

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 994**

51 Int. Cl.:

H04B 10/61 (2013.01)

H04B 10/60 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2009 PCT/CN2009/072319**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2010 WO10145075**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2009 E 09845989 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 2436127**

54 Título: **Receptor óptico coherente intradino**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2018

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

72 Inventor/es:

XIE, CHANGSONG

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 673 994 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

Receptor óptico coherente intradino

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con la recepción de señales, en particular, con la recepción de señales con detección coherente en una transmisión óptica de alta velocidad.

Antecedentes

Lo que se expone en esta sección proporciona simplemente información de antecedentes relacionada con la presente divulgación y puede no constituir necesariamente una técnica anterior.

10 La transmisión óptica coherente atrae cada vez más interés debido a su mayor rendimiento respecto a la detección directa. En la transmisión óptica coherente intradina, el láser local en el lado del receptor puede no ser capaz de identificar la frecuencia del láser en el lado del transmisor. Por ello se produce un desplazamiento de frecuencia de portadora entre ambos lados. Este desplazamiento de frecuencia da como resultado una envolvente de la frecuencia media sobre la señal recibida. Este efecto debe compensarse mediante un algoritmo de procesamiento de señales digitales (DSP) en el receptor.

15 En la técnica actual (véanse, por ejemplo, los Documentos [1], [2], [3], [4] y [5] de la Técnica Anterior), la solución para compensar el desplazamiento de frecuencia de portadora consiste en primer lugar en estimar el desplazamiento de frecuencia y convertir el desplazamiento de frecuencia en un desplazamiento de fase de cada señal muestreada y, a continuación, rotar la señal con la fase estimada en sentido contrario. De acuerdo con el Documento [1] de la Técnica Anterior, el desplazamiento de frecuencia se compensa mediante una rotación inversa de la señal. La rotación inversa se realiza en el dominio del tiempo. De acuerdo con este último documento, para cada señal muestreada la rotación inversa requiere realizar 4 multiplicaciones de números reales, 3 adiciones, 1 operación de módulo y 1 operación de desplazamiento.

25 El documento de ISHIHARA K Y OTROS: "Frequency-domain equalisation for optical transmission systems (Ecuación en el dominio de la frecuencia para sistemas de transmisión óptica)", REVISTA de THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, vol. 44, núm. 14, 3 de julio de 2008 (2008-07-03), páginas 870-872, XP006031385, ISSN: 1350-911X se refiere a un método para recuperación de la frecuencia de portadora en un sistema óptico de transmisión coherente.

30 El documento de IP E Y OTROS: "Digital Equalization of Chromatic Dispersion and Polarization Mode Dispersion (Ecuación digital de la dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización)", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, CENTRO DE SERVICIOS DEL IEEE ~ NUEVA YORK, NY, EE. UU., vol. 25, núm. 8, 1 de agosto de 2007 (2007-08-01), páginas 2033-2043, XP011189562, ISSN: 0733-8724 se refiere a un ecualizador de espaciado fraccionario para la compensación electrónica de la dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización en un sistema de comunicaciones ópticas coherentes de polarización dual.

35 Sin embargo, la comunicación óptica permite una gran capacidad, por ejemplo, 40 Gbit/s e incluso más. Incluso si se utiliza una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) con polarización, la tasa de símbolos llega a alcanzar incluso los 10 Giga-símbolos/s. Con una alta velocidad tan alta, incluso un simple multiplicador resulta ser un desafío para el DSP. El Documento [5] de la Técnica Anterior divulga una recuperación de fase previa a la decisión para receptores ópticos coherentes QPSK. El método propuesto utiliza únicamente un sumador, un sustractor, una tabla de búsqueda y algún circuito lógico, pero no un multiplicador. Comparado con el método convencional de cuarta potencia desarrollado por Viterbi y Viterbi, este método de acuerdo con el Documento [5] de la Técnica Anterior requiere un tiempo de cálculo reducido. Sin embargo, en la práctica parece no ser fácil implementar un receptor sencillo que utilice dicho método.

45 Además del desplazamiento de frecuencia de portadora, la dispersión óptica de la fibra da lugar a que se distorsione la señal de transmisión. El receptor debe compensar la distorsión con el fin de mejorar la calidad de la señal para que se detecte correctamente. Para ello, en los sistemas de recepción de señales ópticas se realiza una ecualización de las señales ópticas recibidas. Dicha ecualización puede ser, por ejemplo, una compensación de la dispersión cromática con el fin de compensar la dispersión cromática y/o una compensación de la dispersión por modo de polarización aplicada para ecualizar la dispersión por modo de polarización. En la técnica actual, como en el Documento [6] de la Técnica Anterior, la compensación del desplazamiento de frecuencia, y uno o más tipos de ecualización que incluyen, por ejemplo, compensación de la dispersión cromática, se realizan de forma independiente. De acuerdo con el Documento [6] de la Técnica Anterior, con el fin de llevar a cabo la compensación de distorsión óptica, el filtrado se puede realizar en el dominio del tiempo o mediante técnicas de convolución rápida en el dominio de la frecuencia con el fin de minimizar la complejidad global del DSP. Esto es, incluso si el filtrado en el dominio de la frecuencia requiere realizar una convolución como la Transformación Rápida de Fourier (FFT) y además una convolución inversa como la Transformación Rápida de Fourier Inversa (IFFT), dependiendo del método de filtrado, dicho filtrado en el dominio de la frecuencia puede requerir menos potencia de cálculo que realizar el filtrado requerido en el dominio del tiempo.

Realizar varias compensaciones complicadas supone una estructura compleja del receptor.

