

Um Estudo sobre um Duopólio em uma Rede Óptica Elástica

Victor P. Sousa e Rodrigo Campos Bortoletto

Resumo— Na última década o aumento do consumo de largura de banda pelos usuários impulsionou o surgimento de novas tecnologias para os sistemas de comunicações ópticas. Dentre essas novas tecnologias é possível destacar as Redes Ópticas Elásticas, que tem como principal mudança de paradigma a alteração da grade fixa até então presente em sistemas WDM. Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um modelo matemático que permita estudar um duopólio em enlace único utilizando as Redes Ópticas Elásticas e compreender a influência do comportamento dos usuários na divisão de tráfego entre as duas operadoras.

Palavras-chave — Cadeia de Markov, Telecomunicações, Simulação, Duopólio.

Abstract— In the last decade the increase in bandwidth consumption by users has boosted the emergence of new technologies for optical communications systems. Among these new technologies it is possible to highlight the Elastic Optical Networks, which has as main paradigm shift the change of the fixed grid hitherto present in system WDM. This paper aims to develop a mathematical model that allows studying a duopoly in single link using Elastic Optical Networks and understand the influence of user behavior on the traffic division between the two operators.

Keywords — Markov chain, Telecommunications, Simulation, Duopoly.

I. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por dados força uma evolução da infraestrutura de redes dos provedores, necessária para atender todas as necessidades de serviços dos usuários. As fibras ópticas são o principal meio físico por onde escoam as informações, as quais permitem a transmissão da informação por longas distâncias e com alta taxa de transmissão de dados [1].

Os atuais sistemas WDM (Wavelength Divison Multiplex) de grade fixa são formadas por múltiplas portadoras ópticas espaçadas igualmente em frequência, formando uma grade padrão definida pela recomendação G.694.1 da ITU (International Telecommunication Union), cujo espaçamento corresponde à única granularidade disponível para acomodar as necessidades atuais de tráfego da rede [8].

Segundo estudos de [3], [6] e [7], a ocupação da largura de banda presente nas fibras ópticas implantadas atualmente se aproxima da exaustão. Dessa forma, torna-se essencial o melhor aproveitamento dos recursos presentes nas redes atuais. Com o intuito de aumentar a eficiência de uso do espectro presente na fibra óptica, a partir de 2009, foram feitos estudos de uma nova arquitetura de rede óptica que dispensa a grade padrão. Estas

redes são chamadas de Redes Ópticas Elásticas (do inglês, Elastic Optical Networks – EON)[2][3].

Para atender às necessidades da internet do futuro, as tecnologias de transmissão e aprovisionamento de recursos das redes ópticas avançam na direção de sistemas de baixo custo por bit, mais eficientes na utilização do espectro disponível e que apresentam altas taxas de transmissão, devendo para isso apresentar mais flexibilidade e escalabilidade [4][5][11].

As Redes Ópticas Elásticas são capazes de suportar demanda por taxas de bit mais elevadas de forma mais eficiente [2]. Maior flexibilidade de alocação de espectro para demandas heterogêneas, devido ao uso de múltiplas subportadoras e agregação de *slots*[10].

Este artigo tem por objetivo apresentar um estudo sobre a probabilidade de ocupação dos *slots* de espectro óptico em Redes Ópticas Elásticas em um cenário no qual duas operadoras de telecomunicações, ou seja, um duopólio, disputam requisições de usuários que buscam minimizar suas probabilidades de bloqueio. A modelagem analítica será realizada por meio de cadeias de Markov, buscando representar o comportamento de usuários em uma Rede Óptica Elástica em um enlace único.

A Seção II apresenta o modelo de duopólio para um enlace único, utilizando uma cadeia de Markov. A Seção III mostra os resultados obtidos. A Seção IV apresenta as conclusões do trabalho e a expansão desse para trabalhos futuros.

II. O MODELO DE DUOPÓLIO

Admitindo-se que as chegadas das requisições obedecem a uma distribuição Poissoniana, o modelo de duopólio pode ser representado por um sistema de Markov, como pode ser observado na Figura 1 para $W_1, W_2 = (3,2)$, abaixo [9].

