

## Cap. 7: Redes Multimídia - Objetivos

### Princípios

- ❑ Classificar aplicações multimídia
- ❑ Identificar que serviços de rede as apps precisam
- ❑ Mecanismos para oferecer QoS

### Protocolos e Arquiteturas

- ❑ Protocolos específicos para melhor-esforço
- ❑ Arquiteturas para QoS

## Capítulo 7 - Sumário

- ❑ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (*IP-phone*)
- ❑ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- ❑ 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- ❑ 7.6 Além do Melhor Esforço
- ❑ 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- ❑ 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- ❑ 7.9 RSVP

## Multimídia e Qualidade de Serviço (QoS): O que é isto?



## Aplicações MM em Rede

### Classes de aplicações

#### MM:

- ❑ Áudio e vídeo de fluxo contínuo (*streaming*) armazenados
- ❑ Áudio e vídeo de fluxo contínuo ao vivo
- ❑ Vídeo interativo em tempo-real

### Características

#### Fundamentais:

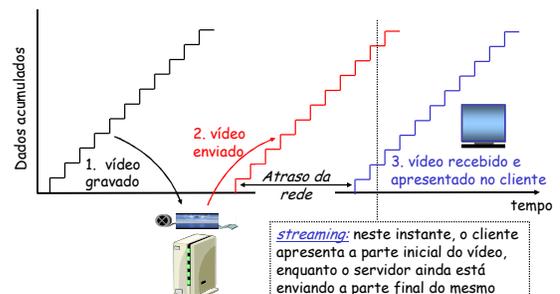
- ❑ sensíveis ao atraso.
  - o atraso fim-a-fim
  - o jitter
- ❑ Tolerante a perdas: perdas esparsas causam pequenas falhas
- ❑ Antítese da transmissão de dados que não toleram falhas mas aceitam atrasos
- ❑ Multimídia também é chamada de "mídia de fluxo contínuo"

**Jitter** é a variação do atraso dos pacotes dentro do mesmo fluxo (*stream*) de pacotes

## Streaming de Multimídia Armazenada



## Streaming de Multimídia Armazenada



## Streaming de Multimídia Armazenada : Interatividade



- Funcionalidade do tipo *VCR*: cliente pode fazer pausa, voltar, avançar, ...
  - Retardo inicial de 10 s é adequado
  - 1-2 s até comando agir é adequado
  - RTSP geralmente usado
- restrição de tempo para os dados a serem transmitidos: chegar a tempo de serem apresentados

## Streaming de MM ao Vivo

### Exemplos:

- Programas de rádio ou TV ao vivo transmitidos pela Internet

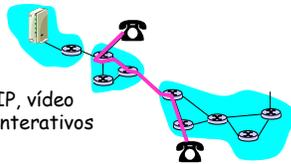
### Streaming

- *buffer* de reprodução
- reprodução pode iniciar-se dezenas de segundos após a transmissão
- ainda tem restrições temporais

### Interatividade

- avanço impossível
- retorno e pausa possíveis!

## MM Interativa em Tempo-Real



- **aplicações:** telefonia IP, vídeo conferencia, mundos interativos distribuídos
- **requisitos de retardo fim-a-fim:**
  - Vídeo: < 150 ms aceitável
  - Áudio: < 150 ms é bom, < 400 ms é aceitável
    - inclui retardos da rede e da camada de aplicação (empacotamento)
- **iniciação de sessão**
  - como o destinatário anuncia seu end. IP, número de porta, algoritmos de codificação?

## Multimídia na Internet de Hoje

### TCP/UDP/IP: "serviço de melhor-esforço"

- *não* há garantias de retardo ou perda



Mas aplicações MM requerem QoS para serem efetivas!



As aplicações MM atuais na Internet procuram mitigar os efeitos das perdas e retardos na camada de aplicação

## Como a Internet deveria evoluir para suportar melhor as aplicações multimídia?

- |  |  |
|--|--|
| <b>Filosofia de serviços Integrados:</b>   | <b>Filosofia de serviços diferenciados:</b>  |
| □ Mudar os protocolos da Internet de forma que as aplicações possam reservar banda fim-a-fim | □ Menos mudanças na infraestrutura da Internet <ul style="list-style-type: none"><li>◦ serviços de 1a. 2a.</li></ul> |
| □ Exige <i>software</i> novo e complexo nos hosp.s e roteadores                              | □ Usuários pagam mais para enviar e receber pacotes de primeira classe   |
|  | □ ISPs pagam mais aos provedores de <i>backbone</i> para enviar e receber pacotes de primeira classe.                |
- Filosofia "deixe estar"**
- Sem mudanças significativas
  - Mais banda quando necessário
  - Redes de distribuição de conteúdo
  - Redes *multicast* de sobreposição

## Compressão de áudio

- Sinal analógico amostrado a taxa constante
    - telefone : 8.000 amostras/s
    - música em CD : 44.100 amostras/s
  - Cada amostra é quantificada, i.e., arredondada
    - ex.,  $2^8=256$  valores quantificados possíveis
  - Cada valor representadas por um número fixo de bits
    - 8 bits para 256 valores
  - Exemplo: 8.000 amostras/s, 256 valores quantificados --> 64.000 bps
  - Receptor converte os valores de volta para um sinal analógico:
    - Alguma redução de qualidade
- Exemplos de taxas**
- CD: 1,411 Mbps (estéreo)
  - MP3: 96, 128, 160 kbps
  - Telefonia pela Internet: 5,3 - 13 kbps (G723.3, G729, GSM ...)

## Compressão de Vídeo

- ❑ Vídeo: seqüência de imagens exibida a uma taxa constante
    - ex. 24 imagens / s
  - ❑ Uma imagem digital é uma matriz de *pixels*
  - ❑ Cada *pixel* é representado por bits
  - ❑ Redundância
    - espacial
    - temporal
- Exemplos:**
- ❑ MPEG 1 (CD-ROM) 1,5 Mbps
  - ❑ MPEG2 (DVD) 3-6 Mbps
  - ❑ MPEG4 (geralmente usado na Internet, < 1 Mbps)
- Pesquisa:**
- ❑ Vídeo (escalável) em camadas
    - adapta as camadas à largura de banda disponível

## Capítulo 7 - Sumário

- ❑ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- ❑ 7.2 **Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados**
- ❑ 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (*IP-phone*)
- ❑ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- ❑ 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- ❑ 7.6 Além do Melhor Esforço
- ❑ 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- ❑ 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- ❑ 7.9 RSVP

## Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados

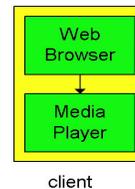
Técnica de *streaming* implementada na camada de aplicação para fazer o melhor do serviço de melhor-esforço :

- armazenamento (*buffering*) do lado cliente
- uso de UDP em vez de TCP
- vários esquemas de codificação da MM

### Transdutor de Mídia (*player*):

- remove *jitter*
- descomprime
- correção de erros
- interface gráfica com o usuário com controles para interatividade
- ❑ *Plugins* podem ser usados para embutir o transdutor de mídia na janela de um navegador.

## MM na Internet : abordagem simples

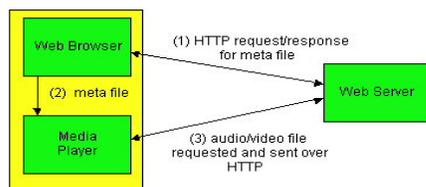


- ❑ Áudio ou vídeo armazenados em arquivos
- ❑ Arquivos transferidos como objetos HTTP
  - Recebidos na íntegra pelo cliente e, depois, passados ao reproduzidor/transdutor (*player*)

Áudio e vídeo não são enviados em "fluxo contínuo" :

- ❑ não há *pipelining*, grandes retardos até a apresentação!

