

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 780 377**

51 Int. Cl.:

H04J 14/02 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2012** **E 12005153 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019** **EP 2547019**

54 Título: **Método para determinar parámetros de enlace y red óptica de transmisión WDM modulada por OFDM**

30 Prioridad:

12.07.2011 DE 102011107138

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

25.08.2020

73 Titular/es:

**DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
Friedrich-Ebert-Allee 140
53113 Bonn, DE**

72 Inventor/es:

**GUNKEL, MATTHIAS, DR.-ING.;
LEPPLA, RALPH DR. y
MÜHLENDER, UWE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 780 377 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

Método para determinar parámetros de enlace y red óptica de transmisión WDM modulada por OFDM

- 5 La invención se refiere en general a la transmisión de datos mediante señales ópticas y en particular a una red óptica de transmisión que se hace funcionar en régimen de multiplexación por división de longitud de onda, así como a un método para determinar parámetros de enlace de un enlace de comunicación entre dos nodos de red de tal red óptica de transmisión.
- 10 Muchas redes de comunicación se basan actualmente en la transmisión óptica de señales, empleándose una multiplexación por división de longitud de onda (WDM; *Wavelength Division Multiplexing*) para aprovechar mejor el ancho de banda de las fibras de vidrio. En la multiplexación por división de longitud de onda se concentra luz de láseres de diferente longitud de onda mediante un multiplexor óptico y dicha luz se conduce a través de una fibra óptica común y se separa de nuevo en el lado de recepción mediante un demultiplexor óptico.
- 15 El método de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*, OFDM) se utiliza ya desde hace años, entre otras cosas, como formato de modulación en la radiotelefonía móvil y en la DSL en la red de acceso. OFDM se basa en una pluralidad de subportadoras, que son ortogonales y están acopladas de forma sincronizada en fase unas con respecto a otras. Desde hace poco, OFDM se emplea también como formato de modulación en la técnica de transmisión óptica y entonces se denomina O-OFDM (*Optical-OFDM*).
- 20 Los sistemas ópticos de transmisión WDM comprenden por regla general una red de transmisión con una pluralidad de nodos de red, que están conectados entre sí de forma ópticamente conductiva. En este contexto, los nodos de red vecinos están típicamente conectados entre sí físicamente mediante fibra óptica (FO). Para la transmisión óptica de señales entre nodos de red o entre conexiones de abonado conectadas respectivamente a un nodo de red, se forma un camino óptico de enlace que puede comprender una pluralidad de nodos de red.
- 25 Para la transmisión de señales se determina un canal de transmisión, estando en los sistemas ópticos WDM conocidos un solo canal asignado a una longitud de onda central con una ventana de longitudes de onda fijamente asignada de acuerdo con la, así llamada, rejilla ITU-T, descrita por ejemplo en ITU-T G.694.1. Esta asignación puede efectuarse de manera flexible durante la puesta a disposición o el suministro de un enlace teniendo en cuenta los recursos disponibles en las fibras de vidrio. Así, la longitud de onda central de un emisor óptico puede adaptarse mediante distintos dispositivos técnicos. De este modo puede utilizarse un solo módulo óptico de emisión para distintas ventanas de longitudes de onda. Sin embargo, la posición espectral de la ventana de longitudes de onda misma y por consiguiente también la longitud de onda central del emisor óptico son fijas durante el funcionamiento.
- 30 Para la transmisión de señales se determina un canal de transmisión, estando en los sistemas ópticos WDM conocidos un solo canal asignado a una longitud de onda central con una ventana de longitudes de onda fijamente asignada de acuerdo con la, así llamada, rejilla ITU-T, descrita por ejemplo en ITU-T G.694.1. Esta asignación puede efectuarse de manera flexible durante la puesta a disposición o el suministro de un enlace teniendo en cuenta los recursos disponibles en las fibras de vidrio. Así, la longitud de onda central de un emisor óptico puede adaptarse mediante distintos dispositivos técnicos. De este modo puede utilizarse un solo módulo óptico de emisión para distintas ventanas de longitudes de onda. Sin embargo, la posición espectral de la ventana de longitudes de onda misma y por consiguiente también la longitud de onda central del emisor óptico son fijas durante el funcionamiento.
- 35 En una red WDM ópticamente transparente, también denominada red totalmente óptica (AOM; *All Optical Network*), que se basa exclusivamente en componentes ópticos, las longitudes de onda se utilizan para el encaminamiento a través de la red, siendo el objetivo la conducción completa de extremo a extremo de una demanda en el nivel óptico. Esto evita la conversión entre señales ópticas y eléctricas, con lo que se logra un considerable ahorro en subconjuntos de interfaz y por lo tanto en costes.
- 40 Especialmente en las redes WDM ópticamente transparentes extensas y malladas, se producen desventajosamente efectos de bloqueo, dado que la ventana de longitudes de onda asignada a un camino de enlace debe estar libre en todos los segmentos del recorrido del camino de enlace y, por lo tanto, estos segmentos del recorrido están bloqueados para otros enlaces con la misma ventana de longitudes de onda.
- 45 Para evitar bloqueos en el nivel de las longitudes de onda en una red óptica extensa y mallada, se han desarrollado métodos especiales para el encaminamiento y la asignación de longitud de onda (RWA; *Routing & Wavelength Assignment*), como se describe por ejemplo en los siguientes artículos especializados:
- 50
- X. Chu, B. Li: "Dynamic Routing and Wavelength - Assignment in the Presence of Wavelength Conversion for All-Optical Networks", IEEE Transactions on Networking, vol.13, junio de 2005
 - H. Zang, J. Jue, B. Mukherjee: "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks", Optical Networks Magazine, enero de 2000
 - S. Azodolmolky, M. Klinkowski, E. Marin, D. Careglio, J. Sole Pareta, I. Tomkos: "A Survey on Physical Layer Impairments Aware Routing and Wavelength Assignment Algorithms in Optical Networks", Computer Network journal, volumen 53, número 7, páginas 926-944, mayo de 2009
 - S. Azodolmolky, D. Klonidis, I. Tomkos, Y. Ye, C. Saradhi, E. Salvadori, M. Gunkel, K. Manousakis: "A Dynamic Impairment Aware Networking Solution for Transparent Mesh Optical Networks", IEEE Communication Magazine, 2009
 - S. Azodolmolky, M. Klinkowski, E. Marin, D. Careglio, J. Sole-Pareta, I. Tomkos: "A Survey on Physical Layer Impairments Aware Routing and Wavelength Assignment Algorithms in Optical Networks", Computer Networks - Elsevier, ISSN: 1389-1286, 2009
- 55
- 60

- S. Azodolmolky, J. Prelo, M. Angelou, F. Agraz, L. Velasco, S. Spadaro, Y. Pointurier, A. Francescon, C. Saradhi, P. Kokkinos, E. Varvarigos, S. Al Zahr, M. Gagnaire, M. Gunkel, D. Klonidis, I. Tomkos: "Experimental Demonstration of an Impairment Aware Network Planning and Operation Tool for Transparent/Translucent Optical Networks", IEEE Journal of Lightwave Technology, 2010.

5 El problema técnico del RWA es muy complejo y se soluciona habitualmente con métodos de programación lineal (LP; *Linear Programming*) o con heurísticas adaptadas. En general, no es posible en todos los casos aprovechar por completo todos los recursos de red en forma de longitudes de onda. Estos casos se dan especialmente cuando la distribución espacial de las demandas de tráfico reales no siguen la distribución y cantidad de tráfico pronosticadas.
10 Entonces se producen necesariamente excesos y faltas de suministro regionales y locales de capacidades de red disponibles. En forma suavizada, este estado ha de considerarse incluso como un caso de funcionamiento normal.

15 En el funcionamiento de una red, las demandas de tráfico aparecen de diferente manera en cuanto al tiempo y aparentemente de forma aleatoria. Por lo tanto, aunque se suponga por planificación un diseño ideal de la capacidad, se producen cuellos de botella en la capacidad debido al orden temporal de la llegada de las demandas. En la práctica, incluso en los métodos RWA numéricamente óptimos están ocupados sólo entre un 50 y un 80% de todos los canales de longitud de onda, en cuanto se producen los primeros bloqueos de longitudes de onda en tramos consecutivos del recorrido.

