PTC 3360

2.2 Camada de transporte: princípios da transferência confiável de dados – Parte I

(Kurose, Seção 3.4)

Agosto 2023

Capítulo 2 - Conteúdo

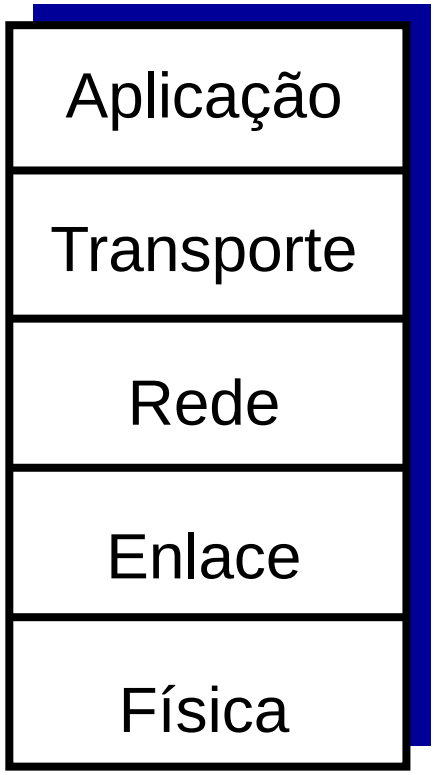
2.1 A camada de aplicação

2.2 A camada de transporte: Princípios da transferência confiável de dados

2.3 A camada de rede

Lembrando... Pilha de protocolos Internet

- *Aplicação:* contendo aplicativos de rede que geram mensagens
  - HTTP, SMTP, Skype, DNS, ...
- *Transporte:* transferência de segmentos processo-processo
  - **TCP**, UDP, QUIC
- *Rede:* roteamento de datagramas da fonte ao destino
  - IP, protocolos de roteamento
- *Enlace:* transferência de quadros entre *elementos vizinhos* na rede
  - Ethernet, WiFi, DOCSIS, ...
- *Física:* transmissão física dos bits; depende do meio de transmissão

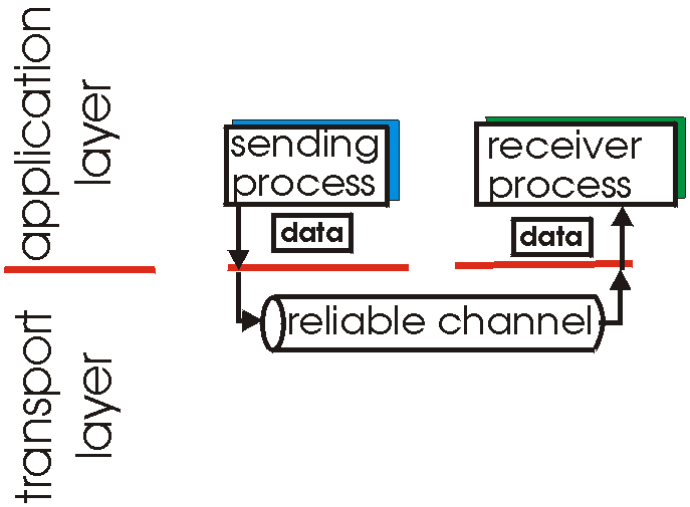


RDT – *Reliable Data Transfer*

- Um dos aspectos mais importantes das redes de comunicações é o de *transferência confiável de dados* (RDT – *reliable data transfer*).
- Entre fonte e destino, pacotes passam por diversos enlaces diferentes; neste caminho, podem acontecer muitos problemas. Eles podem
  - ser descartados em cada um dos roteadores no meio da rota;
  - ser corrompidos;
  - percorrer rotas diferentes, tendo atrasos diferentes.
- Mesmo assim, muitas aplicações são viáveis apenas se há garantia de que todos os pacotes sejam entregues e em ordem: comércio eletrônico, e-mail, transferência de arquivos de dados, etc.
- Nessa aula, vamos estudar técnicas que são utilizadas por diversos protocolos para implementar a RDT.
- Em seguida, como exemplo, vamos ver como o **TCP** implementa essas técnicas.

Princípios da transferência confiável de dados

- RDT é usada nas camadas de aplicação, transporte e enlace
  - Tópico de importância central na área de redes!

