

## 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

1

## 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

2

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



3

## 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

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

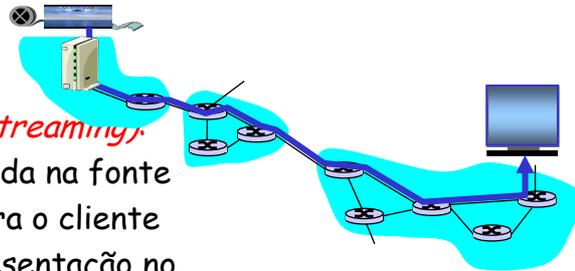
### Características

#### Fundamentais:

- ❑ **sensíveis ao atraso.**
  - atraso fim-a-fim
  - *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"

4

## Streaming de Multimídia Armazenada

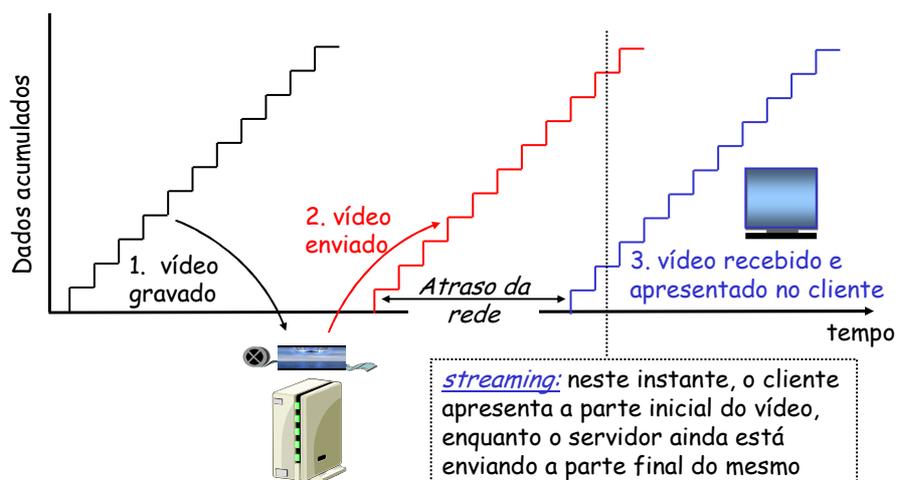


### Fluxo Contínuo (*Streaming*):

- ❑ Mídia armazenada na fonte
- ❑ Transmitida para o cliente
- ❑ *streaming*: apresentação no cliente inicia-se antes de todos os dados terem chegado
  - ❑ restrição de tempo para os dados a serem transmitidos: chegar a tempo de serem apresentados

5

## Streaming de Multimídia Armazenada



6

## 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

7

## Streaming de MM ao Vivo

### Exemplos:

- ❑ Programas de rádio ou TV ao vivo transmitidos pela Internet

### Streaming

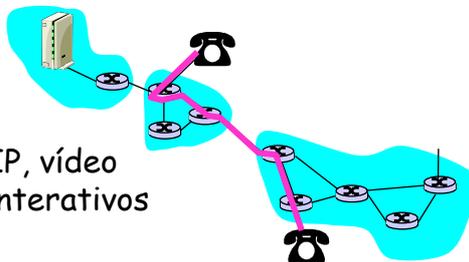
- ❑ *buffer* de reprodução
- ❑ reprodução pode iniciar-se dezenas de segundos após a transmissão
- ❑ ainda tem restrições temporais

### Interatividade

- ❑ avanço impossível
- ❑ retorno e pausa possíveis!

8

## 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?

9

## 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

10

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

### Abordagem serviços Integrados:

- ❑ Mudar os protocolos da Internet de forma que as aplicações possam reservar banda fim-a-fim
- ❑ Exige *software* novo e complexo nos hosp.s e roteadores

### Abordagem "deixe estar"

- ❑ Sem mudanças significativas
- ❑ Mais banda quando necessário
- ❑ Redes de distribuição de conteúdo
- ❑ Redes *multicast* de sobreposição

### Abordagem

#### serviços diferenciados:

- ❑ Menos mudanças na infraestrutura da Internet
  - serviços de 1a. 2a.
- ❑ Usuários pagam mais para enviar e receber pacotes de primeira classe
- ❑ ISPs pagam mais aos provedores de *backbone* para enviar e receber pacotes de primeira classe.

11

## 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 ...)

12

## 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

13

## 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

14

## Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados

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

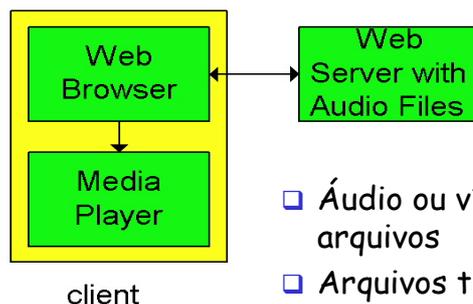
- armazenamento (*buffering*) do lado cliente
- uso de UDP em vez de TCP
- vários esquemas de codificação da MM

### 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.

15

## MM na Internet : abordagem simples



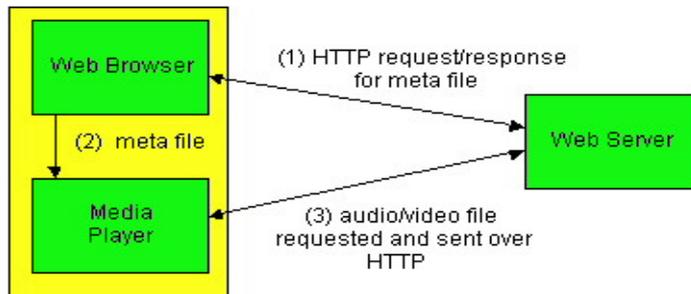
- **Áudio ou vídeo armazenados em arquivos**
- **Arquivos transferidos como objetos HTTP**
  - Recebidos na íntegra pelo cliente e, depois, passados ao reprodutor/transdutor (*player*)

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

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

16

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



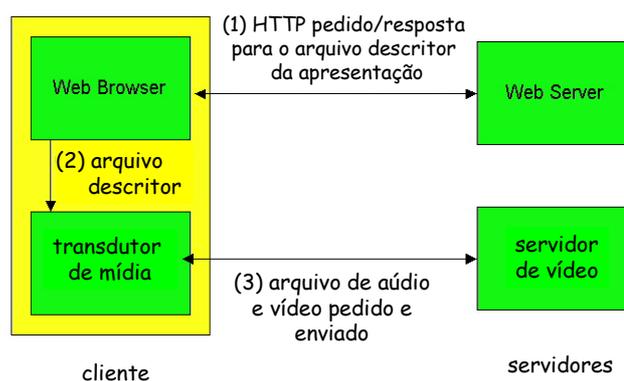
- ❑ Navegador obtém (GET) um **meta arquivo**
- ❑ Navegador dispara o transdutor e lhe passa o meta arquivo
- ❑ O transdutor conecta-se ao servidor e solicita o arquivo

### Algumas preocupações:

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

17

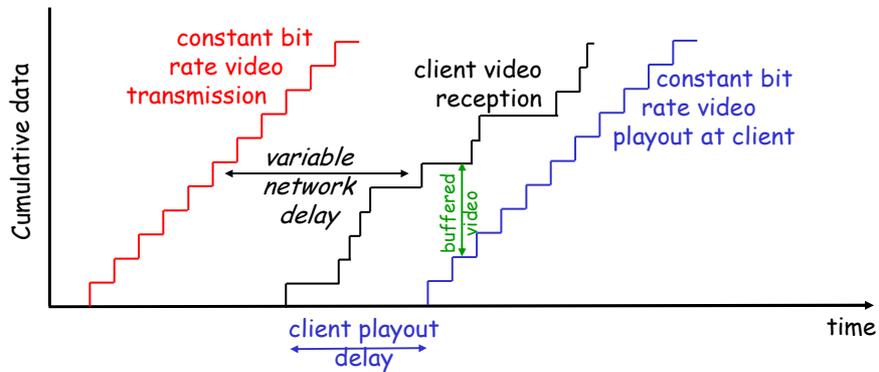
## MM na Internet : fluxo contínuo de um servidor dedicado