20 En principio, los convertidores de longitud de onda solucionarían el problema de los bloqueos de longitudes de onda. Sin embargo, no hay en perspectiva convertidores de longitud de onda económicos para este fin, de manera que el empleo de convertidores de longitud de onda en cada nodo de red está asociado con unos costes considerables.

25 Un concepto de red en el que se permiten unas pocas conversiones OEO, y en el que por lo tanto el requisito de un trazado de caminos ópticamente transparente en su totalidad se mantiene ya sólo de forma atenuada, se denomina enfoque translúcido. Mediante unas pocas conversiones OEO encauzadas y la opción que éstas ofrecen de cambiar la longitud de onda portadora de la información que se ha de transportar, es posible mitigar el peligro de los bloqueos de longitudes de onda. Este enfoque tiene la desventaja de que se producen costes adicionales por las tarjetas de línea (transpondedores, regeneradores o similares) correspondientes.

30 En una red WDM ópticamente transparente se emplean, como elemento de conmutación para el encaminamiento, multiplexores ópticos de adición/sustracción reconfigurables (ROADM, por sus siglas en inglés). Un ROADM con más de dos parejas de fibras ópticas conectadas se denomina ROADM multigrado (MD-ROADM, por sus siglas en inglés), estando los MD-ROADM equipados habitualmente con conmutadores selectores de longitud de onda (WSS, por sus siglas en inglés), que llevan a cabo internamente la conmutación propiamente dicha de los canales de longitud de onda.

40 El estándar ITU-T G.694.1 preestablece una rejilla de longitudes de onda fija, siendo el ancho de la rejilla en particular de 100 GHz, 50 GHz o 25 GHz. De forma adaptada a este estándar, los WSS actuales tienen típicamente una rejilla de longitudes de onda fija, presentándose comercialmente en una rejilla de 100 GHz o de 50 GHz. Dado que en estos tipos de WSS aparecen entre los distintos canales siempre regiones del espectro con una alta pérdida, por ejemplo los WSS con una rejilla de 50 GHz no pueden utilizarse para conmutar una señal más ancha desde el punto de vista espectral, que por ejemplo ocupe un canal de 100 GHz de ancho.

45 Sin embargo, también se conocen WSS sin una rejilla de longitudes de onda fijamente preestablecida, que por ejemplo se basan en la tecnología LCoS (*Liquid Crystal on Silicon*) o la tecnología DLP (*Digital Light Processing*) y cuyas ventanas espectrales de conmutación pueden configurarse electrónicamente dentro de un amplio margen. Los módulos WSS basados en LCoS posibilitan la fusión de ventanas de longitudes de onda adyacentes en el marco de una rejilla fija de canal para obtener una ventana de longitudes de onda más ancha. Por lo tanto, el empleo de módulos WSS basados en LCoS soluciona el problema de las regiones fijamente preestablecidas desde el punto de vista espectral con una alta pérdida de inserción. Así, por ejemplo podrían reunirse dos ventanas de longitudes de onda adyacentes de una rejilla de 50 GHz para obtener una ventana de longitudes de onda de 100 GHz de ancho, o dos ventanas de longitudes de onda adyacentes de una rejilla de 100 GHz para obtener una ventana de longitudes de onda de 200 GHz de ancho.

55 A pesar de estos desarrollos técnicos, en una red WDM ópticamente transparente sin convertidor de longitud de onda, si se emplean algoritmos RWA actuales basados en rejillas fijas de canal, aparecen, debido a bloqueos de longitudes de onda, huecos espectrales desaprovechados en la banda de transmisión de las fibras de vidrio utilizadas y por lo tanto capacidades de transporte desaprovechadas.

60 En los documentos siguientes se divulgan redes y sistemas ópticos flexibles: CHRISTODOULOPOULOS K ET AL: "Elastic Bandwidth Allocation in Flexible OFDM-Based Optical Networks", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, EE.UU., volumen 29, nº 9, 1 de mayo de 2011 (01-05-2011), páginas 1354-1366, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2011.2125777; CHRISTODOULOPOULOS K ET AL: "Dynamic bandwidth allocation in flexible OFDM-based networks", 2011 OPTICAL FIBER COMMUNICATION

CONFERENCE AND EXPOSITION AND THE NATIONAL FIBER OPTIC ENGINEERS CONFERENCE (OFC/NFOEC 2011) : LOS ANGELES, CALIFORNIA, EE.UU., 6 - 10 DE MARZO DE 2011, IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE.UU., 6 de marzo de 2011 (06-03-2011), páginas 1-3, ISBN: 978-1-4577-0213-6; y EP 2 312 770 A1.

- 5 Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es mostrar una manera de evitar estos huecos espectrales y por lo tanto aumentar la capacidad de transporte de una red WDM ópticamente transparente. Otro objetivo de la presente invención consiste en mostrar una manera de reducir los bloqueos de longitudes de onda en una red WDM ópticamente transparente, en particular en una red WDM ópticamente transparente extensa y mallada.
- 10 Este objetivo se logra mediante las características de las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes tienen por objeto formas de realización ventajosas.

15 Un método según la invención sirve para determinar parámetros de enlace de un primer enlace de comunicación entre un primer y un segundo nodos de red de una red óptica de transmisión que se hace funcionar en régimen de multiplexación por división de longitud de onda, comprendiendo la red de transmisión una pluralidad de nodos de red que están conectados entre sí mediante trayectos ópticos de transmisión. El método prevé la predeterminación de una tasa de transmisión de datos para una transmisión de datos a través del primer enlace de comunicación entre el primer y el segundo nodos de red, determinándose los parámetros de enlace en función de la tasa de transmisión de datos predeterminada. Con este fin se selecciona un primer camino óptico de enlace asignado al primer enlace de comunicación para la transmisión de datos entre el primer y el segundo nodos de red, conectando el primer camino óptico de enlace seleccionado el primer y el segundo nodos de red entre sí de manera ópticamente transparente. Además, con este fin, se define un primer canal de transmisión para la transmisión de señales a lo largo del primer camino óptico de enlace mediante una señal óptica de múltiples portadoras modulada según un esquema de modulación OFDM. La selección del primer camino óptico de enlace y la definición del primer canal de transmisión se realizan en función de la tasa de transmisión de datos predeterminada y en función de los parámetros de enlace de los demás enlaces de comunicación existentes entre los nodos de red de la red de transmisión, adaptándose el espectro de transmisión del primer canal de transmisión de manera flexible a la tasa de transmisión de datos predeterminada.

20 Una idea fundamental de la invención consiste en, en un sistema óptico transparente de transmisión basado en WDM, reducir la aparición de bloqueos de longitudes de onda mediante la adaptación del espectro de emisión asignado a un camino óptico de enlace que se ha de formar. Por consiguiente, la adaptación del espectro de transmisión del primer canal de transmisión se realiza en respuesta a la detección de un bloqueo.

25 El espectro de transmisión que se ha de utilizar para la transmisión de señales se determina en el lado del emisor y corresponde al espectro de emisión generado respectivamente por el emisor óptico. El espectro de transmisión corresponde a la gama de longitudes de onda utilizada para la transmisión de señales.

30 Los parámetros de enlace comprenden el camino de enlace y el canal de transmisión, que determina los parámetros de la transmisión de señales, comprendiendo éstos el espectro de transmisión empleado para la transmisión de datos y la modulación de señales utilizada.

35 El esquema de modulación OFDM empleado para generar una señal óptica de múltiples portadoras modulada se basa en una pluralidad de subportadoras, que son ortogonales y están acopladas de forma sincronizada en fase unas con respecto a otras. En el esquema de modulación OFDM empleado, la información útil que se ha de transmitir con la tasa de transmisión de datos predeterminada se divide en varios trenes de datos parciales y estos trenes de datos parciales se modulan respectivamente con un ancho de banda pequeño con un método de modulación como por ejemplo la modulación de amplitud en cuadratura en las distintas subportadoras. Las señales de emisión O-OFDM se generan habitualmente con procesadores digitales de señales y convertidores D/A y A/D rápidos. Con este enfoque es posible lograr pendientes de flanco muy pronunciadas en el espectro. Mediante una variación de los parámetros en el procesamiento de señales se consigue la posibilidad de adaptar una señal O-OFDM de manera flexible al espectro del canal. Modificando electrónicamente la profundidad de modulación de distintas subportadoras es posible o adaptar el volumen de datos por unidad de tiempo o variar el ancho espectral de la señal de emisión. La profundidad de modulación indica la cantidad de bits de la subportadora respectiva que se han de transmitir por cada símbolo.

