

Controlo da ligação de dados

introdução: funções distintivas dos níveis físico e lógico



Nível físico

- envio de um sinal sobre um meio de transmissão
- sincronismo (nível do bit)
- codificação de linha
- modulação do sinal
- multiplexagem física
- interface com o meio

Nível de ligação lógica

- estrutura das tramas
- configuração e acesso à linha
- endereçamento
- controlo de fluxo
- controlo de erros
- gestão da ligação (controlo da troca de dados)

Controlo da ligação de dados

principais funções de um protocolo de ligação



- **definição da trama** - formato da unidade de dados (PDU)
- **configuração da linha** - considera a topologia, define a disciplina de acesso à linha e a sua duplexidade
- **endereçoamento** - identifica os interfaces das estações que podem enviar e receber tramas
- **controlo de fluxo** - regula a cadência de tramas enviadas
- **controlo de erros** - detecta erros de transmissão e executa procedimentos de recuperação
- **gestão da ligação** - define como se faz o estabelecimento, a manutenção e a terminação da associação lógica.

Controlo da ligação de dados

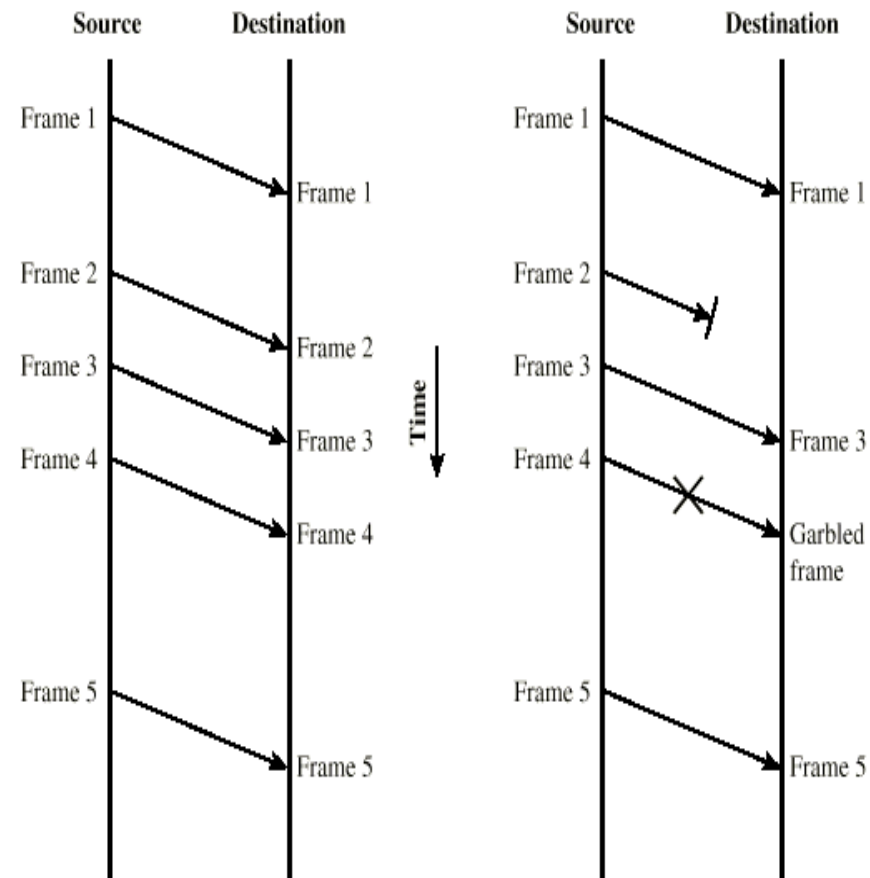
controlo de fluxo



- Técnica para assegurar que a estação que transmite não sobrecarrega a que recebe, evitando perda de tramas.
- Em geral, a existência de *buffers* na estação de recepção, reduz mas não elimina a necessidade de controlar o fluxo.
- A perda de tramas pode ocorrer, também, na(s) rede(s) de interligação das estações quando estas se encontram congestionadas nalgum ponto do percurso entre a estação que transmite e a que recebe.
- **Técnicas mais comuns de controlo de fluxo:**
 - *stop-and-wait*
 - *sliding window* (janela deslizante)

