

Redes de Computadores

Controle de fluxo

Aula 07

Introdução

- ❑ Comunicação em um enlace envolve a coordenação entre dois dispositivos, o emissor e o receptor
 - Serviço de entrega confiável ou não
- ❑ Serviço confiável
 - Controle de fluxo:
 - Define quantos dados um emissor pode enviar antes de esperar uma confirmação (*ack*) do receptor
 - Está relacionado com capacidade de *buffer* do receptor
 - Controle de erros:
 - O que fazer quando apenas se detecta erros?
 - Descarte do quadro seguido de retransmissão, porém, o QUE retransmitir, COMO e QUANDO?

Controle de fluxo

- ❑ Mecanismo de retroalimentação que informa a fonte (emissor) a capacidade de recepção do destino (receptor)
 - Objetivo é evitar perda de dados por estouro em buffers de recepção
- ❑ Mecanismos básicos: *stop-and-wait* e janela deslizante
- ❑ Análise considera transmissão sem erros
 - Todos os quadros são transmitidos com sucesso
 - Nenhum quadro é perdido
 - Nenhum quadro possui erros
 - Ordem de chegada é igual a ordem de emissão



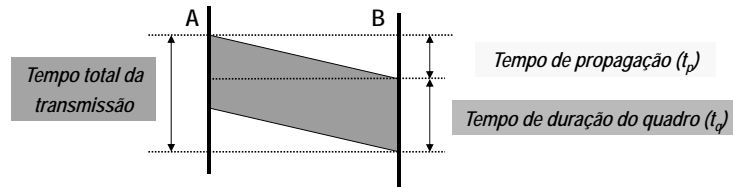
Próxima aula será analisado o que ocorre se houver erros

Questões importantes

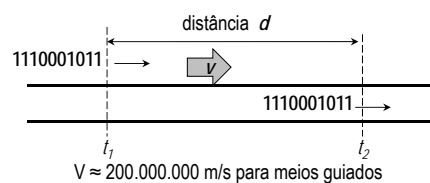
- ❑ Característica do enlace:
 - *half-duplex* versus *full-duplex*
- ❑ Duração da transmissão de um quadro depende:
 - Tempo de propagação do sinal no meio
 - Função da distância a ser percorrida e da velocidade de propagação
 - Tempo de duração do quadro
 - Função do tamanho do quadro e do tempo de propagação
- ❑ Quantidade de dados (quadros) que o emissor pode enviar antes de ser obrigado a parar de transmitir

Duração da transmissão

- ❑ Soma do tempo de propagação (t_p) com a duração do quadro (t_q)



$$\text{Tempo de propagação} = t_2 - t_1 = d/v$$



$$t_q = \frac{L}{R}$$

Onde,

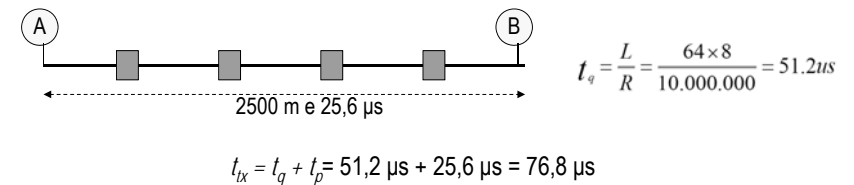
L: tamanho do quadro em bits

R: taxa de transmissão (*bits/sec*)

Exemplo: IEEE 802.3 (padrão original)

- ❑ Padrão define:

- Taxa de transmissão de 10 Mbps \rightarrow 0,1 μ s por bit
- Diâmetro da rede: 2500 m, composto por 5 segmentos de até 500 m, interligados por quatro repetidores
 - Maior distância entre dois dispositivos
- Cabo coaxial (tempo de propagação = 25,6 μ s, incluindo os 4 repetidores)
- Quadro mínimo igual a 64 bytes (512 bits)

