

Comunicação de Dados

Prof. Macêdo Firmino

Aula 10

Camada de Enlace: Enquadramento, Endereçamento e
Detecção de Erro



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

“Um coração magoado tende a ver tudo sob as lentes da própria dor. Essa é uma das maiores barreiras para o perdão. Para se libertar da mágoa, é preciso trocar as lentes.”
(Rossandro Klinjey)



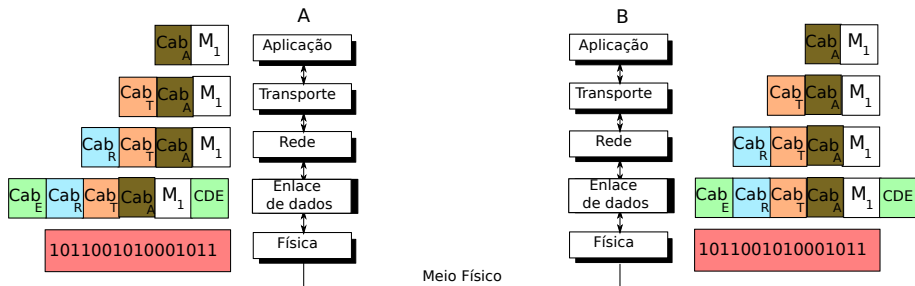
INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

O que Aprenderemos?

- Relembrar as funções da camada de enlace;
- Entender como é realizado o enquadramento;
- Aprender como é realizado o endereçamento na camada de enlace.
- Conhecer os principais algoritmos de detecção de erro.



Relembrando.....



Camada de Enlace de Dados

As funções da camada de Enlace são:

- Enquadramento: dividir o fluxo de *bits* em unidades de dados pois a camada física entrega como um grande fluxo contínuo.
- Endereçamento MAC: garante determinar os remetentes e os destinatários dos quadros.
- Detecção de erros: mantém a integridade da informação em enlaces ruidosos. Para isso, implementa um mecanismo de detecção de erros e retransmissão de quadros;
- Controlar o meio físico para evitar que um transmissor não interfira em outro (Controle de acesso).



Enquadramento

A camada de enlace transforma um fluxo de *bits* em informação (*frame*). Existem duas maneiras de delimitar um quadro:

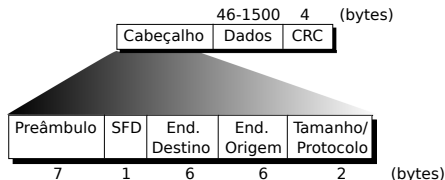
- Tamanho fixo: o tamanho do quadro é suficiente para determinar a sua delimitação. Por exemplo, a cada 64 *bytes* temos uma informação.
- Tamanho variável: são utilizados padrões de *bits* pré-determinados para definir o início, um campo especificando o tamanho total do quadro e poderá usar ainda um padrões de *bits* para informar o final do quadro.



Enquadramento - Tamanho Variável

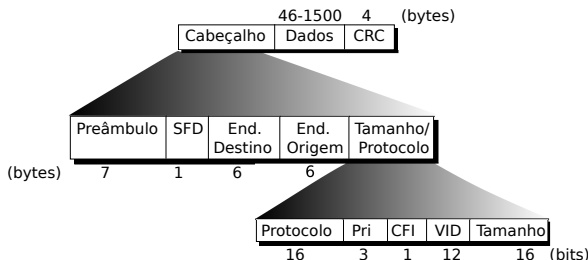
A maioria dos protocolos utilizam um conjunto de bits alternados como delimitador de início e um campo especificando o tamanho total do quadro. Por exemplo, o Ethernet utiliza 8 bytes para sincronização são eles:

- Preâmbulo: possuem 56 *bits* formados por 0s e 1s alternados (10101010) para sincronização do receptor;
- SFD: campo delimitador de início de quadro. O *byte* (10101011) sinaliza o fim da sincronização e o início das informações;

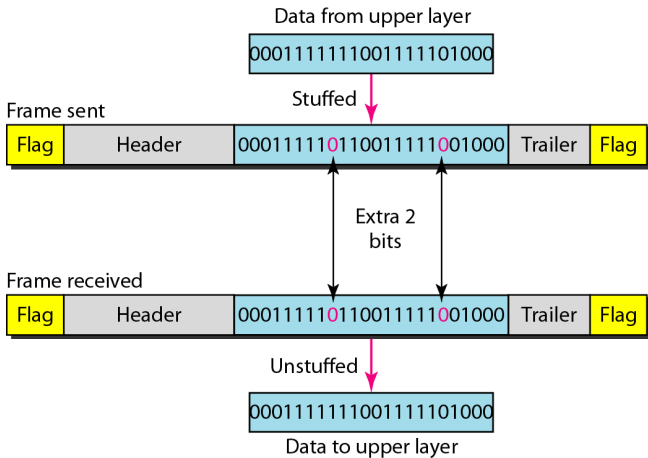


Enquadramento - Tamanho Variável

O campo Tamanho/Protocolo, permite identificar o tamanho total do quadro, ou se está sendo utilizado um protocolo auxiliar ao Ethernet, como por exemplo o VLAN IEEE 802.1q.



