



¹Rodrigo de Faria Baroni
²Aldivan Dantas Pereira Pinto
³Fabio Vericimo de Lima
⁴André Luiz Mendes

• Marcelo de Souza Freitas Cap Esp Com

MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS) NO COMANDO DA AERONÁUTICA

RESUMO

Este trabalho aborda a recente implantação da tecnologia do MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) no âmbito do Comando da Aeronáutica buscando uma maior difusão do assunto e possibilitando uma compreensão inicial do sistema e toda sua versatilidade de uso. Para tanto, introduz um breve histórico da concepção e padronização do sistema; apresenta os conceitos de funcionamento fundamentais da tecnologia em questão; busca suas vantagens e possibilidades de utilização. Por fim, reúne informações sobre o estágio atual de implantação do sistema e suas implicações para os profissionais envolvidos, em especial os Oficiais Especialistas em Comunicações.

Palavras-chave: MPLS, protocolo, transmissão de dados.

1- CFOE COM. Servia em 2005 no Centro Técnico Aeroespacial como Auxiliar de Administração de Rede. Engenheiro em Telecomunicações.

2 - CFOE COM. Servia em 2005 na Base Aérea de Salvador, como Mantenedor de Aeronaves e Equipamentos Especiais. Licenciado em Matemática.

3 - CFOE COM. Servia em 2005 na BASM como Operador da ECM-D25. Engenheiro em Telecomunicações.

4 - CFOE COM. Servia em 2005 no PAME como Técnico em Metrologia. Fisioterapeuta.

* - Leitor Técnico. Chefe da Seção de Redes do DTCEATM-RJ.



1 MPLS

1.1 Histórico

O evoluir dos anos permitiu uma impressionante ampliação no conceito de comunicação e na forma como esta, por sua disponibilidade, afeta o desenvolvimento da humanidade. As transmissões de informação a grandes distâncias, tornadas possíveis pela gigantesca popularização das redes computacionais, elevaram-se de forma assustadora, tanto na quantidade, quanto na qualidade dos dados transmissíveis. Surgiram, então, diversas aplicações de "tempo real", como videoconferências, transmissão telefônica em IP, aprendizado a distância, entre outras, que acabaram por desencadear uma demanda ascendente, igualmente colossal, de desempenho para tais redes.

Os roteadores e *switches* que ainda hoje implementam os protocolos de transmissão tornaram-se elementos críticos para o progresso destas tecnologias e vários peritos passaram a compartilhar a opinião de que, por esta forma tradicional, o limite tecnológico estaria muito próximo. Uma mudança de paradigma da transmissão de dados, portanto, tornou-se fundamental. Entretanto, segundo a opinião consensual, tal mudança deveria, preferencialmente, se dar por meio de uma fórmula barata e pouco impactante sobre a tecnologia atual, permitindo que esta viesse a ser estendida e não substituída.

Na procura de uma solução, alguns desenvolvedores tecnológicos abandonaram o conceito de roteamento com busca baseada em prefixos longos (em vastas tabelas) em prol de uma busca exata, em tabelas indexadas menores. Nasceram, então, as tecnologias baseadas em rótulos.

Nesta nova abordagem, a cada pacote é anexado um rótulo (de tamanho fixo), baseado no qual são tomadas as decisões, e não mais no endereço do destino, como na proposta do modelo antigo. Exemplos destas tecnologias são *Tag Switch* (Cisco), *ARIS* (IBM) e *Cell Switched Router* (Toshiba). Como proprietárias, no entanto, estas técnicas são incapazes de interoperarem e este modelo multi-proprietário se mostrou claramente como um caminho inaceitável para o chaveamento baseado em rótulos.

Com isto, a *Internet Engineering Task Force* (IETF) percebeu a necessidade urgente da formação de um grupo de trabalho para definição de padrões aplicáveis às tecnologias baseadas em rótulo. Assim, em abril de 1997, aconteceu nesse instituto a reunião inaugural com o propósito de discutir o tema e, após muita deliberação, chegou-se ao termo *Multiprotocol Label Switching* (MPLS), um nome não comercial, que viria a definir os novos padrões a serem produzidos.



