

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 673**

51 Int. Cl.:

H04B 10/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2011** **E 11162398 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2012** **EP 2385636**

54 Título: **Amplificación de señales ópticas intercaladas**

30 Prioridad:

07.05.2010 US 775922

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

08.03.2013

73 Titular/es:

**EXELIS INC. (100.0%)
1650 Tysons Boulevard, Suite 1700
McLean, VA 22102 , US**

72 Inventor/es:

CUNNINGHAM, JAMES

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 397 673 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

Amplificación de señales ópticas intercaladas

Antecedentes

5 Los sistemas de comunicación óptica en espacio libre son capaces de transmitir datos con alta tasa de datos a grandes distancias. Los esquemas de adquisición y las capacidades de seguimiento y apunte preciso de haz son necesarios para la comunicación entre plataformas móviles (por ejemplo, vehículos aéreos, espaciales y terrestres). Particularmente con plataformas aéreas, donde el movimiento de las aeronaves puede ser rápido e imprevisible, es fundamental que el esquema de apunte y seguimiento proporcione una guía adecuada para dirigir los rayos de láser de datos.

10 Considérese un escenario en el que dos terminales de comunicación óptica, cuyas posiciones relativas pueden cambiar, se acoplan en una comunicación de doble sentido (p. ej., uno cualquiera o ambos terminales son móviles). En cada terminal, una de las opciones para determinar la dirección angular del otro terminal (es decir, el terminal de extremo remoto) es la división de una parte de la señal de datos (por ejemplo, un rayo láser) recibida desde el terminal de extremo remoto y determinar el ángulo de llegada de la señal de datos dividida. Este enfoque tiene una serie de desventajas. La potencia de la señal recibida se debe dividir entre dos detectores, uno para detectar el ángulo de apunte y otro para recibir los datos. Mediante el uso de una parte de la señal de datos recibida para la detección de la posición angular, sólo la parte restante de la señal de datos recibida se encuentra disponible para la recepción de los datos, reduciéndose de ese modo la potencia de la señal en el receptor y reduciéndose el alcance máximo de funcionamiento del sistema. Por otra parte, es conveniente minimizar el ancho de haz (*beamwidth*) de la señal de datos con el fin de maximizar la intensidad de la señal y el alcance de funcionamiento. Habida cuenta del limitado alcance angular de la señal de datos, la adquisición inicial de un terminal remoto es difícil con la señal de datos. De igual manera, una vez que se ha establecido un enlace de comunicación entre los terminales, puede ser difícil para los terminales realizar el seguimiento continuo entre sí utilizando rayos láser estrechos de señal de datos, ya que cada terminal puede salirse con bastante rapidez del haz cuando la dirección angular relativa de los terminales está cambiando rápidamente.

Otra opción para determinar la dirección angular de un terminal de extremo remoto es generar y transmitir por separado tanto la señal de datos como una señal de baliza. La señal de baliza puede tener un mayor ancho de haz, que resulta más adecuado para la adquisición y el seguimiento. Sin embargo, si se crean dos señales separadas, el tamaño, peso y potencia del sistema normalmente se duplica. Además, las dos señales deben combinarse juntas con alta potencia, lo que normalmente se realiza en espacio libre utilizando costosas ópticas que requieren un cuidadoso alineamiento.

30 El documento de patente EP 0 653 852 A1 describe un sistema de comunicación óptica en espacio libre en el que una señal piloto y una señal principal pueden estar superpuestas una encima de otra mediante multiplexado de longitud de onda, multiplexado por división de tiempo o multiplexado de código.

35 En consecuencia, sigue existiendo la necesidad de un sistema capaz de generar dos señales ópticas, tales como señales de datos y de baliza en un sistema de comunicación óptica, sin aumentar de forma significativa el tamaño, el peso y la potencia del sistema con relación a un sistema de señales individuales y sin disminuir la potencia de la señal.

Sumario

40 Una técnica para generar una señal de datos y una señal de baliza para comunicaciones ópticas en espacio libre implica generar una señal de datos que tiene una primera longitud de onda óptica y una señal de baliza que tiene una segunda longitud de onda óptica. La señal de datos se codifica con los datos mediante modulación con una primera tasa de modulación. La señal de baliza es una versión invertida de la señal de datos y puede ser modulada aún más con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación. Las señales de datos y de baliza se combinan ópticamente para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos. La señal combinada es amplificada a través de un amplificador de fibra, y la señal combinada se suministra a la óptica de transmisor para transmitir la señal de datos y la señal de baliza al espacio libre.

50 La técnica de intercalado de la invención permite que tanto la señal de datos como la señal de baliza sean amplificadas utilizando un único amplificador, tal como un amplificador de fibra dopada con erbio, permitiendo al mismo tiempo que ambas señales sean amplificadas a todo el alcance de la amplificación disponible desde el amplificador. Debido a la generación de una señal de baliza clara para la adquisición y el seguimiento, no es necesario utilizar una parte de la señal de datos en el receptor de extremo remoto para este propósito, de modo que no hay disminución de la potencia de la señal disponible para la detección de la señal de datos en un receptor de extremo remoto. Sin embargo, la señal de baliza se genera sin aumentar considerablemente los requisitos de tamaño, peso, potencia y coste de un sistema transmisor óptico. La modulación de la señal de baliza con una menor tasa de modulación mediante, por ejemplo, conmutación de encendido-apagado (*on-off keying*) simplifica la detección de la señal de baliza en el receptor de extremo remoto.

La invención propone un método para la generación de una señal de datos y una señal de baliza para comunicaciones ópticas en espacio libre, el método comprende generar una señal de datos que tiene una primera longitud de onda óptica, la señal de datos está modulada con una primera tasa de modulación para codificar los datos; generar una señal de baliza que tiene una segunda longitud de onda óptica, la señal de baliza comprende una versión invertida de la señal de datos; combinar ópticamente las señales de datos y de baliza para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos; amplificar la señal combinada; y transmitir la señal de datos y la señal de baliza al espacio libre. A continuación se mencionan características ventajosas. La señal de baliza puede ser modulada aún más con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación. La primera modulación puede ser modulación por conmutación de encendido-apagado (OOK del inglés *on-off keying*) con una tasa de por lo menos un megahercio, y en donde la segunda modulación es modulación OOK con una tasa menor a un megahercio. La segunda modulación puede tener un ciclo de trabajo de aproximadamente un 50%. Además, la señal combinada puede ser amplificada por un amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA). En una etapa preferida la señal de baliza comprende: suministrar la señal de datos en forma eléctrica a un recorrido de señal de baliza; invertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza; modular la señal de datos en el recorrido de señal de baliza con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación; y convertir la señal de datos en el recorrido de señal de baliza a una señal óptica con la segunda longitud de onda óptica, en donde la inversión, modulación y conversión de la señal de datos a lo largo del recorrido de señal de baliza produce la señal de baliza con la segunda longitud onda óptica. La conversión de la señal de datos en una señal óptica puede realizarse aguas abajo de por lo menos una de entre la inversión de la señal de datos y la modulación de la señal de datos en el recorrido de señal de baliza. La conversión de la señal de datos en una señal óptica puede realizarse aguas arriba de por lo menos una de entre la inversión de la señal de datos y la modulación de la señal de datos en el recorrido de señal de baliza. La inversión de la señal de datos puede realizarse aguas abajo de la conversión de la señal de datos en señal óptica. En una etapa preferida la señal de datos comprende: suministrar la señal de datos en forma eléctrica a un recorrido de señal de datos; y convertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de datos en la señal de datos con la primera longitud de onda óptica. Un método alternativo para generar señales ópticas, primera y segunda, que comprende: suministrar una señal común a los recorridos de las señales, primera y segunda, la señal común está modulada con una primera tasa de modulación para codificar la información; generar, a partir de la señal común en el primer recorrido de señal, una primera señal óptica que tiene una primera longitud de onda óptica; generar, a partir de la señal común en el segundo recorrido de señal, una segunda señal óptica que tiene una segunda longitud de onda óptica, la segunda señal óptica comprende una versión invertida de la señal común y se modula aún más con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación; combinar ópticamente la primera y la segunda señal óptica para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la primera señal óptica está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la segunda señal óptica; amplificar la señal combinada; y suministrar la señal combinada a la óptica de transmisión para la transmisión de la primera y la segunda señal óptica.

