

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 100**

51 Int. Cl.:

H04B 3/32 (2006.01)

H04B 3/46 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.10.2008 PCT/US2008/012281**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2009 WO09058306**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2008 E 08843760 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 2215739**

54 Título: **Método y aparato de interpolación para aumentar la eficiencia de la estimación de diafonía**

30 Prioridad:

02.11.2007 US 934347

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

16.10.2018

73 Titular/es:

**ALCATEL-LUCENT USA INC. (100.0%)
600-700 Mountain Avenue
Murray Hill, NJ 07974, US**

72 Inventor/es:

**ASHIKHMIN, ALEXEI;
DE LIND VAN WIJNGAARDEN, ADRIAAN, J.;
KRAMER, GERHARD GUENTER, THEODOR;
WHITING, PHILIP, ALFRED y
ZIVKOVIC, MIROSLAV**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 686 100 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

Método y aparato de interpolación para aumentar la eficiencia de la estimación de diafonía

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere, en general, a sistemas de comunicación, y más particularmente a técnicas para interpolar estimados de diafonía asociados con los canales de comunicación en tales sistemas.

10 **Antecedentes de la invención**

Como es bien sabido, un sistema de comunicación puede utilizar múltiples canales de comunicación para comunicar señales entre transmisores y receptores del sistema. Por ejemplo, pueden usarse múltiples canales para separar diferentes señales de datos transmitidos entre sí.

15 Un problema que puede surgir en los sistemas de comunicación de múltiples canales, se refiere a la diafonía entre los diversos canales, también denominada diafonía entre canales. Por ejemplo, en un sistema típico de línea digital por suscripción (DSL, por sus siglas en inglés), cada uno de los canales puede comprender tonos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM, por sus siglas en inglés) o tonos discretos de modulación de múltiples tonalidades (DMT, por sus siglas en inglés), transmitidos a través de un enlace de comunicación físico tal como un cable de cobre de par trenzado. Una transmisión en una línea por suscripción puede causar interferencia en otras líneas por suscripción, lo que puede dar como resultado la degradación del rendimiento del sistema. Más generalmente, un canal "víctima" dado puede experimentar una diafonía de múltiples canales "perturbadores", llevando de nuevo a una interferencia indeseable. Desde luego, debe entenderse que la interferencia puede ser mutua, es decir, un canal víctima puede ser un canal perturbador, y un canal perturbador puede ser un canal víctima. Se puede encontrar un ejemplo de la técnica anterior en la publicación titulada "*Partial crosstalk pre-compensation in downstream VDSL*" de R. Cendrillon publicada en procesamiento de señal, Elsevier Science, 1 de noviembre de 2004. Un precodificador DSL es un filtro digital de matriz que actúa sobre las señales que se transmitirán simultáneamente para reducir o eliminar la interferencia por diafonía entre las mismas. Para realizar esta función idealmente, el precodificador debe emplear los valores exactos de los coeficientes de diafonía relativos entre las líneas dadas.

35 Sin embargo, es difícil proporcionar estimaciones exactas de diafonía rápidamente, debido tanto a la precisión requerida, como debido a que estos coeficientes cambian con el tiempo como resultado de los cambios de temperatura y otros factores externos. Dado que puede haber varios cientos de tonos que se van a medir tanto de emisor a receptor como de receptor a emisor, el proceso de obtención de estas estimaciones puede ser numéricamente bastante intensivo.

40 Existe la necesidad de técnicas que obtengan de manera eficiente estimaciones de diafonía de canales en sistemas DSL y otras formas de interferencia tales como una diafonía ajena de líneas co-localizadas con señales DMT no sincronizadas con la línea víctima.

Sumario de la invención

45 Los principios de la invención proporcionan técnicas que obtienen de manera eficiente estimaciones de diafonía de canales en sistemas DSL y otros sistemas de comunicación que pueden incluir canales no sincronizados.

50 Por ejemplo, en un aspecto de la invención, un método incluye obtener un primer conjunto de mediciones estimadas de diafonía para una primera parte de una pluralidad de canales de comunicación sobre los cuales las señales de datos van a transmitirse desde un transmisor a una pluralidad de receptores, e interpolar un segundo conjunto de mediciones estimadas de diafonía para una segunda parte de la pluralidad de canales de comunicación basándose en el primer conjunto de mediciones estimadas de diafonía.

55 La primera parte de la pluralidad de canales de comunicación puede ser un subconjunto de la pluralidad de canales de comunicación y la segunda parte de la pluralidad de canales de comunicación puede ser un sobrante de la pluralidad de canales de comunicación.

60 El método puede incluir además ajustar un conjunto de señales de datos basándose en al menos una parte del primer conjunto y el segundo conjunto de mediciones estimadas de diafonía. El primer conjunto de mediciones estimadas de diafonía se puede generar a partir de mediciones de la relación señal-interferencia-más-ruido (SINR) recibidas de al menos una parte de la pluralidad de receptores.

65 En una primera realización, la etapa de interpolación puede incluir además generar valores de fase y de amplitud interpolados que comprenden el segundo conjunto de mediciones estimadas de diafonía. Estos valores de fase y de amplitud interpolados pueden generarse a partir de los valores de fase y de amplitud medidos que comprenden el primer conjunto de mediciones estimadas de diafonía. Los valores de fase interpolados pueden generarse mediante

una operación de ajuste de curvas. Los valores de amplitud interpolados se pueden generar seleccionando un valor de amplitud medido más cercano.

5 En una segunda realización, la etapa de interpolación puede incluir además proporcionar un filtro de respuesta finita, calcular una convolución de valores del primer conjunto de mediciones estimadas de diafonía usando el filtro de respuesta finita y obtener valores para el segundo conjunto de mediciones estimadas de diafonía basándose en en la convolución calculada.

10 Estos y otros objetivos, características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones ilustrativas de la misma, que debe leerse en conexión con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

15 La figura 1 ilustra un sistema de comunicación según una realización ilustrativa de la invención.
 La figura 2 ilustra una arquitectura de interpolación usada para estimar la diafonía según una realización ilustrativa de la invención.
 La figura 3 ilustra un método de interpolación de estimación de diafonía según una realización ilustrativa de la invención.
 20 La figura 4 ilustra un método de interpolación de estimación de diafonía según otra realización ilustrativa de la invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferentes

25 La presente invención se ilustrará a continuación conjuntamente con sistemas de comunicación ejemplares y técnicas asociadas para compensar la diafonía entre canales de comunicación en tales sistemas. Sin embargo, debe entenderse que la invención no está limitada al uso con ningún tipo particular de sistema de comunicación o aplicación de medición de diafonía de canal. Las técnicas descritas son adecuadas para su uso con una amplia variedad de otros sistemas de comunicación, y en numerosas aplicaciones alternativas de medición de diafonía. Por
 30 ejemplo, aunque se ilustra a continuación en el contexto de sistemas DSL basándose en en DMT, las técnicas divulgadas se pueden adaptar de manera directa a otros tipos de sistemas de comunicación por cable o inalámbricos, que incluyen sistemas celulares, sistemas de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO, por sus siglas en inglés), Wi-Fi o sistemas WiMax, etc.

