

Roteamento e Atribuição de λ s em Redes GMPLS/DWDM

Fabiano J. L. Pádua, Raulison A. Resende, Edson Moschim, Akebo Yamakami
{padua, raulison, moschim, akebo}@dt.fee.unicamp.br

Departamento de Telemática – FEEC – UNICAMP
Campinas – SP – BRASIL

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo de redes GMPLS/DWDM para a transmissão de pacotes. É desenvolvido um método de roteamento e de atribuição de comprimento de onda adaptativo, em função do custo dos enlaces da rede. O relacionamento entre as tecnologias GMPLS e DWDM proporciona uma vantagem de se ter uma menor quantidade de camadas e um melhor desempenho da rede. O algoritmo proposto é comparado com o algoritmo First-Fit e resultados de desempenho são obtidos através de simulação.

ABSTRACT

In this work a study of networks GMPLS/DWDM for the transmission of packages is presented. A method of routing and wavelength assignment is developed in function of a network link cost. It shows that the relation between GMPLS and DWDM technologies provides a better network performance. The proposed algorithm is compared with the First-Fit algorithm and performance results are compared by simulation.

1. INTRODUÇÃO

Novas tecnologias em redes de comunicações tem surgido para suprir o aumento considerado de tráfego oriundo da proliferação do protocolo IP. A tecnologia fotônica destaca-se como o elemento chave para suprir a demanda de faixa, assim como funções de roteamento, facilitando o transporte e o gerenciamento das redes de telecomunicações, [1]. Várias propostas de roteamentos em comprimento de onda têm sido apresentado na literatura, [2]. Neste trabalho é proposto um algoritmo de roteamento e de atribuição de comprimento de onda baseado em uma função de custo e utilizando o algoritmo de Dijkstra, [3], para ser aplicado em redes GMPLS/DWDM. Este trabalho é distribuído da seguinte maneira; na seção 2 apresenta-se uma discussão de redes GMPLS/DWDM, utilizadas para roteamento IP. Na seção 3 apresenta-se uma proposta de uma rede GMPLS/DWDM. Discute-se nesta seção critérios de transporte e proteção da rede. Na seção 4 apresenta-se um algoritmo de roteamento e atribuição de comprimento de onda baseado no custo dos enlaces. Na seção 5 é feito uma simulação para uma rede típica usando o simulador NS-2 de redes para o algoritmo proposto e o algoritmo First-Fit. Finalmente apresenta-se as conclusões.

2. REDES GMPLS/DWDM

Atualmente o uso crescente do protocolo IP (*Internet Protocol*), nas redes de telecomunicações tem exigido uma grande demanda das tecnologias ATM, SDH/SONET, Frame Relay e WDM, para garantir os novos serviços emergentes. Uma tendência que vem sendo bastante explorada é o uso da tecnologia DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplex*) em redes fotônicas. Na Figura 1 é apresentada uma rede DWDM com seus principais componentes, para uma topologia usual. Comprimentos de onda são utilizados para roteamentos. Estes comprimentos de onda podem ser iguais ou diferentes em cada enlace do caminho fotônico, sendo controlado pelos cross-connects (OXC), [2]. Neste trabalho, o roteamento e a atribuição de comprimento de onda em cada enlace é feita utilizando-se da possibilidade de conversão de comprimentos de onda nos nós fotônicos, melhorando a interligação entre GMPLS e DWDM, [3][6][7], e a rede considerada é totalmente óptica, ou seja, não existe conversão opto-eletrônica nos nós.

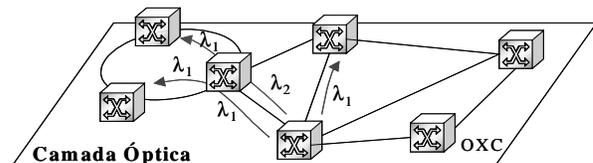


Figura 1. Topologia de uma rede DWDM com roteamento de comprimento de onda.

O MPLS é uma evolução do *Tag Switching*, e atualmente sua normalização estão em andamento no IETF (*Internet Engineering Task Force*). No modelo ISO ele aparece entre as camadas 2 e 3, possibilitando uma ampla interconectividade entre elas.

