

Análise do Impacto de Estratégias de Atribuição Espectral em uma Rede Óptica Elástica Translúcida

Arthur H. M. de Oliveira, William S. dos Santos, Helder A. Pereira, Raul C. Almeida Jr.

Resumo—Este artigo apresenta uma análise do impacto de estratégias de atribuição espectral em uma rede óptica elástica translúcida. Considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada gerado pelos amplificadores ópticos como penalidade física, diferentes taxas de transmissão de bit e formatos de modulação nas simulações. Os resultados obtidos, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas, mostraram que, além da característica de compactação do espectro, deve-se considerar também estratégias de utilização de regeneradores para otimizar o desempenho da rede no cenário analisado.

Palavras-Chave—Algoritmo de Atribuição Espectral, Algoritmo de Utilização de Regeneradores, Rede Óptica Elástica Translúcida.

Abstract—In this article, we present an analysis of the impact of spectral assignment strategies on a translucent elastic optical network. It was considered the amplified spontaneous emission noise generated by optical amplifiers as physical impairment, different transmission bit rates and modulation formats in the simulations. The obtained results, in terms of blocking probability of call requests, showed that, in addition to the spectral compaction characteristic, one should also consider strategies to assign regenerators to optimize network performance in the analyzed scenario.

Keywords—Regenerator Assignment Algorithm, Spectrum Assignment Algorithm, Translucent Elastic Optical Network.

I. INTRODUÇÃO

Com o aumento da necessidade de largura de banda, atender demandas de rede com características cada vez mais diferentes, em termos de taxa de transmissão de bit, exige necessidade de flexibilidade no atendimento, tratamento e estabelecimento de chamadas [1]. Com o advento de dispositivos capazes de realizar transmissão, multiplexação, comutação, amplificação e demultiplexação no domínio óptico e de acordo com a respectiva largura de banda solicitada pelo usuário da rede, as redes ópticas multiplexadas por comprimento de onda (WDM – *Wavelength Division Multiplexing*) apresentam menor eficiência na utilização do espectro de frequência em comparação com as redes ópticas elásticas (EON – *Elastic Optical Networks*) [1]. EONs se destacam por possuírem uma unidade básica de largura de banda (*slots*) e as solicitadas pelos usuários da rede representam múltiplos inteiros dessa unidade de referência (conjunto de *slots*), dependendo basicamente da taxa de transmissão de bit e do formato de modulação utilizados [2]. Além disso, ao se propagar pelos nós e enlaces da

rede, os sinais ópticos podem sofrer degradação na qualidade de transmissão (QoT – *Quality of Transmission*), resultando no bloqueio de chamadas mesmo com recursos disponíveis para estabelecê-las [2]. Dessa forma, no cenário de degradação severa da QoT dos sinais ópticos propagantes, estratégias de alocação de nós com capacidade de realizar regeneração do sinal óptico (RP – *Regenerator Placement*) e de utilização de regeneradores nesses nós translúcidos (RA – *Regenerator Assignment*) têm sido propostas na literatura para se otimizar o desempenho das redes ópticas elásticas translúcidas [1].

Este artigo apresenta uma análise do impacto de estratégias de atribuição espectral em uma rede óptica elástica translúcida. Para isso, considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada (ASE – *Amplified Spontaneous Emission*) gerado pelos amplificadores ópticos como penalidade física. Toda a análise de desempenho é realizada em termos da probabilidade de bloqueio de chamadas em função da carga. Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II, as estratégias de atribuição espectral são descritas, bem como o cenário, os parâmetros e as considerações utilizadas nas simulações. Na Seção III, são discutidos os resultados e, por fim, na Seção IV, as conclusões deste artigo e os trabalhos futuros são apresentados.

II. ESTRATÉGIAS DE ATRIBUIÇÃO ESPECTRAL

Neste trabalho foram considerados os seguintes algoritmos de atribuição espectral, com adaptações para uso em redes ópticas elásticas [3]: (1) melhor preenchimento (BF – *Best Fit*); (2) preenchimento exato (EF – *Exact Fit*); (3) primeiro preenchimento (FF – *First Fit*) e (4) preenchimento aleatório (RF – *Random Fit*).

A. Cenário de Simulação

A NSFNet foi a topologia de rede utilizada nas simulações [1]. Os ganhos dos amplificadores (de potência, de linha e pré-amplificadores) foram dimensionados de modo a compensar as perdas do nó e do enlace. Cada nó possui arquitetura denominada de comutação de espectro (*spectrum switching*) [1], adaptada para utilização de regeneradores. A relação sinal-ruído óptica obtida no nó destino ($OSNR_{RX}$) pode ser calculada conhecendo-se os valores das perdas nos dispositivos, dos ganhos e do ruído ASE gerado nos amplificadores ópticos presentes nos nós e nos enlaces da rede, levando-se em conta a taxa de transmissão de bit e o formato de modulação [2]. Assumiu-se que: (1) as chamadas solicitadas pela rede seguem uma distribuição poissoniana; (2) a duração de cada chamada estabelecida segue uma distribuição exponencial; (3) a seleção dos pares fonte-destino, bem como a

seleção da taxa de transmissão de bit para um dado pedido de conexão, seguem uma distribuição uniforme. O número de requisições simuladas foi de cem mil chamadas. Para um determinado pedido de requisição de chamada, o algoritmo de roteamento de menor distância física (SP – *Shortest Path*) e o de atribuição espectral em análise (BF, EF, FF ou RF) verificam se a chamada pode ser estabelecida. Primeiro, tenta-se estabelecer a chamada no formato de modulação com maior eficiência espectral (neste trabalho, 64-QAM). Caso não se consiga estabelecer a chamada com esse formato de modulação, tenta-se o próximo mais eficiente, até que não se consiga estabelecer a chamada de forma transparente (sem utilização de regeneradores). Para isso, foram considerados dois algoritmos de utilização de regeneradores [1]: 1) o de maior alcance transparente (FLR – *First Longest Reach*), que privilegia a menor utilização de recursos de regeneração, e 2) o de melhor utilização espectral (FNS – *First Narrowest Spectrum*), que privilegia uma maior utilização dos recursos de regeneração, resultando em uma menor utilização do espectro de frequência. Assumiu-se também que os regeneradores podem, além de regenerar o sinal óptico, realizar conversão espectral.

Os valores dos parâmetros utilizados nas simulações foram os seguintes: (1) espaçamento de 80 km entre amplificadores de linha (*span length*); (2) 100 % dos nós com capacidade de regeneração (nós translúcidos); (3) 100 regeneradores por nó da rede; (4) 64 slots por enlace; (5) formatos de modulação utilizados: 4, 8, 16, 32 e 64-QAM; (6) taxas de transmissão de bit variado de 100 a 500 Gbps com distribuição uniforme; (7) 12,5 GHz de largura de banda de um slot; (8) 12,5 GHz de largura de banda de referência; (9) 5 dB de perda nos elementos de comutação; (10) 5 dB de figura de ruído nos amplificadores ópticos; (11) 0 dBm de potência de entrada do sinal óptico e (12) 30 dB de OSNR na transmissão (OSNR_{TX}). As simulações foram realizadas utilizando-se o software de código aberto SimEON [4].

III. RESULTADOS

A Figura 1 ilustra a probabilidade de bloqueio de chamadas em função da carga da rede, considerando diferentes estratégias de atribuição espectral (BF, EF, FF e RF) e políticas de utilização de regeneradores (FLR e FNS). Pode-se observar que, considerando um valor fixo de carga de 200 Erlangs, os algoritmos de atribuição espectral: BF-FNS, EF-FNS e FF-FNS praticamente fornecem o mesmo valor de probabilidade de bloqueio de chamadas ($P_B \approx 1,6 \times 10^{-2}$). Isso ocorre devido à característica de compactação espectral desses algoritmos e do fato de que os algoritmos BF e EF são variantes do FF [3]. Interessante perceber também o quanto a política FNS se destaca, em comparação com a FLR, frente às outras estratégias de atribuição espectral, favorecendo bem as que compactam o espectro de frequência, viabilizando o estabelecimento de outros pedidos de conexão no cenário simulado. Para a estratégia RF, foi observado que não faz diferença utilizar a política FLR ou FNS no cenário analisado devido aos resultados serem bem similares.

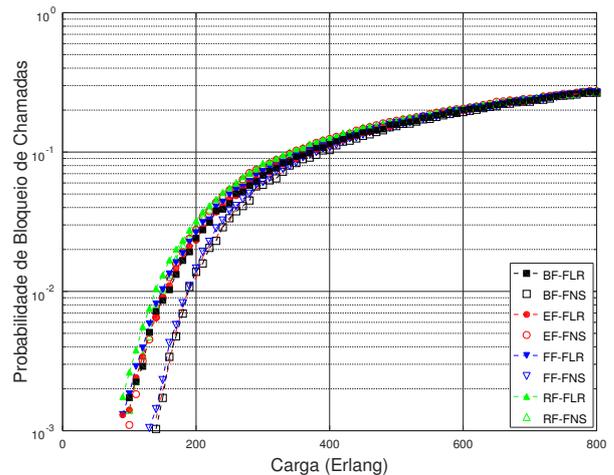


Fig. 1: Probabilidade de bloqueio de chamadas em função da carga da rede, considerando diferentes estratégias de atribuição espectral (BF, EF, FF e RF) e políticas de utilização de regeneradores (FLR e FNS).

IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foi realizada uma análise do impacto de estratégias de atribuição espectral em uma rede óptica elástica translúcida, em termos da probabilidade de bloqueio de chamadas. Considerou-se o ruído ASE como penalidade física e dois algoritmos de utilização de regeneradores (FLR e FNS). Verificou-se que a política FNS forneceu valores menores de probabilidade de bloqueio de chamadas, em comparação com a política FLR, em estratégias de atribuição espectral que favorecem a compactação espectral (BF, EF e FF). Percebeu-se também que, dependendo da estratégia de atribuição espectral (por exemplo, RF), não faz diferença utilizar a política FLR ou FNS pois os resultados foram bem similares no cenário de simulação analisado. Como trabalhos futuros, pretende-se investigar o impacto dessas estratégias de atribuição espectral em cenários de simulação que envolvam variação no número de regeneradores presentes na rede.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à UFCG e à UFPE o apoio institucional.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Cavalcante, H. A. Pereira, D. A. R. Chaves, and R. C. Almeida Jr., "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*, vol. 7, no. 2, pp. 24–32, 2017. [Online]. Available: <http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/86>
- [2] —, "Applying power series routing algorithm in transparent elastic optical networks," in *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Novembro 2015, pp. 1–5.
- [3] H. Zang and J. P. Jue, "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical wdm networks," *Optical Networks Magazine*, vol. 1, pp. 47–60, 2000.
- [4] M. A. Cavalcante, H. A. Pereira, and R. C. Almeida Jr., "Simeon: an open-source elastic optical network simulator for academic and industrial purposes," *Photonic Network Communications*, vol. 34, no. 2, pp. 193–201, Outubro 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11107-017-0697-9>