

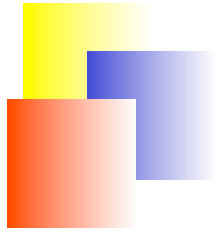
Funções da Camada de Enlace

Funções Internas

- Estabelecimento e liberação de conexões
- Compartilhamento do meio físico - sub-camada MAC
- Receber dados do nível de rede e dividi-los em frames
- Receber bits do nível físico agrupá-los em frames

Delimitação e sincronização de quadros

- Character stuffing
 - Bit stuffing
-



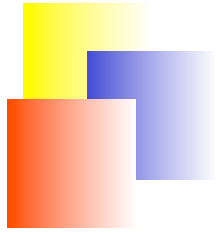
Funções da Camada de Enlace

Enquadramento e acesso ao enlace:

- encapsula datagrama num quadro incluindo cabeçalho e cauda,
- implementa acesso ao canal se meio for compartilhado,
- ‘endereços físicos’ são usados em cabeçalhos de quadros para identificar origem e destino de quadros em enlaces multiponto

Entrega confiável:

- Pouco usada em fibra óptica, cabo coaxial e alguns tipos de pares trançados devido a taxas de erro de bit muito baixas.
 - Usada em enlaces de rádio, onde a meta é reduzir erros evitando assim a retransmissão fim a fim.
-



Funções da Camada de Enlace

Controle de Fluxo:

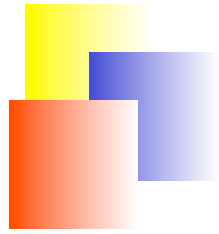
- compatibilizar taxas de produção e consumo de quadros entre remetentes e receptores

Deteção de Erros:

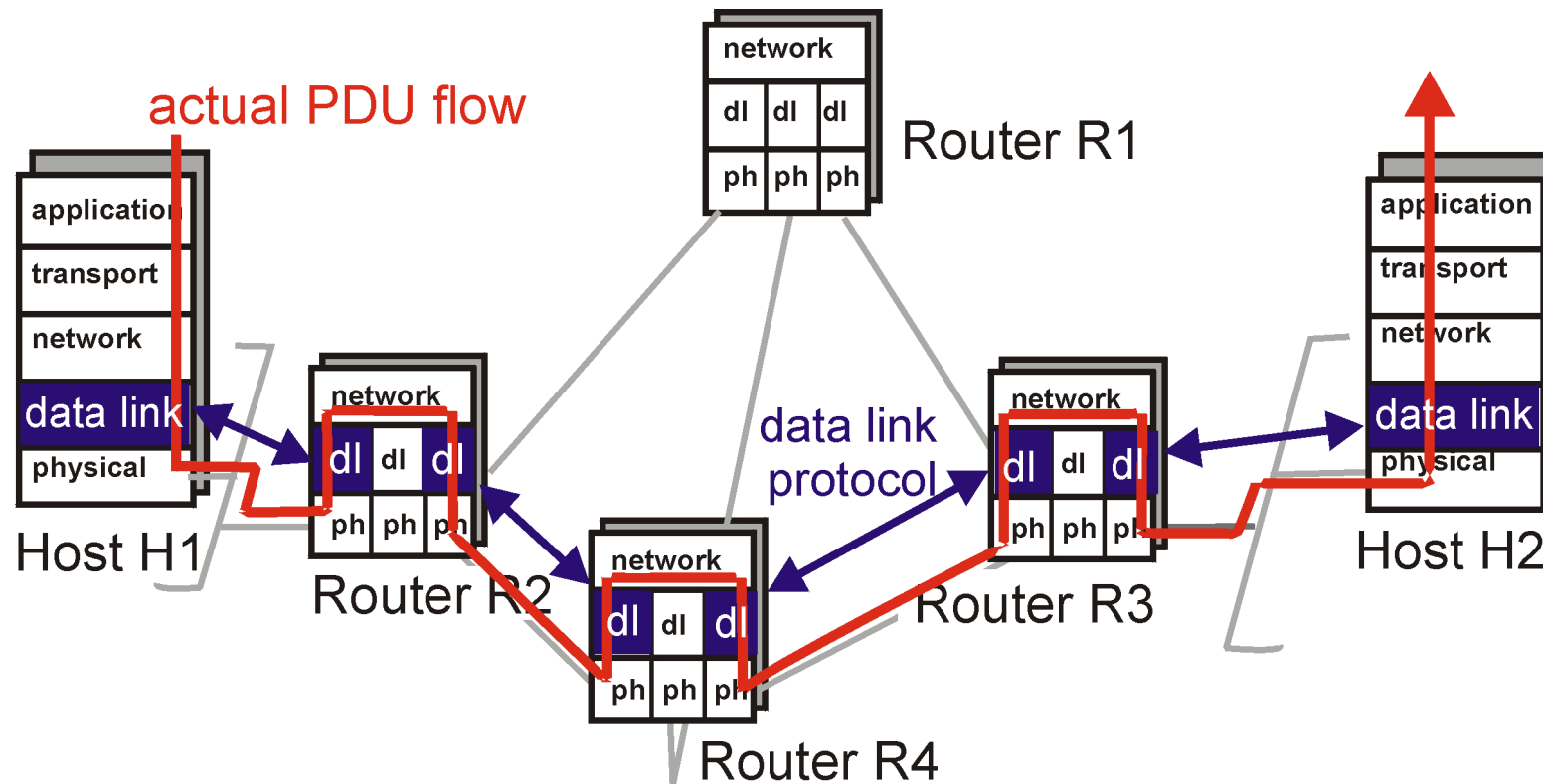
- erros são causados por atenuação do sinal e por ruído
- receptor detecta presença de erros
- receptor sinaliza ao remetente para retransmissão, ou simplesmente descarta o quadro em erro

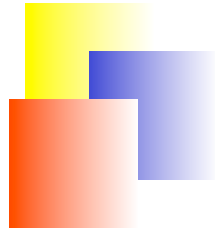
Correção de Erros:

- mecanismo que permite que o receptor localize e corrija o erro sem precisar da retransmissão
-