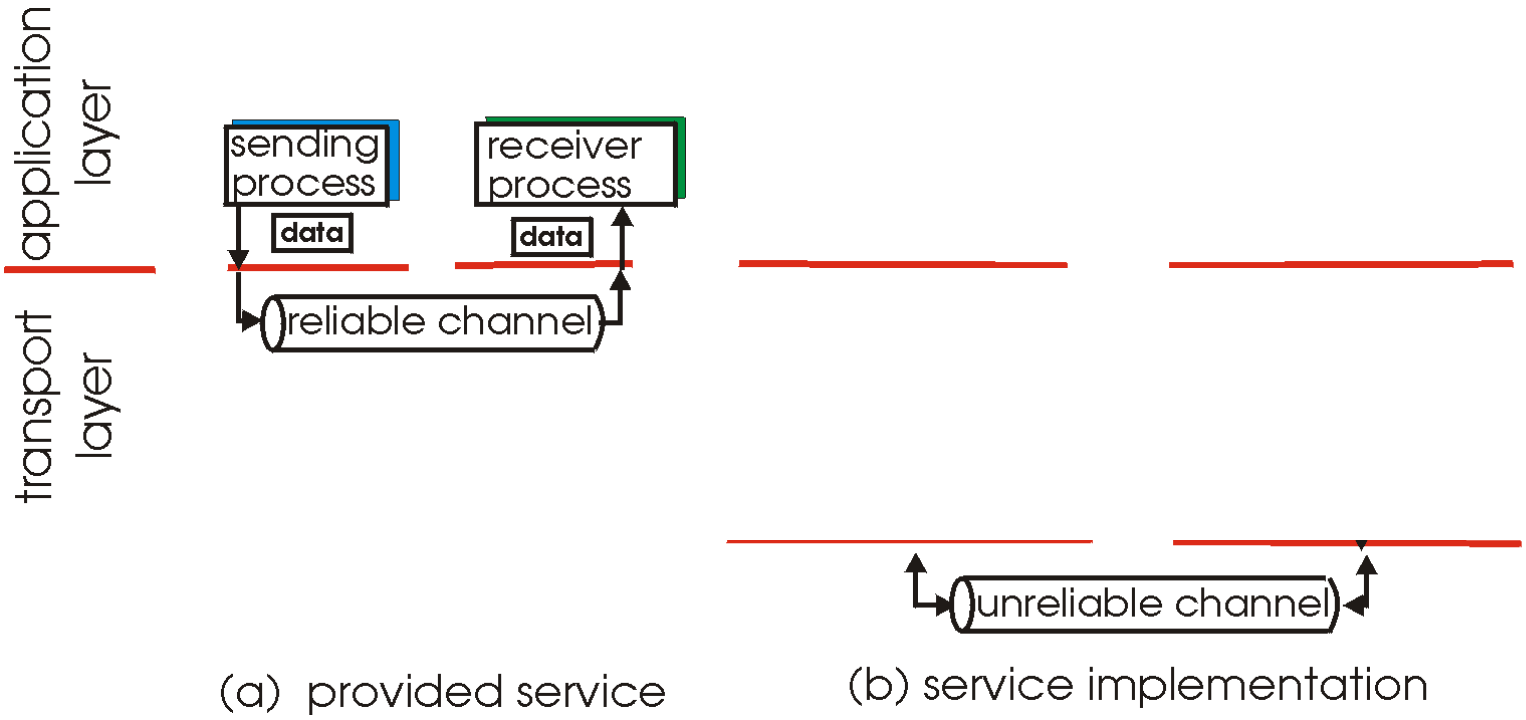


(a) provided service

- características do canal não confiável determinarão complexidade de um protocolo que implementa RDT

Princípios da transferência confiável de dados

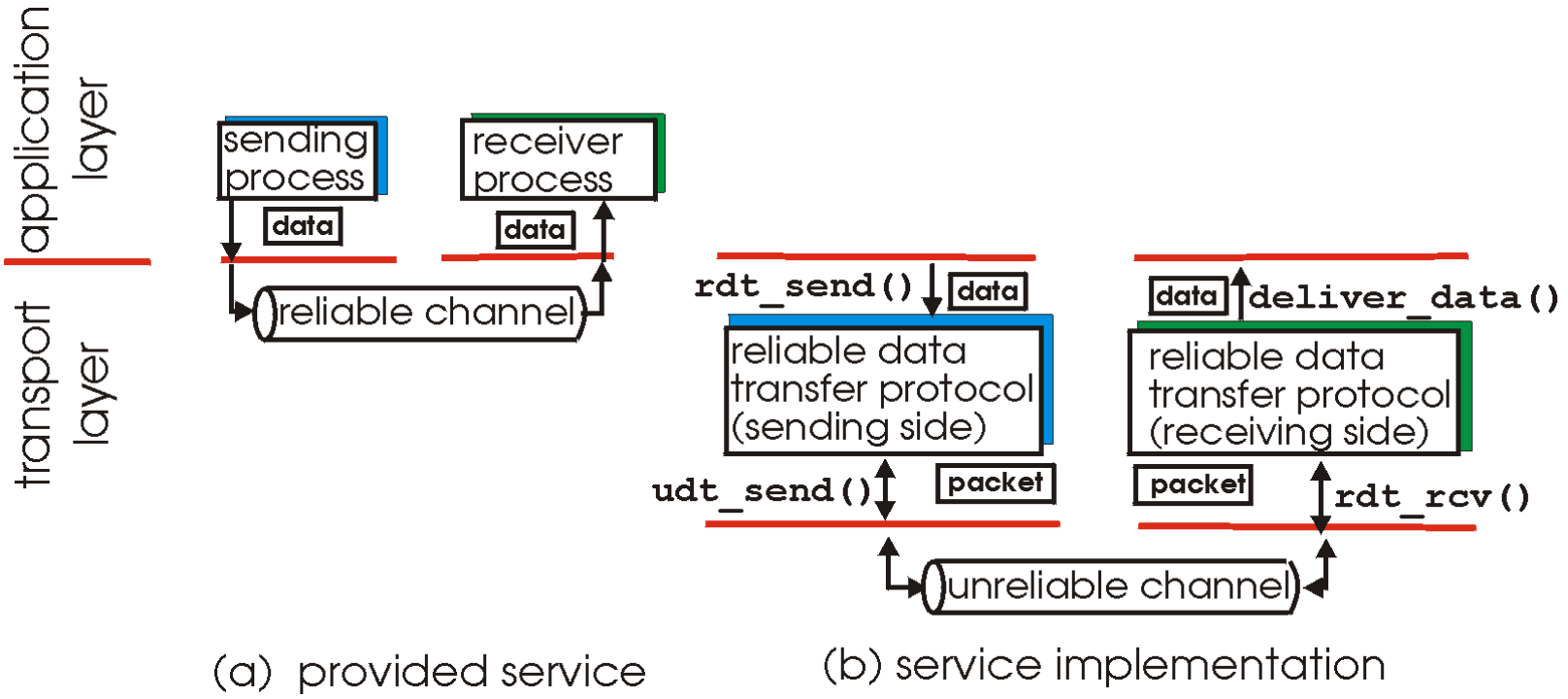
- RDT usada nas camadas de aplicação, transporte e enlace
  - Tópico de importância central na área de redes!



