

# Redes de Computadores 2

Parte 01 – camada de enlace – introdução e técnicas para detecção e correção de erros

Prof. Kleber Vieira Cardoso



INSTITUTO DE  
INFORMÁTICA  
UFG

# Tópicos

- Introdução
  - Serviços oferecidos
  - Implementação da camada de enlace
- Técnicas para detecção e correção de erros
  - Paridade
  - Soma de verificação
  - Verificação de redundância cíclica (*Cyclic Redundancy Check* – CRC)

# Camada de enlace: algumas questões

- Como os pacotes da camada de rede são encapsulados em quadros da camada de enlace?
- São usados diferentes protocolos de enlace ao longo de um caminho de comunicação?
- Como são tratadas as colisões entre transmissões em um enlace de difusão?
- Há endereçamento na camada de enlace? Se sim, como ele é interage com o endereçamento da camada de rede?
- Quais as diferenças entre roteador e comutador?

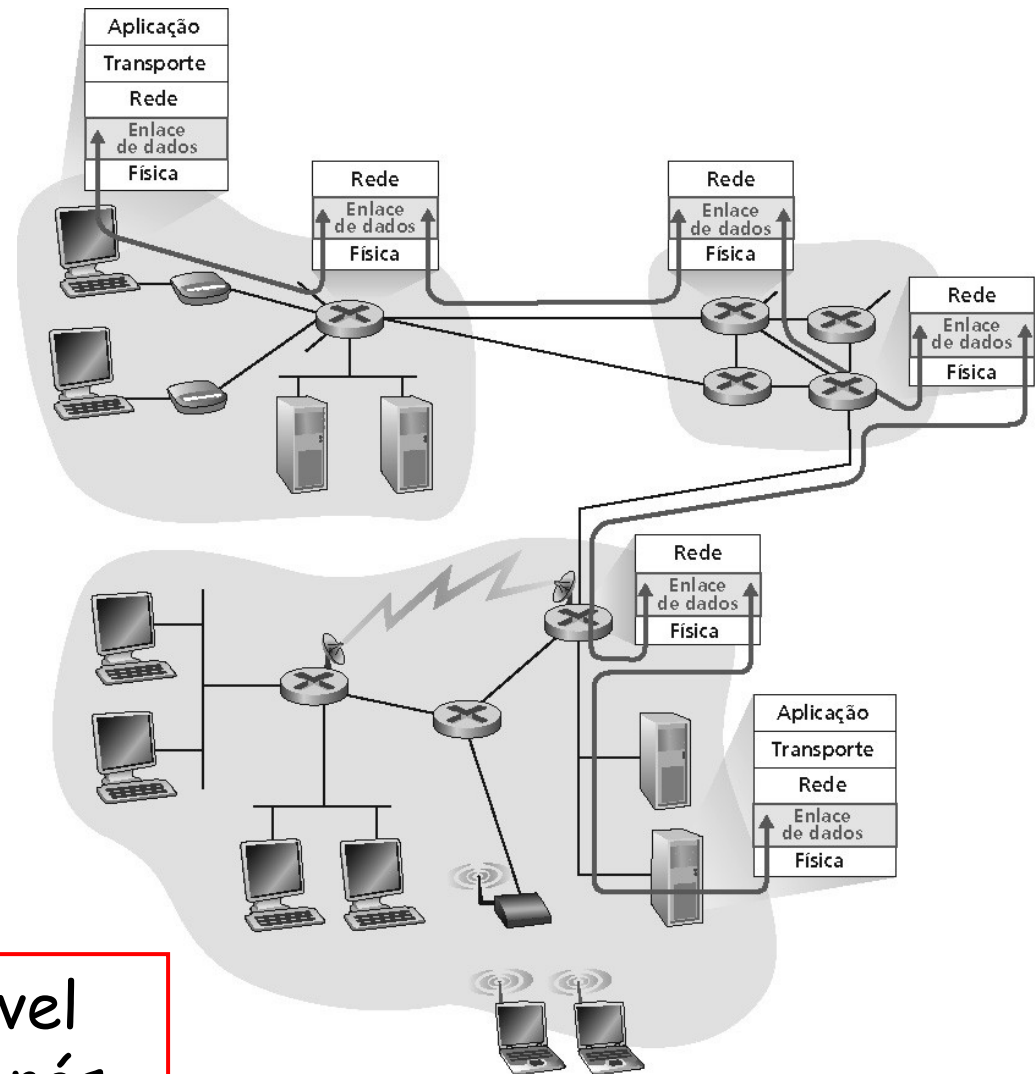
# Camada de enlace: tipos básicos

- Canal de difusão
  - Múltiplos equipamentos no mesmo canal
    - É crítico ter um protocolo para arbitrar o meio
    - As soluções podem ser totalmente distribuídas ou ter um controlador central
  - Exemplos: redes locais sem fio, redes de satélites, HFC (*hybrid fiber-coaxial* ou *cable modem*), Ethernet “clássico” (não comutado)
- Canal ponto-a-ponto
  - Envolve apenas dois equipamentos
  - Exemplos: ADSL, linhas seriais E1/T1, Ethernet comutado