35 Como se usa en el presente documento, debe entenderse que un "canal" es el medio físico a través del cual se envían las señales de comunicación entre un transmisor y un receptor. En muchos casos, puede haber varios de tales canales muy cerca el uno del otro y esto puede causar interferencia o diafonía, como se ha mencionado anteriormente. Una "línea" o línea por cable es un ejemplo de un canal que se construye mediante el uso de un cable, tal como un cable de cobre, o cualquier otro medio equivalente de dirigir una señal entre los usuarios. En
 40 DSL, el mismo es el haz de líneas juntas lo que lleva a la diafonía. Además, una forma de señalización tanto en el acceso por cable como inalámbrico consiste en dividir el espectro del canal en bandas de frecuencia estrecha conocidas como "tonos". Por ejemplo, en un canal inalámbrico, los símbolos en OFDM se envían a través de sus tonos respectivos. Una división similar se hace, a menudo, en DSL.

45 La figura 1 muestra un sistema de comunicación 100 que comprende un transmisor 102 que se comunica con múltiples receptores 104 a través de los canales de comunicación 106 respectivos. Los canales de comunicación 106 pueden comprender canales cableados o canales inalámbricos. Como se muestra en la figura 1, el transmisor 102 comprende un procesador 110T acoplado a una memoria 112T y a circuitos de interfaz 114T. De manera similar, uno de los receptores 104 comprende un procesador 110R acoplado a una memoria 112R y unos circuitos
 50 de interfaz 114R. Se supone que los otros receptores 104 están configurados de manera similar.

Aunque se muestra un único transmisor que se comunica con múltiples receptores en el sistema 100 ilustrativo, son posibles muchas otras configuraciones. Por ejemplo, múltiples transmisores pueden comunicarse con múltiples receptores, o un único transmisor puede comunicarse con un único receptor. Los términos "transmisor" y "receptor"
 55 tal como se usan en el presente documento están destinados a ser interpretados en general, de modo que abarquen elementos transmisores y receptores respectivos individuales, así como combinaciones de múltiples elementos transmisores y receptores respectivos. Además, el transmisor 102 puede comprender múltiples unidades transmisoras separadas, por ejemplo, en el caso de una oficina central en un sistema DSL, o una estación base en un sistema celular.

60 Además, un dispositivo de comunicación dado del tipo mostrado en la figura puede funcionar tanto como un receptor como un transmisor. Por lo tanto, los elementos 102 y 104 del sistema 100, aunque se caracterizan como elementos transmisores y receptores respectivos para fines de ilustración, pueden comprender cada uno unos circuitos transceptores y ser operativos para funcionar tanto como un transmisor como un receptor. Las técnicas de
 65 interpolación de diafonía divulgadas en el presente documento pueden, por lo tanto, emplearse con respecto a las transmisiones de un elemento 104 al elemento 102. Los elementos 102 y 104 pueden comprender o incorporarse en

dispositivos de procesamiento respectivos de un sistema de comunicación, tales como módems, ordenadores u otros dispositivos de comunicación. Numerosos dispositivos de este tipo son bien conocidos para aquellos expertos en la técnica y, por lo tanto, no se describen adicionalmente en el presente documento.

5 Los programas informáticos para la estimación, interpolación y compensación de diafonía y desempeño de operaciones de procesamiento de señales transmisoras y receptoras asociadas en el sistema 100, pueden almacenarse en la memoria 112 y ejecutarse mediante el procesador 110. El transmisor 102 y los receptores 104 pueden cada uno comprender múltiples circuitos integrados, procesadores de señales digitales u otros tipos de dispositivos de procesamiento, y circuitos de soporte asociados, en cualquier combinación, usando disposiciones convencionales bien conocidas. Desde luego, se pueden utilizar numerosas disposiciones alternativas de *hardware*, *software* o *firmware* en cualquier combinación para implementar el transmisor 102 y los receptores 104 o partes particulares de los mismos.

15 El sistema 100 como se muestra en la figura se puede ver como una representación de cualquiera de una serie de diferentes tipos de sistemas de comunicación. A modo de ejemplo, el sistema 100 puede comprender un sistema DSL en el que los datos se transmiten utilizando tonos DMT. Los aspectos convencionales de tales sistemas son bien conocidos y, por lo tanto, no se describen en detalle en el presente documento. La diafonía entre canales en un sistema DSL que usa DMT puede comprender, por ejemplo, diafonía de extremo lejano (FEXT), aunque las técnicas divulgadas, generalmente, son más aplicables a una amplia variedad de otros tipos de diafonía. Debido a que los tonos DMT, habitualmente, son relativamente estrechos con respecto al espectro de frecuencia total utilizado, el impacto en una frecuencia particular puede modelarse como un único coeficiente complejo h que indica la diafonía en una línea de suscripción "víctima" dada, a partir de una línea de suscripción "perturbadora" dada, en un índice de tonos dado. La amplitud del coeficiente representa el cambio en escala para el portador DMT correspondiente, mientras que la fase del coeficiente representa el cambio de fase para aquel portador.

25 La diafonía entre los múltiples canales de comunicación 106 a través de los cuales el transmisor 102 se comunica con los receptores 104 en el sistema 100, puede compensarse usando una metodología denominada precodificación, también conocida como precompensación. En una metodología de precompensación, las mediciones de diafonía determinadas por los receptores y comunicadas al transmisor se utilizan para determinar los coeficientes de una matriz de canales. La precodificación efectiva requiere, generalmente, un aumento efectivo de canales e información de fase. Por ejemplo, usando un modelo de diafonía lineal para caracterizar N canales, puede generarse una matriz de canales $N \times N$, con los elementos de diagonal secundaria de la matriz que representan los coeficientes complejos indicados anteriormente que caracterizan la diafonía entre canales. La precodificación puede aplicarse en el transmisor usando un filtro digital de forzado cero (o precodificador) que recibe como sus entradas un vector de señales de datos que se va a transmitir y la matriz de canales indicados anteriormente y genera a partir de la misma un vector de señales de datos compensadas.

30 Otra aplicación en la que se pueden usar mediciones de diafonía entre canales consiste en el manejo de los diversos canales del sistema. Por ejemplo, tales mediciones se pueden usar para determinar una asignación óptima de potencia u otros recursos entre los canales o para proporcionar estabilidad de velocidades binarias de canales. En el contexto DSL, esto puede implicar el uso de mediciones para mejorar las asignaciones de potencia de nivel 2 de manejo de espectro dinámico (DSM) o algoritmos de estabilidad, facilitando de este modo el mantenimiento de una velocidad binaria declarada para una línea determinada. Estas y otras aplicaciones de asignación de recursos habitualmente requieren estimaciones menos precisas y, por lo tanto, pueden no necesitar información de fase de canales.

