

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 392**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/077** (2013.01)

**H04B 10/61** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.05.2013 PCT/EP2013/059402**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014 WO14180495**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2013 E 13722369 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2995021**

54 Título: **Sondeador de canal óptico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.10.2017**

73 Titular/es:

**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)  
Huawei Administration Building, Bantian  
Longgang District , Shenzhen, Guangdong  
518129, CN**

72 Inventor/es:

**HAUSKE, FABIAN NIKOLAUS y  
XIE, CHANGSONG**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 638 392 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

Sondeador de canal óptico

**ANTECEDENTES**

La invención se refiere al sector del sondeo de canales.

- 5 Para determinar una característica de un canal de comunicación óptica, es necesario llevar a cabo mediciones del canal. La característica del canal de comunicación óptica está influida no sólo por la característica de la trayectoria de propagación de la luz, sino asimismo por las características de los componentes ópticos.

10 La caracterización de componentes ópticos lineales (pasivos) se lleva a cabo a menudo mediante mediciones convencionales de los componentes ópticos pasivos, utilizando un analizador de espectro óptico o un sistema de escaneo láser centrado en la respuesta a la magnitud o a la intensidad. Las respuestas a la fase se miden habitualmente mediante procedimientos de desplazamiento de fase de modulación, y procedimientos interferométricos. Combinando las respuestas a la fase y a la magnitud, una función de transferencia puede caracterizar completamente un componente óptico pasivo.

15 Además, los componentes con estructuras muy finas en el dominio de longitudes de onda son sensibles a las vibraciones mecánicas o las fluctuaciones térmicas. Por lo tanto, la resolución y la velocidad de medición son especificaciones importantes para diseñar o elegir un procedimiento de caracterización. Los procedimientos basados en el dispositivo de barrido de frecuencias utilizando modulación de banda lateral única han mostrado alta resolución y una rápida velocidad de medición. Sin embargo, un barrido de frecuencias con alta resolución sobre un ancho de banda de GHz es un proceso lento, que no es adecuado para mediciones rápidas sobre un intervalo de kHz.

20 Además, las degradaciones de canal variables en el tiempo, tal como la rotación del estado de polarización (rotación SOP), que pueden resultar de las vibraciones mecánicas en el intervalo de 100 kHz, no se pueden medir sobre un ancho de banda extenso con procedimientos clásicos de barrido, dado que el tiempo de barrido es demasiado lento. Además, éstas no se pueden obtener si los cambios de polarización se comportan de manera diferente para componentes espectrales diferentes, lo que es relevante para la estrategia de ecualización.

25 Para una ecualización adaptativa en receptores coherentes digitales se pueden llevar a cabo procedimientos "ciegos" no asistidos por aprendizaje (NTA, non-training-aided) y asistidos por aprendizaje (TA, training-aided), para actualizar y hacer converger la función de filtrado. La estimación de canal con TA añade una secuencia de aprendizaje (TS, training sequence) a los datos de carga útil del cliente, lo que se repite una frecuencia regular lo suficientemente rápida como para monitorizar las distorsiones de canal variables en el tiempo. En un enlace de

30 transmisión de datos, añadir información de aprendizaje a la señal degrada la eficiencia espectral. La sobrecarga por aprendizaje se debería mantener considerablemente baja, por ejemplo, por debajo del 3 % de la capacidad total de la señal. Con la ayuda del espectro de la TS recibida y del espectro transmitido conocido de la TS transmitida, se puede llevar a cabo una estimación de canal completa e instantánea.

35 La estimación de canal se puede utilizar para calcular diferentes soluciones de filtrado para ecualización adaptativa, o se puede utilizar para inicializar una compensación estática de imperfecciones de dispositivos o para calibrar componentes y dispositivos durante la fabricación. Ésta representa información de amplitud, fase y polarización del canal estimado. Solamente se pueden estimar funciones de transferencia del canal lineales.

40 El canal puede consistir en fibra óptica, filtros o cualesquiera componentes ópticos (y componentes eléctricos). Asimismo, los componentes ópticos activos, tales como los amplificadores, se podrían caracterizar parcialmente y se podrían tolerar dentro de la estimación de canal de un enlace de múltiples tramos. En particular, los componentes ópticos pasivos, tales como rejillas de Bragg en fibra, interferómetros o híbridos de 90 grados funcionan en anchos de banda extensos. Es necesario medir su retardo de grupo, ondulación y atenuación dependientes de la frecuencia para definir su calidad.

45 Para la planificación de la red y la optimización del presupuesto del enlace incluyendo el margen OSNR, es necesario estimar la calidad de la fibra, de los amplificadores y de otros elementos de la red. Esto es importante en la licitación de contratos de cliente. Actualmente, dichos parámetros se estiman a partir de unos pocos parámetros conocidos de la fibra, por ejemplo la longitud del enlace y el tipo de fibra, con el añadido de un gran margen de seguridad. Este margen se podría reducir sustancialmente con una licitación más eficaz si se conocieran con mayor

50 precisión los parámetros del enlace, por ejemplo, la calidad del enlace.

La estimación de canal clásica asistida por aprendizaje, tal como se utiliza en la transmisión de datos con ecualización adaptativa, es un sistema optimizado para una eficiencia espectral máxima y una baja sobrecarga debida a la secuencia de aprendizaje añadida. Por consiguiente, se tiene una baja frecuencia de repetición de la secuencia de aprendizaje con una velocidad de monitorización limitada de las variaciones temporales del canal, o bien secuencias cortas para solamente duraciones de CIR cortas. Por lo tanto, se tiene como resultado una baja resolución espectral de la función de transferencia del canal. La constelación de la secuencia de aprendizaje está limitada a puntos de constelación de señal de la modulación de datos de la carga útil (requisito del modulador). Se utilizan intervalos de guarda incluso para secuencias de aprendizaje cíclicas, con el fin de separar la secuencia de

55

aprendizaje y los datos de la carga útil. Se utiliza sincronización de secuencias de aprendizaje, y una sincronización defectuosa limita la máxima CIR tolerable para la estimación de canal. Se utiliza sincronización de la frecuencia de la portadora, entre la portadora de la señal y el oscilador local, para realizar una estimación fiable. Esto se puede conseguir digitalmente con un esfuerzo considerable.

- 5 Sin embargo, en la estimación de canal clásica asistida por aprendizaje, cada estimación proporciona una caracterización de máxima verosimilitud (ML, maximum-likelihood) instantánea del canal dentro del ancho de banda del receptor coherente digital. Este ancho de banda está definido por los circuitos eléctricos analógicos anteriores a la conversión analógico/digital (ADC, analog/digital conversion) y por la frecuencia de muestreo de la ADC.

- 10 La duración de la secuencia de aprendizaje define la resolución de la función de transferencia del canal estimada, teniendo las secuencias de aprendizaje más largas una resolución superior. El error de la estimación está definido por la relación señal-ruido (SNR, signal-noise ratio) del canal. En escenarios de canal estáticos o con variación temporal lenta, la determinación del promedio puede suprimir adicionalmente la influencia del ruido en el canal.

- 15 El barrido de tonos sinusoidales puede cubrir un intervalo espectral extenso y proporciona la estimación de canal de un componente de una sola frecuencia. A menudo, una gran variedad de otros procedimientos no pueden caracterizar completamente el canal con respecto a la amplitud, la fase y la polarización, o proporcionar una estimación de canal precisa.

- 20 El documento EP 2487811 A1 da a conocer un procedimiento y un dispositivo para la monitorización de la distorsión en una red óptica, en el que por lo menos una señal de referencia y por lo menos una señal de datos son transportadas a través de un enlace óptico, y en el que la distorsión de por lo menos una señal de datos se determina en base a dicha por lo menos una señal de referencia.

El documento US20070071454 A1 da a conocer un procedimiento y un sistema para comunicaciones de fibra óptica a tasas de bits ultra altas (por ejemplo, 160 Gb/s) que utiliza un formato de modulación correlacionado en fase, donde las fases de bits en grupos adyacentes de cuatro bits en trenes de pulsos ópticos transmitidos son modificadas mediante  $\pi$  (o  $180^\circ$ ).

- 25 El documento US6795607 B1 da a conocer un láser sintonizable que emite una señal de monitorización que se combina con los canales WDM, habitualmente en el lado de transmisión de un sistema WDM. En cada punto de monitorización a lo largo de sistema WDM se filtran los canales WDM, se detecta la señal de monitorización y se miden los parámetros deseados del sistema (por ejemplo, planitud de la ganancia, dispersión, PMD y OSNR).

- 30 El documento WO 2012/013250 A1 da a conocer un procedimiento de compensación de ruido de fase en una red de comunicaciones óptica coherente. El procedimiento comprende: recibir una muestra de tráfico; recibir una portadora óptica y determinar una estimación del ruido de fase para la portadora óptica; y eliminar el ruido de fase estimado a partir de la muestra de tráfico para formar una muestra de tráfico con ruido de fase contrarrestado.

## **RESUMEN**

El objetivo es dar a conocer un sondeador de canal óptico que permita una rápida medición con una alta resolución.

- 35 Este objetivo se consigue mediante las características de las reivindicaciones independientes. Resultarán evidentes otras formas de implementación a partir de las reivindicaciones dependientes, de la descripción y de las figuras.

- 40 Según un primer aspecto, la invención se refiere a un aparato transmisor de sondeo de canal óptico que comprende un generador de señal óptica para generar una señal portadora óptica; un modulador óptico para modular la señal portadora óptica con una secuencia de aprendizaje predeterminada con el fin de obtener una señal óptica modulada; un primer transmisor óptico para transmitir la señal portadora óptica por medio de un primer canal óptico a un primer receptor óptico; y un segundo transmisor óptico para transmitir la señal óptica modulada por medio de un segundo canal óptico a un segundo receptor óptico.

- 45 En una primera posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto, el generador de señal óptica está configurado para generar la señal portadora óptica a diferentes frecuencias de portadora en diferentes instantes de tiempo, de acuerdo con una parrilla de tiempo-frecuencia predeterminada.

En una segunda posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según la primera forma de implementación del primer aspecto, el generador de señal óptica está configurado para generar la señal portadora óptica a diferentes frecuencias de portadora dentro de una banda de frecuencia predeterminada.

- 50 En una tercera posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según la primera forma de implementación del primer aspecto, el generador de señal óptica es un láser sintonizable.

En una cuarta posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según cualquiera de las anteriores formas de implementación del primer aspecto, el transmisor óptico comprende un

controlador para controlar el generador de señal óptica con el fin de ajustar diferentes frecuencias de portadora de la señal portadora óptica.

5 En una quinta posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según cualquiera de las anteriores formas de implementación del primer aspecto, el modulador óptico está configurado para modular la señal portadora óptica en instantes de tiempo diferentes con la misma secuencia de aprendizaje.

En una sexta posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según cualquiera de las anteriores formas de implementación del primer aspecto, el transmisor óptico comprende un proveedor de secuencias de aprendizaje para proporcionar la secuencia de aprendizaje predeterminada.

