



Um Estudo do MPLS

Ana Júlia Freitas Pinheiro¹
e-mail: anajulia@ufba.br
Claudio Guido S. Cardoso¹
e-mail: claudioc@ufba.br

Gustavo Bittencourt Figueiredo¹²
e-mail: guto@ufba.br
Mercia E. Bittencourt Figueiredo¹
e-mail: mercia@ufba.br

Milena Pessoa Micheli¹
e-mail: mmicheli@ufba.br

PERÍODO DE INVESTIGAÇÃO: Outubro de 1999 - Abril de 2000

Projeto REMAv Salvador
Centro de Processamento de Dados - UFBA
Rua Adhemar de Barros, s/n Campus de Ondina
Salvador Bahia

Resumo

Este trabalho objetiva realizar um estudo sobre as características da tecnologia MPLS, focalizando a sua aplicação no contexto de redes de alta velocidade. O desenvolvimento do mesmo segue duas vertentes. A primeira procura observar os aspectos de funcionamento do MPLS. A segunda tem o intuito de traçar um paralelo com a tecnologia proposta pelo Projeto de Redes Metropolitanas de Alta Velocidade para a transferência dos dados, o ATM. Estudamos a aplicabilidade do MPLS no contexto das REMAVs, no sentido de suportar aplicações que demandem uma tecnologia confiável, escalável e que ofereça qualidade de serviço.

1. Introdução

A Internet tem apresentado um crescimento explosivo, oferecendo serviços que muitas vezes demandam altas taxas de tráfego. Além disso, o tipo de tráfego verificado nos últimos anos, sobretudo com aplicações multimídia e o uso da Word Wide Web, sofreu modificações. O padrão previsível das tradicionais redes cliente-servidor foi substituído por um tipo de acesso aleatório, onde um computador membro da rede pode acessar serviços de qualquer outro [1,11]. Algumas novas tendências de utilização, como o comércio eletrônico e a educação a distância, têm incentivado a criação de aplicações com características de tempo-real que requerem novas funcionalidades, níveis diferenciados de transporte e qualidade de serviço. Consequentemente, os provedores de serviço Internet e administradores de grandes redes corporativas se esmeram no sentido de encontrar soluções eficientes e de baixo custo para melhorar os requisitos de largura de banda, performance e escalabilidade de suas organizações. A própria Internet 2 constitui uma iniciativa gigantesca neste sentido, alocando recursos do governo e de grandes organizações privadas para trazer soluções de alta

¹ Bolsista CNPq.

² NUPERC/ UNIFACS

tecnologia. No Brasil o projeto Internet 2 vem repercutindo através da criação das REMAVs, que visam gerar um novo backbone de rede de alta velocidade.

As redes IP, não orientadas a conexão, são estruturadas através de roteadores. Isto permite que elas sejam flexíveis e tenham seus endereços distribuídos organizadamente. Entretanto, quando a rede opera a taxas muito altas de tráfego, os roteadores se tornam pontos críticos. Neste sentido, o uso de comutadores (ou switches) tem sido largamente aceito como uma forma de melhorar a performance de passagem de dados, especialmente através da tecnologia ATM (Assynchronous Transfer Mode) [12, 13]. Entretanto, outras formas de agregar as vantagens dos equipamentos de comutação às redes IP têm sido estudadas. Uma delas é o Multiprotocol Label Switching (MPLS) [1, 4, 5, 8, 15], que vêm sendo padronizado pelo IETF. Portanto, os esforços para solucionar os problemas de tráfego na Internet seguem atualmente dois rumos: integrar adequadamente a tecnologia ATM sob os protocolos IP ou prover ao IP suporte a comutação.

O MPLS propõe um método para gerar uma estrutura de comutação sob qualquer rede de datagramas, criando circuitos virtuais a partir das rotas organizadas pelos protocolos de roteamento da camada de rede. O nível de enlace é preservado, sendo possível aplicar o MPLS a redes Ethernet, ATM, Frame Relay, Token Ring [4, 5]. No caso da utilização do MPLS sobre uma plataforma ATM, contudo, as camadas de controle e adaptação serão descartadas. Aproveita-se apenas a camada física (correspondente aos comutadores ATM) e a camada ATM (correspondente às células ATM) [4, 10, 15].

A comutação opera por intermédio de software (label swapping), em uma camada que poderia ser considerada intermediária entre o nível de enlace e o de rede [5, 15]. Dessa forma, após gerar um circuito, uma rede MPLS processa o cabeçalho de rede de um pacote que trafegue nela apenas no primeiro roteador do caminho. Isto permite que os roteadores IP subsequentes funcionem apenas como gerenciadores dos circuitos de comutação, apresentando uma performance melhor na passagem dos pacotes.

2. O Multiprotocol Label Switching - MPLS

A partir do ano de 1995, a Internet Engineering Task Force (IETF) e o ATM Fórum começaram a desenvolver propostas para integrar protocolos baseados em roteamento, como o IP, sobre a estrutura de comutação da tecnologia ATM [1, 11]. Buscava-se uma rede que oferecesse simultaneamente facilidade de gerenciamento, reserva de largura de banda, requisitos de QoS e suporte nativo a multicast. Como resultado deste trabalho surgiram protocolos como o Multiprotocol Over ATM (MPOA) e o Integrated Private Network to Network Interface (I-PNNI) [1, 10, 12, 13]. Mas ambos são bastante complexos e de difícil implementação e gerenciamento.