45 El transmisor 102 y los receptores 104 del sistema 100 en la figura 1 están configurados ventajosamente de manera que se puedan generar estimaciones u otras mediciones de diafonía entre canales de una manera exacta y eficiente. Tales mediciones de diafonía pueden ser devueltas desde los receptores 104 al transmisor 102 para su uso en aplicaciones tales como precodificación o asignación de recursos del tipo descrito anteriormente. Las mediciones pueden comprender, por ejemplo, los coeficientes de respuesta de impulsos que caracterizan la diafonía. Alternativamente, las mediciones generadas por los receptores pueden devolverse al transmisor y procesarse adicionalmente allí para obtener coeficientes de respuesta de impulsos.

50 Según las realizaciones ilustrativas, se describirán ahora técnicas para obtener estimaciones de diafonía. A modo de ejemplo, tales técnicas de estimación de diafonía se pueden implementar en el transmisor 102 del sistema de comunicación de la figura 1.

60 Los principios de la invención demuestran que es ventajoso obtener estimaciones de diafonía en todos los tonos midiendo solo una pequeña fracción de los tonos e interpolando las estimaciones de diafonía en el resto de los tonos. Ventajosamente, esto puede reducir el tiempo necesario para obtener las estimaciones mediante un factor significativo. Además, el mismo puede prepararse para usar señales de medición más fuertes en un pequeño número de tonos o incluso realizar mediciones para interrumpir completamente las señales en el tono. Adicionalmente, incluso si los valores interpolados no sean lo suficientemente precisos, los mismos pueden pasarse a dispositivos tales como un precodificador de auto-sintonización que puede refinar rápidamente las estimaciones. Un ejemplo de tal precodificador de auto-sintonización se describe en el Serial mencionado anteriormente N.º

11/848,684 (número de registro de apoderado De Lind Van Wijngaarden 21-10-18-7 y titulado "Method and Apparatus for Self-Tuning Precoder"). Finalmente, tal dispositivo se puede usar para determinar la exactitud o eficacia de la estimación del coeficiente de diafonía suministrado por la interpolación.

5 Incluso cuando estén disponibles y se utilicen estimaciones de diafonía exactas, los métodos de interpolación pueden mejorar la capacidad de rastrear los cambios en los coeficientes de diafonía. Por ejemplo, en muchos casos, las líneas medidas tienen una fase que depende linealmente de la frecuencia a una aproximación cercana. Si este es el caso, las estimaciones de fase en varios tonos se pueden usar para inferir con precisión la fase en un tono
10 dado, de modo que el esfuerzo de estimación necesario para adquirir la fase o su equivalente se pueda reducir sustancialmente. Sin embargo, puede ser preferible tener más de dos puntos para tener en cuenta la ambigüedad de fase (es decir, el módulo 2π) así como las pequeñas variaciones. A modo de ejemplo adicional, la interpolación puede utilizarse para recuperar las estimaciones de diafonía de los tonos donde se ha perdido el seguimiento y se ha degradado el desempeño de la precodificación.

15 Los principios de la invención pueden interpolarse a lo largo del tiempo, así como al exceder la frecuencia. Por lo tanto, si en algún momento conocemos algunos o todos los coeficientes de diafonía con un nivel suficiente de exactitud, entonces, después de algún tiempo, los coeficientes de diafonía serán diferentes hasta cierto punto. Además, en superficies físicas puede suponerse que existe una cierta regularidad o modelo con respecto al modo en que se producen los cambios en función de los cambios en la temperatura, la humedad y así sucesivamente.

20 Dado lo anterior, pueden estimarse entonces los coeficientes de diafonía en la mayoría de los tonos para los que se tienen mediciones del precodificador en primer lugar, al determinar primero con exactitud los coeficientes de diafonía en un pequeño subconjunto de los tonos y luego interfiriendo el resto mediante la estimación del cambio en los factores físicos y luego determinando los cambios en el resto como resultado.

25 Las técnicas de interpolación de la invención también se pueden usar en conjunción con algoritmos de nivel 2 de DSM, los que buscan determinar el espectro de potencia en función de las amplitudes de diafonía. En el nivel 2 de DSM, la interferencia entre usuarios se controla mediante una asignación de potencia a través de tonos, controlando de este modo el grado de diafonía. Por lo general, solo se necesita el conocimiento de las amplitudes de diafonía para determinar el espectro de transmisión del usuario. La interpolación mejora este método para mitigar la diafonía al permitir que el sistema determine las amplitudes de diafonía entre un par de líneas con un uso mínimo de la medición real. El interpolador proporciona las estimaciones de las amplitudes de diafonía perdidas junto con una estimación de error y estas dos se pueden usar entonces para determinar la asignación del espectro de potencia. Por lo tanto, se pueden eludir las restricciones de los sistemas. Adicionalmente, se requiere mucho menos
35 complejidad computacional.

Para resumir, los métodos de interpolación de la invención tienen al menos dos aspectos importantes. Primero, los mismos tienen la capacidad de estimar o anticipar los valores de diafonía en las estimaciones dadas de tonos intermedios sin medir en un subconjunto de tonos. Segundo, los mismos proporcionan una estimación de error para los valores interpolados. Estas estimaciones de error se pueden usar para decidir si se necesita medir en tonos
40 adicionales. Los mismos también se pueden pasar a dispositivos tales como el precodificador de auto-sintonización, junto con los valores interpolados, de modo que estos dispositivos a su vez puedan decidir qué líneas abordar para reducir la diafonía. Esto se hace al final de la etapa de interpolación de la estimación.

45 La figura 2 ilustra una arquitectura de interpolación según una realización de la invención. Como se muestra, la arquitectura 200 incluye un estimador de diafonía 202, un interpolador 204, un control de ajuste 206, un transmisor 208-v ("v" indica el transmisor asociado al canal o línea de comunicación víctima), transmisor 208-d ("d" indica el transmisor asociado al canal o línea de comunicación perturbadora), equipo terminal del abonado (CPE) 210-v ("v" indica el CPE asociado al canal o línea de comunicación víctima) y equipo terminal del abonado (CPE) 210-d ("d" indica el CPE asociado al canal o línea de comunicación víctima). Cada CPE puede comprender un módem, un ordenador u otro dispositivo de comunicación. Debe entenderse que aunque el estimador de diafonía 202, el interpolador 204 y el control de ajuste 206 se muestran en la figura que están separados del transmisor 208-v, estos componentes funcionales forman, preferentemente, parte del sistema transmisor. De hecho, se puede considerar que el sistema transmisor incluye el estimador de diafonía 202, el interpolador 204, el control de ajuste 206, el transmisor 208-v y el transmisor 208-d. Por lo tanto, los componentes funcionales se muestran por separado en la figura para facilitar la referencia. Además, a modo de ejemplo, debe apreciarse que el estimador de diafonía 202, el interpolador 204, el control de ajuste 206 y el transmisor 208-v pueden implementarse en el transmisor 102 del sistema de comunicación de la figura 1. Los CPE podrían corresponder a los receptores (104) mostrados en la figura 1. Sin embargo, los principios de la invención no están limitados a esta arquitectura particular, es decir,
50 alternativamente, uno o más del estimador de diafonía, interpolador y control de ajuste, en realidad, pueden implementarse separados del transmisor.

