

Lightpath Bundling y Anycast Switching (LB+AS) como paradigma de presente y futuro en redes troncales de comunicación

José Luis Izquierdo Zaragoza, Pablo Pavón Mariño

Grupo de Ingeniería Telemática, Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Antiguo Cuartel de Antigones. Plaza del Hospital, nº 1, 30202 Cartagena (Murcia)

Teléfono: 968338872

E-mail: {josel.izquierdo, pablo.pavon}@upct.es

Resumen. Las redes ópticas basadas en conmutación de circuitos son las candidatas más prometedoras para continuar con el despliegue de las redes ópticas troncales de comunicación. Sin embargo, a pesar de las excelentes características de transmisión que ofrecen, existen dos factores que limitan su evolución: (i) el enorme coste de actualización de las infraestructuras de red, y (ii) el elevado consumo energético de los equipos de conmutación. En este sentido, el paradigma Lightpath Bundling y Anycast Switching (LB+AS) basado en la agregación de enlaces y el balanceo óptimo de tráfico se ha propuesto como una posible solución para reducir parcialmente dichos problemas. En este trabajo se resumen los principales resultados obtenidos en esta línea de investigación por el Grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT.

1. Introducción

Las redes troncales basadas en fibra óptica han demostrado ser actualmente la única tecnología capaz de acomodar las crecientes demandas de tráfico de Internet (en torno al 30% anual [1]), que son consecuencia de la proliferación de dispositivos como *smartphones* y *tablets*, conectados de forma permanente a Internet, o la aparición de nuevos servicios como vídeo bajo demanda o televisión IP. A modo de ejemplo, sería posible cubrir más de quince veces la demanda de ADSL en España con una única fibra de grosor inferior al de un cabello humano [2-3].

No obstante, las redes troncales basadas en fibra óptica presentan dos problemas, que si no se solventan, pueden suponer un factor limitante en su evolución. Dichos problemas son: (i) el coste de actualización de las infraestructuras cuando quedan obsoletas, y (ii) el elevado consumo energético de los equipos de conmutación.

Por un lado, la actualización de las interfaces de red es muy costosa, ya que cada salto tecnológico sigue una escala $x4/x10$ (p.e. $1 \rightarrow 10 \rightarrow 100 \rightarrow 400 \rightarrow 1000$ Gbps), sin ningún punto intermedio. Esto implica que se requieren fuertes inversiones de capital que las operadoras pueden no estar dispuestas a asumir, y por tanto, se limita la evolución de las redes actuales propiciando al usuario final una disminución de la calidad de servicio (QoS), puesto que tiene que compartir la misma infraestructura con cada vez más usuarios y servicios.

Por otro lado, en cuanto al consumo energético, las operadoras están informando en los últimos años de que el consumo de sus centros de procesamiento (*data centers*) es responsable aproximadamente del

2% del consumo energético mundial, siguiendo una tendencia creciente año a año [4]. Por ejemplo, en el año 2005 la demanda energética supuso el equivalente a la proporcionada por diecisiete centrales de 1000 MW de capacidad cada una [4]. En este sentido, la comunidad científica e industrial está cada vez más enfocada en lo que se conoce como *green-networking*, esto es, diseñar redes cada vez más rápidas pero energéticamente más eficientes.

A pesar de todo, en un trabajo previo presentado en [5], se sugiere que es posible solventar ambos problemas aplicando unas técnicas de balanceo de tráfico conocidas como *Lightpath Bundling* y *Anycast Switching* (LB+AS). El concepto de *Lightpath Bundling* no es nuevo, no es más que la aplicación de la conocida técnica de agregación de enlaces (IEEE 802.1AX) al dominio de redes ópticas. En cuanto a *Anycast Switching*, es una técnica que consiste en distribuir el tráfico entre los distintos enlaces de salida a nivel de paquete, evitando la costosa identificación de flujos (definidos por direcciones IP y números de puerto origen y destino) que utilizan los equipos comerciales actuales, pero que puede provocar desorden de paquetes, lo que penaliza especialmente a conexiones TCP.

Sin embargo, en trabajos posteriores como [6-7] se ha demostrado que no solo el desorden no es un problema, sino que se consigue aumentar la velocidad de cada conexión individual (*goodput*) y reducir los requisitos de memoria de los encaminadores (*routers*) debido a la ganancia por multiplexado estadístico. Intuitivamente puede entenderse de la siguiente manera: en redes troncales conviven multitud de conexiones (miles o decenas de miles), por lo que los paquetes de diferentes conexiones se mezclan entre sí, por lo que las ráfagas de paquetes de una misma conexión se suavizan de forma natural.

