

Protocolos em Redes de Dados

- Aula 09 -

Controlo da congestão e QoS

Luís Rodrigues

ler@di.fc.ul.pt

DI/FCUL

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS - p.1

- ⑥ O problema da congestão.
- ⑥ Algoritmos e técnicas de controlo da congestão.
- ⑥ Qualidade de serviço.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS - p.2

Problema da congestão

- ⑥ Quando são injectados num caminho mais pacotes que este é capaz de suportar.
- ⑥ A congestão leva a atrasos.
 - △ Que por sua vez pode levar à retransmissão de pacotes e aumentar ainda mais a congestão.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS - p.3

Congestão e controlo de fluxo

- ⑥ Controlo de fluxo é feito ponto-a-ponto, entre nós terminais.
- ⑥ Controlo da congestão é feito à rede como um todo.
 - △ Re-encaminhamento de pacotes, caminhos alternativos, dispersão de carga, etc.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS - p.4

Aproximação ao controlo da congestão

- ⑥ Monitorizar o sistema para detectar o problema.
- ⑥ Informar as entidades que podem iniciar acções correctivas.
- ⑥ Corrigir a configuração do sistema.

Métricas para detectar a congestão

- ⑥ Número de pacotes descartados por falta de espaço.
- ⑥ Tamanho das filas de espera.
- ⑥ Número de re-transmissões.
- ⑥ Latência média.
 - △ Instabilidade versus reactividade.

Tipos de aproximação

- ⑥ Baseado nos encaminhadores ou nos nós terminais.
- ⑥ Baseado em reserva ou em re-alimentação.
- ⑥ Baseado em janelas ou em taxas de transmissão.

Medidas correctivas

- ⑥ Distribuir a carga:
 - △ Usar mais linhas ou re-encaminhar os pacotes.
- ⑥ Diminuir a carga:
 - △ Diminuir a taxa de transmissão, aumentar o tempo entre re-transmissões, etc.

Gestão dos alarmes no TCP

- 6 Manter uma aproximação da latência tendo por base o tempo que demoram a chegar confirmações.
- 6 Ir ajustando o tempo dos temporizadores em função deste valor.

Gestão dos alarmes no TCP

- 6 Fórmula aplicada (especificação original):
 - △ RRTE: "Round-trip-time" estimado.
 - △ RRTI: "Round-trip-time" instantâneo.

$$RTTE = \alpha RTTE + (1 - \alpha) RRTI$$

$$\text{Timeout} = \beta RTTE$$

Gestão dos alarmes no TCP

- 6 Problema:
 - △ Como emparelhar a confirmação com a transmissão (no caso de re-transmissão).
- 6 Solução:
 - △ Só contabilizar pacotes transmitidos uma vez.

Gestão dos alarmes no TCP

- 6 Fórmula Jacobson/Karels:

$$\text{Diferença} = RRTI - RTTE$$

$$RTTE = RTTE + \delta \text{ Diferença}$$

$$\text{Desvio} = \text{Desvio} + \delta(|\text{Diferença}| - \text{Desvio})$$

$$\text{Timeout} = \mu RTTE + \phi \text{ Desvio}$$

Gestão dos alarmes no TCP

- ⑥ Backoff: Aumentar o timeout quando é necessário retransmitir.
 - △ A cada retransmissão, o valor do "timeout" é duplicado.

Controlo da congestão no TCP

- ⑥ O TCP mantém uma *janela de congestão* que consiste numa estimativa do número de octetos que a rede consegue encaminhar.
- ⑥ Não envia mais octetos do que o mínimo da janela definida pelo receptor e pela janela de congestão.

Controlo da congestão no TCP

$$\text{MaxWindow} = \text{MIN}(\text{CongestionWindow}, \text{RecipientWindow})$$

$$\text{EffectiveWindow} = \text{MaxWindow} - (\text{LastByteSent} - \text{LastByteReceived})$$

Controlo da congestão no TCP

- ⑥ Quando se perde um pacote a janela de congestão é dividida por dois.
- ⑥ Sempre que chega uma confirmação, a janela é incrementada com uma percentagem do pacote máximo:
 - △ Incremento = Segmento * Segmento / Janela.
 - △ Janela nunca desce abaixo do segmento.

