

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 460**

51 Int. Cl.:

H04B 10/50 (2013.01)

H04B 10/532 (2013.01)

H04B 10/556 (2013.01)

H04B 10/516 (2013.01)

H04B 10/69 (2013.01)

H04J 14/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.01.2014 PCT/EP2014/050405**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.07.2015 WO15104058**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.01.2014 E 14701153 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 3078134**

54 Título: **Procedimiento para la polarización dual con modulación óptica coherente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.06.2019

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

72 Inventor/es:
STOJANOVIC, NEBOJSA

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 717 460 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

Procedimiento para la polarización dual con modulación óptica coherente

Campo técnico

5 La presente descripción está relacionada con un procedimiento para la modulación/demodulación óptica coherente de la polarización dual, un dispositivo de modulación óptica de polarización dual y un dispositivo de demodulación óptica de polarización dual. La descripción además está relacionada con receptores ópticos coherentes que utilizan un procesamiento digital de señales mejorado.

Antecedentes

10 Un objetivo importante de los sistemas de fibra óptica de larga distancia es transmitir el mayor rendimiento de datos en la distancia más larga sin regeneración de la señal en regeneradores óptico/eléctrico/óptico. Dadas las restricciones en el ancho de banda impuestas por los amplificadores ópticos y, en última instancia, por la propia fibra, es importante maximizar el uso eficaz del espectro. La mayoría de los sistemas actuales utilizan formatos de modulación binarios, tal como la manipulación por todo-nada que codifica un bit por símbolo. Los formatos de modulación avanzada en combinación con receptores coherentes permiten una alta capacidad y un uso eficaz del espectro. El multiplexado de polarización, la modulación de amplitud en cuadratura y la detección coherente se consideran una combinación ganadora para la próxima generación de sistemas de transmisión óptica de alta capacidad, ya que permiten la codificación de la información en todos los grados de libertad disponibles. Los dispositivos comerciales que utilizan la constelación de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) ya están disponibles en sistemas ópticos de 40 y 100 Gb/s. El 16-QAM es probablemente un candidato para sistemas de transmisión de 400 Gb/s.

25 En la Fig. 1 se muestra un diagrama de bloques del receptor óptico coherente 100. El receptor 100 incluye una parte analógica RX 101 y una parte digital RX 103. La parte analógica RX 101 incluye una trayectoria óptica 105 y una trayectoria eléctrica 107. Dado que la señal digital está representada en ambas polarizaciones (indicadas por X e Y), se utiliza un híbrido de 90° 113 para aleatorizar la señal de entrada óptica 111 con una señal del oscilador local (LO) 109 que da como resultado cuatro señales de salida (dos señales por polarización). La señal óptica se convierte en señal eléctrica a través de una circuitería de entrada óptica (OFE) 115 que consiste en fotodiodos (PIN único o equilibrado) y un amplificador de transimpedancia (TIA). Como la potencia de la señal puede variar con el tiempo, los bloques rápidos de control automático de ganancia 117 compensan las variaciones de potencia de la señal. Hay cuatro bloques AGC 117 que también pueden ser parte integral de los bloques OFE 115. A menudo, debido a la complejidad de la realización, un par de bloques AGC 117 es controlado por una señal de control (VX_{AGC} para la polarización X y VY_{AGC} para la polarización Y; véase la Fig. 1). Sin embargo, cuatro bloques de AGC 117 pueden ser controlados por cuatro tensiones de control independientes (no representadas en la Fig. 1). Las señales después de los bloques AGC 117 se cuantifican con el uso de convertidores analógico a digital (ADC) 119. Cuatro secuencias de datos digitales cuantificados XI, XQ, YI, YQ, es decir, componentes en fase y en cuadratura de ambas polarizaciones X e Y, se procesan posteriormente en un bloque de procesamiento digital de señales (DSP) 121 que se divide en dos partes, un parte de hardware DSP rápida 125 y una parte de software DSP lenta 123. El bloque DSP 121 es parte de la parte digital RX 103 del receptor 100. En el bloque DSP 121, se realiza la compensación de la dispersión cromática (CD), polarización por modo de dispersión (PMD), polarización por rotación, efectos no lineales, ruido LO, desplazamiento de frecuencia LO, etc. La estimación de los procedimientos lentos (desplazamiento de frecuencia LO, CD, etc.) se puede realizar en la parte de software 123 del circuito DSP o bloque DSP 121.

40 Los bloques DSP básicos del circuito DSP 121 de la Fig. 1 se presentan en el receptor 200 representado en la Fig. 2. Después de que los cuatro flujos de datos digitales cuantificados XI, XQ, YI, YQ hayan pasado por los convertidores AD 119 controlados por un VCO 203 y un circuito de corrección de desplazamiento y ganancia 209, las cuatro señales se igualan para la dispersión cromática en el dominio de la frecuencia utilizando dos bloques de transformaciones rápidas de Fourier (FFT) 211, 213. El desplazamiento de frecuencia se elimina en un bloque de recuperación de frecuencia 215. El seguimiento de polarización, la compensación de la PMD y la compensación de CD residual se realizan en el dominio del tiempo utilizando los filtros 217 de respuesta a un impulso finito (FIR) dispuestos en una estructura de mariposa. Tanto la compensación de desplazamiento de frecuencia residual como la recuperación de fase de la portadora se realizan en un bloque de recuperación de la portadora 219. Cuando la decodificación diferencial se aplica en el lado del transmisor, se utiliza un decodificador diferencial en un bloque de detección de la trama y decodificación 221. La estimación de tiempo se realiza en un bloque de estimación de tiempo 223. Los transceptores ópticos de próxima generación deben ser flexibles en términos de velocidad de transmisión de baudios y formatos de modulación. En función de los parámetros del enlace óptico, como la distancia y la calidad del enlace, el centro de gestión seleccionará la velocidad de transmisión de baudios y el formato de modulación adecuados. Los formatos de modulación que utilizan amplitud, fase o ambos para transportar información son conocidos desde hace años. Los formatos de modulación más populares utilizan las constelaciones PSK o QAM. Actualmente, los formatos de modulación BPSK (2-PSK), 4-PSK (4QAM) y 16QAM son objeto de investigación para su uso en sistemas ópticos coherentes. Los formatos de modulación BPSK y 4-PSK ya están

implementados. El siguiente paso parece ser el formato de modulación 16QAM en sistemas ópticos de 400 Gb/s para aplicaciones de metro (hasta 800 km o incluso más).

Una unidad de control 311 de un transceptor óptico 300 que se muestra en la Fig. 3 selecciona el formato de modulación y la velocidad de transmisión de baudios, lo que da como resultado una tasa de bits final. El asignador 303 asigna los bits de datos entrantes 301 en la constelación seleccionada. El DSP Tx 305 procesa datos para compensar las imperfecciones de los circuitos, conformar los espectros de la señal, compensar las imperfecciones de los canales, etc. Un DAC 307 produce cuatro componentes de señal XI, XQ, YI y YQ de una señal de polarización dual. Un modulador de polarización dual 309 envía estas señales en ambas polarizaciones a través de un enlace óptico. La señal óptica de la polarización dual es recibida por un híbrido de polarización dual 321, cuantificada por un ADC 319 y pasada por el Rx DSP 317 antes de que los cuatro componentes de la señal XI, XQ, YI y YQ de la señal de la polarización dual pasen por un desasignador 315 para reproducir los datos 313. La unidad de control 311 selecciona los algoritmos DSP requeridos para cierto formato de modulación. Algunos algoritmos son universales para la mayoría de los formatos de modulación. Sin embargo, hay algoritmos que no pueden abarcar todos los formatos de modulación. Algunos algoritmos pueden cambiar solo los parámetros del algoritmo y abarcar la mayoría de los formatos de modulación. Sin embargo, algunos de ellos requieren cambios radicales.

El filtro FIR 217 que se muestra en la Fig. 2 es un sistema de dos entradas y dos salidas. Este filtro 217 extrae dos polarizaciones de la señal entrante, también llamada despolarización de la señal. Principalmente, el filtro compensa la dispersión cromática residual y la polarización por modo de dispersión. La estructura de mariposa 400 del filtro FIR se muestra en la Fig. 4. La estructura del filtro FIR 400 incluye cuatro filtros FIR, un primer filtro indicado como filtro X-X 401, un segundo filtro indicado como filtro Y-X 403, un tercer filtro indicado como filtro X-Y 405 y un cuarto filtro indicado como filtro Y-Y 407. Cada filtro 401, 403, 405 y 407 tiene un número impar de tomas M de modo que:

el filtro X-X 401 adquiere los datos de valor complejo de la polarización X y los envía a la polarización X;

el filtro Y-X 403 adquiere los datos de valores complejos de la polarización Y y los envía a la polarización X;

el filtro X-Y 405 adquiere los datos de valores complejos de la polarización X y los envía a la polarización Y; y

El filtro Y-Y 407 adquiere los datos de valores complejos de la polarización Y y los envía a la polarización Y.

Las salidas de filtro son añadidas por dos sumadores 409, 411, de manera que se generan dos valores complejos:

$$\bar{m}_X = \bar{W}_X^H \bar{U}_X$$

$$\bar{m}_Y = \bar{W}_Y^H \bar{U}_Y$$

donde

$$\bar{U}_X = \begin{pmatrix} \bar{u}_X \\ \bar{u}_Y \end{pmatrix}; \bar{W}_X = \begin{pmatrix} \bar{h}_{XX} \\ \bar{h}_{YX} \end{pmatrix}; \bar{U}_Y = \begin{pmatrix} \bar{u}_Y \\ \bar{u}_X \end{pmatrix}; \bar{W}_Y = \begin{pmatrix} \bar{h}_{YY} \\ \bar{h}_{XY} \end{pmatrix}$$

y el vector complejo \bar{h} presenta los coeficientes de filtro complejos. El script superior H indica el vector de valor complejo hermitico (es decir, conjugado y transpuesto).

En la mayoría de las aplicaciones, las tomas de filtro FIR se actualizan utilizando el algoritmo de módulo constante (CMA), por ejemplo, tal como se describe en "G. Proakis, Digital Communications, 4ª ed. (McGraw-Hill, Nueva York, 2001)" y mostrado parcialmente en la Fig. 5. En la Fig. 5, la estructura de filtro parcial de polarización X 500 que incluye los filtros superiores 401, 403 y el sumador 409 de la estructura de filtro 400 se representa produciendo la salida polarizada X. El algoritmo CMA es procesado por el bloque de cálculo de las tomas FIR 501. A continuación, se describe un sistema de sobremuestreo con dos muestras por símbolo (muestras A y B). El sobremuestreo es una buena manera de acelerar la convergencia y relajar los algoritmos DSP. Este algoritmo fuerza la primera muestra (A) en el círculo unitario. Las tomas FIR se actualizan mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{W}_{k+1} = (1 - \alpha) \bar{W}_k + \mu e_k \bar{m}_k^* \bar{U}_k$$

$$e_k = 1 - |\bar{m}_k|^2$$

donde μ es el coeficiente de actualización y α es el factor de pérdida. El error e_k se calcula utilizando A muestras. Este procedimiento es muy eficaz en los sistemas MPSK. Este algoritmo también se usa a menudo con las señales QAM en el modo de preconvergencia, facilitando los coeficientes de inicio que posteriormente son perfeccionados mediante algoritmos más sofisticados, como la actualización del filtro FIR con decisión agregada.

En la Fig. 6, las constelaciones de señales QPSK se presentan antes (Fig. 6a y 6b) y después (Fig. 6c y 6d) de los filtros FIR para ambas polarizaciones X (Fig. 6a y 6c) e Y (Fig. 6b y 6d). La señal estaba libre de dispersión

cromática, pero aún estaba corrompida por el desplazamiento de frecuencia y la polarización por modo de dispersión (PMD). Es evidente que después del filtrado FIR, la constelación de salida está muy limpia alrededor del origen (espacio dentro de los ciclos 601, 602).

5 El factor de corte progresivo decreciente (ROF) destruye la calidad del tono del reloj. La característica del detector de error de tiempo (TEDC) se vuelve muy pequeña, por lo que genera una fluctuación de fase grande e incontrolada. Los resultados de la simulación TEDC del detector de fase Gardner (PD) para el formato de modulación QPSK en $E_b/N_0 = 3\text{dB}$ muestran una degradación grave del tono del reloj para valores de ROF pequeños. El TEDC sinusoidal se vuelve aceptable para valores de ROF superiores a 0,3.

