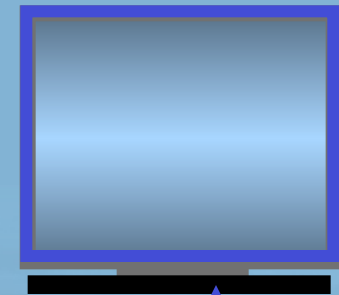
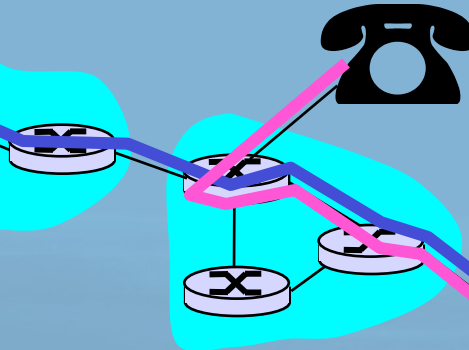
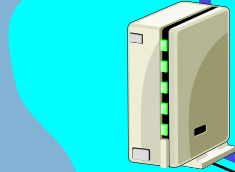
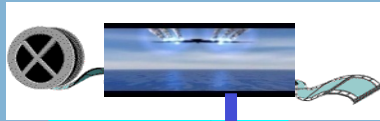


SSC0545 - Redes de Alto Desempenho

Prof. Jó Ueyama

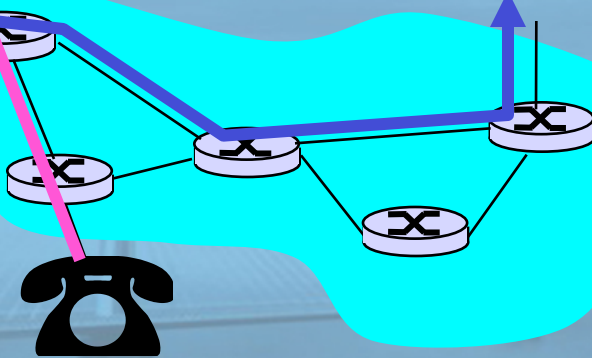
Multimídia e qualidade de serviços: o que é?

aplicações de multimídia:
áudio e vídeo de rede
("mídia contínua")



QoS

rede oferece à aplicação
nível de desempenho necessário para a aplicação funcionar.



Capítulo 7: Objetivos

Princípios

- ❑ classificar aplicações de multimídia
- ❑ identificar serviços de rede que as aplicações precisam usar
- ❑ fazer o melhor com o serviço de melhor esforço

Protocolos e arquiteturas

- ❑ protocolos específicos para melhor esforço
- ❑ mecanismos para fornecer QoS
- ❑ arquiteturas para QoS

Capítulo 7: Esboço

7.1 Aplicações de rede
multimídia

7.2 Áudio e vídeo de fluxo
contínuo armazenados

7.3 Fazendo o melhor
possível com o serviço de
melhor esforço

7.4 Protocolos para
aplicações interativas em
tempo real - RTP, RTCP,
SIP

7.5 Fornecendo classes
de serviço múltiplas

7.6 Fornecendo
garantias de
qualidade de serviços

Aplicações de rede multimídia (MM)

Classes de aplicações MM:

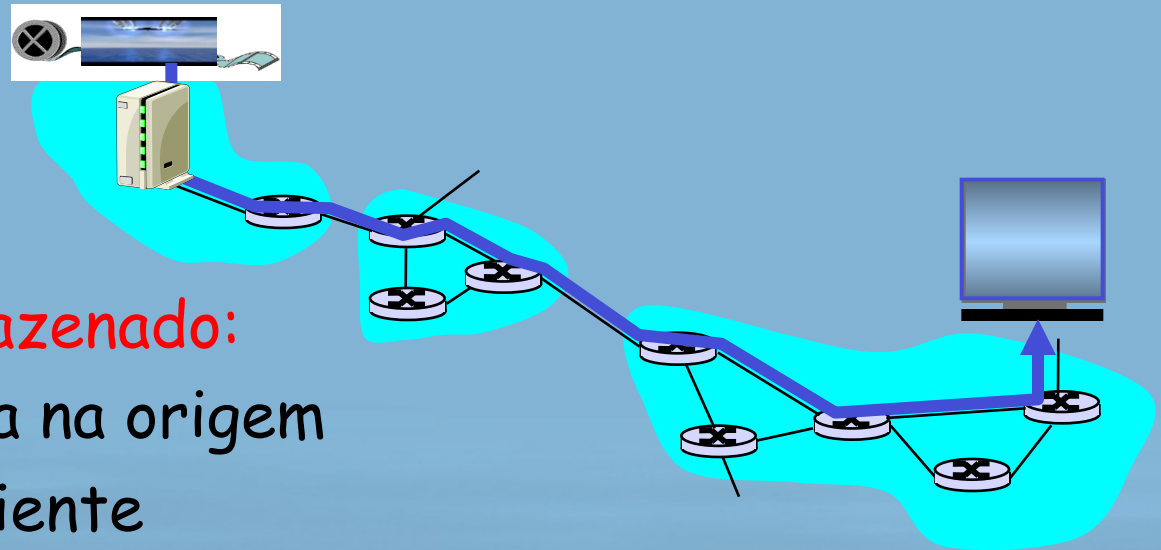
1. fluxo contínuo (*streaming*) armazenado
2. fluxo contínuo ao vivo
3. interativas, tempo real

Jitter é a variabilidade dos atrasos de pacote dentro do mesmo fluxo de pacotes

Características fundamentais:

- ❑ normalmente, **sensível ao atraso**
 - atraso fim a fim
 - jitter do atraso
- ❑ **tolerante a perdas:** perdas infrequentes causam pequenas falhas
- ❑ antítese de dados, que são *intolerantes* a falhas, mas *tolerantes* a atraso.

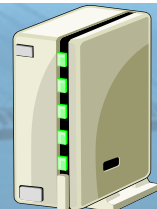
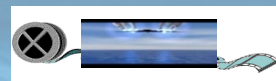
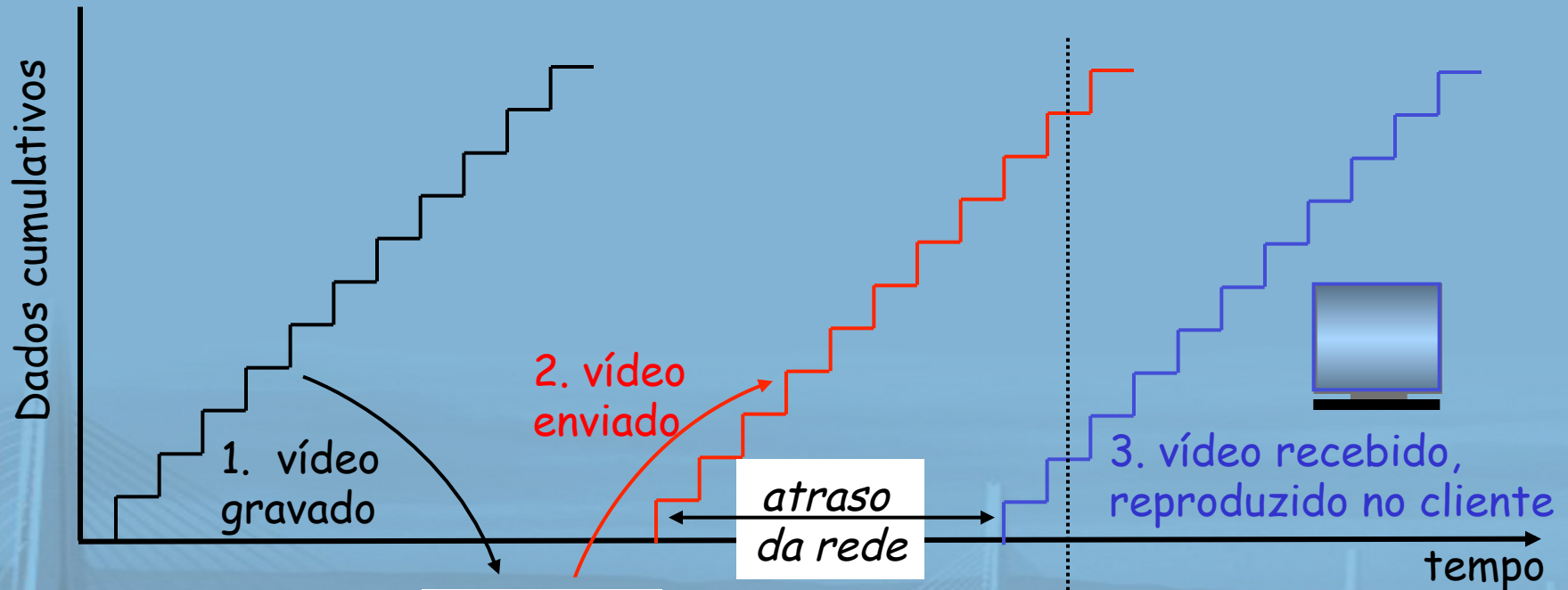
Multimídia armazenada de fluxo contínuo



Fluxo contínuo armazenado:

- ❑ mídia armazenada na origem
- ❑ transmitida ao cliente
- ❑ fluxo contínuo: reprodução do cliente começa *antes* que todos os dados tenham chegado
- ❑ restrição de tempo para dados ainda a serem transmitidos: a tempo para o reprodução

Multimídia armazenado de fluxo contínuo: o que é?



fluxo contínuo: neste momento, cliente reproduzindo parte inicial do vídeo, enquanto servidor ainda envia parte posterior do vídeo

