

Multiprotocol Label Switching (MPLS)

O padrão Multiprotocol Label Switching (MPLS) representa um dos resultados dos esforços atuais na evolução contínua da comutação em múltiplos níveis do modelo de referência. O principal objetivo do MPLS é a integração dos paradigmas de troca de rótulos (labels) com o nível tradicional de roteamento em redes. Esta integração aumenta a eficiência no encaminhamento de dados e posiciona as redes para atender a demanda crescente por qualidade de serviços (QoS).

O desenvolvimento inicial do MPLS está centrado no IPv4, entretanto o núcleo da tecnologia é extensível para outros protocolos. O MPLS também não é limitado a uma tecnologia específica de um nível de enlace; ele pode ser utilizado em qualquer meio que possa propagar pacotes.

Os fundamentos do MPLS estão especificados na RFC 3031.

1. Visão Geral do MPLS

Em um ambiente MPLS, o roteamento convencional do nível 3 (roteamento IP) é utilizado para determinar um caminho através de uma rede. Uma vez que este caminho está determinado, pacotes de dados são comutados entre os nós enquanto transitam pela rede.

Modelo Convencional de Roteamento

Em uma rede sem conexão (datagramas), cada roteador executa um algoritmo nível 3 para determinar o encaminhamento dos pacotes. Na medida em que o pacote transita pela rede, cada roteador toma uma decisão independente sobre qual o próximo enlace a ser utilizado. Com a informação contida no cabeçalho do pacote e utilizando o algoritmo de roteamento, o roteador escolhe qual o próximo nó de destino. Em uma rede IP, este processo envolve combinar o endereço de destino do cabeçalho IP de cada pacote com a rota mais apropriada obtida da tabela de roteamento. O processo de combinação determina qual o próximo nó de destino do pacote. Esta análise e classificação do cabeçalho do pacote nível 3, dependendo da complexidade da rede (número de rotas e rotas alternativas) pode demandar muitos recursos do processador. Em redes de datagramas, este processo ocorre para cada pacote em cada nó entre a origem e o destino.

Modelo de Encaminhamento MPLS

Em um ambiente MPLS, as rotas otimizadas entre pontos da rede são identificadas antecipadamente. Quando um pacote entra na rede, os equipamentos utilizam a informação do nível 3 para escolher um dos caminhos pré-determinados. Esta designação é materializada em um rótulo (label) indicando o caminho a ser seguido enquanto transita na rede. Os roteadores ao longo do caminho utilizam a informação do rótulo para determinar qual o próximo nó que deve receber o pacote. Como estes equipamentos manipulam exclusivamente a informação do rótulo, a análise e

classificação do cabeçalho do nível 3 ocorrem exclusivamente no ponto de ingresso da rede (roteadores de borda).

Vantagens

Além de reduzir o processamento nos roteadores do núcleo da rede, o MPLS tem várias vantagens sobre o procedimento convencional do nível 3. Entre as mais significativas, poderiam ser destacadas:

- **Engenharia de Tráfego**

A engenharia de tráfego é o processo de seleção de caminhos na rede que resultem na obtenção de padrões de tráfego que utilizem os recursos de forma balanceada.

O roteamento convencional baseado em algoritmos IGP (Interior Gateway Protocol) pode selecionar caminhos na rede que resultem na utilização não balanceada de recursos. Nestes ambientes, alguns recursos podem ser subutilizados enquanto outros podem ser penalizados por cargas excessivas de tráfego. Um indicador limitado sobre a engenharia de tráfego pode ser fornecido manipulando as métricas do IGP associadas com os enlaces da rede, entretanto estas informações são complicadas de administrar em ambientes com um várias opções de caminhos entre dois pontos (redundância).

O MPLS pode ser utilizado em conjunto com os algoritmos IGP para facilitar a engenharia de tráfego. O MPLS tem a informação sobre a rota específica a ser seguida por um pacote na rede. Este roteamento explícito de pacotes garante que todo o fluxo de informações com as mesmas características transita pelo mesmo caminho. A administração e monitoração dos fluxos de dados permitem a avaliação correta da utilização dos recursos da rede. A rota explícita do MPLS é obtida através dos recursos e algoritmos do roteamento IP tradicional, porém este trabalho é realizado exclusivamente para o seu estabelecimento ou em procedimentos de manutenção.

