

SISTEMAS OPTICOS FDMA CON LASER EMISOR MODULADO EN CORRIENTE Y ESTABILIZADO EN FRECUENCIA, DEMULTIPLEXOR POR FILTRADO OPTICO Y DETECCION DIRECTA

J.A.Navarro, A.Alcón, J.Brezmes, G.Junyent

Departamento de Teoría de Señal y Comunicaciones, Grupo de Comunicaciones Ópticas. Universidad Politécnica de Cataluña. E.T.S.I.Telecomunicación, c/Jorge Girona s/n 08034, Barcelona (España).

ABSTRACT

In order to make a better use of the broad bandwidth provided by optical fibers, some solutions have been proposed in the last years. We propose a FDMA system. Our solution is based in the direct modulation of the emitter laser, converting current amplitude fluctuations into optical frequency shifts. Using suitable currents, the resulting spectrum can be treated as the sum of two ASK signals. Then it can be detected filtering one of the spectral peaks. Some solutions and simulation results are shown.

1. INTRODUCCION

El gran ancho de banda disponible (unos 25.000 GHz entre 1450 y 1650 nanómetros de la tercera ventana) y la baja atenuación (unos 0,25 dB/Km) hacen de las fibras ópticas el medio ideal para plantear cualquier sistema de telecomunicación presente o futuro. Al desarrollo de los dispositivos y elementos que deben conformar un sistema de telecomunicaciones ópticas, debe sumarse el desarrollo de técnicas de modulación y arquitecturas de red que permitan aprovechar todas las posibilidades que nos brindan las fibras ópticas, dentro de este segundo campo se enmarca el presente trabajo.

*Los futuros sistemas basados en fibras ópticas se están ya diseñando teniendo en cuenta las peculiaridades y potencialidades del medio de transmisión, dejando de ser una simple adaptación de las redes basadas en cables de cobre. A estos sistemas que se basan únicamente en elementos ópticos se les empieza a conocer con el nombre de *Redes Ópticas de Tercera Generación*, para distinguirlas de los sistemas ópticos más primitivos (IM/DD) que serían la *primera generación*, y otros sistemas más avanzados como anillos FDDI o enlaces de larga distancia con multiplexación temporal que formarían la *segunda generación*. La diferencia básica entre las dos primeras generaciones y la tercera está en que en esta última no se realizan conversiones electro-ópticas, si no que todo el manejo de la señal se realiza a nivel óptico.*

2. TECNICAS DE MODULACION Y DETECCION

*En los sistemas actualmente en funcionamiento, conocidos como IM/DD (Modulación de Intensidad y Detección Directa), el elemento emisor (generalmente un Laser semiconductor) se modula en intensidad, variando su corriente de polarización por encima y por debajo del umbral de oscilación según el símbolo a transmitir ('1' o '0'). Con ello se genera una señal modulada en amplitud que puede ser detectada mediante un fotodetector, que generará corriente a su salida cuando reciba potencia óptica. Esta señal presenta una enorme anchura espectral, debido a fenómenos transitorios que se producen en el laser cuando se polariza alternativamente por encima y por debajo del umbral de oscilación. Esta técnica de modulación es útil cuando se quieren transmitir unas pocas portadoras ópticas dentro del enorme ancho de banda disponible. Otro método para transmitir información por fibra óptica consiste en introducir la información en la fase o la frecuencia de la señal óptica, y detectarlo en el receptor haciendo uso de técnicas heterodinas u homodinas. Este método conocido como *coherente* tiene la gran ventaja de la alta sensibilidad que se consigue alcanzar en el receptor, pero presenta el grave inconveniente de lo caro y complejo que resulta el receptor, pues a la necesidad en un laser como oscilador local hay que sumarle controles de*

polarización. Esto hace de los sistemas coherentes unos candidatos poco aptos a ser la base de futuros sistemas ópticos de uso generalizado, aunque siguen siendo importantes en algunas aplicaciones donde la sensibilidad del receptor es crítica (p.ej. enlaces de muy larga distancia).

A mediados de la pasada década se sugirió desde algunos laboratorios de investigación (Bellcore, AT&T) la posibilidad de introducir, dentro del enorme ancho de banda disponible, varias portadoras ópticas que podrían ser detectadas independientemente, para su aplicación en redes locales de banda ancha y sistemas de distribución de alta velocidad. Descartando de entrada los sistemas coherentes por su complejidad y elevado coste se pensó en sistemas en los que la señal se modulara en amplitud utilizando moduladores externos, evitando así los transitorios en el laser que hacen que su espectro se ensanche en exceso, pero esta solución a pesar de abaratar el receptor encarecía el emisor con el modulador externo, haciéndola poco recomendable en sistemas donde tanto el número de emisores como el de receptores es elevado (Redes Locales).

