Camada de Transporte
e
TCP - UDP

Material baseado nas apresentações (*slides*) disponibilizados junto com o livro referência a seguir.

Bibliografia:

Computer Networking: A Top Down Approach

7th Edition, Global Edition
Jim Kurose, Keith Ross
Pearson
April 2016

A note on the use of these Powerpoint slides:
We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you see the animations; and can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

Objetivos

- Entender os princípios dos serviços de camada de transporte: multiplexação, demultiplexação, transferência confiável, controle de fluxo, controle de congestionamento

- Protocolos de transporte da Internet:

  UDP: transporte sem conexão

  TCP: transporte confiável orientado à conexão; controle de congestionamento

sumário

Serviços de transporte

Multiplexação e demultiplexação

Transporte sem conexão: UDP

Princípios de transporte com confiança

Transporte orientado a conexão: TCP

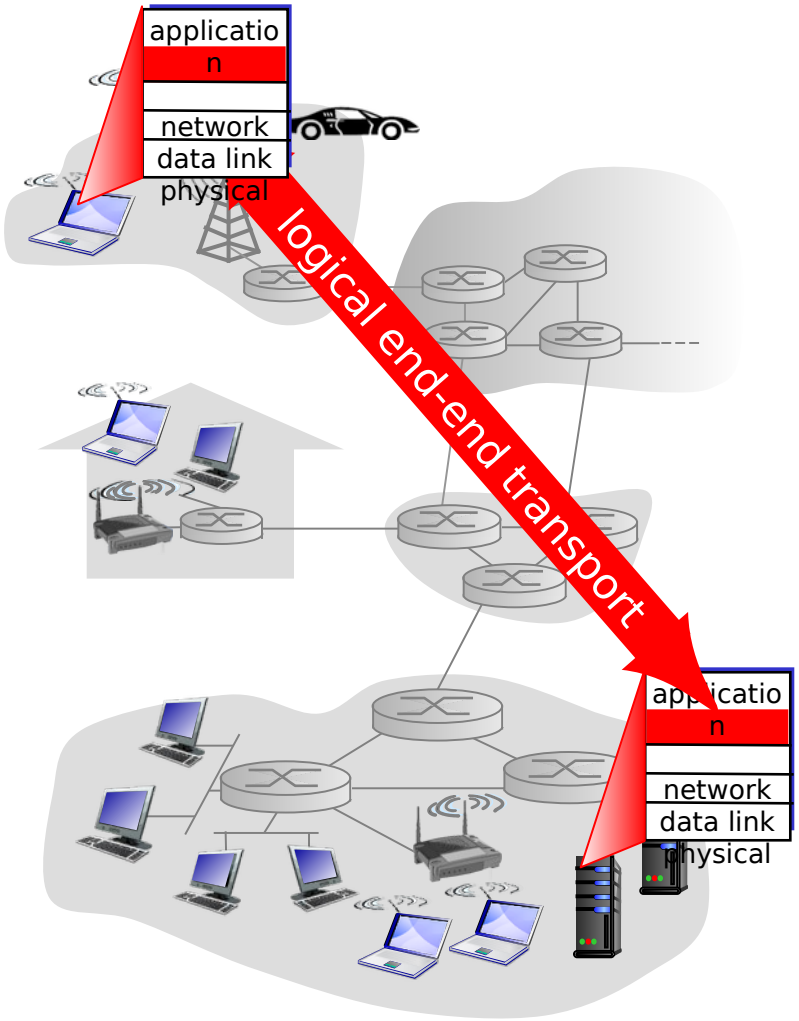
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão

Princípios de controle de congestionamento

Controle de congestionamento no TCP

Serviços de transporte e protocolos

- Provê *comunicação lógica* entre aplicações executando em diferentes *hosts*
- Protocolos de transporte são executados nas entidades finais
  - Fonte: quebra as mensagens da aplicação em *segmentos*, e os passa para a camada de rede
  - Destino: remonta os segmentos em mensagens e passa para a camada da aplicação
- O número de protocolos de transporte está ligado ao tipo de serviço oferecido às aplicações
  - Internet: TCP e UDP



Camada de transporte

- *Camada de rede:* comunicação lógica entre hosts
- *Camada de transporte:* comunicação lógica entre processos
  - usa e acrescenta melhorias nos serviços prestados pela camada de rede

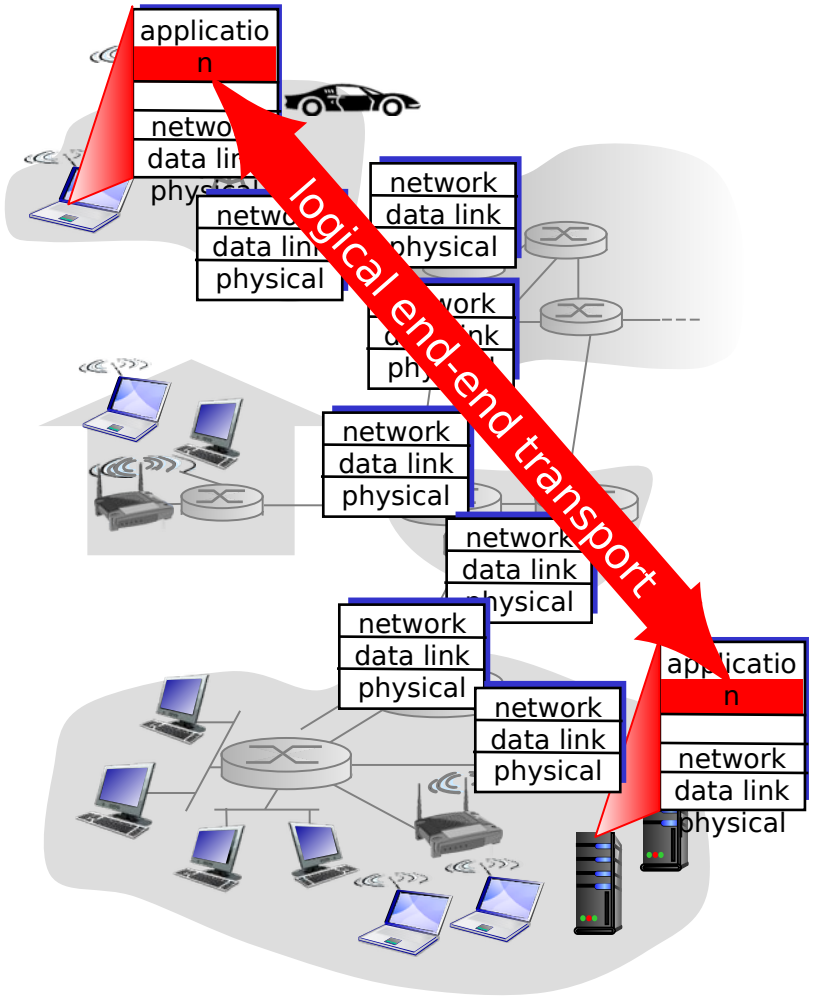
Analogia de residências:

12 crianças na casa da Ann enviam cartas a 12 crianças na casa de Bill:

- hosts = casas
- processos = crianças
- mensagens de aplicação = cartas nos envelopes
- protocolo de transporte = Ann e Bill que demultiplexam os envelopes
- protocolo de camada de rede = serviço postal

Protocolos de transporte da Internet

- Entrega confiável e em ordem: TCP
  - controle de congestionamento
  - controle de fluxo
  - configuração da conexão
- Entrega não confiável e sem garantia de ordem: UDP
  - Extensão simples ao modelo de entrega melhor esforço do IP
- Serviços não disponibilizados:
  - garantia de atrasos determinísticos
  - garantia de largura de banda



sumário

Serviços de transporte

Multiplexação e demultiplexação

Transporte sem conexão: UDP

Princípios de transporte com confiança

Transporte orientado a conexão: TCP

- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão

Princípios de controle de congestionamento

Controle de congestionamento no TCP

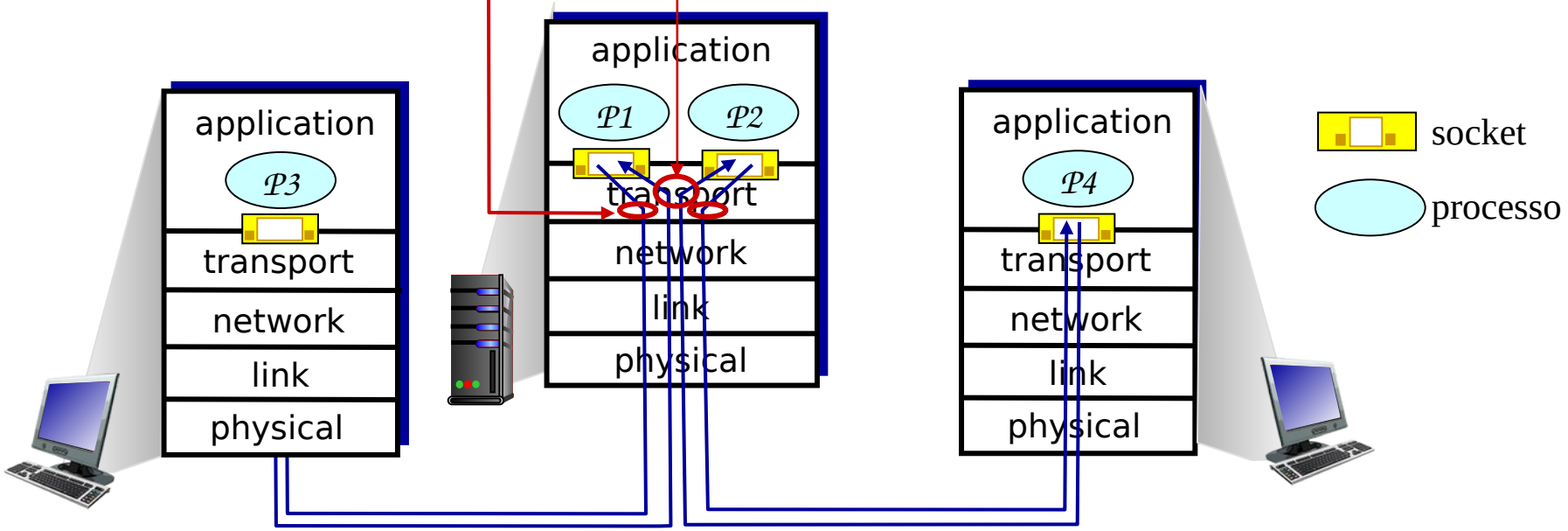
Multiplexação e demultiplexação

Multiplexação na fonte

Trata os dados de múltiplos soquetes; adiciona cabeçalho transporte (será usado mais tarde durante demult)

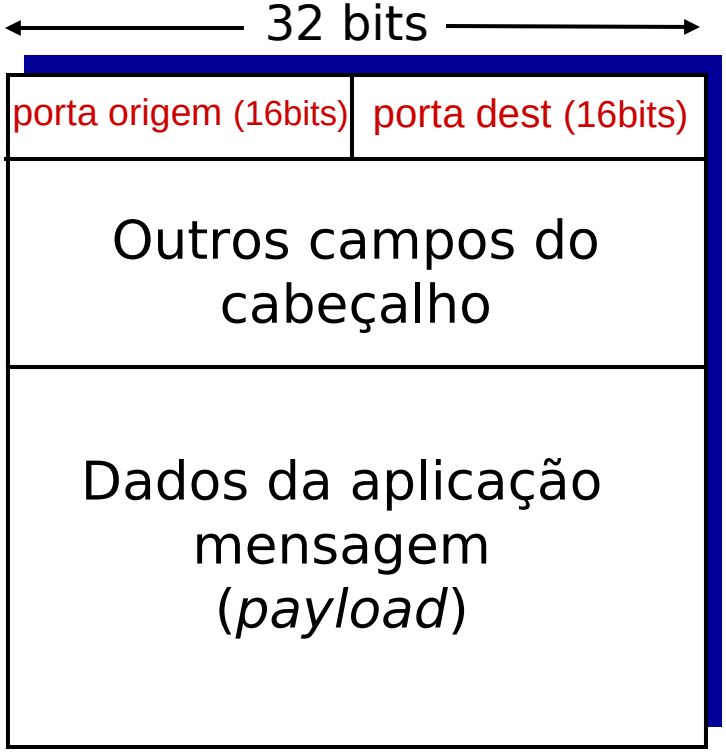
Demultiplexação no destino

Usa as informações do cabeçalho para destinar os segmentos para o soquete correto.



Como a multiplexação funciona

- Host recebe datagramas IP
  - cada datagrama possui um endereço fonte e um endereço destino
  - cada datagrama carrega um segmento de dados da camada de transporte
  - cada segmento possui uma porta de origem e de destino
- Host usa *endereço IP e números de porta* para direcionar o segmento para o soquete apropriado



Formato básico TCP/UDP

Demultiplexação sem conexão

- Criação de um *socket* no lado do cliente:

clientSocket = socket (AF_INET, SOCK_DGRAM)

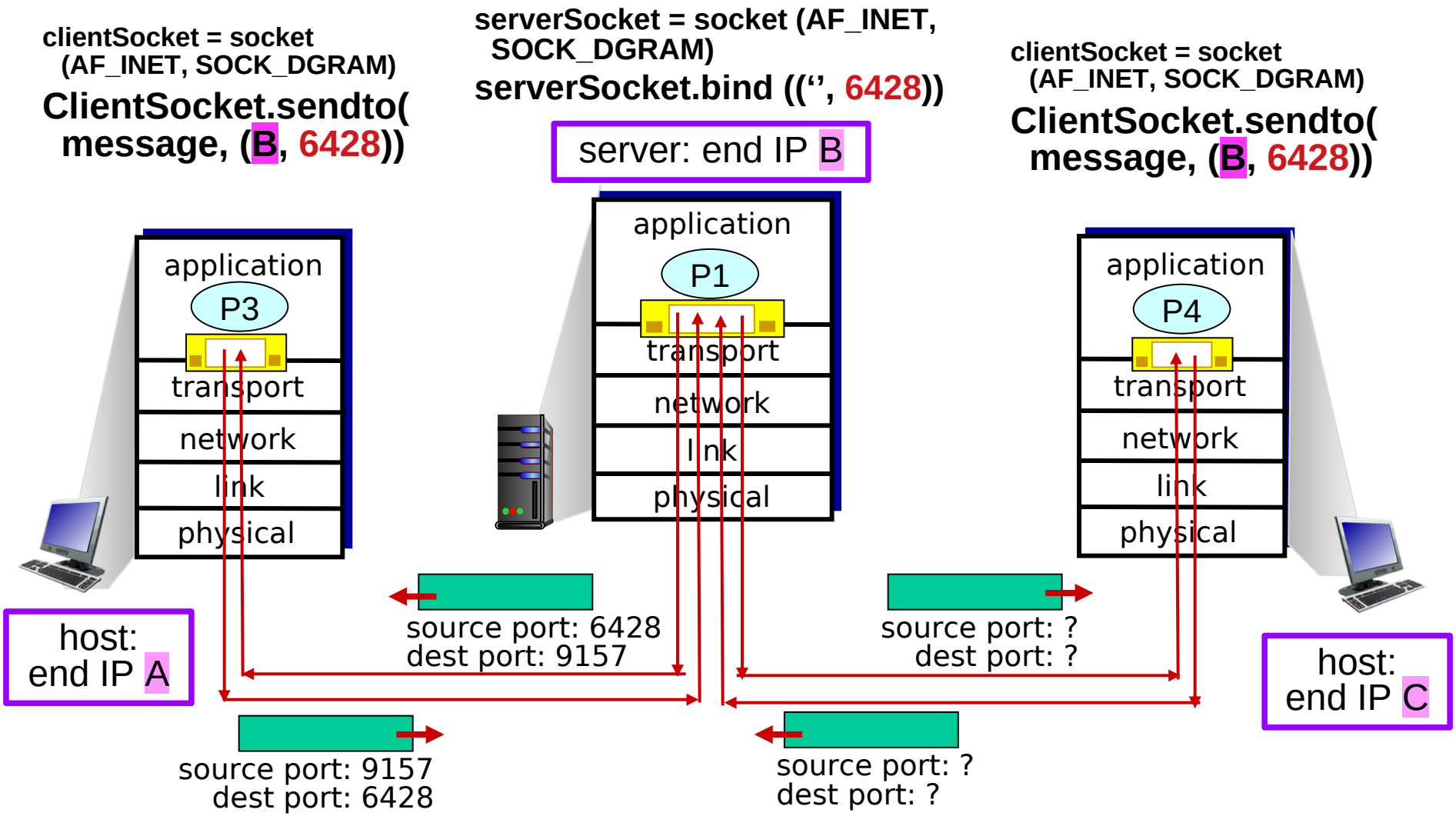
- Criação de um socket no lado do servidor:

serverSocket = socket (AF_INET, SOCK_DGRAM)
ServerSocket.bind (('', serverPort))

- Quando um host recebe um segmento UDP:
  - checa a porta de destino no segmento
  - direciona o segmento UDP para o respectivo soquete que ouve na porta destino

Se dois datagramas IP tiverem o mesmo *end destino e mesma porta destino*, mas diferentes endeço origem e/ou diferente porta origem, então serão direcionados ao *mesmo soquete* no destino

