

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Pedro Fernando Moreira Pinheiro

**GERÊNCIA EM REDES GMPLS:
Vantagens e Desvantagens de sua Implementação**

Rio de Janeiro

2005

Pedro Fernando Moreira Pinheiro

**GERÊNCIA EM REDES GMPLS:
Vantagens e Desvantagens de sua Implementação**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ

Prof. Luci Pirmez – Orientadora
D.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil

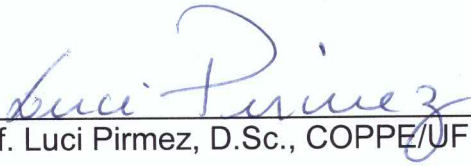
Rio de Janeiro
2005

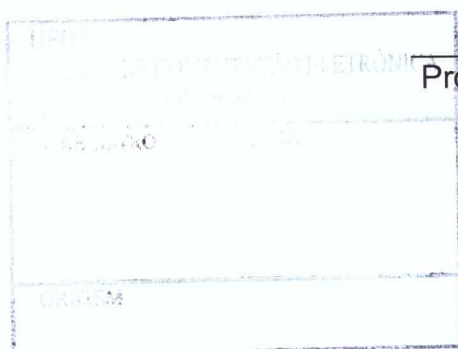
Pedro Fernando Moreira Pinheiro

**GERÊNCIA EM REDES GMPLS:
Vantagens e Desvantagens de sua Implementação**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ

Aprovada em Dezembro de 2005.


Prof. Luci Pirmez, D.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil



Michele e Rafael, obrigado pela compreensão, carinho e respeito. Este trabalho é dedicado a vocês.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Lúcia pelas longas conversas e incentivo, assim como dicas para o aprimoramento deste trabalho.

A Professora Luci Pirmez pela oportunidade e por acreditar no potencial deste trabalho.

Aos demais professores do MOT-CN que contribuíram no aperfeiçoamento e aprendizado.

Aos companheiros do MOT-CN, Jaime, Roberto, Bárbara, Carlos, Paulo, Oscar e Rui pelos momentos compartilhados e pelas intermináveis discussões que contribuíram para um melhor entendimento.

Aos companheiros da Cia. Libra de Navegação.

RESUMO

Pinheiro, Pedro Fernando Moreira. **GERÊNCIA EM REDES GMPLS: Vantagens e Desvantagens de sua Implementação.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

Com o advento de novos serviços baseadas em IP, a demanda por largura de banda nos *backbones* de internet cresce em ritmo acelerado. A necessidade de carregar cada vez mais tráfego mantendo os custos baixos aponta para que novas soluções sejam desenvolvidas e que possuam os requisitos de escalabilidade, flexibilidade, baixo custo e facilidade de operação. Atualmente, carregar este tráfego de maneira eficiente e com baixo custo tem sido um grande desafio, principalmente com a atual infra-estrutura baseadas em quatro camadas. Algumas propostas têm surgido para tentar resolver estes problemas. Dentre elas destaca-se o GMPLS. O GMPLS com suas extensões aplicadas a roteamento e sinalização vem se firmando como uma excelente solução para endereçar os atuais problemas encontrados na gerência e provisionamento dos grandes ISPs.

ABSTRACT

Pinheiro, Pedro Fernando Moreira. **GERÊNCIA EM REDES GMPLS: Vantagens e desvantagens de sua implementação.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

With the advent of new services based on IP, the need for bandwidth grows rapidly at the Internet backbones. The need of carry even more traffic and keep costs as lower as possible, points to new solutions with requirements of escalability, flexibility, low cost and easy of operation. Today, to carry this traffic in an efficient way and with low cost has been a great challenge, specially with the current infrastructure based in four layers. Some proposals have appeared to address these issues. Among them the GMPLS is distinguished.

The GMPLS and its extensions to the routing and signaling comes to setting itself as an excellent solution to address the current problems found in the management and provisioning of the great ISPs

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Evolução da infra-estrutura óptica	16
Figura 2 – Modelo <i>Overlay</i>	17
Figura 3 – Modelo <i>Peer</i>	18
Figura 4 – Hierarquia de LSPs	21
Figura 5 – Processo de formação de LSPs hierárquicos	22
Figura 6 – Proteção 1+1	22
Figura 7 – Proteção M:N	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP	Border Gateway Protocol
BGP	Border Gateway Protocol
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
GMPLS	Generalized Multiprotocol Label Switching
IGP	Interior Gateway Protocol
IP	Internet Protocol
IS-IS	Intermediate to Intermediate System
ISP	Internet Service Provider
LSA	Link State Advertisement
LSP	Label Switched Path
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NNI	Network-to-Network Interface
OBGP	Optical Border Gateway Protocol
OCX	Optical Cross Connector
OSPF	Open Shortest Path First
QoS	Quality of Service
RSVP	Resource reservation Protocol
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SONET	Synchronous Optical Network
SPF	Shortest Path First
SRGL	Shared Risk Group Link Information
TDM	Time Domain Multiplexing
TE	Traffic Engineering
UNI	User-to-Network Interface