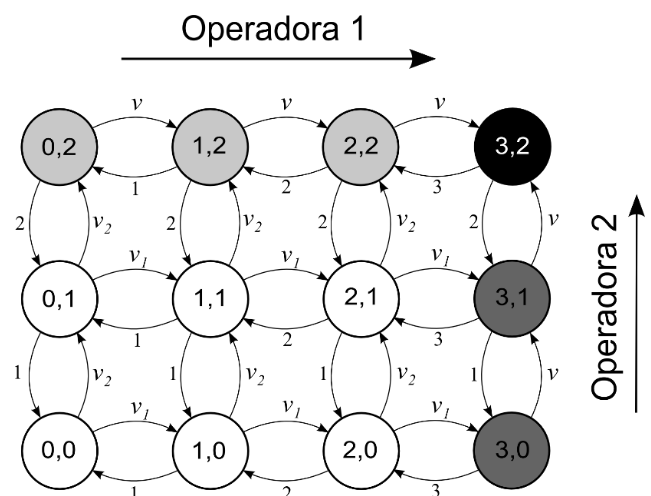


Fig. 1 Representação do Modelo de Duopólio, com $W_1, W_2 = (3,2)$.

O sistema está no estado (i, j) , com $0 \leq i \leq W_1$ e $0 \leq j \leq W_2$, quando a operadora 1 apresentar i canais ocupados e a operadora 2 tiver j canais ocupados. Portanto, o número total de estados será $(W_1 + 1)(W_2 + 1)$. Assume-se que a intensidade de tráfego v_1 e v_2 são dadas, e sua soma é dada por $v = v_1 + v_2$.

As alterações de estado somente podem ocorrer de um estado para seu estado mais próximo por meio de deslocamentos verticais e horizontais no diagrama de estados. Assim, dado um estado (i, j) qualquer, temos:

- No deslocamento vertical, a variável de estado j pode mudar para $(j + 1)$ ou para $(j - 1)$ se $0 < j < W_2$; ou para 1 se $j = 0$; ou para o estado $W_2 - 1$ se $j = W_2$;
- No deslocamento horizontal a variável de estado i pode mudar para $i + 1$ ou para $i - 1$ se $0 < i < W_1$; ou para 1 se $i = 0$; ou para $W_1 - 1$ se $i = W_1$;

Na simulação do duopólio a modelagem é realizada respeitando o modelo matemático estudado acima, onde as requisições geradas pelos usuários são direcionadas para uma das duas operadoras e o modelo estudado é fixo em $W_1 = 3$ e $W_2 = 2$ para tornar a comparação mais evidente [9].

A probabilidade de bloqueio das operadoras 1 e 2 são obtidas por meio das Equações 1 e 2 respectivamente, conforme segue abaixo:

$$P_{op1} = P_{3,0} + P_{3,1} + P_{3,2} \quad (1)$$

$$P_{op2} = P_{0,2} + P_{1,2} + P_{2,2} + P_{3,2} \quad (2)$$

Os usuários geram as requisições que podem ser atendidas inicialmente por qualquer uma das duas operadoras, caso uma das operadoras não possa atender a requisição gerada pelo usuário esse será direcionada para a outra operadora, que poderá ou não a atender dependendo da quantidade de *slots* disponíveis em seu espectro.

III. RESULTADOS

Na figura 2 abaixo é possível observar a probabilidade de bloqueio da Operadora 1 com 2 slots disponíveis e da Operadora 2 com 3 slots disponíveis.

