

## Análise Comparativa do Algoritmo Dijkstra com e sem Desfragmentação nas Redes Ópticas Elásticas

Selles G. F. C. Araújo<sup>1</sup>, Ênio L. V. Barbosa<sup>1</sup>, André C. B. Soares<sup>1</sup>, José V. dos R. Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Computação – Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Teresina – PI – Brasil

sellesgustavo@gmail.com, enioluciano@gmail.com

**Abstract.** *Elastic optical networks have emerged with the goal of dealing with the great growth of data traffic on the Internet, using the resources of the network efficiently. Efficiency happens through the use of Orthogonal Frequency Division Multiplexing technology, which allows the division of the spectrum into frequency ranges called slots. For the establishment of an optical path in the elastic networks, it is necessary to define a route and a range of spectrum. With the establishment and closure of circuits in a dynamic scenario, the problem of fragmentation arises, which makes it impossible to attend to new requests. To mitigate this problem, defragmentation algorithms are run periodically. In this work, an analysis of the Dijkstra algorithm with and without the use of defragmentation is proposed, in order to evaluate the loss and gain related to the metrics of circuit block probability, external fragmentation and spectrum usage. Finally, the energy consumption of the scenarios was also analyzed.*

**Resumo.** *As redes ópticas elásticas surgiram com o objetivo de lidar com o grande crescimento de tráfego de dados na Internet, utilizando os recursos da rede de forma eficiente. A eficiência acontece através da utilização da tecnologia Orthogonal Frequency Division Multiplexing, que permite a divisão do espectro em intervalos de frequência denominado slots. Para o estabelecimento de um caminho óptico nas redes elásticas, é necessário a definição de uma rota e de um intervalo de espectro. Com o estabelecimento e encerramento dos circuitos em um cenário dinâmico, surge o problema da fragmentação, que impossibilita o atendimento de novas requisições. Para mitigar este problema, algoritmos de desfragmentação são executados com periodicidade. Neste trabalho, é proposto uma análise do algoritmo Dijkstra com e sem a utilização de desfragmentação, a fim de avaliar a perda e o ganho relacionado às métricas de probabilidade de bloqueio de circuito, fragmentação externa e utilização do espectro. Por fim, foi analisado também o consumo energético dos cenários.*

### 1. Introdução

O crescente aumento no número de usuários e o surgimento de diversos serviços na Internet, tem requerido uma maior largura de banda no núcleo dos sistemas de comunicações. Segundo a Cisco, estima-se que em 2021 cerca de 51% da população mundial estará conectada à rede. Além disso, dentre as diversas aplicações existentes ou emergentes na Internet, o vídeo sob demanda será responsável por 82% do tráfego IP global [Cisco 2017].

Para suportar o alto crescimento do tráfego, as redes ópticas elásticas (*EONs - Elastic Optical Networks*) tem se destacado por atender a grandes volumes de transmissões de dados de forma eficiente [Alexandre Fontinele 2016]. Isto acontece devido a utilização da tecnologia Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência (*OFDM - Orthogonal Frequency Division Modulation*), que divide o espectro em *slots* de frequência, permitindo assim flexibilidade no atendimento de requisições com diferentes taxas de *bits*.

No âmbito das redes elásticas, dois problemas fundamentais têm se tornado cada vez mais recorrentes: o problema de roteamento e atribuição de espectro (*RSA - Routing and Spectrum Assignment*) e o problema de fragmentação de espectro. Para solucionar o problema *RSA*, é necessário escolher a rota e faixa espectral ideal para atender as requisições. Já o problema da fragmentação é mitigado a partir de execuções periódicas de algoritmos de desfragmentação [Horota et al. 2014].

Neste trabalho, é apresentado uma análise comparativa do desempenho do algoritmo Dijkstra (DJK) com e sem a utilização do processo de desfragmentação. A avaliação do desempenho dos cenários considera as seguintes métricas: probabilidade de bloqueio de circuito, utilização do espectro e fragmentação externa. Além disso, foi analisado também o consumo energético rede. O algoritmo DJK foi escolhido para este estudo por ser uma solução comumente utilizada na literatura para fins comparativos.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. Na Seção 3, é apresentado conceitos e desafios das *EON*. A Seção 4 apresenta a avaliação de desempenho do estudo. E por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

No contexto das *EONs*, o problema da fragmentação do espectro se torna comum. Este problema acontece em decorrência do estabelecimento e remoção dos circuitos, gerando na rede uma distribuição de pequenos fragmentos não-contíguos no espectro, dificultando o atendimento de novas demandas. Trabalhos na literatura têm sido proposto para mitigar o problema da fragmentação [Horota et al. 2014, Moura et al. 2014].