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MOTIVAÇÃO.....	11
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	11
2	CONCEITOS BÁSICOS	12
2.1	MPLS	12
2.2	MPAS.....	15
2.3	EVOLUÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA ÓPTICA.....	15
2.4	MODELOS DE INTERCONEXÃO.....	17
2.4.1	<i>Modelo Overlay</i>	17
2.4.2	<i>Modelo Peer</i>	18
2.4.3	<i>Modelo Híbrido</i>	18
2.5	ROTEAMENTO EM REDES GMPLS	19
2.5.1	<i>Enlaces não numerados (Unnumbered links)</i>	20
2.5.2	<i>Hierarquia de LSPs (LSP hierarchy)</i>	21
2.5.3	<i>Tipo de proteção de enlaces (Link protection type)</i>	22
2.5.4	<i>Agregação de links (Link Bundling)</i>	24
2.5.5	<i>Grupo de enlaces com risco compartilhado (SRGL)</i>	24
2.5.6	<i>Descritor de capacidade de comutação da interface</i>	24
2.6	SINALIZAÇÃO EM REDES GMPLS	25
2.6.1	<i>Label Generalizado</i>	26
2.6.2	<i>Labels Sugeridos</i>	26
2.6.3	<i>Estabelecimento de caminhos bidirecionais</i>	26
2.6.4	<i>Mensagens notify</i>	27
2.7	LINK MANAGEMENT PROTOCOL	27
3	CONCLUSÃO	29
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Desde 1995, o tráfego de dados na Internet vem crescendo significativamente e em especial, o tráfego IP. Esta tendência de crescimento combinada com o uso extensivo de equipamento legados (SONET/SDH), apontam para uma clara necessidade de mudança na atual infra-estrutura da rede de dados. Esta mudança vem ocorrendo gradativamente, e com a implementação das redes de nova geração, que fazem uso de equipamentos ópticos, é necessário um novo modelo de integração entre as redes IP e Óptica. Além disso, este novo modelo deve prover serviços como engenharia de tráfego e garantia de qualidade de serviço. O GMPLS atende a estes requisitos, estendendo a arquitetura MPLS para atender a dispositivos que façam o encaminhamento de pacotes não somente baseados em IP ou células, mas também em lambdas, fatias de tempo e portas físicas, endereçando os problemas específicos apresentados por cada um destes dispositivos.

Este trabalho tem como meta principal apresentar o protocolo GMPLS, suas características e funcionalidades.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em três capítulos. No segundo capítulo, são apresentados os conceitos básicos do protocolo MPLS e do GMPS. Por fim, no terceiro capítulo, são apresentadas as conclusões finais e os possíveis trabalhos futuros.

2 CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo apresenta os conceitos básicos do MPLS (Multiprotocol Label Switching) [ROSEN,2001] e as extensões necessárias para que o protocolo GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) [MANIE,2004] possa interagir com as interfaces ópticas e TDM.

Este capítulo está organizado em 6 seções. A seção 2.1 mostra o protocolo MPLS. A seção 2.2 apresenta o MPLS e seu sucessor GMPLS. A seção 2.3 apresenta os principais modelos de interconexão que definem os níveis de integração entre o plano de controle das redes IP e Óptica. O Roteamento em Redes GMPLS é apresentado na seção 2.4. A seção 2.5 mostra como é efetuada a sinalização entre redes GMPLS. Por fim, a seção 2.6 descreve o protocolo LMP (Link Management Protocol).

2.1 MPLS

Em uma rede IP, o encaminhamento de pacotes é baseado no endereço IP de destino, contido dentro do cabeçalho do pacote e nas informações contidas nas tabelas de roteamento. Quando um roteador IP recebe um pacote, é verificado o endereço de destino da camada 3. Depois é realizada uma pesquisa em sua tabela de roteamento que mapeia o endereço de destino com o endereço do próximo salto ao longo do caminho, encaminhando assim o pacote para a interface de saída apropriada. Este processo ocorre individualmente em cada pacote recebido e é relativamente lento, especialmente quando a tabela é longa ou existe de qualidade de serviço.

Em 1997, o grupo de trabalho do IETF foi constituído para padronizar protocolos e abordagens para o MPLS (RFC3031). O MPLS foi constituído

principalmente para melhorar a velocidade de encaminhamento de pacotes. Embora o MPLS tenha surgido com esse intuito, outros benefícios ocorrem com a sua adoção, o que não é possível, apenas com o roteamento IP. Esses outros benefícios são descritos a seguir.

- Flexibilidade de roteamento - Os dados para um mesmo destino podem ser encaminhados por diferentes caminhos de acordo com a necessidade, utilizando-se engenharia de tráfego.
- Integração com tecnologias legadas - Redes ATM e Frame Relay que são baseadas em comutação de rótulos, podem utilizar suas próprias técnicas (VPI/VCI no ATM e DLCI no Frame Relay) para mapear os rótulos MPLS.
- Serviços adicionais - O estabelecimento de VPNs é trivial com o uso de comutação de rótulos.
- Extensão para novas tecnologias - O uso de rótulos em fluxos de dados é um conceito útil nas novas tecnologias que utilizam redes ópticas e redes TDM.

