

Redes de Computadores *//*

Módulo 1 – Introdução e a camada de enlace

A Camada de Enlace

Principal objetivo da camada:

Comunicar dados entre dois equipamentos de rede conectados ao mesmo meio de transmissão

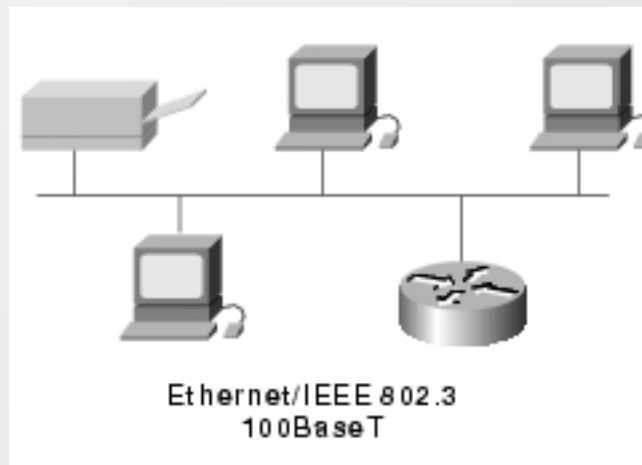


A Camada de Enlace

Enlaces podem ser:



Ponto-a-ponto



Multiponto

A Camada de Enlace

Equipamentos típicos para enlaces ponto-a-ponto:



Roteador *



PC como
roteador



Modems
ADSL e SDSL

A Camada de Enlace

Equipamentos típicos para enlaces multiponto:



Switch ethernet



Ponte (bridge)



Placa de rede

A Camada de Enlace

Equipamentos típicos para enlaces multiponto:



Placas de rede
WiFi

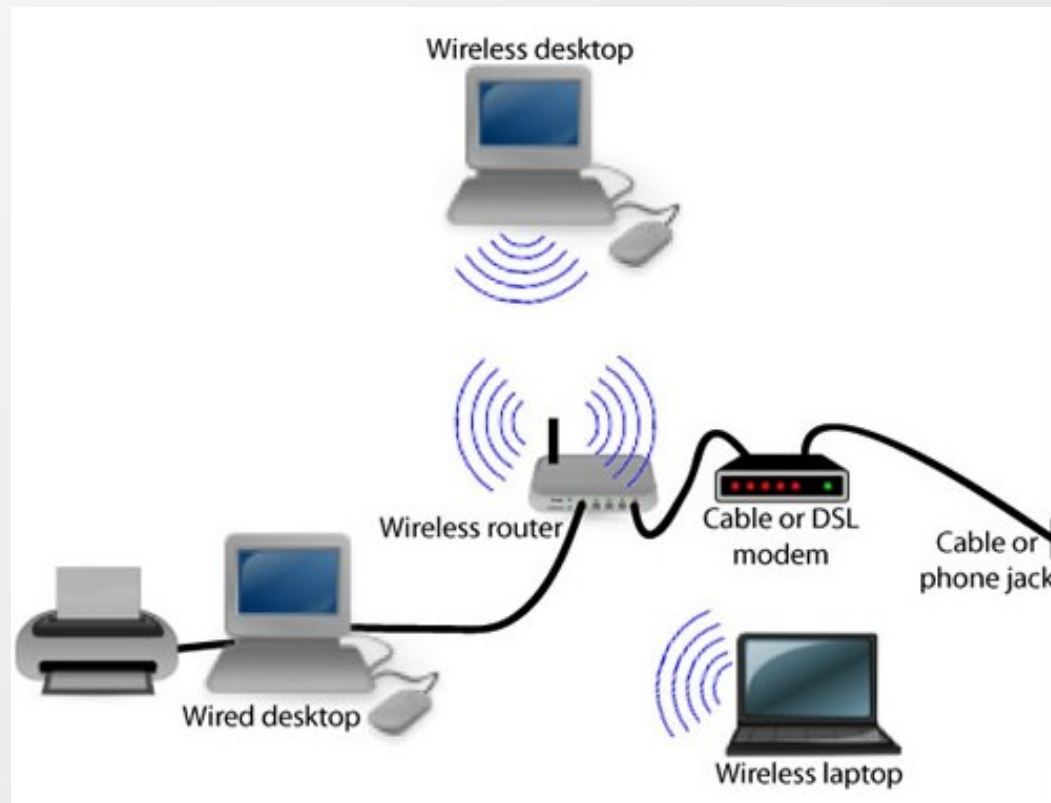


Access Point WiFi



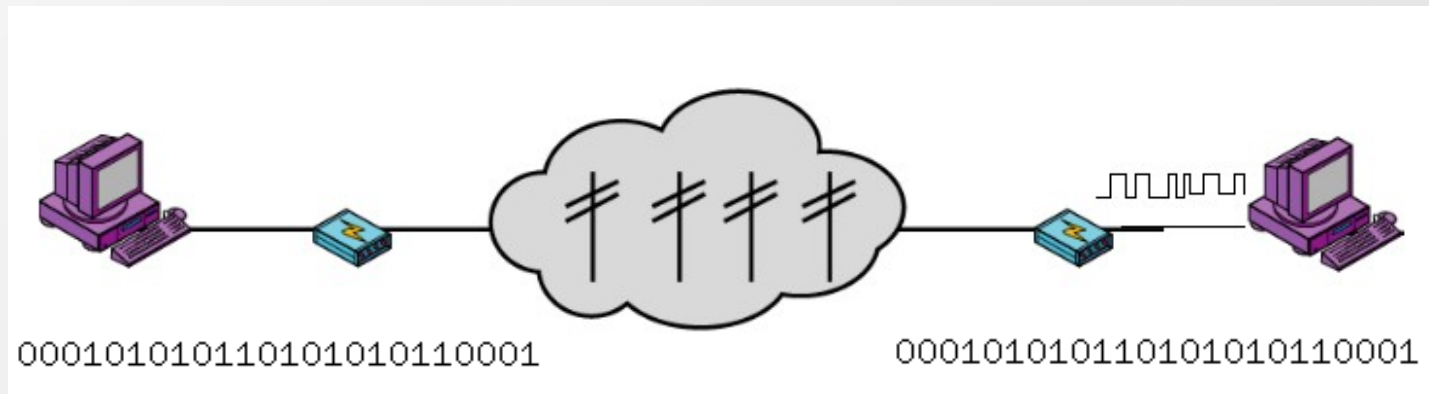
A Camada de Enlace

Equipamentos típicos para enlaces multiponto:



A Camada de Enlace

O meio de transmissão é visto como fonte e destino de bits em sequência



A Camada de Enlace

Comunicar dados significa:

- **Sincronizar quadros:** reconhecer os quadros (PDUs) dentro das sequências de bits
- **Controlar fluxo de quadros:** evitar enviar mais quadros que o destinatário pode receber
- **Controlar erros:** detectar e tratar erros em quadros
- **Endereçar os equipamentos:** identificar o destinatário em enlace multiponto
- **Gerenciar o enlace:** iniciar, manter e terminar enlaces

A Camada de Enlace

Unidade de transmissão (PDU) é o quadro:

Um quadro genérico:

<u>Sync</u>	<u>Header</u>	Carga ou <u>payload</u> (dados)	Trailer
-------------	---------------	---------------------------------	---------

Sync: informação para sincronizar quadros

Header ou cabeçalho: informações de controle

Payload ou carga: dados transportados

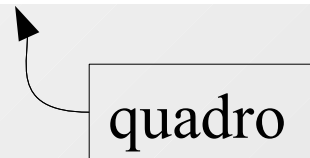
Trailer: informação de controle adicional

Camada de Enlace: Enquadramento

Sincronização de quadros (enquadramento):

- Identificar os quadros dentro da sequência de bits recebida.

110011111100011101000011000001010001010100001010100111111001111110111



Ex: equipamento de rede é ligado, e há uma sequência de bits chegando. Como identificar onde inicia e termina o primeiro quadro (e os quadros subsequentes) ?

Camada de Enlace: Enquadramento

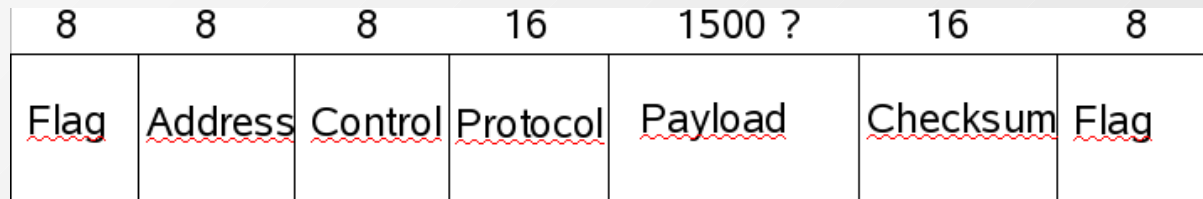
Antes de ver as abordagens para enquadramento ...

- *Protocolos orientados a byte ou caractere:*
 - ♦ Quadros são vistos como conjuntos de bytes
 - ♦ Ex: Protocolos Bisync, PPP
- *Protocolos orientados a bit:*
 - ♦ Quadros são vistos como conjuntos de bits
 - ♦ Ex: Protocolos HDLC e LAPF

Camada de Enlace: Enquadramento

Enquadramento para protocolos orientados a byte:

- **Sentinela:** bytes especiais delimitam quadros



Quadro PPP

Ex: Protocolo PPP usa Flag = 7E_H

Problema: e se o valor do byte especial aparecer dentro do quadro ?

Camada de Enlace: Enquadramento

Enquadramento para protocolos orientados a byte:

- **Sentinela:** se byte especial aparecer dentro do quadro, deve ser modificado para evitar que seja interpretado
 - ♦ Isto é denominado ***preenchimento de caractere***

Ex: PPP insere um byte com valor $7D_H$ antes do byte especial, além de inverter seu 6º bit.

Exercício: como ficaria a sequência de escape para os seguintes valores, de acordo com o PPP:

a) $7E_H$ b) $7D_H$ c) 01 d) 20_H e) FF_H

Camada de Enlace: Enquadramento

Enquadramento para protocolos orientados a byte:

- **Contador:** quadro contém um campo que informa o comprimento do campo de dados
- Simples, mas se valor do contador for corrompido o enquadramento ficará comprometido (*framing error*)
- *Exercício:* pesquise um protocolo de enlace que use a abordagem do contador

Camada de Enlace: Enquadramento

Enquadramento para protocolos orientados a bit:

- **Sentinela:** uma sequência de bits especial delimita os quadros

8	8	8 ou 16	variável	16 ou 32	8
<u>Flag</u>	<u>Address</u>	<u>Control</u>	<u>Information</u>	FCS	<u>Flag</u>

Quadro HDLC

Ex: Protocolo HDLC usa sequência de bits 01111110

- Problema: e se esta sequência aparecer dentro do quadro ?