## MM na Internet : fluxo contínuo (*streaming*)

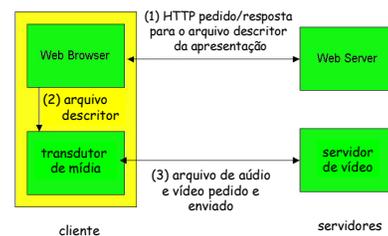


- ❑ Navegador obtém (GET) um **meta arquivo**
- ❑ Navegador dispara o transdutor e lhe passa o meta arquivo
- ❑ O transdutor conecta-se ao servidor e solicita o arquivo

### Algumas preocupações:

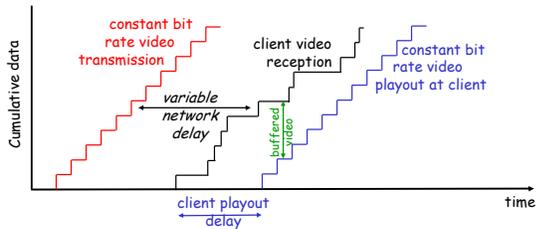
- ❑ HTTP não foi projetado para suportar comandos de controle de apresentação
- ❑ Pode-se desejar enviar o áudio e o vídeo sobre UDP

## MM na Internet : fluxo contínuo de um servidor dedicado



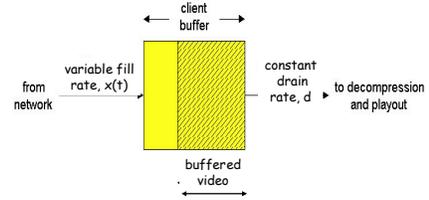
- ❑ Esta arquitetura permite o uso de outros protocolos (além do HTTP) entre o servidor e o transdutor de mídia
- ❑ Pode-se também usar UDP ao invés do TCP

### Fluxo contínuo de MM: Buzerização do lado cliente



- "Buzerização" do lado cliente: atraso de reprodução compensa o atraso e a variação do atraso introduzidos pela rede

### Fluxo contínuo de MM: Buzerização do lado cliente



- "Buzerização" do lado cliente: atraso de reprodução compensa o atraso e a variação do atraso introduzidos pela rede

### Fluxo contínuo de MM: TCP ou UDP?

#### UDP

- servidor envia a uma taxa apropriada para o cliente
  - geralmente, taxa de envio = taxa de codificação =  $tx_{const}$ .
  - Logo, taxa de preenchimento,  $x(t)$ , =  $tx_{const}$  - perda
- pequeno retardo de reprodução (2 a 5s) para compensar o *jitter*
- $x(t)$  é igual a  $d$ , exceto quando há perdas

#### TCP

- enviar à taxa máxima possível
- $x(t)$  flutua e pode tornar-se muito menor que  $d$ , devido ao controle de congestionamento do TCP
- maior retardo de reprodução (maior *buffer*) para suavizar a variação da taxa de entrega do TCP
- HTTP/TCP passa mais facilmente por *firewalls*

### Fluxo contínuo de MM: taxa(s) do cliente



**Q:** como tratar capacidades de recepção diferentes nos clientes?

- linha discada de 28.8 Kbps
- Ethernet de 100Mbps

**R:** servidor armazena e transmite várias cópias do vídeo, codificadas a diferentes taxas

### Real Time Streaming Protocol: RTSP

#### HTTP

- Projetistas do HTTP tinham em mente mídias estáticas: HTML, imagens, *applets*, etc.
- HTTP não pretende tratar mídia contínua armazenada

#### RTSP: RFC 2326

- Protocolo de camada de aplicação do tipo cliente-servidor.
- Permite ao usuário controlar apresentações de mídia contínua: voltar ao início, avançar, pausa, continuar, seleção de trilha, etc...

#### O que ele não faz:

- não define esquema de compressão para áudio/vídeo
- não define como o áudio e o vídeo é encapsulado para transmissão pela a rede
- não restringe como a mídia contínua é transportada: pode usar UDP ou TCP
- não especifica como o receptor armazena o áudio e o vídeo

#### RealNetworks

- Servidor e transdutor usam RTSP para enviar informações de controle de um para o outro

### RTSP: controle fora da faixa

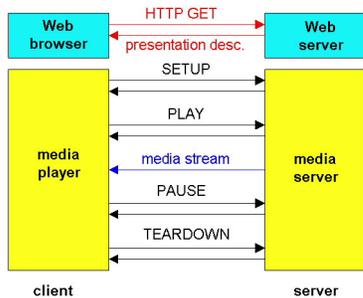
#### FTP usa um canal de controle "fora-da-faixa":

- Um arquivo é transferido sobre um canal.
- Informação de controle (mudanças de diretório, remoção de arquivos, trocas de nomes, etc.) é enviada sobre uma conexão TCP separada.
- Os canais "dentro-da-faixa" e "fora-da-faixa" usam diferentes números de portas.

#### Mensagens RTSP também são enviadas "fora-da-faixa":

- As mensagens de controle RTSP usam diferentes números de portas em relação ao fluxo de dados de mídia contínua
  - enviados "fora-da-faixa".
  - porta 544
- O fluxo de dados de mídia contínua é considerada "dentro-da-faixa".
  - estrutura de pacotes não é definida pelo RTSP,

## RTSP: Funcionamento



## Sessão RTSP

- ❑ Cliente obtém uma descrição da apresentação multimídia, que pode consistir de vários fluxos de dados.
- ❑ O *browser* chama o transdutor de mídia (aplicação auxiliar) com base no tipo de conteúdo da descrição da apresentação.
- ❑ A descrição da apresentação inclui referências aos fluxos de mídia usando o método URL `rtsp://`
- ❑ Transdutor envia o comando RTSP SETUP; servidor envia a resposta RTSP SETUP.
- ❑ Transdutor envia o comando RTSP PLAY; servidor envia a resposta RTSP PLAY.
- ❑ O servidor de mídia descarrega o fluxo de mídia.
- ❑ Transdutor envia o comando RTSP PAUSE; o servidor envia a resposta RTSP PAUSE.
- ❑ Transdutor envia o comando RTSP TEARDOWN; servidor envia a resposta RTSP TEARDOWN.

## Exemplo de Meta-arquivo

```
<title>Twister</title>
<session>
  <group language=en lipsync>
    <switch>
      <track type=audio
        e="PCMU/8000/1"
        src="rtsp://audio.example.com/twister/audio/en/lofi">
      <track type=audio
        e="DVI4/16000/2" pt="90 DVI4/8000/1"
        src="rtsp://audio.example.com/twister/audio/en/hifi">
    </switch>
    <track type="video/jpeg"
      src="rtsp://video.example.com/twister/video">
  </group>
</session>
```

## RTSP: exemplo de mensagens

```
C: SETUP rtsp://audio.example.com/twister/audio RTSP/1.0
  Transport: rtp/udp; compression; port=3056; mode=PLAY

S: RTSP/1.0 200 1 OK
  Session: 4231

C: PLAY rtsp://audio.example.com/twister/audio/en/lofi RTSP/1.0
  Session: 4231
  Range: npt=0-

C: PAUSE rtsp://audio.example.com/twister/audio/en/lofi RTSP/1.0
  Session: 4231
  Range: npt=37

C: TEARDOWN rtsp://audio.example.com/twister/audio/en/lofi RTSP/1.0
  Session: 4231

S: 200 3 OK
```

## Capítulo 7 - Sumário

- ❑ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Multimídia em Tempo-Real - Estudo de caso: **Telefonia pela Internet**
- ❑ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- ❑ 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- ❑ 7.6 Além do Melhor Esforço
- ❑ 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- ❑ 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- ❑ 7.9 RSVP

## Aplicações interativas em tempo-real

- ❑ telefone PC-a-PC
- ❑ PC-a-telefone
  - Dialpad
  - Net2phone
- ❑ videoconferência
- ❑ Webcams
- ❑ Vamos agora examinar um produto do tipo telefone PC-a-PC da Internet.

## Telefonia Internet: cenário

- As aplicações de telefonia na Internet geram pacotes durante momentos de atividade da voz (surto de voz)
  - Taxa de bits é 64 kbps nos intervalos de atividade
- Pcts gerados durante os intervalos de atividade
  - blocos de 160 bytes a cada 20 ms (8 kbytes/s)
- Cabeçalho é acrescentado ao bloco
  - bloco mais cabeçalho são encapsulados num pacote UDP e enviados
- Alguns pacotes podem ser perdidos e o atraso dos pacotes poderá flutuar

## Telefonia Internet: cenário

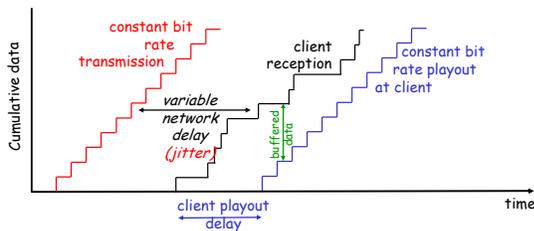
### Perda de pacotes

- Datagramas IP podem ser descartados por falta de espaço nas filas dos roteadores
- TCP pode eliminar perdas, mas
  - retransmissões aumentam o atraso
  - O controle de congestionamento do TCP limita a taxa de transmissão
- taxas de perdas entre 1% e 10% podem ser toleradas
  - dependendo dos esquemas de codificação, transmissão e ocultação de perdas.