10 Cuando se utiliza el formato de modulación BPSK, el algoritmo de módulo constante falla debido a que no hay suficientes estadísticas de la señal disponibles para conceder la convergencia del filtro. La PMD de orden superior fue simulada con un retardo de grupo diferencial medio (DGD) de 25 ps en sistemas BPSK de 28 Gb/s utilizando ambas polarizaciones (transmisión de 56 Gb/s). La constelación BPSK esperada después del filtro FIR se muestra en las Figs. 7a y 7b. Solo se derivan dos puntos de constelación cuando los coeficientes de filtro convergen adecuadamente (Fig. 7a). Esto se consiguió utilizando la secuencia de entrenamiento. En una segunda simulación, el algoritmo CMA se utilizó sin la ayuda de la secuencia de entrenamiento. Se obtuvo la constelación que se muestra en la Fig. 7b. Se puede observar, que existen cuatro puntos de constelación y que proceden de ambas polarizaciones. Eso significa que el filtro FIR entrega una señal que consiste en señales de ambas polarizaciones. Este efecto no permite ningún procesamiento adicional de la señal.

20 El documento WO 2013/139368 A1 describe un aparato de modulación óptica de manipulación por desplazamiento de fase que comprende un aparato de desplazamiento de fase óptico y un modulador óptico.

El documento EP 2385637 A1 describe un procedimiento en un nodo de transmisión para transmitir información de datos en una señal de portadora óptica modulada a través de un canal óptico en una red de comunicaciones óptica hasta un nodo receptor.

25 El documento US 6538787 B1 describe un emulador de polarización por modo de dispersión que incluye una o más "células" modulares que emulan la PMD.

Compendio

El objetivo de la invención es proporcionar una técnica para mejorar el rendimiento en la transmisión óptica coherente.

30 Este objetivo se consigue mediante las características de las reivindicaciones independientes. Otras formas de implementación son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y las figuras.

Para describir la invención en detalle, se utilizarán los siguientes términos, abreviaturas y anotaciones:

TEDC: característica del detector de error de tiempo

PD: detector de fase

DAC: convertidor de digital a analógico

35 ADC: convertidor analógico a digital

BPSK: modulación por desplazamiento de fase binaria

QPSK: modulación por desplazamiento de fase cuaternaria

QAM: modulación de amplitud en cuadratura

DSP: procesamiento digital de señales

40 CMA: algoritmo de módulo constante

MMA: algoritmo de módulo múltiple

DGD: retardo de grupo diferencial

FIR: respuesta a un impulso finito.

PMD: polarización por modo de dispersión

45 CD: dispersión cromática

ROF: factor de corte progresivo

LO: oscilador local

OFE: circuitería de entrada óptica

AGC: control automático de ganancia

5 TIA: amplificador de transimpedancia

TX: transmisor

RX: receptor

CR: recuperación de la portadora

PRBS: secuencia binaria pseudoaleatoria

10 DP: polarización dual

X: primer componente de polarización de la señal de polarización dual

Y: segundo componente de polarización de la señal de polarización dual

15 Según un primer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para la modulación óptica coherente de la polarización dual, el procedimiento que comprende: asignar bits de datos a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación; asignar los bits de datos de la primera constelación a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación, en el que la segunda constelación comprende un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación; y modular los bits de datos de la segunda constelación en una señal óptica de polarización dual, en el que la señal óptica comprende un primer componente de polarización (X) y un segundo componente de polarización (Y).

20 Cuando la segunda constelación tiene un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación, las estadísticas de la señal proporcionan una mejor excitación para los algoritmos de filtro adaptativo tales como CMA en el receptor que ajusta el filtro de adaptación. La señal óptica modulada según el segundo formato de modulación es más "blanca" que una señal óptica modulada según el primer formato de modulación. Esa propiedad permite la convergencia del filtro de compensación en el receptor cuando se utiliza la ecualización ciega.

25 En una primera forma de implementación posible del procedimiento según el primer aspecto, la segunda constelación comprende un múltiplo de los puntos de constelación de la primera constelación.

Un múltiplo de los puntos de constelación de la primera constelación se puede implementar fácilmente, por ejemplo, mediante la aleatorización.

30 En una segunda forma de implementación posible del procedimiento según el primer aspecto como tal o según la primera forma de implementación del primer aspecto, los puntos de constelación de la primera constelación son un subconjunto de puntos de constelación de la segunda constelación.

35 Cuando los puntos de constelación de la primera constelación son un subconjunto de puntos de constelación de la segunda constelación, la reconstrucción de los puntos de la primera constelación en el receptor es fácil de implementar, por ejemplo, eliminando los puntos adicionales de la segunda constelación que no forman parte del subconjunto.

En una tercera forma de implementación posible del procedimiento según la segunda forma de implementación del primer aspecto, los puntos de constelación de la segunda constelación se generan en base a la aleatorización de los bits de datos de la primera constelación.

40 La aleatorización es fácil de implementar, por ejemplo, mediante un generador de PRBS y un sumador o mediante un registro de desplazamiento y una unidad de adición.

45 En una cuarta forma de implementación posible del procedimiento según el primer aspecto como tal o según cualquiera de las primeras formas de implementación anteriores del primer aspecto, el primer formato de modulación comprende un formato de modulación por desplazamiento de fase binaria, BPSK, o cualquier constelación irregular que un algoritmo de módulo constante, CMA, no puede detectar de manera fiable; y el segundo formato de modulación comprende cualquier constelación regular que un algoritmo de módulo constante, CMA, es capaz de detectar de manera fiable, en particular uno de los siguientes: formato de modulación de una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, PSK, formato de modulación de una amplitud en cuadratura, QAM.

La constelación del primer formato de modulación se puede asignar a una constelación del segundo formato de modulación, de manera que una señal óptica no detectable se puede transformar en una señal óptica detectable cuando se utiliza un algoritmo simple de CMA.

5 En una quinta forma de implementación posible del procedimiento según el primer aspecto como tal o según cualquiera de las primeras formas de implementación anteriores del primer aspecto, el primer formato de modulación comprende un formato de modulación por desplazamiento de fase binaria, BPSK, o cualquier constelación irregular que un algoritmo de módulo múltiple, MMA, no puede detectar de manera fiable; y el segundo formato de modulación comprende cualquier constelación regular que un algoritmo de módulo múltiple, MMA, es capaz de detectar de manera fiable, en particular uno de los siguientes: formato de modulación de una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, PSK, formato de modulación de una amplitud en cuadratura, QAM.

La constelación del primer formato de modulación se puede asignar a una constelación del segundo formato de modulación, de manera que una señal óptica no detectable se puede transformar en una señal óptica detectable cuando se utiliza un algoritmo MMA más complejo.

15 Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para la demodulación óptica coherente de la polarización dual, que comprende: recibir de forma coherente una señal óptica de polarización dual que está modulada según un segundo formato de modulación; despolarizar la señal óptica de la polarización dual mediante un algoritmo de módulo constante, CMA para proporcionar una señal óptica de despolarización; asignar los puntos de segunda constelación de una segunda constelación de la señal óptica de despolarización con los puntos de la primera constelación dispuestos según una primera constelación de un primer formato de modulación; y asignar los puntos de la primera constelación a los bits de datos de la primera constelación según un primer formato de modulación, en el que la primera constelación comprende un número menor de puntos de constelación que la segunda constelación.

20 Cuando la segunda constelación tiene un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación, el CMA puede detectar la señal en base al mayor número de puntos de constelación de la segunda constelación. La despolarización puede ser tal que ambas polarizaciones de la señal óptica de polarización dual sean independientes.

En una primera forma de implementación posible del procedimiento según el segundo aspecto, la asignación de los puntos de segunda constelación a los puntos de la primera constelación comprende desaleatorizar, en particular utilizando rotadores de fase, los puntos de segunda constelación con una secuencia de desaleatorización conocida.

30 Cuando se utiliza una secuencia de desaleatorización conocida, se puede utilizar la misma secuencia inicial PRBS para la transmisión y la recepción. La funcionalidad de la generación de la PRBS se puede reducir a la funcionalidad de desplazamiento de bits, reduciendo así la complejidad de la transmisión y recepción en general.

En una segunda forma de implementación posible del procedimiento según la primera forma de implementación del segundo aspecto, el procedimiento comprende desplazar la secuencia de desaleatorización hasta que los puntos de constelación derivados se dispongan según la primera constelación.

35 Mediante el desplazamiento sencillo de la secuencia de desaleatorización, se puede alcanzar la convergencia del procedimiento en función de la longitud de la secuencia de desplazamiento. Para una longitud suficiente de 8 se puede alcanzar la convergencia después de un máximo de 8 desplazamientos.

40 En una tercera forma de implementación posible del procedimiento según el segundo aspecto como tal o según cualquiera de las formas de implementación anteriores del segundo aspecto, la despolarización de la señal óptica de polarización dual comprende: filtrar la señal óptica de polarización dual mediante un filtro FIR complejo de dos entradas y dos salidas para proporcionar un primer componente de polarización (X) y un segundo componente de polarización (Y) de la señal óptica de despolarización.

El uso de un filtro FIR complejo de dos entradas y dos salidas para el filtrado permite aprovechar los bloques funcionales disponibles de un receptor óptico coherente sin la necesidad de cambiar el software o el hardware.

45 En una cuarta forma de implementación posible del procedimiento según la tercera forma de implementación del segundo aspecto, el procedimiento comprende ajustar el filtro FIR de dos entradas y dos salidas con ecualización ciega, en particular en base a un algoritmo de módulo constante.

Al ajustar el filtro FIR con ecualización ciega, en particular mediante CMA o MMA, no se requiere una secuencia de entrenamiento. El transmisor no necesita cambiarse.

50 Según un tercer aspecto, la invención se refiere a un dispositivo de modulación óptica de polarización dual, que comprende: un primer asignador configurado para asignar bits de datos a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación; un segundo asignador configurado para asignar los bits de datos de la primera constelación a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación, en el que la asignación

comprende los primeros bits de datos de la primera constelación con una secuencia de aleatorización; y un modulador configurado para proporcionar una señal óptica de polarización dual basada en los bits de datos de la segunda constelación.

5 Al aleatorizar los bits de datos de la primera constelación con una secuencia de aleatorización, los puntos de la primera constelación se pueden transformar fácilmente en los puntos de la segunda constelación.

En una primera forma de implementación posible del dispositivo de modulación óptica de polarización dual según el tercer aspecto, la segunda constelación tiene un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación.

10 Cuando la segunda constelación tiene un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación, las estadísticas de la señal proporcionan una mejor excitación para los algoritmos de filtro adaptativo tales como CMA en el receptor que ajusta el filtro de adaptación.

15 Los aspectos de la invención proporcionan técnicas para la descomposición de la polarización en sistemas ópticos coherentes de polarización dual que utilizan el formato de modulación cuasi BPSK con los siguientes beneficios. Las técnicas se pueden implementar en transceptores BPSK. Las técnicas se pueden implementar en transceptores que utilizan formatos de modulación de orden superior como, por ejemplo, 4-PSK (QPSK). La señal transmitida puede tener dos veces más puntos de constelación seleccionados adecuadamente para habilitar la funcionalidad CMA. Las técnicas no deterioran el rendimiento BPSK original, ya que los algoritmos DSP clave están basados en la señal BPSK. Las técnicas son aplicables en sistemas que usan constelaciones irregulares para satisfacer la adquisición de canales.