10 En una séptima posible forma de implementación del transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según cualquiera de las anteriores formas de implementación del primer aspecto, el primer transmisor óptico o el segundo transmisor óptico comprenden respectivamente un diodo transmisor.

15 Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente que comprende un primer receptor óptico para recibir una señal portadora óptica sobre un primer canal óptico; un segundo receptor óptico para recibir una señal óptica modulada sobre un segundo canal óptico, comprendiendo la señal óptica modulada una copia recibida de la señal portadora óptica, modulada con una secuencia de aprendizaje predeterminada, estando la copia recibida de la señal portadora óptica influida por el canal óptico; un convertidor descendente óptico para la conversión descendente de la señal óptica modulada utilizando la señal portadora óptica recibida, con el fin de obtener una señal de conversión descendente; y un estimador del canal para estimar una característica del canal del segundo canal óptico en base a la señal de conversión descendente y a la secuencia de aprendizaje predeterminada.

20

En una primera posible forma de implementación del aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente según el segundo aspecto, el primer canal óptico y el segundo canal óptico son canales ópticos diferentes, y donde el primer canal óptico tiene una característica predeterminada del canal.

25 En una segunda posible forma de implementación del aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente según el segundo aspecto o según la primera forma de implementación del segundo aspecto, la característica del canal es una función de transferencia del canal de una respuesta del canal al impulso.

30 En una tercera posible forma de implementación del aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente según el segundo aspecto, según la primera forma de implementación del segundo aspecto o según la segunda forma de implementación del segundo aspecto, el aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente comprende un convertidor analógico a digital dispuesto entre el convertidor descendente óptico y el estimador del canal.

35 Según un tercer aspecto, la invención se refiere a un sondeador de canal óptico que comprende el aparato transmisor de sondeo de canal óptico según el primer aspecto o según cualquiera de las anteriores formas de implementación del primer aspecto y el aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente según el segundo aspecto o según la primera forma de implementación del segundo aspecto, según la segunda forma de implementación del segundo aspecto o según la tercera forma de implementación del segundo aspecto.

En una primera posible forma de implementación del sondeador del canal óptico según el tercer aspecto, el sondeador del canal óptico comprende un conector óptico para conectar el primer transmisor óptico y el primer receptor óptico.

40 Estos y otros aspectos de la invención resultarán evidentes a partir de la realización o realizaciones descritas a continuación.

La figura 1 muestra una estructura habitual de una señal que incluye un bloque de TS regular entre los datos de carga útil para la estimación de canal TA;

45 la figura 2 muestra una posible estructura de aprendizaje con patrones de señal cíclicos ortogonales que incluyen extensión mediante intervalos de guarda;

la figura 3 muestra un gráfico de constelación de secuencia de autocorrelación cero y amplitud constante (CAZAC, constant-amplitude zero auto-correlation) de longitud 64 que forma una constelación de señal 8-PSK;

la figura 4 muestra una secuencia CAZAC a modo de ejemplo de longitud 64, con respecto a los componentes complejos de partes imaginaria y real;

50 la figura 5 muestra un ejemplo de una estimación de canal parcial que caracteriza un componente óptico con respecto a la amplitud y la fase;

la figura 6 muestra un esquema de estimación de canal consecutiva para diferentes frecuencias de portadora y síntesis de la caracterización de canal de intervalo extenso en base a las estimaciones de canal en solapamiento;

la figura 7 muestra una medición de alta velocidad dentro del ancho de banda del receptor;

la figura 8 muestra una ilustración de un producto de tiempo-ancho de banda con resolución temporal proporcionada por la frecuencia de repetición de aprendizaje y resolución de frecuencia proporcionada por la duración de la secuencia de aprendizaje;

5 la figura 9 muestra un barrido de frecuencias clásico y un barrido de frecuencias según una realización de la invención;

la figura 10 muestra una implementación con una fuente de portadora única para detección coherente homodina ideal;

la figura 11 muestra otra implementación con fuente de portadora única para detección coherente homodina ideal; y

10 la figura 12 muestra estructuras alternativas para grandes dispositivos bajo ensayo o transceptores y receptores remotos.

### **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES**

A continuación se hace referencia a procedimientos que se muestran de manera esquemática y ejemplar en diagramas de flujo y diagramas de bloques. Se debe entender que los procedimientos descritos conjuntamente con dichos dibujos ilustrativos se pueden asimismo implementar fácilmente mediante realizaciones de sistemas, aparatos y/o dispositivos. En particular, debería ser obvio que los sistemas, aparatos y/o dispositivos que pueden implementar los diagramas de bloque y/o diagramas de flujo detallados no se limitan necesariamente a los sistemas, aparatos y/o dispositivos mostrados y detallados a continuación en la presente memoria, sino que por el contrario pueden ser sistemas, aparatos y/o dispositivos diferentes. Los términos "primero", "segundo", "tercero", etc. se utilizan tan sólo como etiquetas, y no están destinados a imponer requisitos numéricos sobre sus objetos o a establecer un determinada jerarquía de importancia de sus objetos.

La figura 1 muestra una estructura habitual de una señal que incluye un bloque de secuencia de aprendizaje regular (bloque TS) 101 entre los datos de carga útil 103 para una estimación de canal asistida por aprendizaje (TA, training-aided).

25 Una señal de transmisión óptica en "modo único" se puede describir con respecto a una amplitud y una fase, representadas como las partes real e imaginaria de un número complejo, respectivamente, y dos polarizaciones. Una fibra en modo único soporta dos modos de polarización. Correspondientemente, cualquier dispositivo óptico lineal (pasivo), tal como una fibra, un filtro, un multiplexor (MUX) o un frontal coherente, se puede describir mediante su respuesta al impulso  $h(f)$  o su función de transferencia  $H(f)$ .

30 El conocimiento de las funciones de transferencia del canal es vital para el diseño de enlaces de comunicación óptica que incluyen componentes en los equipos terminales del transmisor y del receptor. Éste puede ser necesario durante una etapa de calibración, durante la fabricación o el montaje, durante la instalación o para la monitorización continua de degradaciones del canal variables con el tiempo.

35 Para una estimación de canal asistida por aprendizaje (TA) en una comunicación eléctrica y óptica, se transmite una secuencia de aprendizaje regular 101 entre bloques de datos de carga útil 103 con el fin de estimar la función de transferencia del canal con respecto a la amplitud, la fase y la polarización, y de actualizar la función de filtrado para ecualización en condiciones de canal variables con el tiempo.

Con la ayuda del espectro recibido  $R(C1, C2, C3, C4)$  y del espectro transmitido conocido de la secuencia de aprendizaje  $S(C1, C2, C3, C4)$ , el receptor estima el canal mediante la fórmula (1).

$$\hat{H}(f) = \begin{pmatrix} \hat{H}_{xx}(f) & \hat{H}_{yx}(f) \\ \hat{H}_{xy}(f) & \hat{H}_{yy}(f) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R_{C1}S_{C4} - R_{C2}S_{C3}}{S_{C1}S_{C4} - S_{C2}S_{C3}} & \frac{R_{C2}S_{C1} - R_{C1}S_{C2}}{S_{C1}S_{C4} - S_{C2}S_{C3}} \\ \frac{R_{C3}S_{C4} - R_{C4}S_{C3}}{S_{C1}S_{C4} - S_{C2}S_{C3}} & \frac{R_{C4}S_{C1} - R_{C3}S_{C2}}{S_{C1}S_{C4} - S_{C2}S_{C3}} \end{pmatrix} \quad (1)$$

40 Para la estimación de cuatro variables desconocidas de la matriz de canal 2x2, son necesarias cuatro ecuaciones independientes. Utilizar secuencias ortogonales  $S(C1)$  y  $S(C3)$  así como  $S(C2)$  y  $S(C4)$  satisface este requisito y se denomina esquema de Amalouti. La longitud de cada secuencia  $S(C1, C2, C3, C4)$  debería cubrir por lo menos la longitud de la respuesta del canal al impulso (CIR, channel impulse response).

45 No obstante, las estructuras alternativas requieren solamente una única secuencia por cada polarización, con un proceso asociado para la estimación de canal. La longitud de cada bloque abarca por lo menos dos veces la respuesta del canal al impulso (CIR). Este esquema requiere solamente un único segmento de aprendizaje. Definiendo ventanas de la respuesta al impulso estimada se obtienen los 4 componentes de la matriz de canal 2x2.

La figura 2 muestra una posible estructura de aprendizaje con patrones de señal cíclicos ortogonales C1 y C2 (versión desplazada de C1) que incluyen una extensión mediante intervalos de guarda. A partir de la estimación de canal, los parámetros del filtro en el dominio de frecuencia (FD, frequency domain) se pueden calcular mediante una solución de forzado a cero (ZF, zero forcing) mediante la fórmula (2):

$$5 \quad W_{ZF}(f) = \hat{H}^{-1} \quad (2)$$

y una solución de error cuadrático medio mínimo (MMSE, minimum mean square error) mediante la fórmula (3).

$$W_{MMSE}(f) = \hat{H}^H \left( \hat{H} \hat{H}^H + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_s^2} \right)^{-1} \quad (3)$$

donde  $(\cdot)^{-1}$  y  $(\cdot)^H$  indican la traspuesta conjugada compleja (hermética) y la inversa, respectivamente.  $\sigma_n^2$  y  $\sigma_s^2$  son potencias de ruido y de señal que deberían ser estimadas en el receptor.

10 La solución ZF es la inversa pura de las características del canal, que puede conducir a una mejora del ruido en el caso de distorsiones en la amplitud. La solución MMSE es el equilibrio óptimo entre la supresión del ruido y la cancelación de la ISI. Para extraer la secuencia de aprendizaje, se puede llevar a cabo una sincronización de tramas anterior. Además, se puede aplicar una determinación de promedio sobre estimaciones de canal consecutivas o secuencias de aprendizaje TS para suprimir la influencia del ruido en condiciones estáticas del canal.

15 Debido a la dispersión en la interferencia entre símbolos (ISI, inter-symbol-interference) del canal, se pueden filtrar símbolos de datos aleatorios a los símbolos de aprendizaje. Por lo tanto, se utiliza un intervalo de guarda en torno a la secuencia de aprendizaje. Para la transmisión de datos, la sobrecarga para la estimación de canal se mantiene lo más baja posible. Procedimientos de recuperación ciega de datos complementan la estimación de canal TA.

20 Se describe un sondeador de canal que proporciona una caracterización del canal de intervalo extenso utilizando una secuencia CAZAC y procesamiento de señal digital DSP. Las propiedades de la secuencia de aprendizaje influyen sobre la estimación de canal, tal como se ve en una comparación entre la etapa única o esquema de Alamouti. Las secuencias de aprendizaje utilizan puntos de constelación de señal que pueden ser generados por los moduladores. Además, una amplitud de señal constante permite controlar los moduladores y los amplificadores del transmisor en el intervalo óptimo y evita fluctuaciones de potencia y no linealidades ópticas (de la fibra) durante la transmisión. Para la sincronización de la secuencia de aprendizaje, es decir, la detección de la secuencia de aprendizaje dentro de datos aleatorios, la autocorrelación cero y la ortogonalidad pueden estar dentro de la duración de la CIR con respecto a la otra señal de polarización.