Multimídia *Armazenado* de fluxo contínuo: interatividade



- ❑ *funcionalidade tipo VCR*: cliente pode dar pausa, voltar, avançar, pressionar barra deslizante
 - 10 seg de atraso inicial OK
 - 1-2 seg até efeito do comando OK
- ❑ restrição de tempo para dados ainda a serem transmitidos: em tempo para reprodução

Multimídia *ao vivo* em fluxo contínuo

Exemplos:

- ❑ programa de entrevistas por rádio da Internet
- ❑ evento esportivo ao vivo

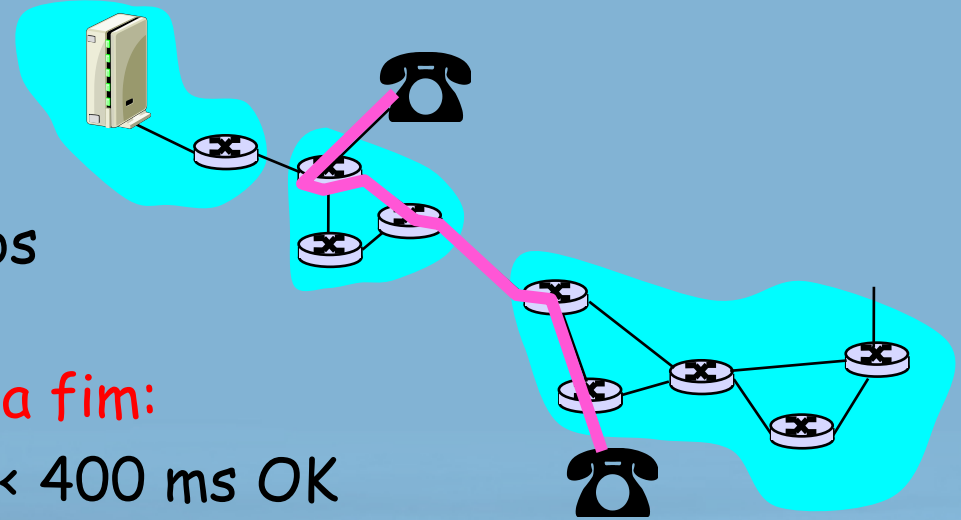
Fluxo contínuo (como na multimídia *armazenada* em fluxo contínuo)

- ❑ buffer de reprodução
- ❑ reprodução pode atrasar dezenas de segundos após a transmissão
- ❑ ainda tem restrição de tempo

Interatividade

- ❑ avanço rápido impossível
- ❑ retornar, pausar possíveis!

Multimídia interativa em tempo real



- ❑ **aplicações:** telefonia IP, videoconferência, mundos interativos distribuídos
- ❑ **requisitos de atraso fim a fim:**
 - áudio: < 150 ms bom, < 400 ms OK
 - inclui atrasos em nível de aplicação (empacotamento) e de rede
 - atrasos maiores observáveis prejudicam interatividade
- ❑ **inicialização da sessão**
 - Como o destino anuncia seu endereço IP, número de porta, algoritmos de codificação?

Multimídia sobre a Internet de hoje

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

- *sem* garantia sobre atraso e perda



? ? ? ? ? ?
Mas você disse que as aplicações de multimídia ?
exigem que QoS e nível de desempenho
? sejam eficazes!
? ? ?



Aplicações de multimídia na Internet de hoje usam técnicas em nível de aplicação para aliviar (ao máximo) os efeitos de atraso e perda.

Como a Internet deverá evoluir para dar melhor suporte à multimídia?

Filosofia de serviços integrados:

- ❑ mudanças fundamentais na Internet para as aplicações reservarem largura de banda fim a fim
- ❑ requer software novo, complexo nos hospedeiros e roteadores

Laissez-faire

- ❑ sem mudanças importantes
- ❑ mais largura de banda quando necessário
- ❑ distribuição de conteúdo, multicast da camada de aplicação
 - camada de aplicação

Filosofia de serviços diferenciados:

- ❑ menos mudanças na infraestrutura da Internet, oferecendo serviço de 1ª e 2ª classes



Qual é a sua opinião?

Algumas palavras sobre compactação de áudio

- ❑ amostra de sinal analógico
 - telefone: 8.000 amostras/s
 - música de CD: 44.100 amostras/s
- ❑ *"Quantization is the process of converting a continuous analog audio signal to a digital signal"*
- ❑ cada amostra quantizada, ou seja, arredondada
 - p. e., $2^8 = 256$ valores quantizados possíveis
- ❑ cada valor quantizado representado por bits
 - 8 bits para 256 valores

- ❑ exemplo: 8.000 amostras/s, 256 valores quantizados --> 64.000 bps
- ❑ receptor converte bits para sinal analógico:
 - alguma redução de qualidade

Exemplos de taxas

- ❑ CD: 1.411 Mbps
- ❑ MP3: 96, 128, 160 kbps
- ❑ Telefonia da Internet: 5,3 kbps em diante

Algumas palavras sobre compactação de vídeo

- ❑ vídeo: sequência de imagens exibidas em taxa constante
 - p. e. 24 imagens/s
- ❑ imagem digital: array de pixels
 - cada pixel representado por bits
- ❑ redundância
 - espacial (dentro da imagem)
 - temporal (de uma imagem para a seguinte)

Exemplos:

- ❑ MPEG 1 (CD-ROM) 1,5 Mbps
- ❑ MPEG2 (DVD) 3-6 Mbps
- ❑ MPEG4 (normalmente usado na Internet, < 1 Mbps)

Pesquisa:

- ❑ vídeo em camadas (escalável)
 - adapta camadas à largura de banda disponível

Capítulo 7: Esboço

- ❑ 7.1 Aplicações de rede multimídia
- ❑ 7.2 **Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados**
- ❑ 7.3 Fazendo o melhor possível com o serviço de melhor esforço
- ❑ 7.4 Protocolos para aplicações interativas em tempo real - RTP, RTCP, SIP
- ❑ 7.5 Fornecendo classes de serviço múltiplas
- ❑ 7.6 Fornecendo garantias de qualidade de serviços

Multimídia armazenada de fluxo contínuo

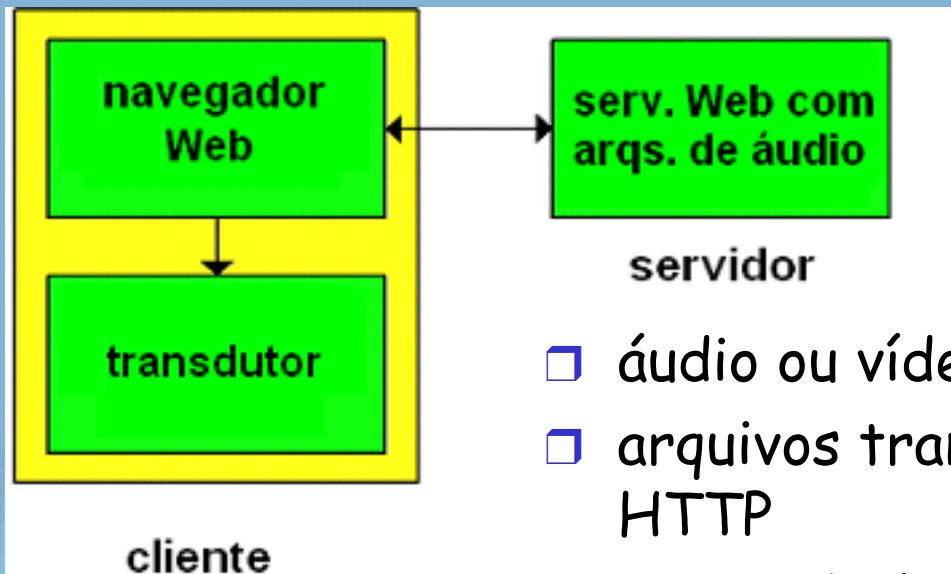
técnicas de fluxo contínuo em nível de aplicação para obter o máximo do serviço de melhor esforço:

- buffering no cliente
- uso de UDP *versus* TCP
- múltiplas codificações de multimídia

Media Player

- eliminação da variação de atraso (jitter)
- descompressão
- supressão de erro
- interface gráfica de usuário sem controles para interatividade

Multimídia na Internet: técnica mais simples

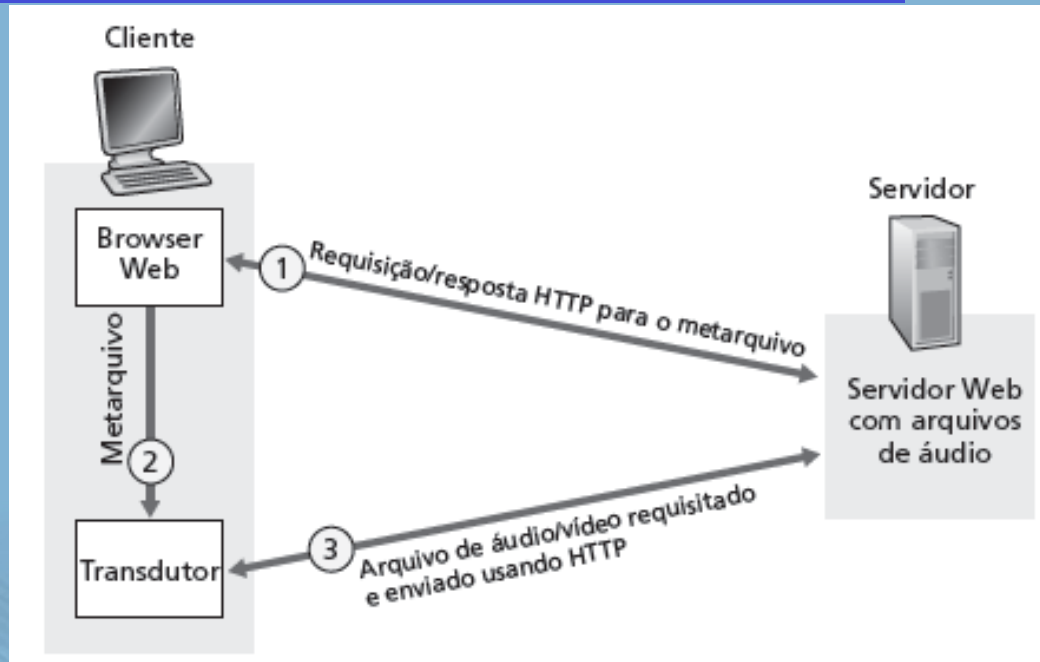


- ❑ áudio ou vídeo armazenados em arquivo
- ❑ arquivos transferidos como objetos HTTP
 - recebidos por inteiro no cliente
 - depois passados ao transdutor

