



kroton
paixão por educar

GRADUAÇÃO PRESENCIAL
2º semestre- 2016

Redes de Comunicação Industrial
Tecnologia em Aut. Ind.– 5º/ 6º
semestres

Profº. Ms.Cristiano Malheiro

cmalheiro@aedu.com
<http://cristianotm.wix.com/aulas>

1



Aula 4

Bibliografia Básica Padrão



1. FOROUZAN, Behrouz. A. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 1ª. ed. São Paulo: Bookman, 2010, v.1.

Consulta ao acervo da biblioteca virtual:
<http://187.86.214.60/pergamum/biblioteca/index.php?id=ANHAN>





Aula 4

3.3 Sinal Digital

Intervalo de sinalização e número de bits por segundo

Sinal digital com um sinal analógico composto

Sinal digital em um meio tipo Banda passante

Sinal digital em um meio de largura de Banda Limitada

McGraw-Hill

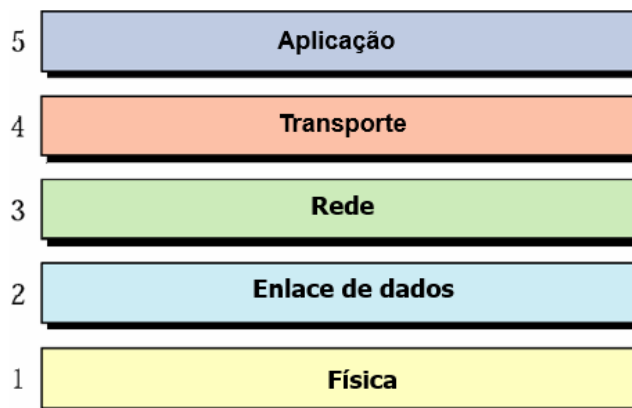
©The McGraw-Hill Companies, Inc., 2004

3


kroton
paixão por educar

Aula 4

Modelo de Camadas da Internet (TCP- IP)



4


kroton
paixão por educar



Aula 4

Sinais Digitais

Além de representadas por um sinal analógico, as informações também podem ser representadas por um sinal digital. Por exemplo, o nível lógico 1 pode ser codificado como uma voltagem positiva e o nível lógico zero (0) como uma voltagem zero. Um sinal digital pode ter mais de dois níveis.

Nesse caso, podemos enviar mais de 1 bit por nível. A Figura 3.16 mostra dois sinais, um com dois níveis e outro com quatro.

Figura 3.16 Dois sinais digitais: um com dois níveis e outro com quatro níveis de sinal

5

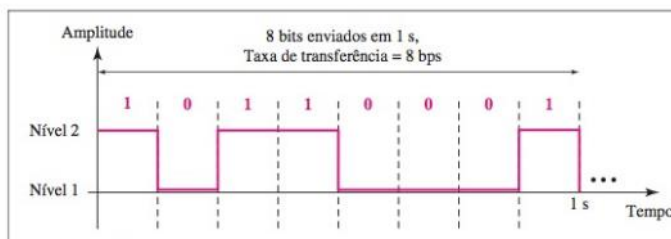
kroton
paixão por educar



Aula 4

Sinais Digitais

Figura 3.16 Dois sinais digitais: um com dois níveis e outro com quatro níveis de sinal



a. Um sinal digital com dois níveis

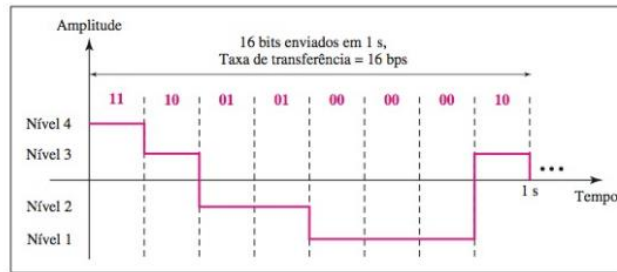
6

kroton
paixão por educar



Aula 4

Sinais Digitais



b. Um sinal digital com quatro níveis

Enviamos 1 bit por nível no item (a) da figura e 2 bits por nível no item (b) da figura. Em geral, se um sinal tiver L níveis, cada nível precisa $\log_2 L$ bits.

