolos, **X'**, en las secuencias segunda, tercera y/o cuarta en las que las SINRs de canal son medidas y modificarían las etapas 42 y 44 para permitir la evaluación de los elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**.
- 30 Puede hacerse que el transmisor 14 y uno o más receptores 16 de la Figura 1 lleven a cabo cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente del método 30 para determinar el o los elemento o elementos de fuera de la diagonal de la matriz de canal para el enlace 12 de comunicación físico. Así, realizaciones del transmisor 14 pueden estimar una magnitud y una fase absoluta o relativa de uno o más de un elemento de fuera de la diagonal de la matriz de canal, **H**.
- 35 La Figura 9 ilustra un transmisor 14 de ejemplo para su uso en el sistema de comunicación 10 de la Figura 1. El transmisor 14 de ejemplo está configurado para llevar a cabo las etapas de los métodos 20 y 30 como se muestra en las Figuras 2 y 8. El transmisor 14 incluye un dispositivo transmisor (Tx), un dispositivo receptor (Rx), un digital processor (DP - procesador digital), una digital memory (DM – Memoria Digital), un data storage device (DSD – Dispositivo de Almacenamiento Digital), y un communications bus (CB – Bus de Comunicaciones). El dispositivo transmisor Tx está configurado y conectado para transmitir N flujos de símbolos a los N canales soportados por el enlace 12 de comunicación físico de manera que los flujos de datos son transmitidos al receptor 16. El dispositivo receptor Rx está conectado para recibir símbolos desde el receptor 16, por ejemplo, mediante el enlace 12 de comunicación físico. En particular, el dispositivo receptor Rx es capaz de recibir SINRs por canal desde el receptor 16 y está configurado o es controlable para almacenar las citadas SINRs por canal para activar la memoria digital DM. El procesador digital DP está configurado para controlar el transmisor Tx y el receptor Rx y para ejecutar programas almacenados en la memoria digital DM activa. La memoria digital DM activa almacena uno o más programas de instrucciones, en la que los uno o más programas son en forma o formas ejecutable o ejecutables por el procesador digital DP. Los unos o más programas incluyen instrucciones que ejecutan las etapas de los métodos 20 y 30 de las Figuras 2 y 8. La memoria digital DM activa puede también almacenar datos para su uso en ejecutar las citadas instrucciones, por ejemplo, valores de SINRs de canal medidos en la etapa 22 de la Figura 2 y/o la etapa 40 de la Figura 8. El dispositivo de almacenamiento de datos DSD puede incluir un disco óptico o magnético y un lector de disco asociado y/o puede incluir un disco duro. El dispositivo de almacenamiento de datos DSD almacena los programas de instrucciones para ejecutar los métodos 20 y/o 30 de las Figuras 2 y 8. Los citados programas son almacenados en formas ejecutables por el procesador digital DP. El bus de comunicaciones CB está configurado para soportar comunicaciones entre el procesador digital DP, el dispositivo transmisor Tx, el dispositivo receptor Rx, la memoria digital activa DM y el dispositivo de almacenamiento de datos DSD.
- 40 El dispositivo transmisor Tx puede también incluir un precodificador (P) que es configurable y/o controlable para hacer que el dispositivo transmisor Tx transmita símbolos de datos que tienen formas de las secuencias primera, segunda, tercera y cuarta tal como se describen en las etapas 32, 34, 36 y 38 del método 30 de la Figura 8. Además, el precodificador P puede ser configurable para aplicar una transformación lineal a los N flujos de símbolos de una manera que diagonalice de manera efectiva el enlace 12 de comunicación físico. Es decir, el precodificador P puede aplicar una transformación lineal a los N flujos de símbolos de manera que su subsiguiente transformación mediante transmisión en el enlace 12 de comunicación físico no mezcle substancialmente símbolos de diferentes de los flujos de símbolos en los uno o más receptores 16. El precodificador P está configurado para llevar a cabo una diagonalización basándose en la forma de la matriz de canal, **H**, determinada por el método 20 y/o 30 de las Figuras
- 45
- 50
- 55
- 60

2 y 8. En realidad, el precodificador P puede estar configurado basándose en las magnitudes y fases relativas de los elementos de realización de la matriz M.