- características do canal não confiável determinarão complexidade de um protocolo que implementa RDT

Princípios da transferência confiável de dados

- RDT usada nas camadas de aplicação, transporte e enlace
  - Tópico de importância central na área de redes!

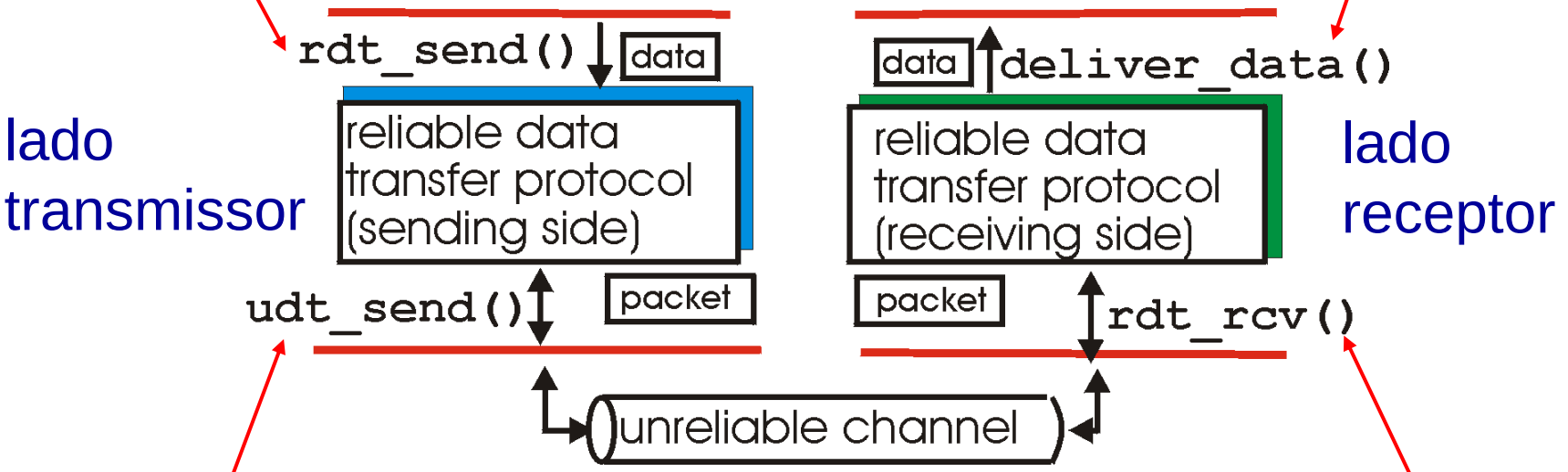


- Características do canal não confiável determinarão, em parte, complexidade de um protocolo que implementa RDT

Transferência confiável de dados: rotinas

`rdt_send()`: chamada de cima, por aplicação. São passados dados a serem entregues à camada superior do destinatário *(reliable data transfer)*

`deliver_data()`: chamada pelo **rdt** para entregar dados para camada superior



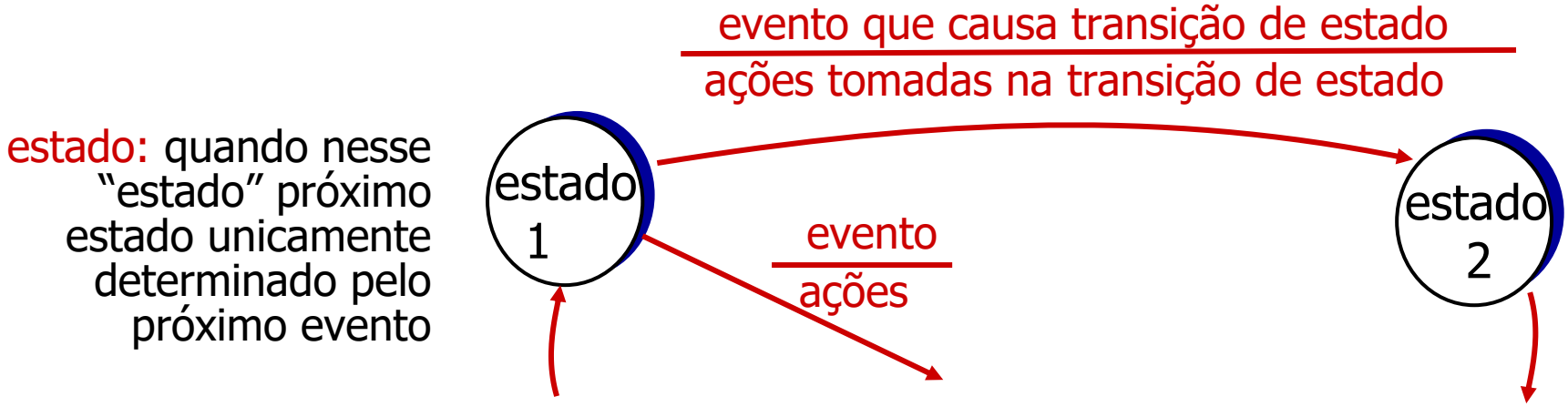
`udt_send()`: chamada pelo rdt, para transferir pacote sobre canal não confiável ao destinatário *(unreliable data transfer)*