25 Las denominadas señales de autocorrelación cero y amplitud constante (CAZAC) satisfacen estas condiciones y pueden ser utilizadas para la estimación de canal. Un diseño de secuencias de aprendizaje no óptimas conduce a una estimación de canal inferior.

30 Un generador de secuencia de aprendizaje CAZAC a modo de ejemplo tiene las siguientes características:

- muestras de tiempo discretas  $n = 0, 1, \dots, N-1$ ;

$$c(n) = \exp\{j2\pi(n/\sqrt{N}) (\text{mod}(n, \sqrt{N})+1) (\text{piso}(n/\sqrt{N})+1)\};$$

35 - si  $\sqrt{N}$  es un entero: los puntos de constelación de señal de la secuencia de aprendizaje se refieren a coeficientes complejos de una modulación por desplazamiento de fase (PSK, phase-shift keying);

- secuencia cíclica con amplitud constante y una única autocorrelación distinta de cero; y

- las propiedades de autocorrelación conducen a un espectro blanco, de tal modo que cada componente espectral en el canal está influido del mismo modo por la señal de la secuencia de aprendizaje. Esto conduce a una estimación de canal óptima dentro del ancho de banda de la señal.

40 La figura 3 muestra un gráfico de constelación de una secuencia de autocorrelación cero y amplitud constante (CAZAC) de longitud 64 que forma una constelación de señal 8-PSK.

La figura 4 muestra una secuencia CAZAC a modo de ejemplo de longitud 64, con respecto a los componentes complejos de partes imaginaria y real.

45 En la estimación de canal de la secuencia de aprendizaje para una caracterización de un dispositivo se puede utilizar una señal multiportadora para la estimación de canal relacionada con transmisión de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM, orthogonal frequency-division multiplexing) con prefijo cíclico y sincronización de tramas. Se puede aplicar una secuencia de aprendizaje óptima (símbolos OFDM aleatorios) con diversidad de polarización. Se puede utilizar un láser de sintonización, de tal modo que la medición no se limite al ancho de banda de la recepción eléctrica.

La figura 5 muestra un ejemplo de estimación de canal parcial que caracteriza un componente óptico con respecto a la amplitud 301 y la fase 303.

El analizador de la red óptica o sonda del canal óptico permite una caracterización del canal de intervalo extenso y una predicción del rendimiento utilizando una fuente de láser sintonizable, transmisión de señal de aprendizaje y procesamiento de señal digital. Se puede utilizar una única fuente de láser como portadora para modulación de señal y como oscilador local LO en un híbrido de 90 grados con diversidad de polarización del receptor RX. La fuente de láser puede ser sintonizable para escanear en cualquier punto deseado del espectro. Además, el sonda del canal óptico puede transmitir una secuencia de aprendizaje cíclica que está optimizada para la estimación de canal, por ejemplo CAZAC para un canal MIMO 2x2. Después, un híbrido de 90 grados óptico con diversidad de polarización y un convertidor analógico a digital ADC llevan a cabo continuamente la estimación de canal dentro del ancho de banda del receptor eléctrico y sintetizan todas las estimaciones durante un barrido de la señal portadora para proporcionar una estimación de canal de intervalo extenso. Al sintonizar el láser, cada estimación de canal es desplazada en frecuencia. La superposición de estimaciones de canal consecutivas permite reconstruir el canal de ancho de banda extenso. Además, la determinación del promedio puede mejorar la estimación.

La figura 6 muestra un esquema de estimación de canal consecutiva para diferentes frecuencias de portadora y síntesis de caracterización de canal de intervalo extenso en base a las estimaciones de canal en solapamiento. El intervalo de frecuencias 601 está limitado por el receptor. Una superposición de estimaciones de canal consecutivas permite la determinación del promedio

La figura 7 muestra una medición de alta velocidad 701 dentro de un ancho de banda del receptor 703. Dentro del ancho de banda del receptor 703, una caracterización de canal de alta velocidad está limitada por la frecuencia de repetición de la secuencia de aprendizaje y la duración de la secuencia de aprendizaje. Dentro del ancho de banda del receptor 703, se puede obtener el producto tiempo-ancho de banda de la estimación, lo que significa que una secuencia de aprendizaje más larga tendrá como resultado una mejor resolución espectral al precio de una menor frecuencia de repetición, es decir, una menor resolución temporal. Por el contrario, una secuencia de aprendizaje TS más corta con una frecuencia de repetición elevada permite una monitorización más rápida de las variaciones temporales, pero al precio de una menor resolución. Dependiendo de los requisitos del canal, se puede optimizar correspondientemente la resolución temporal y la resolución en frecuencias.

La figura 8 muestra una ilustración de un producto de tiempo-ancho de banda con resolución temporal proporcionada por la frecuencia de repetición de aprendizaje y la resolución de frecuencia proporcionada por la duración de la secuencia de aprendizaje. La estimación de canal puede ser utilizada para caracterizar componentes ópticos pasivos sobre un ancho de banda extenso, es decir, el ancho de banda del receptor eléctrico + la sintonización del oscilador local y el láser transmisor.

Una utilización de secuencias CAZAC, por ejemplo modulación de portadora única, emplea una modulación de módulo constante, por ejemplo modulación por desplazamiento de fase con amplitud unitaria, que evita una relación alta de potencia de pico frente a potencia promedio PAPR y recorte, tal como para señales de multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM.

Utilizar secuencias de pseudo-ruido PN con modulación OFDM genera asimismo un espectro blanco. Se aumenta la velocidad de la medición, dado que cada secuencia de aprendizaje con una duración en el intervalo de nanosegundos proporciona una estimación completa. Además se mejora la resolución, que está definida por la longitud de la secuencia de aprendizaje con respecto al muestreo digital. Para la caracterización del canal de transmisión y la estimación del rendimiento, el sonda óptico se puede realizar como un instrumento de medición independiente, que es independiente de cualquier estructura de red existente del suministrador/operador y cómodo de utilizar, por ejemplo a modo de enchufar y usar.

La estimación de canal se puede llevar a cabo a la máxima frecuencia posible, dado que no se aplican datos entre la secuencia de aprendizaje TS. Además, no se utiliza ningún intervalo de guarda GI cuando se aplica el esquema de secuencia de aprendizaje TS y etapa única TS. Además, no se utiliza ningún prefijo cíclico tal como se requiere para transmisión OFDM.

No es necesaria una sincronización precisa de la secuencia de aprendizaje si se aplica un esquema de secuencia de aprendizaje de etapa única, es decir, no hay limitación en la tolerancia de la longitud de la relación CIR de portadora a interferencia, dado que cualquier posición dentro de una longitud completa de la secuencia de aprendizaje realiza una estimación de canal válida. Diferentes posiciones de la TS recibida y la TS aplicada para la estimación de canal tienen como resultado simplemente un retardo temporal que no es vital para la mayor parte de las caracterizaciones de canal y puede ser eliminado mediante la estimación de la temporización.

La figura 9 muestra un barrido de frecuencias clásico comparado con un barrido de frecuencias según la invención.

En el barrido de frecuencias clásico el proceso de barrido tarda mucho tiempo incluso dentro del ancho de banda de GHz. Una configuración comprende habitualmente un transmisor 901 y un receptor 903. El transmisor 901 comprende un láser y un modulador. El receptor 903 comprende un láser y un desmodulador.

La detección intradina con desplazamiento de los láseres del transmisor y el receptor requiere recuperación de portadora digital en el receptor y provoca problemas con la anchura de la línea de láser y la deriva de la portadora. La estimación de canal con aviso de la tolerancia al ruido NTA, por ejemplo mediante algoritmo de módulo constante CMA/mínimos cuadrados medios LMS, es relativamente lenta para una monitorización de alta velocidad. Una estimación de canal asistida por aprendizaje es interrumpida con datos de carga útil y como resultado se obtiene una medición lenta. La portadora es estática, es decir, no hay barrido de frecuencias.

En sintonización láser y aprendizaje, es posible de manera instantánea una medición instantánea de alta velocidad dentro del ancho de banda del receptor. La velocidad de la medición está definida por el producto de tiempo/ancho de banda de la longitud de la secuencia de aprendizaje y la resolución. El barrido permite una medición de intervalo extenso que excede el ancho de banda eléctrico del RX (si se requiere). Se utiliza una disposición homodina con deriva y anchura de línea idénticas en TX y RX sin impacto de degradaciones del láser.

En comparación con las técnicas clásicas del estado de la técnica, se pueden conseguir las siguientes ventajas.

Una posible implementación utiliza una fuente de láser única para la portadora de señal y para el LO en el receptor coherente digital. Esto proporciona una detección coherente homodina ideal. El controlador del láser sintonizable puede controlar la frecuencia de la portadora. Conocer la señal del controlador en el RX permite una síntesis sencilla de los canales estimados durante un barrido. Una frecuencia conocida de la portadora equivale a una frecuencia central conocida de la función de transferencia del canal estimada. Si el tiempo de barrido es lento en comparación con el tiempo de la TS, habitualmente el caso a velocidades de 28 GBd, las estimaciones de canal consecutivas solapan en gran medida de tal modo que es posible asimismo una síntesis sin conocimiento de la señal del controlador. La síntesis podría ser utilizada a ciegas utilizando correlación de estimaciones de canal adyacentes.

Existen láseres sintonizables disponibles para barridos en la banda L o la banda C completas. Debido a la disposición homodina, la anchura de línea del láser juega un papel menor, dadas frecuencias de símbolos lo suficientemente altas. El generador de TS proporciona los patrones para la TS según los requisitos para la resolución de tiempo y frecuencia, y según las limitaciones impuestas por la etapa del modulador. La etapa del modulador modula la señal con respecto a la amplitud, la fase y la polarización para enviar una señal de modulación por desplazamiento de fase PSK multiplexada por división de polarización PDM. La TS es conocida en el RX, y se utiliza una secuencia de aprendizaje TS cíclica con propiedades CAZAC para una estimación de canal óptima.

La figura 10 muestra una posible implementación con una única fuente portadora para detección coherente homodina ideal. El sondeador del canal óptico 1000 comprende un aparato transmisor (TX) de sondeo de canal óptico 1001 y un aparato de receptor (RX) de sondeo de canal óptico coherente 1011.

El aparato transmisor de sondeo de canal óptico 1001 comprende un láser sintonizable como generador de señal óptica 1003, un modulador 1005. Opcionalmente, el aparato 1001 puede comprender además un controlador y 1007 un proveedor de secuencias de aprendizaje, TS, 1009.

El aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente 1011 comprende un híbrido de 90 grados con diversidad de polarización 1013, una etapa de conversión analógico a digital ADC 1015 (DSO), un procesador de señal digital DSP 1017 para estimación y síntesis del canal.

