

WANTEC 4

Tecnologias de Redes WAN

Intserv, Diffserv, MPLS-TE e Roteamento por Segmentos

Esta nota de aula e o material suplementar (slides da aula) podem ser obtidos em:

https://drive.google.com/drive/folders/1AeQiQJUUYq_cdqnsxpVgcIfL5cP-6Bpa?usp=sharing

Esta aula é dedicada a apresentar os modelos de garantia de Qualidade de Serviço (QOS) Intserv, Diffserv, MPLS-TE e Roteamento por Segmentos. Estes modelos permitem otimizar a utilização da banda das redes, atendendo os requisitos de qualidade dos diferentes tipos de tráfego. Inicialmente são apresentados aspectos genéricos e em seguida apresentamos cada um dos modelos.

Difserv no Backbone

No backbone das redes de banda larga tem-se agregados de tráfego. Será que há alguma vantagem para o emprego de técnicas de QOS e engenharia de tráfego nesse caso?

No livro texto é analisado um caso em que há duas classes de tráfego. A Classe 1 é mais prioritária que Classe 2. A análise compara a banda necessária para duas diferentes estratégias. Numa delas não são utilizadas as técnicas de QOS. A garantia de QOS é feita pelo superdimensionamento da rede. A outra estratégia usa o modelo Diffserv para garantia de QOS. O cálculo da banda utiliza as seguintes fórmulas para cada estratégia:

$OP = \text{Banda Efetiva} / \text{Banda Média}$

Banda sem Difserv: $\text{MAX}(OP1, OP2) * (C1 + C2)$

Banda com Diffserv: $\text{MAX}((C1 * OP1), (C1 + (C2 * OP2)))$

O gráfico do próximo slide mostra que o superdimensionamento exige de 20% a 100% de capacidade adicional em relação ao uso do modelo Diffserv.

Fonte: Evans 3.3.1

QOS nos Planos de Dados e Controle

Há diferentes mecanismos que são empregados para garantia de qualidade de serviço nas redes. Os mecanismos podem ser classificados como mecanismos do plano de controle e mecanismos do plano de dados.

Os mecanismos de QOS do plano de dados são aplicados pelos nós da rede no momento do roteamento de pacotes. Os mecanismos exigem processamento intensivo de alto desempenho. Geralmente estas funções são implementadas em hardware, junto com outras funções do plano de dados, como pesquisas de encaminhamento de pacotes e filtragem de pacotes.

Mecanismos QOS do plano de controle ou sinalização estão relacionados ao controle de admissão e reserva de recursos. Inclui, em alguns casos, a configuração das funções QOS do plano de dados.

As funções QOS do plano de controle geralmente são implementadas em software, juntamente com outras funções do plano de controle, tais como os protocolos de roteamento.

Fonte: Evans 2.1.5

Mecanismos

Esta é uma lista dos principais mecanismos de QOS.

Mecanismos do Plano de Dados

- Classificação: associação a uma classe de serviço.
- Marcação: atribuição dos campos de QOS dos pacotes.
- Policiamento e shaping: garantia dos limites de taxa.
- Priorização: prioridade dos tráfegos sensíveis a atraso.
- Garantia de taxa mínima.

Mecanismos do Plano de Controle

- Intserv: reserva de recursos e controle de admissão.
- MPLS-TE: usa Intserv para túnel MPLS.
- Diffserv: Controle de admissão.

Fonte: Evans 2.1.5

Classificação e Marcação

O mecanismo de classificação consiste em analisar as propriedades dos pacotes e determinar a que classe pertencem. O mecanismo de marcação registra no pacote qual sua classe.

Exemplos de critérios de classificação são: endereço de origem e destino, porta e tipo de protocolo (outros critérios são possíveis). Quando os pacotes são processados por mecanismos de fragmentação, criptografia e tunelamento pode-se tornar inviável a classificação, uma vez que não há acesso às informações dos cabeçalhos dos pacotes.

