

# Proteção por Roteamento em Sub-Grafos em Redes WDM de Caminhos Ópticos

Rafael Ribeiro

**Resumo**—Proteção e restauração são atualmente questões cruciais no projeto de redes WDM de caminhos ópticos. Com o aumento da capacidade de transmissão por fibras ópticas utilizando a tecnologia WDM, cresce também a necessidade de se garantir a integridade do serviço. Recentemente, [1] propôs um novo mecanismo de proteção de caminho contra falhas simples em enlaces da rede baseado no roteamento em sub-grafos (SGRP), que supera em eficiência a tradicional Proteção por Compartilhamento de Caminhos de Proteção. Neste projeto de iniciação científica algumas variações do SGRP foram analisadas e comparados em eficiência e complexidade computacional.

**Palavras-Chave**—Proteção e Restauração, Proteção por Roteamento em Sub-Grafos, Redes Ópticas, WDM

**Abstract**—Today protection and restoration are key factors in the design of WDM networks. As the transmission capacity of optical fibers grows, the need of guaranteeing service integrity becomes crucial. Recently, [1] proposed a new protection mechanism against single link failures based on sub-graph routing (SGRP) which outperforms the capacity efficiency of the traditional Shared Backup Path Protection. In this undergraduate research project some SGRP variants were analyzed and compared in terms of capacity efficiency and computational complexity.

**Keywords**—Protection and Restoration, Sub-Graph Routing Protection, Optical Networks, WDM

## I. INTRODUÇÃO

Com o aumento de aplicações críticas de Internet e outras redes clientes, há uma demanda crescente pela confiabilidade dos serviços, sobretudo nas redes de alta velocidade. Uma única falha pode interromper o serviço de milhões de usuários, gerando grandes prejuízos aos clientes e também às prestadoras de serviços.

Para oferecer diferentes classes de confiabilidade, adequadas às exigências dos clientes, operadoras de redes ópticas de transporte podem reservar recursos extras da rede para garantir o reestabelecimento da conexão em caso de falha. Os mecanismos de proteção podem ser classificados de acordo com sua escalabilidade, dinamicidade, capacidade de oferecer classes de serviços, eficiência computacional, velocidade de restauração e eficiência em capacidade. Apesar de mecanismos de proteção já terem sido amplamente investigados para topologias em anel, a proteção em malha vem lançando novos desafios.

## II. PROTEÇÃO EM REDES ÓPTICAS

Os mecanismos de proteção são tradicionalmente classificados em: proteção de enlace e proteção de caminho [2]. Na

proteção de enlace um caminho alternativo é utilizado para prover conectividade aos nós adjacentes à falha. Já a proteção de caminho se caracteriza pela alocação, desde o nó origem até o nó destino, de capacidade de reserva específica para cada conexão. A proteção de caminho é mais adequada à oferta de classes de qualidade de serviço, pois permite o tratamento diferenciado de cada conexão.

Na proteção por caminho dedicado, para cada caminho óptico ativo é reservado um caminho de proteção exclusivo totalmente disjunto do primeiro. Já na proteção por compartilhamento de caminhos de reserva, várias conexões compartilham total ou parcialmente sua capacidade de proteção. Para que duas ou mais conexões possam compartilhar recursos de proteção elas devem possuir caminhos disjuntos em toda a sua extensão a fim de respeitar a restrição de grupo de enlaces com risco compartilhado (SRLG) [3].

## III. PROTEÇÃO POR ROTEAMENTO EM SUB-GRAFOS (SGRP)

Na SGRP, caminhos de trabalho e de proteção não precisam ser necessariamente disjuntos em toda sua extensão, já que é possível atribuir um caminho de proteção diferente para cada falha ocorrida na rede. A proteção por roteamento em sub-grafos mostrou-se mais eficiente do que a já consolidada Proteção com Compartilhamento de Caminhos de Reserva em termos de utilização da rede e probabilidade de bloqueio de futuras requisições. Dois conceitos importantes para a SGRP são:

- i) Rede Base: estado da rede com todos os seus enlaces intactos;
- ii) Sub-grafo: topologia que representa o estado da rede quando uma única falha ocorre. Para cada topologia de N enlaces existem N sub-grafos correspondentes.

Na SGRP para que uma conexão seja aceita é necessário que ela seja roteada na rede base e em todos os seus sub-grafos. No caso de uma falha simples de algum enlace, a rede incorpora o estado representado pelo sub-grafo correspondente, garantindo 100% de proteção contra falhas simples para todas as conexões ativas na rede.

### A. RWA sem restrições

Nesta estratégia [1] o RWA (Roteamento e alocação de comprimento de onda) nos sub-grafos é totalmente independente do RWA na rede base, o que pode causar a realocação altruísta das conexões, ou seja, conexões que não são diretamente atingidas por uma determinada falha podem ter seu caminho e/ou comprimentos de onda realocados, causando interrupções indesejáveis no serviço.

Rafael Ribeiro é orientado pelo prof. Helio Waldman e faz parte do OptiNet - Optical Networking Laboratory/DECOM/FEEC/UNICAMP. Caixa Postal 6101, 13083-852, Campinas, SP, BRASIL. E-mail: rafaelpr@decom.fee.unicamp.br

### B. RWA com restrição de caminho e comprimento de onda

No RWA com restrições [4] para que uma conexão seja aceita, deve manter o mesmo caminho e comprimento de onda da rede base em todos os sub-grafos, exceto naqueles que representam falhas em enlaces do caminho dessa conexão na rede base. Consequentemente, essa restrição elimina o problema de realocação altruísta. No entanto, aumenta consideravelmente a probabilidade de bloqueio de futuras conexões.