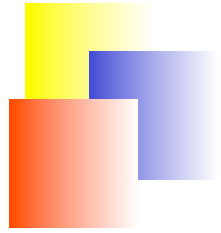
Protocolos da Camada de Enlace





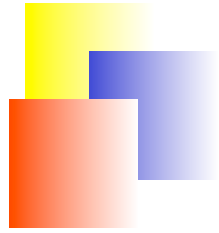
Protocolos da Camada de Enlace

- Protocolo da camada de enlace é implementado totalmente no adaptador (p.ex., cartão PCMCIA). Adaptador tipicamente inclui: RAM, circuitos de processamento digital de sinais, interface do barramento do computador, e interface do enlace
 - Operações de **transmissão** do adaptador: encapsula (coloca número de sequência, info de realimentação, etc.), inclui bits de detecção de erros, implementa acesso ao canal para meios compartilhados, coloca no enlace
 - Operações de **recepção** do adaptador: verificação e correção de erros, interrompe computador para enviar quadro para a camada superior, atualiza info de estado a respeito de realimentação para o remetente, número de sequência, etc.
-



Protocolos da Camada de Enlace

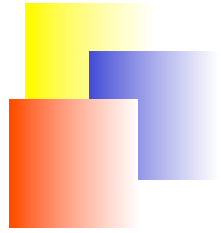
- ❑ Protocolo Simplex sem restrições
 - ❑ Protocolo Simplex Pare-e-Espere
(*Stop-and-wait*)
 - ❑ Protocolo Simplex para um canal
com ruído
-



Protocolos da Camada de Enlace

Protocolo Simplex sem restrições

- ❑ Transmissão num único sentido
 - ❑ O nível de rede está sempre pronto para transmitir e receber
 - ❑ O tempo de processamento é ignorado
 - ❑ Buffers infinitos
 - ❑ Canal de comunicação perfeito
-