`rdt_rcv()`: chamada quando pacote chega no lado receptor do canal

Transferência confiável de dados: começando

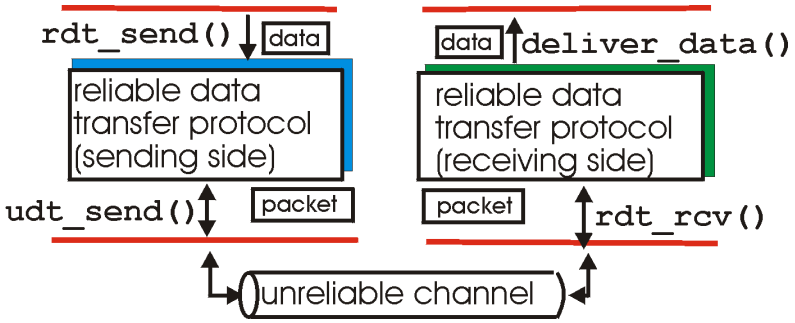
Vamos:

- Desenvolver lados transmissor e receptor do protocolo RDT de forma incremental ("versões" didáticas);
- Considerar apenas *transferência unidirecional de dados;*
  - Mas note que as informações de controle fluirão em ambas direções.
- Usar máquinas de estados para especificar algoritmos no transmissor e receptor

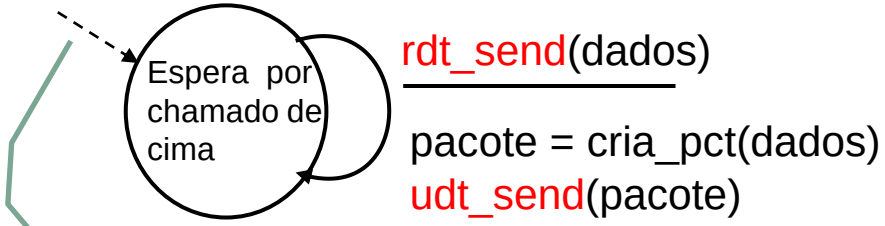


rdt1.0: RDT sobre canal confiável

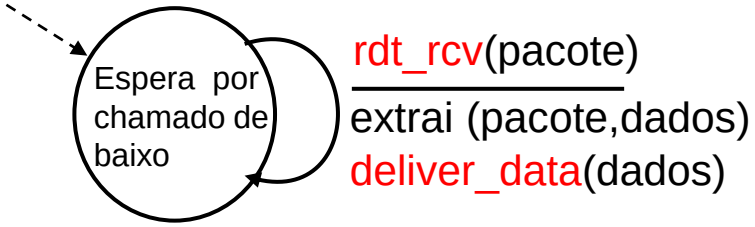
- Canal subjacente perfeitamente confiável
  - Não há erros em bits, nem perdas de pacotes
- Separar máquinas de estados para transmissor e receptor:
  - Remetente envia dados para o canal subjacente
  - Destinatário lê dados do canal subjacente



transmissor



receptor



Essa flecha tracejada indica o estado inicial da máquina!

rdt2.0: Canal com erros em bits

- Canal subjacente pode corromper bits em pacote, mas não perde ou muda ordem de pacotes.
  - Podemos usar códigos (por exemplo, bits de paridade) para detectar erros em bits. Vamos assumir que esses códigos de fato detectam os erros.
  - *A questão: como se recuperar de erros?*

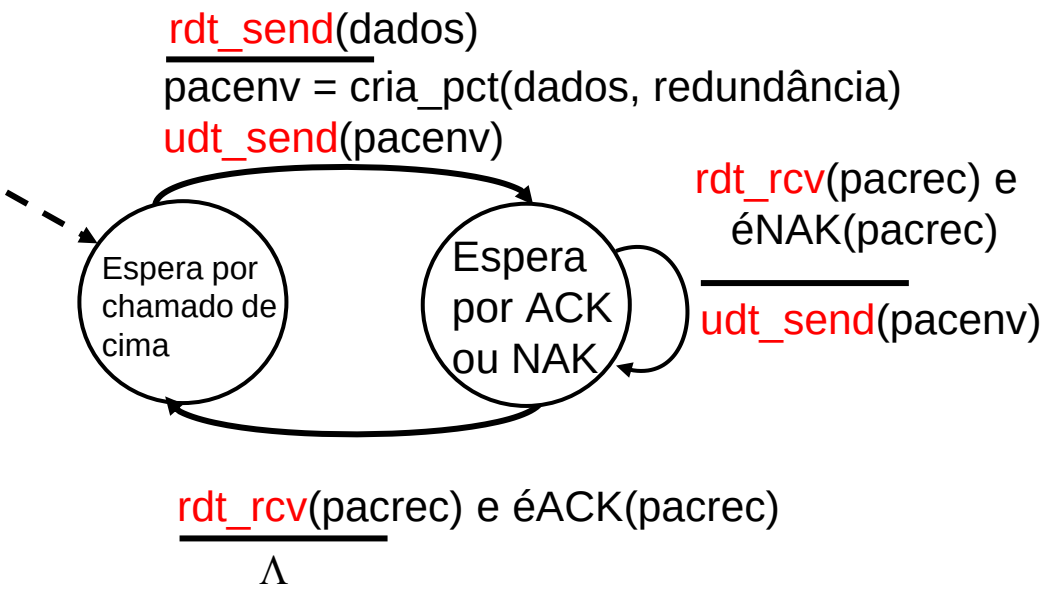
Como humanos se recuperam de "erros" durante conversação?