5 De la descripción, dibujos y reivindicaciones, otras realizaciones de la invención resultarán evidentes para los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método, que comprende:
- 10 recibir en un receptor una pluralidad de mediciones de relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido para uno o más receptores, estando los uno o más receptores acoplados al transmisor por medio de un enlace de comunicación físico, soportando el enlace de comunicación físico una pluralidad de canales de comunicación entre el transmisor y los uno o más receptores; y
- 15 determinar una fase de uno o más elementos de fuera de la diagonal de una matriz de canal para el enlace de comunicación físico basándose en la pluralidad de relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido recibidas.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, que comprende también:
- 25 transmitir flujos de tonos de DSL desde el transmisor a uno o más receptores por medio del enlace de comunicación físico.
- 30 3. El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que cada canal corresponde a uno de una pluralidad de tonos de DSL.
- 35 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones previas, que comprende también:
- 40 transmitir flujos de símbolos ópticos desde el transmisor a uno o más receptores por medio de diferentes canales de longitud de onda del enlace de comunicación físico.
- 45 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones previas, en el que cada fase determinada es una fase relativa de los uno o más elementos de fuera de la diagonal con respecto a otro elemento de la matriz de canal.
6. Un aparato, que comprende:
- un transmisor configurado para transmitir símbolos a uno o más receptores por medio de una pluralidad de canales de comunicación de un enlace de comunicación físico;
- en el que el transmisor está configurado para estimar una fase de uno o más elementos de fuera de la diagonal de una matriz de canal para el enlace de comunicación físico basándose en valores de relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido recibidos desde los uno o más receptores.
7. El aparato de la reivindicación 6, en el que el transmisor está configurado para evaluar una fase de los uno o más elementos de fuera de la diagonal basándose en valores de relaciones de señal-a-interferencia-más-ruido de canal.
8. El aparato de la reivindicación 6 ó 7, en el que el transmisor incluye un precodificador capaz de llevar a cabo precodificación, que diagonaliza de manera efectiva el enlace de comunicación físico.
9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el transmisor está configurado para transmitir los símbolos por medio de tonos de DSL.
10. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el transmisor está configurado para transmitir flujos de símbolos ópticos al enlace comunicación físico en diferentes canales de longitud de onda.