20 Breve descripción de los dibujos

Realizaciones adicionales de la invención se describirán con respecto a las figuras siguientes, en las que:

la Fig. 1 muestra un diagrama de bloques que ilustra un receptor óptico coherente 100;

la Fig. 2 muestra un diagrama de bloques que ilustra un receptor 200 que incluye bloques DSP básicos del circuito DSP 121 representado en la Fig. 1;

25 la Fig. 3 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transceptor óptico 300 que incluye una unidad de control 311 para seleccionar el formato de modulación y la velocidad de transmisión de baudios;

la Fig. 4 muestra un diagrama de bloques que ilustra una estructura de mariposa 400 del filtro FIR de un receptor 200 que se muestra en la Fig. 2;

30 la Fig. 5 muestra un diagrama de bloques que ilustra una estructura de filtro parcial de polarización X 500 de la estructura de filtro FIR 400 que se muestra en las Figs. 4 y 5;

las Fig. 6a y 6b muestran constelaciones de señales QPSK antes del filtrado FIR utilizando una estructura de filtro FIR según se muestra en las Figs. 4 y 5;

las Fig. 6c y 6d muestran constelaciones de señales QPSK después del filtrado FIR utilizando una estructura de filtro FIR según se muestra en las Figs. 4 y 5;

35 la Fig. 7a muestra la convergencia del filtro de una estructura de filtro FIR según se muestra en las Figs. 4 y 5 con apoyo de secuencia de entrenamiento;

la Fig. 7b muestra la convergencia del filtro de una estructura de filtro FIR según se muestra en las Figs. 4 y 5 sin apoyo de secuencia de entrenamiento;

40 la Fig. 8 muestra un diagrama de bloques que ilustra bloques básicos de TX BPSK y QPSK de un transmisor óptico coherente 800 según una forma de implementación;

la Fig. 9 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transmisor óptico coherente BPSK 900 que incluye modificaciones para habilitar la funcionalidad CMA según una forma de implementación;

la Fig. 10 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transmisor óptico coherente BPSK 1000 que incluye la aleatorización de la señal BPSK según una forma de implementación;

45 la Fig. 11 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transceptor óptico coherente BPSK 1100 que incluye la aleatorización y desaleatorización de las señales BPSK según una forma de implementación;

las Figs. 12a) hasta h) muestran las constelaciones de la señal de salida del receptor del transceptor 1100 representadas en la Fig. 11 para 8 desplazamientos diferentes de la secuencia de aleatorización según una forma de implementación;

las Figs. 13a) hasta c) muestran las constelaciones de la señal de salida del receptor del transceptor 1100 representadas en la Fig. 11 para la transmisión aleatoria BPSK según una forma de implementación, donde

la Fig. 13a) muestra la constelación después del filtro FIR,

la Fig. 13b) muestra la constelación después de la desaleatorización y

5 la Fig. 13c) muestra la constelación después de la recuperación de la portadora;

la Fig. 14 muestra un diagrama esquemático que ilustra un procedimiento 1400 para la modulación óptica coherente de polarización dual según una forma de implementación;

la Fig. 15 muestra un diagrama esquemático que ilustra un procedimiento 1500 para la demodulación óptica coherente de la polarización dual según una forma de implementación;

10 la Fig. 16 muestra un diagrama de bloques que ilustra un dispositivo de modulación óptica de polarización dual 1600 según una forma de implementación; y

la Fig. 17 muestra un diagrama de bloques que ilustra un dispositivo de demodulación óptica de polarización dual 1700 según una forma de implementación.

Descripción detallada de las realizaciones

15 En la siguiente descripción detallada de las realizaciones, se hace referencia a los dibujos adjuntos, que forman parte de las mismas y en las que se muestran, a modo de ilustración, aspectos específicas en los que se puede poner en práctica la invención. Se entiende que pueden utilizarse otros aspectos y pueden realizarse cambios estructurales o lógicos sin apartarse del alcance de la presente descripción. La siguiente descripción detallada, por lo tanto, no debe tomarse en un sentido limitante, y el alcance de la presente descripción se define en las reivindicaciones anejas.

20 Los dispositivos y procedimientos descritos en la presente memoria pueden estar basados en la transmisión y recepción de señales ópticas coherentes. Se entiende que los comentarios realizados en relación con un procedimiento descrito también pueden ser válidos para un dispositivo o sistema correspondiente configurado para realizar el procedimiento y viceversa. Por ejemplo, si se describe una etapa de un procedimiento específico, un dispositivo correspondiente puede incluir una unidad para realizar la etapa del procedimiento descrito, incluso si dicha unidad no se describe o se ilustra explícitamente en las figuras. Además, se entiende que las características de los diversos aspectos ejemplares descritos en la presente memoria pueden combinarse entre sí, a menos que se indique específicamente lo contrario.

25 Los procedimientos y dispositivos descritos en la presente memoria pueden implementarse en transmisores y receptores ópticos coherentes, en particular transceptores que utilizan modulación por polarización dual BPSK. Los dispositivos y sistemas descritos pueden incluir unidades de software 123 y unidades de hardware 125 según se ha descrito anteriormente con respecto a las Figs. 1 y 2. Los dispositivos y sistemas descritos pueden incluir circuitos integrados y/o pasivos y pueden fabricarse según diversas tecnologías. Por ejemplo, los circuitos pueden diseñarse como circuitos integrados lógicos, circuitos integrados analógicos, circuitos integrados de señal mixta, circuitos ópticos, circuitos de memoria y/o pasivos integrados.

30 La Fig. 8 muestra un diagrama de bloques que ilustra bloques básicos de TX BPSK y QPSK de un transmisor óptico coherente 800 según una forma de implementación. El transmisor óptico coherente 800 forma la parte de transmisión de un transceptor universal que admite los formatos de modulación BPSK y QPSK (4-PSK) sin cambiar drásticamente los algoritmos de DSP básicos. El transmisor óptico coherente 800 comprende un asignador 303 para asignar los bits de datos entrantes 301 en la constelación seleccionada. El DSP Tx 305 procesa datos para compensar las imperfecciones de los circuitos, conformar los espectros de la señal, compensar las imperfecciones de los canales, etc. Un DAC (no representado por razones de sencillez) produce cuatro componentes de señal XI, XQ, YI y YQ de una señal de polarización dual. Un modulador de polarización dual 309 envía estas señales en ambas polarizaciones a través de un enlace óptico.

45 El transmisor óptico coherente 800 admite ecualización ciega y, por lo tanto, no requiere el envío de secuencias de entrenamiento conocidas. En la Fig. 8, se omite el bloque DAC del lado del transmisor y solo se presentan los bloques importantes. Las siguientes asignaciones describen la regla de asignación más sencilla para abarcar tanto el formato de modulación BPSK como QPSK:

BPSK => XI=XQ y YI=YQ

QPSK => XI ≠ XQ y YI ≠ YQ.

50

5 Como ya se ha explicado, el CMA no concede convergencia del FIR. El CMA requiere señales con estadísticas "suficientemente buenas" para demultiplexar dos polarizaciones. Cuando los puntos de constelación tienen probabilidades desiguales y no están ocupados los cuatro cuadrantes, el algoritmo falla fácilmente en presencia de PMD. Por lo tanto, la constelación BPSK a menudo falla cuando se presenta una PMD de orden superior. Por lo tanto, si el algoritmo CMA clásico se va a usar sin ninguna modificación, los datos BPSK deben modificarse según se ha descrito con respecto a las siguientes figuras.

10 La Fig. 9 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transmisor óptico coherente 900 que incluye modificaciones para habilitar la funcionalidad CMA según una forma de implementación; El transmisor óptico coherente 900 puede corresponderse con el transmisor óptico coherente 800 representado en la Fig. 8 en el que se incluyen medios de asignación adicionales entre el asignador 303 y el DSP 305. Los medios de asignación adicionales consisten en los generadores de secuencia de la PRBS de la primera y segunda polarización 905, 907 y sumadores relacionados 909, 911.

15 A partir del asignador 303 solo están disponibles los componentes en fase, XI e YI. Estos componentes están aleatorizados por los datos deterministas generados por los generadores de secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) indicados por PRBS_X 905 y PRBS_Y 907. Los datos generados por los dos bloques PRBS 905, 907 no están correlacionados o la correlación es muy débil. Esto se puede conseguir utilizando una PRBS y una señal retardada de la misma PRBS, por ejemplo, como se describe a continuación con respecto a la Fig. 10. La estructura PRBS y el retardo deben ser seleccionados cuidadosamente.

20 La Fig. 10 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transmisor óptico coherente 1000 que incluye la aleatorización de señales BPSK según una forma de implementación. El transmisor óptico coherente 1000 se puede corresponder con el transmisor óptico coherente 900 representado en la Fig. 9, en el que se utiliza un generador de PRBS 1005 para generar las dos secuencias de PRBS PRBS_X y PRBS_Y.

25 Un PRBS de longitud N se utiliza para la generación de señales en cuadratura. En una forma de implementación, la secuencia PRBS se ha construido previamente y acaba de entrar en el registro de desplazamiento que realiza el desplazamiento circular. Dos posiciones del registro de desplazamiento se envían a los circuitos de aleatorización (en la Fig. 10, se seleccionan las posiciones n y k). La aleatorización se puede realizar utilizando bloques de adición de módulo 2 (los ciclos con el signo + indican la suma de la operación de módulo 2).

30 En una implementación, se utiliza una estructura PRBS de longitud 8, ya que se ha encontrado que una estructura PRBS de longitud 8 es suficiente para proporcionar la funcionalidad de CMA correcta. En un ejemplo, la secuencia puede ser de la estructura:

0 0 0 1 0 1 1 1. Las salidas $n=1$ y $k=5$ se seleccionan para que los componentes de aleatorización Q sean según:

X-Q: 0 0 0 1 0 1 1 1 y

Y-Q: 0 1 1 1 0 0 0 1.

35 La secuencia puede ser de cualquier estructura formada por cualquier combinación de 0 y/o 1. La secuencia puede ser de cualquier estructura formada por cualquier combinación de 00, 01, 10 y/o 11.

Para dicha estructura, existen las 4 combinaciones binarias de dos bits, 00, 01, 10 y 11 con las mismas probabilidades. Se ha encontrado que esta estructura permite la convergencia de CMA en cualquier escenario de PMD. El rendimiento en el caso de espalda con espalda (no se requiere CMA; caso perfecto) y el rendimiento con PMD (CMA activo) son idénticos (no se observa ninguna penalización).

40 La constelación BPSK tiene solo 2 puntos que se indican con 00 y 11. 0 corresponde a -1 y 1 corresponderá a 1 en la constelación BPSK. Posteriormente, si la señal PRBS tiene el valor 0, se envía el punto original, y cuando la señal PRBS es igual a 1, el punto se gira $-\pi/2$.

Indicando los puntos originales de la constelación por A , $A=(-, +)$ y señal PRBS por B , $B=(0,1)$, se sostienen las siguientes relaciones:

45 $B=0 \Rightarrow A=(-, +)$

$B=1 \Rightarrow A=(-, +)$.

50 La Fig. 11 muestra un diagrama de bloques que ilustra un transceptor óptico coherente BPSK 1100 que incluye la codificación y desaleatorización de señales BPSK según una forma de implementación. El lado del transmisor puede corresponderse con el transmisor óptico coherente 1000 tal como se muestra en la Fig. 10. El lado del receptor puede comprender un DP híbrido 321 y convertidores DAC 319 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 3. Después de los convertidores DAC 319 la señal recibida pasa por un bloque de compensación de CD 1121, un bloque de compensación de PMD 1123, medios de asignación o medios de desaleatorización con un

generador de PRBS 1125 y dos multiplicadores 1127, 1129, un bloque de recuperación de la portadora por polarización y un asignador 1135 para reconstruir los datos 1137.

5 La configuración del aleatorizador (del transmisor) se conoce en el lado del receptor. El generador de PRBS 1125 representado en la Fig. 11 puede implementarse mediante un desplazador que utiliza esa secuencia de aleatorización conocida. Después de la compensación de CD y PMD 1121, 1123, las muestras se giran 0 o $+\pi/2$ cuando se establece la sincronización.

10 En un ejemplo, el valor del desplazador del transmisor 1005 en la posición i se indica mediante $w(i)$ que puede tener el valor 0 o 1. El desplazador 1125 en el lado del receptor tendrá un valor $\exp(j w(i)\pi /2)$. El desplazador 1225 puede mantener el valor 0 y 1, de modo que no se requieren los multiplicadores 1127, 1129. La única operación requerida puede ser la siguiente:

$$X' = a + jb \text{ - salida FIR}$$

$$w(i) = 0 \Rightarrow x = x'$$

$$w(i) = 1 \Rightarrow x = jx' = -b + ja.$$

15 La constelación de cuatro puntos se convertirá en la constelación BPSK. Los bloques de recuperación de la portadora 1131, 1133 pueden utilizar la misma estructura que la de la señal QPSK, con la excepción de que algunas operaciones están simplificadas. Cuando se utiliza el algoritmo de Viterbi&Viterbi tal como se describe en "A. J. Viterbi y A. M. Viterbi, Nonlinear estimation of PSK-modulated carrier phase with application to burst digital transmission, IEEE Transactions on Information Theory, 29, 543-551 (1983)" la regla es sencilla debido a los siguientes motivos: La QPSK CR utiliza una operación de potencia 4^a y la BPSK CR utiliza una operación de potencia 2^a . De esta manera, el receptor ahorra energía y ofrece un mejor rendimiento, puesto que la BPSK CR genera menos deslizamientos de ciclo que la QPSK CR en las mismas condiciones.

20 La sincronización PRBS se puede establecer utilizando un patrón de trama. Además, se puede realizar simplemente desplazando PRBS en una posición y examinado la constelación de señales. La PRBS se desplaza hasta que la constelación tenga solo dos puntos. Cuando se consigue la sincronización, las compuertas de salida de la CR 1131, 1133 están abiertas y los datos pueden decodificarse.

25 Las Figs. 12 a) hasta h) muestran las constelaciones de la señal de salida del receptor del transceptor 1100 representadas en la Fig. 11 para 8 desplazamientos diferentes de la secuencia de aleatorización según una forma de implementación. La Fig. 12a) muestra la configuración de desplazamiento=0; la Fig. 12b) muestra la configuración de desplazamiento=1; la Fig. 12c) muestra la configuración de desplazamiento=2; la Fig. 12d) muestra la configuración de desplazamiento=3; la Fig. 12e) muestra la configuración de desplazamiento=4; la Fig. 12f) muestra la configuración de desplazamiento=5; la Fig. 12g) muestra la configuración de desplazamiento=6; la Fig. 12h) muestra la configuración de desplazamiento=7.