- ❑ 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

18

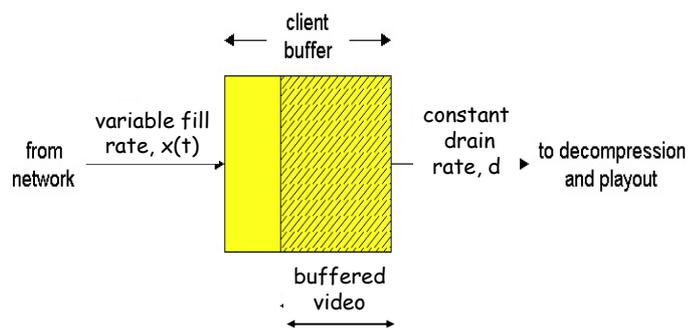
## Fluxo contínuo de MM: Bufereização do lado cliente



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

19

## Fluxo contínuo de MM: Bufereização do lado cliente



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

20

## Fluxo contínuo de MM: TCP ou UDP?

### UDP

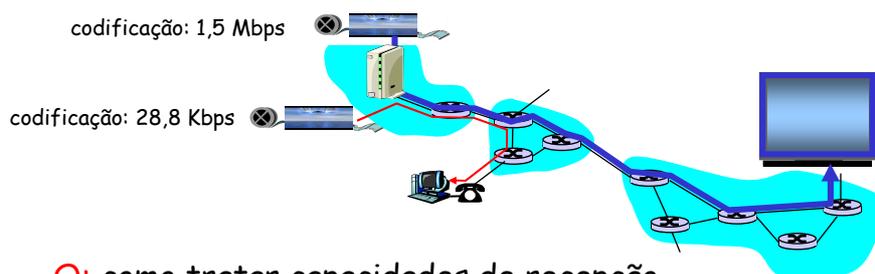
- ❑ servidor envia a uma taxa apropriada para o cliente
  - geralmente, taxa de envio = taxa de codificação = tx. const.
  - Logo, taxa de preenchimento,  $x(t)$ , = tx. const. - perda
- ❑ pequeno retardo de reprodução (2 a 5s) para compensar o *jitter*
- ❑  $x(t)$  é igual a  $d$ , exceto quando há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

21

## 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

22

## 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

23

## RTSP: controle fora da faixa

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

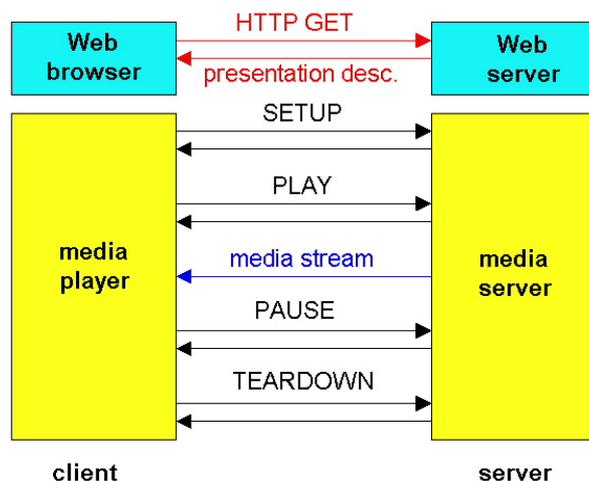
- ❑ Um arquivo é transferido sobre um canal.
- ❑ Informação de controle (mudanças de diretório, remoção de arquivos, trocas de nomes, etc.) é enviada sobre uma conexão TCP separada.
- ❑ Os canais "dentro-da-faixa" e "fora-da-faixa" usam diferentes números de portas.

### 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,

24

## RTSP: Funcionamento



25

## 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.

26

## 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>
```

27

## 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
```

28

## 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

29

## 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.

30

## 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

31

## Telefonia Internet: cenário

### Perda de pacotes

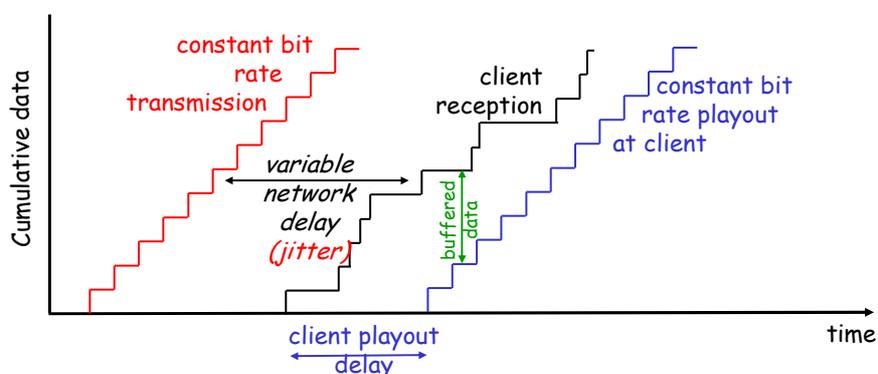
- ❑ Datagramas IP podem ser descartados por falta de espaço nas filas dos roteadores
- ❑ TCP pode eliminar perdas, mas
  - retransmissões aumentam o atraso
  - O controle de congestionamento do TCP limita a taxa de transmissão
- ❑ taxas de perdas entre 1% e 10% podem ser toleradas
  - dependendo dos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

32

## Variação do atraso (Jitter)



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

33

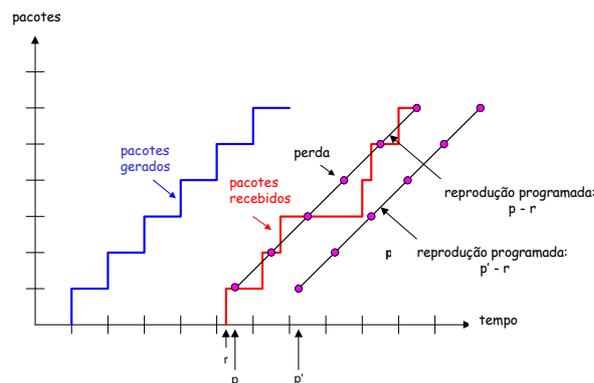
## Telefonia Internet: atraso de reprodução fixo

- ❑ Receptor tenta reproduzir cada bloco exatamente  $q$  ms depois que o bloco é gerado
  - o se o bloco tem marca de tempo  $t$ , o receptor reproduz o bloco no instante  $t+q$
  - o 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  $q$ .
  - o  $q$  grande: menos perda de pacotes
  - o  $q$  pequeno: melhor experiência interativa

34

## 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  $p'$



35

## 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.,  $u = 0,01$ )

36

## 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:

$$p_i = t_i + d_i + Kv_i$$

onde  $K$  é uma constante positiva.

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

37

## 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  
→ início de um intervalo de atividade.
- Com perdas possíveis, o receptor deve olhar tanto para as marcas de tempo como para os números de seqüência
  - diferença de marcas de tempo sucessivas  $> 20$  ms  
e não há pulos nos números  
→ início de um intervalo de atividade.