Controlo da ligação de dados

modelo de transmissão de tramas



(a) Error-free transmission

(b) Transmission with losses and errors

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



- **Stop-and-Wait**

- Após a transmissão de uma trama, a fonte aguarda confirmação da sua recepção (ACK) antes de transmitir a trama seguinte.
- A recepção pode parar o fluxo de dados suspendendo temporariamente as confirmações.
- Esta técnica funciona bem quando uma mensagem é fragmentada em poucas tramas de grande dimensão.
- Contudo, se o tamanho das tramas é grande...
 - é maior a probabilidade de erro na trama,
 - é maior a ocupação de recursos (buffers, processadores),
 - o desempenho da ligação tende a piorar, principalmente nas ligações multiponto

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



- **Stop-and-Wait**

- Tempo de transmissão: tempo que o transmissor demora a emitir todos os bits para o meio de transmissão
- Tempo de propagação: tempo necessário à propagação de um bit desde o emissor até atingir o receptor
- **$a = \text{tempo de propagação} / \text{tempo de transmissão}$**
- Quando o tempo de propagação é maior que o tempo de transmissão, o emissor completa a transmissão da trama antes de o receptor ter começado a recebê-la (taxas de transmissão altas ou elevadas distâncias entre o emissor e o receptor). Nestes casos, a técnica de *stop-and-wait* conduz a uma utilização baixa do meio de transmissão e consequentemente uma transmissão pouco eficiente.

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



- **Sliding-Window**

- permite que existam múltiplas tramas de dados em trânsito
- o transmissor pode enviar até **W** tramas de dados sem que receba qualquer confirmação da sua recepção
- obriga o uso de sequenciação (n bits, numeração módulo 2^n)
- cada confirmação positiva indica a próxima trama esperada
- pode haver confirmação simultânea de múltiplas tramas
- existem mecanismos distintos para transmitir e receber
- alguns protocolos de nível 2 suportam *Receive not Ready* e *Piggybacking*
- **W é designado** abertura da janela ($W_{\max} = 2^n - 1$)

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



- Exemplo: Considere uma rede de longa distância ATM com duas estações distanciadas 1000 km uma da outra. O tamanho standard de uma frame ATM é 424 bits e a taxa de transmissão standard é 155,52 Mbps. O tempo de transmissão é igual a $424/(155,52 \times 10^6) = 2,7 \times 10^{-6}$ seg. Se assumirmos que o meio de transmissão é uma fibra óptica e a velocidade de propagação igual a 2/3 velocidade da luz (2×10^8 m/seg), temos que o tempo de propagação é igual a $10^{-6} / (2 \times 10^8) = 0,5 \times 10^{-2}$.
- Então $a = 0,5 \times 10^{-2} / 2,7 \times 10^{-6} = 1850$, e

$$U = 1 / (1 + 2a)$$

$$U = 1 / (1 + 2 \times 1850) = 0,00027 = 0,027\%$$

Controlo de ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



- ***Sliding Window (Janela Deslizante)***

Exemplo: ligação *full-duplex* entre duas estações A e B

- **Caso 1** - A estação A transmite continuamente. A confirmação de chegada da trama 1 ocorre **antes** da janela se fechar, então

$$U = 1 \quad \text{se} \quad W > 2a + 1$$

- **Caso 2** - A estação A tem a janela fechada em $t_0 + W$ e não pode enviar tramas até $t_0 + 2a + 1$ (chegada do primeiro ACK), então

$$U = W / (2a + 1) \quad \text{se} \quad W < 2a + 1$$

Controlo de ligação de dados

detecção de erros – técnicas



- **Em caso de erro, o receptor corrige o erro ou notifica o transmissor**
- **Técnicas:**
 - Utilização de bit(s) de paridade (paridade vertical e horizontal)
 - Soma de verificação (*Checksum*)
 - Verificação de redundância cíclica (CRC)



- **Bit de paridade**

- processo simples que reduz a probabilidade de aceitação de tramas erradas
- a taxas de transmissão elevadas podem ocorrer erros em bits consecutivos (erros em rajada)
- duas variantes: um único bit de paridade, bit de paridade em duas dimensões

Controlo de ligação de dados

detecção de erros: soma de verificação (checksum)



**Checksum: apenas usado no nível de transporte,
por exemplo pelo TCP e pelo UDP (16 bits)**

Transmissor

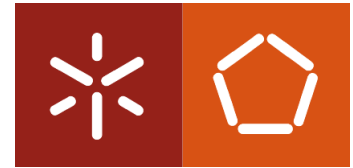
- Encara cada conjunto de dados a enviar como uma sequência de grupos de k bits
- Determina o *checksum*: adiciona os grupos de k bits. O complemento para 1 da soma constitui o *checksum*
- O transmissor insere o *checksum* no conjunto de dados a enviar

Receptor:

- Encara cada conjunto de dados recebidos como uma sequência de grupos de k bits
- Determina o *checksum* (com o *checksum* inserido pelo transmissor incluído)
- O resultado deverá ser igual a zero, senão foi detectado um erro

Controlo de ligação de dados

controlo de erros



- **Na comunicação de dados a técnica mais usada no controlo de erros é o *Automatic Repeat Request (ARQ)***
 - o receptor não tenta corrigir os erros
 - o código de controle de erros é usado no receptor apenas como detector erros
 - detectados erros, o receptor descarta a trama e pode pedir a retransmissão da unidade de dados
 - probabilidades de erro aceitáveis podem ser obtidas com polinómios de menor grau
- **Alternativa: *Forward Error Correction (FEC)***

Controlo de ligação de dados

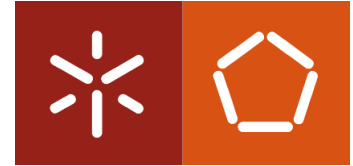
controlo de erros



- **Envolve a detecção de falhas nas tramas trocadas de modo a tornar a ligação de dados fiável.**
- **Tipos de falhas: trama perdida ou trama errada**
- **O ARQ envolve:**
 - detecção de erros na trama recebida através do CRC
 - confirmação positiva: para tramas recebidas sem erros
 - confirmação negativa e retransmissão: para tramas onde é detectado erro
 - retransmissão por limite de tempo - se não é recebida confirmação de trama, dentro do período de tempo t

Controlo de ligação de dados

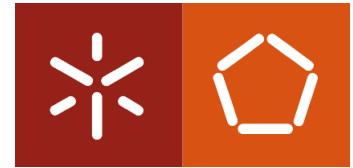
controlo de erros



- **Métodos ARQ:**
 - ***Stop-and-wait*** *(Pára-e-espera)*
 - ***Go-back-N*** *(volta-atrás-N)*
 - ***Selective Reject*** *(rejeição selectiva)*