El presente trabajo tiene como objetivo justificar cómo LB+AS puede ayudar a solventar los problemas expuestos anteriormente, y se presentan los principales resultados obtenidos hasta el momento.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente manera. En la sección 2, se hace un pequeño repaso por los fundamentos de las redes ópticas, se describe el funcionamiento de las técnicas LB+AS, y se muestran los principales resultados obtenidos hasta el momento. En las secciones 3 y 4 se argumenta cómo podría ayudar la utilización de LB+AS en la actualización progresiva de las infraestructuras de red y la reducción del consumo energético, respectivamente. Finalmente, en la sección 5 se concluye el artículo.

2. Conceptos previos

En las redes ópticas troncales, los enlaces de fibra que interconectan los nodos de conmutación componen la topología física de la red, utilizando caminos lógicos todo-ópticos (*lightpaths*) para servir las demandas de tráfico entre pares de nodos. Esto se consigue gracias a la especial arquitectura de los nodos de conmutación, que constan de un equipamiento electrónico (*routers* IP/MPLS) que realiza el encamio del tráfico en los nodos entrante y saliente de la red (nodos *ingress* y *egress*), y un equipamiento óptico (*reconfigurable optical add-drop multiplexer* o ROADM, ver Figura 1) que realiza la conmutación en los nodos intermedios (nodos *traversing*) sobre los *lightpaths* establecidos.

La Figura 2 ayuda a explicar el funcionamiento de LB+AS. En la parte izquierda se muestra una red óptica multicapa compuesta de tres nodos. Los nodos 1 y 3 están formados por un *router* IP y un ROADM, mientras que el nodo 2 solo contiene un ROADM, por lo que no realiza procesamiento electrónico de paquetes IP. Se establecen tres *lightpaths* de 40 Gbps cada uno del nodo 1 al 3, siguiendo la ruta física 1→2→3, y son agrupados (lo que se conoce como *lightpath bundle*) de forma lógica usando LB.

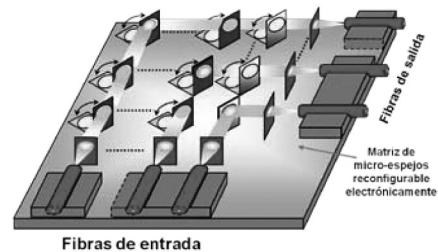


Fig. 1. Esquema de funcionamiento de un ROADM basado en dispositivos MEMS (*micro-electro-mechanical systems*) [8].

Por tanto, la capa IP los identifica como un único *lightpath* de capacidad agregada como se puede ver en la parte derecha. En el *router* 1, la utilización de AS conlleva una distribución uniforme de los paquetes IP entre las tres interfaces de salida asociadas a los tres *lightpaths* agrupados.

En los trabajos [5-7] se han evaluado las prestaciones de una red bajo la aplicación de LB+AS, obteniendo interesantes resultados, tanto para operadoras como usuarios.

Desde el punto de vista de las operadoras, se ha comprobado que LB+AS permite, dado un valor objetivo de retardo medio de red extremo-a-extremo, aumentar el tráfico en la red hasta un 50% con la misma infraestructura [5], y reducir los requisitos de memoria en los *routers* IP en torno al 20% [6].

Desde el punto de vista del usuario, LB+AS consigue aumentar el *goodput* de las conexiones hasta un 35% [7], lo cual reduce significativamente la duración de las conexiones (p.e. tiempo de descarga de un fichero con FTP).

Estos resultados posicionan a LB+AS como una técnica interesante a tener en cuenta para su implementación en equipos comerciales, ya que solo requiere cambios del *software* presente en el equipamiento electrónico, sin necesidad de modificar el equipamiento óptico, por tanto, desde un punto de vista económico no suponen una penalización al no requerirse cambios en el *hardware*.

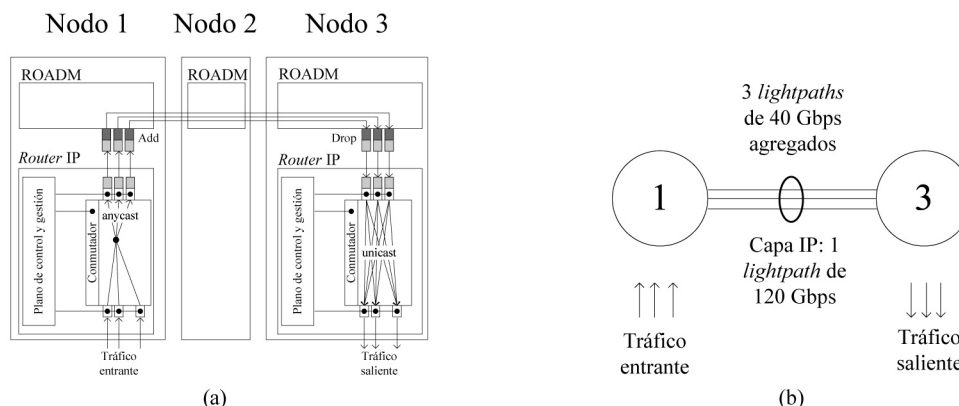


Fig. 2. Ejemplo de aplicación de LB+AS. (a) Esquema del equipamiento. (b) Percepción a nivel IP.