Durante o ano de 1996 algumas empresas de informática sugeriram as primeiras soluções para integrar as vantagens das redes comutadas à família de protocolos IP. O pioneiro nesta tendência foi a Ipsilon, que desenvolveu o IP Switching [1, 11]. O IP Switching utiliza comutadores ATM, determinando fluxos de pacotes com endereços similares e verificando se tais fluxos devam ser roteados ou comutados. A Cisco propôs o Tag Switching [5], que adiciona a cada pacote de dados um label, chamado tag, permitindo sua transmissão através de um circuito virtual. Desta forma, não é necessário uma análise das informações de

roteamento em cada etapa do percurso, uma vez que a decisão do próximo nodo é baseada apenas no tag e não no conteúdo de cabeçalho dos pacotes. Ao final de 1996, a Toshiba e a IBM criaram variantes do Tag Switching, chamadas respectivamente de Cell Switched Router (CSR) [1] e Aggregate Route-Based IP Switching (ARIS) [9].

3. Funcionamento Geral

Para uma simples decisão, em um roteador, como a escolha do próximo nodo para o qual deve enviar um datagrama é utilizada uma quantidade desnecessária de informações. Ocorre um retardo desnecessário causado pela análise independente do cabeçalho de cada datagrama conforme os algoritmos de roteamento. Neste sentido, a tecnologia MPLS propõe que são necessárias apenas duas funções para permitir o transporte dos datagramas de uma rede qualquer [15]. A primeira classifica todos os possíveis datagramas em um número mínimo de classes de envio equivalentes (Forwarding Equivalent Class – FEC) . A Segunda função apenas escolhe que interfaces devem ser usadas para escoar as classes de envio (FECs) em cada nodo intermediário. Dois pacotes³ pertencentes à mesma FEC serão iguais para os nodos intermediários no percurso, e seguirão exatamente o mesmo caminho.

A atribuição de pacotes com endereços de destino variados a um conjunto mínimo de FECs deve ser realizada apenas uma vez, assim que o pacote adentre a rede MPLS. Tal atribuição usa um rótulo ou label único que identifica um determinada FEC. O label é um identificador com o tamanho fixo e pequeno, que é colocado no cabeçalho de cada pacote e passa a ser a única coisa verificada na rede no decorrer do envio, de maneira que nenhuma análise subsequente do cabeçalho do pacote é feita. O processo de verificação do label e passagem do pacote para o próximo nodo recebe o nome de label swapping, como nas redes ATM [1, 12, 13]. Neste processo busca-se o label correspondente na tabela de labels da máquina para indicar qual o próximo nodo para qual o pacote deve ir, bem como o próximo label que ele deve possuir. O valor dos labels usados para trafegar os pacotes de uma FEC, portanto, não é constante e muda de nodo para nodo.

Uma outra função que pode ser agregada ao label diz respeito à determinação da “precedência” ou “classe de serviço” de um dado pacote [1, 10, 15]. Em muitas famílias de protocolos a análise do cabeçalho do nível de rede serve não somente para decidir o próximo nodo do pacote mas também para aplicar uma política de prioridade a ele. No MPLS, o roteador não analisa o cabeçalho dos pacotes para estimar precedência ou classes de serviço. Ao invés disso, verifica-se a que classe de serviço ou precedência as FECs estimadas dos pacotes pertencem, indicadas pelos labels. Neste sentido, pode-se considerar que o label é um indicador misto ao mesmo tempo para rota e classe de serviço de um pacote.

O termo “Multiprotocol” em MPLS significa que esta tecnologia pode ser usada sob qualquer protocolo de rede. Naturalmente, considerando a Internet e a importância de seus protocolos nas varias WANs publicas e privadas, tem-se aplicado o estudo e implementação do MPLS basicamente para redes IP [5, 8]. Em qualquer rede MPLS, um roteador que suporte tal técnica é chamado “Label Switching Router”, ou LSR.

³ O termo “pacote” será usado ao longo do artigo e refere-se a um pacote MPLS de dados, que pode ter um tamanho variável.

Após um pacote receber um label, ele passa a pertencer a uma FEC e pode ser comutado. A atribuição de um label pode ser feita em um campo do pacote que tenha sido criado especificamente para esta finalidade ou em um campo qualquer já existente no cabeçalho de rede ou de enlace, desde que esteja disponível (Figura 1). O cabeçalho das células ATM (nível 2), por exemplo, suportam labels nos campos de VCI / VPI, ou o cabeçalho do IPv6 (nível 3), no campo de label flow [5].

Cabeçalho do nível de Enlace	Cabeçalho do nível de Rede + <input type="checkbox"/>	Dados
Cabeçalho do nível de Enlace + label	Cabeçalho do nível de Rede	Dados
Cabeçalho do nível de Enlace	label MPLS	Cabeçalho do nível de Rede
		Dados

Figura 1 – Localização do label MPLS no cabeçalho da camada de enlace, rede ou entre o cabeçalho destes níveis.