40 Dependiendo de la velocidad de los convertidores D/A y A/D empleados, puede ser ventajoso, para lograr altas tasas de transmisión de datos, que la señal óptica de múltiples portadoras modulada comprenda una pluralidad de señales ópticas individuales reunidas en una señal múltiplex, estando cada una de las señales ópticas individuales modulada respectivamente según un esquema de modulación OFDM.

45 Si se emplea esta multiplexación por división de frecuencias adicional, el ancho del espectro de transmisión está definido por el ancho espectral de la señal múltiplex. La señal múltiplex también puede generarse ventajosamente mediante un esquema de modulación OBM-OFDM, como se describe por ejemplo en el documento EP 2 271 013 A2.

- Así pues, el ancho espectral del espectro de transmisión del primer canal de transmisión se adapta ventajosamente de manera flexible a la tasa de transmisión de datos predeterminada mediante una adaptación de la profundidad de modulación de las subportadoras de la señal óptica de múltiples portadoras modulada empleada para la transmisión de señales, comprendiendo estas subportadoras, en el caso de la multiplexación óptica por división de frecuencias adicional antes descrita, las subportadoras de todas las señales ópticas individuales de la señal múltiple. Así pues, el método utiliza una rejilla flexible en lugar de una rejilla fija de canal de longitudes de onda, estando cada canal adaptado individualmente a la tasa de transmisión de datos respectivamente asignada, con lo que se posibilita un aprovechamiento más eficaz del ancho de banda disponible de una fibra óptica entre dos nodos de red.
- 5 La determinación de los parámetros de enlace del primer enlace de comunicación puede realizarse ventajosamente durante el establecimiento del enlace de comunicación entre el primer y el segundo nodos de red, comprendiendo la predeterminación de la tasa de transmisión de datos preferiblemente la petición de la tasa de transmisión de datos a un puerto de cliente. El puerto de cliente está conectado a un nodo de red de la red de transmisión.
- 10 Sin embargo, la determinación de los parámetros de enlace del primer enlace de comunicación puede realizarse también existiendo ya el primer enlace de comunicación, por ejemplo cuando se adaptan la tasa de transmisión de datos asignada al primer enlace de comunicación o los parámetros de enlace de los demás enlaces de comunicación.
- 15 Una idea fundamental de la invención consiste en, en un sistema óptico transparente de transmisión basado en WDM, reducir la aparición de bloqueos de longitudes de onda mediante una adaptación del espectro de emisión asignado a un camino óptico de enlace que se ha de formar, adaptándose con este fin ventajosamente no sólo el espectro de emisión del camino de enlace que se ha de formar, sino también el de canales vecinos.
- 20 Por consiguiente, el método comprende preferiblemente la modificación de los parámetros de enlace de al menos un segundo enlace de comunicación entre dos nodos de red de la red óptica de transmisión, teniendo asignado el segundo enlace de comunicación un segundo camino óptico de enlace, que presenta al menos un trayecto óptico de transmisión común con el primer camino óptico de enlace, y comprendiendo la modificación de los parámetros de enlace del segundo enlace de comunicación una adaptación de un segundo canal de transmisión a la transmisión de señales a lo largo del segundo camino óptico de enlace.
- 25 Con especial preferencia, la adaptación del espectro de transmisión del primer y/o el segundo canales de transmisión se realiza en respuesta a la detección de un bloqueo.
- 30 En una forma de realización preferida del método, la adaptación del segundo canal de transmisión comprende una adaptación del ancho del espectro de transmisión del segundo canal de transmisión y/o un desplazamiento del espectro de transmisión del segundo canal de transmisión. El desplazamiento del espectro de transmisión del segundo canal de transmisión comprende típicamente un desplazamiento de la frecuencia central de una señal óptica de múltiples portadoras modulada transmisible a través del segundo canal de transmisión. De este modo es posible agrandar al ancho del espectro de transmisión del primer canal de transmisión un hueco espectral existente cuyo ancho no sea en primer lugar suficiente para alojar el espectro de transmisión del primer canal de transmisión, de manera que puede evitarse un bloqueo de longitudes de onda que de lo contrario aparecería. Todo aprovechamiento de los huecos espectrales para aumentar la capacidad de transporte aumenta la rentabilidad de las inversiones ya efectuadas en sistemas de transporte.
- 35 En otra forma de realización preferida se permiten también solapamientos de espectros de transmisión, pudiendo esta forma de realización emplearse no sólo como alternativa, sino también en combinación con la forma de realización anteriormente descrita, que prevé una adaptación del ancho y/o un desplazamiento del espectro de transmisión. Por consiguiente, ventajosamente, el primer canal de transmisión se define de tal manera y/o el segundo canal de transmisión se adapta de tal manera que los espectros de transmisión del primer y el segundo canales de transmisión se solapen al menos parcialmente. Preferiblemente, la zona de solapamiento comprende una parte del espectro de transmisión del primer canal de transmisión y una parte del espectro de transmisión del segundo canal de transmisión. Sin embargo, los solapamientos en el espectro óptico no pueden anularse ni compensarse mediante un filtrado espectral comparativamente sencillo en el dominio óptico.
- 40 Por lo tanto, para separar las señales en el lado del receptor en la zona de solapamiento de los espectros de transmisión del primer y el segundo canales de transmisión se emplea ventajosamente un método de multiplexación por división de código, que posibilita la transmisión simultánea de distintos trenes de datos útiles en una gama común de frecuencias mediante la utilización de códigos de ensanchamiento.
- 45 Como alternativa o adicionalmente a la utilización de un método de multiplexación por división de código en la zona de solapamiento, ventajosamente se define el primer canal de transmisión de tal manera y/o se adapta el segundo canal de transmisión de tal manera que se asigne a las subportadoras de una señal óptica de múltiples portadoras modulada transmisible a través del canal de transmisión respectivo situadas dentro de la zona de solapamiento una menor profundidad de modulación, es decir, una menor cantidad de bits que se han de transmitir por cada símbolo, que a las subportadoras situadas fuera de la zona de solapamiento.
- 50
- 55
- 60
- 65

5 Con especial preferencia, la transmisión de señales del primer y/o el segundo enlaces de comunicación comprende un encaminamiento mediante un multiplexor óptico de adición/sustracción reconfigurable (ROADM), que presente al menos un conmutador selector de longitud de onda (WSS) configurable de manera flexible desde el punto de vista espectral. Con WSS configurables de manera flexible desde el punto de vista espectral es posible construir correspondientemente ROADM muy flexibles desde el punto de vista espectral. En particular es posible conmutar con una granularidad muy fina gamas de longitudes de onda en cualquier puerto o salida de un elemento de red ROADM. Un WSS configurable de manera flexible desde el punto de vista espectral puede basarse por ejemplo en la tecnología LCoS. Como alternativa a la tecnología LCoS, también pueden utilizarse WSS basados en DLP (DLP = *Digital Light Processing*), que se basan en una pluralidad de espejos MEMS y ofrecen un rendimiento más o menos comparable.

15 El método prevé de forma particularmente ventajosa la ejecución de un algoritmo RWA adaptado a una asignación flexible, dependiente de la tasa de transmisión de datos, de espectros de transmisión. En virtud de las distintas posibilidades de adaptación del espectro de transmisión de canales de transmisión vecinos, un esquema de asignación puede estar configurado de muy diferentes maneras. Independientemente del esquema de asignación concreto, se reducen los bloqueos en virtud de la flexibilidad elevada del aprovechamiento espectral.