38

## Recuperação de perdas de pacotes (1)

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

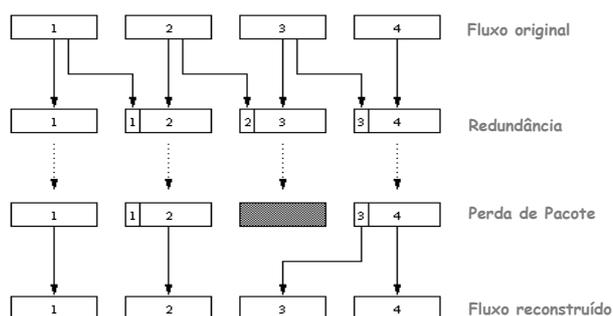
- ❑ Para cada grupo de  $n$  blocos criar um bloco redundante, realizando um OU-exclusivo (XOR) entre os  $n$  blocos originais
  - ❑ Transmitir os  $n+1$  blocos
    - aumento da largura de banda de  $1/n$
  - ❑ Pode-se reconstruir os  $n$  blocos originais se houver no máximo um bloco perdido dentre 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

39

## Recuperação de perdas de pacotes (2)

### 2º esquema FEC

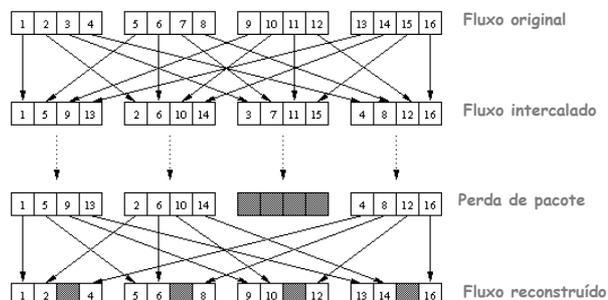
- Transmitir um fluxo de menor qualidade como "carona"
- Enviar fluxo de áudio de menor resolução como informação redundante
- Por exemplo, um fluxo nominal PCM a 64 kbps e um fluxo GSM redundante a 13 kbps



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

40

## 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

41

## 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

42

## 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

43

## Real-Time Protocol (RTP)

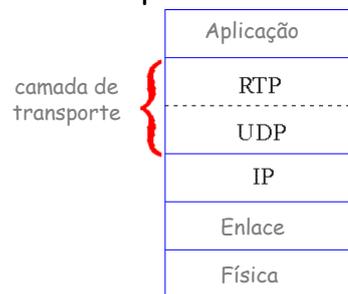
- ❑ O RTP especifica uma estrutura de pacotes para o transporte de dados de áudio e vídeo
- ❑ RFC 1889.
- ❑ pacote RTP oferece
  - identificação do tipo de carga
  - numeração da seqüência de pacotes
  - marcas de tempo
- ❑ RTP roda nos sistemas finais
- ❑ os pacotes RTP são encapsulados em segmentos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

44

## 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 seqüência de pacotes
- marcas de tempo



45

## 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 seqüência e marcas de tempo.

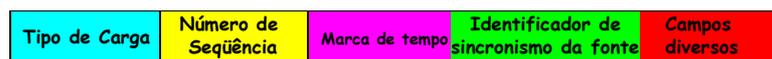
46

## 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.

47

## Cabeçalho RTP



Cabeçalho RTP

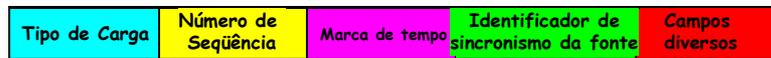
**Tipo de Carga (7 bits):** tipo de codificação que está sendo usada. Se o emissor mudar o tipo de codificação no meio de uma conferência, o emissor informa ao receptor através deste campo.

- 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.

48

## 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 µs 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.

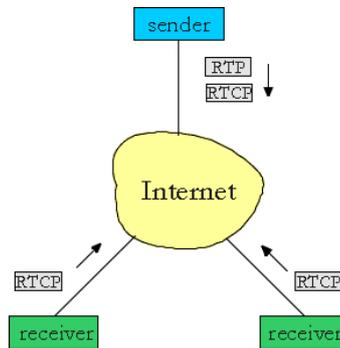
49

## Real-Time Control Protocol (RTCP)

- ❑ Pode ser usado 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 pode ser usada para controle do desempenho e para fins de diagnóstico.
  - o emissor pode mudar suas transmissões com base nestas informações

50

## 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.

51

## Pacotes RTCP

### relatório de receptor:

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

### relatório de emissor:

- ❑ 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.

### 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.

52

## 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 RTCP do tipo relatório-do-emissor contém, para o pacote mais recente 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.

53

## Controle de Banda do RTCP

- ❑ O RTCP procura limitar seu tráfego a 5% da banda da sessão.
- 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.
- Os 75 kbps são divididos igualmente entre os receptores.
- R receptores, cada um pode gerar tráfego RTCP à taxa de  $75/R$  kbps
- ❑ 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 toda a sessão) e dividindo-o pela taxa alocada

54

## 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:

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

55

## 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.

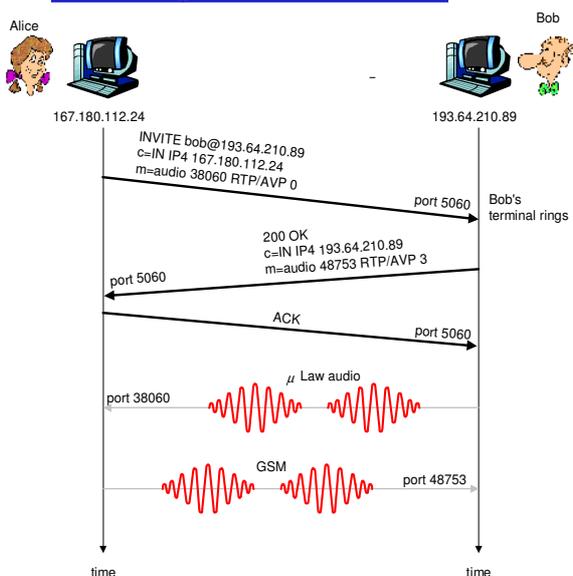
56

## SIP: Serviços

- Estabelecimento de chamada
  - Permite que o iniciador da chamada (chamador) faça o destinatário (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