Quando dois LSRs concordam em usar um label qualquer para indicar a transmissão de um para o outro com relação a uma FEC, o LSR emissor é considerado estar “upstream” na transmissão, e o LSR receptor é considerado estar “downstream”. Na especificação do MPLS, a determinação do label sempre é feita pelo LSR downstream no caminho do pacote. A escolha do label pode ser feita segundo uma requisição do LSR upstream ou diretamente através de iniciativa do LSR downstream no envio do pacote. Os protocolos de distribuição de label são responsáveis pela troca de mensagens entre os LSRs no sentido de gerar as tabelas de labels. Cada vez que se amarra um label a uma FEC, este passa a ter certos atributos que são definidos também pelo protocolo de distribuição. A arquitetura MPLS suporta tipos de protocolo de distribuição de labels diferentes. Alguns outros protocolos de roteamento ou outros serviços tem inclusive sofrido modificações para padronizar mecanismos de indicação de labels, como o MPLS-BGP [mpls ietf] e o MPLS-RSVP.

Ao invés de um único label, o MPLS permite que os pacotes de dados carreguem uma pilha de labels, segundo a ordem de que o último label a ser colocado no pacote deve ser o primeiro label a sair. Um pacote que tem uma pilha de n labels é dito um pacote de profundidade n, o que vale inclusive para n = 0 (pilha vazia). O label mais abaixo na pilha é considerado label 1 e os outros acima seguem uma ordem crescente. O processamento de cada nível de label segue o mesmo funcionamento e é realizado de maneira completamente independente.

Considerando a existência de pilhas de labels, um dado LSR utiliza uma tabela chamada “Next Hop Label Forwarding Entry”, ou NHLFE para determinar o procedimento de envio de um pacote qualquer. No NHLFE consta que ação deve ser realizada com pilha de labels, incluindo a retirada de um label no topo da pilha, inclusão de um novo label no topo ou substituição do label no topo da pilha e inclusão de um novo. Além dessas, consta também no NHLFE:

- 1- O próximo nodo para enviar o pacote;
- 2- O encapsulamento de nível de enlace a ser usado para o envio;

- 3- A forma de codificar a pilha de labels;
- 4- Qualquer outra informação para enviar o pacote.

Às vezes o próximo nodo para enviar o pacote pode ser o próprio LSR emissor. Nesse caso o label no topo da pilha deve ser necessariamente retirado, e então o pacote com o novo label deve ser interpretado como se tivesse chegado por outro LSR. Pode ocorrer que após a retirada de um label o pacote fique apenas com o endereço IP nativo, que por sua vez é interpretado normalmente. Nota-se portanto que o MPLS, em certas situações, faz uso do roteamento IP convencional.

O mapeamento dos pacotes recebidos por LSRs a conjuntos de NHLFEs é realizado através de dois mecanismos, chamados respectivamente de “Incoming Label Map” (ou ILM) e “FEC – to – NHLFE” (ou FTN). O ILM faz o mapeamento de pacotes que são recebidos com label, e o FTN realiza o mesmo mapeamento para pacotes que chegam sem label, mas que devem ser enviados com label. No caso do FTN leva-se em consideração apenas a FEC ao qual o pacote pertence. Em ambos os métodos de mapeamento, caso o conjunto de NHLFEs indicado possua mais de um elemento, uma única entrada deve ser escolhida para a transmissão. O processo de label swapping, portanto, verifica inicialmente se um pacote a ser enviado possui um label ou não. Caso positivo, usa o ILM para encontrar uma entrada na NHLFE, e com as informações obtidas transfere o pacote ao próximo LSR. Caso não haja label, o LSR processa o cabeçalho de rede do pacote, determina a partir dele uma FEC e usa o FTN para mapear tal FEC para o NHLFE.

As transmissões em rede MPLS utilizam circuitos virtuais chamados “Label Switched Paths” (ou LSPs) [15]. Um LSP é determinado por uma coleção de roteadores que fazem a passagem dos pacotes. Cada LSP possui uma série de propriedades, de maneira que para um LSP $\langle R1, \dots, Rn \rangle$ de nível m temos:

1. O roteador $R1$ corresponde ao LSR inicial do LSP (ou “LSP Ingress”), responsável por colocar o label inicial nos pacotes daquele LSP, gerando pilhas de label de profundidade m ;
2. Para todo i , sendo $1 < i < n$, qualquer pacote do LSP recebido por Ri deve ter a pilha de labels com profundidade de no mínimo m .
3. Para todo i , sendo $1 < i < n$, todo envio de Ri para $R[i+1]$ deve seguir o procedimento MPLS. Isso implica a verificação do label no topo da pilha do pacote em $R1$, checagem do NHLFE para aquele label e o conseqüente passagem.
4. Para todo i , sendo $1 < i < n$, se um pacote for recebido e reenviado por um sistema S após ter sido enviado por Ri e antes de ter sido recebido por $R[i+1]$, então a decisão de passagem em S não poderá usar o label de nível m da pilha nem o cabeçalho do nível de rede. Isto só é possível se S for parte de uma subrede de comutação intermediária entre Ri e $R[i+1]$. S poderá fazer a passagem usando outras informações não descritas acima ou um label em um nível superior na pilha MPLS.