### Atraso fim-a-fim

- Mais que 400 ms de atraso fim-a-fim compromete a interatividade; quanto menor o atraso, melhor

## Variação do atraso (Jitter)



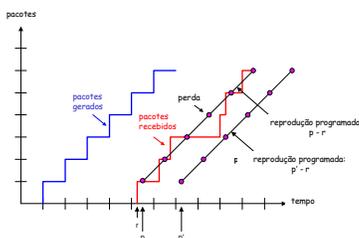
- Considere o atraso fim-a-fim de dois pacotes consecutivos: a diferença pode ser maior ou menor que 20 ms

## Telefonia Internet: atraso de reprodução fixo

- Receptor tenta reproduzir cada bloco exatamente  $q$  ms depois que o bloco é gerado
  - se o bloco tem marca de tempo  $t$ , o receptor reproduz o bloco no instante  $t+q$
  - se o bloco chega após o instante  $t+q$ , receptor descarta-o
- Números de seqüência não são necessários
- Estratégia permite pacotes perdidos
- Escolha do valor de  $q$ :
  - $q$  grande: menos perda de pacotes
  - $q$  pequeno: melhor experiência interativa

## Telefonia Internet: atraso de reprodução fixo

- Transmissor gera pacotes a cada 20 ms durante os intervalos de atividade (surto de voz)
- Primeiro pacote é recebido no instante  $r$
- Primeira programação de reprodução: começa em  $p$
- Segunda programação de reprodução: começa em  $p'$



## Atraso de reprodução adaptativo (1)

- **Objetivo:** minimizar o atraso de reprodução, mantendo a taxa de perda por atraso baixa
- **Abordagem:** ajuste adaptativo do atraso de reprodução
  - Estimar o atraso da rede e ajustar o atraso de reprodução no início de cada intervalo de atividade (surto de voz)
  - Períodos de silêncio são comprimidos e alongados
  - Os blocos ainda são reproduzidos a cada 20 ms nos intervalos de atividade

$t_i$  = marca de tempo do  $i$ -ésimo pacote

$r_i$  = instante no qual o pacote  $i$  é recebido pelo receptor

$p_i$  = instante no qual o pacote  $i$  é reproduzido no receptor

$r_i - t_i$  = atraso da rede para o  $i$ -ésimo pacote

$d_i$  = estimativa do atraso na rede após receber o  $i$ -ésimo pacote

Estimativa dinâmica do atraso médio no receptor:

$$d_i = (1 - u)d_{i-1} + u(r_i - t_i)$$

onde  $u$  é uma constante fixa (ex.,  $u = 0,01$ )

### Atraso de reprodução adaptativo (2)

- É também útil estimar o desvio médio do atraso,  $v_i$ :

$$v_i = (1 - u)v_{i-1} + u |r_i - t_i - d_i|$$

- As estimativas  $d_i$  e  $v_i$  são calculadas para cada pacote recebido, embora elas sejam usadas apenas no início de um intervalo de atividade.
- Para o primeiro pacote de um intervalo de atividade, o instante de reprodução é:

$$p_i = t_i + d_i + K v_i$$

onde  $K$  é uma constante positiva.

- Os demais pacotes do mesmo intervalo de atividade devem ser reproduzidos periodicamente

### Atraso de reprodução adaptativo (3)

#### Como saber se um pacote é o primeiro de um intervalo de atividade?

- Se não houvesse perdas, receptor olha as marcas de tempo sucessivas
  - diferença de marcas de tempo sucessivas  $> 20$  ms  $\rightarrow$  início de um intervalo de atividade.
- Com perdas possíveis, o receptor deve olhar tanto para as marcas de tempo como para os números de sequência
  - diferença de marcas de tempo sucessivas  $> 20$  ms e não há pulos nos números  $\rightarrow$  início de um intervalo de atividade.

### Recuperação de perdas de pacotes (1)

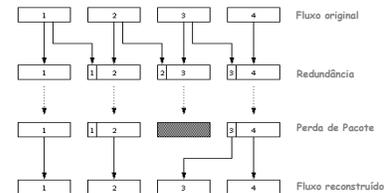
#### forward error correction (FEC): esquema: simples

- Para cada grupo de  $n$  blocos criar um bloco redundante, realizando um OU-exclusivo (XOR) entre os  $n$  blocos originais
- Transmitir os  $n+1$  blocos
  - aumento da largura de banda de  $1/n$
- Pode-se reconstruir os  $n$  blocos originais se houver no máximo um bloco perdido dentre os  $n+1$  blocos enviados
- Atraso de reprodução precisa ser definido para permitir receber todos os  $n+1$  pacotes
- Compromisso:
  - aumentar  $n$ , menor desperdício de banda
  - aumentar  $n$ , maior atraso de reprodução
  - aumentar  $n$ , maior a probabilidade de que dois ou mais blocos sejam perdidos

### Recuperação de perdas de pacotes (2)

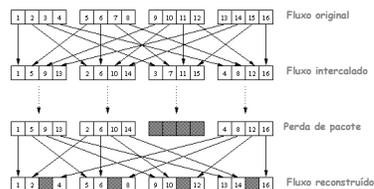
#### 2º esquema FEC

- Transmitir um fluxo de menor qualidade como "carona"
- Enviar fluxo de áudio de menor resolução como informação redundante
- Por exemplo, um fluxo nominal PCM a 64 kbps e um fluxo GSM redundante a 13 kbps



- Sempre que houver uma perda não-consecutiva, o receptor poderá recuperá-la.
- Apenas dois pacotes precisam ser recebidos antes do início da reprodução

### Recuperação de perdas de pacotes (3)



#### Intercalação

- blocos são quebrados em unidades menores
- por exemplo, 4 blocos de 5 ms cada
- pacotes agora contêm pequenas unidades de diferentes blocos
- se um pacote é perdido, ainda se tem a maior parte de cada bloco
- não há sobrecarga com redundância
- mas há aumento do retardo de reprodução

### Recuperação de perdas de pacotes (4)

#### Recuperação pelo receptor de fluxos de áudio danificados

- produzir uma substituição para um pacote perdido que seja similar ao pacote original
- pode produzir bons resultados para taxas de perdas reduzidas e pacotes pequenos (4-40 ms)
- estratégia mais simples: repetição
- estratégia mais complexa: interpolação

## Capítulo 7 - Sumário

- ❑ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (*IP-phone*)
- ❑ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- ❑ 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- ❑ 7.6 Além do Melhor Esforço
- ❑ 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- ❑ 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- ❑ 7.9 RSVP

## Real-Time Protocol (RTP)

- ❑ O RTP especifica uma estrutura de pacotes para o transporte de dados de áudio e vídeo
- ❑ RFC 1889.
- ❑ pacote RTP oferece
  - identificação do tipo de carga
  - numeração da sequência de pacotes
  - marcas de tempo
- ❑ RTP roda nos sistemas finais
- ❑ os pacotes RTP são encapsulados em segmentos UDP
- ❑ Interoperabilidade: se duas aplicações de telefonia IP usam RTP, então elas podem ser capazes de trabalhar juntas

## RTP roda em cima do UDP

As bibliotecas do RTP fornecem uma interface de camada de transporte que estendem o UDP:

- número de portas, endereços IP
- verificação de erros dentro dos segmentos
- identificação do tipo de carga
- numeração da sequência de pacotes
- marcas de tempo



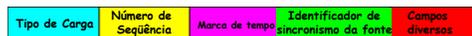
## RTP: Exemplo

- ❑ Considere o envio de 64 kbps de voz codificada em PCM sobre RTP.
- ❑ A aplicação reúne dados codificados em blocos, por exemplo, a cada 20 ms = 160 bytes por bloco.
- ❑ O bloco de áudio, junto com o cabeçalho RTP forma o pacote RTP, que é encapsulado num segmento UDP.
- ❑ O cabeçalho RTP indica o tipo de codificação de áudio em cada pacote
  - emissor pode mudar a codificação durante a conferência
- ❑ O cabeçalho RTP também contém os números de sequência e marcas de tempo.

## RTP e QoS

- ❑ O RTP **não** fornece nenhum mecanismo para assegurar a entrega dos pacotes e dados no tempo correto, nem fornece outras garantias de qualidade de serviço.
- ❑ O encapsulamento RTP é visto apenas nos sistemas finais -- ele não é percebido pelos roteadores intermediários.

## Cabeçalho RTP



Cabeçalho RTP

**Tipo de Carga (7 bits):** tipo de codificação que está sendo usada. Se o emissor mudar o tipo de codificação no meio de uma conferência, o emissor informa ao receptor através deste campo.

- Tipo de carga 0: PCM mu-law, 64 Kbps
- Tipo de carga 3, GSM, 13 Kbps
- Tipo de carga 7, LPC, 2.4 Kbps
- Tipo de carga 26, Motion JPEG
- Tipo de carga 31, H.261
- Tipo de carga 33, MPEG2 video

**Número de Sequência (16 bits):** é incrementado de um a cada pacote RTP enviado; pode ser usado para detectar perdas de pacotes e para restabelecer a sequência de pacotes.

