

## Protocolos em Redes de Dados

### - Aula 08 -

## MPLS

Luís Rodrigues  
ler@di.fc.ul.pt

DI/FCUL

Protocolos em Redes de Dados- Aula 08 -MPLS - p.1

## Multiprotocol Label Switching

- ⑥ Objectivo:
  - △ Conciliar as tecnologias baseadas em comutação (switching) com o encaminhamento IP.
- ⑥ Aplicações:
  - △ Aumentar o desempenho.
  - △ Engenharia de tráfego.
  - △ Qualidade de Serviço (QoS).
  - △ Encaminhamento com restrições.
  - △ Redes Virtuais Privadas.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 08 -MPLS - p.2

## Enquadramento histórico

- ⑥ Evolução e normalização (IETF) de um conjunto de tecnologias propostas no meio da década de 1990:
  - △ IP Switching (Ipsilon).
  - △ Cell Switching Router (CSR).
  - △ Tag Switching (Cisco).
  - △ Agregate Route-based IP Switching (IBM).

Protocolos em Redes de Dados- Aula 08 -MPLS - p.3

## Motivação: desempenho

- ⑥ Encaminhador:
  - △ Suporta múltiplos protocolos e tipos de interfaces.
- ⑥ Comutador:
  - △ Número limitado de protocolos.
  - △ Encaminhamento eficiente.
- ⑥ Desempenho:
  - △ Executar algum processamento nos encaminhadores com o mesmo desempenho dos computadores.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 08 -MPLS - p.4

## **Motivação: integração com ATM**

- ⑥ Utilizar a tecnologia dos comutadores ATM para comutar pacotes IP.
- ⑥ O processo de comutação é controlado por protocolos baseados nos protocolos de encaminhamento IP.

## **Motivação: encaminhamento com novas funcionalidades**

- ⑥ Não estar limitado ao endereço de destino como critério de encaminhamento.
- ⑥ Usar outros critérios como:
  - △ Endereço de origem.
  - △ Campos de qualidade de serviço.
  - △ Restrições de largura de banda ou outras.
  - △ Otimização da utilização da rede.

## **Hoje em dia**

- ⑥ A comutação baseada em endereços é tão rápida como a comutação baseada em etiquetas.
- ⑥ O MPLS é usado sobretudo para concretizar engenharia de tráfego.

## **Modo de funcionamento básico**

- ⑥ O protocolo IP é encapsulado numa trama que usa uma etiqueta (label) reconhecida pelo receptor.
- ⑥ O receptor usa a etiqueta para decidir para onde comutar o pacote.
- ⑥ O pacote, ao ser encaminhado, é encapsulado usando outra etiqueta:
  - △ Troca de etiquetas (label swapping).
- ⑥ Método de comutação:
  - △ Para cada etiqueta, está definida a interface de saída e a etiqueta a utilizar no envio.

## Encapsulamento

- 6 O pacote IP, antes de ser encapsulado na trama do nível LLC, é encapsulado com um cabeçalho "fino", que inclui a etiqueta.
  - △ Nalguns tipos de rede, a etiqueta pode também ser copiada para campos da trama LCC (por exemplo, em ATM).

## Encaminhamento

- 6 "Convencional":
  - △ Unicast: Entrada com o prefixo mais longo.
  - △ Unicast com QoS: ToS e prefixo mais longo.
  - △ Difusão: Endereço de grupo mais endereços de origem.
- 6 Comutação baseado em etiquetas:
  - △ Única regra: indexação da etiqueta.

## Constrangimentos

- 6 O número de etiquetas é reduzido por comparação com o número de destinos possíveis.
  - △ Ou seja, não é possível definir uma etiqueta diferente para cada destino.
  - △ Nota: como se referiu, pode ser interessante não basear as etiquetas apenas no endereço de destino.

## Pontos em aberto

- 6 Como associar "fluxos de tráfego" a etiquetas?
- 6 Como negociar as etiquetas entre o emissor e o receptor?

## FEC

- ⑥ Forwarding Equivalence Class
  - △ Conjunto de pacotes aos quais se aplica a mesma regra de encaminhamento.
  - △ Exemplo:
    - Conjunto de pacotes que partilham um determinado prefixo na rede de destino.
- ⑥ O encaminhamento pode ser visto como a tarefa de definir FECs e decidir qual o próximo nó para os pacotes de cada FEC.