O MPLS surgiu, desta forma, como uma tecnologia de comutação de rótulos, versátil e promissora, desenvolvida para solucionar os diversos problemas encontrados nas redes TCP/IP atuais, como velocidade, escalabilidade, qualidade de serviço (QoS) e engenharia de tráfego. A utilização do MPLS tem se mostrado como uma saída perfeita para se atingirem as exigências de serviço e largura de faixa em *backbones* de redes IP da próxima geração.

O MPLS apresenta-se, pois, como uma plataforma capaz de suportar a expansão de serviços (não apenas IP) e ao mesmo tempo capturar o crescimento das redes *Assynchronous Transfer Mode* (ATM). Sua superioridade em relação às redes ATM provém de seus mecanismos de controle que, diferente destas, não são restritos às células e podem operar sobre quaisquer tipos de camada de enlace.

Acompanhando essa evolução tecnológica, a Força Aérea Brasileira enxergou no MPLS, com sua versatilidade de aplicações, uma excelente oportunidade de resolução de diversos problemas presentes em nossa realidade atual e na crescente demanda de serviços das redes de telecomunicações. Recentemente o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) foi encarregado da missão de implantar, no âmbito do Comando da Aeronáutica, a transmissão de dados por meio do MPLS.

A consolidação deste projeto representa um grande avanço para as telecomunicações aeronáuticas. Embora pareça um projeto ambicioso, essa aquisição de tecnologia representa, na verdade, uma economia dos esforços que são despendidos na limitada rede de telecomunicações internas atual.

O conhecimento desta tecnologia, com suas características e suas várias possibilidades de aplicações, é essencial aos profissionais Especialistas em Comunicações, aos quais, certamente, em futuro muito próximo, será confiada a operacionalidade do sistema.

1.2 Como o MPLS simplifica o roteamento?

Em ambientes tradicionais de roteamento IP, um pacote é encaminhado pela rede com base no mecanismo "salto a salto", utilizando protocolos de roteamento do tipo *Interior Gateway Protocol* (IGPs), como o *Routing Protocol* (RIP) e *Open Shortest Path First* (OSPF), ou *Exterior Gateway Protocol* (EGPs) e protocolos de fronteira, *Border Gateway Protocol* (BGP). O processo ocorre tendo como referência o endereço de destino da camada 3, existente no cabeçalho do pacote IP. Isto se faz necessário para determinar o endereço do próximo roteador para alcançar o seu destino final. A cada salto os endereços de origem e destino da camada 2 são atualizados com



base no endereço corrente da unidade de roteamento e no endereço do próximo salto, respectivamente. O processo se repete até a entrega do pacote ao destino final, exigindo que o cabeçalho IP deste pacote seja examinado em cada unidade de roteamento intermediária.

Em contraste às formas tradicionais, o MPLS é um método de encaminhamento dos pacotes desenhado para ocorrer em altas taxas de velocidade. O protocolo combina a velocidade e o desempenho da camada 2 com um tipo de esperteza e inteligência da camada 3, principalmente falando do uso do protocolo IP. Existem unidades de roteamento localizadas nas bordas da rede (unidades de roteamento que atribuem rótulos – *Label Edge Routers* - LERs), que identificam cada pacote com um rótulo, com base em classes de acordo com os destinos, *Forward Equivalent Class* (FEC).

O rótulo passa, agora, a ser a base de todo o encaminhamento realizado pelos roteadores ou *switches* internos ao *backbone* do provedor, função que anteriormente era do endereço IP. Este processo promove grande simplificação e aumenta a velocidade no roteamento, uma vez que não é mais necessário, a cada elemento de rede do *backbone*, o exame do cabeçalho do pacote IP.

Os pacotes trafegarão pela rede MPLS com base no valor do FEC associado, pelo processo da troca de rótulos nas unidades de roteamento e também nas unidades comutadoras de rótulos, ao longo do núcleo da rede até que o pacote alcance o seu destino.