áudio, vídeo sem fluxo contínuo:

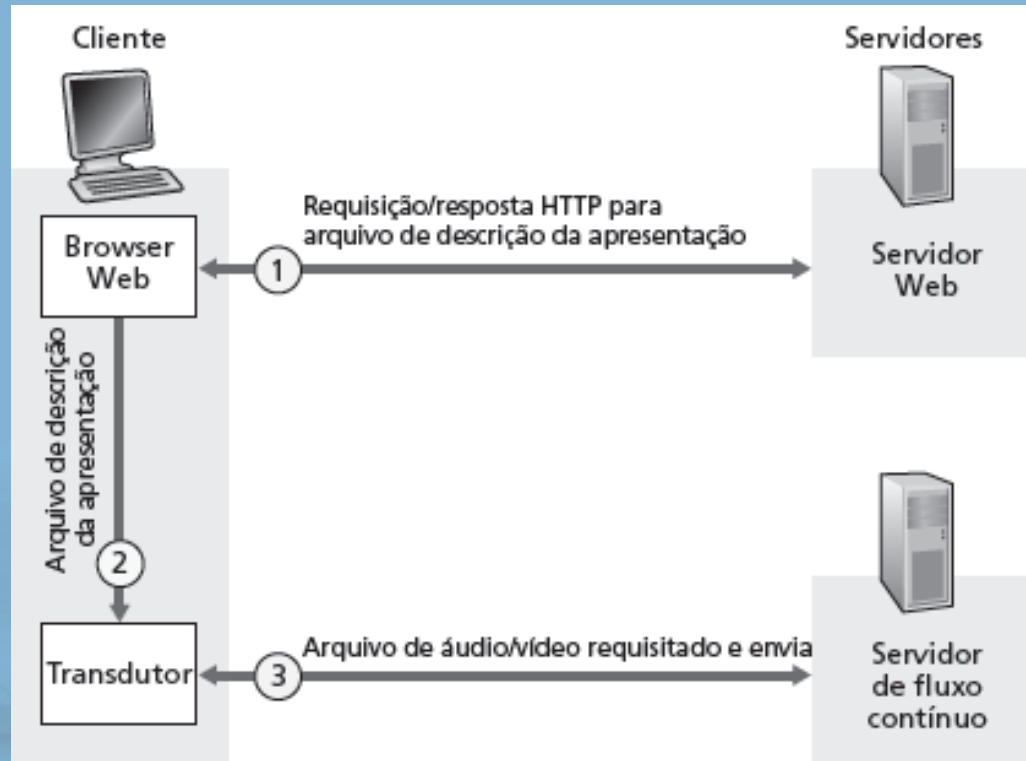
- ❑ sem "canalização", longos atrasos até reprodução!

Multimedia na Internet: técnica de fluxo contínuo



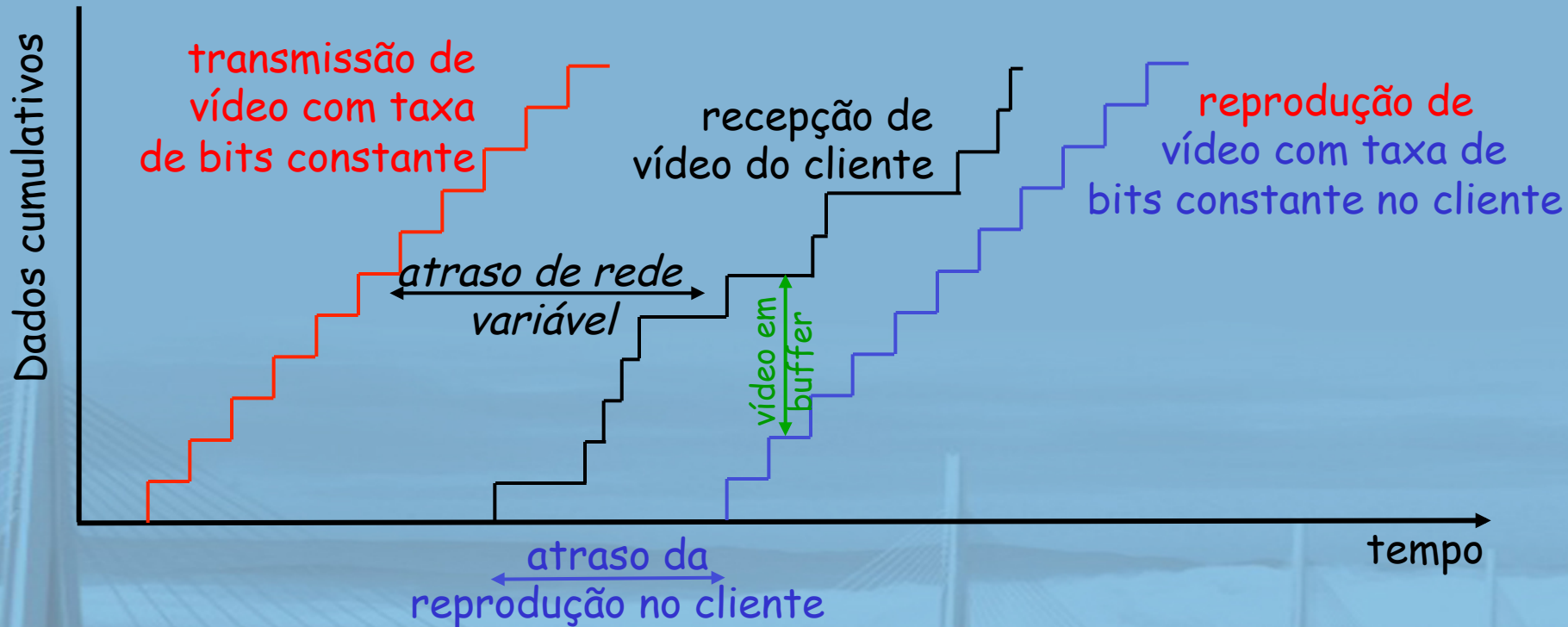
- ❑ navegador apanha (GET) **metarquivo**
- ❑ navegador dispara transdutor, passando metarquivo
- ❑ transdutor contata servidor
- ❑ servidor envia **fluxo contínuo** de áudio/vídeo ao transdutor

Fluxo contínuo de um servidor de fluxo contínuo

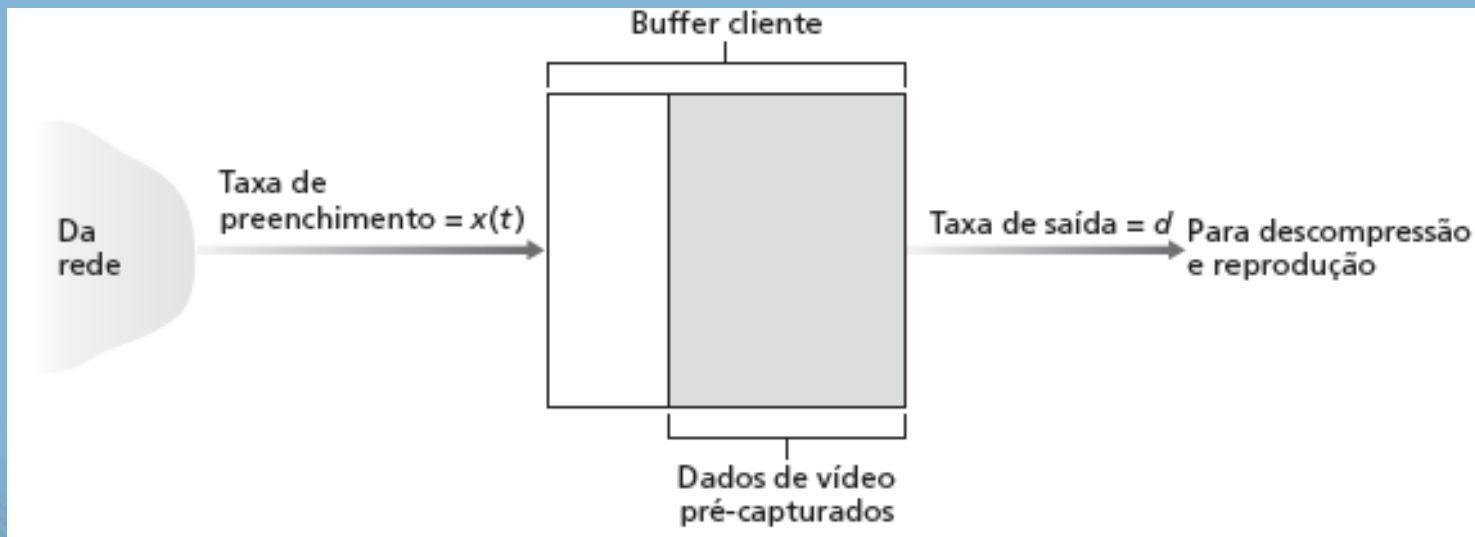


- ❑ permite protocolo não HTTP entre servidor e transdutor
- ❑ UDP ou TCP para etapa (3); veja mais adiante

Multimídia de fluxo contínuo: buffer no cliente



- buffer no cliente, atraso na reprodução compensa atraso adicional da rede, jitter



- ❑ buffer no cliente, atraso na reprodução compensa atraso adicional da rede, jitter

Multimídia de fluxo contínuo: UDP ou TCP?