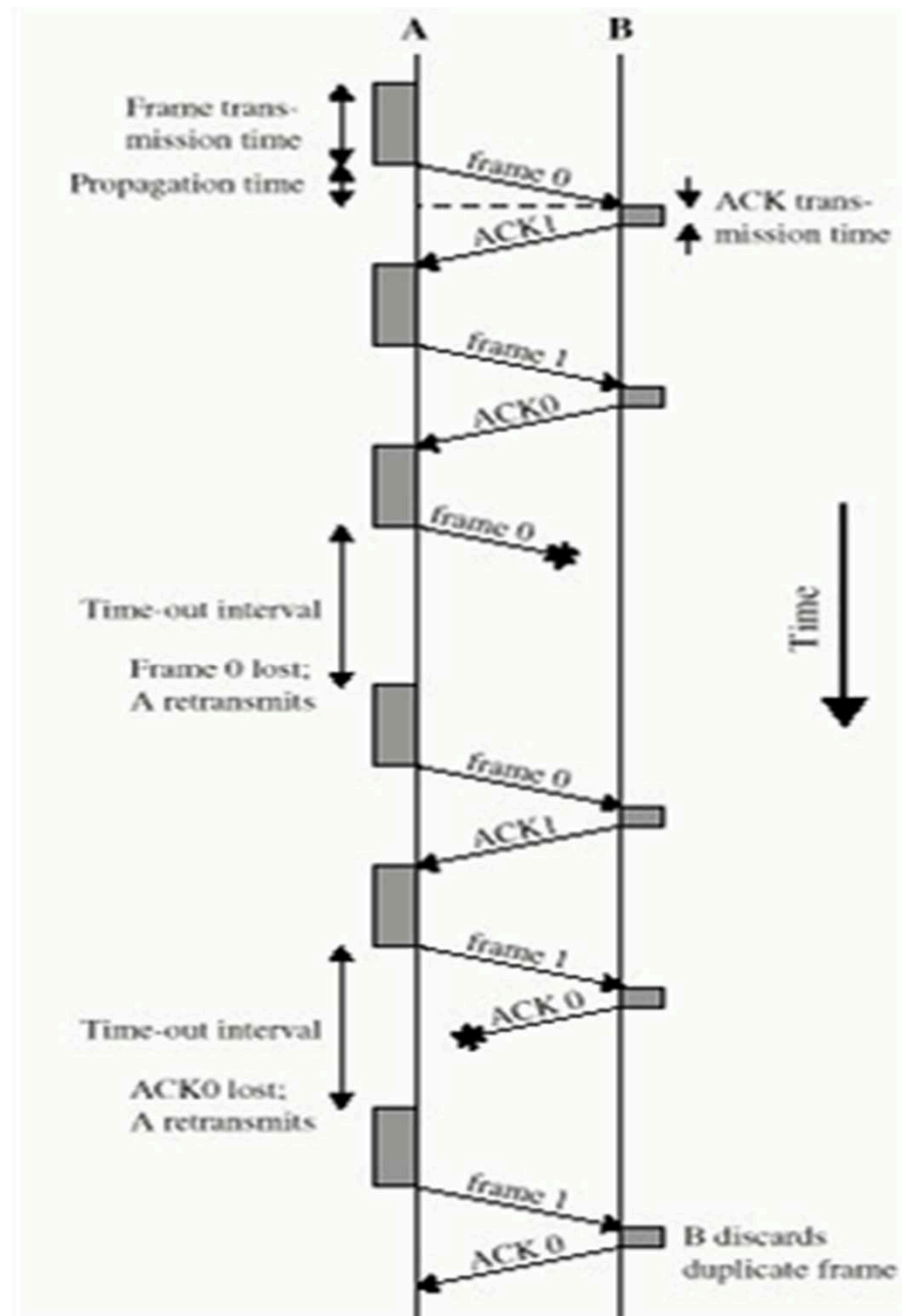
Controlo de ligação de dados

controlo de erros



- ***stop-and-wait***

- semelhante à técnica de controlo de fluxo *stop-and-wait*
- transmissor:
 - activa temporizador e mantém cópia da trama até obter ACK
 - no máximo espera *timeout* até transmitir de novo
- receptor:
 - envia ACK, NAK (pedido explícito) ou *no reply* (pedido implícito)
- sequenciação necessária para resolver a situação de erro na trama de confirmação (duplicação da trama)
- vantagem: simples; desvantagem: reduzida eficiência



Controlo de ligação de dados

controlo de erros



- ***volta-atrás-N***

- a falta de sequenciação ou erro na recepção implica a retransmissão a partir de uma determinada ordem.

Exemplos:

- trama t_i corrompida ou perdida
 - B recebeu $t_{(i-1)}$ e detecta erro em t_i ; B envia NAK i
 - t_i é perdida, B recebe $t_{(i+1)}$ e envia NAK i
 - t_i é perdida; A retransmite t_i por *timeout*
- confirmações corrompidas
 - confirmação por ACK seguintes
 - se A expira, A retransmite t_i e todas as tramas subsequentes

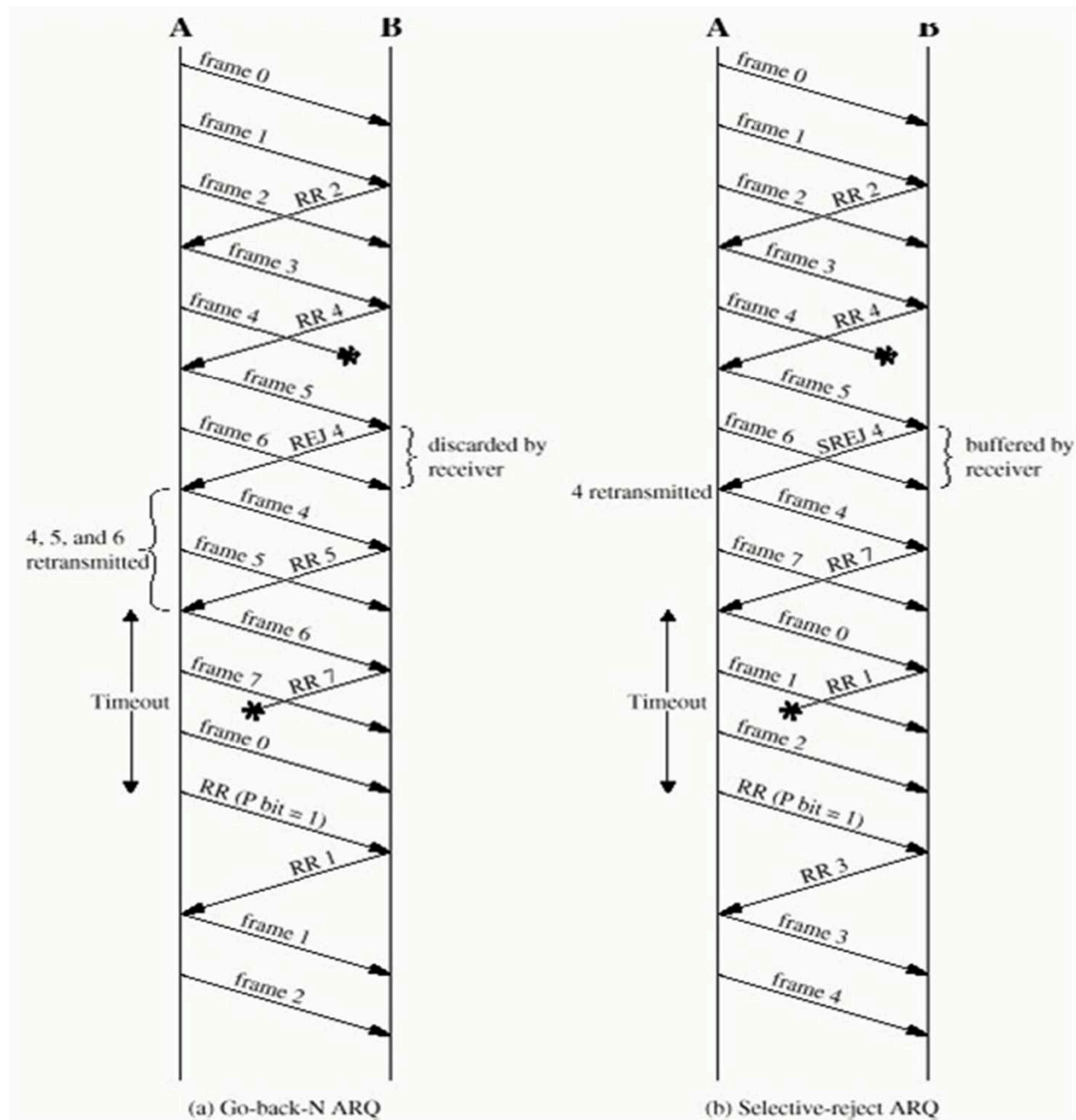
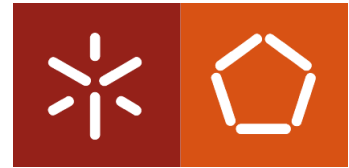
Controlo de ligação de dados

