

# TÉCNICAS DE ETIQUETADO DE SEÑALES ÓPTICAS EN REDES DE CONMUTACION DE RÁFAGAS

J.J.Vegas Olmos, I.Tafur Monroy, A.M.J Koonen

COBRA Institute, Eindhoven University of Technology  
P. O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

E-mail: [jj.vegas@tue.nl](mailto:jj.vegas@tue.nl)

## RESUMEN

En este artículo presentamos una revisión de los asuntos mas importantes relacionados con las redes de conmutacion de ráfagas de señales ópticas etiquetadas (LOBS – Labeled optical burst switched) y las tecnologías que permitiran en un futuro disponer de redes totalmente ópticas. La conmutacion de ráfagas de señales ópticas etiquetadas permite de un modo rapido y con un mecanismo eficiente de enrutamiento, el direccionamiento de paquetes/ráfagas sobre redes multiplexadas por división de onda (WDM – Wavelength division multiplexing). Por otro lado, y debido a que se unifica el algoritmo de enrutamiento y tiene una baja latencia, esta tecnología es facilmente escalable hasta rangos de Terabits.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las redes LOBS, las ráfagas de datos se crean a partir de juntar varios paquetes que han ingresado en los nodos de acceso y que tienen un mismo destino o bien una misma clase de servicio (CoS – Class of service). Para cada ráfaga de datos, una etiqueta corta y de longitud constante, se crea y se asigna a ese bloque de datos. Esa etiqueta se usará en los routers internos de la red para direccionar correctamente el paquete a través de la red [1]. De este modo, la decisión de enrutamiento no va a venir dada por el reconocimiento y lectura de la información de los paquetes, sino por la lectura y procesamiento de estas pequeñas etiquetas ópticas, obteniendo por lo tanto una mejora en terminos de latencia y de dimensionamiento de la cabecera de enrutamiento. Estos factores hacen que el enrutamiento de paquetes se simplifique y se pueda reescalar el sistema hasta tasas de bit del orden de Terabits [1]. En la Figura 1 podemos ver el aspecto global de la red.

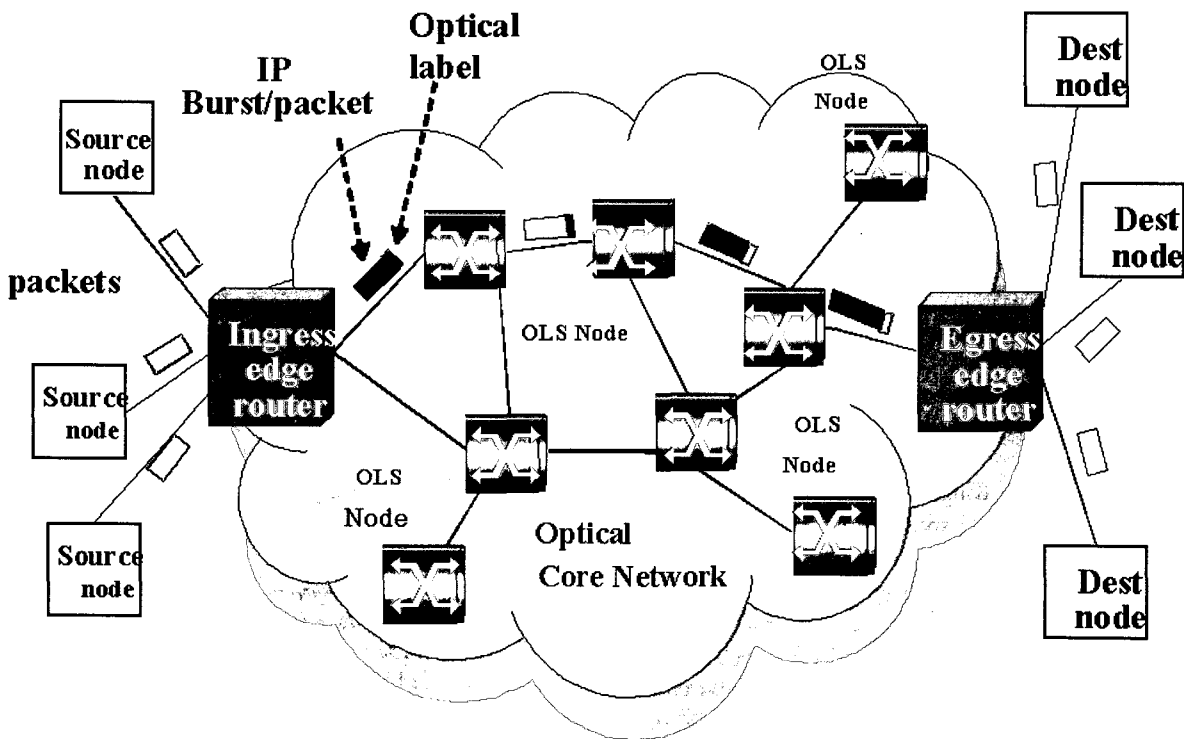
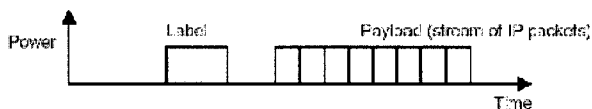


