

AVANCES HACIA CONMUTACIÓN Y ENRUTAMIENTO COMPLETAMENTE ÓPTICOS EN REDES TIPO CORE

ADVANCES TOWARD "ALL OPTICAL" SWITCHING AND ROUTING IN CORE NETWORKS



AUTOR

GIOVANNY LÓPEZ PERAFÁN
Master in Telematics
Professor at Dept. of Telecommunications
*University of Cauca
Faculty of Electronic Engineering and
Telecommunications
glopez@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

PABLO EMILIO JOJOA GÓMEZ
Doctor in Telecommunications
Professor at Dept. of Telecommunications
*University of Cauca
Faculty of Electronic Engineering and
Telecommunications
pjojoa@unicauca.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

*UNIVERSIDAD DEL CAUCA
UNICAUCA
Universidad pública
Calle 5 # 4 - 70
CAUCA – POPAYAN, COLOMBIA

Recepción: Septiembre 16 de 2009

Aceptación: Diciembre 29 de 2009

Temática: Sistemas y redes ópticas

Tipo de Artículo: Artículo de revisión

RESUMEN

En la última década Internet ha tenido un crecimiento exponencial en el número de usuarios nuevos haciendo que las expectativas en cuanto a la calidad del servicio recibido sean evaluadas constantemente. Estas y otras exigencias constituyen la problemática principal que se relaciona con el comportamiento y desempeño en la infraestructura de las redes de acceso y tipo core definidas como soporte para las denominadas redes de próxima generación o NGN con orientación "todo IP", es así como las propuestas en cuanto al soporte óptico desarrolladas hasta el momento, no aseguran que los resultados de su despliegue sean satisfactorios.

Las redes ópticas surgen como una de las tecnologías más prometedoras para cubrir la demanda en cuanto a ancho de banda, capacidad de la red, calidad de servicio y desempeño. Lo anterior se soporta en el hecho del gran número de investigaciones que se están llevando a cabo por parte de Universidades, empresas y grupos alrededor del mundo respecto a las telecomunicaciones ópticas. OBS y OPS (conmutación óptica de ráfagas y de paquetes, respectivamente) son los avances con mayor relevancia en la actualidad prometiendo una red tipo core adaptable a los requerimientos de los servicios y a los cambios en la infraestructura de la red. Los avances más recientes en estas tecnologías aseguran un mejor aprovechamiento de la infraestructura óptica existente y por desplegar, asegurando procesos completamente ópticos (conmutación y enrutamiento) con retardos mínimos jamás alcanzados hasta ahora.

PALABRAS CLAVES

Redes de Próxima Generación
Conmutación Óptica de Paquetes
Conmutación Óptica de Ráfagas
Calidad de Servicio y Dominio Óptico

ANALYTICAL SUMMARY

in the last decade Internet has experienced an explosive growth due to numbers of new users as well as their expectations to quality of receiving services. These changes are major problem in core networks and the technology used so far does not assure satisfying results. Optical networks have emerged as a promising technology to fulfill growing demands on networks capacity, Quality of Service and performance. Moreover, a wide variety of technologies of fiber communication and networking are focus of research in optical telecommunication domain. Optical Packet/Burst Switching Network (OPS/OBS) is a promising technology to present and future core networks due to best network utilization and adaptability to changes in the network infrastructure (core network).

KEYWORDS

Next Generation Networks
Optical Packet and Burst Switching
Quality of Service and
Optical domain

INTRODUCCIÓN

Las redes de telecomunicaciones experimentan una demanda creciente especialmente en lo relacionado con el desempeño y la capacidad de transmisión. Un aspecto que fortalece esta exigencia, se relaciona con el crecimiento en el número de usuarios de Internet, lo cual a su vez implica la aparición de diferentes clases de servicios y aplicaciones de red cada vez más novedosas: P2P (Peer to Peer), intercambio de datos e información multimedia, distribución de audio y video con diferentes características, son entre otras, aplicaciones que presentan una alta demanda en cuando ancho de banda se refiere.

En este orden de ideas, se evidencia un enorme progreso en el despliegue de redes de acceso de banda ancha (con tecnologías xDSL, WLAN, FTTH y ETHERNET en los ámbitos LAN y MAN), las cuales conducen una enorme cantidad de tráfico hacia las redes tipo metro y core. [5].

Como consecuencia de estos requerimientos, aparecen propuestas desde la industria y desde los diferentes organismos de regulación de las telecomunicaciones, es el caso del concepto de redes de próxima generación o NGN la cual ofrece soporte a grandes volúmenes de información tipo paquete, gran capacidad en conmutación y enrutamiento que permitan cubrir las grandes demandas de tráfico, entre otros aspectos de gran importancia.

