

Técnicas de Alocação de Serviços no Espectro Óptico em Redes Ópticas Elásticas

Mauricio A. Deffert, Joel C. Queiroz, Luiz H. Bonani

CECS, UFABC, 09210580, Santo André, SP, Brasil

mauricio.deffert@ufabc.edu.br

Abstract: As Redes Ópticas Elásticas (*Elastic Optical Networks* (EON)) proporcionam estudos para a melhoria da eficiência do espectro óptico. Nas EONs a largura de banda é dividida em Unidades de *Slots* de Frequências (*Frequency Slot Units* (FSUs)). Quando uma conexão é solicitada para um determinado tipo de serviço, o sistema de gerenciamento de rede (*Network Management System* (NMS)) determina quantas FSUs serão necessárias para atender o serviço. Conforme o número de solicitações de serviços aumenta, a EON apresenta FSUs não contíguas ao longo do tempo, dificultando desta maneira, novas atribuições de serviços e gerando a Probabilidade de Bloqueio (PB). Neste artigo é apresentado um novo algoritmo que diminui o número de FSUs livres entre os serviços e a carga computacional provida pelos algoritmos de melhor ocupação espectral, maximizando a consecutividade e minimizando a Probabilidade de Bloqueio (PB) da Rede Óptica.

1. Introdução

O crescimento contínuo do tráfego de rede e as crescentes demandas de largura de banda devido aos aplicativos como computação em nuvem, vídeo de alta definição e comunicações em banda larga em tempo real estão pressionando a infraestrutura de rede óptica para permitir capacidades mais altas. No entanto, a tecnologia de divisão de comprimento de onda (*Wavelength Division Multiplexing* (WDM)) baseada na rede fixa da União Internacional de Telecomunicações (*International Telecommunications Union* (ITU)) não é mais adequada para esse contexto, pois tem pouca flexibilidade e tende a desperdiçar recursos do espectro.

As Redes Ópticas Elásticas (EONs), baseadas na multiplexação por divisão de frequência ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)) permitem um novo grau de flexibilidade em redes ópticas por meio de granularidades de espectro mais fino e facilidades na escolha de formatos de modulação, levando a uma utilização mais eficiente do espectro e suporte a serviços com requisitos de largura de banda.

Com base nos algoritmos de roteamento e atribuição de espectro (*Routing and Spectrum Assignment* (RSA)), em [1] e [2], foram desenvolvidos estudos para uma alocação eficiente de serviços nas EONs. Neste artigo foi desenvolvido uma nova heurística RSA, a Maximização da Consecutividade com Diminuição da Carga Computacional (Maximization of Consecutivity with Decrease of Computational Load (MCDCL)), baseada nos algoritmos de melhor ocupação espectral. Esta nova heurística melhora a Probabilidade de Bloqueio Total (PBT), Utilização de Recursos da Rede (\bar{U}), a Média de Saltos (\bar{H}) e diminui a carga computacional proporcionada pelos algoritmos de melhor ocupação espectral, proporcionando uma melhor Qualidade de Serviço (*Quality of Service* (QoS)) na rede óptica.

2. Técnicas de Alocação de Serviços

Nas técnicas de alocação eficientes do espectro óptico, uma métrica utilizada é o cálculo da consecutividade do caminho (C_p) ou do enlace (C_l) de uma rota. Este cálculo é utilizado pelas heurísticas de atribuição de serviços utilizadas para determinar o melhor bloco espectral, garantindo um melhor aproveitamento do espectro óptico diminuindo as FSUs não contíguas [1]. Nos algoritmos de melhor ocupação espectral, para a melhora de sua eficiência, pressupõe-se que haja n rotas disponíveis para serem testadas. O termo em inglês *ksp* é adotado como número de rotas n , implementado pelo algoritmo de Yen [5]. O MCDCL utiliza a heurística do *Maximize Path Spectrum Consecutiveness - Average Links* (MPSC-AL) apresentada em [1] em conjunto com o algoritmo RSA, *First Fit* (FF) [4], o qual apresenta bons resultados de PBT e com uma implementação de baixa complexidade computacional.