Nas LSPs de nível m muitas vezes o último LSR (também chamado de nodo “Egress”) recebe os pacotes com a pilha de labels de tamanho $m-1$. Como o último LSR que de fato

precisa verificar o label correspondente ao nível do LSP para fazer a passagem é o LSR anterior ao Egress, ele pode desempilhar o label de nível m antes de enviá-lo para o nó final do LSP. Isto possui algumas vantagens práticas, porque o LSR Egress por convenção não poderá usar o label do nível m para realizar nenhum envio, portanto ele teria que desempilhar o label deste nível e verificar o seguinte para tanto. Então caso houvesse mais algum label na pilha ele o usaria para fazer um próximo envio. Caso contrário o LSR Egress poderá usar o próprio endereço de rede para fazer o roteamento tradicional. Com o desempilhamento do label de nível m no penúltimo LSR do circuito esta redundância de operações no LSR Egress é evitada.

Como mostrado anteriormente, a tabela NHLFE possui as entradas que são indexadas por um label ou uma FEC indicando qual é o próximo LSR para o qual um pacote deve ser enviado. A determinação do caminho dentro de um circuito portanto depende das informações gravadas nas NHLFEs dos LSRs ao longo do LSP, que podem ser geradas a partir das rotas criadas pelo algoritmo de roteamento do protocolo de rede. Contudo, as informações da NHLFE podem ser geradas de outra forma.

A possibilidade de formar circuitos que não seguem a estrutura de roteamento IP pode gerar alguns problemas. Um exemplo é quando um LSR recebe um pacote com um label que não pertence ao grupo de labels de entrada válidos. Neste caso não é possível verificar na NHLFE qual o próximo destino deste pacote. Uma alternativa para continuar a transmissão seria desconsiderar a pilha de labels e usar o cabeçalho IP para realizar o roteamento normalmente. Entretanto, se tal roteamento conduzir o pacote a algum ponto do circuito pelo qual ele já tenha passado então será formado um loop. Consequentemente, em casos de pacotes com labels inválidos os pacotes tem de ser descartados.

Sabe-se que entre os protocolos de roteamento IP, alguns têm funcionamento dinâmico. As FECs que se baseiam nos prefixos de endereço distribuídos por estes protocolos formam LSPs que podem ser criados de duas formas diferentes: ordenadamente e independentemente. Nas LSPs criadas independentemente cada LSR que identifica uma FEC pode escolher um label para ela sem que haja nenhuma interação com um LSR vizinho. Na determinação de LSPs ordenadamente, um LSR só pode determinar um label para uma FEC caso seja o nó Egress para aquela FEC ou já tenha recebido a indicação de um label deste LSP de um LSR downstream no circuito.

O estabelecimento de LSPs com controle ordenado serve para garantir certos atributos destes circuitos. Se o controle do LSP for independente, não há garantias que o LSP será completado antes de começar a receber pacotes, nem de que não atravessará o mesmo LSR mais de uma vez. A reserva de recursos de um LSP só é possível através de um controle ordenado, que pode ser iniciado tanto pelo LSR Egress como pelo LSR Ingress do circuito.

A noção de classes de endereçamento é utilizada pelo IP através dos endereços hierárquicos, que servem para dividir os grupos de endereços nas tabelas de roteamento. A mesma noção no MPLS corresponde às FECs. Contudo, a atribuição de uma FEC para cada grupo de endereçamento IP nem sempre corresponde à melhor estratégia para a criação dos circuitos MPLS, porque não é raro ter grupos diferentes de endereços IP que possuam a mesma interface de saída em um roteador. Se forem criadas FECs diferentes em um LSR que levem ao mesmo LSR adjacente haverá uma carga de sinalização para estabelecimento e controle de LSP desnecessária. Logo, foi proposto um mecanismo de “agregação” para

permitir que grupos de FECs criados que possuam um destino em comum no escopo de um LSR sejam integrados em uma única FEC.

Uma estrutura de agregação pode ter vários níveis diferentes de granularidade. A granularidade mais fina corresponde a uma FEC para cada conjunto distinto de endereços IP de um LSR, e a granularidade mais espessa corresponde a ter uma única FEC para cada interface de saída, possivelmente agrupando vários conjuntos diferentes de endereços IP. Quando se utiliza controle ordenado de LSPs a granularidade escolhida para a determinação de labels deve ser a mesma do nodo downstream. Quando o controle é Independente, contudo, é possível ter LSRs adjacentes se comunicando com FECs de granularidades diferentes. Se um LSR envia pacotes para um outro que tenha uma granularidade mais espessa que ele, não há problemas, pois o LSR receptor terá apenas que mapear os labels de entrada adequadamente para suas FECs. Caso contrário, se as FECs do emissor forem mais espessas do que do LSR receptor, haverá incompatibilidade e o LSR receptor terá que modificar suas FECs. Prefere-se normalmente redistribuir as FECs do LSR emissor para que fiquem com a mesma granularidade (mais fina) das FECs do nodo receptor.

4. Características

Rotas explicitas – Existem, no MPLS, basicamente duas políticas de roteamento, uma delas, o hop-by-hop, tem um funcionamento muito parecido com o do protocolo IP. No modelo IP o cabeçalho do pacote é analisado em todos os roteadores do percurso, no MPLS, o label do pacote também é analisado em todos os nós do percurso. A outra política de roteamento utilizada no MPLS é o roteamento explícito [15]. Quando um pacote chega em um LSR de ingresso de um domínio MPLS, o LSR determina explicitamente o LSP que o pacote deverá seguir.