O rótulo tem significado apenas local e representa uma vista compacta dos cabeçalhos IP, informação que é relacionada com o valor do FEC (como, por exemplo, um prefixo IP). A seguir, ocorre uma comparação dos rótulos no sentido de chegada "*in going*" com os rótulos e mapeamento das interfaces armazenadas no "*Label Information Base*" (LIB). O rótulo representa um valor particular da FEC a qual tem sido mapeada. Pela referência da LIB, o verdadeiro poder do MPLS fica mais aparente. Quando um LSR ou LER vai construir uma LIB, podem ser utilizadas instruções e controles externos para alterar o encaminhamento do fluxo de pacotes ao longo de uma rota da rede. Uma análise do pacote IP ocorre em um único ciclo, ao entrar no domínio MPLS direto no nó de borda ("*ingress edge*"). Uma vez que o pacote tem atribuído o valor do FEC, ocorrerá uma comutação com base nas informações da parte do rótulo "*Label Switch Path*".

O MPLS apresenta uma vantagem evidente em relação ao encaminhamento dos pacotes sobre rotas tradicionais (tais como IP/OSPF) em que as unidades costumam tomar decisões com base nas informações da camada 3. Às vezes, as redes possuem redundâncias ativas em camadas paralelas e o sistema de roteamento IP trafega sobre caminhos preferenciais. Normalmente são utilizados os circuitos eleitos pelo menor custo cumulativo.



1.3 Componentes do MPLS

Os principais melhoramentos obtidos pelo MPLS são o atendimento dos parâmetros de qualidade de serviço (QoS) e o uso de técnicas mais avançadas para roteamento e comutação de circuitos via rede ATM. O MPLS atinge um desempenho melhor e estende a funcionalidade das tecnologias já existentes.

O suporte ao protocolo MPLS (LSR/LER) pode ser criado em unidades ATM já instaladas e operantes, fazendo um simples "upgrade" do código operacional residente (*firmware & software*), tanto em equipamentos comutadores como em unidades de roteamento. O "upgrade" da rede ATM para uso do roteamento MPLS pode ocorrer de forma controlada, já que os componentes de encaminhamento "forwarding" e "controle" são módulos distintos. O encaminhamento é responsável pelo transporte das células com base na tabela de roteamento. O componente "controle" é responsável pela construção e manutenção dessa tabela, disseminando assim a tabela de roteamento.

1.4 Rótulos MPLS

O rótulo é uma visão compacta dos cabeçalhos IP. Ele difere do cabeçalho completo e não contém o endereço IP. Em vez disto é atribuído um valor numérico acordado entre dois nós MPLS e que representa uma parte da conexão ao longo da LSP. O rótulo é compacto, de tamanho fixo e um identificador fisicamente contínuo é utilizado para atribuir o valor da classe FEC, normalmente de significado apenas local. Um pacote atribuído ao FEC é normalmente baseado no seu endereço de destino de forma parcial (prefixo) ou de forma completa. O rótulo é adicionado ao pacote e representa a classe FEC à qual o pacote será associado.

Várias tecnologias, tais como as redes do tipo *Local Access Network* (LAN) e os circuitos ponto a ponto (PPP), utilizam a etiqueta "shim", com tamanho de 32 bits, composto de quatro campos: um rótulo ("label") de 20 bits, EXP, também denominado de "Class of Service - CoS" de 3 bits, flag S "label stack present" de 1 bit e o valor "TTL - time to live" (número de nós MPLS percorridos) de 8 bits.

Os rótulos serão utilizados pelo MPLS quando for feita a decisão sobre o encaminhamento; por exemplo, no caso dos identificadores ATM *Virtual Path Identifier* / *Virtual Circuit Identifier* (VPI / VCI) e também no campo *Frame Relay Data Link Connection Identifier*.



A qualidade de serviço em roteamento é a habilidade de escolher o caminho para que um fluxo de tráfego tenha o nível de serviço aceitável. Estes níveis de serviço podem especificar níveis adequados de banda, atrasos ou perda de pacotes na rede. Esta característica agrega inteligência para administrar níveis de serviço diferentes de acordo com as políticas da rede.

A habilitação de recursos para um nível de qualidade de serviço desejado requer, na maioria das vezes, rotas explícitas. Pode existir a necessidade de designar uma rota específica para um fluxo de dados que exige uma banda mínima; entretanto, é possível que as necessidades de usuários em uma rede resultem na utilização combinada (por recursos independentes) da banda de um enlace que exceda a capacidade existente. Esta possibilidade de utilização de recursos da rede requer um nível de melhoria das informações superior ao que pode ser obtido pela engenharia de tráfego tradicional.