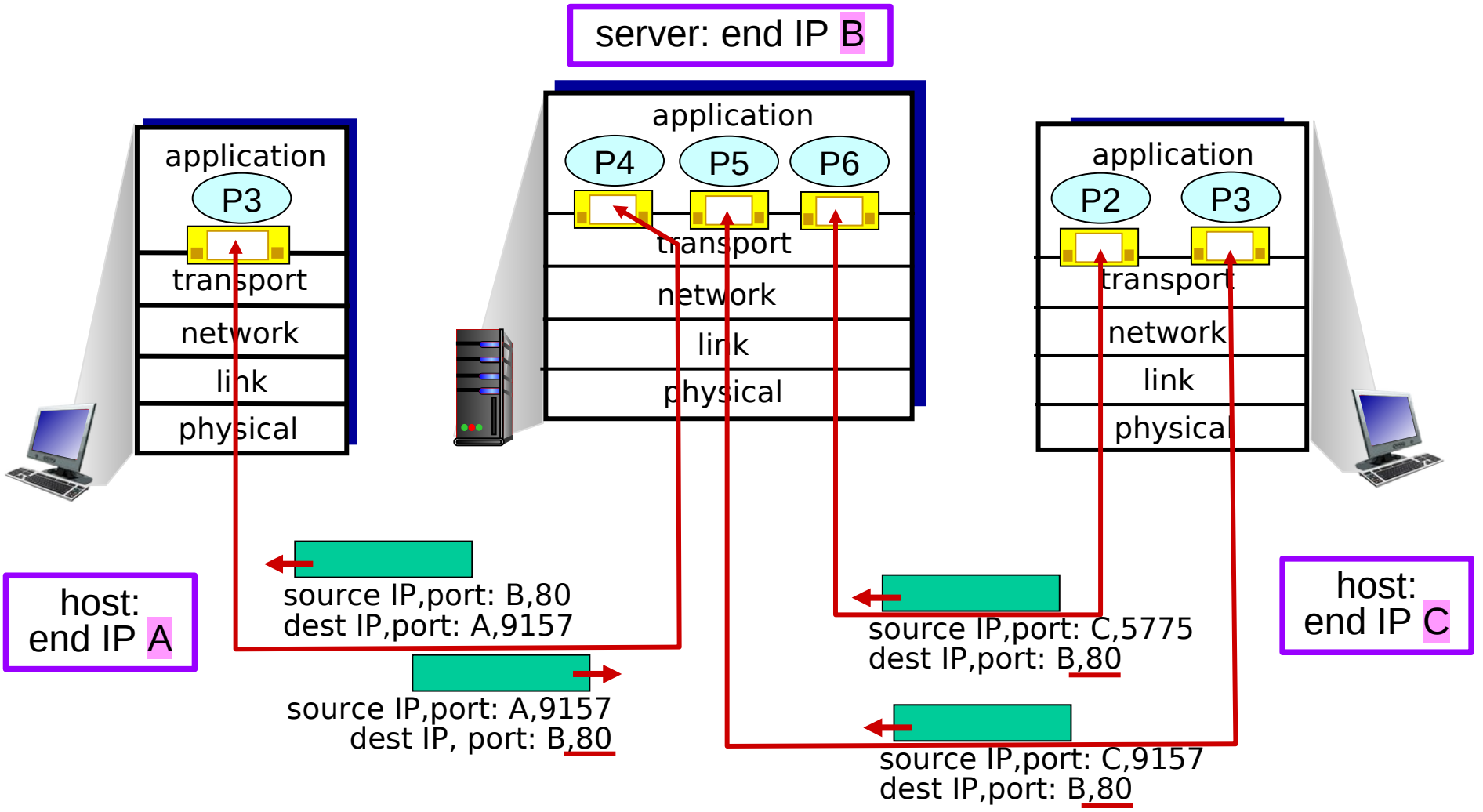
Demultiplexação sem conexão: exemplo



Demultiplexação orientada a conexão

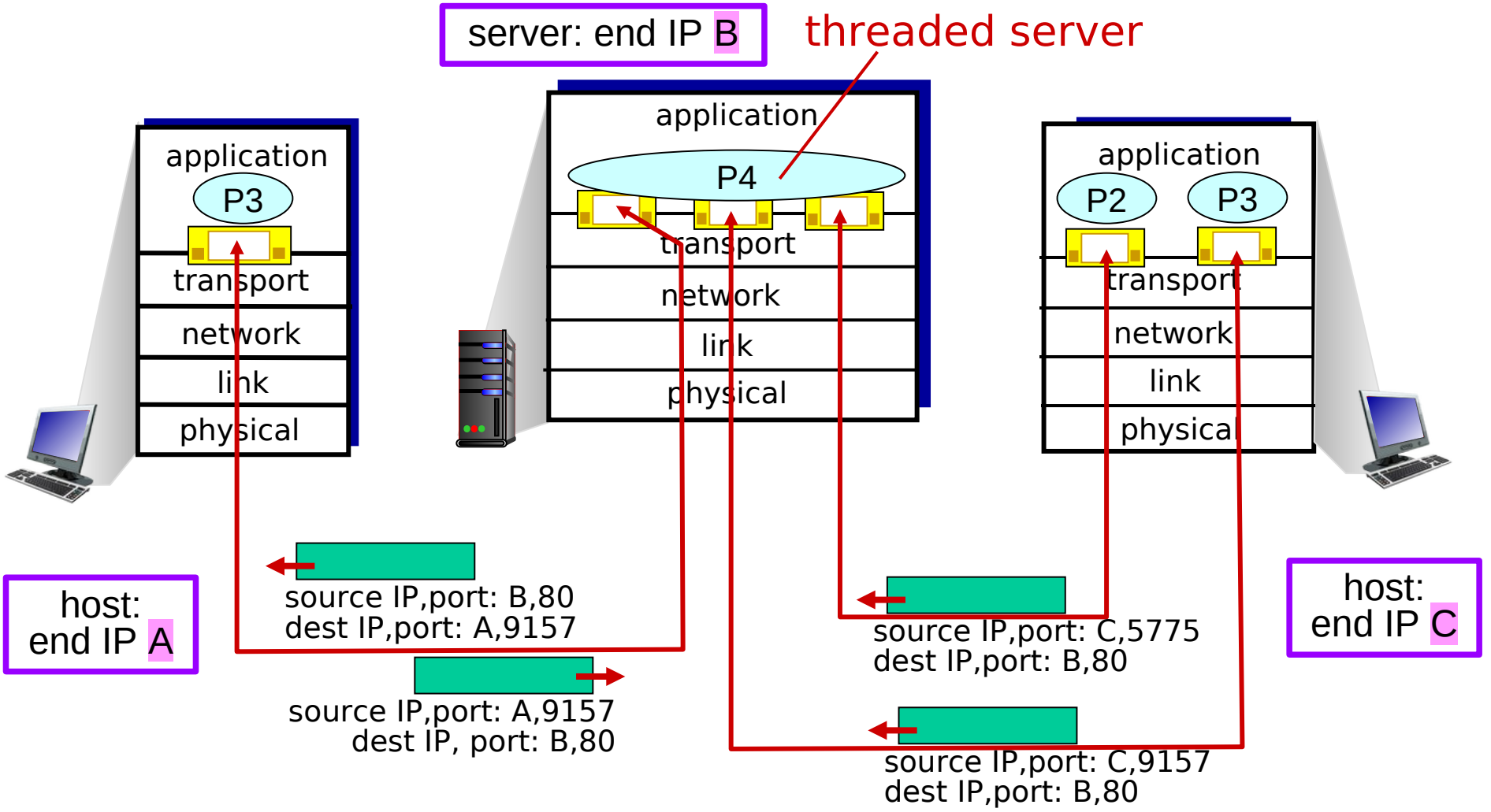
- TCP *socket*: identificado por uma 4-tupla:
  - Endereço IP origem
  - Número de porta de origem
  - Endereço IP destino
  - Número de porta destino
- demux: destinatário usa os quatro valores para direcionar o segmento para o *socket* apropriado
- Um servidor pode suportar muitas conexões simultâneas (*sockets*):
  - cada socket identificado por uma 4-tupla
- Servidores Web tem diferentes *sockets* para cliente que faz uma conexão
  - HTTP não persistente terá diferentes *sockets* para cada requisição

Demultiplexação orientada a conexão



Três segmentos: todos destinados ao endereço IP B e porta destino 80:
Demultiplexados para diferentes *sockets*

Demultiplexação orientada a conexão



Portas e serviços

As portas que especificam soquetes estão relacionadas à:

- serviços no lado servidor (*socket* no servidor)

- identificação de soquetes no lado cliente

- Servidores:

  - números de porta atribuídos pela IANA (www.iana.org): *well-known ports*

  - No Linux:

  `/etc/services`

  - No Windows

  `C:\Windows\System32\drivers\etc`

- No hosts clientes: os números de porta são definidos pelo SO e devem ser aleatórios (16 bits= 65536 valores – portas serviços (abaixo de 1024)

Portas e serviços

Comando no Linux e Windows para visualizar as conexões com os respectivos endereços IP e portas:

$ netstat -teaun

$ netstat -tunlp (somente portas TCP (**t**) e UDP (**u**) em estado de escuta (**l**), ou seja, processos servidores, e os respectivos processos associados (**p**))

No linux o aplicativo **lsof** permite visualizar os processos associados a uma determinada porta.

$ lsof -i :53 (mostra qual processo associado à porta 53)

No Windows é o mesmo comando, mas algumas opções são diferentes:

> netstat -a -n -o -b (-o mostra os processos associados)

Também há o aplicativo (*standalone*) TCPView do pacote Sysinternals (www.sysinternals.com Sítio original, antes da aquisição pela Microsoft: atual https://live.sysinternals.com/). Também, contém muitas ferramentas para conhecer aspectos internos do SO Windows.

sumário

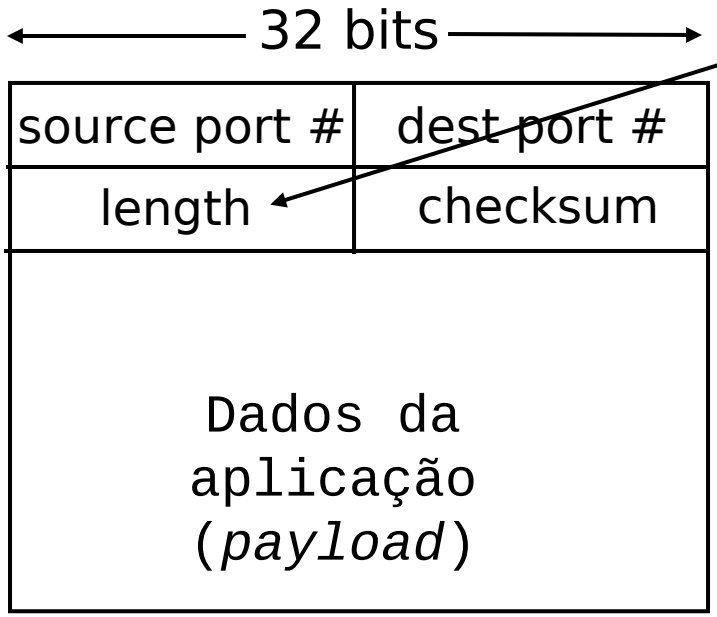
Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão
Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP

UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

- Protocolo de transporte de Internet básico
- Serviço "*best effort*".
- Segmentos UDP podem ser:
  - perdidos
  - entregues fora-de-ordem às aplicações
- *Sem conexão:*
  - Não há estabelecimento de conexão (*handshaking*) entre origem e destino
  - Cada segmento UDP tratado independentemente dos outros

- Usos do UDP:
  - Aplicações de streamming (tolerantes a perdas, mas sensíveis à taxa de transmissão)
  - DNS
  - SNMP
- Transferência confiável sobre o UDP:
  - Adicionar confiança ao nível da aplicação
  - Recuperação de erros na transmissão realizada pela aplicação

UDP: formato do segmento (cabeçalho)



Tamanho total, em bytes de um segmento, incluindo o cabeçalho

Checksum, permite ao receptor detectar erros no segmento. O checksum inclui cabeçalho e dados. Campo opcional.
O UDP não prevê medidas de correção para erros detectados. Fica a cargo da aplicação.

Porque UDP?

- Sem estabelecimento de conexão (o qual pode acrescentar atrasos)
- Simples: não há necessidade de manter estado nas entidades emissoras e receptoras
- Tamanho de cabeçalho pequeno
- Sem controle de congestionamento: UDP pode ser transmitido na velocidade máxima da rede

UDP checksum

objetivo: detectar erros no segmento transmitido

Origem:

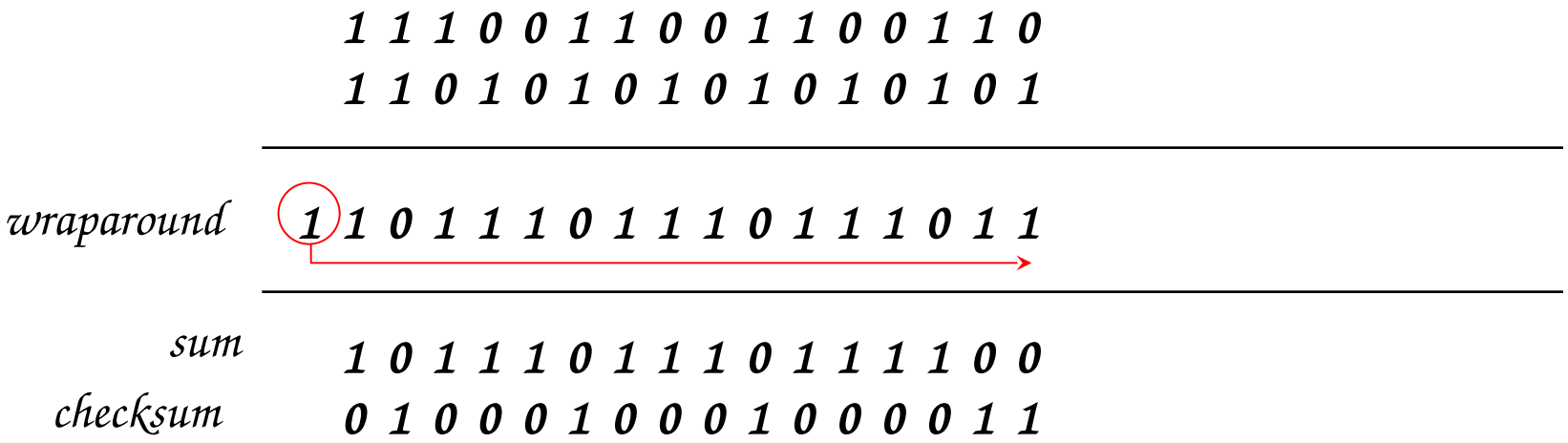
- Trata os segmentos, incluindo os campos do cabeçalho como sequência de inteiros de 16 bits
- *checksum*: adição (soma complemento de um) dos conteúdos dos segmentos
- Emissor coloca o valor do *checksum* dentro do respectivo campo no UDP

Destinatário:

- Calcula o *checksum* do segmento recebido
- Checa se o *checksum* calculado é igual ao valor contido no campo *checksum*

Internet: *checksum* – um exemplo

Exemplo: adicionar dois inteiros de 16 bits



Nota: quando adicionando números, um *carry* do bit mais significativo precisa ser adicionado ao resultado

* Exemplos: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive/

UDP: interação cliente/servidor por meio de sockets

Servidor
(executando em um serverIP

Cria um socket e o vincula à porta=serverPort

```
serverSocket =
socket(AF_INET,SOCK_DGRAM)
ServerSocket.bind((‘’, serverPort))
```

Lê o datagrama do serverSocket

Escreve resposta no serverSocket especificando o endereço cliente e a respectiva porta da aplicação cliente

cliente

Cria socket

```
clientSocket =
socket(AF_INET,SOCK_DGRAM)
```

Envia um datagrama contendo a mensagem Para o endereço do servidor UDP (end IP) e especificando a respectiva porta

```
clientSocket.sendto(message, (serverName,
   serverPort))
```

Lê o a mensagem contida no datagrama

```
clientSocket.recvfrom(2048)
```

Fecha socket

```
clientSocket.close()
```

Cliente UDP: um exemplo de aplicação

Python UDPClient

Inclusão de biblioteca Python →

```
from socket import *
serverName='hostname'
serverPort=12000
```

Cria um socket →

```
clientSocket=socket(AF_INET,SOCK_DGRAM)
```

```
message=raw_input('Input lowercase sentence:')
```

Usa o socket criado para enviar a mensagem contendo o nome do destinatário e a respectiva porta do servidor →

```
clientSocket.sendto(message.encode(),
                    (serverName, serverPort))
```

Lê a resposta do mesmo socket →

```
modifiedMessage,serverAddress=
                    clientSocket.recvfrom(2048)
```

Imprime a saída →

```
print modifiedMessage.decode()
clientSocket.close()
```

Servidor UDP: um exemplo de aplicação

Python UDPServer

```
from socket import *

serverPort = 12000

serverSocket = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM)

serverSocket.bind(('', serverPort))

print ("The server is ready to receive")

while True:
    message, clientAddress=serverSocket.recvfrom(2048)
    modifiedMessage=message.decode().upper()
    serverSocket.sendto(modifiedMessage.encode(),
                        clientAddress)
```

Cria um socket

Vincula (bind) o socket com uma porta

Loop

Read from UDP socket into message, getting client's address (client IP and port)

send upper case string back to this client

Código exemplo de um cliente **UDP**

```
# UDPClient.py
from socket import *
serverName = 'localhost'
serverPort = 33333

# Cria um soquete UDP: SOCK_DGRAM
clientSocket = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM)
message  = input('Input lowercase sentence: ')

clientSocket.sendto (message.encode(), (serverName, serverPort))
modifiedMessage, serverAddress = clientSocket.recvfrom(2048)
print (modifiedMessage.decode())
clientSocket.close()
```

Código exemplo de um servidor **UDP**

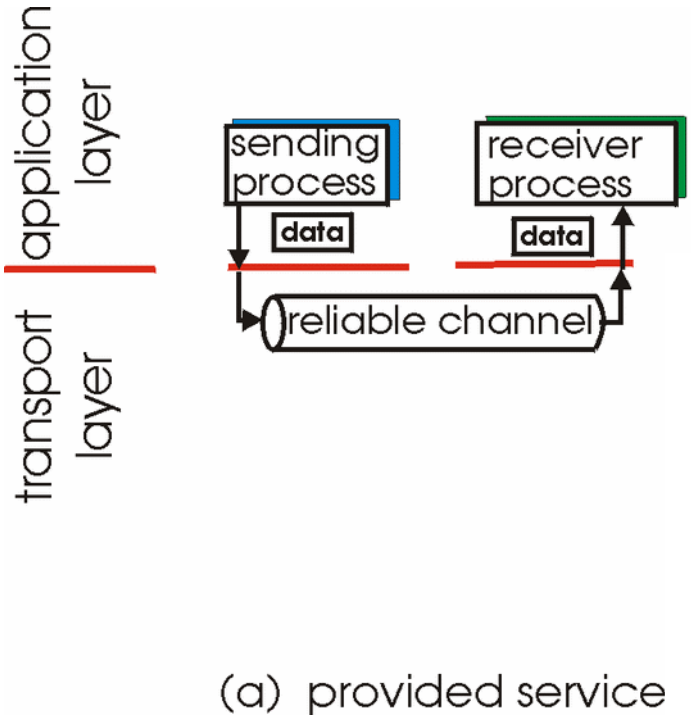
```
# UDPServer.py
from socket import *
serverPort = 33333

# Cria um soquete UDP: SOCK_DGRAM
serverSocket = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM)

# Associa uma porta (bem conhecida) ao processo servidor
serverSocket.bind((‘’, serverPort))
print (“The server is ready to receive. “)

while True:
        message, clientAddress = serverSocket.recvfrom (2048)
        modifiedMessage = message.decode().upper()
        serverSocket.sendto (modifiedMessage.encode(), clientAddress)
```

sumário

Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão
Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP

Princípios de transferência confiável de dados

- Aspecto importante nos contextos das camadas de aplicação, transporte e de enlace