30 Los resultados de una simulación del sistema de transmisión representado en la Fig. 11 con la secuencia de aleatorización mencionada anteriormente de la longitud 8 se ilustran en la Fig. 12a) hasta h). Después de desplazar PRBS en 4, los datos se sincronizan. Para declarar el fallo de sincronización, los datos dentro del ciclo 1202 de la constelación de desplazamiento=7 representada en la Fig. 12 h) se pueden contar y cuando cruzan cierto umbral, el desplazamiento se debe aumentar en 1. El procedimiento se repite hasta que se cuentan algunos datos dentro del ciclo 1202, por ejemplo, la probabilidad permitida de dichos eventos se puede establecer en 0,05 en un ejemplo o incluso menos en otro en función de las condiciones de trabajo.

35 Las Figs. 13a) hasta c) muestran las constelaciones de la señal de salida del receptor del transceptor 1100 representadas en la Fig. 11 para la transmisión aleatorizada BPSK según una forma de implementación, donde

la Fig. 13a) muestra la constelación después del filtro FIR 1123,

la Fig. 13b) muestra la constelación después de la desaleatorización 1125, 1127, 1129 y

la Fig. 13c) muestra la constelación después de la recuperación de la portadora 1131, 1133.

40 En la Fig. 13a se muestra la constelación después del filtro FIR 1123 que utiliza el CMA en caso de una transmisión aleatorizada BPSK. La señal está distorsionada por el ruido aditivo, el ruido de fase del láser y el desplazamiento de frecuencia residual. Se ha utilizado un pequeño número de puntos de constelación para visualizar mejor el procesamiento de la señal. Hay cuatro grupos de datos visibles que indican la constelación de señales QPSK. Después de desaleatorizar, la señal se convierte a la constelación BPSK tal como se muestra en la Fig. 13b. Mediante el algoritmo Viterbi&Viterbi con la operación de potencia segunda en el bloque CR 1131, 1133 se compensa el desplazamiento de frecuencia residual y se controla el ruido del láser. La señal después del bloque CR 1131, 1133 se muestra en la Fig. 13c indicando claramente la constelación BPSK.

La Fig. 14 muestra un diagrama esquemático que ilustra un procedimiento 1400 para la modulación óptica coherente de polarización dual según una forma de implementación. El procedimiento puede incluir la asignación de los bits de datos 1401 a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación. El procedimiento puede incluir asignar 1402 los bits de datos de la primera constelación a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación, en el que la segunda constelación comprende un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación. El procedimiento puede incluir modular 1403 los bits de datos de la segunda constelación en una señal óptica de polarización dual, en el que la señal óptica comprende un primer componente de polarización (X) y un segundo componente de polarización (Y).

En un ejemplo, la segunda constelación incluye un múltiplo de los puntos de constelación de la primera constelación. En un ejemplo, los puntos de constelación de la primera constelación son un subconjunto de los puntos de constelación de la segunda constelación. En un ejemplo, los puntos de constelación de la segunda constelación se generan en base a la aleatorización de los bits de datos de la primera constelación. En un ejemplo, la segunda constelación incluye puntos de constelación en los cuatro cuadrantes de la constelación y todos los puntos de constelación tienen probabilidades aproximadamente iguales. En un ejemplo, el primer formato de modulación incluye un formato de modulación por desplazamiento de fase binaria, BPSK, o cualquier constelación irregular que un algoritmo de módulo constante, CMA, no puede detectar de manera fiable; y el segundo formato de modulación comprende cualquier constelación regular que un algoritmo de módulo constante, CMA, es capaz de detectar de manera fiable, en particular uno de los siguientes: formato de modulación de una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, PSK, formato de modulación de una amplitud en cuadratura, QAM. En un ejemplo, el primer formato de modulación incluye un formato de modulación por desplazamiento de fase binaria, BPSK, o cualquier constelación irregular que un algoritmo de módulo múltiple, MMA, no puede detectar de manera fiable; y el segundo formato de modulación incluye cualquier constelación regular que un algoritmo de módulo múltiple, MMA, es capaz de detectar de manera fiable, en particular uno de los siguientes: formato de modulación de una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, PSK, formato de modulación de una amplitud en cuadratura, QAM.

La asignación 1401 de bits de datos a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación pueden corresponderse con la asignación del asignador 301 descrito anteriormente con respecto a las Figs. 3, 8, 9, 10, 11. La asignación 1402 de los bits de datos de la primera constelación a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación puede corresponderse con la asignación 1005, 1007, 1009 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a las Figs. 10 y 11 o la asignación 905, 907, 909, 911 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 9. La modulación 1403 puede corresponderse con la modulación por polarización dual realizada por el modulador 309 descrito anteriormente con respecto a las Figs. 3, 8, 11.

La Fig. 15 muestra un diagrama esquemático que ilustra un procedimiento 1500 para la demodulación óptica coherente de polarización dual según una forma de implementación. El procedimiento 1500 puede incluir recibir de forma coherente 1501 una señal óptica de polarización dual que se modula según un segundo formato de modulación. El procedimiento 1500 puede incluir la despolarización 1502 de la señal óptica de polarización dual utilizando un algoritmo de módulo constante, CMA para proporcionar una señal óptica de despolarización. La despolarización por CMA tiene que ser de manera que ambas polarizaciones de la señal óptica de despolarización sean independientes. El procedimiento 1500 puede incluir asignar 1503 los puntos de segunda constelación de una segunda constelación de la señal óptica de despolarización a los puntos de la primera constelación dispuestos según una primera constelación de un primer formato de modulación. El procedimiento 1500 puede incluir la asignación 1504, los puntos de la primera constelación a los bits de datos de la primera constelación según un primer formato de modulación, en el que la primera constelación comprende un número menor de puntos de constelación que la segunda constelación.

En un ejemplo, la asignación de los puntos de la segunda constelación a los puntos de la primera constelación incluye la desaleatorización, en particular mediante rotadores de fase, de los puntos de la segunda constelación con una secuencia de desaleatorización conocida. En un ejemplo, el procedimiento incluye además desplazar la secuencia de desaleatorización hasta que los puntos de constelación derivados estén dispuestos según la primera constelación. En un ejemplo, la despolarización de la señal óptica de polarización dual incluye el filtrado de la señal óptica de polarización dual mediante un filtro FIR complejo de dos entradas y dos salidas para proporcionar un primer componente de polarización (X) y un segundo componente de polarización (Y) de la señal óptica de despolarización. En un ejemplo, el procedimiento incluye además ajustar el filtro FIR de dos entradas y dos salidas mediante ecualización ciega, en particular en base a un algoritmo de módulo constante. En un ejemplo, el procedimiento incluye además ajustar el filtro FIR de dos entradas y dos salidas mediante ecualización ciega, en particular en base a un algoritmo de módulo múltiple.

La recepción de forma coherente 1501 de una señal óptica de polarización dual puede realizarse mediante el híbrido DP 321 representado en las Figs. 3 y 11. La despolarización 1502 de la señal óptica de polarización dual mediante un algoritmo de módulo constante, CMA puede ser realizada por el bloque de compensación de PMD 1123 tal como se representa en la Fig. 11. La asignación 1503 de puntos de segunda constelación de una segunda constelación de la señal óptica de despolarización a los puntos de la primera constelación se puede realizar mediante los medios de

desaleatorización 1125, 1127, 1129 y los bloques CR 1131, 1133 representados en la Fig. 11. El asignador 1504 de los puntos de la primera constelación a los bits de datos de la primera constelación puede realizarse mediante el asignador 1135 representado en la Fig. 11.

5 La Fig. 16 muestra un diagrama de bloques que ilustra un dispositivo de modulación óptica de polarización dual 1600 según una forma de implementación. El dispositivo de modulación óptica DP 1600 puede incluir un primer asignador 1601 configurado para asignar los bits de datos 1602 a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación 1604. El dispositivo de modulación óptica DP 1600 puede incluir un segundo asignador 1603 configurado para asignar los bits de datos de la primera constelación 1604 a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación 1606. La asignación puede incluir aleatorizar los bits de datos de la primera constelación 1604 con una secuencia de aleatorización. El dispositivo de modulación óptica DP 1600 puede incluir un modulador 1605 configurado para proporcionar una señal óptica de polarización dual 1608 basada en los bits de datos de la segunda constelación 1606.

15 El primer asignador 1601 puede corresponderse con el asignador 301 descrito anteriormente con respecto a las Figs. 3, 8, 9, 10, 11. El segundo asignador 1603 puede implementar la asignación 1005, 1007, 1009 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a las Figs. 10 y 11 o la asignación 905, 907, 909, 911 como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 9. El modulador 1605 puede corresponderse con el modulador 309 descrito anteriormente con respecto a las Figs. 3, 8, 11.

20 La Fig. 17 muestra un diagrama de bloques que ilustra un dispositivo de demodulación óptica de polarización dual 1700 según una forma de implementación. El dispositivo de demodulación óptica DP 1700 puede incluir un filtro de compensación 1701 configurado para filtrar una señal óptica de polarización dual 1702 para proporcionar una señal óptica compensada por dispersión que comprende los bits de datos de la segunda constelación 1704 dispuestos según un segundo formato de modulación. El dispositivo de demodulación óptica DP 1700 puede incluir un asignador 1703 configurado para asignar los bits de datos de la segunda constelación 1704 a los bits de datos de la primera constelación 1706 dispuestos según un primer formato de modulación. La asignación del asignador 1703 puede basarse en la desaleatorización de los bits de datos de la segunda constelación 1704 con una secuencia de aleatorización conocida.

25 El filtro de compensación 1701 puede corresponderse con el bloque de compensación de PMD 1123 tal como se muestra en la Fig. 11. El asignador 1703 puede corresponderse con los medios de desaleatorización 1125, 1127, 1129 y los bloques CR 1131, 1133 representados en la Fig. 11.

30 Los procedimientos, sistemas y dispositivos descritos en la presente memoria proporcionan un procedimiento para la adquisición ciega de canales en sistemas de transmisión óptica BPSK de polarización dual que padecen degradación de PMD y un procedimiento que permite la descomposición de la polarización en sistemas ópticos coherentes que utilizan constelaciones irregulares.

35 Los procedimientos, sistemas y dispositivos descritos en la presente memoria pueden implementarse como software 123 en un procesador digital de señales (DSP) 121, en un microcontrolador o en cualquier otro procesador lateral o como circuito de hardware 125 dentro de un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) de un procesador digital de señales (DSP) 121 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 1.

40 La invención se puede implementar en circuitos electrónicos digitales, o en hardware informático, firmware, software, o en combinaciones de los mismos, por ejemplo, en hardware disponible de dispositivos transceptores ópticos convencionales o en hardware nuevo dedicado para el procesamiento de los procedimientos descritos en la presente memoria.

45 La presente descripción también es compatible con un producto de programa informático que incluye un código ejecutable por ordenador o instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando se ejecutan, hacen que al menos un ordenador ejecute las etapas de ejecución y computación descritas en la presente memoria, en particular el procedimiento 1400 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 14 y las técnicas descritas anteriormente con respecto a las Figs. 8 a 13. Dicho producto de programa informático puede incluir un medio de almacenamiento legible que almacena un código de programa en el mismo para ser utilizado por un ordenador, el código de programa puede realizar el procedimiento 1400 como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 14.

50 Aunque puede que se haya descrito una característica o aspecto particular de la descripción con respecto a solo una de varias implementaciones, dicha característica o aspecto puede combinarse con una o más de otras características o aspectos de las otras implementaciones según se desee y sea ventajoso para cualquier aplicación dada o particular. Además, en la medida en que los términos "incluye", "tiene", "con", o variantes de los mismos se usan ya sea en la descripción detallada o en las reivindicaciones, dichos términos están destinados a ser inclusivos de forma similar al término "comprende". Además, los términos "ejemplar", "por ejemplo" y "p. ej." simplemente son más bien como ejemplo, más que el mejor o el óptimo.

Aunque los aspectos específicos se han ilustrado y descrito en la presente memoria, los expertos en la técnica apreciarán que una variedad de implementaciones alternativas y/o equivalentes pueden ser sustituidas por los aspectos específicos mostrados y descritos sin apartarse del alcance de la presente descripción. Esta aplicación está destinada a abarcar cualquier adaptación o variación de los aspectos específicos analizados en la presente memoria.