No MPLS, os pacotes recebem uma etiqueta no roteador de ingresso (LER) chamada *shim header*. É responsabilidade do roteador de ingresso a definição de qual LDP (*Label Distribution Protocol*) será utilizado. O pacote é rotulado e passa a ser encaminhado a partir desta etiqueta. Os roteadores intermediários conhecidos por *Label Switching Routers* (LSR), recebem o pacote rotulado na interface de entrada, retiram a etiqueta, checam em suas tabelas (*Label Forwarding Information Base*), inserem a nova etiqueta a ser utilizada e encaminham para a interface de saída.

Esta tabela consiste em um par: interface entrada/label e interface de saída/label. O processo de preenchimento desta tabela pode ser feito manualmente ou através de protocolos de sinalização.

Os LSR (*Label Switching Routers*) que estão dentro do LSP (*Label Switched Path*) realizam seu encaminhamento baseados em etiquetas, eliminando assim a necessidade de verificar o cabeçalho IP de cada pacote. Deve ser ressaltado que a necessidade de verificar o cabeçalho IP ocorre apenas nos roteadores de borda fazendo com que o encaminhamento dos pacotes nos roteadores intermediários seja feito de forma mais otimizada.

Quanto à escalabilidade da rede, uma hierarquia de *labels* é definida com o intuito de aumentá-la, possibilitando a criação de túneis e agregando LSPs no núcleo, sem perder as informações dos roteadores de borda. Apenas o rótulo superior é utilizado no encaminhamento.

Extensões específicas de sinalização foram introduzidas nos protocolos *Label Distribution Protocol* (LDP) [RFC 3036] e no protocolo *Resource Reservation Protocol* (RSVP) [RFC3209]. Embora o MPLS não especifique qual protocolo de sinalização deverá ser usado, percebe-se que o RSVP é utilizado na maioria das implementações.

A função dos protocolos de sinalização é a distribuição de informações de rótulos entre os nós da rede, estabelecendo assim os caminhos a serem utilizados. Estas informações ocorrem, do ponto de vista do fluxo de dados, do roteador de egresso para o roteador de ingresso

Além disso, importantes modificações também ocorreram nos protocolos de roteamento OSPF-TE e IS-IS-TE para incluir informações mais detalhadas dos enlaces TE (*Traffic Engineering*) a respeito do status e da utilização dos recursos da rede. Com estas modificações, os caminhos (LSP) podem ser estabelecidos explicitamente obedecendo a requisitos de *jitter*, *delay*, disponibilidade, etc.

2.2 MPLS

A tecnologia óptica, ao ser introduzida no setor de telecomunicações, teve sua principal utilização na interconexão ponto-a-ponto de equipamentos SONET/SDH. Com o advento do DWDM, passou a ser possível multiplexar vários comprimentos de ondas na mesma fibra, tornando a estrutura mais complexa. O aumento do tráfego e a expansão da infra-estrutura da rede fizeram com que reconfigurações de equipamentos ópticos passassem a ser feitas com maior frequência, tornando inadequado o método manual de configuração. O método manual não é escalável e apresenta probabilidade de erro considerável por parte do operador. Em caso de falhas, o tempo de convergência da rede podia ser bem alto. Para automatizar o procedimento de provisionamento, surge o MPLS que se baseia na idéia de que um *lambda* pode ser comparado com uma etiqueta.

O grupo de trabalho do IETF percebeu que poderia aplicar os mesmos princípios também para multiplexação por tempo, fibras e portas físicas. Esta generalização levou o MPLS a evoluir até o GMPLS.

2.3 Evolução da infra-estrutura óptica

A atual estrutura de transporte baseia-se em Sonet/SDH e provê desempenho e confiabilidade adequados para linhas de voz. Estima-se que desde 1995, o volume de tráfego de dados ultrapassou o tráfego de voz. Evidentemente, nos próximos anos o crescimento do volume de dados continuará a ocorrer. Os *ISPs (Internet Service Providers)* buscavam soluções para tornar possível tratar volumes maiores de tráfego e ao mesmo tempo manter os custos baixos. A grande dificuldade de conseguir tais objetivos com a atual infra-estrutura de dados é devido a problemas de escalabilidade dessa estrutura de transporte e ao overhead causado pelas

camadas de protocolos. Estas camadas são: IP, para carregar serviços e aplicações; ATM, para prover engenharia de tráfego e criar canais virtuais, que criam adjacências de roteamento na camada IP; SONET/SDH, como transporte sobre a fibra óptica e a conectividade ponto a ponto e DWDM, como multiplicador da capacidade de transmissão das fibras através do uso de multiplexação utilizando *lambdas* (BANERJEE, et al, 2001).

O custo de multiplexação deve ser com a utilização de tecnologias como DWDM e OCX, que evitam o processamento eletrônico de pacotes e se apresentam como boas soluções.