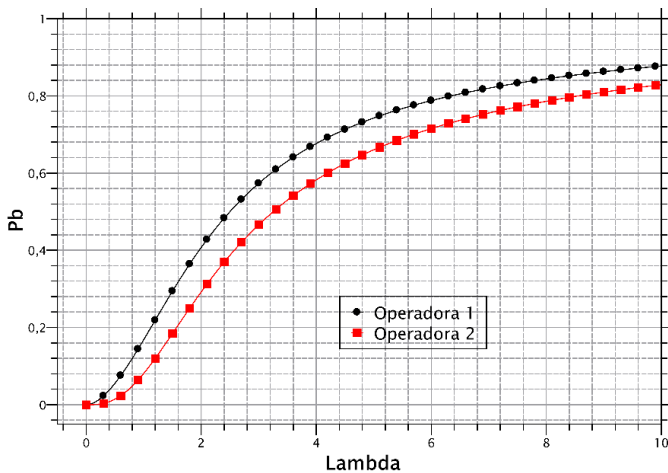


Fig. 2. Probabilidade de bloqueio das Operadoras 1 e 2 $(W_1; W_2) = (3, 2)$.

Em função da quantidade de *slots* disponibilizados para cada uma das Operadoras é possível observar que a operadora com mais slots disponíveis obteve uma probabilidade de bloqueio menor, neste caso a Operadora 2.

IV. CONCLUSÃO

É possível observar que a quantidade de slots disponibilizados para as conexões pode gerar decréscimo na probabilidade de bloqueio das operadoras, mesmo as operadoras permitindo que os usuários possam sair de uma operadora para outra livremente, sem acréscimo de multa ou políticas de fidelidade.

As próximas fases de desenvolvimento do projeto tem foco na alteração da função utilidade dos estudos analíticos permitindo que parâmetros tais como: a qualidade de serviço das operadoras, custo da conexão para o cliente, qualidade de serviço da conexão, rede de relacionamento, entre outros fatores sejam considerados na política de escolha de uma das operadoras pelos clientes que requisitam as conexões.

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 Científica do IFSP (PIBIFSP) pela concessão de bolsa de estudo que possibilitou o desenvolvimento do projeto que originou o presente artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] KLEKAMP, Axel et al. Transparent WDM network with bitrate tunable optical OFDM transponders. In: National Fiber Optic Engineers Conference. Optical Society of America, 2010. p. NTuB5.
- [2] RECOMMENDATION, G. 694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. International Telecommunications Union, Tech. Rep, 2012.
- [3] JINNO, M.; TAKARA, H.; KOZICKI, B. Dynamic optical mesh networks: drivers, challenges and solutions for the future. In: Optical Communication, 2009. ECOC '09. 35th European Conference on. IEEE, 2009. p. Offline Modulation Based Spectrum Allocation. 1-4.
- [4] CHRISTODOULPOULOS, K.; TOMKOS, I.; VARVARIGOS, E. A. Elastic Bandwidth Allocation in Flexible OFDM-Based Optical Networks. Journal of Lightwave Technology, v. 29, n. 9, p. 1354–1366. doi: 10.1109/JLT.2011.2125777, 2011.
- [5] ESSIAMBRE, René-Jean et al. Capacity limits of optical fiber networks. Journal of Lightwave Technology, v. 28, n. 4, p. 662-701, 2010.
- [6] GERSTEL, Ori et al. Elastic optical networking: A new dawn for the optical layer?. IEEE Communications Magazine, v. 50, n. 2, 2012.
- [7] TALEBI, Sahar et al. Spectrum management techniques for elastic optical networks: A survey. Optical Switching and Networking, v. 13, p. 34-48, 2014.
- [8] SATO, Kenichi; HASEGAWA, Hiroshi. Optical networking technologies that will create future bandwidth-abundant networks. Journal of Optical Communications and Networking, v. 1, n. 2, p. A81-A93, 2009.
- [9] BORTOLETTO, R. C.. Um estudo sobre o dimensionamento de redes em ambientes competitivos. 2010. Dissertação de mestrado, UFABC, Brazil.
- [10] DE ARAÚJO CAVALCANTE, Matheus et al. Estado da Arte de Redes Ópticas Elásticas Translúcidas para Cenários de Tráfego Dinâmico em Redes Metropolitanas e de Longas Distâncias. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, v. 7, n. 2, p. 24-32, 2017.
- [11] WALDMAN, H. et al. An analytical defragmentation bound on the performance of the elastic single link with dynamic traffic. In: 2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). IEEE, 2015. p. 1-6.