rdt2.0: canal com erros em bits

- canal subjacente pode corromper bits em pacote, mas não perde ou muda ordem de pacotes
  - podemos usar códigos (por exemplo, bits de paridade) para detectar erros em bits. Vamos assumir que esses códigos de fato detectam os erros.
  - *a* questão: como se recuperar de erros?
  - *Positive acknowledgements (ACKs):* receptor explicitamente conta ao transmissor que pacote recebido não possui erros
  - *Negative acknowledgements (NAKs):* receptor explicitamente conta ao transmissor que pacote tem erros
  - Transmissor retransmite pacote quando recebe NAK

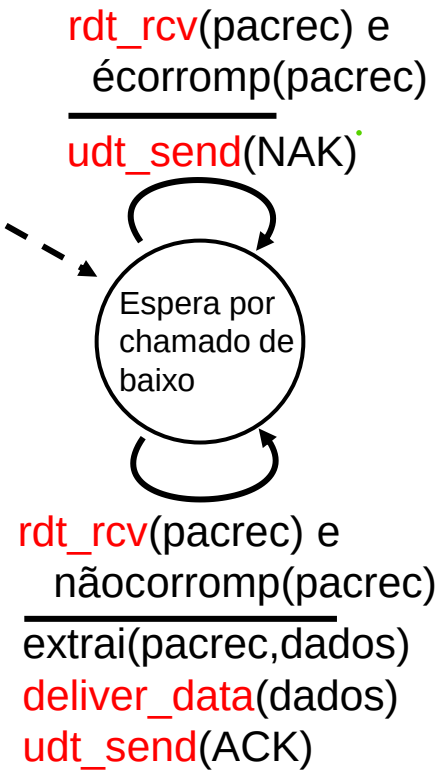
- Novos mecanismos em `rdt2.0` (evolução do `rdt1.0`):
  - Detecção de erros (necessária inclusão de redundância nos pacotes)
  - Realimentação: mensagens de controle (ACK, NAK) do receptor para transmissor
  - Retransmissão: pacotes com erro são retransmitidos

