

Nova Proposta para Otimização da Função Custo do Algoritmo de Roteamento por Série de Potências

Matheus A. Cavalcante, Helder A. Pereira, Daniel A. R. Chaves e Raul C. Almeida Jr.

Resumo—Este artigo propõe uma nova forma de representar a função custo utilizada pelo algoritmo de roteamento por série de potências (PSR — *Power Series Routing*). O impacto da representação da nova função custo é analisado em termos de convergência e valor de probabilidade de bloqueio de chamadas para diferentes dimensões do algoritmo PSR em uma topologia física. Considera-se ainda, como penalidade física, o ruído de emissão espontânea amplificada, gerado pela presença de amplificadores ópticos nos nós e enlaces da topologia física, além das perdas e ganhos fornecidos pelos dispositivos presentes ao longo dos enlaces. Os resultados obtidos neste artigo mostram que, utilizando a nova forma de representar a função custo do algoritmo PSR, as melhores soluções podem ser obtidas com um menor número de iterações, alcançando valores da probabilidade de bloqueio de chamadas compatíveis com os encontrados utilizando a função custo clássica, em todos os cenários de simulação analisados.

Index Terms—Algoritmo de Roteamento, Otimização, Penalidade Física, Rede Óptica Elástica, Relação Sinal-Ruído Óptica.

I. INTRODUÇÃO

As redes ópticas elásticas possuem vantagens quanto à admissão de conexões com larguras espectrais distintas em comparação com as redes ópticas multiplexadas por comprimentos de onda (WDM — *Wavelength Division Multiplexing*). As primeiras apresentam flexibilidade na admissão de formatos de modulação diferentes, além de taxas de transmissão distintas, ocupando de forma flexível e eficiente o espectro de frequência ao invés de tratar a largura de banda do comprimento de onda de forma fixa como as segundas [1]. Assim como ocorre nas redes ópticas WDM, o sinal óptico, ao longo de sua propagação nos enlaces, sofre degradação em sua relação sinal-ruído óptica (OSNR — *Optical Signal-to-Noise Ratio*) devido a diversos efeitos físicos, tais como: efeitos lineares, não-lineares, adição de ruído e interferências [1]. Para isso, é importante selecionar a rota mais adequada, em termos de qualidade de transmissão, de modo a estabelecer a chamada e efetivar a transmissão na rede óptica elástica. O algoritmo de roteamento por série de potências (PSR — *Power Series Routing*) foi proposto inicialmente por Chaves et al. [2] e foi utilizado tanto no contexto de redes ópticas WDM quanto de redes ópticas elásticas, sempre apresentando desempenho

Matheus A. Cavalcante (Estudante de Iniciação Científica/UFCG – Bolsista do CNPq-Brasil) e Prof. Helder A. Pereira, Grupo de Radiometria, Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Site: <http://radiometria.dee.ufcg.edu.br>, E-mail: helder.pereira@dee.ufcg.edu.br. Prof. Raul C. Almeida Jr, Grupo de Fotônica, Departamento de Eletrônica e Sistemas, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Prof. Daniel A. R. Chaves, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e o apoio institucional da UFCG, UFPE e UPE.

melhor que todas as outras heurísticas comparadas [1], [3], [4].

Este artigo propõe uma nova forma de representar a função custo do algoritmo PSR. Essa forma é analisada em termos de convergência e valor da probabilidade de bloqueio das chamadas para diferentes dimensões do algoritmo PSR. Considera-se ainda, como penalidade física, a emissão espontânea amplificada (ASE — *Amplified Spontaneous Emission*), gerada pela presença de amplificadores ópticos nos nós e enlaces, além das perdas e ganhos fornecidos pelos dispositivos ópticos presentes ao longo dos enlaces [1]. O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II, descreve-se o algoritmo PSR, sua função custo clássica e a nova forma de representá-la matematicamente. Na Seção III, apresentam-se os cenários de simulação investigados. Na Seção IV, os resultados são discutidos e, por fim, na Seção V, são apresentadas as conclusões.