Os campos usados para marcação são:

- IPV4 - TOS/DS (8bits)
- IPV6 - Traffic Class/DS (8bits) + Flow Label (20bits)
- MPLS - EXP (3bits)

Fonte: Evans 2.2.1

Type of Service

O campo TOS é um octeto do cabeçalho dos pacotes IPV4. O emprego desse octeto foi definido por sucessivas normas. Três bits do octeto definem a precedência de tráfego. Há oito categorias de precedência. Mais quatro bits identificam as necessidades de QOS. O emprego do TOS é obsoleto e não é utilizado nas redes modernas.

Fonte: Evans 2.3.25

Campo DS

O campo DS utiliza o mesmo octeto do cabeçalho IP originalmente destinado à marcação do TOS.

Está dividido em duas partes:

- DSCP – contém um codepoint que determina uma classe de QOS e determina os parâmetros do Assured Forwarding (AF) PHB.
- ECN - Explicit Congestion Notification

Default PHB – Classe de pacotes que não se enquadram em nenhuma outra classe explicitamente.

Expedited Forwarding (EF) PHB – É uma classe prioritária, que necessita de minimização de atraso e perda de pacotes.

The Assured Forwarding (AF) PHB – São classes que tem garantia de banda mínima e otimização de perda de pacotes.

PHB significa Per Hop Behaviour (Explicaremos a seguir).

Fonte: Evans 2.3.4.1

DSCP

Esta é a lista de classes do DSCP

7 Manutenção de atividade na camada de link e Roteamento.

6 Usado em protocolos de roteamento IP

5 EF (Express Forwarding)

4 Classe 4

3 Classe 3

2 Classe 2

1 Classe 1

0 Best Effort

Fonte: Evans 2.3.4.1

ECN

Permite o TCP determinar se há congestionamento de fato.

ECT indica que está em uso mecanismo de controle de congestionamento (RED-WED-TAIL DROP)

CE indica que pacote foi marcado para eliminação

Not ECT - Not ECN-capable

ECT 0 - ECN-capable

ECT 1 - ECN-capable

CE - Congestion experienced

Fonte: Evans 2.3.4.1

Mecanismos de Policiamento

O policiamento é um mecanismo que pode ser usado para garantir que um tráfego não exceda uma taxa máxima definida. O policiamento utiliza o mecanismo de Token Bucket, que não deve ser confundido com um algoritmo de balde furado, que possui propriedades diferentes e é mais comumente usado para modelagem de tráfego, conforme discutido na Seção 2.2.4.3 do livro do Evans. O mecanismo de policiamento possui um limite máximo do balde B (em bytes), e uma taxa R (em bps) de tokens. Para que um pacote possa ser transmitido normalmente é preciso haver um crédito de tokens suficientes. Se não houver, o mecanismo de policiamento atua de acordo com uma política estabelecida. O policiamento pode usar um ou dois baldes. No caso de dois baldes temos três resultados possíveis (cores). Passou nos dois baldes, passou num balde e não passou em nenhum balde.

Simple/Taxa única: Token Bucket

Três cores/Taxa única: Dois Token Buckets, mesma taxa R para os dois

Três cores/Duas Taxas: Dois Token Buckets, taxas R diferentes,

Se não passar nos baldes, pacotes podem ser excluídos ou marcados para eliminação caso a fila do roteador ultrapasse um limite.

Tail Drop - Limite da fila

Weighted Tail Drop - Limites diferentes para cada classe de tráfego.

Random Early Detection (RED) - Exclui pacotes aleatoriamente em função do tamanho médio da fila.

Weighted Random Early Detection (WRED) – Várias políticas de exclusão RED para cada classe de tráfego.

Fonte: Evans 2.2.3

Filas

Os pacotes que chegam nos roteadores aguardam em filas até o momento de serem transmitidos. As filas possuem uma disciplina, que é a política que escolhe qual o próximo pacote da fila a ser transmitido. As disciplinas podem ser:

FIFO/FCFS - Ordem de chegada.

Filas com prioridade - Tráfego prioritário é servido antes.