Em um domínio MPLS, os roteadores de borda LER (*Label Edge Router*) recebem uma solicitação de conexão, gerando um caminho virtual denominado LSP (*Label Switched Paths*), semelhante ao circuito virtual gerado em redes ATM. Os dados que serão por ele transitados são agrupados em uma FEC (*Forwarding Equivalence Class*). O encaminhamento de pacotes é feito pelo LSR (*Label Switched Router*), que analisa o rótulo de cada pacote, [4]. No MPLS, os pacotes de chegadas em um nó são examinados e depois repassados para o próximo nó de acordo com o seu rótulo. A ligação MPLS-DWDM é conseguida

substituindo o label (rótulo) convencional do MPLS, Figura 2, por um comprimento de onda do DWDM, [7], chaveando um rótulo LSR em um comprimento de onda no comutador OXC, de uma porta de entrada para uma porta de saída. Esta adaptação do protocolo MPLS chama-se GMPLS (MPLS generalizado), formalmente chamado MPL λ S. O GMPLS mantém as outras características iguais ao MPLS, de acordo como o tráfego, qualidade de serviço e escalabilidade. Desta forma pode-se reduzir o número de camadas de rede empregadas. O problema de se estabelecer os roteamentos e a atribuição dos comprimentos de ondas em um determinado caminho fotônico é dito RWA (*Routing and Wavelength Assignment*).

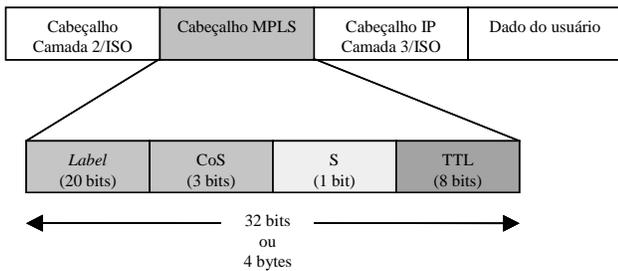


Figura 2. Cabeçalho do MPLS.

3. PROPOSTA DE UMA REDE GMPLS/DWDM

A proposta aqui é a utilização do GMPLS em redes DWDM. Propõe-se uma rede backbone em modelo *peer*, onde o gerenciamento se faz em comum acordo entre as camadas envolvidas. Desta forma, este modelo proporciona uma administração menos complexa e de fácil gerenciamento, pois se tem um menor número de camadas de rede. A topologia da rede estudada é apresentada da Figura 3. O gerenciamento, a sinalização, o roteamento e a atribuição de comprimento de onda, e a proteção são feitos pela camada GMPLS, ficando para a camada DWDM a funções de transporte e detecção de falha. Considera-se uma conexão bidirecional num par de fibras entre os nós.

Os parâmetros de entrada para avaliação de desempenho da rede são o número de nós fotônicos, número de enlaces, largura de banda necessária entre os enlaces e o número de comprimentos de onda. Estes parâmetros definem a topologia estática da rede. Uma solicitação de serviço entre usuários, em qualquer nó da rede aciona um algoritmo de roteamento no GMPLS, para determinação de um caminho entre o usuário inicial e o usuário final.

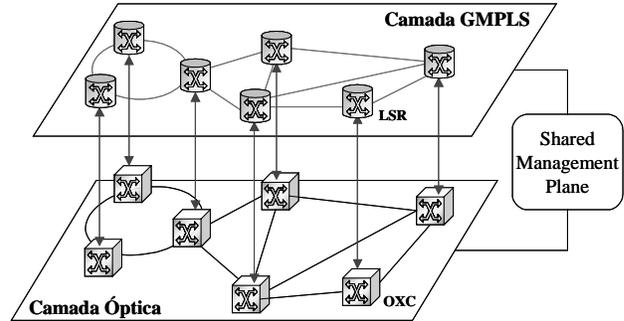


Figura 3. Topologia Implementada.