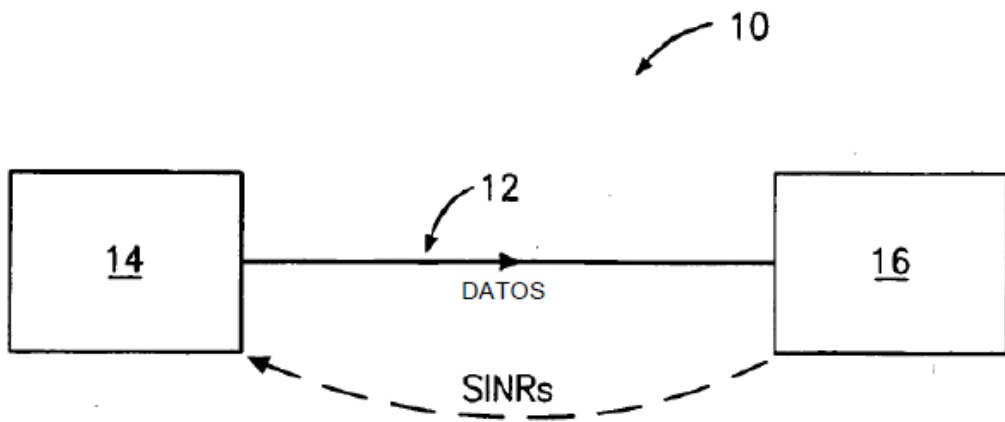


FIG. 1

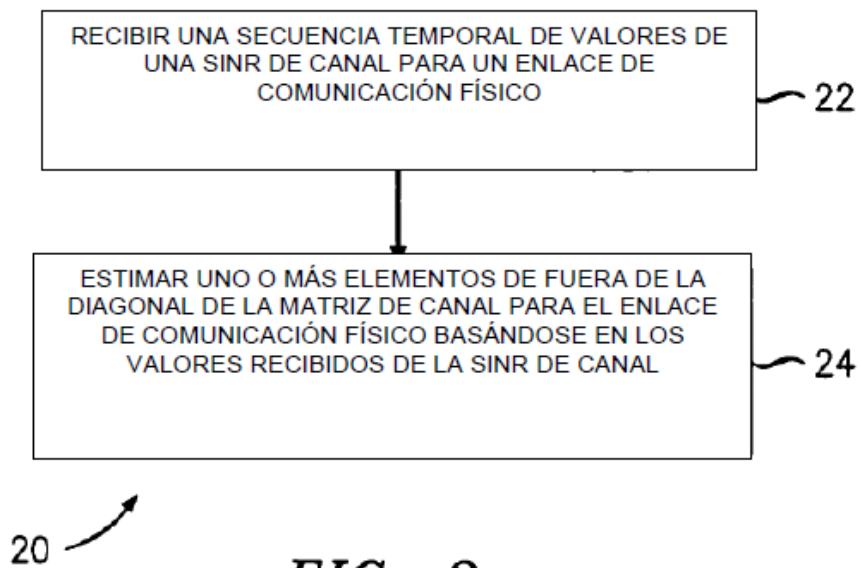


FIG. 2

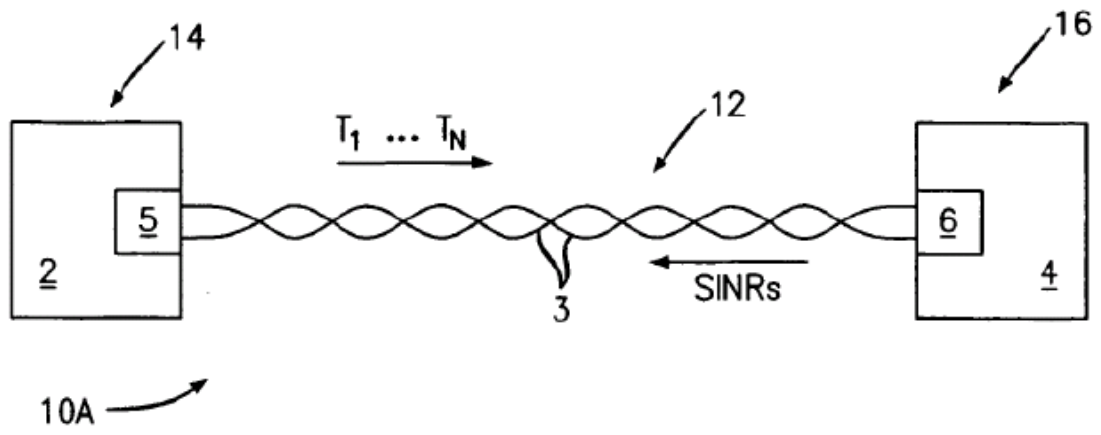