Figura 1. Arquitectura de una red de conmutacion de ráfagas de señales etiquetadas

El presente artículo pretende describir las técnicas que implementan etiquetado óptico de ráfagas IP. Varias técnicas han sido propuestas hasta la fecha para etiquetar paquetes ópticos o ráfagas de paquetes, pero nos centraremos en las cinco básicas para redes con múltiples longitudes de onda de las cuales se derivan el resto: multiplexación por división de tiempo (TDM), multiplexación por división de código óptico (OCDM), multiplexación por subportadora (SCM), modulaciones ortogonales y etiquetado por multiplexación por división de onda (WDM). En los primeros cuatro métodos, la etiqueta es asignada al paquete de información en el mismo canal espectral, mientras que en el quinto método, un canal diferente es el que se utiliza para transportar la etiqueta.

## 2. TÉCNICAS DE ETIQUETADO DE SEÑALES ÓPTICAS

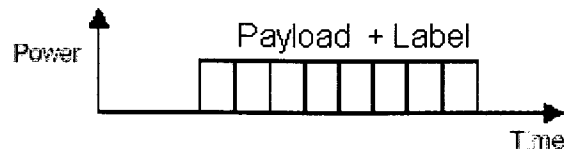
**ETIQUETADO TDM :** En el etiquetado TDM (Multiplexación por división de tiempo), también conocido como etiquetado en serie, la información de la etiqueta se junta en el dominio temporal, poniéndola delante del propio paquete de información. Este paquete de datos con su correspondiente etiqueta se codifica en la misma longitud de onda. Por lo tanto, datos y etiqueta quedan codificados en la misma longitud de onda. Eso hace que deban utilizarse bandas de guarda y bits de sincronización.



Las **ventajas** de esta técnica vienen dadas por el echo de transmitir toda la información por un mismo canal, de modo que se simplifica el posterior algoritmo de enrutamiento en los nodos. Como **desventaja** debemos argumentar el estricto nivel de sincronización que debemos asegurar tanto en el proceso de inserción de etiquetas como en el proceso de borrado y reescritura de etiquetas. Hay que notar también que la tasa de bit usada para la etiqueta puede ser la misma que para la información (TDM sincrónico), o menor (TDM asíncrono). Este segundo caso es el que mayor ventajas ofrece puesto que nos permite utilizar equipo electrónico de baja velocidad para el procesamiento de las etiquetas.