Não é permitido ter o padrão delimitador no meio da informação. Por exemplo, considere o delimitador 01111110, para evitar que ele apareça, é inserido um bit (*stuffing*) (bit 0) sempre que for encontrado os bits 011111. Esse *bit* extra é eliminado no receptor.



01. O fluxo de bits abaixo representa parte de uma transmissão usando um delimitador especial de início e fim de quadro 01111110:

01111110 100111011111011010 01111110

- a) Identifique o conteúdo útil do quadro.
- b) Explique por que o método de delimitador fixo exige a técnica de bit-stuffing.

Endereçamento Físico (MAC)

O endereço físico (ou endereço MAC) é uma identificação única atribuída a cada dispositivo de rede que se conecta a uma rede local (LAN). Esse endereço é gravado na placa de rede do dispositivo e é usado na camada de enlace para garantir que os dados sejam entregues ao dispositivo correto dentro de uma rede.

O endereço MAC é composto por 48 *bits*, representados por 12 dígitos hexadecimais (por exemplo, 00:1A:2B:3C:4D:5E). Ele é dividido em duas partes: os primeiros 24 *bits* identificam o fabricante da placa de rede, e os últimos 24 *bits* identificam o número de série da placa de rede.



Cada dispositivo de rede tem um endereço MAC único no mundo, o que significa que não existem dois dispositivos com o mesmo endereço MAC, garantindo a identificação correta de cada dispositivo dentro de uma rede.

O endereço MAC só é útil dentro de uma rede local. Quando os dados precisam ser enviados para fora da LAN, outros tipos de endereços (como endereços IP) são usados em conjunto com o endereço MAC para garantir a entrega correta em redes mais amplas, como a Internet.

O endereço MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF é o endereço broadcast e o quadro deve ser entregue a todas as interfaces da rede local (LAN). O endereço MAC começando com 01:00:5E: são destinados a comunicação multicast IPv4.



Endereçamento Físico (MAC)



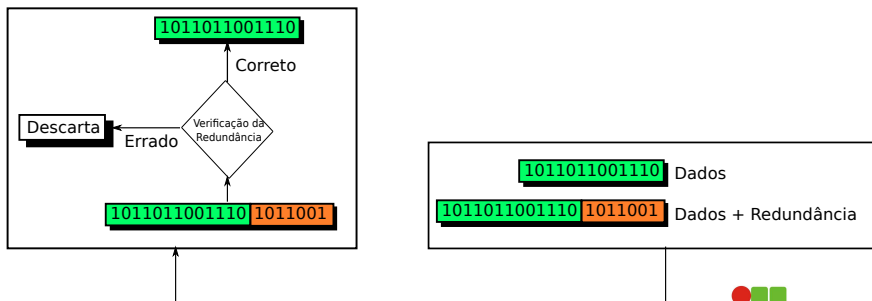
Controle de Erros

O controle de erro na camada de enlace visa identificar se os dados recebidos apresentam discrepâncias em relação aos dados enviados. Caso detectado o erro, a camada de enlace solicita o reenvio dos dados ao transmissor (por exemplo, retransmissão automática - ARQ). Desta forma, ele proporciona uma comunicação mais robusta, permitindo que os dados sejam entregues corretamente mesmo em ambientes sujeitos a falhas.



Detecção de Erros

Para detectar erros, precisamos enviar bits extras (redundantes) juntos com os dados. Dessa forma, através de operações matemáticas, o receptor poderá detectar os erros.



