

Um Estudo de Função de Custo Mínimo para ASON sobre Redes Fotônicas DWDM

Reinaldo G. Dante, Fabiano J. L. Pádua, Edson Moschim

Departamento de Telemática – FEEC – UNICAMP

Resumo

Este artigo apresenta um estudo de roteamento e atribuição de comprimentos de onda em redes fotônicas WDM, utilizando a tecnologia ASON. Faz-se uma descrição da arquitetura ASON bem como a sua interligação com a tecnologia WDM. Este estudo é baseado em algoritmos de roteamento utilizando funções de menor custo de modo a viabilizar uma otimização do tráfego em redes fotônicas WDM. A função de custo proposta neste trabalho tem como objetivo auxiliar o sistema de gerência dos nós fotônicos, através da camada ASON. Foram realizadas simulações de modo a se obter uma otimização quanto ao caminho fotônico escolhido por onde o tráfego seria transportado com base no menor custo de roteamento.

Abstract

This article shows a routing and wavelength assignment method in WDM photonics networks in agreement with ASON technology. As background, a description of ASON architecture as well as its interconnection with the technology DWDM is made. This study is based on algorithms of functions of minimum cost to make possible an optimisation of the traffic in photonics networks. The cost function proposed in this work supports the networking management of the network elements in the domain ASON. Simulations is carried in order to obtain an optimisation of chosen *lightpath*, where the traffic would be carried, based on minimum routing cost function.

1. Introdução

Redes totalmente fotônicas estão emergindo como uma solução prática para suprir as exigências de largura de faixa necessária para os atuais serviços em telecomunicações. A tecnologia fotônica provê uma capacidade de transmissão extremamente alta, proteção, e confiabilidade para redes atuais comutadas. A técnica de Densa Multiplexação por Divisão do Comprimento de Onda (DWDM) permite que as redes atualmente implementadas alcancem estas exigências devido ao maior tráfego transportado em fibras monomodos. Além disso, elementos fotônicos têm sido aplicados em conexões cruzadas OEXC, de modo a aliviar a eletrônica e consequentemente aumentar a vazão de tráfego em toda a rede.

Neste artigo apresenta-se conceitos e resultados sobre roteamento e atribuição de comprimentos de onda em redes fotônicas DWDM comutadas automaticamente (ASON). Na seção 2 explica-se a arquitetura dos elementos fotônicos sob o domínio ASON. Na seção 3 os custos de OEXCs e os enlaces fotônicos são apresentados em um exemplo hipotético de rede h

Finalmente, as conclusões exprimem a importância de se obter uma função de custo como parte integrante da solução do problema de roteamento e atribuição de comprimentos de onda em ASON.

2. Arquitetura dos Elementos Fotônicos sob o Domínio ASON

As redes de comunicação de alta capacidade têm explorado com maior frequência as potencialidades oferecidas pela tecnologia fotônica, como por exemplo, a grande capacidade de transmissão das fibras ópticas monomodo (Terabit/s). Recentemente, as redes fotônicas opacas (OEXCs com conversão eletro-óptica) podem ser consideradas como o primeiro passo na evolução para redes totalmente fotônicas. A Figura 1 apresenta uma arquitetura genérica de um elemento OEXC, [1], onde N representa o número de comprimentos de onda disponíveis em uma determinada janela espectral de uma única fibra (p.ex. banda C ou L) e M o conjunto de canais tributários add/drop em um OEXC. Para evitar bloqueio na matriz de comutação do OEXC, os sinais ópticos de entrada podem sofrer conversão de comprimento de onda, [2].

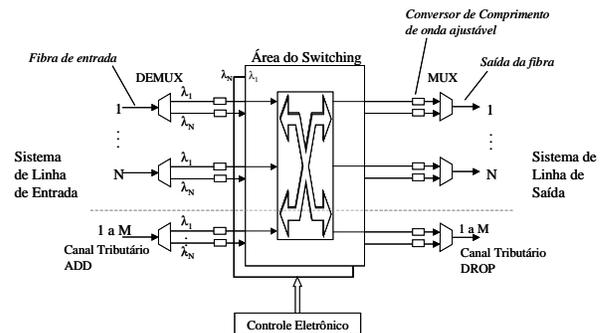


Figura 1. Arquitetura de um cross-connect opto-eletrônico (OEXC).