UDP

- ❑ servidor envia na taxa apropriada ao cliente (desatento ao congestionamento na rede!)
 - normalmente, taxa envio = taxa codif. = taxa constante
 - depois, taxa de preenchimento = taxa constante - perda de pacote
- ❑ pequeno atraso na reprodução (2-5 s) para remover jitter da rede
- ❑ recuperação de erro: se o tempo permitir

TCP

- ❑ envio na maior taxa possível sob TCP
- ❑ taxa de preenchimento flutua devido ao controle de congestionamento TCP
- ❑ maior atraso na reprodução: taxa de envio TCP suave
- ❑ HTTP/TCP passa mais facilmente pelos firewalls

Multimídia de fluxo contínuo: taxa(s) do cliente



P: Como lidar com diferentes capacidades de taxa de recepção do cliente?

- rede discada a 28,8 Kbps
- rede Ethernet a 100 Mbps

R: Servidor armazena e transmite várias cópias do vídeo, codificadas em diferentes taxas

Controle do usuário da mídia de fluxo contínuo: RTSP

HTTP

- ❑ não visa conteúdo de multimídia
- ❑ sem comandos para avanço rápido etc.

RTSP: RFC 2326

- ❑ protocolo da camada de aplicação cliente-servidor
- ❑ controle do usuário: retrocesso, avanço rápido, pause, reinício, reposicionamento etc....

O que ele não faz:

- ❑ não define como áudio, e vídeo são encapsulados para fluxo contínuo pela rede; não define esquemas de compressão
- ❑ não restringe como a mídia de fluxo contínuo é transportada (UDP ou TCP possível)
- ❑ não especifica como transdutor mantém áudio/vídeo em buffer; reproduz assim que chega ou não?

RTSP: controle fora da banda

FTP usa canal de controle "fora da banda" :

- ❑ arquivo transferido por uma conexão TCP
- ❑ informação de controle (mudanças de diretório, exclusão de arquivo, renomeação) enviadas por conexão TCP separada
- ❑ canais "fora de banda", "na banda" usam números de porta diferentes

Mensagens RTSP também enviadas fora da banda:

- ❑ Mensagens de controle RTSP usam diferentes números de porta do fluxo contínuo de mídia:
fora da banda
 - porta 554
- ❑ fluxo contínuo de mídia é considerado "na banda"

Exemplo do RTSP

Cenário:

- ❑ metarquivo comunicado ao navegador Web
- ❑ navegador inicia transdutor
- ❑ transdutor configura conexão de controle RTSP, conexão de dados ao servidor de fluxo contínuo

Exemplo de metarquivo

```
<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>
```

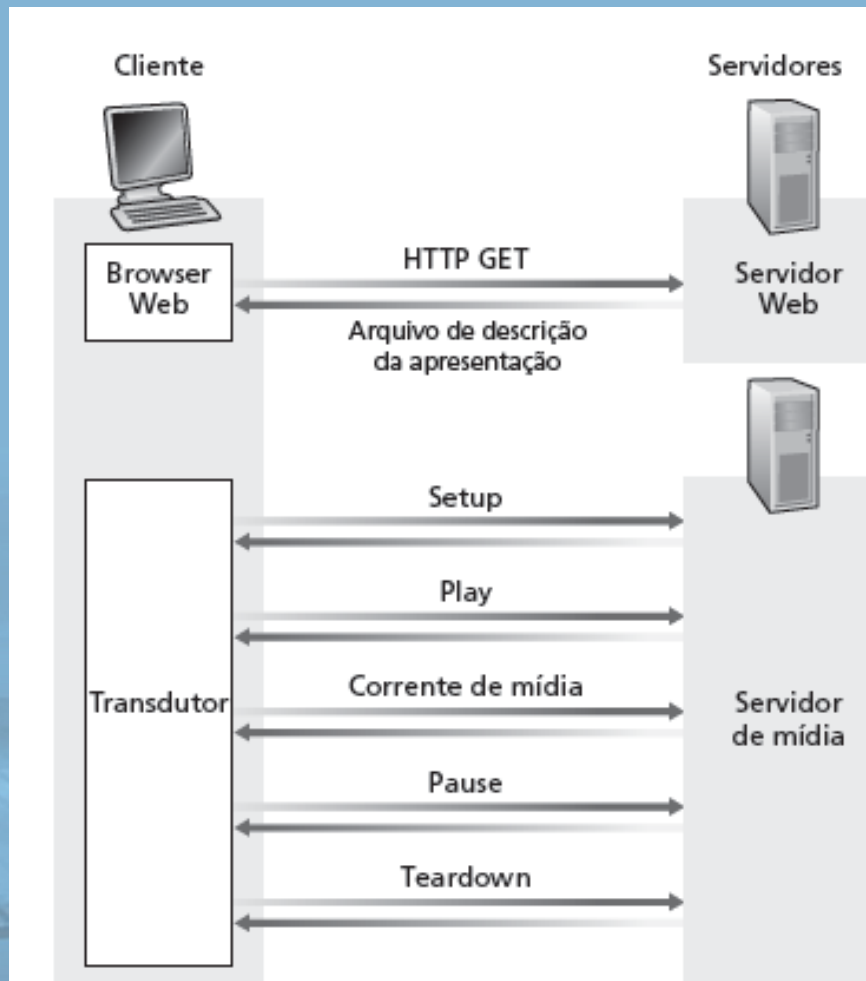
```
  <track type = "video/jpeg"
```

```
    src = "rtsp://video.example.com/twister/video">
```

```
</group>
```

```
</session>
```

Operação do RTSP



Exemplo de sessão RTSP

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: Esboço

- ❑ 7.1 Aplicações de rede multimídia
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Fazendo o melhor possível com o serviço de melhor esforço
- ❑ 7.4 Protocolos para aplicações interativas em tempo real - RTP, RTCP, SIP
- ❑ 7.5 Fornecendo classes de serviço múltiplas
- ❑ 7.6 Fornecendo garantias de qualidade de serviços

Aplicações Multimídia

REDES DE
COMPUTADORES
E A INTERNET 5ª edição

Uma Abordagem Top-Down

Classes de aplicações de Multimídia:

- 1) Áudio e vídeo de fluxo contínuo (*Streams*) armazenados
- 2) Áudio e vídeo de fluxo contínuo ao vivo
- 3) Áudio e vídeo interativos em tempo real

- Fluxo contínuo, áudio e vídeo armazenados
 - O cliente solicita a qualquer momento arquivos de áudio e vídeos comprimidos que estão armazenados no servidor
 - 3 características importantes:
 - **Mídia armazenada:** o conteúdo foi pré-gravado e armazenado no servidor
 - Pode pausar, voltar, avançar, etc
 - **Fluxo contínuo:** o cliente inicia a reprodução alguns segundos após começar a receber os arquivos do servidor.
 - Evita a necessidade de armazenar toda a mídia antes
 - **Reprodução contínua:** quando começa a reprodução, deve prosseguir normalmente, com sérias restrições aos atrasos
 - Devem ser recebidos a tempo de serem reproduzidos

Aplicações Multimídia

- **Áudio e vídeo de fluxo contínuo ao vivo**
 - Semelhante à transmissão de rádio e televisão
 - Permite que sejam recebidas transmissões de qualquer parte do mundo
 - Como o fluxo não é armazenado, não se pode adiantar o programa que está sendo recebido
 - Entretanto, os dados são armazenados localmente
 - Pausa, retrocesso podem ser realizadas em algumas aplicações
 - Mesma idéia da reprodução contínua
 - Atrasos causam danos “mais severos” do que em mídia armazenada

Aplicações Multimídia

- Vídeo e áudio interativos em tempo real
 - Permite comunicação entre as pessoas em tempo real
 - Telefonia pela Internet
 - Videoconferências
 - Usuários podem se mover ou falar a qualquer instante
 - Os atrasos devem ser menores do que algumas centenas de segundos

Aplicações interativas em tempo real

- ❑ telefone PC-a-PC
 - Skype
- ❑ PC-para-telefone
 - discado
 - Net2phone
 - Skype
- ❑ videoconferência com webcams
 - Skype
 - Polycom