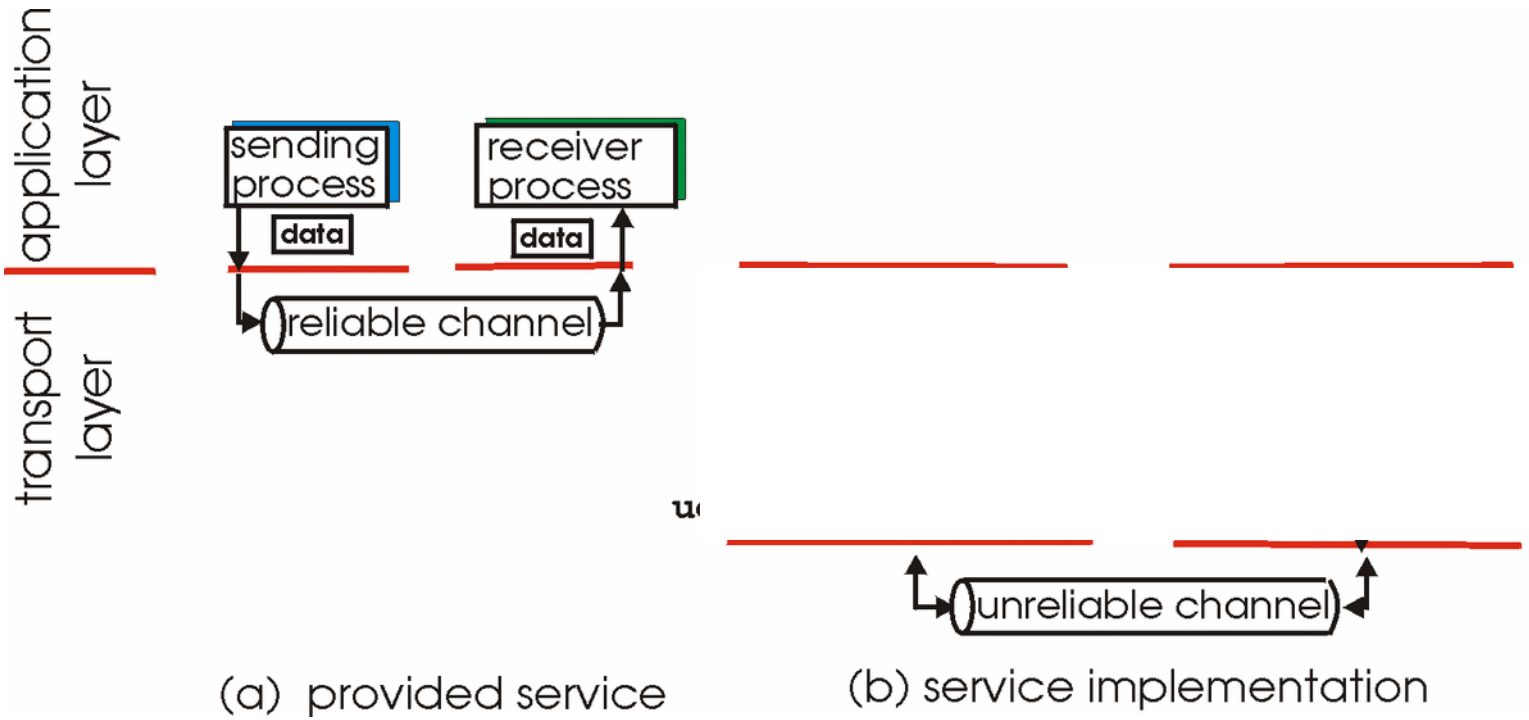


(a) provided service

- A característica subjacente do canal não confiável vai determinar a complexidade do protocolo de transferência confiável de dados (rdt)

Princípios de transferência confiável de dados

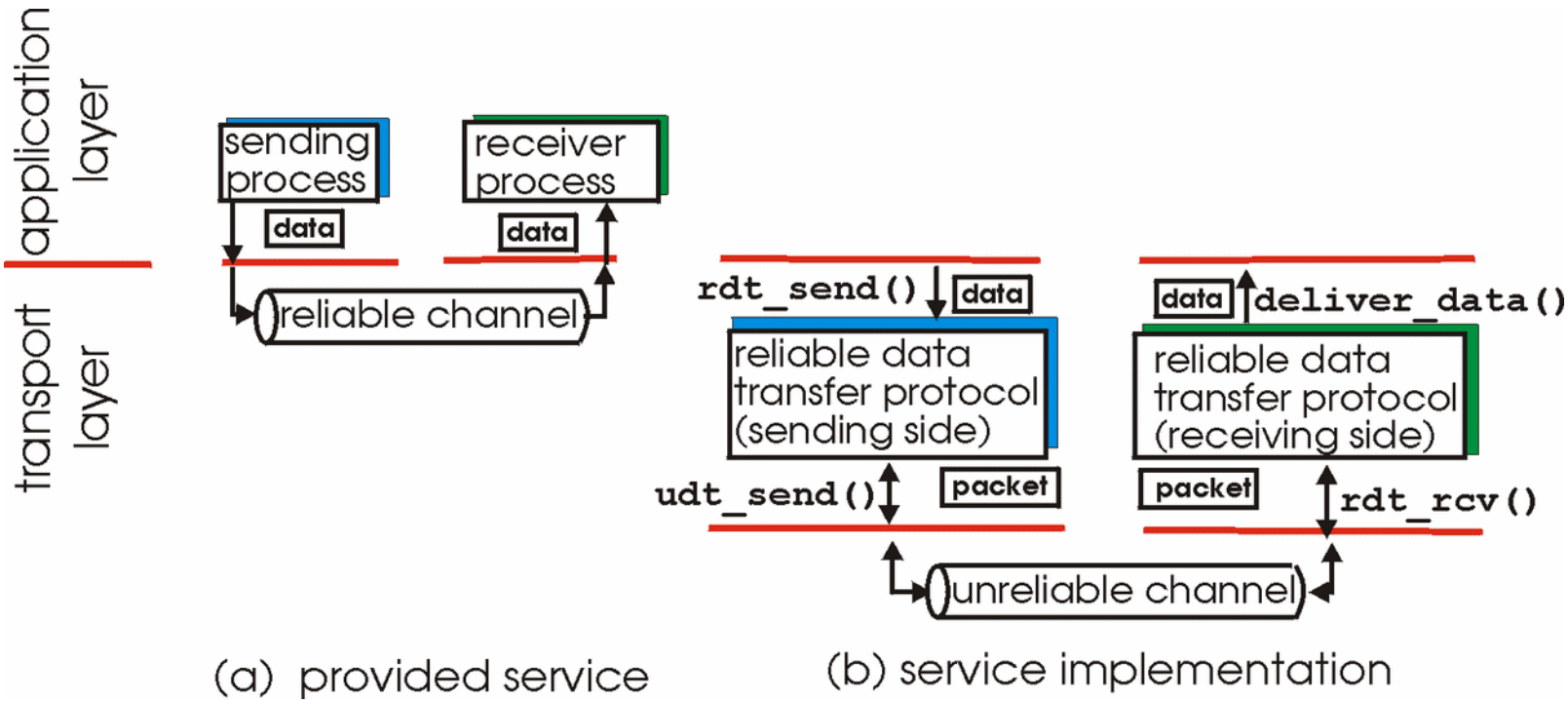
- Aspecto importante nos contextos das camadas de aplicação, transporte e de enlace



A característica subjacente do canal não confiável vai determinar a complexidade do protocolo de transferência confiável de dados (**rdt**)

Princípios de transferência confiável de dados

Aspecto importante nos contextos das camadas de aplicação, transporte e de enlace. A figura da esquerda representa o serviço confiável provido pela camada de transporte, enquanto a da direita, aspectos relacionados à implementação **rdt**.

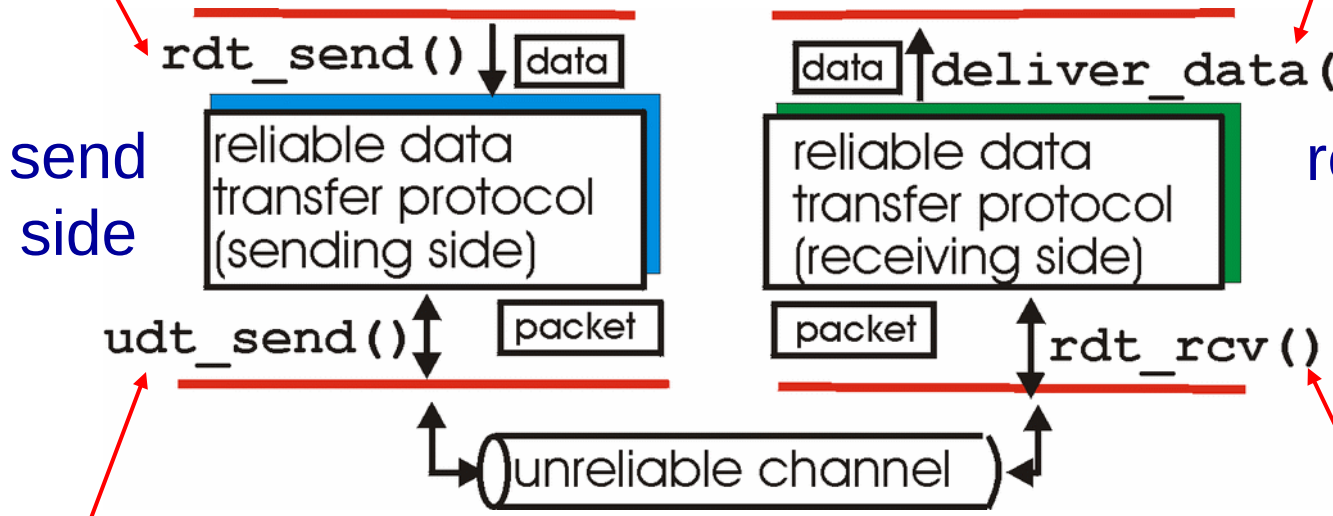


A característica subjacente do canal não confiável vai determinar a complexidade do protocolo de transferência confiável de dados (**rdt**)

Transferência confiável de dados

rdt_send(): chamada da camada superior (aplicação) passando dados a serem transmitidos.

deliver_data(): chamda por **rdt** para entregar dados à camada superior



udt_send(): chamada pelo **rdt**, para transferir pacotes de dados sobre o canal não confiável

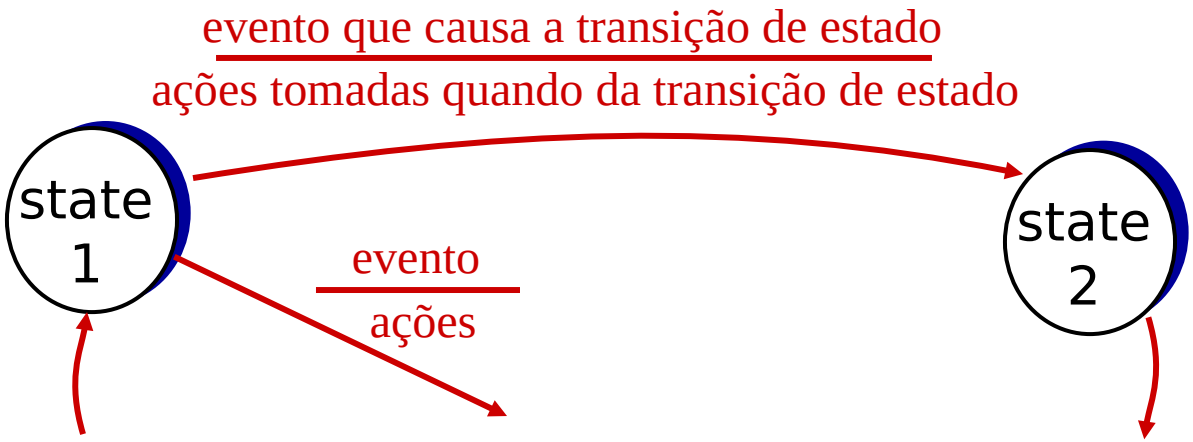
rdt_rcv(): chamada quando um pacote chega ao lado do receptor

Transferência confiável de dados

reliable data transfer protocol (**rdt**): será desenvolvido incrementalmente (lados do emissor e receptor)

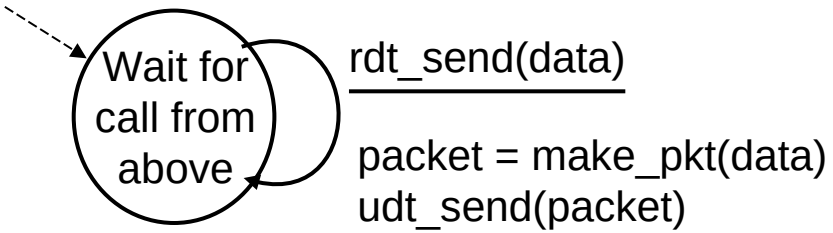
- No momento, somente transferência unidirecional
  - Mas dados de controle fluem em ambas as direções.
- Usa máquinas de estado finito (FSM) para especificar os estados do emissor e do receptor

ESTADO: quando neste estado, o próximo é determinado unicamente pelo próximo evento

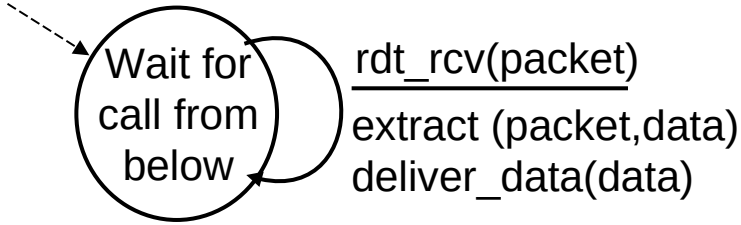


Transferência confiável de dados sobre canal confiável: **rdt1.0**

- Canal perfeitamente confiável
  - Sem erros nos bits
  - Sem perda de pacotes
- FSMs para o emissor e para o receptor:
  - Emissor envia dados pelo canal
  - Receptor lê os dados do canal



sender



receiver

Transferência confiável de dados sobre canal com erros: **rdt1.0**

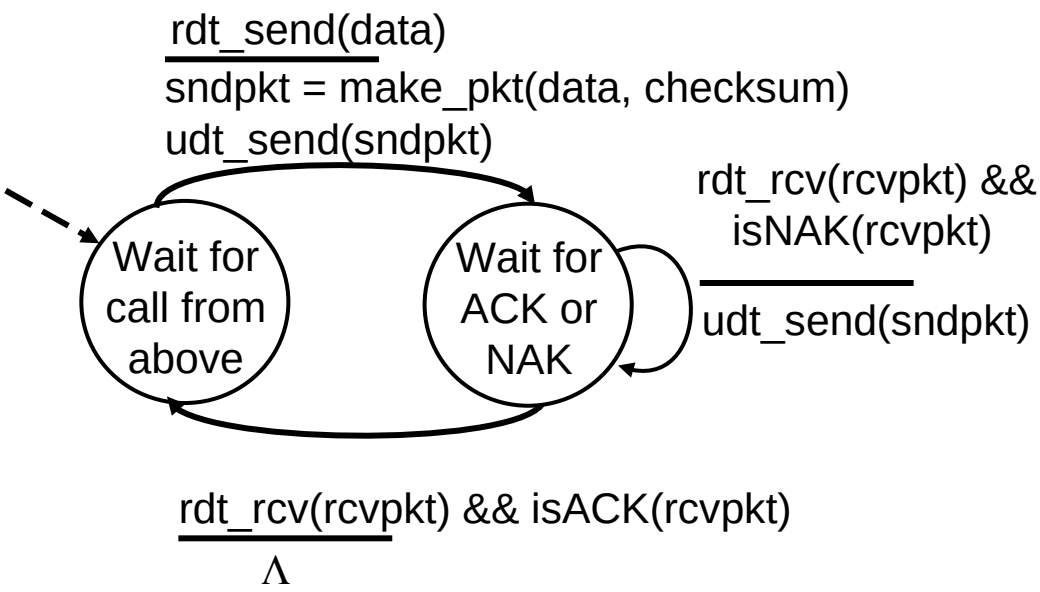
- Canal pode provocar erros (mudanças) em bits do pacote
  - Campo *checksum* pode detectar erros em bits trocados

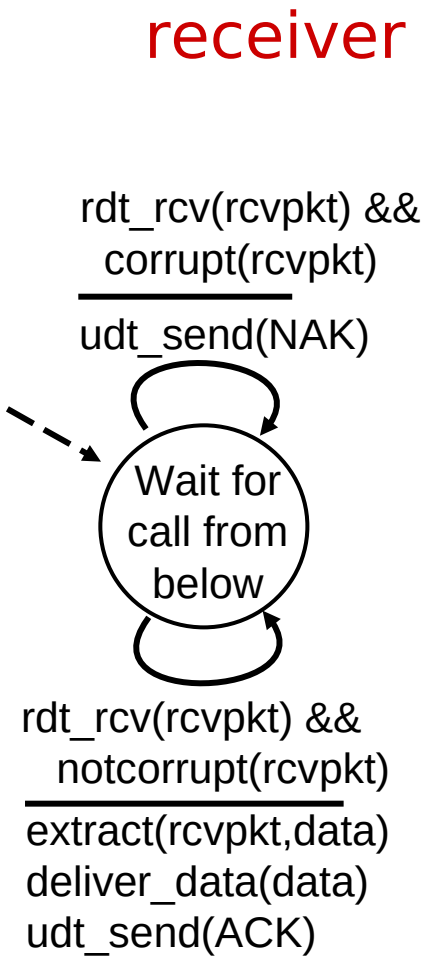
Como seres humanos recuperam "erros" que ocorrem durante uma conversação?