- 5
- Si bien los elementos de las siguientes reivindicaciones se mencionan en una secuencia particular con el etiquetado correspondiente, a menos que la lectura de las reivindicaciones impliquen, de alguna manera, una secuencia particular para implementar algunos o todos esos elementos, esos elementos no están destinados necesariamente a estar limitados a ser implementados en esa secuencia particular.
- 10 Muchas alternativas, modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos en la técnica a la luz de las enseñanzas anteriores. Por supuesto, los expertos en la técnica reconocen fácilmente que existen numerosas aplicaciones de la invención más allá de las descritas en la presente memoria. Aunque la presente invención se ha descrito en referencia a una o más realizaciones particulares, los expertos en la técnica reconocen que se pueden realizar muchos cambios sin apartarse del alcance de la presente invención. Por lo tanto, se entiende que dentro del
- 15 alcance de las reivindicaciones anejas y sus equivalentes, la invención puede ponerse en práctica de manera distinta a la descrita específicamente en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (1400) para la modulación óptica coherente de polarización dual, el procedimiento que comprende:
- 5 asignar (1401) bits de datos a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación;
- asignar (1402) los bits de datos de la primera constelación a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación, en el que la segunda constelación comprende un número mayor de puntos de constelación que la primera constelación; y
- 10 modular (1403) los bits de datos de la segunda constelación en una señal óptica de polarización dual, en el que la señal óptica comprende un primer componente de polarización (X) y un segundo componente de polarización (Y).
2. El procedimiento (1400) de la reivindicación 1,
- en el que la segunda constelación comprende un múltiplo de los puntos de constelación de la primera constelación.
3. El procedimiento (1400) de la reivindicación 1 o 2,
- 15 en el que los puntos de constelación de la primera constelación son un subconjunto de los puntos de constelación de la segunda constelación.
4. El procedimiento (1400) de la reivindicación 3,
- en el que los puntos de constelación de la segunda constelación se generan en base a la aleatorización de los bits de datos de la primera constelación.
5. El procedimiento (1400) de una de las reivindicaciones 1 a 4,
- 20 en el que el primer formato de modulación comprende un formato de modulación por desplazamiento de fase binaria, BPSK, o cualquier constelación irregular que un algoritmo de módulo constante, CMA, no puede detectar de manera fiable; y
- en el que el segundo formato de modulación comprende cualquier constelación regular que un algoritmo de módulo constante, CMA, es capaz de detectar de manera fiable, en particular uno de los siguientes:
- 25 un formato de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, PSK,
- un formato de modulación por amplitud en cuadratura, QAM.
6. El procedimiento (1400) de una de las reivindicaciones 1 a 4,
- en el que el primer formato de modulación comprende un formato de modulación por desplazamiento de fase binaria, BPSK, o cualquier constelación irregular que un algoritmo de módulo múltiple, MMA, no puede detectar de
- 30 manera fiable; y
- en el que el segundo formato de modulación comprende cualquier constelación regular que un algoritmo de módulo múltiple, MMA, puede detectar de manera fiable, en particular uno de los siguientes:
- un formato de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, PSK,
- un formato de modulación por amplitud en cuadratura, QAM.
- 35 7. Un procedimiento (1500) para la demodulación óptica coherente de polarización dual, el procedimiento que comprende:
- recibir de forma coherente (1501) una señal óptica de polarización dual que se modula según un segundo formato de modulación;
- 40 despolarizar (1502) la señal óptica de polarización dual utilizando un algoritmo de módulo constante, CMA para proporcionar una señal óptica de despolarización;
- asignar (1503) los puntos de segunda constelación de una segunda constelación de la señal óptica de despolarización a los puntos de la primera constelación dispuestos según una primera constelación de un primer formato de modulación; y

asignar (1504) los puntos de la primera constelación a los bits de datos de la primera constelación según un primer formato de modulación, en el que la primera constelación comprende un número menor de puntos de constelación que la segunda constelación.

8. El procedimiento (1500) de la reivindicación 7,

- 5 en el que la asignación (1503) de los puntos de la segunda constelación a los puntos de la primera constelación comprende la desaleatorización, en particular mediante rotadores de fase, de los puntos de la segunda constelación con una secuencia de desaleatorización conocida.

9. El procedimiento (1500) de la reivindicación 8 que comprende:

- 10 desplazar la secuencia de desaleatorización hasta que los puntos de constelación derivados estén dispuestos según la primera constelación.

10. El procedimiento (1500) de una de las reivindicaciones 7 a 9,

- 15 en el que la despolarización (1502) de la señal óptica de polarización dual comprende: filtrar la señal óptica de polarización dual mediante un filtro FIR complejo de dos entradas y dos salidas (400, 500) para proporcionar un primer componente de polarización (X) y un segundo componente de polarización (Y) de la señal óptica de despolarización;

11. El procedimiento (1500) de la reivindicación 10 que comprende:

ajustar (501) el filtro FIR de dos entradas y dos salidas (500) mediante ecualización ciega, en particular en base a un algoritmo de módulo constante.

12. Un dispositivo de modulación óptica de polarización dual (1600) que comprende:

- 20 un primer asignador (1601) configurado para asignar los bits de datos (1602) a una primera constelación según un primer formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la primera constelación (1604);

un segundo asignador (1603) configurado para asignar los bits de datos de la primera constelación (1604) a una segunda constelación según un segundo formato de modulación para proporcionar los bits de datos de la segunda constelación (1606), en el que la asignación comprende aleatorizar los bits de datos de la primera constelación (1604) con una secuencia de aleatorización; y

- 25 un modulador (1605) configurado para proporcionar una señal óptica de polarización dual (1608) basada en los bits de datos de la segunda constelación (1606).