Otro aspecto que tiene directa relación con la expansión de Internet, se refiere a la unificación de criterios respecto a servicios de voz y datos sobre la plataforma IP. Esta tendencia es seguida por la migración de la industria de las telecomunicaciones desde redes de voz optimizadas hacia redes "todo IP". [4] Se evidencia que en las redes de voz tradicionales (tales como SDH/SONET) la conmutación de circuitos esta orientada a conexión, siendo esta operación muy confiable y eficiente. Sin embargo, al evaluar las características del tráfico de tasa de bit constante CBR (Constant Bit Rate) versus las redes orientadas a datos con tasas de bits variables VBR (Variable Bit Rate), se llega a la conclusión de preferir enviar ambos tipos de tráfico por una red orientada a paquetes y ráfagas y no a circuitos. [25]

En el caso puntual de las arquitecturas de red desarrolladas para enrutamiento IP electrónico, estas han demostrado no ser lo suficientemente escalables y presentan muchas limitaciones tecnológicas cuando se trata de alcanzar velocidades del orden de los multi-terabit. [6]. En realidad, cuando la velocidad de bits se incrementa, la densidad en la escala de integración se incrementa en una proporción similar, lo cual ocasiona la aparición de capacitancias parásitas e impedancias no deseables. Otro problema que se puede presentar tiene que ver con el consumo de potencia y la disipación de calor lo que ocasiona limitaciones en el nivel de integración y en la velocidad de operación. [3]. Con estas limitaciones en las redes con soporte electrónico, las redes ópticas aparecen como la solución a múltiples problemas facilitando la operación exitosa de la infraestructura de soporte para la futura Internet.

En el proceso de migración hacia redes ópticas como soporte principal, existen tres propuestas, la primera se enfoca hacia el incremento en la capacidad de los enlaces ópticos entre nodos eléctricos (incluyendo enlaces con tecnología SDH/SONET), un aspecto importante de este primer proceso es la necesidad de realizar la reconfiguración de los nodos (multiplexores) que soportan las comunicaciones, esto se debe al hecho que la transmisión óptica se realiza solo mediante enlaces punto a punto (esta operación causa cuellos de botella en el nivel electrónico, especialmente en los nodos pertenecientes a la red core). [3]. Aunque este proceso eleva la capacidad de transporte, es necesaria la conversión óptico/eléctrica y viceversa, lo que introduce retardos importantes.

La segunda propuesta introduce el concepto de Circuitos de Longitud de Onda Ópticos o trayectos de luz (light paths) esto se logra mediante la adecuada configuración de los diferentes componentes ópticos (filtros, splitters, switches, etc.), entre las tecnologías pertenecientes a esta propuesta están GMPLS (Generalized Multiprotocol Label

Switching), ASON (Automatic switched optical Network) y Ethernet Óptico. Finalmente, en la tercera propuesta para redes ópticas, éstas, deben tener la capacidad de conmutar paquetes y ráfagas de datos directamente en el nivel óptico y soportar diferentes clases de tráfico (voz, datos y multimedia) convergiendo hacia paquetes o datagramas IP, considerando que el tráfico de datos es predominante en las redes actuales.[4][5]

Dentro de las opciones tecnológicas desarrolladas para la implantación de redes ópticas como soporte multiservicio aparecen la conmutación óptica de paquetes OPS y la conmutación óptica de ráfagas OBS, inicialmente se consideran como un par de tecnologías muy atractivas ya que representan una arquitectura de red que verdaderamente interpreta el concepto de IP sobre WDM, en este caso los paquetes IP se conmutan o reenvían sobre una red completamente óptica (all optical) con un mínimo de procesamiento electrónico en el plano de datos. En esta ocasión la red óptica pasa de tener enlaces punto a punto estáticos a enlaces reconfigurables dinámicamente. Este aspecto corresponde a un paso muy importante en la evolución hacia una red completamente óptica con procesamiento óptico de la información, cabe anotar que OPS y OBS, como tecnologías de última generación óptica brindan beneficios tales como un mejor aprovechamiento de las capacidades de transporte de la red, mayor granularidad en el empleo de las longitudes de onda disponibles y el soporte a una alta variedad de servicios con patrones de tráfico orientados a ráfagas.

Los beneficios al contar con redes completamente ópticas pueden verse desde diferentes perspectivas, menos consumo de potencia, dispositivos con conmutación a mas alta velocidad, se evitan ciertas funciones como almacenamientos temporales, procesos de almacenamiento y reenvío, desagregación, control de congestión entre otras, ya no se llevan a cabo. [3]. Sin embargo surgen cuestionamientos en cuanto a la necesidad de manejo de la congestión, contención, memorias ópticas.