O algoritmo MPSC-AL realiza uma varredura completa de todo o espectro óptico, que teve como resultado de uma determinada rota, atribui a demanda solicitada em cada bloco espectral que comporta esta demanda, e para cada bloco

espectral que aceita a demanda, calcula a consecutividade de caminho C_p [1]. O MPSC-AL utiliza como métrica a parametrização da consecutividade do caminho pelo tamanho da rota. Para critério de escolha do bloco espectral que será atribuído o serviço solicitado, é utilizado o maior valor de C_p . O algoritmo FF realiza uma varredura no espectro óptico, que teve como resultado de um caminho de uma determinada rota, e quando acha o primeiro bloco espectral que aceita a demanda solicitada, para a varredura, e atribui o serviço solicitado neste bloco. Esta métrica faz com que o FF trabalhe com uma baixa carga computacional, comparado com os algoritmos de melhor ocupação.

O algoritmo implementado neste artigo, o MCDCL, tem como heurística o cálculo do índice de *Payload* (Payload Index (PI)), em que a sua função é dar a prioridade de utilização do algoritmo de melhor ocupação espectral MPSC-AL. O PI trabalha com índices percentuais, como exemplo, para um valor de $PI = 50\%$, faz com que o FF seja utilizado para a atribuição de espectro, para um *Payload* de até 50%. Para valores de *Payload* maiores do que 50%, será utilizado o algoritmo MPSC-AL. Esta heurística faz com que a carga computacional e o PBt da rede diminuam, entre outros parâmetros avaliados. Neste artigo, o termo *carga computacional* é avaliado pelo número de vezes que os algoritmos de atribuição de espectro são utilizados em uma simulação com uma demanda de 1×10^6 requisições de atribuição de serviços. O fluxograma resumido do algoritmo MCDCL é apresentado na Figura 1.

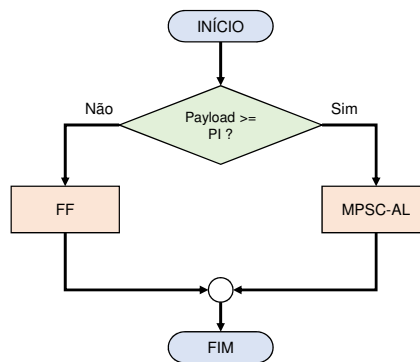


Figura 1. Fluxograma resumido do Algoritmo MCDCL.

3. Resultados

A fim de analisar o desempenho de uma EON com algoritmos de melhor ocupação espectral, foi utilizado o simulador OfNetSim, desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Comunicações Ópticas e sem Fio (LCOSF) da UFABC. As simulações foram definidas em uma rede flexível com quatro tipos de serviços diferentes, caracterizados pelos requisitos de largura de banda de 25 GHz, 50 GHz, 75 GHz e 100 GHz, compartilhando de toda a largura de banda da Banda C (4,4 THz), dividida em *slots* com tamanho de 12,5 GHz, gerando um total de 352 *slots* ao longo da Banda C. A frequência das chegadas de requisições tem distribuição de Poisson, e os intervalos entre elas tem distribuição exponencial negativa de média 10 unidades temporais. Foram geradas 1×10^6 requisições de tráfego. As probabilidades de tráfego estão configuradas para seguir uma distribuição inversamente proporcional à largura de banda requerida, ou seja, $Pt_s = B_s^{-1} / \sum_{s=1}^S B_s^{-1}$, em que Pt_s é a probabilidade de tráfego do serviço de tipo s , que possui requisito de largura de banda B_s [3]. Foram gerados 20 pontos em cada simulação com uma carga na rede variando de 500 a 2500 erlangs. A simulação envolveu o algoritmo FF [4] comparado com o algoritmo de melhor ocupação espectral *Maximize Path Spectrum Consecutiveness* (MPSC), conforme [2], e o algoritmo proposto neste artigo, o MCDCL, com geração de 1, 3 e 5 rotas distintas para cada par de nós origem-destino. Todos os resultados obtidos, são analisados em termos das métricas: Probabilidade de Bloqueio Total (PBt), Utilização de Recursos da Rede (\bar{U}) e a Média de Saltos (\bar{H}). A topologia utilizada para a simulação é a *National Science Foundation Network* (NSFNet), composta por 14 nós interligados por 21 enlaces bidirecionais.