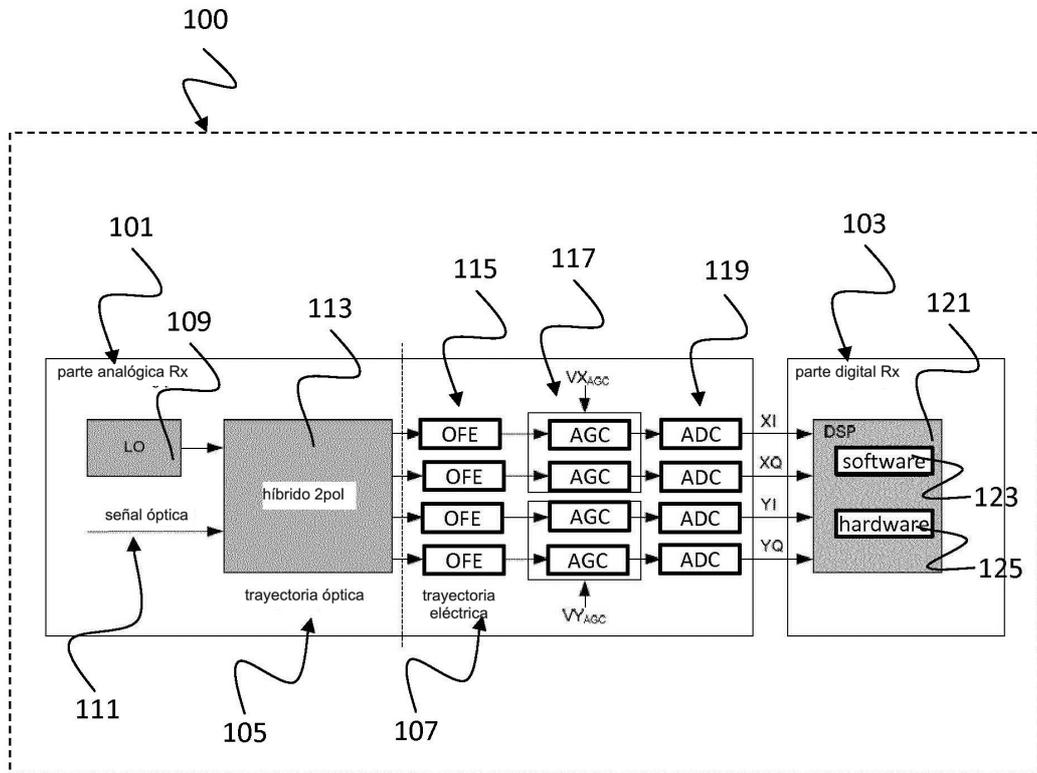


Fig. 1

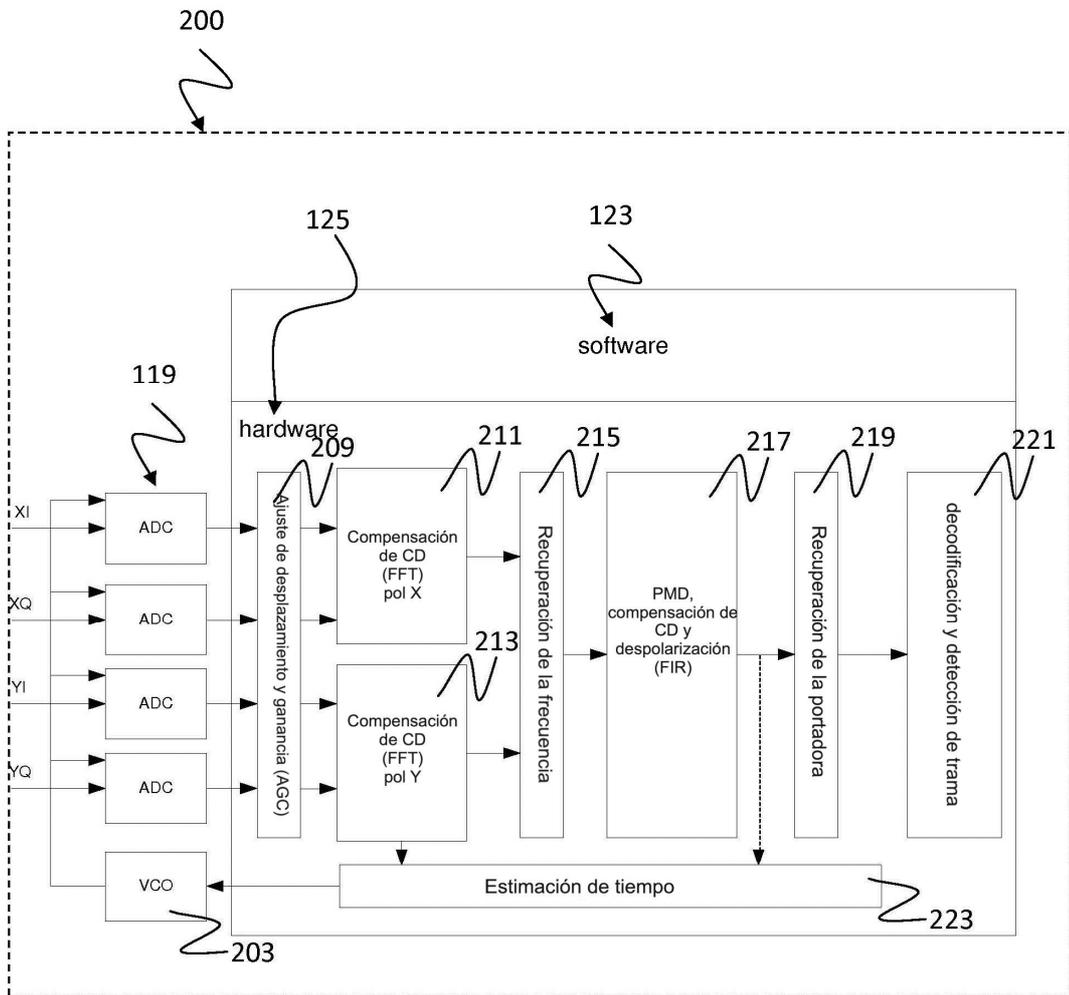


Fig. 2

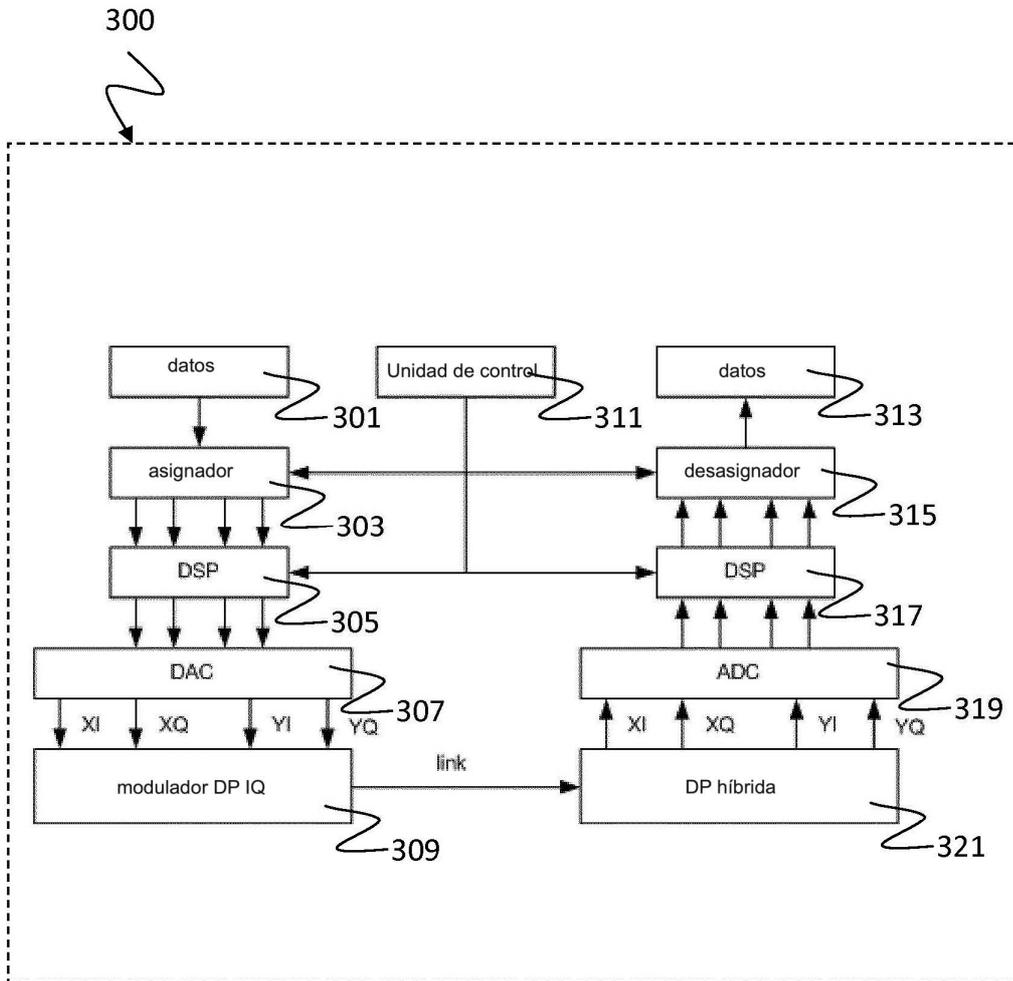


Fig. 3

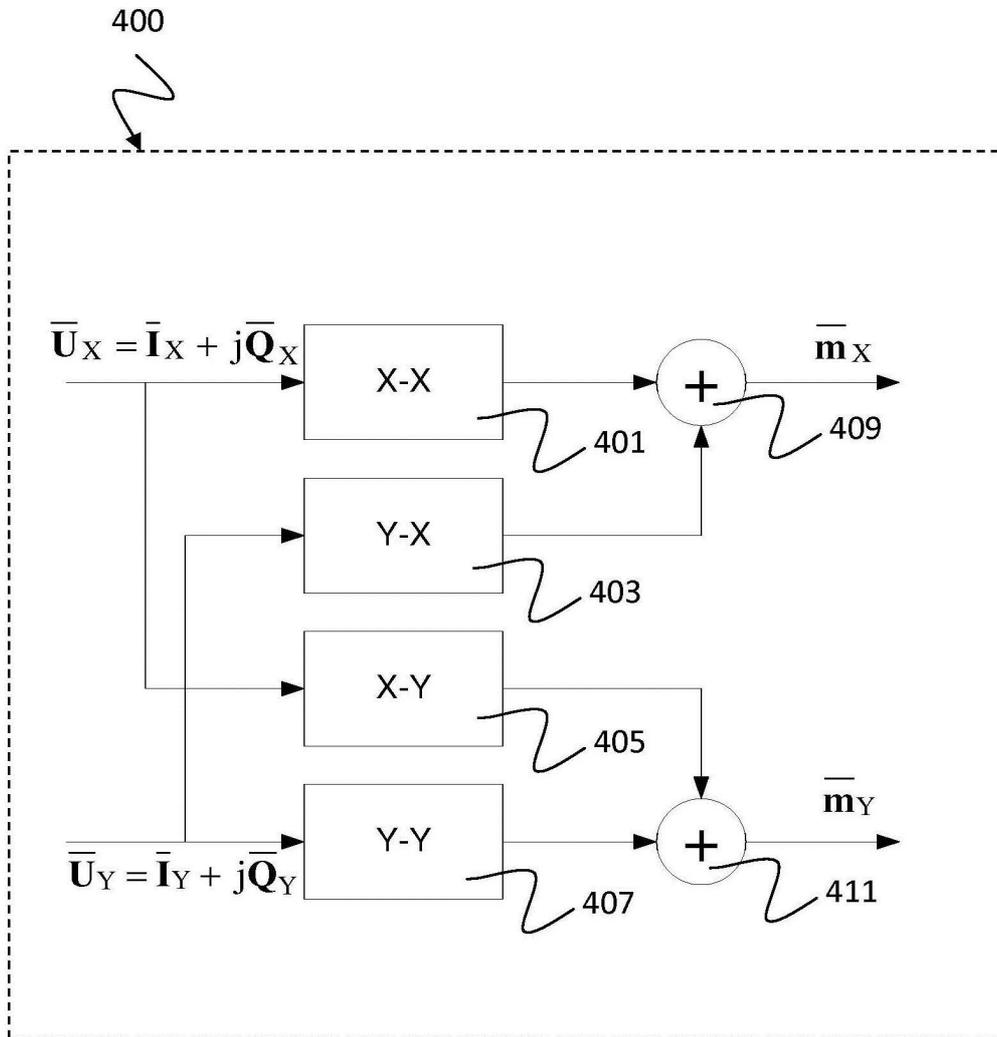


Fig. 4

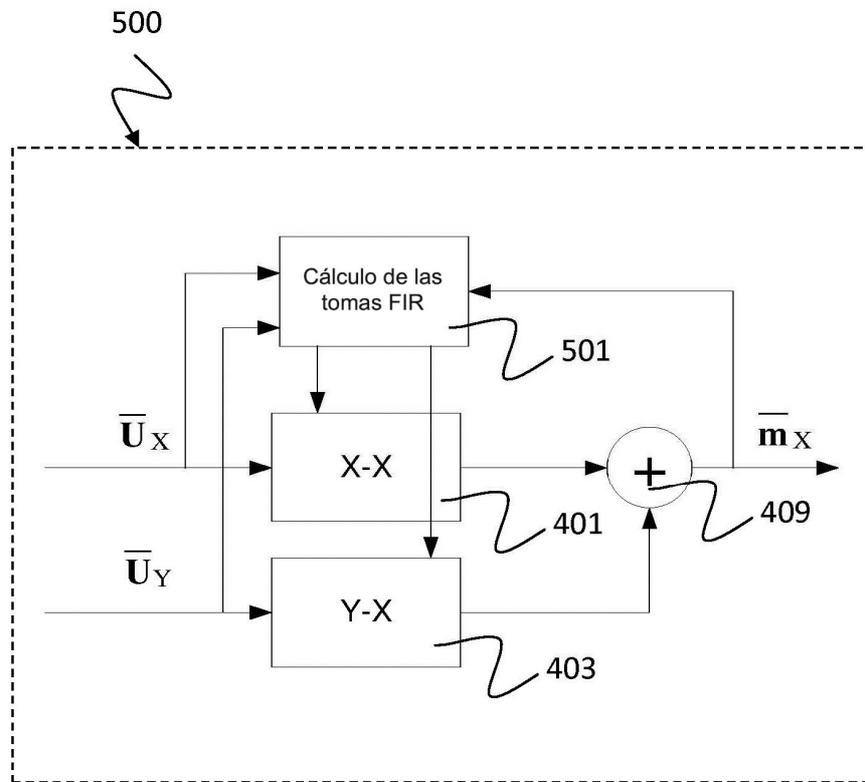


Fig. 5

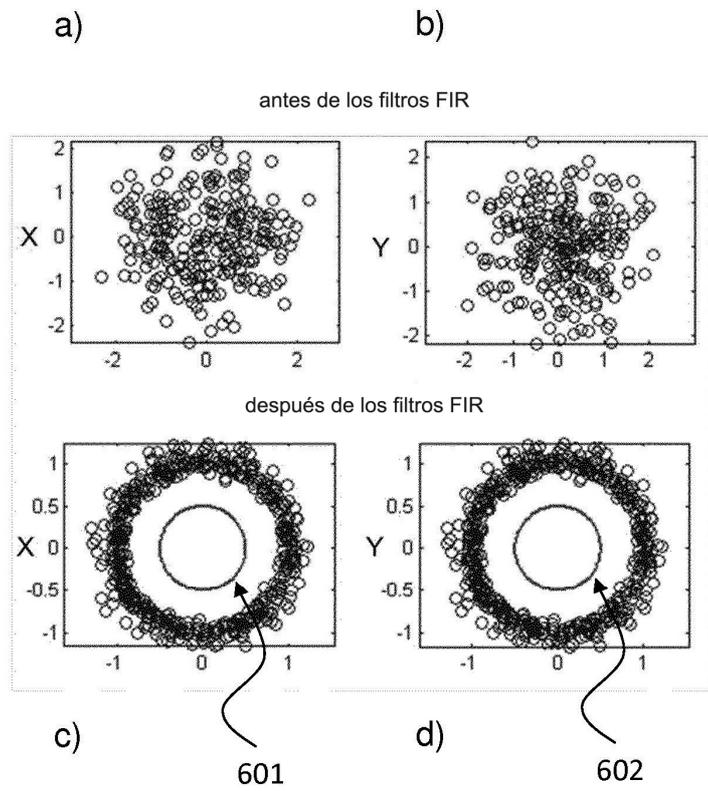