La invención propone un aparato para la generación de una señal de datos y una señal de baliza para comunicaciones ópticas en espacio libre, que comprende; un generador de señal de datos configurado para generar una señal de datos que tiene una primera longitud de onda óptica, la señal de datos está modulada con una primera tasa de modulación para codificar los datos; un generador de señal de baliza configurado para generar una señal de baliza que tiene una segunda longitud de onda óptica, la señal de baliza comprende una versión invertida de la señal de datos; un combinador óptico configurado para combinar ópticamente las señales de datos y de baliza para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos; un amplificador de fibra configurado para amplificar la señal combinada; y óptica de transmisor para transmitir la señal de datos y la señal de baliza al espacio libre. Preferiblemente el generador de señal de baliza puede estar configurado para modular aún más la señal de baliza con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación. La primera modulación puede ser modulación por conmutación de encendido-apagado (OOK del inglés *on-off keying*) con una tasa de por lo menos un megahercio, y en donde la segunda modulación es modulación OOK con una tasa menor a un megahercio. El generador de señal de baliza preferentemente comprende: un inversor, un modulador y un módulo de láser dispuestos a lo largo de un recorrido la señal de baliza configurado para recibir la señal de datos en forma eléctrica en un extremo de entrada y suministrar la señal de baliza al combinador óptico en un extremo de la salida, en donde: el inversor está configurado para invertir la señal de datos sobre el recorrido de señal baliza; el modulador está configurado para modular la señal de datos sobre el recorrido de baliza con la segunda tasa de modulación; y el módulo de láser está configurado para convertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza a una señal óptica con la segunda longitud de onda óptica. Además el modulador puede comprender un conmutador configurado para aplicar modulación de encendido-apagado a la señal de datos. El módulo de láser puede disponerse aguas abajo de por lo menos uno de entre el inversor y el modulador a lo largo del recorrido de señal de baliza. El módulo de láser puede disponerse aguas arriba de por lo menos uno de entre el inversor y el modulador a lo largo del recorrido de señal de baliza. El inversor puede disponerse aguas abajo del módulo de láser. Además, el generador de señal de datos comprende un módulo de láser configurado para convertir la señal de datos en forma eléctrica en la señal de datos con la primera longitud de onda óptica. El módulo de láser puede ser un módulo de semilla láser sintonizable. El amplificador de fibra puede comprender un amplificador de fibra dopada con erbio. Un aparato alternativo para generar señales ópticas, primera y segunda, comprende: unos medios para

5 suministrar una señal común a los recorridos de señales, primera y segunda, la señal común está modulada con una primera tasa de modulación para codificar la información; unos medios para generar, a partir de la señal común en el primer recorrido de señal, una primera señal óptica que tiene una primera longitud de onda óptica; unos medios para generar, a partir de la señal común en el segundo recorrido de señal, una segunda señal óptica que tiene una segunda longitud de onda óptica, la segunda señal óptica comprende una versión invertida de la señal común y se modula aún más con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación; unos medios para combinar ópticamente la primera y la segunda señal óptica para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la primera señal óptica está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la segunda señal óptica; unos medios para amplificar la señal combinada; y unos medios para transmitir la primera y la segunda señal óptica.

10 Lo anterior e incluso características y ventajas adicionales de la presente invención serán más evidentes al considerar las siguientes definiciones, descripciones y figuras descriptivas de realizaciones específicas de la misma, en donde números de referencia similares en las diversas figuras se utilizan para designar componentes similares. Si bien estas descripciones entran en detalles específicos de la invención, debe entenderse que pueden existir variaciones y serán evidentes para los expertos en la técnica basándose en las descripciones de esta memoria.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de nivel superior de un ejemplo de sistema transmisor que ilustra los conceptos de la invención.

La Fig. 2 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación del sistema transmisor mostrado en la Fig. 1.

20 La Fig. 3 es un diagrama de secuencia temporal de señal que muestra segmentos de las señales de datos y de baliza generadas por un sistema transmisor según una realización de la invención.

La Fig. 4 es un diagrama que ilustra conceptualmente la combinación de las señales de datos y de baliza de una manera intercalada sin superponerse.

25 La Fig. 5 es un diagrama de flujo funcional que ilustra las operaciones que se realizan para generar las señales de datos y de baliza según una realización de la invención.

La Fig. 6 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación del sistema transmisor mostrado en la Fig. 1.

La Fig. 7 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación del sistema transmisor mostrado en la Fig. 1.

Descripción detallada

30 En esta memoria se describe una técnica de creación de señales de datos y de baliza para comunicación óptica en espacio libre en la que sólo se necesita un amplificador, tal como un amplificador de fibra dopada con erbio, para amplificar ambas señales antes de la transmisión. Al generar la señal de baliza utilizando la forma de la señal de datos, la potencia de la señal de baliza se intercala y no se superpone en el tiempo con la potencia de la señal de datos cuando las señales de datos y de baliza se combinan ópticamente. Las dos señales se pueden combinar con baja potencia y luego se amplifican juntas con un amplificador común. De esta manera, se obtiene la potencia máxima total del amplificador en la señal de datos, y la señal de baliza es capaz de utilizar el amplificador durante los periodos en que no se necesita para la señal de datos para crear un máximo de potencia completa sino una señal de baliza de la mitad de potencia media. Como resultado, una señal de baliza puede transmitirse sin reducir la potencia disponible para la señal de datos y sin aumentar significativamente el tamaño, el peso y el coste del sistema transmisor.

40 La Fig. 1 es un diagrama de bloques de nivel superior de un ejemplo de sistema transmisor 100 que ilustra los conceptos de la invención. Una señal de datos es suministrada por una fuente 110 de datos, tal como un módem. La señal de datos puede ser una señal eléctrica codificada con datos que se van a transmitir a un terminal de extremo remoto. Por ejemplo, la fuente 110 de datos puede codificar datos hasta la señal de datos mediante conmutación de encendido-apagado (OOK) con una primera tasa de modulación. Con modulación OOK, la señal de datos se alterna secuencialmente entre un primer nivel de potencia y un segundo nivel de potencia que es preferentemente un nivel muy bajo o nulo de potencia, lo que da lugar a intervalos de plena potencia e intervalos sustancialmente sin potencia. Un "0" lógico puede representarse por la ausencia de potencia en un intervalo, y un "1" lógico puede representarse por la presencia de energía en un intervalo, o viceversa. Opcionalmente, se puede emplear un esquema de codificación que asegura un ciclo de trabajo de encendido-apagado de aproximadamente un 50% (es decir, la señal está a plena potencia aproximadamente la mitad del tiempo y sin potencia aproximadamente la mitad del tiempo). Para transmitir información de forma rápida, la primera tasa de modulación puede ser por lo menos un megahercio (MHz) y puede ser muchos órdenes de magnitud mayor, posiblemente superior a uno o muchos gigahercios (GHz).