FIG. 3

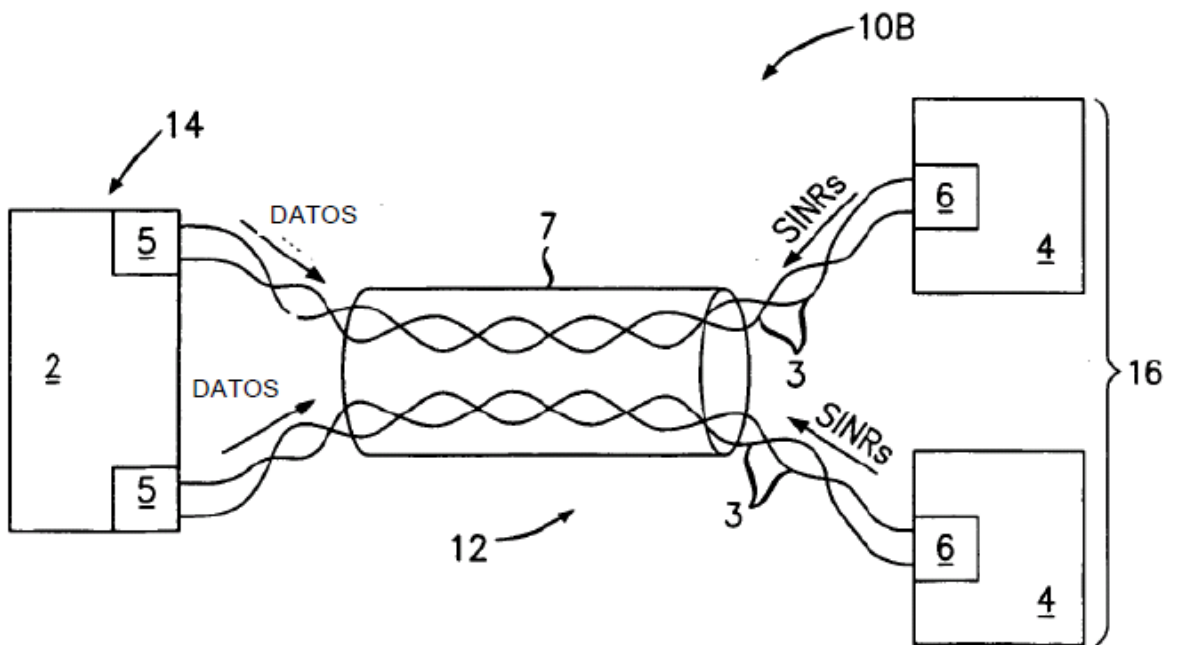


FIG. 4

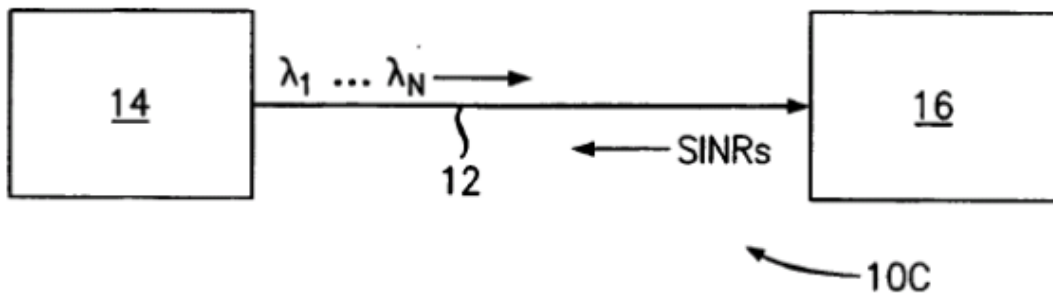


FIG. 5