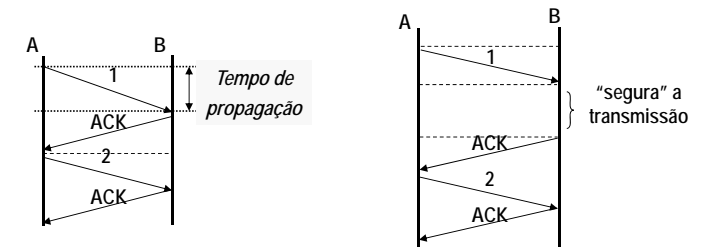


Quantidade de dados

- ❑ Objetivo é evitar estouro de buffer no receptor
 - Controle de fluxo
- ❑ Protocolos de controle de fluxo
 - Controla a quantidade de dados que pode ser enviada antes do transmissor ser obrigado a parar de transmitir
 - Duas estratégias
 - *Stop and wait*
 - Janela deslizante

Protocolo de controle de fluxo *stop-and-wait*

- ❑ Emissor só pode enviar um quadro /depois de ter recebido a confirmação da recepção do quadro $i-1$
 - Definição de dois tipos de quadros: quadro de dados e quadros de controle (ACK)



As setas representam quadros e não bits, portanto, os gráficos acima não mostram a duração dos quadros.

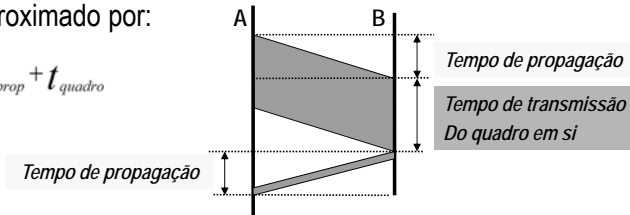
Análise de desempenho: *stop-and-wait*

- O tempo total para enviar um quadro e receber um *ack* é dado por:

$$T = t_{prop} + t_{quadro} + t_{proc} + t_{prop} + t_{ack} + t_{proc}$$

- Pode ser aproximado por:

$$T = 2 \times t_{prop} + t_{quadro}$$



- Eficiência da utilização do meio é:

$$U = \frac{t_{quadro}}{2t_{prop} + t_{quadro}} \quad \text{fazendo } a = \frac{t_{prop}}{t_{quadro}} \Rightarrow U = \frac{1}{2a+1}$$

Análise do método *stop-and-wait*

- Exemplo: Canal de 1 Mbps, tempo de propagação = 1 ms, e quadro de 1000 bits

- $t_q = 1000 \text{ bits} \times 1 \mu\text{s} = 1 \text{ ms}$; $t_p = 1 \text{ ms}$; $t_{total} = 2 \text{ ms}$
- Considerando o t_q do *ack* desprezível, se tem uma transmissão a cada 3 ms ($2t_p + t_q$)
 - Então, o canal de 1 Mbps apresenta um desempenho de 333,33.. Kbps!!! ☹

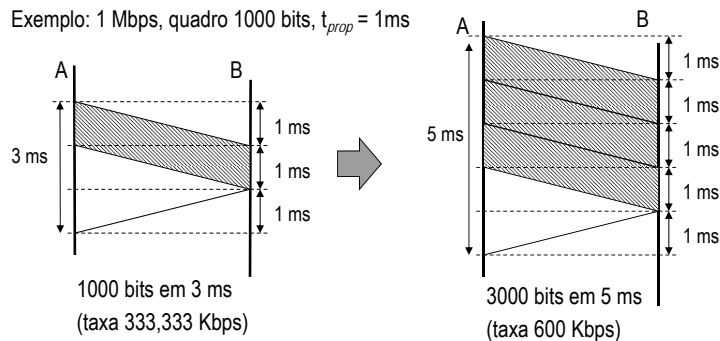
- Inconvenientes do *Stop-and-wait*

- Subutiliza o meio de transmissão
- Comunicação é sempre *half-duplex* mesmo quando o meio permite *full-duplex*

Problema do *stop-and-wait* é ter apenas um quadro em trânsito, por vez.