II. ALGORITMO DE ROTEAMENTO POR SÉRIE DE POTÊNCIA

O algoritmo PSR tem duas fases [2]: (1) planejamento e (2) operação. Na primeira, uma técnica bio-inspirada (PSO — *Particle Swarm Optimization*) é utilizada para otimizar a função custo do enlace. Na segunda, a função custo otimizada é utilizada para realização da etapa de roteamento durante a operação da rede. Para um enlace entre os nós i e j , a função custo a ser otimizada pelo algoritmo PSR pode ser expressa da seguinte forma [2]:

$$c_{\text{enl}} = \sum_{i_1=0}^N \sum_{i_2=0}^N \cdots \sum_{i_P=0}^N a_{i_1 i_2 \dots i_P} x_1^{i_1} x_2^{i_2} \cdots x_P^{i_P}, \quad (1)$$

em que N representa o número de termos da série, P o número de dimensões, ou custos considerados, x_i os custos específicos relacionados a aspectos da topologia física, ou a parâmetros que refletem os recursos da rede de forma dinâmica, e $a_{i_1 i_2 \dots i_P}$ os coeficientes que serão otimizados pela técnica bio-inspirada e que servirão para quantificar a importância de cada custo.

A função custo proposta neste trabalho baseia-se em (1), sendo expressa por:

$$c_{\text{enl}} = \prod_{k=1}^P \left(\sum_{i=0}^N a_i x_k^i \right). \quad (2)$$

O número de coeficientes para se otimizar, utilizando a equação clássica (1), é de $(N+1)^P$, enquanto que, utilizando a equação proposta neste artigo (2), é igual a $P \cdot (N+1)$.

III. CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

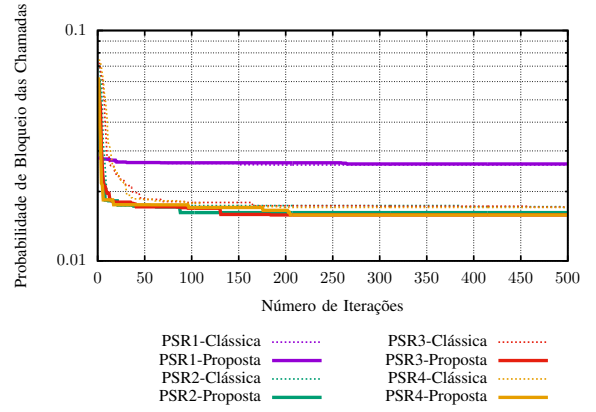
A topologia utilizada nas simulações foi a *Pacific Bell* [3] considerando um fator multiplicativo nas distâncias dos enlaces de 6,5 para considerações do ruído ASE gerado pelos amplificadores ópticos de linha. Os parâmetros utilizados nas simulações foram os seguintes: frequência central da grade (ν) igual a 193.4 THz; largura de banda de referência (B_{ref}) igual a 12.5 GHz; largura de banda de um *slot* (B_{Slot}) de 12.5 GHz; taxas de transmissão de bit utilizadas (B): 10, 40, 100, 160 e 400 Gb/s; esquemas de modulação utilizados: 4, 16 e 64-QAM; distância entre amplificadores de linha (d_{amp}) igual a 80 km; figura de ruído de cada amplificador óptico de 5 dB; perda em cada comutador óptico (L_{SSS}) igual a 5 dB; número de *slots* por enlace igual a 64; OSNR de entrada ($OSNR_{in}$) igual a 30 dB; potência óptica de entrada (P_{in}) igual a 0 dBm; número de termos da série (N) igual a 4. Quatro algoritmos PSR foram simulados com a equação clássica (1) [2] e com a equação proposta neste artigo (2). O primeiro (PSR1) é unidimensional ($P = 1$) e utiliza como custo específico apenas a distância física normalizada. O segundo (PSR2), bidimensional ($P = 2$), utiliza a distância física normalizada e a disponibilidade normalizada do número de *slots*. O terceiro (PSR3), tridimensional ($P = 3$), utiliza a distância física, a disponibilidade e a taxa de transmissão de bit, todos normalizados. O quarto (PSR4), quadridimensional, utiliza todos os custos mencionados para o terceiro além do esquema de modulação normalizado ($P = 4$). Cada um dos PSRs utilizou 150 Erlang como carga referência para otimização. O algoritmo de atribuição espectral utilizado neste trabalho foi o de primeiro da lista (FF — *First Fit*).