Weighted Round Robin - O agendamento de pacotes é feito proporcionalmente a peso.

Weighted Fair Queuing - O agendamento leva em consideração o tamanho dos pacotes.

Deficit Round Robin - O agendamento leva em conta a taxa passada.

Fonte: Evans 2.2.4

Intserv

O Intserv é um modelo de garantia de QOS para redes IP especificado pelo IETF. É um modelo obsoleto, mas o protocolo RSVP é usado em outros contextos. Suas características são:

- Reserva de recursos no caminho de um fluxo.
- Alocação determinística (PCR)
- Alocação estatística (entre PCR e SCR)
- Cada fluxo é associado a uma classe de serviço
- É um protocolo nativo IP
- É adaptativo (atualizado periodicamente)
- Aplicável a tráfego unicast ou multicast

Fonte: Evans 4.4

Classes de Serviço

O Intserv define três tipos de classe de serviço:

Serviço Garantido

- Atraso fixo.
- Tráfego real time com prioridade.
- Pacotes adiantados esperam no buffer.

Serviço de carga controlada

- Atraso probabilístico.
- Dá a ilusão de reserva de recursos.

- Baseado em disciplinas de filas e controle de admissão.

Best effort service

- Utiliza a capacidade disponível

Modelo Intserv

Os mecanismos utilizados para realizar o Intserv são:

- Reserva de recursos – RSVP
- Controle de admissão
- Policiamento de tráfego
- Classificação de pacotes
- Agendamento de pacotes – Disciplinas das filas.
- Roteamento – Os pacotes são roteados pelos caminhos em que há banda reservada.

RSVP-PATH/RESV

No modelo IntServ, utiliza-se um mecanismo de reserva de banda com controle de acesso para garantir que a banda agregada de fluxos de tráfego não exceda a capacidade dos enlaces. A reserva de capacidade é feita pelo protocolo de reserva de recursos (RSVP).

O RSVP é usado para reservar recursos em cada roteador ao longo dos caminhos. Pode ser usado para tráfego unicast (ponto a ponto) ou multicast (ponto multiponto). O RSVP apenas permite a reserva de recursos. O roteamento real dos pacotes é realizado usando os algoritmos de roteamento normais da rede.

O protocolo utiliza mensagens Path e Resv para reservar a capacidade na rede. A mensagem Path é enviada a todos nós da rede utilizando a técnica de flooding. Quando o roteador de destino recebe a mensagem, ele responde com a mensagem Resv. Por onde passa a mensagem ocorre a reserva de recursos nos roteadores intermediários e de origem.

Fonte: Evans 4.4.1

Parâmetros RSVP

Há várias versões do RSVP. Na versão Intserv as mensagens RSVP contém os campo Rspec e Tspec:

RSpec - Requisito de QOS

- Atraso

TSpec - Características de tráfego

- Taxa média
- Fator de pico

Fonte: Evans 4.4.1

Pontos Fracos

Escalabilidade.

- Um sistema 2,5Gbps => $(2.5 * 10^9) / (64 * 10^3) = 39000$ fluxos de 64kbps
- Número de fluxos proibitivo nas grandes redes

Complexidade

- Potocolo de reserva complicado, uso de memória e capacidade de processamento.

Interoperabilidade:

- QOS fim a fim exige o mesmo sistema nas diferentes operadoras.

Implementação:

- Todos nós da rede precisam implementar o protocolo

Diffserv

O Diffserv é um modelo de garantia de QOS para redes IP que é empregado de variadas maneiras nas redes existentes. O modelo apresenta as seguintes características gerais.

- Mais simples que Intserv.
- Mais leve e escalável.
- Agregação do tráfego em classes de prioridades.
- Foco nos agregados, não nos fluxos.
- Especificação inicial simples.

Fonte: Evans 2.3.4

Arquitetura Diffserv

O Diffserv utiliza os mecanismos de classificação e policiamento de tráfego nas bordas da rede. No interior da rede, cada classe de QOS é processada de forma diferente para permitir a garantia de QOS. A forma de tratamento é dependente de cada roteador individualmente e é denominada Per Hop Behaviour (PHB).