Transferência confiável de dados sobre canal com erros: **rdt2.0**

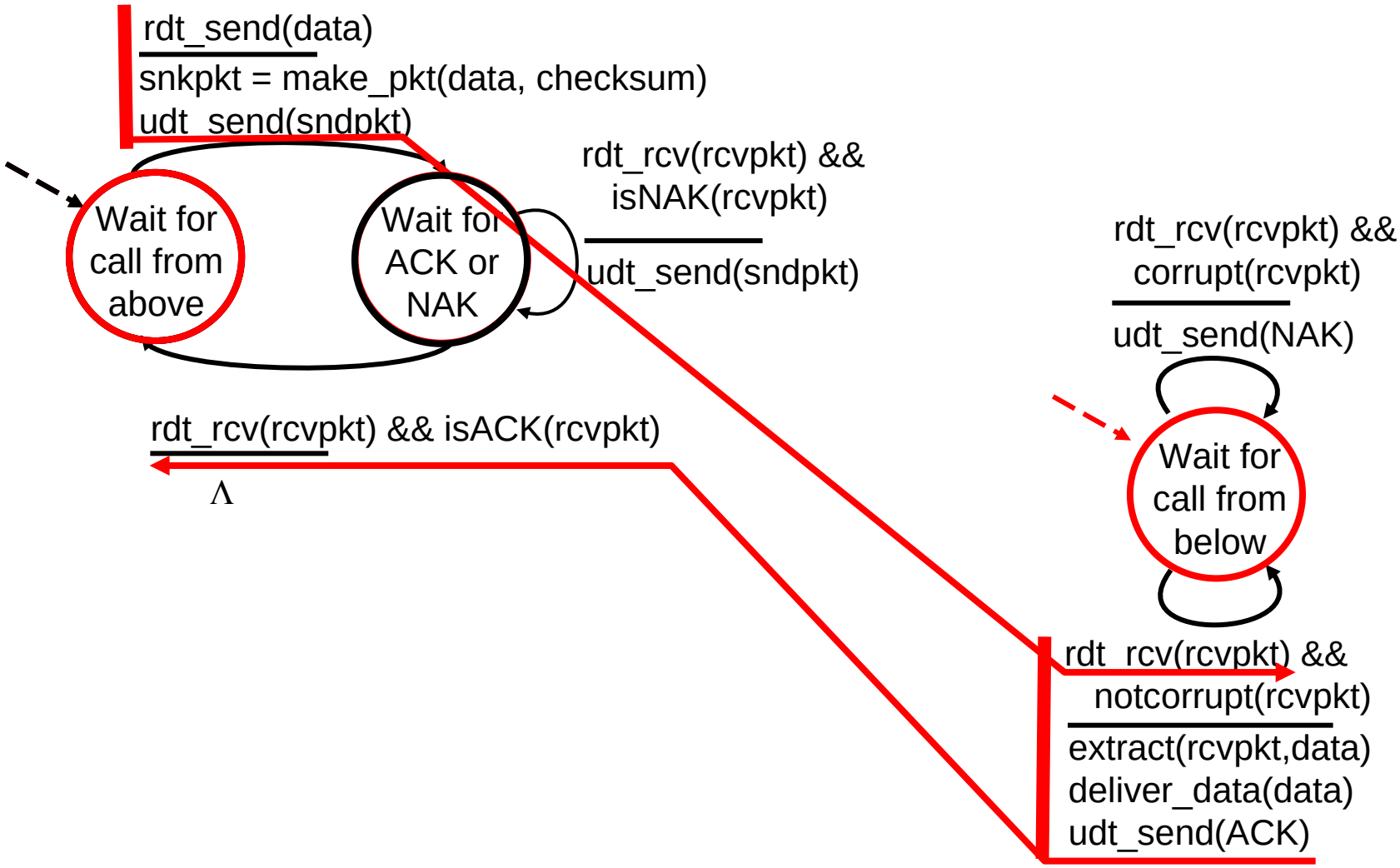
- Canal pode provocar erros (mudanças) em bits do pacote
  - Campo *checksum* pode detectar erros em bits trocados
- Questão: como se recuperar desses erros:
  - *acknowledgements (ACKs):* receptor explicitamente informa ao emissor que pacote recebido estava OK
  - *negative acknowledgements (NAKs):* receptor explicitamente informa ao emissor que pacote com erros
  - Emissor reenvia pacotes ao receber pacotes contendo **NAK**
- Novos mecanismos no **rdt2.0**:
  - detecção de erro
  - *feedback* do receptor: mensagens de controle (**ACK,NAK**) rcvr->sender

rdt2.0: especificação usando FSM

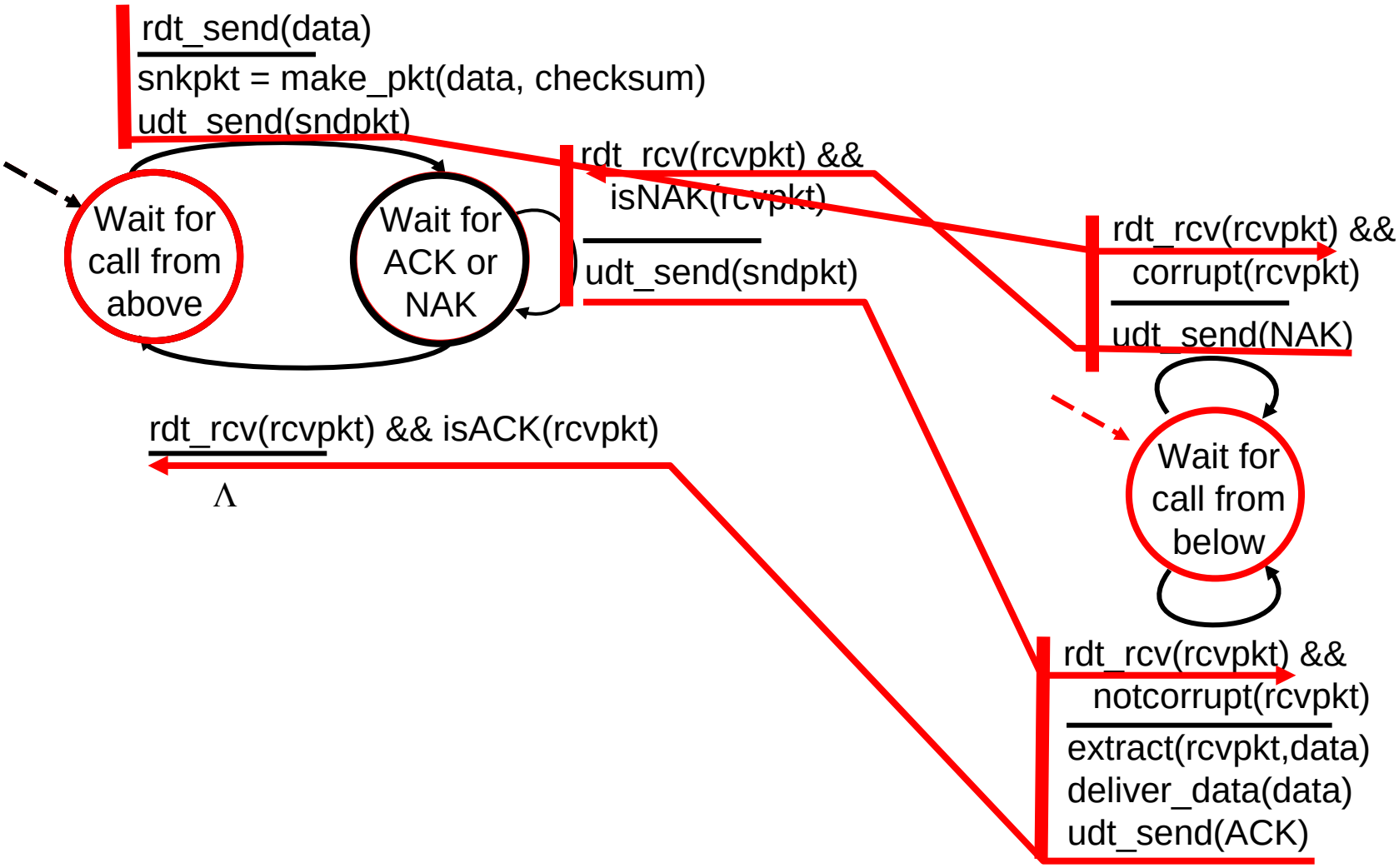




rdt2.0: operação sem erros



rdt2.0: cenário com erros



rdt2.0 possui uma falha

O que acontece se mensagens ACK/NAK chegarem corrompidas?

- O emissor não sabe o que aconteceu no lado do destinatário.
- Não pode retransmitir, pois pode gerar pacotes duplicados.

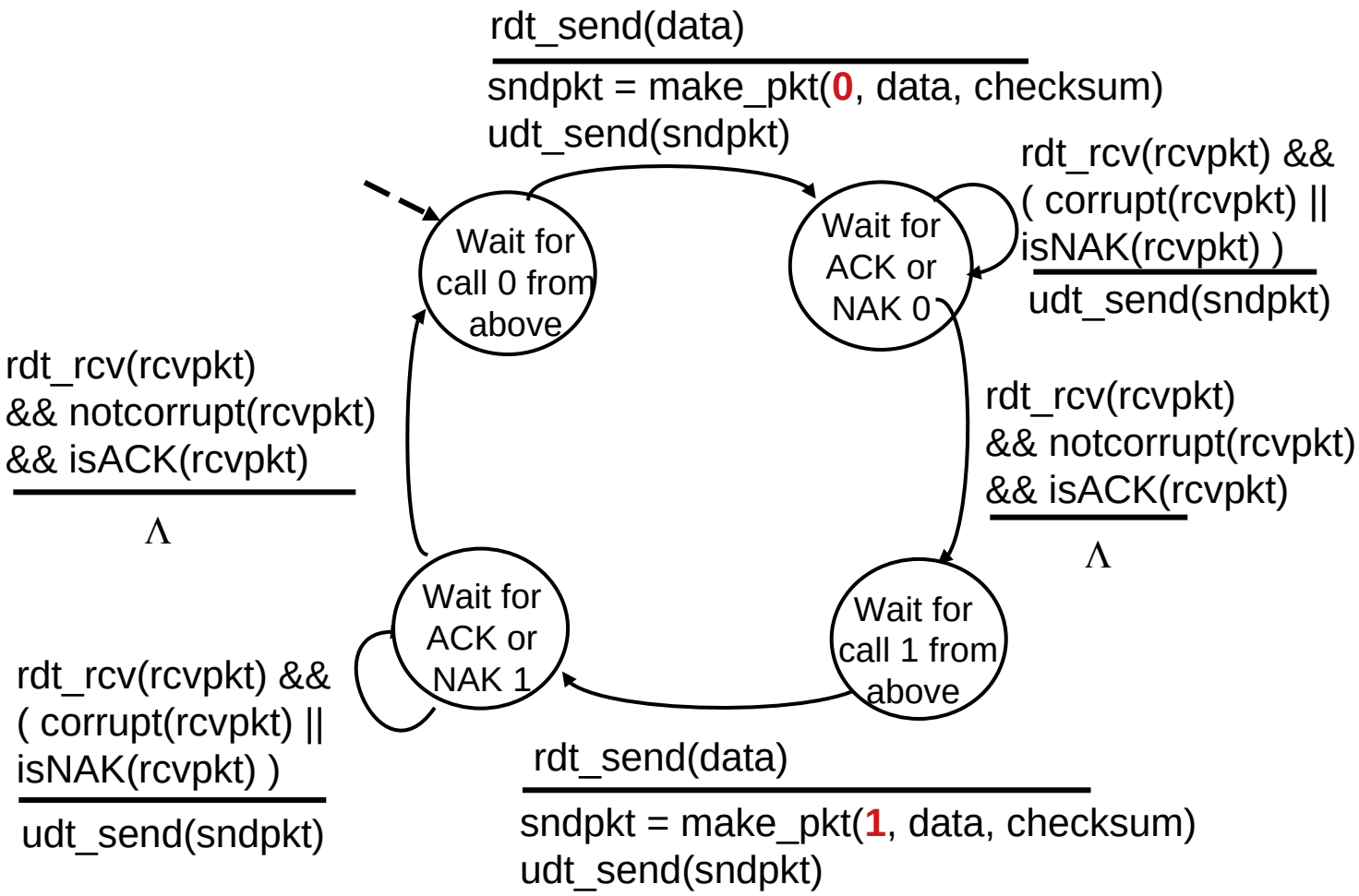
Como tratar duplicatas:

- O remetente retransmite o pacote corrente se um ACK ou NAK for corrompido
- Emissor adiciona um *número de sequência* em cada pacote
- O receptor descarta pacotes recebidos duplicados

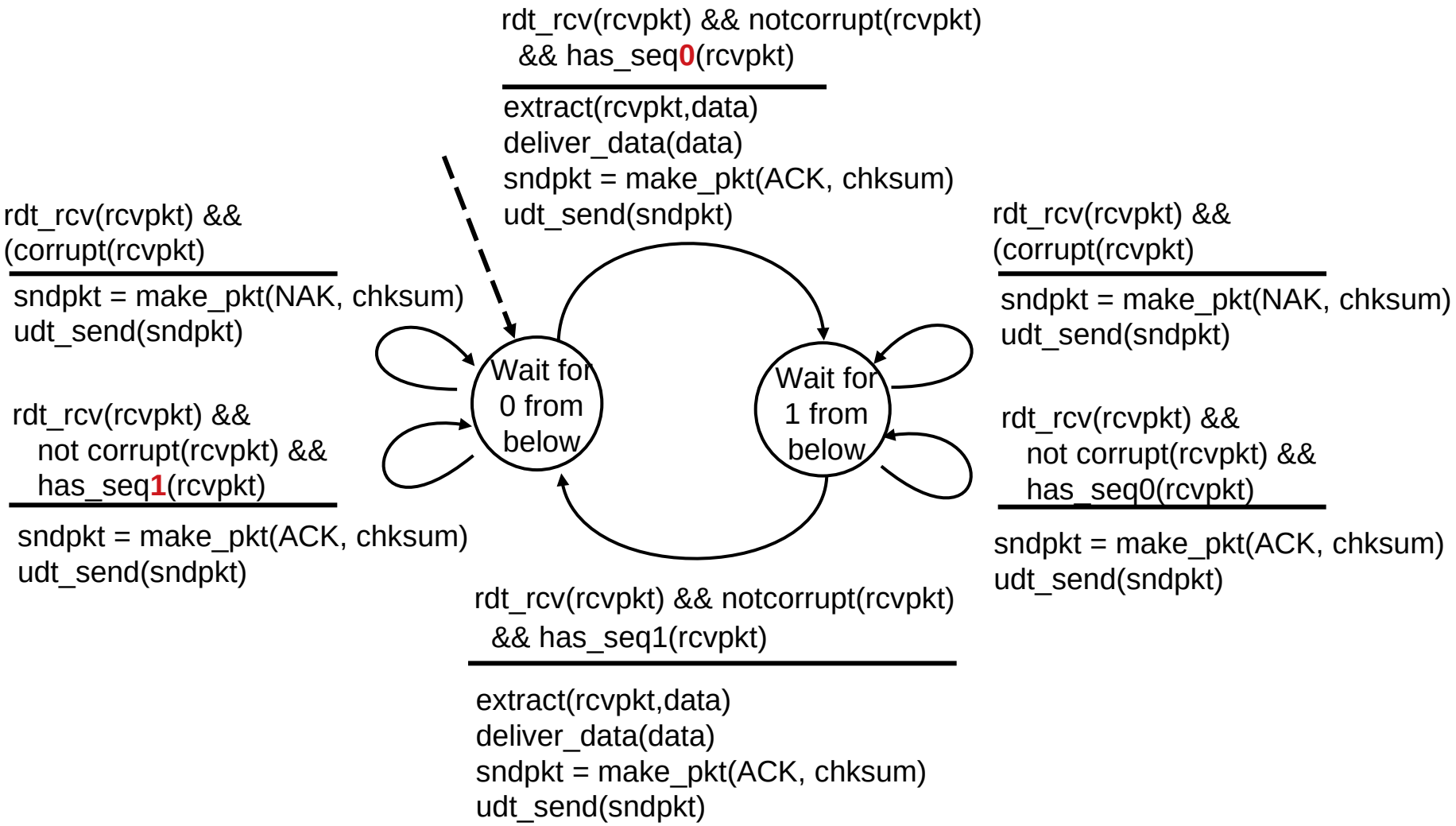
stop-and-wait

Emissor envia um pacote e então entra no estado de espera, aguardando mensagem de resposta do receptor (mensagem de controle).

rdt2.1: remetente (trata pacotes ACK/NAKs corrompidos)



rdt2.1: destinatário (trata pacotes ACK/NAKs corrompidos)



rdt2.1: remetente (trata pacotes ACK/NAKs corrompidos)

remetente:

- Adiciona número seq ao **pkt**
- Dois números (0,1) serão suficientes?
- Precisa checar se recebeu pacotes ACK/NAK corrompidos
- O dobro de estados
  - Estados precisam ser lembrados para permitir que o protocolo espere o próximo pacote correto (ordem)

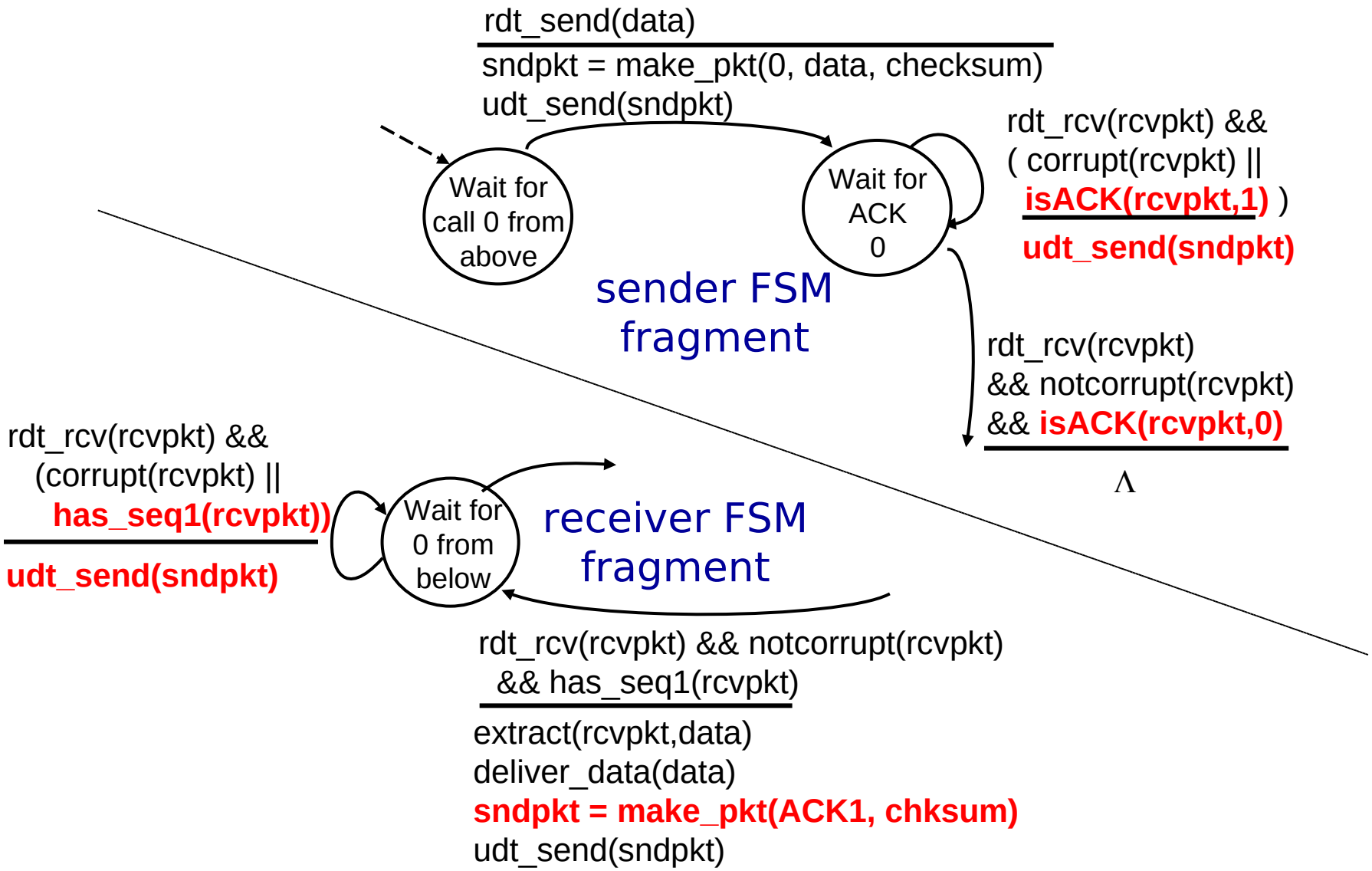
destinatário:

- Precisa checar se o pacote recebido não foi duplicado
  - O estado indica se 0 ou 1 é esperado como núm de pacote
- Nota: não há formas do destinatário "saber" se o receptor recebeu os últimos ACK/NAK

rdt2.2: protocolo sem NAKs

- Mesma funcionalidade do protocolo rdt2.1, mas somente com ACKs
- Em vez de NAK, o destinatário envia um ACK para o último pacote recebido sem erros
  - **A resposta precisa explicitamente incluir o número de sequência relativo ao ACK**
- ACKs duplicados no remetente resultam na mesma ação que NAK: **retransmitir o pacote corrente**

rdt2.2: fragmentos do *sender* e *receiver*



rdt3.0: canais com erros e perdas

Nova questão

O canal pode perder pacotes (dados, ACKs)

Os mecanismos anteriores já não são suficientes:

checksum

seq. #

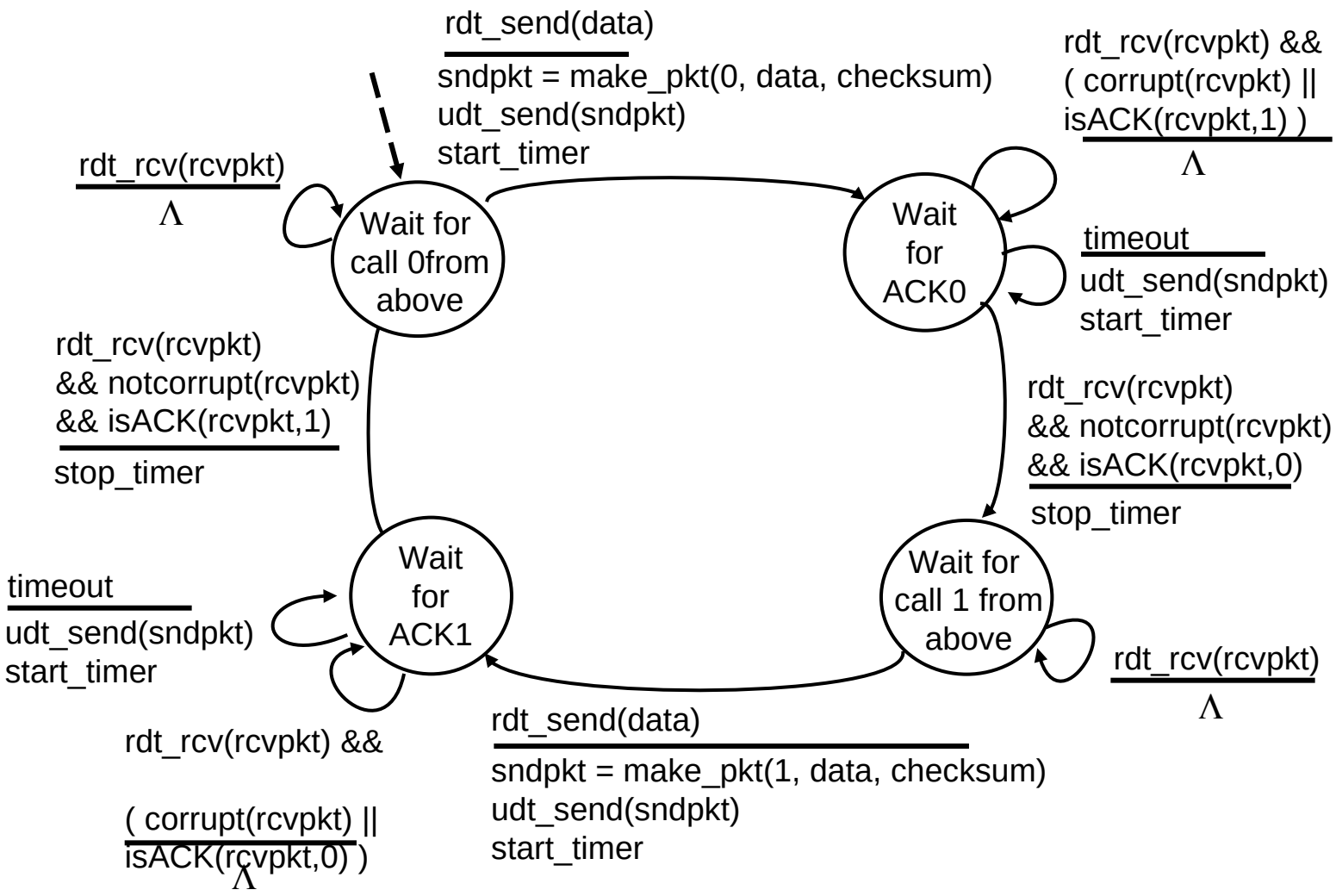
ACKs

retransmissões

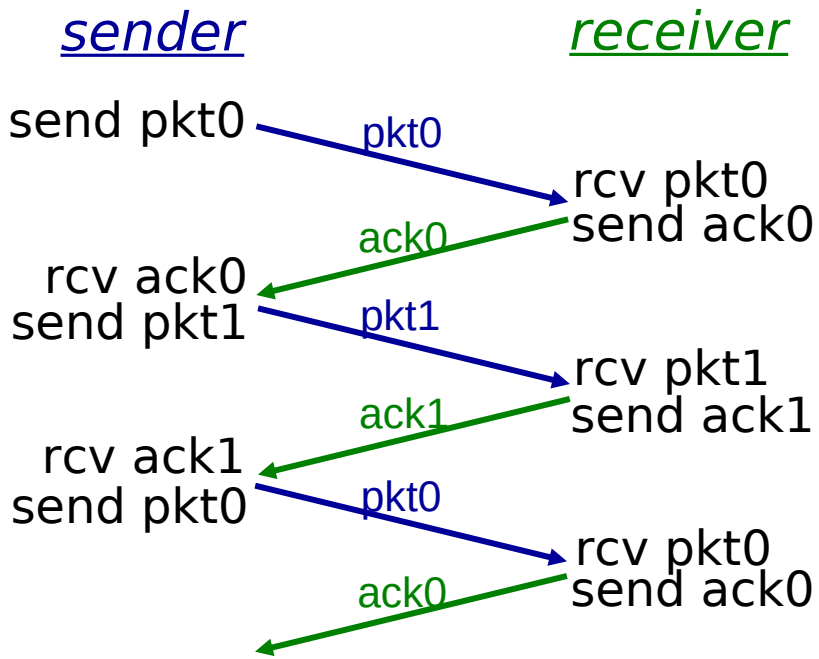
Abordagem: o remetente espera uma quantidade de tempo razoável para o recebimento do ACK

- Retransmite se nenhum ACK chegou neste tempo
- Se o pacote (ou ACK) acabou de ser enviado (não perdido)
  - Retransmissão será duplicada: números de sequência tratarão disso
  - **Receptor precisa especificar o número de sequência do pacote sendo reconhecido** (ACKed)
- Requer temporizador de contagem regressiva (*countdown timer*)

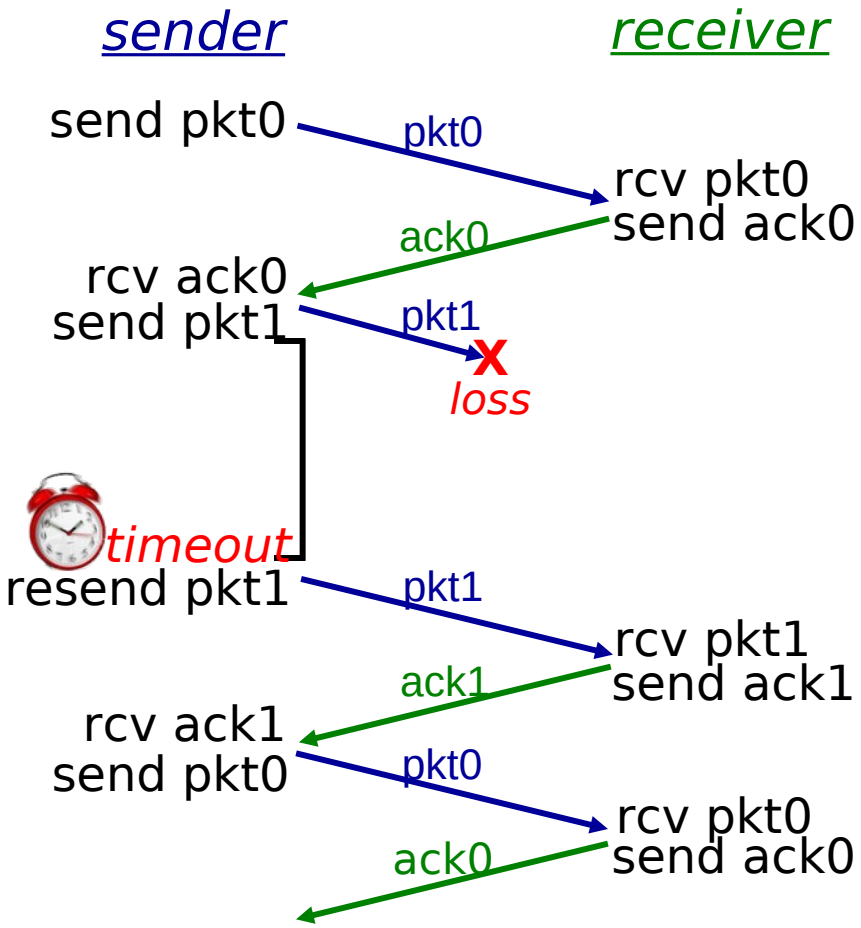
rdt3.0: remetente



rdt3.0: funcionamento

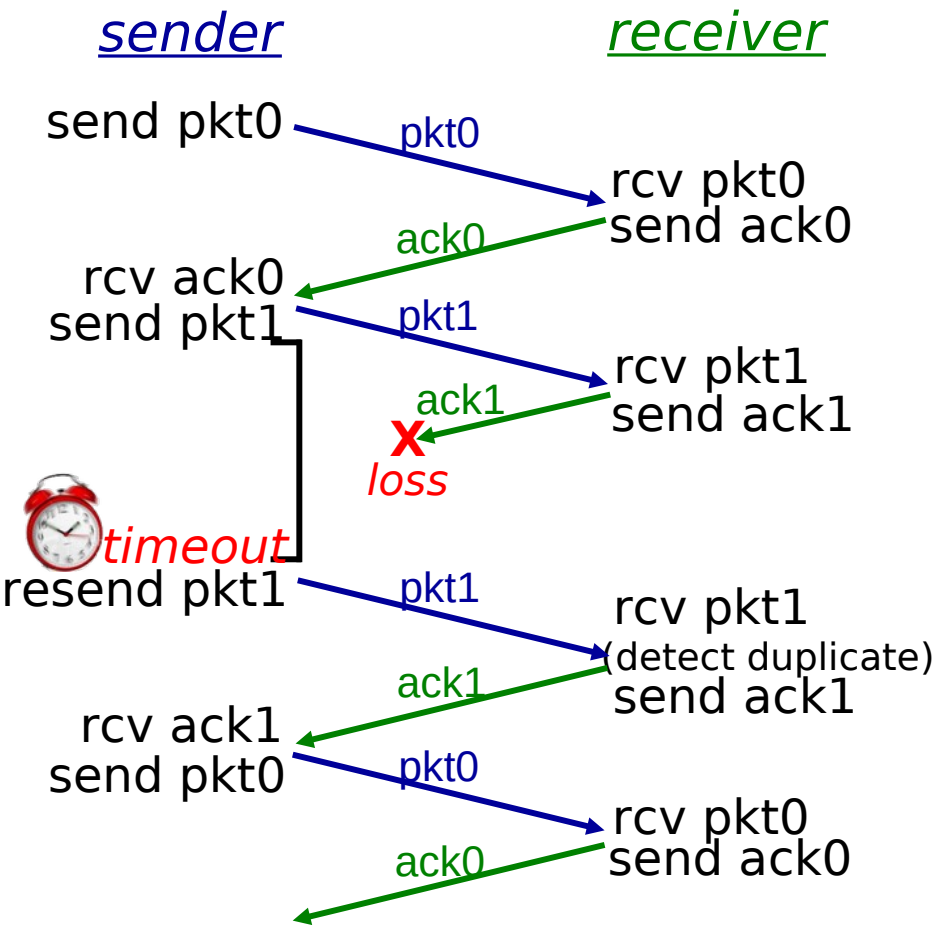


(a) sem perda de pacotes

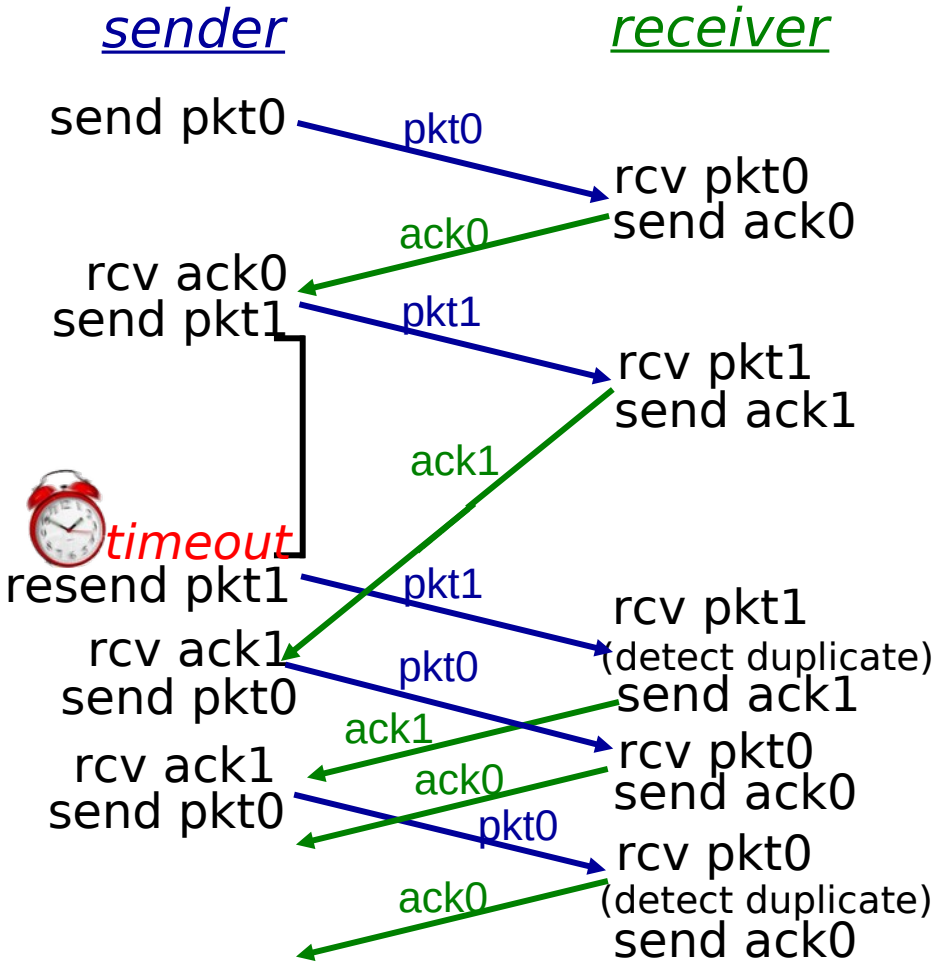


(b) com perda de pacotes

rdt3.0: funcionamento



(c) ACK perdido. Reenvio do pacote.



(d) Timeout prematuro, pois não houve perda de pacote, apenas atraso do ACK.

rdt3.0: performance

- rdt3.0 está correto, mas a performance é ruim
- P. ex.: enlace de 1 Gbps, 15 ms *propagation delay*, pacote com tamanho de 8000 bits:

$$D_{trans} = \frac{L}{R} = \frac{8000\ bits}{10^9\ bits/sec} = 8\ \mu s$$

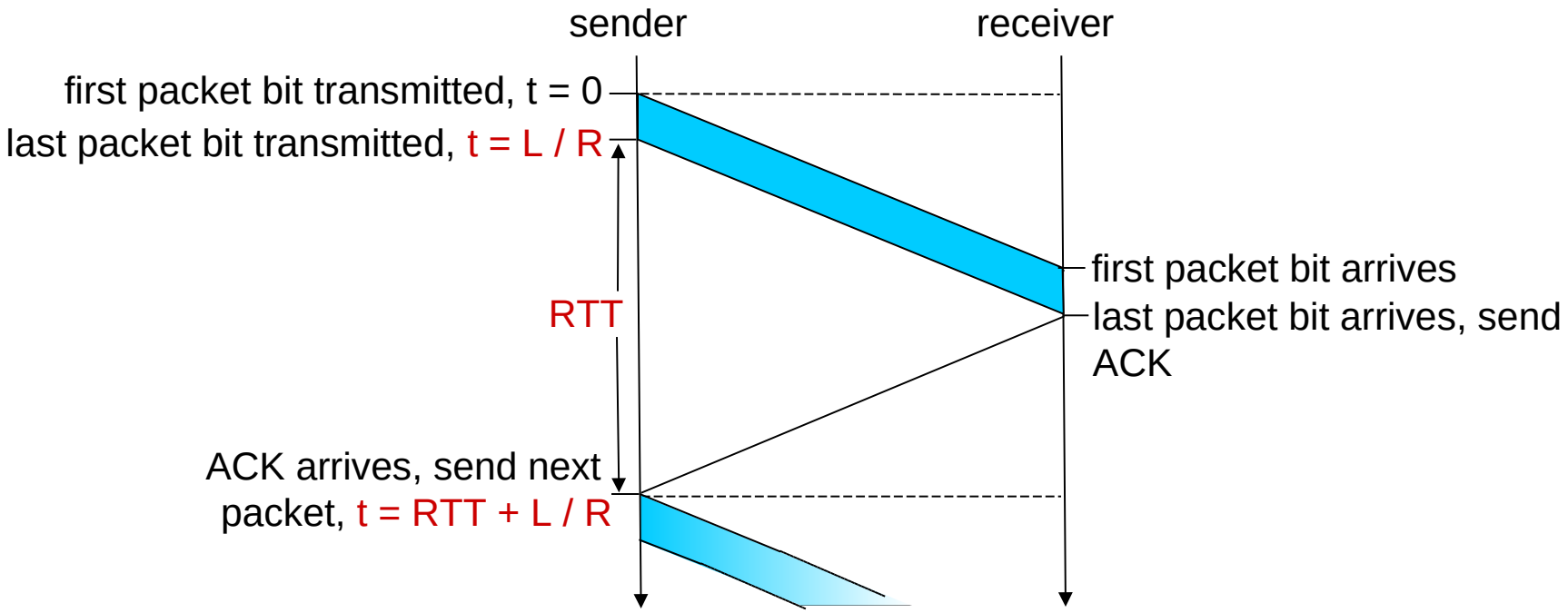
  - U_{sender}: *uso* – fração do tempo do remetente (*busy sending*)

$$U_{sender} = \frac{L/R}{RTT + L/R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