Este tipo de procedimento é muito útil pois diferentes LSPs podem ser determinados para cada tipo de tráfego, além disso, as informações de roteamento podem ser distribuídas em cada LSR, eliminando a necessidade de outras informações no pacote que não o label.

QoS – MPLS pode explicitar uma rota em razão de diversos fatores, por exemplo, largura de banda disponível, taxa de perda de pacotes, carga na rede, etc [14]. Este tipo de política, baseada em restrições, não é encontrada na maioria dos roteadores IP (que se baseiam em uma política de menor caminho) e pode ser usada para fazer classificação de fluxo, realização de divisão das classes de serviço e utilização de labels diferentes para representar fluxos com prioridades distintas. Esta abordagem pode ser considerada uma forma de prover qualidade de serviço.

MPLS pode também utilizar outros métodos para prover qualidade de serviço baseados em critérios de classificação de fluxo como as informações de origem/ destino do pacote IP, número de porta do protocolo TCP/UDP, bits TOS do pacote IP (Serviços Diferenciados [2]), ou oferecer qualidade de serviço com reserva de recurso (Serviços Integrados [2]) com o uso do protocolo RSVP[7].

Integração facilitada de IP com ATM – A comutação de labels usada pelo MPLS é muito semelhante à forma com que os comutadores ATM trabalham, baseados nos campos VPI/VCI das células ATM [15]. Sendo assim, os comutadores ATM poderiam facilmente

utilizar campos de VPI/VCI como labels MPLS, podendo dessa forma serem utilizados em redes que utilizam tal tecnologia. Essa característica de poder reutilizar equipamentos de duas redes distintas em uma nova rede MPLS, sugere ser esta uma forma de fazer integração de redes com equipamentos IP com as que possuem equipamentos ATM, num mesmo backbone[14].

Integração com vários protocolos de nível 3 – MPLS não se restringe apenas ao uso com o protocolo IP[4,5]. Ele pode ser utilizado com quase todos os protocolos de nível 3.

Redução do overhead de processamento no cabeçalho IP – No MPLS, a informação utilizada para roteamento (exceto para o primeiro pacote de cada fluxo onde a informação usada é o endereço IP) é um label de tamanho fixo[4,14,15]. A utilização dos labels atua como um fator positivo na diminuição do overhead de processamento .

Túneis e Hierarquias [15] – Existem situações em que alguns roteadores que estão no caminho de um pacote, por algum motivo, não têm condições de encaminhar o pacote para o próximo nó. Um pacote IPv6, por exemplo, ao ingressar em um domínio formado exclusivamente de roteadores IPv4. Neste caso, a solução seria encapsular os pacotes Ipv6 em pacotes que os roteadores do domínio possam entender, ou seja, encapsular os pacotes Ipv6 em pacotes Ipv4. O pacote utilizado como “envelope” trafegaria pelo domínio normalmente sendo entendido por todos os roteadores. Ao fim do domínio IPv4 (início do domínio IPv6) o pacote seria descapsulado e utilizado normalmente no domínio IPv6. À técnica de encapsulamento dá-se o nome de Tunneling.

Quanto à classificação da maneira com que são roteados os pacotes, existem dois tipos de túneis, a saber, Hop-by-Hop Tunnel neste modo, os pacotes são convencionalmente roteados em todos os nós da rede. No outro modo, os pacotes seguem por uma rota previamente determinada este modo é Explicitly Routed Tunnel.

MPLS dá suporte a túneis LSP [15] que nada mais são do que os túneis descritos anteriormente, implementados em um LSP $\langle R1, \dots, Rn \rangle$ e que usam a pilha de labels para fazer o encapsulamento dos pacotes. Quando um LSR R1, quer enviar um pacote p1 com um label x especificamente para o LSR R2, ele sobrepõe o label x com um label x' e envia para R2 que então retira o label x'e toma as providencias cabíveis ao pacote de acordo com o label x.

5. Algumas Aplicações

◆ Redes Virtuais Privadas – VPN

Redes Virtuais Privadas (VPN) [6] são redes desenvolvidas em uma infra-estrutura de rede pública que emprega a mesma segurança, gerenciamento, e políticas de processamento aplicada em uma rede privada. VPNs são infra-estruturas de WAN alternativas que substituem ou aumenta redes privadas já existentes baseadas em linhas privadas ou redes Frame Relay/ATM.

Uma das aplicações do MPLS com grande potencial para beneficiar os provedores de serviços é o suporte as redes virtuais privadas [8]. O MPLS é utilizado como uma alternativa

no desenvolvimento de VPNs usando ATM e aos circuitos virtuais permanentes (PVCs) [12] do Frame Relay.

As redes virtuais, ao utilizar o MPLS, provêm algumas vantagens do modelo baseado em PVC. Uma delas é a possibilidade que os clientes tem de escolher seus próprios planos de endereçamento, que podem ou não sobrepor os de outros clientes, ou do provedor de serviços. Os dados deverão ser entregues nos locais dentro do VPN do cliente que será comunicado da entrega. É por esta razão que as técnicas de tunelamento são muito requeridas. Porém, ao contrário do modelo do PVC, o “VPN MPLS” é altamente escalável com números crescentes de sites e clientes, suportando também o modelo de muitos-para-muitos de uma comunicação entre sites dentro de um VPN sem requerer a instalação de uma malha cheia de PVCs. Para cada cliente de “VPN MPLS”, a rede de provedores aparece para fornecer um IP backbone privado sobre o qual o cliente podendo alcançar outros sites dentro da organização, mas não os sites de qualquer outro cliente.

