



REDES DE COMPUTADORES

UNIDADE 6 – Métodos de Detecção de Erros (Aula 09 – Técnicas Convencionais e CRC)

Prof. Ivan Nunes da Silva

1. Métodos de Detecção de Erros

1.1 Erros na Transmissão de Dados

- Na conexão inter-redes, a transmissão de dados estão sujeitas a erros.
- Raios, surtos de energia e outras interferência eletromagnéticas podem introduzir correntes elétricas indesejadas nos componentes ou fios usados para comunicação.
- A interferência que é séria (especialmente raio) pode causar danos permanentes ao equipamento de rede.
- Uma pequena mudança no sinal elétrico pode fazer com que o receptor interprete mal um ou mais bits de dados.
- A interferência pode destruir completamente um sinal, significando que, embora o remetente transmita, o receptor não detecta a chegada de quaisquer dados.
- A interferência em um circuito de transmissão completamente inativo pode criar o efeito oposto, embora o remetente não transmita qualquer coisa, um receptor poderia interpretar a interferência lida como uma sequência válida de bits ou caracteres.

1. Métodos de Detecção de Erros

1.2 Bits de Paridade e Verificação de Paridade

● Processo de Verificação de Paridade

1. Mecanismo faz com que o remetente compute um bit adicional, denominado de bit de paridade (*parity bit*), e anexe-o a cada caractere antes do envio.
2. Após todos os bits de um caractere serem recebidos, o receptor remove o bit de paridade.
3. Receptor executa a mesma computação que o remetente e verifica se o resultado está de acordo com o valor de bit de paridade.
4. A computação de paridade é escolhida de forma que se um dos bits do caractere é danificado em trânsito, a computação do receptor não concordará com o bit de paridade e o receptor indicará que aconteceu um erro.
5. Existem duas formas de paridade, ou seja, **par e ímpar**.
6. Ambos remetente e receptor devem concordar em qual forma será utilizada.

3

1. Métodos de Detecção de Erros

1.2 Bits de Paridade e Verificação de Paridade

● Processo de Computação da Paridade

- **Paridade Par** → remetente fixa o bit de paridade para 0 ou 1 de forma que faça o número total de bits 1 (inclusive o bit de paridade) um número par. Exemplos:
 - 01001010 → Bit de Paridade = 1 (Caractere contém um número ímpar de bits 1).
 - 01011010 → Bit de Paridade = 0 (Caractere já contém um número par de bits 1).
- **Paridade Ímpar** → remetente fixa o bit de paridade para 0 ou 1 de forma que faça o número total de bits 1 (inclusive o bit de paridade) um número ímpar. Exemplos:
 - 11011010 → Bit de Paridade = 0 (Caractere já contém um número ímpar de bits 1).
 - 01110001 → Bit de Paridade = 1 (Caractere contém um número par de bits 1).
- **A Paridade não detecta erros de transmissão que mudam um número par de bits.**

4

1. Métodos de Detecção de Erros

1.3 Detectando Erros com *Checksum*

● Características de Detecção de Erro com *Checksum*

- Muitos sistemas de rede enviam um *Checksum* junto com cada pacote para ajudar o receptor a detectar erros.
- Para calcular um *Checksum*, o remetente trata os dados como uma sequência de números e computa sua soma.
- Os dados não são restritos a valores inteiros, podendo conter caracteres, números em ponto flutuante ou uma imagem.
- O sistema de redes trata os dados meramente como uma sequência de inteiros com o propósito de calcular o *Checksum*.

H	e	l	l	o		w	o	r	l	d	.
48	65	6C	6C	6F	20	77	6F	72	6C	64	2E
4865 + 6C6C + 6F20 + 776F + 726C + 642E											= 71FC

5

1. Métodos de Detecção de Erros

1.3 Detectando Erros com *Checksum*

● Vantagens da Detecção de Erro com *Checksum*

- As principais vantagens derivam do tamanho e da facilidade de computação dos *Checksums*.
- O tamanho pequeno do *Checksum* significa que o custo de transmissão do *Checksum* é normalmente muito menor do que o custo de transmitir os dados.
- O *Checksum* só exige adição e o processamento necessário para criar ou verificar um *Checksum* é pequeno.
- A maioria das redes que empregam uma técnica de *Checksum* usam um *Checksum* de 16 ou 32 bits e geram *Checksum* único para o pacote inteiro.

6

1. Métodos de Detecção de Erros

1.3 Detectando Erros com *Checksum*

- **Desvantagens da Detecção de Erro com *Checksum***

- Tem a desvantagem de não detectar todos os erros comuns.
- Por exemplo, a tabela abaixo mostra que um *Checksum* não é suficiente para detectar erros de transmissão que inverte o segundo bit em cada um dos quatro bits enviados.