Finalmente llegamos a la solución que parece tener más futuro [1]. Haciendo uso de la característica frecuencia/corriente del laser semiconductor: La frecuencia instantánea emitida por el laser es proporcional a la corriente de polarización del mismo.

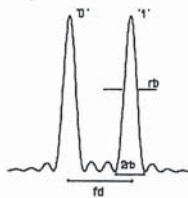


Figura 1 : Densidad espectral de potencia de una señal binaria CPFSK.

Si superponemos la señal a transmitir a la corriente de polarización podemos conseguir una señal óptica cuya frecuencia instantánea sea proporcional a la señal a transmitir. Si la diferencia entre los niveles de corriente es suficientemente grande, se puede obtener una señal CPFSK que podrá ser detectada con un receptor de detección directa. El espectro de la señal resultante aparece representado en la figura 1. Como puede observarse el espectro es equivalente al de la suma de dos señales moduladas en amplitud. Uno de los lóbulos corresponde a los '1's y el otro a los '0's. Si en el receptor situamos un filtro que seleccione uno de los lóbulos, podremos recuperar la señal. Debido a la característica de modulación del laser, suele detectarse el lóbulo de los '1's, pues tiene mayor amplitud. La desviación de frecuencia f_d es proporcional a la diferencia de corriente. El índice de modulación varía entre 100 MHz/mA y 10 GHz/mA en

función de la velocidad de transmisión (r_b) y la estructura del laser. Por lo tanto, es posible obtener grandes desviaciones de frecuencia con pequeñas variaciones en la corriente de polarización, así será posible modular el laser a mayor velocidad que si se modulara directamente en amplitud. Además con emisores laser idénticos, podemos emitir dentro de un amplio margen de frecuencias, asignando a cada emisor una corriente de polarización distinta podremos alcanzar un sistema con multiplexación en frecuencia (FDMA). En el receptor un filtro óptico sintonizable haría de demultiplexor, además de convertir la señal CPFSK en ASK.

3. ESTRUCTURA DE LA RED

El método de modulación y detección es aplicable tanto a sistemas de Red de Area Local (LAN), como a sistemas de distribución de señal o a enlaces de larga distancia. En cada caso tanto el emisor como el receptor tienen una serie de peculiaridades para adaptarlos a las necesidades de cada entorno.

En la figura 2 se representa el esquema de una Red de Area Local. La configuración elegida es la de 'estrella', con una red pasiva (acoplador en estrella) al que se conectan todos los nodos de la red. El acoplador en estrella divide la potencia que inyecta un nodo entre todos los restantes nodos de la red. De esta forma existe la posibilidad de que un nodo determinado pueda alcanzar cualquier otro nodo. La elección de la configuración en estrella se ha hecho atendiendo a razones de mayor seguridad, una menor complejidad frente a futuras ampliaciones de la red.

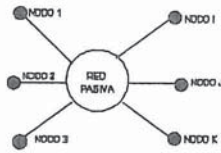


Figura 2 : Estructura de Red de Area Local.

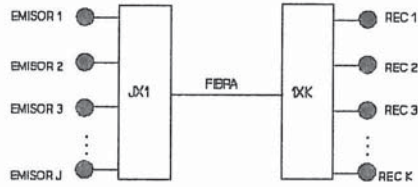


Figura 3 : Esquema de un sistema de distribución o un enlace de larga distancia.

La figura 3 muestra una posible configuración para un enlace de larga distancia o un sistema de distribución de señal. En este esquema las señales procedentes de los emisores se mezclarían en un acoplador $J \times 1$, inyectándose el conjunto de canales en una fibra óptica que llegaría al extremo remoto, donde los canales podrían ser detectados de forma independiente.

Las configuraciones de las figuras 2 y 3 son sólo un ejemplo, pero las posibles configuraciones son muchas, en función de las necesidades de cada aplicación. Sin embargo hay una serie de cosas que se pueden apuntar como norma general a tener en cuenta en cualquier diseño. En el diseño de redes locales el factor menos importante es la atenuación, por lo que no es previsible la introducción de elementos de amplificación óptica, en estos casos la señal puede inyectarse en la fibra tal y como sale del láser emisor. Pero en enlaces de larga distancia y en redes locales con un número importante de nodos, hay que pensar en la posibilidad de introducir amplificadores ópticos. La introducción de amplificadores ópticos aconseja realizar algunas modificaciones sobre el espectro de la señal con el fin de conseguir unas mejores prestaciones, como es por ejemplo la eliminación del lóbulo de los '0's en el emisor con el fin de no introducir potencia inútil en la fibra, potencia que provocaría la saturación de las etapas de amplificación, reduciendo el número máximo de canales posibles.