Vamos agora
examinar um
exemplo de telefone
PC-a-PC na Internet
com detalhes

Multimedia interativa: Internet Phone

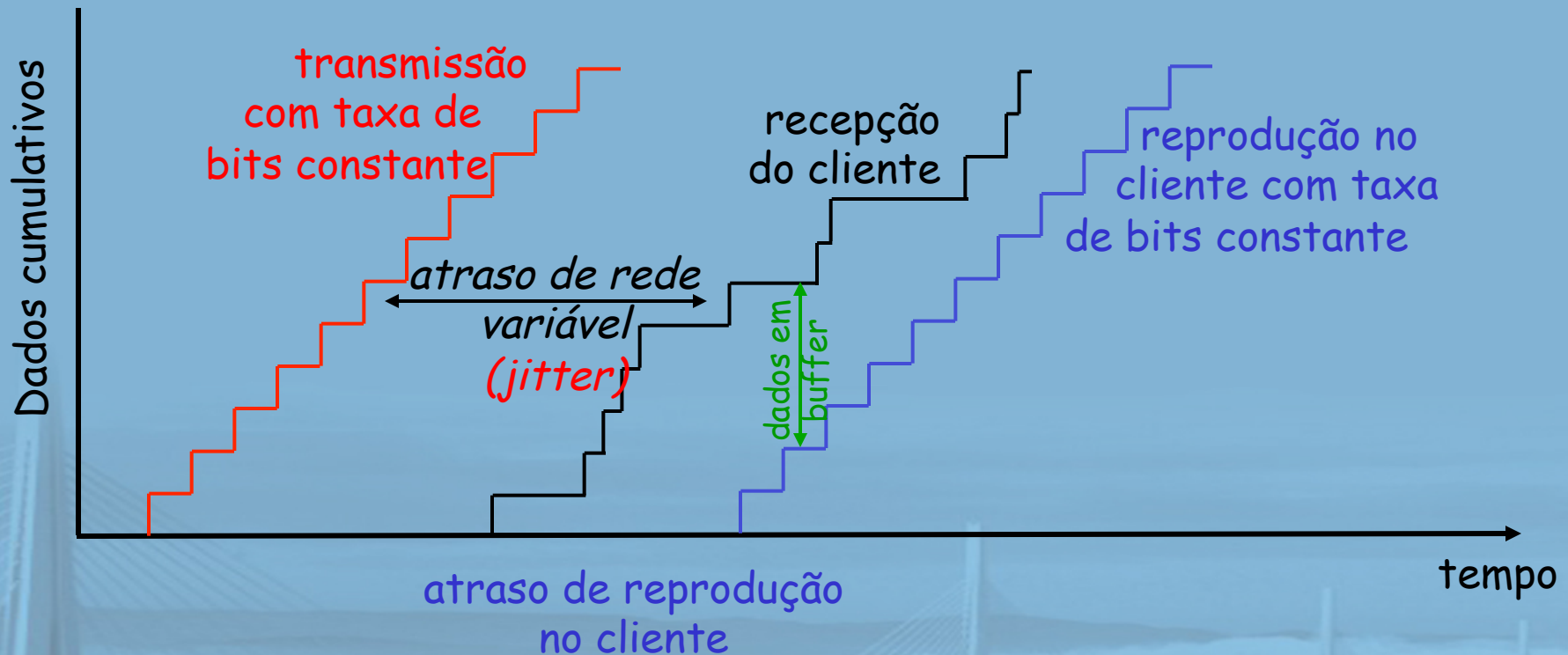
Apresento Internet Phone por meio de um exemplo

- ❑ áudio do locutor: alternando rajadas de voz e silêncio
 - 64 kbps durante a rajada de voz
 - pacotes gerados apenas durante as rajadas de voz
 - porções de 20 ms a 8 Kbytes/s: 160 bytes de dados
 - $8 \times 20 = 160$ bytes de dados
- ❑ cabeçalho da camada de aplicação acrescentado a cada porção
- ❑ porção + cabeçalho encapsulados no segmento UDP
- ❑ aplicação envia segmento UDP para socket a cada 20 ms durante a rajada de voz

Internet Phone: perda de pacote e atraso

- ❑ **perda na rede:** perda de datagrama IP devido a congestionamento na rede (estouro de buffer do roteador)
- ❑ **perda por atraso:** datagrama IP chega muito tarde para reprodução no receptor
 - atrasos: atrasos de processamento, filas na rede; sistema final (remetente, receptor)
 - atraso típico máximo tolerável: 400 ms
- ❑ tolerância a perda: dependendo da codificação de voz, perdas ocultas e taxas de perda de pacotes entre 1% e 10% podem ser toleradas

Variação de atraso



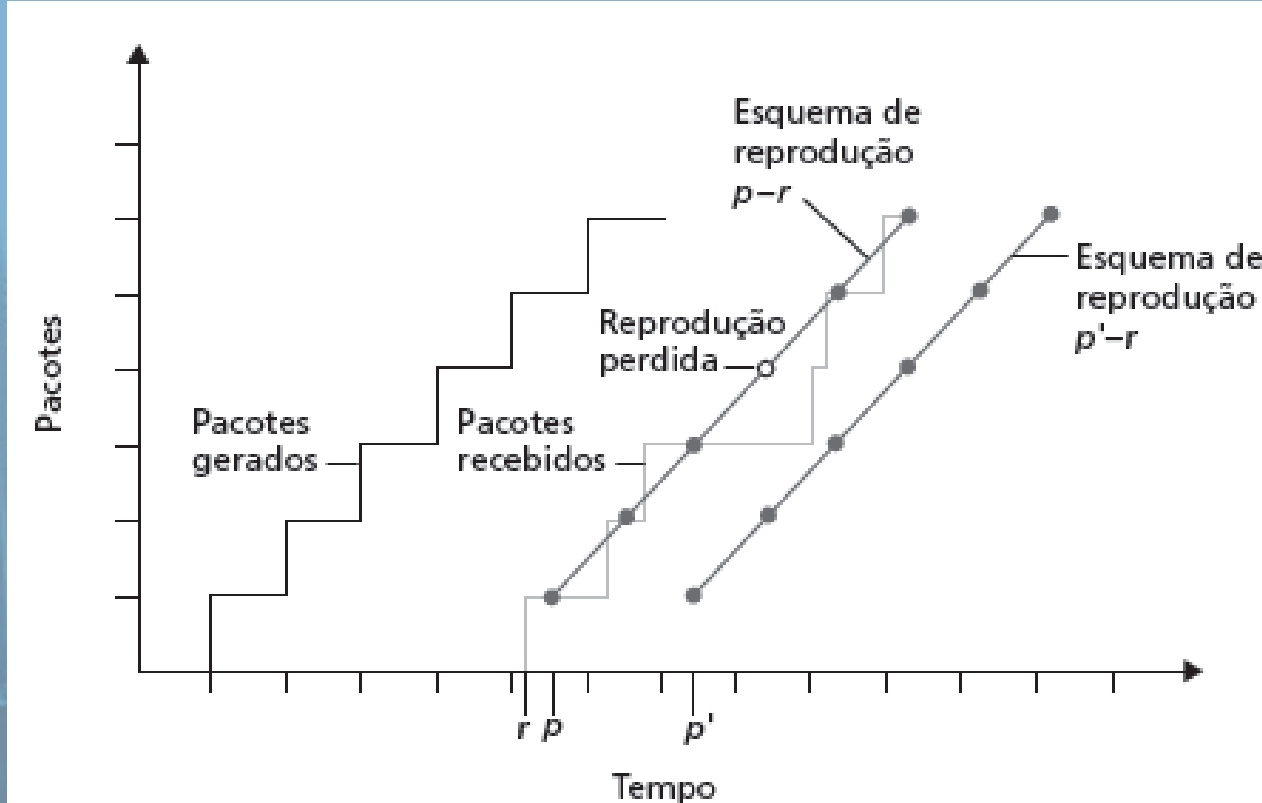
- ❑ considere atrasos de fim a fim de dois pacotes consecutivos: diferença pode ser mais ou menos 20 ms (diferença no tempo de transmissão)

Internet Phone: atraso de reprodução fixo

- ❑ receptor tenta reproduzir cada porção exatamente q ms após a porção ter sido gerada
 - porção tem marca de tempo t : reproduz porção em $t + q$.
 - porção chega após $t + q$: dados chegam muito tarde para reprodução e se "perdem"
- ❑ dilema na escolha de q :
 - *q grande*: menos perda de pacote
 - *q pequeno*: melhor experiência interativa

Atraso de reprodução fixo

- remetente gera pacotes a cada 20 ms durante rajada de voz
- primeiro pacote recebido no instante r
- primeiro esquema de reprodução: começa em p
- segundo esquema de reprodução: começa em p'



Atraso de reprodução adaptativo

- ❑ **Objetivo:** minimizar atraso de reprodução, mantendo a taxa de perda baixa
- ❑ **Técnica:** ajuste do atraso de reprodução adaptativo:
 - estime atraso da rede, ajuste atraso de reprodução no início de cada rajada de voz
 - períodos de silêncio compactados e alongados
 - porções ainda reproduzidas a cada 20 ms durante a rajada de voz

t_i = marca de tempo do i° pacote = o instante pacote foi gerado pelo remetente

r_i = o momento em que o pacote i é recebido pelo receptor

p_i = o momento em que o pacote i é reproduzido no receptor

$r_i - t_i$ = atraso na rede para i° pacote

d_i = estimativa do atraso médio da rede após receber i° 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 (p. e., $u = 0,01$)

- também útil para estimar **desvio médio** do atraso, v_i :

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

- estima d_i , v_i calculado para cada pacote recebido (mas usado apenas no início da rajada de voz)

- para primeiro pacote na rajada de voz, **tempo de reprodução** é:

$$p_i = t_i + d_i + Kv_i$$

onde K é uma constante positiva

- pacotes restantes na rajada de voz são reproduzidos periodicamente

- P: Como o receptor determina se o pacote é o primeiro em uma rajada de voz?
- se não há perda, receptor examina marcas de tempo sucessivas
 - diferença de marcas de tempo sucessivas > 20 ms --> rajada de voz começa
 - com possível perda, receptor deve examinar marcas de tempo e números de sequência.
 - diferença de marcas sucessivas > 20 ms e números de sequência sem lacunas --> rajada de voz começa

Recuperação de Perdas de Pacotes

- ❑ Como preservar uma qualidade aceitável de áudio na presença da perda de pacotes.
- ❑ Esses esquemas são denominados esquemas de recuperação de perdas.
- ❑ Definimos aqui a perda de pacotes em um sentido amplo:
 - ❑ Um pacote será considerado perdido se nunca chegar ao receptor ou
 - se chegar após o tempo de reprodução programado

Recuperação de Perdas de Pacotes

- ❑ Devido a essas considerações, aplicações de
- ❑ telefone por Internet frequentemente usam algum tipo de esquema de prevenção de perda.