Item de Dados em Binário	Valor do Checksum	Item de Dados em Binário	Valor do Checksum
0001	1	0011	3
0010	2	0000	0
0011	3	0001	1
0001	1	0011	3
totais	7		7

- Para estender o exemplo para um pacote inteiro, imagine que os quatro itens modificados acontecem no meio de vários outros.

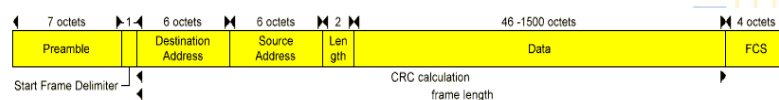
7

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC

- **Características da Técnica:**

- Mecanismo baseado em códigos de Verificação de Redundância Cíclica (*Cyclic Redundancy Checks*).
- Técnica que permite detectar erros em múltiplos bits (erros por rajada).
- É provado matematicamente que a CRC consegue detectar mais erros que um *Checksum*.
- Dada uma mensagem de n bits, em lugar de se acrescentar 1 bit de paridade será adicionada uma sequência de k bits denominada **FCS (*Frame Check Sequence*)**.
- O FCS é determinado por um polinômio gerador $P(x)$ tal que os $n+k$ bits transmitidos sejam divisíveis por $P(x)$.



8

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC

● Passos do Mecanismo CRC (Parte I):

- O transmissor acrescenta o FCS e o receptor verifica se a Mensagem acrescida do FCS é divisível por $P(x)$ com resto zero. Caso não seja, ocorreu erro de transmissão.
- Sendo M a mensagem de n bits a ser transmitida, esta mensagem pode ser considerada como um polinômio $M(x)$ de grau $n-1$ que possui o termo x^i se o i -ésimo bit de M é 1.
- Como por exemplo:

Se $M = 1010001101$

Então $n = 10$ e $M(x) = x^9 + x^7 + x^3 + x^2 + 1$



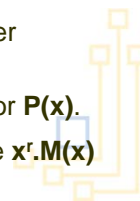
9

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC

● Passos do Mecanismo CRC (Parte II):

- Considera-se uma sequência de k bits correspondente a um **Polinômio Gerador $P(x)$** de grau $k-1$ como o seguinte:
Se $P = 110101$
Então $k = 6$ e $P(x) = x^5 + x^4 + x^2 + 1$
- O **Polinômio Gerador $P(x)$** de grau $r=k-1$ deve ser conhecido tanto pelo transmissor como pelo receptor.
- Deve-se calcular $F(x)$ tal que o quadro $T(x)$ a ser transmitido:
$$T(x) = x^r \cdot M(x) + F(x)$$
, seja então divisível por $P(x)$.
- $F(x)$ pode ser obtido como o resto da divisão de $x^r \cdot M(x)$ por $P(x)$.



10

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC

- **Algoritmo Para Geração da Soma Verificadora (FCS) e do Quadro Completo de Transmissão $T(x)$:**

1. Definir a cadeia M de n bits a ser transmitida.
2. Montar o polinômio $M(x)$ de grau $n-1$ a partir de M , sendo que os bits de M corresponde aos coeficientes de $M(x)$.
3. Definir a cadeia P de k bits que gerará o polinômio gerador $P(x)$.
4. Obter o polinômio $P(x)$ de grau $r = k-1$ a partir de P , sendo que os bits de P corresponde aos coeficientes de $P(x)$.
5. Obter o quadro completo $T(x)$ a ser transmitido, o qual é formado por $T(x) = x^r \cdot M(x) + F(x)$, onde $F(x)$ é o **Frame Check Sequence** (FCS) de grau $r-1$ (que contem então r bits), sendo dado pelo resto da divisão de $x^r \cdot M(x)$ por $P(x)$.
6. Transmitir o quadro T que é formado pela cadeia original M concatenada com a cadeia F representando o FCS.

11

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC

- **Algoritmo Para Recepção do Quadro Completo $T(x)$ e Verificação de Ocorrência de Erro:**

1. Reconstituir o polinômio $T(x)$ a partir do quadro de bits T que foi transmitido.
2. Obter o polinômio $R(x)$ que é dado pela divisão do polinômio $T(x)$ por $P(x)$.
3. Se $R(x)$ for um polinômio nulo, então não houve erros durante a transmissão; caso contrário, houve erros durante a transmissão.
4. Se não houve erros, a cadeia M de bits originais poderá ser obtida a partir de T , bastando retirar os k bits mais a direita do quadro total T .

12

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC (Exemplo)

- Exemplo Completo:

- Transmissão da cadeia $M = 1010001101$ ($n=10$), tendo como Polinômio Gerador $P(x) = x^5 + x^4 + x^2 + 1$ ($r = 5$).
- $P(x)$ em termos de seus coeficientes, torna-se: $P = 110101$.

- Obtendo o Polinômio $M(x)$

- $M = 1010001101 \rightarrow M(x) = x^9 + x^7 + x^3 + x^2 + 1$, onde ordem $\rightarrow n-1$.