Camada de Enlace: Enquadramento

Enquadramento para protocolos orientados a bit:

- **Sentinela:** se a sequência de bits aparecer dentro do quadro, um bit 0 é inserido após o 5º bit 1
 - ♦ Isto se chama **preenchimento de bit**

Exemplo: se a sequência abaixo precisasse ser transmitida no corpo de um quadro HDLC, como ela precisaria ser modificada ?

001010100111101111100010101111100001010001

Se a sequência abaixo fosse recebida, qual seria a sequência original ?

00011000111110100000001111000000001000

Camada de Enlace: Enquadramento

- **Sincronização de quadros no protocolo HDLC:**

- *Flag 01111110 delimita os quadros*
- *Quadros sucessivos são delimitados por apenas uma flag 01111110:*

01111110 <quadro> 01111110 <quadro> 01111110

- *Link ocioso é preenchido por flags 01111110 sucessivas*

01111110 <quadro> 01111110 01111110 01111110

- *Pesquisa: o que poderia causar erros de enquadramento (framing errors), como por vezes reportado em interfaces de roteadores ?*

Camada de Enlace: Erros

- Para garantir a entrega de quadros no destinatário, deve haver **controle de erros**.
- Controle de erros trata da **detecção e recuperação de erros**
 - ♦ **Detecção:** baseada em informação adicional posta no quadro para que o receptor possa verificar sua integridade
 - ✓ Feita por praticamente todos os protocolos
 - ♦ **Recuperação:** envolve a correção do quadro pelo próprio receptor, ou sua retransmissão
 - ✓ ... porém não é incomum que o quadro seja simplesmente descartado

Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros:** a sequência de bits transmitida pode ser corrompida durante a transmissão

P_b = probabilidade de um erro de bit simples (ou taxa de erro de bit)

- Para um quadro com F bits, a probabilidade de que não sofra erros é:

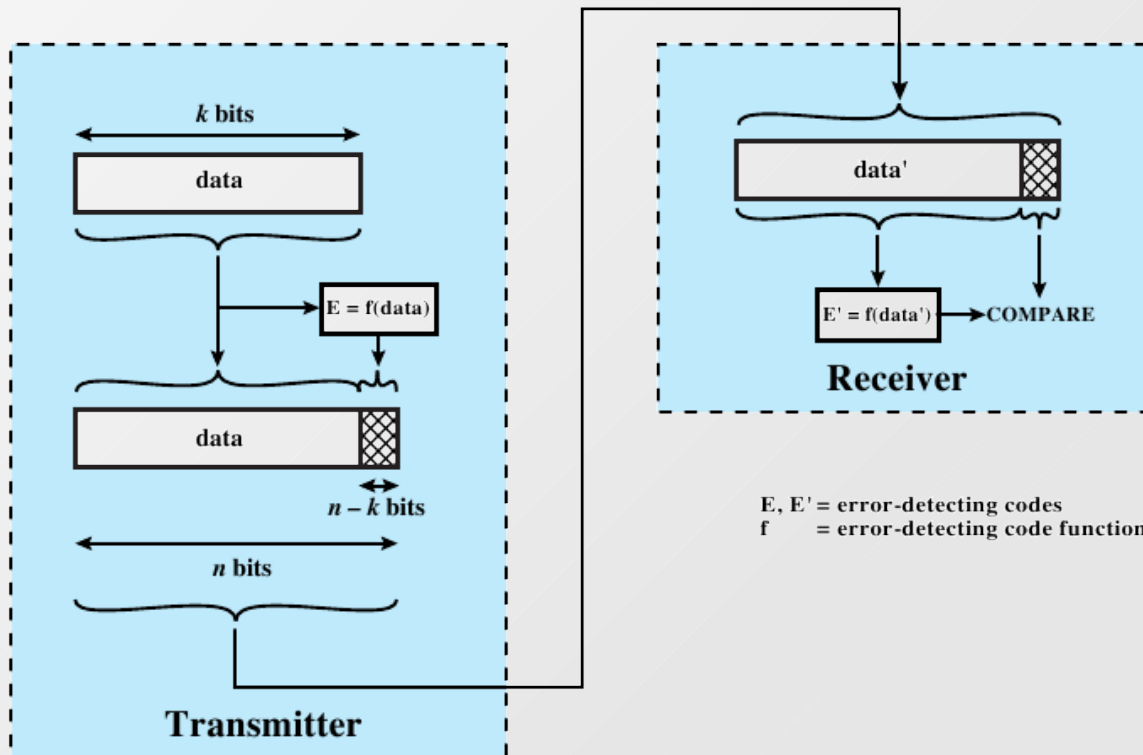
$$P_F = (1 - P_b)^F$$

- Ex: para um quadro de 1500 bytes, e um meio de transmissão com taxa de erro de bit de 10^{-6} , qual a probabilidade de um quadro não sofrer erros ?