**ETIQUETADO OCDM:** El etiquetado OCDM (multiplexado por división de código óptico) ha sido también propuesto como técnica de etiquetado en redes ópticas por varios autores [3][4]. La etiqueta se inserta mezclando la información con un código específico que contiene la información de la etiqueta. Pese a que el OCDM es una de las técnicas de etiquetado que permite el reconocimiento de etiquetas para el enrutado, sin necesidad de mirar tablas de operaciones, su implementación es complicada. Si por ejemplo un canal

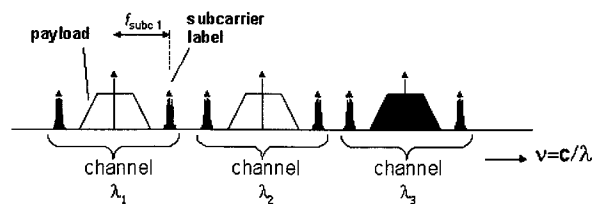
soporta N OCDM códigos, se requiere un banco de N autocorreladores ópticos por canal. De todos modos, el etiquetado OCDM ofrece la posibilidad de ser combinado con WDM (WDM con sub-bandas).



Por tanto, como **ventajas**, podemos nombrar el echo de que tanto la información como la etiqueta están en el mismo canal, y por lo tanto se facilita la reserva de rutas en los nodos.

Como **desventajas**, nombraremos el echo de que el tamaño de la información final que se transmite es bastante superior a la que se debería transmitir si enviásemos por separado información y etiqueta (debido al efecto del código de secuencia).

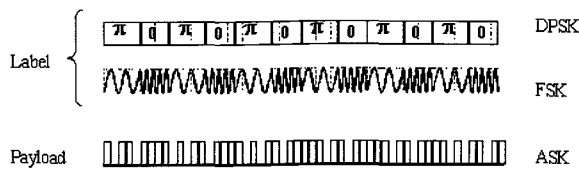
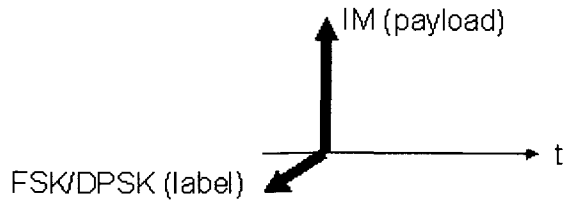
**ETIQUETADO SCM :** Con el etiquetado SCM (Multiplexado con subportadoras), la información de la etiqueta es modulada en una subportadora, que se coloca en el mismo canal óptico, separada del espectro en banda base de la información. En un sistema con varios canales, la frecuencia de la subportadora se puede configurar de modo que sea la misma para todos, de modo que el proceso de detección se simplifica.



Las **ventajas** del etiquetado SCM van relacionadas con el echo de mandar por un mismo canal la información y la etiqueta. Debido a esto, no se requieren grandes niveles de sincronización entre dicha etiqueta y la información enviada. Otro punto interesante, es que para una detección óptica directa mediante fotodiodos, las diferentes subportadoras pueden ser detectadas sin necesidad de demultiplexar ópticamente la señal.

Algunas **desventajas** vienen dadas por la posibilidad de sufrir desapariciones de la subportadora por culpa de la dispersión de la fibra. Por otro lado, las no-linealidades pueden causar distorsiones por intermodulación, causando interferencias en otros canales. Además, para tasas de bits de la información altas, las subportadoras necesitan estar colocadas a alta frecuencia, lo que requiere equipos electrónicos sofisticados, y lo que puede hacer que rebasemos en espaciado mínimo entre canales.

**ETIQUETADO ORTOGONAL:** La información de la etiqueta se inserta en la fase o la frecuencia de la portadora de la información, la cual está modulada en amplitud. De este modo aprovechamos la ortogonalidad de la fase, la amplitud y la frecuencia de las señales, transmitiendo por separado información en cada una de estas variables.

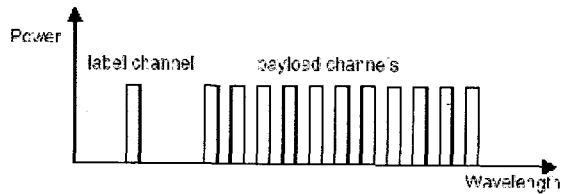


Las **ventajas** que comporta esta técnica están relacionadas principalmente con el hecho de que la etiqueta y la información viajan juntas, en la misma longitud de onda (y temporalmente en el mismo instante), con lo que simplificamos los mecanismos de lectura y reserva de los routers. Por otro lado, tanto la etiqueta como la información pueden separarse sin grandes restricciones a nivel de sincronización, la cual solo se requiere a nivel de paquete (y no de bit). A nivel de espectro, este no se incrementa al insertar la información. Por último, no se necesita ningún mecanismo de delimitación en el momento de borrar y reescribir la nueva etiqueta en los nodos internos.

