

Protocolos em Redes de Dados

Aula 07 MPLS

Luís Rodrigues

FCUL

2005-20056

Enquadramento histórico

- ▶ 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).
 - ▶ Aggregate Route-based IP Switching (IBM).

Multiprotocol Label Switching

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

Motivação: desempenho

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

Motivação: integração com ATM

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



Hoje em dia

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



Motivação: encaminhamento com novas funcionalidades

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



Modo de funcionamento básico

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



Encapsulamento

- ▶ 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).



Constrangimentos

- ▶ 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.



Encaminhamento

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



Pontos em aberto

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



- ▶ 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.
- ▶ O encaminhamento pode ser visto como a tarefa de definir FECs e decidir qual o próximo nó para os pacotes de cada FEC.

Componente de controlo

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

Granularidade das FECs

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

Associação

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

- ▶ Associação estimulada por fluxos:
 - ▶ A análise do tráfego em curso estimula a definição de FECs e de associações.
- ▶ 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.



Distribuição de associações

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



Associação estimulada por fluxos

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



Dispositivos fronteira

- ▶ 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)

- ▶ Permite usar comutadores ATM para comutar pacotes IP de modo eficiente.
- ▶ 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

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



IFMP: Ipsilon Flow Management Protocol

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



Tag Switching (Cisco)

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



Tag switching: criando etiquetas

- ▶ Cada nó define FECs e atribui-lhes etiquetas.
- ▶ Para cada etiqueta reservada, o nó memoriza a descrição do FEC, e qual o próximo nó (de acordo com o encaminhamento convencional).
- ▶ Os nós distribuem a informação acerca das suas etiquetas para os seus vizinhos.
- ▶ 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

- ▶ O modo de distribuir as etiquetas depende dos mecanismos que estimulam a criação de FECs.
- ▶ 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

- ▶ Considere um sistema autónomo que faz trânsito. Seja E o encaminhador de entrada e S o encaminhador de saída para um dado FEC.
 - ▶ 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.
 - ▶ Semelhante ao encapsulamento IP (túnel) mas mais eficiente.
- ▶ É também possível fazer com que os encaminhadores E e S façam parte de um percurso etiquetado inter-ASs.
 - ▶ Isto leva a que se use uma "pilha" de etiquetas.



"Pilha" (stack) de etiquetas

- ▶ O encaminhador de entrada E sabe qual a etiqueta associada a um FEC pelo encaminhador de saída S.
- ▶ 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).
- ▶ 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).



- ▶ Norma IETF que normaliza os protocolos necessários para suportar as aproximações anteriores.
- ▶ 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.
- ▶ Suporta diversas políticas.



- ▶ 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.
- ▶ Controlo ordenado:
 - ▶ A atribuição de FECs e etiquetas é iniciado num extremo do percurso e propagado (a montante ou a jusante).



Label Distribution Protocol

- ▶ Protocolo que permite a nós vizinhos manterem adjacência e trocarem etiquetas.
- ▶ 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).
- ▶ Também é possível distribuir as etiquetas usando o protocolo BGP.



BGP/MPLS VPNs

- ▶ Técnica que permite aos fornecedores de serviço oferecerem VPNs aos seus clientes.
- ▶ 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.
- ▶ No outro sentido, as rotas recebidas com o atributo Community da VPN são injectadas no IGP do cliente pelo encaminhador fronteira.



- ▶ 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.

- ▶ 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

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