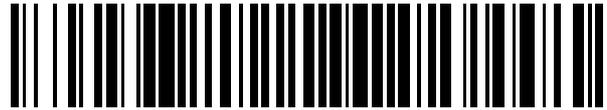


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 601 235**

51 Int. Cl.:

H04B 10/80

(2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2002 PCT/GB2002/02685**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2002 WO02103935**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2002 E 02730497 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.10.2016 EP 1400040**

54 Título: **Dispositivo y sistema de comunicación óptica**

30 Prioridad:

15.06.2001 GB 0114649
25.04.2002 GB 0209483

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.02.2017

73 Titular/es:

AL-CHALABI, SALAH A. (100.0%)
5 VESTRY MEWS, CHAMBERWELL
LONDON SE5 8NS, GB

72 Inventor/es:

AL-CHALABI, SALAH A.

74 Agente/Representante:

CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes

ES 2 601 235 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

Dispositivo y sistema de comunicación óptica.

- 5 La presente invención se refiere a un dispositivo de comunicación óptica, un sistema de comunicación óptica y/o un método para la comunicación óptica.

Se conoce el uso de modulación interferométrica en la transmisión óptica. Por ejemplo, se conoce proporcionar señales ópticas a través de una fibra óptica mediante el uso de un interferómetro desequilibrado en el extremo de transmisión, un interferómetro desequilibrado emparejado en el extremo receptor y una fuente de luz de longitud de coherencia relativamente corta. Una señal que contiene la información óptica puede entonces transmitirse entre los dos interferómetros.

Los ejemplos de modulación interferométrica se describen por S.A.Al-Chalabi, B. Culshaw y D.E.N Davies en "Partially Coherent Sources in Interferometric Sensors"; First International Conference on Optical Fibre Sensors, 26-28 de abril de 1983, págs. 132-135, publicado por el Institute of Electrical Engineers y cuyo contenido se incorpora por la presente por referencia. Se desvela un ejemplo adicional en la patente de Estados Unidos número 5.606.446 cedida a Optimux Systems Corporation.

Las expresiones "función de coherencia" y "longitud de coherencia" se usan ambos en esta memoria descriptiva en relación con las fuentes ópticas utilizadas en la modulación interferométrica. Se sabe que para usar la modulación interferométrica, las trayectorias ópticas en los interferómetros no deben ser coincidentes en una diferencia de trayectoria óptica que sea mayor que la longitud de coherencia de la fuente óptica que lleva la modulación. "Función de coherencia" y "longitud de coherencia" son ambas expresiones conocidas y, con el fin de proporcionar antecedentes de la presente invención, se describen técnicas para medirlas como se indica a continuación con referencia a las figuras 4 y 1.

Haciendo referencia a la figura 4, la función de coherencia de una fuente óptica 237 se puede medir utilizando un interferómetro de cuatro puertos (dos puertos de entrada y puertos de salida), tal como un Mach-Zehnder, con dos brazos con un desequilibrio de trayectoria inicial de cero. La fuente 237 se usa como una entrada al interferómetro y la intensidad óptica se mide en una o más salidas 270/272, 425 mientras que la diferencia de longitud de trayectoria entre los dos brazos del interferómetro varía. Un gráfico de la intensidad óptica medida frente al desequilibrio de trayectoria, o la diferencia de retardo, se puede utilizar para dar la función de coherencia de la fuente.

La intensidad óptica medida incluye una componente de CC (corriente continua) y una componente de función de coherencia. Se sabe que la componente de función de coherencia se somete a una inversión de signo en un brazo del interferómetro únicamente, debido a un cambio de fase en un divisor de haz. Por lo tanto, cuando la intensidad óptica medida en una primera salida equivale a la componente de CC más la componente de función de coherencia, la intensidad óptica medida en una segunda salida es igual a la componente de CC menos la componente de función de coherencia. Esto ofrece una manera simple de extraer la componente de función de coherencia y separarla de la componente de CC: Se usan fotodetectores para medir la intensidad óptica en dos puertos de salida diferentes 270/272, 425 del interferómetro y después las corrientes de salida de los dos fotodetectores se restan. Siempre que la relación de división de los divisores de haz usados en el interferómetro sea 1:1, entonces la componente de función de coherencia puede extraerse simplemente restando las corrientes de los fotodetectores en las dos salidas, eliminando de esta manera la componente de corriente continua.

Puede encontrarse referencia a este tipo de efecto en los divisores de haz y los interferómetros, por ejemplo, en "Coherent Lightwave Communication Systems", de Shiro Ryu, publicado por Artech House en 1995, y en la patente de Estados Unidos número 4860279 titulada "Source modulated coherence multiplexed optical signal transmission system" inventado por: Coleman Jeffrey O y Falk R Aaron, con referencia particular a la figura 4.

Haciendo referencia a la figura 1, la longitud de coherencia de la fuente se puede medir a partir de los mismos datos. Las salidas de fotodetector medidas mostrarán múltiples máximos (que se muestran como una línea continua) según el desequilibrio de trayectoria varía, indicando esto la presencia de las franjas de interferencia. La envolvente del tráfico, que se muestra como una línea de puntos, da la función de coherencia de la fuente. En algún valor particular para el desequilibrio de trayectoria, las salidas de fotodetector medidas dejarán de mostrar máximos distinguibles adicionales y este valor particular para el desequilibrio de trayectoria se puede utilizar como la base para una medida viable de la longitud de coherencia L_c de la fuente. Se han usado diferentes convenciones en el pasado para decidir L_c . Por ejemplo, se puede medir como el desequilibrio de trayectoria en el que la envolvente de la función de

coherencia se ha reducido en un porcentaje predeterminado, por ejemplo el 80 %.

En la práctica, un valor apropiado para L_c puede verse afectado por factores del equipo tales como el ruido producido por el ancho de banda del fotodetector utilizado para la medición de la intensidad. Una definición útil de longitud de coherencia de una fuente para su uso en realizaciones de la presente invención, por lo tanto, podría basarse en la discrepancia máxima en las diferencias de trayectoria entre una transmisión y una recepción (*Velocidad de la luz*) $\times 1/(\text{Anchura espectral de la densidad de potencia de la fuente})$.

A continuación, se indica un método para el trazado de una función de coherencia para su uso en la medición de longitud de coherencia en base a esta definición útil. Cabe señalar que la función de coherencia (que es la misma que la función de autocorrelación) y la densidad espectral de potencia óptica son un par de transformadas de Fourier. Esto significa que la medición de una dará la otra. La función de coherencia, y por lo tanto la longitud de coherencia, se puede definir como la velocidad de la luz dividida por la anchura espectral óptica.

A un interferómetro de recepción de cuatro puertos con dos brazos se le da el mismo desequilibrio de longitud de trayectoria que a un interferómetro de transmisión similar. No se aplica modulación interferométrica y la densidad espectral de potencia óptica en la salida del interferómetro de transmisión se mantiene constante. La función de coherencia puede entonces obtenerse mediante la introducción de una discrepancia en los desequilibrios de longitud de trayectoria de los dos interferómetros y trazando una salida del interferómetro de recepción frente a un rango de valores para esta discrepancia. En detalle, la salida del interferómetro de recepción que se representa se obtiene restando las corrientes de salida de los fotodetectores en los dos puertos de salida del interferómetro de recepción.

Cabe señalar que el método que se ha descrito anteriormente sirve para medir la longitud de coherencia cuando los factores de equipo se tienen en cuenta. Para realizar el método, el desequilibrio de trayectoria del interferómetro de transmisión debe ser más grande en todo momento que la longitud de coherencia absoluta de la fuente óptica que tiene que medirse en primer lugar para establecer su valor, por ejemplo, usando un analizador de espectro.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una red óptica para transportar señales de comunicación a o desde al menos dos puntos finales de forma óptica, estando la red adaptada para transportar comunicación por voz y que comprende:

- i) al menos un primer y segundo puntos finales, comprendiendo cada uno un aparato de transmisión/recepción y que tiene una dirección en la red;
- ii) al menos una fuente de potencia óptica para entregar potencia óptica al aparato de transmisión/recepción de al menos dicho primer punto final para la conversión en el energía eléctrica en el aparato de transmisión/recepción y para transmitir una portadora de señal óptica al aparato de transmisión/recepción de al menos dicho primer punto final;

caracterizada por que:

- iii) el aparato de transmisión/recepción del primer punto final comprende un interferómetro que tiene un desequilibrio de trayectoria, para aplicar la modulación interferométrica que comprende una señal de voz y la dirección del segundo punto final a la portadora de señal óptica para proporcionar una señal de comunicación óptica que comprende la señal de voz para una transmisión posterior por la red: al segundo punto final; al menos un dispositivo de conversión de potencia para convertir la potencia óptica recibida en corriente eléctrica; y al menos un dispositivo de almacenamiento eléctrico para almacenar al menos una porción de la potencia óptica convertida;
- iv) el aparato de transmisión/recepción del segundo punto final comprende un interferómetro que tiene un desequilibrio de trayectoria, para detectar la modulación interferométrica en dicha señal de comunicación óptica recibida a través de la red para recibir dicha señal de voz, siendo el desequilibrio de trayectoria del interferómetro del primer punto final ajustable para corresponder al desequilibrio de trayectoria del interferómetro del segundo punto final dentro de la longitud de coherencia de la fuente; y
- v) la al menos una fuente de potencia óptica entrega la potencia óptica a través de la red óptica.

En general, la expresión "modulación interferométrica" se usa en el presente documento para referirse a la modulación aplicada en un interferómetro a una portadora óptica introducida en el interferómetro. Abarca cualquier efecto detectable impuesto a la portadora por el interferómetro, tal como un efecto de fase o frecuencia aplicado en

un brazo del interferómetro, sea un interferómetro necesario o no para la detección del efecto. También puede incluir cualquier efecto de amplitud o intensidad detectable aplicado en un brazo del interferómetro de transmisión o a la potencia óptica en la entrada o salida del interferómetro. Dicha modulación puede usarse para dirigir y/o para cargar información a una señal.

5

En la práctica, la fuente de potencia óptica y la fuente de portadora de señal óptica puede ser la misma pieza de equipo, usándose una porción de la portadora de señal óptica en el aparato de transmisión/recepción para la conversión de la potencia óptica entregada en corriente eléctrica.

10 Parte de la potencia óptica entregada puede almacenarse después de la conversión por medio de una batería recargable y parte de la potencia óptica podría utilizarse directamente en la conversión para impulsar uno o más aspectos del aparato de transmisión/recepción.

Se ha reconocido en la realización de la presente invención que la señalización del tipo general que se ha descrito anteriormente, que usa la modulación interferométrica, es particularmente apropiada en las comunicaciones ópticas. Este es por lo tanto el caso en una red óptica, donde la red se proporciona por la fibra dirigida a un punto final, tal como un terminal de datos o teléfono, y en la que se suministra energía al punto final por medios ópticos. En tal entorno, el balance de potencia puede ser limitado, potencialmente considerablemente. Sin embargo, la modulación interferométrica se puede aplicar usando muy poca, o incluso ninguna, corriente eléctrica en el aparato de transmisión/recepción, siempre que una portadora de señal óptica se administre al aparato de transmisión/recepción al que puede aplicarse la modulación. Por ejemplo, el movimiento producido por medios acústicos, tal como la voz, se puede utilizar para modular la portadora de señal óptica a lo largo de un brazo de un interferómetro y producir de esta manera una señal directamente.

25 La cuestión del suministro de alimentación eléctrica en el extremo receptor surge, por ejemplo, cuando se trata de redes de voz públicas. Los sistemas telefónicos conocidos utilizan cables, principalmente cobre, para conducir la corriente eléctrica a un aparato de teléfono. Sin embargo, es deseable en una red óptica suministrar la energía requerida para la conexión o conexiones ópticas usadas para la comunicación de voz y/o datos de manera que no haya necesidad de ningún cable. El sistema telefónico público actual proporciona corriente eléctrica al aparato de teléfono desde la central telefónica o el tablero de conmutación local para permitir que el aparato funcione sin la necesidad de una fuente de alimentación local adicional. Esta disposición de energía remota hace posible que el aparato se use en situaciones de emergencia, tal como un incendio o fallo del suministro eléctrico de la red eléctrica. Se espera que estos requisitos similares se cumplan por los teléfonos y sistemas de comunicaciones usando sistemas de comunicación óptica implementados en las redes públicas o privadas.

35

En los últimos años, los niveles de potencia de fuentes ópticas y amplificadores para sistemas de fibra óptica han aumentado hasta el nivel en el que es posible proporcionar suficiente potencia a través de una conexión óptica para impulsar dispositivos optoelectrónicos y para generar sonido de llamada (el timbre del teléfono). Sin embargo, estos niveles de potencia óptica pueden estar limitados por la aparición de efectos no lineales en el canal de comunicación óptica, o por las normas internacionales sobre niveles de potencia óptica seguros en los canales de comunicación óptica, y es por esta razón que el balance de potencia en el equipo de transmisión/recepción puede estar especialmente restringido.