O OEXC possui um conjunto interno de comprimentos de onda podendo ser diferente do conjunto de comprimentos de onda nos enlaces ópticos, [1]. Após a comutação destes comprimentos de onda internos no OEXC, eles poderão ser convertidos novamente para os comprimentos de onda usados nos enlaces ópticos. Este processo de um comprimento de onda entrante (λ_i) para outro comprimento de onda de saída ($\lambda_j, i \neq j$) corresponde ao caminho fotônico virtual (VLP), [3][4]. Assim,

o OEXC não carrega somente a função de comutação, mas também a função de roteamento. O número de comprimentos de onda usado dentro do OEXC é o número de comprimentos de onda do roteador. Assim, OEXC é um elemento importante para as redes ópticas devido às facilidades de configuração do mesmo.

Alcançar uma camada óptica inteligente requer uma evolução de conectividade estática para o controle dinâmico de conexão e uma camada de serviços. Adicionar inteligência à camada óptica permite que os elementos de rede possam ser mais ágeis e adaptáveis. A conectividade óptica inteligente (IOC - *Intelligent Optical Connectivity*) como um elemento que facilita a criação de serviços centrado em dados e fornecimento sob-demanda representa uma evolução da camada óptica para permitir o dinamismo da conexão *end-to-end* automatizado de largura de banda através de uma rede óptica comutável.

IOC define os protocolos de controle e de sinalização requeridos para permitir esta nova rede. Uma capacidade do IOC é que se pode ser usado para oferecer um novo nível de serviço diferenciado de acordo com as conexões ópticas. A eficiência dos recursos da rede por meio dos protocolos de restauração de malhas está incorporada no projeto do IOC. IOC utiliza um plano de sinalização distribuído *out-of-band* (fora-de-faixa), o qual provê o controle seguro da infra-estrutura de comutação da rede óptica independentemente da camada de pacote. O fator principal é o roteamento e sinalização óptica baseado em Rede Óptica Automaticamente Comutada (ASON - *Automatically Switched Optical Network*).

O ASON é uma arquitetura projetada para configurar os elementos de acesso *end-to-end*, os elementos de rede comutável e gerenciar, alocando os sub-comprimentos de onda, comprimentos de onda ou multi-comprimentos em conexões ópticas. O ASON também suporta restaurações de conexões em todos os níveis de granularidade desde conexões STM-1 a STM-64. O padrão G.ASON está em desenvolvimento no ANSI T1/X1 e ITU.

Uma arquitetura genérica da rede ASON é apresentada na Figura 2. Nesta Figura, são ilustrados todos os elementos que compõem a rede ASON. A rede ilustrada tem como objetivo habilitar a comutação das conexões de rede de transporte sob o controle de sinalização da rede ASON. Há três planos que compõem a rede ASON, [5][6]:

- Transport Plane (TP) – plano de transporte;
- Control Plane (CP) – plano de controle;
- Management Plane (MP) – plano de gerenciamento;

O plano de transporte contém os elementos de rede de transporte que transportam a entidade, em outras palavras, a comutação. Em geral, esta flexibilidade é provida pelas funções de conexão encapsuladas nos elementos de rede. Conexões fim-a-fim são configuradas dentro do plano de transporte sob o plano controle do ASON.

A função óptica comutada do OEXC mencionado anteriormente proporciona à camada de rede óptica a capacidade para descobrir automaticamente sua própria topologia bem como também pedidos (*request*) de sinais de conexão através da rede. Poderia ser configurado através da

administração de software do ASON. Isto poderia ser configurado pelo gerenciamento do software do ASON. Em um plano superior, comutadores de pacote permitem através do MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) unificar a rede backbone para suportar todos os serviços e prover um gerenciamento de conexão da camada de pacote, [7]. Um dos objetivos para habilitar a inteligência em uma rede é a interconexão entre pacote e camadas ópticas de modo a escolher um caminho mais curto com custo mínimo por comprimento de onda roteado. O ASON habilita a configuração de cada OEXC escolhido e define um *lightpath* para transportar um tráfego baseado no protocolo orientado à conexão fim-a-fim. Este protocolo é capaz de ativar a restauração e proteção óptica distribuída no plano de transporte. Quando ocorre uma falha no OEXC, um conjunto de sinalização é trocado entre os planos TP, MP e CP a fim de re-configurar um novo roteamento de comprimento de onda e mantém a qualidade de serviço exigido aos usuários finais.