55 La señal de datos puede utilizarse para transmitir prácticamente cualquier tipo de información o datos, incluyendo, aunque no se limita a lo siguiente: datos de sensores, señales de navegación, señales de voz/audio, señales de

imagen, señales de vídeo, datos relativos a una aplicación que se ejecuta en un procesador, señales de control y señales de protocolo de comunicación o de encabezado (por ejemplo, en relación con el protocolo de comunicación, establecimiento de comunicación, enrutamiento, configuración de equipos, etc.). En particular, los sensores que recogen información de inteligencia, vigilancia y reconocimiento generan una cantidad considerable de datos y pueden beneficiarse de las altas tasas de datos empleadas en las comunicaciones ópticas para la transmisión de la información en un plazo razonable de tiempo.

La señal de datos se suministra a un generador 120 de señal óptica de datos en un recorrido de señal de datos y a un generador 130 de señal óptica de baliza en un recorrido de señal de baliza que está en paralelo con el recorrido de señal de datos. El generador 120 de señal óptica de datos convierte la señal de datos en una señal óptica con una primera longitud de onda óptica λ_1 , que se suministra como una salida a una fibra óptica. La señal óptica de datos de salida conserva la modulación de datos con la primera tasa de modulación contenida en la señal original de datos.

El generador 130 de señal óptica de baliza convierte la señal de datos en una señal óptica de baliza con una segunda longitud de onda óptica λ_2 que es diferente de la primera longitud de onda óptica. La señal de baliza es una versión modificada invertida de la señal de datos. En particular, la señal de baliza conserva la modulación de datos de la señal de datos, pero la señal de baliza tiene potencia durante determinados intervalos de tiempo en los que la señal de datos no tiene potencia, y la señal de baliza no tiene potencia durante los intervalos de tiempo en los que la señal de datos tiene potencia. Además, el generador 130 de señales ópticas de baliza modula aún más la señal de baliza con la segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación (p. ej., por lo menos un orden de magnitud inferior y quizá varios órdenes de magnitud inferior), como se describe con más detalle a continuación. El generador 130 de señal óptica de baliza suministra la señal óptica de baliza como una salida a una fibra óptica. Por lo tanto, la señal de baliza resultante es modulada con la primera tasa de modulación (de datos), aunque de forma invertida, y con la segunda tasa de modulación (de baliza) que es inferior a la tasa de modulación de datos.

Un combinador óptico 140 recibe las fibras ópticas del generador 120 de señal óptica de datos y el generador 130 de señal óptica de baliza, que contienen respectivamente las señales de datos y de baliza con longitudes de onda ópticas λ_1 y λ_2 , y combina las señales de datos y de baliza en una señal combinada en una fibra común de salida. Debido a la inversión de señal de baliza con relación a la señal de datos, dentro de la señal combinada, la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos. La señal combinada se suministra a un amplificador 150 de fibra, que amplifica la señal combinada. De esta manera, un amplificador común amplifica la señal de datos y la señal de baliza sin sacrificar la plena amplificación de cualquiera de las señales. La señal combinada amplificada se suministra entonces al transmisor óptico 160, que transmite las señales de datos y de baliza al espacio libre. La óptica 160 de transmisor puede discriminar entre la señal de datos y de baliza en función de sus diferentes longitudes de onda a fin de procesar las señales por separado. Por ejemplo, las señales de datos y de baliza pueden ser dirigidas a recorridos diferentes, y se puede aplicar una mayor divergencia de haz a la señal de baliza a fin de producir un mayor ancho de haz.

A modo de ejemplo, las longitudes de onda ópticas utilizadas para la transmisión y recepción de los rayos láser de datos y de baliza pueden estar en la zona del espectro segura para los ojos (es decir, longitudes de onda superiores a 1,4 micrómetros), tal como las longitudes de onda de las bandas C y L de telecomunicaciones o entre aproximadamente 1530 nm y 1600 nm. Estas longitudes de onda permiten que los componentes ópticos disponibles en el mercado sean utilizados en el transceptor láser. Sin embargo, la invención no se limita a un determinado intervalo de longitudes de onda ópticas. Por lo tanto, tal como se utiliza en esta memoria y en las reivindicaciones, el término "óptico" se refiere en general al intervalo de longitudes de onda de las señales electromagnéticas dentro de las que funciona normalmente un equipo "óptico" (por ejemplo, equipos, transmisores, receptores, etc. de comunicaciones ópticas), incluido el espectro visible, longitudes de onda infrarrojos y longitudes de onda ultravioleta.

La Fig. 2 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación del sistema transmisor 100 mostrado en la Fig. 1. En este ejemplo, el generador de señales ópticas de datos comprende un módulo de láser 205 tal como un módulo de semilla de láser sintonizable, que puede ser un módulo de láser conectable con factor de forma pequeño (SFP) disponible en el mercado que proporciona una interfaz entre un dispositivo que suministra datos (por ejemplo, tráfico de Ethernet) y una fibra óptica. En este ejemplo, el módulo de láser 205 convierte la señal de datos con forma eléctrica en una señal óptica con la primera longitud de onda λ_1 .

El generador de señal óptica de baliza incluye un inversor 210, un modulador 220 y un módulo de láser 230 dispuestos a lo largo del recorrido de señal de baliza. El inversor 210 recibe la señal de datos de forma eléctrica y genera una señal de salida eléctrica que es la negación lógica de la señal de datos (es decir, la señal de salida es un "1" lógico cuando la señal de datos es un "0" lógico, y la señal de salida es un "0" lógico cuando la señal de datos es un "1" lógico).

El modulador 220 puede ser un conmutador que "trocea" la señal de baliza mediante la modulación de la señal de baliza encendiendo y apagando a una frecuencia relativamente baja para producir una señal de onda cuadrada cuya frecuencia de modulación puede ser detectada en el extremo remoto, tal como se describe con más detalle a

continuación. En efecto, el conmutador aplica una modulación OOK particular a la señal de baliza, pero con una tasa de modulación significativamente menor que la tasa de modulación de datos (por ejemplo, por lo menos un orden de magnitud inferior y quizá varios órdenes de magnitud inferior). A modo de ejemplo, la tasa de modulación de encendido-apagado (es decir, la mencionada tasa de modulación "segunda" o de baliza) de la señal de baliza puede estar en la zona de 4 a 15 kHz y puede ser programable. Se puede utilizar un ciclo de trabajo de encendido-apagado del 50% para producir una onda cuadrada equilibrada. En general, la invención no se limita a ninguna frecuencia de troceo o ciclo de trabajo particulares; de este modo, también se pueden utilizar frecuencias más altas o bajas que las de los ejemplos de intervalos. Sin embargo, la tasa de modulación de datos debe ser lo suficientemente más alta que la tasa de modulación de baliza de modo que la modulación de datos que permanece codificada en la señal de baliza no sea detectable o "vista" por el detector de baliza en el extremo remoto. En el contexto de este ejemplo, la tasa de modulación de baliza debería estar por debajo de 1 MHz que se distingue claramente de la tasa de modulación de datos.