Documentos de la técnica anterior:

- 5 [1] Digital phase estimator, digital phase locked loop and optical coherent receiver (Estimador de fase digital, bucle de enganche en fase digital y receptor óptico coherente), Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos, núm.: US 2008/0205905, 28 de agosto de 2008;
- [2] Apparatus and method for a carrier recovery (Equipo y método para recuperación de portadora), Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos, núm.: US 2004/0091066, 13 de mayo de 2004;
- [3] Phase estimation for coherent optical detection (Estimación de fase para detección óptica coherente), Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos, núm.: US 2006/0245766, 2 de noviembre de 2006;
- 10 [4] Wide-range, accurate and simple digital frequency offset compensator for optical coherent receivers (Compensador de amplio rango, preciso y simple de desplazamiento de frecuencia digital para receptores ópticos coherentes), OFC 2008;
- [5] Multiplier-free phase recovery for optical coherent receivers (Recuperación de fase sin multiplicador para receptores ópticos coherentes), OFC 2008;
- 15 [6] Digital filters for coherent optical receivers (Filtros digitales para receptores ópticos coherentes), OPTICS EXPRESS, enero de 2008, vol. 16, núm. 2, páginas 804-817.

Resumen

20 Es por lo tanto un objetivo de la presente invención aportar una solución para la recepción de señales con detección coherente en una transmisión óptica de alta velocidad, que requiere una menor complejidad en los receptores ópticos coherentes.

El objetivo de la presente invención se consigue mediante el receptor óptico coherente de acuerdo con la reivindicación 1. Las implementaciones ventajosas del receptor óptico se describen en las reivindicaciones dependientes 2 y 3.

25 El receptor óptico coherente de acuerdo con la invención comprende: una unidad de ecualización, adaptada para realizar en el dominio de la frecuencia al menos un tipo de compensación de distorsión óptica de una señal recibida; una unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia, adaptada para realizar en el dominio de la frecuencia la compensación del desplazamiento de frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia para obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado;

30 una unidad de Transformación de Fourier, FT, adaptada para realizar la Transformación de Fourier, FT, sobre la señal para obtener un primer espectro de la señal; como unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia, una unidad de desplazamiento de frecuencia, adaptada para desplazar el primer espectro de la señal en función del valor estimado de desplazamiento de la frecuencia con el fin de obtener un segundo espectro de la señal en el dominio de la frecuencia; una unidad de Transformación de Fourier Inversa, IFT, adaptada para realizar una

35 Transformación de Fourier Inversa, IFT, sobre la señal del segundo espectro; y la unidad de ecualización está adaptada para realizar la compensación de distorsión óptica sobre la señal del segundo espectro antes de enviarle la señal a la unidad IFT.

Además, este resumen divulga varios aspectos y formas de implementación ventajosos de la presente invención, de acuerdo con los cuales se puede conseguir el objetivo mencionado más arriba, respectivamente.

40 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para recuperación de portadora en un sistema de transmisión óptica coherente, en donde al menos un tipo de ecualización de una señal recibida se realiza en el dominio de la frecuencia, en donde el método incluye:

- realizar en el dominio de la frecuencia una compensación del desplazamiento de la frecuencia de portadora sobre una señal recibida, en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia;
- obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado.

45 Para una persona experimentada en la técnica resultarán familiares diversos procesos de convolución y procesos de convolución inversa para transformar la señal recibida en el dominio de la frecuencia y para transformar la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado en el dominio del tiempo. Estos procesos comprenden la Transformación de Fourier (FT), incluyendo la Transformación Rápida de Fourier (FFT), y la Transformación de Fourier Inversa (IFT), incluyendo la Transformación Rápida de Fourier Inversa (IFFT). Así pues, de acuerdo con una

50 forma de implementación de este primer aspecto, la realización de la compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de la frecuencia puede incluir, además:

- aplicar la Transformación de Fourier, FT, a la señal para obtener un primer espectro de la señal;
- desplazar el primer espectro de la señal en función del valor estimado del desplazamiento de frecuencia para obtener un segundo espectro de la señal en el dominio de la frecuencia;
- aplicar la Transformación de Fourier Inversa, IFT, a la señal del segundo espectro.

5 Según una forma de implementación particular de acuerdo con el primer aspecto, la ecualización se realiza en el dominio de la frecuencia después de que se haya realizado la compensación de desplazamiento de la frecuencia de portadora en el dominio de la frecuencia. En un modo de realización de este tipo, a medida que se realiza la ecualización sobre la señal con desplazamiento de frecuencia de portadora compensado se habilita un aumento del rendimiento de la ecualización.

10 Según una forma de implementación particular de acuerdo con el primer aspecto, la ecualización comprende compensación de la dispersión por modo de polarización y compensación de la dispersión cromática.

Según otra forma de implementación particular de acuerdo con el primer aspecto, la ecualización comprende compensación de la dispersión cromática.

15 Según otra forma de implementación particular de acuerdo con el primer aspecto, la ecualización comprende compensación de la dispersión por modo de polarización y compensación de la dispersión cromática. De acuerdo con una forma de implementación específica de esta última, la ecualización comprende tanto compensación de la dispersión por modo de polarización como compensación de la dispersión cromática, y la compensación de la dispersión por modo de polarización se realiza después de la compensación de la dispersión cromática. En un modo de realización de este tipo, a medida que se realiza una compensación de la dispersión por modo de polarización

20 sobre la señal con la dispersión cromática compensada se habilita un aumento del rendimiento de la compensación de la dispersión por modo de polarización. Tal como se ha mencionado más arriba, el rendimiento tanto de la compensación de la dispersión cromática como de la compensación de la dispersión por modo de polarización puede, en determinadas circunstancias, incrementarse aún más si la compensación de la dispersión cromática se realiza en el dominio de la frecuencia después de que se haya realizado una compensación del desplazamiento de la frecuencia de portadora en el dominio de la frecuencia, y la compensación de la dispersión por modo de polarización se realiza en el dominio de la frecuencia después de que se haya realizado la compensación de la dispersión cromática.

30 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un receptor óptico coherente que comprende: una unidad de ecualización, adaptada para realizar al menos un tipo de compensación de distorsión óptica en el dominio de la frecuencia de una señal recibida; y una unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia, adaptada para realizar la compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia con el fin de obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado.