O MPLS também tem a habilidade de avaliar informações não constantes no cabeçalho IP (por exemplo, qual o protocolo nível 4) para determinar uma rota explícita para o pacote. O administrador de rede pode desenvolver políticas de fluxo de tráfego baseadas em como e onde as informações entram na rede. Em redes tradicionais esta informação pode ser avaliada exclusivamente no ponto (roteador) de entrada. Análises adicionais permitem maior nível de controle por arte do administrador, que resulta em níveis de serviço mais previsíveis.

- **Qualidade de Serviço**

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 granularidade de 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:

1. O rótulo MPLS (label) 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).
2. A rede MPLS pode estabelecer múltiplos caminhos entre equipamentos de entrada e saída. Para cada fluxo de informações é estabelecido um nível de serviço apropriado, e o tráfego é direcionado para o caminho adequado quando entra na rede.

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

2. Componentes de uma Rede MPLS

Terminologia

▪ Forwarding Equivalency Class (FEC)

O FEC caracteriza um grupo de pacotes nível 3 que são tratados da mesma maneira. Todos os pacotes seguem o mesmo caminho e tem a mesma prioridade. Os pacotes em um FEC podem ter informações diferentes (IP origem ou IP destino) nos cabeçalhos nível 3, no entanto, para efeitos de roteamento, não tem distinção.

Exemplos comuns de grupos FEC são:

1. Um conjunto de pacotes com a mesma rota na tabela de Roteamento IP;
2. Um conjunto de pacotes com a mesma rota na tabela de roteamento IP e classificado com o mesmo tipo de serviço IP.

Na terminologia MPLS, o FEC é identificado por um rótulo (label).

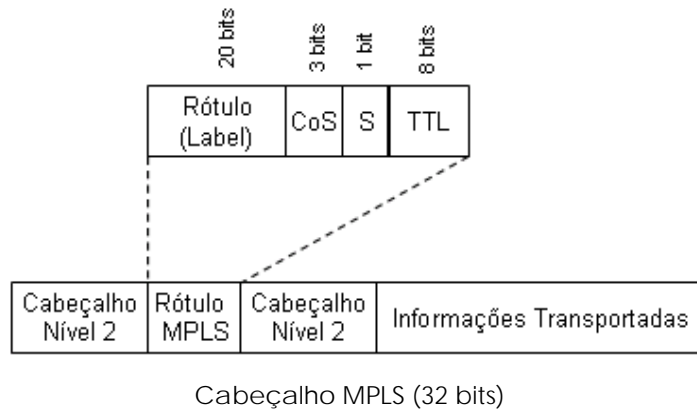
▪ Labels and Labeled Packets (Rótulos e Pacotes Rotulados)

Um rótulo (label) identifica um FEC. Equipamentos MPLS encaminham todos os pacotes com o mesmo rótulo (label) do mesmo modo.

O rótulo é significativo entre um par de equipamentos MPLS. Ele materializa um acordo entre dois equipamentos descrevendo a relação entre um rótulo e um FEC. O fato de o rótulo ser significativo entre dois equipamentos MPLS vizinhos garante a escalabilidade do MPLS em ambientes complexos, porque o rótulo não necessita ser o mesmo em cada nó (hop).

O rótulo MPLS pode estar localizado em posições diferentes do pacote dependendo da tecnologia do nível 2 utilizada para o transporte dos dados. Se a tecnologia do nível 2 contempla um campo para rótulo, o rótulo MPLS é encapsulado no cabeçalho nativo do protocolo. Em redes ATM (Asynchronous Transmission Mode) o campo VPI/VCI pode ser utilizado para armazenar o rótulo MPLS. De modo análogo, o campo DLCI pode conter o rótulo do MPLS em redes Frame Relay.

Em tecnologias nível 2 que não suportam rótulos em modo nativo, o rótulo MPLS reside encapsulado em um cabeçalho anexado ao pacote com esta finalidade. Este cabeçalho é localizado entre o cabeçalho do nível 2 e o cabeçalho do IP.



O conteúdo do cabeçalho MPLS inclui:

1. Um campo de Rótulo, que contém o valor atual do rótulo MPLS;
2. Um campo CoS, que contém a classe do serviço com indicadores para os algoritmos de formação de filas e descartes;
3. Um campo de Pilha (S: Stack) que habilita o suporte para encadeamento de rótulos;
4. Um tempo de vida (TTL: Time to Live) que implementa a funcionalidade do TTL no IP convencional.