Para aliviar a fragmentação na rede, é realizada a execução de algoritmos de desfragmentação do espectro. O objetivo é reorganizar as conexões existentes a fim de disponibilizar o maior número de *slots* contíguos para acomodar futuras requisições. Esse mecanismo de desfragmentação do espectro é um ponto significativo para redução da probabilidade de bloqueio dos circuitos [Zhang et al. 2014]. Diversas estratégias de desfragmentação são encontradas na literatura.

Em [Ba et al. 2017], é proposto uma estratégia de desfragmentação utilizando sobrevivência, no qual cada circuito terá uma rota backup (secundária) que será utilizada caso a rota primária falhe. Dessa forma, tanto as conexões primárias e de backup serão realocadas. Quando uma conexão primária for reconfigurada, é realizado uma troca de funções do caminho primário para o de backup. A avaliação de desempenho é feita comparando um cenário sem e com a utilização da estratégia proposta. A probabilidade de bloqueio, utilização do espectro, número médio de realocações e troca de funções de caminhos são as métricas utilizadas para avaliar o desempenho.

Já os autores em [Fávero et al. 2015], utilizam uma estratégia de desfragmentação

que realocam as conexões que compartilham o enlace mais fragmentado, de acordo com uma métrica de fragmentação dada na proposta. O processo de desfragmentação é iniciado quando a quantidade de circuitos finalizados atinge um limiar (10, 50 e 100 utilizados) e a avaliação de desempenho é realizada a partir da métrica de probabilidade de bloqueio.

Um esquema sem interrupção de tráfego utilizando a informação de  *Holding Time*  dos circuitos é proposto em [Singh and Jukan 2016]. A ideia é reorganizar os circuitos ativos em ordem decrescente de tempo de permanência na rede, do menor índice de  *slot*  para o maior. Conseqüentemente, os circuitos serão finalizados seguindo de uma extremidade à outra. Dito isso, o desempenho da rede foi avaliado através da métrica de probabilidade de bloqueio de circuito e do número médio de reconfigurações.

Portanto, este estudo avalia o desempenho do algoritmo DJK com e sem desfragmentação através de um amplo conjunto de métricas. O objetivo a partir da análise comparativa dos cenários em questão é apresentar o impacto causado pelo processo de desfragmentação no desempenho da rede sob vários aspectos.

### 3. Redes Ópticas Elásticas

Nas *EONs*, o espectro óptico é dividido em um conjunto de  *slots*  com largura espectral de 6,25GHz ou 12,5GHz [Colombo and Morganti 2014, Huang et al. 2014]. Os  *slots*  adjacentes podem ser agrupados para compor maiores intervalos de frequência, permitindo o atendimento de requisições que exigem maior largura de banda.

Além da capacidade de agrupar  *slots* , as *EONs* realizam a transmissão de dados utilizando diferentes níveis de modulação. A modulação está relacionada à quantidade de bits transmitidos simultaneamente em um sinal óptico. Para cada distância de propagação do sinal óptico é determinado um formato de modulação, no qual são utilizados os formatos BPSK( *Binary Phase-Shift Keying* ), QPSK( *Quadrature Phase-Shift Keying* ) e 16QAM[Gerstel et al. 2012], para as distâncias de 10.000, 5.000 e 1.000 quilômetros, respectivamente.

Para o estabelecimento de um circuito óptico nas *EONs*, é fundamental definir uma a rota e selecionar um intervalo de espectro disponível. Porém, é necessário que a faixa espectral selecionada atenda a restrição de contiguidade e continuidade. A restrição de contiguidade é atendida quando um conjunto de  *slots*  atribuídos a um circuito são adjacentes. Já para o atendimento da restrição de continuidade, o intervalo espectral selecionado para uma requisição deve ser o mesmo em todos os enlaces da rota [Shirazipourazad et al. 2013].