    - if RTT=30ms, 1KB pkt a cada 30ms: 33kB/s vazão (*throughput*) sobre um enlace de 1 Gbps

Obs.: um protocolo de rede limitando o uso dos recursos físicos da rede

rdt3.0: operação *stop-and-wait*

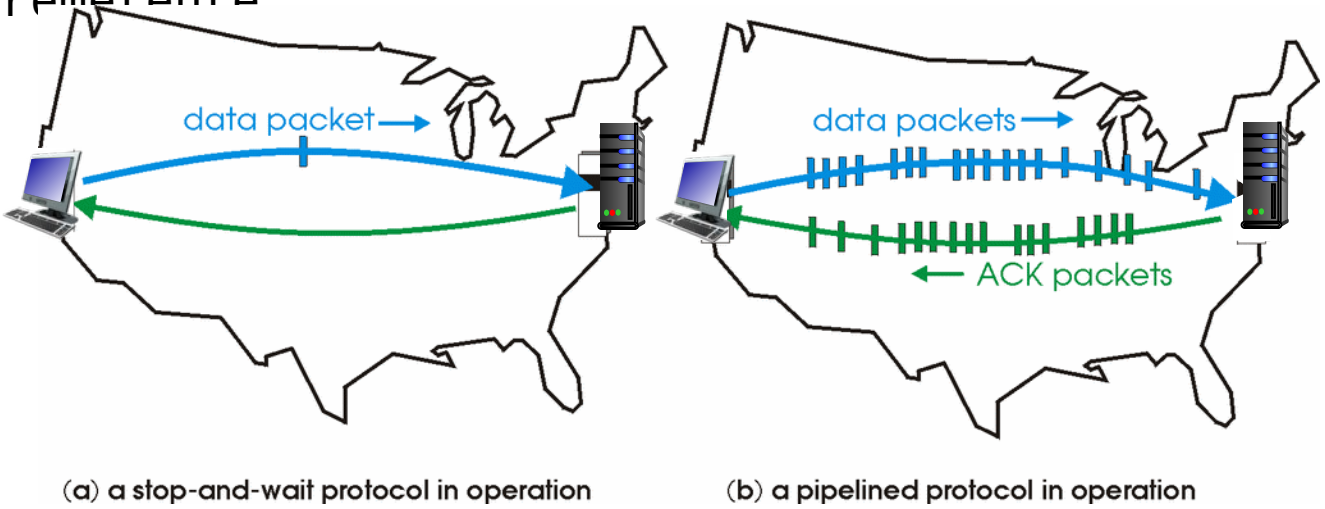


$$U_{sender} = \frac{L / R}{RTT + L / R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

Protocolos *pipelined* (paralelizados)

Pipelining: remetente sempre permite envios múltiplos, mesmo que ainda não reconhecidos

- O tamanho dos números de sequência precisam ser aumentados
- Necessidade de buffers tanto no destinatário quanto no remetente

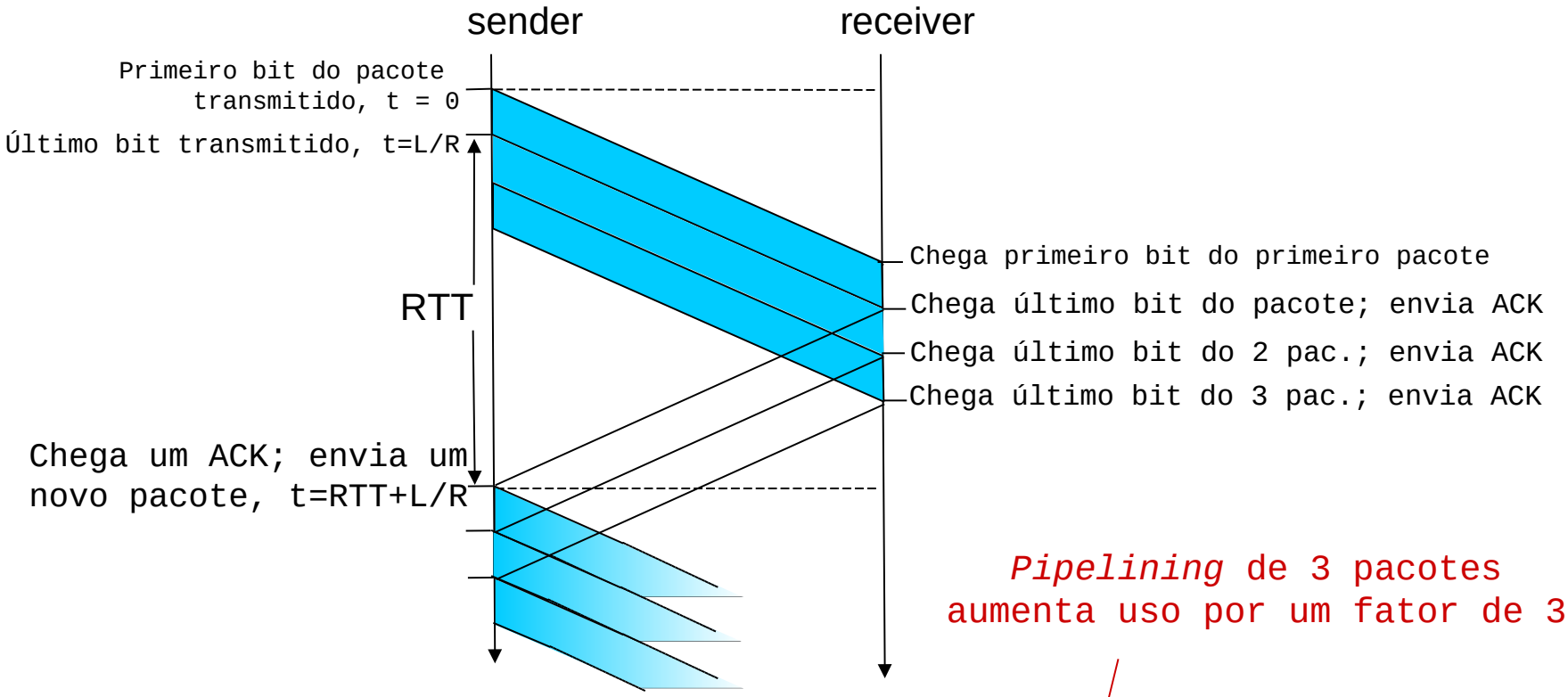


(a) a stop-and-wait protocol in operation

(b) a pipelined protocol in operation

Dois protocolos genéricos: *go-Back-N*, repetição seletiva (*selective repeat*- **SR**)

Pipelining: aumento da utilização do canal



Pipelining de 3 pacotes aumenta uso por um fator de 3

$$U_{sender} = \frac{3L/R}{RTT + L/R} = \frac{.0024}{30.008} = 0.00081$$

Observação: cada pacote ainda registra o mesmo tempo de transmissão e de propagação. A vazão aumentada é devido à quantidade de pacotes transmitidos por unidade tempo.

Resumo dos mecanismos para confiança

Checksum: detecção de erros (correção depende da implementação (UDP vs TCP)

Timer: usado para retransmissão de pacotes após um timeout, pois um pacote ou seu ACK podem ter sido perdidos no canal. Podem ocorrer duplicatas quando não ocorre perda, mas atraso maior que o timeout.

Número de sequência: usado para numerar sequencialmente um conjunto de pacotes que fluem do transmissor para o receptor. Permite detectar pacotes perdidos e duplicados.

Resumo dos mecanismos para confiança

Reconhecimento (Acknowledgment): permite o receptor informar ao transmissor o recebimento correto de um conjunto de pacotes. No reconhecimento é informado o número de sequência para indicar quais dados estão sendo reconhecidos. O reconhecimento pode ser individual ou coletivo.

Reconhecimento NEGATIVO (Negative Acknowledgment): informa ao receptor que um conjunto de dados referenciado por um número de sequência não foi recebido corretamente. Resolve questões de erros nos dados recebidos.

Resumo dos mecanismos para confiança

Janelas (window) e pipelining: o remetente envia pacotes de dados com números de sequência dentro de determinados valores. Pode ser permitido enviar múltiplos pacotes de dados sem confirmação de recebimentos dos anteriores.

O mecanismo de janelas (controlado por números de sequência) permitem resolver dois problemas:
- controle de **fluxo**: capacidade do receptor em receber uma determinada qtde de dados
- controle de **congestionamento** da rede

sumário

Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão
Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP

TCP: *visão geral*

RFCs: 793,1122,1323, 2018, 2581

- Protocolo **ponto a ponto**: um remetente e um destinatário
- ***Stream*** de *bytes* confiável e em ordem*:* sem fronteiras
- Paralelismo (*pipelined*): controle de congestionamento e controle de fluxo através de tamanho de **janela**
- Serviço de dados *full-duplex*: fluxo de dados nas duas direções, usando a mesma conexão. Limitado pelo MSS (*maximum segment size*)
- Orientado a conexão: apresentação (*handshaking*), na qual há troca de mensagens para iniciar os estados do remetente e do destinatário, antes de iniciar a troca de dados
- Controle de fluxo: o remetente não sobrecarregará o buffer do destinatário

TCP: *visão geral*

RFCs: 793,1122,1323, 2018, 2581

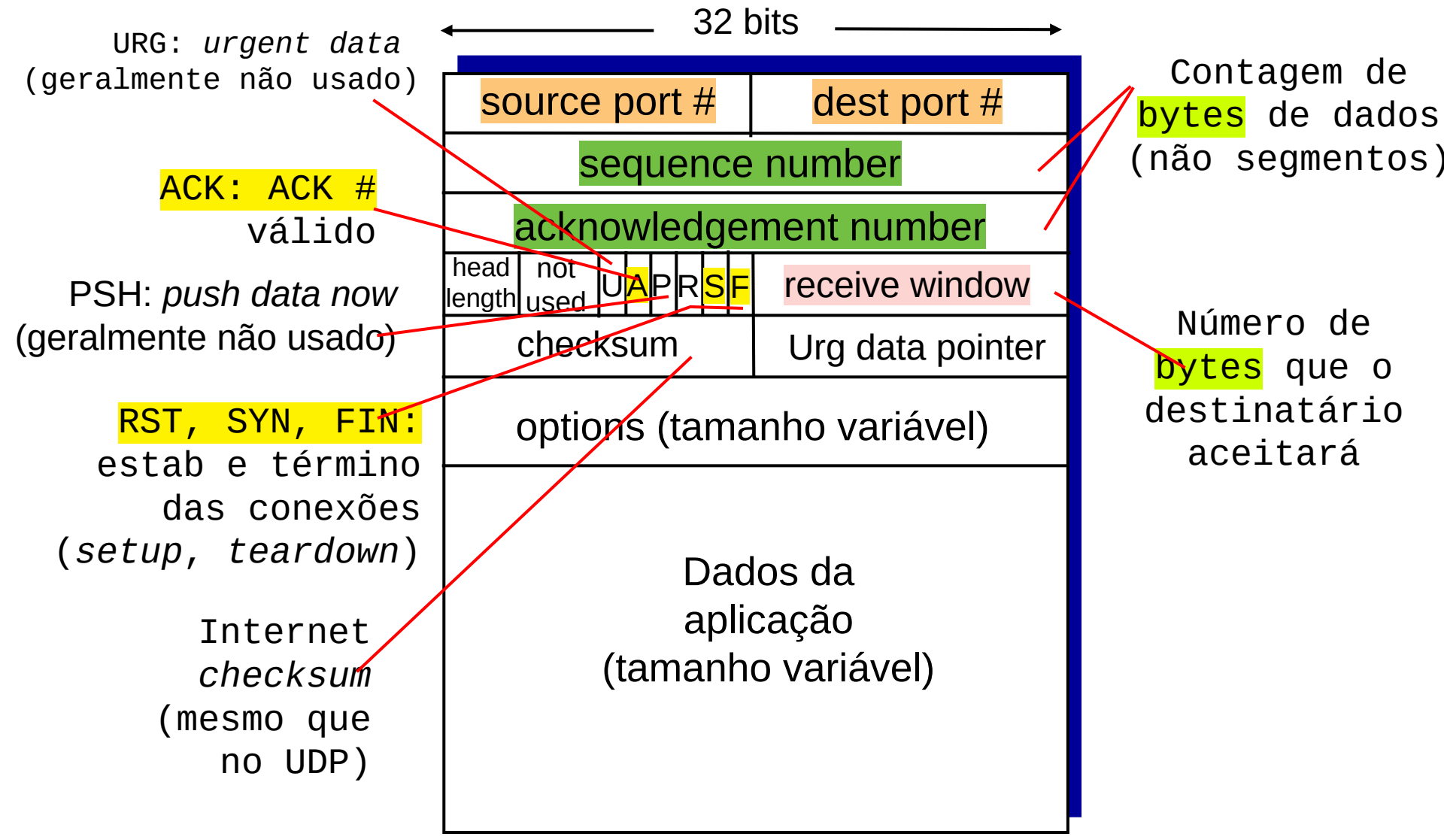
Fluxo de controle

O receptor controla o remetente, de forma que o remetente não enviará dados que "estourem" o *buffer* do receptor. O processo é fazer o remetente diminuir a taxa de envio.

Controle de congestionamento

A rede (protocolo IP) não fornece controle de congestionamento, de forma que o TCP implementa os mecanismos para que a rede não sature (uma rede saturada gera perda de pacotes e degradação.

TCP: estrutura do segmento



TCP: números sequência e ACKs

Números sequência

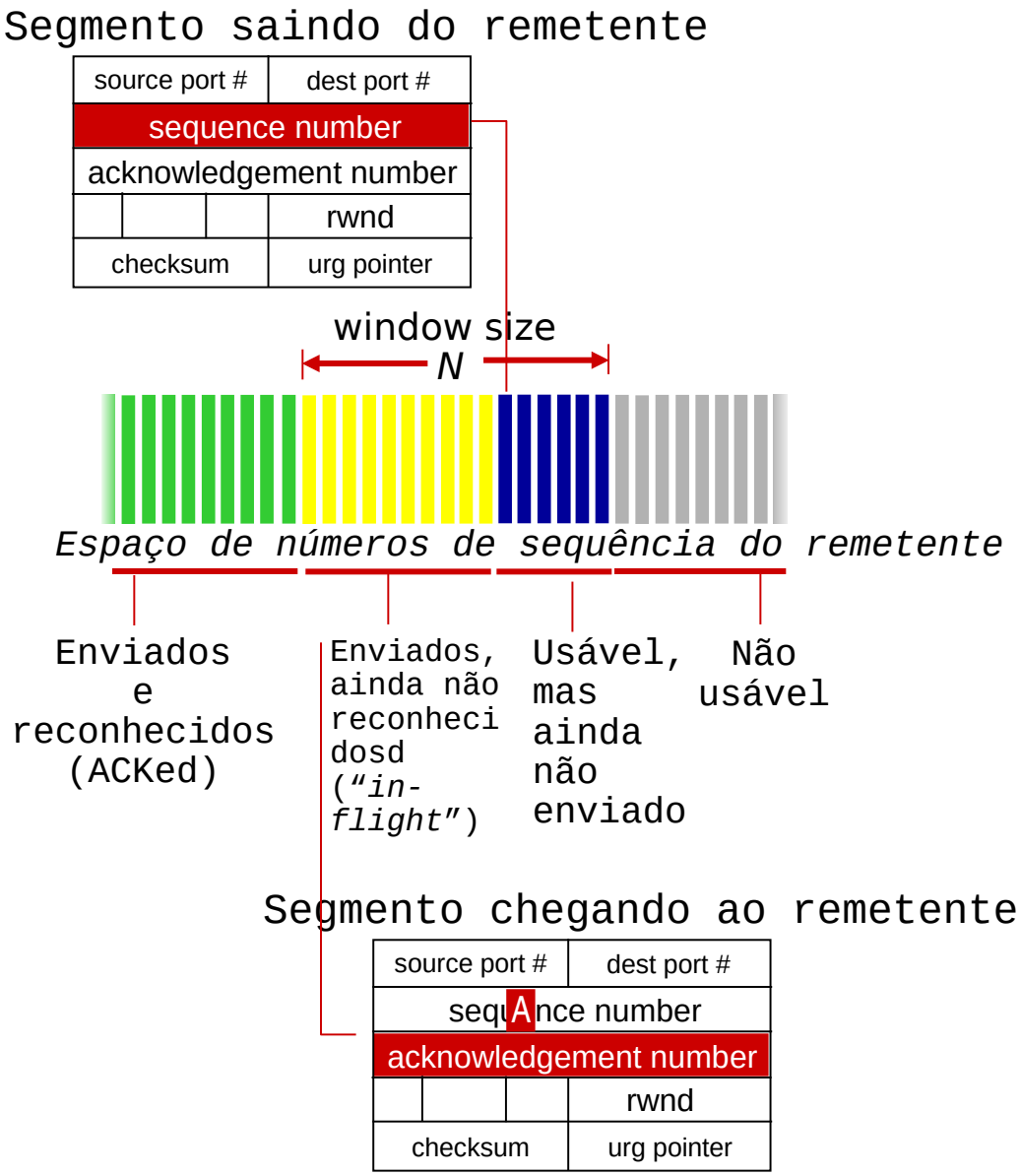
- Número do *stream* indicando o primeiro byte no segmento de dados