3. Actualización progresiva de la infraestructura de red

Como se ha visto en la sección anterior, el paso de un estadio tecnológico (p.e. 10 Gbps) al siguiente (p.e. 100 Gbps) no es gradual, ni por supuesto económico. Por ello, la aplicación de técnicas de agregación de enlaces es común en redes troncales [9], ya que permite aumentar progresivamente la capacidad de la red sin necesidad de hacer grandes desembolsos económicos hasta que sea estrictamente necesario, ya sea por motivos de capacidad de red o por economía de escala (es más barato comprar una interfaz de 100 Gbps que diez de 10 Gbps).

Los resultados de [5] refuerzan esta idea, ya que se muestra que LB+AS es inherentemente escalable, esto es, para cualquier tamaño de agrupación de *lightpaths*, cuando se aplica LB+AS se obtienen mejores prestaciones que cuando se aplican otras técnicas como ECMP.

4. Contribución a la eficiencia energética

Es bien conocido que el tráfico en redes troncales refleja los patrones de actividad de la sociedad (ver Figura 3). Así, teniendo en cuenta que un *bundle* está formado por múltiples interfaces de red, que pueden ser desactivadas individualmente, es posible ajustar dinámicamente el número de *lightpaths* activos, apagando las interfaces de red durante periodos de baja carga y activándolas cuando sea necesario. De esta manera, se podría conseguir un ahorro energético significativo, ya que el consumo de las interfaces de red implica más del 65% del consumo total de los equipos de conmutación [10].

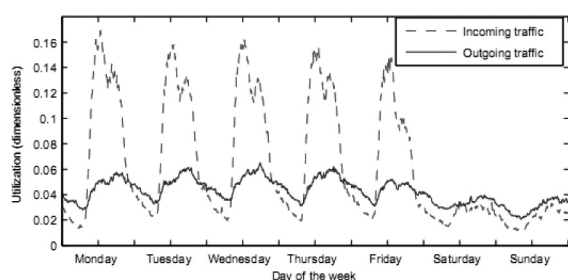


Fig. 3. Serie temporal representando la evolución del tráfico en un enlace de RedIRIS a lo largo de una semana [11].

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado LB+AS como una prometedora herramienta para aplicarse en las redes ópticas troncales, no solo mejorando sus prestaciones, sino reduciendo costes tanto económicos como energéticos. Esta línea de trabajo se enmarca dentro de las investigaciones en redes de altas prestaciones que se realizan dentro del Grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto nacional TEC2010-21405-C02-02/TCM (CALM) y el Programa de Becas-Contrato Predoctorales de la UPCT. Asimismo, se ha desarrollado en el contexto del “Programa de Ayudas a Grupos de Excelencia de la Región de Murcia”, de la Fundación Seneca (Plan Regional de Ciencia y Tecnología 2007/2010).

Referencias

- [1] Cisco Systems Inc., “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011-2016,” White Paper, Mayo 2012.
- [2] CMT, “Informe Anual 2010”, Junio 2011.
- [3] D. Qian *et al.*, “1.05Pb/s Transmission with 109b/s/Hz Spectral Efficiency using Hybrid Single- and Few-Mode Cores”, in *Proc. of FiO 2012*.
- [4] J.G. Koomey, “Worldwide electricity used in data centers,” *Environmental Research Letters*, vol. 3, no. 3, pp. 1-8, Septiembre 2008.
- [5] P. Pavon-Marino, J.L. Izquierdo-Zaragoza, “Lightpath bundling and anycast switching (LB+AS): a new paradigm for multilayer optical networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 8, pp. 89-95, Agosto 2012.
- [6] P. Pavon-Marino, J.L. Izquierdo-Zaragoza, “TCP Performance in an Optical Link Applying Lightpath Bundling and Anycast Switching Techniques,” in *Proc. of ICTON 2012*.
- [7] J.L. Izquierdo-Zaragoza, P. Pavon-Marino, “Packet reordering in the Lightpath Bundling & Anycast Switching (LB+AS) paradigm,” in *Proc. of ONDM 2013*.
- [8] L.Y. Lin *et al.*, “Free-space micromachined optical switches with sub-millisecond switching time for large-scale optical crossconnects,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 525-527, Abril 1998.
- [9] R. Doverspike *et al.*, “Structural overview of ISP networks,” in *Guide to Reliable Internet Services and Applications*, Springer, 2010.
- [10] W. Vereecken *et al.*, “Optical networks: how much power do they consume and how can we optimize this,” in *Proc. of ECOC 2010*.
- [11] F. Mata *et al.*, “Detection of traffic changes in large-scale backbone networks: The case of the Spanish academic network,” *Computer Networks*, vol. 56, no. 2, pp. 686-702, Febrero 2012.