En este artículo se presentan los principales avances en OPS y OBS en el contexto de las futuras redes completamente ópticas, para lo cual se ha organizado de la siguiente forma: la sección II explora los elementos y características principales de las tecnologías OPS y OBS, empezando por una corta visión sobre OCS como tecnología base, la sección III se enfoca hacia la revisión de la infraestructura del core óptico, y las siguientes secciones muestran los avances de diferentes investigaciones realizadas y en curso buscando obtener una red completamente óptica, especialmente los avances hacia Internet óptico. Al final se concluye al respecto.

1. OPS Y OBS

La tecnologías Optical Packet Switching OPS y Optical Burst Switching OBS constituyen una poderosa combinación entre grandes volúmenes de anchos de banda y manejo de granularidad en la multiplexación de las longitudes de onda, todo ello para brindar el mejor soporte a las diferentes clases de tráfico directamente sobre el nivel óptico.[2] [3].

Sin embargo, en la actualidad se emplea mucho la Conmutación Óptica de Circuitos OCS (Optical Circuit Switching), esta tecnología se adopta desde los inicios en las redes tradicionales de comunicación de voz, esta técnica emplea el modelo de conmutación de circuitos para el establecimiento de la comunicación entre usuarios. Dichos circuitos (físicos o lógicos) no pueden ser empleados por otras comunicaciones mientras permanezca establecida una conexión o este en fase de establecimiento. Gracias a las garantías que brinda esta clase de conexión, a su consolidación y confiabilidad, se emplea como un modelo válido en las redes ópticas. [4].

La operación de las redes OCS es orientada a la conexión, en particular, la transmisión de los datos desde la fuente hasta el destino se realiza en trayectos preestablecidos denominados lightpaths (como se muestra en la figura 1). Los nodos de conmutación OCS están compuestos por transconectores ópticos (OXC). Un OXC es el responsable de la conmutación desde una entrada de datos transportada sobre una longitud de onda hasta una salida por un puerto determinado, realizando en su contexto el proceso de granularidad.

La duración típica de los procesos de establecimiento y liberación de una conexión es del orden de los milisegundos. OCS aparece como una primera opción en la conmutación óptica y es el soporte actual para muchas redes tipo core.

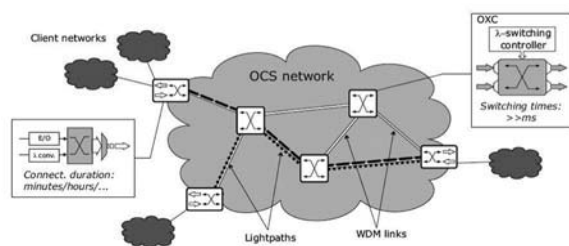


FIGURA 1. Arquitectura de red OCS

Por su parte la tecnología OBS ofrece transporte de ráfagas *best-effort* y señalización de conmutación en una vía (como lo muestra la figura 2), este concepto es

una especie de híbrido entre OCS y OPS. Además OBS opera en el nivel de sublongitud de onda y se selecciona para mejorar el empleo de longitudes de onda por su alta velocidad en los procesos de establecimiento y liberación de lightpath para ráfagas entrantes. En OBS, el tráfico entrante proveniente de los clientes es agregado en la entrada de la red de acuerdo con ciertos parámetros (destino, tipo de servicio TOS, clase de servicio COS y calidad de servicio QOS (mediante en el empleo por ejemplo de estrategias como diferenciación de servicios o Diffserv)). Igualmente, en los enrutadores de frontera se tienen diferentes colas que representan diferentes destinos o clases de servicios. [3][27].

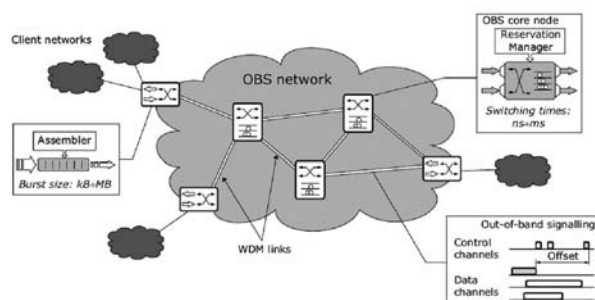


FIGURA 2. Arquitectura de red OBS

Un aspecto importante en OBS es el hecho de requerir procesamiento eléctrico dentro del proceso de la información. Asimismo, el encabezamiento de la ráfaga generado en la frontera de la red es enviado en un canal de control separado o canal de control fuera de banda. En cada conmutador de la red, el canal de control se convierte al dominio eléctrico para realizar el procesamiento de la información contenida en el encabezamiento (este proceso agrega retardos y latencias en cada nodo de la red). [2][3]