Algoritmos de Detecção de Erros

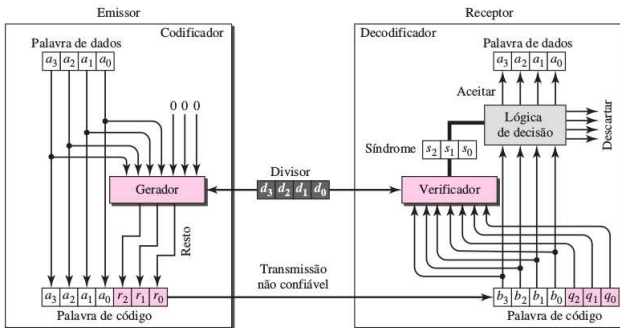
Os dois principais algoritmos que utilizam *bits* de redundância para detecção de erro são:

- CRC (Verificação de Redundância Cíclica): utiliza divisão binária. O processo de divisão é semelhante à divisão de números decimais, mas usando operações AND e XOR;
- *Checksum*: os dados são somados, utilizando aritmética de complemento de dois, e resultado da soma é então complementado (inversão dos *bits*) para obter o *checksum*.



CRC

Um divisor pré-definido é utilizado. Os dados são divididos pelo divisor utilizando aritmética binária. O processo de divisão é semelhante à divisão de números decimais, mas usando operações AND e XOR.



O resto resultante dessa divisão é o código CRC. Esse resto é anexado ao final dos dados originais e transmitido junto com eles. O objetivo é tornar todo o bloco resultante divisível por um número binário predeterminado.

No receptor, o mesmo processo de divisão é repetido com os dados recebidos (incluindo o CRC anexado). Se o resto da divisão no receptor for zero, isso indica que os dados foram recebidos sem erro. Caso contrário, um erro foi detectado e os dados deverão ser retransmitidos.



CRC - Aritmética Binária

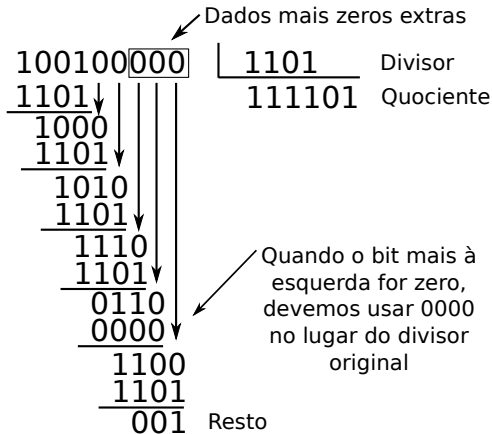
Função XOR:

$$\begin{array}{r} 0 \oplus 0 = 0 \\ 0 \oplus 1 = 1 \\ 1 \oplus 0 = 1 \\ 1 \oplus 1 = 0 \end{array}$$

Função AND:

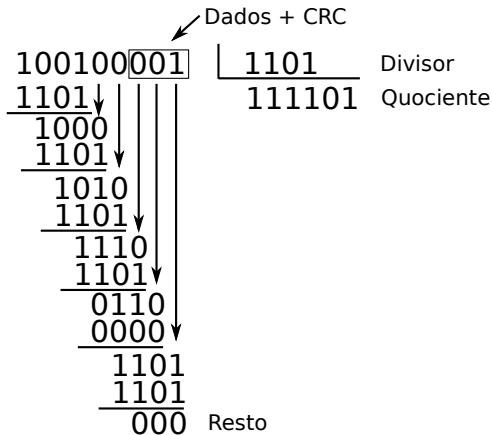
$$\begin{array}{r} 0 \text{ and } 0 = 0 \\ 0 \text{ and } 1 = 0 \\ 1 \text{ and } 0 = 0 \\ 1 \text{ and } 1 = 1 \end{array}$$

CRC - Gerador (Exemplo)



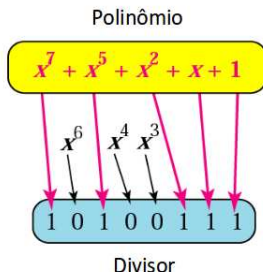
100100 001 Dados + CRC

CRC - Verificador (Exemplo)



CRC - Padrões

Name	Polynomial	Application
CRC-8	$x^8 + x^2 + x + 1$	ATM header
CRC-10	$x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$	ATM AAL
CRC-16	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$	HDLC
CRC-32	$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$	LANs



Checksum

O *checksum* é uma técnica mais simples que o CRC, usada para detectar erros em blocos de dados, principalmente em transmissões de pacotes ou em armazenamento de dados. Os dados a serem transmitidos são divididos em blocos. Os valores binários de cada bloco são somados, utilizando aritmética de complemento de dois. Se a soma exceder o valor máximo que pode ser representado, o valor excedente é somado de volta ao resultado. O resultado da soma é então complementado (inversão dos *bits*) para obter o *checksum*. Este valor é transmitido junto com os dados.