- ❑ Dois desses esquemas são:
- ❑ a FEC e
- ❑ a INTERCALAÇÃO.

Recuperação de Perdas de Pacotes

- ❑ FEC (Correção de erros de repasse)
- ❑ Basicamente a FEC (Forward Error Correction) adiciona informações redundantes à corrente de pacotes original.
- ❑ Ao custo de aumentar marginalmente a taxa de transmissão do áudio da corrente.
- ❑ A informação redundante pode ser usada para reconstruir aproximações ou versões exatas de alguns pacotes perdidos.

Dois mecanismos da FEC:

FEC - o Primeiro Mecanismo

- ❑ Envia uma porção redundante codificada após cada n porções. A porção redundante é obtida por XOR das n porções originais. Desse modo, se qualquer pacote do grupo $n + 1$ pacotes for perdido, o receptor poderá reconstruir integralmente o pacote perdido.
- ❑ Mas se dois pacotes forem perdidos?
- ❑ Mantendo $n + 1$ (o tamanho do grupo) pequeno, uma grande fração dos pacotes perdidos pode ser recuperada, quando a perda não for excessiva.

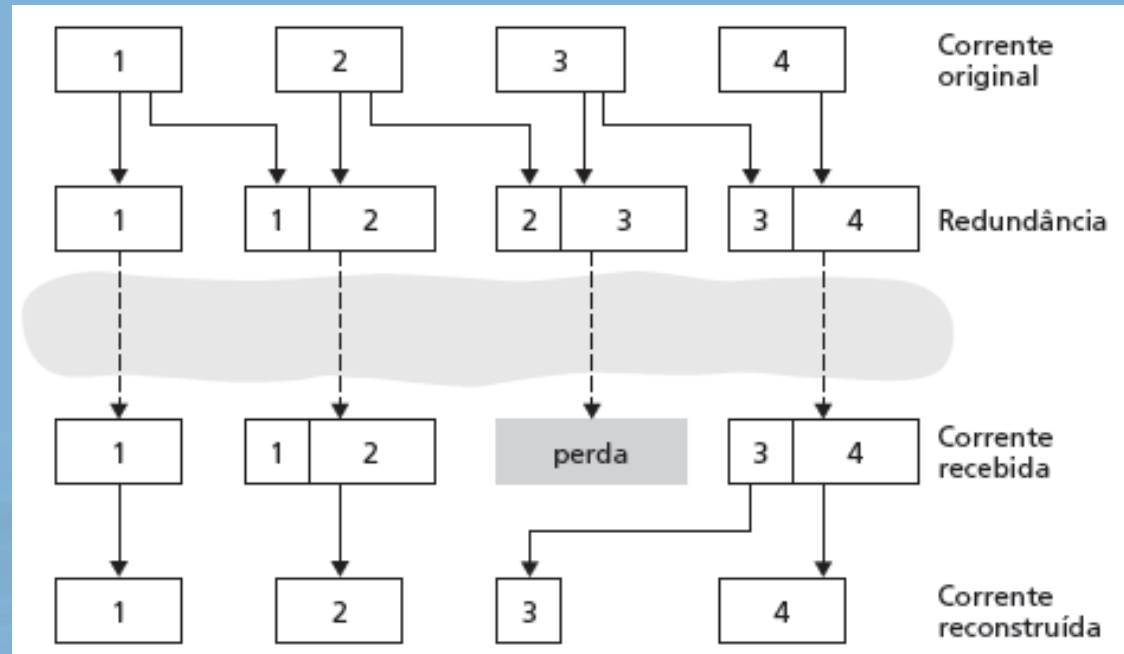
Recuperação de perda de pacotes

Forward Error Correction (FEC): mecanismo simples

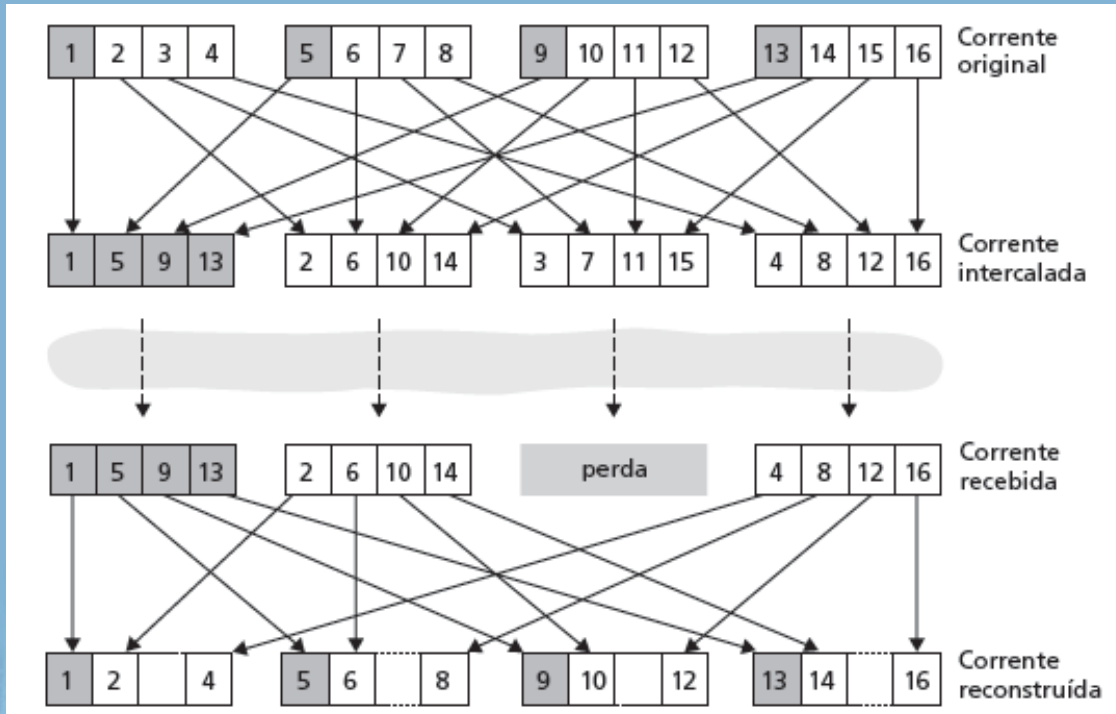
- ❑ para cada grupo de n porções, crie porção redundante com OR exclusivo de n porções originais
- ❑ envie $n + 1$ porções, aumentando largura de banda pelo fator $1/n$.
- ❑ pode reconstruir n porções originais se no máximo uma porção perdida dentre $n + 1$ porções
- ❑ atraso de reprodução: tempo suficiente para receber todos $n + 1$ pacotes
- ❑ dilema:
 - aumente n , menos desperdício de largura de banda
 - aumente n , maior atraso de reprodução
 - aumente n , maior probabilidade de que 2 ou mais porções se percam

2º mecanismo FEC

- ❑ “fluxo contínuo de menor qualidade”
- ❑ envia fluxo com resolução de áudio inferior como informação redundante
- ❑ p. e., PCM de fluxo nominal a 64 kbps e GSM de fluxo redundante a 13 kbps.



- ❑ sempre que há perda não consecutiva, receptor pode ocultar a perda



Intercalação

- ❑ porções divididas em unidades menores
- ❑ por exemplo, quatro unidades de 5 ms por porção
- ❑ pacote contém pequenas unidades de porções diferentes
- ❑ se pacote perdido, ainda tem a maioria de cada porção
- ❑ sem overhead de redundância, mas aumenta atraso de reprodução

Recuperação de Perdas de Pacotes

- ❑ Reparação de correntes de áudio danificadas realizada no receptor
- ❑ Esquema de recuperação baseadas no receptor tentam produzir um substituto para um pacote perdido semelhante ao original.
- ❑ Isso é possível desde que os sinais de áudio, em especial os de voz, exibam grandes índices de semelhança entre si dentro de períodos de tempo reduzidos.
- ❑ Essas técnicas funcionam para taxas de perda relativamente pequenas (menos de 15 por cento) e para pacotes pequenos (4 - 40 milissegundos).