35 Según una forma de implementación particular de acuerdo con el segundo aspecto, el receptor comprende además: una unidad Transformación de Fourier, FT, adaptada para realizar la Transformación de Fourier, FT, sobre la señal para obtener un primer espectro de la señal; y una unidad de Transformación de Fourier Inversa, IFT, adaptada para realizar una Transformación de Fourier Inversa, IFT, sobre la señal del segundo espectro.

De acuerdo con una forma específica de la última forma implementación, la unidad de ecualización realiza una compensación de distorsión óptica sobre la señal del segundo espectro antes de enviarle la señal a la unidad de IFT.

40 Según otra forma de implementación particular de acuerdo con el segundo aspecto, el receptor comprende como unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia, una unidad de desplazamiento de frecuencia adaptada para desplazar el primer espectro de la señal en función del valor estimado del desplazamiento de frecuencia.

45 Según otra forma de implementación particular de acuerdo con el segundo aspecto, la unidad de ecualización comprende una unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización.

Según otra forma de implementación particular de acuerdo con el segundo aspecto, la unidad de ecualización comprende una unidad de compensación de la dispersión cromática adaptada para realizar la compensación de la dispersión cromática.

50 Según otra forma de implementación particular de acuerdo con el segundo aspecto, la unidad de ecualización comprende una unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización, y una unidad de compensación de la dispersión cromática adaptada para realizar la compensación de la dispersión cromática.

De acuerdo con una forma específica de la última forma de implementación, la unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización está adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización después de que se haya realizado la compensación de la dispersión cromática.

5 De acuerdo con un primer aspecto adicional de la invención, un método para recuperación de frecuencia portadora en un sistema de transmisión óptica coherente, en el que al menos un tipo de ecualización de una señal recibida se realiza en el dominio de la frecuencia, comprende: realizar una compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia; obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado.

10 De acuerdo con una primera implementación del primer aspecto adicional, la ecualización comprende al menos una de las siguientes: compensación de la dispersión por modo de polarización y compensación de la dispersión cromática.

De acuerdo con una segunda implementación del primer aspecto adicional, la ecualización se realiza en el dominio de la frecuencia después de desplazar la señal recibida en el dominio de la frecuencia.

15 De acuerdo con una tercera implementación del primer aspecto adicional, la ecualización comprende tanto compensación de la dispersión por modo de polarización como compensación de la dispersión cromática, y en donde la compensación de la dispersión por modo de polarización se realiza después de la compensación de la dispersión cromática.

20 De acuerdo con un segundo aspecto adicional de la invención, un receptor óptico coherente comprende: una unidad de ecualización, adaptada para realizar al menos un tipo de compensación de distorsión óptica de una señal recibida en el dominio de la frecuencia; una unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia, adaptada para realizar la compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia para obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado.

25 De acuerdo con una primera implementación del segundo aspecto adicional, el receptor comprende además: una unidad de Transformación de Fourier, FT, adaptada para realizar la Transformación de Fourier, FT, sobre la señal con el fin de obtener un primer espectro de la señal; como unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia, una unidad de desplazamiento de frecuencia adaptada para desplazar el primer espectro de la señal en función del valor estimado del desplazamiento de frecuencia con el fin de obtener un segundo espectro de la señal en el dominio de la frecuencia; una unidad de Transformación de Fourier Inversa, IFT, adaptada para realizar una Transformación de Fourier Inversa, IFT, sobre la señal del segundo espectro.

30 De acuerdo con una segunda implementación del segundo aspecto adicional, la unidad de ecualización realiza la compensación de distorsión óptica sobre la señal del segundo espectro antes de enviarle la señal a la unidad de IFT.

35 De acuerdo con una tercera implementación del segundo aspecto adicional, la unidad de ecualización comprende al menos una de las siguientes: una unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización, y una unidad de compensación de la dispersión cromática adaptada para realizar la compensación de la dispersión cromática.

40 De acuerdo con una cuarta implementación del segundo aspecto adicional, la unidad de compensación comprende tanto una unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización como una unidad de compensación de la dispersión cromática, y en donde la unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización está adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización después de que se haya realizado la compensación de la dispersión cromática.

Breve descripción de los dibujos

45 Los dibujos que se describen en la presente solicitud son únicamente a título ilustrativo y no pretenden limitar en ningún sentido el alcance de la presente divulgación. Las Figuras 3 y 5 muestran modos de realización de la presente invención. Las Figuras 1, 2 y 4 muestran ejemplos ilustrativos de un receptor óptico coherente, que, sin embargo, no constituyen modos de realización de la presente invención pero son útiles para comprender ciertos aspectos de la invención.

La Figura 1 es un diagrama de la estructura de un receptor óptico coherente de la técnica anterior;

la Figura 2 es un diagrama de la estructura de ejemplo ilustrativo adicional de un receptor óptico coherente;

50 la Figura 3 es un diagrama de la estructura de un receptor óptico coherente de un modo de realización de la presente invención;

la Figura 4 es un diagrama de la estructura de otro ejemplo ilustrativo de un receptor óptico coherente;

la Figura 5 es un diagrama de la estructura de un receptor óptico coherente de otro modo de realización de la presente invención.

Descripción detallada

5 La siguiente descripción tiene un carácter meramente ejemplar y no pretende limitar la presente divulgación, aplicación o usos.