A verificação da topologia e do funcionamento da rede é feita através de protocolos que tais como o protocolo OSPF (*Open Short Path First*) e o protocolo BGP (*Border Gateway Protocol*). Então, calcula-se o melhor caminho pela camada GMPLS, definindo um LSP (*Label Switching Path*), que é a definição do próximo nó da rede por onde deva passar o roteamento. Em seguida esta informação é repassada para a camada DWDM. O LSR (*Label Switching Router*) define o comprimento de onda (λ_n) necessário no enlace do caminho definido. A passagem que faz a mudança de rótulo (*label*) para lambda (λ) é feito pelo plano de controle de cada uma das camadas, instanciadas através do controle do OXC, pelo gerenciamento compartilhado. Ao ser encontrado o nó destino, a conexão entre os usuários é estabelecida. Os pacotes transportados pelos LSPs e pelo caminho fotônico são transparentes nos nós fotônicos intermediários, ao longo do percurso.

Um protocolo de proteção (APS) fica monitorando a rede e qualquer falha é detectada e repassada para a camada GMPLS, que faz o processo de correção da falha, através do algoritmo de proteção, por exemplo, proteção 1:1.

4. ROTEAMENTO E ATRIBUIÇÃO DE COMPRIMENTO DE ONDA

O algoritmo de roteamento e atribuição de comprimento de onda proposto basea-se no algoritmo de Dijkstra. Este algoritmo calcula o menor caminho em função do custo de cada enlace fotônico da rede. O algoritmo implementado utiliza uma matriz NxN, sendo N o número de nós da rede, contendo o estado atual da rede, obtida a partir da camada GMPLS. Nesta tabela encontra-se o custo de cada enlace fotônico ligando dois nós correspondentes da rede. O custo aqui empregado envolve a quantidade de enlaces já estabelecidos num determinado caminho, de acordo com a equação 1. Este custo procura caminhos alternativos em função da demanda de roteamento.

$$Custo_{i,j} = \left\{ (LK_{i,j})^2 + \text{int}[(\alpha * (LK_{i,j} - 1))] \right\} * (LK_{i,j}) \quad (1)$$

onde,

$Custo_{i,j}$ - custo de um determinado enlace, formado pelos nós i e j .

$LK_{i,j}$ - número de enlaces já utilizados num caminho entre os nós i e o nó j .

Int - retorna o valor inteiro da expressão em colchetes.

α - coeficiente de ponderação.

O custo obtido pela equação 1 é adimensional e de valor inteiro. A Figura 4 apresenta o custo em função do número de comprimentos de onda utilizado.

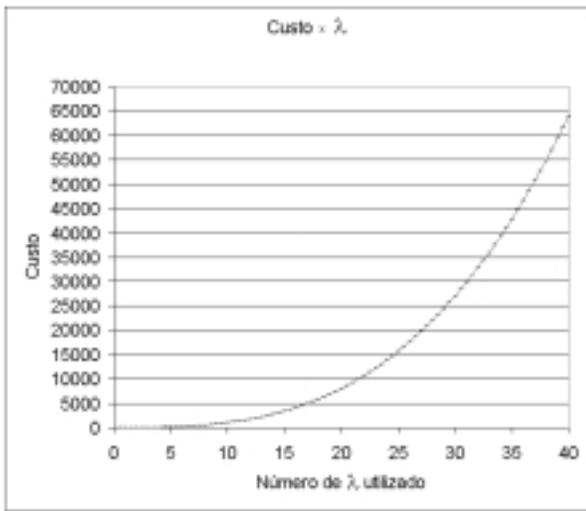


Figura 4. Gráfico do Custo em função do número de λ .

O algoritmo estabelece roteamentos em caminhos fotônicos não utilizados anteriormente, de modo a distribuir o tráfego na rede.

A atribuição do comprimento de onda é obtida através da equação 2 dado abaixo.

$$LMR(m)_{i,j} = \max\{NL_{1,1}, NL_{1,2}, \dots, NL_{2,1}, NL_{2,2}, \dots, NL_{3,1}, \dots, NL_{n,n}\} \quad (2)$$

$$\lambda_{LM,i,j} = \text{menor } \lambda \text{ disponível em } LMR_{i,j}$$

onde,

$LMR(m)_{i,j}$ - enlace no trecho entre os nós i e j , que possui o maior número de enlaces.

