



Universidade de Pernambuco (UPE)
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Instituto de Ciências Biológicas (ICB)

Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas

Proposta de Tese de Doutorado

Área: Engenharia Elétrica (Painel IV-CAPES)
Linha de Pesquisa: Telemática (redes ópticas)
Título Provisório: Aplicação de Graph Neural Networks na Otimização de Roteamento, Atribuição de Espectro e Formato de Modulação em Redes Ópticas
Orientador: Daniel Augusto Ribeiro Chaves (darc@ecomppoli.br)

As redes ópticas desempenham um papel crucial no cenário tecnológico atual, sendo essenciais para suportar a crescente demanda por largura de banda e a evolução das telecomunicações (GIORDANI, et al 2020). Uma rede óptica pode ser definida como uma infraestrutura de comunicação que utiliza fibras ópticas para transmitir dados em alta velocidade por meio de sinais de luz. Um dos principais fatores que impactam o desempenho dessas redes é o algoritmo de roteamento utilizado (RAMASWAMI; SIVARAJAN, 2011). Em redes ópticas, esse desafio é conhecido como o problema de roteamento, atribuição de espectro e atribuição de formato de modulação (RMSA, do inglês *Routing, Modulation Format and Spectrum assignment*). O problema RMSA envolve determinar o melhor caminho para os dados através da rede, alocar o espectro necessário para a transmissão e escolher o formato de modulação adequado para garantir a eficiência e a qualidade do serviço (CHATTERJEE; SARMA; OKI, 2015)

A complexidade computacional desse problema é significativa, uma vez que envolve uma grande quantidade de variáveis e restrições que devem ser otimizadas simultaneamente. Não existe uma solução fechada ótima para o problema RMSA devido à sua natureza combinatoria e à complexidade dos requisitos de otimização (CHATTERJEE; SARMA; OKI, 2015). Uma abordagem promissora para encontrar soluções viáveis e eficientes para o problema RMSA é o uso de técnicas de aprendizagem de máquina (ML) (CHEN et al., 2019) ou inteligência computacional (IC) (LIRA; ALMEIDA; CHAVES, 2023).

Uma rede óptica é frequentemente modelada como um grafo, onde os nós representam os equipamentos de rede e as arestas representam as conexões de fibra óptica entre esses equipamentos (RAMASWAMI; SIVARAJAN, 2011). Os modelos de ML que têm demonstrado boa capacidade de generalização para dados estruturados em forma de grafo são as *Graph Neural Networks* (GNNs) (SUÁREZ-VARELA et al., 2023). As GNNs possuem características que as tornam particularmente adequadas para trabalhar com dados em forma de grafo, como a capacidade de capturar as relações complexas e as interdependências entre os nós e as arestas do grafo. A técnica das GNNs tem se mostrado eficaz na captura das complexidades, sinergias e padrões existentes em uma rede de telecomunicações representada na forma de grafo. Essa capacidade é especialmente importante no contexto das redes ópticas, onde as variáveis envolvidas no problema RMSA podem variar significativamente com mudanças na topologia da rede ou nas demandas de tráfego (ALMASAN et al., 2022). As GNNs são capazes de aprender e generalizar padrões que surgem nas redes ópticas, mesmo quando apresentadas a topologias de rede ou padrões de tráfego diferentes daqueles utilizados durante o seu treinamento (SUÁREZ-VARELA et al., 2023).

O objetivo deste projeto de Tese de doutorado é aplicar as redes GNN para resolver o problema de roteamento, atribuição de espectro e atribuição de formato de modulação em redes ópticas. Pretende-se investigar a eficácia das GNNs em capturar as dinâmicas e otimizações necessárias para melhorar o desempenho das redes ópticas, proporcionando soluções que possam ser adaptadas a diferentes cenários de rede e requisitos de tráfego. Este estudo contribuirá para o avanço do conhecimento na área de redes ópticas e no uso de técnicas avançadas de aprendizagem de máquina para resolver problemas complexos em telecomunicações.

Referências

ALMASAN, Paul; SUÁREZ-VARELA, José; RUSEK, Krzysztof; BARLET-ROS, Pere; CABELLOS-APARICIO, Albert. Deep reinforcement learning meets graph neural networks: Exploring a routing optimization use case. *Computer Communications*, v. 196, p. 184-194, 2022. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.09.029>>.



Universidade de Pernambuco (UPE)
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Instituto de Ciências Biológicas (ICB)

CHATTERJEE, B. C.; SARMA, N.; OKI, E. Routing and Spectrum Allocation in Elastic Optical Networks: A Tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 17, n. 3, p. 1776-1800, terceiro trimestre 2015. DOI: 10.1109/COMST.2015.2431731.

CHEN, Xiaoliang; LI, Baojia; PROIETTI, Roberto; LU, Hongbo; ZHU, Zuqing; YOO, S. J. Ben. DeepRMSA: A Deep Reinforcement Learning Framework for Routing, Modulation and Spectrum Assignment in Elastic Optical Networks. *Journal of Lightwave Technology*, v. 37, p. 4155-4163, 2019.

GIORDANI, M. et al. Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies. In *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 3, pp. 55-61, March 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900411.

LIRA, Clayton J.N.; ALMEIDA, Raul C.; CHAVES, Daniel A.R. Spectrum allocation using multiparameter optimization in elastic optical networks. *Computer Networks*, v. 220, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109478>>.

RAMASWAMI, R.; SIVARAJAN, K. N. *Optical Networks: A Practical Perspective*, 3rd ed. Morgan Kaufmann, 2011.

SUÁREZ-VARELA, J.; et al. Graph Neural Networks for Communication Networks: Context, Use Cases and Opportunities. *IEEE Network*, v. 37, n. 3, p. 146-153, maio/jun. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MNET.123.2100773>>.