Um pacote rotulado (labeled packet) é um pacote que tem um rótulo codificado. Para aceitar funções MPLS avançadas, o pacote pode conter mais de um rótulo. Este fato é conhecido como pilha de rótulos (label stack). A pilha estabelece uma relação ordenada entre rótulos individuais, e é implementada utilizando o modelo LIFO (last in, first out).

▪ Label Switched Router (LSR)

Um LSR é um nó MPLS que tem a capacidade de encaminhar pacotes com o nível 3 nativo. Existem dois tipos de LSR em redes MPLS:

1. Nó LSR de ingresso, que conecta uma rede MPLS em um nó que não implementa esta funcionalidade. Os nós de ingresso administram o tráfego que entra em uma rede MPLS;
2. Nó LSR de saída que administra o tráfego que sai de redes MPLS para um nó com roteamento convencional.

▪ Next Hop Label Forwarding Entry (NHLFE)

O NHLFE é utilizado pelo nó MPLS para encaminhar pacotes. Deve existir pelo menos um NHLFE para cada FEC que flui através do nó. Cada nó é responsável por manter uma base de informações NHLFE com as seguintes informações:

1. O endereço do próximo nó (hop) do pacote;
2. A operação executada na pilha de rótulos:
 - Trocar o primeiro rótulo da pilha por um novo (operação conhecida como "popping" o rótulo anterior e "pushing" um novo rótulo);
 - Remover (pop) o rótulo do topo da pilha;
 - Trocar o rótulo do topo da pilha por um rótulo novo e colocar um ou mais rótulos na pilha. Quando esta ação é encerrada, existem pelo menos dois rótulos MPLS na pilha;
3. O encapsulamento do enlace utilizado para transmitir o pacote (opcional);
4. A codificação da pilha de rótulos (label stack) utilizada para transmitir o pacote (opcional);
5. Qualquer informação necessária para processar (encaminhar) o pacote.

▪ ILM - Incoming Label Map (Mapa de Rótulos Entrantes)

O ILM é utilizado pelo nó MPLS para encaminhar pacotes rotulados. O rótulo o pacote de entrada é utilizado como referência no ILM, que contém as informações que permitem ao nó selecionar um conjunto de NHLFEs com as instruções de encaminhamento.

O ILM pode mapear um rótulo para um grupo de NHLFEs, possibilitando o balanceamento de carga em caminhos equivalentes.

▪ FTN (Mapa FEC-to- NHLFE)

O FTN é o modo como o nó MPLS trata os pacotes que chegam sem rótulo e necessitam de um para serem propagados na rede. Um pacote sem rótulo é designado para um FEC específico ao entrar no nó MPLS. Este FEC é utilizado como referência na FTN, cujo mapa permite selecionar um conjunto de NHLFEs que contém as instruções de encaminhamento.

▪ Label Swapping (Troca de Rótulos)

A troca de rótulos é o processo utilizado pelo nó MPLS para encaminhar um pacote de dados para o próximo equipamento da rede (hop). Este procedimento independe se o pacote é rotulado ou não e guarda alguma semelhança com o método utilizado por redes ATM ou Frame Relay para encaminhar pacotes em um circuito virtual.