Provedores de serviços VPN precisam fornecer uma faixa de QoS para seus clientes. “VPNs MPLS” suportam QoS usando técnicas de serviços diferenciados. Estas técnicas permitem aos clientes trafegarem ordenados em categorias baseadas em ampla faixa de políticas, assim como: tipos de aplicações, sites de origem, e as redes de provedores. Dentro das redes, as classes de tráfego são identificadas por bits de cabeçalho ou por labels diferentes, com o uso dos roteadores para determinar tratamento de filas e deste modo parâmetros de QoS como espera e perda.

♦ Engenharia de Tráfego

A engenharia de tráfego [8] é mais um benefício que o MPLS provê. Este termo refere-se à habilidade para controlar o fluxo de tráfego na rede, com o objetivo de reduzir problemas de congestionamento e conseguir um melhor uso dos recursos disponíveis. A solução para o problema na engenharia de tráfego consiste no fato de que labels e caminhos de comutação baseados em label podem ser estabelecidos por uma variedade de módulos de controle diferentes. Por exemplo, o módulo de controle da engenharia de tráfego pode estabelecer um caminho de comutação baseados em label de A, para C, para D, para E, e outro de B, para C, para F, para G, para E. Por definição de políticas que selecionam certos pacotes para seguir estes caminhos, o fluxo de tráfego na rede podem ser gerenciados (Figura 2).

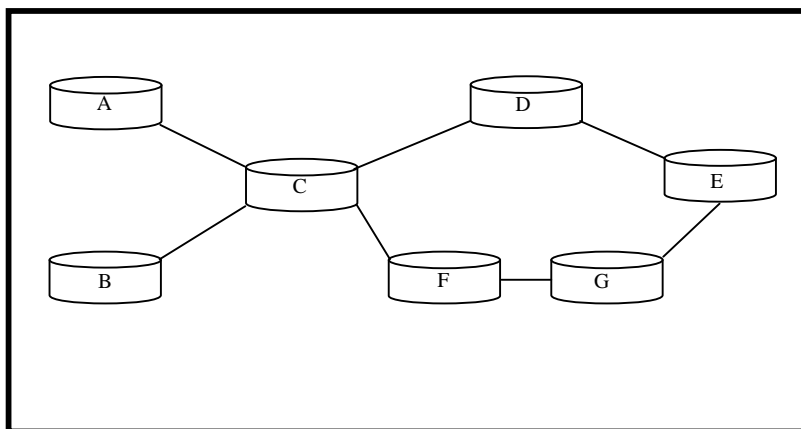


Figura 2 - Exemplo de Engenharia de Tráfego.

A engenharia de tráfego MPLS provê acesso integrado para a engenharia de tráfego. Com o MPLS as funcionalidades das engenharias de tráfegos é integrada na camada 3, que otimiza o roteamento de tráfego IP, dados os requerimentos impostos pelos limites da capacidade e topologia do backbone. O Software para engenharia de tráfego MPLS habilita um backbone MPLS para replicar e expandir as funcionalidades da engenharia de tráfego da camada 2 (ATM) e Frame Relay, caso se use o ATM ou Frame Relay.

Para os provedores de serviços e backbones de provedores de acessos à Internet (ISP) a engenharia de tráfego é essencial. Tais backbones devem ser muito flexíveis, de modo a suportar links de alto tráfego ou problemas em nodos roteados.

Engenharia de tráfego MPLS rotea fluxos de tráfego sobre uma rede baseada nos parâmetros de fluxo de tráfego requerido e nos recursos avaliados na rede. E usa “roteamento baseado em bloqueio” onde o caminho para um fluxo de tráfego é o caminho mais curto que reúne os requisitos de recurso do fluxo de tráfego. Na engenharia de tráfego MPLS, o fluxo tem requerimento de largura de banda, requerimento de mídia, uma prioridade versus outros fluxos, e assim por diante.

6. O MPLS no Contexto das REMAVs

O Brasil, desde 1997, participa por meio das suas instituições de ensino superior e centros de pesquisa do desenvolvimento da Internet 2, através do MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) e da RNP (Rede Nacional de Pesquisa). Hoje, as Redes Metropolitanas de Alta Velocidade, chamadas de REMAVs, têm como objetivo o desenvolvimento, prototipação e testes de novos aplicativos que necessitam dos recursos oferecidos por esta categoria de rede.

As instituições envolvidas neste projeto de Redes Metropolitanas de Alta Velocidade receberam kits através do convênio da RNP com a IBM. O Kit destinado ao REMA Salvador contém equipamentos como o Switch ATM modelo 8265 e o Switch Ethernet modelo 8271. Caso fosse implantada, a tecnologia MPLS para os equipamentos do REMA utilizaria o pacote de software chamado de ARIS [9], que foi desenvolvido pela IBM.

Uma das grandes motivações no estudo do desenvolvimento da tecnologia MPLS neste trabalho é a sua integração com o ATM [4, 11, 15]. O MPLS, quando usado com o ATM, provoca algumas alterações nos planos de protocolos desta tecnologia (Figura 3).

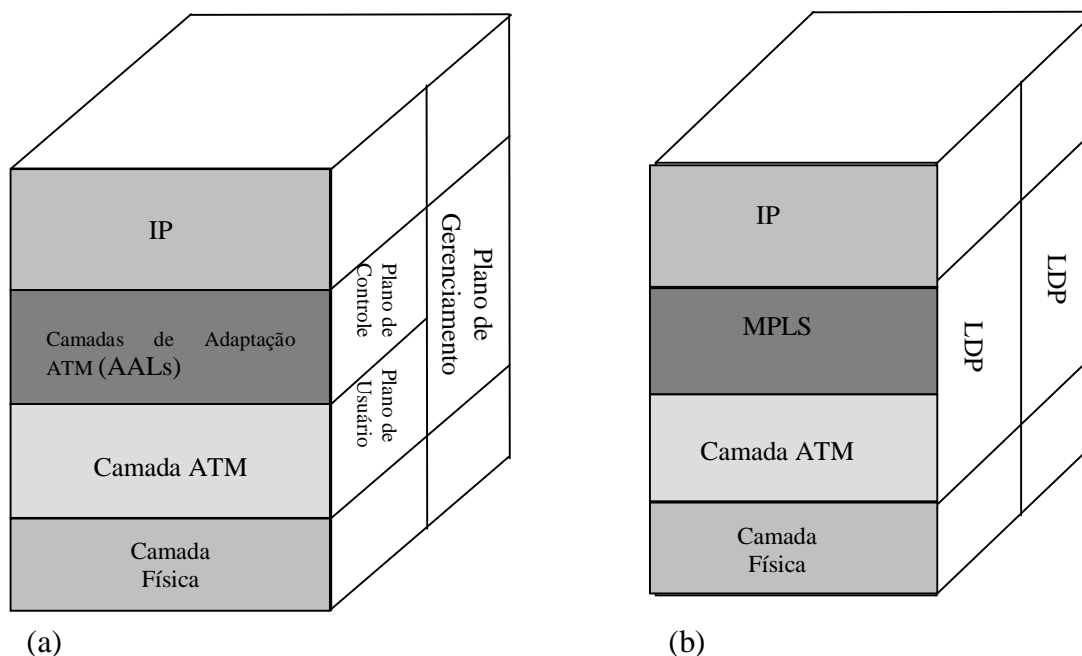


Figura 3 – (a) Estrutura original do plano de protocolos do modelo de rede IP sobre ATM;
 (b) Plano de protocolos do modelo de rede IP sobre MPLS com enlace ATM.

Os planos de controle e gerenciamento no ATM são substituídos pelos protocolos de distribuição de labels do MPLS e os circuitos virtuais são representados por FECs. Nenhum aproveitamento é realizado no software de controle do ATM na implementação do MPLS. Ele é substituído por um software de controle MPLS que, entre outras funções, é responsável pela codificação dos labels representados nos campos VPI/VCI das células ATM.

O paradigma de comutação de labels utilizado pelo ATM é muito similar ao “Label Swapping” proposto pelo MPLS [15]. No ATM, cada célula ATM traz nos campos VPI/VCI um rótulo que é utilizado como índice para pesquisa em uma tabela na qual podem ser obtidos a porta de saída e o novo label utilizado para a transmissão [12,13]. As semelhanças entre os modelos de encaminhamento de pacotes do MPLS e do ATM podem ser aproveitadas para a utilização de switches ATM como LSRs. Os campos VPI/VCI do cabeçalho das células ATM podem ser utilizados como labels.

Para a transformação dos switches ATM em ATM-LSRs, como são chamados os switches ATM que suportam MPLS, a única modificação necessária é a atualização no código dos mesmos. Isso permite o aproveitamento dos recursos já investidos [15].

É importante ressaltar a possibilidade de coexistência de ambas tecnologias num mesmo equipamento. Quer dizer, um comutador ATM pode, ao mesmo tempo utilizar a sinalização ATM para gerenciar conexões ATM e pode utilizar o software de controle MPLS para gerenciar os fluxos MPLS [4, 15].

Existem três maneiras de codificação de labels em VPI/VCI [15]:

- SVC – Nesta modalidade, o label do topo da pilha de labels é representado pelos campos de VPI/VCI das células ATM, os circuitos virtuais seriam os LSPs e os protocolos de distribuição de label (LDP) seriam utilizados como protocolo de sinalização. A utilização desta técnica impede operações na pilha de labels, ou seja, a pilha sempre tem a mesma profundidade. Isso impossibilita a utilização de túneis LSP, já que não podemos utilizar outros labels sobrepostos àquele do topo.

- SVP – O campo VPI é o label mais acima na pilha de labels, e o campo VCI é um label “inferior”, se existir um. O uso deste tipo de técnica nos permite realizar a comutação por caminho (ATM VP-switching), ou seja, os LSP são implementados como SVPs (Switched Virtual Paths) o LDP é usado como protocolo de sinalização.

Quando utilizamos esta codificação, o LSR de partida do SVP, ou seja, o último roteador, retira o label do topo da pilha de labels. Assim, o label que sobra é o representado pelo VCI. Daí em diante, as células seguem por um SVC (Switched Virtual Circuit).