En realizaciones de la presente invención, es factible construir un sistema de voz/datos que extraiga toda su potencia de la red. Una atracción principal es que no es necesario emplear una fuente óptica en el equipo de transmisión/recepción, sino suministrarle una portadora de señal óptica que puede modularse en el equipo de transmisión/recepción. Esto significa una reducción muy significativa en la potencia requerida en el equipo de transmisión/recepción. Es una opción que una fuente óptica sea local con respecto al equipo de transmisión/recepción, pero también, o en su lugar, puede proporcionarse una fuente óptica remota.

50

Los principales dispositivos que aún necesitarán accionarse en el equipo de transmisión/recepción dependerán de la aplicación. Por ejemplo, en el caso de la telefonía, esto incluirá dispositivos tales como fotodetectores, circuitos de polarización, amplificadores, altavoces (auriculares), micrófono, sonido de campanillas, un modulador electro-óptico o dispositivos piezoeléctricos.

55

Las realizaciones de la presente invención usan preferiblemente una técnica interferométrica, tanto para la modulación de la señal como el direccionamiento. Alguna forma de direccionamiento es normalmente importante cuando pueden enviarse diferentes señales por uno cualquiera de varios transmisores (por ejemplo, la radiodifusión donde a cada transmisor se le asigna una dirección) y/o recibirse por uno cualquiera de varios receptores (por

ejemplo, comunicaciones de telefonía y/o datos donde a cada receptor se le asigna una dirección). El direccionamiento se utiliza para identificar el transmisor o el receptor o ambos. Para proporcionar un direccionamiento interferométrico, se utiliza un interferómetro para aplicar un atributo distintivo a la señal óptica transmitida por un transmisor. Por ejemplo, un atributo distintivo puede ser un desequilibrio de trayectoria, que se produce cuando las longitudes de trayectoria óptica de los dos brazos de un interferómetro son diferentes deliberadamente en una cantidad predeterminada, produciendo un "interferómetro desequilibrado". Siempre que un interferómetro de transmisión y un interferómetro de recepción sean coincidentes, entonces las señales ópticas se pueden transportar entre ellos. Pueden usarse otros atributos distintivos, junto con la diferencia de retardo, tales como la modulación de frecuencia producida por una parte móvil en el interferómetro, o una modulación de amplitud, producida, por ejemplo, eléctricamente en o en asociación con el interferómetro.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de transmisión/recepción óptica para su uso en un punto final de una red de acuerdo con el primer aspecto de la invención, estando el aparato dotado de al menos un interferómetro para aplicar y detectar la modulación interferométrica, caracterizado por que el aparato de transmisión/recepción comprende:

un interferómetro que tiene un desequilibrio de trayectoria, para aplicar la modulación interferométrica que comprende una señal de voz y la dirección de un punto final diferente de la red a una portadora de señal óptica de la red, y para detectar la modulación interferométrica en dicha señal de comunicación óptica recibida a través de la red para recibir una señal de voz, siendo el desequilibrio de trayectoria del interferómetro ajustable para corresponder al desequilibrio de trayectoria de un interferómetro del punto final diferente dentro de la longitud de coherencia de la fuente; y
al menos un dispositivo de conversión de potencia para recibir la potencia óptica a través de la red óptica y para convertir la potencia óptica recibida en corriente eléctrica y aplicar la corriente eléctrica para impulsar uno o más componentes del aparato de transmisión/recepción.

La expresión "diferencia de retardo" entre los dos brazos de un interferómetro como se usa en el presente documento, se refiere a la diferencia en el tiempo empleado por la radiación óptica para recorrer cada brazo del interferómetro. La "diferencia de retardo" equivale a la diferencia en las longitudes ópticas de los dos brazos del interferómetro dividida por la velocidad de la luz. El "desplazamiento de frecuencia", que soporta la modulación de frecuencia, se refiere al desplazamiento en la velocidad de cambio de fase de la radiación óptica que puede causarse por un cambio en la longitud de trayectoria óptica en el tiempo. "Desplazamiento de frecuencia diferencial" se refiere a una diferencia en el desplazamiento de frecuencia entre la radiación óptica que recorre un brazo del interferómetro con respecto a la radiación óptica que recorre el otro brazo del interferómetro.

Los atributos distintivos de este tipo no son excluyentes entre sí y será posible aumentar el número de direcciones distinguibles, y/o el contenido de información, mediante el uso de una combinación de dos o más tipos diferentes, tales como tanto un interferómetro desequilibrada como una modulación de frecuencia o amplitud.

Cuando se usa un interferómetro desequilibrado para el direccionamiento, no es necesario que los interferómetros de transmisión y recepción estén ambos desequilibrados para que se emparejen perfectamente. Si dos interferómetros desequilibrados están perfectamente sincronizados, la diferencia de las longitudes de trayectoria para cada interferómetro es la misma que para el otro. Sin embargo, si dos interferómetros desequilibrados no están perfectamente sincronizados, surge una discrepancia en las diferencias entre sus longitudes de trayectoria. Sin embargo, esta discrepancia debe ser menor que la longitud de coherencia de la fuente óptica usada para la señalización para que se haga una correspondencia positiva y las franjas se recuperen en el receptor.

Cuando el desequilibrio de trayectoria de un interferómetro es mayor que la longitud de coherencia de la fuente, no se observa normalmente ningún patrón de interferencia en la salida del interferómetro de transmisión (ignorando aquí el caso más complejo en el que se observará interferencia diferente del patrón en torno a la diferencia de longitud de trayectoria nula). Sin embargo, cuando esa salida se suministra al interferómetro de recepción, el patrón de interferencia se recuperará siempre que la discrepancia en las diferencias en las longitudes de trayectoria entre los dos interferómetros sea menor que la longitud de coherencia de la fuente L_c . Cuando la diferencia sea cero, es decir, los dos interferómetros idénticos tengan diferencias de longitud de trayectoria idénticas, entonces el patrón de interferencia se puede recuperar en un grado máximo. Siempre que el patrón de interferencia se pueda recuperar, cualquier cambio en el primer interferómetro puede rastrearse por el segundo interferómetro, lo que permite que se reciba una señal óptica.

Pueden usarse dos o más interferómetros para transmitir señales multiplexadas en la misma conexión óptica, y de

manera importante pueden compartir la misma fuente óptica, a condición de que la discrepancia en sus diferencias de longitud de camino sea mayor que la longitud de coherencia de la fuente L_c , y preferiblemente, significativamente mayor, tales como tres veces mayor cuando se usa una fuente parcialmente coherente. Esto proporciona una separación limpia entre las señales destinadas a diferentes interferómetros de recepción. Por lo tanto, si un primer interferómetro "n" tiene una diferencia de trayectoria " L_n " y un segundo interferómetro "m" tiene una diferencia de trayectoria " L_m ", entonces los interferómetros pueden resolverse siempre que

$$L_n - L_m > L_c$$

donde

10

L_n : es la diferencia de longitud de trayectoria del n -ésimo interferómetro
 L_m : es la diferencia de longitud de trayectoria del m -ésimo interferómetro
 L_c : es la longitud de coherencia de la fuente óptica

15 Por tanto, puede proporcionarse un sistema de comunicación óptica de multiplexación según una realización de la presente invención, cuyo sistema comprende:

- 20
- i) una red óptica de acuerdo con una realización de la invención en su primer aspecto, para transportar señales de comunicaciones multiplexadas; y
 - ii) al menos un primer y segundo moduladores ópticos para su uso en la modulación de uno o más transportadores ópticos para producir las señales de comunicación,

25 en el que cada uno de dicho primer y segundo moduladores ópticos comprende un interferómetro que tiene, durante el uso, una diferencia en las trayectorias ópticas a través éste, y en el que hay una discrepancia entre la diferencia en las trayectorias ópticas a través del primer modulador óptico y la diferencia en las trayectorias ópticas a través del segundo modulador óptico, siendo dicha discrepancia mayor que la longitud de coherencia de la una o más portadoras ópticas.

30 En tal sistema, las señales de comunicaciones producidas por los moduladores ópticos respectivos se pueden distinguir en el aparato de recepción y, por lo tanto, pueden multiplexarse en la red óptica, a lo largo de la misma fibra si es necesario.

35 El sistema puede comprender adicionalmente una o más fuentes ópticas para proporcionar las una o más portadoras ópticas para las señales de comunicación.

No es necesario que las portadoras ópticas tengan la misma longitud de coherencia, siempre y cuando no se quebrante la condición anterior con respecto a dicha discrepancia.

40 Es de nuevo útil que el sistema use direccionamiento interferométrico. Pueden seleccionarse entonces un par de interferómetros para la realización de una conexión de comunicaciones de uno al otro en la manera de marcar un número de teléfono en comunicaciones por voz. La información sobre la naturaleza precisa del desequilibrio que debe igualarse por un interferómetro desequilibrado con el fin de comunicarse a través de otro interferómetro desequilibrado objetivo, puede almacenarse, por ejemplo, con respecto al equipo conectado a la red, de nuevo de la misma forma que la conmutación o encaminamiento convencionales en las comunicaciones.

45 En realizaciones de la presente invención, hay más de una forma en la que puede aplicarse una diferencia de longitud de trayectoria. Por ejemplo, puede ser una diferencia de longitud de trayectoria estática, medible, por ejemplo, como una diferencia de fase en la salida de radiación óptica de los brazos respectivos de un interferómetro, o puede ser un cambio dinámico en la longitud de trayectoria. Esto se puede medir como una diferencia de frecuencia en la salida de radiación óptica de los respectivos brazos del interferómetro: es decir, un desplazamiento Doppler.

50 Por lo tanto, en realizaciones de la presente invención, se puede proporcionar un sistema de comunicación óptica, comprendiendo el sistema:

55

- i) una red óptica de acuerdo con una realización de la invención en su primer aspecto; y
- ii) al menos un modulador óptico para su uso en la modulación de una o más portadoras ópticas para producir una señal de comunicaciones, comprendiendo el modulador un interferómetro que tiene, durante el

uso, una diferencia en la longitud óptica de las trayectorias ópticas a través de éste

en el que dicho modulador óptico está adaptado para modular mediante la variación de dicha diferencia de longitud de trayectoria óptica.

5

Cabe señalar que si se aplica la diferencia de longitud de trayectoria de forma dinámica, es posible, pero no esencial, que los interferómetros de transmisión y recepción en un sistema de este tipo también muestren un desequilibrio coincidente en el sentido de tener un brazo con una longitud de trayectoria permanentemente diferente.

Si, además, están desequilibrados de esta forma, el número de direcciones disponibles se puede aumentar en gran medida, ya que hay entonces dos variables disponibles para cada dirección, la diferencia de longitud de trayectoria estática y el desplazamiento Doppler o desplazamiento de frecuencia diferencial.

10

Una o ambas de la diferencia de longitud de trayectoria y el desplazamiento Doppler también, o en su lugar, pueden usarse para transportar información en lugar de limitarse a proporcionar direccionamiento. Por ejemplo, los cambios en la longitud de trayectoria son detectables y, por lo tanto, pueden por sí mismos transportar información, mientras que los cambios en el desplazamiento Doppler aplicados en el transmisor también pueden usarse claramente para transmitir información.

15

Una realización de la invención puede comprender entonces, ya sea una red óptica de acuerdo con una realización de la invención en su primer aspecto, o un aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una realización de la invención en su segundo aspecto, en la que el aparato de transmisión/recepción está adaptado para aplicar la modulación interferométrica a la portadora de señal óptica para la posterior transmisión por la red como una señal de comunicación óptica portadora de información, comprendiendo dicha modulación interferométrica modulación de frecuencia.

20

25

En la práctica, también es posible el uso de una modulación de amplitud en un transmisor, ya sea como un componente de direccionamiento o para transportar información. De nuevo, esto extiende el número de direcciones que estarán disponibles, y/o la cantidad de información que un canal óptico puede transportar. La modulación de amplitud normalmente no se aplicará como una modulación interferométrica, sino por un dispositivo de control de amplitud separado o cambios en el impulso a una fuente óptica.

30

Convenientemente, cada pieza de equipo de transmisión/recepción puede actuar ya sea como un transmisor o un receptor, a la manera de un teléfono o un aparato informático. Como alternativa, por ejemplo, para su uso en radiodifusión, se puede proporcionar al menos una pieza de equipo diseñado para la transmisión o recepción solamente.

35

Cada pieza del equipo de transmisión/recepción se puede identificar en la red mediante la asignación de su interferómetro o interferómetro a un desequilibrio de longitud de trayectoria específico y/o un desplazamiento de frecuencia específico diferencial entre los dos brazos del interferómetro relevante.

