

Estudio de las limitaciones de versatilidad de dispositivos de conmutación óptica

José Luis Izquierdo Zaragoza, María Victoria Bueno Delgado, Pablo Pavón Mariño
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, mvictoria.bueno, pablo.pavon}@upct.es

Resumen. Recientemente, el mercado de los equipos de conmutación óptica, u *OXC* (Optical Cross-Connects), está evolucionando con nuevos dispositivos que dotan de mayor flexibilidad a los *OADM*s (Optical Add/Drop Multiplexers), para poder realizar más reconfiguraciones de manera automática, es decir, sin necesidad de reconfiguración manual por parte de un operario. Las arquitecturas de *ROADMs* (Reconfigurable *OADM*s) llamadas *directionless*, *contentionless*, *colorless* y *gridless* son ejemplos de ello. Existe un fuerte interés por parte de las empresas operadoras en dimensionar los nuevos compromisos coste-beneficio de esta versatilidad añadida, esto es, definir la versatilidad que su red necesita, para así definir el equipamiento necesario. Este trabajo se centra en el dimensionado del factor de contienda en la sección *add/drop*, que es el causante de situaciones de bloqueo interno en *ROADMs* que no son *contentionless*. Los resultados se han obtenido utilizando la herramienta open-source *Net2Plan*, y el código fuente está disponible en su página web.

1. Introducción

En la última década, el éxito de las redes ópticas transparentes [1] se ha basado en el desarrollo de dispositivos de conmutación todo-óptica (*ROADMs*) que permiten el establecimiento de circuitos ópticos (*lightpaths*) sin necesidad de conversión O/E/O, así como simplificar las tareas de aprovisionamiento y mantenimiento. Los *lightpaths* se inician en un transmisor óptico (*transponder*) en el nodo origen (en un puerto *add*), y finalizan en el receptor del nodo destino (en un puerto *drop*), evitando cualquier tipo de conversión O/E/O en los nodos intermedios (*optical bypass*). En cualquier caso, los *ROADMs* actuales están limitados en el sentido de que los puertos *add/drop* están asociados a una fibra de salida/entrada concreta, y a una longitud de onda concreta. Esto provoca que tenga que desplazarse un técnico a las instalaciones para realizar la configuración manual de estos equipos.

Afortunadamente, el interés de las operadoras en proporcionar servicios de *lightpath* bajo demanda ha favorecido el desarrollo de *CD-ROADMs* (*Colorless and Directionless ROADMs*) [2]. En la literatura se han propuesto diversas arquitecturas, siendo la más popular el diseño *broadcast-and-select* (*B&S*) presentado en la figura 1. En un *B&S CD-ROADM* cada puerto *add/drop* puede asignarse a cualquier fibra de salida/entrada (*directionless*) y calibrarse a cualquier longitud de onda (*colorless*), teniendo en cuenta que cada banco de *transponders* solo permite que cada longitud de onda aparezca una vez (*non-contentionless*). Por tanto, el número de *lightpaths* que pueden iniciar o finalizar en un nodo viene determinado por el factor de contienda *add/drop* (denotado como *C*), que es igual al número de bancos de *transponders*. Es importante destacar que al ser

una red totalmente transparente, no existen conversores de longitud de onda. Asimismo, el diseño de *CD-ROADMs* sin contención interna (*contentionless*) es muy complejo y no se fabrican comercialmente, existiendo solo algunos prototipos.

La figura 1 sirve para ilustrar el factor de contienda en *B&S CD-ROADMs*: ya que solo existen dos bancos de *transponders* ($C=2$), no es posible iniciar y/o finalizar tres *lightpaths* a la misma longitud de onda, aun cuando podrían ir en fibras distintas (norte, oeste, y este).