## Cabeçalho RTP (2)



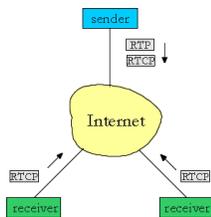
Cabeçalho RTP

- ❑ **Marca de tempo (32 bytes)**. Reflete o instante de amostragem do primeiro byte no pacote de dados RTP.
  - para áudio, o relógio de marca de tempo é tipicamente incrementa de um a cada intervalo de amostragem (por exemplo, a cada 125  $\mu$ s para uma taxa de amostragem de 8 KHz);
  - se a aplicação gera blocos contendo 160 amostras codificadas, então a marca de tempo do RTP aumenta de 160 para cada pacote RTP quando a fonte está ativa. O relógio de marca de tempo continua a aumentar numa taxa constante mesmo quando a fonte está inativa.
- ❑ **Identificador de sincronismo da fonte (SSRC) (32 bits)**. Identifica a fonte do fluxo RTP. Cada fluxo numa sessão RTP deve ter um SSRC distinto.

## Real-Time Control Protocol (RTCP)

- ❑ Trabalha em conjunto com o RTP.
- ❑ Cada participante de uma sessão RTP transmite periodicamente pacotes de controle RTCP para todos os outros participantes.
- ❑ Pacotes RTCP contêm relatórios do transmissor e/ou do receptor
  - reporta estatísticas úteis para a aplicação
- ❑ Estatísticas incluem número de pacotes enviados, número de pacotes perdidos, variação de atraso entre chegadas
- ❑ Esta informação de pode ser usada para controle do desempenho e para fins de diagnóstico.
  - o emissor pode mudar suas transmissões com base nestas informações

## RTCP ...



- uma sessão RTP usa geralmente um único endereço de *multicast*; todos os pacotes RTP e RTCP pertencentes à sessão usam este endereço de *multicast*
- os pacotes RTP e RTCP são diferenciados entre si pelo uso de números de portas diferentes
- para limitar o tráfego, cada participante reduz seu tráfego RTCP à medida que o número de participantes da conferência aumenta.

## Pacotes RTCP

### relatório de receptor:

- ❑ SSRC do fluxo RTP para o qual o pacote está sendo gerado, fração de pacotes perdidos, último número de sequência recebido, *jitter* médio entre chegadas.

### descrição de fonte:

- ❑ endereço de e-mail do emissor, nome do emissor, aplicação que está gerando o fluxo, SSRC do fluxo RTP.
- ❑ mapeamento entre SSRC e nome do usuário/hospedeiro.

### relatório de transmissor:

- ❑ SSRC do fluxo, marca de tempo e instante de tempo (real) associados ao pacote mais recentemente gerado, número de pacotes enviados e o número de bytes enviados.

## Sincronização de Fluxos

- ❑ O RTCP pode ser usado para sincronizar diferentes fluxos de mídia numa sessão RTP.
- ❑ Considere uma aplicação de videoconferência para a qual cada transmissor gera um fluxo RTP para áudio e um para vídeo.
- ❑ As marcas de tempo nestes pacotes são vinculadas aos relógios de amostragem de vídeo e de áudio
  - mas não são vinculadas a um relógio de tempo real (isto é, a um relógio de parede).
- ❑ Cada pacote do tipo relatório-do-emissor RTCP contém, para o pacote mais gerado mais recentemente no fluxo RTP associado:
  - a marca de tempo do pacote RTP
  - o instante de tempo real em que o pacote foi criado
- ❑ Receptores podem usar esta associação para sincronizar a reprodução de áudio e de vídeo.

## Controle de Banda do RTCP

- ❑ O RTCP procura limitar seu tráfego a 5% da banda da sessão.

Os 75 kbps são divididos igualmente entre os receptores.

- R receptores, cada um pode gerar tráfego RTCP à taxa de 75/R kbps

### Exemplo

- ❑ Suponha um transmissor enviando vídeo a uma taxa de 2 Mbps.
  - > RTCP procura limitar seu tráfego a 100 Kbps.
- ❑ O RTCP dá 75% desta taxa (75 kbps) para os receptores e os 25% restantes para o emissor.
- ❑ O emissor envia tráfego RTCP a 25 kbps.
- ❑ Participantes determinam o período de transmissão de pacotes RTCP calculando o tamanho médio do pacote RTCP (para todas a sessão) e dividindo-o pela taxa alocada

## Controle de Banda do RTCP

Período para a transmissão de pacotes RTCP por um emissor:

$$T = \frac{\text{number of senders}}{.25 \cdot .05 \cdot \text{session bandwidth}} \text{ (avg. RTCP packet size)}$$

Período para a transmissão de pacotes RTCP por um receptor:

$$T = \frac{\text{number of receivers}}{.75 \cdot .05 \cdot \text{session bandwidth}} \text{ (avg. RTCP packet size)}$$

## SIP (Session Initiation Protocol)

□ Vem do IETF

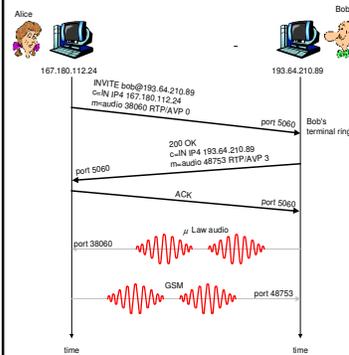
### Visão de longo prazo do SIP

- Todas as ligações telefônicas e videoconferências ocorrem sobre a Internet
- Pessoas são identificadas por nomes ou endereços de e-mail, em lugar de números de telefones
- Pode-se chegar ao destinatário, independentemente de sua localização e do tipo de dispositivo IP que estiver usando.

## SIP: Serviços

- Estabelecimento de chamada
  - Permite que o iniciador da chamada (chamador) faça o chamado saber que deseja estabelecer uma ligação
  - Fornece mecanismos que permitem às partes negociar o tipo de mídia e codificação a empregar.
  - Fornece mecanismos para encerrar a chamada.
- Determinar o endereço IP atual do chamado.
- Gerenciamento de chamada
  - Adicionar novos fluxos de mídia durante a chamada
  - Mudança da codificação durante a chamada
  - Convidar novos participantes
  - Espera e transferência de chamadas

## Estabelecimento de uma chamada para um endereço IP conhecido



• A mensagem de convite de Alice indica o seu número de porta e endereço IP; e indica a codificação preferida no fluxo de recepção (PCM ulaw)

• A mensagem de confirmação de Bob (200 OK) indica o seu número de porta, endereço IP e codificação preferida (GSM)

• Mensagens SIP podem ser enviadas sobre TCP ou UDP; aqui são enviadas sobre RTP/UDP.

• A porta SIP default é 5060.

## Estabelecimento de uma chamada (cont.)

- Negociação do Codec :
  - Suponha que Bob não possua um codificador PCM ulaw.
  - Bob responderá com "606 Not Acceptable" e fornecerá uma lista de codificadores que ele pode usar.
  - Alice poderá enviar uma nova mensagem INVITE, anunciando um codificador apropriado.
- Rejeição da chamada
  - Bob pode rejeitar a chamada com respostas "busy," "gone," "payment required," "forbidden".
- A mídia pode ser enviada usando RTP ou algum outro protocolo.

## Exemplo de uma mensagem SIP

```
INVITE sip:bob@domain.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 167.180.112.24
From: sip:alice@hereway.com
To: sip:bob@domain.com
Call-ID: a2e3a@pigeon.hereway.com
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 885

c=IN IP4 167.180.112.24
m=audio 38060 RTP/AVP 0
```

Notas:

- Sintaxe de mensagens do HTTP
- sdp = session description protocol
- Call-ID é único para cada chamada.

• Aqui não se conhece o Endereço IP de Bob. Servidores SIP intermediários serão necessários.

• Alice envia e recebe mensagens SIP usando a porta padrão (506)

• Alice especifica no campo Via: do cabeçalho que o cliente SIP envia e recebe mensagens SIP sobre UDP.