4. EMISOR

El emisor está formado por un láser semiconductor y su circuito de estabilización. Además, entre el emisor y la fibra puede encontrarse la etapa de filtrado, para la eliminación o atenuación del lóbulo lateral.

A continuación pasamos a describir el sistema de estabilización : Dependiendo de la separación entre canales existente en un sistema de multiplexación frecuencial éste se clasificará como sistema multiplexado en longitud de onda (WDM) si la separación entre canales es del orden de cientos de GHz, y como sistema multiplexado en frecuencia (FDM) cuando dicha separación es del orden de GHz. Es en los sistemas FDM donde se hace necesaria una buena estabilización frecuencial para que el nivel de potencia interferente que provocan el resto de los canales no supere un cierto nivel a partir del cual sería bastante nocivo para las prestaciones del sistema. Entre los métodos de estabilización frecuencial propuestos, sólo el método interferométrico garantiza una buena estabilización a largo plazo [2] no comprometiendo otros parámetros del sistema, como puede ser el número de canales a estabilizar. El método interferométrico se basa en el enganche de cada uno de los láseres emisores a una resonancia diferente de una cavidad resonante Fabry-Perot. Para ello se debe obtener una señal de error de polaridad diferente dependiendo de la posición de la portadora respecto al máximo de la resonancia y realimentar el sistema mediante un integrador.

Este sistema de estabilización es válido tanto para emisores que partan de un mismo nodo (enlaces de larga distancia o redes de distribución) como para emisores situados en nodos diferentes (Redes locales). En este segundo caso, en cada nodo se utiliza un interferómetro Fabry-Perot que

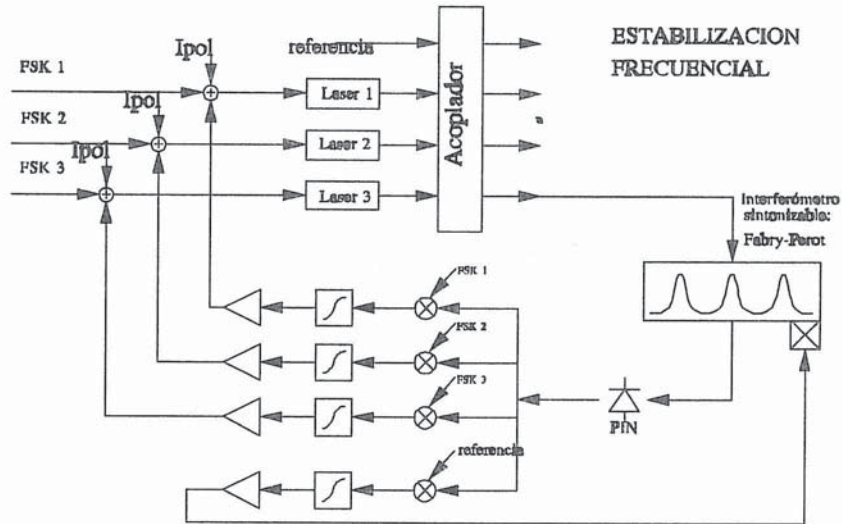


Figura 4 : Sistema de estabilización del emisor

sintoniza uno de sus picos a una señal laser de referencia común a toda la red. La estabilización obtenida depende mucho de la variación de las dimensiones de la cavidad interferométrica con la temperatura. En la actualidad ya se dispone en el mercado de cavidades Fabry-Perot con autocontrol de la distancia entre espejos, que permiten obtener una gran estabilidad en las dimensiones de la cavidad.

5. RECEPTOR

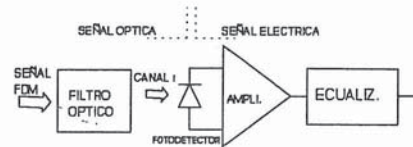


Figura 5 : Esquema del receptor

El receptor está formado por un filtro óptico sintonizable, que selecciona el canal a recibir, y en algunos casos también se encarga de convertir la señal CPFSEK recibida en una señal ASK que pueda ser detectada con el fotodetector. La figura 5 muestra el esquema simplificado del receptor, donde se ve claramente que se trata de un receptor clásico para comunicaciones ópticas al que se le ha añadido un filtro óptico delante del fotodetector. La sencillez del receptor contrasta con la complejidad de los receptores coherentes, además, al tratarse de un receptor ampliamente conocido permite la realización

inmediata del sistema sin necesidad de desarrollar nuevos componentes. El filtro óptico ha sido el último elemento en desarrollarse, pero ya se encuentran disponibles algunos filtros sintonizables con muy buenas prestaciones [3].