Como **desventajas** debemos resaltar el hecho de que este tipo de formato es susceptible de sufrir crosstalk. Es decir, interferencias entre la información y la etiqueta introducidas por efecto del chirp del convertidor de longitud de onda utilizado en el intercambio de etiquetas y/o interferencias de la etiqueta a la información debido a conversión de FM a IM (debido por ejemplo a efectos de dispersión o interferometría en los links de fibra).

**ETIQUETADO WDM:** En el etiquetado WDM (Multiplexación por división de longitud de onda), las etiquetas de cada canal pueden multiplexarse y mandarse vía un canal separado dedicado específicamente para este propósito. Esto significa por lo tanto que debe existir un sistema de sincronización bastante estricto, pues de otro modo no va a ser posible identificar que etiqueta corresponde a cada canal. La dispersión cromática tiene aquí un papel importante, pues este efecto introduce diferencias en las velocidades de grupo entre los canales que contienen información, y el que contiene las etiquetas.

Una **ventaja** de esta aproximación es que solo el canal común de las etiquetas debe ser inspeccionado para el correcto enrutado.



Como **desventaja**, podemos volver a remarcar el tema de la sincronización, ya sea en el aspecto de detectar correctamente que etiqueta corresponde con cada paquete de información como a nivel de realizar el borrado y la inserción de las etiquetas en los nodos intermedios.

En la Tabla 1 se presenta un estudio comparativo de las técnicas de etiquetado de señales ópticas (página siguiente).

### 3. CONCLUSIONES

La próxima generación de redes ópticas con etiquetado, conocidas como LOBS, prometen suministrar grandes anchos de banda aprovechando el dominio óptico en el que trabajan, y al hecho de utilizar técnicas de etiquetado, que permiten reducir considerablemente el tiempo de procesamiento en los nodos intermedios a la vez que la conversión O/E/O (y por tanto, depender de equipos electrónicos que por definición, admiten tasas de bit menores). Varias técnicas de etiquetado óptico han sido revisadas en este artículo, dando especial énfasis a sus ventajas y puntos débiles de cara a aplicaciones en redes LOBS.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado bajo el marco del proyecto europeo IST-STOLAS, que está parcialmente financiado por el Programa IST de la Comunidad Europea. Los autores quieren mostrar su reconocimiento por las contribuciones de sus colegas en el consorcio STOLAS.

### REFERENCIAS

- [1] Chunming Qiao, «Labeled Optical Burst Switching for IP over WDM Integration», IEEE Communication Magazine, September 2000, pp.104-114.
- [2] A. Banerjee, et al., «Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements», IEEE Communication Magazine, Jan. 2001, pp.144-150.
- [3] Y. G. en, Y. Zhang, L. K. Chen, On Architecture and Limitations of Optical Multiprotocol Label Switching (MPLS) Networks Using Optical-Orthogonal-Code (OCC)/Wavelength Label, OTF, Vol. 8, pp. 43-70, 2002
- [4] Hideyuki Sotobayashi ; Wataru Chujo ; Ken-ichi Kitayama, Photonic Gateway: Multiplexing Format Conversions of OCDM-to-WDM and WDM-to-OCDM at 40 Gbit/s (4 x10 Gbit/s) , Journal of Lightwave Technology, accepted for future publication , 2002, pp. 1

## AUTORES



**J.J. Vegas Olmos** recibió el título de Ingeniero Técnico en Telecomunicaciones y el título de Ingeniero Electrónico por la UPC en el 2001 y el 2003 respectivamente. Actualmente realiza sus estudios de Doctorado en el Grupo de Comunicaciones Ópticas de la Eindhoven University of Technology.