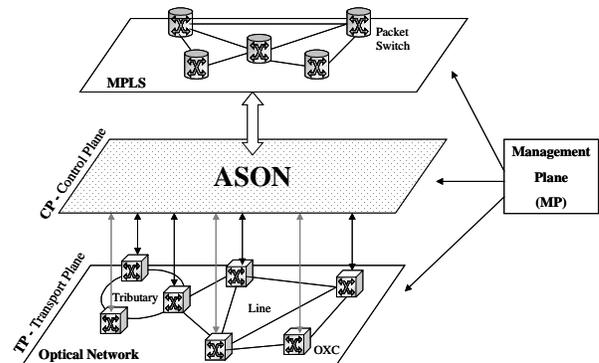


Figura 2. Arquitetura da rede ASON.

3. Custos da Rede Óptica

Um problema complexo é encontrar o custo de uma rede óptica, a qual influencia no roteamento entre um nó origem e um nó destino. Atualmente, as redes ópticas precisam transportar muito tráfego com um custo mínimo. A priori, o custo deve ser analisado em dois aspectos: aplicação em voz ou em outro caso aplicado a dados, [8]. Além disso, estes custos poderiam ser divididos em duas partes principais: custo estrutural e custo operacional. Estas opções dependem do projeto da rede óptica (por exemplo: a topologia).

Há muitos dispositivos na rede óptica, como exemplo as fibras, os comutadores, os canais, os regeneradores, os lasers e os amplificadores ópticos [9]. Estes dispositivos representam o custo estrutural. Visto que o custo de operação é baseado nos parâmetros da rede óptica que influenciam na transmissão, tendo como componentes principais os comutadores e enlaces. Os parâmetros podem ser o atraso (*delay*), a variação do atraso (*jitter*), a atenuação, a dispersão, o BER, a distância entre nós, o comprimento de onda usado, etc.

Estudos prévios em redes DWDM estão em discussão sobre como os custos poderiam ser minimizados desde que as topologias de rede sejam dadas com antecedência de forma a otimizar a rede. Atualmente, existem diversos algoritmos que

propõem minimizar o custo operacional (OC) em redes ópticas, [10][11]. Neste artigo, o custo operacional é baseado nos parâmetros dos nós (OEXCs) e dos enlaces ópticos para o estado dinâmico da rede. Um destes parâmetros é o número de comprimentos de onda alocados em um instante específico. Uma formulação precisamente matemática não tem sido resolvida claramente para calcular o custo em um sistema de DWDM [1] por causa do número grande de parâmetros e do difícil relacionamento entre eles.

Algumas anotações são consideradas, a seguir:

- Uma topologia de rede física é modelada como um grafo unidirecional de tamanho $G=(V,A)$, onde V é o conjunto de nós da rede e A é o conjunto de enlaces que conectam os nós.
- O número de comprimentos de onda (λ) disponível em cada enlaces é W .
- A rede tem N nós, onde cada um é representado por i ou j ($= 1,2,3\dots N$).
- É simbolizado por uW o número de comprimentos de onda alocados em cada enlace.
- Os nós de comutação são denotados por s e d ($=1,2,3\dots N$), onde s é o nó de origem e d é o nó de destino.
- L representa a distância entre dois nós (Km).
- A velocidade da luz é dada por $c=3\times 10^5$ Km/s.
- T_x representa a taxa (Gb/s) do elemento de rede.
- O atraso (*delay*) do enlace é dado por Dl .
- O atraso por comutação é dado por D_s .
- A matriz $A_{i,j}$ representa a demanda do nó i ao j .

Além disso, os custos são denotados neste artigo como segue:

- O custo do nó de comutação s é representado por CS_s .
- O custo do enlace é $CL_{i,j}$.
- O custo total de cada rota (*lightpath*) é definido por OC .

3.1. Modelo de custo

O custo total da rede é definido, a seguir:

$$OC_{i,j} = \alpha \cdot CS_s + \beta \cdot CL_{i,j}, \quad (eq.01)$$

Onde α e β são constantes de custos dos dispositivos.

As equações de custo de comutação e do enlace, baseado em [4] [11], é mostrado a seguir:

$$\begin{cases} CS_s = (\text{switching architecture}) \cdot D_s \cdot T_x \\ CL_{ij} = uW \cdot Dl \cdot T_x \end{cases}, \quad (eq.02)$$

Onde, o termo "switching architecture" é modelado de acordo com o modelo da arquitetura do comutador.

Três modelos de arquitetura de comutação conhecidas amplamente nas literaturas, [4], foram usados neste artigo:

N^2 , $N \log_2(N)$ and $N^2 \log_2(N)$. O resultado deste custo mencionado acima é ilustrado na Figura 3.