40

En realizaciones de la presente invención, se puede proporcionar un aparato receptor óptico para la recepción de señales ópticas en una red, cuyo aparato está dotado de al menos dos interferómetros para recibir modulación interferométrica, estando un primer interferómetro dispuesto para su uso en la detección de un primer tipo de modulación en una señal entrante, y estando un segundo interferómetro dispuesto para su uso en la detección de un segundo tipo de modulación en una señal entrante.

45

El primer tipo de modulación puede comprender, por ejemplo, modulación de fase o de frecuencia, y el segundo tipo de modulación puede comprender, por ejemplo, modulación de intensidad.

50

Preferiblemente, los al menos dos interferómetros están desequilibrados de forma diferente, siendo la discrepancia entre las diferencias de longitud de trayectoria de los interferómetros equivalente a, o aproximadamente igual a, un cuarto de una longitud de onda central de una portadora óptica que transporta la señal entrante. Esto proporciona una detección óptima de ambos tipos de modulación, de fase/frecuencia e intensidad, y puede describirse que los interferómetros están en "cuadratura".

55

"Central" en este contexto puede significar promedio, o colocado en posición central en un intervalo de longitudes de onda, u otro término similar que se encuentre apropiado en las circunstancias particulares de uso.

Convenientemente, el aparato de recepción óptico puede comprender adicionalmente un componente de control de

longitud de la trayectoria para la producción de un cambio longitud de trayectoria en relación con ambos interferómetros al mismo tiempo. Esto es particularmente eficaz cuando hay un primer interferómetro que se usa para detectar la modulación de fase o de frecuencia, y un segundo interferómetro, en cuadratura con el mismo, que se usa para detectar la modulación de intensidad. El primer interferómetro puede usarse para realizar un
 5 seguimiento de la modulación de fase o de frecuencia y el resultado del seguimiento se puede usar en un bucle de retroalimentación con respecto al componente de control de longitud de trayectoria para ambos interferómetros al mismo tiempo, de manera que ambos interferómetros se puedan ajustar para seguir dicha modulación de fase o de frecuencia.

10 Se entenderá que las referencias a la longitud de trayectoria en este contexto son referencias a longitud de trayectoria óptica. Por lo tanto, el componente de control de longitud de trayectoria podría ser cualquier cosa capaz de cambiar la longitud de trayectoria óptica, tal como una pieza de material electro-óptico que cambia el índice de refracción en respuesta a cambios en un campo eléctrico, o un material piezoeléctrico que cambia la longitud física de la trayectoria. Sin embargo, una disposición conveniente es una en la que los al menos dos interferómetros
 15 comparten al menos un reflector como el componente de control de longitud de trayectoria, siendo la disposición de tal forma que el movimiento del reflector compartido dé como resultado dicho cambio de longitud de trayectoria en relación con ambos interferómetros.

En una realización, los al menos dos interferómetros pueden proporcionarse por un par compartido de reflectores, al menos uno de los cuales es un retrorreflector, comprendiendo el aparato adicionalmente al menos un divisor de haz de entrada, siendo la disposición tal como para proporcionar múltiples trayectorias ópticas en relación con los reflectores que pueden reunirse como salidas para constituir dichos al menos dos interferómetros.
 20

La invención también incluye un aparato de transmisión óptica para su uso con un aparato de recepción óptica de acuerdo con el segundo aspecto, comprendiendo el aparato de transmisión medios para aplicar una modulación de intensidad a una portadora de señal óptica.
 25

Se ha concluido adicionalmente en la realización de la presente invención que tiene ventajas en un sistema de comunicación multiplexado por división de longitud de onda ya que puede proporcionar un canal adicional, fuera de los canales multiplexados por división de longitud de onda.
 30

En realizaciones de la presente invención, puede proporcionarse un aparato de recepción óptica de acuerdo con las realizaciones de la invención en su segundo aspecto, para su uso en la recepción de señales multiplexadas por división de longitud de onda en comunicaciones ópticas, comprendiendo dicho aparato un filtro para filtrar uno o más rangos de longitud de onda que portan señales multiplexadas por división de longitud de onda de una portadora óptica entrante, en el que el aparato comprende adicionalmente un interferómetro para su uso en la detección de modulación interferométrica en una porción de la portadora óptica entrante restante después de dicho filtrado.
 35

Tales realizaciones se aprovechan de la utilización de un interferómetro para extraer una señal de una portadora óptica que ya ha tenido canales de multiplexación por división de longitud de onda filtrados. Es decir, se ha reconocido que puede haber suficiente ancho de banda óptico dejado en una portadora óptica para transportar una señal detectable.
 40

Una realización adicional de la invención comprende una red óptica de acuerdo con una realización de la invención en su primer aspecto, para su uso en la detección de uno o más parámetros ambientales y la transmisión de una señal de comunicación óptica portadora de información, en la que la información es representativa de cada uno de dichos parámetros;
 45

estando el aparato de transmisión/recepción del primer punto final adaptado para detectar dicho uno o más parámetros ambientales en forma de la modulación interferométrica y para transmitir dicha señal de comunicación óptica portadora de información que comprende dicha modulación para la detección por el interferómetro del segundo punto final.
 50

En relación con las realizaciones de la invención que comprenden sistemas o redes ópticas, la invención también, o en su lugar, se puede realizar como un transmisor y/o un receptor para su uso en tal sistema o red. Además, en otro aspecto, una realización de la invención puede proporcionarse por un método de comunicación dentro de un sistema de este tipo, o por un método de comunicación que utiliza un transmisor y/o un receptor de este tipo.
 55

En la mayoría de circunstancias, las fuentes ópticas usadas para proporcionar la potencia y la señal óptica a la red

en una realización de la presente invención deben producir tanta potencia como sea posible y tienen funciones de longitud de onda y de coherencia bien definidas. Las fuentes utilizadas para la comunicación y la disponibilidad de potencia deben tener preferiblemente una función de coherencia bien definida con una longitud de coherencia L_c que sea menor que un valor especificado. Para asegurarse de que la función de coherencia de la fuente se comporta bien y es independiente de los reflejos de la red óptica, podrían requerirse aisladores ópticos y controladores de polarización para reducir los efectos de tales reflexiones. Estos tipos de fuentes pueden combinarse con fuentes ópticas de anchura de línea estrecha y longitud de onda especificada para proporcionar potencia al conjunto de comunicación óptica. Las últimas fuentes se utilizan únicamente para proporcionar potencia a una longitud de onda específica y se filtran por el sistema óptico transmisor y/o receptor que se va a convertir en energía eléctrica.

10

A continuación se describirán una o más realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Breve descripción de los dibujos:

15

La figura 1 ilustra una función de coherencia de un tipo relevante para una portadora óptica; la figura 2 muestra el sistema óptico de teléfono y comunicación general junto con una red óptica; la figura 3 ilustra el sistema opto-electrónico transmisor con un interferómetro, fotocélulas, un transductor para convertir la presión de voz en retardo óptico, modulación de desplazamiento de fase y/o de frecuencia, y un transductor de datos que convierte la señal eléctrica que represente los datos en un retardo óptico, modulación de desplazamiento fase y/o de frecuencia; la figura 4 ilustra un módulo transmisor con una fuente óptica local, un interferómetro y modulación de fase, frecuencia o amplitud para el sistema de comunicaciones de datos; la figura 5 ilustra el receptor para el sistema óptico de teléfono y comunicación de datos para recuperar información de voz y datos; la figura 6 ilustra una red óptica construida usando componentes ópticos pasivos; tales como fibras ópticas y acopladores ópticos, y componentes ópticos activos, tales como amplificadores ópticos; la figura 7 ilustra una realización de la invención usando tanto modulación de fase como de intensidad; y la figura 8 ilustra una realización de la invención usada en combinación con técnicas de multiplexación por división de longitud de onda.

20

25

30

Descripción detallada de una realización preferida de la invención

Red

35

Haciendo referencia a la figura 2, el sistema de teléfono óptico y de comunicación comprende uno o más teléfonos ópticos y otros conjuntos de comunicación 210, 220, 230 y 240 junto con una o más fuentes ópticas 250, 255 y una red óptica 260. La red puede construirse a partir de componentes ópticos pasivos; tales fibras ópticas y acopladores, y componentes ópticos activos, tales como divisores de potencia ópticos, amplificadores y conmutadores. Las fuentes ópticas y conjuntos de comunicación están conectados a la red óptica a través de diversos tipos de conexión óptica 270, 272, 274 y 276. Por ejemplo, un primer tipo de conexión 270 es una conexión para una comunicación de dos vías, un segundo tipo de conexión 272 conecta el módulo transmisor en una forma de comunicación de dos conexiones de dos vías, un tercer tipo de conexión 274 conecta el módulo receptor en una comunicación de dos conexiones de dos vías, y 276 conecta una fuente óptica 250, 255 a la red.

40

En general, la red debe proporcionar una trayectoria óptica entre dos o más teléfonos ópticos y módulos de comunicación con un ancho de banda óptica suficiente para permitir el uso de fuentes ópticas con una longitud de coherencia menor que L_c .

50

Los conjuntos de comunicaciones 210, 220, 230 y 240 puede ser uno de dos tipos generales. El primer tipo, tal como 210, 220 y 240, no tiene una fuente óptica y obtiene la mayoría, si no toda su potencia, de las fuentes ópticas 252 y 255 y otras fuentes ópticas conectadas a la red. El segundo tipo de teléfono óptico y conjuntos de comunicaciones, tal como 230, contiene una fuente óptica, tal como 237, y puede obtener parte de su energía de una fuente de corriente eléctrica local. Todas las fuentes ópticas deben tener una densidad espectral de potencia óptica bien especificada, o una función de coherencia, y las que se utilizan para la comunicación en lugar de sólo potencia tienen una longitud de coherencia menor de un valor especificado L_c que debe ser lo más corta posible.

55

Las fuentes ópticas 250, 255 deben ser lo suficientemente potentes como para proporcionar suficiente energía óptica para operar el teléfono y los conjuntos de comunicación 210, 220 y 240 del primer tipo. Los principales

factores que limitan los niveles de potencia de estas fuentes son la seguridad y la calidad del rendimiento de los canales de voz y comunicación. La potencia óptica recibida por el teléfono óptico y las comunicaciones y convertida en corriente fotoeléctrica debe ser suficiente, ya sea directamente o a través de una batería recargable, para impulsar los sistemas y dispositivos electrónicos, electromecánicos y magneto-mecánicos para efectuar el sistema de comunicación de voz y/o datos.

Cada teléfono óptico y conjunto de comunicación consiste en un módulo transmisor 211, 221T, 231, 241 y un módulo receptor 214, 224, 234 y 244. El módulo transmisor consiste en una parte de sistema óptico 213, 223, 233, 243 con un interferómetro de un desequilibrio de longitud de trayectoria especificado mayor que L_c , y una parte opto-electrónica 212, 222, 232 y 242 con los componentes electrónicos y los transductores para convertir una señal acústica y datos en la modulación de la fase, amplitud y/o desplazamiento de frecuencia de la señal óptica en uno o ambos brazos del interferómetro en el transmisor. El módulo transmisor puede utilizar una señal óptica generada por una fuente óptica remota o local, en cualquier caso, con una longitud de coherencia menor que L_c , para la comunicación.

Una realización de la red óptica que proporciona dos conexiones para la comunicación de dos vías se muestra en la figura 6, que consiste en fibras ópticas 600, acopladores ópticos o divisores de potencia 605, y amplificadores ópticos que pueden ser unidireccionales o bidireccionales 610. La conexión al módulo receptor 500N del Nésimo teléfono óptico y comunicación, por ejemplo, el receptor para el conjunto 1 es 500A, y la conexión al transmisor del mismo Nésimo conjunto, por ejemplo, el transmisor del conjunto 1 es 300A. De forma similar, la conexión al módulo receptor del teléfono óptico y el conjunto de comunicación 2 es 500B y la conexión al transmisor del mismo conjunto es 300B.

Módulo transmisor 211

Haciendo referencia a la figura 3, un módulo transmisor 211, que utiliza una fuente óptica remota como fuente de alimentación y la portadora de señal obtiene toda su energía de la red óptica a través de sus conexiones ópticas 270 o 272. El módulo transmisor 211 comprende un interferómetro de Michelson 300 en el que el divisor de potencia óptica 330 divide la portadora óptica procedente de la red a través de las conexiones 270 o 272 en dos brazos o trayectorias 310 y 335. La señal óptica en cada brazo 310, 335 puede estar recorriendo cualquier espacio libre o medios guiados tal como fibra óptica o un dispositivo óptico integrado. El desequilibrio de trayectoria óptica de los dos brazos 310 y 335 es mayor que la longitud de coherencia L_c de la fuente pertinente y coincide con el desequilibrio de trayectoria óptica de los dos brazos del interferómetro receptor con el que se va a establecer la comunicación.