Controlo da congestão no TCP

- ⑥ Arranque a frio:
 - △ A janela de congestão é iniciada com o tamanho do segmento.
 - △ No entanto incrementa a janela a cada confirmação.
 - △ Isto duplica a janela a cada “round trip”.
- ⑥ Objectivo:
 - △ Chegar rapidamente ao máximo, sem enviar logo de início uma “rajada” de pacotes que pode não ser suportada pela rede.

Controlo da congestão no TCP

- ⑥ O “arranque a frio” também é utilizado quando a ligação fica inactiva devido a perda de pacotes e espera por temporizadores.
 - △ Neste caso, a janela parte com o valor de 1 e é incrementada a cada confirmação até chegar ao valor que tinha imediatamente após o temporizador expirar.

Controlo da congestão no TCP

- ⑥ Retransmissão rápida: método de diminuir os tempos de inactividade.
- ⑥ Ao receber um pacote fora de ordem, o recipiente confirma o último pacote recebido pela ordem correcta.
 - △ Isto gera várias confirmações para esse último pacote.
- ⑥ Receber várias confirmações para um pacote, é um sinal que o próximo se perdeu.
 - △ Uma retransmissão é iniciada após N confirmações repetidas (tipicamente três).

Evitar a congestão no TCP

- ⑥ Tentar alterar a taxa de transmissão se não se estão a transmitir os pacotes esperados.

$$\text{MelhorDébitoEsperado} = \text{JanelaCongestão} / \text{MenorRTT}$$

Evitar a congestão no TCP

- 6 Comparar o débito actual (medido num RTT) com o débito esperado.

$$\Delta = \text{MelhorDébitoEsperado} - \text{DébitoActual}$$

- 6 Tentar manter a diferença dentro de um certo intervalo:

$$\alpha < \Delta < \beta$$

- 6 Aumentar a janela se menor que α e diminuir se maior que β .

RED (Random Early Detection)

- 6 Mecanismo usado para evitar a sincronização do controlo de congestão em múltiplas ligações TCP.
 - 6 Os pacotes são descartados aleatoriamente quando um encaminhador começa a estar saturado.
 - 6 Evita o backoff simultâneo de todas as ligações.

Notificação explícita de congestão

- 6 Mecanismo experimental (opcional) que tenta aumentar a reactividade no controlo da congestão.
 - 6 Os encaminhadores devem usar RED.
 - 6 Em vez de descartarem os pacotes, encaminham-os com uma flag que indica congestão.
 - 6 O receptor deve informar o emissor de modo a que este reduza a taxa de transmissão.

Qualidade de Serviço

- 6 Serviços integrados.
- 6 Serviços diferenciados.

Serviços Integrados (int-serv)

- ⑥ Arquitectura global para a oferta de qualidade de serviço "end-to-end".
 - △ Arquitectura com vários componentes .
 - △ Definição de classes de serviço.
 - △ Protocolo de sinalização complementar (RSVP).
- ⑥ Especificação de tráfego (Tspec):
 - △ Descreve as características do tráfego.
- ⑥ Especificação da QoS pedida (Rspec):
 - △ Descreve as características pretendidas da rede.

Componentes da arquitectura

- ⑥ Protocolos de sinalização.
- ⑥ Policiamento de tráfego.
 - △ Verifica se o tráfego cumpre a sua especificação.
- ⑥ Controlo de admissão.
 - △ Verifica se é possível satisfazer um pedido com os recursos disponíveis.
- ⑥ Classificação:
 - △ Reconhecer os pacotes com requisitos de QoS.
- ⑥ Escalonamento e gestão das filas de espera:
 - △ Definição das políticas que escolhem quais os pacotes a encaminhar e quais os pacotes a descartar.

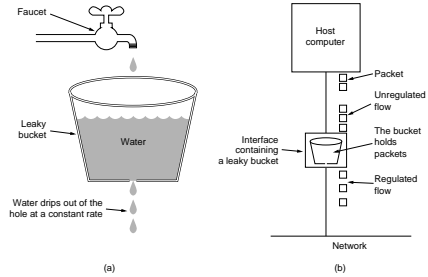
Classes de serviço

- ⑥ Débito garantido (guaranteed load):
 - △ Taxa garantida.
 - △ Atraso máximo garantido.
 - △ Ausência de perdas nas filas.
- ⑥ Débito controlado (controlled load)
 - △ Não garante o total isolamento entre o tráfego mas...
 - △ Verifica se existem recursos para satisfazer o débito solicitado.
 - △ Usa uma gestão das filas de espera que minimiza a interferência entre fluxos.
- ⑥ Melhor esforço (best-effort).