20 El objetivo de la invención se logra además mediante una red óptica de transmisión de datos que se hace funcionar en régimen de multiplexación por división de longitud de onda, con una pluralidad de nodos de red conectados entre sí mediante trayectos ópticos de transmisión, que presenta al menos un dispositivo de selección, para seleccionar un camino óptico de enlace que conecta un primer y un segundo nodos de red entre sí de manera ópticamente transparente, y un primer canal de transmisión asignado para la transmisión de señales a lo largo del camino óptico de enlace seleccionado mediante una señal óptica de múltiples portadoras modulada según un esquema de modulación OFDM, estando la red de transmisión de datos configurada para conducir a través de la red la señal óptica de múltiples portadoras modulada a lo largo del camino óptico de enlace seleccionado, y estando el dispositivo de selección configurado para llevar a cabo la selección del camino óptico de enlace y del canal de transmisión asignado en función de una tasa de transmisión de datos predeterminada y en función de los parámetros de enlace de enlaces de comunicación existentes entre los nodos de red de la red de transmisión de datos, adaptándose, en respuesta a la detección de un bloqueo, de manera flexible a la tasa de transmisión de datos predeterminada el espectro de transmisión del canal de transmisión asignado.

30 Ventajosamente, el dispositivo de selección puede estar dispuesto en un dispositivo central de la red de transmisión de datos. Como alternativa, también existe la posibilidad de que cada nodo de red comprenda un dispositivo de selección correspondiente. Además, el dispositivo de selección puede estar formado por módulos cooperantes dispuestos en una pluralidad de nodos de red.

40 De forma particularmente ventajosa, la red óptica de transmisión de datos comprende al menos un módulo de emisión con un láser de emisión destinado a generar una señal óptica de múltiples portadoras modulada según un esquema de modulación OFDM, para la transmisión óptica de señales a través de un canal de transmisión asignado a un enlace de comunicación, siendo variable la longitud de onda del láser de emisión mientras exista el enlace de comunicación. De este modo es posible desplazar espectralmente la frecuencia central y por lo tanto el espectro de transmisión correspondiente.

45 Además, preferiblemente al menos un nodo de red de la red óptica de transmisión de datos comprende también un elemento óptico de conmutación, que está configurado como un multiplexor óptico de adición/sustracción reconfigurable flexible desde el punto de vista espectral y al menos un conmutador selector de longitud de onda configurable de manera flexible desde el punto de vista espectral, empleándose como WSS configurables de manera flexible desde el punto de vista espectral por ejemplo WSS basados en LCoS o basados en DLP.

50 Ventajosamente, la red óptica de transmisión de datos está configurada para ejecutar un algoritmo RWA adaptado a una asignación flexible, dependiente de la tasa de transmisión de datos, de espectros de transmisión.

55 Mediante la combinación de dispositivos emisores y receptores basados en O-OFDM y ROADM basados en LCoS o basados en DLP en una red ópticamente transparente se posibilitan en principio ocupaciones flexibles de los canales en una red de transporte ópticamente transparente, dado que ambas tecnologías pueden configurarse electrónicamente y presentan una gran flexibilidad espectral. De este modo puede suprimirse la necesidad existente hasta ahora de una rejilla fija de canales WDM.

60 En el marco de un concepto de red transparente ("all-optical networking"), mediante la invención se logra la máxima capacidad de transporte técnicamente posible. Para ello se influye adecuadamente en espectros de emisión modulados por O-OFDM en un sistema de transporte WDM. En este contexto se suprime la rejilla fija de canal de longitudes de onda ya conocida en favor de una rejilla flexible. De forma particularmente ventajosa, en el concepto de red según la invención los espectros de emisión asignados de manera flexible se encaminan a través de la red de manera ópticamente transparente por medio de MD-ROADM basados en WSS.

65

Además, ventajosamente, se transporta a través de la red sólo el tráfico que realmente se presente, es decir la carga útil real. Con subportadoras generadas habitualmente de forma eléctrica, la O-OFDM resulta extraordinariamente adecuada para este fin, dado que las subportadoras en el margen del espectro O-OFDM pueden ponerse fácilmente a cero en cuanto la demanda de tráfico lo permita, es decir, se haya vuelto correspondientemente pequeña. Un esquema flexible de asignación de anchos de banda y longitudes de onda puede dejar que se solapen ópticamente canales individuales, que pueden separarse de nuevo eléctricamente mediante un enfoque CDMA y/o mediante una reducción espectralmente limitada de la profundidad de modulación para lograr una mayor robustez contra perturbaciones de canales vecinos. Como alternativa, la información que se haya de transportar actualmente puede repartirse entre las subportadoras O-OFDM más centrales y éstas pueden modularse con una profundidad correspondientemente mayor de tal manera que se eviten solapamientos espectrales. Además, es posible desplazar las longitudes de onda centrales de los láseres utilizados. Junto con WSS configurables de manera flexible desde el punto de vista espectral, es posible también encaminar de manera flexible a través de una red ópticamente transparente los espectros de emisión así optimizados para el estado actual de la red y su carga de tráfico.

A diferencia de las variantes "Auto-Fallback" en el campo de las LAN radioeléctricas, en la presente invención se envía siempre a través de la red ópticamente transparente flexible la totalidad del volumen de datos que se ha de transportar. Típicamente, no tiene lugar una reducción de la tasa de transmisión de datos útiles.

A continuación se describe la invención más detalladamente a modo de ejemplo por medio de formas de realización preferidas y haciendo referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos, los símbolos de referencia iguales designan partes iguales o similares. Se muestran:

La Figura 1, una representación esquemática de un espectro en una modulación de portadora única, la Figura 2, una representación esquemática de un espectro en una modulación OFDM de múltiples portadoras, la Figura 3, una representación esquemática de una asignación ejemplar de anchos de banda empleando el método según la invención, la Figura 4, esquemáticamente, un primer enfoque según la invención para evitar bloqueos de longitudes de onda, la Figura 5, esquemáticamente, un ejemplo de realización preferido de una red óptica de transmisión según la invención, la Figura 5a, a modo de ejemplo, la ocupación espectral del trayecto óptico 401 de transmisión representada en la Figura 5, la Figura 5b, a modo de ejemplo, la ocupación espectral del trayecto óptico 402 de transmisión representada en la Figura 5, la Figura 5c, a modo de ejemplo, la ocupación espectral del trayecto óptico 403 de transmisión representada en la Figura 5, la Figura 5d, a modo de ejemplo, la ocupación espectral del trayecto óptico 404 de transmisión representada en la Figura 5, y la Figura 6, esquemáticamente, un segundo enfoque según la invención para evitar bloqueos de longitudes de onda.

En la Figura 1 está representado a modo de ejemplo el espectro 10 de una señal de emisión en una modulación de portadora única. En comparación con éste, la Figura 2 muestra el espectro 20 de una señal de emisión en una modulación OFDM de múltiples portadoras. Utilizando una pluralidad de subportadoras, designadas a modo de ejemplo con los símbolos de referencia 21 y 22, se logra, en el caso del empleo de OFDM, un espectro casi rectangular y más estrecho, siendo en el ejemplo representado la tasa de transmisión de datos en la señal de emisión de la Figura 1 y en la señal de emisión de la Figura 2 de 100 Gbit/s. En el ejemplo representado, la señal OFDM 20 de múltiples portadoras de la Figura 2 es una señal múltiplex, que comprende cuatro señales ópticas 20a, 20b, 20c y 20d, que están respectivamente moduladas por OFDM de forma individual y reunidas en una señal mediante multiplexación por división de frecuencias.

El procesamiento digital de señales en una pareja de emisor/receptor O-OFDM permite, desde el punto de vista de un puerto de cliente, capacidades de transporte del canal respectivo "que respiran", es decir, mediante una modificación de la profundidad de modulación de distintas subportadoras puede adaptarse el volumen de datos por unidad de tiempo o variarse el ancho espectral de la señal de emisión. De este modo, la capacidad de transmisión de un transpondedor o de un enlace punto a punto puede adaptarse al volumen de datos actualmente presente, como está representado esquemáticamente en la Figura 3. Con volumen de datos actualmente presente quiere decirse típicamente un valor medio temporal, por ejemplo a lo largo de unos segundos o unos pocos minutos.