Em ambientes MPLS, o tratamento da Qualidade de Serviço para o roteamento é administrado de duas formas:

- a. o rótulo MPLS contém informações sobre a Classe de Serviço (CoS). Na medida em que o tráfego flui na rede, esta informação é utilizada para priorizar o tráfego em cada nó (*hop*);
- b. a rede MPLS pode estabelecer múltiplos caminhos entre equipamentos de entrada e saída. Para cada fluxo de informação é estabelecido um nível de serviço apropriado, e o tráfego é direcionado para o caminho adequado quando entra na rede.

Esses procedimentos classificam pacotes em categorias de CoS, e as políticas de administração, nas redes locais, determinam os recursos disponíveis para cada categoria.

1.5 Aplicações para MPLS

O MPLS pode ser utilizado em diferentes aplicações, estando aí uma de suas principais vantagens. Dentre as diversas opções de aplicação, podem ser destacadas:

- a. MPLS em operadoras Telecom, utilizando tecnologia de acesso xxGigEthernet, ATM e redes *Frame Relay*;
- b. MPLS sobre circuitos virtuais em ATM, velocidades de OC3 até OC196;
- c. MPLS em redes óticas "*generalized multi-protocol swiching*" (SONET até 10 Gbps);
- d. MPLS em redes de comutação óticas "*optical cross connet (OCX)*" operando em redes de 10 a 40 Gbps.



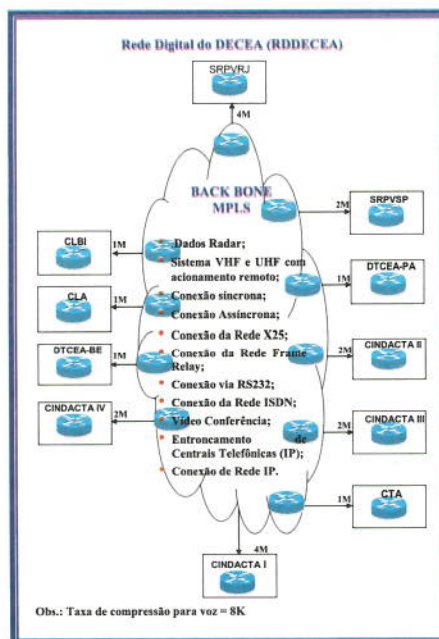
Ele ainda se adapta a diferentes cenários. A implementação desse protocolo não é restrita à característica do próprio protocolo; mas hoje, depende sim, do suporte dos equipamentos que fazem o núcleo da rede. Pode-se mencionar a disponibilidade das seguintes facilidades e implementações: eliminação de circuitos, conectividade Internet, rede IP com suporte a VPN (*Virtual Private Network*) e redes IP com suporte a QoS.

1.6 Aplicações futuras

Uma das implementações do protocolo MPLS é a resposta disponível sob título de *Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)*. Trata-se de uma evolução do protocolo "*Multi-Protocol Lambda Switching (MPLambdaS)*". Esta proposta nasceu da necessidade de as operadoras unificarem o roteamento sob plataforma única com transporte dinâmico entre as camadas 1, 2, 3. Da junção da tecnologia ótica "*Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*" e do protocolo MPLS resultaram alguns conceitos inovadores de roteamento que permitem o ingresso na era da comutação sobre redes óticas em velocidade gigabits por segundo. O comutador ótico atuará como elemento funcional do tipo GMPS LER e vai designar um "*lambda*", que se trata de um operador abstrato e individual, ou uma cor, ou um comprimento da onda, substituindo a função LER convencional, a qual atribui um rótulo ao segmento particular da LSP ("*Label Switching Path*").

2 UTILIZAÇÕES DO MPLS NO COMANDO DA AERONÁUTICA

A Força Aérea está sempre buscando resolver seus problemas tecnológicos com a mais avançada tecnologia disponível. Foi assim com o desenvolvimento do Telesat, em 1994, quando grande parte da cadeia organizacional aeronáutica passou a ser interligada via satélite. Entretanto, com o grande avanço apresentado pelas telecomunicações nas últimas décadas, no Brasil, a crescente necessidade de canais de transmissão e o alto custo do sistema Telesat, percebeu-se a existência de uma grande urgência em se encontrar um sistema que pudesse substituir o sistema atual de telecomunicações, com maior qualidade e capacidade de crescimento. Desta forma, o DECEA, órgão da Aeronáutica responsável pelo sistema, percebeu a grande vantagem em contratar junto a Embratel um Backbone MPLS, que, por todas suas vantagens ressaltadas anteriormente, responderia de forma extraordinária às novas necessidades (FIG. 1).