# Camada de enlace: Introdução

## Terminologia:

- *hosts* e roteadores são **nós**
- canais de comunicação que conectam nós adjacentes ao longo de um caminho de comunicação são **enlaces** (*links*)
  - enlaces com fio (cabeados)
  - enlaces sem fio (não cabeados)
  - LANs
- UDP (Unidade de Dados de Protocolo) da camada 2 é o **quadro** (*frame*), o qual encapsula o pacote IP



**a camada de enlace** é responsável por transferir os pacotes entre nós adjacentes através de um enlace

# Possíveis serviços da camada de enlace

O conjunto de serviços efetivamente oferecidos pode variar de acordo com o enlace utilizado

## □ Enquadramento (Delimitação do quadro):

- encapsula pacote num quadro adicionando cabeçalho e, eventualmente, cauda (*trailer*)

## □ Acesso ao enlace:

- implementa acesso ao canal se meio for compartilhado,
- “endereços físicos (MAC)” são usados nos cabeçalhos dos quadros para identificar origem e destino de quadros em enlaces multiponto
  - Diferente do endereço IP!

## □ Entrega confiável entre nós adjacentes:

- já é um conceito conhecido (da camada de transporte)
- raramente usada em canais com baixas taxas de erro (ex.: fibra óptica, alguns tipos de pares trançados)
- canais sem fio: altas taxas de erros
  - Pergunta: para que confiabilidade na camada de enlace e de transporte (fim-a-fim)?