Por fim, é importante avaliar as *EONs* quanto ao consumo energético, que consiste no uso dos recursos consumidos durante o funcionamento da rede. Para uma análise do consumo, adotou-se o modelo de consumo energético proposto em [Vizcaíno et al. 2012a], no qual foram utilizados os  *transponders* , comutadores ópticos e amplificadores. O consumo de um  *transponder*  varia conforme o formato de modulação, largura de banda e quantidade de  *slots*  da requisição [Vizcaíno et al. 2012a]. O consumo do comutador óptico depende do grau do nó, além de uma adição de 150  *Watts*  para sua localização [Vizcaíno et al. 2012b]. Já o consumo para um amplificador, considerou-se 60  *Watts*  por direção (par de fibras) do enlace, além da adição de 140  *Watts*  pela localização do amplificador [Vizcaíno et al. 2012b].

#### 4. Avaliação de Desempenho

Nesta seção é apresentado os resultados obtidos via simulações computacionais utilizando o simulador SNetS (*SLICE Network Simulator*) [de Sousa Santos 2015]. Para a avaliação de desempenho da rede, adotou-se a métrica de probabilidade de bloqueio de circuito, probabilidade de bloqueio de banda, fragmentação externa, utilização do espectro e consumo energético. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para as simulações.

**Tabela 1. Parâmetros de simulação**

Parâmetros	
Topologia	NSFNet (14 nós e 21 enlaces)
Quantidade de Requisições	100.000
Quantidade de slots	400
Frequência do slot	12,5 GHz
Larguras de banda	80, 160, 320, 500, 750, 1000 e 1250 Gbps
Formatos de modulação	BPSK, QPSK e 16QAM
Replicações	10
Pontos de carga	5
Nível de confiança	95%

Em relação ao tráfego, as requisições na rede são geradas segundo um processo poissoniano de taxa de chegada média ( $\lambda$ ) e tempo de permanência dos circuitos exponencialmente distribuído com média  $1/\mu$  ( $\mu$  representa a taxa de atendimento média). A carga de tráfego é distribuída uniformemente entre todos os pares de nós da rede e é dada por  $\rho = \lambda / \mu$  (*Erlangs*) [Alexandre Fontinele 2016].

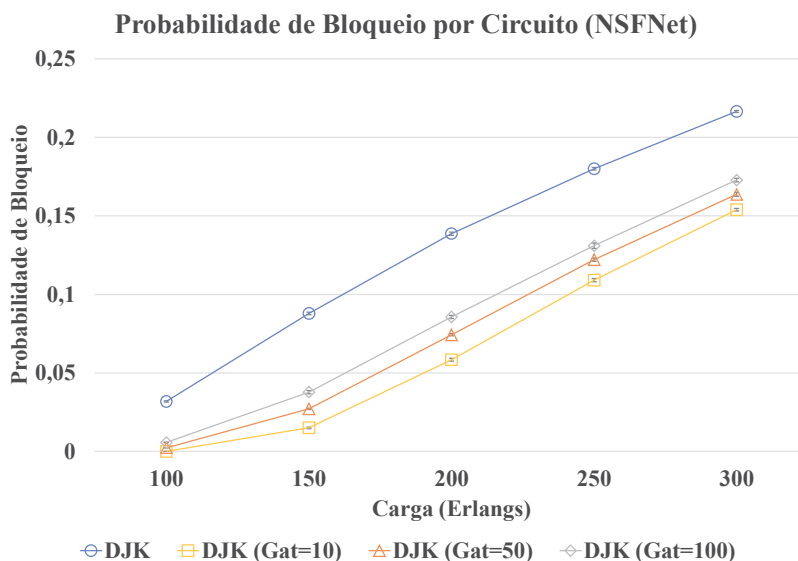
Foi utilizado para os experimentos o algoritmo de roteamento *Dijkstra* (DJK), que seleciona a rota com menor distância, e a política de alocação de espectro *FirstFit*, que retorna o primeiro intervalo de espectro disponível que atenda uma requisição.

Para os cenários com desfragmentação, as conexões são realocadas para uma das três menores rotas de um par origem-destino. A rota selecionada será a que apresenta o conjunto de *slots* mais próximo do início do espectro. Após a escolha da nova posição na rede, a migração do tráfego acontece com a utilização da técnica *make-before-break* [Takagi et al. 2011], no qual é necessário ligar um circuito em sua nova posição antes de desligá-lo da sua posição anterior, não interrompendo os serviços.