**FIGURA 1 – Rede MPLS da Aeronáutica**

FONTE: DECEA

A FIG. 1 mostra o que foi contratado e as bandas disponíveis para as mais diversas unidades do DECEA. Através do MPLS será possível trafegar dados de RADAR, voz sobre IP, vídeo conferência, VHF e UHF, etc.

Indubitavelmente, uma vantagem direta da utilização de MPLS, pela Força Aérea, é a rapidez consideravelmente maior conseguida com este sistema baseado em rótulo, se comparado ao encaminhamento IP tradicional. Tal vantagem, entretanto, não seria, por si só, suficiente para que fosse decidida a adoção do MPLS pelo DECEA, uma vez que buscas razoavelmente rápidas na tabela podem ser conseguidas com os roteadores de alta velocidade atuais. Na Engenharia de Tráfego se encontra uma das principais aplicações para MPLS. Por meio dela, pode-se alterar a rota normal, forçando pacotes a seguirem rotas estabelecidas previamente, algo que o distingue do roteamento tradicional. Desta forma, o MPLS permite que as rotas possam ser reconfiguradas de acordo com as necessidades, vantagem esta de extremo interesse para as aplicações militares. Além disto, pode-se emular com o MPLS redes orientadas a conexão, como a ATM, Frame Relay, ou qualquer serviço orientado a conexão não confiável com um LSP. Isso permite a oferta de serviços através de uma única infra-estrutura por redes integradas baseadas em datagramas. Adicionalmente, o MPLS pode ser utilizado para facilitar a integração de IP com ATM.



A tendência do MPLS é de se tornar o padrão para as unidades que se encontram nos grandes centros urbanos. Cabendo ao Telesat atuar nas regiões mais afastadas em que as concessionárias de telecomunicações têm dificuldade ou pouco interesse em fornecer o serviço.

3. CONCLUSÃO

As necessidades do Comando da Aeronáutica no que se refere à ampliação de sua capacidade às telecomunicações têm sofrido grandes incrementos ao longo dos anos. Baseado no colossal desenvolvimento das redes computacionais era previsível que mais cedo ou mais tarde a solução viria de tal tecnologia. Embora se possa pensar que as redes atuais possam se mostrar adequadas para tal fim, elas encontram-se limitadas pela sua capacidade de suportar a crescente demanda. Ainda, o uso da tecnologia atual em aplicações de tempo real acelera o congestionamento do sistema e o torna pouco confiável em aplicações críticas e de segurança, características das utilizadas na Força Aérea.

O surgimento do MPLS permitiu não só um avanço significativo na velocidade e confiabilidade em transmissão de dados, mas também que a tecnologia atual pudesse ser aproveitada, tornando os custos de implantação bastante reduzidos. Associado a isso, a possibilidade de reconfiguração das rotas em caso de necessidade, conseguida de forma relativamente simples com o MPLS, mostrou-se extremamente vantajosa para a transmissão dos diversos tipos de dados aeronáuticos, quais sejam os relacionados a radares, VHF, UHF, voz, entre outros. Sendo assim, verificamos que o MPLS veio para ficar. E com ele a melhoria na qualidade de nossas comunicações.

REFERÊNCIAS

1. BERNAL, Paulo Sérgio Milano; FALBRIARD, Claude. **Redes banda larga**. São Paulo: Érica Ltda, 2002.
2. CISCO SYSTEMS, INC. **Cisco IOS switching services configuration guide; Multiprotocol Label Switching Overview**, Disponível em: <www.cisco.com/>. Acessado em: 13/07/2006.
3. IEC - International Engineering Consortium. **Multiprotocol label switching (MPLS)**. Disponível em: <www.iec.org/tutorials/mpls/>. Acessado em: 18/07/2006.
4. ROSEN, Eric C. et al. **Multiprotocol label switching architecture, RFC 3031**, January 2001.
5. TUDE, Eduardo. **MPLS Tutorial**. Disponível em: <www.teleco.com.br/tutoriais.asp>. Acessado em: 18/07/2006.