Universidade Federal do Ceará (UFC)
Centro de Ciências (CC)
Departamento de Computação (DC)
Disciplina de Transmissão de Dados (CK170)
Prof: Emanuel Bezerra Rodrigues

Gabarito da 1.^{a} Lista de Exercícios

1) Neste problema, consideramos enviar um sinal de voz em tempo real de um Host A para um Host B em uma rede comutada por pacotes (VoIP). O Host A converte a voz analógica para um stream digital de bits de 64 kbps imediatamente. O Host A então agrupa os bits em pacotes de 56 bytes. Há uma conexão entre os Hosts A e B; sua taxa de transmissão é 2 Mbps e seu atraso de propagação é 10 ms. Assim que o Host A junta um pacote, ele o envia para o Host B. Assim que o Host B recebe um pacote completo, ele converte os bits do pacote para um sinal analógico. Quanto tempo demora do momento que um bit é criado (do sinal analógico original no Host A) até o bit ser decodificado (como parte do sinal analógico no Host B)?

Resp.: Considere o primeiro *bit* do pacote. Antes que esse *bit* possa ser transmitido, todos os *bits* no pacote precisam ser gerados. Assim, o tempo necessário para gerar o pacote equivale ao tamanho do pacote dividido pelo tempo de geração dos dados e corresponde a:

$$\frac{56 \cdot 8}{64 \times 10^3} \text{sec} = 7\text{msec}$$

Da mesma forma, para se transmitir um pacote, precisamos dividir o tamanho do pacote pela taxa de transmissão e isso corresponde a:

$$\frac{56 \cdot 8}{2 \times 10^6} \text{sec} = 224\mu\text{sec}$$

Assim, o tempo total até a decodificação do pacote é dado por:

$$\textit{tempo de geração} + \textit{tempo de transmissão} + \textit{atraso de propagação}$$

Como o atraso de propagação (*delay*) é de 10 msec, o tempo total equivale:

$$7 \text{ msec} + 224\mu \text{ sec} + 10 \text{ msec} = 17.224 \text{ msec}$$

2) Suponha que você queira enviar urgentemente 40 terabytes de dados de Boston para Los Angeles. Você tem disponível uma conexão dedicada de 100 Mbps para transferência de dados. Você preferiria transmitir o dado através desta conexão ou em vez disso usar o serviço de entrega noturno do FedEx? Explique.

Resp.: O tempo necessário para se transmitir um pacote é dado pelo tamanho do que se quer transmitir dividido pela taxa de transmissão do *link*, assim, queremos transmitir:

$$40 \text{ terabytes} = 40 \cdot 10^{12} \cdot 8 \text{ bits}$$

Em um *link* com capacidade de:

$$100 \text{ Mbps} = 100 \cdot 10^{6} \text{ sec}$$

Dessa forma, seria necessário:

$$\frac{40 \cdot 10^{12} \cdot 8}{100 \cdot 10^{6}} = 3200000 \text{ segundos} = 37\text{dias}$$

A alternativa seria colocar os 40 *terabytes* em um HD e utilizar o serviço de entrega dos correios. O FedEx possui um serviço de entrega rápida que garantiria que a entrega chegaria ao destino em um dia e custaria menos que $ 100.

3) Imagine que você tenha treinado Bernie, seu cachorro São Bernardo, para carregar uma caixa de três fitas de 8 mm, em vez de um cantil de conhaque. (Quando seu disco ficar cheio, considere isso uma emergência.) Cada uma dessas fitas contém 7 gigabytes. O cachorro pode viajar a seu lado, onde quer que você esteja, a 18 km/h. Para que intervalo de distâncias Bernie terá uma taxa de dados mais alta que uma linha de transmissão cuja taxa de dados (excluindo o overhead) é de 150 Mbps?

Resp.: Cada fita possui capacidade de armazenar 7 gigabytes. Como o cachorro consegue carregar três fitas, a sua capacidade de transporte é 3×7 gigabytes $= 21$ gigabytes ou $3 \times 7 \times 8 = 168$ gigabits.

O cachorro viaja a uma velocidade de 18 km/h que equivale a 0.005 km/s. Assim, para viajar uma distância de x km, o cachorro levaria $x/0.005 = 200x$ sec. Assim, sua taxa de transmissão equivale a $168/200x$ Gbps ou 0.84 Gbps, que equivale a $840/x$ Mbps.