Reconhecimentos

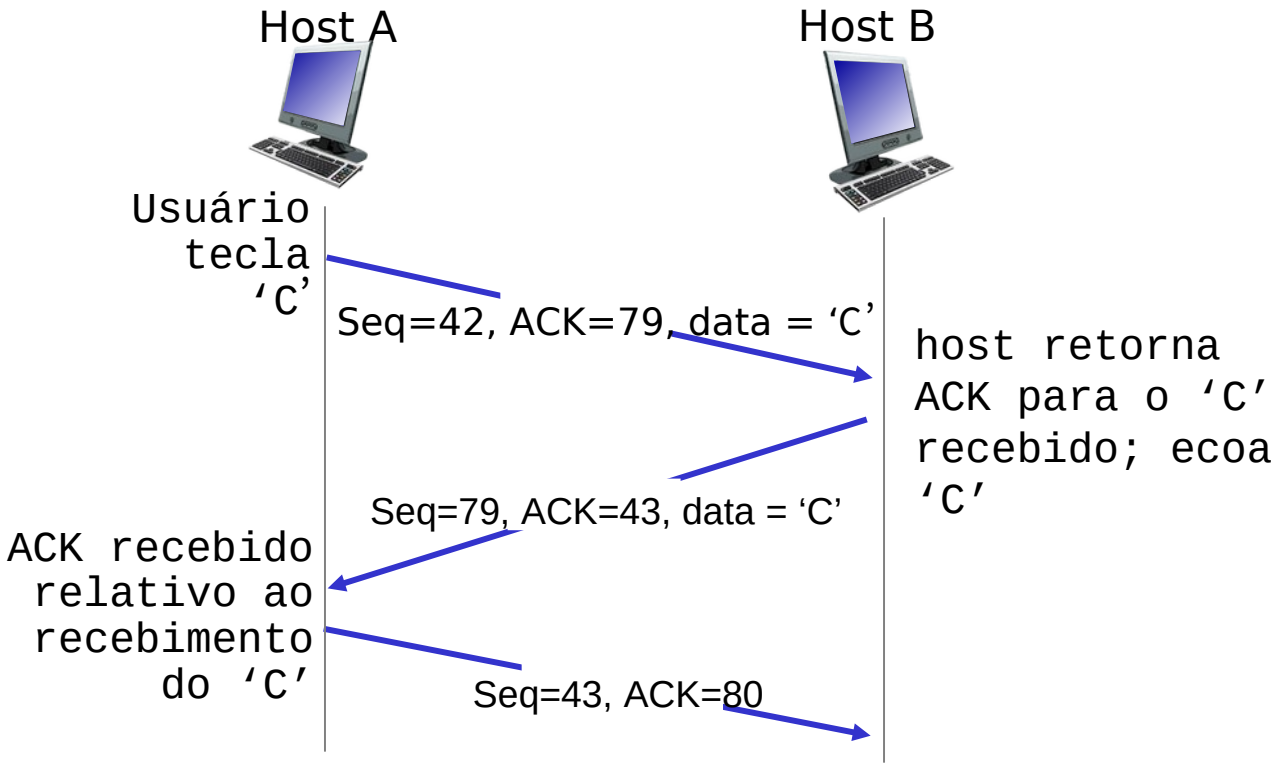
- **Seq** # do próximo byte esperado pelo outro lado
- ACK cumulativo

Q: como o receptor trata segmentos fora de ordem

- A: a especificação TCP não indica – a cargo do implementadorr



TCP: números sequência e ACKs



Cenário do protocolo Telnet

TCP: RTT (*round trip time*) e *timeout*

Q: como e qual valor deve ser o *timeout?*

- Maior que o RTT, mas o RTT varia
- *Muito curto:* *timeout* prematuro, resultando em retransmissões desnecessárias
- *Muito longo:* o TCP reage lentamente à perda de segmentos

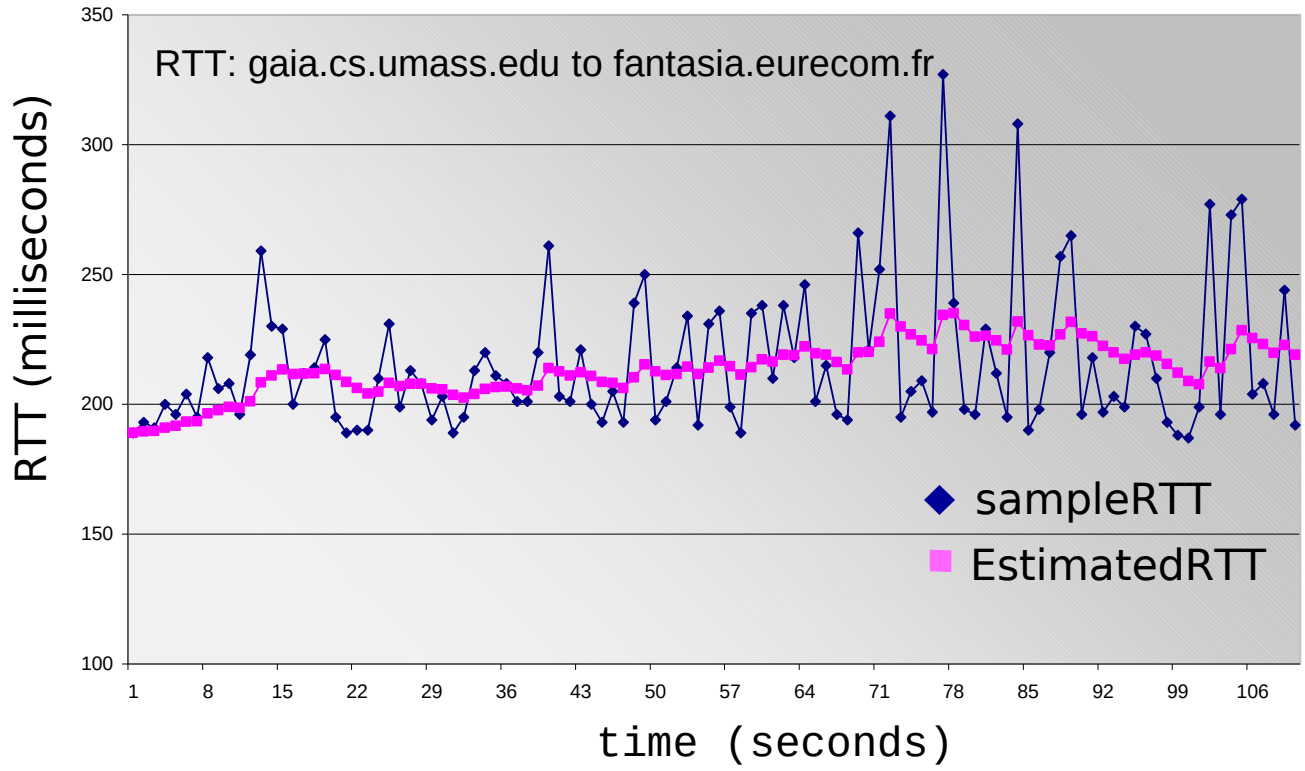
Q: Como determinar o RTT?

- **SampleRTT:** medida do tempo em que um segmento sai até receber um ACK; ignora retransmissões
- **SampleRTT** vai variar, de forma que se deve estimar uma média
  - Média de várias medidas recentes, não somente a última medida **SampleRTT**

TCP: RTT (*round trip time*) e *timeout*

EstimatedRTT = (1- α)*EstimatedRTT + α*SampleRTT

- Valor típico: α = 0.125



TCP: RTT (*round trip time*) e *timeout*

- Intervalo *timeout*: **EstimatedRTT** mais uma margem de confiança "*safety margin*"
  - Variações grandes em **EstimatedRTT ->** margem de confiança maior
- Estimar desvio SampleRTT a partir de EstimatedRTT:

$$\text{DevRTT} = (1-\beta)*\text{DevRTT} + \beta*|\text{SampleRTT}-\text{EstimatedRTT}|$$

(tipicamente, $\beta = 0.25$)

$$\text{TimeoutInterval} = \text{EstimatedRTT} + 4*\text{DevRTT}$$

estimated RTT

"safety margin"

* Check out the online interactive exercises for more examples: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive/

sumário

Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão
Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP

TCP: transferência confiável de dados (rdt)

TCP cria um serviço rdt no topo do serviço IP não confiável

- Paralelização (*pipelined*) de segmentos
- ACKs cumulativos
- Um único timer para retransmissão

As retransmissões disparadas por:

- Eventos de *timeout*
- ACKs duplicados

Para o exemplo a seguir, considerar um remetente TCP mais simples que:

- Ignora ACKs duplicados, e
- Ignora controle de fluxo e controle de congestionamento

TCP: eventos no remetente:

Dados recebidos da aplicação:

- Criação do segmento com seq #
- seq # é o número do primeiro byte do segmento referente ao *stream* de dados
- Inicia o relógio se não estiver rodando
  - O temporizador é o mais antigo segmento não reconhecido
  - Intervalo de expiração: **TimeOutInterval**

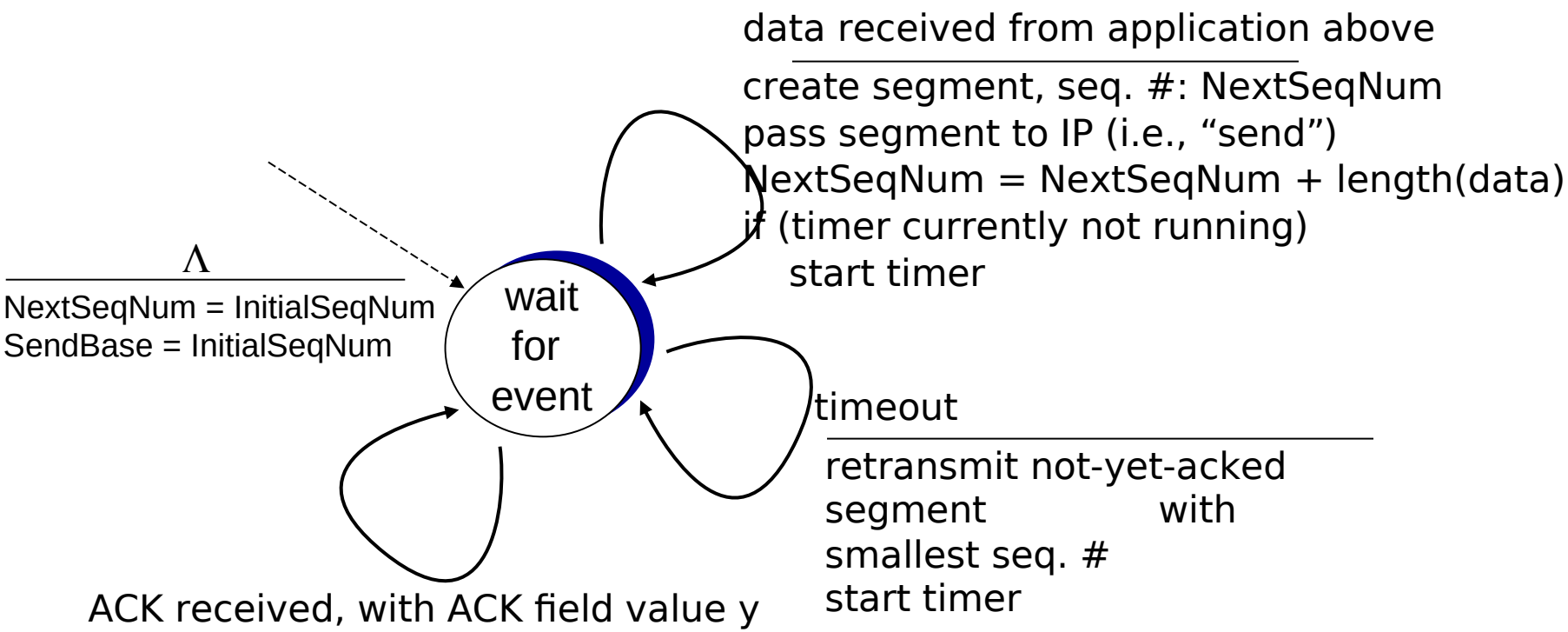
Evento timeout:

- Retransmite segmento que causou *timeout*
- Reinicia o temporizador

Evento de recebimento de ACK:

- Se o ACK reconhece um segmento anteriormente não reconhecido
  - Atualiza o segmento que foi reconhecido
  - Inicia o temporizador se ainda há segmentos sem reconhecimento

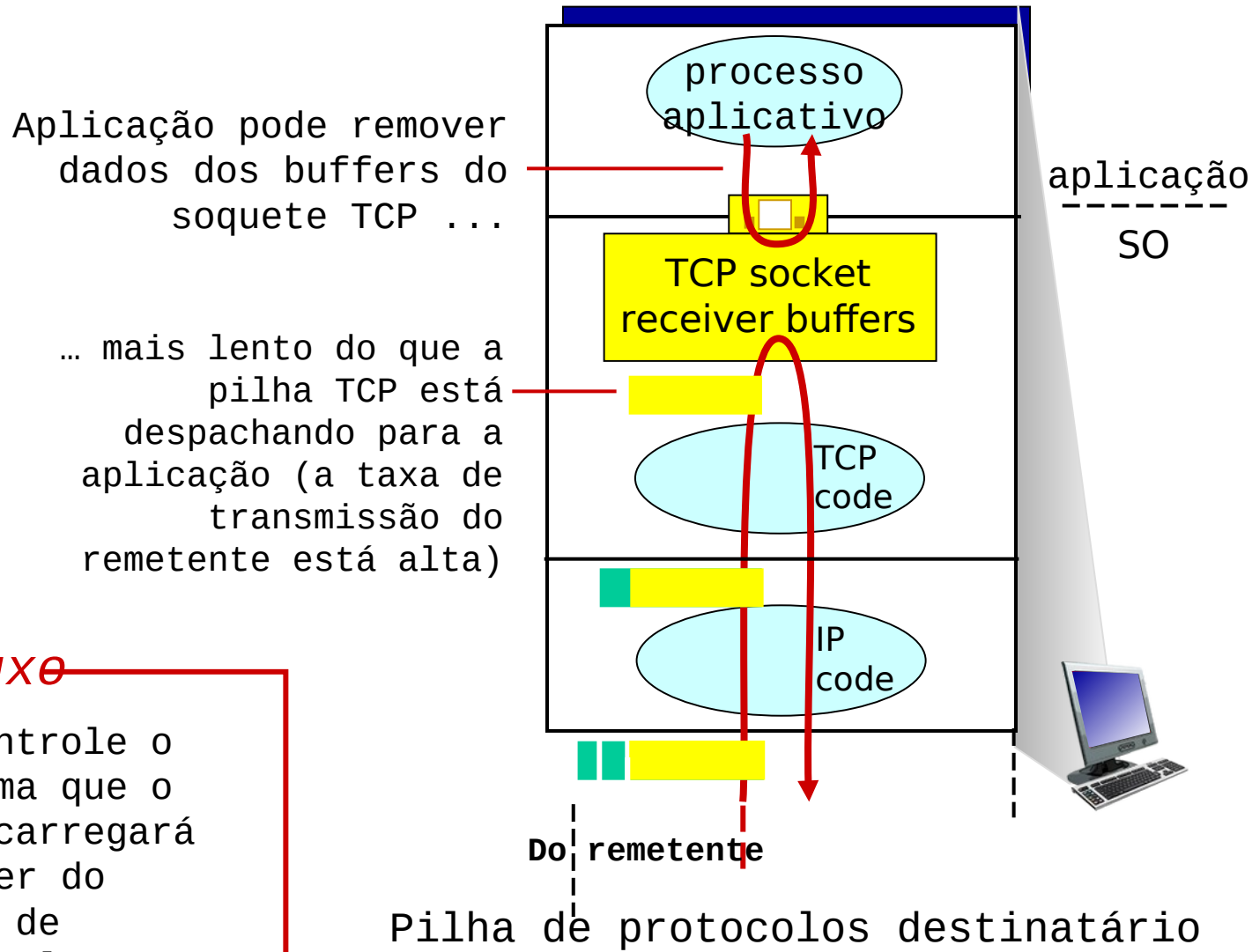
TCP: remetente (simplificado)



sumário

Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão
Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP

TCP: controle de fluxo



Controle Fluxo

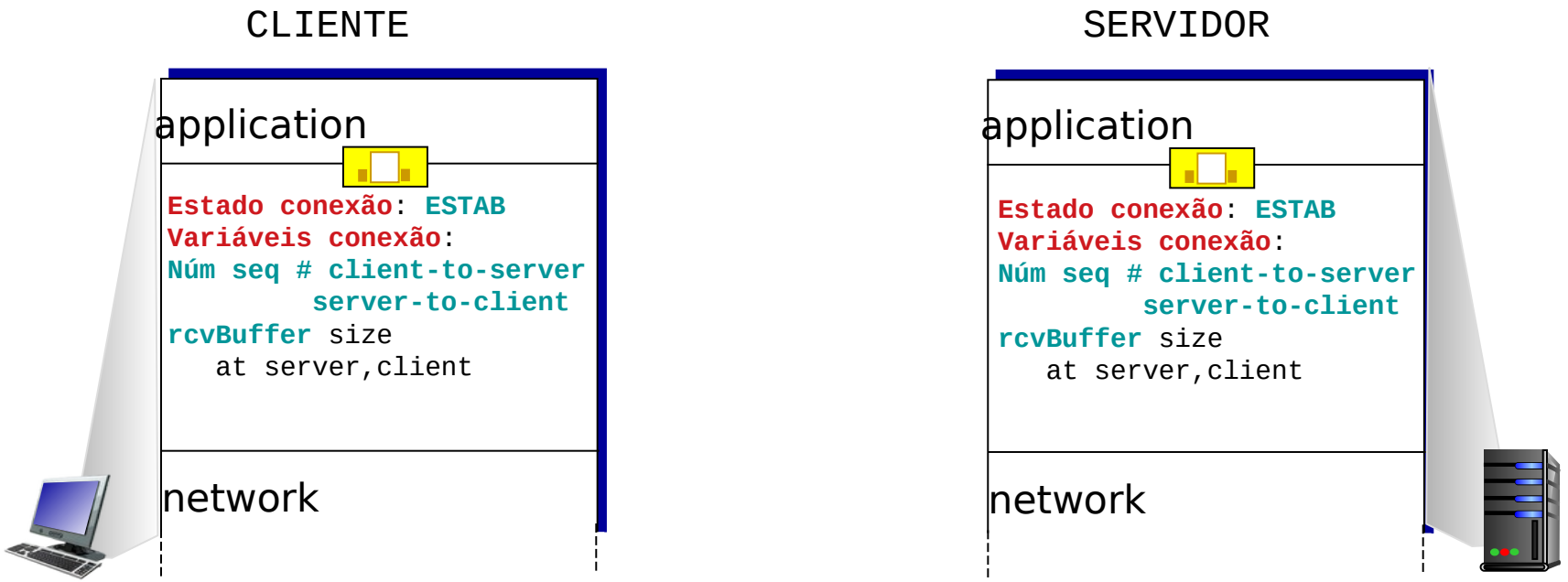
O destinatário controle o remetente, de forma que o emissor não sobrecarregará (*overflow*) o buffer do receptor com taxa de transmissão muito alta.

sumário

Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão
Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP

Gerenciamento da conexão

Antes de enviar dados, remetente e receptor devem realizar o *"handshake"* (protocolo de apresentação): acordo de ambas as partes em criar a conexão e acordo nos parâmetros