## Granularidade das FECs

- ⑥ Larga:
  - △ Todos os pacotes para um dado prefixo.
- ⑥ Fina:
  - △ Apenas os pacotes de uma dada ligação (identificados pelo endereço de destino, origem e portos usados pelo protocolo de transporte).

## Componente de controlo

- ⑥ Responsável por associar FECs a etiquetas
- ⑥ Responsável por informar os vizinhos das associações estabelecidas.

## Associação

- ⑥ Associação local:
  - △ O nó determina quais as associações entre FECs e etiquetas.
- ⑥ Associação remota:
  - △ O nó aceita as associações definidas por outro nó.
- ⑥ Associação a jusante (downstream binding):
  - △ A associação é definida por quem recebe o pacote, que informa o emissor de qual a FEC a etiquetar.
- ⑥ Associação a montante (upstream binding):
  - △ A associação é definida por quem envia o pacote que informa o receptor das FECs etiquetadas.

## Associação por fluxos e por controlo

- ⑥ Associação estimulada por fluxos:
  - △ A análise do tráfego em curso estimula a definição de FECs e de associações.
- ⑥ Associação estimulada por controlo:
  - △ A criação de FECs e associações está dependente da troca de pacotes de controlo específicos.
    - Por exemplo, estabelecimento de ligações, reserva de recursos, etc.

## Associação estimulada por fluxos

- ⑥ Funciona como complemento do encaminhamento "convencional".
- ⑥ Antes de se definir uma associação, o tráfego utiliza a tabela de encaminhamento.
- ⑥ Após ser identificado um "fluxo" relevante, é criada uma associação que permite otimizar o encaminhamento desses pacotes.
- ⑥ Funciona tanto melhor quanto maior for a estabilidade do "fluxo".

## Distribuição de associações

- ⑥ Usando campos dos protocolos de encaminhamento (por exemplo BGP).
  - △ Mais apropriado para associações estimuladas por controlo.
- ⑥ Usando um protocolo específico para distribuição de etiquetas.

## Dispositivos fronteira

- ⑥ A utilização de etiquetas pode estar circunscrita a um conjunto limitado de encaminhadores.
  - △ O encaminhador fronteira de ingresso adiciona etiquetas ao tráfego.
  - △ Os encaminhadores intermédios trocam as etiquetas.
  - △ O encaminhador fronteira de saída remove a etiqueta do tráfego.

## ***IP Switching (Ipsilon)***

- ⑥ Permite usar comutadores ATM para comutar pacotes IP de modo eficiente.
- ⑥ Cada encaminhador possui um comutador ATM e um controlador IP.
  - △ Os controladores IP usam um circuito virtual ATM reservado para tráfego de controlo, incluindo o tráfego necessário para executar os protocolos de encaminhamento "convencionais".
  - △ Circuitos virtuais dedicados vão posteriormente sendo criados dinamicamente para suportar FECs.

## ***IP Switching: redirecção de fluxo***

- ⑥ Um nó analisa os fluxos e escolhe um FEC para ser etiquetado.
- ⑥ Envia ao nó a montante informação de qual a etiqueta a utilizar.
- ⑥ Se vários nós estabelecerem associações semelhantes é criado um percurso etiquetado (as etiquetas são trocadas em cada nó).

## ***IFMP: Ipsilon Flow Management Protocol***

- ⑥ Protocolo que permite a encaminhadores vizinhos trocarem informação acerca das associações de etiquetas e manterem adjacência.
- ⑥ Baseado em soft-state: associações devem ser refrescadas periodicamente.
- ⑥ Pacotes para informar as associações e para cancelar associações previamente estabelecidas.

## ***Tag Switching (Cisco)***

- ⑥ Generalização da técnica anteriormente descrita.
- ⑥ Os encaminhadores são aumentados com a capacidade de reconhecer pacotes encapsulados com etiquetas e de realizar a sua comutação.
- ⑥ Tráfego não etiquetado é encaminhado usando os protocolos convencionais.

## Tag switching: criando etiquetas

- 6 Cada nó define FECs e atribui-lhes etiquetas.
- 6 Para cada etiqueta reservada, o nó memoriza a descrição do FEC, e qual o próximo nó (de acordo com o encaminhamento convencional).
- 6 Os nós distribuem a informação acerca das suas etiquetas para os seus vizinhos.
- 6 Se um nó recebe de um vizinho uma etiqueta para um FEC já classificado, e se esse vizinho é o "next hop" para esse FEC, usa essa etiqueta ao encaminhar o tráfego.