As altas taxas de transmissão de dados tornam ineficiente o uso das camadas ATM e Sonet/SDH. O IP tem de se integrar diretamente com DWDM e para que isto seja possível, as funções das camadas restantes devem fornecer as mesmas funcionalidades das camadas retiradas. A proposta de estender o MPLS para o plano óptico cria um plano de controle unificado, onde ambientes heterogêneos, com múltiplos fabricantes, passam a se integrar transparentemente, sem a necessidade de utilizar soluções proprietárias. O objetivo disto é: uma maneira mais simples e efetiva de carregar dados.

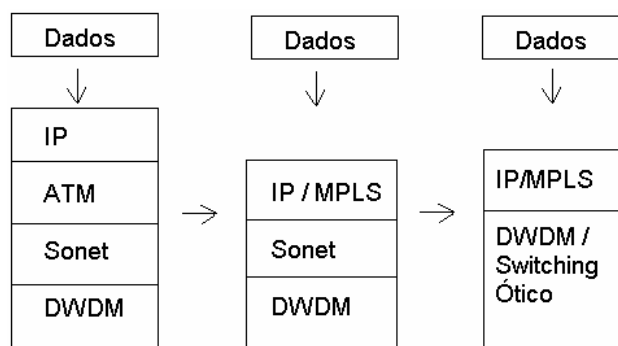


Figura 1 – Evolução da infra-estrutura óptica
Fonte: Adaptado de Banerjee et al. (2001).

2.4 MODELOS DE INTERCONEXÃO

Os modelos de interconexão definem os níveis de integração entre plano de controle das redes IP e óptica. Três modelos são propostos (BANERJEE, et al, 2001), a saber:

2.4.1 Modelo *Overlay*

A estrutura interna óptica, neste modelo, é completamente transparente para o plano de encaminhamento de dados, resultando em dois planos de controles distintos e com a mínima interação entre eles. Um plano de controle opera diretamente no núcleo da rede e o outro, entre o núcleo e os dispositivos de borda. Este modelo é similar ao utilizado para prover serviços IP usando a infra-estrutura ATM

Os dispositivos de borda que suportam caminhos ópticos são dinamicamente sinalizados através do núcleo ou estaticamente provisionados.

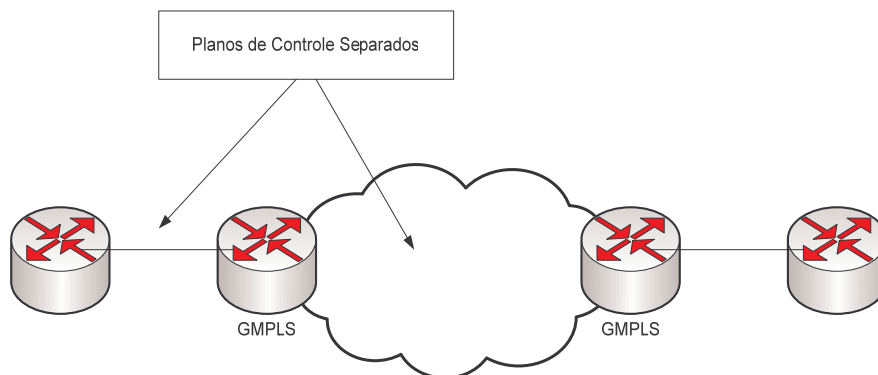


Figura 2 – Modelo *Overlay*
Fonte: Adaptado de Banerjee et al. (2001).

2.4.2 Modelo *Peer*

O que caracteriza o modelo *Peer* é a capacidade de interação dos dispositivos de borda com os elementos do núcleo. Todos os roteadores participam do processo de decisão de roteamento e escolha do caminho. A principal vantagem é que existe apenas um plano de controle com uma melhor escalabilidade para os protocolos de IGP (Internal Gateway Protocol) já que neste modelo todos os roteadores fazem uma relação de adjacência com seus vizinhos. Esta forma é similar à utilizada nas redes MPLS.

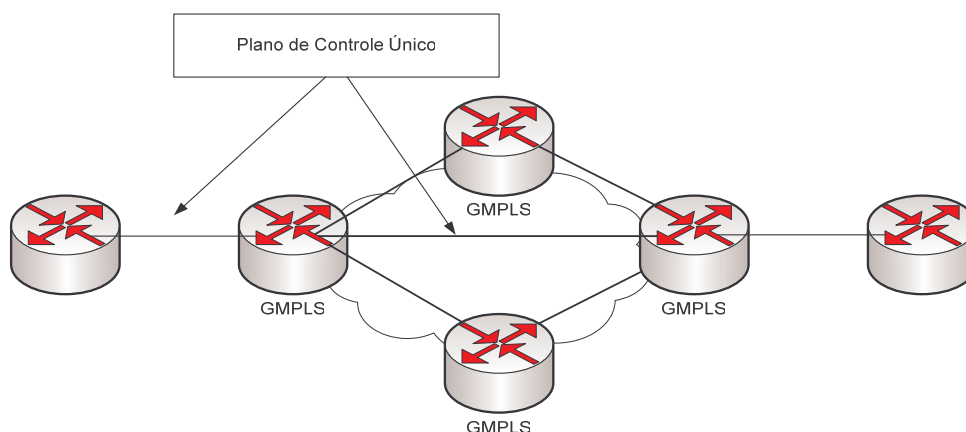


Figura 3 – Modelo *Peer*
Fonte: Adaptado de Banerjee et al. (2001).