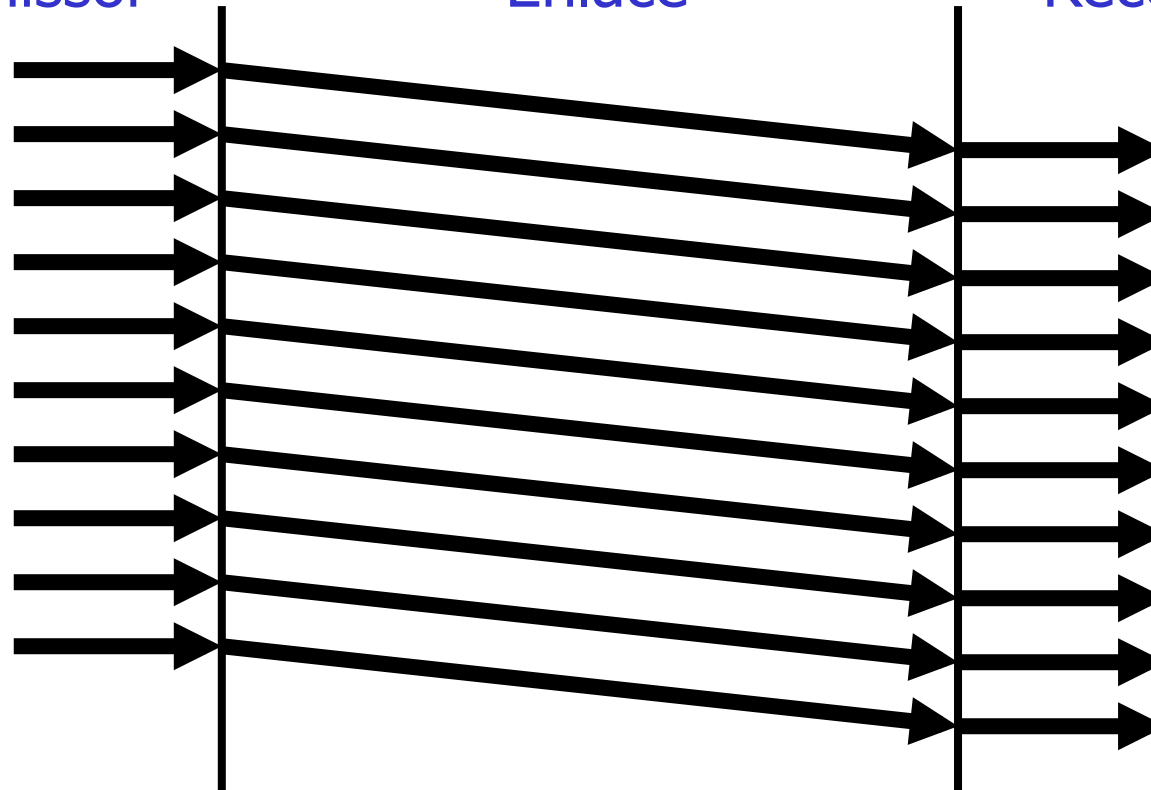
Protocolos da Camada de Enlace

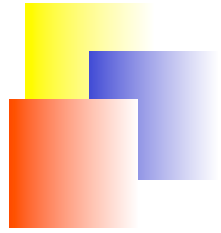
Protocolo Simplex sem restrições

Transmissor

Enlace

Receptor

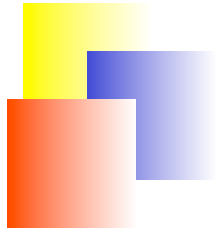




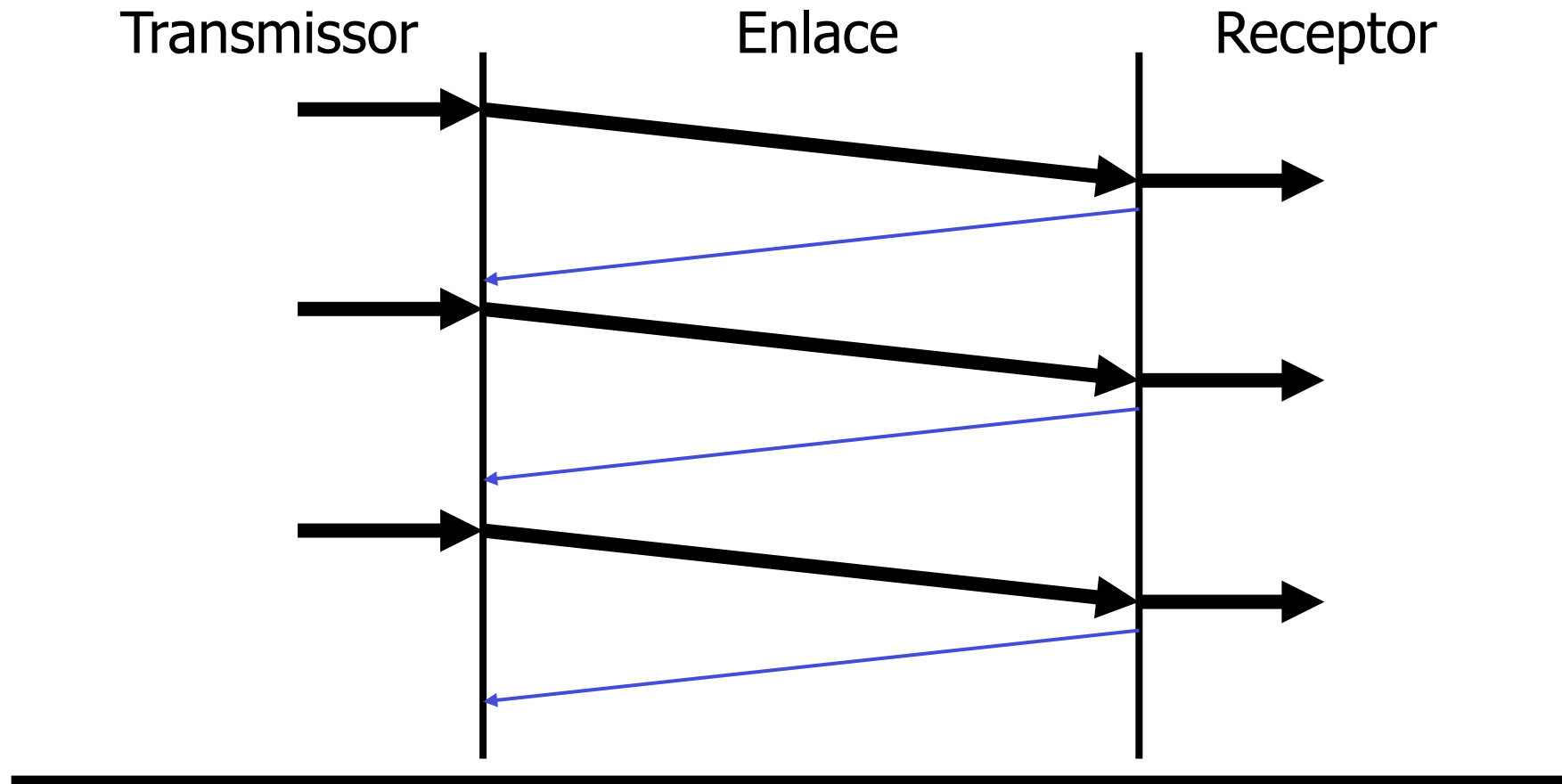
Protocolos da Camada de Enlace

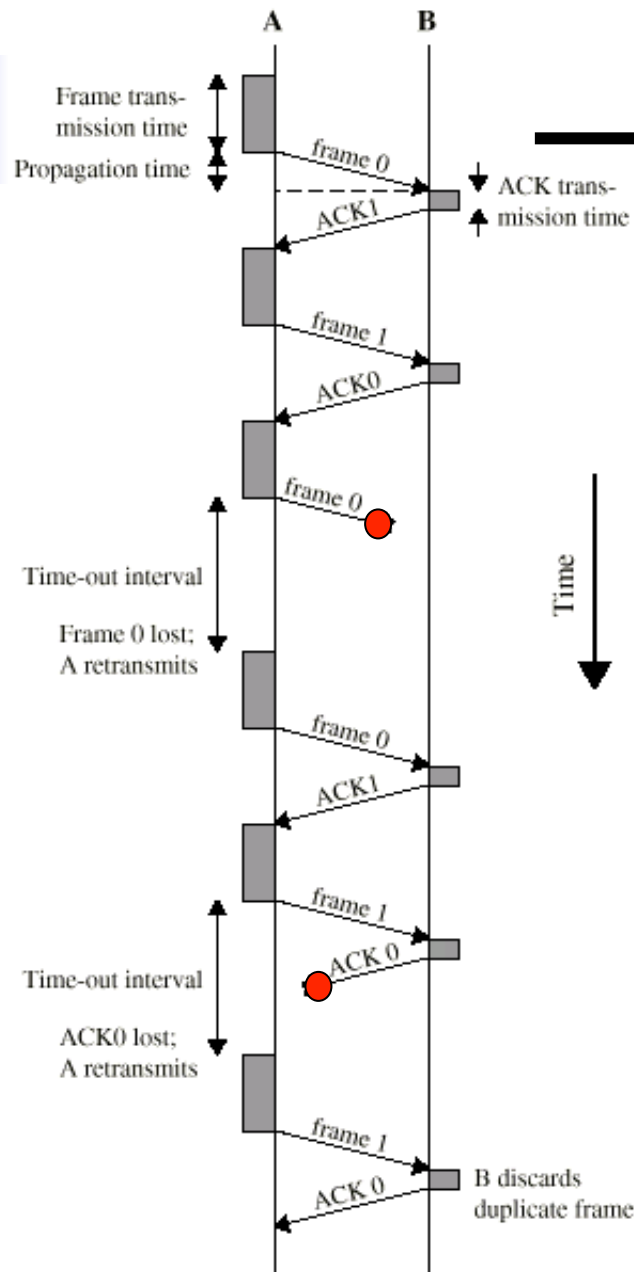
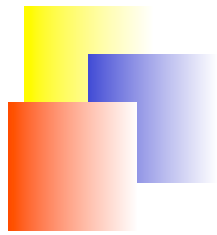
Protocolo Simplex Pare-e-Espere (*Stop-and-wait*)

- ❑ Os buffers não são infinitos
 - ❑ O tempo de processamento não é ignorado
 - ❑ O transmissor não envia outra mensagem até que a anterior tenha sido aceita como correta pelo receptor
 - ❑ Embora o tráfego de dados seja simplex, há fluxo de quadros em ambos os sentidos
-

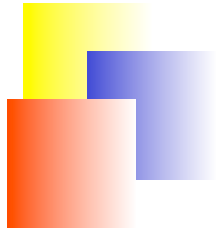


Protocollo Simplex Pare-e-Espere (*Stop-and-wait*)