La portadora óptica entrante se modula mediante la introducción de uno o más de un desplazamiento de fase, un desplazamiento de frecuencia y un retardo en uno o ambos brazos del interferómetro 300. Esto se puede hacer usando, por ejemplo, un transductor de voz 345 y/o un transductor de datos 315.

En más detalle, un primer reflector 305 en el interferómetro de Michelson es estático, mientras que un segundo reflector 340, que puede ser un diafragma reflectante, está acoplado a un transductor de voz 345 que puede convertir una señal acústica y la presión en la modulación de fase y/o de frecuencia de una señal óptica en un brazo 335 del interferómetro 300. La señal de datos mientras tanto puede imponerse a la fase y/o frecuencia de la portadora óptica en uno de los brazos 310, 335 por el transductor de datos 315.

El diafragma de voz 340 puede desplazarse, bien directamente por una señal acústica, o después de la amplificación de una señal eléctrica que representa la señal acústica, y actúa como el espejo reflectante de un brazo del interferómetro. El movimiento del diafragma debido a la señal acústica causará la modulación de fase de la portadora óptica en ese brazo. Esta modulación de fase también puede denominarse como un desplazamiento Doppler en la frecuencia óptica debido al movimiento del reflector 340. El transductor de voz puede tener muchas otras implementaciones, incluyendo aquellas que usan óptica guiada u óptica a granel donde se consigue la modulación de fase o de frecuencia usando transductores electro-ópticos, magneto-ópticos, piezoeléctricos. Por ejemplo, el espejo 340 se puede proporcionar como un transductor piezoeléctrico que se acciona por el micrófono del teléfono. Sin embargo, todas las implementaciones realizan la misma función de conversión de presión de sonido en la modulación de fase y/o de frecuencia óptica. En general, el diafragma de voz necesita producir un movimiento suficiente para que sea detectado, es decir, suficiente para provocar un desplazamiento de fase/frecuencia que pueda detectarse interferométricamente. Este puede ser tan bajo como un cambio de longitud de trayectoria óptica nanométrico. El diafragma también debe tener suficiente sensibilidad y rango dinámico (por ejemplo 40-50 dB) para asegurar que la señal no se distorsione.

El transductor de datos 315 comprende un modulador de fase o de frecuencia en un brazo del interferómetro transmisor. Además de la introducción de datos, este modulador de fase/frecuencia también se puede utilizar con fines de direccionamiento o multiplexación donde un desplazamiento de fase/frecuencia especificado de la señal óptica en un brazo del interferómetro con respecto al otro brazo se puede utilizar para asignar a cada transmisor un código específico o una parte del espectro disponible de señales desplazadas de frecuencia diferencialmente. Por lo tanto, el transductor de datos 315 se puede utilizar para la asignación de una dirección a un conjunto de transmisión/recepción mediante la modulación/demodulación de la fase/frecuencia a una tasa distintiva - que suele ser más alta que la del diafragma de voz 340.

10

En este esquema general, una diferencia en los retardos de los interferómetros de transmisión y de recepción ha de ser menor que la longitud de coherencia de la fuente óptica, y cada receptor con esta diferencia de retardo particular se puede asignar a una parte particular del espectro de la señal desplazada de frecuencia diferencial. El modulador de fase, cuando se usa para el direccionamiento, debe producir un cambio del camino de trayectoria óptica eficaz mayor que la longitud de onda central de la fuente óptica, mientras que la modulación de fase que transmite información/datos debe producir un cambio de trayectoria óptica eficaz que se determina por la profundidad requerida de la modulación que permite una demodulación satisfactoria. El transductor de datos 315 puede tener muchas implementaciones incluyendo, por ejemplo, dispositivos guiados de niobato de litio, cristales electro-ópticos, sistemas microelectromecánicos (MEMS) y los espejos vibrantes. Sin embargo, todas las implementaciones realizan la misma función de conversión de la información en modulación de fase/frecuencia y/o amplitud.

15

Haciendo referencia a ambas figuras 3 y 4, como una alternativa a los transductores de voz y datos que se han descrito anteriormente, se puede utilizar un modulador de amplitud o intensidad 320, 420 en un brazo o en la salida del interferómetro de transmisión para aplicar las señales de datos o de voz administradas a través una conexión 325 desde el procesador de señal 365. Los ejemplos son un dispositivo de electro-absorción y un amplificador óptico semiconductor cuya ganancia puede ser controlada electrónicamente. Otro ejemplo es un modulador acústico-óptico, pero estos son normalmente voluminosos y requieren una gran cantidad de potencia para impulsarlos.

25

Por lo tanto, la modulación de fase, frecuencia y amplitud/intensidad puede usarse simultáneamente para transmitir información.

30

Las señales reflejadas a partir de los dos brazos del interferómetro 300, a través de los transductores de voz y datos 345, 315, después se combinan y se dividen de nuevo por el divisor de potencia óptica 330 para proporcionar una señal de salida modulada a la red y una entrada de potencia a las fotocélulas 350 del módulo transmisor 211. Es decir, el divisor de potencia 330 transmite una primera parte de las señales combinadas a la red óptica 260 a través de la conexión óptica 270 o 272 y una segunda parte a las fotocélulas 350 a través de una conexión óptica 360. Las fotocélulas 350 convierten la potencia óptica incidente en corriente eléctrica que puede almacenarse parcial o completamente en una batería recargable 355 que puede proporcionar después energía eléctrica para impulsar los sistemas y circuitos de un teléfono óptica y conjuntos de comunicaciones según sea necesario.

40

Es una opción usar una fuente óptica de una longitud de onda especificada para proporcionar únicamente potencia. En este caso, un filtro óptico puede insertarse en la entrada al interferómetro 300 y la potencia óptica filtrada puede llevarse directamente a las fotocélulas 350.

45 Por lo tanto, el módulo transmisor 211 comprende:

- un interferómetro 300
- un divisor de potencia óptica 330 para dividir la potencia óptica recibida de una fuente óptica en una primera parte suministrada a las fotocélulas 350 y una segunda parte suministrada a la red como una señal modulada
- una o más fotocélulas 350 para convertir la potencia óptica en corriente eléctrica
- opcionalmente un filtro óptico de manera que una fuente de potencia óptica de una longitud de onda específica pueda usarse para proporcionar potencia únicamente
- una batería recargable 355 para almacenar la corriente eléctrica generada por las fotocélulas.
- un transductor de voz 345 para convertir una señal acústica generada por el usuario en una modulación de desplazamiento de fase o de frecuencia de la portadora óptica en un brazo del interferómetro transmisor.
- un transductor de datos 315 para convertir la información de una señal eléctrica en una modulación de la fase y/o frecuencia de la portadora óptica en un brazo del interferómetro transmisor
- un procesador de señal para procesar señales de voz y datos y para generar la señal eléctrica adecuada

50

55

para impulsar los transductores de voz y datos 345, 315

Aunque el procesador de señal no se muestra en la figura 3, ni se ha analizado en detalle anteriormente, en la práctica, el procesador de señal 565 normalmente será compartido con el módulo receptor y se muestra en, y se analiza a continuación con referencia a, la figura 5. En el transmisor, realiza cualquier procesamiento necesario de las señales antes de la modulación y controla la conversión de potencia óptica en corriente eléctrica para impulsar los componentes locales.

Además, cuando la conexión óptica es a través de una única conexión óptica usada tanto para la transmisión como la recepción, el transmisor puede también tener un filtro óptico para separar las diferentes partes del espectro óptico donde se puede utilizar una parte para la transmisión y la otra parte se puede utilizar para la recepción.

Como se ha mencionado anteriormente, el módulo transmisor 211 puede usarse una fuente óptica remota o una fuente óptica local. La figura 4 muestra el uso de una fuente óptica local 237 para la comunicación, que, en la práctica, puede usarse junto con una fuente remota. Ya sea local o remota, la fuente óptica debe tener preferiblemente una longitud de coherencia menor que L_c y una función de coherencia bien definida. Además, la potencia de salida del módulo transmisor 211 debe ser suficiente para proporcionar una buena relación señal-ruido en la entrada de un receptor para una calidad de voz adecuada y una comunicación de datos, ya sea digital o analógica.

En la disposición de la figura 4, la salida de la fuente óptica 237 se suministra a un interferómetro Mach-Zehnder 410 que tiene un desequilibrio de trayectoria entre los dos brazos 405, 400 que es mayor que la longitud de coherencia L_c de la fuente y es igual al desequilibrio de trayectoria (o diferencia de retardo) de los dos brazos del interferómetro receptor con el que se va a establecer la comunicación. La información de datos de nuevo puede imponerse a la fase y/o frecuencia de una portadora óptica en uno o ambos brazos por un transductor/modulador de datos 415.

Módulo receptor

Haciendo referencia a la figura 5, cada teléfono/conjunto de comunicación óptica 210, 220, 230, 240 normalmente también incorporará un módulo receptor. La figura 5 muestra una realización de un módulo receptor 214, 224, 234, 244 junto con unas fotocélulas 350 y una batería recargable 355.

El módulo receptor 214 comprende un interferómetro 500 cuyo desequilibrio de trayectoria debe coincidir, con respecto a menos de la longitud de coherencia de la fuente, con el desequilibrio de trayectoria de un interferómetro transmisor que envía voz y/o datos. El tipo preferido de interferómetros en el receptor son los que tienen dos salidas, tales como un Michelson desequilibrado o un Mach-Zehnder, aunque también podría usarse posiblemente un tipo de resonador, tal como Fabry-Perot. El interferómetro 500 también puede tener otros componentes ópticos, tales como controladores de polarización o compensadores de dispersión óptica para maximizar la señal óptica y coincidir con la distribución espacial de la radiación que recorre cada brazo del interferómetro.

Una señal óptica dirigida correctamente, recibida en un módulo receptor 214 de la red óptica a través de una conexión 270, 272, consistirá en al menos dos componentes con una diferencia de retardo igual a la diferencia de retardo entre los dos brazos 505, 510 del interferómetro receptor 500. Un canal de voz ocupará el espectro de frecuencia que se le asignó por el transmisor correspondiente, mientras que un canal de datos ocupará otras frecuencias de la señal demodulada.

Las salidas ópticas 520, 525 del interferómetro 500 se guían o se centran en los fotodetectores 530, 535 que pueden conectarse en serie. Los dos fotodetectores están conectados de tal manera que generen una diferencia de corriente proporcional a la diferencia en las intensidades de las salidas del interferómetro 500. La corriente de diferencia se alimenta a través de una conexión 540 a un procesador de señal 565.

El procesador de señal 565 recibe tanto la corriente de diferencia ($I_1 - I_2$) como una señal directamente proporcional a las corrientes de los fotodetectores 530, 535 para extraer información de voz y datos. Es decir, los dos detectores 530, 535 pueden también estar conectados a un circuito cuya salida representa la potencia óptica total de los dos brazos del interferómetro. Tal circuito puede comprender, por ejemplo, las resistencias 560, 555, donde la tensión a través de las resistencias 560, 555 es proporcional a la suma de la corriente de los fotodetectores. Las tensiones a través de las resistencias 560, 555 se alimentan a través de conexiones de alta impedancia 550 y 545 al procesador de señal 565.

El procesador de señal 565 procesa las señales eléctricas para extraer y demodular la información de voz y datos transmitida y para separar los canales que se asignan a diferentes direcciones, tales como diferentes desplazamientos de frecuencia diferencial o frecuencias de modulación de amplitud.

5 Hay varias formas de procesar la señal de los fotodetectores. Una forma óptima es encontrar una coincidencia entre el retardo de tiempo y los desplazamientos de frecuencia diferencial del interferómetro transmisor y el interferómetro receptor para producir una diferencia máxima entre las corrientes fotoeléctricas de los dos fotodetectores. En un método preferido, esto se puede hacer al requerir que el procesador de señal 565 genere una primera señal seleccionada a partir de un conjunto de señales acordadas con el extremo de transmisión y suministradas a un
10 modulador de frecuencia y/o de fase 575 en un brazo del interferómetro 500, a través de la conexión 580, y que genere una segunda señal a un reflector 515 en el mismo brazo del interferómetro 500, a través de un sistema de realimentación 570 y la conexión 585 del interferómetro receptor 500. La primera señal de modulación se usa para identificar la señal de direccionamiento, y la segunda señal se usa para reconocer la modulación de fase impuesta por el transmisor.

15

Por ejemplo, una modulación en diente de sierra de la frecuencia óptica en el interferómetro de transmisión se puede usar para el direccionamiento y la información/datos pueden transmitirse modulando la diferencia de fase entre los dos brazos del interferómetro transmisor donde el periodo de diente de sierra es más pequeño que el periodo de información/datos. Para identificar esta señal, el interferómetro de recepción aplicará una señal de diente de sierra a un modulador de fase/frecuencia en un brazo del interferómetro de recepción y otra señal al otro modulador de fase/frecuencia. Cuando el procesador de señal genera una señal en diente de sierra del mismo período y desplazamiento de frecuencia que el transmisor, la señal de datos puede demodularse mediante la selección de la señal de fase aplicada al segundo modulador de fase en el interferómetro receptor que coincida con la fase de transmisión. Usando esta técnica de procesamiento de señal, el receptor puede identificar la dirección del
20 interferómetro de transmisión y recuperar la información de la fase/frecuencia impuesta en el interferómetro transmisor. (Las señales de realimentación exactas y el circuito dependerán de la técnica de procesamiento de señal utilizada para extraer la información de voz y datos, así como el retardo, los moduladores de fase y frecuencia diferencial y los compensadores). Estas señales de retroalimentación generadas se pueden usar entonces para demodular y recuperar la información de la diferencia de fase y/o de frecuencia entre los dos componentes de la
25 entrada al interferómetro receptor con una diferencia de retardo igual a la diferencia de retardo entre los dos brazos del interferómetro transmisor.

Un método menos preferido es que coincidan los desequilibrios de trayectoria del interferómetro receptor con respecto al interferómetro transmisor y después pasar la corriente de diferencia entre los dos fotodetectores 530,
35 535 a través de un banco de filtros eléctricos para recuperar la información de datos. La salida de cada filtro eléctrico corresponderá a un transmisor particular y la información/datos pueden ser recuperados después por el procesador de señal. En el caso de un esquema de modulación por desplazamiento de frecuencia, donde la información/datos se transportan por un cambio en la frecuencia de acuerdo con el transmisor, el procesador de señales puede entonces controlar la frecuencia de cada filtro eléctrico y compararlo con un discriminador de frecuencia, o detección
40 eléctricamente coherente, para decidir qué frecuencia se transmite. Puede usarse un procesador de señal similar cuando la información/datos se transportan por los cambios en la fase, y en este caso puede usarse un bucle bloqueado en fase o una detección de fase electrónica estándar para decidir si se transmite un uno o un cero en el caso de un sistema de comunicación digital. (Este método menos preferido también puede requerir el procesador de señal para generar señales para impulsar los circuitos de retroalimentación para la modulación del desplazamiento
45 de fase y/o de frecuencia diferencial de las señales ópticas en cualquiera de los brazos del interferómetro receptor).

El sistema óptico descrito en esta invención se puede utilizar para permitir la comunicación de voz y datos usando esquemas de modulación analógica o digital. El sistema puede usar protocolos de señalización estándar para establecer y terminar una llamada telefónica. Esto requerirá que el procesador de señal 565 también pueda asegurar
50 la producción de la corriente eléctrica para accionar un timbre de teléfono estándar 590, la señal de voz del auricular o altavoz 592 del teléfono óptico y los datos recuperados para el canal de datos 594 del conjunto de comunicación óptica. La forma de onda para accionar el timbre determinará el sonido del timbre y el timbre puede ser de un tipo piezoeléctrico o un tipo electro-mecánico que requiera una corriente de accionamiento muy pequeña preferiblemente menor de un mili-amperio. El procesador de señal se utiliza también para la demodulación y la amplificación de la
55 señal de voz y la producción de los niveles de señal electrónica requeridos para accionar el auricular en el teléfono.

Por lo tanto, un módulo receptor 214 como se muestra en la figura 5 comprende:

- un interferómetro con una diferencia de trayectoria mayor que la longitud de coherencia L_c de las fuentes

ópticas.

- fotodetectores para recopilar las dos salidas del interferómetro
- un procesador de señal
- opcionalmente un circuito de retroalimentación de la salida del procesador de señal para accionar los moduladores de fase y/o de frecuencia.

5

El receptor también puede tener un filtro óptico para separar las diferentes partes del espectro óptico para su uso por diferentes canales. Por ejemplo, una parte del espectro óptico puede usarse para la transmisión, y la otra parte puede usarse para la recepción, o un sistema de modulación interferométrica de acuerdo con una realización de la presente invención puede combinarse con un sistema más convencional usando técnicas de multiplexación por división de longitud de onda.

10

Para los esquemas de demodulación de amplitud, el receptor puede tener dos interferómetros en cuadratura como se explica en una parte posterior de esta descripción específica.

15

Direccionamiento

Como se ha mencionado anteriormente, la asignación de direcciones para identificar el teléfono óptico y conjuntos de comunicación en esta invención puede basarse en la asignación de una diferencia de retardo particular (mayor que la longitud de coherencia equivalente de la fuente óptica) y el desplazamiento de frecuencia diferencial para los interferómetros ópticos en los módulos receptores y transmisores. La asignación de un retardo particular y/o un desplazamiento de frecuencia diferencial con respecto a los interferómetros ópticos depende del uso del sistema de comunicaciones. Los siguientes esquemas de comunicación están cubiertos por esta invención: uno-a-uno, uno-a-muchos o difusión, muchos-a-uno, y muchos-a-muchos.

20

En el caso de la comunicación unidireccional, al interferómetro receptor de cada conjunto se le asigna una diferencia de retardo específica y un desplazamiento de frecuencia diferencial específico. El desequilibrio de trayectoria del interferómetro transmisor se ajusta para que coincida con el desequilibrio de trayectoria del interferómetro receptor dentro de la longitud de coherencia de la fuente óptica con la que se van a establecer los canales de voz y/o de comunicación. Los canales de voz y datos para esa diferencia específica de retardo se pueden asignar a uno o más desplazamientos de frecuencia diferencial especificados. En un sistema de comunicación de datos, pueden asignarse varios conjuntos a la misma diferencia de retardo, pero después tienen que asignarse a diferentes desplazamientos de frecuencia diferencial para facilitar una comunicación unidireccional.

25

En el caso del sistema de comunicación de uno a muchos, el interferómetro transmisor de un conjunto se asigna a una única diferencia de retardo y desplazamiento de frecuencia diferencial. La diferencia de retardo y el desplazamiento de frecuencia diferencial de los interferómetros de los receptores de los otros conjuntos debe ajustarse para que coincida con la del interferómetro de transmisión para establecer una comunicación de uno a muchos o de difusión.

30

En el caso de una comunicación de muchos a uno, el interferómetro receptor se asigna a una diferencia de retardo específica y uno o más desplazamientos de frecuencia diferencial. Los conjuntos de transmisión tienen que ajustar su interferómetro transmisor para que coincida con este retardo y el desplazamiento de frecuencia diferencial.

35

En el caso de una comunicación de muchos a muchos dentro de un grupo de transmisores y receptores, el interferómetro receptor y el interferómetro transmisor de todos los conjuntos de comunicación en el grupo se ajustan a la misma diferencia de retardo y desplazamiento de frecuencia diferencial. La diferencia de retardo de todos los interferómetros en los receptores en el grupo se ajusta para que coincida con la diferencia de retardo asignada a todos los interferómetros de transmisión. Los interferómetros de transmisión pueden transmitir entonces en el mismo desplazamiento de frecuencia diferencial. Como alternativa, cada transmisor se asigna a un desplazamiento de frecuencia diferencial específico para evitar la interferencia, sin embargo, el receptor debe ser capaz de demodular los desplazamientos de frecuencia diferencial de todos los transmisores.

40

45

50

Módulo receptor con doble interferómetro

55

Haciendo referencia a la Figura 7, el sistema de transmisión que se ha descrito anteriormente se puede utilizar para transmitir información de un transmisor T_x a un receptor R_x mediante la modulación de la intensidad de una señal óptica o bien directamente mediante la modulación de una fuente óptica o mediante el uso de un modulador de intensidad 730 fuera o dentro del interferómetro. Este método se puede usar, además de la transmisión de

información mediante la modulación de la diferencia de trayectoria y, por lo tanto, una diferencia de fase o frecuencia relativa del interferómetro transmisor. El interferómetro transmisor puede ser el mismo que se ha descrito anteriormente, donde la señal óptica se suministra desde la red. Tiene una diferencia de trayectoria característica para fines de direccionamiento, pero ahora también transporta la modulación de intensidad, así como cualquier modulación de fase o de frecuencia.

Para demodular la intensidad y las señales de fase/frecuencia por separado, el receptor tiene un par de interferómetros. Se usa un primer interferómetro de recepción del par para realizar un seguimiento de la modulación de fase o de frecuencia y el segundo interferómetro de recepción del par se usa para detectar la modulación de intensidad.

Como se muestra en la figura 7, sólo se usa un par de retrorreflectores 705 y los divisores de haz 710 para proporcionar ambos interferómetros. Esto se hace mediante el uso de un divisor de haz 715 en la entrada de manera que parte de la radiación entrante pase directamente al primer retrorreflector 710 mientras que el resto de la radiación entrante se desvía a un reflector 720 y alcanza el primer retrorreflector 710 en un punto diferente. Esto produce cuatro trayectorias diferentes a través de los retrorreflectores 605, 710 como se muestra, dos para cada interferómetro. Las dos trayectorias para un primer interferómetro están representadas por las líneas continuas recibidas en los detectores D_1 y D_4 y las dos trayectorias para un segundo interferómetro se representan por las líneas continuas recibidas en los detectores D_2 y D_3 . Hay una diferencia de camino dentro de cada interferómetro, porque la radiación toma diferentes caminos a través de los retrorreflectores, y un componente de desplazamiento de fase adicional 700 se coloca en uno de los caminos de uno de los interferómetros de manera que los dos interferómetros muestran diferentes diferencias de camino respectivos. La discrepancia en diferencias de trayectoria proporcionada por el componente de desplazamiento de fase 700 es un cuarto de la longitud de onda central de la fuente óptica que proporciona la señal entrante, poniendo los dos interferómetros en cuadratura, y la razón de esto es que:

- la modulación de intensidad se detecta mejor cuando el desequilibrio de trayectoria de un interferómetro de recepción se corresponde exactamente al desequilibrio de trayectoria del interferómetro de transmisión
- por el contrario, la modulación de fase/frecuencia se detecta mejor utilizando una discrepancia en los desequilibrios de trayectoria que produce un retardo de fase equivalente a un cuarto de longitud de onda de la portadora ya que la variación de la intensidad de la portadora es entonces cero como se detecta en el interferómetro de recepción.

Como se ha analizado anteriormente, la figura 1 muestra el efecto de cambiar la discrepancia en diferencias de longitud de trayectoria entre un interferómetro de recepción y un interferómetro de transmisión sobre la diferencia en las salidas del fotodetector para el interferómetro de recepción. (En la figura 1, la discrepancia en longitud de trayectoria se muestra como el retardo equivalente, a lo largo del eje "x"). Dentro de la envolvente mostrada como una línea discontinua (la función de coherencia 110 para la fuente óptica), la discrepancia en longitudes de trayectoria varía desde un valor negativo a un valor positivo, ambos de los cuales son equivalentes a poco más de tres veces la longitud de onda central de la fuente. Se puede observar que se detecta la intensidad de salida máxima en el interferómetro de recepción cuando los interferómetros corresponden exactamente, observada como la intensidad detectada máxima 100. Sin embargo, en un desequilibrio de trayectoria de un cuarto de la longitud de onda de la fuente, que se muestra como "un punto de cuadratura" 105, se detecta la intensidad de salida nula y este es el mejor desequilibrio de trayectoria en el que detectar la demodulación de fase/frecuencia.

Por lo tanto, es óptimo usar un receptor que tenga dos interferómetros con diferentes desequilibrios de trayectoria que están en cuadratura, es decir, la discrepancia en sus diferencias de longitud de trayectoria es un cuarto de la longitud de onda central de la fuente óptica que proporciona la portadora de la señal.

En la disposición de la figura 6, la modulación puede detectarse mediante el uso de cuatro fotodetectores, D_1 a D_4 . Cada fotodetector mide la intensidad óptica en la salida de una de las trayectorias a través de un interferómetro. Como se muestra, los fotodetectores D_1 y D_4 controlan las salidas de un interferómetro (el "interferómetro D_1/D_4 ") y los fotodetectores D_2 y D_3 controlan las salidas del otro interferómetro (el "interferómetro D_2/D_3 "). El interferómetro D_1/D_4 se corresponde con el interferómetro de transmisión 625, mientras que el interferómetro D_2/D_3 tiene un desequilibrio de trayectoria que es diferente en un cuarto de longitud de onda de la fuente. Por lo tanto, los dos interferómetros de recepción están en cuadratura.

Cabe señalar que, en relación con esta disposición, la curva que se muestra en la figura 7 se producirá trazando la diferencia de las salidas de D_1 y D_4 o D_2 y D_3 .

La modulación de fase o de frecuencia se recupera mediante el control de las salidas de los detectores D_2 y D_3 del interferómetro D_2/D_3 . Tan pronto como la suma de las salidas empieza a elevarse, se genera una señal de error. La señal de error se usa en un bucle de retroalimentación que ajusta la diferencia de trayectoria para ambos
 5 interferómetros para devolver la suma de las salidas de los detectores D_2 y D_3 a cero. Para ello, por ejemplo, lo logra moviendo uno de los retrorreflectores. La señal de error proporciona en sí un mecanismo de detección para la modulación de fase o de frecuencia.