## Tag switching: distribuição de etiquetas

- 6 O modo de distribuir as etiquetas depende dos mecanismos que estimulam a criação de FECs.
- 6 Se os FECs forem baseados em fluxo, e o protocolo de encaminhamento usado for o OSPF, é necessário recorrer ao Tag Distribution Protocol (TDP) para distribuir a informação sobre as associações.

## Encaminhamento hierárquico

- 6 Considere um sistema autónomo que faz trânsito. Seja E o encaminhador de entrada e S o encaminhador de saída para um dado FEC.
  - 6 Uma alternativa a injectar rotas externas dentro do sistema autónomo, consiste em fazer com que E etiquete o tráfego com etiquetas usadas para enviar pacotes para S.
  - 6 Semelhante ao encapsulamento IP (túnel) mas mais eficiente.
- 6 É também possível fazer com que os encaminhadores E e S façam parte de um percurso etiquetado inter-ASs.
  - 6 Isto leva a que se use uma "pilha" de etiquetas.

## "Pilha" (stack) de etiquetas

- 6 O encaminhador de entrada E sabe qual a etiqueta associada a um FEC pelo encaminhador de saída S.
- 6 Para enviar o pacote para S através do sistema autónomo, coloca uma etiqueta adicional no cabeçalho (esta etiqueta é usada para encaminhar o pacote até S).
- 6 Quando o pacote chega a S, a etiqueta usada internamente ao AS é removida e a etiqueta subjacente é usada para decidir qual o próximo passo (fora do AS).

## MPLS

- 6 Norma IETF que normaliza os protocolos necessários para suportar as aproximações anteriores.
- 6 Define os formatos dos cabeçalhos (permitindo a utilização de campos LLC sempre que possível, nomeadamente sobre ATM), a noção de pilha de etiquetas e o modo de as disseminar.
- 6 Suporta diversas políticas.

## Controlo ordenado e independente

- 6 Controlo independente:
  - ▲ Política apresentada na secção de Tag Switching.
  - ▲ Cada nó define os FEC de modo independente.
  - ▲ É teoricamente possível que vizinhos escolham classes diferentes e não compatíveis.
- 6 Controlo ordenado:
  - ▲ A atribuição de FECs e etiquetas é iniciado num extremo do percurso e propagado (a montante ou a jusante).

## Label Distribution Protocol

- 6 Protocolo que permite a nós vizinhos manterem adjacência e trocaram etiquetas.
- 6 Permite aos nós funcionarem em modo de associação não solicitada a jusante ou em modo associação solicitada a jusante (o nó a montante solicita uma etiqueta ao nó a jusante).
- 6 Também é possível distribuir as etiquetas usando o protocolo BGP.

## BGP/MPLS VPNs

- 6 Técnica que permite aos fornecedores de serviço oferecerem VPNs aos seus clientes.
- 6 Os encaminhadores fronteira dos fornecedores de serviço recebem as rotas pertencentes a uma dada VPN e distribuem-nas pelos restantes encaminhadores fronteira servindo essa VPN usando BGP.
  - ▲ O atributo BGP Community é usado para distinguir as rotas de cada VPN.
- 6 No outro sentido, as rotas recebidas com o atributo Community da VPN são injectadas no IGP do cliente pelo encaminhador fronteira.

## BGP/MPLS VPN

- ⑥ Várias tabelas de rotas
  - △ Os encaminhadores fronteira devem manter uma tabela de rotas por cada VPN (por oposição a uma única tabela de rotas).
  - △ Isto é necessário uma vez que diferentes VPNs podem usar os mesmos endereços.

## BGP/MPLS VPN

- ⑥ Endereços VPN-IP
  - △ O BGP pressupõe que os endereços são únicos.
  - △ Isto pode não acontecer em VPNs que usam endereços privados.
  - △ É necessário criar uma nova família de endereços que acrescenta ao endereço IP um identificador único da VPN (Route Distinguisher).
    - Estes endereços são usados exclusivamente no BGP do fornecedor de serviço e não são visíveis para o cliente.

## BGP/MPLS VPN: Encaminhamento

- ⑥ O encaminhamento no interior do fornecedor de serviço é feito com base no MPLS, usando o encaminhamento hierárquico introduzido anteriormente.
- ⑥ Isto permite que os encaminhadores interiores do fornecedor de serviço sejam totalmente independentes das VPNs suportadas.