Al filtrar la potencia de un canal determinado, también se filtra potencia procedente de los canales contiguos y del lóbulo adyacente del propio canal, esta potencia interferente limita la separación entre los diferentes canales a un valor mínimo, que depende de la configuración de filtros elegida.

Si obligamos a que la potencia interferente esté siempre por debajo de un valor establecido, podremos despreciar dicha potencia interferente frente a la potencia útil del canal, y entonces analizar el receptor como si sólo se estuviera recibiendo un lóbulo de potencia. Un buen criterio para fijar el máximo de potencia interferente es obligar a que la penalización de potencia no supere 0,1 dB [1]. Con este criterio se han obtenido los resultados del siguiente apartado.

6. RESULTADOS DE SIMULACION

Las simulaciones que se han llevado a cabo tienen por objetivo determinar el comportamiento del sistema que tenemos previsto desarrollar en el laboratorio. Por un lado se ha simulado el comportamiento del emisor y su sistema de estabilización, por otro se ha simulado el comportamiento del receptor y de las etapas de filtrado y amplificación ópticas.

La simulación del receptor nos ha permitido conocer cual es la separación óptima entre los canales de un sistema FDM. Tomando el criterio citado anteriormente, que fija a 0,1 dB la penalización de potencia máxima y con $f_c = 2f_d$ se han obtenido los resultados de la tabla I, donde f_c es la separación entre canales, y r_b es la velocidad de transmisión.

Las configuraciones de la tabla (de 1 a 5), corresponden a las distintas combinaciones de filtros ópticos, tanto en el emisor como en el receptor, y son las siguientes: 1) Sin filtro en el emisor y un filtro Fabry-Perot simple en el receptor. 2) Se filtra en el emisor y en el receptor con filtros Fabry-Perot simples. 3) Sin filtro en el emisor y con dos filtros Fabry-Perot en cascada en el receptor. 4) Filtro Fabry-Perot simple en el emisor y dos filtros Fabry-Perot en cascada en el receptor. 5) Filtro Mach-Zehnder con nulo sobre el centro del lóbulo adyacente y dos filtros Fabry-Perot en cascada en el receptor. Supongamos que trabajamos con $r_b = 1$ Gbps, para el caso 1 la separación entre canales sería de 11,3 GHz, si usáramos en el receptor un filtro

CONFIG.	f_c / r_b
1	11,3
2	8,2
3	5,5
4	5,2
5	3,9

Tabla I

con FSR = 100 GHz, el número de canales posibles sería inferior a 10. Pero usando la configuración 5, con filtros receptores de 100 y 120 GHz (FSR_{eq} = 600 GHz [4]) se podrían superar los 150 canales. Todos los resultados de la tabla I se han obtenido suponiendo que el ancho de línea del laser emisor es inferior al 5% de la velocidad de transmisión, para láseres con peores prestaciones las separaciones entre canales serían mayores. Estos son sólo ejemplos de las posibilidades del sistema propuesto, ya que no pretendemos dar resultados cuantitativos hasta que los hayamos comprobado en el laboratorio. Con otros elementos más adecuados se podría llegar a redes con una capacidad real de 1000 nodos a 1Gbps cada nodo. El camino de los sistemas FDM con detección directa no ha hecho más que empezar, pero se presenta como el método con más futuro para alcanzar las futuras redes de muy alta velocidad.

REFERENCIAS

- [1] I.P.Kaminow, P.P.Iannone, J.Stone, L.W.Stulz, "FDMA-FSK Star Network with a Tunable Optical Filter Demultiplexer", IEEE Journal of Lighthwave Tech., VOL 6, NO 9, Sep. 1988, pp.1406-1414.
- [2] B.Glance, "Densely spaced FDM coherent star network with optical signals confined to equally spaced frequencies", IEEE Journal of Lighthwave Tech., Nov 88, pp.1770.
- [3] C.M.Miller, "Characteristics and Applications of High Performance, Tunable, Fiber Fabry-Perot Filters", 41st ECTC Electronics Components & Technology Conference, Atlanta, Ga, May 13-15, 1991.
- [4] A.A.M.Saleh, J.Stone, "Two Stage Fabry-Perot Filters as Demultiplexer in Optical FDMA LAN's", IEEE Journal of Lighthwave Tech., VOL 7, NO 2, Feb.1989, pp.323-330