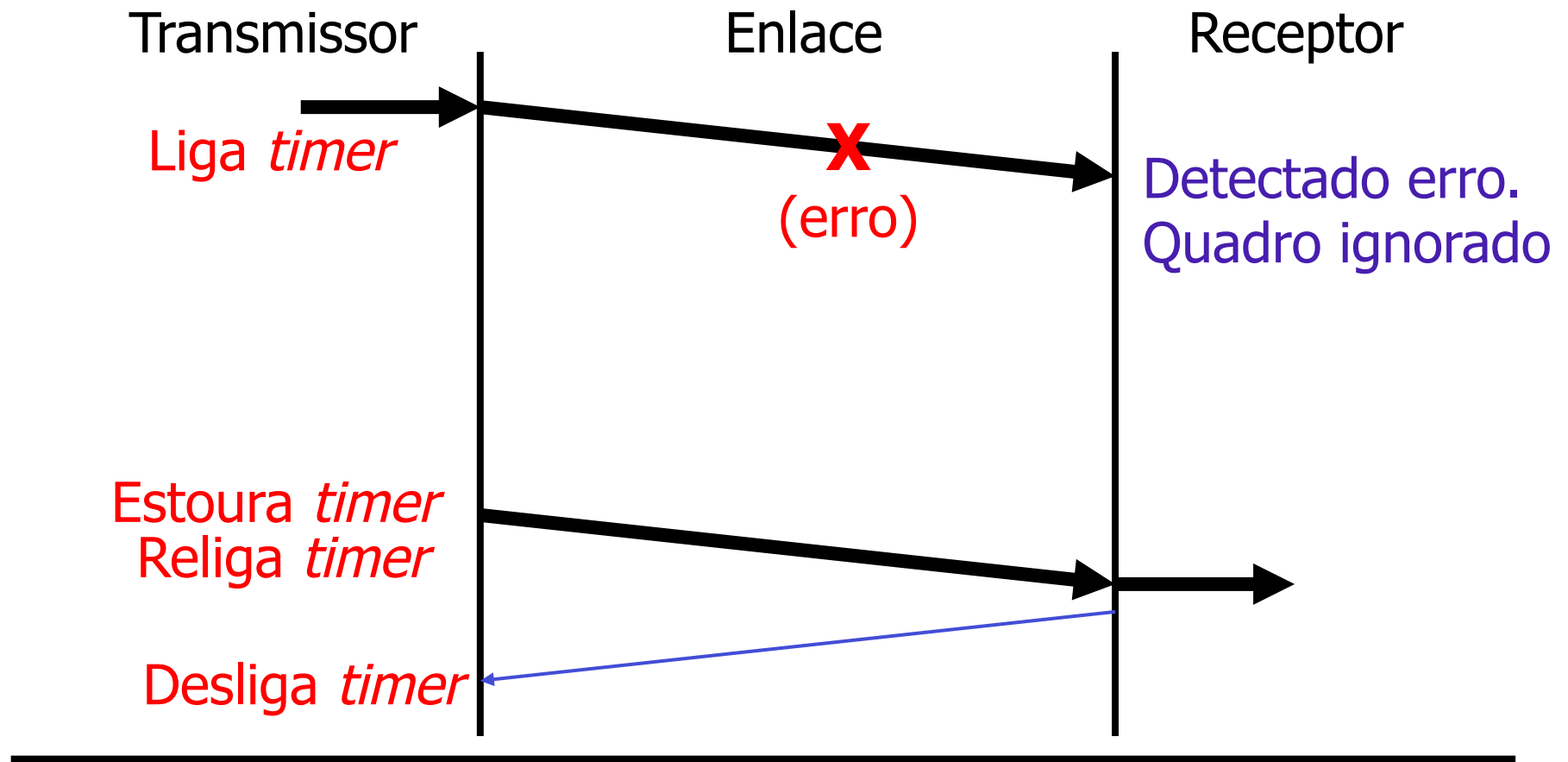


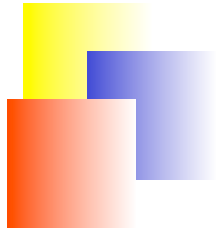


Protocollo Simplex Pare-e-Espere (*Stop-and-wait*)