2.4.3 Modelo Híbrido

Este modelo é um meio termo entre os dois modelos anteriores. Utiliza planos de controle separados, embora trocas (limitadas) de informações de roteamento sejam feitas pelos dispositivos de roteamento com os dispositivos ópticos da borda. A próxima geração de redes ópticas deverá utilizar o Modelo *Peer* e como neste momento a adoção completa ainda é inviável (OLIVEIRA, 2005), o modelo híbrido se

apresenta como uma solução natural para que esta migração seja feita o mais suavemente possível.

2.5 Roteamento em Redes GMPLS

A implementação do GMPLS requer algumas modificações nos protocolos de roteamento e de sinalização devido a particularidades dos equipamentos ópticos. Estas alterações possuem um método unificado de rápido provisionamento, restauração, monitoração e gerenciamento da rede de dados e rede óptica, mantendo ao mesmo tempo, a interoperabilidade entre diferentes fabricantes e o controle de equipamentos que realizam qualquer tipo de encaminhamento, além dos orientados a pacotes.

As redes GMPLS reutilizam os protocolos de IGP já que foram amplamente testados e utilizados ao longo dos anos (HALABI, 2003). As informações são carregadas dentro dos protocolos de roteamento como OSPF-TE (KOMPELLA, REKHETER, 2003) e IS-IS-TE (SMIT, 2004) que foram adaptados para tratar as informações de recursos da rede, requeridos pelo GMPLS. Atualmente os esforços estão concentrados no roteamento intradomínio, mas já existem estudos feitos para roteamento interdomínios, como é o caso do OBGP (Optical Border Gateway Protocol) (BLANCHET, 2001).

Com a completa separação dos planos de controle e de dados, os protocolos de roteamento passam a ter uma função restrita de disseminar as informações de topologia da rede e do estado dos enlaces. Estas informações são enviadas através de mensagens do tipo LSA (Link State Advertisement) propagadas pelos protocolos de IGP. Grande parte das extensões do GMPLS é baseada nessas mensagens. Os protocolos de menor caminho (SPF) normalmente não levam em conta certas

restrições tais como: largura de banda, capacidade de proteção, etc. e, por isso, são adaptados para trabalhar com o GMPLS que exige o uso de engenharia de tráfego, principalmente para os esquemas de comutação diferentes daqueles baseados em pacotes. Além disto, problemas de escalabilidade destes protocolos podem ser verificados quando temos uma rede com elementos altamente conectados, especialmente redes ópticas, onde dois nós adjacentes podem ter vários enlaces entre eles.

O GMPLS introduz o conceito de enlace TE que é a unidade de trabalho dos protocolos de IGP estendidos. Estes enlaces agregam as informações de engenharia de tráfego e podem representar um enlace lógico e não mais um enlace físico reduzindo assim o problema de escalabilidade.

A seguir serão apresentadas as extensões introduzidas aos protocolos de IGP pelo GMPLS.

2.5.1 Enlaces não numerados (Unnumbered links)

No mundo IP, todos os enlaces recebem um endereçamento. Quando o caminho é calculado, os enlaces são identificados pelo seu endereço IP. Porém, a adoção do IP para enlaces ópticos torna-se um problema sério, pois pode haver uma quantidade muito grande de fibras, lambdas e canais TDM. Para contornar este problema e identificar unicamente um dispositivo na rede, é necessário que uma nova forma seja usada. Todos os dispositivos possuem um Router ID e internamente estes dispositivos possuem um esquema de numeração onde todas as suas interfaces são identificadas. A tupla Router ID/ número da interface é usada para identificar cada um dos enlaces pertencentes a um dispositivo.

2.5.2 Hierarquia de LSPs (LSP hierarchy)

Uma hierarquia de LSPs ocorre quando um LSP é criado dentro de outro LSP (*tunneling*), onde o LSP de mais alta ordem serve como um enlace para o novo LSP criado. No GMPLS é necessário que um LSP comece e termine em dispositivos com as mesmas capacidades.

O problema específico da natureza discreta da largura de banda óptica e tdm, pode ser contornado com a utilização de hierarquia de LSP onde um LSP pode utilizar menos recurso que o dispositivo permite e liberar o restante para outros LSPs.