Fig. 6

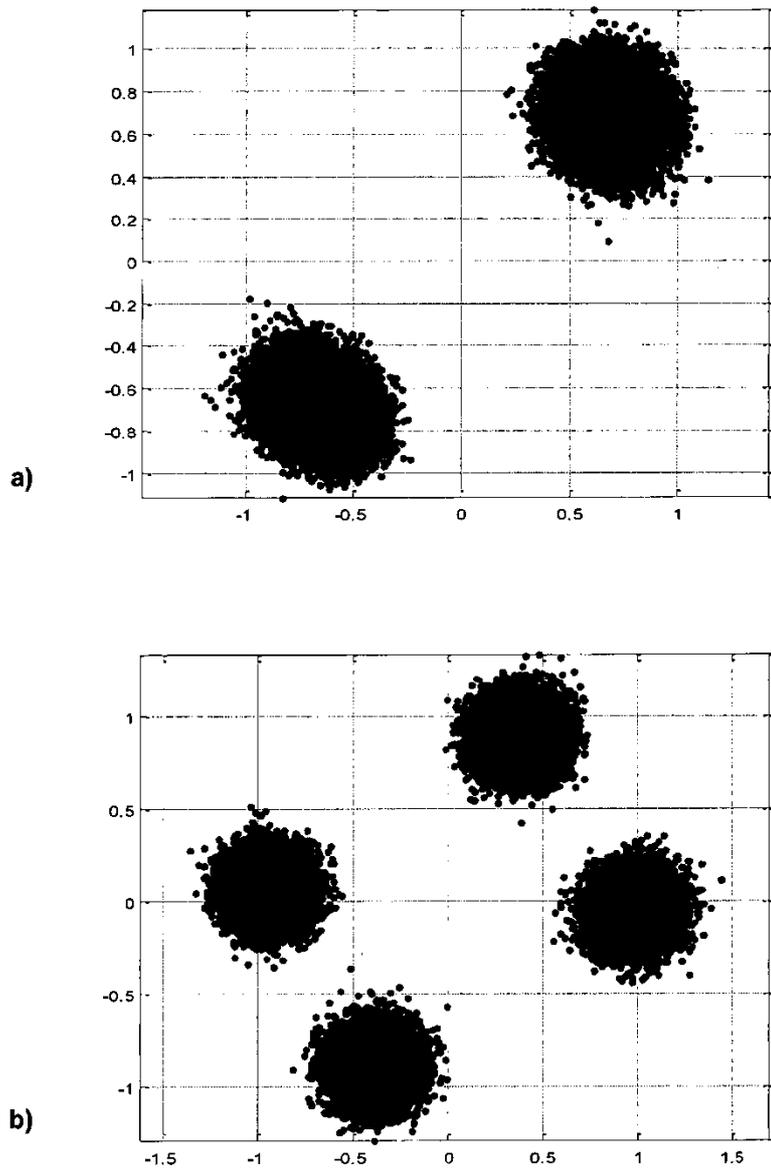


Fig. 7

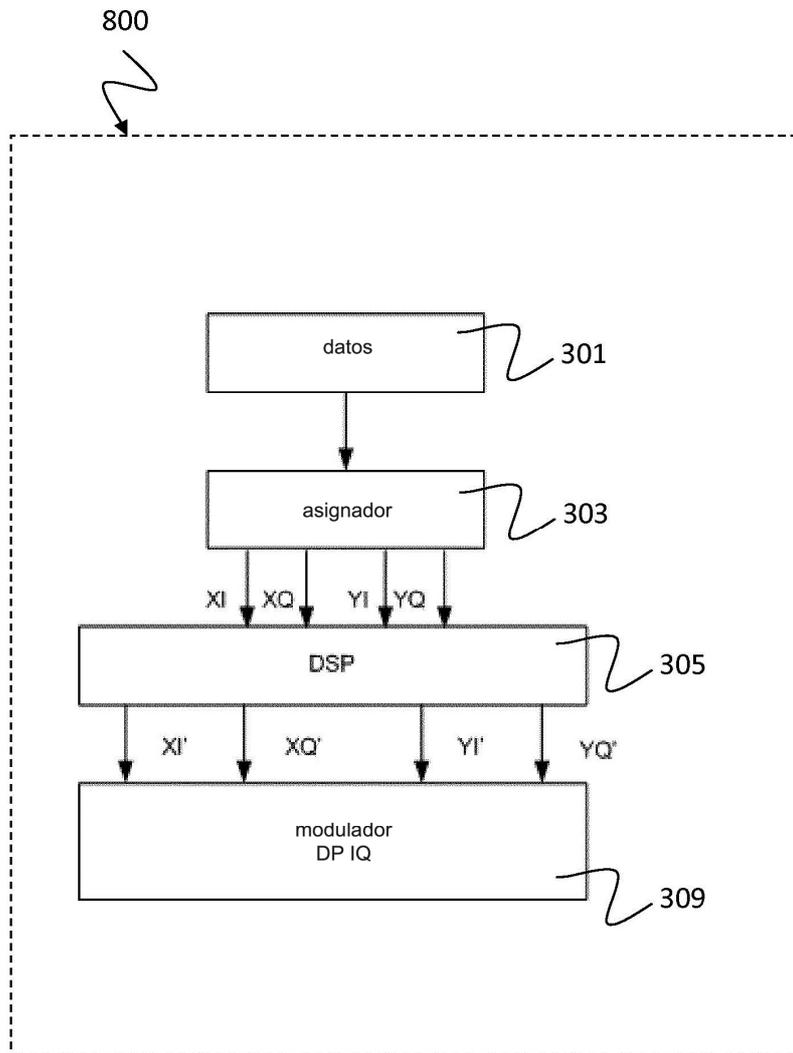


Fig. 8

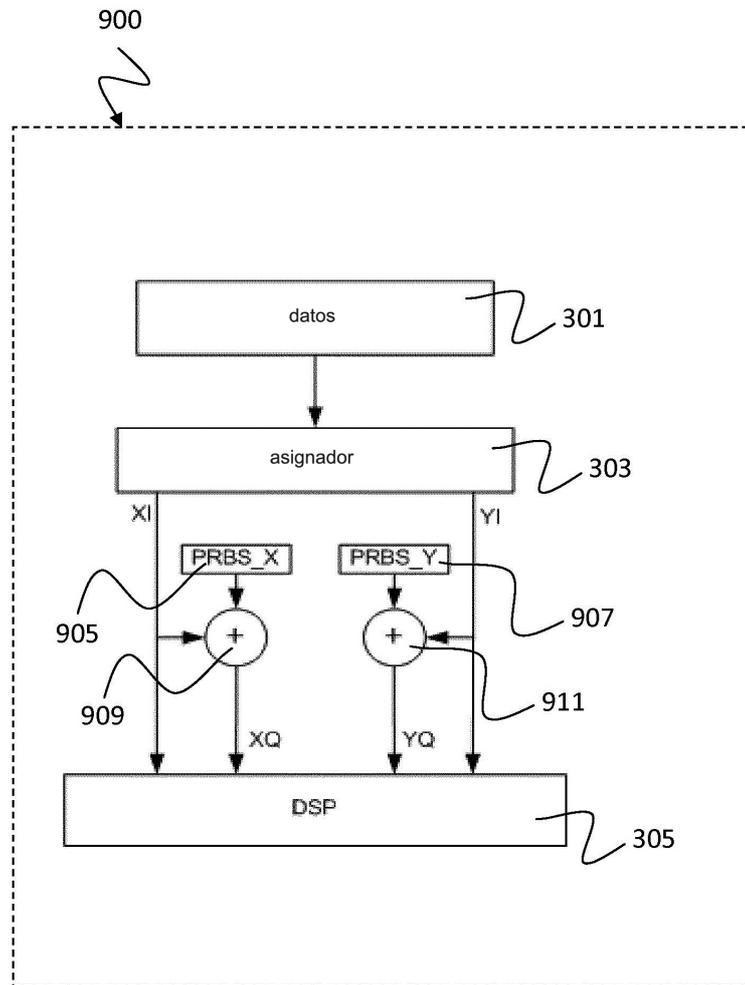


Fig. 9

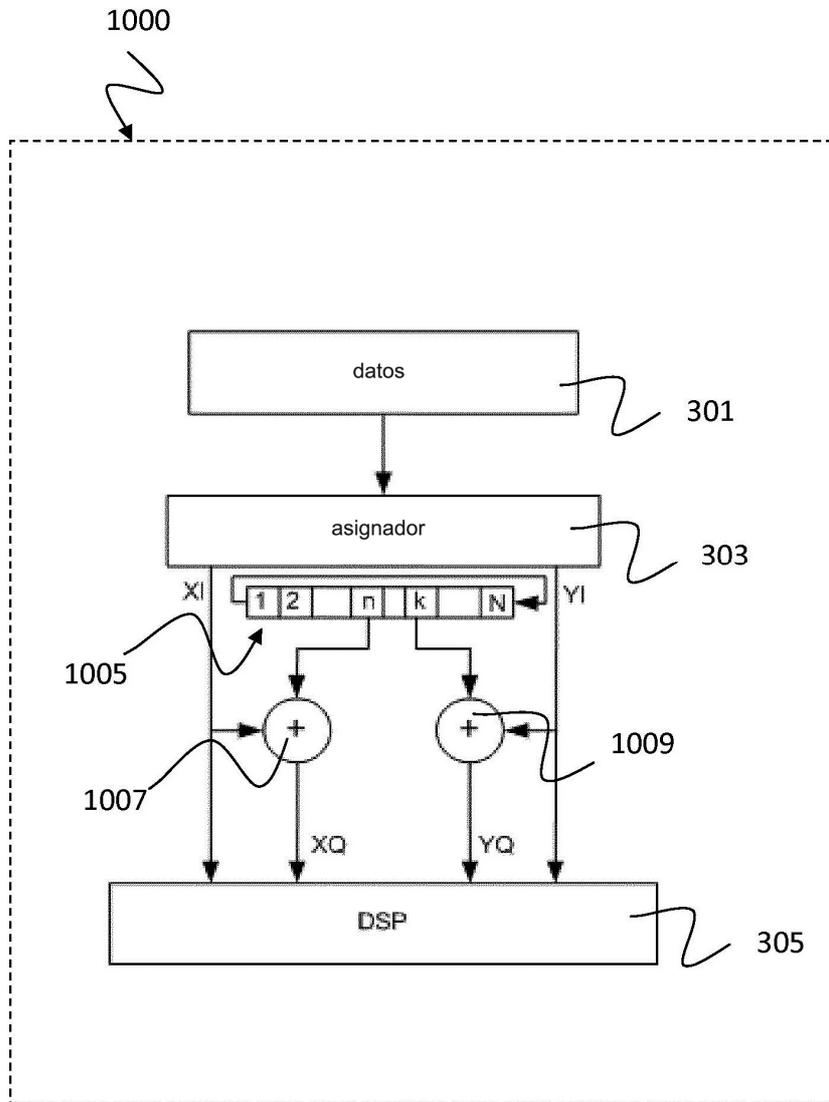


Fig. 10

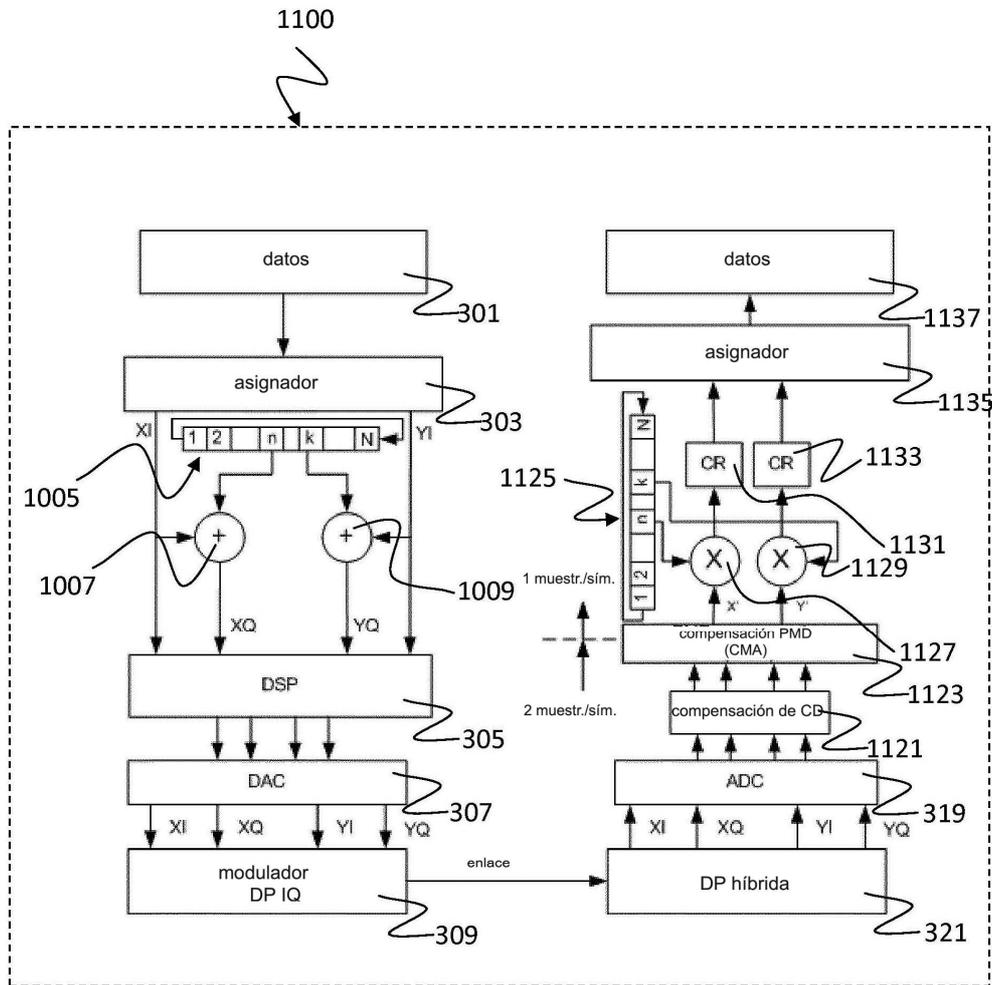


Fig. 11