Analisando a Tabela 1 podemos perceber que a taxa de transmissão do cachorro diminui com o aumento da distância e que para distâncias superiores a 5.6 km sua taxa de transmissão possui valores inferiores a 150 Mbps. Assim, para intervalos menores que 5.6 km, a taxa de transmissão do cachorro é melhor do que a de uma linha de transmissão de 150 Mbps.

km	**Tx de Trans. (840/x)**
1	840 Mbps
2	420 Mbps
5	168 Mbps
5.6	150 Mbps
6	140 Mpbs

Tabela 1: Taxa de Transmissão do Cachorro

4) Os canais de televisão têm 6 MHz. Quantos bits/s poderão ser enviados, se forem usados sinais digitais de quatro níveis? Suponha um canal sem ruído.

Resp.: Como estamos desconsiderando o ruído, para resolvermos esse problema podemos utilizar o Teorema de Nyquist, dado pela seguinte fórmula:

$$C = 2B \times \log_2 M$$

Onde B corresponde a largura de banda e M o número de sinais discretos. Assim, temos que:

$$C = 2 \times 6 \text{ MHz} \times \log_2 4 = 2 \times 6 \times 2 = 24 \text{ Mbps}$$

5) Se um sinal binário for enviado sobre um canal de 3 kHz cuja relação sinal/ruído é de 20 dB, qual será a taxa máxima de dados que poderá ser alcançada?

Resp.: Como nesse caso estamos levando em consideração o ruído, precisamos calcular a capacidade do canal utilizando tanto o Teorema de Shannon, quanto o de Nyquist e ver qual dos dois será o gargalo. O primeiro passo é calcular o valor de $\frac{S}{N}$ utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{SNR}_{dB} = 10 \times \log_{10} \frac{S}{N}$$

Se o SNR_{db} é de 20 dB, então temos que:

$$20 = 10 \times \log_{10} \frac{S}{N}$$
$$2 = \log_{10} \frac{S}{N}$$
$$\frac{S}{N} = 10^2$$

Agora podemos calcular a capacidade do canal utilizando os Teorema de Shannon:

$$C = B \times \log_2(1 + \frac{S}{N})$$

Substituindo os valores de $\frac{S}{N}$ chegamos ao seguinte resultado:

$$C = 3 \text{ kHz} \times \log_2(1 + 100)$$
$$C = 3 \text{ kHz} \times \log_2 101$$
$$C = 3 \text{ kHz} \times 6.6$$
$$C = 19.975 \text{ kbps}$$

Já para o Teorema de Nyquist, utilizaremos $M = 2$, uma vez que o canal é binário:

$$C = 2 \times 3 \text{ kHz} \times \log_2 2$$
$$C = 2 \times 3 \times 1$$
$$C = 6 \text{ kbps}$$

Assim, o gargalo acaba sendo dado pelo Teorema de Nyquist, por isso, a capacidade máxima do canal é de 6 kbps.

6) Qual é a relacao sinal/ruído necessária para colocar uma portadora T1 de taxa de transmissão igual a 1.544 Mbps em uma linha de 50 kHz?

Resp.: Utilizando o Teorema de Shannon para resolver o problema, temos que :

$$C = B \times \log_2(1 + \frac{S}{N})$$
$$\frac{C}{B} = \log_2(1 + \frac{S}{N})$$

A capacidade do canal (C) de uma portadora $T1 = 1.544$ Mbps $= 1,544 \times 10^6$ bits e a largura de banda (B) é 50 kHz $= 50 \times 10^3$. Assim, temos que:

$$\frac{1,544 \times 10^6}{50 \times 10^3} = \log_2(1 + \frac{S}{N})$$
$$0,03088 \times 10^3 = \log_2(1 + \frac{S}{N})$$
$$1 + \frac{S}{N} = 2^{30,88}$$
$$\frac{S}{N} = 1,976 \times 10^9 - 1$$

Agora podemos utilizar a seguinte fórmula para descobrir a relação do sinal/ruído:

$$\text{SNR}_{dB} = 10 \times \log_{10} \frac{S}{N}$$

Substituindo os valores, temos que:

$$\text{SNR}_{dB} = 10 \times \log_{10}(1,976 \times 10^9 - 1)$$

Portanto que o valor de $\text{SNR}_{dB} = 93$ dB.