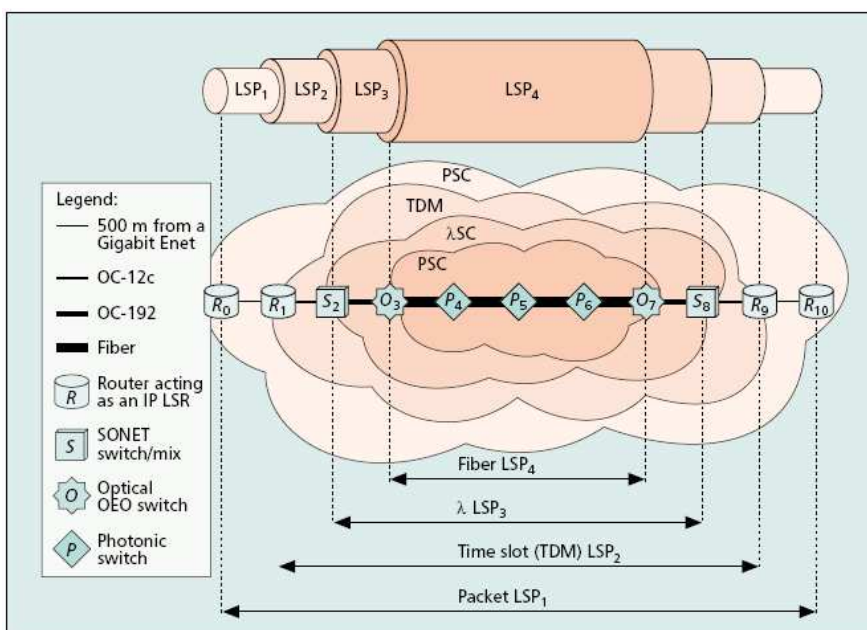


Figura 4 – Hierarquia de LSPs
Fonte: Banerjee et al. (2001).

O processo de criação de LSPs também é hierárquico onde um LSP pode forçar a criação de outro de ordem mais alta. Este processo é ilustrado na figura 5.

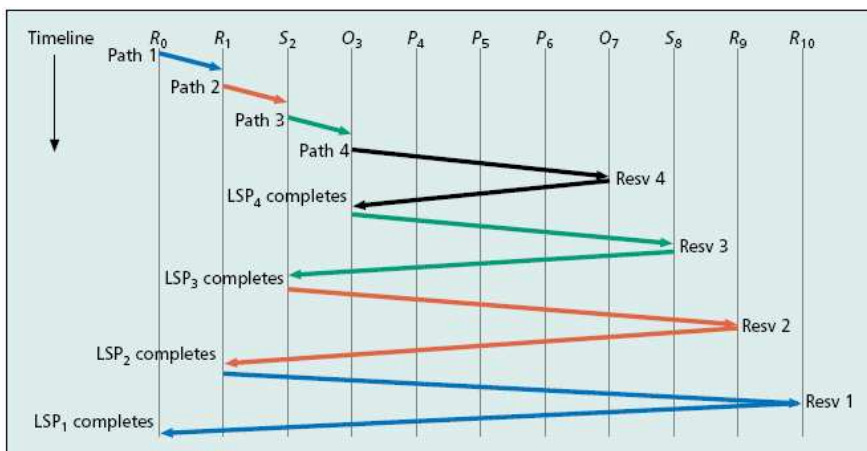


Figura 5 – Processo de formação de LSPs hierárquicos
Fonte: Banerjee et al. (2001).

2.5.3 Tipo de proteção de enlaces (Link protection type)

Para manter a confiabilidade da rede óptica, o GMPLS deve suportar um esquema de proteção. A proteção pode atuar em dois enlaces adjacentes (*span protection*) ou fim-a-fim (*path protection*). Os métodos são descritos a seguir.

- 1+1 - Os dados são transmitidos simultaneamente nos dois enlaces, um funcional e outro de proteção. O caminho que tiver o melhor sinal é usado como o funcional. Este método normalmente é bastante oneroso, devido à necessidade de criar um caminho adicional para cada enlace que vai ser protegido.

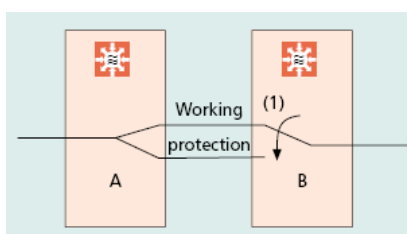


Figura 6 – Proteção 1+1
Fonte: Banerjee et al. (2001).

- M:N - M canais de proteção são pré-allocados para cada N enlaces principais. Neste método, os dados não são espelhados entre os dois enlaces, sendo enviados pela proteção apenas quando ocorre uma falha no caminho principal. Existem casos especiais 1:N onde um caminho é alocado para N principais e 1:1 onde um caminho existe para cada enlace principal.

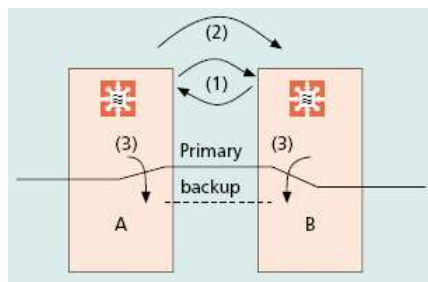


Figura 7 – Proteção M:N
Fonte: Banerjee et al. (2001).