La información del encabezamiento antecede la presencia de la ráfaga de datos por un determinado tiempo, el cual es suficiente para tener listo al conmutador al momento de realizar la conmutación de la ráfaga de entrada. Muchos protocolos han sido propuestos para realizar los procesos de reserva de recursos han sido propuestos y estudiados desde diferentes centros de investigación los cuales han sido publicados en muchos eventos y revistas especializadas. Obviamente, los protocolos de señalización y reserva de recursos dependen de la arquitectura de la red, la capacidad del nodo, topología de red y procesos de conectividad. El proceso de reserva tiene implicaciones en el desempeño de OBS debido especialmente a los requerimientos de almacenamiento en la frontera de la red. El paradigma de señalización

en una vía introduce un alto nivel de bloqueo en la red debido a que las conexiones no se garantizan antes de liberar la ráfaga [3][26].

Finalmente, OBS se puede llevar a cabo en cada nodo empleando tecnologías de conmutación disponibles en el mercado con equipos que responden a velocidades de los microsegundos [3]. Los elementos fundamentales de OBS [2][3] se refieren a los procesos de ensamblado de ráfaga y proceso de señalización mediante el empleo una celda de encabezamiento de ráfagas o BHC (Burst Header Cell). Este BHC contiene la información típica de encabezamiento y la longitud de la ráfaga, en cada nodo de la red existe un proceso electrónico en el plano de control para leer e interpretar esta información y proceder a realizar el proceso de control y operación del respectivo conmutador.

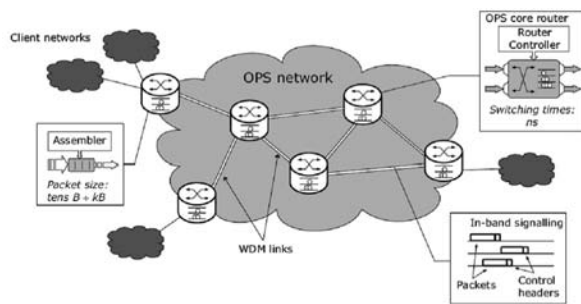


FIGURA 3. Arquitectura de red OPS

En el plano de datos las ráfagas son conmutadas en formato completamente óptico. Este proceso se muestra en la figura 2 e indica la operación de los enrutadores de frontera (ingreso y egreso). OBS define mecanismos para resolver la contención con el fin de mejorar el desempeño de la red (para ello se emplean los dominios de tiempo, espacio y longitud de onda) [3], OBS puede manejar una gran cantidad de ráfagas de datos enviadas desde los diferentes clientes reduciendo los procedimientos de procesamiento y conmutación.

De otro lado, la tecnología OPS (ver figura 3) ofrece la capacidad para procesar paquetes directamente en el nivel óptico especialmente para el tráfico de Internet. Existen tres categorías para los sistemas OBS: Conmutación de paquetes sincrónicos y asincrónicos, conmutación de paquetes de longitud fija y variable, conmutación tipo almacenamiento y reenvío versus conmutación directa sin almacenamiento previo. En OPS pueden ser usados distintos esquemas de multiplexación (TDM, CDM y WDM). Igualmente, OPS requiere de altas velocidades de conmutación las cuales pueden estar del orden los nanosegundos. Los avances más recientes

en el procesamiento de encabezamientos ópticos (o etiquetas ópticas) se enfocan hacia paquetes de longitud variable asincrónicos con resolución de contención en el dominio de longitud de onda espacial y temporal con conmutación a muy alta velocidad, del orden de los nanosegundos, como se anotaba anteriormente.

2. INFRAESTRUCTURA DE RED TIPO CORE

En la figura 4 se presenta una arquitectura genérica para una red transporte óptico; la cual consta de nodos de fuente, destino e intermedios, los cuales están conectados mediante enlaces WDM. Las redes cliente (IP, ATM, SONET/SDH, etc.) se conectan a los nodos de frontera donde algunas funciones de adaptación toman lugar, estas son las encargadas de la conversión de datos de una señal de entrada original en una señal óptica con el respectivo formato para ser transmitido a través de la red óptica. Esta función puede realizar procesos de conversión de longitudes de onda, u operaciones de agregar o ensamblar datos procedentes de diferentes fuentes. Los datos en formato óptico son transmitidos a través de enlaces WDM hacia los nodos del core; la tecnología WDM permite la transmisión de diferentes señales correspondientes a datos sobre diferentes longitudes de onda al mismo tiempo.