Después de la detección coherente digital homodina y la conversión analógico a digital ADC, se puede utilizar una representación digital muestreada y cuantificada de la señal recibida, en la etapa de procesamiento de señal digital (DSP) 1017, para una estimación de canal consecutiva. Esta disposición no presenta diferencias en la frecuencia de la portadora entre el oscilador local LO y la señal recibida. Por consiguiente, no es necesaria una recuperación de portadora digital o analógica.

Cualquier desplazamiento de fase o cualquier imperfección de dispositivo impuesta por los componentes en el transmisor TX 1001 y el receptor RX 1011 se puede anular por calibración mediante una medición "espalda contra espalda" sin el dispositivo bajo ensayo (DUT) 1019. Esta calibración permite asimismo extender la estimación más cerca del tope de banda de la limitación del ancho de banda eléctrico, dado que la atenuación y las distorsiones de fase en esta zona se pueden compensar mediante la medición de calibración. Alternativamente, las bandas laterales del canal estimado afectadas por limitaciones del ancho de banda se pueden omitir en la estimación.

El error de temporización entre la secuencia de aprendizaje recibida y la secuencia de aprendizaje conocida para la estimación de canal se puede estimar fácilmente mediante algoritmos de estimación de temporización digital, tal como recuperación de temporización asistida por datos DA, o fácilmente debido al patrón regular de la secuencia de aprendizaje repetida.

El convertidor analógico a digital ADC 1015 puede funcionar en modo ráfaga con un procesamiento posterior fuera de línea, lo que limita el tiempo de medición al tiempo de muestreo de la ráfaga pero relaja las condiciones de procesamiento de señal digital DSP para procesamiento de alta velocidad.

Alternativamente, se puede llevar a cabo muestreo continuo en el convertidor analógico a digital ADC 1015 con el subsiguiente procesamiento de alta velocidad en el procesamiento de señal digital DSP 1017. Se pueden conseguir frecuencias de muestreo de 56 Gmuestras/s con anchos de banda de recepción de más de 20 GHz (un solo lado).

- La longitud de la secuencia de aprendizaje define la longitud  $N_{\text{FFT}}$  de la transformada rápida de Fourier FFT en el procesador de señal digital DSP 1017 para la estimación de la función de transferencia del canal. Dada una frecuencia de muestreo constante de  $R_s$  en el convertidor analógico a digital ADC 1015, se obtiene una resolución espectral de  $D_f = R_s/N_{\text{FFT}}$ . Al mismo tiempo,  $D_f$  se refiere a la máxima frecuencia de repetición posible de las secuencias de aprendizaje y proporciona una resolución temporal de  $D_t = 1/D_f$ . A una frecuencia de muestreo de 56 Gmuestras/s (sobre-muestreo con 2 muestras por símbolo) y una longitud de la secuencia de aprendizaje de 64 símbolos ( $N_{\text{FFT}} = 128$  muestras), se obtiene una resolución espectral de  $D_f = 437,5$  MHz a una resolución temporal de aproximadamente 2,286 ns.
- Este procedimiento se puede aplicar a estimaciones de canal de intervalo extenso que caracterizan todas las degradaciones lineales con respecto a la amplitud, la fase y la polarización. Es adecuado para una caracterización precisa, certera y fiable de rejillas de Bragg en fibra FBG, fibras ópticas como MUX, DEMUX, WSS, OADM, Waveshaper; todas las clases de interferómetros tales como interferómetros de retardo para detección diferencial, híbridos de 90 grados con diversidad de polarización; caracterización de fibras, por ejemplo, retardo de grupo diferencial DGD o espectro de pérdidas dependientes de la polarización PDL sobre ancho de banda extenso, que puede ser importante para canales de ancho de banda extenso o transmisión de terabits; y monitorización de cambios de canal rápidamente variables en el tiempo dentro del ancho de banda de recepción eléctrico (sin barrido de frecuencias de láser), por ejemplo para permitir monitorizar la sensibilidad de la vibración. Además, el procedimiento se puede aplicar a la calibración en fábrica de transpondedores.
- La figura 11 muestra otra posible implementación con una única fuente portadora para detección coherente homodina ideal. El sondeador del canal óptico 1100 comprende un aparato transmisor (TX) de sondeo de canal óptico 1101 y un aparato de receptor (RX) de sondeo de canal óptico coherente 1111.
- El aparato transmisor de sondeo de canal óptico 1101 comprende un láser sintonizable como generador de señal óptica 1103, un modulador 1105. Opcionalmente, el aparato 1101 puede comprender además un controlador y 1107 un proveedor de secuencias de aprendizaje, TS, 1109.
- El aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente 1111 comprende un primer receptor óptico 1112a, un segundo receptor óptico 1112b, un híbrido de 90 grados con diversidad de polarización 1113, una etapa de conversión analógico a digital ADC 1115 (DSO) y un procesador de señal digital DSP 1117 para estimación y síntesis del canal.
- El láser sintonizable 1103 proporciona una señal portadora óptica al modulador 1105 y al primer transmisor óptico 1104. El modulador 1105 proporciona una señal óptica modulada al segundo transmisor óptico 1106. El proveedor de secuencia de aprendizaje 1109 está conectado al DSP 1117.
- El primer transmisor óptico 1104 está conectado por medio de un primer canal óptico al primer receptor óptico 1112a. El segundo transmisor óptico 1106 está conectado por medio de un segundo canal óptico al segundo receptor óptico 1112b. El primer receptor óptico 1112a proporciona la señal portadora óptica al híbrido de 90 grados 1113 y el segundo receptor óptico 1112b proporciona la señal óptica modulada al híbrido de 90 grados 1113. El híbrido de 90 grados 1113 proporciona una señal de conversión descendente a la etapa ADC 1115. La etapa ADC 1115 está conectada al DSP 1117.
- La figura 12 muestra estructuras alternativas para grandes dispositivos bajo ensayo (DUT) o transceptores TX y receptores RX remotos. Un "DUT" de gran tamaño es, por ejemplo, un canal de transmisión por fibra con varios enlaces que se extienden a lo largo de varios miles de kilómetros. En este caso, se podrían considerar las siguientes implementaciones alternativas:
- B1): sintonizar el láser TX/RX del transmisor a una red ITU y transmitir una secuencia de aprendizaje modulada (CAZAC). Se permite unidireccional, por ejemplo con TX/RX independientes o 2xTX/RX bidireccional conjunto, por ejemplo obteniendo un canal directo e inverso al mismo tiempo. Esto puede requerir una recuperación sofisticada de la portadora en el procesador de señal digital del receptor RX DSP debido a la anchura de la línea de láser y al desplazamiento de frecuencia del oscilador local LOFO.
- B2): hacer en bucle la secuencia de aprendizaje con láser de TX/RX idénticos y sintonizar cualquier frecuencia de portadora. El retardo de propagación se puede anular por calibración. Se utiliza un canal con longitud doble, utilizando las transmisiones entrante y saliente la misma fibra.
- B3): hacer en bucle solamente el láser y sintonizar cualquier frecuencia de portadora. El retardo de propagación de láser se puede anular por calibración y no se requiere un DSP de recuperación de portadora. Alternativamente, en el TX el láser maestro recibido puede controlar un láser esclavo bloqueado mediante frecuencia y fase utilizando un bucle bloqueado en fase PLL.
- Se pueden utilizar otras combinaciones de TX/RX y elementos láser cooperativos.
- Otra aplicación es un predictor del rendimiento. En la mayor parte de los casos no es posible predecir el rendimiento y proporcionar un margen global. Si el margen es demasiado grande, en ocasiones la red planificada no funciona

incluso con este margen "grande" debido a una rápida SOP o a un gran DGD. Por lo tanto, es ventajoso tener más información del enlace antes de la planificación.

5 La estimación de canal basada en la secuencia CAZAC representa todas las propiedades del enlace con respecto a la amplitud, la fase y la polarización. Cuanto más larga es la secuencia CAZAC, mayor es la resolución de una captura de la función de transferencia del canal. Todos los parámetros secundarios, tales como la dispersión cromática CD, la pendiente, la dispersión por modo de polarización PMD, la pérdida dependiente de la polarización PDL, el estado de polarización SOP, y una relación señal-ruido OSNR óptica se pueden obtener a partir de la función de transferencia del canal estimado.

10 Con la OSNR estimada, se puede anticipar el comportamiento de la tasa de errores binarios BER de pre-corrección de errores hacia delante FEC para cualquier formato de modulación, incluyendo el margen para cada formato de modulación. Para secuencias de aprendizaje especiales, se pueden emular ciertos formatos de modulación, es decir las mismas constelaciones de modulación de datos y secuencia de aprendizaje. En este caso, se puede obtener directamente la pre-FEC BER, por ejemplo CAZAC de longitud 16 se asemeja a los datos de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura QPSK.

15 Debido a la secuencia de aprendizaje conocida, el ruido de fase se puede estimar con gran precisión. Ajustar la potencia de lanzamiento de la señal modulada transmitida permite asimismo una estimación precisa del umbral de no linealidad. Además, el predictor del rendimiento puede ser utilizado por las operadoras para investigar los márgenes de la red existente y para optimizar la red.

20 Los suministradores pueden utilizar esta herramienta para investigar las propiedades de una red existente con el fin de planificar una actualización con tecnología coherente y con formatos de modulación de orden superior. Esto soporta licitación de proveedores para un proyecto, dado que la operadora puede proporcionar solamente parámetros de red tales como tipos de fibra, longitudes de tramos, posición de los nodos de amplificación, posición de los nodos de multiplexor de inserción-extracción ópticos reconfigurables ROADM.

25 Una disposición para la caracterización de canales ópticos puede utilizar una fuente de láser sintonizable como señal portadora y como oscilador local, y utilizar estimación de canal asistida por datos después de detección coherente con diversidad de polarización y conversión analógico/digital. Además, es posible una síntesis de estimaciones de canal consecutivas a partir de diferentes longitudes de onda de portadora para medición de ancho de banda extenso. Es posible utilizar estimación de canal asistida por datos pero no se limita a detección homodina coherente, es decir, una fuente única de láser sintonizable para modulación TX y LO.

30 Es posible utilizar una secuencia de aprendizaje especial pero no se limita a una secuencia de aprendizaje cíclica, no se limita a una modulación de amplitud constante y fase arbitraria en cada una de las dos polarizaciones y no se limita a una única etapa definida por la mitad de la duración del aprendizaje en cada polarización.

35 De acuerdo con algunas formas de implementación, la invención da a conocer una estimación eficiente de un canal óptico caracterizado por transmisión de múltiples entradas múltiples salidas (MIMO) de valores complejos con detección coherente y procesamiento de señal digital.