controlo de erros



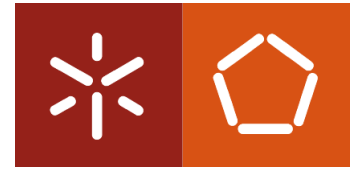
- ***rejeição selectiva***

- apenas são retransmitidas as tramas que recebem confirmação negativa explícita ou se ocorre *timeout*.
- obriga a confirmações positivas por ordem
- W_{\max} mais restritivo para não sobrepor as janelas na transmissão e na recepção ($W_{\max}=2^{n-1}$ e não $W_{\max}=2^n-1$)
- vantagem: menos retransmissões, melhor utilização da ligação
- desvantagem: requer mais processamento (e controlo) na transmissão e na recepção



Controlo de ligação de dados

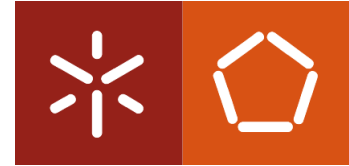
controlo de erros



- **No mecanismo de rejeição selectiva a ordem das tramas na recepção não é mantida daí que:**
 - se a ordem das tramas for relevante, o tamanho dos *buffers* pode ser in comportável
 - Transmissor complexo: tem de ser capaz de enviar tramas fora de ordem
 - Receptor complexo: tem de conseguir ordenar tramas
 - em geral, é usado para transmitir tramas “independentes” entre si
 - usado em meios onde a probabilidade de erro é maior (radio links)
- **O mecanismo volta-atrás-N é mais usado do que o de rejeição selectiva, pois apesar de conduzir a uma pior utilização da ligação, reduz a complexidade do receptor.**

Controlo da ligação de dados

protocolos (disciplinas) de linha



- **Ligações Ponto-a-Ponto (PP)**

- Em geral são ligações com um canal (circuito ou banda) para transmissão em cada sentido
- Por usarem canal dedicado (não partilhado), a ligação lógica pode efectuar-se imediatamente porque o canal está naturalmente *adquirido*.

- **Ligações Multiponto (MP)**

- Em geral são ligações com um único canal de transmissão que é partilhado por várias estações
- Duas ou mais transmissões simultâneas podem causar interferências
 - **colisão** ocorre quando uma estação recebe dois ou mais sinais ao mesmo tempo
- A ligação lógica tem de ser precedida pela aquisição do canal através de um *protocolo de acesso ao meio (protocolo MAC)*

Acesso múltiplo partilhado

- **Algoritmo distribuído que determina como é que as diferentes estações acedem ao canal, ou seja, determina quando é que uma estação pode transmitir**
- **Utiliza o próprio canal partilhado para fazer essa coordenação**