En general, los transmisores 208 transmiten, simultáneamente, señales de datos a los CPE 210 a través de líneas de comunicación respectivas. En el escenario ilustrativo mostrado en la figura 2, la diafonía de una de una pluralidad de líneas (línea perturbadora d) está presente en otra de la pluralidad de líneas (línea víctima v). Sin embargo, aunque solo se muestra una línea perturbadora, en la práctica, más de una línea puede causar que se presente
65

diafonía en la línea víctima. Los datos de estimación de diafonía se alimentan de nuevo desde el CPE 210-v al estimador de diafonía 202. En un sistema de transmisión habilitado con compensación de diafonía que no emplea la interpolación según la invención, se miden las estimaciones de diafonía para cada línea (tono) que causa diafonía en la línea víctima. Estas estimaciones se usan entonces para ajustar las señales de datos posteriores que se van a

5 transmitir mediante los transmisores del sistema. El proceso puede iterarse obteniendo nuevas estimaciones y haciendo nuevos ajustes. En teoría, si las estimaciones son exactas, el ajuste de las señales de datos eliminará la diafonía presente en la línea víctima. Sin embargo, se debe apreciar que cuanto mejores sean las estimaciones, mejor será la reducción de diafonía.

10 Una realización ejemplar de un mecanismo para compensar la diafonía que se puede usar en la arquitectura 200 de la figura 2, se describe en la solicitud mencionada anteriormente N.º de serie 11/848,684 (número de registro de apoderado De Lind Van Wijngaarden 21-10-18-7 y titulado "Method and apparatus for Self-Tuning Precoder"). En el mismo, se describe que una arquitectura de precodificador de auto-sintonización utiliza estimaciones basadas en la perturbación para anular la diafonía de líneas perturbadoras en una línea víctima. Como se explica en el presente

15 documento, el estado actual de una matriz en el precodificador (es decir, una matriz precodificadora) se determina mediante una matriz de estimaciones de diafonía relativa que se usa para derivar un filtro de matriz. Se proporcionan estimaciones de relación señal a interferencia más ruido (SINR) mediante el CPE víctima antes de la perturbación y después de una perturbación hecha para una línea perturbadora particular. Esta retroalimentación se proporciona a un precodificador que también emite comandos para las perturbaciones en la matriz precodificadora. Tales

20 comandos se realizan teniendo en cuenta no solo el impacto en la línea de interés v sino también el impacto en otras líneas. Además, se pueden enviar comandos al precodificador para cambiar a un nuevo punto de operación del precodificador (matriz de precodificación de actualización) según las estimaciones de error. El precodificador de auto-sintonización está en el transmisor que, en algunos casos, puede estar en la oficina central del cliente (CO) y, en otros casos, en un nodo terminal remoto. Debe entenderse que, por razones de claridad, los precodificadores no

25 se muestran expresamente en la figura 2, aunque puede suponerse que estarán en los transmisores 208. Además, se pueden emplear otras técnicas (es decir, diferentes a la actualización de una matriz precodificadora) en un transmisor para compensar la diafonía basada en las estimaciones de diafonía obtenidas.

30 Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente y sin importar la técnica de compensación utilizada para reducir o eliminar la diafonía, el cálculo de las estimaciones de diafonía para todos los tonos (líneas) puede ser bastante laborioso. Ventajosamente, los principios de la invención proporcionan la obtención de estimaciones de diafonía en todos los tonos midiendo solo una pequeña fracción de los tonos e interpolando las estimaciones de diafonía en el resto de los tonos. Esto se realiza a través del interpolador 204.

35 El interpolador 204 toma, como entrada, las estimaciones de puntos para la amplitud y fase de diafonía junto con las estimaciones de error para un subconjunto de tonos dado. La mayoría de estos tonos estarán uniformemente espaciados, sin embargo, se pueden proporcionar mediciones en tonos adicionales. Una razón para hacer esto se debe a que la interpolación sobre partes de la banda puede no ser muy efectiva. Una segunda razón consiste en proporcionar una fuente adicional de estimaciones exactas que puedan utilizarse para evaluar la exactitud de la

40 interpolación.

Como se muestra, generalmente, en la figura 2, se calcula un subconjunto de estimaciones de diafonía mediante el estimador de diafonía 202. Este subconjunto de estimaciones se proporciona al interpolador 204. El interpolador 204 genera estimaciones interpoladas a partir del subconjunto de estimaciones que recibe, como se explicará en detalle

45 a continuación (en el contexto de las realizaciones en las figuras 3 y 4). Entonces se prueban las estimaciones de diafonía interpoladas. Entonces, el conjunto completo de estimaciones (por ejemplo, el subconjunto de estimaciones recibidas del estimador 202 y las estimaciones restantes interpoladas mediante el interpolador 204) es utilizado por el control de ajuste 206 para sintonizar el precodificador (por ejemplo, actualizar la matriz precodificadora) asociado a los transmisores. Dado que los principios de la presente invención se centran en la generación de estimaciones de diafonía interpoladas, no se presenta en el presente documento una discusión detallada del modo en que se mide el subconjunto de estimaciones reales o del modo en que se usa el conjunto completo para ajustar las señales de datos. Tales detalles se pueden encontrar, solo a modo de ejemplo, en las solicitudes de patente estadounidense mencionadas anteriormente e identificadas respectivamente por los N.º de Serie 11/848,684 (número de registro de apoderado De Lind Van Wijngaarden 21-10-18-7 y titulado "Method and Apparatus for Self-Tuning Precoder"),

50 11/897,877 (Kramer 9-16-6 y titulado "Determining a Channel Matrix by Measuring Interference") y 11/897,809 (Guenach 1-12-1-1-1-1-20-1-9 y titulado "Determining Channel Matrices by Correlated Transmissions to Different Channels").