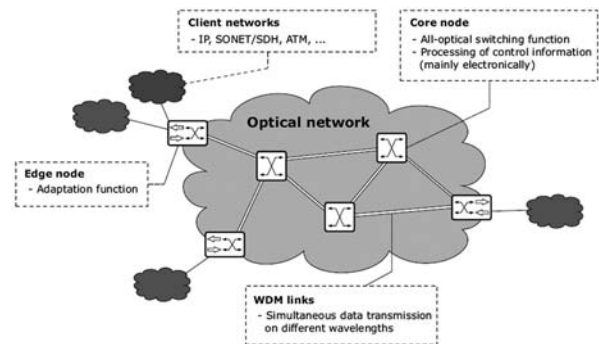


FIGURA 4. Arquitectura General de una red DWDM

Los nodos del core son los responsables de procesar la información de control la conmutación completamente óptica de las señales de datos. En muchos casos el procesamiento de la información de control se realiza electrónicamente. Cuando los datos alcanzan el nodo de destino son convertidos de Nuevo en el formato de datos de usuario o cliente.

Diferentes procesos de investigación se realizan para encontrar la arquitectura de transporte idónea para Internet óptico, algunas arquitecturas de red se muestran en [5][6]. Estas arquitecturas difieren entre si

en el grado de transparencia óptica y flexibilidad en la interconexión óptica principalmente [7]. Igualmente, los enfoques se realizan hacia soporte a computación tipo GRID respectivamente.

En este orden de ideas, considerando el hecho que Internet es una red de paquetes y no orientada a la conexión, se orienta la búsqueda para desarrollar la red de transporte óptica del futuro la cual estará centrada en paquetes de datos con alta confiabilidad y eficiencia. En este contexto se han hecho grandes esfuerzos de investigación orientados a perfeccionar las características de las tecnologías OPS y OBS.

En la perspectiva hacia la optimización de la red la implementación de las técnicas OPS y OBS directamente en la red de transporte (core) traerá una serie de beneficios entre ellos la mejor distribución estadística de los recursos físicos y una reducción considerable en los costos de conexión.

La esperada migración de las funciones de conmutación de los dominios eléctricos a ópticos se realiza actualmente de una forma gradual y puede tener diferentes fases. En principio, las redes de transporte tradicionales (SDH/ATM/IP) se basan principalmente en conexiones estáticas punto a punto y en enlaces en anillo. Mientras el papel principal de las características ópticas en estas redes está limitada a realizar funciones de transmisión, en las redes de próxima generación NGN se espera que el desempeño vaya más allá de realizar un conmutación y enrutamiento completamente ópticos. El escenario de tal migración anticipa algunas soluciones que se podrían denominar de mediano plazo, es el caso de las redes SDH de próxima generación (next-generation SDH, NG-SDH), OBS con enrutamiento de longitudes de onda (wavelength-routed optical burst switching WR-OBS), redes ópticas conmutadas automáticamente (automatic switched optical networks ASON), soluciones como ORION (the Ontario research and innovation optical network concept ORION), o aproximaciones a las propuestas hechas en la recomendación G.709 [9]. Aunque las principales funciones relacionadas con el procesamiento en los nodos y el control de la red permanecen en el dominio electrónico, es importante destacar que varias de estas funciones se están probando e implementando en el dominio óptico. [8][16][17]

Teniendo en cuenta estos avances, la tecnología OBS se puede considerar como una de las mejores aproximaciones a las redes completamente ópticas. En particular se reduce la distancia entre velocidades de conmutación y transmisión ofreciendo flexibilidad y eficiencia mediante la explotación adecuada de la multiplexación estadística en el dominio óptico [28].

Un gran número de contribuciones se han enfocado hacia la funcionalidad y desempeño de los nodos OBS y sobre las diferentes infraestructuras de red. De otro lado, las limitaciones actuales de las tecnologías ópticas presentan algunas dificultades operacionales en las arquitecturas de redes OBS tradicionales, uno de ellos es el problema de la contención de ráfagas (con algunas soluciones pero aun en investigación), otro se refiere a la complejidad en el control de los nodos (con información netamente óptica), igualmente la falta de garantía respecto a la QoS y el pobre desempeño en enrutamiento para trayectos cortos. Aunque estos son campos de constante investigación, aún no se ha dicho la última palabra al respecto.