Checksum - Aritmética Binária

Função Adição:

$$\begin{array}{r} 0 + 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 \\ 1 + 1 = 10 \end{array}$$

Observação: se durante o processo da soma, o resultado extrapolar o tamanho do segmento, n bits, os bits extras mais à esquerda precisam ser adicionados aos n bits mais à direita.



Checksum - Gerador (Exemplo)

1010100110111001

Dados

10101001 10111001

Dividir o bloco de dados com 8bits

10101001
10111001

101100010

← Soma

01100010
1

← Complemento de um

01100011
10011100
10011100

← Inversão
← Checksum

1010100110111001 10011100

Dados + Checksum



Checksum - Verificador

O receptor realiza a mesma soma nos blocos de dados recebidos e adiciona o *checksum*. Se o resultado for zero, os dados serão aceitos, caso contrário, será rejeitado.



Checksum - Verificador (Exemplo)

1010100110111001 10011100

Dados + Checksum

10101001 10111001 10011100

Dividir o bloco de dados com 8bits

10101001
10111001
10011100

11111110

← Soma

11111110

1

← Complemento de um

11111111

00000000

← Complemento

00000000

← Checksum



Comparação entre CRC e *Checksum*

- CRC: É mais complexo e oferece maior robustez na detecção de erros. É capaz de detectar padrões mais variados de erros. É o mais utilizado na camada de enlace.
- *Checksum*: É mais simples de implementar, mas menos robusto. Pode detectar erros simples, como *bits* invertidos, mas pode falhar em detectar erros mais complexos. Usado em aplicações onde a simplicidade e a velocidade são mais importantes que a robustez, como em protocolos da camada de rede e transporte.

Atividade

01. Calcule o *checksum* dos conjuntos de *bits* a seguir. Utilize blocos de 4 *bits*.

a) 01001110

b) 11011000

c) 11011101

Controle de Erro e Fluxo

O controle de erro e fluxo são implementados em conjunto. O controle de fluxo coordena a quantidade de dados que pode ser enviada antes de receber uma confirmação. O controle de erros na camada de enlace se baseia nos métodos de detecção de erros e de retransmissão. Para isso, eles utilizam:

- Confirmação (ACK - *Acknowledgment*): o receptor envia uma confirmação para cada pacote de dados recebido com sucesso. Este ACK informa ao transmissor que o pacote foi recebido corretamente e que ele pode continuar enviando o próximo pacote.
- Temporizador: um temporizador é iniciado pelo transmissor sempre que um pacote de dados é enviado. Se o temporizador expirar antes que o transmissor receba o ACK correspondente, o transmissor assume que o pacote foi perdido ou corrompido e o retransmite.



O Ethernet é uma exceção com relação ao controle de fluxo e erro na camada de enlace. Ele não realiza correção de erros, apenas detecção, baseado em CRC-32. Se houver diferença no CRC o quadro é descartado e a retransmissão, quando necessária, fica a cargo de camadas superiores (ex.: TCP, na Camada de Transporte). O controle de fluxo é implementado com o controle de acesso com o CSMA/CD em redes half-duplex. Nas redes modernas, full-duplex, este controle é realizado principalmente pelas camadas superiores (especialmente o TCP).



Protocolos como 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth, HDLC, redes de telefonia celular e de satélite utilizam protocolos de controle de erro e fluxo na camada de enlace. Os principais mecanismos de controle de erro e fluxo são:

- Stop-and-Wait ARQ.
- Selective-Repeat ARQ.

Stop-and-Wait ARQ

O método Stop-and-Wait ARQ é utilizado pelo IEEE 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth. Redes de telefonia celulares utilizam uma adaptação do Stop-and-wait. Neste método, o remetente envia um único quadro de dados para o destinatário e, em seguida, aguarda uma confirmação (ACK - Acknowledgment) do destinatário antes de enviar o próximo quadro. O transmissor atribui um número de sequência (geralmente 0 ou 1). O transmissor guarda uma cópia do quadro enviado e dispara um temporizador para cada quadro enviado. Se o tempo se esgotar e não houver uma confirmação de recebimento (ACK), é assumido que houve uma perda dessa informação e a mesma será reenviada.