Además, como se muestra en la figura 2, el bloque de control 206 puede proporcionar un control de retroalimentación al interpolador 204. Por ejemplo, el bloque de control 206 podría dirigir al interpolador 204 la técnica de interpolación que debe usar. Además, el bloque de control 206 puede realizar pruebas en las estimaciones de diafonía interpoladas mediante las cuales se determina y se usa una medición de calidad (por ejemplo, estimación de error descrita más adelante) para decidir si deberá realizarse o no una interpolación adicional. Debe entenderse que solo ciertas líneas de comunicación entre las diversas entidades se representan en

60 la figura 2 y, por consiguiente, pueden existir líneas de comunicación adicionales o alternativas sin alterar la naturaleza de la invención.

Más adelante en el presente documento, describimos dos realizaciones ilustrativas para interpolar estimaciones de diafonía que pueden emplearse por el interpolador 204.

- 5 En una primera realización, usamos una metodología de interpolación que se puede realizar en la fase y la amplitud por separado. Con respecto a la fase, se puede, por ejemplo, interpolar usando una línea recta en algunos casos y, en otros casos, ajustando una curva lineal compuesta por variables o alguna otra aproximación adecuada utilizando solo un pequeño número de parámetros. En el caso de una amplitud de diafonía, se interpola el valor al valor medido más cercano. Ambas de estas técnicas han dado resultados utilizables para la interpolación.
- 10 Después de que se haya realizado la interpolación, se determina si los valores interpolados son lo suficientemente exactos para que se inicie la sintonización. Esto se puede hacer examinando el error o mediante el uso de precodificación para ver si las estimaciones conducen a un aumento en la SINR. Si se encuentra que las estimaciones son inadecuadas, el interpolador solicita medir tonos adicionales.
- 15 La figura 3 ilustra el método 300 cuyo interpolador 204 se emplea en la construcción de estimaciones de diafonía para toda la banda de emisor a receptor. Como se muestra:
- Etapa 302: Solicitar estimaciones de fase y de amplitud para tonos designados.
Etapa 304: Obtener valores interpolados para los tonos restantes.
- 20 Etapa 306: Si las estimaciones son lo suficientemente exactas, ir a la etapa 308, sino a la etapa 302.
Etapa 308: Utilizar estimaciones para ajustar el precodificador.

Se toma un conjunto similar de etapas si los coeficientes se utilizan para el manejo de espectro de nivel 2.

- 25 En una segunda realización ilustrativa, se usa una metodología que incluye enrollar el vector de los coeficientes de diafonía medidos con un filtro suave. Más particularmente, se proporciona un método de filtrado para estimar valores de diafonía desconocidos.

- 30 Se permite que $h = (h_1, \dots, h_L)$ sea un vector de coeficientes de diafonía en el dominio de frecuencia entre la línea v (víctima) y la línea d (perturbadora). Se supone que el coeficiente h_l corresponde a la frecuencia $f = f_0 + l \cdot \Delta$, donde f_0 y Δ son constantes. Se supone que se permite medir solo los coeficientes L/r de h . El parámetro "L" se refiere al número de frecuencias, y "r" se refiere a la fracción de coeficientes medidos, por ejemplo, si $r = 10$, se conoce uno de cada diez coeficientes. La tarea consiste en reconstruir (interpolar) los coeficientes perdidos de h .

- 35 Según numerosos resultados de mediciones, realizadas para cables de diferentes tipos y longitudes, es difícil reconstruir los primeros coeficientes de h . Por esta razón, los primeros coeficientes m h_1, h_2, \dots, h_m de h se miden de manera exacta mediante alguna retroalimentación apropiada, por ejemplo, SINR tal como se ha divulgado en las solicitudes de patente estadounidenses mencionadas anteriormente, identificadas respectivamente con los N.º de Serie 11/848,684 (número de registro de apoderado De Lind Van Wijngaarden 21-10-18-7 y titulada "Method and Apparatus for Self-Tuning Precoder"), 11/897,877 (Kramer 9-16-6 y titulada "Determining a Channel Matrix by Measuring Interference") y 11/897,809 (Guenach 1-12-1-1-1-1-20-1-9 y titulada "Determining Channel Matrices by Correlated Transmissions to Different Channels"). Los resultados de simulación indican que se pueden obtener resultados de interpolación aceptables para valores de m que están en el rango de 20 a 30. A partir de h_m hacia adelante, se supone que cada coeficiente r -th de h , es decir solamente se han medido los coeficientes del vector de submuestra $\hat{h} = (h_m, h_{m+r}, h_{m+2r}, \dots, h_{m+nr})$, donde $n = \lfloor (L-m)/r \rfloor$. Todos los demás coeficientes se interpolarán en función de h .
- 40
- 45

- Se sugiere el siguiente método para reconstruir el vector h que da \hat{h} . Tal método 400 se ilustra en la figura 4. Primero, se diseña un filtro de respuesta finita de derivación s , $b = (b_0, b_1, \dots, b_s)$ con la región de transición $[1 - 1/r, 1]$, donde la frecuencia normalizada se usa para la región de transición. Esto corresponde a la etapa 402. Después, calculamos la convolución de \hat{h} con b , indicada por $z = \hat{h} * b$. Esto corresponde a la etapa 404. Finalmente, formamos el vector:
- 50

$$\hat{h} = (h_1, \dots, h_m, z_1, \dots, z_{r-1}, h_{m+r}, z_{r+1}, \dots, z_{2r-2}, h_{m+2r}, \dots)$$

- 55 que usamos como una aproximación de h . Esto corresponde a la etapa 406.

- Cabe señalar que la calidad de la interpolación puede mejorarse habitualmente aumentando el número de derivaciones s , pero esto también aumenta la complejidad computacional del procedimiento de interpolación. Al igual que con el método de la figura 3, las estimaciones interpoladas obtenidas según el método de la figura 4, se pueden entonces probar y usar con las estimaciones medidas para ajustar las señales de datos para reducir o eliminar los efectos de diafonía.
- 60

- Ahora se muestra el modo en que se evalúa la exactitud del vector reconstruido \hat{h} . Se permite que \hat{H} se obtenga de \hat{h} con la ayuda de una transformada discreta de Fourier (DFT) de tamaño suficientemente grande (en los experimentos se ha usado la DFT de tamaño 2^{15}). El vector $|\hat{H}|$ habitualmente tiene uno o varios picos grandes
- 65

ubicados en la región de transición del filtro $[1-l/r, 1]$ y sus otros valores $|H_i|$ habitualmente tienen valores pequeños en comparación con los valores de los picos. Se permite indicar con S los índices de los componentes $|H_i|$ que forman los picos. Se permite calcular las dos potencias:

$$P_1 = \sum_{i \in S} |H_i|^2$$

5
y

$$P_2 = \sum_{j \in L-S} |H_j|^2.$$

10 En otras palabras, P_1 es la potencia total de los picos de $|\hat{h}|$ y P_2 es la potencia de todos los demás componentes de $|\hat{h}|$. Si la relación P_1/P_2 es grande esto es una fuerte indicación de que $|\hat{h}|$ es una aproximación aceptable de h .