3. AVANCES EN INVESTIGACIÓN HACIA REDES COMPLETAMENTE ÓPTICAS

Existe un creciente número de investigaciones hacia la búsqueda de redes con funciones de conmutación y enrutamiento completamente en el dominio óptico. Entre las cuales se puede mencionar: la definición y empleo de encabezamientos (etiquetas) completamente ópticos, control mediante la interpretación de encabezamientos ópticos, integración de la conmutación y el enrutamiento en nodos totalmente ópticos.

Respecto a las tecnologías que tienen relación con el procesamiento de encabezamientos ópticos una buena referencia se encuentra en [15] y en [3], en la primera se demuestra el uso de amplificadores ópticos SOA (Optical Amplifiers) y el empleo de un par de arreglos FBG (Fiber Bragg Gratings), y la realización óptica de un espacio TTL (Time To Live) al igual que en los paquetes IP convencionales lo cual permite crear encabezados ópticos con un grado de información reducido pero que pueden ser suficientes para realizar las funciones básica de conmutación sin utilizar el plano eléctrico, igualmente en las referencias [17][18] [19], se muestra el resultado de procesos de monitoreo y selección de paquete en un ambiente completamente óptico. Igualmente, se han desarrollado un flip-flop óptico [20] y una compuerta lógica óptica [21] las cuales representan aplicaciones recientes sobre la representación y procesamiento de encabezamiento ópticos. Las referencias [22][23] traen una serie de avances en el procesamiento de encabezamientos ópticos, por ejemplo el uso de algoritmos genéticos para lograr disminuir las probabilidades de bloqueo y distorsión de las señales ópticas transmitidas. Ciertos tipos de heurísticas son usadas para encontrar los algoritmos mas eficientes al respecto.

Aspectos de sincronización son vitales para el buen desempeño de redes OPS sincrónicas y asincrónicas. Es así como ante la no existencia de memorias (para

almacenamiento) ópticas tipo RAM (optical RAM) es necesario desarrollar mecanismos o arreglos que retarden la información óptica cierta cantidad de tiempo, estos arreglos se pueden ubicar en serie o en paralelo, y se realiza mediante la combinación de líneas de retardo con fibras FDL (Fiber Delay Lines), además se definen colas de espera con fibras, todo esto aunque constituye un tópico muy interesante de investigación, no logra rebajar los costos de los equipos hardware empleados, antes por el contrario las FDL hacen que los conmutadores ópticos sean muy costosos [24].

Trabajos de investigación recientes se enfocan hacia la definición de redes con nodos sencillos que permitan OPS de pocos paquetes pero con la implementación de memorias ópticas que aun están en investigación. [31][32][33][34].

Asimismo, una variante del OBS denominada Time Sliced OBS (TSOBS), se describe en [11], en ella se propone la ubicación de varias memorias ópticas disponibles para cada puerto de entrada. En este caso el tiempo se divide en tramas que contienen un cierto número de ranuras de tiempo de longitud fija. Es decir la ráfaga se divide en trozos transportándolos en forma concatenada (en tramas sucesivas). Este proceso preserva la escalabilidad del plano de control en OBS (ya que solo una decisión de conmutación se requiere para enviar todas las partes que pertenecen a la misma ráfaga), de esta forma se reduce el almacenamiento óptico requerido en los diferentes nodos de conmutación.[35][36][37]

La construcción de enrutadores ópticos y los diferentes esfuerzos de integración enrutamiento/conmutación, entre otros aspectos, presentan avances importantes en las redes ópticas, la combinación de etiquetas ópticas en paralelo, el desarrollo de convertidores de longitudes onda sintonizables (tunable wavelength converters TWCs), convertidores de longitudes de onda fijas (fixed wavelength converters FWCs), arreglos de guías de onda al interior de los enrutadores ópticos (arrayed waveguide grating routers AWGRs) y la recirculación mediante el empleo de fibras ópticas, son algunos de los avances que pueden facilitar la interoperabilidad entre las tecnologías OCS, OBS y OPS en una sola plataforma OLS (Optical Label Switching), en la cual, los enrutadores OLS podrán soportar múltiples servicios sobre múltiples longitudes de onda y fluir al mismo tiempo.[38][39][40]

Otros tópicos de investigación se relacionan con los siguientes aspectos: resolución de contención en el dominio espacio – temporal, multicast y networking escalable. Enrutadores con memorias de almacenamiento pequeñas. Igualmente se están realizando grandes avances en la definición de esquemas para asegurar QoS, como transporta TCP/IP

sobre OBS y la definición del nivel físico para OBS desde la perspectiva completamente óptica.[29][30]

4. CONCLUSIONES

La creciente demanda de ancho de banda del tráfico de Internet lleva a explotar las verdaderas capacidades de las redes de transporte tipo core. El concepto de WDM es una excelente opción para ampliar la capacidad de esta clase de redes.