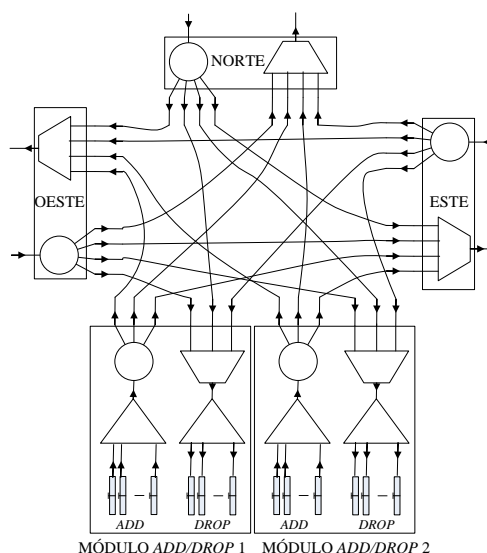


Fig. 1. Arquitectura de *ROADM* tipo *broadcast-and-select*

En este trabajo se evalúa la influencia del factor de contienda *C* en la probabilidad de bloqueo de *lightpaths*, que determina en cierta medida la capacidad efectiva de la red. Esto es relevante para el diseño de *ROADMs* ya que sería posible construir

ROADMs que son *contentionless* en la práctica sin degradar las prestaciones de la red de forma significativa. Para ello, se presentan dos algoritmos de planificación, conocidos como algoritmos *Add/Drop Contention-Aware Routing and Wavelength Assignment (ADCA-RWA)*, que son capaces de determinar la ruta de cada *lightpath* (secuencia de fibras atravesadas), la longitud de onda, y el banco de *transponders*, tal que se maximice la probabilidad de éxito de establecimiento de *lightpaths*. Estos algoritmos se han implementado en Net2Plan [3], una herramienta *open-source* de planificación y optimización de redes. El código fuente se encuentra disponible en la página web de la herramienta [4].

El resto del trabajo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se realiza una revisión del estado de la técnica, y se describen dos algoritmos *ADCA-RWA*. En la sección 3 se presenta un caso de estudio, y los resultados obtenidos. Finalmente, se exponen las principales conclusiones de este trabajo.

2. Algoritmos *ADCA-RWA*

Los algoritmos *ADCA-RWA* han sido propuestos en la literatura como estrategia para mitigar el efecto de contención interna [5][6][7][8].

En escenarios *offline*, donde todas las peticiones de *lightpath* son conocidas de antemano, se ha estudiado el dimensionado del factor de contienda en diversas variantes del problema que incluyen, por ejemplo, mecanismos de protección/restauración de *lightpaths* ante caídas de enlace [6][8]. Los resultados muestran que generalmente un factor de contienda igual a dos ($C=2$) es suficiente para emular las prestaciones de un *ROADM contentionless*.

Este trabajo se centra en escenarios *online*, en los que las peticiones de *lightpaths* aparecen de forma dinámica. En [5], se proponen distintos esquemas de encaminamiento, muy complejos de implementar, y además no se trata el dimensionado del factor de contienda. Por su parte, en [7] se presenta un algoritmo sencillo que puede implementarse de forma distribuida utilizando el estándar *RSVP-TE* de *GMPLS*. Este último ha sido implementado en

Net2Plan [3], y será referido en el resto del trabajo como *ADCA-RWA*. De nuevo, los resultados muestran que $C=2$ es suficiente para lograr un comportamiento *contentionless* en la práctica.

Asimismo, en este trabajo se incluye una adaptación del algoritmo *Fragmentation and Misalignment-Aware Routing and Spectrum Assignment (FMA-RSA)*, propuesto en [9] para redes ópticas elásticas. Este tipo de redes tiene la particularidad de que la tasa binaria que proporciona cada *lightpath*, así como que el espectro que ocupa no es fijo. Esto provoca el conocido problema de fragmentación, que dificulta encontrar porciones de espectro contiguas (en un mismo enlace) y continuas (entre enlaces vecinos). El algoritmo en [9] elige entre un conjunto de caminos pre-computados aquel que minimiza una métrica relacionada con la fragmentación y alineamiento entre enlaces vecinos. Cuando se aplica el algoritmo *FMA-RSA* a redes ópticas clásicas (con *lightpaths* de tamaño fijo), como en este trabajo, el problema de la fragmentación desaparece; sin embargo, sigue maximizando el alineamiento entre vecinos, de forma que se aumentan las probabilidades de poder encontrar caminos para establecer futuros *lightpaths*. Este algoritmo también ha sido implementado en Net2Plan, con ligeras modificaciones, y será referido como *FMA-ADCA-RWA*.