15 Debe apreciarse que un interpolador de la invención también puede proporcionar un grado de error como una medición de calidad para cada una de las estimaciones de diafonía interpoladas (así como para las estimaciones de diafonía medidas). Esta medición de calidad podría usarse entonces como un medio de asignación de potencia al precodificar y para algoritmos de nivel 2 de DSM (por ejemplo, también la identificación de regiones poco fiables donde la misma puede abstenerse de precodificarse hasta que estén disponibles mejores estimaciones). Hay muchos métodos bien conocidos para evaluar el grado de error que se consigna al realizar la interpolación. Para ilustración solamente, se menciona una metodología. Esto es para que se haga un pequeño número de mediciones adicionales, al momento de la interpolación, y los resultados de estas mediciones se comparan con los valores pronosticados con el algoritmo de interpolación y por consiguiente el error se puede estimar e inferir para otros tonos. Se da un ejemplo ilustrativo adicional en relación con el método de filtro descrito anteriormente.

20 Como es bien sabido para aquellos expertos en la técnica, el tiempo necesario para obtener estimaciones suficientemente exactas de la diafonía es una consideración importante en aplicaciones tales como la precodificación y los algoritmos de nivel 2 para la asignación de espectro de potencia. La exactitud con la que se obtienen las estimaciones de la diafonía es otra consideración importante.

25 La interpolación reduce el tiempo necesario para determinar los coeficientes de diafonía al evitar la tarea de medir cada tono y reducirlo a la necesidad de tomar solo un pequeño número de mediciones. El algoritmo de interpolación obtiene entonces rápidamente estimaciones para el resto. Este proceso puede mejorarse aún más alternando el proceso de medición e interpolación hasta que se obtenga suficiente exactitud.

30 El desempeño se mejora aún más en la interpolación aprovechando tales relaciones físicas que son bien conocidas en DSL, por ejemplo, la linealidad de fase de diafonía como una función de la frecuencia. Nuevamente, si la interpolación se prolonga en el tiempo, de nuevo se pueden aprovechar formas conocidas de regularidad en la inferencia de la diafonía actual basada en las estimaciones anteriores suministradas a través de una memoria y/o una base de datos.

35 Se pueden emplear técnicas estadísticas para obtener las estimaciones de error más eficientes en el proceso de interpolación. Estas técnicas se pueden utilizar tanto en la elección de los tonos que se van a medir (diseño) como en los métodos mediante los cuales se analizan los resultados (inferencia).

40 Además, para usar efectivamente un precodificador para ciertos sistemas DSL, se prefiere que la fase estimada esté adecuadamente dentro de 0,1 radian de la fase real y la amplitud estimada esté dentro de 1 dB de la amplitud de diafonía verdadera.

45 Además todavía, es bien sabido para aquellos expertos en la técnica que la medición de diafonía a menudo está restringida tanto en lo que se refiere a qué tonos pueden medirse simultáneamente como en lo que se refiere al tiempo necesario para realizar estas mediciones, por ejemplo. Tales restricciones perjudican la capacidad de respuesta de los algoritmos, por ejemplo, al retrasar la inicialización del módem de un cliente en el encendido.

50 En segundo lugar, los dispositivos tales como los precodificadores pueden estar restringidos como las líneas y los tonos que se pueden operar simultáneamente. Estas pueden ser restricciones en el número de líneas o en el conjunto de líneas que pueden abordarse.

55 Por lo tanto, es ventajoso tener vigente un conocimiento a priori en cuanto a los beneficios que se pueden obtener eligiendo, por un lado, un conjunto de líneas por encima de otro, o por otro lado, un conjunto de tonos por encima de otro, y así sucesivamente. Según la invención, la interpolación suministra esta información proporcionando estimaciones de diafonía rápidamente a través de todos los tonos, permitiendo hacer elecciones óptimas en una etapa previa eludiendo con ello las mediciones innecesarias así como ahorrando tiempo. Lo mismo es cierto con respecto a otras aplicaciones que utilizan estimaciones de diafonía y que tienen tales restricciones similares.

Ventajosamente, tal como se ha descrito en el presente documento, los principios de la invención proporcionan una técnica de interpolación que aumenta la eficacia de la estimación de diafonía. Como se ha explicado, el método usa un pequeño subconjunto de tonos para los que se toman mediciones. Estos se utilizan para obtener estimaciones adicionales para todos los tonos y pares de líneas de un sistema DSL. El método se puede usar para seguir los cambios en los coeficientes de diafonía cuando hay un número limitado de estimaciones adecuadas disponibles. El método puede usarse como parte de una estrategia para la cual la precodificación usa un número relativamente pequeño de mediciones iniciales de coeficientes de diafonía los que se usan entonces para obtener estimaciones del coeficiente de diafonía inicial a través del espectro. Estos valores iniciales pueden redefinirse utilizando un precodificador de auto-sintonización u otro dispositivo similar.

Se debe apreciar que se pueden realizar mediciones adicionales a través del precodificador en función de los resultados de mediciones anteriores y posteriores interpolaciones anteriores. Por lo tanto, se pueden realizar operaciones de interpolación posteriores en función de los resultados de una o más operaciones de interpolación anteriores. Es decir, los principios de la invención proporcionan una metodología de interpolación progresiva basada en iteración.

Aún más, se puede tomar una decisión en lo que se refiere a qué tonos precodificar frente a los que se descuidan basándose únicamente en estimaciones interpoladas. Esto considera las restricciones impuestas por las capacidades del precodificador, por ejemplo, la capacidad de precodificar en no más de un máximo de 100 tonos, etc.

Además, debe entenderse que los principios de la invención se pueden aplicar a la tarea de identificar qué tonos deben seleccionarse para una estimación y precodificación más exactas. Esto no es una precodificación en sí sino una que más bien determina qué tonos deberán precodificarse (dado el conocimiento de las restricciones y capacidades del precodificador, así como también las propias estimaciones aproximadas).

Se entenderá además que las técnicas de interpolación de la invención se pueden emplear con las técnicas de agrupamiento de tonos de la solicitud de patente provisional estadounidense identificada por el N.º de Serie 60/974,262 (número de registro de apoderado Ashikhmin 18-23-13-2-15-4 y titulada "Methods for Optimizing Precoder Settings Using Average SINR Reports for Groups of Tones"), presentada el 21 de septiembre de 2007, la divulgación de la cual se incorpora como referencia en el presente documento.