Com relação ao início e periodicidade de execução da desfragmentação, uma condição específica deve ser atendida, denominada de gatilho. O gatilho utilizado é baseado na proposta de [Fávero et al. 2015], no qual o processo de desfragmentação ocorre quando a quantidade de requisições liberadas na rede atingir um limiar. Foram gerados três cenários com desfragmentação e limiares 10, 50 e 100.

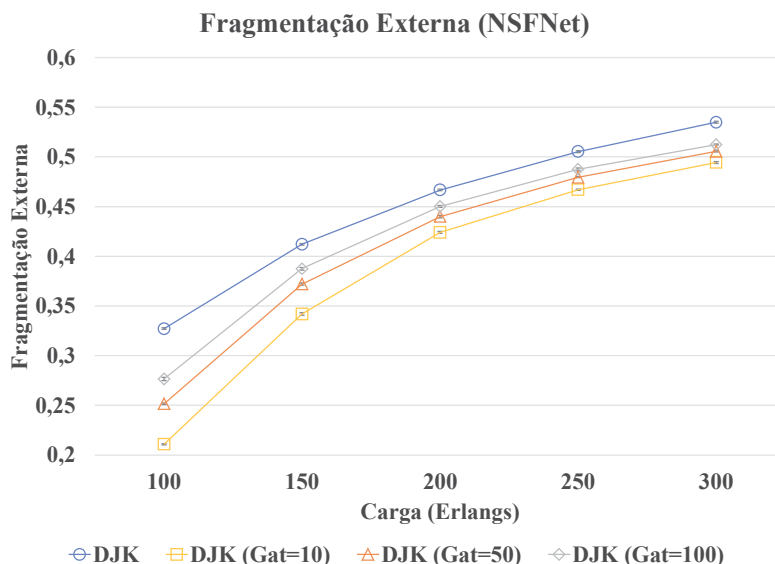
A Figura 1 apresenta a probabilidade de bloqueio de circuitos. Os experimentos com desfragmentação apresentam taxa de bloqueio inferior ao cenário sem desfragmentação. Isso acontece devido o maior atendimento de requisições, pois a reconfiguração das conexões produz novos espaços contíguos.

Ainda na Figura 1, o DJK(Gat=10) apresenta a menor taxa de bloqueio em todos os pontos de carga com relação a todos os outros cenários. Quando a carga é 300 *er-*



**Figura 1. Probabilidade de bloqueio de circuito do cenário com e sem desfragmentação.**

*langs*, por exemplo, observa-se que a diminuição da probabilidade de bloqueio do DJK (Gat=10), DJK (Gat=50) e DJK (Gat=100), em relação ao DJK foi de 32%, 28% e 22% respectivamente. Quanto menor foi o valor do gatilho, mais reconfigurações ocorreram na rede e portanto, mais circuitos foram atendidos.



**Figura 2. Fragmentação externa.**

Já na Figura 2, é apresentado os resultados da fragmentação na rede. O cenário com maior índice de fragmentação é o DJK, pois não utiliza estratégia para lidar com a distribuição de pequenos fragmentos não-contíguos no espectro. O DJK(Gat=10) apre-

senda a menor utilização do espectro com redução média de 14% em relação ao DJK. A redução da fragmentação acontece devido a reorganização das conexões ativas da rede. E além disso, o processo de reorganização suaviza a existência de fragmentos não-contíguos no espectro.

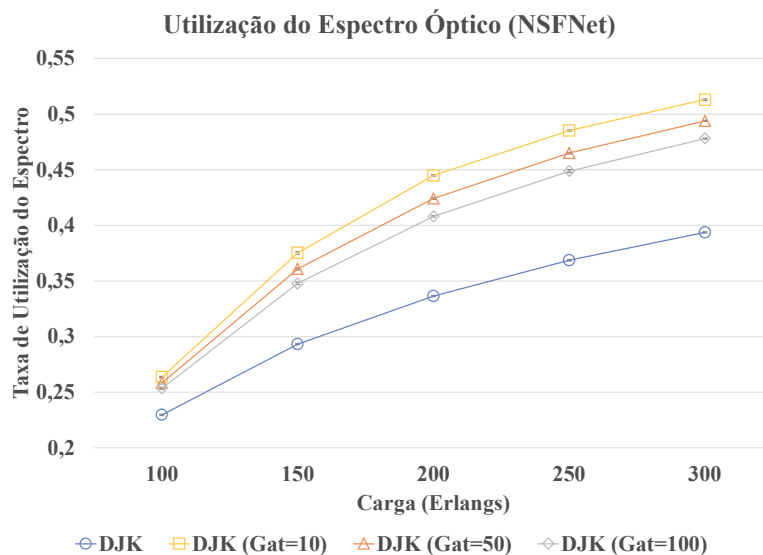


Figura 3. Utilização do espectro óptico.