La modulación de intensidad por su parte puede recuperarse simplemente a partir de la diferencia entre las salidas
 10 de los detectores D_1 y D_4 del interferómetro D_1/D_4 . Las dos salidas dan, respectivamente, una componente de CC más una componente de intensidad de modulación pero hay una inversión de fase con respecto a la intensidad de modulación detectada que se ha producido debido a la división de haz que afecta a un brazo únicamente del interferómetro D_1/D_4 . Por lo tanto, cuando se usa la diferencia entre las dos salidas, la componente de CC se cancela, pero la componente de intensidad de modulación se duplica.

15 Esta disposición tiene la ventaja de que rechaza las señales que se modulan en intensidad que no se generan por el interferómetro de transmisión ya que la modulación de fase del interferómetro de transmisión está siendo controlada exactamente. Para lograr esta característica de rechazo, la relación de división de potencia de 1:1 entre los dos brazos de cada interferómetro, incluyendo uno en el transmisor y ambos en el receptor, debe usarse
 20 preferiblemente. El divisor de potencia en la entrada del receptor (marcada "Divisor de entrada" en la figura 6), sin embargo, no tiene por qué ser 1:1 y puede encontrarse preferible ajustar esta relación de división de potencia y para proporcionar la mejor demodulación de fase/frecuencia e la intensidad disponible.

Anteriormente, las trayectorias ópticas a través de ambos interferómetros en el receptor se ajustan para realizar un
 25 seguimiento modulación de fase o de frecuencia moviendo un componente. Se entenderá que existen disposiciones alternativas en las que un cambio de longitud de trayectoria se puede lograr mediante la variación del índice de refracción en lugar de por el movimiento físico, y en algunas circunstancias, esto puede preferirse. Por ejemplo, si uno de los brazos de cada interferómetro pasa paralelo al otro, puede encontrarse preferible insertar un componente que cambie la longitud de trayectoria óptica en ambos brazos simultáneamente bajo control eléctrico o térmico, por
 30 ejemplo, cambiando el índice de refracción de un material electro-óptico o termo-óptico del componente.

En una disposición, tal como la mostrada en la figura 7, es posible transmitir información tanto de voz como de datos al mismo tiempo desde el mismo transmisor, por ejemplo, utilizando modulación de fase o de frecuencia para la voz y usando modulación de intensidad para los datos.

35 **Multiplexación por división de longitud de fase híbrida**

Haciendo referencia a la figura 8, también es posible usar realizaciones de la presente invención junto con multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

40 La memoria descriptiva de la solicitud de patente internacional publicada con el número WO 0141346, titulada "Multichannel Optical Communication System and Method Utilizing Wavelength and Coherence Multiplexing" con fecha 07-06-2001 desvela un método y sistema para la transmisión de varias señales ópticas multiplexadas por división de coherencia (CDM) a través de un canal de transmisión WDM de un sistema de telecomunicación WDM
 45 multicanal. Una fuente óptica de banda ancha genera luz dentro del intervalo espectral de al menos un canal de transmisión WDM. Varios canales CDM comparten este rango espectral para transmitir y detectar señales ópticas con modulación de fase a través de enlaces de fibra óptica.

Sin embargo, es posible usar una señal de espectro ensanchado 800 que se extiende a través de un espectro
 50 mucho más amplio que un canal de longitud de onda. El principio se ilustra en la figura 8 que muestra (en la figura 8a) el espectro de canales WDM 805 y la señal de espectro ensanchado óptico, junto con (en la figura 8b) una posible estructura de receptor 810. La figura 8a muestra el uso de un espectro óptico para señales CDM que es mucho más amplio que cualquiera de los canales WDM individuales. El receptor mostrado en la figura 8b eliminará los canales WDM y después demodularán el espectro óptico restante usando uno o más interferómetros. El hecho
 55 de que parte de la potencia óptica de la señal de espectro ensanchado 800 se haya extraído de la señal por el filtro óptico que extrae el canal WDM 805 no es tan importante dado que la información en el sistema diferencial de retardo se codifica en el espectro completo del espectro ensanchado óptico.

Por lo tanto, ambos sistemas WDM como de diferencia de retardo (CDM) se pueden utilizar en el mismo canal óptico

que produce una comunicación de mayor capacidad y que se aproxima al límite teórico de la capacidad del canal de comunicación óptica.

Detección interferométrica

5 Además del uso de realizaciones de la invención en los canales de comunicación de voz y datos, los transmisores y receptores del mismo tipo general pueden usarse en telemetría para parámetros ambientales. Por ejemplo, varios interferómetros con diferentes desequilibrios de trayectoria óptica respectivos pueden conectarse a una red para detectar los parámetros ambientales. El desequilibrio de trayectoria único de cada interferómetro sirve para
10 identificarlo en un receptor. Estos parámetros, tales como la presión, la temperatura, la vibración, el campo magnético, el campo eléctrico, pueden detectarse si causan un cambio en la diferencia de retardo, la fase y/o un desplazamiento diferencial en el interferómetro de detección óptica y puede transmitirse eficazmente como señales de datos. El receptor usado para tales sistemas de telemetría tiene la misma estructura que la que se usa para la
15 señales para la recopilación e interpretación de los datos de forma adecuada.

Una realización de la invención que podría describirse de esta manera como una red óptica como se describe en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas, para su uso en la detección de uno o más parámetros ambientales y la transmisión de una señal de comunicación óptica portadora de información en la que la información es
20 representativa de cada uno de dichos parámetros, estando el aparato de transmisión/recepción adaptado para detectar dicho uno o más parámetros ambientales en forma de la modulación interferométrica y para transmitir dicha señal que comprende dicha modulación.

REIVINDICACIONES

1. Una red óptica (260) para transportar señales de comunicación a o desde al menos dos puntos finales (210, 220, 230, 240) de forma óptica, estando la red adaptada para transportar comunicación por voz y que
5 comprende:
- i) al menos unos primeros y segundos puntos finales (210, 220, 230, 240), comprendiendo cada uno un aparato de transmisión/recepción (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) y que tiene una dirección en la red;
 - 10 ii) al menos una fuente de potencia óptica (250, 255) adaptada para suministrar potencia óptica al aparato de transmisión/recepción de al menos dicho primer punto final para la conversión en el energía eléctrica en el aparato de transmisión/recepción y para transmitir una portadora de señal óptica al aparato de transmisión/recepción (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) de al menos dicho primer punto final
 - 15 en la que
 - iii) el aparato de transmisión/recepción (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) del primer punto final comprende:
20 un interferómetro (300, 410) que tiene un desequilibrio de trayectoria, adaptado para aplicar una modulación interferométrica que comprende una señal de voz y la dirección del segundo punto final a la portadora de señal óptica para proporcionar una señal de comunicación óptica que comprende la señal de voz para la posterior transmisión por la red (260) al segundo punto final:
 - 25 al menos un dispositivo de conversión de potencia adaptado para convertir la potencia óptica recibida en corriente eléctrica; y
al menos un dispositivo de almacenamiento eléctrico adaptado para almacenar al menos una porción de la potencia óptica convertida;
 - 30 iv) el aparato de transmisión/recepción del segundo punto final comprende un interferómetro que tiene un desequilibrio de trayectoria, adaptado para detectar una modulación interferométrica en dicha señal de comunicación óptica recibida a través de la red para recibir dicha señal de voz, siendo el desequilibrio de trayectoria del interferómetro del primer punto final ajustable para corresponder al desequilibrio de trayectoria del interferómetro del segundo punto final dentro de la longitud de coherencia de la fuente (250, 255); y
 - 35 v) la al menos una fuente de potencia óptica (250, 255) entrega la potencia óptica a través de la red óptica (260).
2. Una red óptica (260) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el aparato de transmisión/recepción
40 (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) de al menos dicho primer punto final comprende un transductor de voz (340, 345) para su uso en dicha modulación interferométrica.
3. Una red óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que, durante el
45 uso, la fuente de potencia óptica y la fuente de portadora de señal óptica son la misma fuente (250, 255), siendo la portadora de señal óptica usada parcialmente en el aparato de transmisión/recepción (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) de al menos dicho primer punto final para la conversión de la potencia óptica entregada en corriente eléctrica.
4. Una red óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que, durante el
50 uso, dicha modulación interferométrica comprende una o más franjas de interferencia creadas pasando una portadora óptica a través de un interferómetro desequilibrado (300, 410).
5. Una red óptica (260) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que,
55 durante el uso, dicha modulación interferométrica comprende modulación de frecuencia.
6. Una red óptica (260) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para su uso en la detección de uno o más parámetros ambientales y la transmisión de una señal de comunicación óptica portadora de información, en la que la información es representativa de cada uno de dichos parámetros, estando el aparato de transmisión/recepción (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) del primer punto final adaptado para detectar dichos

uno o más parámetros ambientales en forma de la modulación interferométrica y para transmitir dicha señal de comunicación óptica portadora de información que comprende dicha modulación para la detección por el interferómetro del segundo punto final.

- 5 7. Aparato de transmisión/recepción óptica para su uso en un punto final de una red (260) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, estando el aparato dotado de al menos un interferómetro (300, 410) para aplicar y detectar la modulación interferométrica,
caracterizado por que el aparato de transmisión/recepción (211, 221, 231, 241, 214, 224, 234, 244) comprende:
- 10 un interferómetro (300, 410) que tiene un desequilibrio de trayectoria, adaptado para aplicar la modulación interferométrica que comprende una señal de voz y la dirección de un punto final diferente de la red a una portadora de señal óptica de la red, y para detectar la modulación interferométrica en dicha señal de comunicación óptica recibida a través de la red para recibir una señal de voz, siendo el desequilibrio de trayectoria del interferómetro ajustable para corresponder al desequilibrio de trayectoria de un
15 interferómetro del punto final diferente dentro de la longitud de coherencia de la fuente (250, 255); y al menos un dispositivo de conversión de potencia adaptado para recibir potencia óptica a través de la red óptica (260) y para la conversión de la potencia óptica recibida en corriente eléctrica y para aplicar la corriente eléctrica para impulsar uno o más componentes del aparato de transmisión/recepción.
- 20 8. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con la reivindicación 7, estando el aparato dotado de al menos un interferómetro (300, 410) para aplicar la modulación interferométrica, comprendiendo dicho interferómetro (300, 410) medios (415) para cambiar la longitud de al menos un brazo del interferómetro para crear un desplazamiento de frecuencia en una portadora de señal óptica.
- 25 9. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, comprendiendo el aparato un modulador de amplitud (320, 420) para cambiar la amplitud de una portadora de señal óptica para proporcionar la modulación de amplitud.
10. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7, 8 o
30 9, estando el aparato dotado de al menos dos interferómetros (705, 710) para detectar la modulación interferométrica en una señal de comunicación óptica portadora de información recibida, estando un primer interferómetro (705, 710) dispuesto para su uso en la detección de un primer tipo de modulación en la señal recibida, y estando un segundo interferómetro (705, 710) dispuesto para su uso en la detección de un segundo tipo de modulación en la señal recibida.
35
11. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el primer tipo de modulación comprende modulación de fase o de frecuencia.
12. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 u
40 11, en el que el segundo tipo de modulación comprende una modulación de intensidad.
13. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que los al menos dos interferómetros (705, 710) están desequilibrados de forma diferente, siendo la discrepancia entre las diferencias de longitud de trayectoria de los interferómetros iguales a, o aproximadamente
45 iguales a, un cuarto de una longitud de onda central de una portadora óptica que lleva la señal recibida.
14. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13 que comprende adicionalmente un componente de control de longitud de trayectoria (705) para producir un cambio de longitud de trayectoria en relación con ambos interferómetros (705, 710) de los al menos dos
50 interferómetros al mismo tiempo.
15. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con la reivindicación 14, en el que los al menos dos interferómetros comparten al menos un reflector (705) como el componente de control de longitud de trayectoria, siendo la disposición de tal forma que el movimiento del reflector compartido (705) dé como resultado dicho cambio
55 de longitud de trayectoria en relación con ambos interferómetros (705, 710).
16. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en el que los al menos dos interferómetros (705, 710) se proporcionan ambos por un par compartido de reflectores (705, 710), al menos uno de los cuales es un retroreflector, comprendiendo el aparato adicionalmente al

menos un divisor de haz de entrada (715), siendo la disposición tal como para proporcionar múltiples trayectorias ópticas en relación con los reflectores que pueden reunirse como salidas para constituir dichos al menos dos interferómetros.

5 17. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, que comprende medios de seguimiento para rastrear la modulación de fase o de frecuencia en una señal entrante y una disposición de retroalimentación para controlar el componente de control de longitud de trayectoria (705) de tal forma que ambos interferómetros se ajusten para seguir dicha modulación de fase o de frecuencia.