### Tradução de nomes e localização do usuário

- O chamador quer contatar o chamado, mas conhece apenas o seu nome ou endereço de e-mail.
  - É necessário obter o endereço IP do hospedeiro atual do chamado:
    - Usuários de deslocam
    - protocolo DHCP
    - Usuários têm vários dispositivos IP (PC, PDA, dispositivo no automóvel)
  - O resultado pode se basear em :
    - hora do dia (trabalho, casa)
    - Chamador (não quer atender o chefe quando estiver em casa)
    - status do chamado (enviar as chamadas para correio de voz quando já estiver falando com alguém)
- Servidores SIP :**
- registro SIP
  - proxy SIP

### Registro SIP

- Quando Bob inicia o cliente SIP, este envia uma mensagem SIP REGISTER ao servidor de registro de Bob

#### Mensagem Register :

```
REGISTER sip:domain.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 193.64.210.89
From: sip:bob@domain.com
To: sip:bob@domain.com
Expires: 3600
```

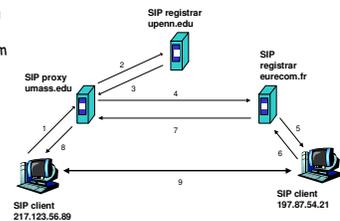
### Proxy SIP

- Alice envia uma mensagem de convite ao seu servidor proxy
    - Contem o endereço sip:bob@domain.com
  - O proxy é responsável por rotear mensagens SIP para o chamado
    - Possivelmente através de vários proxies.
  - O chamado envia respostas através do mesmo conjunto de proxies.
  - O proxy retorna uma mensagem de resposta SIP a Alice
    - contém o endereço IP de Bob
- Nota: o proxy é análogo ao servidor local de DNS

### Exemplo

chamador: jim@umass.edu  
chamado: keith@upenn.edu

- (1) Jim envia uma mensagem INVITE para o proxy SIP da umass
- (2) O Proxy encaminha a requisição para o registro da upenn
- (3) o servidor da upenn retorna uma mensagem indicando que se deve tentar keith@eurecom.fr



- (4) O proxy da umass envia um INVITE para o registro de eurecom. (5) o registro de eurecom encaminha a msg. INVITE para 197.87.54.21, que está rodando o cliente SIP de keith, (6-8) resposta SIP enviada de volta (9) mídia trocada diretamente pelos clientes.

Nota: há tb. Uma mensagem ack do SIP que não é mostrada

### SIP x H.323

- H.323 é uma alternativa ao SIP
- H.323 é uma suíte completa de protocolos, verticalmente integrada, para conferencia multimídia: sinalização, registro, controle de admissão, transporte e codecs;
- SIP é somente um componente, aborda apenas iniciação e gerenciamento de conexões: trabalha com RTP, mas não o exige. Pode ser combinado com outros protocolos e serviços.
- H.323 vem do ITU (telefonía).
- SIP vem do IETF: Emprsta muitos conceitos do HTTP, DNS e e-mail.
- SIP tem um quê de Web, enquanto o H.323 de telefonía.
- H.323 é um padrão guarda-chuva, grande e complexo
- O SIP adere ao princípio KISS: *Keep it simple stupid.*

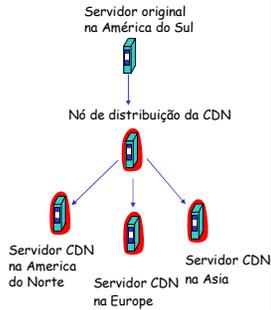
### Capítulo 7 - Sumário

- 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonía pela Internet (*IP-phone*)
- 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- 7.6 Além do Melhor Esforço
- 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- 7.9 RSVP

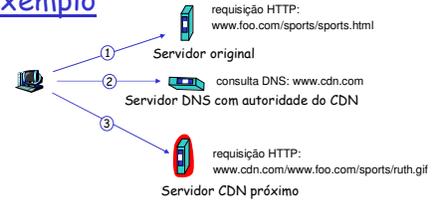
## Content distribution networks (CDNs)

### Replicação de Conteúdo

- Desafio: transmitir em fluxo contínuo grandes arquivos (p.ex. Vídeo) a partir de um único servidor de origem, em tempo real
- Solução: replicar o conteúdo em centenas de servidores CDN espalhados pela Internet
  - Servidores CDN geralmente estão em redes de borda/acesso
  - Quando o provedor de conteúdo faz uma alteração, a CDN atualiza os servidores



## CDN: exemplo



### servidor original (www.foo.com)    companhia CDN (cdn.com)

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>□ distribui HTML</li> <li>□ substitui:<br/>http://www.foo.com/sports.ruth.gif<br/>por<br/>http://www.cdn.com/www.foo.com/sports/ruth.gif</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>□ distribui arquivos gif</li> <li>□ usa o seu servidor DNS com autoridade para redirecionar requisições</li> </ul> |
|--|---|

## Mais sobre CDNs

### roteamento de requisições

- A CDN cria um "mapa", indicando as distâncias entre ISPs folhas e nós CDN
- Quando uma consulta chega a um servidor DNS com autoridade:
  - o servidor determina em que ISP a consulta se originou
  - usa o "mapa" para determinar o melhor servidor CDN
- Nós CDN criam uma rede de sobreposição na camada de aplicação

## Capítulo 7 - Sumário

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede</li> <li>□ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados</li> <li>□ 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (<i>IP-phone</i>)</li> <li>□ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real</li> <li>□ 7.5 Distribuição de Multimídia: redes de distribuição de conteúdo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 7.6 Além do Melhor Esforço</li> <li>□ 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação</li> <li>□ 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados</li> <li>□ 7.9 RSVP</li> </ul> |
|--|---|

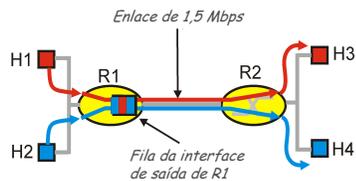
## Melhorando o QoS em Redes IP

Até aqui: "fazendo o melhor do melhor esforço"

Futuro: Internet da próxima geração com garantias de QoS

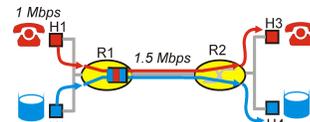
- RSVP: sinalização para a reserva de recursos
- Serviços Diferenciados: garantias diferenciais
- Serviços Integrados: garantias firmes

Modelo simples para estudos de compartilhamento e de congestionamento:



## Princípios para Garantia de QoS

- Exemplo: IP phone de 1 Mbps e FTP compartilham enlace de 1,5 Mbps.
  - rajadas FTP podem congestionar o roteador -> perdas de áudio
  - queremos priorizar o áudio

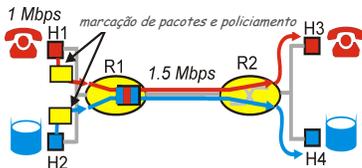


### Princípio 1

marcação de pacotes necessária para que os roteadores possam distinguir diferentes classes; assim como novas políticas no roteador para tratar os pacotes de acordo com as suas classes

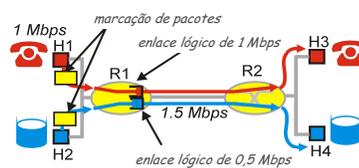
### Princípios para Garantia de QoS (mais)

- ❑ aplicações mal-comportadas (áudio envia pacotes a taxa superior a 1Mbps, conforme assumido anteriormente):
  - Policiamento: força a aderência das fontes às bandas alocadas.
- ❑ marcação e policiamento feitos nas bordas da rede
  - similar to ATM UNI (User Network Interface)
- ❑ PRINCÍPIO 2: fornecer proteção (isolamento) para uma classe em relação às demais



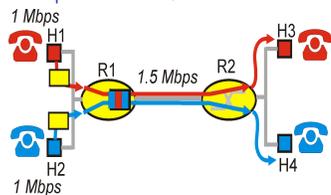
### Princípios para Garantia de QoS (mais)

- ❑ Alocação de porção fixa de banda (não compartilhada) a cada fluxo: uso ineficiente da banda se os fluxos não usam a banda alocada
- ❑ PRINCÍPIO 3: Ao mesmo tempo em que se provê isolamento, é desejável usar os recursos da forma mais eficiente possível



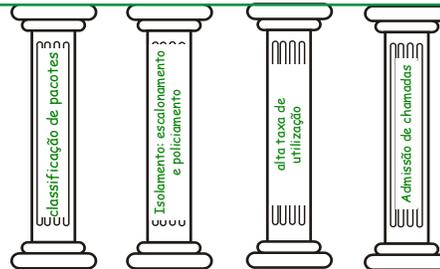
### Princípios para Garantia de QoS (mais)

- ❑ Não é possível atender a um tráfego superior à capacidade do enlace
- ❑ PRINCÍPIO 4: Admissão de Chamadas: fluxo declara as suas necessidades, a rede pode bloquear a chamada se a necessidade não puder ser satisfeita



### Sumário dos Princípios de QoS

#### QoS para aplicações em redes

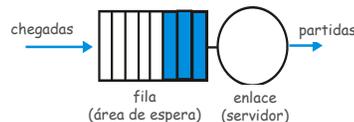


### Capítulo 7 - Sumário

- ❑ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (IP-phone)
- ❑ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- ❑ 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- ❑ 7.6 Além do Melhor Esforço
- ❑ 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- ❑ 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- ❑ 7.9 RSVP

### Mecanismos de Escalonamento e Policiamento

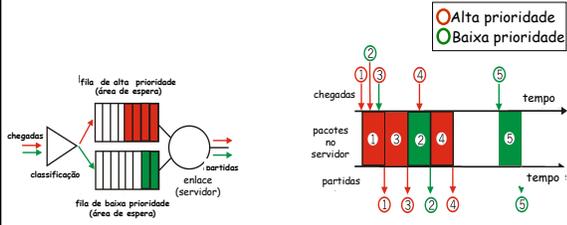
- ❑ Escalonamento: a escolha do próximo pacote a enviar ao enlace
- ❑ FIFO: enviar na ordem de chegada à fila;
  - política de descarte:
    - cauda (tail drop): descarta o pacote que acaba de chegar
    - prioridade : descarte/remoção baseada na prioridade dos pacotes
    - aleatória: descarte/remoção aleatória



## Disciplinas de Escalonamento

**Escalonamento por prioridade:** transmitir o pacote mais prioritário enfileirado

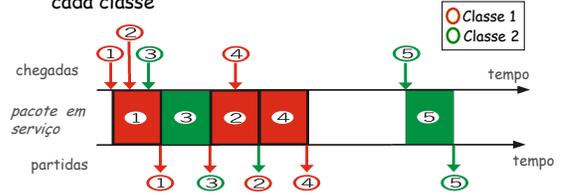
- Múltiplas classes, com prioridades diferentes
  - a classe pode depender de marcação explícita ou de outras informações no cabeçalho, tais como, o endereço de origem ou de destino, número da porta, etc.