$NL_{i,j}$ - número de enlaces já utilizados no trecho entre os nós i e j .

$\lambda_{LM,i,j}$ - número do lambda atribuído ao enlace no caminho entre os nós i e j .

Todo o processo de se encontrar um caminho para o roteamento e em seguida atribuir é feito dinamicamente.

5. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Desenvolveu-se uma simulação da rede proposta utilizando o software NS-2 (Network Simulation), [8], fazendo-se uma adaptação para a simulação da camada GMPLS. A Figura 5 mostra a topologia da rede simulada.

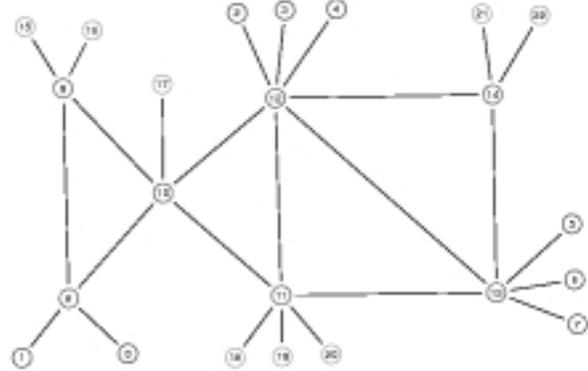


Figura 5. Topologia da rede simulada no NS-2.

Foi feita uma análise rodando oito fontes ou usuários iniciais (0 a 7) para oito receptores ou usuários finais (15 a 22) respectivamente sobre o backbone de sete nós (8 a 14). A cada roteamento adicionado foi introduzido um intervalo de tempo fixo para a simulação dinâmica. A taxa de transmissão em cada enlace da rede foi fixada em 2,5Gbps (OC-48), com um limite de 16 comprimentos de onda (λ) em cada enlace. A tabela 1 apresenta os roteamentos que entrarão na rede.

Transmissão		Recepção	
Fonte	Backbone	Destino	Backbone
0	8	21	14
1	8	22	14
2	12	18	11
3	12	19	11
4	12	15	9
5	13	16	9
6	13	17	10
7	13	20	11

Tabela 1. Origem e destino das informações.

A Figura 6 apresenta a rede com todos os roteamentos que foram requisitados. Na Figura 6.a a rede foi simulada utilizando o algoritmo First-Fit, e na Figura 6.b é apresentado a simulação com o algoritmo proposto.

Observa-se que o algoritmo proposto faz uma melhor distribuição do tráfego, utilizando todos os enlaces da rede. Enquanto que o algoritmo First-Fit não distribui uniformemente o tráfego, congestionando certos enlaces, levando a perdas de pacotes. Por exemplo, o nó 14 contém dois usuários finais (21 e 22) cujo tráfego pode vir dos nós 12 e 13. Pela Figura 6.a é mostrado o

tráfego vindo apenas por um enlace de forma a elevar o custo do mesmo, e também evitando uma reutilização deste enlace em próximos roteamentos.