Envio de n quadros

Exemplo: 1 Mbps, quadro 1000 bits, $t_{prop} = 1 \text{ ms}$

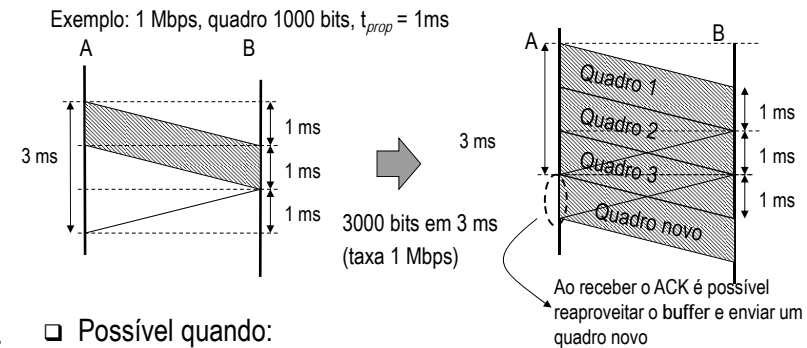


- Questão:

- Porque simplesmente não aumentar o tamanho do quadro?

Envio de n quadros continuamente

Exemplo: 1 Mbps, quadro 1000 bits, $t_{prop} = 1 \text{ ms}$



- Possível quando:

- houver dados suficientes para enviar se obtém um efeito *pipeline*
 - Transmite quadro de dados $i+1$ antes de receber ack do i
- Enlace for *full duplex*

Protocolo de controle de fluxo por janela deslizante

- ❑ Permite a origem enviar q quadros sem esperar pela confirmação (*ack*) do destino
 - Necessário que o destino informe sua capacidade de “absorção” de quadros
 - Número de quadros enviados não deve ultrapassar capacidade de buffer do destino
- ❑ Princípio básico:
 - Numerar sequencialmente (módulo N) os quadros a serem transmitidos
 - A capacidade inicial da janela (*buffer*) é 2^N , depois vai sendo ajustado conforme quadros são enviados e confirmados pelo receptor
 - Informar continuamente a capacidade de “absorção” de quadros do destino
 - Controlar os quadros enviados e recebidos

13

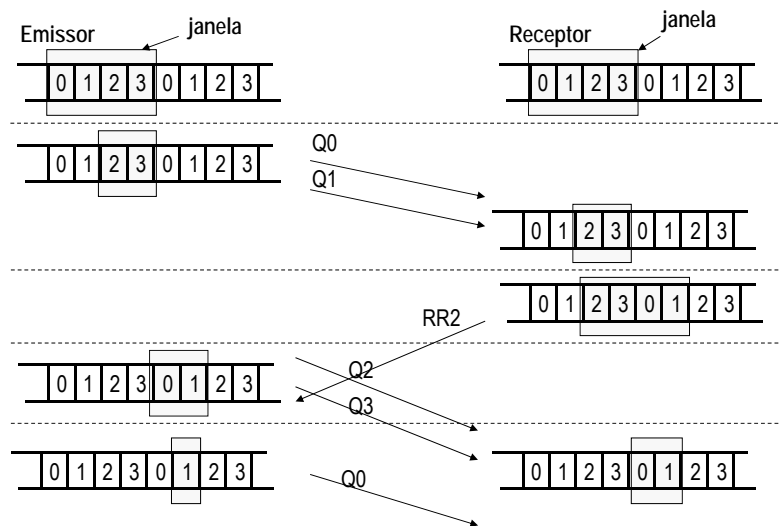
Implementação da janela deslizante

- ❑ Dois tipos de quadros
 - Quadro de dados: informação e número de sequência
 - Quadros de controle: *Receive Ready* (RR n) e *Receive Not Ready* (RNR n)
- ❑ Numeração sequencial usando k bits (0 a 2^k-1)
 - Limitação em k bits fornece o efeito módulo (e.g. $k=2$; 0, 1, 2, 3, 0, 1, 2, 3...)
- ❑ Semântica dos quadros de controle:
 - RR n : recebi até o quadro $n-1$; pode enviar o quadro n
 - RNR n : recebi até o quadro $n-1$; mas não estou pronto para receber o quadro n
- ❑ RR e RNR tem efeito acumulativo