La Figura 3 muestra un ejemplo de una asignación de ancho de banda sin tener en cuenta una rejilla de canal fijamente predeterminada. Está representada la profundidad de modulación en función de la longitud de onda para canales ejemplares, estando los canales, designados a modo de ejemplo con los símbolos de referencia 101 a 105, representados esquemáticamente como bloques en los que está inscrita respectivamente la velocidad de transmisión de datos o tasa de transmisión de datos asignada en Gbit/s. Estos valores se refieren a la demanda real de tráfico y no a una tasa de transmisión de datos estandarizada. Una tasa de transmisión de datos alta puede lograrse mediante

una gran profundidad de modulación, como por ejemplo en el canal 104, o mediante un gran ancho espectral, como por ejemplo en el canal 105. Dado que la profundidad de modulación indica la cantidad de bits de una subportadora que se han de transmitir por cada símbolo, y la cantidad de subportadoras depende del ancho del espectro de transmisión, la superficie de los bloques representados es una medida de la tasa de transmisión de datos asignada.

Hay que observar que una mayor profundidad de modulación tiene como consecuencia una mayor propensión a fallos y por lo tanto un menor alcance y por lo tanto está limitada hacia arriba. Como se desprende además de la Figura 3, algunos canales, como los canales 102 y 103, pueden incluso solaparse ligeramente desde el punto de vista espectral. En el ejemplo representado, la profundidad de modulación de las subportadoras se ajusta en la zona de solapamiento de forma adaptiva, reduciéndose la profundidad de modulación siempre hacia el margen del espectro de transmisión de los canales 102 y 103. Para simplificar la representación, la reducción de la profundidad de modulación está representada esquemáticamente como un flanco continuo en el margen del bloque que representa el canal de transmisión respectivo. En una representación correcta, el flanco presentaría escalones discretos, dado que cada subportadora individual tiene asignado un tipo de modulación y por lo tanto un valor discreto de la profundidad de modulación.

Mediante la adaptación de los canales al volumen de datos realmente presente es posible aprovechar más eficazmente el ancho de banda disponible de una fibra de vidrio entre dos nodos, porque la ocupación espectral de los escasos recursos de ancho de banda no se ocupa innecesariamente en caso de una ausencia a corto plazo de volúmenes de datos correspondientemente grandes. La capacidad libre puede utilizarse para otra demanda de tráfico que use el mismo tramo de red. Se produce una ganancia de multiplexación estadística parecida a la multiplexación Layer2. Se puede aumentar el caudal total de información útil en la red.

En relación con un trayecto punto a punto, la ventaja de los canales adaptados se comprende inmediatamente. Sin embargo, para una red ópticamente transparente con estructuras de red malladas, las capacidades de canal “que respiran” constituyen un reto, dado que las ocupaciones espectralmente variables en un trayecto no coinciden necesariamente con los huecos espectrales en otro trayecto al que haya de conmutarse la señal partiendo de otro MD-ROADM. Se producen bloqueos espectrales. Sin canales de longitud de onda fijos, los métodos RWA necesarios se hacen nuevamente más complejos si no se toman medidas adicionales.

Una primera medida de este tipo consiste en que las señales ópticas puedan solaparse espectralmente en distintos tramos de fibra. Estos solapamientos son de momento desventajosos, dado que los solapamientos en el espectro óptico no pueden anularse ni compensarse mediante un filtrado espectral comparativamente sencillo en el dominio óptico. Sin embargo, puede recurrirse a otros medios para la compensación, de modo que, de forma particularmente ventajosa, la idea de la posibilidad de los canales parcialmente solapados reduce la probabilidad de un bloqueo de longitudes de onda en el trayecto respectivo o en la red ópticamente transparente.

Se parte de que la perturbación espectral –y ninguna otra cosa representa un canal vecino ($i+1$ o $i-1$) para un canal i considerado– puede corregirse por medios eléctricos. Con este fin, los inventores aprovechan la flexibilidad del procesamiento digital de señales en la O-OFDM. Si ahora un canal vecino “espira” su potencia perturbadora al espectro del canal i considerado, el canal i reduce su caudal de datos en esta región del espectro y lo desplaza a una región parcial hasta ahora no perturbada. A pesar de ello, la región perturbada sigue utilizándose plenamente, aunque con un caudal de datos reducido.

Esto está representado a modo de ejemplo en la Figura 4. En la distribución espectral de potencia original de los canales 201, 202 y 203 representada en el lado izquierdo no hay ningún hueco suficiente para el canal adicional 204, representado en trazos. Mediante una conformación espectral de los canales 202 y 204, indicada aquí mediante los bloques 202' y 204', junto con un enfoque CDMA en la zona del solapamiento 210 en adelante existente, es posible lograr el caudal de datos necesarios para ambos canales. Los canales 201 y 203 permanecen inalterados.

Para el aprovechamiento de la zona de solapamiento pueden emplearse ventajosamente un enfoque CDMA o un enfoque de profundidad de modulación. Ambos enfoques pueden aplicarse individualmente o combinados.

Enfoque CDMA: Dado que la potencia perturbadora puede ser de igual magnitud o incluso mayor que la potencia útil –siempre desde el punto de vista del canal i –, puede emplearse ventajosamente un método de acceso múltiple por división de código (CDMA; *Code Division Multiple Access*) para la compensación de perturbaciones. En este contexto, preferiblemente, se confiere robustez contra perturbaciones mediante un método CDMA sólo a la parte perturbada de las subportadoras, para seguir manteniendo lo más alto posible el caudal de datos total.

Enfoque de profundidad de modulación: En los emisores O-OFDM se reconfigura el procesamiento digital de señales y de este modo se ajusta de forma adaptiva la profundidad de modulación de las distintas subportadoras. Por ejemplo, puede realizarse una reducción de la profundidad de modulación en la zona de solapamiento, por ejemplo puede pasarse de una 64-QAM a una 16-QAM, QPSK o incluso una 2-ASK. Si se ha de mantener constante el caudal de datos total, los datos habrán de repartirse entonces entre otras subportadoras. En éstas se aumenta entonces correspondientemente la profundidad de modulación, como se muestra en la Figura 4 para los canales adaptados 202' y 204'.

5 Por supuesto, mediante la utilización de CDMA tampoco puede sobrepasarse el caudal de datos máximo posible predeterminado teóricamente por el límite de Shannon. En cualquier caso, los solapamientos perturbadores desde el punto de vista espectral requieren una reducción de la tasa de transmisión de datos en la zona del solapamiento y por lo tanto una eficacia correspondientemente reducida en esta región del espectro. Por consiguiente, la ventaja esencial de la invención no se logra para un enlace punto a punto individual, sino para una red ópticamente transparente mallada.

10 En ésta, la ventaja consiste en que el transporte de datos sigue siendo posible incluso si distintos canales ópticos “que respiren” se solapan en unos pocos tramos, es decir, en unos pocos bordes de red. Por consiguiente, no es una decisión binaria “el transporte a través de la red ópticamente transparente es posible” o “el transporte no es posible”, sino que, más bien, la tasa de transmisión de datos se ajusta ligeramente y de forma adaptiva a las características de canal disponibles y así se logra en suma la mayor eficacia de transporte posible.

15 La Figura 5 muestra un ejemplo de realización preferido de una red óptica de transmisión según la invención, que está configurada como una red troncal genérica 300 con una pluralidad de nodos de red. Los nodos de red, configurados como MD-ROADM y equipados con conmutadores selectores de longitud de onda configurables de manera flexible desde el punto de vista espectral, están designados a modo de ejemplo con los símbolos de referencia 301 a 307 y, en el ejemplo representado, dispuestos en grandes ciudades alemanas. Los nodos de red están conectados entre sí mediante trayectos ópticos de transmisión, que están designados a modo de ejemplo con los símbolos de referencia 20 401 a 406.

25 A modo de ejemplo están representadas la ocupación espectral del trayecto óptico 401 de transmisión entre los nodos 301 y 302 de red en la Figura 5a, la ocupación espectral del trayecto óptico 402 de transmisión entre los nodos 302 y 303 de red en la Figura 5b, la ocupación espectral del trayecto óptico 403 de transmisión entre los nodos 303 y 304 de red en la Figura 5c y la ocupación espectral del trayecto óptico 404 de transmisión entre los nodos 304 y 305 de red en la Figura 5d.