Content Distribution Networks (CDNs)

Replicação de conteúdo

- ❑ difícil enviar grandes arquivos (p. e., vídeo) de único servidor de origem em tempo real
- ❑ *solução*: replicar conteúdo em centenas de servidores pela Internet
 - conteúdo baixado para servidores CDN antes da hora
 - *conteúdo "perto" do usuário evita dados (perda, atraso) do envio por longos caminhos*
 - servidor CDN normalmente na rede da borda/acesso

servidor de origem na América do Norte



nó de distribuição de CDN



servidor CDN na América do Sul



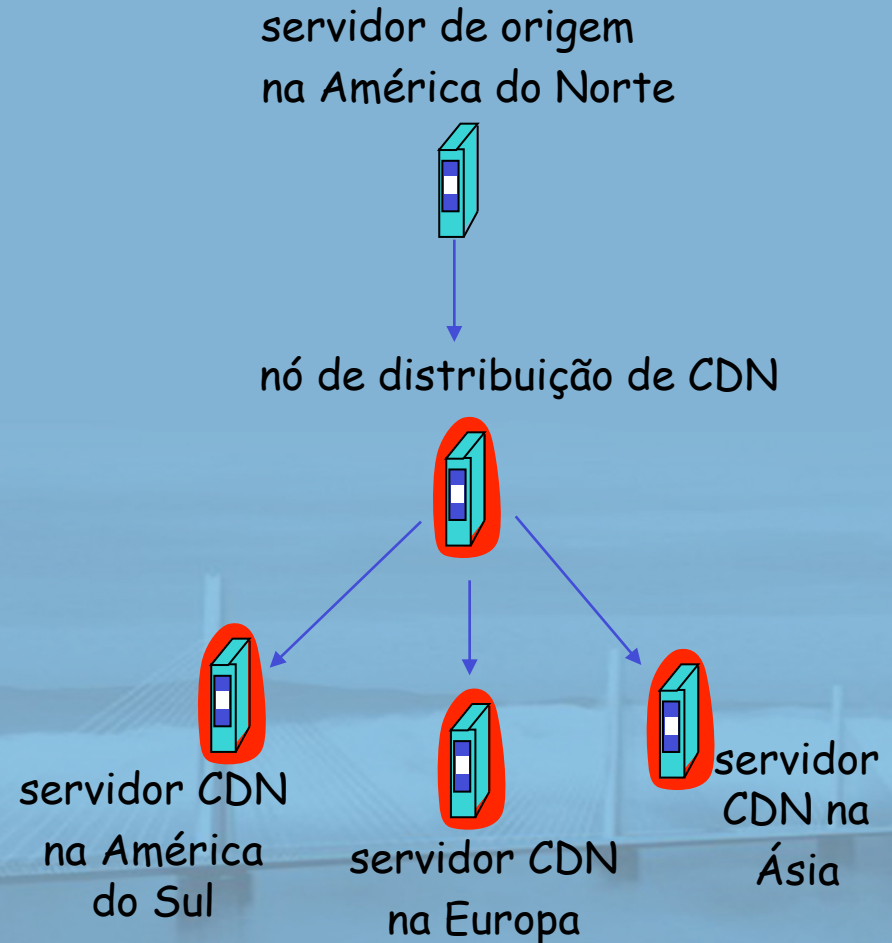
servidor CDN na Europa



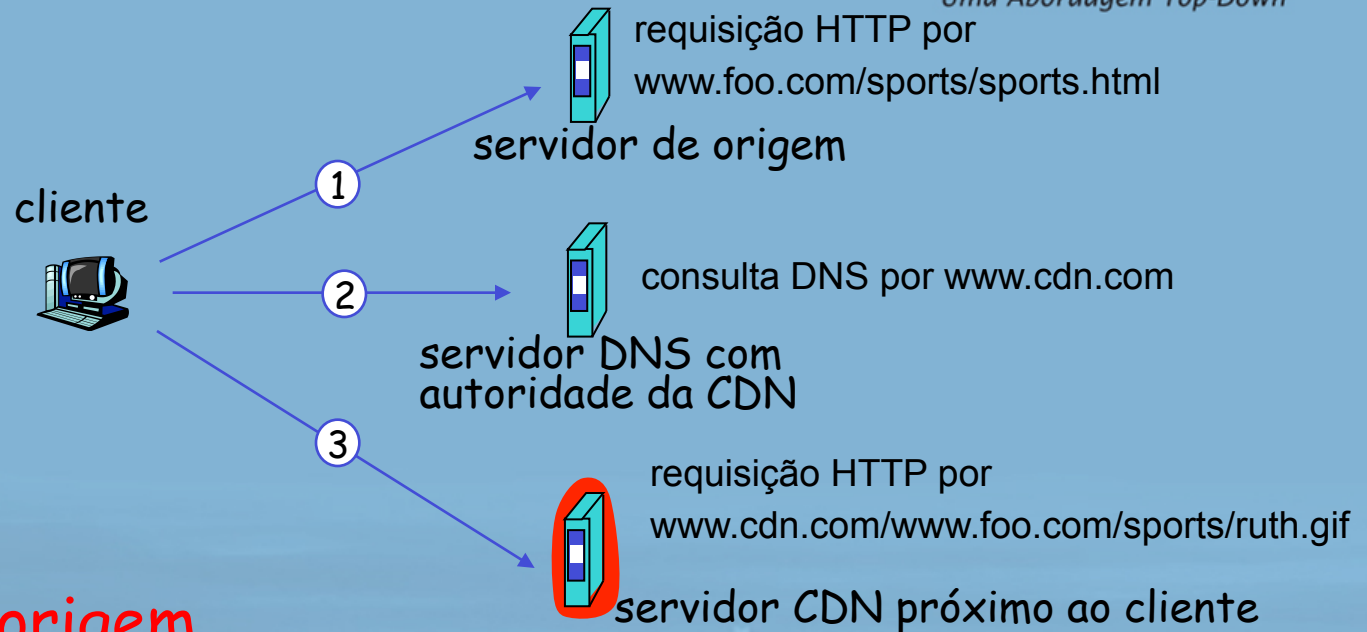
servidor CDN na Ásia

Replicação de conteúdo

- ❑ cliente CDN (p. e., Akamai) é provedor de conteúdo (p. e., CNN)
- ❑ CDN replica conteúdo do cliente nos servidores CDN
- ❑ quando provedor atualiza conteúdo, CDN atualiza servidores



Exemplo de CDN



servidor de origem
(www.foo.com)

- ❑ distribui HTML
- ❑ substitui:

<http://www.foo.com/sports.ruth.gif>

por

[sports/ruth.gif](http://www.foo.com/sports/ruth.gif)

empresa de CDN (cdn.com)

- ❑ distribui arquivos GIF
- ❑ usa seu servidor DNS com autoridade para rotear requisições

<http://www.cdn.com/www.foo.com/>

Mais sobre CDNs

requisições de roteamento

- ❑ CDN cria um "mapa", indicando distâncias de ISPs de folha e nós CDN
- ❑ quando consulta chega no servidor DNS com autoridade:
 - servidor determina ISP do qual a consulta origina
 - usa "mapa" para determinar melhor servidor CDN
- ❑ nós CDN criam rede de sobreposição da camada de aplicação

Resumo: multimídia da Internet: sacola de truques

- ❑ **use UDP** para evitar controle de congestionamento TCP (atrasos) para tráfego sensível ao tempo
- ❑ **atraso de reprodução adaptativo** no cliente: para compensar o atraso
- ❑ lado servidor **combina largura de banda da corrente** com largura de banda do caminho disponível entre cliente e servidor
 - escolha entre taxas de corrente pré-codificadas
 - taxa dinâmica de codificação de servidor
- ❑ **recuperação de erro (em cima do UDP)**
 - FEC, intercalação, ocultação de erro
 - retransmissões, se o tempo permitir
- ❑ **CDN: leva conteúdo mais para perto dos clientes**

Capítulo 7: Esboço

- ❑ 7.1 Aplicações de rede multimídia
- ❑ 7.2 Áudio e vídeo de fluxo contínuo armazenados
- ❑ 7.3 Fazendo o melhor possível com o serviço de melhor esforço
- ❑ 7.4 Protocolos para aplicações interativas em tempo real - RTP, RTCP, SIP
- ❑ 7.5 Fornecendo classes de serviço múltiplas
- ❑ 7.6 Fornecendo garantias de qualidade de serviços

Real-Time Protocol (RTP)

- ❑ RTP especifica estrutura de pacote para transportar dados de áudio e vídeo
- ❑ RFC 3550
- ❑ pacote RTP oferece
 - identificação de tipo de carga útil
 - numeração de sequência de pacote
 - marca de tempo
- ❑ RTP roda em sistemas finais
- ❑ pacotes RTP encapsulados em segmentos UDP
- ❑ interoperabilidade: se duas aplicações de telefone da Internet rodam RTP, então elas podem ser capazes de trabalhar juntas

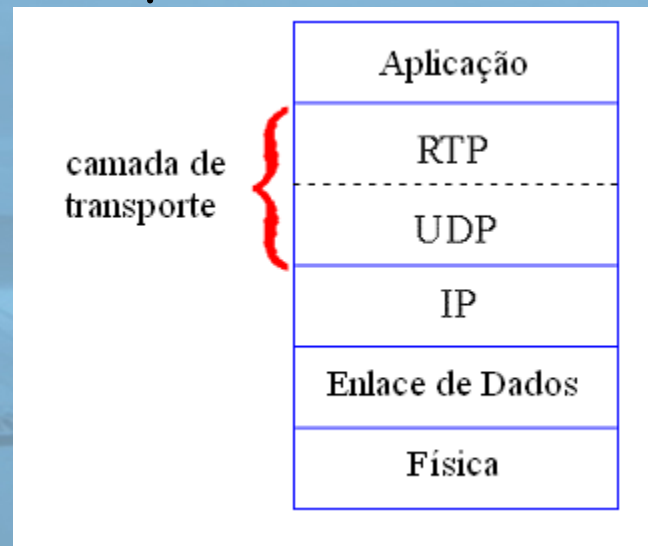
RTP

- ❑ O lado do remente de uma aplicação de multimídia anexa campos de cabeçalho às porções de áudio/vídeo antes de passá-las à camada de transporte.
- ❑ **Esses campos de cabeçalho contêm:** Número de sequência e marcas de tempo.
- ❑ O lado receptor extrai o pacote RTP do segmento UDP, em seguida extrai a porção de mídia do pacote RTP e então passa a porção para o transdutor para decodificação e apresentação

RTP roda sobre UDP

bibliotecas RTP oferecem interface da camada de transporte que estende UDP:

- números de porta, endereços IP
- identificação de tipo de carga útil
- numeração de sequência de pacote
- marca de tempo