De acordo com a Figura 3, o cenário com desfragmentação DJK(Gat=10), DJK(Gat=50) e DJK(Gat=100), obtiveram melhor desempenho em termos de utilização do espectro. Observa-se que quando o tráfego é 300 *erlangs*, a utilização do espectro óptico do DJK(Gat=50) é próximo de 50% enquanto a do DJK é cerca de 40%, apresentando um ganho de 25%. Isso ocorre devido a desfragmentação, no qual permite a utilização de recursos que antes eram impossibilitados de serem usados.

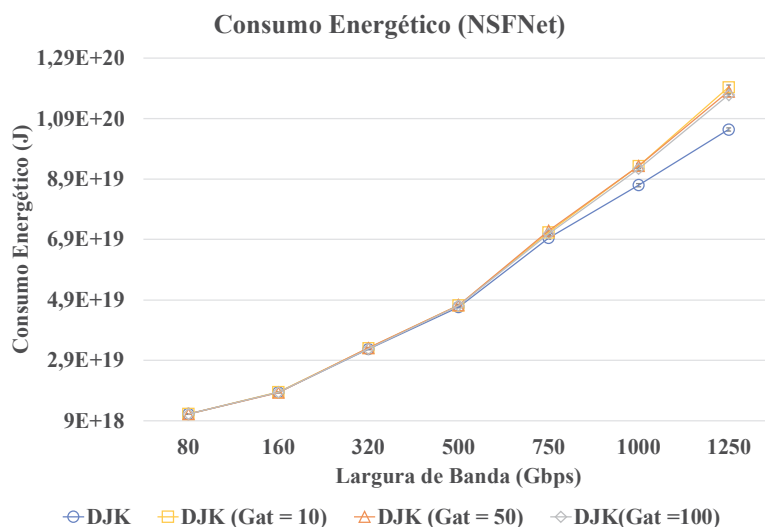


Figura 4. Consumo energético da rede o primeiro ponto de carga.

É apresentado na Figura 4 o resultado do consumo energético da rede considerando o primeiro ponto de carga. Observa-se que o algoritmo DJK apresentou um consumo energético inferior quando comparado ao DJK com desfragmentação. Foi realizado a média dos consumos por largura de banda, no qual o algoritmo DJK apresentou um consumo energético inferior de 6,21 %, 6,00 % e 5,06 %, quando comparado ao DJK(Gat=10), DJK(Gat=50) e DJK(Gat=100), respectivamente. O consumo de cenário com desfragmentação é superior devido a reorganização das conexões permitir o atendimento de requisições que seriam bloqueadas por fragmentação, possibilitando maior utilização dos recursos.

## 5. Conclusão

O crescente tráfego de dados está diretamente relacionado ao aumento no número de usuários da Internet e o surgimento de aplicações que necessitam de maiores larguras de banda. Neste contexto, uma candidata promissora para lidar com esse crescimento exponencial de dados são as redes ópticas elásticas.

As redes elásticas aproveitam de forma mais eficiente os recursos da rede que as redes atuais. A tecnologia OFDM utilizada nas redes elásticas, permite dividir o espectro em intervalos de frequência denominado *slots*, os quais podem ser agrupados para atender requisições que necessitem de maior largura de banda.

A possibilidade de alocar e desalocar diferentes *slots*, ocasiona o problema da fragmentação, o qual contribui para o bloqueio de requisições. Para amenizar este problema, é utilizada estratégias de desfragmentação, com o objetivo de reorganizar as conexões a fim de liberar novos intervalos de frequência. Isto, por sua vez, gera a possibilidade de estabelecimento de novas demandas de tráfego.