La señal de datos invertida y modulada (troceada) se suministra a continuación a lo largo del recorrido de señal de baliza al módulo de láser 230 que puede ser similar al módulo de láser 205 en el recorrido de señal de datos (p. ej., módulo de semilla de láser sintonizable o SFP), que convierte la señal eléctrica de entrada en una señal óptica con la segunda longitud de onda óptica λ_2 para producir la señal óptica de baliza.

La Fig. 3 es un diagrama temporal que muestra partes representativas de las señales de datos y de baliza una encima de otra para la comparación. La señal de datos es modulada con una primera tasa de modulación (de datos) y comprende una secuencia lógica de unos y ceros que tienen como resultado una señal que alterna entre un primer estado en el que la potencia está presente y un segundo estado en el que prácticamente no hay potencia según los valores de datos que se transmiten. Como se muestra en la parte izquierda de la Fig. 3, las partes de la señal de baliza contienen la misma modulación de datos que la señal de datos, salvo que la señal de baliza comprende datos invertidos cuyo estado lógico es el opuesto al de la señal de datos, de manera que la señal de baliza contiene potencia durante los intervalos en los que la señal de datos no contiene potencia, y la señal de baliza no contiene potencia durante los intervalos en los que la señal de datos contiene potencia. La modulación de encendido-apagado de la señal de baliza tiene como resultado que partes de la señal de baliza permanezcan en un estado de cero lógico (sin potencia). Estas partes de la señal de baliza no contienen la modulación de datos invertidos. Cabe señalar que la tasa de esta modulación de encendido-apagado de la señal de baliza es una tasa significativamente menor que la de modulación de datos.

Volviendo a la Fig. 2, el combinador óptico puede ser implementado con un combinador 240 de fibra que combina las señales de datos y de baliza en la fibra. La Fig. 4 ilustra el efecto de combinar las señales de datos y de baliza. En la señal combinada, las partes de la señal de datos que contienen la potencia de señal (se muestran con rayas cruzadas oblicuas de izquierda a derecha hacia arriba en la Fig. 4) se intercalan con las partes de la señal de baliza que contienen potencia de señal (se muestra con rayas cruzadas oblicuas de izquierda a derecha hacia abajo en la Fig. 4) de tal manera que la potencia de las dos señales sustancialmente no se superpone en el tiempo. Cabe señalar que las dos señales todavía son distinguibles en virtud de sus diferentes longitudes de onda. Por otra parte, durante los períodos en los que la señal de baliza está apagada debido a la modulación de encendido-apagado, sólo la señal de datos está presente en la señal combinada.

Como se muestra en la Fig. 2, el amplificador de fibra puede implementarse con un amplificador de fibra dopada con erbio de un modo único (EDFA del inglés *erbium-doped fiber amplifier*) 250 cuya salida puede suministrarse a un colimador 260 que recibe la señal combinada en el extremo de la fibra y suministra un haz colimado de espacio libre a la óptica de transmisor. Las longitudes de onda de las señales de datos y de baliza (λ_1, λ_2) se pueden seleccionar para estar dentro de la banda de amplificación del EDFA 250. Si, por ejemplo, el EDFA 250 tiene una potencia máxima de 5 vatios, una secuencia típica de datos, con un número igual de ceros y unos lógicos, tendrá una potencia media de datos de 2,5 vatios. Mediante el uso de franjas de ceros lógicos para la transmisión de la señal de baliza, la señal de baliza no utilizará nada de la potencia de la señal de datos. Suponiendo un ciclo de trabajo de modulación de baliza de un 50% con una tasa de nivel de kHz, la señal de baliza será producida con una potencia media de 1,25 vatios usando los 2,5 vatios de potencia "dejada" disponible desde el EDFA 250 durante la mitad de los períodos en los que la señal de datos está en un estado de cero lógico. Cabe señalar que cada una de las dos señales en la señal combinada es la salida del EDFA 250 con la configuración de potencia máxima del EDFA 250.

Una longitud de onda de baliza separada permite el uso total de la señal de baliza entrante en el receptor de extremo remoto en lugar de dividir una fracción de la señal de datos recibida y el seguimiento ya sea de la señal de datos de CC o una modulación de pequeña amplitud e inferior frecuencia en la parte superior de la señal de datos.

La señal de baliza troceada proporciona una serie de ventajas. Puede utilizarse una exclusiva frecuencia de troceo de baliza (segunda tasa de modulación) para cada terminal en un sistema de comunicación óptica, de tal manera que la detección de la frecuencia de troceo identifica qué terminal está enviando la señal de baliza. Por ejemplo, dos terminales pueden establecer comunicación óptica entre sí y mantener el seguimiento, donde un terminal emplea una frecuencia de troceo de baliza de 6.000 Hz y el otro terminal emplea una frecuencia de troceo de baliza de 9.000 Hz.

Otra ventaja de la señal de baliza troceada es que cada terminal puede transmitir y recibir señales de baliza en la misma longitud de onda, dado que la frecuencia de troceo de baliza puede utilizarse para diferenciar una señal de baliza de la otra. Al asignar una frecuencia diferente de modulación de baliza a cada uno de los dos transceptores en el enlace, la modulación de baliza proporciona unos medios para reducir la posibilidad de auto-interferencias debidas a las reflexiones de la baliza saliente de transmisión. Además, esto simplifica mucho el diseño en general de la baliza y la arquitectura del sistema, dado que ni el módulo de láser de baliza ni el receptor deben ser sintonizables o ajustados (la señal de baliza siempre puede ser detectada sin necesidad de sintonización) y el hardware de baliza puede ser idéntico en todos los terminales. Por ejemplo, en la implementación de la Fig. 2, el módulo de láser 230 no tendría que ser sintonizable. Cabe señalar que es mucho más fácil desde el punto de vista de diseño y de funcionamiento ajustar la frecuencia de troceo de la señal de baliza para proporcionar diferenciación entre señales de baliza que utilizar diferentes longitudes de onda como un diferenciador. Opcionalmente, por supuesto, tanto las diferentes frecuencias de troceo como las diferentes longitudes de onda ópticas pueden utilizarse para diferenciar los terminales de fuente si es necesario.

Otra ventaja de trocear la señal de baliza es que la modulación de encendido-apagado crea una señal de onda cuadrada de corriente alterna cuya frecuencia es la de la frecuencia de troceo. En consecuencia, la señal de baliza troceada de láser puede acoplarse en CA a un detector de sensor de posición en el terminal de extremo remoto. Mediante acoplamiento en CA del detector de sensor de posición, las señales continuas que crean una polarización de CC no afectan al proceso de detección. De este modo, por ejemplo, las señales no deseadas tal como la luz parásita de fondo, la radiación solar incluida la luz solar directa e indirecta, y la reflexión fluctuante, que tienden a estar transmitiendo constantemente luz, simplemente provocan una polarización de señal de CC cuando es detectada junto con la señal de baliza troceada y son filtradas automáticamente por el acoplamiento en CA. La modulación de la baliza también facilita las mediciones precisas en un amplio abanico de condiciones ambientales dado que el acoplamiento en CA dentro de la cadena de señal de alta ganancia es inmune a diversos desplazamientos de CC y derivas de desplazamiento derivadas de amplificadores operacionales y de fugas del detector. El filtrado de paso de banda de la señal de baliza recibida también puede atenuar los efectos de interferencia electromagnética de líneas de potencia que inducen zumbido 50 - 400 Hz u otras fuentes de ruido en el medio ambiente. Por lo tanto, el rayo láser de baliza troceada proporciona inmunidad adicional para estos tipos de interferencias, y permite a los terminales de comunicación óptica mantener el seguimiento de terminales de extremo remoto cuando tal interferencia está presente.