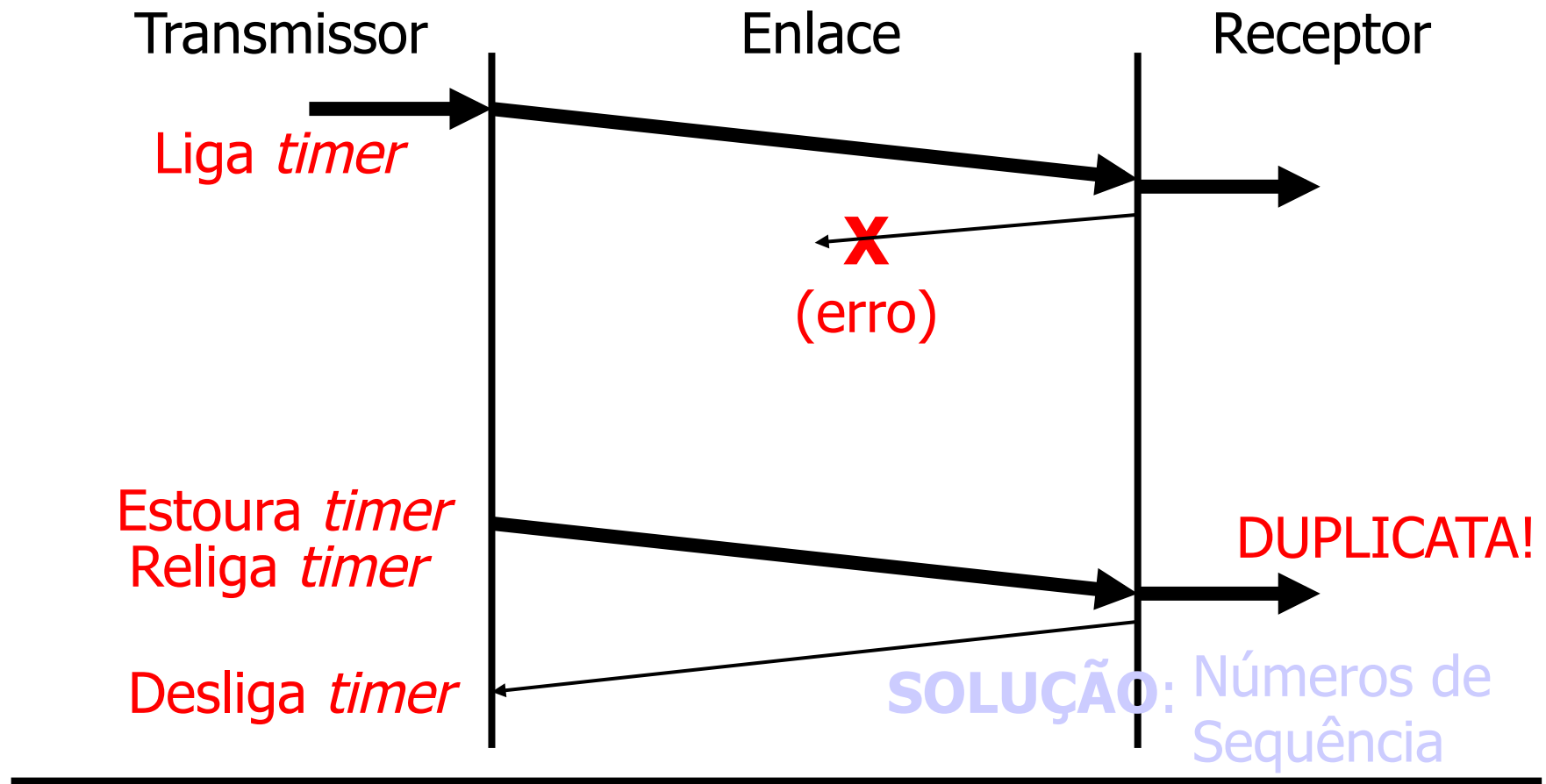


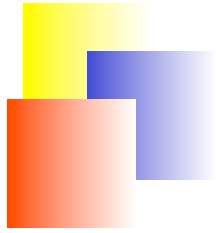
Protocolo Simplex para um Canal com Ruído (I)





Protocolo Simplex para um Canal com Ruído (II)

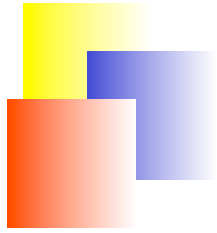




Protocolos de Janela Deslizante

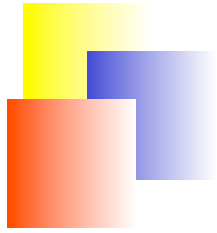
Protocolos de Janela deslizante ou ***Sliding Windows***

- ☐ É um mecanismo de controle de fluxo e otimização
 - ☐ Quem transmite tem um limite de quadros para enviar segundo um parâmetro L que estabelece sua janela de Transmissão
 - ☐ Após o envio de L quadros sem receber nenhum ACK o transmissor interrompe o envio de quadros
-



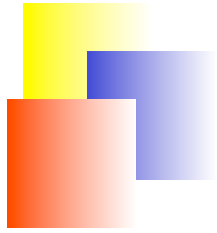
Protocolo Simplex para um Canal com Ruído (III)

- ❑ Os quadros são numerados sequencialmente
 - ❑ O tx transmite um quadro
 - ❑ O rx envia um quadro de reconhecimento se o quadro for recebido corretamente, caso contrário, há um descarte e é aguardada uma retransmissão
 - ❑ Quadros não reconhecidos são retransmitidos (temporização)
-

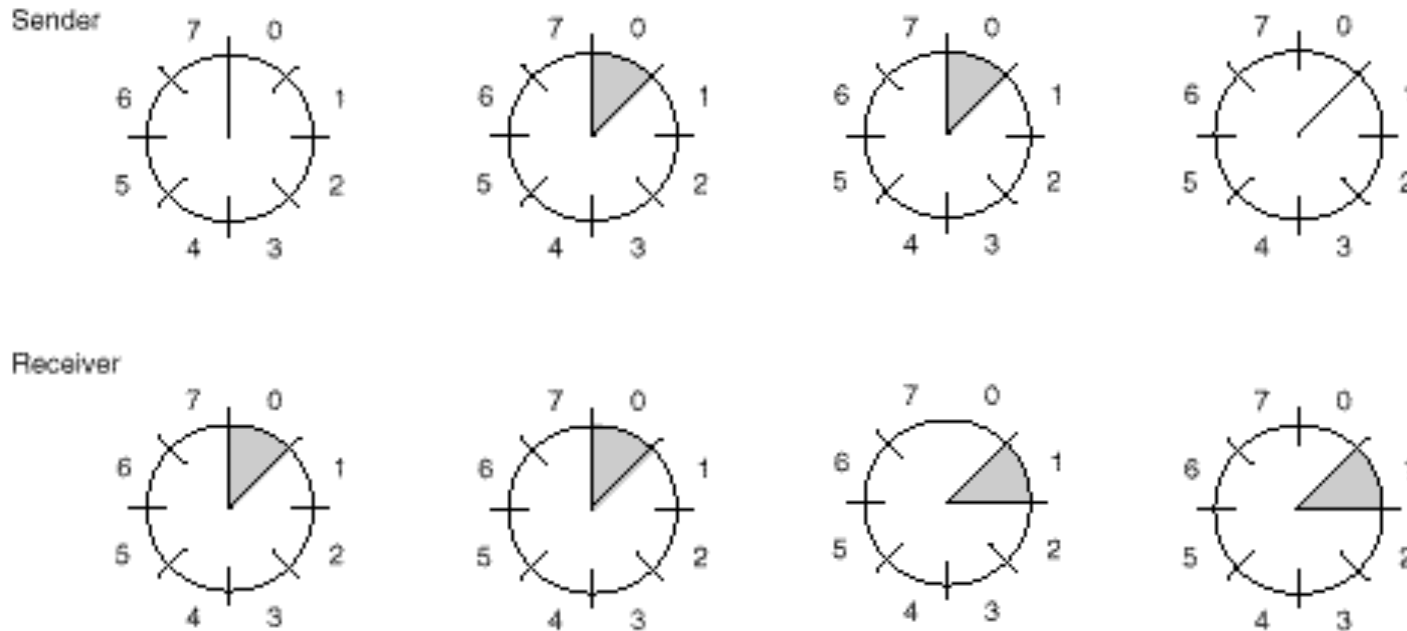


Protocolos de Janela Deslizante

- ❑ Transmissão de dados em ambos sentidos
 - ❑ Utilizam a técnica de carona (*piggybacking*)
 - ❑ Possui janelas para transmissão e recepção
 - Janela de transmissão
 - números de sequência habilitados para transmissão
 - Janela de recepção
 - números de sequência habilitados para recepção
 - ❑ Os quadros são mantidos na memória para possível retransmissão
-