Fonte: Evans 2.3.4

Modelo Diffserv

No modelo Diffserv a fonte de tráfego está conectada a um roteador de borda (leaf router), que faz a classificação, marcação e policiamento de tráfego. No interior da rede os roteadores do núcleo (core routers) aplicam o Per Hop Behaviour. O modelo incorpora o conceito de domínio Diffserv com interconexão entre operadoras. Nos nós de borda de ingresso na interconexão é preciso aplicar os mecanismos de classificação, marcação e policiamento de tráfego específicos de cada domínio. O

modelo prevê o elemento negociador de banda que gerencia os roteadores de seu domínio e negocia a interconexão com negociadores de outros domínios.

Fonte: Evans 2.3.4

SLA e BB

As funções do Negociador de Banda (Bandwidth Broker – BB) são:

- Aceitar o SLA.
- Alocar os recursos no domínio.
- Solicitar alocação para os BB adjacentes (RSVP).
- Configurar o PHB (prioridade) nos equipamentos do domínio

Fonte: Evans 1.

SLA e SLS

SLA Service Level Agreement (papelático)

- Especifica as classes de serviço.
- Banda necessária.
- SLS
- Estático ou dinâmico.

SLS Service level specification (informático)

- Detalhes de QOS
- Traffic Conditioning Agreements/Specs. (TCA/TCS)

Fonte: Evans 1.

Per-Hop Behaviour

O Per-Hop Behaviour (PHB) é o nome dado à política de processamento adotada em relação a cada classe Diffserv. Esta política estabelece quais mecanismos de policiamento e disciplinas de filas serão aplicados a cada classe.

Fonte: Evans 2.4

Intserv x Diffserv

Intserv

- Coordenação end-to-end

- Diferenciação caminho
- Escalabilidade No de Fluxos
- Alocação de Banda Fluxo e QOS
- Gerência Rede Comutada
- Negociação de SLA Multilateral

Diffserv

- Coordenação per-hop
- Diferenciação qualquer pto
- Escalabilidade No de Classes
- Alocação de Banda Classe
- Gerência Rede IP
- Negociação de SLA Bilateral

IP TE e MPLS TE

Nas redes IP a engenharia de tráfego determina as rotas com auxílio dos protocolos de roteamento tipo Interior gateway protocol (IGP). Um exemplo deste tipo de protocolo é o OSPF. Eles utilizam métricas simples e aditivas para determinar a melhor rota. Não consideram a banda disponível nos enlaces. Se houver uma rota curta e congestionada e outra rota mais longa e descongestionada, o protocolo escolhe a rota mais curta.

O modelo MPLS Traffic Engineering é um sistema de roteamento que escolhe os caminhos levando em conta o congestionamento do sistema. Pode ser utilizado em associação com o modelo Diffserv para garantia de qualidade de serviço.

Fonte: Evans 6.2

Parâmetros de um Enlace

No modelo MPLS-TE cada enlace da rede possui um conjunto de atributos que refletem seu estado, usados no processo de roteamento:

Interface address - Endereço IP do enlace

Neighbor address - Endereço IP da outra ponta

Maximum link bandwidth - Capacidade efetiva do enlace (saída)

Reservable link bandwidth - Máxima banda disponível

que pode ser reservada (saida)

Unreserved bandwidth - Banda de saída disponível para cada uma das 8 prioridades.

TE metric - Métrica associada ao enlace para TE

Administrative group - Classificação do Enlace

MPLS Traffic Engineering

Distribuição de Informação de Enlaces

- OSPF-TE e IS-IS-TE (flooding)
- Conceito de áreas (múltiplos SA)

Cálculo de Caminhos

- Constraint-based, shortest path first (CSPF).
- Leva em conta a capacidade dos enlaces.

Sinalização LSP

- Cria os caminhos e labels associados

Seleção de tráfego

- Encaminha o tráfego na origem para o LSP adequado

Fonte: Evans 6.3.2

CSPF

O protocolo CSPF é semelhante ao protocolo SPF, empregado como IGP nas redes IP. mas também leva em conta a largura de banda disponível e restrições administrativas. O caminho mais curto (ou seja, menor custo) que satisfaz todas as restrições é selecionado para encaminhar o tráfego.

No diagrama da figura vemos os links que satisfazem e não satisfazem a restrição de Banda acima de 50 e grupo administrativo FF. O tráfego EH do grupo FF utilizará a rota mais curta E-F-B-C-H.

Uma vez que o CSPF determina as rotas, o protocolo RSVP é empregado para distribuição dos labels associados a cada rota.

Fonte: Evans 6.2.3.1

RSVP-TE PATH

Uma vez que o CSPF determina as rotas, o protocolo RSVP é empregado para distribuição dos labels associados a cada rota. No exemplo do diagrama, o LSR2 precisa de um caminho até o LSR8 para um tráfego de 1 Gbps. Os enlaces da rede são de 2,5 Gbps. Já há um caminho utilizado por

outro tráfego entre LSR1 e LSR8. A mensagem PATH é enviada até o destino para criar as etiquetas para o caminho determinado pelo CSPF.

Fonte: Evans 6.2.3.1

RSVP-TE RESV

O destino responde com uma mensagem RESV que vai distribuindo os labels entre roteadores.

Fonte: Evans 6.2.3.1

Diffserv TE

O Diffserv TE é a aplicação do modelo Diffserv em associação com o MPLS TE, com as seguintes características:

Há 8 classes de serviço - Class-Type (CT0-CT7)

Há 8 níveis de prioridade

Uma classe TE implica num CT e uma Prioridade

CLASSTYPE RSVP object: Indica CT associada ao LSP

Bandwidth constraints (BC): regras de alocação de banda para cada CT

Fonte: Evans 6.2.3.2 é

DS -> EXP

No Diffserv TE o codepoint de classe DSCP é copiado no campo EXP dos labels MPLS para identificar a classe TE. Este campo permite que seja aplicada a política PHB em cada roteador.

Fonte: Evans 6.2.6.2

Túnel MPLS Uniforme

Nas redes IP existe a possibilidade da criação de túneis. O túnel funciona de seguinte forma. Todos os pacotes que satisfaçam uma determinada condição, são transmitidos pelo túnel. Na prática, isto significa que os pacotes IP receberão um cabeçalho IP adicional, o cabeçalho do túnel. Este cabeçalho do túnel é que será utilizado para roteamento dos pacotes. Este recurso é empregado para criar as Redes Virtuais Privadas VPN.

No MPLS há o conceito similar de Túnel MPLS. Há duas formas de tunelamento MPLS. No túnel uniforme, o campo DSCP é copiado para o campo EXP do label MPLS. Os dois valores são considerados como a mesma coisa. No meio de uma rota, é possível que haja uma remarcação do campo EXP do label. Por exemplo, na interconexão de um domínio Diffserv para outro. Neste caso o novo valor do campo EXP vai se refletir no campo DSCP do pacote IP. No exemplo da figura, vemos isto acontecer nos pontos 4 e 5 da rota.

Fonte: Evans 2.3.4.5.1 e 2.3.6.2.3.1

Túnel MPLS Pipe

No túnel Pipe o campo DSCP dá origem ao campo EXP dos labels MPLS. Mas neste caso, os dois campos são tratados de forma independente. Se houver remarcação de labels, ela ocorrerá apenas na camada hierárquica superior da pilha de labels. Quando há uma operação push e a pilha é acrescida de um nível, o campo EXP da camada inferior dá origem ao campo EXP da camada acima. Quando ocorre a operação pop e deixa de existir a camada superior, a camada inferior mantém o valor original do campo EXP que é usado pelo PHB dali em diante.