Especificação de fluxo

- ⑥ Tspec:
 - △ Taxa máxima (peak rate).
 - △ Tamanho máximo do pacote.
 - △ Tamanho da rajada, b .
 - △ Taxa de "balde-perfurado" (token-bucket rate), r .
 - △ Débito(t) $< rt + b$
- ⑥ Rspec
 - △ Débito solicitado (service rate).

Aproximação “balde-perfurado”



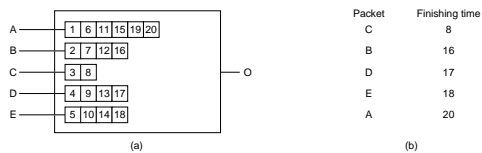
Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS – p.29

Fair queuing

- 6 Mantêm-se diferentes filas de espera para diferentes fluxos.
- 6 Independentemente do número de pacotes em cada fila, são processados pacotes de modo equitativo entre todas as filas (por exemplo, envia-se um de cada fila).
 - △ Algoritmo real ligeiramente mais complexo, pois os pacotes não possuem todos o mesmo tamanho.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS – p.30

Round-robin



(a) A router with five packets queued for line O. (b) Finishing times for the five packets.

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS – p.31

Filas de espera ponderadas

- 6 Cada fluxo possui um peso w_i (factor de ponderação)
- 6 Cada fluxo consome uma percentagem da largura de banda disponível:

$$R \frac{w_i}{\sum w_j}$$

- 6 O atraso máximo para cada fluxo é aproximado por:

$$d_i^{max} = \frac{b_i}{R \frac{w_i}{\sum w_j}}$$

Protocolos em Redes de Dados- Aula 09 -Controlo da congesto e QoS – p.32

RSVP

- 6 Protocolo de sinalização.
- 6 Permite configurar os encaminhadores para assegurarem uma determinada QoS.
- 6 Os pacotes devem transportar:
 - △ Informação de classificação (que identifica o tráfego).
 - △ Especificações de tráfego e QoS pedida.
- 6 Esta informação deve ser propagada desde o emissor até ao receptor.

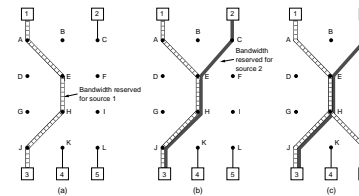
RSVP: mensagens mais importantes

- 6 PATH:
 - △ São propagadas do emissor até ao receptor.
 - △ Inclui a Tspec.
 - △ Também suporta difusão (o receptor pode ser um grupo).
 - △ No seu percurso o caminho é memorizado (cada encaminhador mantém estado, e a mensagem carrega o identificador do encaminhador a montante).
 - △ Nota: no IP multicast, o receptor não necessita de conhecer à partida a identificação dos emissores.

RSVP: mensagens mais importantes

- 6 RESV:
 - △ Enviada no sentido inverso, dos receptores até aos emissores.
 - △ Inclui a Rspec.
 - △ Inclui uma Filterspec: permite seleccionar um subconjunto do tráfego (por exemplo, pacotes de um emissor específico em grupos de difusão com vários emissores).
- 6 Também existem mensagens para libertar os recursos (*PathTear* and *ResvTear*).

Protocolo de reserva de recursos



(a) Host 3 requests a channel to host 1. (b) Host 3 then requests a second channel, to host 2. (c) Host 5 requests a channel to host 1.

RSVP

- ⑥ Identificação de tráfego:
 - △ Concebido originalmente para micro-fluxos.
 - △ IP e porto de origem, protocolo, IP e porto de destino.
- ⑥ Soft State:
 - △ As reservas são mantidas apenas temporariamente.
 - Devem ser reconfirmadas periodicamente.
 - Assegura que os recursos são libertados em casos de falha.