Además, los detectores de detección de posición acoplados en CA para determinar el ángulo de llegada de rayos láser tienen anchos de banda de frecuencia que se extienden hasta unos pocos megahercios. En comunicaciones ópticas, los datos pueden ser modulados sobre el rayo láser utilizando modulación en el orden de gigahercios hasta cientos de gigahercios. Esta modulación hace que los rayos láser portadores de datos sean prácticamente invisibles para detectores de detección de posición acoplados en CA, que actualmente no tienen el ancho de banda para las frecuencias de modulación de gigahercios. En consecuencia, la modulación de datos que permanecen en la señal de baliza (en la tasa de MHz o mayor) es demasiado alta en frecuencia para ser detectada por el detector de baliza en el extremo remoto de este esquema. En su lugar, la electrónica del receptor de baliza del extremo remoto solo ve la modulación de frecuencia en kHz.

El ejemplo descrito antes implica la modulación de la señal de baliza con una segunda tasa de modulación que es inferior a la tasa de modulación de datos para proporcionar estas ventajas respecto en la detección de la señal de baliza en el receptor remoto. Sin embargo, la invención no se limita a los esquemas que requieren una modulación adicional de la señal de baliza, y la señal de baliza puede transmitirse sin una modulación adicional (aparte de la modulación de datos), y se pueden utilizar otros esquemas de detección en el receptor remoto para detectar la señal de baliza. La óptica del transmisor puede aplicar una mayor divergencia del haz a la señal de baliza que a la señal de datos para ayudar a la adquisición y seguimiento utilizando la señal de baliza. La Fig. 5 es un diagrama de flujo funcional que resume las operaciones realizadas para generar señales ópticas de datos y de baliza, tal como se describe anteriormente en relación con la Fig. 1. En la operación 510, se genera una señal de datos que tiene una primera longitud de onda óptica, donde la señal de datos es modulada con una primera tasa de modulación (de datos) para codificar los datos. En la operación 520, se genera una señal de baliza que tiene una segunda onda óptica. La señal de baliza es una versión invertida de la señal de datos y, opcionalmente, se modula aún más con una segunda tasa de modulación (de baliza) que es inferior a la primera tasa de modulación. Las señales de datos y de baliza se combinan ópticamente en la operación 530 para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos. La señal combinada es amplificada entonces (operación 540) y la señal de datos y la señal de baliza se transmiten al espacio libre (operación 550).

En la Fig. 2, el generador de señal de baliza óptica es implementado con un inversor 210, un modulador (conmutador) 220, y un módulo de láser 230 dispuestos en secuencia a lo largo del recorrido de señal de baliza. Se apreciará, sin embargo, que la invención no se limita a esta configuración o disposición particular. Los diagramas de bloques mostrados en las Figs. 6 y 7 ilustran otras posibles implementaciones del sistema transmisor. Por ejemplo, en la Fig. 6, un módulo de láser 610 se dispone aguas arriba de un inversor 620 y un modulador 630. En este caso, el inversor 620 y el modulador 630 funcionan sobre la señal óptica de datos a una longitud de onda λ_2 en lugar de en una señal eléctrica como en el caso de la disposición de la Fig. 2. En la Fig. 7, un inversor 710 está dispuesto aguas arriba de un módulo de láser 720, que a su vez está aguas arriba de un modulador 710. Aquí, el inversor 730

funciona sobre una señal eléctrica, mientras que el modulador 730 funciona sobre la señal óptica producida por el módulo de láser 720.

Por otra parte, si bien los sistemas mostrados en las Figs. 2, 6 y 7 implican señales ópticas que se transmiten, combinan y amplifican a través de fibras ópticas y un amplificador de fibra, los principios de la invención pueden emplearse en el contexto de cualquiera de una amplia variedad de mecanismos para transmitir, combinar y amplificar señales. Por ejemplo, las señales de datos y de baliza se pueden combinar y amplificar en espacio libre en lugar de en fibra.

Las señales de datos y de baliza puede ser generadas por una amplia variedad de dispositivos, y la invención no se limita a estos ejemplos. Una o varias de las operaciones de inversión, modulación y conversión óptica llevadas a cabo para crear la señal de baliza pueden ser realizadas por un único dispositivo o pueden ser realizadas por dispositivos contenidos en un circuito integrado común. Por ejemplo, la inversión y la modulación de baliza pueden ser realizadas por un único chip o dispositivo, o el módulo de láser puede contener un mecanismo de conmutación que realiza la modulación de encendido-apagado. Además, el conmutador modulador y/o el inversor pueden ser implementados en hardware o firmware tal como lógica FPGA. Independientemente de los mecanismos concretos utilizados, la creación de las señales de datos y de baliza requiere que las señales se puedan combinar de manera intercalada sin que la potencia atribuible a las dos señales se superponga sustancialmente en el tiempo de modo que las señales puedan ser totalmente amplificadas por un amplificador común. Esto se logra en este ejemplo porque la señal de baliza incluye el mismo patrón de modulación de datos que la señal de datos pero con una forma invertida.

En los ejemplos descritos anteriormente, la señal de baliza es modulada principalmente con el propósito de permitir la detección de señal de baliza (p. ej., por detección de una onda cuadrada a una frecuencia particular en el intervalo de kilohercios). Sin embargo, también es posible modular la señal de baliza con la segunda tasa de modulación para codificar aún más los datos en la señal de baliza. Por ejemplo, la información de control relativa al seguimiento de baliza podría ser codificada en la señal empleando modulación OOK con la segunda tasa de modulación en lugar de simplemente encender y apagar la señal de baliza con una frecuencia constante.

El sistema transmisor para generar señales ópticas de datos y de baliza descrito en esta memoria puede ser empleado en un terminal de comunicación óptica (p. ej., láser) diseñado para funcionar en un sistema de comunicación láser con plataformas móviles, donde las posiciones relativas de los terminales cambian con el tiempo. El sistema puede incluir, por ejemplo, terminales montados en plataformas aéreas, satélites, naves, embarcaciones o vehículos terrestres, así como terminales estacionarios que se comunican con terminales montados sobre plataformas móviles (por ejemplo, combinaciones de enlaces aire-aire y aire-tierra).