Protocolos de Janela Deslizante tamanho 1



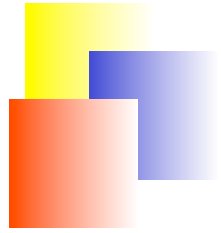
Inicialmente

**Após a tx do
1o. quadro**

**Após a rx do
1o. quadro**

**Após a rx do
1o. Reconhe-
cimento**

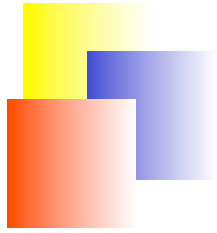




Protocolos de Janela Deslizante tamanho 1

- A janela de tamanho 1 compromete a eficiência para
 - longo tempo de trânsito (ida e volta)
 - alta largura de banda
 - comprimento de quadro curto

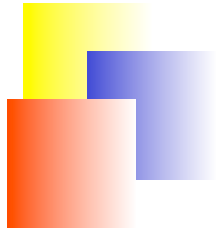
Solução: Protocolos com *Pipelining*



Protocolos com *Pipelining*

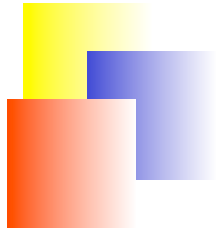
❑ Solução:

- ❑ Deixar o transmissor transmitir até w quadros (sem receber o reconhecimento do primeiro) antes de ser bloqueado.
 - ❑ Devemos escolher w de modo que o transmissor possa transmitir quadros por um tempo igual ao de trânsito, antes de *encher a janela*
-



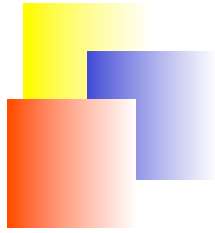
Protocolos com *Pipelining*

- ❑ A necessidade de uma janela grande do lado transmissor surge sempre que: o produto da largura de banda pelo retardo de ida e volta é grande.
 - ❑ Se a largura de banda for alta, mesmo com retardo moderado o transmissor esgotará sua janela rapidamente (a menos de uma janela muito grande)
 - ❑ Se o retardo for alto, o transmissor esgotará a janela mesmo com largura de banda moderada.
 - ❑ Assim: o produto desses fatores informa a capacidade do canal
-



Protocolos com *Pipelining*

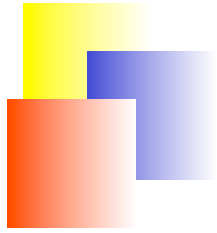
- ❑ Exemplo: canal de satélite
 - ❑ 50kbps - canal
 - ❑ 500 ms - tempo de retardo ida e volta
 - ❑ Envio de 1000 bits pelo satélite
 - ❑ Em $t=0$ - transmissor envia o primeiro quadro;
 - ❑ Em $t=20\text{ms}$ - o quadro já foi completamente enviado;
 - ❑ Em $t=270\text{ms}$ - o quadro ainda não chegou ao receptor;
 - ❑ E até $t=520\text{ms}$, a confirmação ainda não voltou ao transmissor;
 - ❑ Resultado - transmissor bloqueado $500/520=96\%$ do tempo
-



Protocolos com *Pipelining*

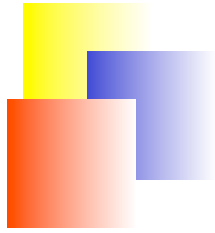
Banda	= 50 Kbps
Atraso de transmissão (ida e volta)	= 500 mseg
Tamanho do quadro	= 1000 bits
Tempo de sinalização de 10 quadros	= $10 * 1000 / 50000 = 0,200 \text{ seg} = 200 \text{ mseg}$
Tempo de transmissão	= 250 mseg
Tempo de entrega no receptor (1º. quadro)	= $20 + 250 = 270 \text{ mseg}$
Tempo de confirmação no emissor (1º. quadro)	= $270 + 20 + 250 = 540 \text{ mseg}$





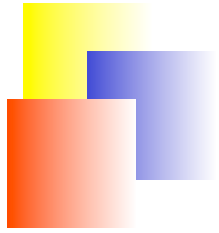
Protocolos com *Pipelining*

- ❑ Exemplo: canal de satélite
 - ❑ 50kbps - canal
 - ❑ 500 ms - tempo de retardo ida e volta
 - ❑ Envio de 1000 bits pelo satélite
 - ❑ Assim:
 - ❑ O número de quadros da janela deveria ser 26 onde:
 - ❑ Em $t=520$ - confirmação do quadro 0 chegaria;
 - ❑ Deste ponto em diante as confirmações chegam a cada 20ms, e assim o transmissor sempre terá permissão para continuar exatamente quando precisar dela. A todo momento ficam pendentes 25 ou 26 quadros não confirmados.
-



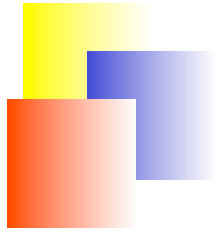
Protocolos com *Pipelining*

- ❑ Se a capacidade do canal for de b bits/s, e o tamanho do quadro l bits, e o tempo de propagação da viagem ida e volta for de R segundos, o tempo necessário para a transmissão de 1 quadro é de l/b segundos;
 - ❑ Depois que o último bit de um quadro de dados tiver sido enviado, haverá um retardo de $R/2$ antes do bit chegar ao receptor e $R/2$ até o recebimento da confirmação - totalizando R de retardo. Desse modo a linha estará ocupada durante o tempo l/b e ociosa durante R , resultando na utilização da linha em : $l/(l+bR)$
 - ❑ Se $l \ll bR$ a eficiência será inferior a 50%
-



Protocolos com *Pipelining*

- ❑ O que fazer se um quadro no meio da janela for danificado ou perdido?
 - ❑ Abordagens:
 - ❑ Volte a n (*Go Back n*)
 - ❑ Retransmissão Seletiva (*Selective Reject*)
-