Fiabilidade

- ⑥ Em princípio, a necessidade de refrescar as reservas periodicamente resolve eventuais perdas de mensagens durante o protocolo.
 - △ Recuperação muito lenta ou refrescamento demasiado frequente.
- ⑥ O protocolo foi extendido para permitir a troca de confirmações entre nós consecutivos.
 - △ As mensagens possuem um identifi cador único.
- ⑥ "Summary refresh" (SREFRESH):
 - △ Para refrescar uma mensagem, pode apenas enviar-se o seu identifi cador.
 - △ Um pacote de dados pode refrescar várias mensagens.

RSVP: reservas partilhadas

- ⑥ O protocolo foi pensado para suportar aplicações com difusão:
 - △ Por exemplo, video-conferência.
- ⑥ Vários emissores podem partilhar a mesma reserva (assumindo que transmitem em momentos diferentes).
- ⑥ O receptor, na Filterspec, pode indicar que tipo de reservas pretende (partilhadas ou não e que tipo de selecção pretende fazer).

Suporte MPLS para QoS

- ⑥ Facilita a identificação de fluxos:
 - △ Que passa a ser feita através das etiquetas em vez de se analisar os campos do pacote.
- ⑥ O processo de selecção de etiquetas é integrado no RSVP.
 - △ As mensagens de RESV transportam a etiqueta reconhecida pelo next-hop.
- ⑥ Permite utilizar uma reserva de recursos para diferentes categorias de fluxos (e não apenas uma ligação):
 - △ Por exemplo, todo o tráfego entre duas localizações de um cliente.

Serviços diferenciados (diff-serv)

- ⑥ Não se fazem reservas para fluxos individuais.
- ⑥ Classifica-se o tráfego num pequeno conjunto de categorias e reservam-se recursos para cada uma destas categorias.
- ⑥ Utiliza-se o campo "Type of Service" para transportar um código identificador da categoria (6 dígitos):
 - △ Differentiated Services Code Point (DSCP).
- ⑥ Per-Hop Behavior (PHB).
 - △ Suporte dado por cada encaminhador para DS (tipicamente, materializado por filas de espera diferenciadas e políticas de descarte de pacotes).

Comportamento nas fronteiras

- ⑥ Os encaminhadores na fronteira devem:
 - △ Classificar o tráfego.
 - △ Marcar o tráfego consoante as categorias.
 - △ Policiar e formatar o tráfego ("meter", "shaper" e "dropper").

Comportamento "per-hop"

- ⑥ Por omissão : melhor esforço.
- ⑥ Encaminhamento expedito (Expedited Forwarding, EF).
 - △ O tráfego é controlado na fronteira de modo a não exceder um perfil.
 - △ O comportamento "per-hop" deve assegurar que não se verificam atrasos nas filas de espera.

Comportamento "per-hop"

- ⑥ Encaminhamento garantido (Assured Forwarding, AF):
 - △ Os utilizadores podem escolher qual a qualidade de serviço de um pequeno conjunto de classes. Cada classe possui um perfil associado.
 - △ O cliente ou o fornecedor, marcam cada pacote do perfil com uma preferência.
 - △ O comportamento "per-hop" assegura que os pacotes marcados são descartados de acordo com a sua preferência.

Assured Forwarding

- ⑥ Classe.
 - △ Identifica uma fila de espera.
 - △ Três dígitos.
 - △ Valores recomendados 1-4
- ⑥ Preferência.
 - △ Identifica uma preferência no descarte de pacotes.
 - △ Três dígitos.
 - △ Valores recomendado 1-3

Serviços diferenciados e MPLS

- ⑥ A associação entre "fluxos" e etiquetas deve ser feita tendo em conta a categoria do tráfego.
- ⑥ A etiqueta identifica implicitamente a classe de serviço.
- ⑥ Alguns tipos de encapsulamento MPLS possuem dígitos reservados que permitem a passagem de informação sobre as categorias.
 - △ Isto facilita a associação de várias categorias à mesma etiqueta e o seu processamento diferenciado.

Sumário

- ⑥ Controlo da congestão.
- ⑥ Qualidade de serviço:
 - △ Serviços integrados.
 - △ Serviços diferenciados.