**Abreviaturas:**

- PDM Multiplexación por división de polarización
- (D)QPSK Modulación por desplazamiento de fase Quantanary (diferencial)
- CD Dispersión cromática
- 40 PMD Dispersión por modo de polarización
- PLL Bucle bloqueado en fase
- FD Dominio de frecuencia
- TD Dominio de tiempo
- FFT Transformada rápida de Fourier
- 45 IFFT Transformada rápida de Fourier inversa
- DFT Transformada de Fourier discreta
- DSP Procesamiento de señal digital
- ADC Convertidor analógico/digital
- FIR Respuesta finita al impulso

	LO	Oscilador local
	FO	Desplazamiento de frecuencia
	DUT	Dispositivo bajo ensayo
	PMD	Dispersión por modo de polarización
5	sps	Muestras por símbolo
	FFW	Alimentación hacia adelante
	FB	Alimentación hacia atrás
	SOP	Estado de polarización
	PDL	Pérdida dependiente de la polarización
10	DGD	Retardo de grupo diferencial
	FEC	Corrección de errores hacia delante
	BER	Tasa de errores binarios
	CPE	Estimación de fase de portadora
	I	En fase
15	Q	Cuadratura
	DA	Asistido por datos
	NDA	No asistido por datos
	CAZAC	Autocorrelación cero y amplitud constante
	PN	Pseudo-ruido
20	DAC	Convertidor digital-analógico
	ZF	Forzado a cero
	MMSE	Error cuadrático medio mínimo
	MIMO	Múltiples entradas múltiples salidas
	DSO	Osciloscopio de muestreo digital

25

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato transmisor de sondeo de canal óptico (1001), que comprende:  
 un generador de señal óptica (1003) para generar una señal portadora óptica;  
 un modulador óptico (1005) para modular la señal portadora óptica con una secuencia de aprendizaje  
 5 predeterminada con el fin de obtener una señal óptica modulada;  
 un primer transmisor óptico para transmitir la señal portadora óptica por medio de un primer canal óptico a un primer receptor óptico; y  
 un segundo transmisor óptico para transmitir la señal óptica modulada por medio de un segundo canal óptico a un segundo receptor óptico.
- 10 2. Transmisor óptico (1001) según la reivindicación 1, en el que el generador de señal óptica (1003) está configurado para generar la señal portadora óptica a diferentes frecuencias de portadora en instantes de tiempo diferentes, de acuerdo con una parrilla predeterminada de tiempo-frecuencia.
3. Transmisor óptico (1001) según la reivindicación 1 ó 2, en el que el generador de señal óptica (1003) está  
 15 configurado para generar la señal portadora óptica a diferentes frecuencias de portadora dentro de una banda de frecuencia predeterminada.
4. Transmisor óptico (1001) según la reivindicación 1 ó 2, en el que el generador de señal óptica (1003) es un láser sintonizable.
5. Transmisor óptico (1001) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un  
 20 controlador (1007) para controlar el generador de señal óptica (1003) con el fin de ajustar diferentes frecuencias de portadora de la señal portadora óptica.
6. Transmisor óptico (1001) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modulador óptico (1003) está configurado para modular la señal portadora óptica en diferentes instantes de tiempo con la misma secuencia de aprendizaje.
7. Transmisor óptico (1001) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un  
 25 proveedor de secuencia de aprendizaje (1009) para proporcionar la secuencia de aprendizaje predeterminada.
8. Aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente (1011), que comprende:  
 un primer receptor óptico (1013) para recibir una señal portadora óptica sobre un primer canal óptico;  
 un segundo receptor óptico (1013) para recibir una señal óptica modulada sobre un segundo canal óptico,  
 30 comprendiendo la señal óptica modulada una copia recibida de la señal portadora óptica modulada con una secuencia de aprendizaje predeterminada, estando la copia recibida de la señal portadora óptica influida por el canal óptico;  
 un convertidor descendente óptico (1015) para la conversión descendente de la señal óptica modulada utilizando la señal portadora óptica recibida, con el fin de obtener una señal de conversión descendente; y  
 un estimador de canal (1017) para estimar una característica de canal del segundo canal óptico en base a la señal  
 35 de conversión descendente y a la secuencia de aprendizaje predeterminada.
9. El aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente (1011) según la reivindicación 8, en el que el primer canal óptico y el segundo canal óptico son canales ópticos diferentes, y en el que el primer canal óptico tiene una característica de canal predeterminada.
10. El aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente (1011) según la reivindicación 8 ó 9, en el que la  
 40 característica de canal es una función de transferencia del canal de una respuesta del canal al impulso.
11. El aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente (1011) según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende además un convertidor analógico a digital dispuesto entre el convertidor descendente óptico (1015) y el estimador de canal (1017).
12. Sondeador de canal óptico (1000), que comprende:  
 45 el aparato transmisor de sondeo de canal óptico (1001) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8; y  
 el aparato receptor de sondeo de canal óptico coherente (1011) según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11.
13. El sondeador de canal óptico (1000) según la reivindicación 12, que comprende un conector óptico para conectar el primer transmisor óptico y el primer receptor óptico.