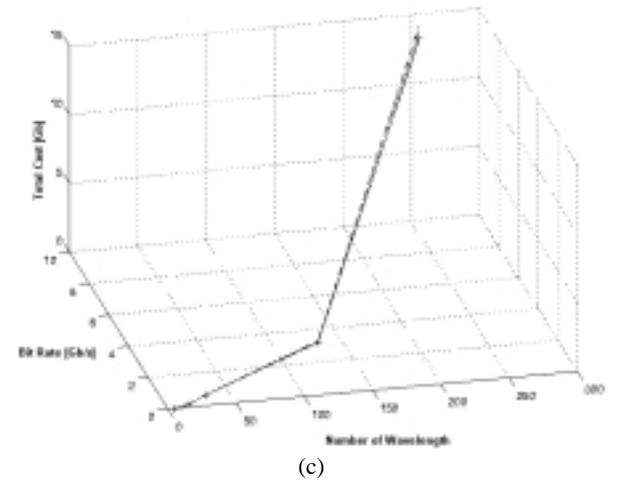
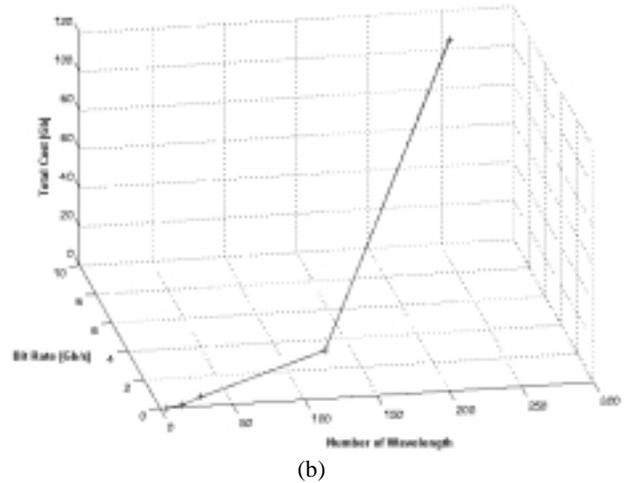
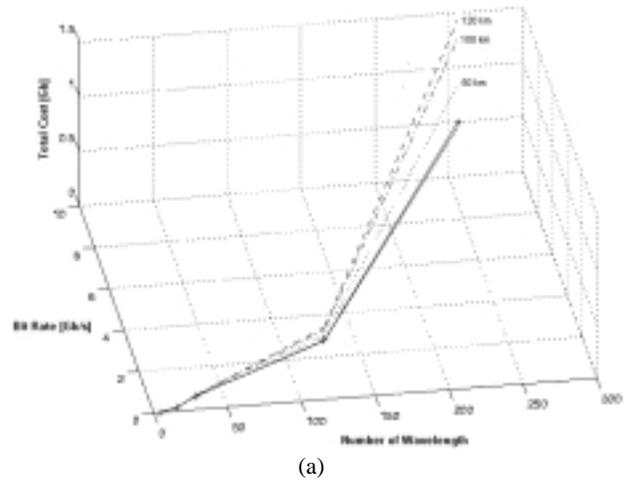


Figura 3. Gráfico sobre o Custo Total para cada *lightpath* de acordo com a arquitetura do switching:
(c)

(a) $N \log_2(N)$, (b) N^2 , $N^2 \log_2(N)$.

A partir do custo obtido, através da equação do custo total, o resultado é utilizado para encontrar o caminho mais curto (ou seja, o custo mínimo em cada enlace) entre um *peer-to-peer* (par origem/destino). Um algoritmo útil que provê um caminho de menor custo é o algoritmo de Dijkstra [12]. Ele escolhe a melhor rota através da soma de custo mínimo entre os nós de origem e destino. Observe na Figura 3 que o crescimento do custo é linear, mas de forma que altere o custo suficientemente para que o próximo roteamento não utilize o mesmo caminho (*lightpath*) do roteamento já eleito anteriormente, calculado pelo Dijkstra. Em nosso exemplo ilustrado na Figura 4, observa-se uma rede óptica com seis nós e nove enlaces, onde cada enlace é considerado bidirecional. É digno de nota que deve ser informado qual a capacidade de roteamento na rede. O limite da quantidade de comprimentos de onda em cada enlace deve ser menor ou igual à capacidade total de cada enlace em questão. No momento em que este limite é alcançado, começa-se a haver bloqueios de forma a ter rejeições de roteamentos.