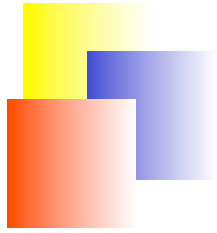


Protocolos com *Pipelining*

✓ Volte a n

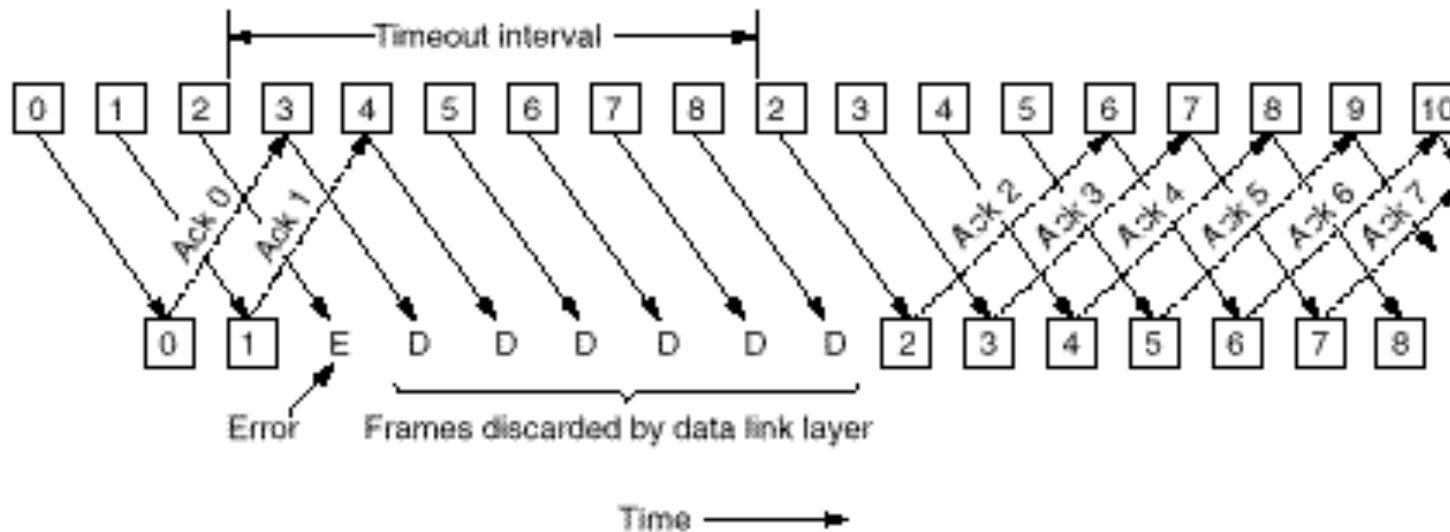
- ☐ O receptor descarta os quadros seguintes ao errado
- ☐ O transmissor identifica que houve erro, com estouro da temporização sem que tenha recebido um reconhecimento
- ☐ Ineficiente se a taxa de erros for alta

Janela de recepção ➡ 1

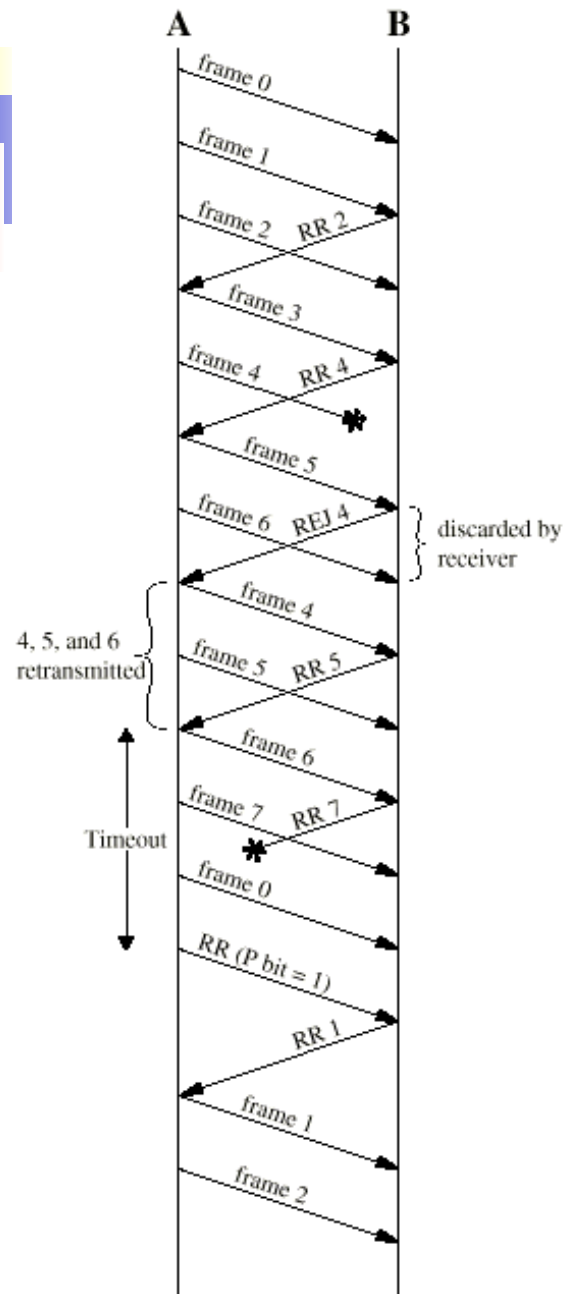


Protocolos com *Pipelining*

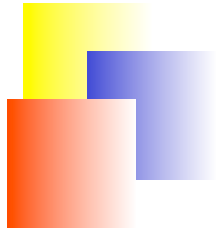
Protocolo Volte a n



Alternativa: quadro correto fora da sequência dispara a transmissão de um quadro de NAK antecipando o início da retransmissão dos quadros.



Protocolos com *Pipelining* Protocolo Volte a n



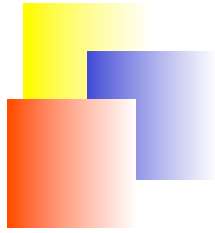
Protocolos com *Pipelining*

✓ Retransmissão seletiva

- ❑ O nó armazena os quadros corretos que chegarem após o com erro. O transmissor retransmite apenas o com erro.
- ❑ Ao receber o quadro que faltava, o nó entrega os diversos quadros já recebidos rapidamente e envia um reconhecimento do quadro de ordem mais alta