# Serviços da camada de enlace (cont.)

## □ *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 com erro

## □ *Correção de Erros:*

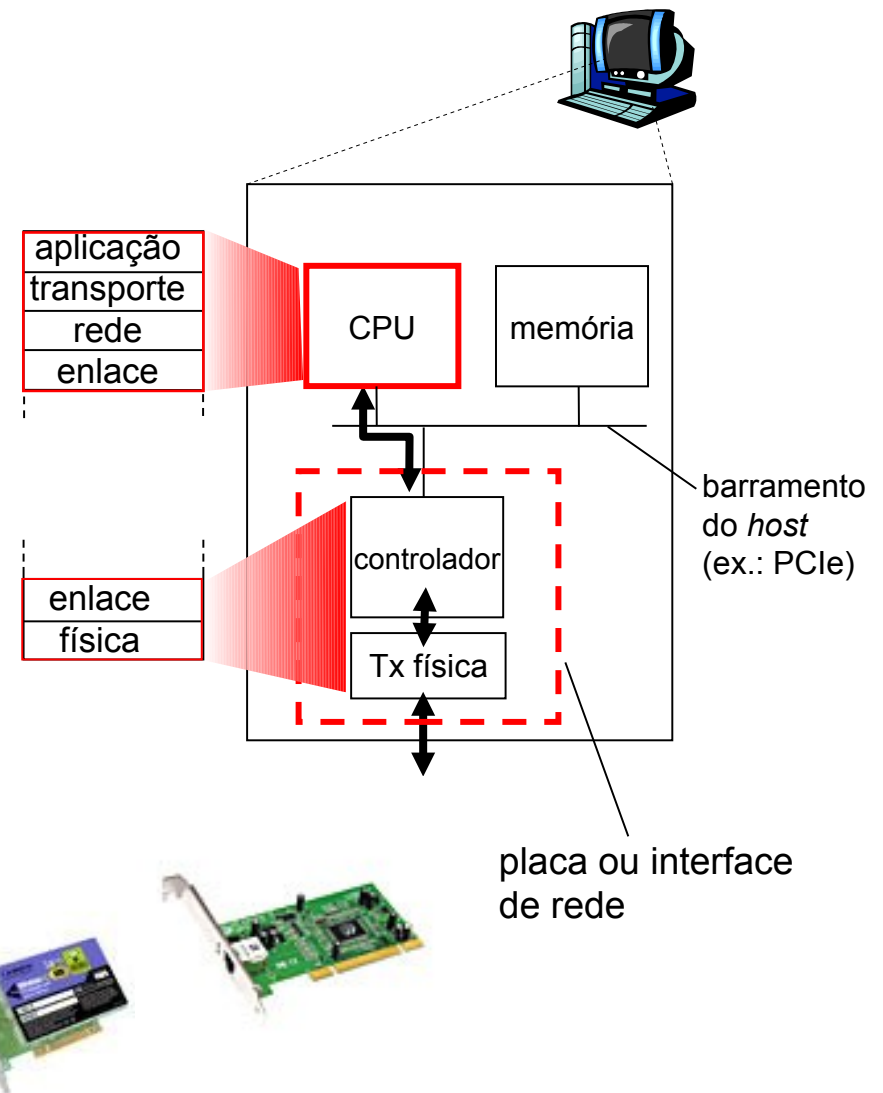
- mecanismo que permite que o receptor localize *e corrija* o(s) erro(s) sem precisar da retransmissão

## □ *Half-duplex e full-duplex*

- com *half-duplex* um nó não pode transmitir e receber pacotes ao mesmo tempo
  - exemplos?

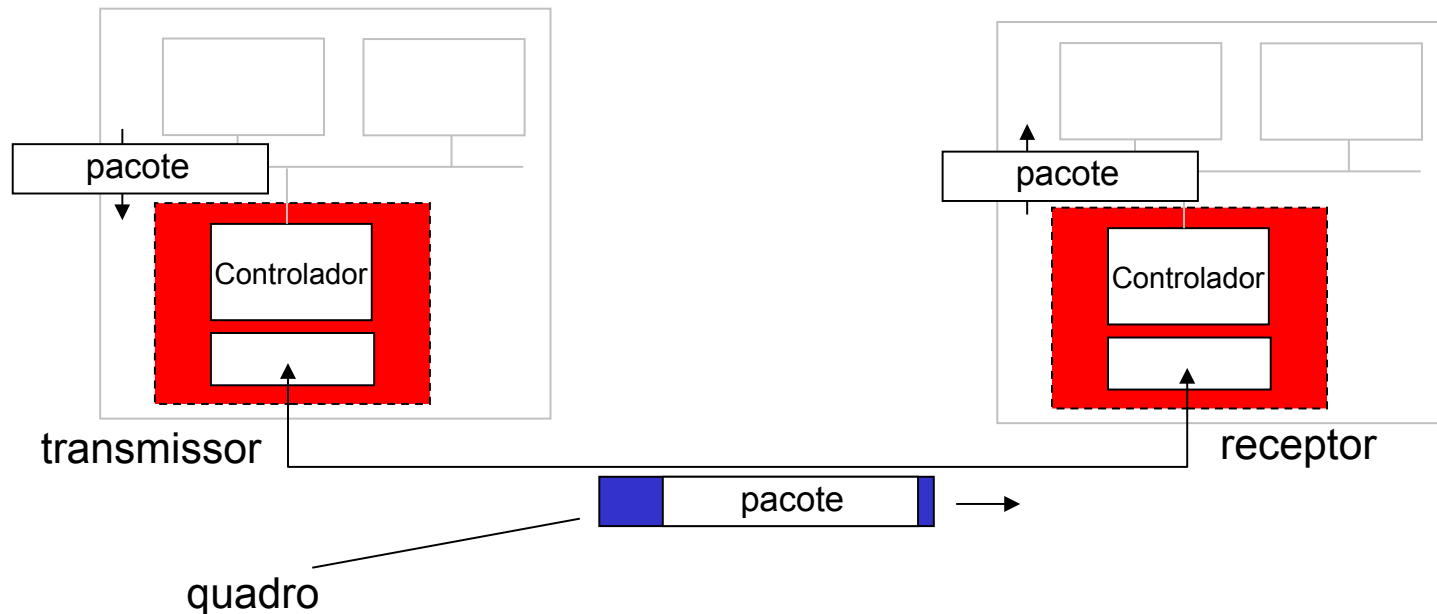
# Onde a camada de enlace é implementada?

- A maior parte é implementada em uma interface de rede (NIC – *Network Interface Card*)
  - Em geral, há um *chip* controlador de propósito específico
  - Exemplos: Intel 8254x (Ethernet), Atheros AR5006 (WiFi)
  - implementa as camadas de enlace e física
  - combinação de hardware, software (e firmware)
- Conecta ao barramento de sistema do *host*
  - semelhante a outros dispositivos





# Comunicação entre adaptadores



- Transmissor:
  - encapsula o pacote em um quadro
  - adiciona bits de verificação de erro, realiza controle de fluxo, acessa o meio, etc.
- Receptor
  - verifica erros, realiza controle de fluxo, acesa o meio, etc.
  - extrai o pacote, passa-o para o nó receptor

# Tópicos

- Introdução
  - Serviços oferecidos
  - Implementação da camada de enlace
- Técnicas para detecção e correção de erros
  - Paridade – conceito básico
  - Soma de verificação – usado na camada de transporte
  - Verificação de redundância cíclica (*Cyclic Redundancy Check* – CRC) – tipicamente usado na camada de enlace dos dispositivos

# Erro!

- Um erro ocorre quando um bit é alterado entre a transmissão e a recepção
  - $Tx(0) \rightarrow Rx(1)$  ou  $Tx(1) \rightarrow Rx(0)$
- Tipos de erro
  - Erro único ou isolado – condição de erro que altera um bit, mas não afeta os bits próximos
    - Causa comum: deterioração leve e aleatória da SNR
  - Rajadas de erros – uma rajada de erros de comprimento  $R$  é uma sequência de bits, na qual o primeiro, o último e qualquer quantidade de bits intermediários entre eles contêm erros
    - Causa comum: ruído de impulso, desvanecimento rápido
    - Os efeitos das rajadas de erros são maiores em taxas de dados mais altas. Por que?

# Detecção de erros

- A camada de transporte já verifica erros, porém em software, enquanto na camada de enlace a verificação é feita em hardware
  - Normalmente, a verificação na camada de enlace é mais rápida e pode ser mais sofisticada
- A diferença entre detecção e correção de erro é que a correção precisa identificar cada bit errado
  - A detecção precisa apenas identificar que houve erro(s)
- Não detectar um erro não significa a ausência de erro!
  - As técnicas de detecção não são perfeitas