Si bien la invención ha sido descrita en el contexto de las comunicaciones ópticas en espacio libre donde se utiliza una señal de baliza para la adquisición y el seguimiento y se utiliza una señal de datos separada para transmitir los datos, más en general los conceptos de la invención pueden utilizarse en un sistema óptico donde dos señales ópticas se han de transmitir y una de las señales requiere una tasa de modulación relativamente más alta. Por ejemplo, la modulación OOK con una primera tasa de modulación puede ser aplicada a una señal común para codificar datos, y la señal común puede ser suministrada a unos recorridos de primera y segunda señal en la forma descrita anteriormente. Una primera señal óptica que tiene una primera longitud de onda óptica puede ser generada a partir de la señal suministrada al recorrido de primera señal. Una segunda señal óptica que tiene una segunda longitud de onda óptica puede ser generada a partir de la señal común en el recorrido de segunda señal, en donde la segunda señal óptica comprende una versión invertida de la señal común y es además modulada con una segunda tasa de modulación que es menor que la primera tasa de modulación para codificar datos adicionales. En otras palabras, la segunda señal óptica no tiene que ser una señal de baliza para la adquisición y seguimiento, pero podría ser otra señal de datos que lleva datos modulados a través de la segunda modulación de menor frecuencia. Las dos señales se pueden combinar ópticamente entonces para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la primera señal óptica está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la segunda señal óptica, como se ha descrito anteriormente. La señal combinada puede entonces ser amplificada, amplificando de ese modo a la vez la primera y la segunda señal. Las dos señales pueden transmitirse entonces. Cabe señalar que este mecanismo no se limita a la transmisión a través de un espacio libre en un sistema de comunicación óptica en espacio libre y pueden utilizarse en un sistema óptico utilizando cualquier medio de transmisión.

Tras haber descrito unas realizaciones preferidas de una técnica nueva y mejorada para la amplificación de señales ópticas intercaladas, se cree que se sugerirán otras modificaciones, variaciones y cambios a los expertos en la técnica a la vista de las enseñanzas establecidas en esta memoria. Por lo tanto, se debería entender que todas estas variaciones, modificaciones y cambios se cree que se encuentran dentro del alcance de la presente invención tal como se definen en las reivindicaciones anexas. Si bien en esta memoria se emplean términos específicos, se utilizan en un sentido genérico y descriptivo y no sólo con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un método para generar una señal de datos y una señal de baliza para comunicaciones ópticas en espacio libre, el método comprende:
- 5 generar una señal de datos que tiene una primera longitud de onda óptica, la señal de datos está modulada con una primera tasa de modulación para codificar datos;
- generar una señal de baliza que tiene una segunda longitud de onda óptica, la señal de baliza comprende una versión invertida de la señal de datos;
- 10 combinar ópticamente las señales de datos y de baliza para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos;
- amplificar la señal combinada; y
- transmitir la señal de datos y la señal de baliza al espacio libre.
2. El método de la reivindicación 1, en donde la señal de baliza se modula aún más con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación.
- 15 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde la primera modulación es modulación por conmutación de encendido-apagado (OOK del inglés *on-off keying*) con una tasa de por lo menos un megahercio, y en donde la segunda modulación es modulación OOK con una tasa menor a un megahercio.
4. El método de la reivindicación 2 o 3, en donde la segunda modulación tiene un ciclo de trabajo de aproximadamente el 50%.
- 20 5. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en donde la señal combinada es amplificada por un amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA).
6. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en donde la generación de la señal de baliza comprende:
- suministrar la señal de datos en forma eléctrica a un recorrido de señal de baliza;
- 25 invertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza;
- modular la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza con la segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación; y
- 30 convertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza a una señal óptica con la segunda longitud de onda óptica, en donde la inversión, modulación y conversión de la señal de datos a lo largo del recorrido de señal de baliza produce la señal de baliza con la segunda longitud de onda óptica.
7. El método de la reivindicación 6, en donde la conversión de la señal de datos en una señal óptica se realiza
- aguas abajo de por lo menos una de entre la inversión de la señal de datos y la modulación de la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza; o
 - aguas arriba de por lo menos una de entre la inversión de la señal de datos y la modulación de la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza.
- 35 8. Un aparato (100) para generar una señal de datos y una señal de baliza para comunicaciones ópticas en espacio libre, que comprende:
- un generador (120, 205) de señal de datos configurado para generar una señal de datos que tiene una primera longitud de onda óptica, la señal de datos está modulada con una primera tasa de modulación para codificar datos;
- 40 un generador (130, 210-230; 610-630; 710-730) de señal baliza configurado para generar una señal de baliza que tiene una segunda longitud de onda óptica, la señal de baliza comprende una versión invertida de la señal de datos;
- un combinador óptico (140; 240) configurado para combinar ópticamente las señales de datos y de baliza para producir una señal combinada en la que la potencia atribuible a la señal de baliza está intercalada y sustancialmente no se superpone en el tiempo con la potencia atribuible a la señal de datos;
- 45 un amplificador (150, 250) de fibra configurado para amplificar la señal combinada; y
- óptica de transmisor configurada para transmitir la señal de datos y la señal de baliza al espacio libre.

9. El aparato de la reivindicación 8, en donde el generador (210-230; 610-630; 710-730) de señal de baliza está configurado para modular aún más la señal de baliza con una segunda tasa de modulación que es inferior a la primera tasa de modulación.
- 5 10. El aparato de la reivindicación 8 o 9, en donde la primera modulación es modulación por conmutación de encendido-apagado (OOK del inglés *on-off keying*) con una tasa de por lo menos un megahercio, y en donde la segunda modulación es modulación OOK con una tasa menor a un megahercio.
11. El aparato de una de las reivindicaciones 8 a 10, en donde el generador de señal de baliza comprende:
- 10 un inversor (210, 620, 710), un modulador (220; 630; 730) y un módulo de láser (230; 610; 720) dispuestos a lo largo de un recorrido de señal de baliza configurados para recibir la señal de datos en forma eléctrica en un extremo de entrada y para suministrar la señal de baliza al combinador óptico en un extremo de salida, en donde:
- el inversor (210; 620; 710) está configurado para invertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza;
- el modulador (220; 620; 710) está configurado para modular la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza con la segunda tasa de modulación; y
- 15 el módulo de láser (230; 610; 720) está configurado para convertir la señal de datos sobre el recorrido de señal de baliza en una señal óptica con la segunda longitud de onda óptica.
12. El aparato de la reivindicación 11, en donde el modulador (220; 630; 730) comprende un conmutador configurado para aplicar la modulación de encendido-apagado a la señal de datos.
13. El aparato de la reivindicación 11 o 12, en donde el módulo de láser (230; 610; 720) está dispuesto
- 20 aguas abajo de por lo menos uno de entre del inversor y el modulador a lo largo del recorrido de señal de baliza; o
- aguas arriba de por lo menos uno de entre del inversor y el modulador a lo largo del recorrido de señal de baliza.
14. El aparato de una de las reivindicaciones 11 a 13, en donde el inversor (620) está dispuesto aguas abajo del módulo de láser.
15. El aparato de una de las reivindicaciones 8 a 14, en donde el generador de señal de datos comprende un
- 25 módulo de láser (205) configurado para convertir la señal de datos en forma eléctrica en la señal de datos con la primera longitud de onda óptica.