Fonte: Evans 2.3.4.5.2 e 2.3.6.2.3.2

VPN L3

O serviço básico oferecido pelas redes de banda larga ainda é o serviço de rede privada virtual VPN. Somente agora com os serviços em nuvem, IOT, 5G, outras modalidades de serviço ganham força. O serviço VPN consiste em interconectar redes locais do cliente de forma transparente. Há dois tipos de VPN: VPN de camada 3 e VPN de camada 2.

Na VPN de camada 3, os pacotes IP do cliente recebem dois labels. No exemplo da figura o roteador do cliente B à direita envia um pacote para o cliente B à esquerda (Endereço 10.2.1.0/24). Na VRF do cliente no LER 200.4.1.1 há os labels 79 e 38. O label 39 é usado para roteamento na rede MPLS e o label 79 identifica o roteador do cliente B no destino.

VPN L2

Na VPN de camada 2, os quadros Ethernet recebem dois labels. Um rótulo identifica um túnel MPLS, o outro identifica o circuito virtual conectado às interfaces Ethernet.

Maximum Allocation Model

Há duas formas possíveis para calcular a banda disponível para um determinado tipo de classe CT do Diffserv TE para o CSPF. O modelo MAM considera que há uma banda máxima reservável num enlace da rede. Para cada classe é alocada uma parcela dessa banda, segundo a restrição BC (bandwidth constraint) da classe.

Fonte: Evans 6.2.3.2

Russian Dolls Model

No modelo de alocação de bonecas russas, a restrição BC (bandwidth constraint) da classe leva em conta que a restrição se aplica à soma das bandas alocadas. Neste modelo CT2 é a classe com os requisitos de QOS mais fortes e CT0 é best Effort. No exemplo da figura, CT2 tem uma banda exclusiva não compartilhada. CT1 tem uma banda compartilhada com CT2. CT0 compartilha a banda com CT2 e CT1.

Fonte: Evans 6.2.3.2

FRR

Na rede MPLS, em caso de falha de um enlace da rede, o headend determina uma nova rota para os LSP afetados pela falha. No entanto, devido a atrasos nas mensagens, a rede pode demorar a se recuperar. O Fast Reroute (FRR) fornece proteção de enlace para os LSPs. Isso permite que todo o tráfego transportado pelos LSPs que atravessam o enlace com falha seja redirecionado em torno da falha. A decisão de redirecionar é completamente controlada localmente pelo roteador que faz interface com o enlace. O headend é notificado sobre a falha do link por meio do IGP ou do RSVP e estabelece um novo LSP que evite a falha.

Fonte: Evans 2.6

Roteamento por Segmentos

É uma alternativa de roteamento que substitui o MPLS TE

É independente do LDP (Label Distribution Protocol) ou RSVP

Utiliza SDN

Segmento é um caminho criado entre dois nós. Na origem, o roteador determina a sequência de segmentos (usando pilha de labels ou extensão do cabeçalho IPV6)

SID (Segment Routing Identifier) é análogo ao Label MPLS.

Segmentos

O diagrama da figura mostra um exemplo de roteamento com três segmentos entre o nó A e o nó Z

Segmentos

A figura apresenta vários aspectos do roteamento por segmentos. No exemplo, o nó R1 deve encaminhar um pacote para o nó R4 da rede. Há um segmento entre R1 e R3 e outro entre R3 e R4. A figura mostra a operação push, que ocorre em R1 e associa uma SID 102001 ao pacote, as operações swap com a troca de SID em R2 e R3 (com o mesmo valor em R2 indicando que há um segmento que liga R1 a R3) e a operação pop em R4. No pé da figura pode-se ver as tabelas de roteamento de cada nó.

FRR Link

O roteamento por segmentos possui o recurso de Fast Reroute. A figura apresenta o caso em que há falha de um enlace e um roteador adjacente realiza a proteção.

FRR Node

A figura mostra o caso de FRR no caso de falha de um nó da rede.

Vantagens SR

Simplifica Roteamento e FRR (IGP+LDP+RSVP x IGP)

Redução do controle de estados das Rotas (Capacidade)

Permite ECMP (Equal-cost multi-path routing)

Melhor aproveitamento da capacidade da rede

Pronto para SDN