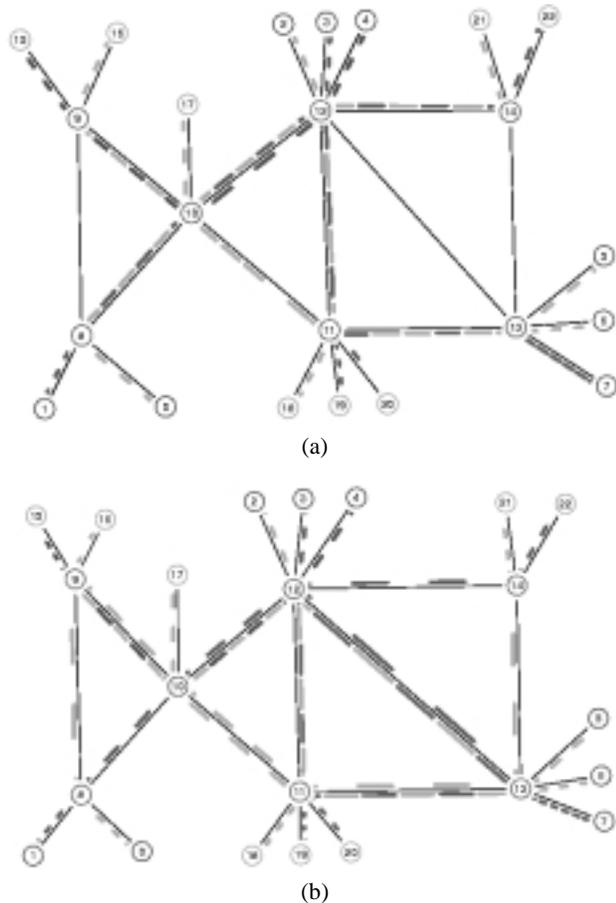


Figura 6. Simulação da rede (a) sem otimização e (b) com otimização.

No caso da Figura 6.b, o tráfego vem por enlaces diferentes, minimizando o custo e disponibilizando os enlaces para outros roteamentos. Na Figura 7 é apresentada uma curva da média do tráfego (número de pacotes) recebido pelos usuários finais, para os dois algoritmos simulados. Verifica-se um ganho do algoritmo proposto sobre o First-Fit.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo sobre redes GMPLS/DWDM. O uso destas tecnologias diminui o número de camadas envolvidas no funcionamento. Foi proposto um algoritmo para roteamento e atribuição de comprimentos de onda que leva em consideração o custo dos enlaces. Os resultados

obtidos por simulação mostram uma grande eficiência do algoritmo proposto quanto a uma melhor distribuição do tráfego e um baixo uso do número de comprimentos de onda, quando comparado ao algoritmo First-Fit. Também o algoritmo proposto apresenta uma forma mais simples de implementação, exigindo pouco processamento.

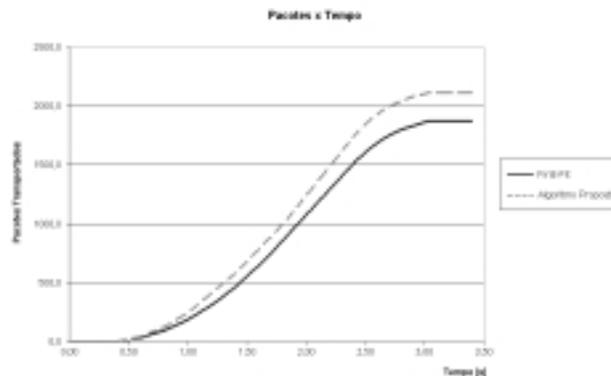


Figura 7. Pacotes transportados: comparando entre o algoritmo proposto e o First-Fit

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Ramaswami, e K. N. Sivarajan, "Optical Networks – A Practical Perspective", Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- [2] F. Bentivoglio, E. Iannone, "The Opaque Optical Network", Optical Network magazine., vol. 1, nº04, pp. 24-31, October 2000.
- [3] S. Gasch, "Algorithm Archive", Id: alg.tex,v 1.9, January 1999, pp.87-92.
- [4] E. Mannie et al., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture", Internet Draft, work in progress, draft-broad-consensus-gmpls-architecture-00.txt, February 2001.
- [5] D. O. Awduche et al., "Multi-Protocol Lambda Switching", Internet Draft, work in progress, draft-awduche-consensus-te-optical-03.txt, April 2001.
- [6] G. Bernstein, V. Sharma, "Some Comments on GMPLS and Optical Technologies", Internet Draft, work in progress, draft-berstein-gmpls-optical-00.txt, November 2000.
- [7] N. Ghani, "Lambda-Labeling: A Framework for IP-over-WDM using MPLS", Optical Networks Magazines, SPIE/Baltzer Science Publishers, April 2000.
- [8] K. Fall, K. Varadhan "The NS Manual", The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2001.