10 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "un modo de realización", "algún modo de realización", "modo de realización específico" o similares en singular o plural significa que uno o más aspectos, estructuras o características particulares descritos en conexión con un modo de realización están incluidos en al menos un modo de realización de la presente divulgación. Así pues, la aparición de las frases "en un modo de realización", "en algún modo de realización", "en un modo de realización específico" o similares en singular o plural en varios lugares a lo largo de esta memoria descriptiva no se refieren todas necesariamente al mismo modo de realización. Por otra parte, los aspectos, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier forma apropiada en uno o más modos de realización. En las Figuras, como ejemplo de una unidad de ecualización se ilustra una unidad de compensación de la dispersión cromática. Sin embargo, esta unidad de compensación de la dispersión cromática es solo un ejemplo y se puede reemplazar por cualquier unidad de ecualización que realice cualquier compensación de dispersión sobre una señal óptica como, por ejemplo, una compensación de la dispersión cromática, una compensación de la dispersión por modo de polarización o ambas. Además, incluso si no se ilustra en las figuras, en algunos modos de realización se pueden disponer unidades de compensación de dispersión adicionales tanto en el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo en otros lugares del flujo de la señal.

20 De acuerdo con algunos ejemplos ilustrativos que no forman parte de la presente invención, se proporcionan un método para recuperación de la frecuencia de portadora en una transmisión óptica y un receptor óptico coherente digital, que realizan la compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia para obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado.

25 En las señales muestreadas, para compensar el desplazamiento de frecuencia solo es necesario desplazar el espectro de un bloque de la señal muestreada. Es decir, solo se necesitan unas pocas operaciones de desplazamiento en lugar de 4 multiplicaciones, 3 adiciones, 1 operación de módulo y 1 operación de desplazamiento para una sola muestra como en la técnica actual. La compensación del desplazamiento de frecuencia desplazando el espectro reduce drásticamente la complejidad del cálculo en comparación con el método tradicional. El procesamiento se acorta y los recursos necesarios se economizan en gran medida.

30 Por otro lado, uno o ambos tipos de ecualización, como la compensación de la dispersión cromática y la compensación de la dispersión por modo de polarización, se pueden realizar sobre la señal después o antes de realizar la compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia, en donde incluso uno de los tipos de ecualización sobre la señal mencionados se puede realizar en el dominio del tiempo. Así pues, la señal resultante está compensada tanto en desplazamiento de frecuencia como en dispersión óptica.

La Figura 1 ilustra un diagrama de la estructura de un receptor óptico coherente de la técnica anterior.

Supóngase que el receptor óptico coherente recibe una señal convertida a una frecuencia más baja con desplazamiento de frecuencia, la señal es $x(t)$ y su espectro es $X(\omega)$. El flujo del proceso del receptor óptico coherente puede ser como sigue:

40 Una unidad 13 de Compensación de la Dispersión Cromática recibe la señal, realiza una compensación de la dispersión cromática sobre la señal, y le envía la señal a una unidad 15 de recuperación de temporización; la unidad 15 de recuperación de temporización realiza la sincronización del reloj con la señal con la dispersión cromática compensada, aunque aún mantiene el desplazamiento de frecuencia; una unidad 16 de compensación de la PMD recibe la señal desde la unidad 15 de recuperación de temporización, realiza la compensación de la PMD en la señal con la dispersión cromática compensada, aunque aún mantiene el desplazamiento de frecuencia; una unidad 200 de Estimación de Fase proporciona un desplazamiento $\Delta\hat{\omega}T$ de fase y una unidad 17 de estimación de desplazamiento de Frecuencia proporciona un valor de estimación del desplazamiento $\Delta\hat{\omega}$ de Frecuencia a una unidad 100 de compensación de desplazamiento de Frecuencia para compensar el desplazamiento de frecuencia mediante una rotación inversa de la señal, aplicándose la rotación inversa en el dominio del tiempo. Para cada muestra de señal se deben realizar 4 multiplicaciones de números reales, 3 adiciones, 1 operación de módulo y 1 operación de desplazamiento. La complejidad del cálculo constituye una gran carga para el receptor y se necesitan muchos recursos para realizar el cálculo.

55 Una unidad 300 de Compensación de Fase recibe la señal desde la unidad 100 de compensación del desplazamiento de frecuencia, realiza la compensación de fase y le envía la señal a una unidad 18 de decisión para producir la señal necesaria.

La Figura 2 muestra un ejemplo ilustrativo de un diagrama de la estructura de un receptor óptico coherente digital que no constituye un modo de realización de la presente invención, pero resulta útil para comprender ciertos aspectos de la misma. Y en la presente solicitud también se divulga un método para recuperación de la frecuencia de portadora.

5 Supóngase que el receptor óptico coherente digital recibe una señal convertida a una frecuencia más baja con desplazamiento de frecuencia, la señal es $x(t)$ y su espectro es $X(\omega)$. De acuerdo con un modo de realización de la presente invención, el flujo del proceso del receptor óptico coherente puede ser como sigue:

Una unidad 110 de compensación del desplazamiento de frecuencia recibe la señal $x(t)$, realiza sobre la señal recibida la compensación del desplazamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia con el fin de obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado, en donde el valor estimado es proporcionado por una unidad 17 de estimación de desplazamiento de frecuencia.

Una unidad 13 de Compensación de la Dispersión Cromática recibe la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado desde la unidad 110 de compensación del desplazamiento de frecuencia, y realiza una compensación de la dispersión cromática sobre la señal. La compensación de la dispersión cromática se puede realizar en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia. El proceso posterior en otras unidades puede permanecer inalterado.

Así pues, la frecuencia y la dispersión cromática se compensan simultánea o consecutivamente, de modo que se eliminan los desajustes del desplazamiento de frecuencia en los bloques siguientes, como la unidad 15 de recuperación de temporización, la unidad 16 de compensación de la PMD, etc. Esto mejora el rendimiento global del sistema.

Las Figuras 3 y 5 ilustran modos de realización de diferentes combinaciones de la unidad de compensación del desplazamiento de frecuencia y la unidad de compensación de la dispersión cromática en un receptor óptico coherente de la presente invención. Y estos modos de realización, junto con las figuras 3 y 5 de los mismos, también divulgan diferentes flujos del método para la recuperación de la señal de portadora. La Figura 4 muestra otro ejemplo ilustrativo de un receptor óptico coherente que no constituye un modo de realización de la presente invención pero resulta útil para comprender ciertos aspectos de la misma.