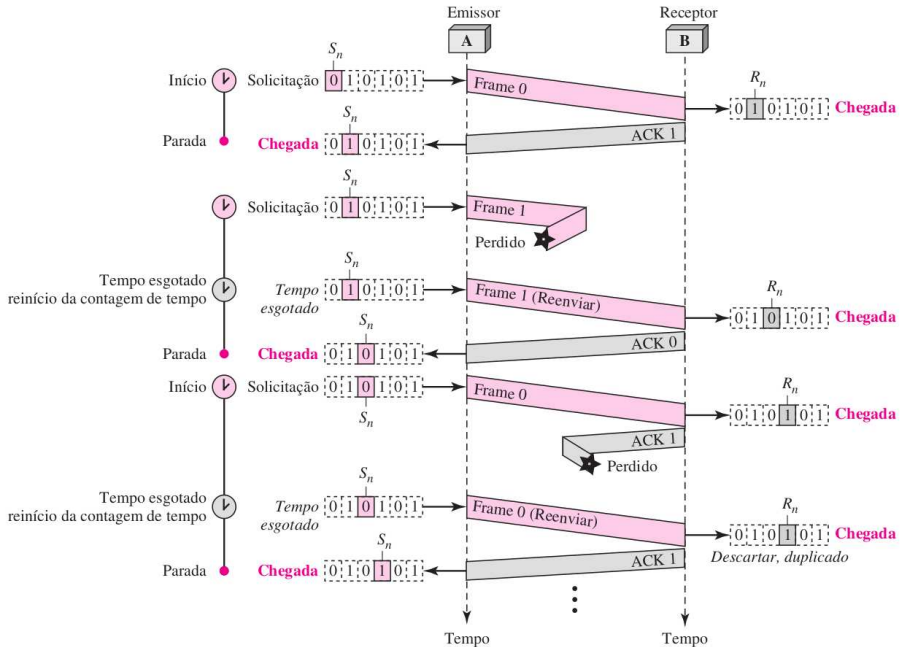


Stop-and-Wait ARQ

Quando o destinatário receber o quadro, ele irá verificar se o mesmo chegou livre de erros (CRC, Checksum ou bit de paridade). Se detectou erros, a informação é descartada. Por outro lado, se a informação chegou corretamente ele envia uma confirmação ao transmissor (ACK) e entrega os dados às camadas superiores.

Ao receber o ACK, o transmissor envia o próximo quadro sempre alternando o número de sequência (0 e 1).





Repetição Seletiva ARQ

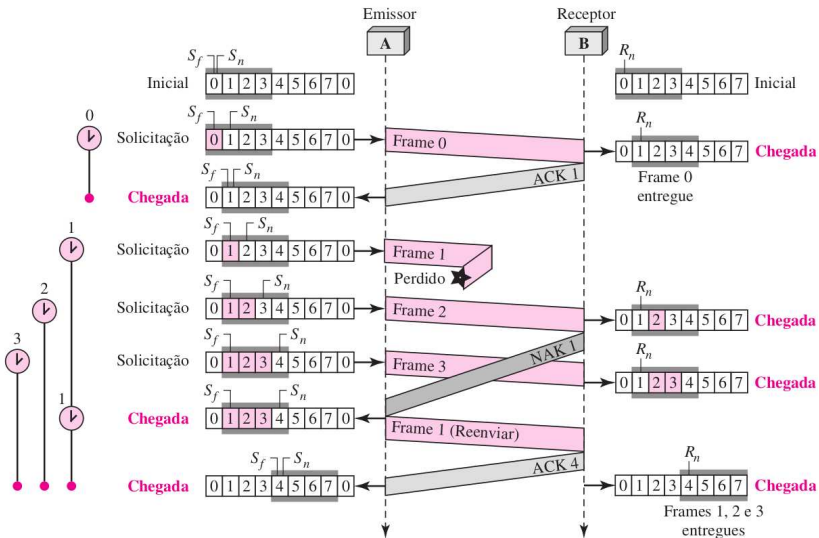
O Repetição seletiva é utilizada no HDLC, redes de telefonia celular (4G/5G) e algumas redes industriais. Ele funciona da seguinte forma:

- O transmissor pode enviar múltiplos pacotes consecutivos desde que não ultrapasse o tamanho da memória do receptor, sem esperar ACK de cada um. Cada pacote é numerado sequencialmente para que o receptor possa identificar a ordem correta dos pacotes.
- O receptor verifica a integridade de cada pacote recebido. Se um pacote for recebido corretamente, o receptor o armazena e envia uma confirmação. Se um pacote for perdido ou corrompido, o receptor simplesmente não envia o ACK correspondente para aquele pacote.



Repetição Seletiva ARQ

- Apenas os quadros não confirmados (perdidos ou com erro) são retransmitidos.
- Quadros fora de ordem são aceitos e armazenados em buffer. Uma vez que todos os pacotes esperados tenham sido recebidos, ele os reordena antes de passá-los para a camada superior.
- Os ACKs são acumulativos, ou seja, um ACK pode confirmar a recepção de múltiplos pacotes.



Dúvidas



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE