

# Protocolos em Redes de Dados

## Aula 09

### Controlo da congestão e QoS

Luís Rodrigues

FCUL

2004-2005

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv

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

# Problema da congestão

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

# Congestão e controlo de fluxo

Sumário

**Controlo da  
congestão**

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

# Aproximação ao controlo da congestão

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv

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

# Métricas para detectar a congestão

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

### int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

### diff-serv

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

# Tipos de aproximação

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

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



# Gestão dos alarmes no TCP

Sumário

Controlo da  
congestão

**Controlo da congestão  
no TCP**  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

- ▶ 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

Sumário

Controlo da  
congestão

**Controlo da congestão  
no TCP**  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

- ▶ Fórmula Jacobson/Karels:

$$\text{Diferença} = RTTI - RTTE$$

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

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

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

- ▶ Backoff: Aumentar o timeout quando é necessário retransmitir.
  - ▶ A cada retransmissão, o valor do “timeout” é duplicado.

# Controlo da congestão no TCP

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

# Controlo da congestão no TCP

Sumário

Controlo da  
congestão

**Controlo da congestão  
no TCP**  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

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

# Controlo da congestão no TCP

Sumário

Controlo da  
congestão

**Controlo da congestão  
no TCP**  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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



# Controlo da congestão no TCP

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ 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”.
- ▶ 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

Sumário

Controlo da  
congestão

**Controlo da congestão  
no TCP**  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ 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

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ Retransmissão rápida: método de diminuir os tempos de inactividade.
- ▶ 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.
- ▶ 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

- ▶ 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

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

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

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

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

- ▶ Aumentar a janela se menor que  $\alpha$  e diminuir se maior que  $\beta$ .

# RED (Random Early Detection)

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
**RED**

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

# Notificação explícita de congestão

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

# Qualidade de Serviço

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv

- ▶ Serviços integrados.
- ▶ Serviços diferenciados.



# Serviços Integrados (int-serv)

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

**int-serv**

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ 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).
- ▶ Especificação de tráfego (Tspec):
  - ▶ Descreve as características do tráfego.
- ▶ Especificação da QoS pedida (Rspec):
  - ▶ Descreve as características pretendidas da rede.

# Componentes da arquitectura

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

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

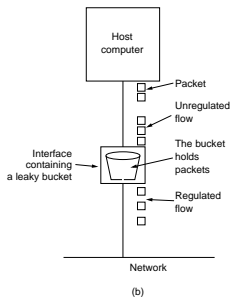
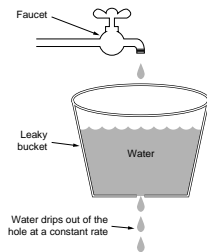
Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv

- ▶ Débito garantido (guaranteed load):
  - ▶ Taxa garantida.
  - ▶ Atraso máximo garantido.
  - ▶ Ausência de perdas nas filas.
- ▶ 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.
- ▶ Melhor esforço (best-effort).

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

# Aproximação “balde-perfurado”



Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

**int-serv**

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ Mantêm-se diferentes filas de espera para diferentes fluxos.
- ▶ 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.

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

Fair queuing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv

# Round-robin

## Sumário

### Controlo da congestão

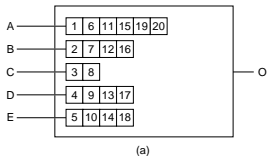
Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

**Fair queueing**  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv



Packet	Finishing time
C	8
B	16
D	17
E	18
A	20

(b)

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

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

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

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

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



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

- ▶ **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

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ 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).
- ▶ Também existem mensagens para libertar os recursos (*PathTear* and *ResvTear*).

# Protocolo de reserva de recursos

## Sumário

### Controlo da congestão

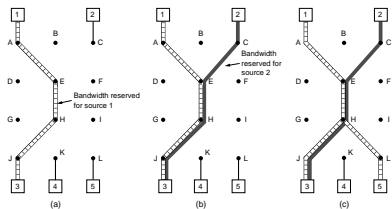
Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv



(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.

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

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

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ Facilita a identificação de fluxos:
  - ▶ Que passa a ser feita através das etiquetas em vez de se analisar os campos do pacote.
- ▶ O processo de selecção de etiquetas é integrado no RSVP.
  - ▶ As mensagens de RESV transportam a etiqueta reconhecida pelo next-hop.
- ▶ 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)

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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

## Sumário

### Controlo da congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

### Qualidade de serviço

#### int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

#### diff-serv

- ▶ 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"

Sumário

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

- ▶ Por omissão : melhor esforço.
- ▶ 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.

- ▶ 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.

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

- ▶ A associação entre "fluxos" e etiquetas deve ser feita tendo em conta a categoria do tráfego.
- ▶ A etiqueta identifica implicitamente a classe de serviço.
- ▶ 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

Controlo da  
congestão

Controlo da congestão  
no TCP  
RED

Qualidade de  
serviço

int-serv

Fair queueing  
RSVP  
Suporte MPLS

diff-serv

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