Las tecnologías actuales de conmutación óptica, permiten desplegar redes WDM con grandes capacidades de ancho de banda. La conmutación de fotónica de paquetes ofrece alta velocidad de datos, transparencia de formatos de información, calidad de servicio garantizada, lo cual es esencial en las redes ópticas del futuro.

OPS y OBS se vislumbran como la combinación de tecnologías más poderosa para soporte a requerimientos de grandes volúmenes de ancho de banda y representan la versatilidad en la granularidad de las longitudes de onda, todas estas funciones respaldadas y ejecutadas en el dominio óptico.

En la actualidad se están desarrollando un gran número de investigaciones relacionadas con las redes ópticas, buscando eliminar el tratamiento e interpretación de la información en el nivel electrónico. Esto constituye el paso definitivo hacia la consolidación de redes completamente ópticas con niveles de rendimiento y desempeño no vistos hasta ahora. Lo interesante es que hay muchas preguntas por resolver y muchos problemas por enfrentar lo cual hace de las telecomunicaciones ópticas un campo de gran actividad investigativa en la actualidad.

5. REFERENCIAS

- [1] S. Yao, S.J. Ben Yoo, B. Mukherjee, S. Dixit, "All Optical Packet switching for metropolitan area networks: oportunities and challenges," IEEE Commun. Mag. 39, 142-148, 2001.
- [2] J. S. Turner, "Terabits burst switching," Juniper High Speed Networks, 8 3-16, 1999.
- [3] S.J. Ben Yoo. "Optical burst and packet switching," Optical Fiber Telecommunications, systems and networks. Chapter 16, pp 641-693, Academic Press, 2008.
- [4] G. I. Papadimitriou, Ch. Papazoglou, and A. S. Pomportsis. *Optical Switching*. Wiley-Interscience, December 2006.

- [5] M. Listanti, V. Eramo, and R. Sabella. Architectural and technological issues for future optical internet networks. *IEEE Communications Magazine*, 38(9):82-92, September 2000.
- [6] N. Ghani, S. Dixit, and T.-S. Wang. On ip-wdm integration: a retrospective. *IEEE Communications Magazine*, 41(9):42-45, September 2003.
- [7] H. J. S. Dorren, M. T. Hill, Y. Liu, N. Calabretta, A. Srivatsa, F. M. Huijskens, H. de Waardt, and G. D. Khoe. Optical packet switching and buffering by using all-optical signal processing methods. *Journal of Lightwave Technology*, 21(1):2-12, January 2003
- [8] FP6-506760 IP Nobel Project. Deliverable d16 - preliminary definition of burst/packet network and node architectures and solutions, March 2005.
- [9] S.J. B. Yoo, "Optical Label switching MPLS, MPLambdaS, and GMPLS," *Opt. Netw. Mag.*, 2003.
- [10] A. Zapata and P. Bayvel, "Dynamic Wavelength - Routed Optical Burst Switched Networks: scalability Analysis and Comparison with Static Wavelength Routed Optical Networks," presented at OFC (Trend in Optics and photonics Series Vol. 86) Postconference Digest (IEEE cat No. 03CH37403). Washington DC USA, 2003.
- [11] Y.J. Xiong, M. Vandenhouste, and H.C. Cankaya, "Control architecture in optical burst-switched WDM networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 18, 2000.
- [12] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [13] M. Yoo, and C. Qiao, "Just Enough Time : A high speed protocol for bursty traffic in optical networks" *IEEE* 1997.
- [14] F. Xue, Z. Pan, Y. Bansal. "End to end contention resolution schemes for an optical packet switching network with enhanced edges routers," *J. Lightw. Technol.* 2003.
- [15] M.C. Cardakli, S. Lee, A. E Willner, "Reconfigurable optical packet header recognition and routing using time to wavelength mapping and tunable fiber Bragg gratings for correlation decoding," *IEEE photon. Technol. Lett.* 2000.
- [16] J.E. McGeehan, S. Kumar, D. Gurkan., "All optical decrementing of a packet's time to live (TTL) field and subsequent dropping of a zero-TTL packet," *J. Lightw. Technol.*, 2003.
- [17] J. Yang, M.Y. Jeon, J. Cao., "Performance Monitoring by subcarrier multiplexing in optical label switching networks," Maryland USA. 2003.
- [18] J. Yang, M.Y. Jeon, J. Cao. "Performance Monitoring in transparent optical networks using self monitoring optical labels," *Electron. Letts.* 2004.
- [19] J. Q. Yang. Z. Zhu, Z. Pan, S.J. B. Yoo, "All Optical Time to live using error checking labels in optical label switching networks," Sweden 2004.
- [20] H.J.S. Dorren, M.T. Hill, Y. Lui. "Optical Packet Switching and Buffering by using optical signal processing methods," *J. Lightw. Technol.* 2003.
- [21] J.P Wang. B.S. Roobinson, S.A. Hamilton, and E. P. Ippen. "40 Gbps all optical header processing for packet routing." OFC Anaheim, CA 2006.
- [22] C. Vijayanand, M. Shiva Kumar, K.R. Venugopal, P. Sreenivasa Kumar*. "Converter placement in all-optical networks using genetic algorithms," Department of Computer Science and Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600 036, India 2000.
- [23] P. Rajalakshmi, Ashok Jhunjunwala, "Analytical tool to achieve wavelength conversion performance in no wavelength conversion networks," in: Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC 2007, ONS09, Scotland, UK, June 2007.
- [24] Vijay Sivaraman, Arun Vishwanath. "Hierarchical time-sliced optical burst switching." School of Electrical Engineering and Telecommunications, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia 2008.
- [25] Yusuke Fukushima, Xiaohong Jiang and Susumu Horiguchi Routing Algorithms for Packet/Circuit Switching in Optical Multi-log₂N Networks. *IEICE Transactions on Communications* 2008.
- [26] Andrea Detti, Vincenzo Eramo, and Marco Listanti, "Optical Bursts Switching with Burst Drop(OBS/BD): An Easy OBS Improvement", Proceedings IEEE, ICC 2002, New York, NY, April-May 2002.