Aunque las realizaciones ilustrativas de la presente invención se han descrito en el presente documento con referencia a los dibujos adjuntos, debe entenderse que la invención no está limitada a esas realizaciones exactas, y que los expertos en la técnica pueden realizar otros cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

5 obtener un primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados, que miden la diafonía debida a los canales respectivos de una primera parte de una pluralidad de canales de comunicación (106), sobre los cuales se van a transmitir señales desde un transmisor (102) a una pluralidad de receptores (104); e
 10 interpolar un segundo conjunto de coeficientes de diafonía estimados, que miden la diafonía debida a los canales respectivos de una segunda parte de la pluralidad de canales de comunicación (106), basándose en el primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados, que miden la diafonía debida a los canales respectivos de la primera parte de la pluralidad de canales de comunicación (106); en donde un coeficiente de diafonía estimado para un canal dado de la pluralidad de canales de comunicación (106) mide la diafonía debida al canal dado de la pluralidad de canales de comunicación (106) en al menos otro canal de la pluralidad de canales de comunicación (106); en donde la segunda parte de la pluralidad de canales de comunicación (106) comprende al menos un canal de comunicación (106), que no está en la primera parte de la pluralidad de canales de comunicación (106), en donde la etapa de interpolación comprende además
 15 generar valores de fase y de amplitud interpolados que comprenden el segundo conjunto de coeficientes de diafonía estimados a partir de los valores de fase y de amplitud medidos, que comprenden el primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados.
 20

2. El método según la reivindicación 1, en el que cada coeficiente de diafonía estimado se refiere a al menos un tono asociado a al menos uno de la pluralidad de canales de comunicación (106).

3. El método según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de ajuste de un conjunto de señales basándose en al menos una parte del primer conjunto y en el segundo conjunto de coeficientes de diafonía estimados.
 25

4. El método según la reivindicación 1, en el que la etapa de interpolación comprende, además:

30 proporcionar un filtro de respuesta finita;
 calcular una convolución de valores del primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados utilizando el filtro de respuesta finita; y
 obtener valores para el segundo conjunto de coeficientes de diafonía estimados, basándose en la convolución calculada.
 35

5. El método según la reivindicación 1, en el que la etapa de interpolación representa un cambio en uno o más factores físicos a lo largo del tiempo.

6. El método según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de obtener una o más mediciones adicionales a través de un precodificador, basándose en los resultados de una o más mediciones anteriores y en una o más interpolaciones anteriores posteriores.
 40

7. El método según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de decidir los tonos que se precodifican, basándose en el segundo conjunto interpolado de coeficientes de diafonía estimados.
 45

8. El método según la reivindicación 1, que comprende además las etapas siguientes:

determinar una medición de calidad asociada al segundo conjunto interpolado de coeficientes de diafonía estimados; y
 50 utilizar la medición de calidad para decidir si se obtienen coeficientes de diafonía estimados adicionales.

9. Aparato que comprende:

55 un sistema transmisor (102), configurado para obtener un primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados, que miden la diafonía debida a los canales respectivos de una primera parte de una pluralidad de canales de comunicación (106), sobre los cuales se van a transmitir señales desde el sistema transmisor (102) a una pluralidad de receptores (104), e interpolar un segundo conjunto de coeficientes de diafonía estimados, que miden la diafonía debida a los canales respectivos de una segunda parte de la pluralidad de canales de comunicación (106), basándose en el primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados, que miden la diafonía debida a los canales respectivos de la primera parte de la pluralidad de canales de comunicación (106); en donde un coeficiente de diafonía estimado para un canal dado de la pluralidad de canales de comunicación (106) mide la diafonía debida al canal dado de la pluralidad de canales de comunicación (106) en al menos otro de la pluralidad de canales de comunicación (106); en donde al menos un canal de comunicación (106) en la segunda parte de la pluralidad de canales de comunicación (106) no está en la primera parte de la pluralidad de canales de comunicación (106), en donde la interpolación comprende además generar valores de fase y de amplitud interpolados, que comprenden el segundo conjunto de coeficientes de diafonía estimados a partir de los
 60
 65

valores de fase y de amplitud medidos, que comprenden el primer conjunto de coeficientes de diafonía estimados.