Un modo de realización de la presente invención tal como se ilustra en la Figura 3 se puede describir como sigue:

Una unidad 101 de FT, adaptada para recibir señales muestreadas y obtener el espectro de las señales, y realizar una Transformación de Fourier, FT, sobre $x(t)$ para obtener el espectro $X(\omega)$ de la señal $x(t)$. La señal $x(t)$ es una señal de muestra generada por un conversor analógico/digital, ADC. La FT, por ejemplo, puede ser una Transformación Rápida de Fourier, FFT. Para implementar la transformación entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia, además del Algoritmo de la Transformación Rápida de Fourier, FFT, también se puede adoptar otro Algoritmo de Transformación de Fourier.

Una unidad 102 de desplazamiento de frecuencia, adaptada para desplazar $X(\omega)$ en función de una estimación del desplazamiento de frecuencia $\Delta\hat{\omega}$ para obtener la señal en el dominio de la frecuencia con un desplazamiento de frecuencia $\hat{X}(\omega) = X(\omega - \Delta\hat{\omega})$. El desplazamiento de frecuencia se obtiene a partir de un estimador de fase sin realimentación.

Una unidad 103 de compensación de la dispersión cromática, adaptada para realizar la compensación de la dispersión cromática sobre la señal procedente de la unidad 102 de desplazamiento de frecuencia multiplicando $\hat{X}(\omega)$ por una función de compensación de la dispersión cromática $H^{-1}(j\omega) = e^{-j\omega^2\beta_2L/\beta\pi^2}$.

Una unidad 104 de IFT, adaptada para realizar una Transformación de Fourier Inversa, IFT, sobre la señal recibida de la unidad 103 de compensación de la dispersión cromática para obtener la señal $\hat{\hat{x}}(t)$ con el desplazamiento de frecuencia compensado y la dispersión cromática compensada. Antes de que se realice la IFT, la señal puede ser $\hat{X}(\omega)H^{-1}(j\omega)$. La IFT puede ser la Transformación Rápida de Fourier Inversa si la unidad 101 de FT realiza una Transformación Rápida de Fourier.

La señal de salida a la unidad 15 de recuperación de temporización está compensada tanto en frecuencia como en dispersión cromática.

De acuerdo con este modo de realización, supóngase que tenemos una señal convertida a una frecuencia más baja con un desplazamiento de frecuencia $x(t)$, cuyo espectro es $X(\omega)$. Además, el desplazamiento de frecuencia estimado es $\Delta\hat{\omega}$ y el desplazamiento de fase en el instante t es $\Delta\hat{\omega}t$. En este caso la compensación de desplazamiento de fase se puede describir así: $\hat{x}(t) = x(t) \cdot e^{-j\Delta\hat{\omega}t}$. De acuerdo con las propiedades de la FT, su espectro se puede representar así: $\hat{X}(\omega) = X(\omega - \Delta\hat{\omega})$, lo que significa simplemente que desplazar $\Delta\hat{\omega}$ el espectro de $x(t)$ produce el espectro de la señal compensada $\hat{x}(t)$. Por consiguiente, solo es necesario un desplazamiento de

frecuencia para el espectro de la señal, lo que reduce drásticamente la complejidad del cálculo en comparación con el método tradicional, de tal modo que se acorta el procesamiento y se economizan los recursos necesarios. Además, la frecuencia y la dispersión cromática se compensan de forma consecutiva o simultánea, de modo que se eliminan en gran medida los desajustes del desplazamiento de frecuencia en los siguientes bloques, como la recuperación de la temporización, la compensación de la PMD, etc.

5
10 La Figura 4 ilustra otra combinación de una unidad 203 de compensación de la dispersión cromática y una unidad 201 de FT, una unidad 204 de IFT y una unidad 202 de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con un ejemplo ilustrativo. La Figura 4 también divulga el flujo del método correspondiente. La compensación de la dispersión cromática de la señal se realiza después de que la señal haya sido tratada por la IFT. La compensación del desplazamiento de frecuencia se realiza en el dominio de la frecuencia mientras que la compensación de la dispersión cromática se realiza en el dominio del tiempo. A partir de la descripción anterior y con la ayuda de la Figura 4, la persona experimentada en la técnica podría obtener sin dificultad los cambios del flujo de la señal en comparación con las Figuras 2 a 3.

15 La Figura 5 ilustra otra combinación de una unidad 403 de compensación de la dispersión cromática y una unidad 401 de FT, una unidad 404 de IFT y una unidad 402 de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con otro modo de realización de la presente invención. La compensación de la dispersión cromática se realiza antes de desplazar $X(\omega)$ en función de una estimación del desplazamiento de frecuencia $\Delta\hat{\omega}$ por parte de la unidad 402 de desplazamiento de frecuencia, después de aplicar la Transformación de Fourier, FT, sobre $x(t)$ para obtener el espectro $X(\omega)$ de la señal $x(t)$. Tanto la compensación del desplazamiento de frecuencia como la compensación de la dispersión cromática se realizan en el dominio de la frecuencia. A partir de la descripción anterior y con la ayuda de la Figura 5, una persona experimentada en la técnica podría obtener sin dificultad los cambios del flujo de la señal en comparación con las Figuras 2 a 4.

20 Aunque la ilustración y la descripción de la presente divulgación se han proporcionado haciendo referencia a los modos de realización preferidos de la misma, las personas con un conocimiento normal de la técnica apreciarán que se pueden realizar varios cambios en la forma y en los detalles sin apartarse del alcance de esta descripción definido por las reivindicaciones adjuntas.