57

## 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.

58

## 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.

59

## 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 (5060)

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

60

## 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

61

## 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
```

62

## Proxy SIP

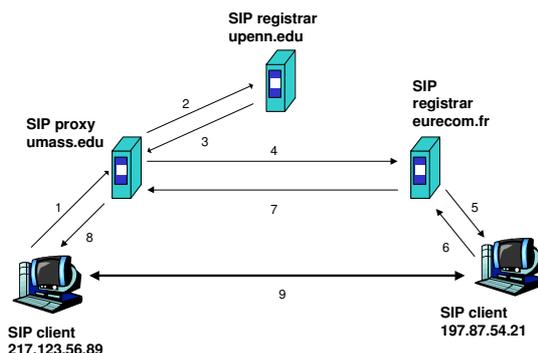
- ❑ Alice envia uma mensagem de convite ao seu servidor proxy
  - Contém o endereço sip:bob@domain.com
- ❑ O proxy é responsável por rotear mensagens SIP para o chamado
  - Possivelmente através de vários proxies.
- ❑ O chamado envia respostas através do mesmo conjunto de proxies.
- ❑ O proxy retorna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

63

## 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

64

## SIP x H.323

- ❑ H.323 é uma alternativa ao SIP
- ❑ H.323 é uma suíte completa de protocolos, verticalmente integrada, para conferência 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 (telefonia).
- ❑ SIP vem do IETF: Emprsta muitos conceitos do HTTP, DNS e e-mail.
- ❑ SIP tem um quê de Web, enquanto o H.323 de telefonia.
- ❑ H.323 é um padrão guarda-chuva, grande e complexo
- ❑ O SIP adere ao princípio KISS: *Keep it simple stupid.*

65

## Capítulo 7 - Sumário

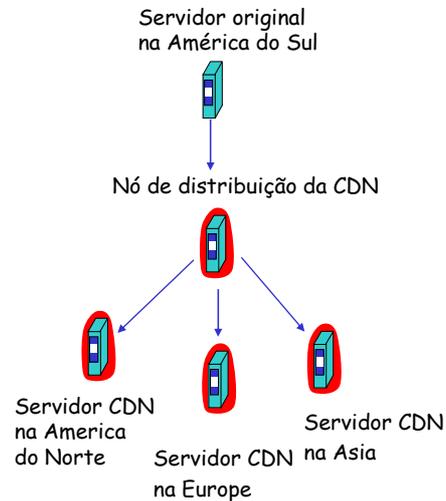
- ❑ 7.1 Aplicações Multimídia em Rede
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Multimídia em Tempo-Real: Telefonia pela Internet (*IP-phone*)
- ❑ 7.4 Protocolos para Aplicações Interativas em Tempo-Real
- ❑ 7.5 Distribuição de Multimídia : redes de distribuição de conteúdo ???
- ❑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

66

## Content distribution networks (CDNs)

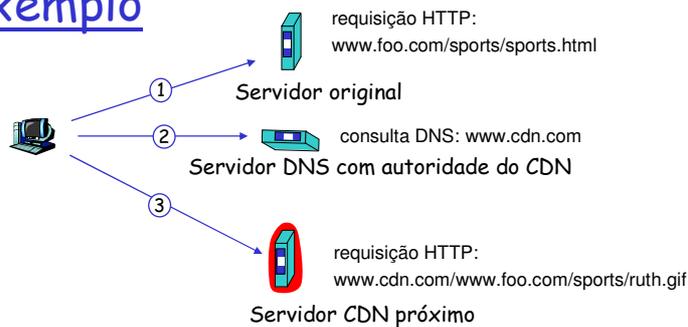
### Replicação de Conteúdo

- ❑ 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



67

## 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> |
|---|--|

68

## 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

69

## 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

70

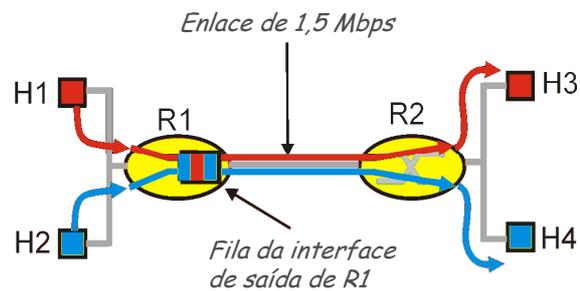
## Melhorando o QoS em Redes IP

**Até aqui:** "fazendo o melhor do melhor esforço"

**Futuro:** Internet da próxima geração com garantias de QoS

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

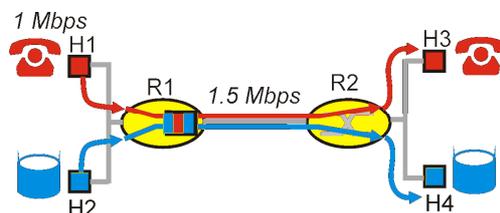
Modelo simples para estudos de compartilhamento e de congestionamento:



71

## Princípios para Garantia de QoS

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



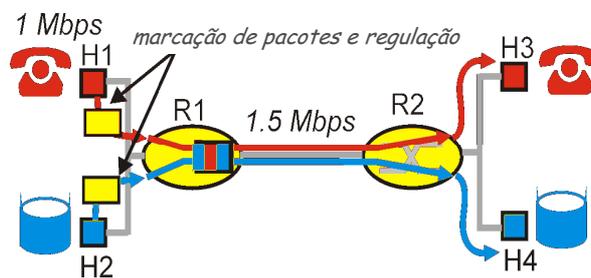
### Princípio 1

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

72

## Princípios para Garantia de QoS (...)

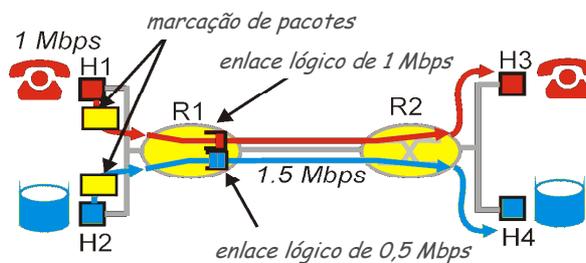