Redes de Computadores

14

Exemplo funcionamento janela deslizante (sem erros)



15

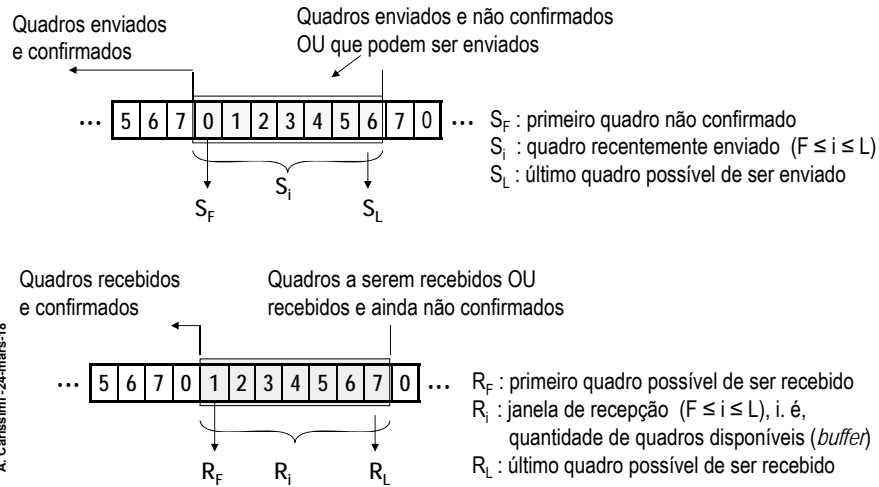
Janela deslizante no youtube

- ❑ Simulação da janela deslizante
 - <http://www.youtube.com/watch?v=EHaSQBORyDI>

Redes de Computadores

16

Implementação janela deslizante



Análise de desempenho: janela deslizante

- ❑ O uso do canal depende do tamanho da janela e do parâmetro a
 - Relação entre o tempo de propagação e o tempo de duração do quadro

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{quadro}}$$

- Também pode ser visto como a capacidade em bits para "preencher" todo o meio em relação ao tamanho do quadro (L), dado por:

$$a = \frac{d/v}{L/R} = R \times \frac{d}{vL}$$

Produto largura de banda-atraso

- ❑ Desempenho se traduz pela quantidade de bits no meio
 - Tempo de transmissão é $W = n * t_{quadro}$
 - Se preencher meio obtém eficiência de 100%

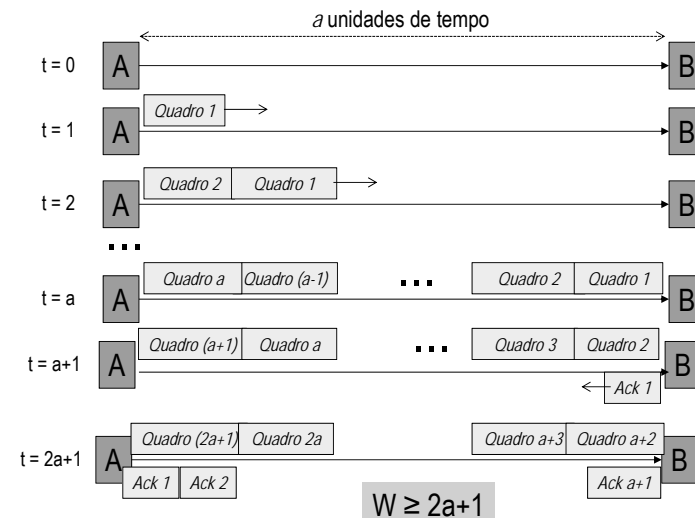
Análise de desempenho: janela deslizante (cont.)