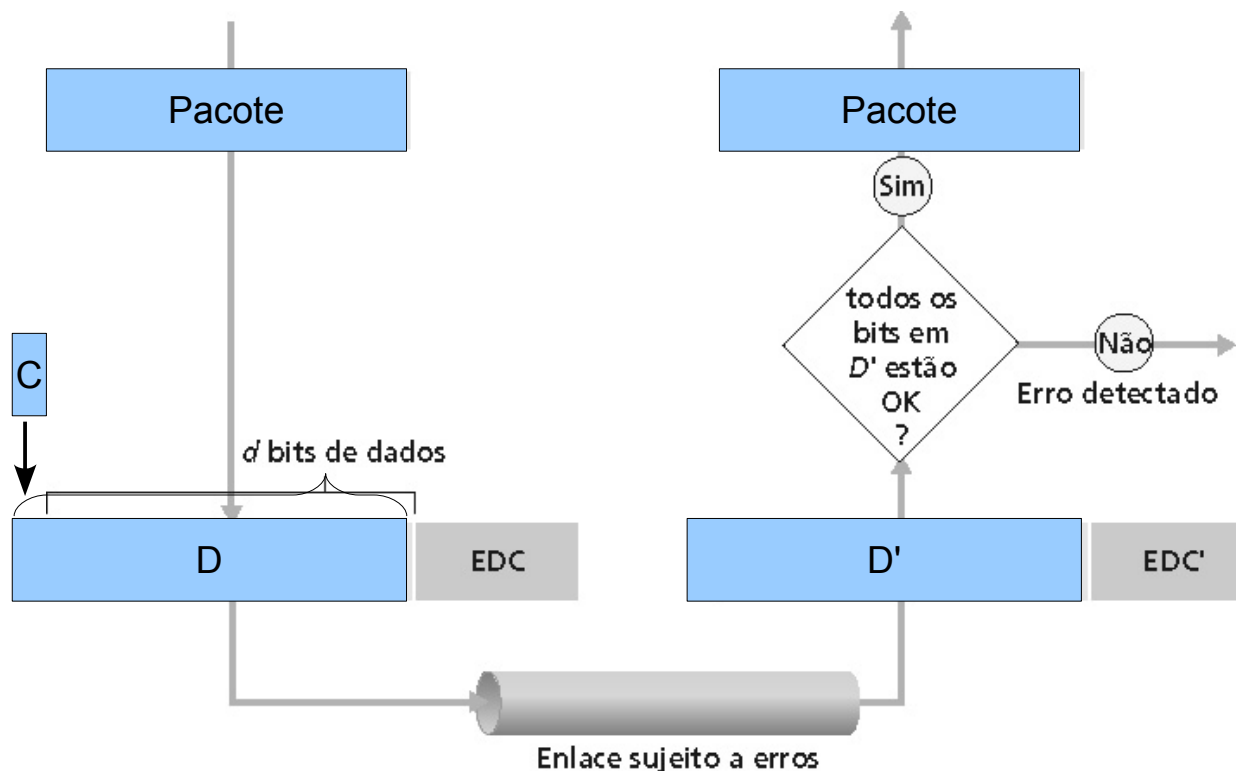
# Detecção de erros (cont.)

EDC = bits de Detecção e Correção de Erros (redundância)

D = Dados enviados com verificação de erros, os quais podem incluir alguns campos do cabeçalho

D' = Dados recebidos

EDC' = bits de Detecção e Correção de Erros recebidos



# Detecção de erros (cont.)

- Uma vez que as técnicas de detecção não são perfeitas, é importante definir algumas probabilidades em relação aos erros:
  - $P_b$ : probabilidade de um bit ser recebido com erro, também conhecido com taxa de erro de bit (BER)
  - $P_1$ : probabilidade de um quadro recebido não ter erros
  - $P_2$ : probabilidade de um quadro recebido com erros não ser identificado (com erro) pela técnica de detecção
  - $P_3$ : probabilidade de um quadro recebido com erros ser identificado (com erro) pela técnica de detecção

# Detecção de erros (cont.)

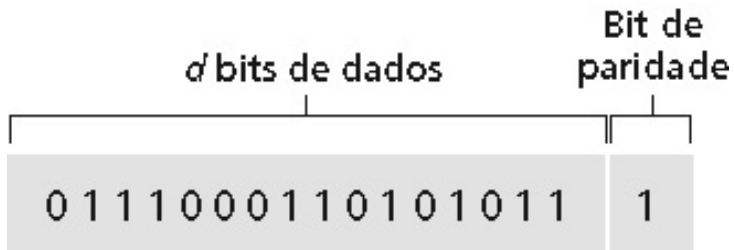
- Algumas considerações sobre as probabilidades:
  - Se nenhuma técnica de detecção é usada,  $P_3 = 0$  e
    - se assumirmos que  $P_b$  é constante e independente para cada bit, temos:
      - $P_1 = (1 - P_b)^Q$ , onde  $Q$  é o número de bits do quadro
      - $P_2 = 1 - P_1$
  - A probabilidade de um quadro recebido não ter erros ( $P_1$ ) decresce à medida em que cresce a probabilidade de um bit ser recebido com erro ( $P_b$ )
  - A probabilidade de um quadro recebido não ter erros ( $P_1$ ) decresce à medida em que aumenta o tamanho do quadro ( $Q$ )
  - $P_3$  é uma medida de acurácia da técnica de detecção
  - $P_2$  é também conhecida como taxa de erro residual da técnica de detecção

# Paridade

## Paridade de 1 Bit:

Detecta erros em um único bit

- Adiciona 1 bit que pode ser '0' ou '1' de acordo com a paridade (par ou ímpar) e a quantidade de bits '1' dos dados



## Paridade Bidimensional:

Detecta e corrige erro em um único bit



Nenhum erro

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

Erro de bit  
único corrigível

1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

Erro de  
paridade

Erro de  
paridade

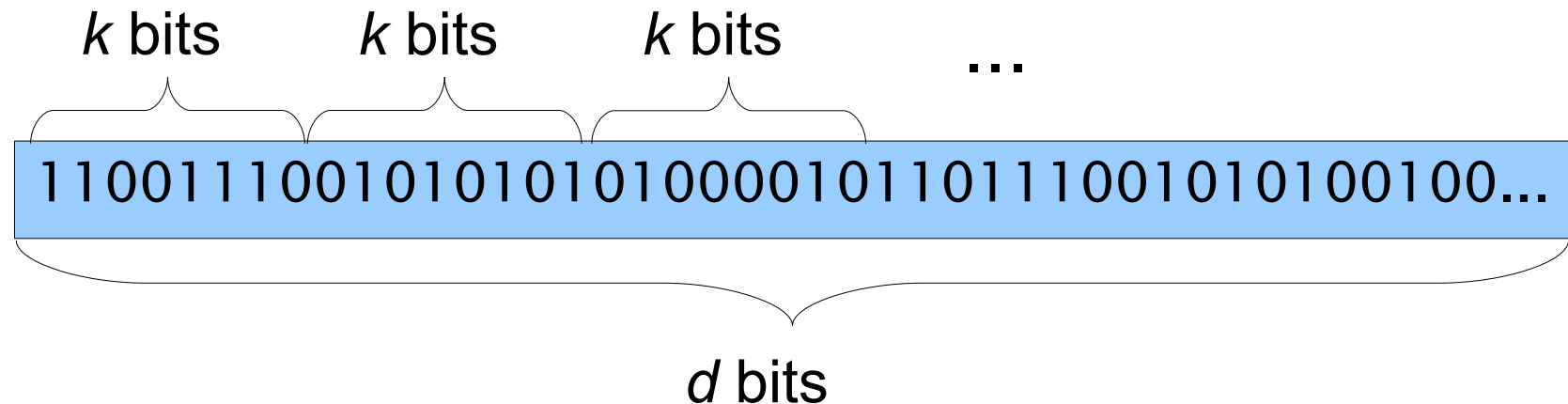


# Paridade (cont.)

- 1 bit
  - Quando ocorrem erros em rajada, a probabilidade de não detectar esses erros pode se aproximar de 50%
    - Medições mostram que erros em rajada são mais frequentes que erros isolados
- Bidimensional
  - Erro de 1 bit na própria paridade pode ser detectado e corrigido
  - Pode detectar, mas não corrigir, qualquer combinação de dois erros
- A capacidade de detectar e corrigir erros é conhecida como FEC (*Forward Error Correction*)

# Soma de verificação

- Os  $d$  bits de dados são divididos em  $n$  conjuntos de tamanho  $k$  e somados. A soma resultante é usada para detecção de erros



# Soma de verificação da Internet

Objetivo: detectar "erros" (i.e. bits trocados) no datagrama/segmento transmitido

- Usado *apenas* na camada de transporte (UDP/TCP)
- Camada de rede verifica apenas o próprio cabeçalho