- ❑ aplicações mal-comportadas (áudio envia pacotes a taxa superior a 1Mbps, conforme assumido anteriormente);
  - Regulação (policimento): força a aderência das fontes às bandas alocadas.
- ❑ marcação e regulação feitos nas bordas da rede
  - similar to ATM UNI (User Network Interface)
- ❑ **PRINCÍPIO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



73

## Princípios para Garantia de QoS (...)

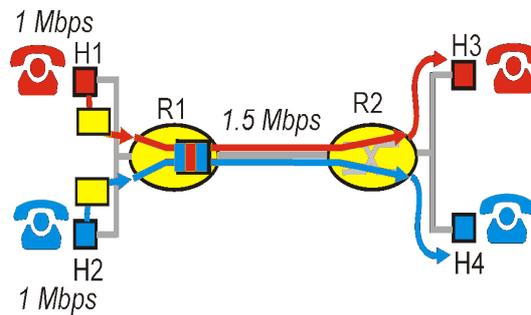
- ❑ Alocação de porção fixa de banda (não compartilhada) a cada fluxo: uso ineficiente da banda se os fluxos não usam a banda alocada
- ❑ **PRINCÍPIO 3: ao fornecer isolamento é desejável usar os recursos da forma mais eficiente possível**



74

## Princípios para Garantia de QoS (...)

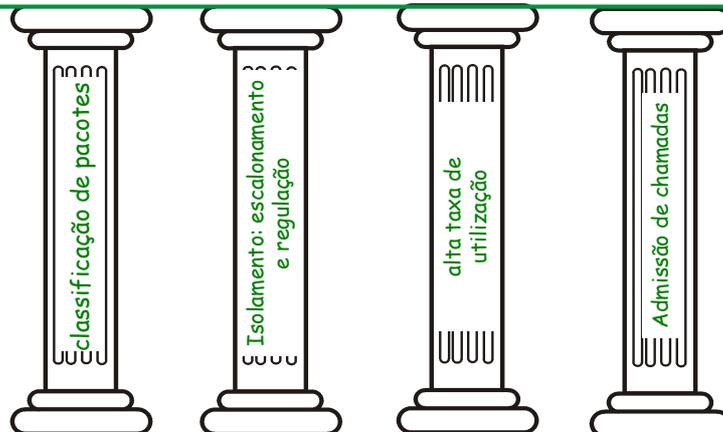
- ❑ Não é possível atender a um tráfego superior à capacidade do enlace
- ❑ PRINCÍPIO 4: Admissão de Chamadas: fluxo declara as suas necessidades, a rede pode bloquear a chamada se a necessidade não puder ser satisfeita



75

## Sumário dos Princípios de QoS

### QoS para aplicações em redes



76

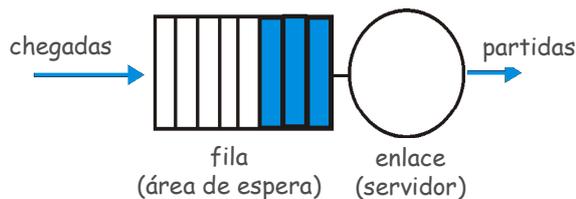
## Capítulo 7 - Sumário

- ❑ 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

77

## Mecanismos de Escalonamento e regulação

- ❑ **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

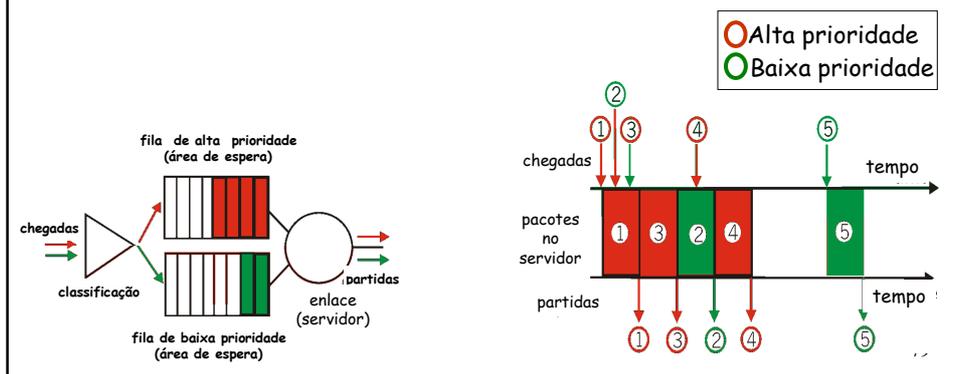


78

## Disciplinas de Escalonamento

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

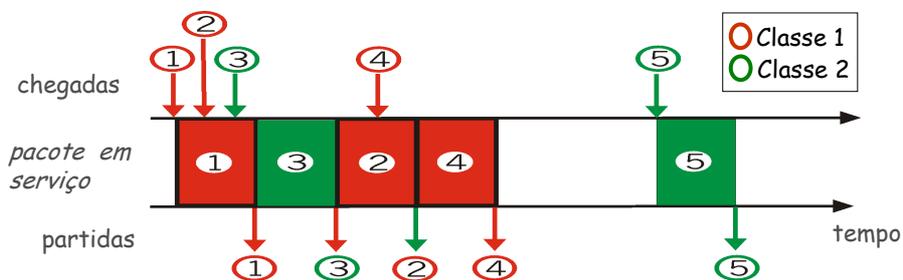
- Múltiplas classes, com prioridades diferentes
  - a classe pode depender de marcação explícita ou de outras informações no cabeçalho (endereço de origem ou de destino, número da porta, etc.)



## Disciplinas de Escalonamento (...)

**Round Robin** (varredura cíclica):

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



Disciplinas de escalonamento com **conservação de trabalho** nunca permitirão que o enlace fique vazio enquanto houver pacotes, de qualquer classe, esperando para serem transmitidos.

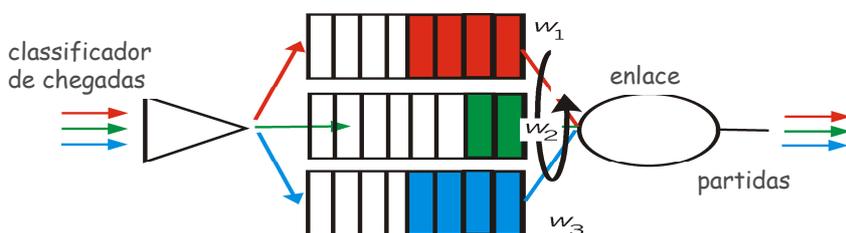
## Disciplinas de Escalonamento (...)

### **WFQ - Weighted Fair Queuing** (enfileiramento justo ponderado)

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

- A classe  $i$  sempre terá uma vazão de, no mínimo:

$$R \cdot W_i / \sum w_j$$



81

## Mecanismos de Regulação

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

Três critérios comumente usados:

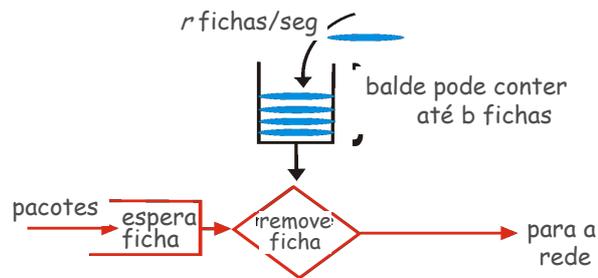
- **Taxa Média** : quantos pacotes podem ser enviados por unidade de tempo (no longo prazo)
  - questão crucial: tamanho do intervalo - 100 pacotes por segundo ou 6000 pacotes por minuto tem a mesma média.
- **Taxa de Pico**: restringe o número máximo de pacotes enviados em um período mais curto
  -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

82