30 En el ejemplo de realización representado, no sería posible un enlace transparente 501, representado en las Figuras 5a a 5d como un trapecio 212 de datos en trazos con una demanda actual de transporte de 48 Gbit/s, del nodo 301 de red en Múnich al nodo 305 de red en Hamburgo, dado que en el tramo 403 de red entre el nodo 303 de red en Leipzig y el nodo 304 de red en Berlín se producirían bloqueos en el sentido estricto. Sin embargo, con el concepto según la invención de los solapamientos en escasa medida, es posible aprovechar el hueco espectral existente. En este ejemplo, las rutas alternativas ya estarían llenas. Con este fin puede realizarse ventajosamente una conformación del espectro de transmisión del canal 211 como se ha descrito anteriormente, que por ejemplo tiene asignado un enlace 502 de comunicación existente entre el nodo 306 de red en Colonia y el nodo 304 de red en Berlín. Como está previsto en el ejemplo representado para los canales 211 y 212 solapados espectralmente, puede ser ventajoso efectuar en ambos márgenes del espectro de transmisión un ajuste adaptivo de la profundidad de modulación de las subportadoras, aunque el canal respectivo se solape actualmente sólo en un margen con un canal vecino. De este modo puede prescindirse en caso dado de una nueva adaptación cuando se haga necesario un solapamiento espectral también en el otro margen. Una adaptación simétrica en ambos márgenes del espectro de transmisión tiene además la ventaja de que la forma del canal, es decir, los valores de la profundidad de modulación de las distintas subportadoras del canal, puede describirse mediante pocos parámetros. De este modo puede reducirse ventajosamente el gasto de comunicación necesario entre los nodos de red para la ejecución de un algoritmo RWA adaptado a una asignación flexible, dependiente de la tasa de transmisión de datos, de espectros de transmisión.

50 Una consecuencia tanto de la introducción de CDMA como de la reducción de la profundidad de modulación es en cualquier caso una pérdida del alcance máximo posible de la transmisión. En una red real, el caso de que la distancia real corresponda al límite máximo de alcance se da habitualmente muy raras veces. En la mayoría de los casos, existe aún una reserva de sistema suficiente, de manera que esta reserva de sensibilidad puede aprovecharse de forma flexible para aumentar la robustez contra perturbaciones espectrales. En este sentido, puede interpretarse también que los dos enfoques anteriormente descritos confieren a la transmisión robustez contra diafonías de canales vecinos.

55 Si en un trayecto o incluso en una red se producen frecuentemente solapamientos parciales de canales, esto constituye a su vez una medida de la necesidad de una ampliación del trayecto o de la red. Así pues, el método según la invención puede emplearse ventajosamente como instancia iniciadora con la que, mediante la fijación de valores umbral adecuados, es posible controlar una ampliación de la red. En caso de un dimensionamiento razonable, la red puede continuar explotándose de momento con restricciones de poca importancia, sin que se produzcan los primeros bloqueos severos de nuevos tráfico.

60 Otro enfoque evita el solapamiento espectral por el método de que la unidad digital de procesamiento de señales ponga intencionadamente a cero la potencia de emisión de distintas subportadoras del espectro O-OFDM enviado. De este modo, el espectro OFDM aproximadamente rectangular del nuevo servicio en cuestión que se haya de prestar se adapta a las condiciones del canal. Si también en este caso ha de mantenerse constante el caudal de datos total, están disponibles dos posibilidades, que también pueden combinarse en todo momento. La primera posibilidad

consiste en repartir los datos entre otras subportadoras, aumentándose en éstas correspondientemente la profundidad de modulación. La segunda posibilidad consiste en desplazar la frecuencia central del espectro de emisión mediante una modificación de la frecuencia del láser de tal manera que el hueco espectral existente se aproveche óptimamente.

5 Esto está representado a modo de ejemplo en la Figura 6, en donde un consumidor 224 con 48 Gbit/s actuales, representado en trazos, ha de integrarse en un hueco espectral. Con este fin, se ponen a cero subportadoras OFDM en el margen del espectro y se modulan correspondientemente a mayor profundidad las subportadoras centrales. De este modo, el espectro de emisión se hace más estrecho, representado en la Figura 6 a la derecha con el símbolo de referencia 224'. Además, los canales vecinos laterales 222 y 223 se desplazan ligeramente desde el punto de vista espectral. Los canales vecinos desplazados están representados en la Figura 6 a la derecha con los símbolos de referencia 222' y 223', habiéndose conformado el espectro de emisión del canal 222' en relación con el canal 222, adicionalmente al desplazamiento espectral, de modo que se obtenga un espectro de emisión más estrecho mediante una variación de la profundidad de modulación de las subportadoras. Como resultado final, se logra una asignación sin solapamiento de los canales en la ventana de transmisión de la fibra de vidrio.

10
15 Los enfoques representados esquemáticamente en las Figuras 4 y 6 para evitar bloqueos de longitudes de onda pueden emplearse de forma alternativa o en combinación. También es posible elegir en una red de transmisión opcionalmente uno u otro enfoque dependiendo de la situación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para determinar parámetros de enlace de un primer enlace de comunicación entre un primer y un segundo nodos de red de una red óptica de transmisión que se hace funcionar en régimen de multiplexación por división de longitud de onda y que presenta una pluralidad de nodos de red que están conectados entre sí mediante trayectos ópticos de transmisión, que comprende las etapas:
- 10 - predeterminar una tasa de transmisión de datos para una transmisión de datos entre el primer y el segundo nodos de red,
 - seleccionar un primer camino óptico de enlace asignado al primer enlace de comunicación para la transmisión de datos entre el primer y el segundo nodos de red, conectando el primer camino óptico de enlace seleccionado el primer y el segundo nodos de red entre sí de manera ópticamente transparente,
 - definir un primer canal de transmisión para la transmisión de señales a lo largo del primer camino óptico (300) de enlace mediante una señal óptica de múltiples portadoras modulada según un esquema de modulación OFDM, realizándose la selección del primer camino óptico de enlace y la definición del primer canal de transmisión en función de la tasa de transmisión de datos predeterminada y en función de los parámetros de enlace de los demás enlaces de comunicación existentes entre los nodos de red de la red de transmisión, adaptándose, en respuesta a la detección de un bloqueo, el espectro de transmisión del primer canal de transmisión de manera flexible a la tasa de transmisión de datos predeterminada.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, en donde la determinación de los parámetros de enlace del primer enlace de comunicación se realiza al establecer el enlace de comunicación entre el primer y el segundo nodos de red.
- 25 3. Método según una de las reivindicaciones precedentes, que además comprende la etapa:
- 30 - modificar los parámetros de enlace de al menos un segundo enlace de comunicación entre dos nodos de red de la red óptica de transmisión, teniendo asignado el segundo enlace de comunicación un segundo camino óptico de enlace, que presenta al menos un trayecto óptico de transmisión común con el primer camino óptico de enlace y comprendiendo la modificación de los parámetros de enlace del segundo enlace de comunicación una adaptación de un segundo canal de transmisión para la transmisión de señales a lo largo del segundo camino óptico de enlace.
- 35 4. Método según la reivindicación 3, en donde la adaptación del segundo canal de transmisión comprende una adaptación del ancho del espectro de transmisión del segundo canal de transmisión y/o un desplazamiento del espectro de transmisión del segundo canal de transmisión.
- 40 5. Método según una de las reivindicaciones 3 o 4, en donde el primer canal de transmisión se define de tal manera y/o el segundo canal de transmisión se adapta de tal manera que los espectros de transmisión del primer y el segundo canales de transmisión se solapan al menos parcialmente.
- 45 6. Método según la reivindicación 5, en donde, para separar las señales en el lado del receptor en la zona de solapamiento de los espectros de transmisión del primer y el segundo canales de transmisión, se emplea un método de multiplexación por división de código.
- 50 7. Método según la reivindicación 5 o 6, en donde el primer canal de transmisión se define de tal manera y/o el segundo canal de transmisión se adapta de tal manera que se asigna a las subportadoras de una señal óptica de múltiples portadoras modulada transmisible a través del canal de transmisión respectivo situadas dentro de la zona de solapamiento una menor cantidad de bits que se han de transmitir por cada símbolo que a las subportadoras situadas fuera de la zona de solapamiento.
- 55 8. Método según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la transmisión de señales del primer y/o el segundo enlaces de comunicación comprende un encaminamiento mediante un multiplexor óptico de adición/sustracción reconfigurable, que presenta al menos un conmutador selector de longitud de onda configurable de manera flexible desde el punto de vista espectral.
- 60 9. Método según una de las reivindicaciones precedentes, en donde se ejecuta un algoritmo RWA adaptado a una asignación flexible, dependiente de la tasa de transmisión de datos, de espectros de transmisión.
- 65 10. Red óptica de transmisión de datos que se hace funcionar en régimen de multiplexación por división de longitud de onda, que comprende
- una pluralidad de nodos de red conectados entre sí mediante trayectos ópticos de transmisión,
 - al menos un dispositivo de selección, para seleccionar un camino óptico de enlace que conecta un primer y un segundo nodos de red entre sí de manera ópticamente transparente, y un primer canal de transmisión asignado para la transmisión de señales a lo largo del camino óptico de enlace seleccionado mediante una