rdt2.0: Especificação por máquina de estados



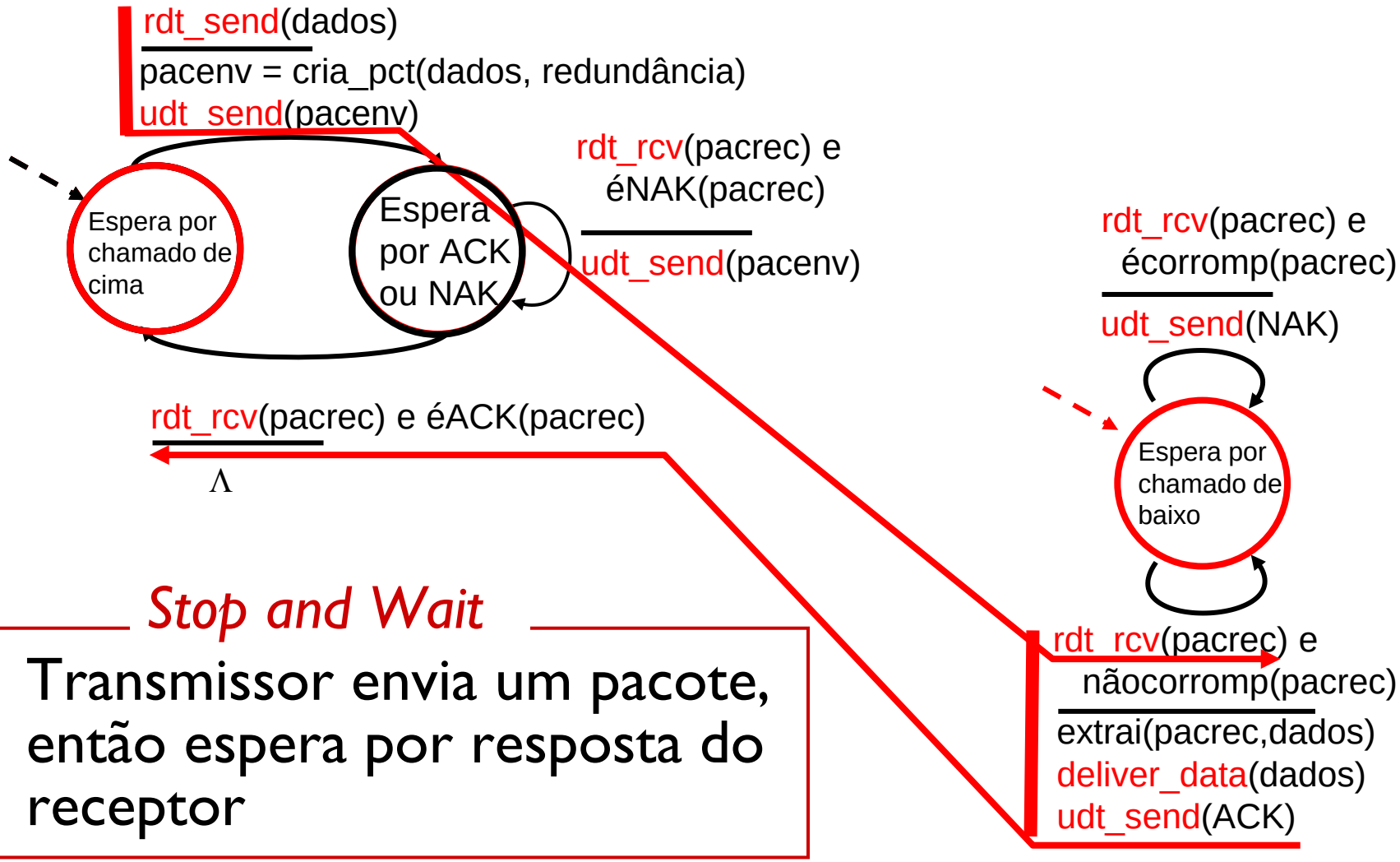
Transmissor

Receptor



Obs.: O símbolo Λ indica que nenhuma ação é realizada

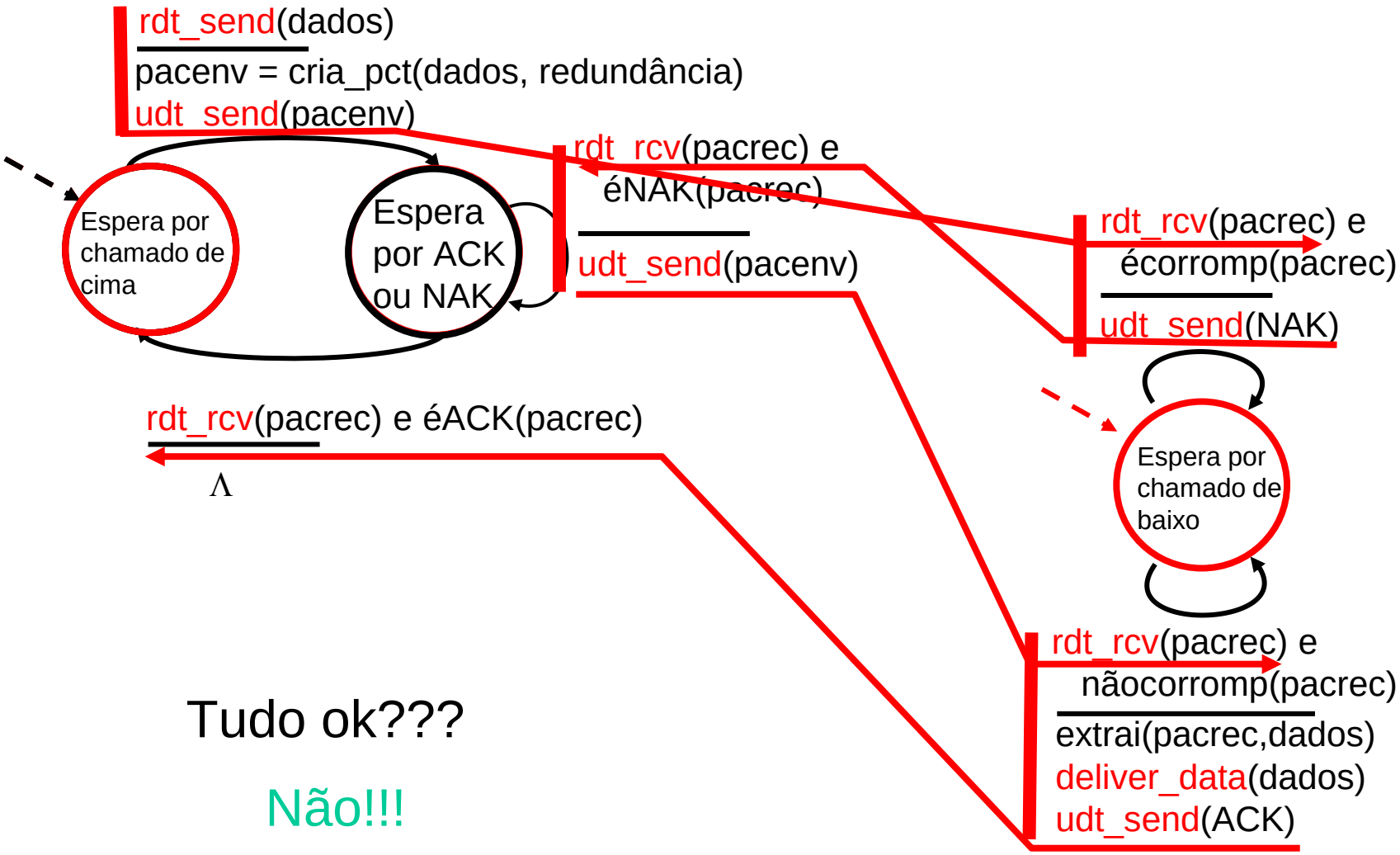
rdt2.0: Operação sem erros



Stop and Wait

Transmissor envia um pacote, então espera por resposta do receptor

rdt2.0: Cenário com erro



Tudo ok???

Não!!!

rdt2.0 tem um defeito fatal!