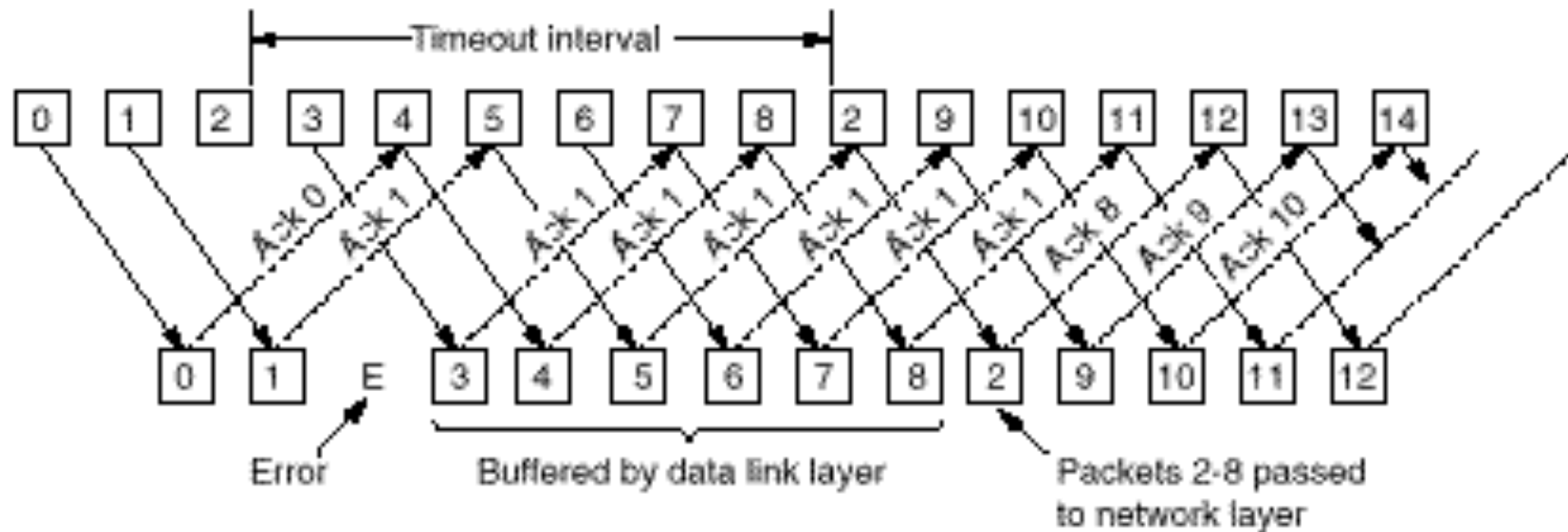
Janela de recepção ➡ maior que 1

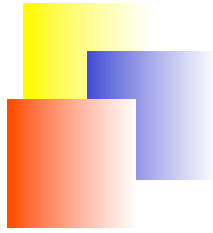
- ❑ Necessita de maior quantidade de memória no nó
-



Protocolos com *Pipelining*

Retransmissão seletiva





Controle de fluxo baseado em Janela Deslizante (*Sliding Window*)

- No caso do HDLC, esse valor corresponde ao tamanho do campo de número de sequência (N(S)) da mensagem :
 - modo normal - 3 bits - de 0 a 7 - máximo de 8 mensagens;
 - modo estendido - 7 bits - de 0 a 127 - máximo de 128 mensagens;
 - Baseado nas características apresentadas, sempre que ocorrer um erro em uma das mensagens, podem ser implementados dois procedimentos:
 - o destino solicita a retransmissão apenas da mensagem com erro;
 - Guardar os quadros da sequência após o quadro errado; não confirmar o quadro errado; aguardar a retransmissão do mesmo (técnica selective repeat). É um procedimento bem mais eficiente em termos de aproveitamento de banda, mas requer mais memória no nível de enlace do receptor
 - solicita a retransmissão de todas as mensagens a partir de um determinado número de sequência.
 - Ignorar toda a sequência de quadros a partir do errado; não confirmar a recepção; aguardar a retransmissão de todos os quadros a partir do errado (técnica go back n). É um procedimento ruim para canais de comunicação com muito erro.
-

Máquina A

envia(Q1A, Seq 1, Ack 0)
== liga temporizador Q1A ==

envia(Q2A, Seq 2, Ack 0)
== liga temporizador Q2A ==

envia(Q3A, Seq 3, Ack 0)
== liga temporizador Q3A ==

recebe(Q1B, Seq 1, Ack 1)
envia(Q4A, Seq 4, Ack 1)
== liga temporizador Q4A ==

recebe(Q2B, Seq 2, Ack 2)
envia(Q5A, Seq 5, Ack 2)
== liga temporizador Q5A ==

recebe(Q3B, Seq 3, Ack 3)
envia(Q6A, Seq 6, Ack 3)
== liga temporizador Q6A ==

Máquina B

recebe(Q1A, Seq 1, Ack 1)
envia(Q1B, Seq 1, Ack 0)
== liga temporizador Q1B ==

recebe(Q2A, Seq 2, Ack 0)
envia(Q2B, Seq 2, Ack 0)
== liga temporizador Q2B ==


recebe(Q3A, Seq 3, Ack 0)
envia(Q3B, Seq 3, Ack 0)
== liga temporizador Q3B ==

recebe(Q4B, Seq 4, Ack 1)
envia(Q4A, Seq 4, Ack 1)
== liga temporizador Q4A ==

recebe(Q5B, Seq 5, Ack 2)
envia(Q5A, Seq 5, Ack 2)
== liga temporizador Q5A ==

recebe(Q6B, Seq 6, Ack 3)
envia(Q6A, Seq 6, Ack 3)
== liga temporizador Q6A ==

Controle de fluxo por Janela Deslizante (N=3)



Banda	= 50 Kbps
Atraso de transmissão (ida e volta)	= 500 mseg
Tamanho do quadro	= 1000 bits
Tempo de sinalização de 10 quadros	= $10 \cdot 1000 / 50000 = 0,200 \text{ seg} = 200 \text{ mseg}$
Tempo de transmissão	= 250 mseg
Tempo de entrega no receptor (1º. quadro)	= $20 + 250 = 270 \text{ mseg}$
Tempo de confirmação no emissor (1º. quadro)	= $270 + 20 + 250 = 540 \text{ mseg}$
Tempo de espera do emissor	= $340 / 540 \cong 63 \%$

- É fácil concluir que a combinação [grande atraso de transmissão, banda larga e quadro pequeno] é desastrosa em termos de utilização de um canal de comunicação.
 - Com a escolha apropriada da quantidade de quadros a transmitir sem confirmação (N), pode-se ter o emissor transmitindo continuamente (basta que o emissor receba a confirmação do primeiro quadro da janela logo após terminar de sinalizar o último quadro. Quanto seria N para esse exemplo?).
 - Essa técnica é chamada de pipelining.
-