- 5 señal óptica de múltiples portadoras modulada según un esquema de modulación OFDM, estando la red de transmisión de datos configurada para conducir a través de la red la señal óptica de múltiples portadoras modulada a lo largo del camino óptico de enlace seleccionado, y estando el dispositivo de selección configurado para llevar a cabo la selección del camino óptico de enlace y del canal de transmisión asignado en función de una tasa de transmisión de datos predeterminada y en función de los parámetros de enlace de enlaces de comunicación existentes entre los nodos de red de la red de transmisión de datos, adaptándose, en respuesta a la detección de un bloqueo, de manera flexible a la tasa de transmisión de datos predeterminada el espectro de transmisión del canal de transmisión asignado.
- 10 11. Red óptica de transmisión de datos según la reivindicación 10, en donde el dispositivo de selección está dispuesto en un dispositivo central de la red de transmisión de datos.
- 15 12. Red óptica de transmisión de datos según la reivindicación 10 u 11, que comprende al menos un módulo de emisión con un láser de emisión destinado a generar una señal óptica de múltiples portadoras modulada según un esquema de modulación OFDM, para la transmisión óptica de señales a través de un canal de transmisión asignado a un enlace de comunicación, siendo variable la longitud de onda del láser de emisión mientras exista el enlace de comunicación.
- 20 13. Red óptica de transmisión de datos según una de las reivindicaciones 10 a 12, en donde al menos un nodo de red comprende un elemento óptico de conmutación, que está configurado como un multiplexor óptico de adición/sustracción reconfigurable flexible desde el punto de vista espectral y al menos un conmutador selector de longitud de onda configurable de manera flexible desde el punto de vista espectral.
- 25 14. Red óptica de transmisión de datos según una de las reivindicaciones 10 a 13, configurada para ejecutar un algoritmo RWA adaptado a una asignación flexible, dependiente de la tasa de transmisión de datos, de espectros de transmisión.

Fig. 1

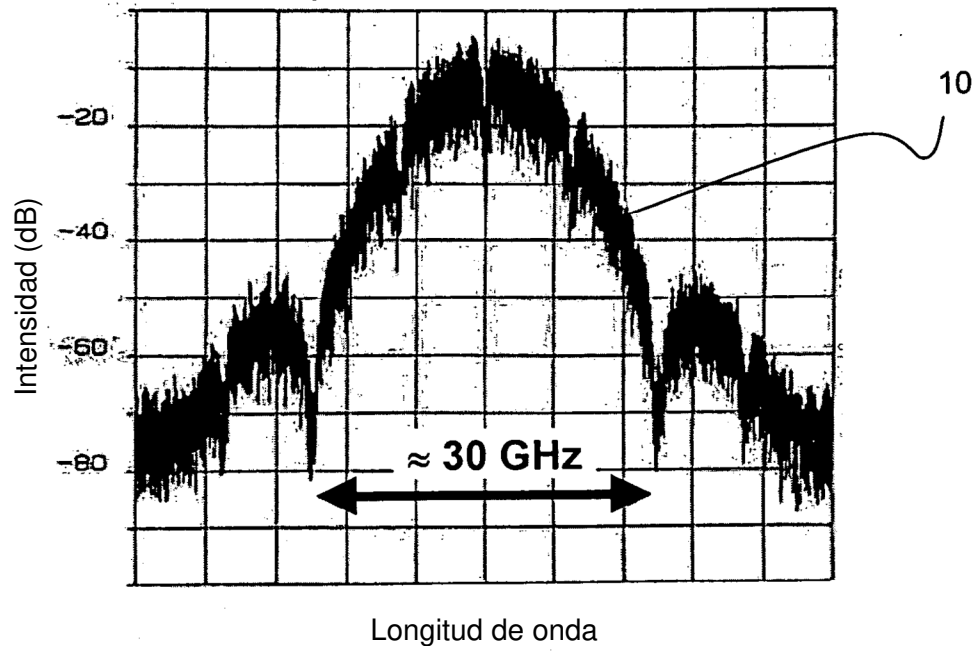


Fig. 2

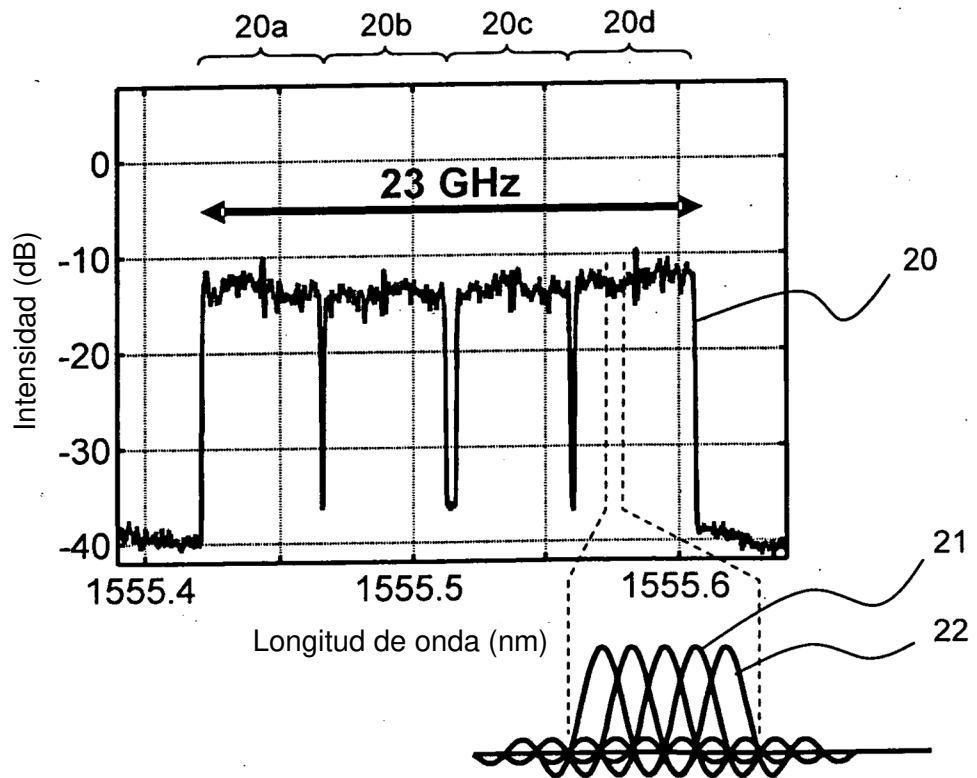
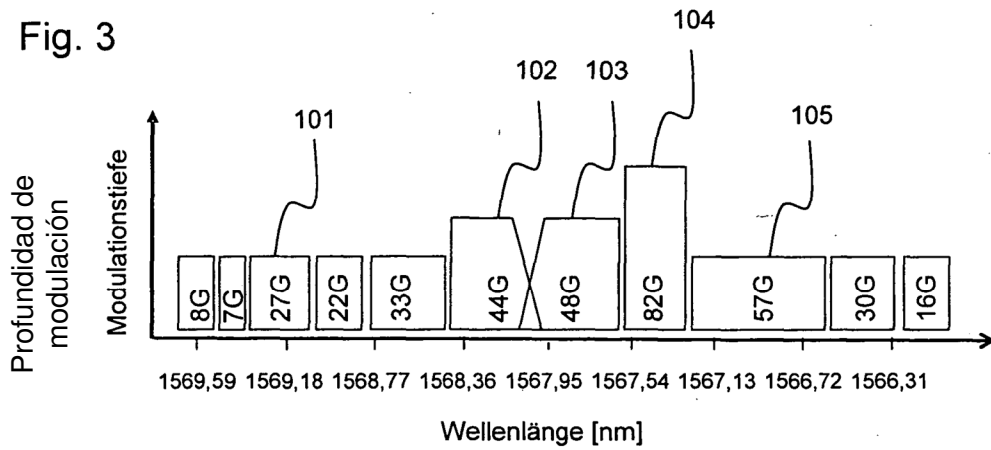