25

REIVINDICACIONES

1. Un receptor óptico coherente, que comprende:

una unidad (13, 103, 203, 403) de ecualización, adaptada para realizar en el dominio de la frecuencia al menos un tipo de compensación de distorsión óptica de una señal recibida;

5 una unidad (110) de compensación del desplazamiento de frecuencia, adaptada para realizar en el dominio de la frecuencia la compensación del desplazamiento de frecuencia sobre una señal recibida en función de un valor estimado del desplazamiento de frecuencia, con el fin de obtener la señal con el desplazamiento de frecuencia compensado;

10 una unidad (101, 201, 401) de Transformación de Fourier, FT, adaptada para realizar una Transformación de Fourier, FT, sobre la señal para obtener un primer espectro de la señal;

como unidad (110) de compensación del desplazamiento de frecuencia, una unidad (102, 202, 402) de desplazamiento de frecuencia, adaptada para desplazar el primer espectro de la señal el valor estimado para el desplazamiento de frecuencia, con el fin de obtener un segundo espectro de la señal en el dominio de la frecuencia;

15 una unidad (104, 204, 404) de Transformación de Fourier Inversa, IFT, adaptada para realizar una Transformación de Fourier Inversa, IFT, sobre la señal del segundo espectro;

caracterizado por que

la unidad (13, 103, 203, 403) de ecualización está adaptada para realizar una compensación de distorsión óptica sobre la señal del segundo espectro antes de enviarle la señal a la unidad (104) de IFT.

20 2. El receptor de la reivindicación 1, en donde la unidad (13, 103, 203, 403) de ecualización comprende al menos una de las siguientes: una unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización, y una unidad de compensación de la dispersión cromática adaptada para realizar la compensación de la dispersión cromática.

25 3. El receptor de la reivindicación 2, en donde la unidad (13, 103, 203, 403) de ecualización comprende tanto una unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización como una unidad de compensación de la dispersión cromática, y en donde la unidad de compensación de la dispersión por modo de polarización está adaptada para realizar la compensación de la dispersión por modo de polarización después de que se haya realizado la compensación de la dispersión cromática.