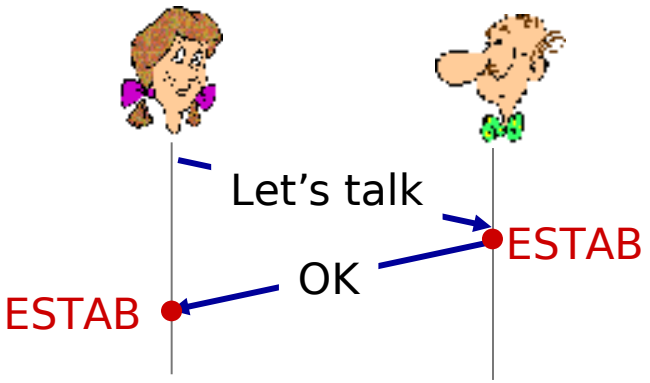


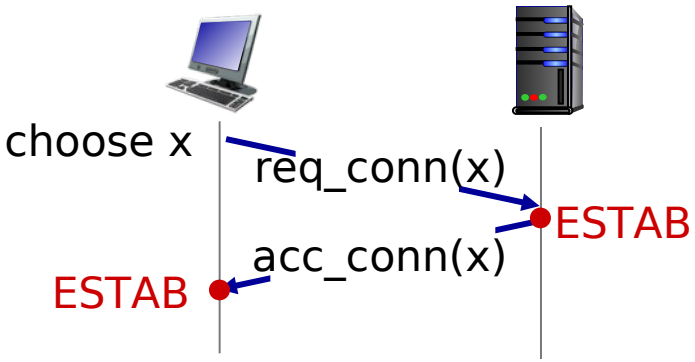

```
Socket clientSocket =
  newSocket("hostname","port
   number");
```

```
Socket connectionSocket =
   welcomeSocket.accept();
```

Acordo para estabelecer uma conexão

Handshake de 2-vias:



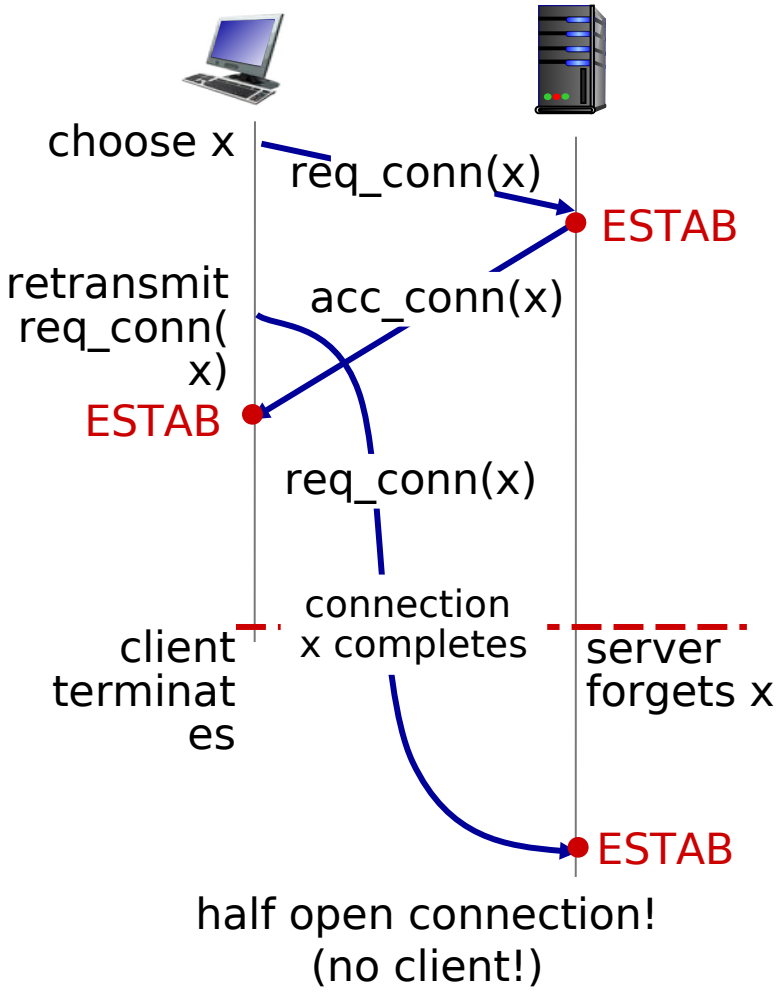


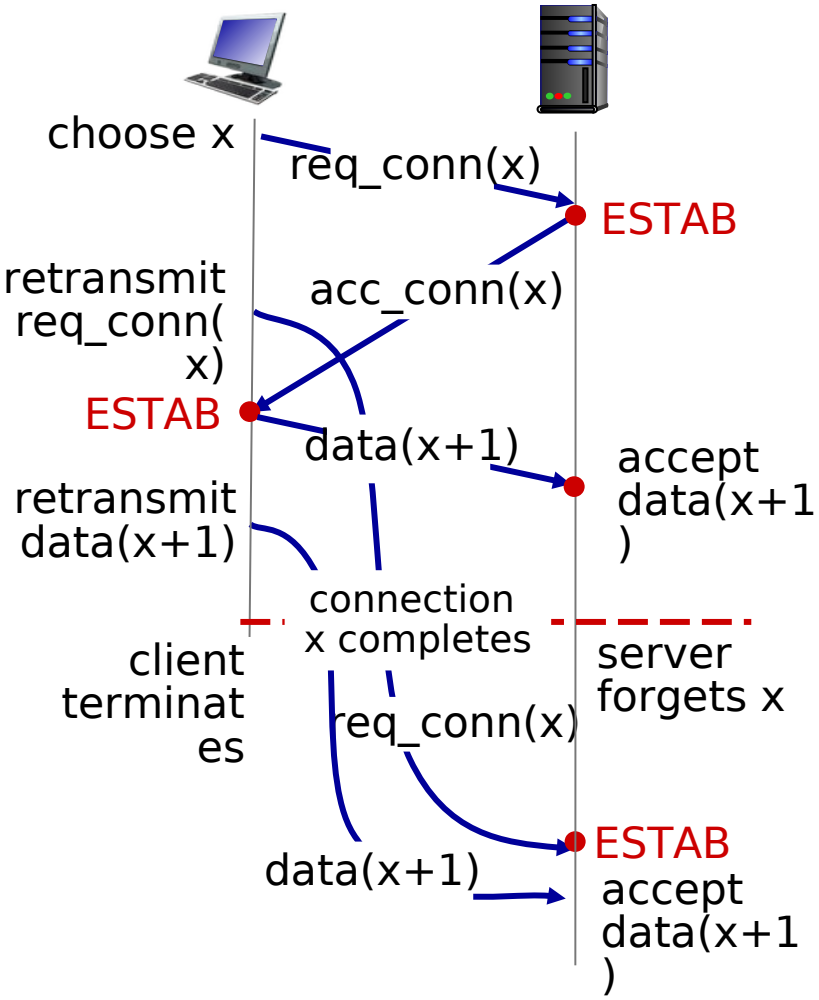
Q: Como o handshake 2-way trabalha numa rede?

- Delays variados
- Mensagens de retransmissão devido perda de pacotes
- Mensagens de reordenamento
- O outro lado não pode "ver"

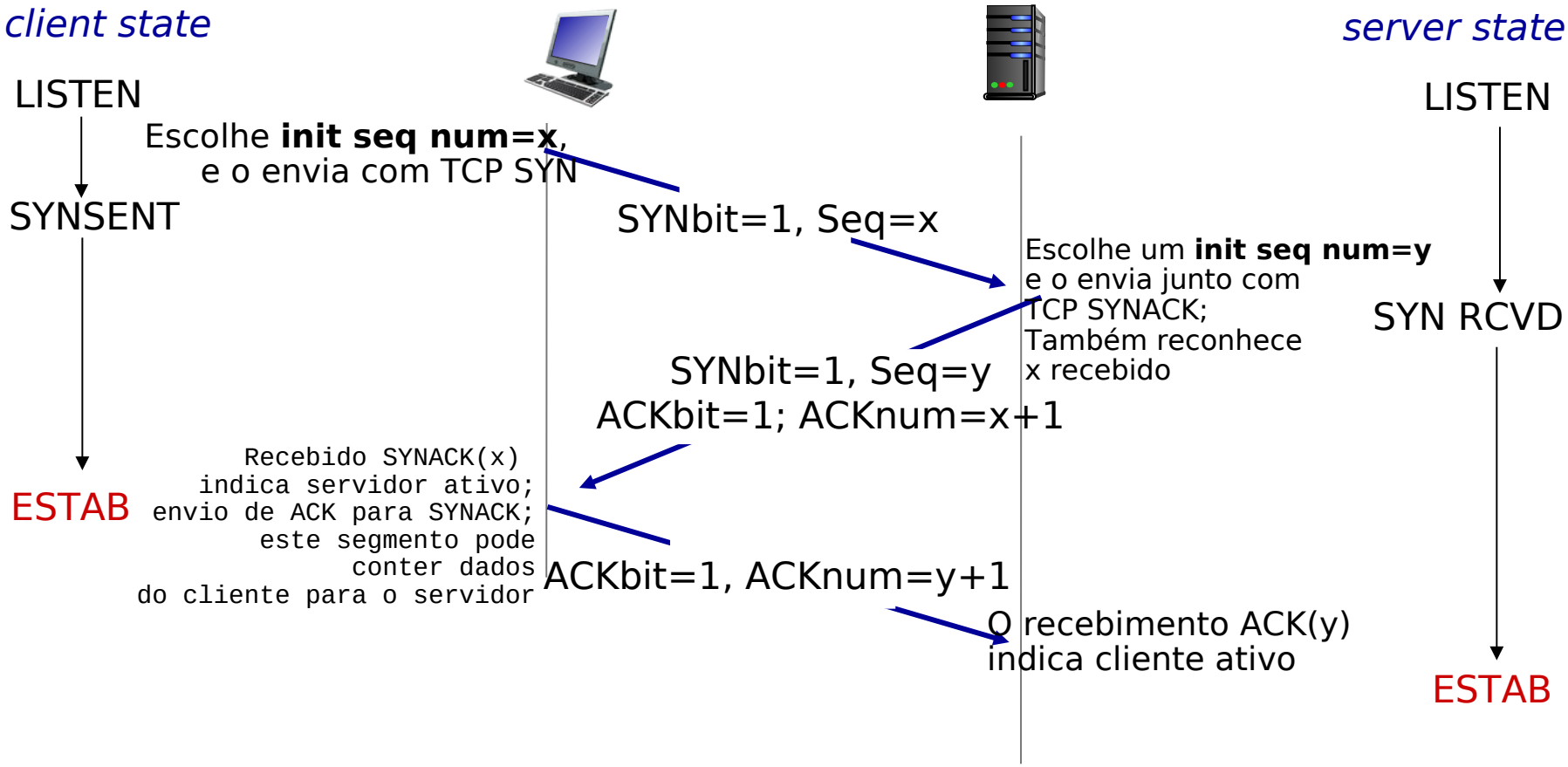
Acordo para estabelecer uma conexão

Cenários de falha para *handshake* de 2-vias

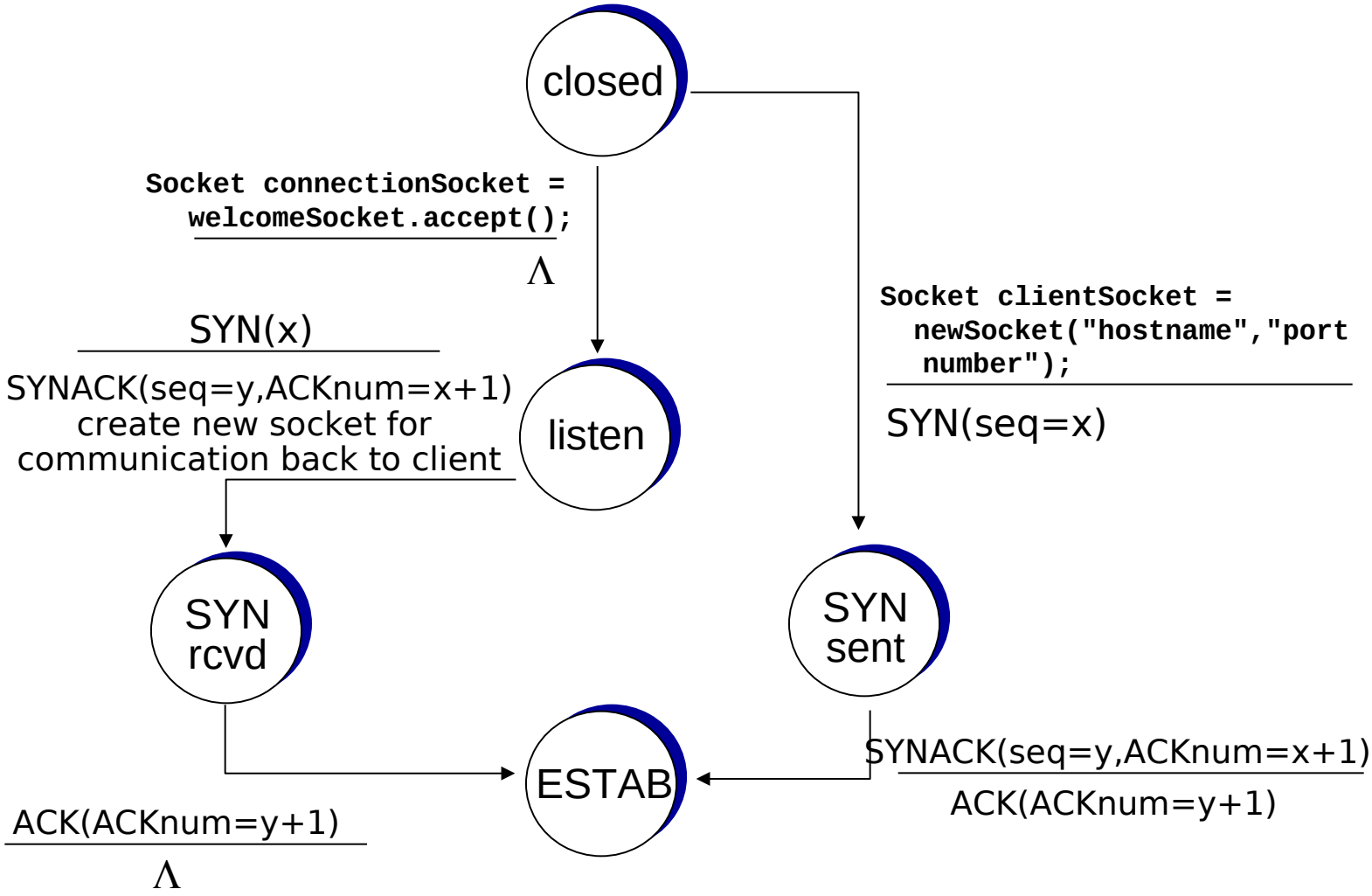




TCP: *handshake* de 3-vias (3-*way*)



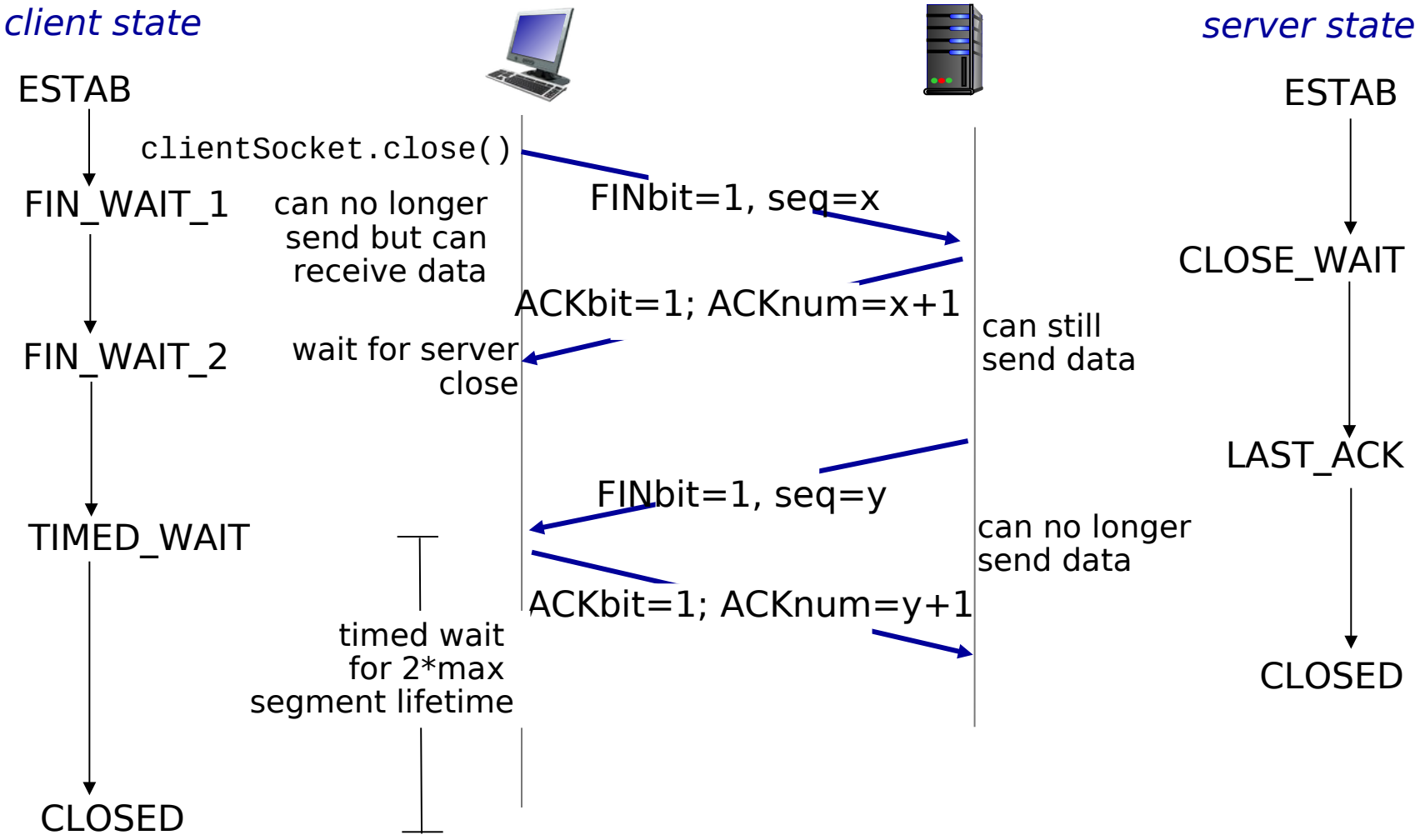
TCP: *handshake* de 3-vias - FSM



TCP: fechando a conexão

- Cada qual (cliente e servidor) fecham o seu lado da conexão
  - Envio de segmentos com o bit FIN=1 ativado
- Cada par responde com um ACK ao FIN recebido
  - Ao receber um FIN, o ACK pode ser combinado com seu próprio FIN
- Pode haver troca de FIN simultâneos

TCP: fechando a conexão



sumário

Serviços de transporte
Multiplexação e demultiplexação
Transporte sem conexão: UDP
Princípios de transporte com confiança
Transporte orientado a conexão: TCP
- Estrutura do segmento
- Transferência de dados confiável
- Controle de fluxo
- Gerenciamento da conexão

Princípios de controle de congestionamento
Controle de congestionamento no TCP