

14^o Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

O Desenvolvimento de Simulações para o Problema de Atribuição de Rota e Espectro em Redes Ópticas Elásticas

Eduardo da Silva Lacerda¹, Gabriel de Oliveira Moura da Silva², Rodrigo Campos Bortoletto³

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista CNPq, IFSP, Câmpus Guarulhos, s.lacerda@aluno.ifsp.edu.br.

² Técnico em Automação Industrial, Bolsista CNPq, IFSP, Câmpus Guarulhos, oliveira.moura@aluno.ifsp.edu.br.

³ Doutor em Engenharia da Informação, Professor do Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Guarulhos, bortoletto@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.06.03-0 Sistemas de Telecomunicações.

RESUMO: Em um mundo de avanços tecnológicos e alta demanda por serviços de qualidade, as redes ópticas são fundamentais para a conectividade global. No entanto, novas aplicações como IPTV, streaming sob demanda e computação em nuvem apresentam desafios para as redes ópticas convencionais, que alocam recursos de forma ineficiente. A solução para isso são as Redes Ópticas Elásticas (EONs), que dividem o espectro em slots, permitindo uma alocação mais precisa e eficiente. Este projeto desenvolveu um simulador para analisar a alocação de espectro em EONs, destacando a importância do roteamento e da alocação precisa de recursos para garantir a qualidade do serviço. O estudo comparou dois algoritmos de atribuição de espectro, o First-Fit e o Best-Fit, demonstrando que o "Best-Fit" é mais eficiente em situações de alto tráfego. Isso reforça a relevância das EONs como solução eficiente para atender às demandas variáveis e otimizar redes em constante evolução, assegurando qualidade e eficiência na transmissão de dados.

PALAVRAS-CHAVE: redes ópticas elásticas; enlace avulso; simulação; atribuição de espectro.

Development of Simulations for the Routing and Spectrum Allocation Problem in Elastic Optical Networks

ABSTRACT: In a world of technological advancements and a high demand for quality services, optical networks play a fundamental role in global connectivity. However, emerging applications such as IPTV, on-demand streaming, and cloud computing pose challenges for conventional optical networks, which allocate resources inefficiently. The solution to this lies in Elastic Optical Networks (EONs), which partition the spectrum into slots, enabling more precise and efficient resource allocation. This project has developed a simulator to analyze spectrum allocation in EONs, highlighting the importance of routing and precise resource allocation to ensure service quality. The study compared two spectrum allocation algorithms, First-Fit and Best-Fit, demonstrating that "Best-Fit" is more efficient in high-traffic scenarios. This reinforces the relevance of EONs as an efficient solution to address variable

demands and optimize networks that are constantly evolving, ensuring quality and efficiency in data transmission.

KEYWORDS: elastic optical networks; single link; simulation; spectrum allocation.

INTRODUÇÃO

No atual cenário de constante avanço tecnológico e demandas complexas por serviços de comunicação de alta qualidade, as redes ópticas desempenham um papel crucial na garantia da conectividade global. Contudo, a ascensão de aplicações emergentes como IPTV, streaming sob demanda e computação em nuvem tem apresentado desafios significativos para as redes ópticas convencionais. Essas redes, baseadas na tecnologia WDM (Wavelength Division Multiplexing), alocam recursos de forma ineficiente, com uma grade fixa de comprimentos de onda de 50 GHz, independentemente das demandas individuais de cada conexão (BORTOLETTO; MOITINHO; WALDMAN, 2020).

A crescente utilização de tecnologias como internet móvel, vídeos de alta definição e aplicações em nuvem resultou em um aumento no tráfego de rede com demandas heterogêneas, evidenciando a ineficiência das redes ópticas WDM (Wavelength Division Multiplexing) que operam com uma grade fixa de 50 GHz, conforme recomendado pelo setor de telecomunicações da União Internacional de Telecomunicações (ITU-T). Nesse contexto, independentemente da demanda de cada conexão, o mesmo comprimento de onda é alocado, levando a uma utilização ineficiente do espectro óptico disponível e seus recursos. Em contrapartida, as redes ópticas elásticas utilizam o espectro óptico em porções denominadas slots, que conseguem explorar o espectro de forma eficiente devido à sua granularidade flexível (WALDMAN et al., 2022a).