Alguns parâmetros tais como a distância, o atraso no enlace (D_l) e o atraso na comutação (D_c) foram considerados valores constantes na simulação e utilizados para encontrar o custo do *lightpath*. Definida a topologia da rede e a arquitetura dos nós comutadores, estes parâmetros terão seus valores inalterados de modo que não haverá necessidade de alterá-los ao longo da simulação. O problema é refletido como calcular estes parâmetros precisamente para compor um custo total da rede óptica. O algoritmo se baseia em uma matriz quadrada de custo ($A_{i,j}$), onde as [i linhas x j colunas] representam os números de conexões entre os nós e cada elemento $a_{ij} \in A_{i,j}$ representa o custo operacional em um par de nós (i,j). O resultado da matriz mencionada anteriormente pode variar em tempo-real sob demanda de tráfego.

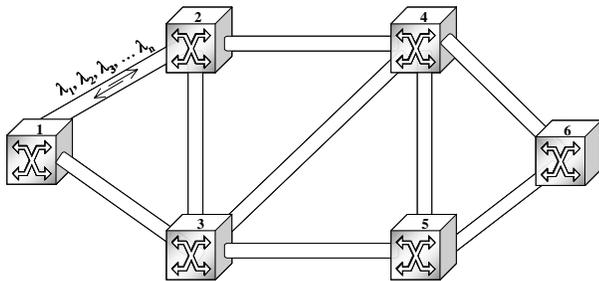


Figura 4. Exemplo de uma rede óptica virtual DWDM.

3.2. Simulação

Baseado nas equações previamente definidas, a rede óptica na simulação é modelada seguindo alguns parâmetros abaixo:

- OEXC = STM-16 (2.5Gbps) com 16 comprimentos de ondas para cada ligação;
- Enlace = é bidirecional;

$$\cdot \text{Distância} = \begin{Bmatrix} 0 & 50 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 50 & 0 & 100 & 120 & 0 & 0 \\ 100 & 100 & 0 & 120 & 50 & 0 \\ 0 & 120 & 120 & 0 & 120 & 100 \\ 0 & 0 & 50 & 120 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 100 & 100 & 0 \end{Bmatrix} \text{ Km}$$

- O custo de comutação foi baseado na equação $N \log_2(N)$;
- De acordo com dados de comutação em equipamentos comerciais, adotou-se neste exemplo um atraso típico de 20µs.

O roteamento entre os nós (s,d) foi implementado utilizando o algoritmo de Dijkstra [11]. Este algoritmo foi adaptado para simular o roteamento dos comprimentos de onda de modo que pudesse determinar o caminho mais curto na rede baseado em estratégia de custo de mínimo. De acordo com a topologia da rede óptica considerada, fizemos, por exemplo, uma simplificação $\alpha=1$ e $\beta=1$ da equação 01 com a finalidade de prover o mesmo peso (importância) dos custos de comutação e enlace. Por meio das equações mencionadas acima, a matriz de custo é definida a seguir:

$$A = \begin{Bmatrix} \infty & 3 & 5 & \infty & \infty & \infty \\ 3 & \infty & 5 & 6 & \infty & \infty \\ 5 & 5 & \infty & 6 & 3 & \infty \\ \infty & 6 & 6 & \infty & 6 & 5 \\ \infty & \infty & 3 & 6 & \infty & 5 \\ \infty & \infty & \infty & 5 & 5 & \infty \end{Bmatrix} \text{ Mbit.}$$

Nesta matriz de custo, os trechos que não possuem enlaces são representados por (∞) como lógica de programação do algoritmo. Além disso, o roteamento considera somente com números inteiros no algoritmo. Definiu-se neste trabalho que o valor de custo é igual em ambas direções ($A_{i,j}=A_{j,i}$) porque o enlace é bidirecional.

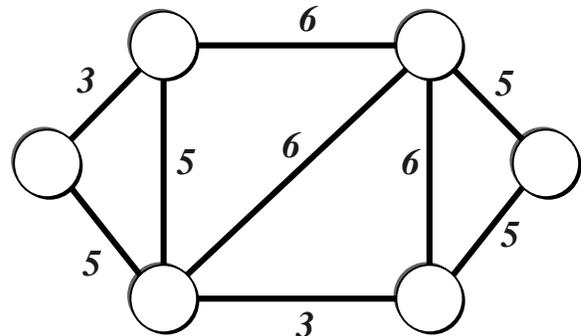


Figura 5. Rede com seis nós e com os valores de custo.