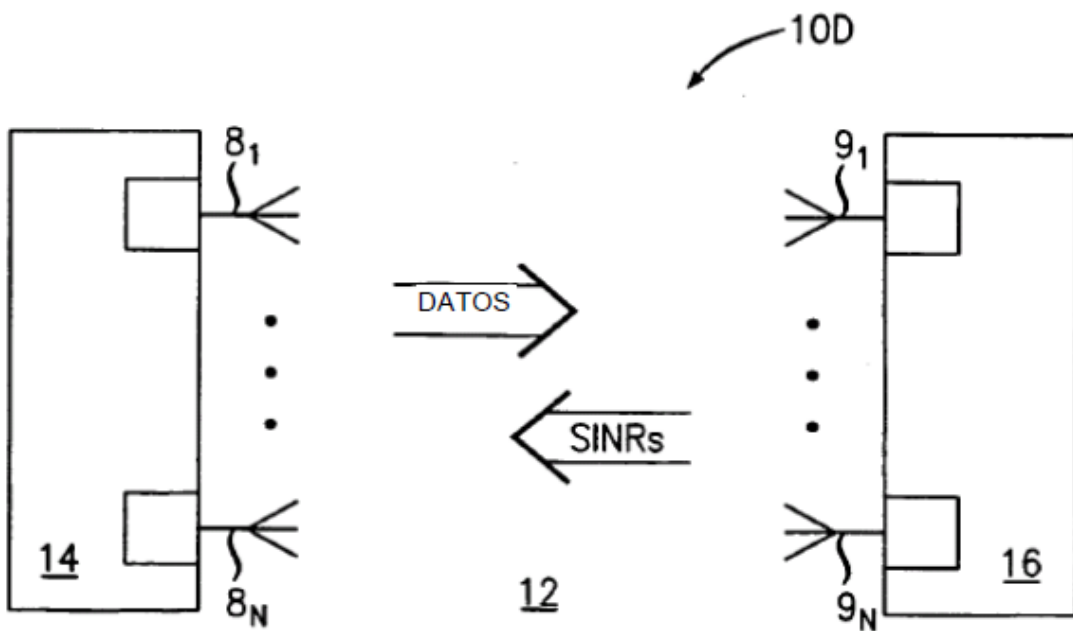


FIG. 6

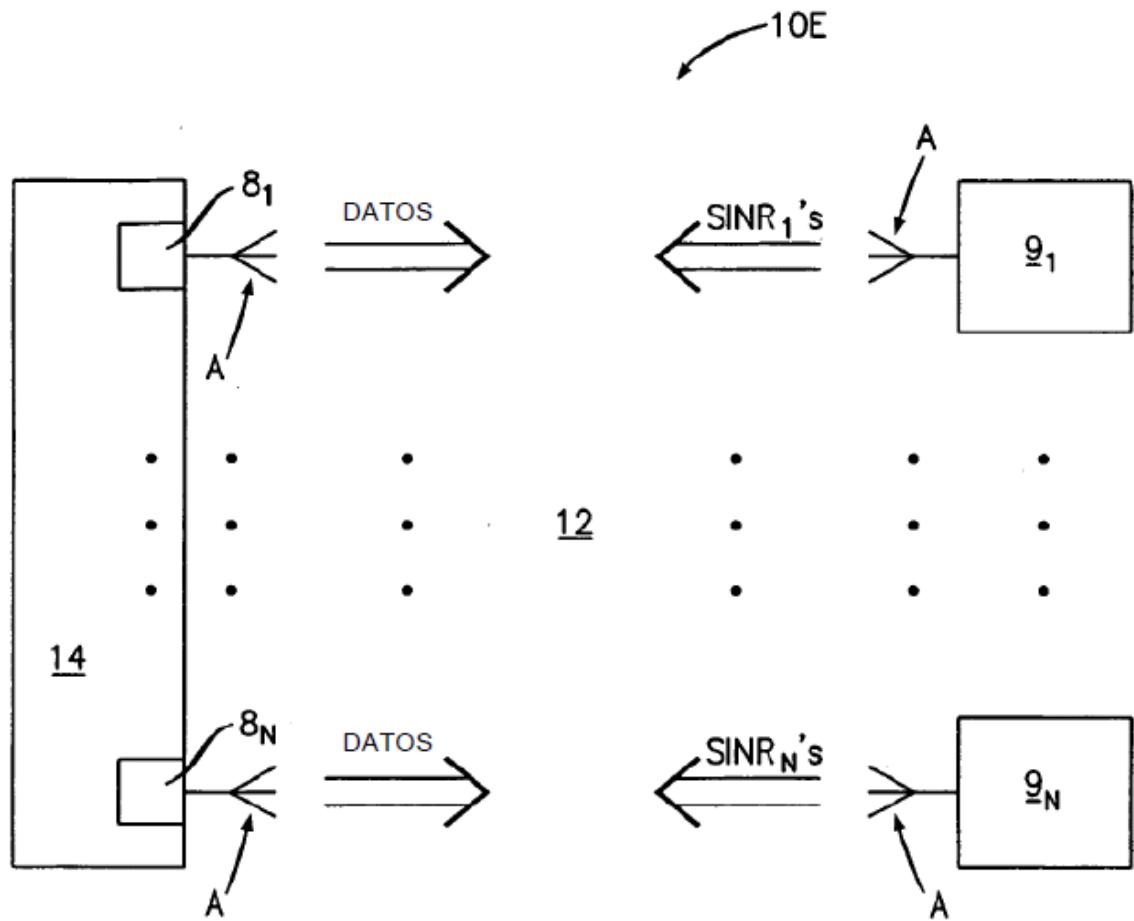
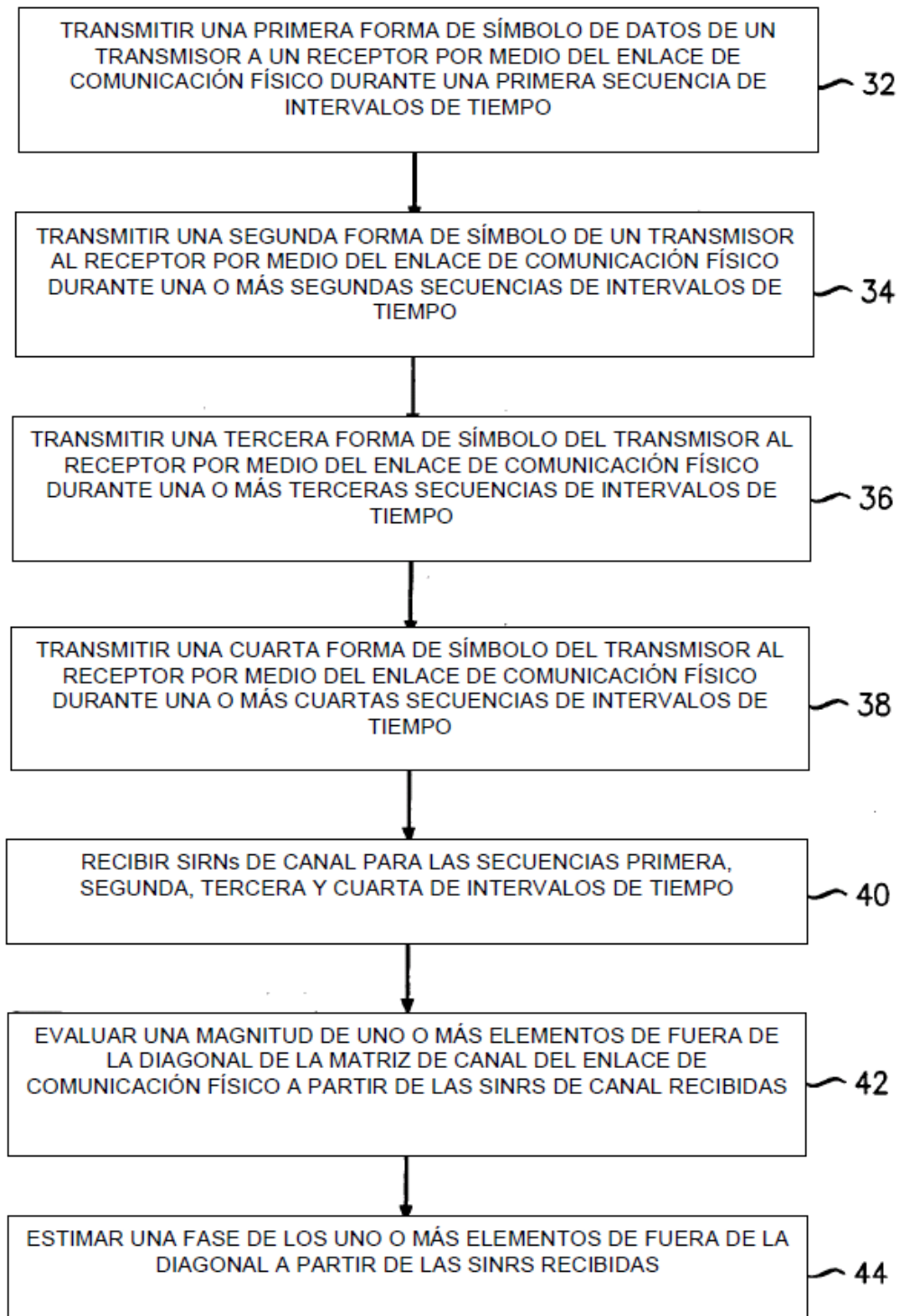