A Tabela 1, apresenta os resultados percentuais de utilização dos algoritmos MPSC-AL e do FF, trabalhando com $ksp=5$. O número de rotas $ksp = 5$ foi escolhido nesta simulação devido ao fato de este valor indicar uma PBt baixa, comparados com outros valores já simulados, conforme [1]. O PI de 50% foi escolhido para um estudo inicial deste novo algoritmo (MCDCL). Estudos futuros serão feitos para outros índices de PI.

A PBt é um parâmetro global da rede, permitindo a avaliação da rede como um todo. A Figura 2 apresenta os resultados de PBt obtidos na simulação. Com o resultado desta simulação, é possível verificar que o índice da PBt para

PI (%)	MPSC-AL (%)	FF (%)
00	100	00
10	99,90	0,10
20	95,02	4,98
30	91,22	8,78
40	87,40	12,60
50	83,15	16,85
60	78,62	21,38
70	74,28	25,72
80	69,84	30,16
90	59,96	40,04
100	00	100

Tabela 1. Carga Computacional dos algoritmos MPSC-AL e FF em função do índice de PI do algoritmo MCDCL, com $ksp=5$.

o algoritmo desenvolvido neste estudo, o MCDCL apresentou índices de bloqueio menores. Para todos os resultados de simulação, o algoritmo MCDCL é comparado com o MPSC e o FF.

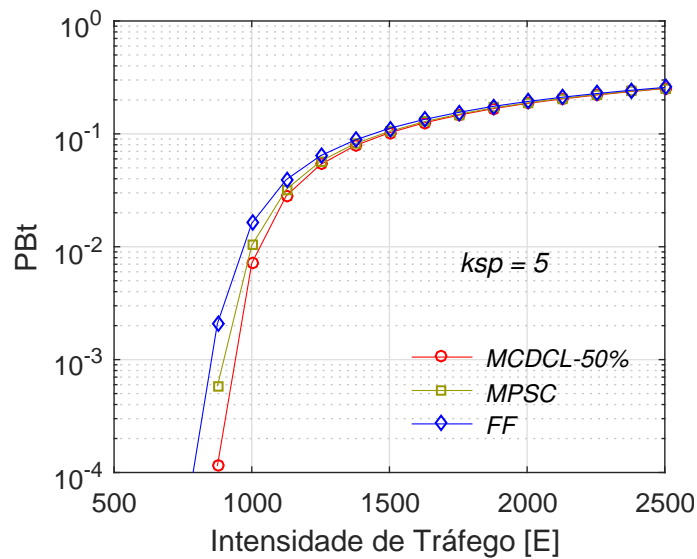


Figura 2. Probabilidade de Bloqueio Total (Pbt) dos Algoritmos MCDCL, MPSC e FF com $ksp=5$.

A Figura 3(a) apresenta os resultados de Utilização de Recursos obtidos nesta simulação. A Utilização dos Recursos (\bar{U}) da Rede também é uma métrica para a determinação de QoS da rede. Ela é igual a 1 se todas as conexões estabelecidas ocupam todos os recursos ao longo de todos os enlaces durante um período de tempo. Um maior número de recursos indica maior probabilidade de perdas e maior custo operacional na rede. Neste resultado foi verificado que o algoritmo MCDCL apresenta resultados de utilização dos recursos da rede próximos do FF, já o MPSC apresenta uma maior utilização para intensidades de tráfego até 1000 erlangs.

A Figura 3(b) apresenta os resultados da Média de Saltos obtidos na simulação. A Média de Saltos (\bar{H}) é também uma métrica avaliada para a determinação do desempenho da rede. Esta métrica pode avaliar a necessidade de uma reestrutura física dos nós da rede, bem como a necessidade de novos nós na rede. Neste resultado, o algoritmo MPSC apresenta um alto número de saltos para intensidades de tráfego até 1000 erlangs. Isto faz com que a rede fique mais utilizada, ou seja, o espectro óptico fica mais ocupado com conexões em rotas maiores. Já o MCDCL e o FF parametrizam melhor as rotas, escolhendo como resultado de alocação de serviços as menores rotas.