Fig. 1

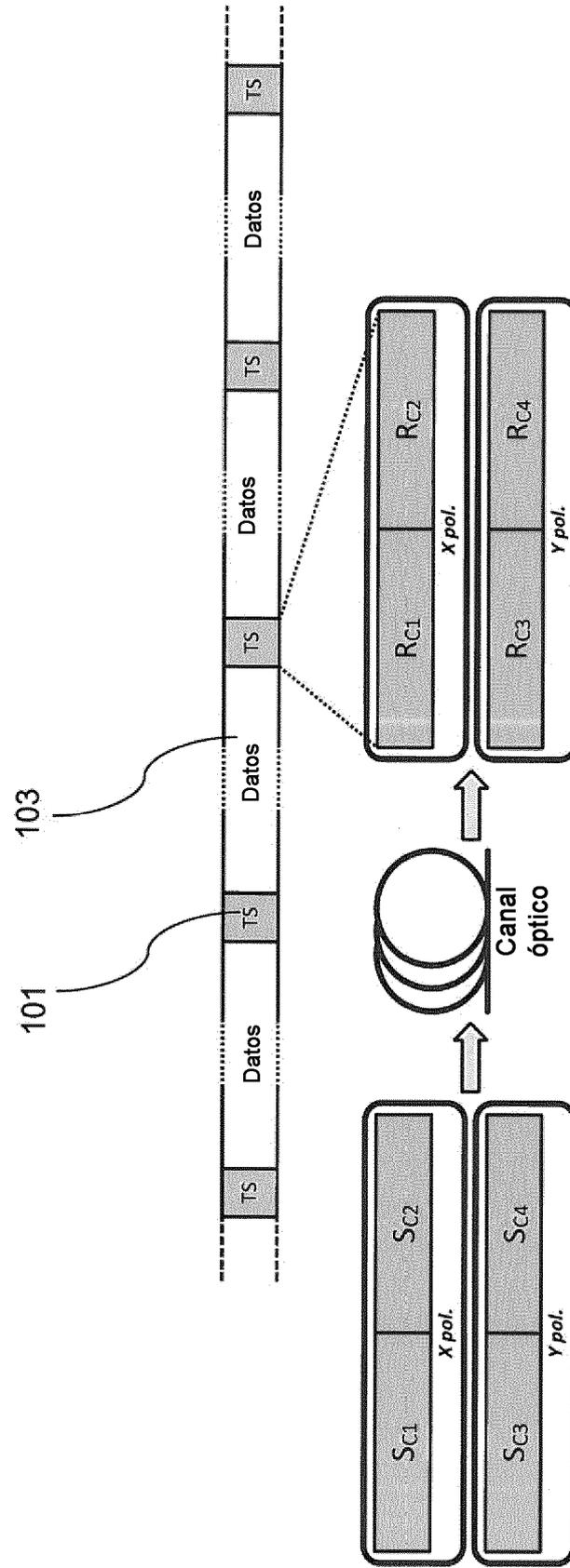


Fig. 2

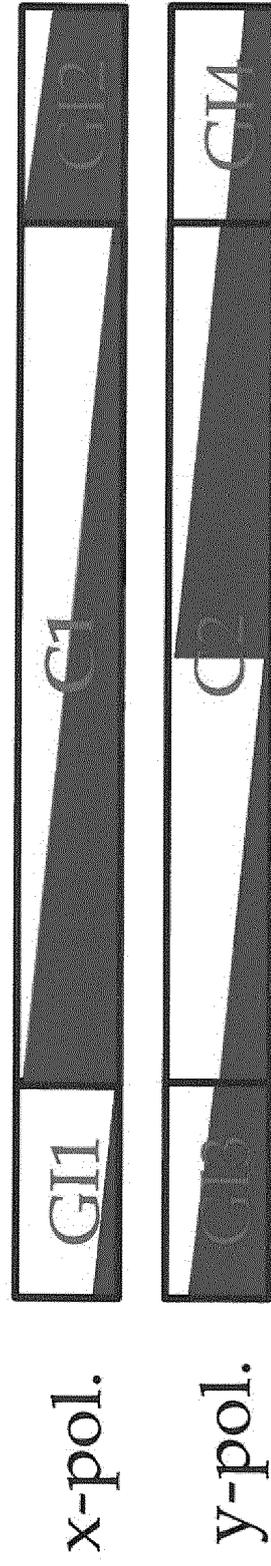


Fig. 3

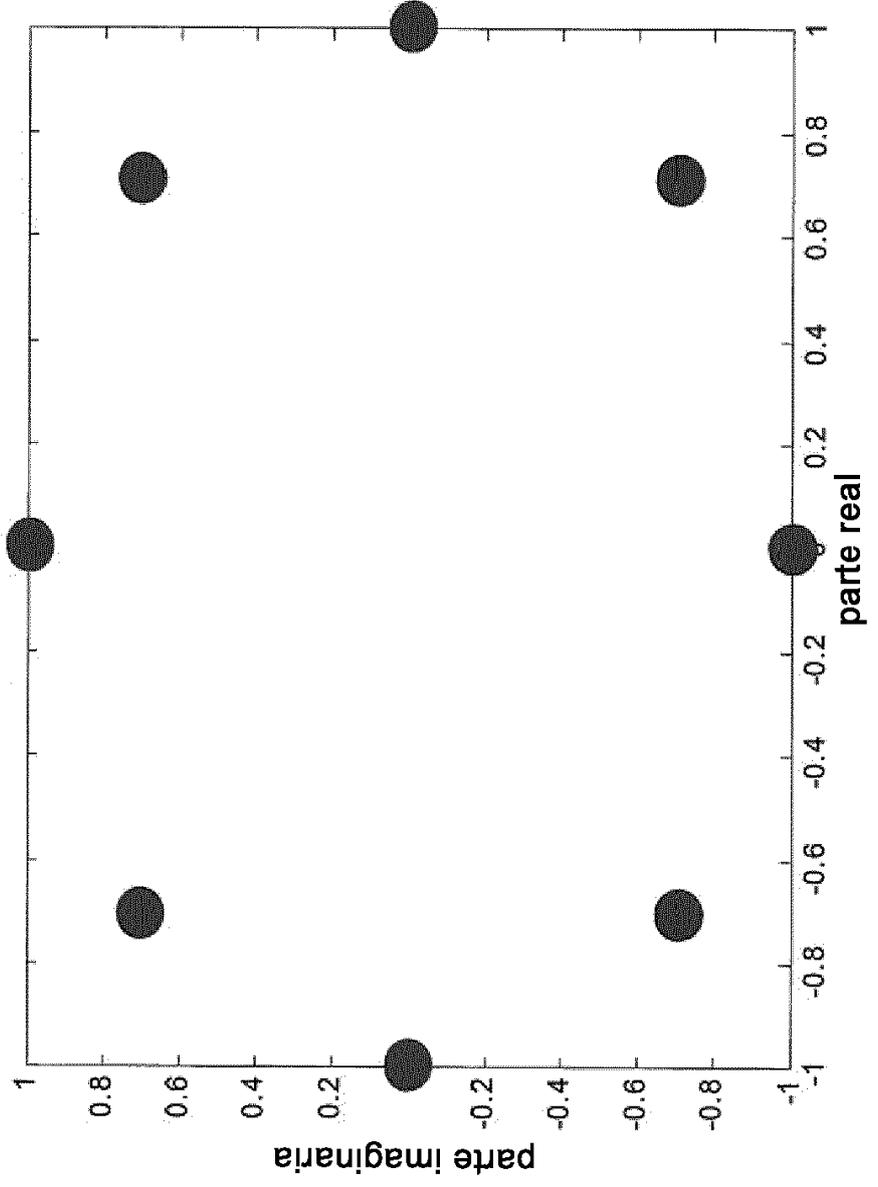


Fig. 4

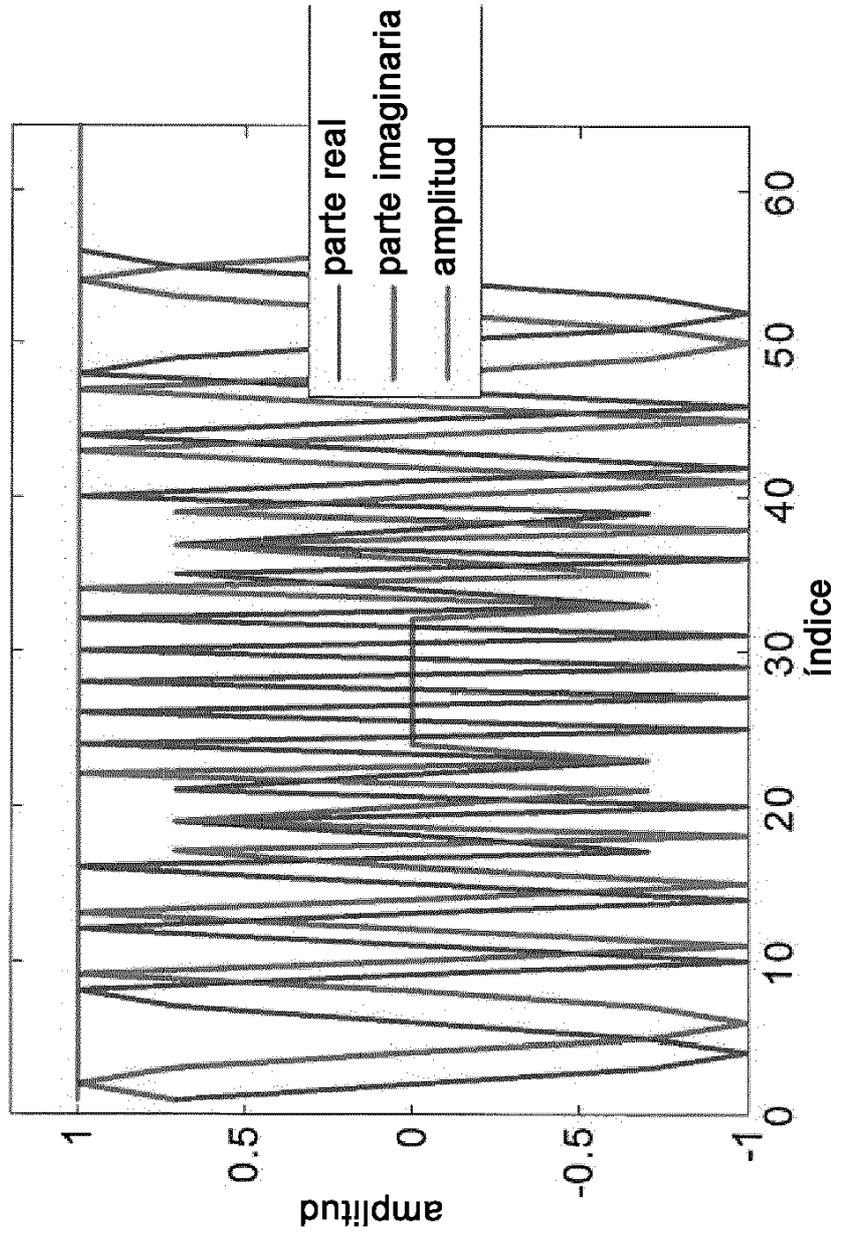


Fig. 5

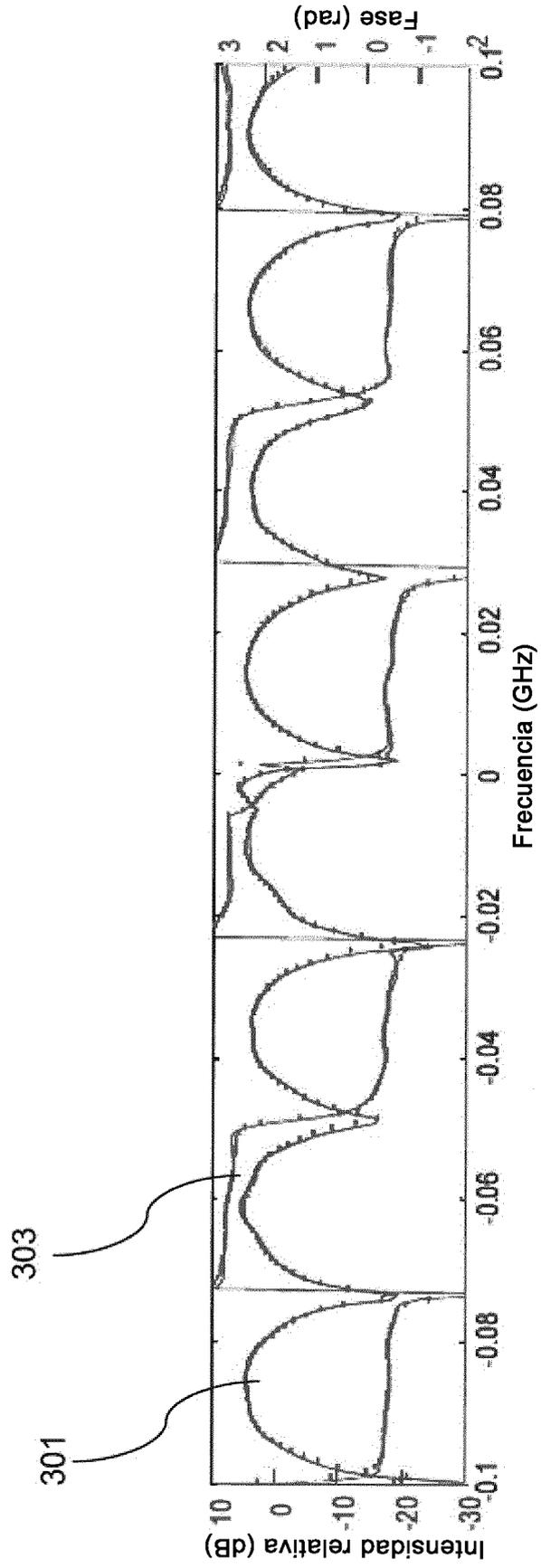
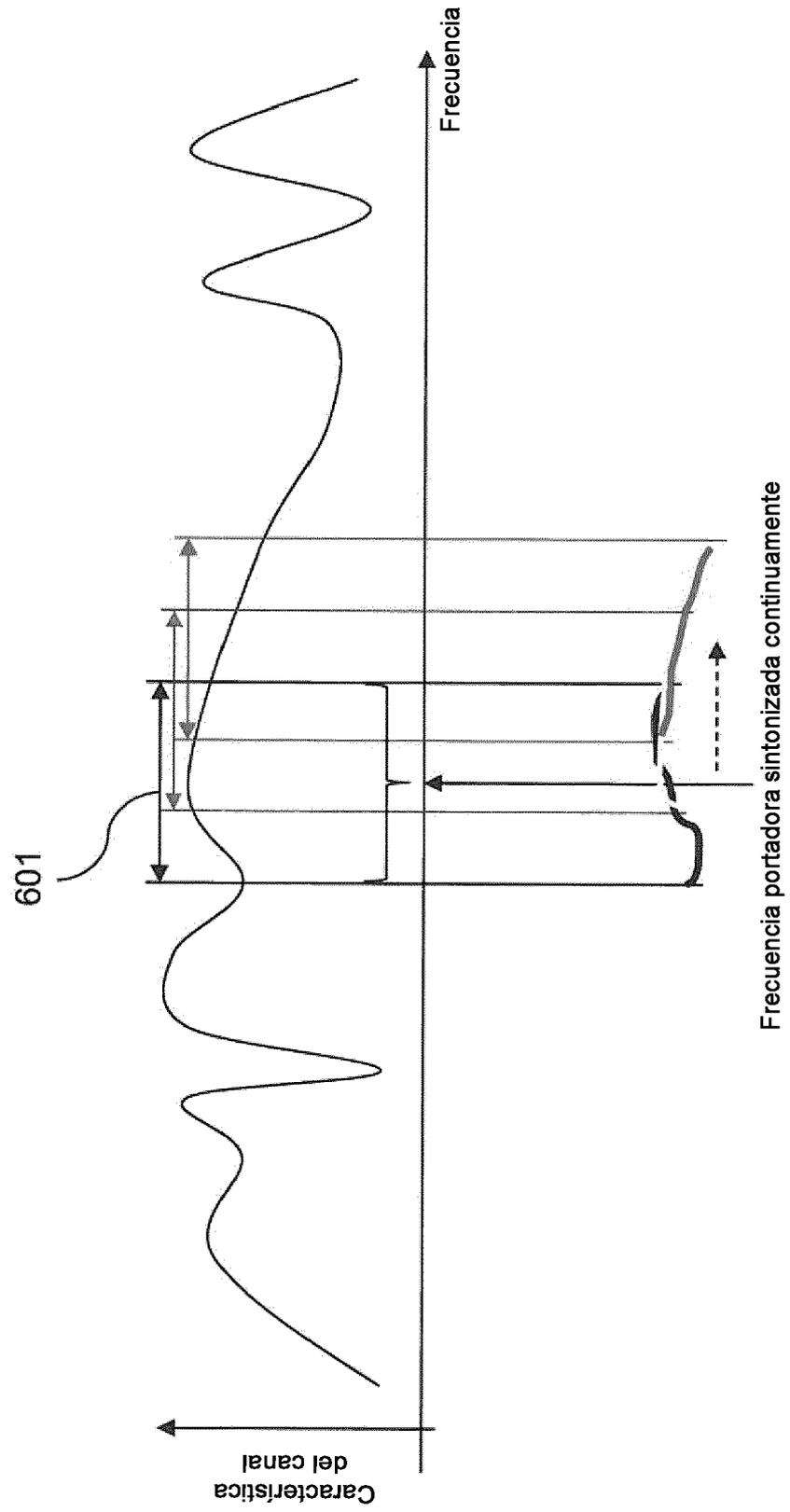