- [27] Vinod Vokkarane and Jason Jue, "Prioritized Burst Segmentation and Composite Burst Assembly Techniques for QoS Support in Optical Burst-Switched Networks," submitted to IEEE Journal, 2003
- [28] B. Addis ^a; A. Capone ^a; G. Carello ^a; F. Malucelli ^a; M. Fumagalli ^b; E. Pedrinelli ^b Designing Two-Layer Optical Networks with Statistical Multiplexing. 2008.
- [29] Vinod M. Vokkarane¹ and Balagangadhar G. Bathula. Manycast Service in Optical Burst/ Packet Switched (OBS/OPS) Networks (Invited Paper) ICST Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering 2009.
- [30] Shun Yao, Sudhir Dixit, Biswanath Mukherjee, Nokia Research Center, Burlington Woods Drive, Burlington, MA 01803 Department of Computer Science University of California. Advances in Photonic Packet Switching: An Overview. 2000.
- [31] Hanming Guo, Songlin Zhuang, Jiabi Chen, and Zhongcheng Liang "Multilayered optical memory with bits stored as refractive index change. I. Electromagnetic theory" Optical Society of America. 2007
- [32] Hanming Guo, Songlin Zhuang, Shuwen Guo, Jiabi Chen, and Zhongcheng Liang "Multilayered optical memory with bits stored as refractive index change. II. Numerical results of a waveguide multilayered optical memory" Optical Society of America. 2008
- [33] Hanming Guo, Songlin Zhuang, Shuwen Guo, Jiabi Chen, and Zhongcheng Liang "Multilayered optical memory with bits stored as refractive index change. III. Numerical results of a conventional multilayered optical memory" Optical Society of America. 2008.
- [34] Deqiang Song, Veronica Gauss, Haijiang Zhang, Matthias Gross, Pengyue Wen, and Sadik Esener "All-optical flip-flop based on vertical cavity semiconductor optical amplifiers". 2007.
- [35] Kee Chaing Chua, Mohan Gurusamy, Yong Liu "Quality of Service in Optical Burst Switched Networks" Optical Networks Series. 2007
- [36] Sivaraman, V. Vishwanath, A. Sch. of Electr. Eng. & Telecommun., Univ. of New South Wales, Sydney, NSW; "Architecture of a hierarchical time-sliced optical burst switching system". 2007.
- [37] Vijay Sivaraman and Arun Vishwanath. School of Electrical Engineering and Telecommunications University of New South Wales Sydney, NSW 2052, Australia. "Hierarchical Time-Sliced Optical Burst Switching". 2007
- [38] Bin Wang and Tianjian Li "Survivable scheduled service provisioning in WDM optical networks with iterative routing" Science Direct September 2009.
- [39] Malabika Sengupta, Swapan Kumar Mondal and Debashis Saha "A protocol for piggybacking on Markov based wavelength reservation in WDM optical networks". Science Direct 2008.
- [40] Jayashree Ratnam, Saswat Chakrabarti and Debasish "A heuristic approach for designing hybrid PONs employing WDM and OCDMA with asymmetric traffic distribution". Science Direct 2009.