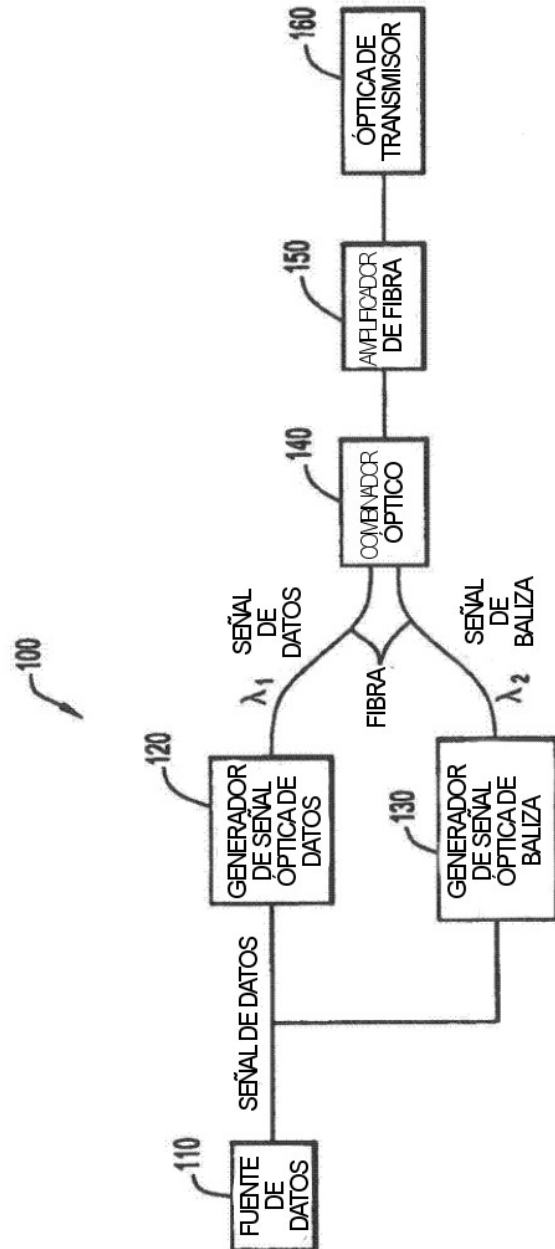


FIG.1

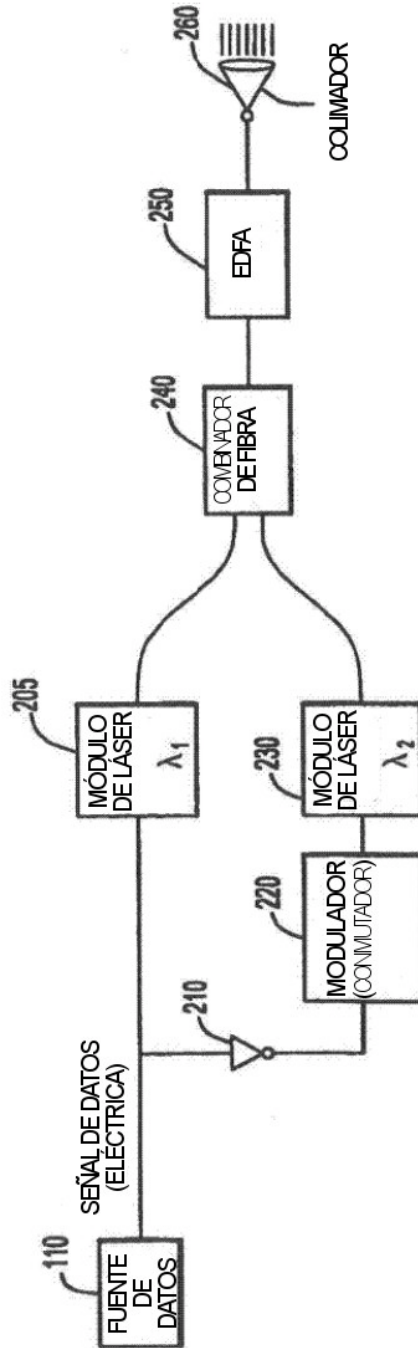


FIG2

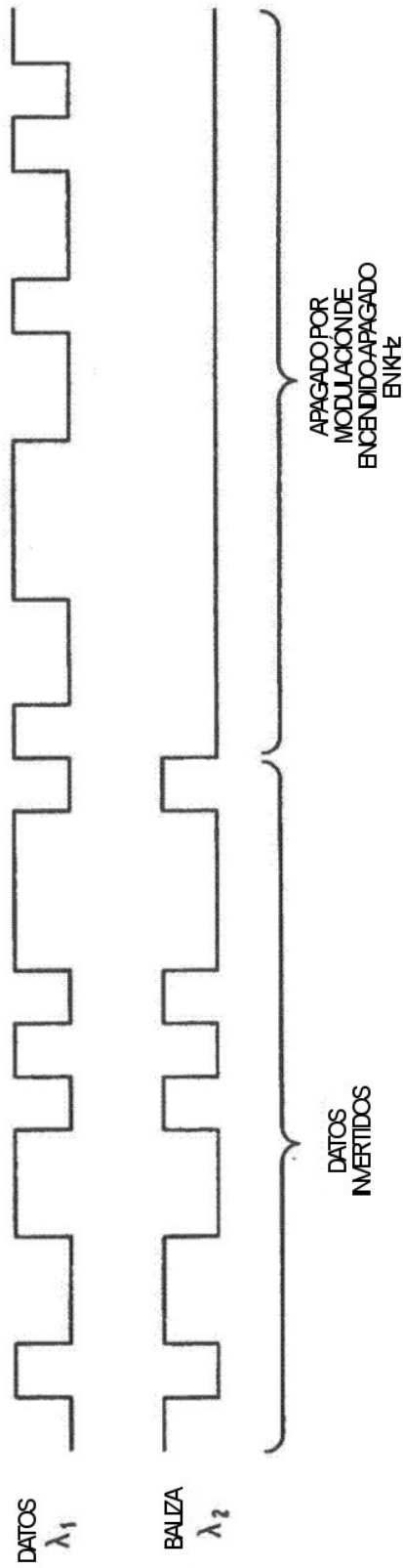


FIG.3

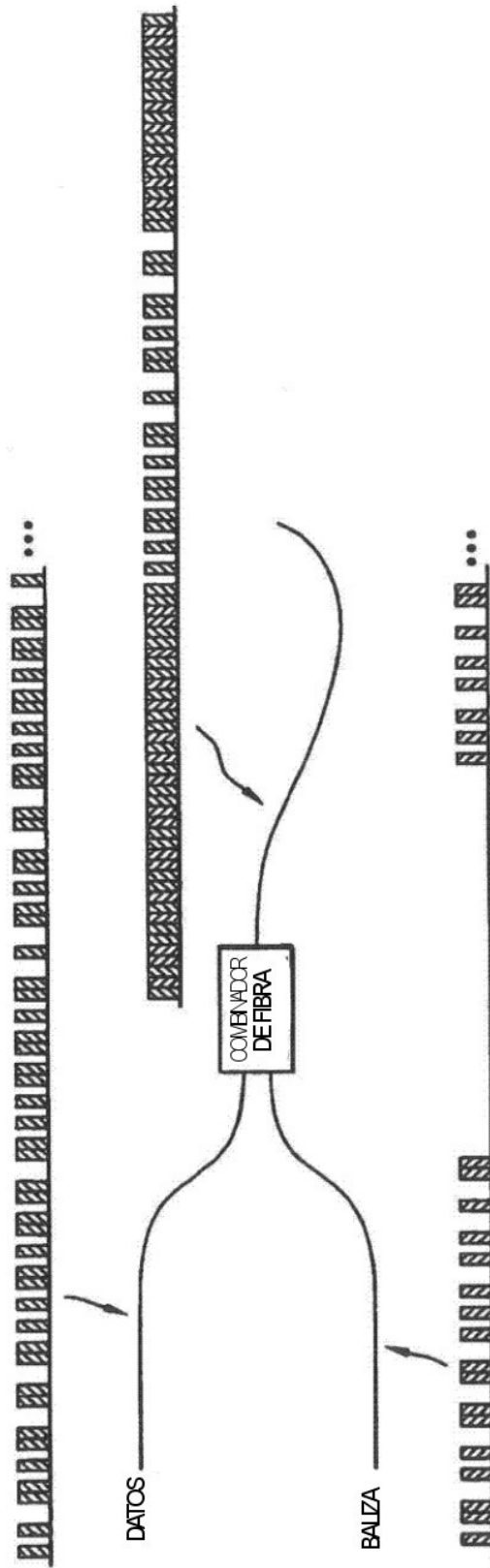