En la figura 2 se muestra un ejemplo del funcionamiento del algoritmo *FMA-ADCA-RWA*. En este caso se quiere establecer un *lightpath* entre A y C. Para ello se pre-computan un conjunto de caminos candidatos, por ejemplo, AC, ABC y ABDC. Entonces, para cada camino candidato se selecciona la “mejor” longitud de onda, como aquella que maximiza el alineamiento del espectro con los enlaces vecinos. Para cada enlace, se utiliza una métrica denotada como f_m , que acumula en cada par enlace vecino-enlace candidato (o viceversa) -1 si el enlace vecino tiene ocupada la longitud de onda seleccionada, o +1 en caso contrario. Dentro de un camino se elige la longitud de onda cuyo f_m sea menor, o la más baja en caso de empate (*first-fit*). En el caso de la figura 2, la longitud de onda seleccionada sería la 4. Para mayor información, se recomienda la lectura de los trabajos [8][9].

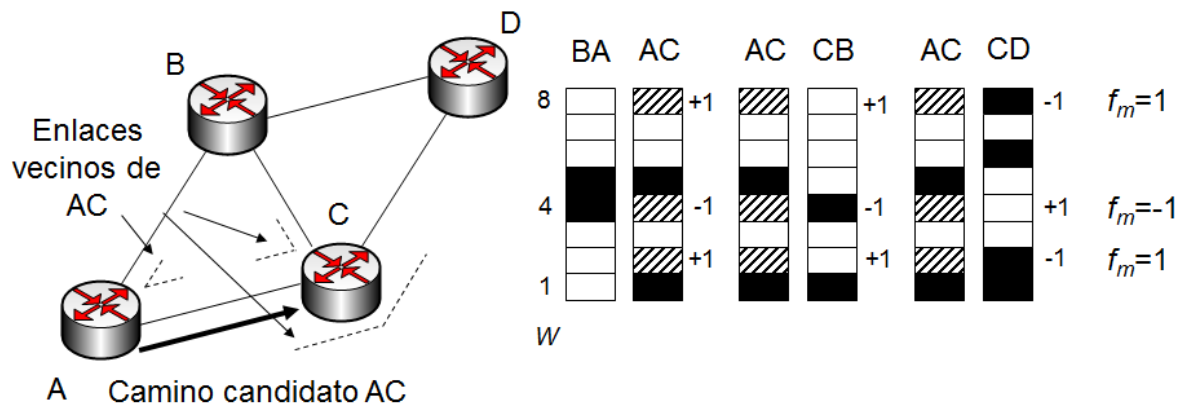


Fig. 2. Ejemplo de selección de longitud de onda dentro de un camino candidato

3. Caso de estudio

Los dos algoritmos presentados (*ADCA-RWA* y *FMA-ADCA-RWA*) han sido evaluados mediante el uso del simulador *CAC* (*Connection-admission control*) de *Net2Plan* [3] en la red *NSFNET* [10]. Debido a la limitación de espacio, a continuación se muestran algunos resultados parciales que forman parte de un estudio más amplio presentado en [8].

En la figura 3 se muestra la probabilidad de bloqueo para ambos algoritmos en diversas configuraciones ($C=1, 2, 3, \infty$, donde el último representa el caso *contentionless*) cuando el número de longitudes de onda disponibles por fibra es igual a 80. Como se puede observar, el algoritmo *FMA-ADCA-RWA* siempre es mejor en términos de bloqueo que *ADCA-RWA* para cualquier carga de red. Por ejemplo, a un 80% de carga la probabilidad de bloqueo es un 85% inferior. Asimismo, la diferencia entre los casos $C=2$ y $C=\infty$ es despreciable (0,01% en términos absolutos), lo que demuestra que un *ROADM* con dos bancos de *transponders* puede emular las prestaciones de un *ROADM* *contentionless*.