7) Um sistema de sinalização digital opera a 9600 bps.

a) Se um elemento inerente de um sinal codifica uma palavra de 4 bits, qual é a largura de banda mínima necessária do canal?

b) Repita a parte (a) para o caso de uma palavra de 8 bits.

Resp.: Para resolvermos essa questão utilizaremos o Teorema de Nyquist:

$$C = 2B \times \log_2 M$$

a) $C = 9600$ bits e como o sinal codifica uma palavra de 4 bits, temos que $\log_2 M = 4$. Assim, substituindo os valores na equações temos:

$$\begin{aligned} 9600 &= 2 \times B \times 4 \\ B &= 1200 \text{ Hz} \end{aligned}$$

b) De forma similar, como o sinal codifica uma palavra de 8 bits, temos que $\log_2 M = 8$. Assim, substituindo os valores na equações temos:

$$\begin{aligned} 9600 &= 2 \times B \times 8 \\ B &= 600 \text{ Hz} \end{aligned}$$

8) Considere um sinal de áudio com componentes espectrais na faixa de 300 a 3000 Hz. Assuma que uma taixa de amostragem de 7000 amostras por segundo será usada para gerar um sinal PCM.

a) Para SNR = 30 dB, qual é o número de níveis de quantização uniforme necessário?

b) Qual é a taxa de dados necessária?

Resp.: A relação sinal/ruído (SNR) para o ruído de quantização é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{SNR}_{dB} = 20 \log_2 2^n + 1.76$$

$$\text{SNR}_{dB} = 6.02n + 1.76$$

a) Para um $\text{SNR}_{dB} = 30$ dB, temos que:

$$\begin{aligned} 30 &= 6.02n + 1.76 \\ n &= \frac{(30 - 1.76)}{6.02} \\ n &\approx 5 \text{ bits} \end{aligned}$$

Isso produz $2^5 = 32$ níveis de quantização.

b) Se possuímos 7000 amostras e cada amostra têm 5 bits, então:

$$R = 7000 \text{ samples/s} \times 5 \text{ bits/sample} = 35 \text{ Kbps}$$

9) Para a sequência de bits 01001110, desenhe as formas de onda para cada uma das seguintes codificações: NRZL, NRZI, BipolarAMI, Pseudoternária, Manchester, e Diferencial Manchester. Admita que o nível de sinal para o bit anterior para a NRZI era alto; o bit 1 anterior mais recente (AMI) tem uma voltagem negativa; e o bit 0 anterior mais recente (pseudoternária) tem uma voltagem negativa.
Resp.: Ver figura 1.

10) Considere uma sequência de dados binários consistindo de uma longa sequência de 1's seguida por um zero seguido por uma longa sequência de 1's, com as mesmas premissas do Problema 12. Desenhe as formas de onda para esta sequência usando:

a) NRZ-L

b) Bipolar-AMI

c) Pseudoternary

Resp.: Ver figura 2.

Referências

[1] STALLINGS, W.; "Data and Computer Communications"; 8.ª edição; 2007.

[2] KUROSE, J. e ROSS, K.; "Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down"; 6.ª edição; 2013.

[3] TANENBAUM, A. S. e WETHERALL, D.; "Redes de Computadores"; 5.ª edição; 2011.