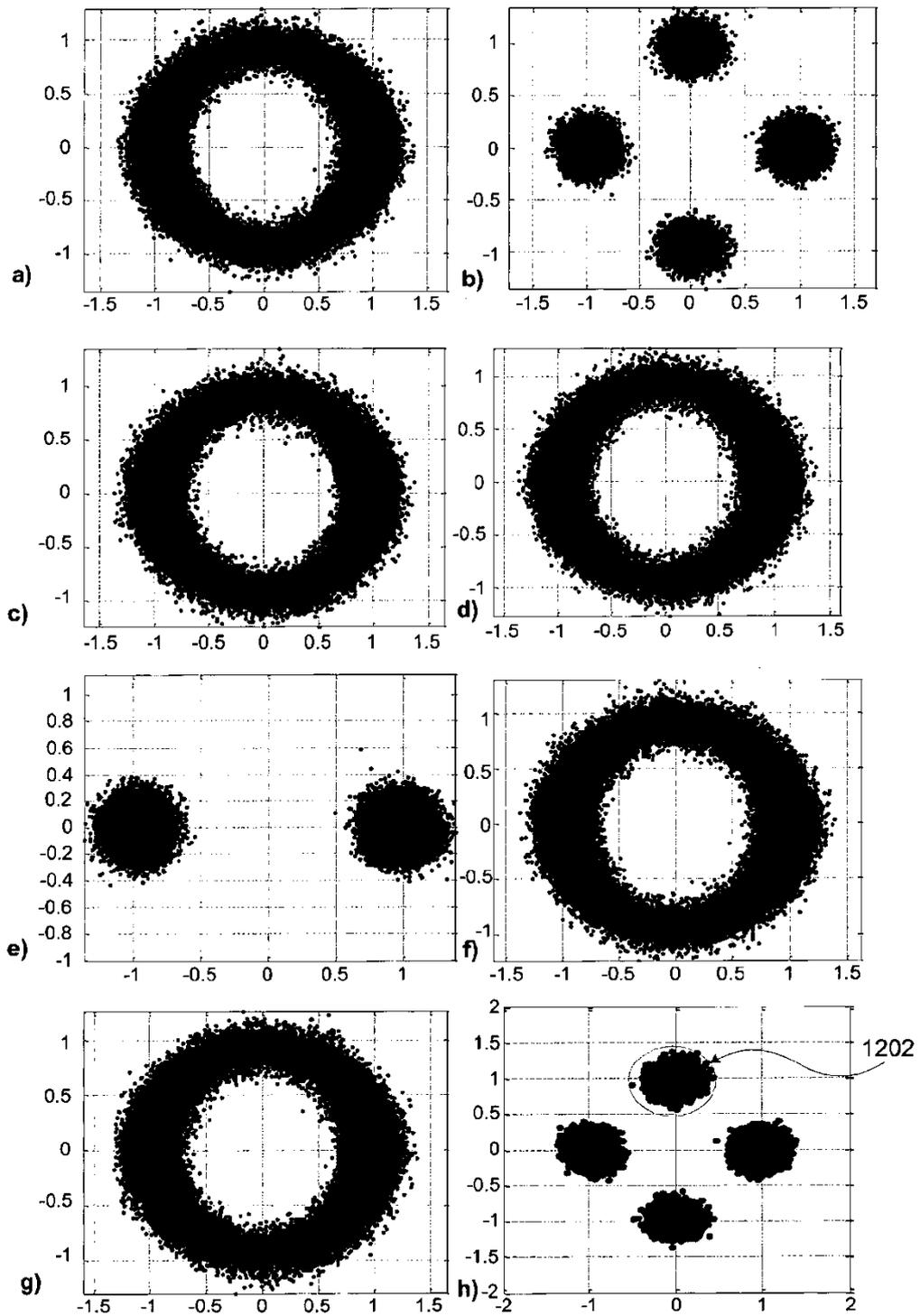


Fig. 12

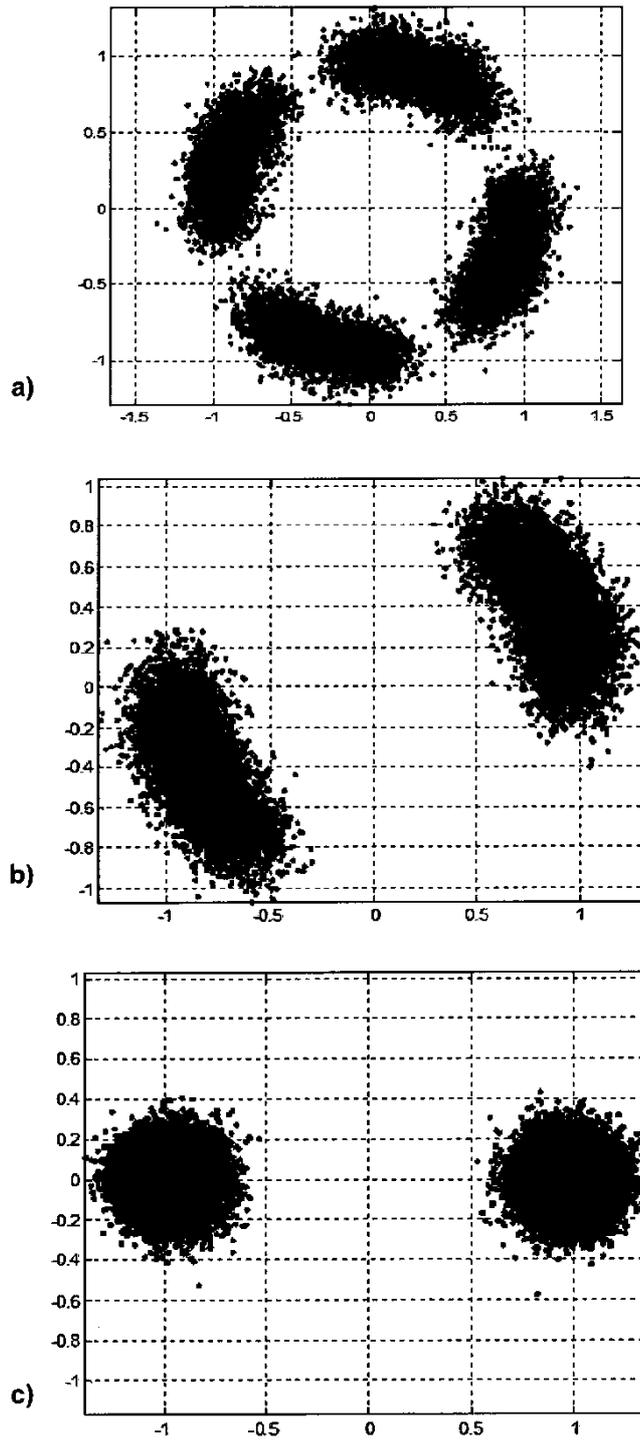


Fig. 13

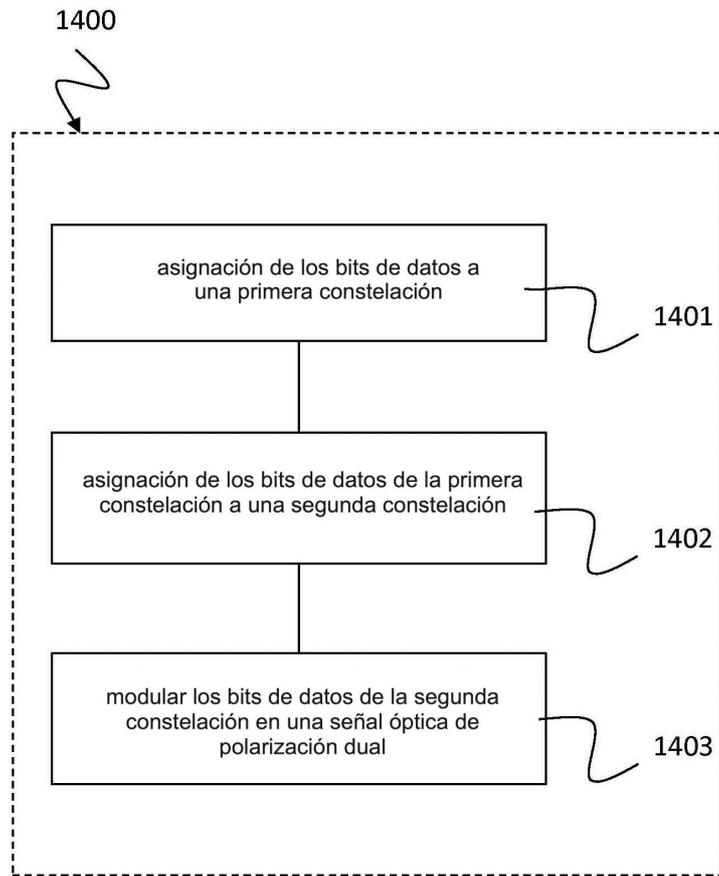


Fig. 14

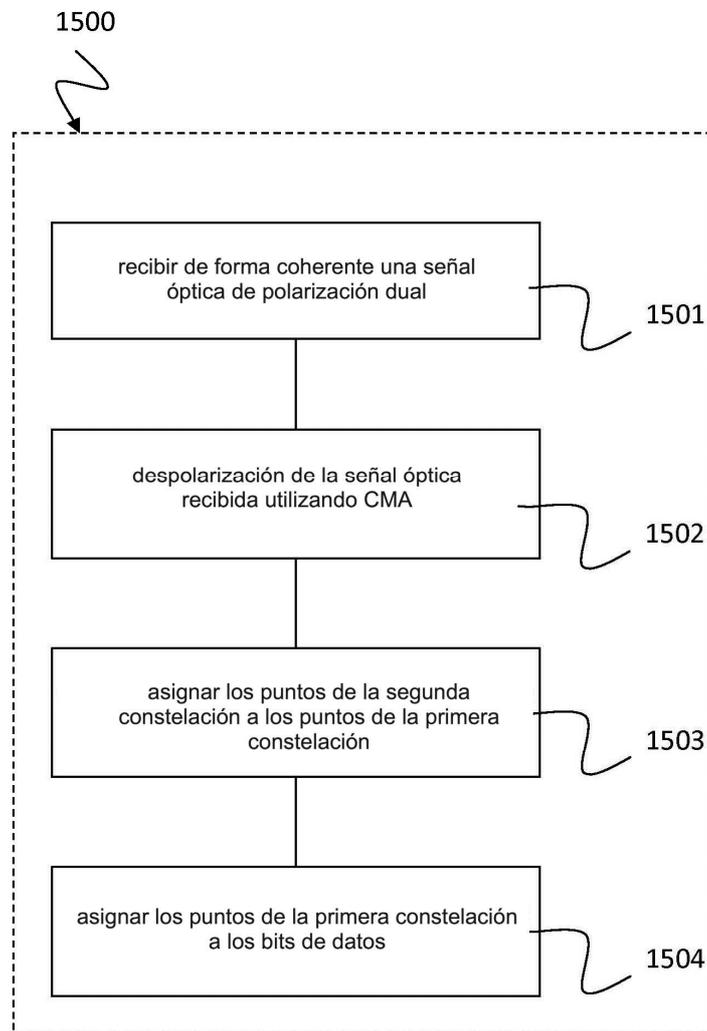


Fig. 15

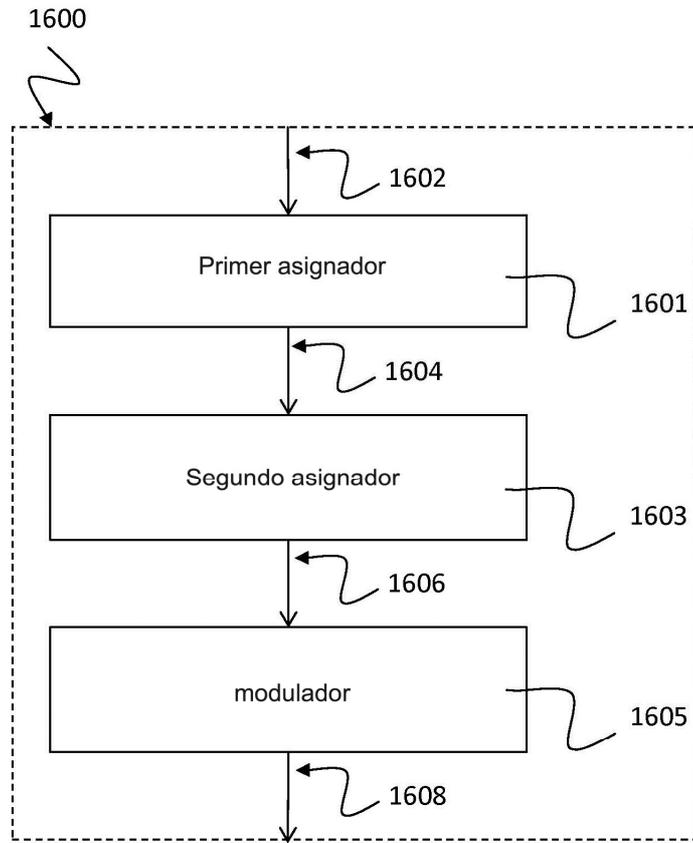


Fig. 16

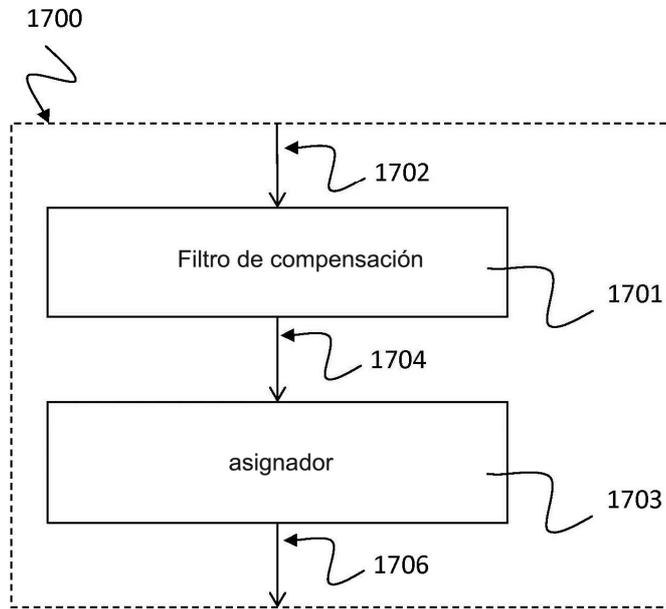


Fig. 17