FIG. 7



30 ↗

FIG. 8

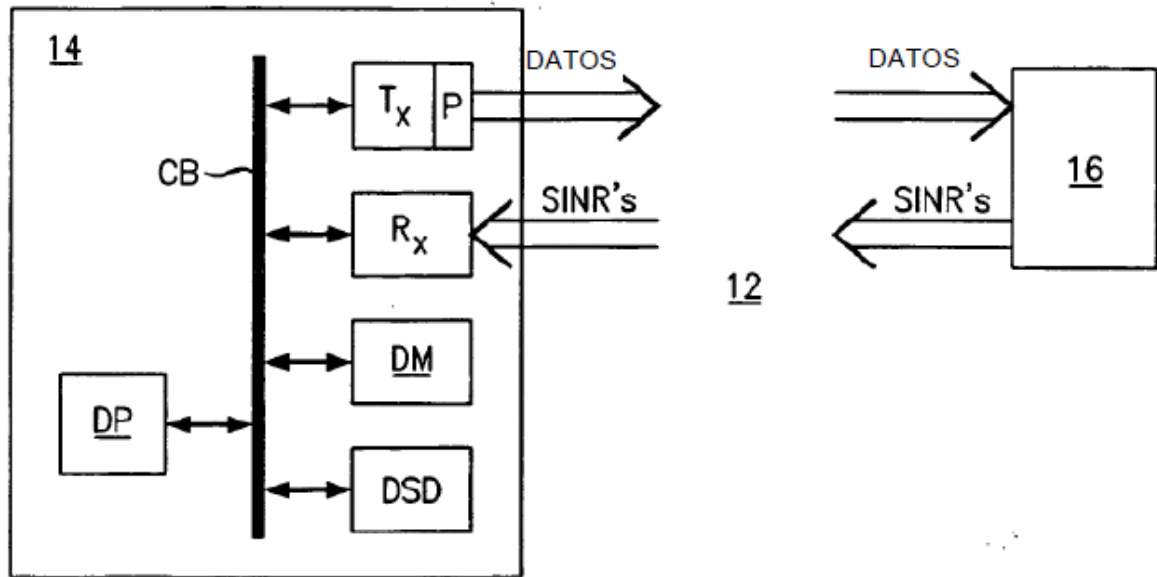


FIG. 9