FIG.4

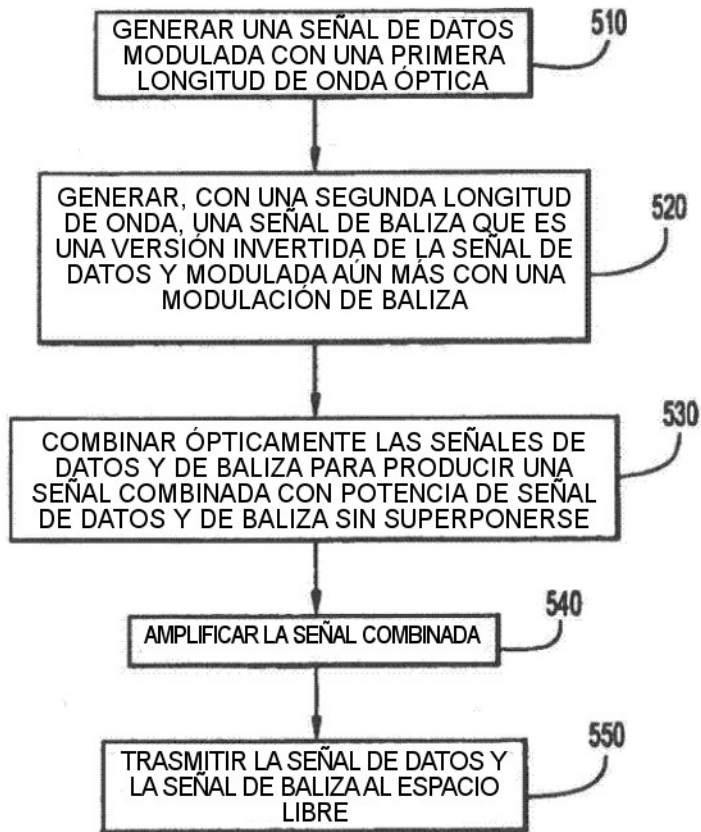


FIG.5

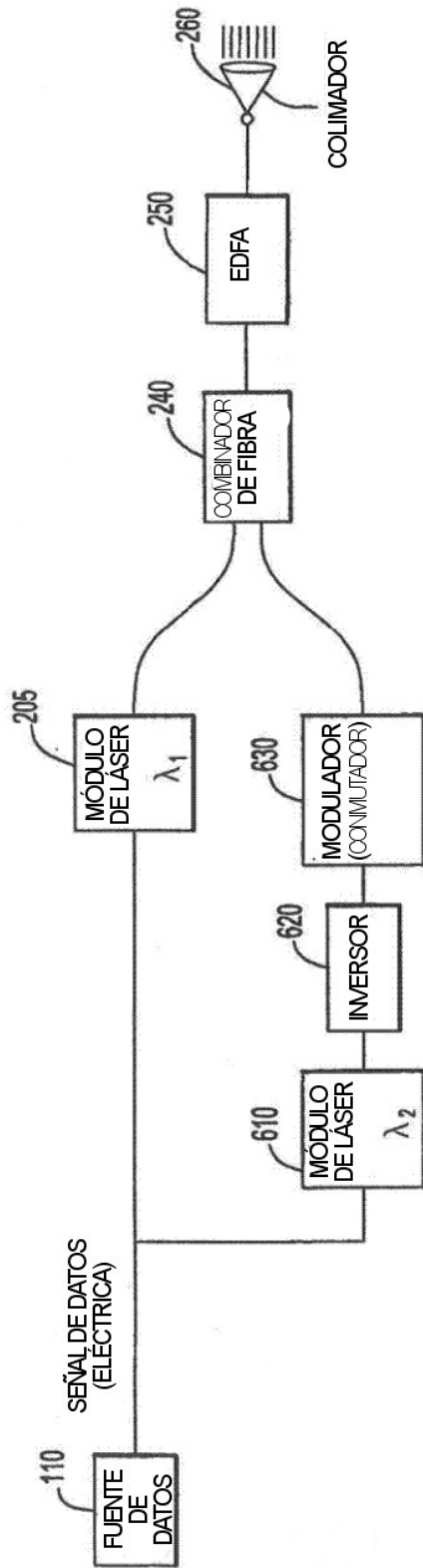


FIG.6

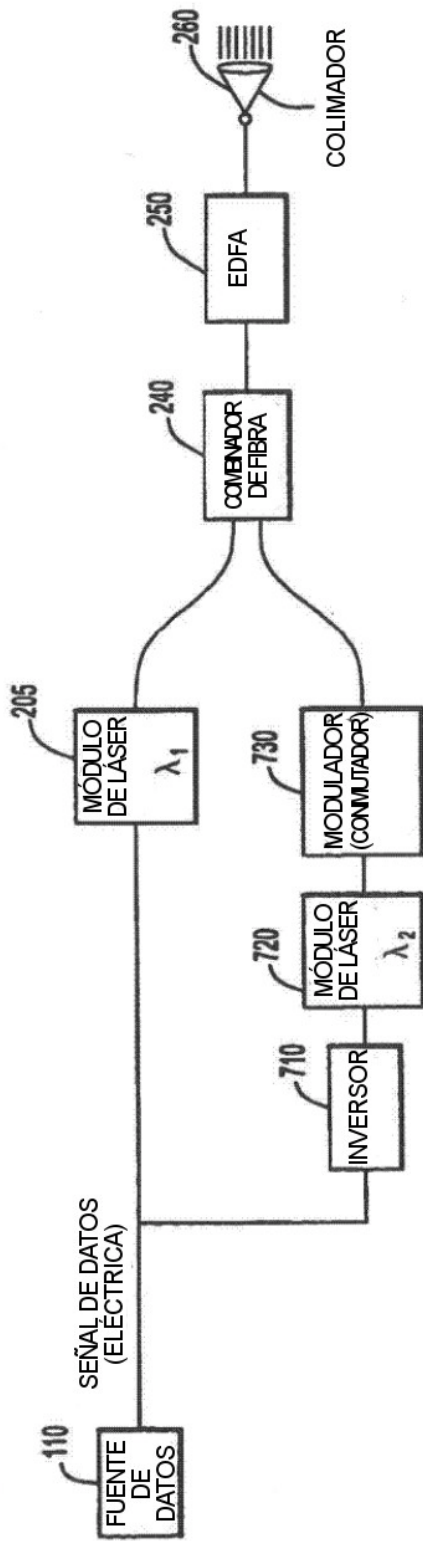


FIG.7