Fig. 6



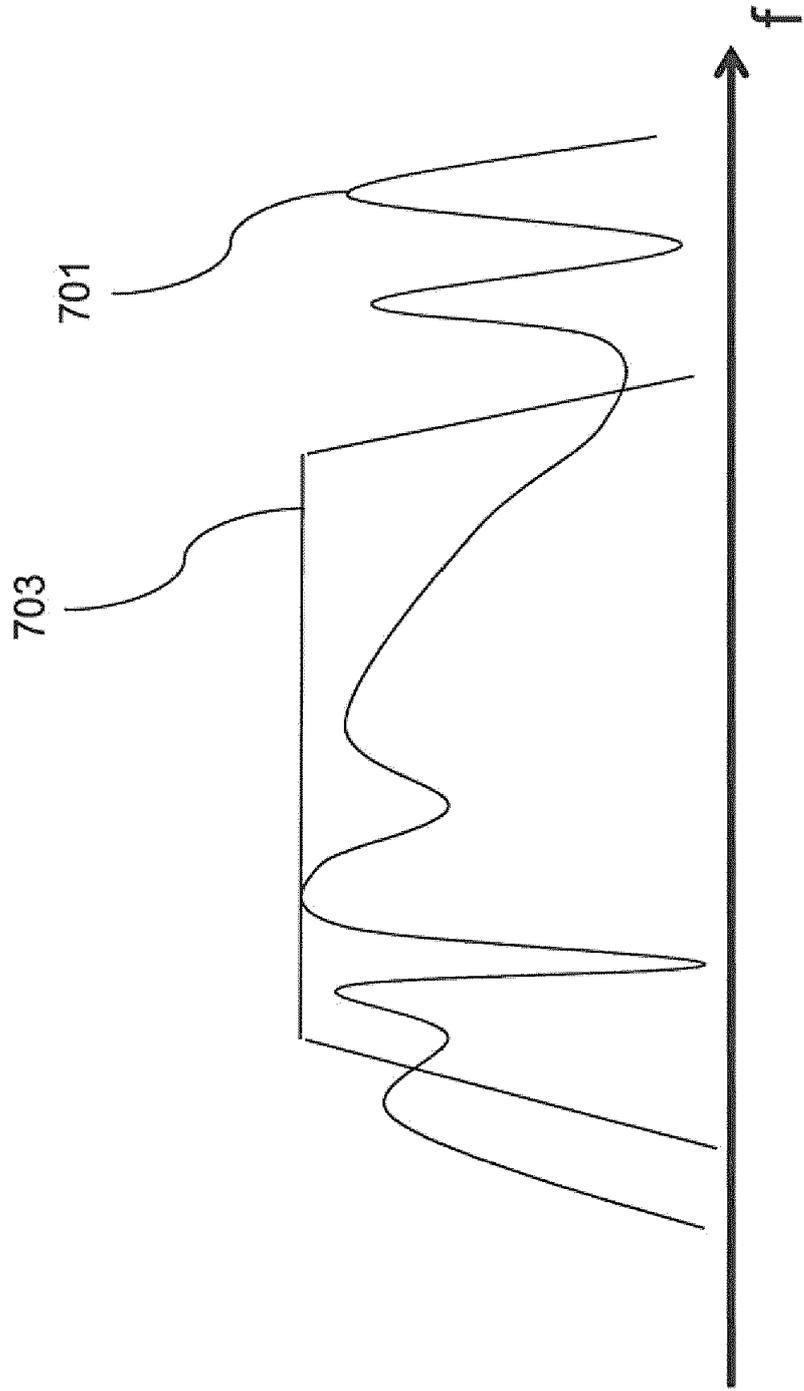


Fig. 7

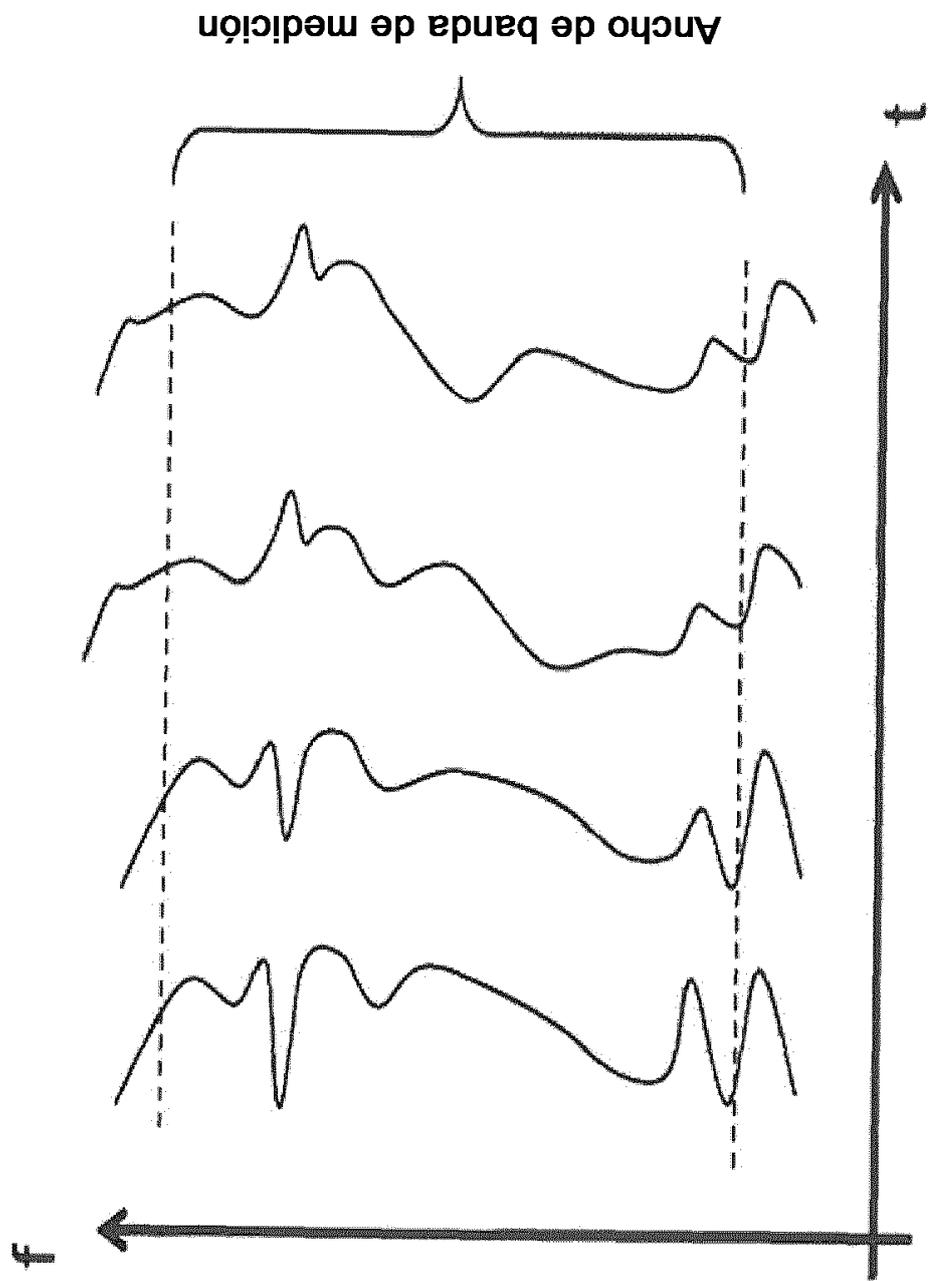


Fig. 8

Fig. 9

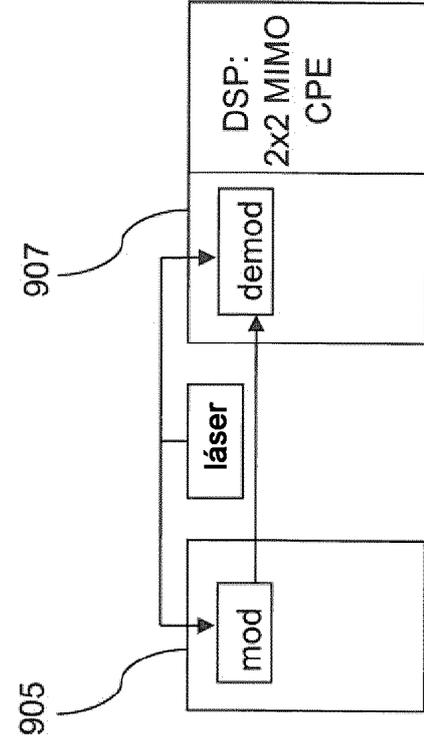
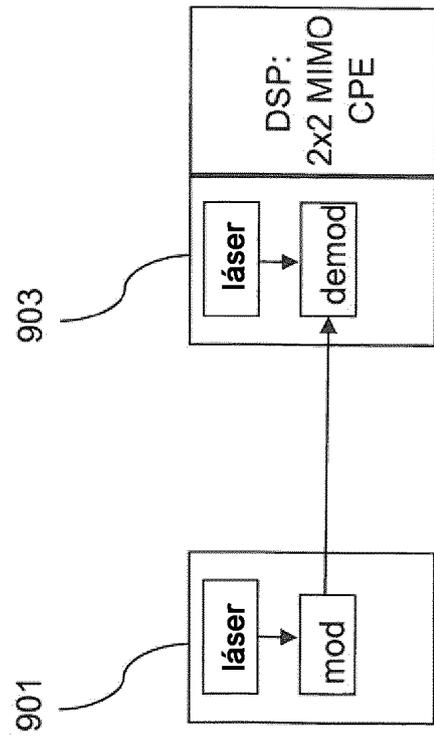