- Obtendo o termo $x^r.M(x)$, com $r = 5$

- $x^r.M(x) = x^5.(x^9 + x^7 + x^3 + x^2 + 1) \rightarrow x^{14} + x^{12} + x^8 + x^7 + x^5$
- $x^r.M(x)$ em termos dos Coeficientes $\rightarrow 101000110100000$

- Obtendo o FCS representado pelo termo $F(x)$

- $F(x)$ é dado pelo resto da divisão de $x^r.M(x)$ por $P(x)$, usando aritmética de módulo 2 (OU-Exclusivo sem Carry).
- Por facilidade de cálculo, trabalha-se apenas com os polinômios em termos de seus coeficientes.

13

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC (Exemplo)

- Obtendo o FCS representado pelo termo $F(x)$

- $x^r.M(x)$ em termos dos Coeficientes ($r = 5$) $\rightarrow 101000110100000$
- $P(x)$ em termos de seus Coeficientes $\rightarrow P = 110101$.
- Lembrar que se está dividindo polinômios, sendo que cada numerador tem que ter no mínimo o mesmo grau do denominador.

```
101000110100000 | 110101
110101
0111011
110101
00111010
110101
00111110
110101
00101100
110101
0110010
110101
0001110
```

FCS = 01110
(deve conter r bits $\rightarrow r = 5$)

$F(x) = x^3 + x^2 + x$

14

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC (Exemplo)

- Obtendo o quadro completo $T(x)$ a ser transmitido:
 - $T(x) = x^r \cdot M(x) + F(x)$
 - $x^r \cdot M(x) = x^{14} + x^{12} + x^8 + x^7 + x^5$
 - $F(x) = x^3 + x^2 + x$
 - $T(x) = x^{14} + x^{12} + x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + x^2 + x$
 - Em termos de seus coeficientes, tem-se a cadeia T a ser transmitida $\rightarrow T = 101000110101110$
 - A obtenção da cadeia T acima é semelhante a subtrair (em módulo 2) o valor $F = 01110$ de 101000110100000
 - A cadeia T é então divisível por P .
 - Transmite-se então a cadeia T com FCS de 5 bits.

15

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC (Exemplo)

- Quando a cadeia T chega ao receptor, o mesmo deve checar se a cadeia chega sem erro.
- Para checar a integridade, o resto da divisão de T por P deve ser ZERO.
 - Checando se $T = 101000110101110$ dividido por $P = 110101$ produz resto zero:

```
101000110101110 | 110101
110101
0111011
110101
00111010
110101
00111110
110101
00101111
110101
0110101
110101
0000000
```

Resto = 0
(Mensagem está OK!)

Basta recuperar agora a Cadeia original M , retirando-se os cinco últimos bits de T , ou seja,
 $M = 1010001101$

16

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC (Vantagens)

- Os códigos CRC em geral permitem a detecção dos seguintes tipos de erros:
 - Todos os erros de 1 bit.
 - Todos os erros duplos desde que $P(x)$ tenha pelo menos três termos.
 - Números ímpares de erros desde que $P(x)$ contenha o fator $(x+1)$.
 - Rajadas de erros de comprimentos menores que o FCS.
 - A maior parte das rajadas maiores que o FCS.



17

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC (Polinômios)

- Alguns polinômios geradores utilizados e padronizados:
 - CRC-8 $\rightarrow x^8+x^2+x+1$
 - CRC-12 $\rightarrow x^{12}+x^{11}+x^3+x^2+x+1$
 - CRC-16 $\rightarrow x^{16}+x^{15}+x^2+1$
 - CRC-32 $\rightarrow x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$
- O CRC-32 foi escolhido pelo comitê IEEE-802 para uso com redes locais.

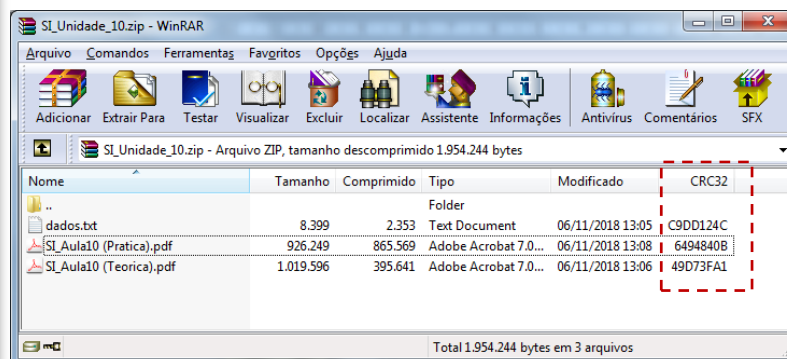


18

1. Métodos de Detecção de Erros

1.4 Detectando Erros com CRC

- A maioria dos compactadores de arquivos também utilizam o CRC-32:



19

Fim da Apresentação



20