Ao executar o algoritmo, exige-se como parâmetros de entrada: o nó origem, o nó destino e a matriz de custo definida através da topologia, [13]. Por exemplo, o nó 1 (nó origem s) deseje

comunicar com o nó 6 (nó destino d) conforme ilustrado na Figura 6, em outras palavras, deve-se estabelecer uma conexão entre os dois nós (s,d). O próximo passo do algoritmo consiste em encontrar o caminho mais curto de menor custo e, como resultado, é mostrado o caminho de luz entre os nós por onde o tráfego irá fluir. Neste exemplo, o simulador determinou o caminho mais curto com um custo total de 13Mb ($= 5+3+5$).

```
Prompt: command
C:\teap\ois>algoritmo
*****
***** Simulation of the Router *****
*****
What is the starting node?> 1
What is the ending node?..> 6
Path is: 1 3 5 6
C:\teap\ois>
```

Figura 6. Executando a simulação.

4. Conclusão

Este artigo investigou uma função de custo mínimo proposta pelos autores para obtenção do menor caminho óptico por onde será transportado o tráfego de dados. Conforme apresentado na seção 2, o ASON obtém informações da topologia da rede óptica e outros parâmetros da rede, por exemplo: o número de comprimentos de onda disponíveis em cada enlace, de modo a determinar uma rota alternativa para o transporte de dados. A sinalização e a comunicação entre os nós ópticos serão trocadas pelos planos de controle e transporte gerenciado pelo ASON MP, mostrado na Figura 2. O ASON é responsável por prover uma restauração distribuída para rede óptica caso qualquer ligação de *lightpath* considerado falhar (por exemplo: corte da fibra). Neste sentido, o objetivo deste estudo é investigar com maior profundidade funções de custo mínimo e implementá-las no sistema de gerência do ASON, provendo o melhor aproveitamento dos recursos da rede. O ASON executará a função de custo mínimo, configurando cada elemento de rede para viabilizar um caminho óptico otimizado (*lightpath*) entre os nós origem e destino.

5. Referências

- [1] V. Anand, Tushar K., C. Quio, "Profitable connection assignment in all-optical WDM Network", in *Proc. ONW'2000*, Dallas, Texas, January 2000.
- [2] J. S. Turner, "WDM Burst Switching", INET'99, California, June 1999.
- [3] B. Van Caenegem, W. Van Parys, P. Demeester, E. Iannone, F. Bentivoglio, "Internal Connectivity of Optical Crossconnects in Opaque Networks", in *Proc. OFC'99*, San Diego, California, February 1999.
- [4] F. Bentivoglio, E. Iannone, "The Opaque Optical Network", *Optical Network Magazine*, pp. 24-31, October 2000.
- [5] Draft G. ASON, v.03, ITU-T, November 2000.
- [6] R G. Dante, V. A. Nacamura, "Redes Ópticas Automaticamente Comutadas", IC WORLD Magazine, Siemens ICN, Brazil, January 2001.
- [7] B. Jamoussi, "MPLS Explicit Routing", Nortel Networks, www.nortelnetworks.com/mpls, Agosto 2000.
- [8] T. W. Chung, J. Coulter, J. Fitchett, S. Mokbel, B. St. Arnaud, "Architectural and Engineering Issues for Building an Optical Internet", CANARIE Inc, Draft, September 1998.
- [9] K.R. Venugopal, E. E. Rajan, P. Screenivasa Kumar, "Impact of wavelength converters in wavelength routed all-optical networks", Chennai 600.036, October 1998, pp. 244-257.
- [10] H. Harai, F. Kubota, "Topological Design of WDM Networks Accommodating Wavelength Paths", Technical Conference 3843, September 1999 - Tokyo.
- [11] M.C. Sinclair, "Minimum Cost Routing and Wavelength Allocation Using a Genetic-algorithm/Heuristic Hybrid Approach", in *Proc. 6th IEE Conf. on Telecommunications*, pp.67-71, Edinburgh, UK, March/April 1998.
- [12] Scott Gasch, "Algorithm Archive", *Id: alg.tex*, v 1.9, pp.87-92, January 1999.
- [13] Collaboration of the Teacher Akebo Yamakami (Department of Telematic – UNICAMP) and Alberto Paradisi (R&D of the CPqD – Telebrás).