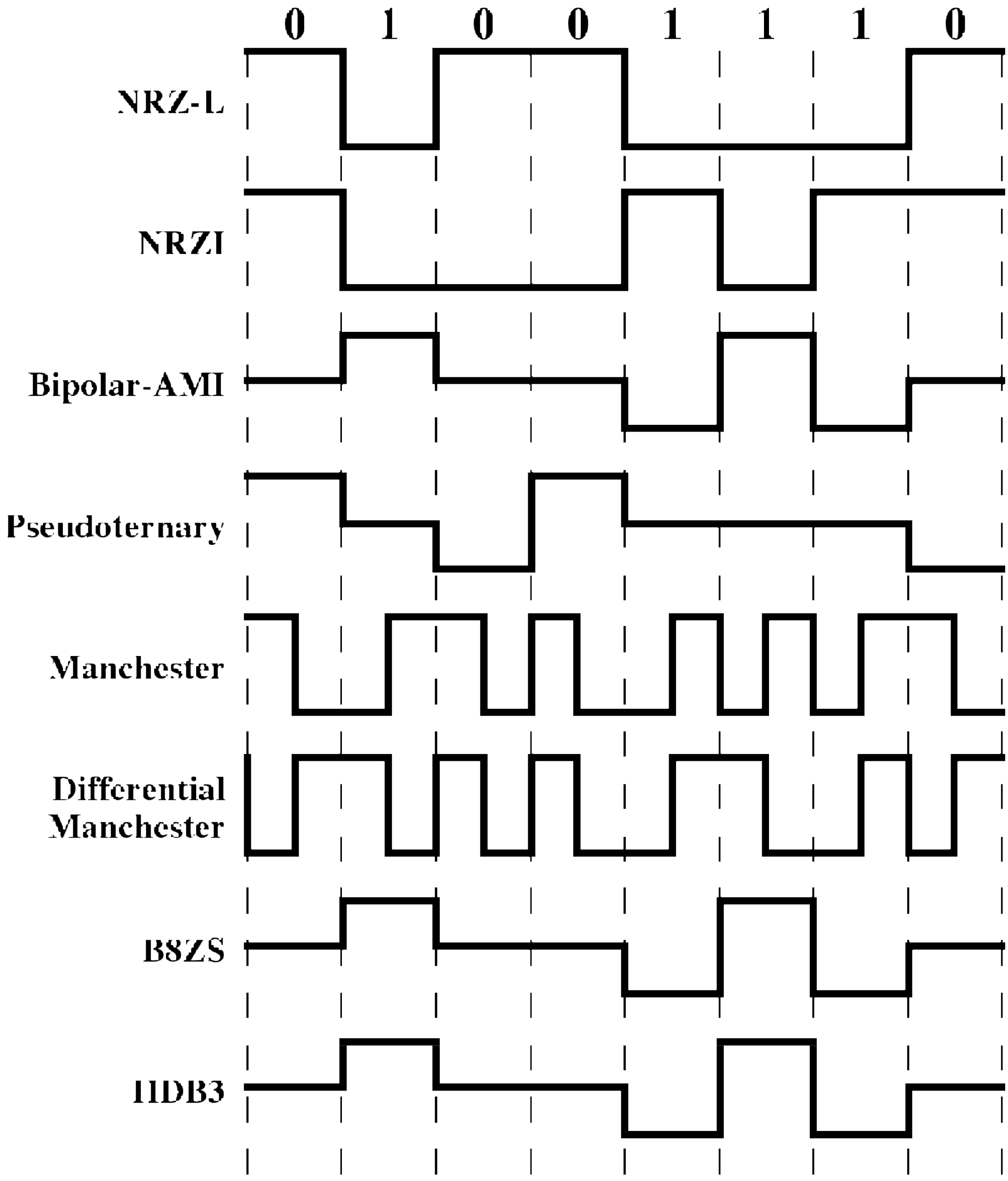

Figura 1: Figura da questão 9.

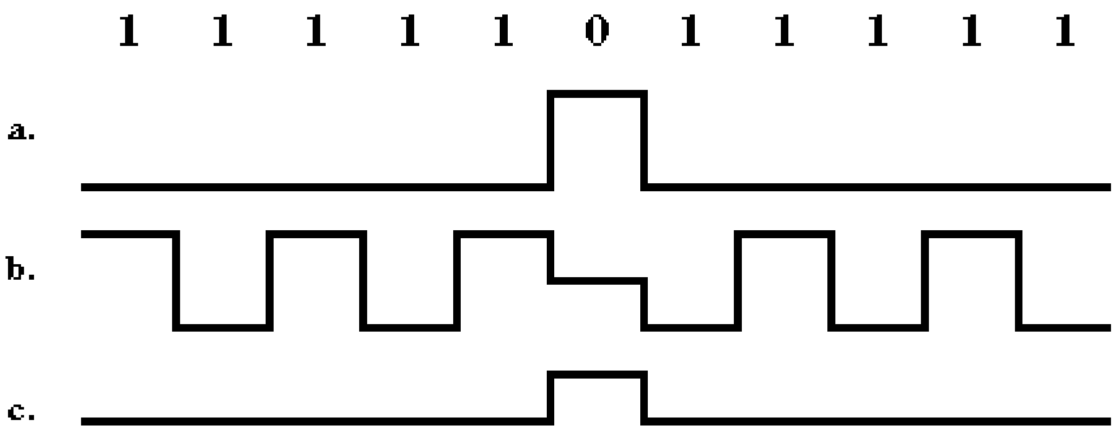

Figura 2: Figura da questão 10.