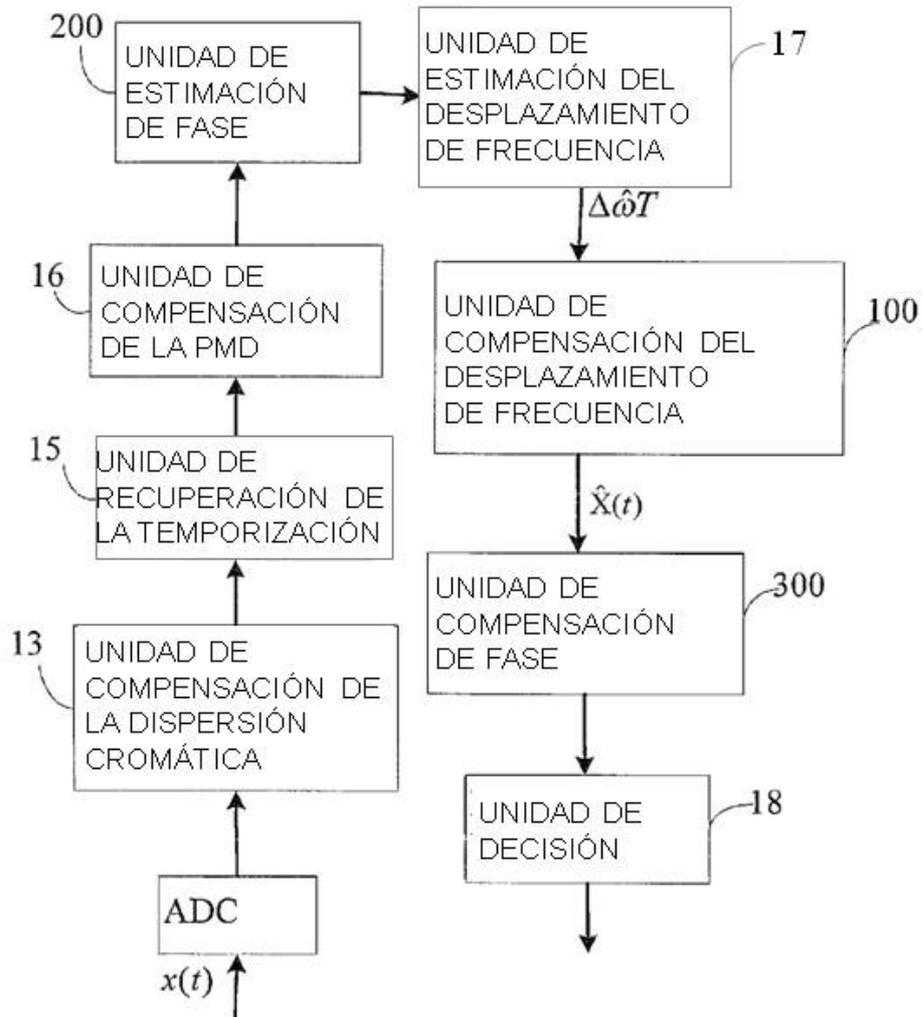


FIG. 1

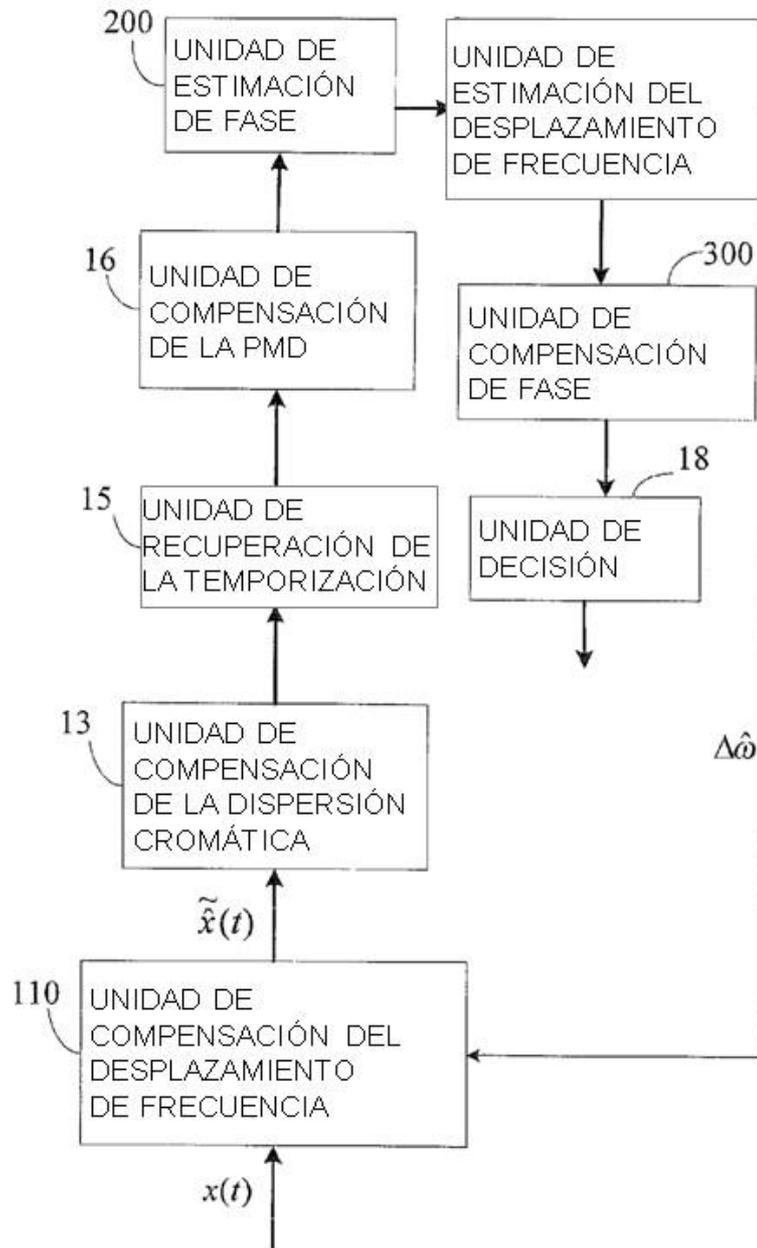


FIG. 2

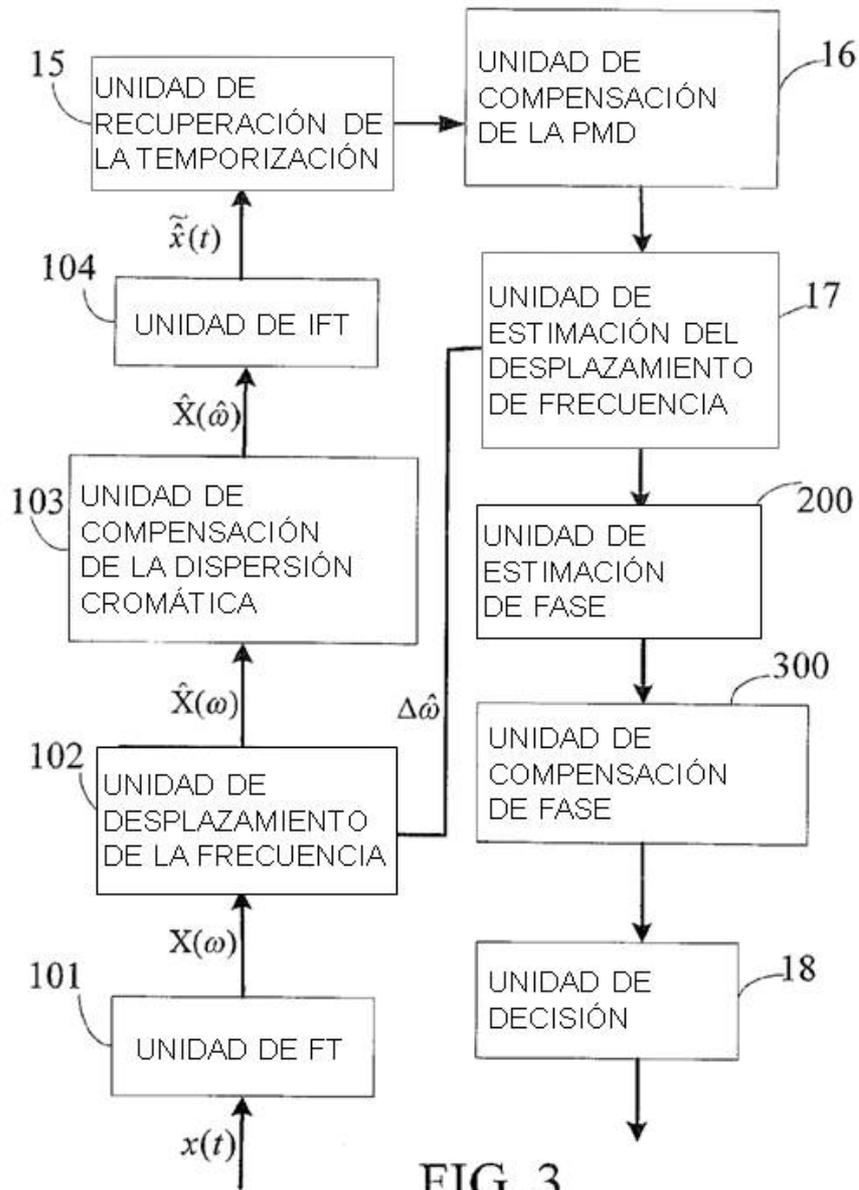