- Unprotected - indica que neste LSP nenhuma proteção deverá ser usada (proteção 0:1);
- Compartilhado - Indica que uma proteção 1:n deverá ser usada;
- Extra Traffic - Indica que o LSP poderá usar o enlace para outro tráfego e no caso de necessidade, o tráfego atual é interrompido para que o tráfego a proteger possa ser usado.

Além de proteção, o GMPLS provê o esquema de restauração. O diferencial entre estes dois métodos consiste que na proteção, um caminho é pré-allocado e na restauração, o caminho é recalculado quando ocorre algum problema. O uso da restauração não garante que os recursos estarão disponíveis em caso de falha e é calculado quando é necessário, não havendo uma alocação prévia do recurso.

2.5.4 Agregação de links (Link Bundling)

Entre dois dispositivos adjacentes é comum o uso de apenas um enlace de comunicação. Em redes ópticas, esta realidade é diferente. Entre dois nós pode haver várias fibras e dentro dessas fibras, pode haver centenas de lambdas. Para evitar problemas de escalabilidade com os protocolos de roteamento, enlaces podem ser anunciados como agregados. Embora haja alguma perda de informação, este método permite a diminuição da tabela de estado de enlace fazendo com que um menor número de enlaces seja anunciado.

Existem certas restrições para a agregação de enlaces. São elas:

- Devem começar e terminar no mesmo par de LSP;
- Devem possuir a mesma capacidade de encaminhamento;
- Devem ser do mesmo tipo (ponto-a-ponto, *multicast*).

2.5.5 Grupo de enlaces com risco compartilhado (SRGL)

Um grupo de enlaces de risco compartilhado é aquele no qual uma falha pode afetar todos os enlaces do conjunto. Um SRGL é identificado unicamente por um número de 32 bits dentro do IGP. A informação do SRGL é particularmente útil para cálculo de caminhos disjuntos para um esquema de proteção (OLIVEIRA, 2005).

2.5.6 Descritor de capacidade de comutação da interface

No GMPLS, uma interface pode possuir distintas capacidades de comutação. Um LSA carrega os descritores apenas da interface do LSR que originou o LSA. Uma interface pode ter mais de um descritor de capacidade (Fibra e Lambda, por exemplo).

Os seguintes descritores de capacidade são definidos em (KOMPELLA, REKHTER, 2003): Packet-Switch Capable-1 (PSC-1); Packet-Switch Capable-2 (PSC-2); Packet-Switch Capable-3 (PSC-3); Packet-Switch Capable-4 (PSC-4); Layer-2 Switch Capable (L2SC); Time-Division-Multiplex Capable (TDM); Lambda-Switch Capable (LSC); Fiber-Switch Capable (FSC).

2.6 Sinalização em redes GMPLS

Sinalização é um dos elementos chaves do plano de controle GMPLS. Suas principais funções são a criar, modificar e encerrar LSPs, além de reportar, tratar e corrigir erros em LSPs.

Todas as principais funções de sinalização do MPLS foram herdadas e algumas outras adicionadas devidas as características dos dispositivos ópticos e TDM.

A especificação da sinalização do GMPLS não impõe qual protocolo será utilizado, embora seja sugerido o uso de RSVP-TE (AWDUCHE, et. AL, 2001) e CR-LDP (JAMOUSSE, 2002). Esta escolha é definida pelo responsável da implementação do plano de controle. Este dois protocolos foram trabalhados paralelamente, embora atualmente, o grupo de trabalho do CR-LDP já tenha encerrado suas atividades (ANDERSSON, SWALLOW, 2003).

O RSVP foi projetado para manter a reserva de recursos ao longo de um caminho pré-existente. Com o surgimento do MPLS-TE passa a existir a necessidade de um protocolo que suporte a criação, manutenção e encerramento dos LSPs com as características já existentes no RSVP, passando a ser denominado RSVP-TE.

2.6.1 Label Generalizado

Para suportar dispositivos com diferentes propriedades de encaminhamento, o GMPLS generaliza os rótulos, de modo a definir tipos de Switching. Estas novas formas de rótulo são chamadas G-Labels ou generalized Labels e só possuem significados entre dois vizinhos. O nó que recebe o rótulo deve converter para um valor com significado local.

Existem cinco tipos diferentes de informações que podem ser associadas: MPLS label; Fiber label; Wavelength label; Waveband label; Time-slot Label.

2.6.2 Labels Sugeridos.

O dispositivo *upstream* pode sugerir o label para o dispositivo *downstream*. Este procedimento permite uma otimização no estabelecimento dos LSPs, principalmente em dispositivos ópticos que tem certa latência na sua configuração (por exemplo, posicionamento do espelho que pode ser um processo mecânico) . O dispositivo *downstream* pode sobrescrever a etiqueta, embora possa gerar com isso um tempo maior no estabelecimento e também utilizar uma alocação de recursos não otimizada.