Fig. 10

1000

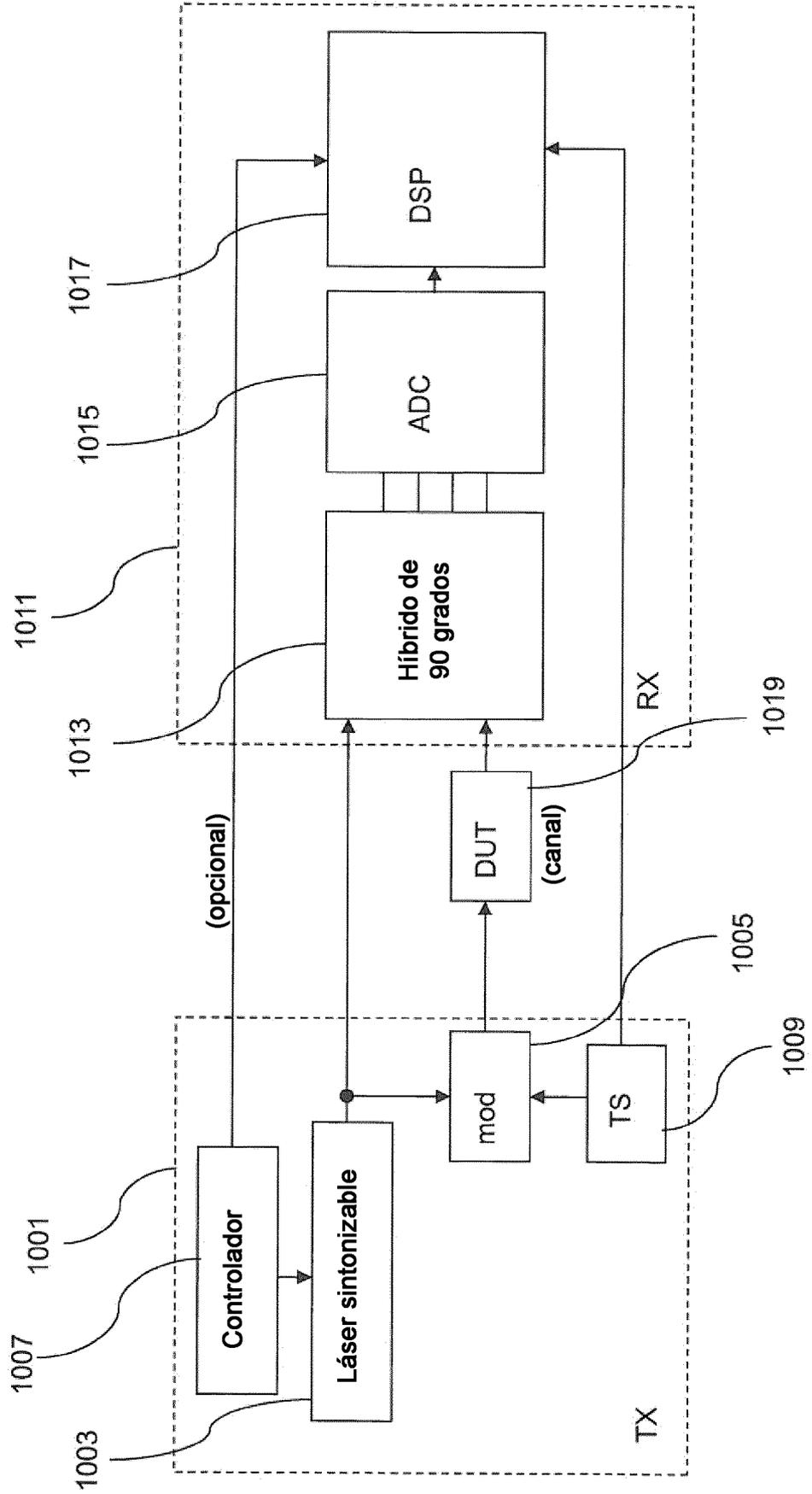
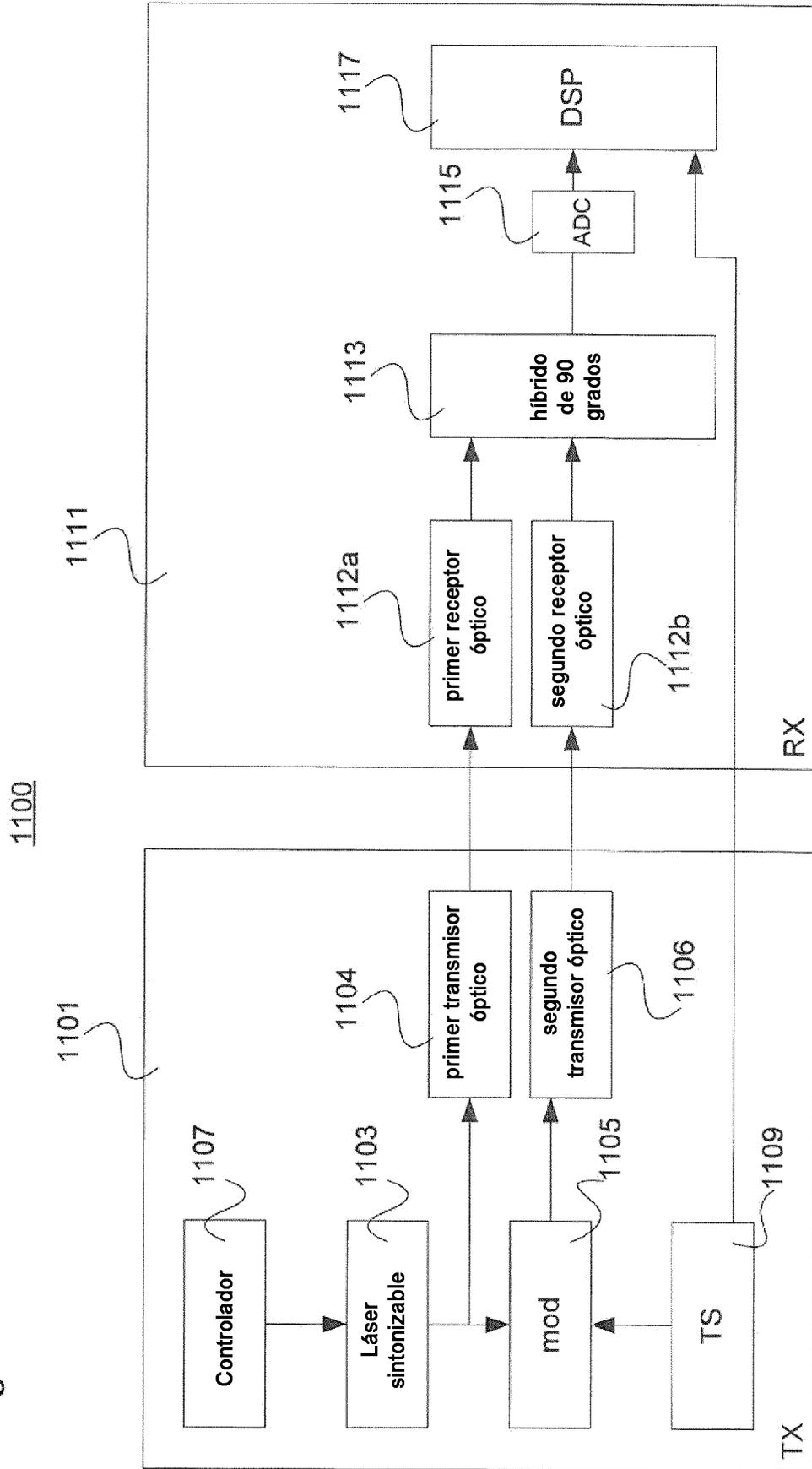


Fig. 11



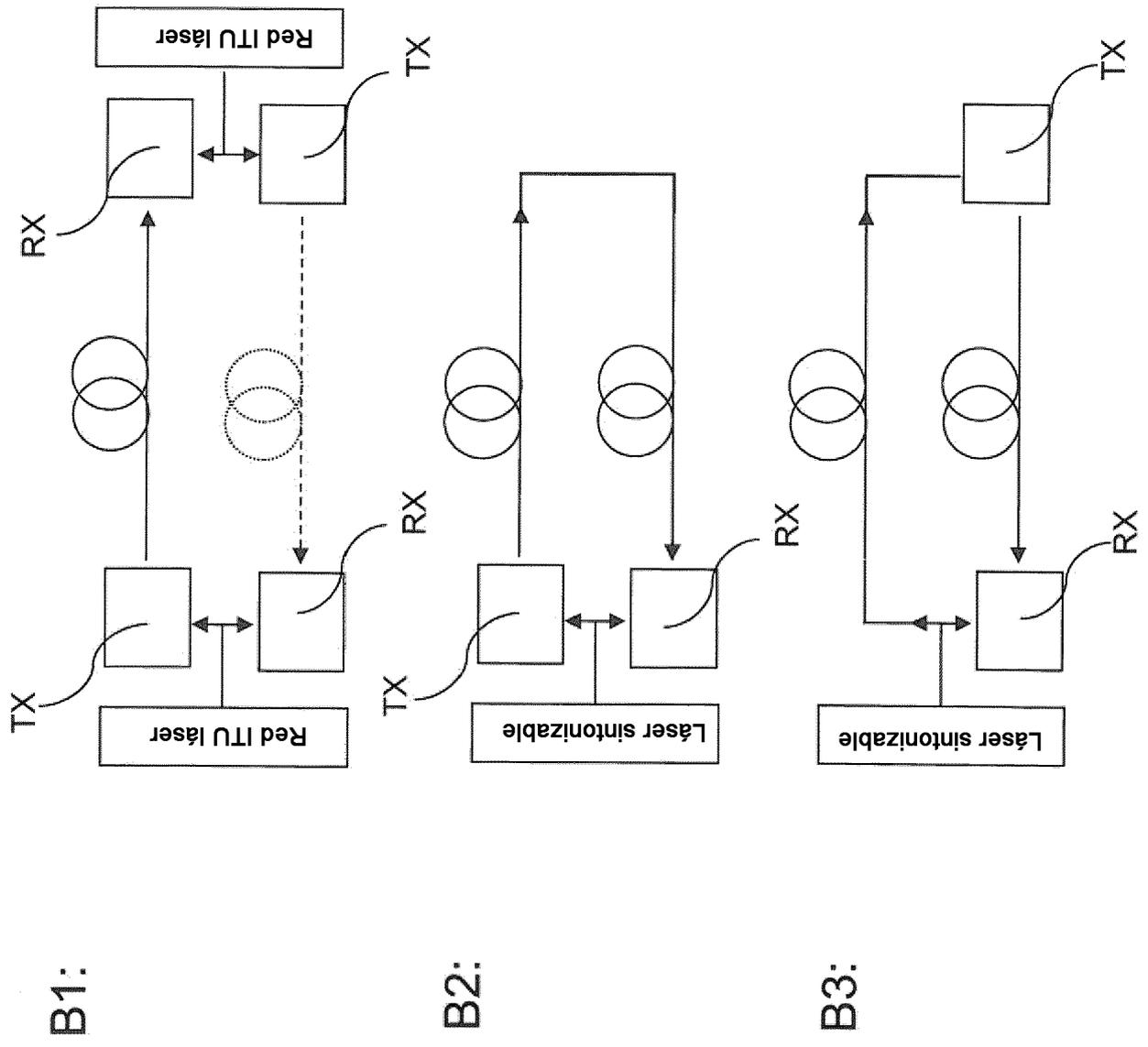


Fig. 12

B1:

B2:

B3: