

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 328**

51 Int. Cl.:

**H04J 14/06** (2006.01)

**H04B 10/61** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2013** **E 13306454 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019** **EP 2866368**

54 Título: **Demultiplexación de polarización digital**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.06.2020**

73 Titular/es:

**ALCATEL LUCENT (100.0%)  
Site Nokia Paris Saclay, Route de Villejust  
91620 Nozay, FR**

72 Inventor/es:

**BUCHALI, FRED**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 768 328 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

## Demultiplexación de polarización digital

5 El presente documento se refiere a redes de transmisión óptica. En particular, el presente documento se refiere a la demultiplexación de señales ópticas multiplexadas por división de polarización.

10 Las redes de transmisión óptica pueden hacer uso de la multiplexación por división de polarización para aumentar (especialmente para duplicar) la capacidad de transmisión de un enlace de transmisión. Para este propósito, la información (por ejemplo, un flujo de bits) puede transmitirse en dos polarizaciones (normalmente ortogonales) de una portadora óptica. Un enlace de transmisión óptica comprende un transmisor óptico configurado para generar una señal óptica modulada que transporta información sobre dos polarizaciones diferentes. Además, el enlace de transmisión óptica comprende un receptor óptico (por ejemplo, un receptor óptico coherente) configurado para recuperar la información (por ejemplo, el flujo de bits) de la señal óptica recibida.

15 Una señal óptica que ha sido enviada a través de un enlace de transmisión óptica por un transmisor óptico puede sufrir distorsiones, por ejemplo, debido a la dispersión cromática (CD) y/o la dispersión en modo de polarización (PMD) del medio de transmisión del enlace de transmisión, tal que la señal óptica recibida corresponde normalmente a una versión distorsionada de la señal óptica transmitida. El receptor óptico puede estar configurado para realizar un procesamiento digital para recuperar la información transmitida de la señal óptica recibida. En particular, el receptor óptico puede estar configurado para realizar procesamiento digital para demultiplexar la señal multiplexada por división de polarización. Este tipo de procesamiento digital a menudo se denomina demultiplexación de polarización.

25 La demultiplexación de polarización puede constituir una parte importante del procesamiento digital que se realiza en el receptor óptico. Se puede usar un filtro de mariposa que comprende una pluralidad de subfiltros FIR (Respuesta de impulso finito) para realizar la demultiplexación de polarización. Cada subfiltro FIR del filtro de mariposa puede comprender un número sustancial de coeficientes de filtro (por ejemplo, 10 a 15 coeficientes de filtro y más). Se puede usar un CMA (Algoritmo de módulo constante) y/o un MMA (Algoritmo de módulo múltiple) para determinar los coeficientes del filtro en un modo de adaptación ciega. Como alternativa o de manera adicional, los enfoques de capacitación asistida pueden usarse para determinar los coeficientes del filtro, utilizando datos de entrenamiento comprendidos dentro de la señal óptica recibida. Sin embargo, tales enfoques asistidos por entrenamiento sufren normalmente una sobrecarga de transmisión adicional y una validez temporal limitada de los coeficientes de filtro determinados.

35 En vista de las desventajas de entrenar enfoques asistidos, los esquemas de adaptación a ciegas que usan, por ejemplo, CMA o MMA son usualmente preferidos. Sin embargo, como resultado del uso de un filtro de mariposa que comprende subfiltros con números relativamente altos de coeficientes de filtro, El procedimiento de adaptación puede ser informáticamente intensivo. Además, una desalineación de los subfiltros puede causar una degradación del resultado de demultiplexación. Además, la degradación debida a una longitud limitada de los subfiltros del filtro de mariposa puede causar degradaciones. Un aumento de la longitud del filtro generalmente permite un rendimiento mejorado en caso de un ajuste óptimo de los coeficientes del filtro, sin embargo, un aumento de la longitud del filtro también tiende a disminuir la velocidad de los algoritmos de adaptación. Además, la importante complejidad informática de CMA o MMA generalmente causa un alto consumo de energía en los ASIC (circuitos integrados específicos de la aplicación) que se utilizan para implementar la demultiplexación de polarización.

50 Documento RENE SCHMOGROW ET AL: "Blind Polarization Demultiplexing With Low Computational Complexity", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol.25, n.º 13, 1 de julio de 2013, páginas 1230-1233, XP011515642 describe una unidad de demultiplexación para demultiplexar señales ópticas multiplexadas de polarización. La unidad de demultiplexación comprende una unidad de cambio de fase, un filtro de mariposa para rotar ambos campos recibidos por un ángulo y una unidad de función de coste para determinar el cambio de fase y los parámetros de ángulo.

55 El documento US 2012/002971 A1 describe un dispositivo de seguimiento de polarización que tiene una rejilla de guía de onda que sirve como un divisor de polarización y un acoplador de fibra óptica a guía de onda. El dispositivo de seguimiento de polarización también tiene un circuito de mezcla óptica configurado para recibir luz de la rejilla de la guía de onda y un circuito de control para sintonizar el circuito de mezcla óptica para producir dos señales de salida óptica que representan, por ejemplo, dos componentes de polarización modulados independientemente de una señal de entrada óptica multiplexada por polarización o dos estados principales de polarización de una señal de entrada óptica que ha sido sometida a dispersión en modo de polarización.

65 El presente documento aborda los problemas técnicos mencionados anteriormente. En particular, el presente documento describe un método y un sistema correspondiente para realizar la demultiplexación de polarización a una complejidad informática reducida. El método y el sistema que se describen en el presente documento son particularmente adecuados para realizar la demultiplexación de polarización de las señales ópticas recibidas que se han transmitido a través de un medio de transmisión (por ejemplo, una fibra óptica) que presenta PMD y/o pérdidas

dependientes de polarización (PDL). De acuerdo con un aspecto, se describe una unidad de demultiplexación de polarización configurada para determinar una primera y una segunda señal demultiplexada de polarización a partir de una primera y una segunda señal de polarización. La unidad de demultiplexación de polarización puede implementarse usando un procesador de señal digital. La unidad de demultiplexación de polarización puede usarse dentro de un receptor óptico de un sistema de transmisión óptica. Las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda pueden corresponder a señales que se han transmitido usando dos planos de polarización diferentes de una señal óptica. Los diferentes planos de polarización son normalmente ortogonales entre sí. La primera y la segunda señales de polarización pueden haberse derivado de una señal óptica recibida utilizando una interfaz coherente que comprende convertidores analógico a digital (ADC), para producir la primera y la segunda señal de polarización digital y compleja.

La unidad de demultiplexación de polarización comprende una unidad de retraso configurada para retrasar una señal derivada de la primera señal de polarización en relación con una señal derivada de la segunda señal de polarización mediante un parámetro de retraso, para producir una primera señal retrasada. Las señales de polarización primera y segunda pueden procesarse antes de enviarse a la unidad de retraso, produciendo así una señal derivada de la primera señal de polarización y una señal derivada de la segunda señal de polarización. En un ejemplo, la unidad de retraso está dispuesta para retrasar la primera señal de polarización en relación con la segunda señal de polarización por el parámetro de retraso. El parámetro de retraso puede ser o puede ser indicativo de un retraso fijo o un retraso (temporal) variable.

La unidad de demultiplexación de polarización comprende además una entidad de rotación espacial configurada para realizar una rotación espacial de la primera señal retrasada y de la señal derivada de la segunda señal de polarización usando un parámetro de cambio de fase y un parámetro de ángulo de rotación. La entidad de rotación espacial puede comprender una unidad de cambio de fase y una unidad de rotación. La unidad de cambio de fase se puede configurar para aplicar un cambio de fase de acuerdo con el parámetro de cambio de fase a la señal derivada de la segunda señal de polarización, para producir una segunda señal desfasada. Alternativamente, el cambio de fase puede aplicarse a la primera señal retrasada. En términos generales, la unidad de cambio de fase puede configurarse para realizar un cambio de fase de acuerdo con el parámetro de cambio de fase a la señal derivada de la segunda señal de polarización o a la primera señal retrasada. La unidad de rotación puede configurarse para rotar la primera señal retrasada y la segunda señal desfasada (o la primera señal retrasada y desfasada y la señal derivada de la segunda señal de polarización) de acuerdo con el parámetro del ángulo de rotación, para producir las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda. Para este propósito, la unidad de rotación puede configurarse para aplicar una matriz de rotación de acuerdo con el parámetro de ángulo de rotación a las dos señales en la entrada de la unidad de rotación.

La entidad de rotación espacial puede proporcionar las señales demultiplexadas de polarización primera y/o segunda en su salida (posterior al cambio de fase y rotación).

La unidad de demultiplexación de polarización puede comprender además una unidad de determinación de parámetros configurada para determinar el parámetro de cambio de fase y el parámetro de ángulo de rotación usando una función de coste que depende de una propiedad de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda. Tal como se ha indicado en lo que antecede, el parámetro de retraso puede ser variable (a lo largo de la secuencia de muestras de la primera y segunda señales de polarización). En tales casos, la unidad de determinación de parámetros puede configurarse para determinar también el parámetro de retraso utilizando la función de coste.

Como tal, la unidad de demultiplexación de polarización puede hacer uso de un número limitado de parámetros, notablemente un parámetro de retraso, un parámetro de cambio de fase y un parámetro de ángulo de rotación, para realizar la demultiplexación de polarización. El número limitado de parámetros permite una implementación eficiente y de alta velocidad de la unidad de demultiplexación de polarización. Además, El uso de un parámetro de retraso en combinación con un parámetro de cambio de fase y un parámetro de ángulo de rotación permite la compensación de la dispersión del modo de polarización (PMD) en un receptor óptico que comprende la unidad de demultiplexación de polarización.

La función de coste puede depender de un valor absoluto (por ejemplo, promedio) de las amplitudes o de un factor de calidad de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda. En particular, la función de coste puede depender de la suma del valor absoluto (por ejemplo, promedio) de las amplitudes o de los factores de calidad de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda.

La unidad de determinación de parámetros puede configurarse para determinar el parámetro de cambio de fase y el parámetro de ángulo de rotación (así como el parámetro de retraso) de forma iterativa muestra por muestra, de modo que la función de coste aumenta (por ejemplo, maximizada) o disminuye (por ejemplo, minimizada). Para este propósito, se puede aplicar un esquema decente de gradiente. En particular, la unidad de determinación de parámetros puede configurarse para determinar el parámetro de cambio de fase y el parámetro del ángulo de rotación (así como el parámetro de retraso) usando, por ejemplo, un método decente más pronunciado. Tal como se ha indicado en lo que antecede, las señales de polarización primera y segunda pueden comprender cada una secuencias temporales de muestras. Cada muestra puede cubrir un período de muestra temporal predeterminado

(de acuerdo con la frecuencia de muestreo). El parámetro de retraso puede corresponder a un múltiplo entero del período de muestra temporal. Como tal, la unidad de retraso puede implementarse de manera informáticamente eficiente usando uno o más pestillos.

5 La unidad de retraso puede comprender un filtro de interpolación que comprende una pluralidad de coeficientes de filtro. La pluralidad de coeficientes de filtro puede depender del parámetro de retraso, de modo que el filtro de interpolación está configurado para retrasar la señal derivada de la primera señal de polarización por el parámetro de retraso. Como tal, se puede usar un filtro de interpolación para aplicar un retraso particular (de acuerdo con el parámetro de retraso) a la señal derivada de la primera señal de polarización. El filtro de interpolación puede usarse para retrasos que corresponden a fracciones de uno o más períodos de muestra.

15 La unidad de retraso puede comprender una tabla de búsqueda que proporciona una asignación entre diferentes parámetros de retraso y diferentes pluralidades de coeficientes de filtro para diferentes filtros de interpolación. La unidad de retraso puede configurarse para determinar el filtro de interpolación para un parámetro de retraso particular, usando la tabla de consulta. Como tal, el filtro de interpolación puede determinarse de manera informáticamente eficiente.

20 La unidad de demultiplexación de polarización puede comprender además una entidad de rotación espacial inicial configurada para realizar una rotación espacial de las señales de polarización primera y segunda usando un parámetro de cambio de fase inicial y un parámetro de ángulo de rotación inicial, para producir las señales derivadas de la primera y segunda señales de polarización. La entidad de rotación inicial puede comprender una unidad de cambio de fase y una unidad de rotación, como se describe arriba. El uso de una entidad de rotación espacial inicial seguida de una unidad de retraso y seguida de una unidad de rotación espacial adicional puede ser beneficioso, ya que permite el uso de un parámetro de retraso fijo. La unidad de determinación de parámetros puede configurarse para determinar también el parámetro de cambio de fase inicial y el parámetro de ángulo de rotación inicial usando la función de coste.

30 La unidad de demultiplexación de polarización puede comprender una primera ruta de procesamiento para determinar la primera señal demultiplexada de polarización y una segunda ruta de procesamiento para determinar la segunda señal demultiplexada de polarización. Las rutas de procesamiento primera y segunda pueden comprender, cada una, una unidad de retraso dedicada y una entidad de rotación espacial dedicada que usa parámetros de retraso dedicados, parámetros de cambio de fase y parámetros de ángulo de rotación. En otras palabras, las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda pueden determinarse usando rutas de procesamiento de demultiplexación de polarización dedicadas. Esto puede ser beneficioso en situaciones donde los planos de polarización de las señales de polarización primera y segunda no son completamente ortogonales entre sí. Tal situación puede ocurrir en el caso de que un medio de transmisión cause pérdidas dependientes de la polarización. La unidad de determinación de parámetros puede configurarse para determinar también los parámetros de cambio de fase dedicados y los parámetros de ángulo de rotación.

40 Según un aspecto adicional, se describe un receptor óptico configurado para recuperar datos de una señal óptica recibida. El receptor óptico puede comprender una interfaz coherente configurada para determinar una primera señal de polarización y una segunda señal de polarización a partir de la señal óptica recibida. Las señales de polarización primera y segunda pueden ser señales digitales. Además, las señales de polarización primera y segunda pueden ser indicativas de diferentes planos de polarización de la señal óptica recibida. Los diferentes planos de polarización pueden ser ortogonales entre sí.

50 Además, el receptor óptico puede comprender una unidad de demultiplexación de polarización para determinar una primera y una segunda señal demultiplexada de polarización a partir de las señales de polarización primera y segunda. La unidad de demultiplexación de polarización puede comprender cualquiera de las características descritas en el presente documento. Además, el receptor óptico puede comprender una unidad de decisión configurada para determinar los datos de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda.

55 El receptor óptico puede comprender además filtros de conformación primero y segundo para filtrar señales derivadas de las señales de polarización primera y segunda, respectivamente. El primer y segundo filtros de conformación pueden depender de un transmisor óptico de la señal óptica recibida.

60 Según un aspecto adicional, se describe un método para determinar una primera y una segunda señal demultiplexada de polarización a partir de una primera y una segunda señal de polarización. El método comprende retrasar una señal derivada de la primera señal de polarización con respecto a una señal derivada de la segunda señal de polarización mediante un parámetro de retraso, para producir una primera señal retrasada. Además, el método comprende realizar una rotación espacial de la primera señal retrasada y de la señal derivada de la segunda señal de polarización usando un parámetro de cambio de fase y un parámetro de ángulo de rotación. Además, el método puede comprender determinar el parámetro de cambio de fase y el parámetro del ángulo de rotación usando una función de coste que depende de una propiedad de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda. La propiedad puede estar relacionada, por ejemplo, con un valor absoluto de una amplitud de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda.

Según un aspecto adicional, se describe un programa de software. El programa de software se puede adaptar para la ejecución en un procesador y para realizar las etapas del método descritas en el presente documento cuando se lleva a cabo en el procesador.

5 De acuerdo con otro aspecto, se describe un medio de almacenamiento. El medio de almacenamiento puede comprender un programa de software adaptado para la ejecución en un procesador y para realizar las etapas del método descritas en el presente documento cuando se llevan a cabo en el procesador.

10 Según un aspecto adicional, se describe un producto de programa informático. El programa informático puede comprender instrucciones ejecutables para realizar las etapas del método descritos en el presente documento cuando se ejecuta en un ordenador.

15 Debe observarse que los métodos y sistemas que incluyen sus realizaciones preferidas como se describe en la presente solicitud de patente pueden usarse de forma independiente o en combinación con los otros métodos y sistemas divulgados en este documento. Además, todos los aspectos de los métodos y sistemas descritos en la presente solicitud de patente pueden combinarse arbitrariamente. En particular, las características de las reclamaciones pueden combinarse entre sí de manera arbitraria.

20 La invención se explica a continuación a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

La figura 1 es un diagrama de bloques de una unidad de demultiplexación de polarización de ejemplo;  
 La figura 2a muestra un diagrama de bloques de una interfaz de ejemplo de un receptor óptico coherente;  
 La figura 2b muestra un diagrama de bloques de una unidad de demultiplexación de polarización de ejemplo para una señal óptica que ha sufrido PMD;  
 25 La figura 3 muestra un diagrama de bloques de otro ejemplo de unidad de demultiplexación de polarización para una señal óptica que ha sufrido PMD; y  
 La figura 4 muestra un diagrama de bloques de una unidad de demultiplexación de polarización de ejemplo para una señal óptica que ha sufrido pérdidas dependientes de polarización (PDL).

30 La figura 2a muestra un diagrama de bloques de una interfaz de ejemplo de un receptor óptico coherente. La señal óptica recibida 211 puede superponerse con una señal de oscilador local dentro de una unidad híbrida 231 para producir dos señales, una primera señal de polarización analógica 221 y una segunda señal de polarización analógica 222, que son normalmente indicativos de dos polarizaciones ortogonales de la señal óptica recibida 211. La primera señal de polarización analógica 221 y la segunda señal de polarización analógica 222 pueden convertirse en el dominio digital usando convertidores analógico a digital 232 para producir una primera señal de polarización (digital) 111 y una segunda señal de polarización (digital) 112.

35 Las señales de polarización 111, 112 son normalmente indicativas de amplitudes de campo complejas  $E_x$  y  $E_y$ , respectivamente, para dos planos de polarización diferentes  $x$  e  $y$ . Los dos planos de polarización  $x$  e  $y$  pueden ser ortogonales entre sí. Cada señal de polarización 111, 112 comprende un componente en fase y un componente de fase en cuadratura. Los planos de polarización del transmisor óptico y del receptor óptico generalmente no están alineados. Por lo tanto, las señales de polarización primera y segunda 111, 112 pueden verse como proyecciones de las señales de polarización primera y segunda transmitidas originalmente sobre los planos de polarización  $x$  e  $y$  del receptor óptico. Es una tarea de demultiplexación de polarización recuperar las señales de polarización primera y segunda transmitidas originalmente de las señales de polarización primera y segunda 111, 112. Esto se puede lograr realizando una rotación de las señales de polarización primera y segunda 111, 112 dentro del denominado espacio de trazos.

45 La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una unidad 100 de demultiplexación de polarización de ejemplo configurada para convertir las señales de polarización primera y segunda 111, 112, referidas como  $E_x$  y  $E_y$ , en las señales demultiplexadas de primera y segunda polarización 121, 122, referidas como  $E'_x$  y  $E'_y$ . La unidad de demultiplexación de polarización 100 comprende un retraso de fase o una unidad de cambio de fase 101 configurada para aplicar un cambio de fase relativo  $\phi$  a una de las señales de polarización 111, 112. En el ejemplo ilustrado, el cambio de fase se aplica a la segunda señal de polarización 112. Además, la unidad de demultiplexación de polarización 100 comprende una unidad de rotación 102 configurada para aplicar una rotación a las señales de polarización primera y segunda por el ángulo de rotación  $\alpha$ . La unidad de cambio de fase 101 y la unidad de rotación 102 pueden denominarse un elemento de rotación espacial. El elemento de rotación espacial puede configurarse para realizar una rotación espacial de las señales de polarización primera y segunda 111, 112.

50 Además, la unidad de demultiplexación de polarización 100 comprende una unidad de determinación de parámetros 103 que está configurada para determinar el cambio de fase  $\phi$  y el ángulo de rotación  $\alpha$  usando una función de coste  $J$ . La función de coste normalmente depende de una propiedad de las señales de polarización demultiplexada 121, 122. A modo de ejemplo, la función de coste  $J$  puede ser indicativa de la potencia de señal y/o de la amplitud de señal de las señales demultiplexadas de polarización 121, 122. El cambio de fase  $\phi$  y el ángulo de rotación  $\alpha$  pueden determinarse de manera iterativa y/o recursiva maximizando o minimizando la función de coste  $J$  muestra por muestra. La determinación recursiva del cambio de fase  $\phi$  y del ángulo de rotación  $\alpha$  puede hacer uso de un método

de gradiente (por ejemplo, un método más decente).

La unidad de demultiplexación de polarización 100 de la figura 1 es beneficiosa, ya que requiere la determinación de solo dos parámetros (el cambio de fase  $\varphi$  y el ángulo de rotación  $\alpha$ ) en lugar de la determinación de un filtro de mariposa que comprende subfiltros FIR con un número relativamente alto de coeficientes de filtro (por ejemplo, 10-15 coeficientes de filtro por subfiltro FIR). Sin embargo, el rendimiento de la unidad de demultiplexación de polarización 100 de la figura 1 normalmente disminuye sustancialmente si la señal óptica recibida 211 se ha enviado a PMD. Por lo tanto, puede ser beneficioso adaptar la unidad de demultiplexación de polarización 100 de la figura 1, para aumentar su rendimiento en caso de señales ópticas distorsionadas PMD.

La dispersión del modo de polarización (PMD) generalmente es causada por imperfecciones aleatorias y asimetrías de un medio de transmisión óptica (por ejemplo, una fibra óptica) que conduce a diferentes velocidades de propagación para las diferentes polarizaciones de una señal óptica. PMD puede ser modelado usando un retraso  $\tau$ . En particular, el PMD puede tenerse en cuenta en el receptor óptico retrasando la primera señal de polarización 111 con respecto a la segunda señal de polarización 112 (o viceversa) mediante un retraso  $\tau$ .

La figura 3 muestra un ejemplo de la unidad de demultiplexación de polarización 300 que comprende una unidad de cambio de fase 101 y una unidad de rotación 102. Además, la unidad de demultiplexación de polarización 300 comprende una unidad de retraso 303 configurada para aplicar un retraso  $\tau$  a la primera o la segunda señal de polarización 111, 112. En el ejemplo ilustrado, el retraso  $\tau$  se aplica a la primera señal de polarización. La unidad de determinación de parámetros 103 (no mostrada) puede configurarse para determinar los parámetros de la unidad de demultiplexación de polarización 300, es decir, el cambio de fase  $\varphi_1$ , el ángulo de rotación  $\rho_1$  y el retraso  $\tau_1$ . Como se describió anteriormente, los parámetros pueden determinarse reduciendo (por ejemplo, minimizando) o aumentando (por ejemplo, maximizando) una función de coste predeterminada de manera iterativa y/o recursiva. La función de coste puede depender de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda 121, 122. Debido al reducido número de parámetros (tres parámetros, en lugar de 40-60 parámetros), la complejidad informática de este proceso iterativo disminuye sustancialmente.

Cabe señalar que el retraso  $\tau_i$  puede ser variable y/o puede tomar valores de muestra fraccionales. En otras palabras, el retraso  $\tau_i$  puede corresponder a una fracción de una muestra. Tales demoras fraccionarias pueden implementarse usando un filtro de interpolación, por ejemplo, un filtro FIR, que comprende una pluralidad de coeficientes de filtro. Los coeficientes de filtro del filtro de interpolación para un retraso particular  $\tau_i$  pueden estar predeterminados. A modo de ejemplo, la unidad de demultiplexación de polarización 300 puede comprender una tabla de búsqueda para asignar un retraso particular  $\tau_i$  a un filtro de interpolación correspondiente. Por lo tanto, el filtro de interpolación puede determinarse de manera informáticamente eficiente. El filtro de interpolación que genera el retraso  $\tau_i$  puede comprender una configuración programada que depende del ajuste de canal disponible. Para la adaptación del filtro de interpolación, se puede aplicar un método de correlación.

La figura 2b muestra un diagrama de bloques de otra unidad 200 de demultiplexación de polarización que está configurada para procesar señales ópticas distorsionadas PMD. La unidad de demultiplexación de polarización 200 utiliza dos entidades de rotación espacial que comprenden una unidad de cambio de fase 101, 201 y una unidad de rotación 102, 202 cada una. Las dos entidades de rotación espacial pueden estar separadas por una unidad de retraso 203 que está configurada para aplicar un retraso  $\tau$  a una de las señales de polarización. La primera entidad de rotación espacial 102 puede estar dirigida a cambiar la orientación de (es decir, girar) las señales de polarización primera y segunda 111, 112 con respecto al retraso  $\tau$ . La segunda entidad de rotación espacial 202 puede estar dirigida a cambiar la orientación de (es decir, girar) las señales de polarización primera y segunda 111, 112 con respecto a la unidad de decisión del receptor. El retraso  $\tau$  puede ser un retraso fijo o variable. Para reducir la complejidad informática, el retraso  $\tau$  puede estar limitado a un múltiplo entero de un período de muestra. En este caso, el retraso fijo o variable puede implementarse sin usar un filtro de interpolación. El retraso se puede implementar, por ejemplo, utilizando un pestillo. Notablemente cuando se usa la primera y segunda entidades de rotación espacial 102, 202, como se ilustra en la figura 2b, el retraso  $\tau$  puede ser un retraso fijo.

Debe observarse que los ADC 232 pueden configurarse para sobremuestrear las señales de polarización analógicas 221, 222 (por ejemplo, por un factor de dos con respecto a la velocidad de símbolos). Este sobremuestreo puede ser beneficioso para la recuperación de temporización en el receptor óptico. Como tal, un retraso que se limita a un múltiplo entero de un período de muestra puede corresponder a una fracción (por ejemplo, a  $\frac{1}{2}$ ) del período del símbolo.

Para la unidad de demultiplexación de polarización 200 de la figura 2b, los parámetros de la primera y segunda entidades de rotación espacial (es decir, los cambios de fase y los ángulos de rotación), así como un posible retraso variable, puede determinarse usando una señal de retroalimentación derivada de la primera y segunda señales demultiplexadas de polarización 121, 122 (como se describe anteriormente). Para este propósito, la unidad de demultiplexación de polarización 200 puede comprender una unidad de determinación de parámetros 103 configurada para determinar los parámetros en función de una propiedad y/o una función de coste de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda 121, 122.

- En caso de PDL significativa (pérdida dependiente de polarización), se puede usar una paralelización de la estructura de demultiplexación de polarización como se muestra en la figura 4 para determinar las señales demultiplexadas de polarización 121, 122. En caso de PDL, puede ocurrir que los componentes de polarización de la señal óptica recibida no sean ortogonales entre sí. La unidad de demultiplexación de polarización 400 de la figura 4
- 5 tiene esto en cuenta realizando una demultiplexación de polarización separada para la primera y la segunda señales demultiplexadas de polarización 121, 122. Para este propósito, la unidad de demultiplexación de polarización 400 comprende un primer brazo o una primera ruta (que comprende, por ejemplo, la unidad de demultiplexación de polarización 200 o la unidad de demultiplexación de polarización 300) para determinar la primera señal de demultiplexación de polarización 121, y un segundo brazo o una segunda ruta (que comprende, por ejemplo, la
- 10 polarización la unidad de demultiplexación 200 o la unidad de demultiplexación de polarización 300) para determinar la segunda señal demultiplexada de polarización 122. Las salidas 421, 422 del primer y segundo brazo de procesamiento pueden usarse para fines de retroalimentación, es decir, para determinar los parámetros del primer y segundo brazo (usando una unidad de determinación de parámetros 103).
- 15 Tal procesamiento separado para las dos señales demultiplexadas de polarización 121, 122 puede ser beneficioso ya que los valores de parámetros óptimos para los dos brazos de procesamiento pueden no ser necesariamente los mismos para las dos señales demultiplexadas de polarización 121, 122.
- En el ejemplo ilustrado, el segundo brazo de procesamiento comprende una primera entidad de rotación espacial que comprende una unidad de cambio de fase 401 y una unidad de rotación 402, una unidad de retraso 403 y una
- 20 segunda entidad de rotación espacial que comprende una unidad de cambio de fase 411 y una unidad de rotación 412.
- Posteriormente o hacia abajo de la demultiplexación de polarización pueden aplicarse más etapas de procesamiento digital, como el tiempo de recuperación, estimación de frecuencia y/o estimación de fase, para recuperar la información transmitida comprendida dentro de la señal óptica recibida 211.
- 25 Además, se puede aplicar un filtro de conformación de señal para filtrar individualmente los canales TE y TM demultiplexados de polarización (es decir, la primera y la segunda señales demultiplexadas de polarización 121, 122 o señales derivadas de ellas) por separado. Estos filtros de conformación pueden comprender un filtro fijo que puede depender del transmisor óptico, en el enlace de transmisión y/o en el receptor óptico (por ejemplo, un RRC, coseno
- 30 criado en la raíz, filtro adecuado para el transmisor). Además, los filtros de conformación pueden comprender filtros variables.
- Finalmente, la retroalimentación dirigida a la decisión puede usarse para recuperar la información transmitida de las señales procesadas. La retroalimentación dirigida a la decisión puede ser beneficiosa debido a una retroalimentación
- 35 rápida y de alta precisión.
- En el presente documento, se han descrito unidades de demultiplexación de polarización (y métodos correspondientes) que utilizan un número reducido de parámetros. Como resultado de esto, la complejidad informática y el consumo de energía de la demultiplexación de polarización pueden reducirse y la velocidad de adaptación puede aumentarse. Las unidades de demultiplexación de polarización hacen uso de operaciones matemáticas simples como rotaciones de fase y atenuación, lo que lleva a una disminución sustancial de la
- 40 complejidad informática (por ejemplo, por un factor de dos). Después de la demultiplexación de polarización, se puede usar un filtro de conformación para la compensación del canal. Tal filtro de conformación puede usarse dentro de cada ruta de polarización (TE y TM) individualmente.
- Cabe señalar que la descripción y los dibujos simplemente ilustran los principios de los métodos y sistemas propuestos. Por lo tanto, se apreciará que los expertos en la materia podrán idear diversas disposiciones que, aunque no se describen o muestran explícitamente en este documento, encarnan los principios de la invención y
- 50 están incluidos dentro de su espíritu y ámbito. Además, todos los ejemplos que se mencionan aquí están destinados principalmente a propósitos pedagógicos para ayudar al lector a comprender los principios de los métodos y sistemas propuestos y los conceptos contribuidos por los inventores para promover la técnica, y deben interpretarse como que no se limitan a tales ejemplos y condiciones específicamente recitados. Asimismo, todas las declaraciones en el presente documento que recitan principios, aspectos y realizaciones de la invención, así como ejemplos
- 55 específicos de los mismos, pretenden abarcar equivalentes de los mismos.
- Además, cabe señalar que las etapas de varios métodos y componentes descritos anteriormente de los sistemas descritos pueden ser realizados por ordenadores programados. En el presente documento, algunas realizaciones
- 60 también están destinadas a cubrir dispositivos de almacenamiento de programas, por ejemplo, medios de almacenamiento de datos digitales, que son legibles por máquina u ordenador, y que codifican programas de instrucciones ejecutables de máquina o por ordenador, en el que dichas instrucciones realizan algunas o todas las etapas de dichos procedimientos descritos anteriormente. Los dispositivos de almacenamiento de programas pueden ser, por ejemplo, memorias digitales, un medio de almacenamiento magnético tal como discos magnéticos y cintas magnéticas, discos duros, o medios de almacenamiento de datos digitales legibles ópticamente. Las realizaciones también están pensadas para cubrir ordenadores programados para realizar dichas etapas de los
- 65

procedimientos descritos anteriormente.

5 Además, Ha de remarcarse que las funciones de los diversos elementos descritos en el presente documento de patente pueden proporcionarse a través del uso de hardware especializado así como hardware que puede ejecutar software en asociación con software apropiado. Cuando se proporcionan por un procesador, las funciones pueden proporcionarse por un único procesador especializado, por un único procesador compartido, o por una pluralidad de procesadores individuales, algunos de los cuales pueden compartirse. Asimismo, el uso explícito del término "procesador" o "controlador" no debería interpretarse que hace referencia exclusivamente a hardware que puede ejecutar software, y puede incluir implícitamente, sin limitación, hardware de procesador de señales digitales (DSP), 10 procesador de red, circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), campo de matriz de puertas programables (FPGA), memoria de sólo lectura (ROM) para almacenar software, memoria de acceso aleatorio (RAM), y almacenamiento no volátil. Otro hardware, convencional y/o personalizado, también se puede incluir.

15 Finalmente, se debe apreciar que cualquier diagrama de bloques en el presente documento representa vistas conceptuales de circuitos ilustrativos que incorporan los principios de la invención. De manera similar, se apreciará que cualquier diagrama de flujo, diagramas de flujo, diagramas de transición de estado, pseudocódigo, y similares representan diversos procesos que pueden representarse sustancialmente en medio legible por ordenador y ejecutarse así por un ordenador o procesador, ya se muestre explícitamente o no tal ordenador o procesador.



**REIVINDICACIONES**

1. Una unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) configurada para determinar una primera y una segunda señal demultiplexada de polarización (121, 122) a partir de una primera y una segunda señal de polarización (111, 112), comprendiendo la unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400)
- una interfaz óptica coherente (231, 232) configurada para recibir una señal óptica y generar las señales de polarización primera y segunda (111, 112), en donde las señales de polarización primera y segunda (111, 112) comprenden cada una una secuencias temporales de muestras;
- la unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) **caracterizada por:**
- una unidad de retraso (203, 303, 403) configurada para retrasar una señal derivada de la primera señal de polarización (111) en relación con una señal derivada de la segunda señal de polarización (112) mediante un parámetro de retraso, para producir una primera señal retrasada;
  - una entidad de rotación espacial (102, 202) configurada para realizar una rotación espacial de la primera señal retrasada y de la señal derivada de la segunda señal de polarización (112) usando un parámetro de cambio de fase y un parámetro de ángulo de rotación; y
  - una unidad de determinación de parámetros (103) configurada para determinar el parámetro de cambio de fase y el parámetro de ángulo de rotación utilizando una función de coste que depende de una propiedad de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda (121, 122), en donde el parámetro de cambio de fase y el parámetro del ángulo de rotación se determinan de forma iterativa muestra por muestra, de modo que la función de coste aumenta o disminuye, y en donde
  - el parámetro de retraso es variable; y
  - la unidad de determinación de parámetros (103) está configurada para determinar también el parámetro de retraso utilizando la función de coste.
2. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que
- la entidad de rotación espacial (102, 202) comprende una unidad de cambio de fase (101) y una unidad de rotación (202);
  - la unidad de cambio de fase (101) está configurada para aplicar un cambio de fase de acuerdo con el parámetro de cambio de fase a la señal derivada de la segunda señal de polarización (112), para producir una segunda señal desfasada;
  - la unidad de rotación (202) está configurada para rotar la primera señal retrasada y la segunda señal desfasada de acuerdo con el parámetro del ángulo de rotación, para producir las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda (121, 122).
3. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que
- cada muestra cubre un período de muestra temporal predeterminado; y
  - el parámetro de retraso corresponde a un múltiplo entero del período de muestra temporal.
4. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que
- la unidad de retraso (203, 303, 403) comprende un filtro de interpolación que comprende una pluralidad de coeficientes de filtro; y
  - la pluralidad de coeficientes de filtro depende del parámetro de retraso, tal que el filtro de interpolación está configurado para retrasar la señal derivada de la primera señal de polarización (111) por el parámetro de retraso.
5. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de la reivindicación 4, en la que
- la unidad de retraso (203, 303, 403) comprende una tabla de búsqueda que proporciona una asignación entre diferentes parámetros de retraso y diferentes pluralidades de coeficientes de filtro; y
  - la unidad de retraso (203, 303, 403) está configurada para determinar el filtro de interpolación para un parámetro de retraso particular, usando la tabla de consulta.
6. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que
- la unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) comprende además una entidad de rotación espacial inicial configurada para realizar una rotación espacial de las señales de polarización primera y segunda (111, 112) usando un parámetro de cambio de fase inicial y un parámetro de ángulo de rotación inicial, para producir las señales derivadas de la primera y segunda señales de polarización; y
  - la unidad de determinación de parámetros (103) está configurada para determinar también el parámetro de cambio de fase inicial y el parámetro de ángulo de rotación inicial utilizando la función de coste.

7. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que

- la unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) comprende una primera ruta de procesamiento para determinar la primera señal demultiplexada de polarización (121), y una segunda ruta de procesamiento para determinar la segunda señal demultiplexada de polarización (122);
- las rutas de procesamiento primera y segunda comprenden, cada una, una unidad de retraso dedicada y una entidad de rotación espacial dedicada que utilizan parámetros de retraso dedicados, parámetros de cambio de fase y parámetros de ángulo de rotación; y
- la unidad de determinación de parámetros (103) está configurada para determinar los parámetros de cambio de fase dedicados y los parámetros de ángulo de rotación.

8. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que la función de coste depende de un valor absoluto promedio de una amplitud de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda (121, 122).

9. La unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) de cualquier reivindicación anterior, en la que la unidad de determinación de parámetros (103) está configurada para determinar el parámetro de cambio de fase y el parámetro de ángulo de rotación de forma iterativa muestra por muestra, tal que la función de coste aumenta o disminuye.

10. Un receptor óptico configurado para recuperar datos, comprendiendo el receptor óptico

- una unidad de demultiplexación de polarización (200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores; y
- una unidad de decisión configurada para determinar los datos de las señales demultiplexadas de polarización primera y segunda (121, 122).

11. El receptor óptico de la reivindicación 10, que comprende además filtros de conformación primero y segundo para filtrar señales derivadas de las señales de polarización primera y segunda (111, 112), respectivamente; en donde el primer y segundo filtros de conformación dependen de un transmisor óptico de la señal óptica recibida (211).

12. Un método para determinar una primera y una segunda señal demultiplexada de polarización (121, 122) a partir de una primera y una segunda señal de polarización (111, 112), en el que las señales de polarización primera y segunda (111, 112) se generan a partir de una señal óptica recibida por una interfaz óptica coherente (231, 232), en donde las señales de polarización primera y segunda (111, 112) comprenden cada una secuencias temporales de muestras, el método se **caracteriza por**:

- retrasar una señal derivada de la primera señal de polarización (111) en relación con una señal derivada de la segunda señal de polarización (112) mediante un parámetro de retraso, para producir una primera señal retrasada, en donde el parámetro de retraso es variable;
- realizar una rotación espacial de la primera señal retrasada y de la señal derivada de la segunda señal de polarización (112) usando un parámetro de cambio de fase y un parámetro de ángulo de rotación; y
- determinar el parámetro de cambio de fase, usando el parámetro de retraso y el parámetro del ángulo de rotación una función de coste que depende de una propiedad de la primera y segunda señales de polarización demultiplexadas (121, 122), en donde el parámetro de cambio de fase y el parámetro del ángulo de rotación se determinan de forma iterativa muestra por muestra, de modo que la función de coste aumenta o disminuye.

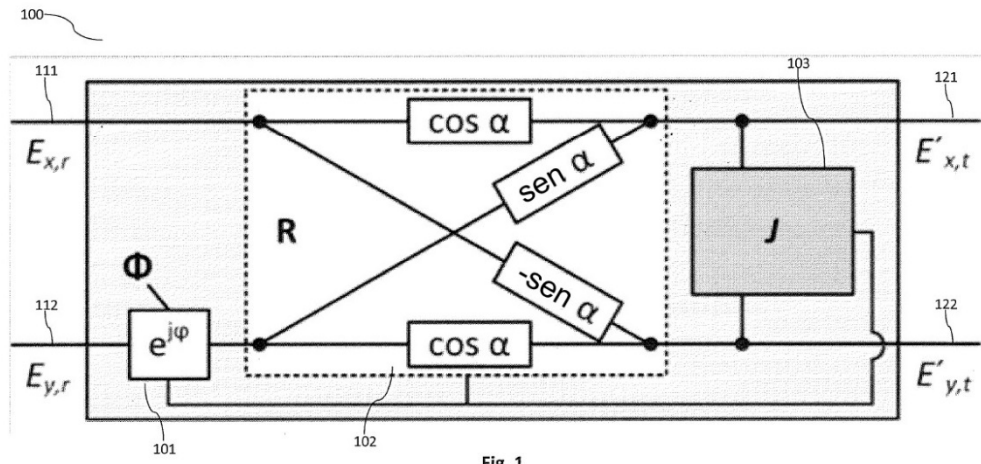
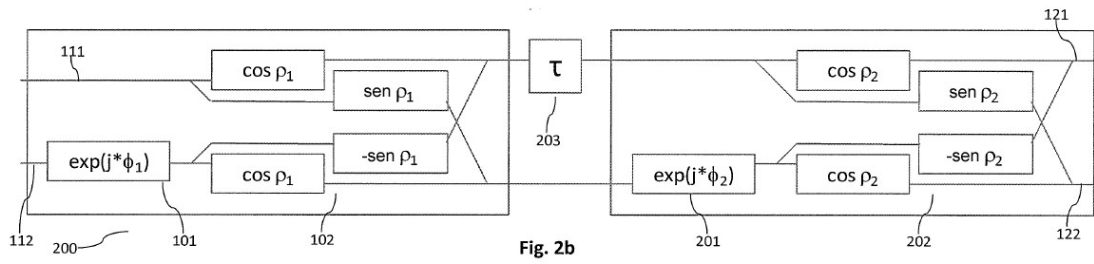
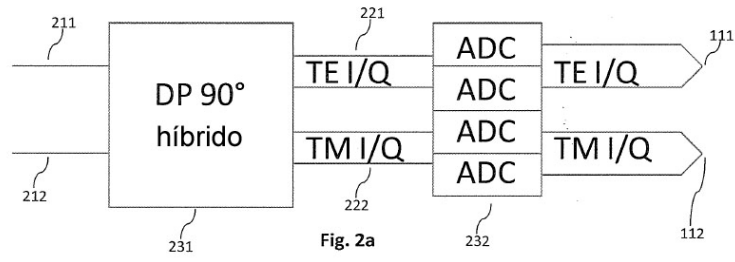
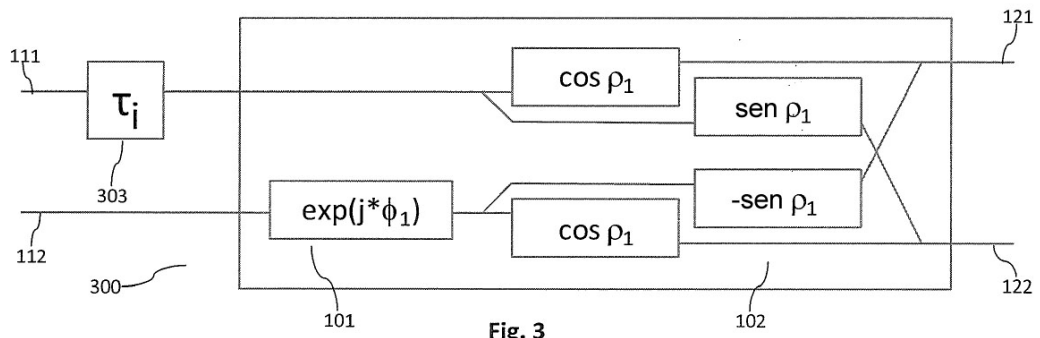


Fig. 1





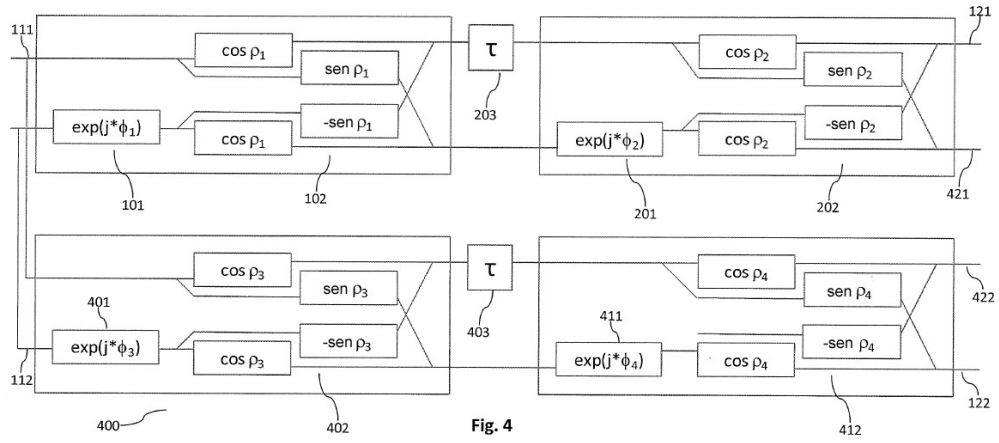


Fig. 4