## Transmissor:

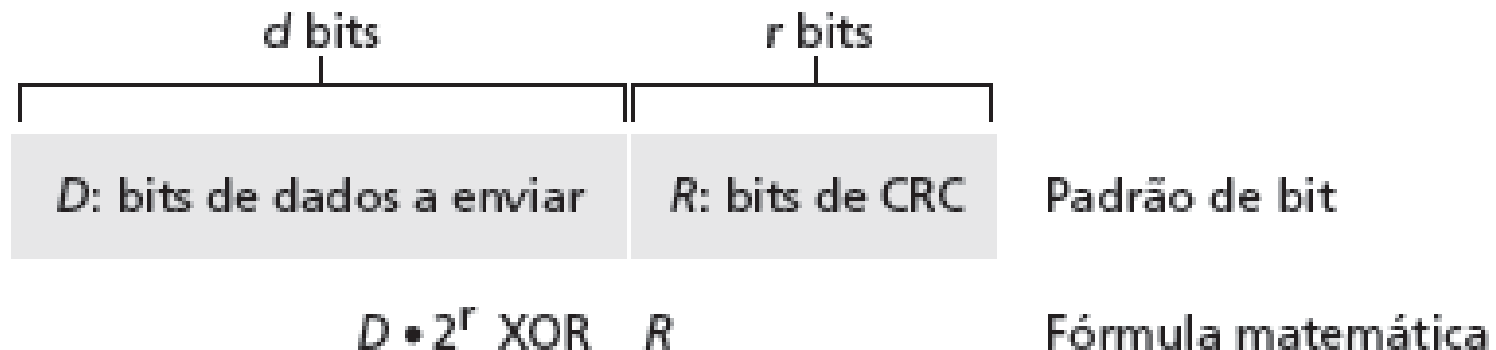
- trata os dados como uma sequência de 16 bits
- realiza a soma de verificação: adição (complemento de 1 da soma)
  - Transbordo é realimentado à direita
  - Após concluir soma, inverte os bits (esse é a *checksum*)
- coloca o valor da soma de verificação (*checksum*) em um campo do cabeçalho

## Receptor:

- calcula a soma de verificação do datagrama/segmento recebido
- confere a soma de verificação:
  - Se igual a 111...111 → soma correta (nenhum erro foi detectado)
  - Senão → soma incorreta (erro detectado)

# Verificação de redundância cíclica (CRC)

- Largamente usado na prática (Ethernet, CDMA, 802.11)
- Dados são considerados como a sequência de coeficientes de um polinômio (**D**)
  - Exemplo:  $101110 \rightarrow X^5 + X^3 + X^2 + X$
- É escolhido um polinômio *Gerador*, (**G**), com  $r+1$  bits
  - Divide (módulo 2) o polinômio  $D \cdot 2^r$  por  $G$  e acrescenta o resto (**R**) a  $D$ 
    - Por construção, a nova sequência  $\langle D, R \rangle$  agora é exatamente divisível por  $G$
  - Receptor conhece  $G$ , divide  $\langle D, R \rangle$  por  $G$ . Caso o resto seja diferente de zero: detectado erro!
  - Pode detectar todos os erros em rajadas menores do que  $r+1$  bits



# CRC (cont.)

- Todos os cálculos realizados na CRC são em aritmética módulo 2
  - Multiplicação e divisão são as convencionais da aritmética binária
  - Na soma, não há transbordo, e na subtração, não há empréstimo
    - Soma e subtração se tornam idênticas e equivalentes a operação XOR

- Exemplos:

$$\begin{array}{r} 1001 \\ \text{XOR } 0101 \\ \hline 1100 \end{array}$$

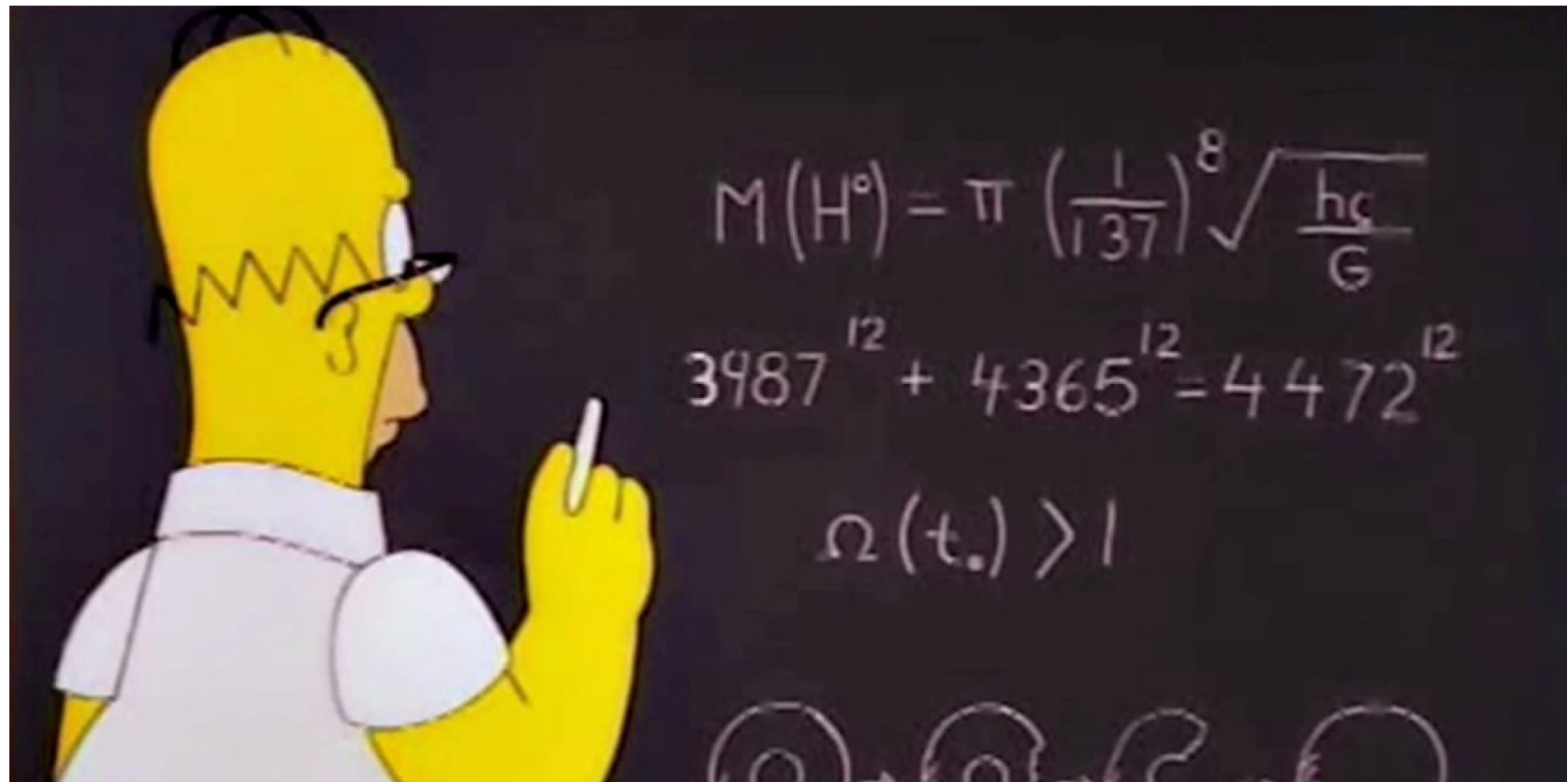
$$\begin{array}{r} 1011 \\ \text{XOR } 1101 \\ \hline 0110 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ + 0101 \\ \hline 1100 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ - 1101 \\ \hline 0110 \end{array}$$

## CRC (cont.)

- Maiores detalhes sobre CRC serão apresentados no quadro



# Exemplo de CRC

Questão crucial: como o transmissor obtém  $R$ ?

Queremos encontrar  $R$  tal que existe um  $n$  tal que:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

*de forma equivalente:*

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

*de forma equivalente:*

se dividirmos  $D \cdot 2^r$  por  $G$ ,  
queremos o resto  $R$

$$R = \text{resto} \left( \frac{D \cdot 2^r}{G} \right)$$

D	G
101110000	1001
1001	101011
1010	
1001	
1100	
1001	
1010	
1001	
011	
	R