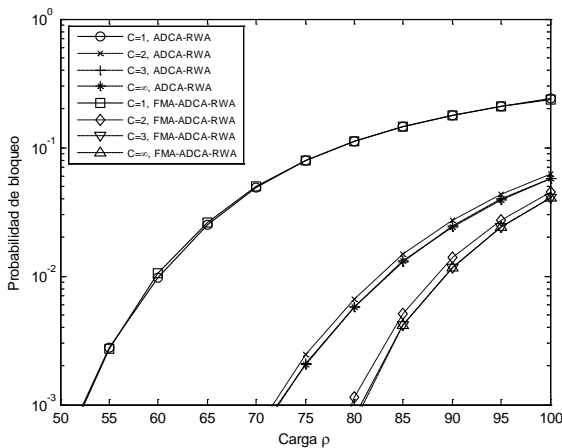


Fig. 3. Probabilidad de bloqueo de *lightpaths*

4. Conclusiones

Este trabajo ha presentado diferentes algoritmos de planificación para redes equipadas con *ROADMs* con problemas de contención interna. Estos algoritmos se implementaron dentro de la herramienta *Net2Plan*, y se evaluaron mediante simulación en la topología de referencia *NSFNET*. Los resultados revelan que es posible construir *ROADMs* que sean *contentionless* en la práctica con únicamente dos bancos de *transponders*, admitiendo una ligera penalización en términos de probabilidad de bloqueo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Programa de Ayudas para Formación del Profesorado Universitario del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (referencia FPU12/04571).

Referencias

- [1] R. Aparicio-Pardo, B. Garcia-Manrubia, P. Pavon-Marino, "Planificación de Redes Troncales de Conmutación Óptica Transparente," *Jornadas de Introducción a la Investigación de la UPCT*, vol. 2, pp.68-71, Mayo 2009.
- [2] S. Gringeri *et al.*, "Flexible architectures for optical transport nodes and networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 7, pp. 40-50, Julio 2010.
- [3] P. Pavon-Marino, J.L. Izquierdo-Zaragoza, "Net2Plan: An open-source network planning tool for bridging the gap between academia and industry," *IEEE Network Magazine*, aceptado para publicación.
- [4] Net2Plan – The open-source network planner [Online]. <http://www.net2plan.com/>
- [5] P. Palacharla *et al.*, "Blocking performance in dynamic optical networks based on colorless, non-directional ROADMs," *Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference and National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2011)*, Los Angeles (USA), Marzo 2011.
- [6] P. Pavon-Marino, M.V. Bueno-Delgado, "Dimensioning the Add/Drop Contention Factor of Directionless ROADMs," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 29, no. 21, pp. 3265-3274, Noviembre 2011.
- [7] P. Pavon-Marino, M.V. Bueno-Delgado "Distributed online RWA considering add/drop contention in the nodes for directionless and colorless ROADMs," *Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference and National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2012)*, Los Angeles (USA), Marzo 2012.
- [8] P. Pavon-Marino, M.V. Bueno-Delgado, "Add/Drop Contention-Aware RWA with directionless ROADMs: the Offline Lightpath Restoration case," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 4, no. 9, pp. 671-680, Septiembre 2012.
- [9] Y. Yin *et al.*, "Spectral and spatial 2D fragmentation-aware routing and spectrum assignment algorithms in elastic optical networks," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 5, no. 10, Octubre 2013.
- [10] R. Ramaswami, K.N. Sivarajan, "Design of Logical Topologies for Wavelength-Routed Optical Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, no. 5, pp. 840-851, Junio 1996.