FIG. 1

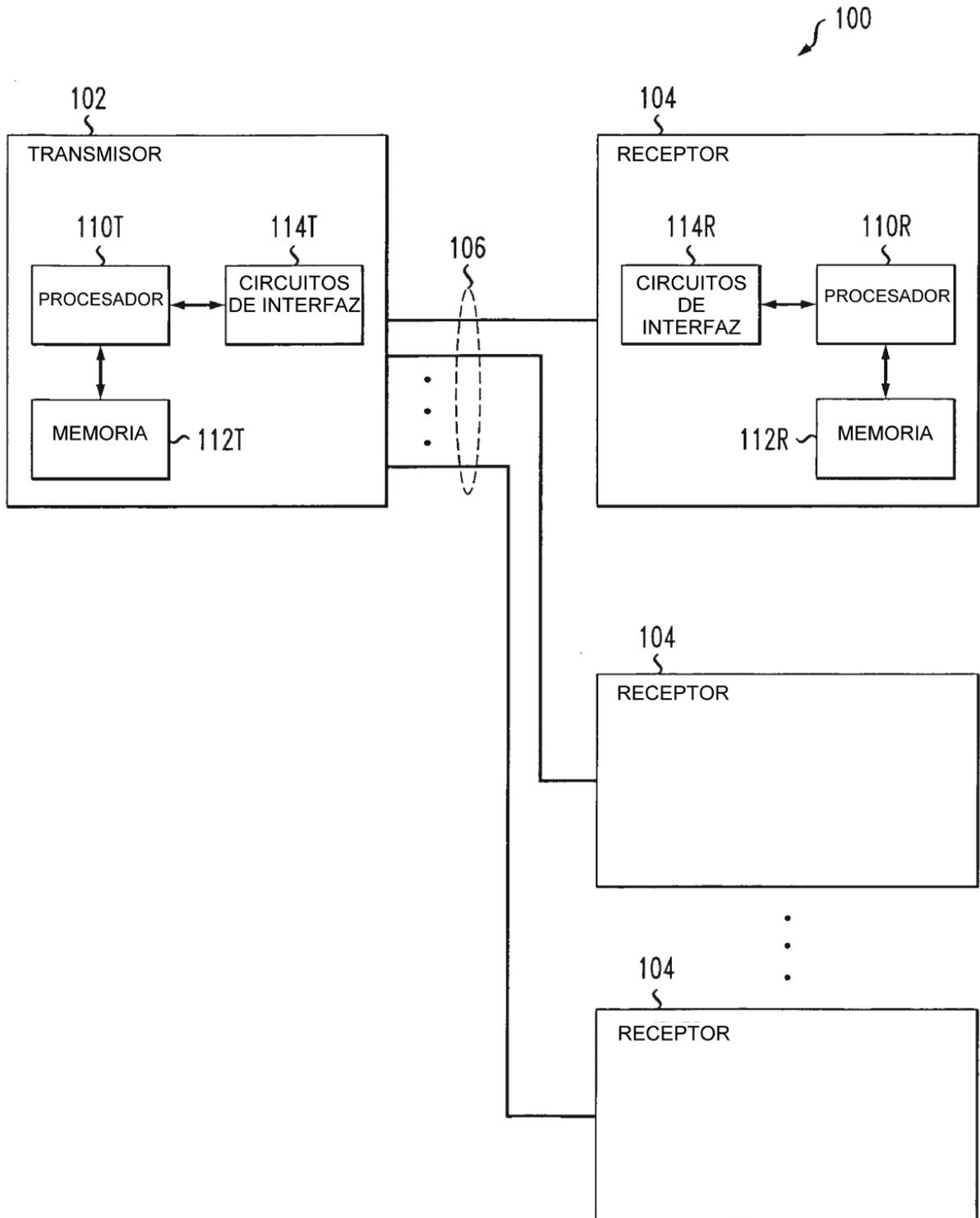


FIG. 2

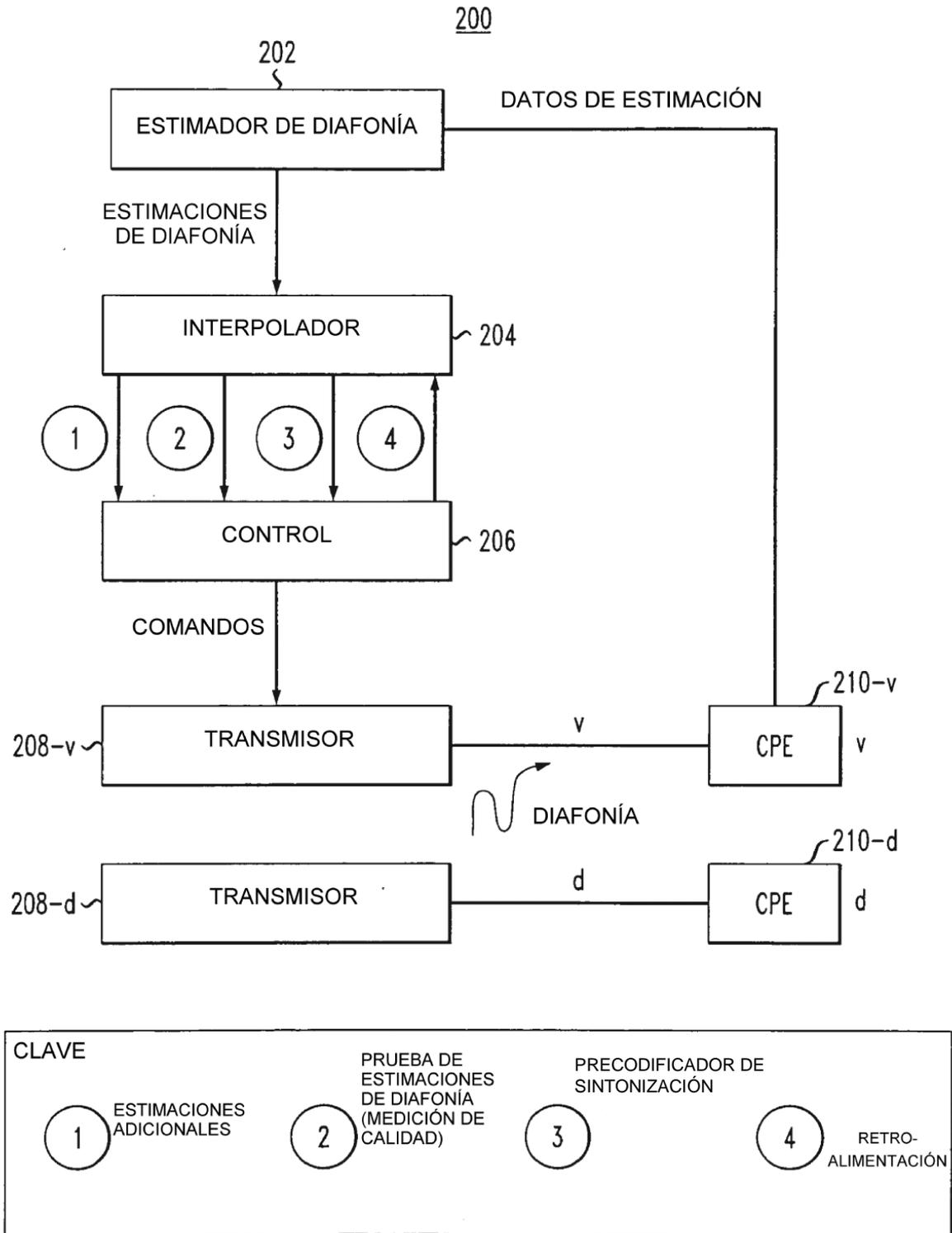


FIG. 3

300

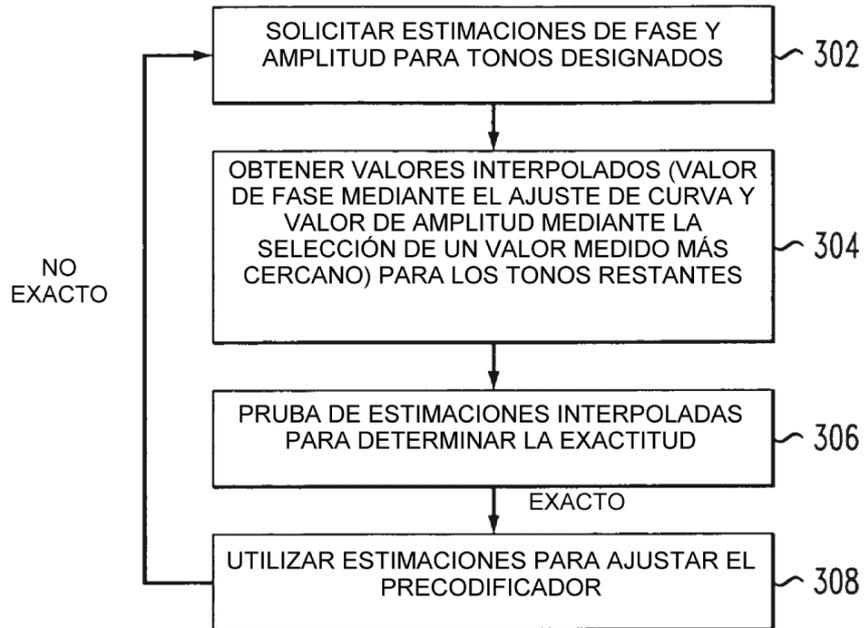


FIG. 4

400