$$P_{12000} = (1 - 10^{-6})^{12000} = 0,9881$$

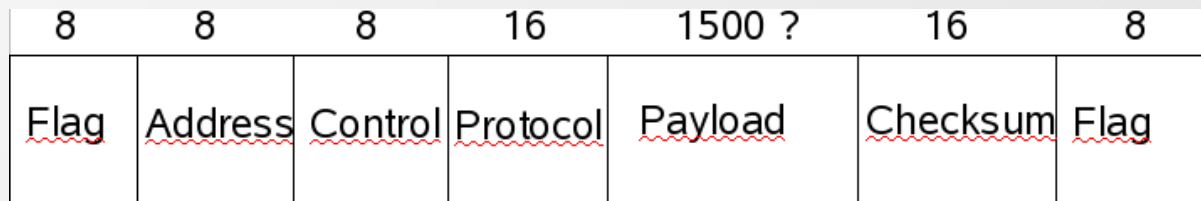
Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros:** transmissor adiciona informação ao quadro para que receptor possa verificar sua integridade.
 - Informação calculada a partir do conteúdo do quadro

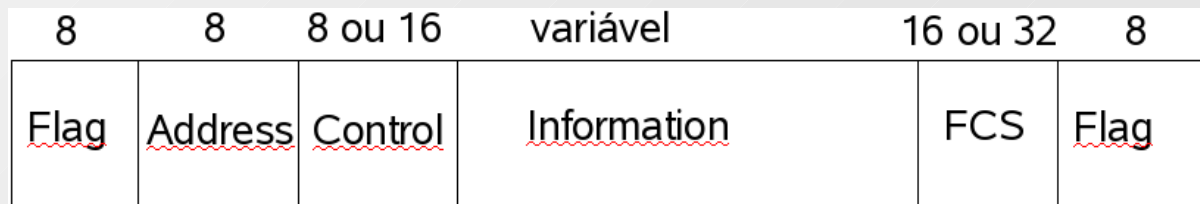


Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros:** transmissor adiciona informação ao quadro para que receptor possa verificar sua integridade.
 - ♦ Ex: quadro PPP tem o campo Checksum (ou FCS)



- Ex: quadro HDLC tem campo FCS (*Frame Check Sequence*)



Camada de Enlace: Erros

- **Deteccção de erros:** informação adicional gerada via bit de paridade
 - ♦ Calculado para que paridade dos bits do quadro seja par ou ímpar

001101 → P = 1

110011 → P = 0

- ♦ **Problemas:**
 - ✓ Detecta apenas se houver número ímpar de erros de bit
 - ✓ Não localiza o erro

Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros:** paridade bidimensional
 - Uma variação é tratar quadro como matriz de bits, e gerar paridades para linhas e colunas:

00110101	0	← Paridades das linhas
11001100	0	
00001000	1	
01010101	0	
10011111	0	
10100101	0	
00100010	0	
00000010	1	
10111110		← Paridades das colunas

- Ainda sujeito a problemas se ocorrer mais de um erro de bit
- *Overhead* alto: muitos bits adicionais enviados

Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros:** na prática paridade não é usada em protocolos de enlace (nem em outros protocolos de camadas superiores !)
- Técnica dominante é **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*):
 - O valor de CRC tem tamanho fixo (usualmente 8, 16 ou 32 bits)
 - O CRC é calculado de forma que os bits do quadro + CRC sejam divisíveis por um número padrão
 - ✓ Se a divisão apresentar resto, então assume-se que existe erro no quadro

Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros: CRC**

- ♦ Para gerar o CRC usa-se aritmética em módulo 2 (adição binária sem *carrier*, que equivale à operação XOR)

$$\begin{array}{r} 1111 \\ + 1010 \\ \hline 0101 \end{array}$$

- ♦ **Define-se:**

T = quadro com $(k + n)$ bits a ser transmitido, com $n < k$

M = mensagem com k bits

F = CRC com n bits

P = padrão com $n+1$ bits, que é o divisor predefinido

Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros: CRC**

- Deseja-se que T/P não tenha resto, sendo que T é definido como:

$$T = 2^n M + F$$

- Supõe-se que se divida $2^n M$ por P :

$$2^n M / P = Q + R/P$$

- ... sendo Q o quociente e R o resto. Sendo uma divisão binária, R tem no mínimo 1 bit a menos que P . O resto é usado como valor de CRC:

$$T = 2^n M + R$$

Obs: representa-se P como um polinômio. Ex:

$$P = 110101 \longrightarrow x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

Camada de Enlace: Erros

- **Detecção de erros: CRC**

- ♦ Usar o resto como CRC satisfaz a condição de ter resto zero para divisão de T/P ?

$$T/P = (2^n M + R) / P$$

$$T/P = Q + R/P + R/P$$

- ♦ ... porém qualquer número adicionado a si mesmo com aritmética de módulo 2 resulta em zero. Portanto:

$$T/P = Q + (R + R)/P = Q$$

- ♦ ... e assim não há resto !