Fig. 3



Longitud de onda [nm]

Fig. 4

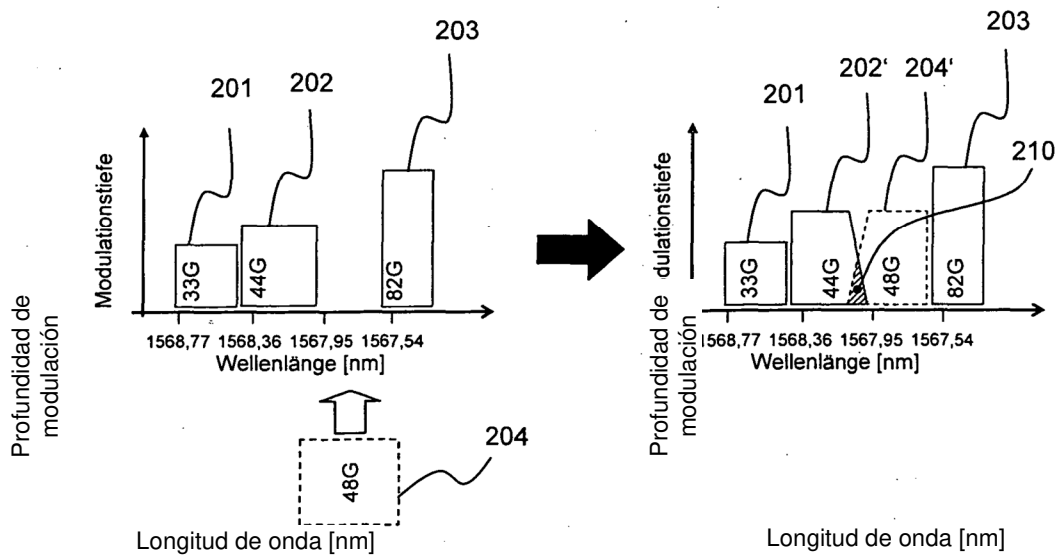


Fig. 5

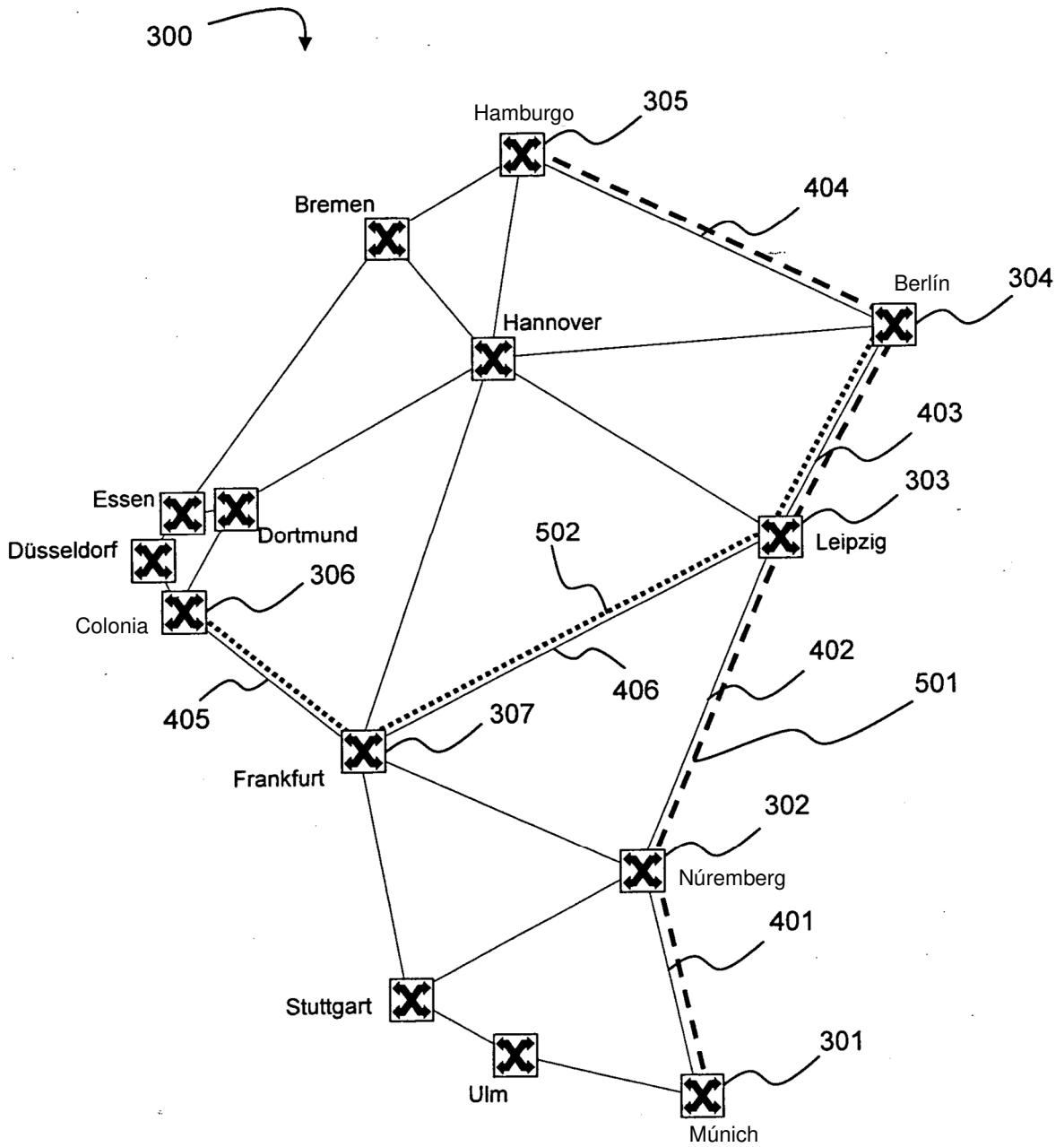


Fig. 5a

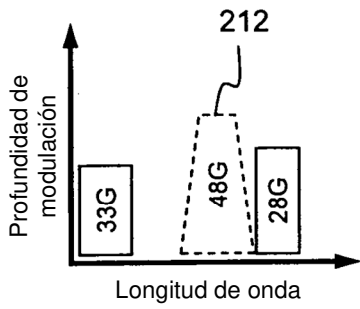


Fig. 5b

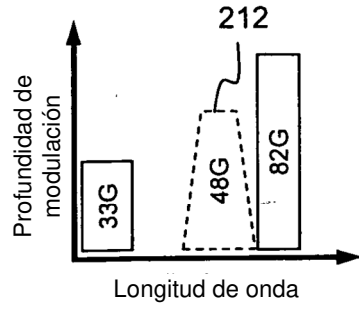


Fig. 5c

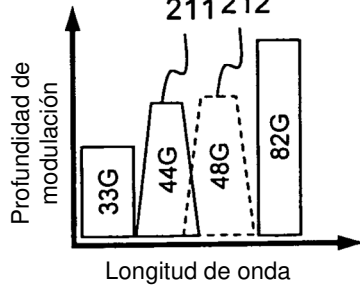


Fig. 5d

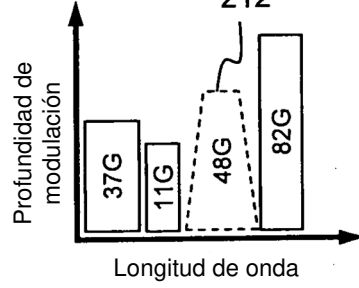


Fig. 6