**A.M.J. Koonen** sirvió desde 1979 al 2000 como miembro del cuerpo técnico y manager de Bell Laboratories, Lucent Technologies, en los Países Bajos. Desde 1991 al 2000, fue profesor asociado en Redes Fóticas en la University of Twente, Países Bajos, y desde el 2001, profesor titular en Redes de Comunicaciones de Banda Ancha, en el Grupo de Comunicaciones Ópticas de la Eindhoven University of Technology, Países Bajos. Fue el primer empleado de Lucent Technologies en Europa en conseguir el Bells Labs Fellow.



**I. Tafur Monroy** recibió el título de Ingeniero en Telecomunicaciones Multicanal por el Bonch-Bruевич Institute of Communications, St. Petersburg, Rusia, en 1992. Posee el título de Licenciado en Tecnología por el Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia, y en 1999 recibió el Doctorado en Ingeniería Eléctrica por la Eindhoven University of Technology, Países Bajos.

	Etiquetado Ortogonal	Etiquetado SCM	Etiquetado sincrónico TDM	Etiquetado Asíncrono TDM	Etiquetado OCDM	Etiquetado WDM
<b>Sincronización de los datos con la etiqueta</b>	No estricto. A nivel de paquete	No estricto. A nivel de paquete	Estricto. A nivel de bit	No estricto. A nivel de paquete	Estricto. A nivel de bit	No estricto. A nivel de paquete
<b>Ancho de banda del canal *</b>	Tasa de bit de la Información + Espaciado de la FSK	Frecuencia de la subportadora más alta	Tasa de bit de la Información + tasa de bit de la etiqueta	Tasa de bit de la información	Múltiplo de la tasa de bit de la información	Tasa de bit de la información
<b>Tasa de bit de los datos *</b>	Tasa de línea	Tasa de línea	Tasa de línea - tasa de etiqueta	Se reduce cuando la etiqueta acorta	Fración de la tasa de línea	Tasa de línea
<b>Lectura de etiqueta</b>	Demultiplexado de todos los $\lambda$ -canales	Detección OE para todos los $\lambda$ -canales, no $\lambda$ -demultiplexado	Demultiplexado de todos los $\lambda$ -canales + electrónica alta velocidad	Demultiplexado de todos los $\lambda$ -canales + conmutación óptica + electrónica baja velocidad	Demultiplexado de todos los $\lambda$ -canales	Demultiplexado de las etiquetas en el $\lambda$ -canal común
<b>Borrado de etiqueta</b>	$\lambda$ -demultiplexado + $\lambda$ -conversión (XGM o XPM)	$\lambda$ -demultiplexado + XGM $\lambda$ -conversión, o filtro óptico notch	$\lambda$ -demultiplexado + conversión OE de la información y de la etiqueta	Separación de la etiqueta de la data mediante conmutación óptica lenta	$\lambda$ -demultiplexado + conversión OE de la información y la etiqueta + decodificación	Conversión OE + demultiplexado en tiempo de las etiquetas en el $\lambda$ -canal común
<b>Inserción de etiquetas</b>	Por modulación FSK del láser sincronizable or modulación DPSK externa	Mediante modulador externo	Conversión E/O del paquete + nueva etiqueta	Multiplexado de la información y la etiqueta mediante conmutador óptico	Conversión OE y decodificado del paquete, + codificado del nuevo paquete	Conversión OE + multiplexado temporal de las nuevas etiquetas en el $\lambda$ -canal común
<b>Transmisión</b>	Conversión IM-a-FM	Desvanecimiento de las subportadoras	Alineación de la información y las etiquetas	Grandes bandas de guarda entre la información y la etiqueta	Alta tasa de línea	Dispersión cromática

Tabla 1. Comparativa de las técnicas de etiquetado de señales ópticas. \*Omitiendo bandas de guarda, y asumiendo que la tasa de bit de la etiqueta es mucho más pequeña que la tasa de los datos.