10 18. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7, 8 o 9, para su uso en un primer punto final de la red con el aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, comprendiendo el aparato de transmisión/recepción un modulador de intensidad (320, 420) para aplicar una modulación de intensidad a una portadora de señal óptica de tal forma que la portadora de señal óptica transporta la modulación del primer y segundo tipos.

15

19. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 18, estando dicho aparato dotado de una fuente de corriente eléctrica local.

20. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 19, para su uso en un sistema de comunicación multiplexado por división de longitud de onda, para recibir los canales multiplexados por división de longitud de onda en comunicaciones ópticas, comprendiendo dicho aparato (810) un filtro para filtrar uno o más rangos de longitud de onda que portan dichos canales multiplexados por división de longitud de onda de una portadora óptica entrante,

caracterizado por que:

25

el aparato comprende adicionalmente un interferómetro (500, 705, 710) para su uso en la detección de, en una porción de la portadora óptica entrante fuera de los canales multiplexados por división de longitud de onda, unas franjas de interferencia generadas usando un interferómetro de transmisión con una diferencia de longitud de trayectoria característica.

30

21. Aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 20, que comprende adicionalmente al menos un dispositivo de almacenamiento eléctrico para almacenar al menos una porción de la potencia óptica convertida.

35

22. Un sistema de comunicación óptica de multiplexación, cuyo sistema comprende:

i) una red óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, para portar señales de comunicaciones multiplexadas; y

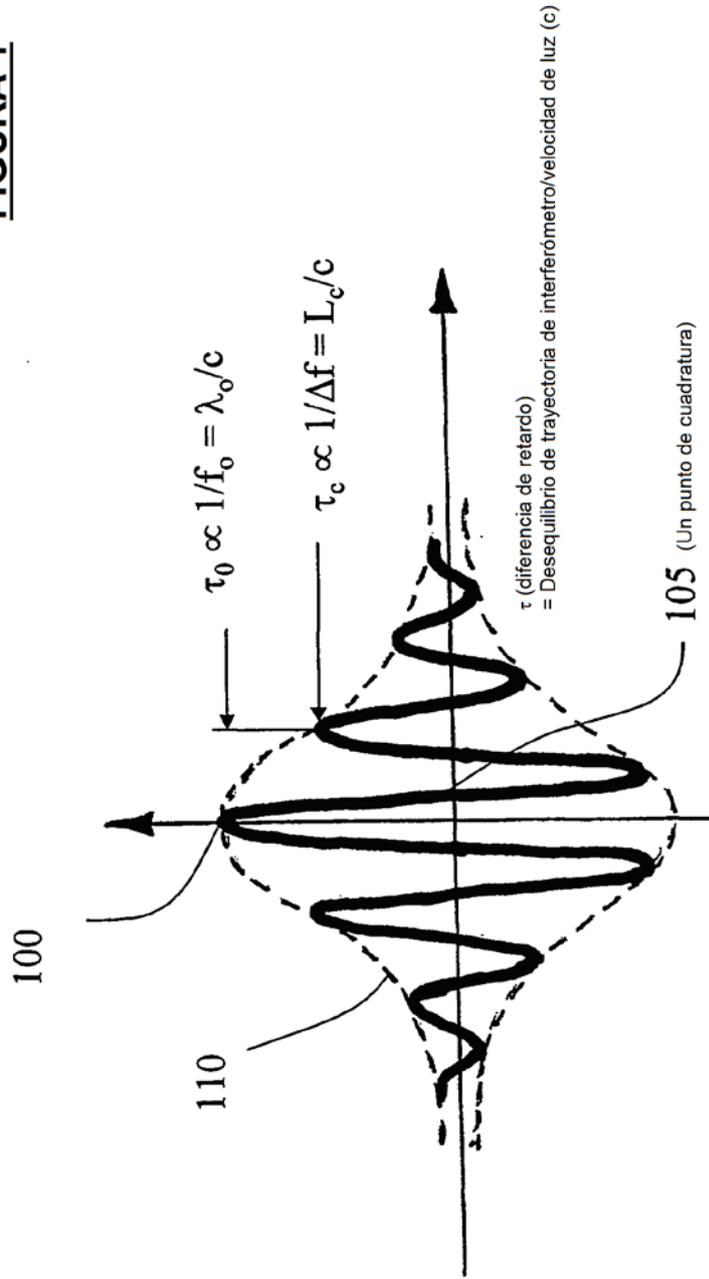
40

ii) al menos un primer y segundo aparato de transmisión/recepción óptica de acuerdo con la reivindicación 7,

en el que hay una discrepancia entre el desequilibrio de trayectorias de los primero y segundo aparatos de transmisión/recepción óptica, siendo dicha discrepancia mayor que la longitud de coherencia de la portadora de señal óptica.

45

FIGURA 1



Autocorrelación de un proceso estocástico

FIGURA 3

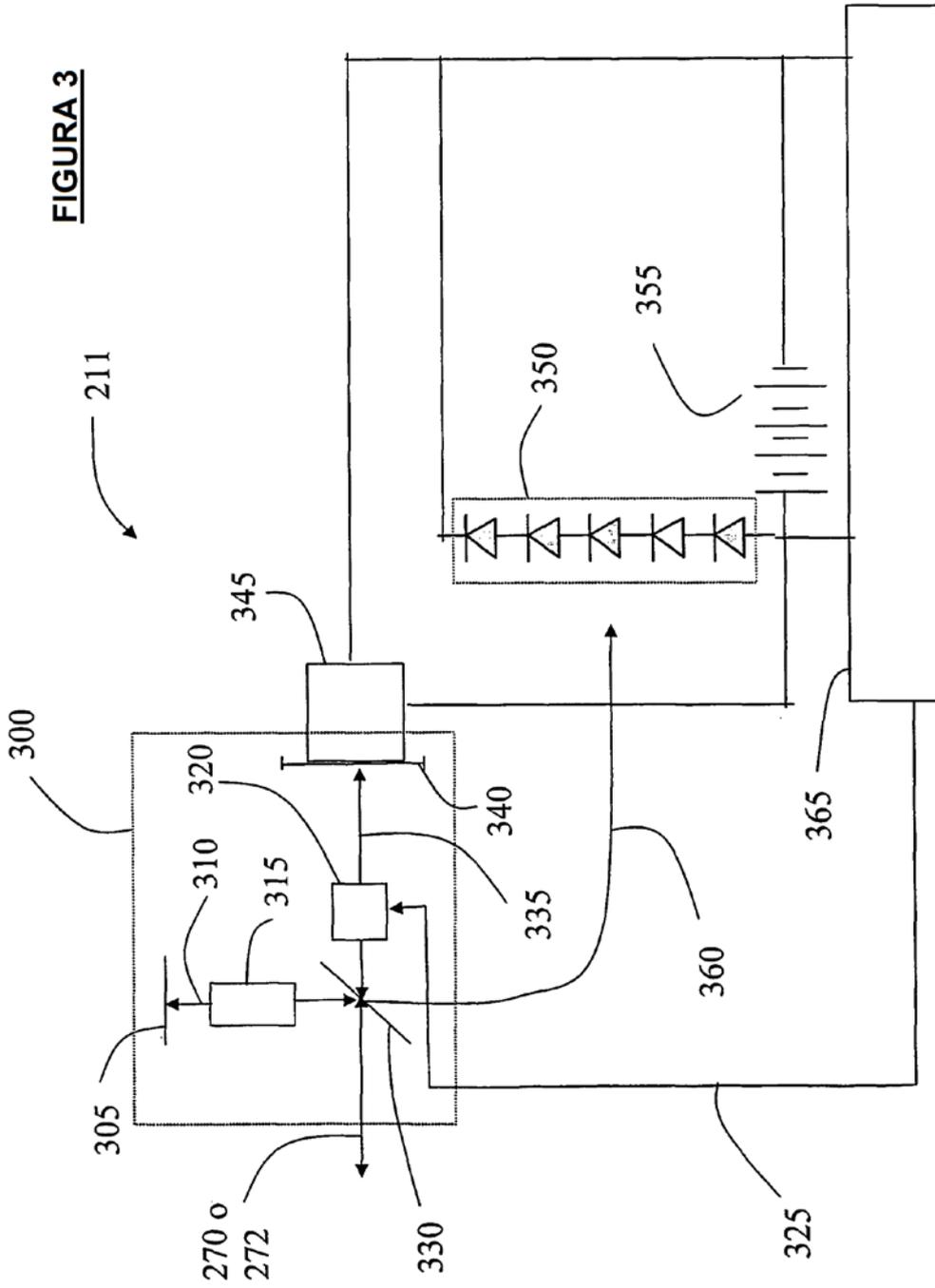
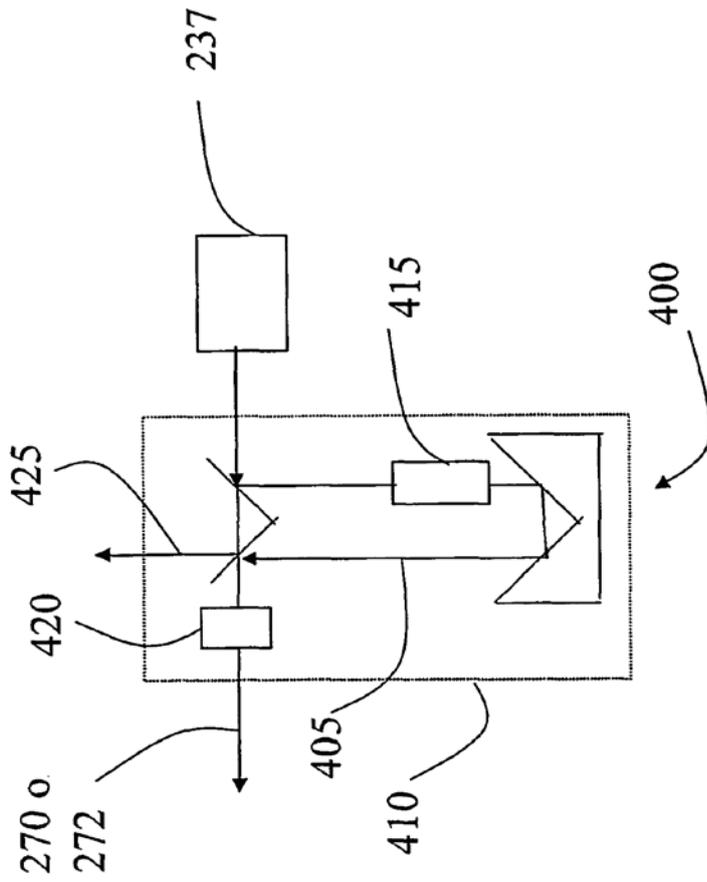