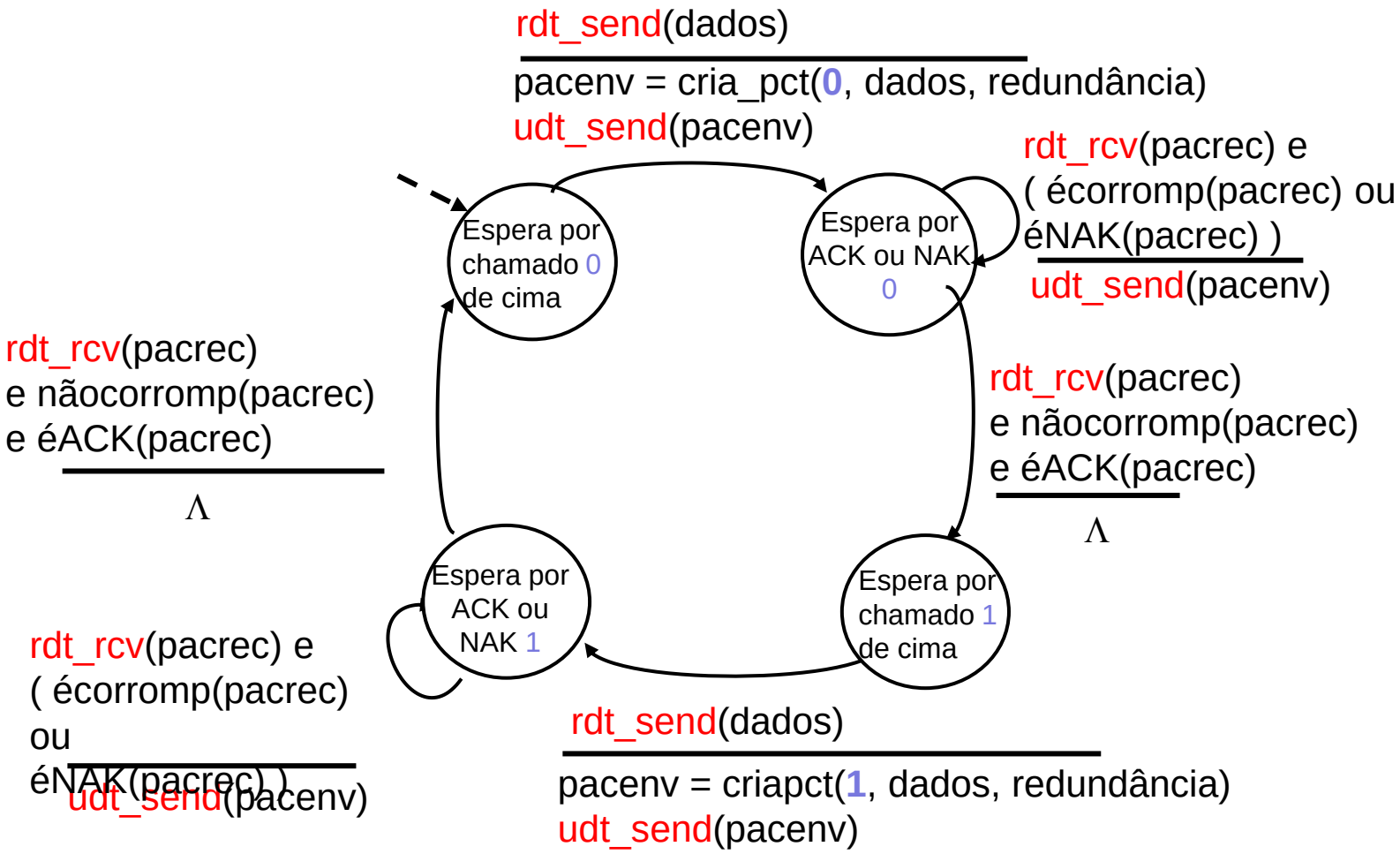
O que acontece se ACK/NAK corrompido?

- Transmissor não sabe o que aconteceu no receptor!
- Pode simplesmente retransmitir?
- Não! Possível duplicata!
- Como resolver?

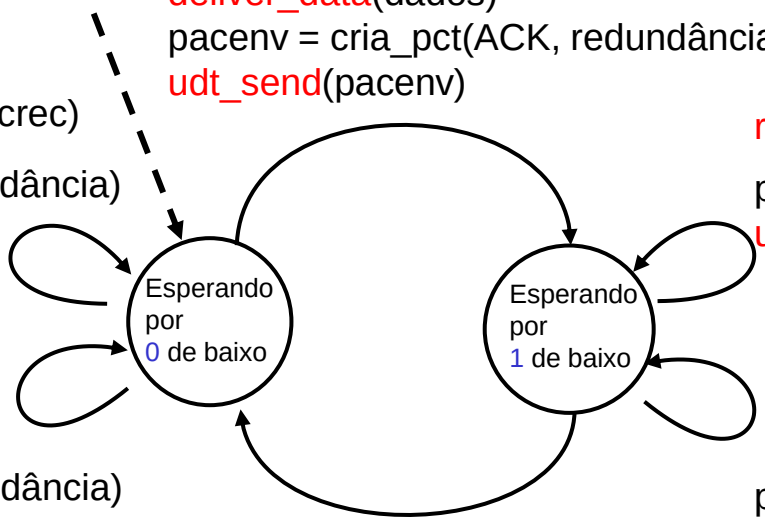
Lidando com duplicatas:

- Transmissor retransmite pacote corrente se ACK/NAK corrompido
- Transmissor adiciona *número sequencial* a cada pacote
- Receptor descarta (não entrega) pacote duplicado

rdt2.1: Transmissor, lidando com ACK/NAKs corrompidos



rdt2.1: Receptor, lidando com ACK/NAKs corrompidos



rdt_rcv(pacrec) e não corromp(pacrec) e temnumseq0(pacrec)

extrai(pacrec,dados)
deliver_data(dados)
pacenv = cria_pct(ACK, redundância)
udt_send(pacenv)

rdt_rcv(pacrec) e corromp(pacrec)

pacenv = cria_pct(NAK, redundância)
udt_send(pacenv)

rdt_rcv(pacrec) e não corromp(pacrec) e temnumseq1(pacrec)

pacenv= cria_pct(ACK, redundância)
udt_send(pacenv)

rdt_rcv(pacrec) e corromp(pacrec)

pacenv = cria_pct(NAK, redundância)
udt_send(pacenv)

rdt_rcv(pacrec) e não corromp(pacrec) e temnumseq0(pacrec)

pacenv= cria_pct(ACK, redundância)
udt_send(pacenv)

rdt_rcv(pacrec) e não corromp(pacrec) e temnumseq1(pacrec)

extrai(pacrec,dados)
deliver_data(dados)
pacenv= cria_pct(ACK, redundância)
udt_send(pacenv)

rdt2.1: Discussão

Transmissor:

- Número sequencial (`#seq`) adicionado ao pacote.
- 2 números sequenciais (0,1) são suficientes. Por que?
- Precisa verificar se ACK/NAK recebido corrompido.
- Dobro do número de estados:
  - Estado precisa "lembrar" se pacote "esperado" deve ter `#seq` 0 ou 1

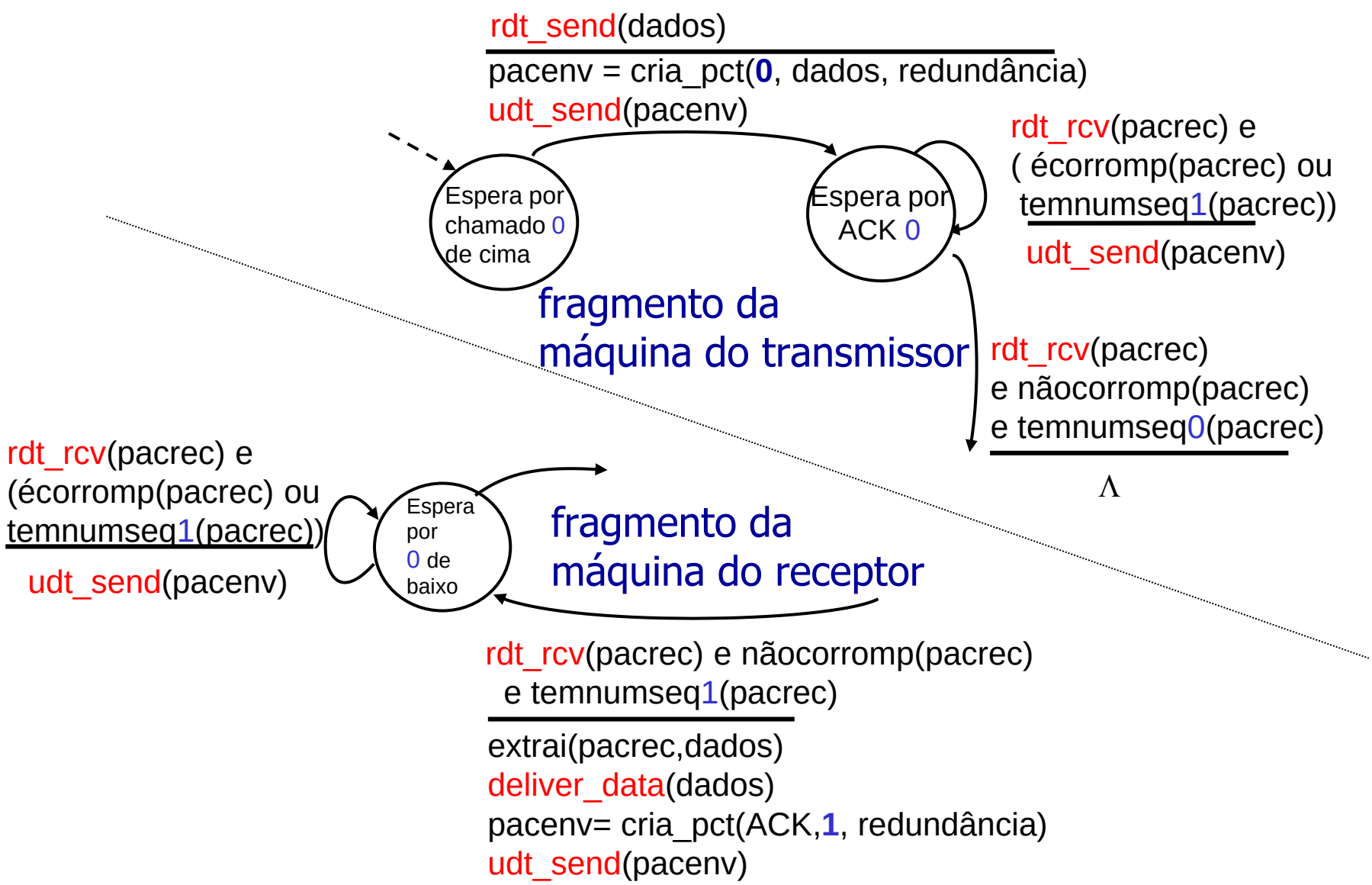
Receptor:

- Precisa checar se pacote recebido é duplicata:
  - estado indica se 0 ou 1 é `#seq` do pacote esperado.
- Precisa acrescentar redundância no ACK ou NAK.
- ACK ou NAK não precisa de número sequencial.

rdt2.2: Um protocolo sem NAK

- Mesma funcionalidade do rdt2.1, usando apenas ACKs.
- Em vez de NAK, receptor envia ACK para último pacote recebido OK.
  - Receptor precisa incluir *explicitamente* número sequencial do pacote associado ao ACK.
- ACK duplicado no transmissor resulta na mesma ação do NAK: *retransmite pacote atual.*

rdt2.2: Máquinas para transmissor e receptor



Exercícios interativos

- Exercício sobre o RDT 2.2 do livro do Kurose