Camada de Enlace: Erros

▪ Detecção de erros: CRC

♦ Um exemplo:

✓ $M = 1010001101$

✓ $P = 110101$

♦ Para calcular R:

$$\begin{array}{r} \text{101000110100000} \text{ (T)} \\ \underline{110101} \\ 111011 \\ \underline{110101} \\ 111010 \\ \underline{110101} \\ 111110 \\ \underline{110101} \\ 101100 \\ \underline{110101} \\ 110010 \\ \underline{110101} \\ 001110 \text{ (R)} \end{array}$$

Assim: $T = 1010001101001110$

Camada de Enlace: Erros

- **Alguns valores padrão de CRC:**

- **CRC-8:** $x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$
- **CRC-16:** $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- **CRC-32:** $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

- *Exercícios:*

- i) Calcule o valor R de CRC-8 para a mensagem M
110010101000101011
- ii) Verifique a integridade de seu quadro T com o CRC
calculado ($T = 2^n M + R$)
- iii) Modifique um bit qualquer de T e faça nova verificação

Camada de Enlace: Erros

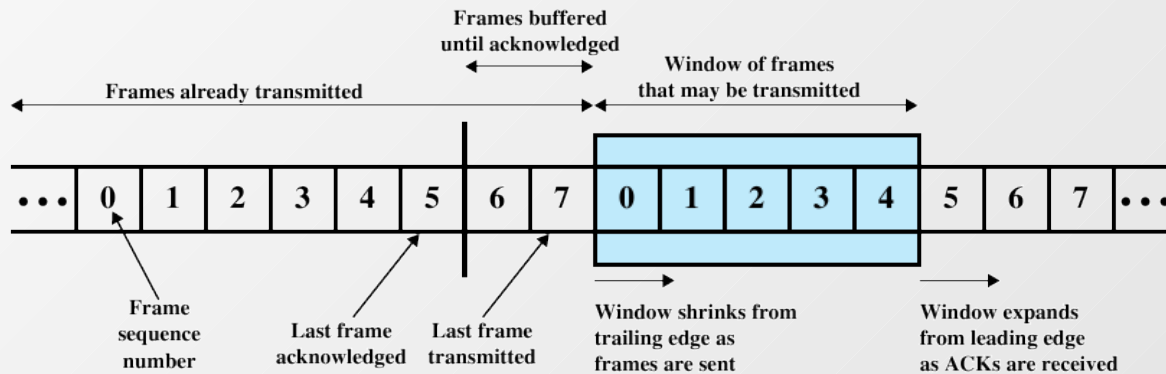
- CRC é a técnica de detecção de erro usada pela maioria dos protocolos (PPP, HDLC, LAPF, Ethernet, WiFi, ...)
- Campo FCS dos quadros desses protocolos carregam o valor do CRC:
 - ♦ PPP: CRC-16
 - ♦ HDLC: CRC-16 ou CRC-32
 - ♦ LAPF: CRC-16
 - ♦ Ethernet e WiFi: CRC-32

Camada de Enlace: Erros

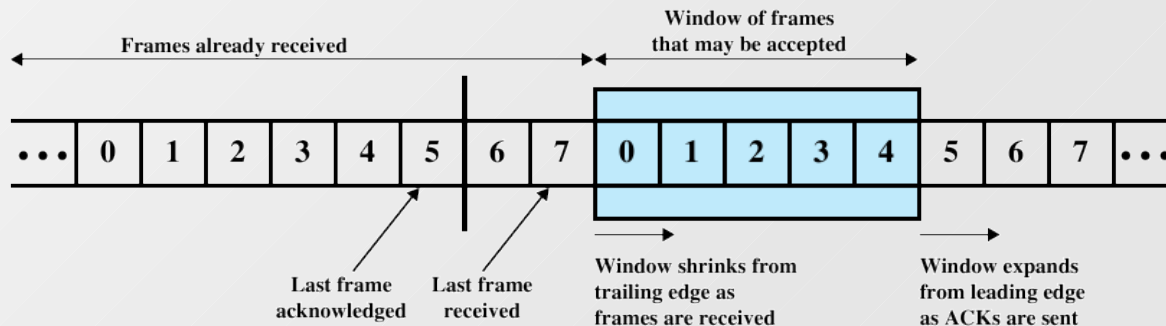
- **Recuperação de erros:** controle para retransmissão de quadros perdidos ou danificados
 - ♦ *Deteção de erro*
 - ♦ *Reconhecimento positivo*
 - ♦ *Retransmissão após timeout*
 - ♦ *Reconhecimento negativo e retransmissão*
- Mecanismos juntos conhecidos como **ARQ** (*Automatic Repeat Request*), podendo ser do tipo:
 - ♦ *Stop-and-wait*
 - ♦ *Go-back-N*
 - ♦ *Rejeição seletiva*

Camada de Enlace: Erros

- **Protocolos ARQ usam janela deslizante:**



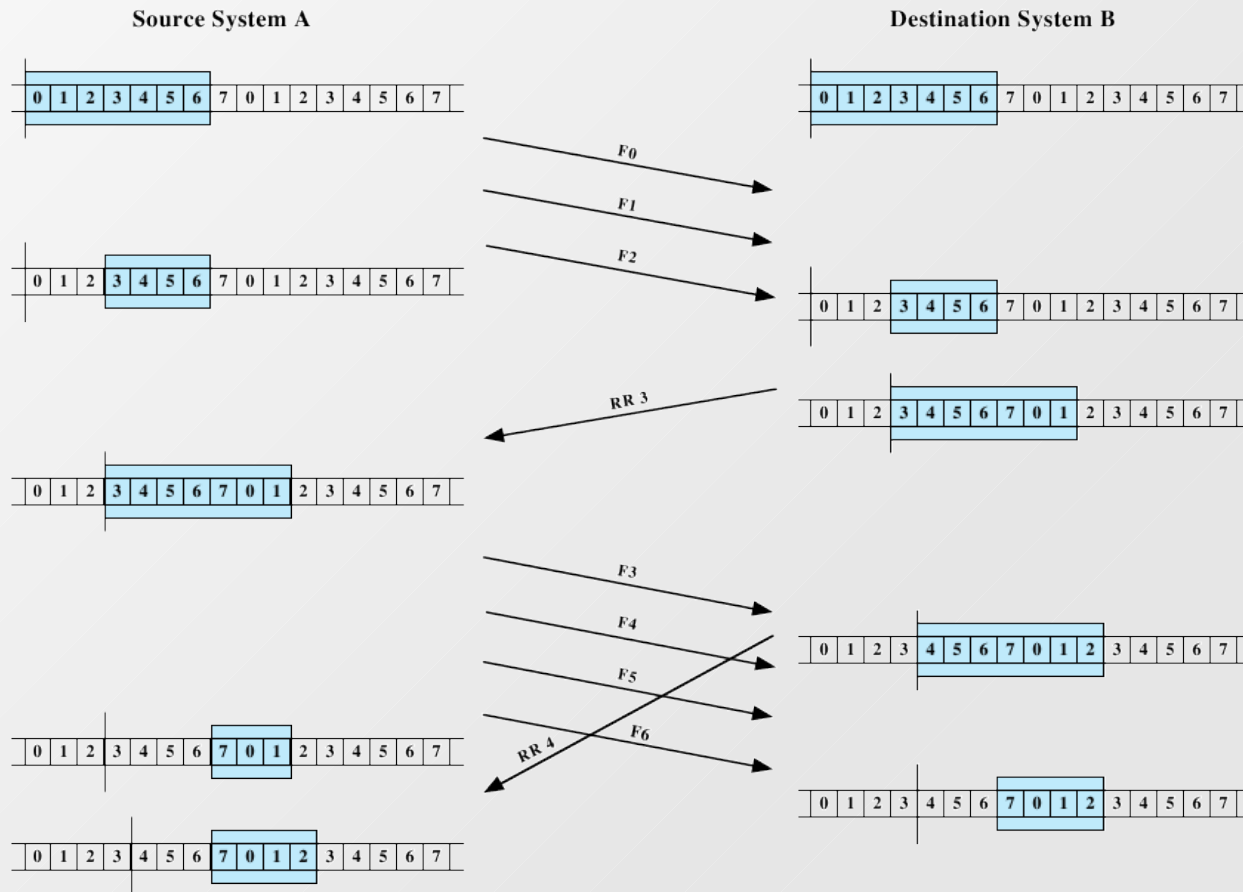
(a) Sender's perspective



(b) Receiver's perspective

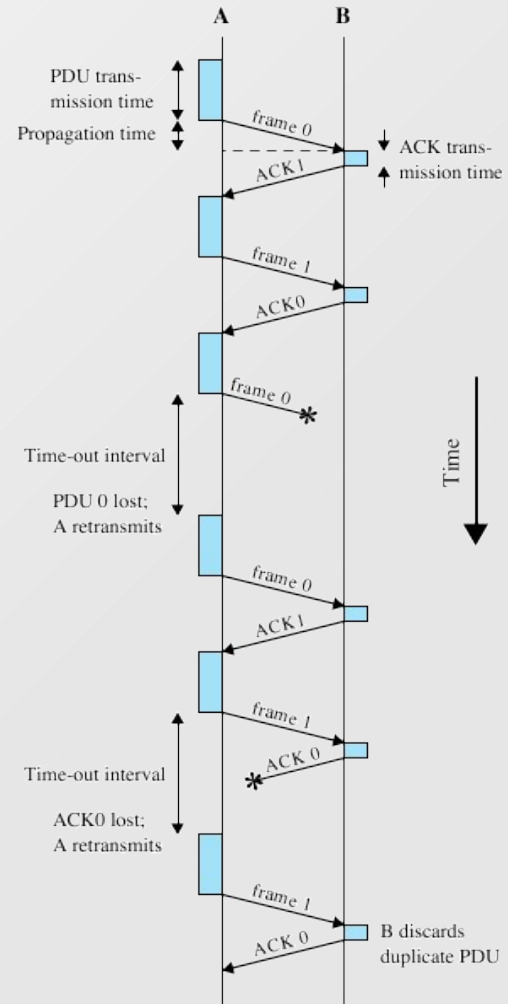
Camada de Enlace: Erros

- **Protocolos ARQ usam janela deslizante:**



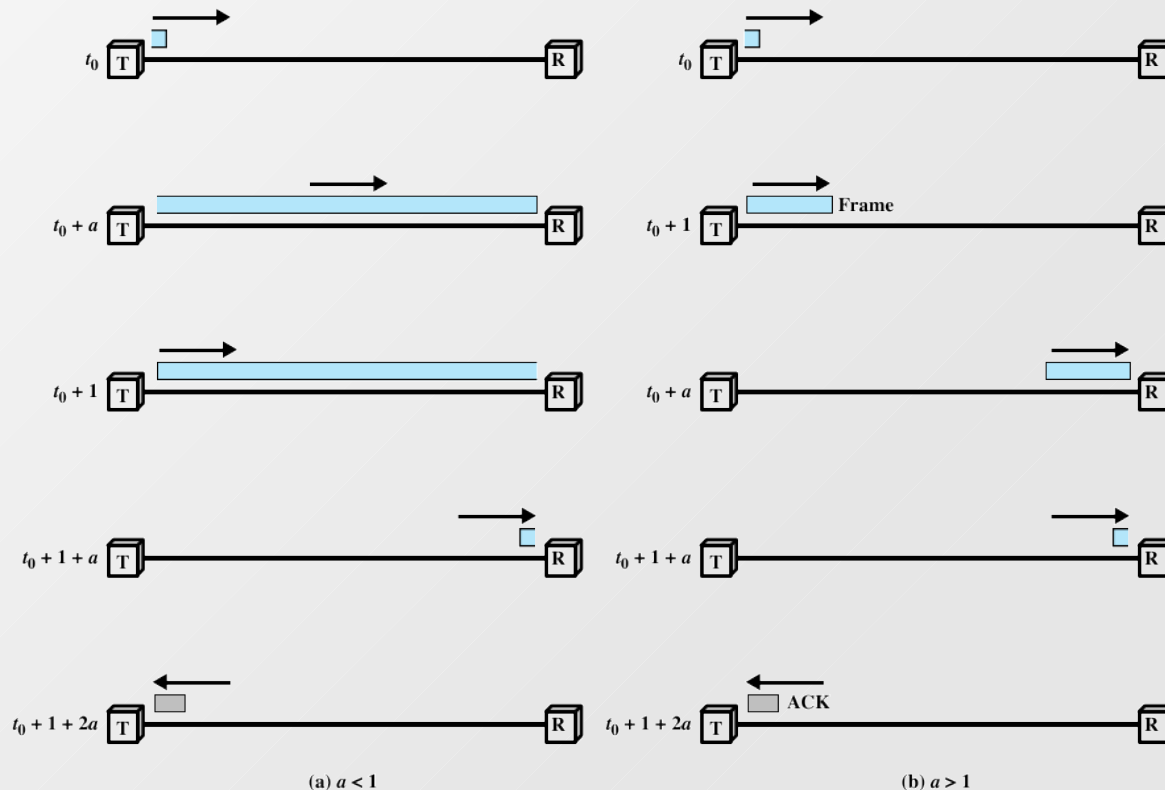
Camada de Enlace: Erros

- ***Stop-and-wait:*** cada quadro deve ser confirmado pelo receptor
- Próximo quadro enviado somente após receber confirmação do quadro anterior
 - ♦ Janelas de envio e recepção de tamanho 1



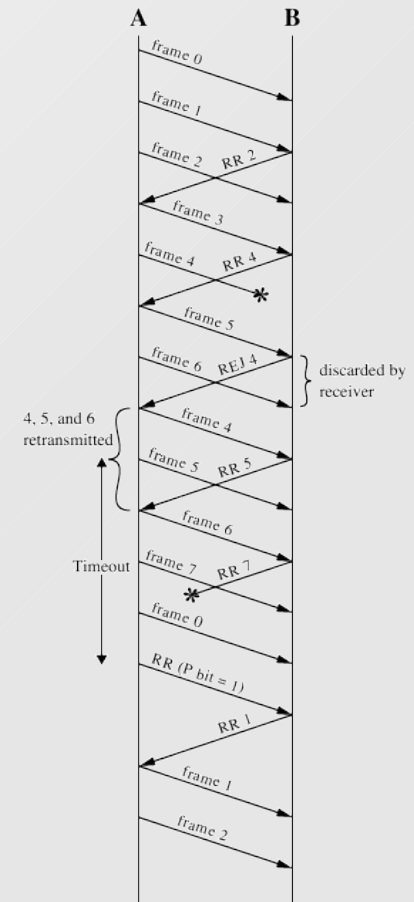
Camada de Enlace: Erros

- **Stop-and-wait:** baixa eficiência para links com atrasos maiores que tempo de quadro



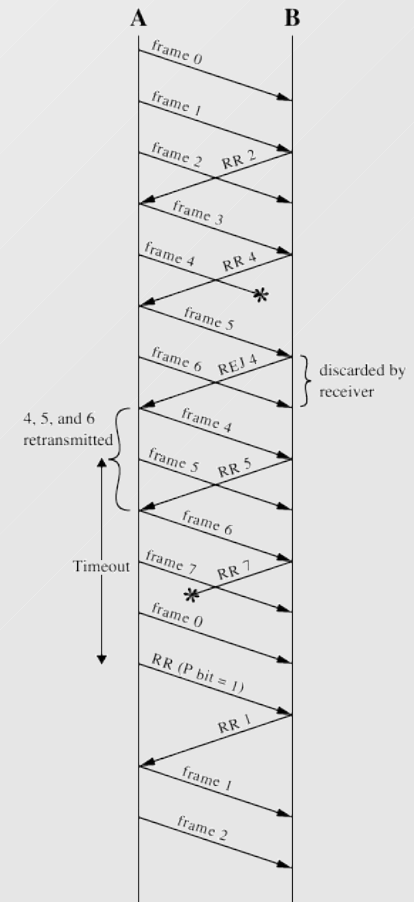
Camada de Enlace: Erros

- **Go-Back-N:** *podem-se transmitir até N quadros antes de receber uma confirmação.*
- Em caso de erro, todos os quadros anteriores ao quadro perdido/danificado serão também retransmitidos
 - ♦ Janela de recepção de tamanho 1
 - ♦ Janela de transmissão de tamanho M



Camada de Enlace: Erros

- **Selective Reject** podem-se transmitir até *N* quadros antes de receber uma confirmação.
- Em caso de erro, apenas o quadro perdido/danificado é retransmitido
 - ♦ Janela de recepção de tamanho R
 - ♦ Janela de transmissão de tamanho M

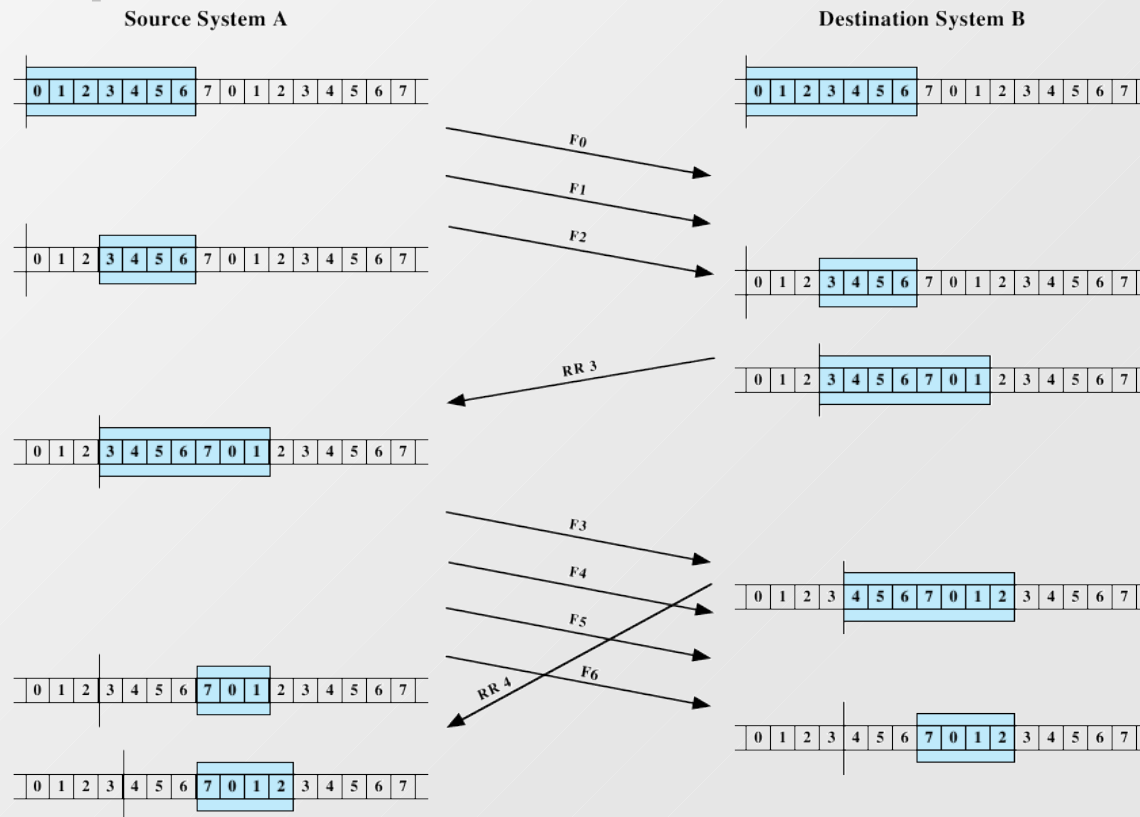


Camada de Enlace: Erros

- **Mecanismo de janela-deslizante pode ser usado também para controle de fluxo**
 - ♦ Janela de transmissão define quantos quadros podem ser enviados sem que se receba confirmação
 - ✓ Aproveita-se o atraso de propagação do canal para encadear quadros, e melhor aproveitar sua capacidade
 - ♦ Janela de recepção define quantos quadros podem ser recebidos antes de serem processados
 - ✓ Regula-se assim o fluxo de quadros vindos do transmissor

Camada de Enlace: Erros

- Mecanismo de janela-deslizante pode ser usado também para controle de fluxo



Camada de Enlace: Erros

▪ **Perguntas**

- 1) Um canal tem taxa de bits de 4kbs e atraso de propagação de 20 ms. Para que valores de tamanhos de quadro um protocolo stop-and-wait tem eficiência de ao menos 50% ?
- 2) Considere o uso de quadros com 1000 bits em um canal por satélite de 1 Mbps e atraso de 270 ms. Qual a utilização máxima do enlace para:
 - a. Controle de fluxo stop-and-wait ?
 - b. Controle de fluxo com janela de tamanho 7 ?
 - c. Controle de fluxo com janela de tamanho 127 ?
 - d. Controle de fluxo com janela de tamanho 255 ?

Camada de Enlace: Erros

- ***Perguntas***

- 3) Dois nodos vizinhos A e B usam um protocolo de janela-deslizante com números de sequência de 3 bits, com Go-Back-N com janela de tamanho 4. Sendo que A transmite e B recebe, mostre as posições da janela após os seguintes eventos:
 - a) Antes que A envie quaisquer quadros
 - b) Após A enviar quadros 0, 1 e 2 e B reconhecer 0 e 1, com A recebendo os ACKs
 - c) Após A enviar quadros 3, 4 e 5 e B reconhecer 4, com A recebendo esse ACK

Camada de Enlace: Erros

- ***Pesquisa: qual a abordagem predominante para controle de erros ?***
 - ♦ *PPP ?*
 - ♦ *HDLC ?*
 - ♦ *LAPF ?*
 - ♦ *Ethernet (IEEE 802.3) ?*
 - ♦ *WiFi (IEEE 802.11) ?*