### C. RWA sem restrições + planejamento entre chegadas (IAP)

O planejamento entre chegadas [5] minimiza a realocação altruísta através da execução de uma heurística de otimização entre a chegada de dois eventos consecutivos, que podem ser uma requisição ou uma desativação de conexão. A idéia do IAP é priorizar as conexões que não são atingidas diretamente pelas falhas, mantendo o mesmo caminho e comprimento de onda da rede base nos sub-grafos correspondentes. Para as conexões afetadas diretamente pela falha, utiliza-se a capacidade restante disponível.

### D. RWA com planejamento na chegada (OAP)

O planejamento na chegada [6] é análogo ao IAP, porém é realizado antes da aceitação da requisição. O desempenho em capacidade do OAP é ainda melhor que o do RWA sem restrições, com a grande vantagem de que a realocação altruísta é completamente eliminada. No entanto apresenta a mais alta complexidade computacional entre os métodos analisados.

### E. RWA com colorimento flexível

No RWA com colorimento flexível de conexões [7], o planejamento é também análogo ao IAP, porém apresenta baixa complexidade computacional. A diferença é que uma vez definido um caminho em um sub-grafo, ele é mantido a cada nova otimização. Porém, o comprimento de onda pode variar, o que permite uma boa eficiência em capacidade.

## IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

O desempenho de cada um dos mecanismos do SGRP foram avaliados através do simulador de Redes Ópticas para tráfego dinâmico desenvolvido em linguagem JAVA no OptiNet (Optical Networking Laboratory) da Universidade Estadual de Campinas. Foram simuladas 4 topologias com diferentes níveis de conectividade. Nota-se que o RWA com restrições apresenta a maior probabilidade de bloqueio, seguido pelo colorimento flexível. O mecanismo RWA sem restrições e o IAP apresentam a mesma probabilidade de bloqueio, já que o critério de aceitação de ambos é idêntico. No entanto, o segundo é capaz de minimizar significativamente a realocação altruísta.

O melhor desempenho em todas as topologias simuladas foi conseguido através do OAP. Por exemplo, para a rede Mesh Torus 3x3 até 10 Erlangs, praticamente toda a probabilidade de bloqueio é devida à falta de capacidade na rede base e não ao roteamento nos sub-grafos. Isso significa que o custo em termos de capacidade reservada é praticamente zero para tráfegos inferiores a esse valor.

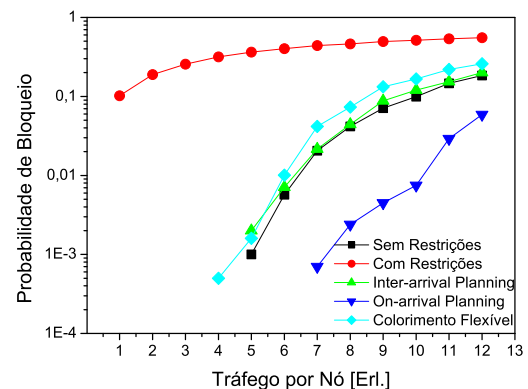


Fig. 1. Resultados da simulação para a rede Mesh Torus 3x3

## V. CONCLUSÕES

A proteção por roteamento em sub-grafos é um mecanismo inovador e eficiente em capacidade. Com ele, ao custo de processamento computacional, é possível utilizar eficientemente os recursos da rede. Além disso, a SGRP é um mecanismo adequado à oferta de classes de serviço ou de conexões com garantias de disponibilidade. Sem dúvida, o OAP é o método que apresenta a melhor eficiência em capacidade, porém, apresenta o maior custo computacional. Já o RWA com restrições apresenta baixa complexidade mas baixa eficiência. Por outro lado, o RWA com colorimento flexível apresenta eficiência e complexidade intermediárias, e pode representar uma solução viável.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. T. Frederick and A. K. Somani, "A single-fault recovery strategy for optical networks using subgraph routing," in *Proc. ONDM'03*, Feb. 2003, pp. 549–568.
- [2] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, *Optical Networks: a Practical Perspective*. Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [3] H. T. Mouftah and P.-H. Ho, *Optical Networks: Architecture and Survivability*. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [4] P. Datta, M. T. Frederick, and A. K. Somani, "Sub-graph routing: a novel fault-tolerant architecture for shared-risk link group failures in WDM optical networks," in *Proc. DRCN'03*, Oct. 2003.
- [5] D. A. A. Mello, J. U. Pelegri, M. S. Savasini, G. S. Pavani, and H. Waldman, "Inter-arrival planning for sub-graph routing protection in WDM networks," in *ICT*, ser. Lecture Notes in Computer Science, J. N. de Souza, P. Dini, and P. Lorenz, Eds., vol. 3124. Springer, 2004, pp. 328–335.
- [6] D. A. A. Mello, J. U. Pelegri, M. S. Savasini, and H. Waldman, "On-arrival planning for sub-graph routing protection in WDM networks," in *Optical Networks and Technologies Conference - Pisa - Italy*, Oct. 2004.
- [7] M. S. Savasini, D. A. A. Mello, J. U. Pelegri, and H. Waldman, "Colorimento flexível de caminhos de proteção em redes Ópticas WDM protegidas por sub-grafos," in *XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Belém - PA - Brazil*, Sept. 2004.