FIG. 3

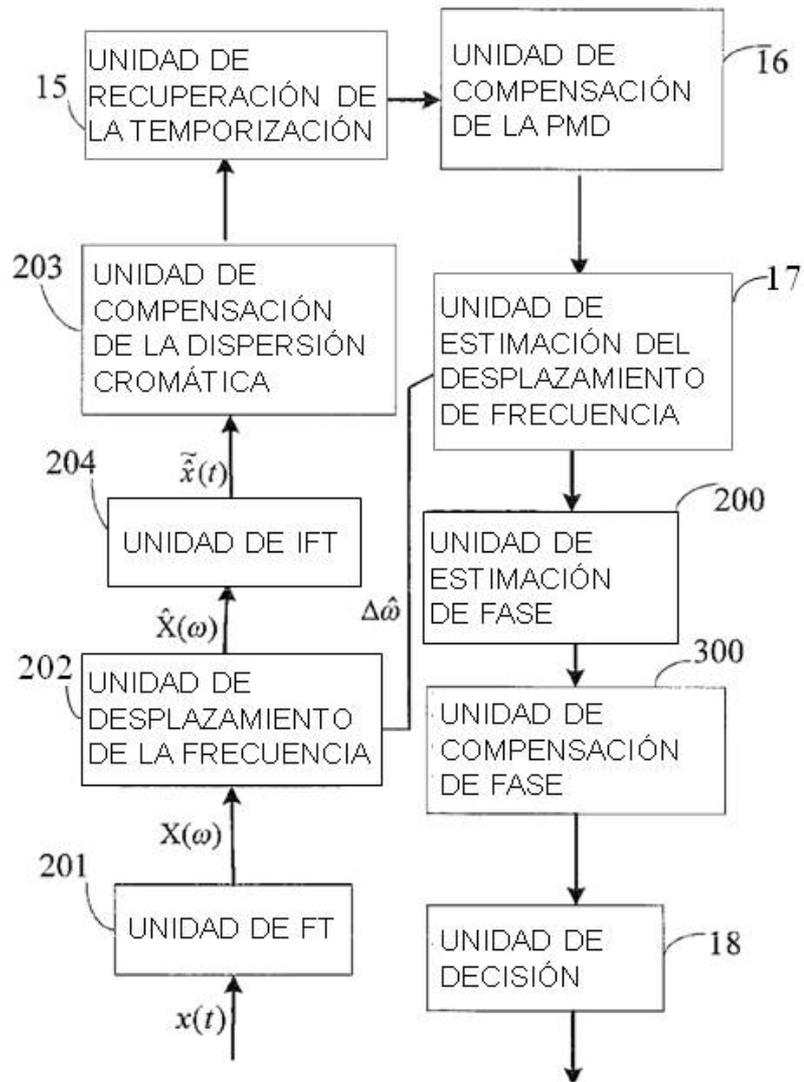


FIG. 4

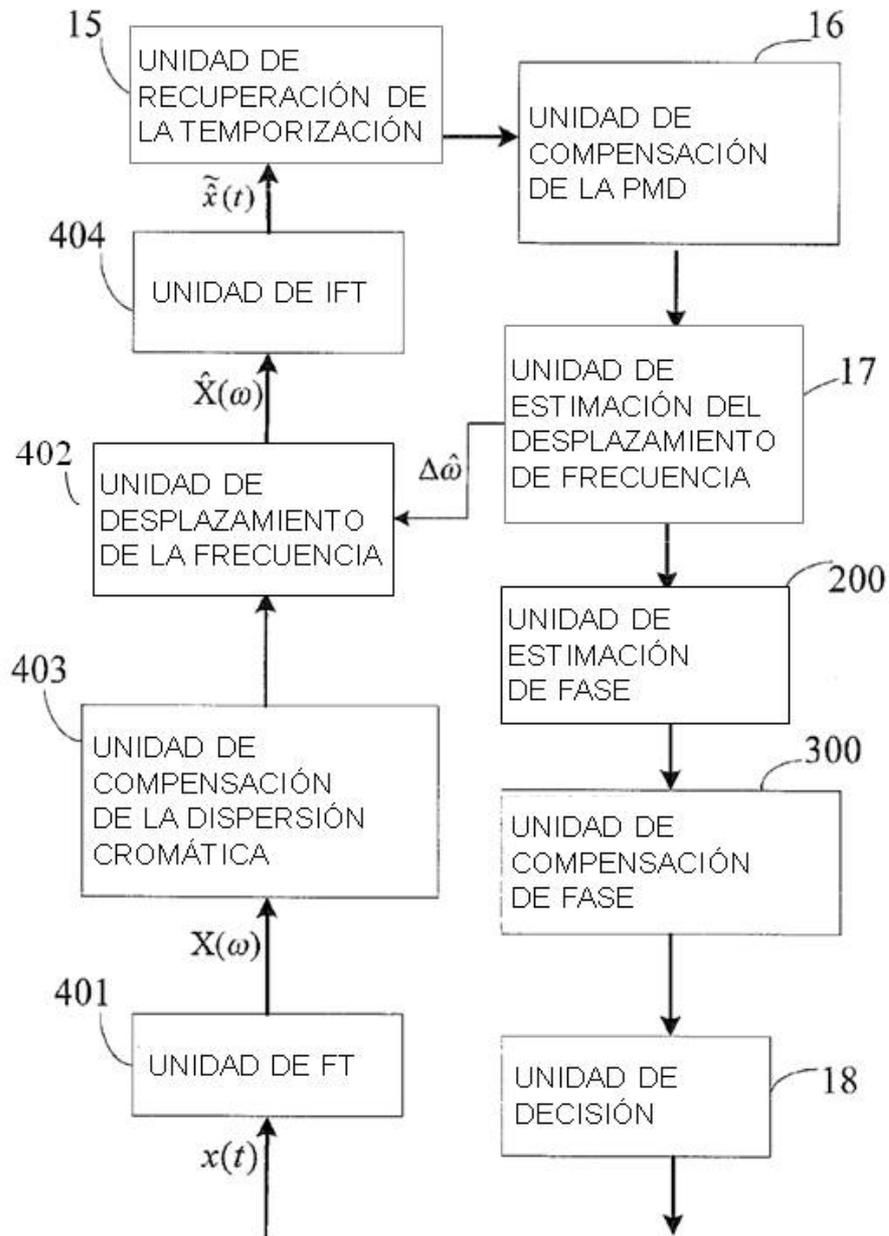


FIG. 5