## Mecanismos de regulação (...)

**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

83

## Balde de Fichas ...

$S$ : duração da rajada em segundos

$b$ : Capacidade do balde em fichas

$r$ : taxa de chegada de fichas em fichas/s

$R$ : taxa máxima de saída em pacotes/s

$b + rS$ : num. máximo de pacotes contido em uma rajada de saída

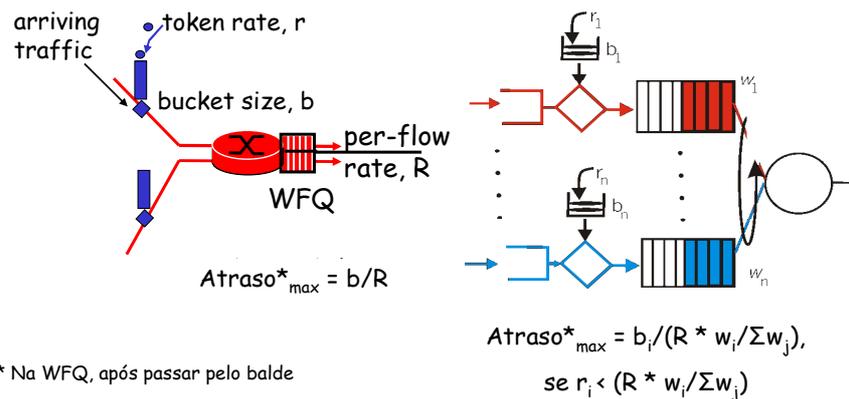
$RS$ : número de pacotes em uma rajada de velocidade máxima e duração  $S$  segundos

$$b + rS = RS \Rightarrow S = b / (R - r)$$

84

## regulação e Escalonamento

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



85

## 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

86

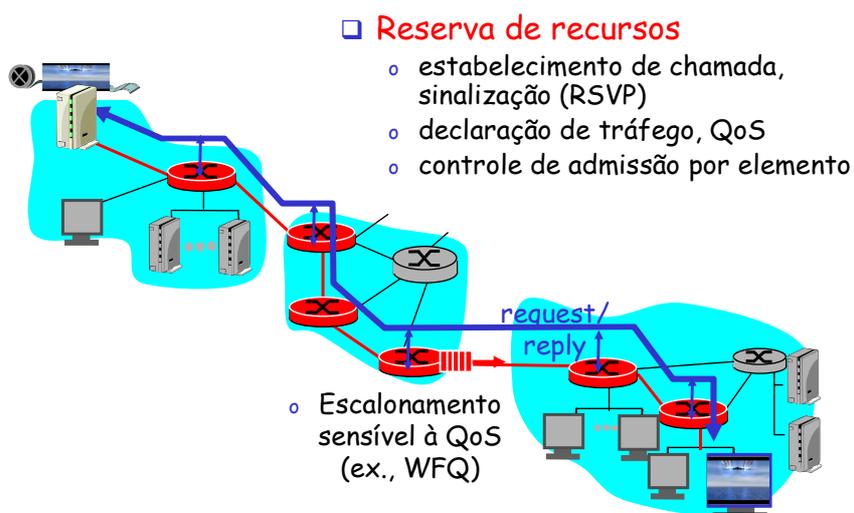
## Serviços Integrados da IETF

- 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?

87

## Intserv: cenário de garantia de QoS



88

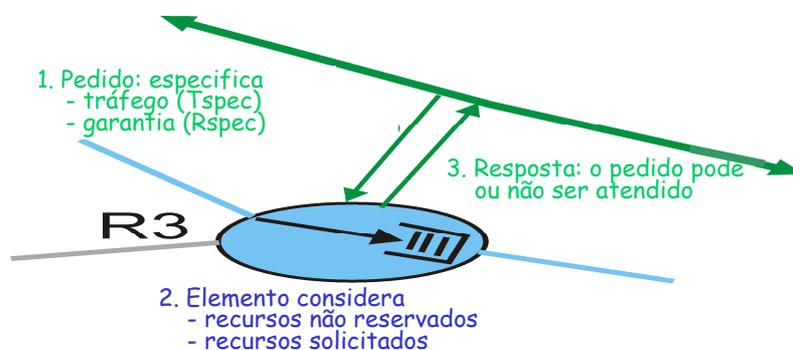
## Admissão de Chamadas

- Uma nova sessão deve :
  - declarar seus requisitos de QoS
    - **R-spec**: define a QoS sendo solicitada
  - caracterizar o tráfego que enviará à rede
    - **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**

89

## 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.



90

## 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

91

## 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

92

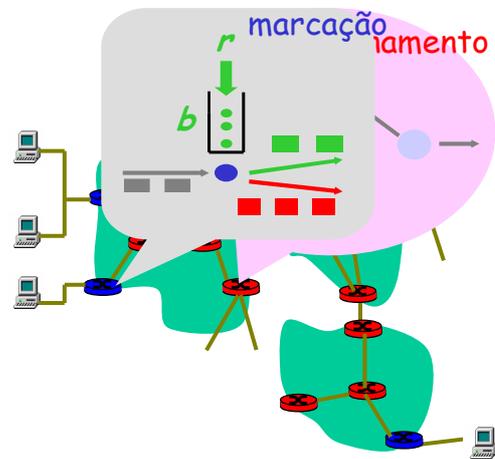
## Arquitetura Diffserv

### Roteador de borda:

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

### Roteador de núcleo:

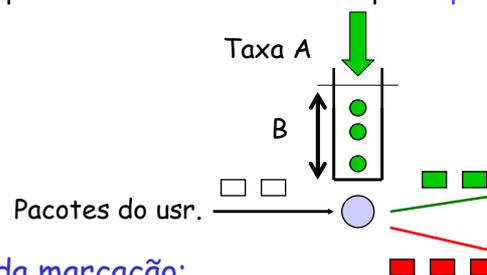
- ❑ gerenciamento de tráfego por classe
- ❑ buferização e escalonamento baseados na marcação feita na borda
- ❑ Preferência dada a pacotes dentro-do-perfil



93

## 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

94

## Classificação e Condicionamento

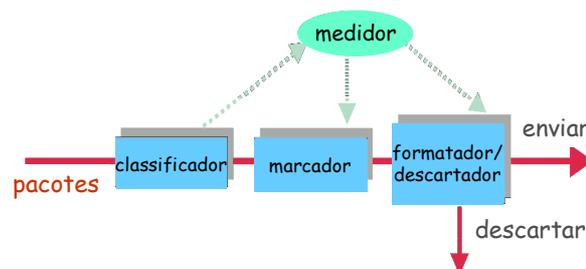
- O pacote é marcado no campo Tipo de Serviço (ToS) no IPv4 ou Classe de Tráfego no IPv6
  - 6 bits são usados para Código de Serviços Diferenciados (DSCP) - (Differentiated Service Code Point) que determina o PHB que o pacote receberá
  - 2 bits são atualmente reservados



95

## 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



96

## 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 devem ser enviados antes dos pacotes de classe B

97

## 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 banda mínima garantida
- ❑ **Repasso Assegurado** (*Assured Forwarding*): quatro classes de tráfego
  - a cada uma é garantido um mínimo de banda e armazenamento;
  - cada uma com três níveis de preferência de descarte

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

98

## 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
- ❑ Tarifação

99

## 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

100

## Sinalização na Internet

repassa 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 !

101

## 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

102

## 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 (repasse)

103

## 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
- ❑ **sinalização 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
- ❑ **sinalização receptor-rede**
  - *mensagem de reserva*: reserva recursos do emissor até o receptor
  - remoção de reserva: remove as reservas do receptor
- ❑ **sinalização rede-sistema-final**
  - erro de caminho
  - erro de reserva

104

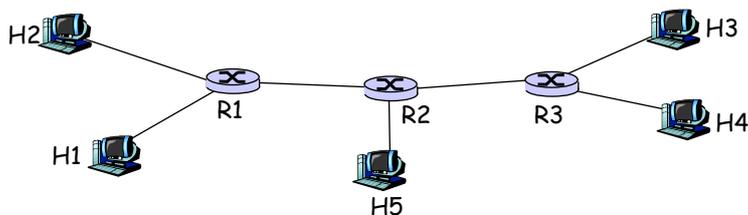
## RSVP - Msgs de caminho: sinalização *emissor-rede*

- **mensagens de caminho** contêm:
  - *endereço*: destino *unicast*, ou grupo *multicast*
  - *especificação de fluxo*: requisitos de banda
  - *F-flag* : indica se filtros são ou não permitidos
  - *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

105

## RSVP: conferencia simples de áudio

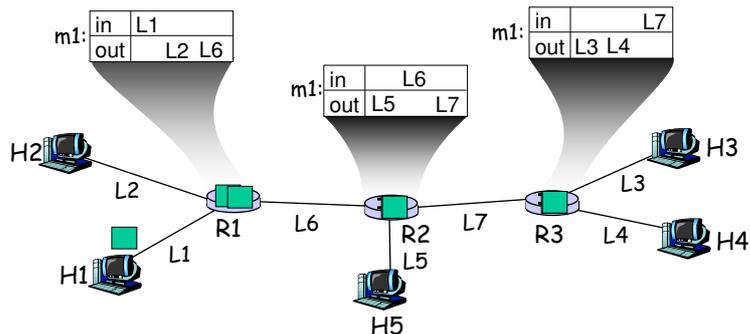
- H1, H2, H3, H4, H5: emissores e receptores (ambos)
- grupo *multicast* m1
- sem filtragem: repasse de pacotes de qualquer emissor
- Taxa de áudio : *b*



106

## RSVP: construção do estado do caminho

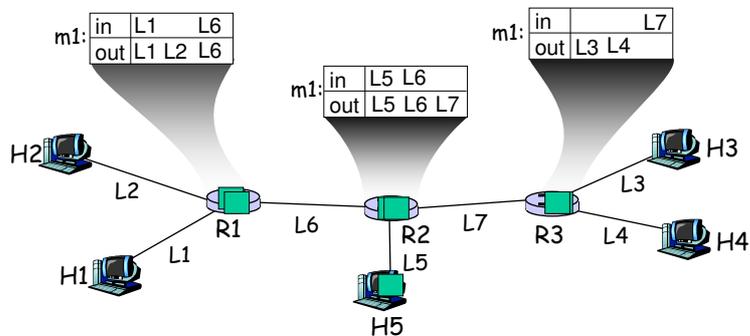
- H1, ..., H5 enviam mensagem de caminho a m1:  
(address=m1, Tspec=b, filter-spec=no-filter, refresh=100)
- Suponha que H1 envie a primeira mensagem de caminho



107

## RSVP: construção do estado do caminho

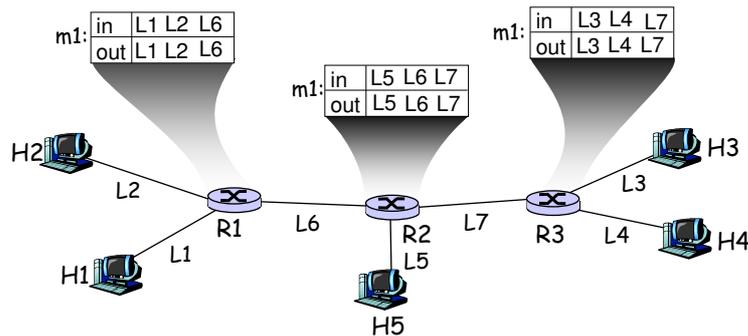
- depois, H5 envia uma mensagem de caminho



108

## RSVP: construção do estado do caminho

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



109

## Estilo de Reserva

- Motivação: obter uso eficiente de recursos 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

110

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

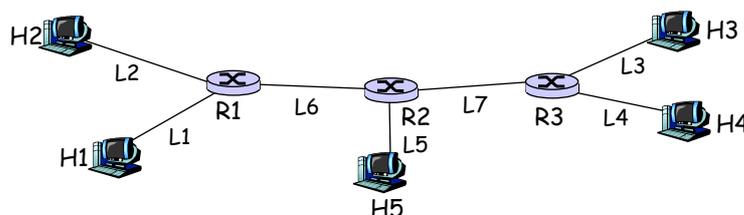
- Estilo de reserva:
  - Usa um filtro para especificar que emissor pode usar a reserva
- Estilos de reserva:
  - sem filtro (*wildcard*): não especifica um emissor, qualquer pacote endereçado ao grupo *multicast* compartilha os recursos
    - Grupos nos quais há um número pequeno de emissores simultaneamente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

111

## RSVP: exemplo 1 - reserva sem filtro

H1 quer receber áudio de todos os demais emissores

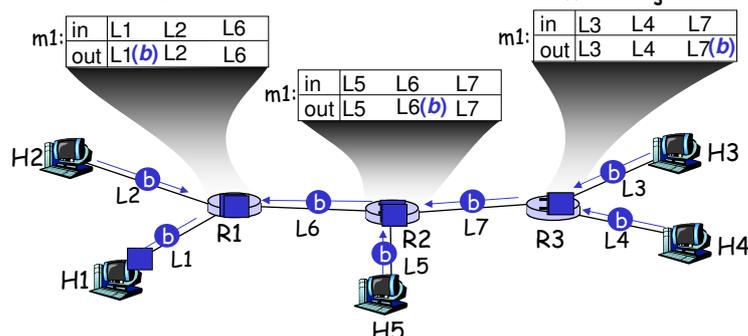
- msg de reserva de H1 percorre a árvore para cima em direção às fontes
- H1 reserva apenas a banda suficiente para um fluxo de áudio
- a reserva é do tipo "sem filtro" - qualquer emissor pode usar a banda reservada



112

## RSVP: exemplo 1 - reserva sem filtro

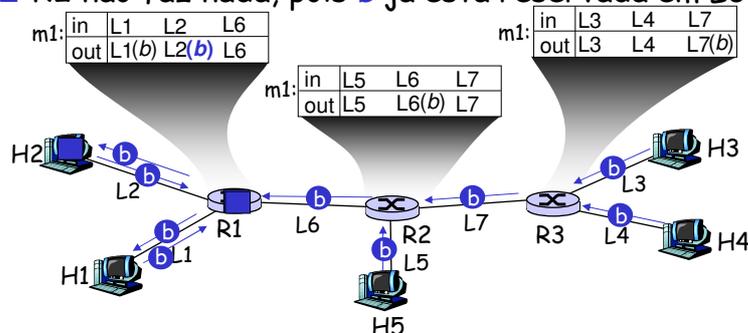
- A msg de reserva de H1 sobe a árvore em direção às fontes
- Roteadores e hospedeiros reservam a banda  $b$  nos enlaces da corrente descendente em direção a H1



113

## 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

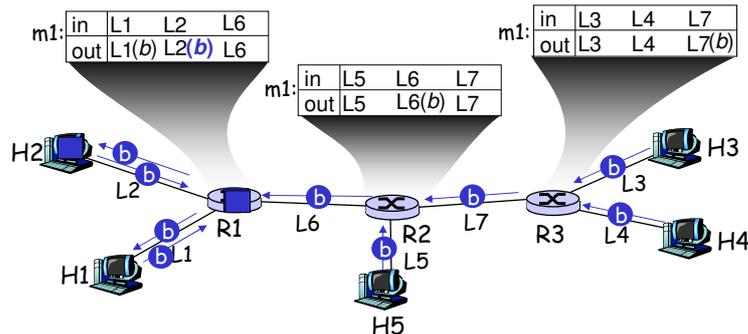


114

## RSVP: reserva sem filtro - questões

E se houver vários emissores (e.g., H3, H4, H5) em um enlace (e.g., L6)?

- ❑ intercalação arbitraria de pacotes
- ❑ fluxo em L6 regulado por um balde de fichas : se a taxa de emissão de  $H3+H4+H5$  exceder  $b$ , haverá perda de pacotes



115

## Reserva sem filtro

### ❑ Vantagens

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

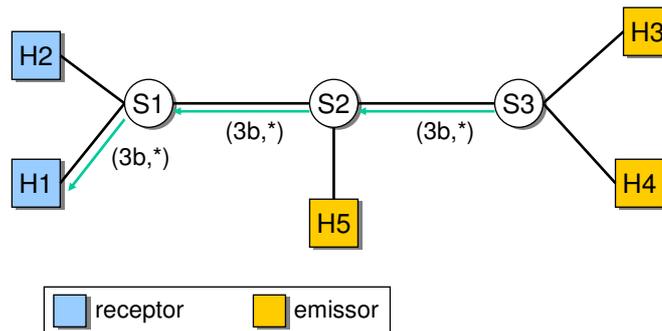
### ❑ Desvantagens

- o Pode resultar em uso ineficiente de recursos

116

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

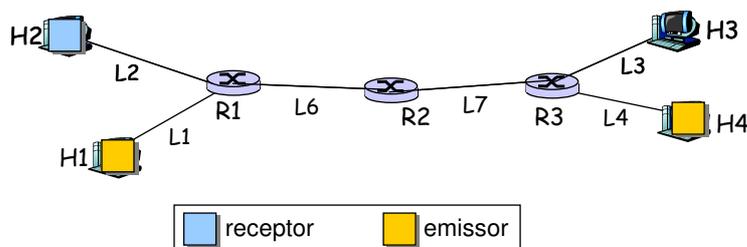
- H1 reserva 3b pois quer ouvir a todos os emissores simultaneamente
- Problema: reserva 3b em (S3:S2) embora 2b seja suficiente!



117

## RSVP: exemplo 2 - filtro fixo

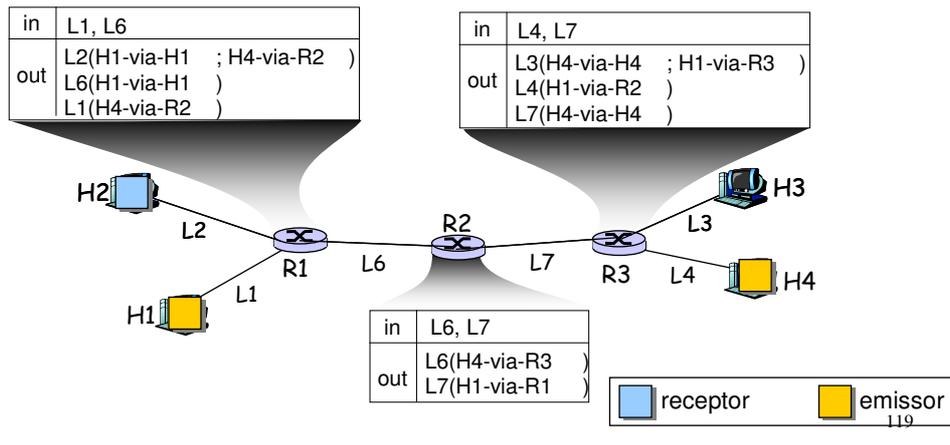
- H1, H4 são apenas emissores
  - Envio de *mensagens de caminho* como antes, com *F-flag* ligado
  - Os roteadores armazenam os emissores corrente acima para cada enlace de subida
- H2 quer receber apenas de H4



118

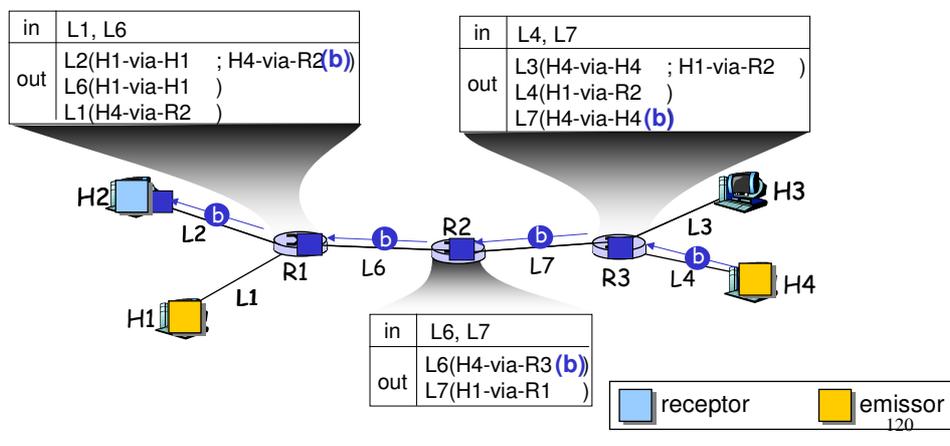
## RSVP: exemplo 2 - filtro fixo

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



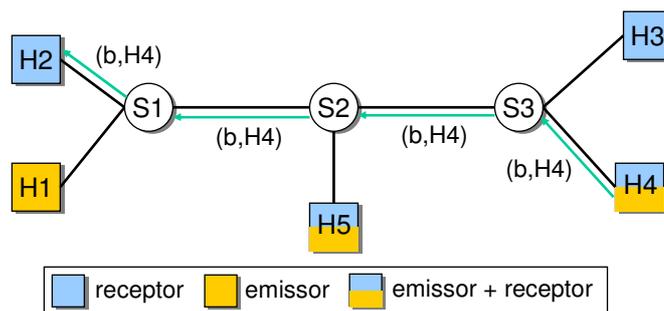
## RSVP: exemplo 2 - filtro fixo

- 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

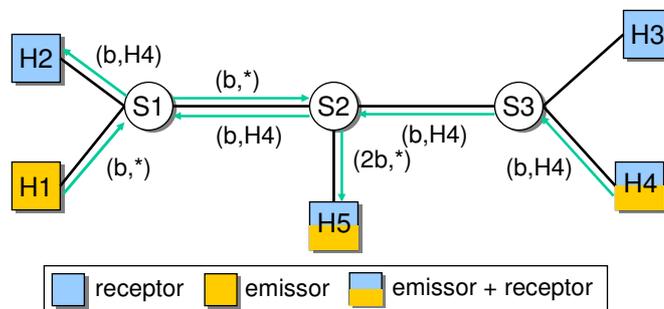
- H2 quer receber  $b$  apenas de H4



121

## RSVP: Exemplo 3 - Filtro Dinâmico

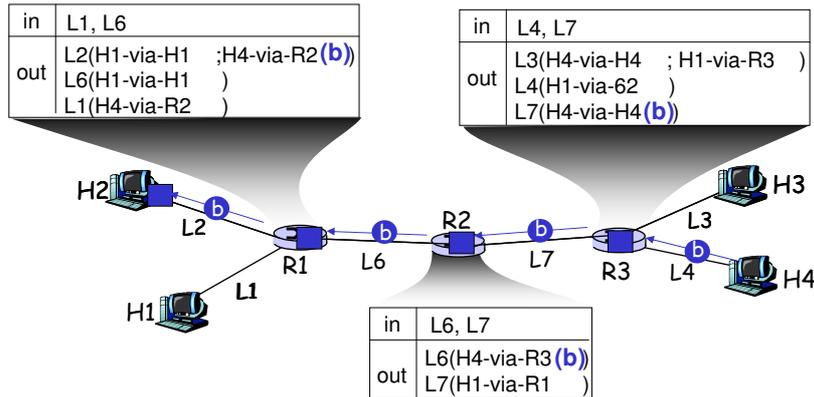
- H5 quer receber  $2b$  de qualquer fonte



122

## RSVP: *soft-state*

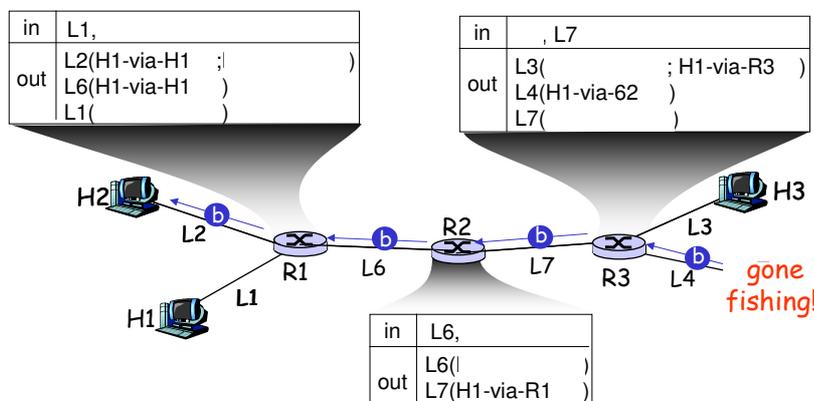
- emissores reenv. periodicamente msg.s de caminho para renovar o estado
- receptores reenv. periodicamente msg.s de reserva para renovar o estado
- mensagens de caminho e reserva têm campo TTL, especificando o intervalo de reenvio



123

## RSVP: *soft-state*

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



124

## 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

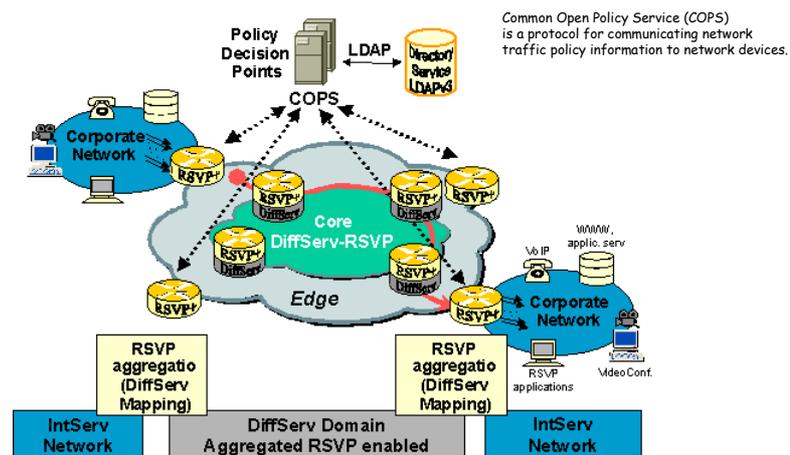
### □ ATM

- 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

125

## IntServ + DiffServ

LDAP is a software protocol for enabling anyone to locate organisations, individuals, and other resources such as files and devices in a network, whether on the public Internet or on a corporate intranet.



Fonte: <http://carmen.csel.it/Internet2/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

127

## 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

128

## Bibliografia

- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W.: *Redes de Computadores e a Internet*. 3a. edição, Pearson Education, 2005.
- TANENBAUM, A. S., *Computer Networks*, 4rd. Ed., Prentice-Hall, 2003.