Encaminhando Pacotes Rotulados

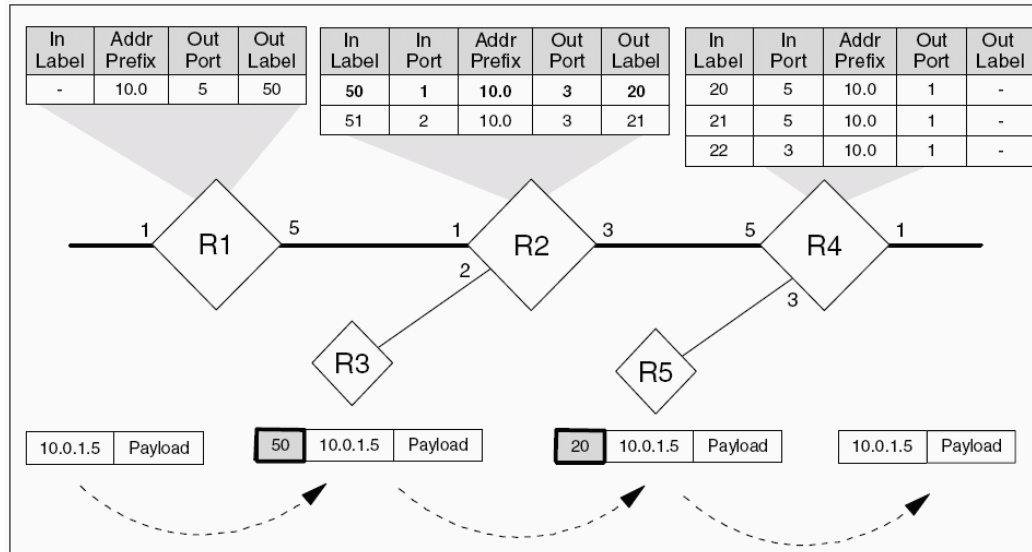
Um nó MPLS examina o rótulo no topo da pilha de um pacote de entrada e utiliza o ILM para mapear o rótulo para um NHLFE. O NHLFE indica para onde encaminhar o pacote e a operação que deve ser realizada na pilha de rótulos. Com esta

informação, o nó codifica um novo rótulo, move para o topo da pilha e encaminha o pacote resultante.

Encaminhando Pacotes Não Rotulados

O nó MPLS examina o cabeçalho do nível de rede e outras informações pertinentes para determinar um FEC. O nó usa o FTN para mapear o FEC para um NHLFE, e o resto do processo é igual ao encaminhamento de pacotes rotulados.

O diagrama abaixo mostra a troca de rótulos em um ambiente MPLS:



▪ LSP – Label Switched Path

Um LSP representa um conjunto de nós MPLS percorridos por pacotes pertencentes a um FEC específico. Este conjunto é materializado em uma lista ordenada unidirecional. O pacote flui do nó no topo para o nó na base da lista. Na figura acima um dos LSP pode ser <R1, R2, R4>.

Em uma rede MPLS os LSPs podem ser estabelecidos de duas maneiras:

Controle de LSP Independente:

Cada LSR toma uma decisão independente para vincular um rótulo a um FEC e distribui a informação para os seus nós vizinhos. Este procedimento é similar ao roteamento IP onde cada nó decide como encaminhar o pacote.

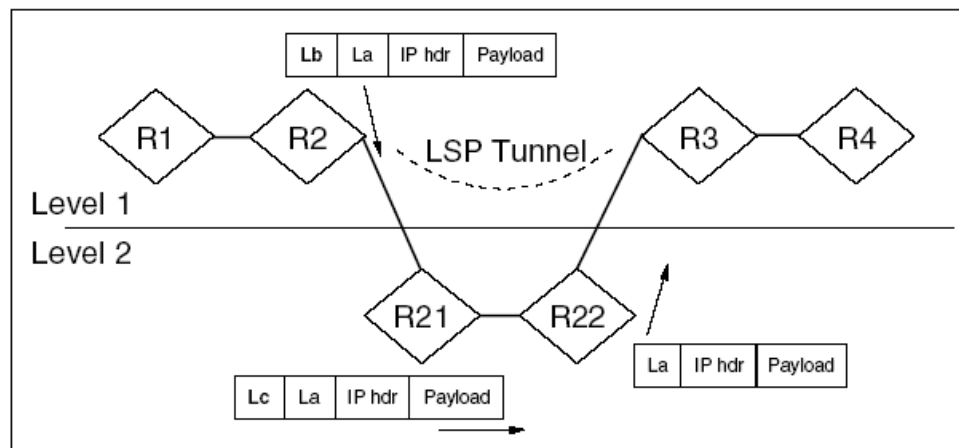
Controle LSP Ordenado:

O LSR vincula um rótulo a um FEC somente se for o nó de ingresso para o FEC na rede MPLS ou se já recebeu uma vinculação para aquele FEC do próximo nó. Em um ambiente implementado por políticas de engenharia de tráfego, LSPs ordenados são utilizados para garantir que o tráfego de um FEC siga um caminho específico.

▪ Label Stack and Label Hierarchies (Pilha e Hierarquia de Rótulos)

Um pacote rotulado pode conter um ou mais rótulos. Os rótulos são organizados em pilhas que seguem o procedimento "last-in, first out". O procedimento da fila estabelece a hierarquia ordenada em um conjunto de rótulos. Esta hierarquia é utilizada quando um nó MPLS envia um pacote para um nó de destino que não seja vizinho, em um caminho com vários nós de passagem (hop-by-hop). Quando isto acontece, um túnel é estabelecido entre os dois nós MPLS. O túnel é implementado como um LSP e a troca de rótulos (label switching) é utilizada para transportar o tráfego no túnel.

O conjunto o tráfego enviado através do túnel constitui um FEC. Cada LSR no túnel deve conter um rótulo para o FEC. Para enviar um pacote através de um túnel, o nó de ingresso adiciona um rótulo que tenha significado para ele na pilha de rótulos. Em seguida, adiciona um rótulo que seja compreendido pelo próximo nó (vizinho) e encaminha o pacote para o túnel. Por exemplo, uma rede pode conter uma LSP <R1, R2, R3, R4>. Neste exemplo, ilustrado na figura abaixo, R2 e R3 não estão conectados diretamente, mas são origem e destino de um túnel LSP. A atual sequência de LSRs através da rede é <R1, R2, R21, R22, R3, R4>.



UM pacote atravessa esta rede por um LSP nível 1 <R1, R2, R3 R4> e, para migrar de R2 para R3 utiliza um LSP nível 2 <R2, R21, R22, R3>. Pela ótica da LSP nível 1 os pares de R2 são R1 e R3. Pela ótica da LSP nível 2 o par de R2 é R21.

Acompanhando no diagrama, as seguintes ações ocorrem quando o pacote é enviado através do túnel LST:

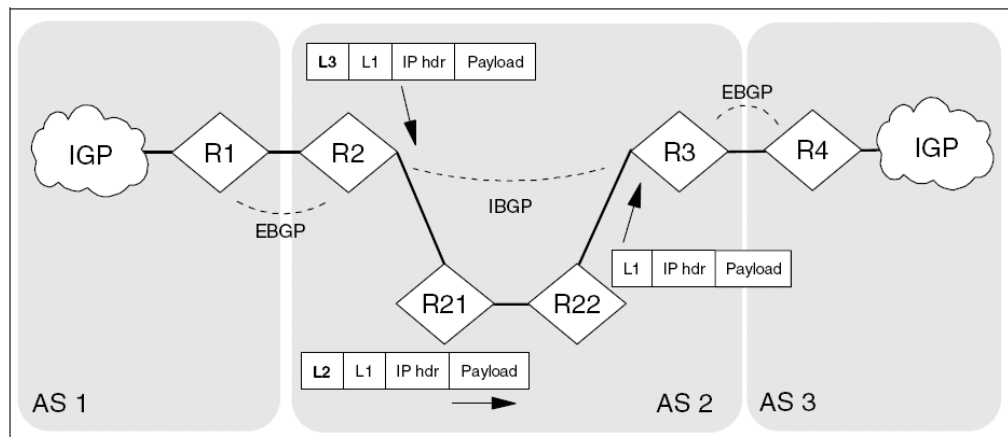
- R2 recebe o pacote de R1. O pacote contém um único rótulo e o tamanho da pilha é 1.
- R2 descarta este rótulo e inclui um compreensível para R3. este rótulo é chamado de LA.
- R2 também inclui um rótulo que possa ser entendido por R21. Este rótulo é colocado no topo da pilha, e é chamado de Lb. A pilha contém dois rótulos.

- R2 envia o pacote para R21.
- R21 descarta o rótulo nível 2 (Lb) colocado por R2 e inclui um que seja entendido por R22. Este rótulo é chamado de Lc. R21 não processa o rótulo nível 1 (La). A pilha contém dois rótulos.
- R21 envia o pacote para R22.
- R22 analisa o rótulo nível 2 incluído por R21 e identifica que é o penúltimo nó no túnel R2 – R3. R22 descarta o rótulo nível 2 (Lc) e envia o pacote para R3. A pilha contém um único rótulo.

▪ MPLS Stacks em Ambiente BGP (Pilha de Rótulos em BGP)

A rede esquematizada na figura abaixo mostra três sistemas autônomos (ASs). O ambiente contém duas classes de roteamento IP:

- Cada AS utiliza um IGP para manter a conectividade interna. Por exemplo, R2, R21, R22 e R# podem usar OSPF (Open Shortest Path First) para manter as rotas internas do AS2.
- Os ASs utilizam BGP para manter a conectividade entre si. Por exemplo, os roteadores de borda R1, R2, R3 e R4 usam BGP para rotear pacotes entre os ASs.



Neste exemplo simples, não se deve distribuir rotas BGP para equipamentos que não são roteadores de borda (por exemplo, R21 e R22) para reduzir o processamento necessário para manter as suas tabelas de roteamento. Equipamentos que não fazem interface com outras AS não necessitam algoritmos de roteamento BGP.

O roteamento em ambientes como este pode ser implementado com as pilhas LSP do MPLS. Nesta configuração, as rotas BGP são distribuídas somente para pares (peers) de roteadores BGP e são desnecessárias nos outros equipamentos ao longo do caminho entre a origem e o destino de um pacote. Túneis LSP são configurados para administrar a propagação dos pacotes na rede:

Cada roteador de borda distribui um rótulo para cada prefixo de endereço administrado pelo BGP. Estes rótulos são distribuídos para roteadores de borda em uma mesma AS.

O IGP mantém uma rota para cada equipamento de borda BGP. Os roteadores internos da AS distribuem via IGP rótulos para os seus vizinhos.

Por exemplo, o que acontece quando R2 recebe um pacote sem rótulo destinado a uma rede (identificada pelo seu prefixo) conectada via a AS3. O pacote pode ter sido originado em um segmento de LAN fisicamente conectado em R2 ou em outro segmento de LAN da AS2. Um pacote originado na AS1 obrigatoriamente conterá um rótulo.

- R2 procura a tabela de roteamento IP local para determinar a melhor rota indicada para o endereço de destino. A rota foi criada pelo BGP, que indica como próximo nó o R3.
- R3 havia previamente distribuído um rótulo para R2. Este rótulo tem o nome de L1.
- Todos os equipamentos da AS2 tem uma rota para R3 configurada pelo IGP.
 - R22 criou um rótulo para R3 e distribuiu para R21. Este rótulo é o L2.
 - R21 criou um rótulo para R3 e distribuiu para R22. Este rótulo é o L3.
- R2 prepara um pacote endereçado para a AS3 criando uma pilha de rótulos. O primeiro rótulo da pilha é o L1. No topo da pilha é incluído o rótulo L3 e o pacote é enviado para o próximo equipamento (hop) do caminho, R21
- R21 recebe o pacote e analisa a pilha de rótulos. Utilizando a informação obtida no NHLFE, troca o rótulo L3 por L2 e encaminha o pacote para R22.
- R22 analisa a pilha e identifica que é o penúltimo equipamento do túnel R2 -R3, descarta o rótulo L2 e envia o pacote para R3.
- R3 recebe o pacote e avalia o rótulo L1. Com as informações do NHLFE, R3 troca o rótulo antigo por um identificado com R4 e transmite o pacote.

3. Protocolos de Distribuição de Rótulos (Label Distribution Protocol)

Um protocolo de distribuição de rótulos é um conjunto de procedimentos que permitem a um nó MPLS distribuir rótulos para outros nós MPLS. Esta especificação é utilizada por um LSR para notificar outros LSRs sobre um rótulo e o seu significado. A troca estabelece um acordo comum entre os equipamentos.

Cada nó MPLS participa de um IGP local para determinar a topologia da rede e divulgar a tabela de roteamento. Os protocolos de distribuição utilizam esta informação para estabelecer rótulos. Após o protocolo de distribuição rodar em cada nó, a rede MPLS deve ter um conjunto completo de rotas e rótulos associados.

Os protocolos de distribuição também contemplam todas as negociações entre LSRs necessárias para instruir a funcionalidade MPLS de cada equipamento.

4. Aplicações MPLS

O MPLS endereça as necessidades atuais de utilização eficiente da banda disponível, fornecendo uma solução padronizada desenvolvida para:

- Aumentar a performance do encaminhamento de pacotes nas redes
 - O MPLS simplifica e aumenta o desempenho do tráfego de pacotes através de roteadores utilizando paradigmas de comutação no nível 2;
 - A conceptualização é simples e facilita a implementação;
 - Aumenta a performance da rede porque permite o roteamento pela comutação praticamente na velocidade do enlace (não há processamento no roteador e as filas são mínimas);

- O processamento em roteadores só acontece com os equipamentos de borda. Os processos executados pelos roteadores do núcleo da rede são extremamente simples.
- Contempla a diferenciação entre os serviços QoS e CoS
 - Utiliza a engenharia de tráfego para estabelecer os caminhos iniciais e auxilia a alcançar as garantias de níveis de serviço;
 - Tem provisão para restrições de rotas e estabelecimento de caminhos explícitos.
- Facilita o crescimento das Redes, Integra a rede IP com as tecnologias do nível 2
 - Pode ser utilizado para evitar os problemas relacionados com a sobreposição de redes (IP-ATM, IP-SDH, IP-PDH, ...);
 - Pode ser integrado aos comutadores de nível 2, efetivamente juntando redes com tecnologias distintas.
- Redes Interoperáveis
 - Solução baseada em padrões que obtém sinergia entre IP e redes ATM/SDH/PDH;
 - Auxilia a implementação de VPNs com escalabilidade pela capacidade de engenharia de tráfego.

5. Oferta de MPLS no Mercado

O MPLS é uma realidade no mercado brasileiro. Pelo menos três grandes empresas de telecomunicações oferecem serviços baseados nesta tecnologia. As empresas abaixo comercializam os serviços relacionados baseados em MPLS. Os links foram consultados e estavam ativos em 08 de Abril de 2004.

Embratel – Serviço IP VPN

www.embratel.com.br/Embratel02/cda/portal/0,2997,MG_P_614,00.html

Telemar – Serviço TC VPN Vip

www.telemar.com.br/corporativo/index.asp?idPage=3&idPageSub=a5

Telefônica – Serviço VPN VIP

www.telefonicaempresas.com.br/dadoseinternet/vpn/ip/vpn_ip/index.html

6. Glossário

DLCI:	Um rótulo utilizado em redes Frame Relay para identificar um circuito;
FEC:	Forward Equivalence Class, identifica um grupo de pacotes IP que são tratados pelo roteador da mesma maneira (transmitidos pelo mesmo caminho com o mesmo tratamento de encaminhamento);
Label:	Identificador físico contíguo de tamanho fixo (pequeno) que é utilizado em um ambiente local para identificar um FEC;
Label Merging:	A troca de múltiplos rótulos de entrada para um FEC particular por um único rótulo de saída;
Label Swap:	Um paradigma de encaminhamento que permite que fluxos de dados de diversas origens identificados classes de pacotes recebam tratamento igual para efeitos de transmissão;
Label switched hop:	O “hop” entre dois nodos MPLS, no qual o encaminhamento de pacotes é baseado nos rótulos;
Label switched path:	O caminho através de um ou mais LSRs (veja definição seguinte) em um nível de hierarquia seguido pelos pacotes de um FEC;
Label switched router:	Um nodo MPLS com capacidade de encaminhamento de pacotes nível 3;
Loop detecton:	Um procedimento que permite que loops sejam especificados, mas que detecta quando um ou mais pacotes estão em loop;
Loop Prevention:	Procedimento que evita que dados sejam transmitidos em um loop;
Label Stack:	Um conjunto ordenado de rótulos;
Merge Point:	Um nodo onde o “label merging” é realizado;
MPLS Domain:	Um conjunto contíguo de nodos que operam com roteamento e encaminhamento e que também é um Domínio Administrativo de Roteamento;
MPLS edge node:	Um está conectado a um host não MPLS, o LSR é um MPS edge node;
MPLS label:	Um rótulo anexado no cabeçalho do pacote que identifica o FEC do pacote;
MPLS node:	Um nodo que administra controles do protocolo MPLS e é capaz de encaminhar pacotes analisando exclusivamente o rótulo. Um nodo MPLS pode, opcionalmente, encaminhar pacotes nível 3 nativos.

Bibliografia:

TCP/IP Tutorial and Technical Overview

Adolfo Rodriguez; John Gattrell; John Karas e
Roland Peschke (IBM Red Books)

The MPLS FAQ

MPLS Resource Center (www.mplsrc.com)
(Consultado entre 22 e 29 de Março)

MPLS

International Engineering Consortium
(www.iec.org/online/tutorials/mpls/) (Consultado
entre 20 de Março e 03 de Abril)

RFC 3031

Multiprotocol Label Switching Architecture

RFC 2702

Requirements for Traffic Engineering Over MPLS