Nesse contexto, a abordagem tradicional de alocação de recursos espectrais não é mais adequada para lidar com as demandas variáveis e a natureza dinâmica das aplicações contemporâneas. É nesse contexto que as Redes Ópticas Elásticas emergem como uma solução promissora. Essa abordagem inovadora envolve a divisão do espectro do sinal óptico em pequenos intervalos conhecidos como slots, cada um associado a subportadoras ortogonais. Essa técnica reduz a interferência entre sinais adjacentes, permitindo a sobreposição controlada de modulações espectrais. Isso resulta em vantagens significativas, incluindo a minimização da interferência inter-simbólica, maior eficiência espectral e suporte flexível a múltiplas taxas de dados (CHATTERJEE; SARMA; OKI, 2015; SOUSA; BORTOLETTO, 2020).

A eficácia da abordagem das Redes Ópticas Elásticas em lidar com a natureza dinâmica e variável das aplicações contemporâneas é notória. Essa elasticidade espectral não apenas acomoda flutuações na demanda de largura de banda, mas também oferece uma alocação mais precisa de recursos, otimizando a infraestrutura de rede. Além disso, a agregação de subportadoras em slots flexíveis permite lidar com uma variedade de demandas heterogêneas (ABKENAR; RAHBAR, 2017).

A pesquisa enfocou o roteamento e a alocação de espectro, essenciais para garantir a qualidade do serviço. Os resultados destacaram que o algoritmo "Best-Fit" é mais eficiente em situações de alto tráfego, reforçando a importância das EONs como uma solução eficiente para atender às demandas variáveis e otimizar redes em constante evolução, garantindo qualidade e eficiência na transmissão de dados.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa iniciou com uma revisão bibliográfica, considerada o ponto de partida essencial para qualquer investigação. Esse método representou o primeiro passo na jornada de pesquisa, com o objetivo de examinar a literatura existente e evitar redundâncias relevantes para o tópico em estudo (PÁDUA, 2019).

Este estudo teve uma natureza analítica, focando na compreensão dos fenômenos associados à alocação de espectro em redes ópticas elásticas e na interpretação dessa alocação por meio de simulações. O principal objetivo era explorar esses fenômenos, contribuindo para o avanço no campo de estudo em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A execução do projeto se baseou na utilização da linguagem de programação Python e na ferramenta Jupyter (SARKAR; BALI; GHOSH, 2018). Esses recursos desempenharam um papel crucial na concretização das atividades planejadas, viabilizando a criação do simulador, que era o foco central do projeto.

O desenvolvimento do simulador para redes ópticas elásticas envolveu a criação de uma matriz de conectividade e a definição da quantidade de slots disponíveis. A matriz de conectividade é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de conectividade usada na simulação.

	nó 0	nó 1	nó 2	nó 3	nó 4
nó 0	0	1	1	0	1
nó 1	1	0	0	1	1
nó 2	1	0	0	1	1
nó 3	0	1	1	0	0
nó 4	1	1	1	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Usando a matriz de conectividade o algoritmo foi capaz de estabelecer os nós e enlaces da rede simulada, atribuindo os slots disponíveis a cada enlace, no caso simulado foram estabelecidos 7 (sete) slots para cada enlace. Isso permitiu a alocação dos caminhos ópticos conforme as rotas especificadas no enlace avulso (CHATTERJEE; OKI, 2020).

A gestão da camada lógica da rede foi realizada por meio de um escalonador de eventos, implementado com a biblioteca SimPy (SCHERFKE et al., 2019; MATLOFF, 2008). Essa abordagem permitiu o controle preciso do escalonamento de eventos relacionados à alocação e desalocação de recursos na camada de rede.

A determinação dos caminhos ópticos entre origem e destino foi conduzida por meio de um processo de seleção aleatória dos nós de origem e destino. Para encontrar o caminho mais curto entre esses nós, foi aplicado o algoritmo de Dijkstra, fazendo uso da biblioteca NetworkX (HAGBERG; CONWAY, 2020).

No contexto do estudo sobre o problema de alocação de espectro, que faz parte do desafio mais amplo de alocação de rota e espectro (RSA), foram adotadas duas políticas de atribuição de espectro: first-fit e best-fit (CHATTERJEE; OKI, 2020).

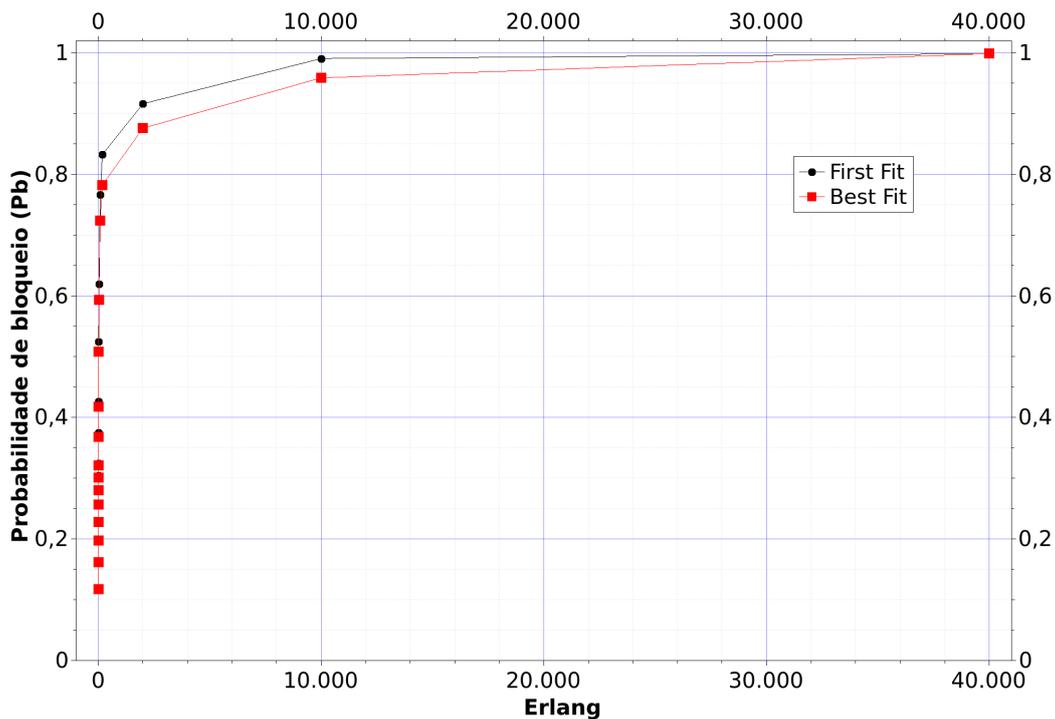
O algoritmo first-fit segue a política de atribuição de espectro em que os slots disponíveis em um enlace são mantidos em uma lista, geralmente organizada em ordem crescente de frequência. Quando é necessário alocar um conjunto de slots para um enlace, o algoritmo prioriza a atribuição dos slots mais baixos da lista, desde que respeite a contiguidade da rota. Após a conclusão da conexão, os slots ocupados são devolvidos à lista de slots disponíveis (CHATTERJEE; OKI, 2020; WALDMAN et al., 2022b).

Por outro lado, a política de atribuição de espectro best-fit procura identificar um bloco contíguo disponível que corresponda exatamente à quantidade de slots necessários para a conexão. Se um bloco compatível com a demanda for encontrado, os slots serão alocados nesse espaço. Caso contrário, a alocação segue a lógica do first-fit. Essa abordagem visa minimizar a fragmentação do espectro em redes ópticas elásticas (CHATTERJEE; OKI, 2020).

Para comparar os resultados das duas políticas de atribuição de espectro, foram utilizadas taxas de chegada de 0,1 e taxas de operação variando entre 0,1 e 0,033.

A Figura 1 apresenta um gráfico comparativo dos algoritmos de atribuição de espectro em função da probabilidade de bloqueio, obtidos por meio do simulador desenvolvido .

Figura 1: Gráfico comparativo para as políticas de atribuição de espectro first-fit e best-fit em função da intensidade de tráfego em Erlang.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A comparação entre os dois algoritmos demonstrou a melhoria de desempenho proporcionada pelo algoritmo de alocação de espectro best-fit em relação ao algoritmo first-fit para os casos em que existe uma maior intensidade de tráfego.

CONCLUSÕES

As Redes Ópticas Elásticas representam uma solução promissora ao subdividirem o espectro do sinal óptico em intervalos menores denominados "slots", cada um associado a subportadoras ortogonais. Essa abordagem reduz a interferência entre sinais e traz vantagens consideráveis, como eficiência espectral, suporte flexível para várias taxas de dados e alocação dinâmica de recursos.

Este trabalho teve como objetivo aprofundar a compreensão das Redes Ópticas Elásticas e desenvolver um simulador para abordar o desafio da alocação de espectro nesse contexto. Foi possível explorar soluções propostas na literatura, com foco no problema crítico de roteamento e alocação de espectro, que desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade do serviço e da experiência do usuário.

Por meio de simulações, os algoritmos de atribuição de espectro "first-fit" e "best-fit" foram comparados, revelando melhor desempenho deste último em situações de tráfego intenso. A pesquisa enfatiza a importância das Redes Ópticas Elásticas ao oferecerem uma alocação mais dinâmica e eficiente de recursos, contribuindo assim para otimizar essa tecnologia em ambientes complexos e em constante evolução.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram com a escrita, desenvolvimento e com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os suportes do projeto da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Proc. 2015/24341-7, bem como ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), ambos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de estudo que possibilitaram o desenvolvimento dos projetos que originaram o presente artigo.

REFERÊNCIAS

ABKENAR, F. S.; RAHBAR, A. G. Study and analysis of routing and spectrum allocation (rsa) and routing, modulation and spectrum allocation (rmsa) algorithms in elastic optical networks (eons). *Optical Switching and Networking*, Elsevier, v. 23, p. 5–39, 2017.

BORTOLETTO, R. C.; MOITINHO, V. S.; WALDMAN, H. Utilização de sistemas multiagentes para a simulação do comportamento de usuários em redes de telecomunicações. In: SBC. *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. [S.l.], 2020. p. 617–629.

CHATTERJEE, B.; OKI, E. *Elastic optical networks: fundamentals, design, control, and management*. [S.l.]: CRC Press, 2020.

CHATTERJEE, B. C.; SARMA, N.; OKI, E. Routing and spectrum allocation in elastic optical networks: A tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 17, n. 3, p. 1776–1800, 2015.

- HAGBERG, A.; CONWAY, D. Networkx: Network analysis with python. URL: <https://networkx.github.io>, 2020.
- MATLOFF, N. Introduction to discrete-event simulation and the simpy language. Davis, CA. Dept of Computer Science. University of California at Davis. Retrieved on August, v. 2, n. 2009, p. 1–33, 2008.
- PÁDUA, E. M. M. de. *Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática*. [S.l.]: Papyrus Editora, 2019.
- SARKAR, D.; BALI, R.; GHOSH, T. *Hands-On Transfer Learning with Python: Implement advanced deep learning and neural network models using TensorFlow and Keras*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2018.
- SCHERFKE, S. et al. Simpy. URL: <https://gitlab.com/team-simpy/simpy/-/tree/master>, 2019.
- SOUSA, V. P.; BORTOLETTO, R. C. Um estudo sobre um duopólio em uma rede óptica elástica. In: SBRT. *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBrT 2020)*. [S.l.], 2020.
- WALDMAN, H. et al. A proactive algorithm for the mitigation of fragmentation losses in elastic links. In: IEEE. *2022 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*. [S.l.], 2022. p. 1–6.
- WALDMAN, H. et al. A number-theoretic framework for the mitigation of fragmentation loss in elastic optical links. *Photonic Network Communications*, Springer, v. 43, n. 1, p. 85–99, 2022.