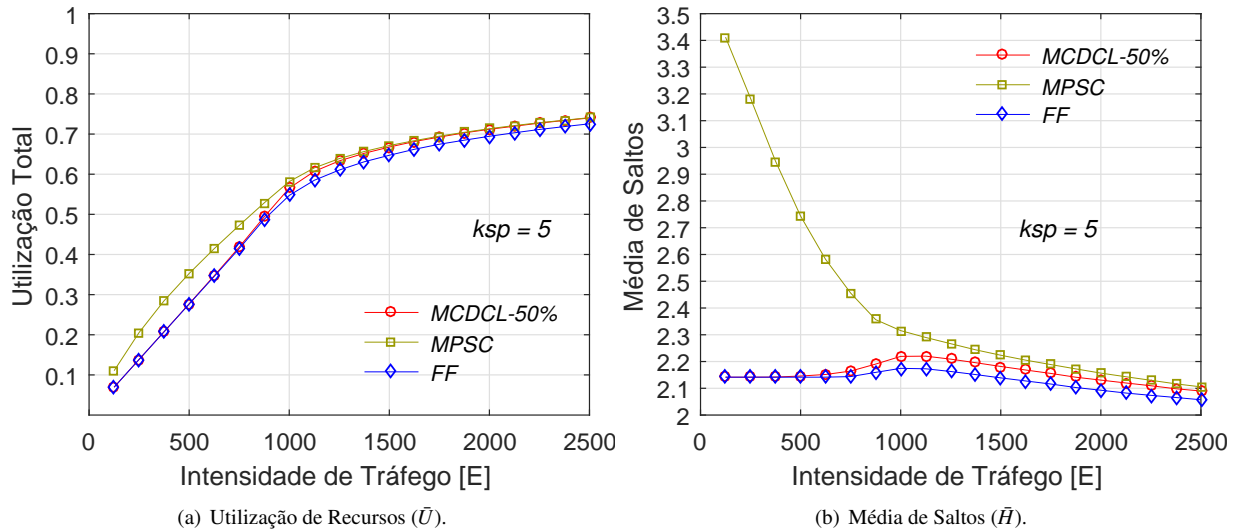


Figura 3. Resultados da Utilização de Recursos (\bar{U}) e Média de Saltos (\bar{H}) dos Algoritmos MCDCL, MPSC e FF com $k_{sp}=5$.

4. Conclusões

Pela Tabela 1 foi observado uma redução da carga computacional com a utilização fracionada dos algoritmos, ou seja, a simulação com $PI=50\%$ utilizou 83,15% do algoritmo MPSC-AL e 16,85% do algoritmo FF. O algoritmo MCDCL apresentado neste artigo, apresentou uma PBT com melhores índices comparados com os algoritmos MPSC [2] e o FF [4]. A utilização de recursos (\bar{U}) da rede apresentou uma melhora comparado com o MPSC. A Média de Saltos (\bar{H}) é menor comparada com o MPSC. Com estes resultados foi observado uma melhor consecutividade dos serviços, diminuindo a fragmentação de espectro óptico nas EONs, garantindo uma melhor qualidade de serviço (QoS).

5. Referências

- [1] DEFFERT, M. A., "ANÁLISE DE DESEMPENHO DE REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS OPERANDO COM ALGORITMOS EFICIENTES NA ALOCAÇÃO DE ESPECTRO", Universidade Federal do ABC, Maio, 2017.
- [2] WANG, Y. et al., "Spectrum consecutiveness based routing and spectrum allocation in flexible bandwidth networks", CHINESE OPTICS LETTERS, p. S10606–1–S10606–4, June 2012.
- [3] BONANI, L. H. et al., "Routing issues on spectrum sharing and partitioning for flexible optical networks", 16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), p. 1–4, Jun 2014.
- [4] CALLEGATI, F. et al. "Trunk reservation for fair utilization in flexible optical networks", IEEE Communications Letters, v. 18, n. 5, p. 889–892, May 2014.
- [5] YEN, J. "Finding the K-Shortest Loopless Paths in a Network". Management Science, v. 17, n. 1, p. 712–716, 1971.