Foram realizadas simulações através da ferramenta SNetS, nas quais foi avaliado o desempenho do algoritmo DJK com e sem desfragmentação na topologia NSF-Net. Foi constatado que, para os mesmos parâmetros de simulação, o cenário com desfragmentação apresentou melhor probabilidade de bloqueio, fragmentação externa e utilização do espectro em relação ao cenário DJK sem desfragmentação. A periodicidade influenciou diretamente nos resultados obtidos. Isto é, quanto maior foi a frequência da desfragmentação, maior foi o impacto no desempenho da rede neste estudo.

## Referências

- Alexandre Fontinele, Iallen Santos, J. N. N. D. R. C. e. A. S. (2016). Um novo algoritmo rsa ciente de imperfeições de camada física para redes ópticas elásticas. *Sociedade Brasileira de Redes de Computadores*.
- Ba, S., Chatterjee, B. C., and Oki, E. (2017). Defragmentation scheme based on exchanging primary and backup paths in 1 plus 1 path protected elastic optical networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 25(3):1717–1731.
- Cisco, V. N. I. (2017). Tráfego global de ip irá triplicar nos próximos cinco anos ultrapassando os 3 zettabytes em 2021. [http://www.cisco.com/c/pt\\_pt/about/press/news-archive-2017/20170608.html](http://www.cisco.com/c/pt_pt/about/press/news-archive-2017/20170608.html).

- Colombo, C. and Morganti, S. (2014). Transmission aspects of optical superchannels using reconfigurable dp-16qam/qpsk transponders in a flexgrid arrangement. In *2014 Fotonica AEIT Italian Conference on Photonics Technologies*, pages 1–4.
- de Sousa Santos, I. G. (2015). Alocação de recursos para o estabelecimento de circuitos em redes ópticas wdm e ofdm. *Universidade Federal do Piauí*.
- Fávero, R. V., Marçal, J. S., Silva, P. C. B., Bonani, L. H., and Abbade, M. L. F. (2015). A new elastic optical network defragmentation strategy based on the reallocation of lightpaths sharing the most fragmented link. In *2015 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, pages 1–5.
- Gerstel, O., Jinno, M., Lord, A., and Yoo, S. J. B. (2012). Elastic optical networking: a new dawn for the optical layer? *IEEE Communications Magazine*, 50(2):s12–s20.
- Horota, A., Figueiredo, G. B., and d. Fonseca, N. L. S. (2014). Routing and spectrum assignment algorithm with fragmentation minimization in elastic optical networks. In *2014 Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems*, pages 436–442.
- Huang, S., Zhou, Y., Yin, S., Kong, Q., Zhang, M., Zhao, Y., Zhang, J., and Gu, W. (2014). Fragmentation assessment based on-line routing and spectrum allocation for intra-data-center networks with centralized control. *Optical Switching and Networking*, 14, Part 3:274 – 281. SI: Optimization and Application in Converged Optical and Data Center Networks.
- Moura, P. M., d. Fonseca, N. L. S., and Scaraficci, R. A. (2014). Fragmentation aware routing and spectrum assignment algorithm. In *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1137–1142.
- Shirazipourazad, S., Derakhshandeh, Z., and Sen, A. (2013). Analysis of on-line routing and spectrum allocation in spectrum-sliced optical networks. In *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 3899–3903.
- Singh, S. K. and Jukan, A. (2016). Non-disruptive spectrum defragmentation with holding-time awareness in optical networks. In *2016 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM)*, pages 1–6.
- Takagi, T., Hasegawa, H., i. Sato, K., Sone, Y., Hirano, A., and Jinno, M. (2011). Disruption minimized spectrum defragmentation in elastic optical path networks that adopt distance adaptive modulation. In *2011 37th European Conference and Exhibition on Optical Communication*, pages 1–3.
- Vizcaíno, J. L., Ye, Y., and Monroy, I. T. (2012a). Energy efficiency analysis for dynamic routing in optical transport networks. In *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 3009–3014.
- Vizcaíno, J. L., Ye, Y., and Monroy, I. T. (2012b). Energy efficiency analysis for flexible-grid ofdm-based optical networks. *Computer Networks*, 56(10):2400 – 2419. Green communication networks.
- Zhang, M., You, C., Jiang, H., and Zhu, Z. (2014). Dynamic and adaptive bandwidth defragmentation in spectrum-sliced elastic optical networks with time-varying traffic. *Journal of Lightwave Technology*, 32(5):1014–1023.