IV. RESULTADOS

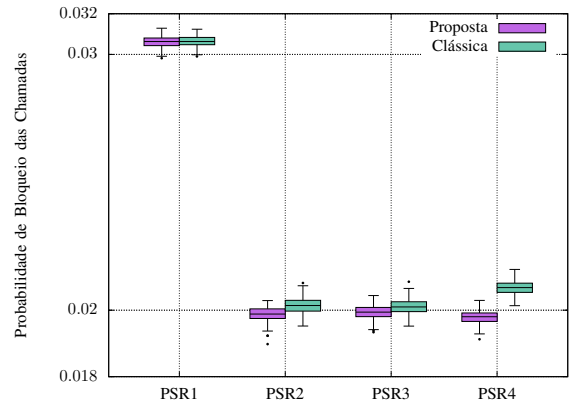
Fig. 1a ilustra a análise de convergência da probabilidade de bloqueio das chamadas em função do número de iterações para cada algoritmo PSR simulado (PSR1, PSR2, PSR3 e PSR4), considerando as funções custo: clássica e proposta. Verifica-se que todos os algoritmos PSR, que utilizam a função custo proposta, convergiram com um menor número de iterações quando comparados com os algoritmos PSR que utilizam a função custo clássica. Uma maior evidência é observada nos algoritmos PSR que possuem um maior número de dimensões (PSR3 e PSR4). Fig. 1b ilustra a análise estatística da probabilidade de bloqueio das chamadas para cada um dos algoritmos PSR simulados, considerando as funções custo: clássica e proposta. Nota-se que, com a função custo proposta, todos os algoritmos PSR obtêm valores de probabilidade de bloqueio das chamadas compatíveis com os obtidos usando-se os algoritmos PSR que utilizam a função custo clássica.

V. CONCLUSÕES

Este artigo propôs uma nova forma de representar a função custo do algoritmo PSR. A função custo proposta permite que um número menor de coeficientes sejam otimizados de modo que as melhores soluções sejam encontradas com um número menor de iterações, fornecendo valores de probabilidade de bloqueio das chamadas compatíveis com os obtidos utilizando a função custo clássica para o cenário/topologia analisados.



(a) Análise de convergência da probabilidade de bloqueio das chamadas em função do número de iterações para cada algoritmo PSR simulado (PSR1, PSR2, PSR3 e PSR4), considerando as funções custo: clássica e proposta.



(b) Análise estatística da probabilidade de bloqueio das chamadas para cada um dos algoritmos PSR simulados, considerando as funções custo: clássica e proposta.

Figura 1: Resultados obtidos, para cada algoritmo PSR simulado (PSR1, PSR2, PSR3 e PSR4), considerando as funções custo: clássica e proposta, em termos da probabilidade de bloqueio das chamadas: (a) análise de convergência e (b) análise estatística.

Trabalhos futuros envolvem analisar outras topologias e verificar a consistência da função custo proposta neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Cavalcante, H. A. Pereira, D. A. R. Chaves, and R. C. Almeida Jr., "Applying power series routing algorithm in transparent elastic optical networks," in *2015 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, novembro 2015.
- [2] J. F. Martins-Filho, D. A. R. Chaves, C. J. A. Bastos-Filho, and D. O. Aguiar, "Intelligent and fast irwa algorithm based on power series and particle swarm optimization," in *International Conference on Transparent Optical Networks*, 2008, pp. 158 – 161.
- [3] J. F. Martins-Filho, J. L. de Santana, H. A. Pereira, D. A. R. Chaves, and C. J. A. Bastos-Filho, "Assessment of the power series routing algorithm in translucent, transparent and opaque optical networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 941 – 944, 2012.
- [4] A. V. S. Xavier, R. C. L. Silva, D. A. R. Chaves, C. J. A. Bastos-Filho, R. C. Almeida, and J. F. Martins-Filho, "The nrpsr-elastic routing algorithm for flexible grid optical networks," in *International Microwave And Optoelectronics Conference*, Agosto 2013, pp. 1 – 5.