## Disciplinas de Escalonamento (mais)

**Round Robin** (varredura cíclica):

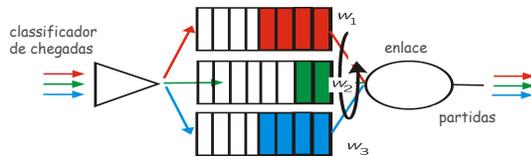
- várias classes
- varre as filas das classes, servindo um pacote de cada classe



## Disciplinas de Escalonamento (mais)

**WFQ - Weighted Fair Queuing** (fila justa ponderada)

- Round Robin generalizado
- cada classe recebe uma quantidade de serviço ponderado em cada ciclo



## Mecanismos de Policiamento/Regulação

**Objetivo:** limitar o tráfego para não exceder aos parâmetros declarados

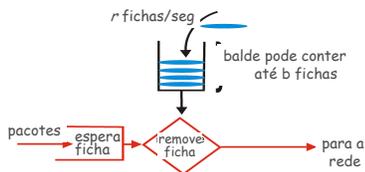
Três critérios comumente usados:

- Taxa Média:** quantos pacotes podem ser enviados por unidade de tempo (no longo prazo)
  - questão crucial: tamanho do intervalo - 100 pacotes por segundo ou 6000 pacotes por minuto tem a mesma média.
- Taxa de Pico:** restringe o número máximo de pacotes enviados em um período mais curto
  - ex.: 6000 pacotes por minuto na média e 1500 pacotes por segundo de pico
- Tamanho (máx.) de Rajada:** num. max. de pacotes enviado consecutivamente, sem intervalos ociosos entre eles

## Mecanismos de Policiamento (mais)

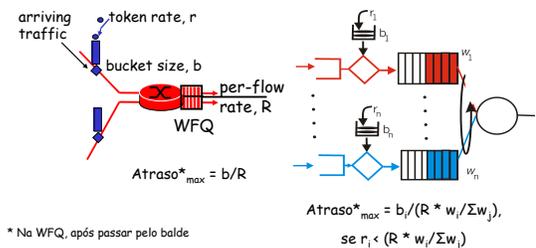
**Balde de fichas (Token Bucket):** limita a entrada a um tamanho de rajada e a uma taxa média

- Balde pode armazenar  $b$  fichas
- Fichas geradas à taxa de  $r$  fichas/seg; exceto se o balde já está cheio.
- Num intervalo de tempo  $t$ , o número de pacotes admitidos será menor ou igual a  $(r \cdot t + b)$ .
  - $r$  limita a taxa média de longo prazo de pacotes entrando na rede
  - Rajada máxima:  $b$  pacotes +  $x$



## Policiamento e Escalonamento

- balde de fichas e WFQ podem ser combinados para prover um limite superior ao atraso, isto é, **garantia de QoS**



## Capítulo 7 - Sumário

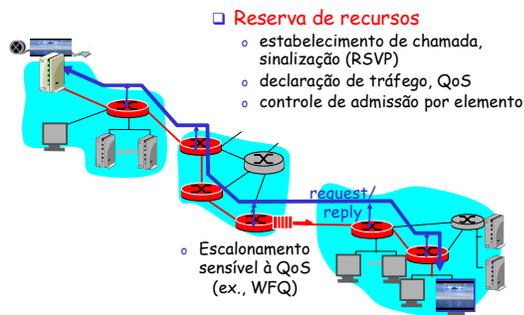
- 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonía pela Internet (*IP-phone*)
- 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- 7.6 Além do Melhor Esforço
- 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- 7.8 **Serviços Integrados e Serviços Diferenciados**
- 7.9 RSVP

## Serviços Integrados da IETF

- arquitetura para prover garantias de QoS em redes IP para sessões individuais de aplicações
- reserva de recursos: os roteadores mantêm informação de estado (à CV), registro dos recursos alocados, requisitos de QoS
- admissão/rejeição de novos pedidos de conexões:

**Questão:** pode-se admitir um novo fluxo com garantias de desempenho, sem comprometer as garantias de QoS feitas para os fluxos já admitidos?

## Intserv: cenário de garantia de QoS

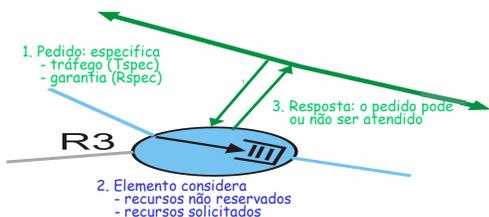


## Admissão de Chamadas

- Uma nova sessão deve :
  - declarar seus requisitos de QoS
    - **R-spec:** define a QoS sendo solicitada
    - **T-spec:** define as características de tráfego
- protocolo de sinalização: necessário para transportar a R-spec e a T-spec aos roteadores onde a reserva é requerida
  - **RSVP**

## Admissão de Chamadas

- Admissão de Chamadas: roteadores aceitarão as chamadas com base nas suas R-spec e T-spec e com base nos recursos correntemente alocados nos roteadores para outras chamadas.



## Intserv QoS: modelos de serviço [rfc2211, rfc 2212]

### Serviço Garantido

- controles estritos dos atrasos de filas nos roteadores;
- aplicações de tempo real críticas que são muito sensíveis ao atraso médio fim-a-fim e à sua variância
- chegada de tráfego no pior caso: fonte policiada por um balde de fichas

### Serviço de Carga Controlada

- QoS aproximada à que o mesmo fluxo receberia em um elemento da rede não carregado
- aplicações IP de hoje que se comportam bem quando a rede não está carregada

## Serviços Diferenciados do IETF

Dificuldades com Intserv e RSVP:

- ❑ **Escalabilidade:** sinalização e manutenção de informações de estado nos roteadores em redes de alta velocidade é difícil com grande número de fluxos simultâneos;
- ❑ **Modelos de Serviços Flexíveis:** Intserv tem apenas duas classes. Também se deseja classes de serviços "qualitativas"
  - distinção "relativa" entre as classes: Platina, Ouro, Prata, ...

Abordagem Diffserv

- ❑ funções simples no núcleo da rede
- ❑ funções relativamente complexas nos roteadores de borda (ou nos hospedeiros);
- ❑ Não define classes de serviço, fornece componentes funcionais para construir as classes de serviço

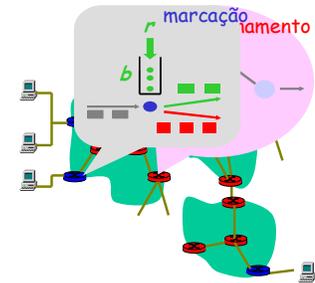
## Arquitetura Diffserv

**Roteador de borda:**

- ❑ gerenciamento de tráfego por fluxo
- ❑ marca pacotes como **dentro-do-perfil** e **fora-do-perfil**

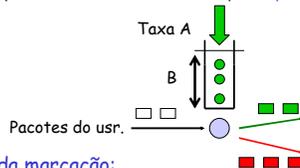
**Roteador de núcleo:**

- ❑ gerenciamento de tráfego por classe
- ❑ buferização e escalonamento baseados na **marcação** feita na borda
- ❑ Preferência dada a pacotes **dentro-do-perfil**



## Marcação de pacotes nos roteadores de borda

- ❑ **perfil:** taxa pré-negociada A, e tamanho do balde B
- ❑ Marcação de pacotes na borda baseada no perfil **por-fluxo**



Possível uso da marcação:

- ❑ marcação baseada em classe: pacotes de classes diferentes marcados diferentemente
- ❑ marcação intra-classe: porção conforme do fluxo marcada diferentemente da porção não conforme

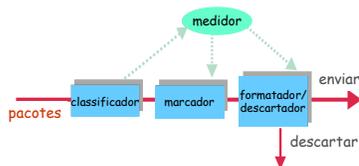
## Classificação e Condicionamento

- ❑ O pacote é marcado no campo Tipo de Serviço (ToS) no IPv4 ou Classe de Tráfego no IPv6
  - 6 bits são usados para Código de Serviços Diferenciados (DSCP) - (Differentiated Service Code Point) que determina o PHB que o pacote receberá
  - 2 bits são atualmente reservados



## Classificação e Condicionamento

- ❑ Pode ser desejável limitar a taxa de injeção de tráfego em alguma classe;
  - o usuário declara o perfil de tráfego (ex., taxa e tamanho das rajadas);
  - o tráfego é medido e ajustado (formatado) se não estiver de acordo com o seu perfil



## Encaminhamento (PHB)

- ❑ RFC 2475: "the externally observable forwarding behavior applied at a DS-compliant node to a DS behavior aggregate"
- ❑ Um PHB pode resultar em diferentes classes de tráfego recebendo diferentes desempenhos
- ❑ Um PHB não especifica quais mecanismos usar para garantir o comportamento (desempenho) desejado
- ❑ Diferenças de performance devem ser observáveis e, por conseguinte, mensuráveis
- ❑ Exemplos:
  - Classe A obtém x% da banda do enlace de saída durante um intervalo de tempo de duração especificada
  - Pacotes de classe A partem devem ser enviados antes dos pacotes de classe B

## Envio (PHB)

PHBs em desenvolvimento:

- **Repasso Expresso** (*Expedited Forwarding*): taxa de partida dos pacotes de uma dada classe iguala ou excede a uma taxa especificada
  - enlace lógico com uma taxa mínima garantida
- **Repasso Assegurado** (*Assured Forwarding*): quatro classes de tráfego
  - a cada uma é garantido um mínimo de taxa de transmissão e armazenamento;
  - cada uma com três níveis de preferência de descarte

Obs.: um terceiro PHB é o "melhor esforço"

## Serviços Diferenciados: questões

- AF e EF estão em processo de padronização na Internet
- Estão sendo discutidos os serviços de "linhas dedicadas virtuais" [RFC 2638] e "Olímpicos" (serviços ouro/prata/bronze) [RFC 2597]
- Impacto de atravessar múltiplos sistemas autônomos (SAs) e roteadores que não estão preparados para operar com as funções de serviços diferenciados
- Tarificação

## Capítulo 7 - Sumário

- 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (*IP-phone*)
- 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- 7.5 Distribuição de Multimídia: redes de distribuição de conteúdo
- 7.6 Além do Melhor Esforço
- 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- 7.9 RSVP

## Sinalização na Internet

repasso sem conexão (sem estado) feito por roteadores IP + serviço de melhor-esforço = ausência de protocolos de sinalização no projeto inicial do IP

- **Novos requisitos:** reserva de recursos ao longo do caminho fim-a-fim para oferecer QoS a aplicações multimídia
- **RSVP:** Resource Reservation Protocol [RFC 2205]
  - "... allow users to communicate requirements to network in robust and efficient way." i.e., sinalização !

## Objetivos de Projeto do RSVP

1. acomodar **receptores heterogêneos** (larguras de banda diferentes ao longo dos caminhos)
2. acomodar aplicações diferentes **com diferentes requisitos de recursos**
3. tornar o **multicast um serviço de "primeira classe"**
4. **alavancar mecanismos de roteamento multicast/unicast existentes**
5. **controlar a sobrecarga do protocolo** de modo a crescer (no pior caso) linearmente com o # de receptores
6. **projeto modular** para atender a tecnologias subjacentes heterogêneas

## RSVP: não...

- Especifica como os recursos devem ser reservados
  - em lugar disso: um mecanismo para comunicar necessidades
- Determina que rotas os pacotes deverão seguir
  - esse é o papel dos protocolos de roteamento
  - sinalização desacoplada do roteamento
- Interage com o repasse de pacotes
  - Separação dos planos de controle (sinalização) e dados (repasso)

## RSVP: visão geral de operação

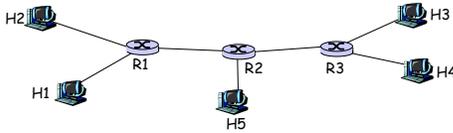
- ❑ **Emissores e receptores juntam-se a um grupo *multicast***
  - feito fora do RSVP
  - emissores não precisam juntar-se ao grupo
- ❑ **sinlização emissor-rede**
  - *mensagem de caminho*: torna a presença do emissor conhecida aos roteadores
  - remoção de caminho: apaga o estado do caminho do emissor nos roteadores
- ❑ **sinlização receptor-rede**
  - *mensagem de reserva*: reserva recursos do emissor até o receptor
  - remoção de reserva: remove as reservas do receptor
- ❑ **sinlização rede-sistema-final**
  - erro de caminho
  - erro de reserva

## RSVP - Msgs de caminho: sinalização *emissor-rede*

- ❑ **mensagens de caminho** contêm:
  - *endereço*: destino *unicast*, ou grupo *multicast*
  - *especificação de fluxo*: requisitos de banda
  - *F-flag*: se sim, registrar as identidades dos servidores na corrente ascendente (para permitir a filtragem de pacotes por fonte)
  - *salto anterior - previous hop*: ID do roteador/hospedeiro na corrente ascendente (*upstream*)
  - *Instante de renovação (refresh time)*: tempo de validade da informação
- ❑ Roteadores armazenam:
  - Estado do caminho: ID do *hop* corrente acima (*upstream*)
  - Se F-flag ligada, id, do emissor e sua especificação de fluxo
- ❑ **mensagem de caminho**: comunica informação do emissor, e informação de roteamento no caminho reverso para o emissor

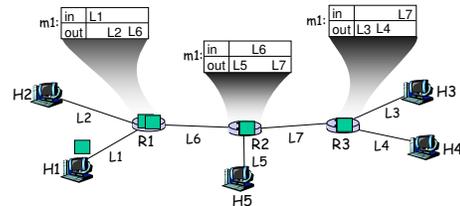
## RSVP: conferencia simples de áudio

- ❑ H1, H2, H3, H4, H5: emissores e receptores (ambos)
- ❑ grupo *multicast* m1
- ❑ sem filtragem: repasse de pacotes de qualquer emissor
- ❑ Taxa de áudio: *b*



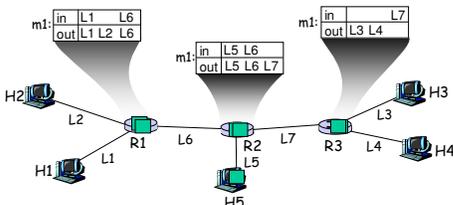
## RSVP: construção do estado do caminho

- ❑ H1, ..., H5 enviam mensagem de caminho a *m1*:  
(*address=m1, Tspec=b, filter-spec=no-filter, refresh=100*)
- ❑ Suponha que H1 envie a primeira mensagem de caminho



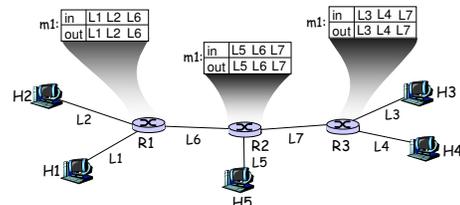
## RSVP: construção do estado do caminho

- ❑ depois, H5 envia uma mensagem de caminho



## RSVP: construção do estado do caminho

- ❑ H2, H3, H5 enviam mensagens de caminho, completando as tabelas de estado de caminhos



## Estilo de Reserva

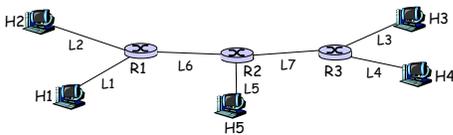
- ❑ Motivação: obter uso de recursos mais eficiente em *multicasting* ( $M \times N$ )
- ❑ Observação: numa videoconferência, quando há  $M$  emissores, pode ser que apenas alguns estejam ativos simultaneamente
  - Vários emissores podem compartilhar a mesma reserva
- ❑ Os vários estilos de reserva especificam diferentes regras para compartilhamento entre emissores

## Estilos de Reserva e Especificação de Filtro: sinalização *receptor-rede*

- ❑ Estilo de reserva:
  - Usa um filtro para especificar que emissor pode usar a reserva
- ❑ Estilos de reserva:
  - **sem filtro (wildcard)**: não especifica um emissor, qualquer pacote endereçado ao grupo *multicast* compartilha os recursos
    - Grupos nos quais há um número pequeno de emissores simultaneamente ativos
  - **filtro fixo**: emissores explicitamente identificados na reserva; não há compartilhamento entre eles,
    - Fontes não podem ser modificadas ao longo do tempo
  - **filtro dinâmico (compartilhado-explicito)**: recursos compartilhados pelos emissores explicitamente especificados
    - Fontes podem ser modificadas ao longo do tempo

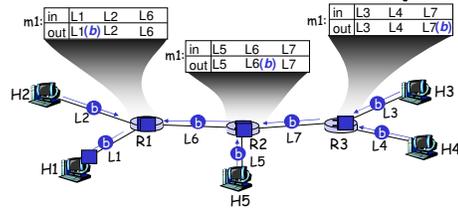
## RSVP: exemplo 1 - reserva sem filtro

- H1 quer receber áudio de todos os demais emissores
- ❑ msg de reserva de H1 percorre a árvore para cima em direção às fontes
- ❑ H1 reserva apenas a banda suficiente para um fluxo de áudio
- ❑ a reserva é do tipo "sem filtro" - qualquer emissor pode usar a banda reservada



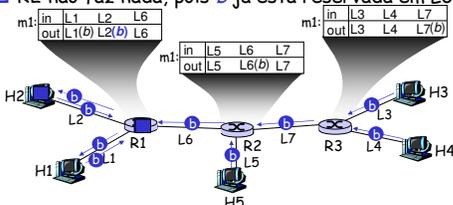
## RSVP: exemplo 1 - reserva sem filtro

- ❑ A msg de reserva de H1 sobe a árvore em direção às fontes
- ❑ Roteadores e hospedeiros reservam a banda  $b$  nos enlaces da corrente descendente em direção a H1



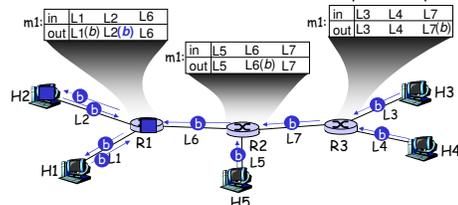
## RSVP: exemplo 1 - reserva sem filtro

- ❑ A seguir, H2 faz uma reserva sem-filtro de banda  $b$
- ❑ H2 encaminha para R1, R1 encaminha para H1 e para R2
- ❑ R2 não faz nada, pois  $b$  já está reservada em L6



## RSVP: reserva sem filtro - questões

- E se houver vários emissores (e.g., H3, H4, H5) em um enlace (e.g., L6)?
- ❑ intercalação arbitrária de pacotes
- ❑ fluxo em L6 policiado por um balde de fichas: se a taxa de emissão de H3+H4+H5 exceder  $b$ , haverá perda de pacotes



## Reserva sem filtro

### Vantagens

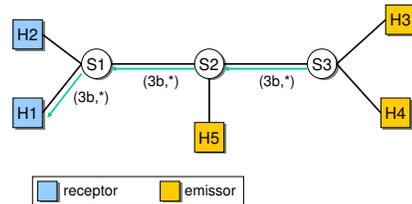
- Pouco estado nos roteadores
  - o estado do roteamento é acrescido apenas da informação da banda reservada nos enlaces de saída

### Desvantagens

- Pode resultar em uso ineficiente de recursos

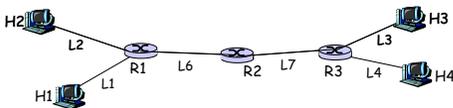
## Reserva sem filtro: Exemplo de uso ineficiente de recursos

- H1 reserva 3b pois quer ouvir a todos os emissores simultaneamente
- Problema: reserva 3b em (S3:S2) embora 2b seja suficiente!



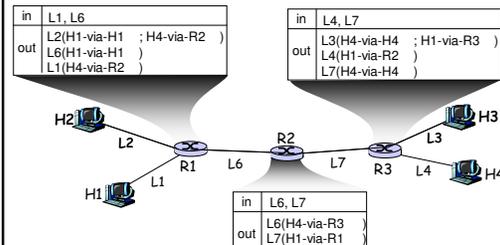
## RSVP: exemplo 2 - filtro fixo

- H1, H4 são apenas emissores
  - Envio de *mensagens de caminho* como antes, com *F-flag* ligado
  - Os roteadores armazenam os emissores corrente acima para cada enlace de subida
- H2 quer receber apenas de H4



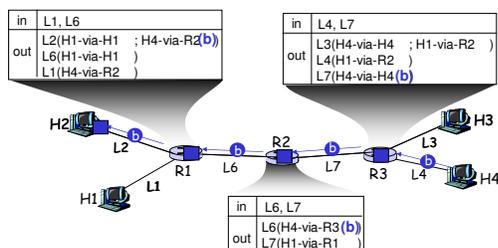
## RSVP: exemplo 2 - filtro fixo

- H1, H4 são apenas emissores
  - Envio de *mensagens de caminho*, com *F-flag* ligado



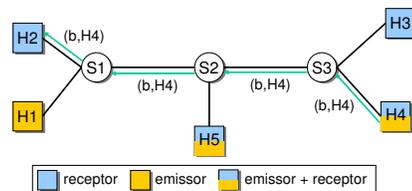
## RSVP: exemplo 2 - filtro fixo

- O receptor H2 envia mensagem de reserva de banda *b* para a fonte H4
  - Propagada corrente acima até H4, reservando *b*



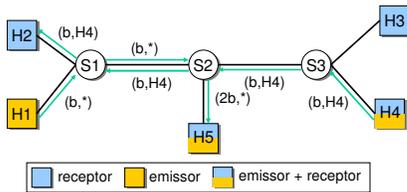
## Exemplo de Filtro Fixo

- H2 quer receber *b* apenas de H4



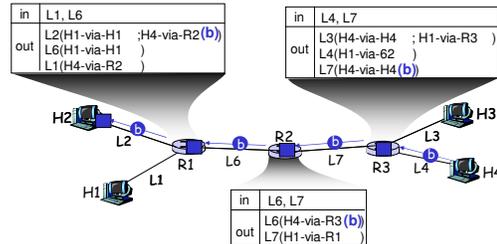
### RSVP: Exemplo 3 - Filtro Dinâmico

- H5 quer receber 2b de qualquer fonte



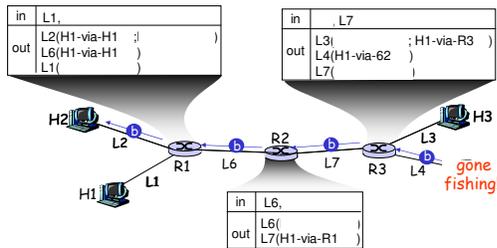
### RSVP: soft-state

- emissores reenvio perio/te msgs de caminho para renovar o estado
- receptores reenvio perio/te msgs de reserva para renovar o estado
- mensagens de caminho e reserva têm campo TTL, especificando o intervalo de reenvio



### RSVP: soft-state

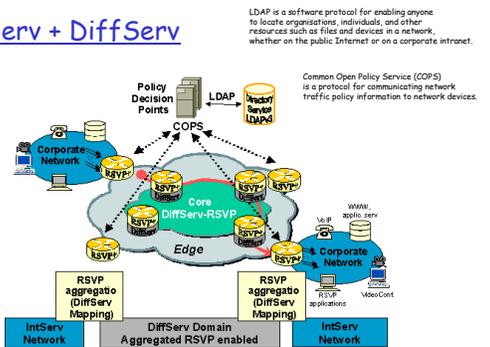
- suponha que H4 (emissor) sai sem se desligar (teardown)
- Eventualmente o estado nos roteadores irá expirar e desaparecer!



### RSVP versus ATM (Q.2931)

- RSVP
  - Receptor gera as reservas
  - soft state (refresh/timeout)
  - Separado do estabelecimento de rotas
  - QoS pode mudar dinamicamente
  - Heterogeneidade dos receptores
- ATM
  - Emissor gera a requisição de conexão
  - hard state (apagamento explícito)
  - Concorrente com o estabelecimento de rota
  - QoS é estático durante o tempo de vida da conexão
  - QoS uniforme para todos os receptores

### IntServ + DiffServ



Fonte: <http://cnam.fr/~net2/intranet2/pqos.pdf>

### Redes Multimídia: Sumário

- Aplicações e requisitos multimídia
- Fazendo o melhor do atual serviço de melhor esforço
- Mecanismos de escalonamento e regulação
- Próxima geração da Internet: Intserv, RSVP, Diffserv

## Capítulo 7 - Sumário

- 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (*IP-phone*)
- 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo
- 7.6 Além do Melhor Esforço
- 7.7 Mecanismos de Escalonamento e Regulação
- 7.8 Serviços Integrados e Serviços Diferenciados
- 7.9 RSVP