Um problema deste tipo de codificação é quando temos um LSP através de uma rede ATM que não suporta MPLS. Neste caso os campos de VPI poderiam não estar disponíveis para este tipo de uso.

- Codificação SVP Multiponto – Neste método, o campo VPI, assim como no SVP, continua sendo utilizado para representar o label no topo da pilha. A mudança está na utilização do campo VCI. Uma parte deste campo é usada para representar o label inferior, se existir um, e a outra parte representa o LSR inicial do LSP.

7. Conclusão

O MPLS é ainda objeto de estudos, sendo que existe um esforço no sentido de padronização das suas especificações. Espera-se que em pouco tempo essa tecnologia esteja devidamente padronizada e disponível para a utilização em redes que necessitam de escalabilidade, performance e facilidade de gerenciamento.

O vislumbamento dessa possibilidade é bastante interessante ao projeto REMA, cuja natureza experimental visa proporcionar soluções de infra-estrutura de redes de computadores para a nova gama de aplicações que emerge no mercado.

As vantagens mais atrativas para a implementação de comutadores ATM com funcionalidades MPLS no REMA, em detrimento do uso destes equipamentos apenas para a passagem dos dados entre roteadores IP comuns são:

- Escalabilidade: O número de enlaces lógicos entre os componentes de rede é reduzido. Numa rede ATM básica, cada extremidade de um roteador requer uma conexão com todas as outras extremidades dos roteadores vizinhos, estando eles ligados através de uma malha de

comutadores. Com o MPLS, as extremidades de roteadores precisam conectar apenas um comutador que funcione como LSR, já que ele também funciona como roteador.

- Eliminação da necessidade de implementar o NHRP e circuitos diretos sob demanda. O MPLS oferece um método flexível e menos complexo de criar circuitos de comutação entre dois pontos na rede após a passagem de uma quantidade pequena de datagramas. Também elimina problemas associados à latência da geração de pacotes.

Tendo em vista a implementação do MPLS nos equipamentos do REMA, contactamos o Centro de Pesquisas Emergentes da IBM, uma vez que os equipamentos de rede que disponibilizamos são IBM. O versão de software de comutação IP que havia sido implementada era o ARIS (Aggregate Route Based IP Switching) [9], para comutadores 8265 e 8271. Entretanto, além de não estar em conformidade com o MPLS, o ARIS não foi lançado como produto. Atualmente, está em pesquisa o ARIS 2, cujo projeto segue as especificações do MPLS.

Referências:

- [1]. AGRAWAL, Shishir. IP Switching. [on line] Disponível na INTERNET via URL: http://www.cis.ohio-state.edu/~jan/cis788-97/ip_switching/. Arquivo capturado em 13/01/00.
- [2]. BLAKE, S. et al. "An Architecture for Differentiated Services". IETF Internet RFC. Dezembro 1998. rfc2475.
- [3]. BRANDEN, R.; CLARK, D. "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview". IETF Internet RFC. Junho 1994. rfc1633.
- [4]. CISCO SYSTEMS. Multiprotocol Label Switching Overview. [on line] Disponível na INTERNET via URL: www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios121/121cgcr/switch_c/xcprt4/xcdtagov.htm#xtocid222490.
- [5]. CISCO SYSTEMS. Tag Switching. Internetworking Technology Overview. Junho 1999.
- [6]. CISCO SYSTEMS. Virtual Private Networks. [on line] Disponível na INTERNET via URL: <http://www.cisco.com/public/vpn.html>. Arquivo capturado em 03/01/00.
- [7]. DAVIE, Bruce et al; Use of Label switching with RSVP. IETF Internet draft, work in progress. Setembro 1998.
- [8]. DAVIE, Bruce; Multiprotocol Label Switching - Service Providers to Benefit from New Functionality. Packet Magazine Archives. [on line] Disponível na INTERNET via URL: <http://www.cisco.com/warp/public/784/packet/apr99/6.html>. Arquivo capturado em 05/01/00.
- [9]. FELDMAN, Nancy. ARIS Specification. IETF Internet draft, work in progress. Setembro 1997.

- [10]. FOLLOWS, Jonathan; STRAETEN, Detlef. Application-Driven Networking: Class of Service in IP, Ethernet and ATM Networks. International Technical Support Organization. Dezembro 1999.
- [11]. KOSIUR, Dave. Can tag switching bridge the chasm between ATM and IP networks? [on line] Disponível na INTERNET via URL: http://www.sunworld.com/swol-02-1997/f_swol-02-tagswitching.html. Arquivo capturado em 04/02/00.
- [12]. McDYSAN, David E; SPOHN, Darren L. ATM – Theory and Application. McGraw-Hill, 1994.
- [13]. McDYSAN, David E; SPOHN, Darren L. Hands-On ATM. Nova York: McGraw-Hill, 1998.
- [14]. PASSMORE, L. David. MPLS: Dessert Topping or Floor Wax? Business Communications Review. [on line] Disponível na INTERNET via URL: <http://www.netreference.com/PublishedArchive/Articles/BCR/BCR.5.99>. Arquivo capturado em 04/02/00.
- [15]. ROSEN, Eric C.; VISWANATHAN, Arun; CALLON, Ross. Multiprotocol Label Switching Architecture. IETF Internet draft, work in progress. Agosto 1999.