- ❑ Se:
 - Normalizando tempo de duração $t_{quadro} = 1$ então a = tempo de propagação
- ❑ Caso 1: $W \geq 2a + 1$
 - O ack de um quadro i é recebido antes da capacidade da janela ter se esgotado, ou seja, é possível enviar continuamente
- ❑ Caso 2: $W < 2a + 1$
 - O emissor esgota sua capacidade de transmissão em $t = W$, ou seja, não pode transmitir mais quadros até receber um ack

$$\text{eficiência} = \begin{cases} 1 & \text{para } W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{(2a + 1)} & \text{para } W < 2a + 1 \end{cases}$$

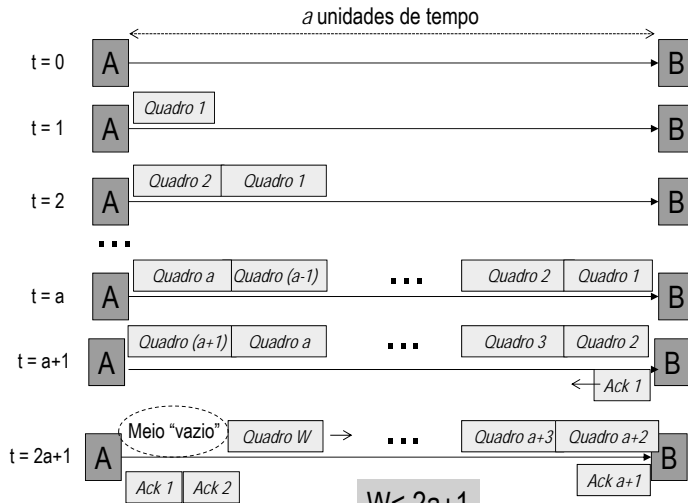
Outra forma de ver... (eficiência = 1)

Supondo $t_{quadro} = 1$,
 tem-se $a = t_{propagação}$
 pois $a = t_{propagação} / t_{quadro}$



Outra forma de ver... (eficiência < 1)

Supondo $t_{quadro}=1$,
tem-se $a = t_{propagação}$
pois $a = t_{propagação}/t_{quadro}$

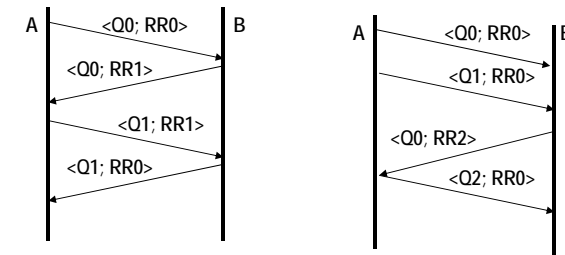


Redes de Computadores

21

Piggybacking

- ❑ Otimização quando há dados sendo transmitidos nos dois sentidos
- ❑ Envio da confirmação ($RR\ n$ ou $RNR\ n$) junto com dados
 - Se não existe dados a serem enviados, se envia quadro $RR\ n$ ($RNR\ n$)
 - Se existe dados a serem enviados, mas não existe ainda uma confirmação a ser enviada, reenvia (repete) o último $RR\ n$ ou $RNR\ n$.



Redes de Computadores

22

Leituras complementares

- ❑ Stallings, W. *Data and Computer Communications* (6th edition), Prentice Hall 1999.
 - Capítulo 7, seção 7.1 e 7.3
- ❑ Tanenbaum, A. *Redes de Computadores* (4^a edição), Editora Campus, 2003.
 - Capítulo 3, seções 3.3 e 3.4

Redes de Computadores

23