Exemplo de RTP

- ❑ considere o envio de voz codificada por PCM a 64 kbps por RTP
- ❑ aplicação coleta dados codificados em porções, p. e., cada 20 ms = 160 bytes em uma porção
- ❑ **porção de áudio + cabeçalho RTP formam pacote RTP, que é encapsulado no segmento UDP**
- ❑ cabeçalho RTP indica tipo de codificação de áudio em cada pacote
 - remetente pode alterar codificação durante conferência
- ❑ cabeçalho RTP também contém números de sequência, marcas de tempo

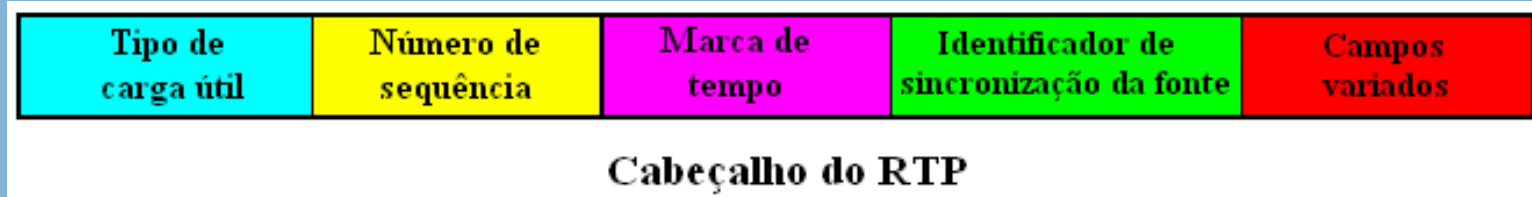
Exemplo: utilização do RTP para transportar voz.

- ❑ O RTP permite que seja atribuída a cada fonte (uma câmera ou microfone) sua própria corrente independente de pacotes RTP.
- ❑ Por exemplo, uma videoconferência entre dois participantes, quatro correntes RTP podem ser abertas: duas correntes para transmitir o áudio (uma em cada direção) e duas correntes para transmitir o vídeo (uma em cada direção).
- ❑ Algumas aplicações conjugam áudio e vídeo pelo codificador, somente uma corrente RTP é formada.

RTP e QoS

- ❑ RTP não oferece qualquer mecanismo para garantir entrega de dados a tempo ou outras garantias de QoS
- ❑ encapsulamento RTP só é visto nos sistemas finais (não) por roteadores intermediários
 - roteadores fornecendo serviço do melhor esforço, não fazendo esforço especial para garantir que os pacotes RTP chegam ao destino em tempo

Cabeçalho do RTP



tipo de carga útil (7 bits): indica tipo de codificação sendo usada atualmente. Se o remetente mudar a codificação no meio da conferência, ele informa ao receptor por meio do campo de tipo de carga útil.

- Tipo de carga útil 0: PCM lei μ , 64 kbps
- Tipo de carga útil 3, GSM, 13 kbps
- Tipo de carga útil 7, LPC, 2,4 kbps
- Tipo de carga útil 26, Motion JPEG
- Tipo de carga útil 31. H.261
- Tipo de carga útil 33, vídeo MPEG2

número de sequência (16 bits): incrementa para cada pacote RTP enviado e pode ser usado para detectar perda de pacote e restaurar sequência de pacote.

- campo de marca de tempo (32 bytes): instante de amostragem do primeiro byte neste pacote de dados RTP
 - para áudio, o clock da marca de tempo incrementa para cada período de amostragem (p. e., a cada 125 μ s para clock de amostragem de 8 KHz)
 - se a aplicação gera porções de 160 amostras codificadas, então marca de tempo aumenta em 160 para cada pacote RTP quando a origem está ativa. Clock da marca de tempo continua a aumentar em taxa constante quando a origem está inativa.

- campo SSRC (32 bits): identifica origem da corrente de RTP t. Cada corrente na sessão RTP deverá ter SSRC distinto.

Tarefa de programação de RTSP/RTP

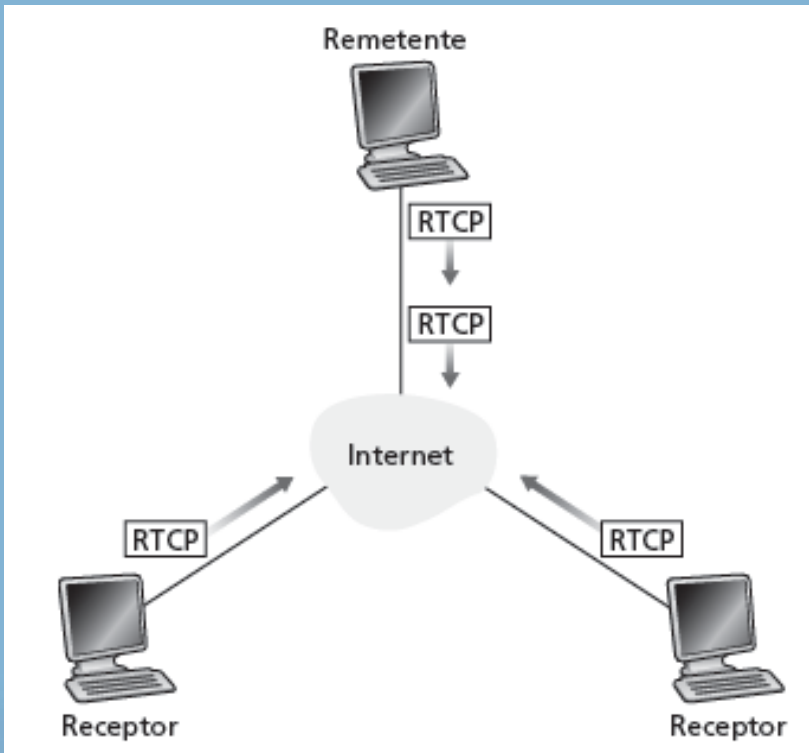
- ❑ crie um servidor que encapsule quadros de vídeo armazenados em pacotes RTP
 - apanhe quadro de vídeo, inclua cabeçalhos RTP, crie segmentos UDP, envie segmentos para socket UDP
 - inclua números de sequência e marcas de tempo
 - cliente RTP fornecido para você
- ❑ escreva também lado cliente do RTSP
 - emita comandos de reprodução/pausa
 - servidor RTSP fornecido para você

Real-Time Control Protocol (RTCP)

- ❑ funciona em conjunto com RTP.
- ❑ cada participante na sessão RTP transmite periodicamente pacotes de controle RTCP a todos os outros participantes
- ❑ cada pacote RTCP contém relatórios de remetente e/ou receptor
 - estatísticas de relatório úteis à aplicação: # pacotes enviados, # pacotes perdidos, jitter entre chegadas etc.
- ❑ informações de retorno podem ser usadas para controlar desempenho
 - remetente pode modificar suas transmissões com base nessas informações

RTCP - Protocolo de Controle RTP

- ❑ RTCP, um protocolo que uma aplicação multimídia pode usar juntamente com o RTP.
- ❑ O RTCP monitora a entrega dos dados e a qualidade de serviços fim a fim.
- ❑ Tanto o RTP quanto o RTCP são protocolos cliente/servidor que negociam um conjunto apropriado de parâmetros para entrega de acordo com o meio físico.



- ❑ cada sessão RTP: normalmente, um único endereço multicast; todos os pacotes RTP/RTCP pertencentes à sessão utilizam endereço multicast.
- ❑ pacotes RTP, RTCP distinguidos um do outro por números de porta distintos.
- ❑ para limitar o tráfego, cada participante reduz o tráfego RTCP à medida que o número de participantes da conferência aumenta

Pacotes RTCP

Pacotes de relatório do receptor:

- ❑ fração de pacotes perdidos, último número de sequência, jitter médio entre chegadas

Pacotes de relatório do remetente:

- ❑ SSRC da corrente RTP, hora atual, número de pacotes enviados, número de bytes enviados

Pacotes de descrição da fonte:

- ❑ endereço de e-mail do remetente, nome do remetente, SSRC da corrente RTP associada
- ❑ oferecem mapeamento entre o SSRC e o nome do usuário/hospedeiro

Sincronização de correntes

- ❑ RTCP pode sincronizar diferentes correntes de mídia dentro de uma sessão RTP
- ❑ considere aplicação de videoconferência para a qual cada remetente gera uma corrente RTP para vídeo, uma para áudio.
- ❑ marcas de tempo em pacotes RTP ligadas aos clocks de amostragem de vídeo e áudio
 - não ligada à hora de um relógio comum
- ❑ cada pacote de relatório do remetente RTCP contém (para pacote gerado mais recentemente na corrente RTP associada):
 - marca de tempo do pacote RTP
 - horário em que o pacote foi criado
- ❑ receptores usam a associação para sincronizar a reprodução do áudio, vídeo

Escalabilidade da largura de banda do RTCP

- ❑ RTCP tenta limitar seu tráfego a 5% da largura de banda da sessão.

Exemplo

- ❑ Considere um remetente, enviando vídeo a 2 Mbps. Então, RTCP tenta limitar seu tráfego a 100 Kbps.
- ❑ RTCP oferece 75% de taxa aos receptores; 25% restantes ao remetente
- ❑ 75 kbps é igualmente compartilhado entre receptores:
 - com R receptores, cada receptor consegue enviar tráfego RTCP a $75/R$ kbps.
- ❑ remetente consegue enviar tráfego RTCP a 25 kbps.
- ❑ participante determina período de transmissão de pacote RTCP calculando tamanho médio do pacote RTCP (pela sessão inteira) e dividindo pela taxa alocada

Exercícios

- As figuras a seguir apresentam três esquemas para fluxo contínuo de mídia armazenada. Quais as vantagens e as desvantagens de cada esquema?