2.6.3 Estabelecimento de caminhos bidirecionais

O estabelecimento de caminhos bidirecionais é quase sempre um requisito para os provedores de serviços. Normalmente estes caminhos têm em ambas as direções os mesmos requisitos de engenharia de tráfego, QoS e recursos. Em

MPLS, o estabelecimento destes caminhos é unidirecional, já no GMPLS podemos estabelecer caminhos bidirecionais que proporcionam as seguintes vantagens:

- Latência para estabelecimento de caminhos bidirecionais é menor já que utiliza apenas um *round trip time* para o completo estabelecimento;
- Menor *overhead* de controle - Estabelecer dois caminhos em sentidos contrários irá gerar o dobro de tráfego;
- Alguns equipamentos, em particular Sonet/SDH, usam caminhos salto a salto para proteção e sinalização *in-band* isto requer que as conexões sejam estabelecidas em pares.

2.6.4 Mensagens notify

As reações às falhas em ambientes ópticos devem ser decididas rapidamente e de forma inteligente. O GMPLS provê um mecanismo para informar aos nós não adjacentes de uma falha no LSP. Isto é particularmente útil em ambientes ópticos, onde a notificação de falha deve atravessar os nós de forma transparente para poder comunicar diretamente com o dispositivo responsável por restaurar as conexões. Outros nós no caminho irão apenas repassar as mensagens até que seja alcançada a estação de gerência. Este mecanismo foi adicionado ao RSVP-TE sendo inexistente no CR-LDP.

2.7 Link Management Protocol

As redes ópticas da próxima geração estão sendo projetadas para operar com um único plano de controle (GMPLS) para a alocação dinâmica de recursos. Entre dois nós podem existir centenas de interconexões e estes dois nós devem ser

alcançáveis. Assim, o plano de controle pode ser diferente do plano de dados. A vantagem disto é que a sinalização de controle não é dependente do plano de dados, isto é, do encaminhamento de tráfego.

O LMP é usado para gerenciar enlaces e verificar a alcançabilidade do canal de controle e suas extensões tem as seguintes funções: Gerenciamento de propriedade dos enlaces; Gerenciamento do canal de controle; Gerenciamento da conectividade do enlace; e Gerenciamento de falhas.

3 CONCLUSÃO

O GMPLS está presente na próxima geração de redes ópticas e de dados. Esta evolução está ocorrendo gradativamente com a adoção de roteadores de altíssima velocidade interconectados por redes totalmente ópticas e gerenciadas pelo protocolo IP.

A gerência em redes com multicamadas é muito mais complexa do que a de redes IP puras, pois é necessário manter a informação de todos os LSPs, assim como seus parâmetros de TE, status operacionais, caminhos, etc., de cada uma das camadas.

O GMPLS vem para simplificar o processo de gerência e operação destas redes com a adoção de técnicas de roteamento e sinalização que permitem a redução de custos operacionais, abrindo assim novas oportunidades de negócios para os grandes ISPs e possibilitando redes cada vez mais confiáveis.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andersson L e Swallow G, "The Multiprotocol Label Switching (MPLS) Working Group decision on MPLS signaling protocols", IETF RFC 3468, Fevereiro. 2003.

Awduche D., et. al., "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels", IETF RFC 3209, Dezembro 2001.

Banerjee, a., et al, "Generalized Multiprotocol Label Switching: An overview of routing and management enhancements", IEEE Communications, Vol. 38, No. 1, Jan. 2001

Banerjee, a., et al, "Generalized Multiprotocol Label Switching: An overview of signaling enhancements and recovery techniques", IEEE Communications, Vol. 44, No. 7, Jul. 2001.

Blanchet, M. et al, *Optical BGP(OBGP)L InterAS lightpath provisioning*, Internet draft, ietf-draft-parent-obgp-01.txt, Agosto de 2001

D. Awduche et al, *Overview and Principles of Internet Traffic Engineering*, RFC-3272, IETF, maio de 2002.

D. Awduche et al, *Requirements for Traffic Engineering Over MPLS*, RFC-2702, IETF, setembro de 1999.

Halabi, S., *Metro Ethernet*, Cisco Press, 2003.

Jamoussi B., Editor, "Constraint-Based LSP Setup using LDP", IETF RFC 3212, Janeiro 2002.

K. Kompella, Y. Rekhter, *Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2*, RFC-3630, IETF, Setembro de 2003

Kompella K., Rekhter Y., Editors, "Routing Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", Internet Draft, draft-ietf-ccamp-gmpls-routing-09.txt, Out. 2003.

Manie, E. et al, *Generalized Multiprotocol Label Switching Architecture*, RFC-3945, IETF, Outubro de 2004.

Oliveira, J. et al. *Integração de redes IP com redes Ópticas*, SBRC 2005, Maio de 2005

Rosen, E. et al, *Multiprotocol Label Switching Architecture*, RFC-3031, IETF, Janeiro de 2001.

Smit, H. et. al., "*Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Traffic Engineering (TE)*", IETF RFC 3784, Junho de 2004.