FIGURA 4



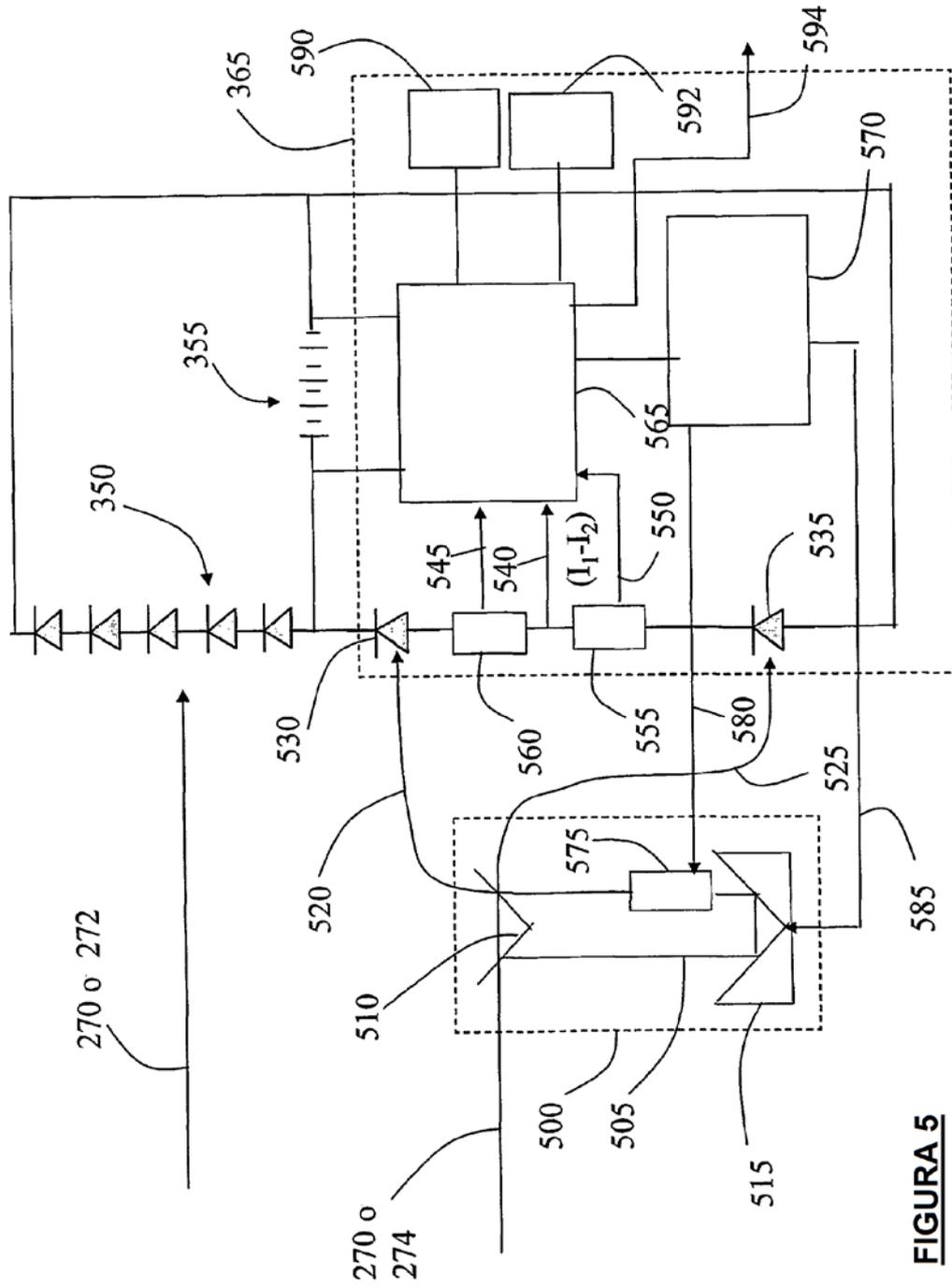


FIGURA 5

FIGURA 6

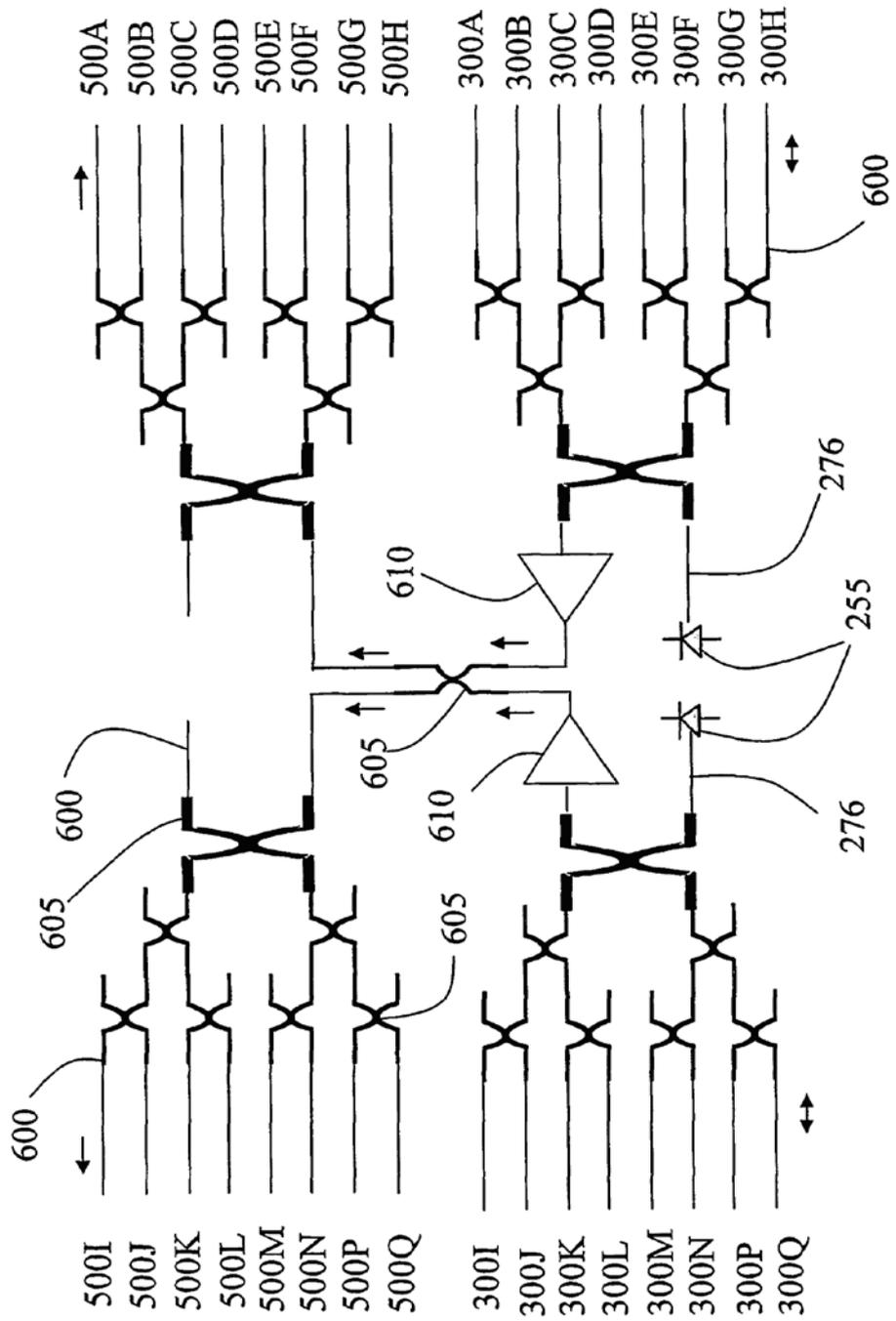
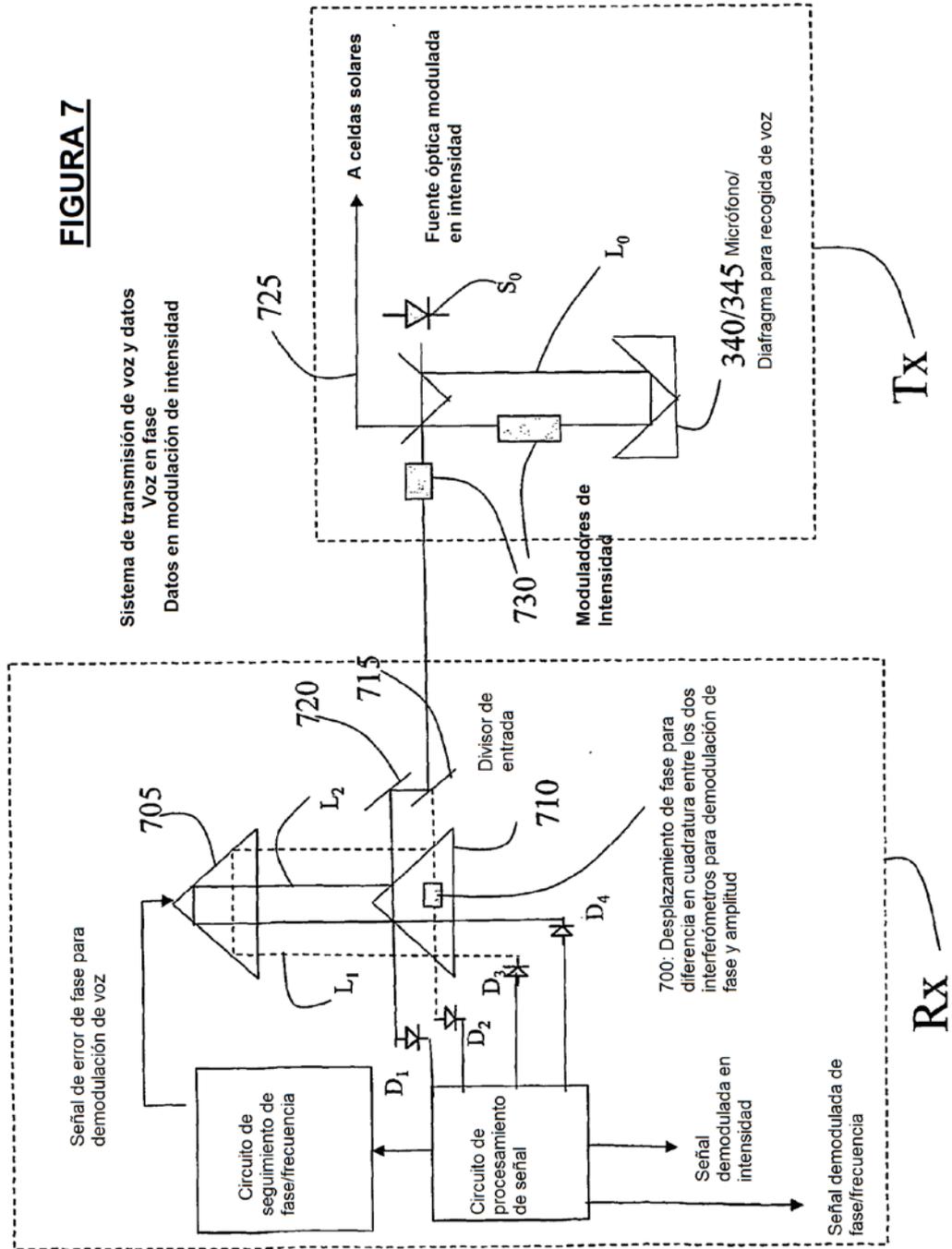


FIGURA 7



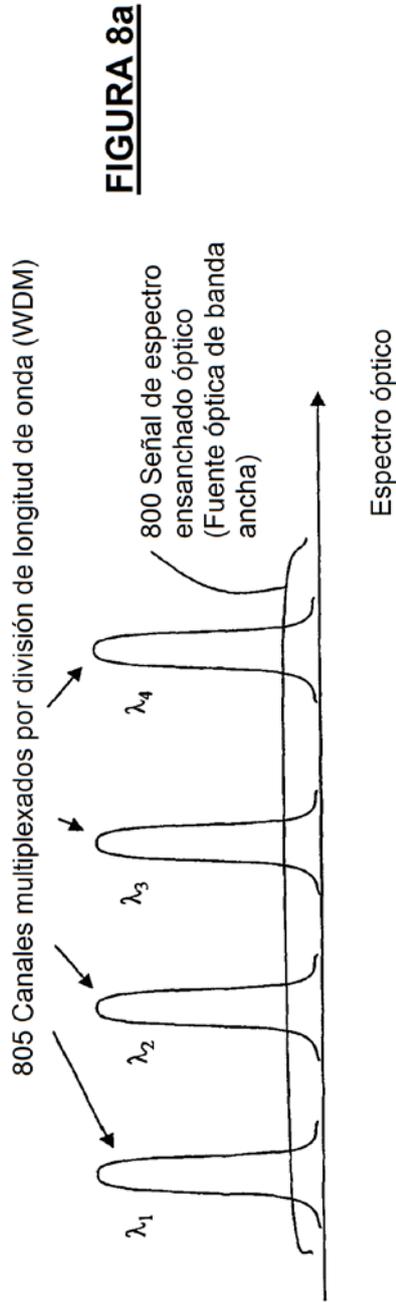


FIGURA 8a

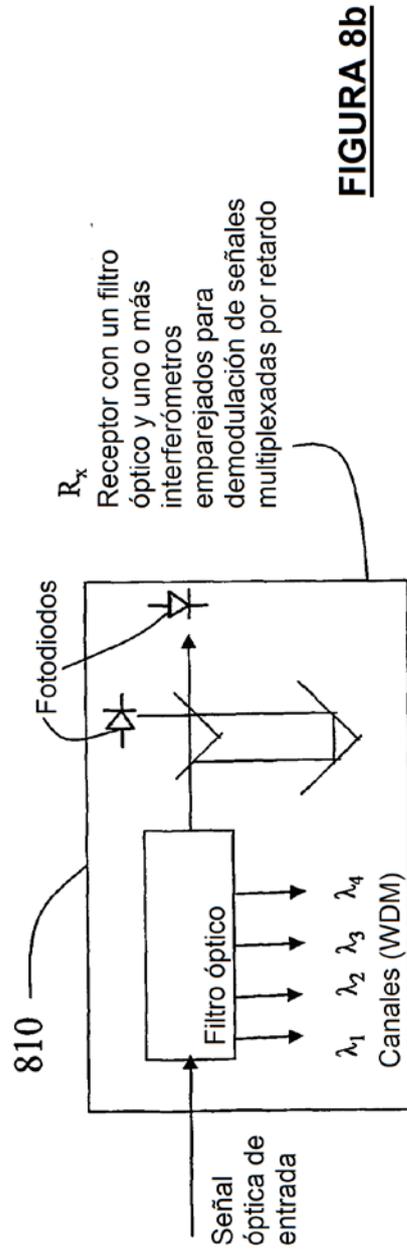


FIGURA 8b