

Un algoritmo basado en la descomposición combinatoria de Benders para el *routing and spectrum allocation problem*

Juan Pablo Lebon¹ and Javier Marengo²

¹ Departamento de Computación, FCEyN, Universidad de Buenos Aires, Argentina
jlebon@dc.uba.ar

² Escuela de Negocios, Universidad Torcuato Di Tella, Argentina
javier.marengo@utdt.edu

Abstract. En este trabajo presentamos un algoritmo basado en la descomposición combinatoria de Benders para el *routing and spectrum allocation problem* con y sin *path protection*. La implementación sobre instancias generadas aleatoriamente sobre topologías de la literatura muestra que este enfoque es eficiente para resolver en forma óptima este problema cuando la función objetivo solicita minimizar la suma de las longitudes de los *lightpaths*.

Keywords: routing and spectrum allocation, path protection, descomposición combinatoria de Benders

A combinatorial Benders algorithm for the routing and spectrum allocation problem

Abstract. In this work, we present an algorithm based on combinatorial Benders decomposition for the routing and spectrum allocation problem, both with and without path protection. The implementation on randomly generated instances over topologies from the literature shows that this approach is efficient for optimally solving this problem when the objective function seeks to minimize the sum of the lightpath lengths.

Keywords: routing and spectrum allocation, path protection, combinatorial Benders decomposition

Las *redes de fibra óptica* utilizan la luz, transportada por un cable, como un medio de comunicación entre dos *nodos* de la red. En respuesta al crecimiento sostenido del tráfico en este tipo de redes, en los últimos años se ha propuesto

una nueva generación de redes de fibra óptica, llamada *flexgrid elastic optical networks* (EONs) con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso del espectro electromagnético y aumentar así la capacidad de las redes (Christodoulopoulos et al., 2011).

En las EONs, el espectro de frecuencias de una fibra óptica se divide en *slots* de frecuencias relativamente pequeños, cada uno con un ancho de banda fijo. Se puede utilizar cualquier secuencia de slots consecutivos para formar un *canal*, que a su vez puede ser ruteado por la red para crear lo que se conoce como un *lightpath*.

Dada la estructura de una red y un conjunto de demandas, el *routing and spectrum assignment (RSA) problem* consiste en establecer los *lightpaths* para un conjunto de demandas de tráfico, cada una de las cuales está expresada en términos de un nodo de origen, un nodo de destino y una cantidad de slots. Dado que cada *lightpath* está determinado por una ruta y un canal, el RSA consiste en encontrar una ruta y asignar un intervalo de slots para cada demanda.

Para operar adecuadamente la red, se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

1. *Continuidad*: los slots utilizados deben ser los mismos en todos los enlaces de cada ruta;
2. *Contigüidad*: los slots asignados a una demanda deben ser contiguos;
3. *No-solapamiento*: en cada enlace, cada slot debe ser asignado a lo sumo a una demanda.

El *survivable RSA with path protection* es una variante de RSA, que corresponde a solicitar dos *lightpaths* para cada demanda: un *camino titular* y un *camino de backup*, y ambos deben respetar las restricciones de RSA (Klinkowski and Walkowiak, 2012; Olszewski and Szczesniak, 2022). Este problema es \mathcal{NP} -hard y ha recibido atención por parte de la comunidad especializada en los últimos años.

En este trabajo se proponen algoritmos basados en la descomposición combinatoria de Benders para el RSA y para el *survivable RSA with path protection*, sobre la base de formulaciones de programación lineal entera para estos problemas presentadas en trabajos anteriores (ver Bertero et al., 2018 para modelos para el RSA). Se realizan experimentos con instancias generadas aleatoriamente a partir de topologías reales de la literatura y con criterios realistas para la generación de demandas. De acuerdo con los experimentos presentados en este trabajo, los algoritmos propuestos permiten resolver en forma óptima estas instancias con tiempos de ejecución mucho menores que los obtenidos por técnicas de programación lineal entera generales, y con un uso de memoria sensiblemente inferior.

References

- Bertero, F., Bianchetti, M., & Marenco, J. (2018). Integer programming models for the routing and spectrum allocation problem. *Top*, 26(3), 465–488.

- Christodoulopoulos, K., Tomkos, I., & Varvarigos, E. A. (2011). Elastic bandwidth allocation in flexible ofdm-based optical networks. *Journal of Lightwave Technology*, *29*(9), 1354–1366.
- Klinkowski, M., & Walkowiak, K. (2012). Offline rsa algorithms for elastic optical networks with dedicated path protection consideration. *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 670–676.
- Olszewski, I., & Szczesniak, I. (2022). The trade-offs between optimality and feasibility in online routing with dedicated path protection in elastic optical networks. *Entropy*, *24*(7), 891.