7

kroton
paixão por educar



Aula 4

Exemplo 1.

Um sinal digital tem oito níveis. Quantos bits são necessários por nível? Calculamos o número de bits a partir da fórmula

$$\text{Número de bits por nível} = \log_2 8 = 3$$

Cada sinal é representado por 3 bits.

8

kroton
paixão por educar



Aula 4

Exemplo 1.1

Um sinal digital possui nove níveis. Quantos bits são necessários por nível? Calculamos o número de bits usando a fórmula. Cada nível de sinal é representado por 3,17 bits. Entretanto, essa resposta não é real. O número de bits enviado por nível precisa ser um inteiro, bem como uma potência de 2. Por exemplo, 4 bits podem representar um nível.

Taxa de Transferência

A maioria dos sinais digitais é não periódica e, conseqüentemente, frequência e período não são características adequadas. Outro termo — *taxa de transferência* (em vez de *frequência*) é usado para descrever sinais digitais. A **taxa de transferência** é o número de bits enviados em 1s, expresso em **bits por segundo (bps)**. A Figura 3.16 indica a taxa de transferência para dois sinais.

9



Aula 4

Exemplo 2.

Suponha que precisemos baixar documentos de texto a uma taxa de 100 páginas por minuto. Qual seria a taxa de transferência do canal?

Solução

Uma página tem, em média, 24 linhas com 80 caracteres por linha. Se supusermos que um caractere precise de 8 bits, a taxa de transferência seria

$$100 \times 24 \times 80 \times 8 = 1.636.000 \text{ bps} = 1,636 \text{ Mbps}$$

10





Aula 4

Exemplo 3.

Um canal de voz digitalizada, como veremos no Capítulo 4, é obtido digitalizando-se um sinal de voz analógico que possui a largura de banda de 4 kHz. Precisamos amostrar o sinal com o dobro da frequência mais alta (duas amostragens por hertz). Vamos supor que cada amostragem precise de 8 bits. Qual é a taxa de transferência necessária?

Solução

A taxa de transferência pode ser calculada como segue

$$2 \times 4.000 \times 8 = 64.000 \text{ bps} = 64 \text{ kbps}$$

11



Aula 4

Exemplo 4.

Qual é a taxa de transferência para uma TV de alta definição (HDTV)?

Solução

A HDTV usa sinais digitais para transmitir sinais de vídeo de alta qualidade. A tela de uma HDTV tem normalmente a proporção 16:9 (comparada aos 4:3 de uma TV comum), o que significa que a tela é mais larga. Existem 1.920 por 1.080 bits por tela e a taxa de renovação na tela é de 30 vezes por segundo. Vinte e quatro bits representam um pixel de cor. Podemos calcular a taxa de transferência como segue

$$1.920 \times 1.080 \times 30 \times 24 = 1.492.992.000 \text{ ou } 1,5 \text{ Gbps}$$

As estações de TV reduzem essa taxa para 20 a 40 Mbps utilizando técnicas de compressão.

12





Aula 4

Comprimento de bits

Discutimos o conceito de comprimento de onda para um sinal analógico: a distância que um ciclo ocupa no meio de transmissão. Podemos definir algo similar a um sinal digital: o **comprimento de bits**. O comprimento de bits é a distância que um bit ocupa no meio de transmissão.

$$\text{Comprimento de bits} = \text{velocidade de propagação} \times \text{duração dos bits}$$

13



Aula 4

Exemplo 5

Um sinal digital possui um número de bits por segundo de 2000bps. Qual é a duração de cada bit, ou seja, o intervalo de sinalização?

Solução:

O intervalo de sinalização é o recíproco do número de bits por segundo. Logo,

$$\text{Intervalo de sinalização} = \frac{1}{\text{Número de bits por segundo}} = \frac{1}{2000} = 0,0005\text{s} = 0,0005 \times 10^6 \mu\text{s} = 500 \mu\text{s}$$



Aula 4

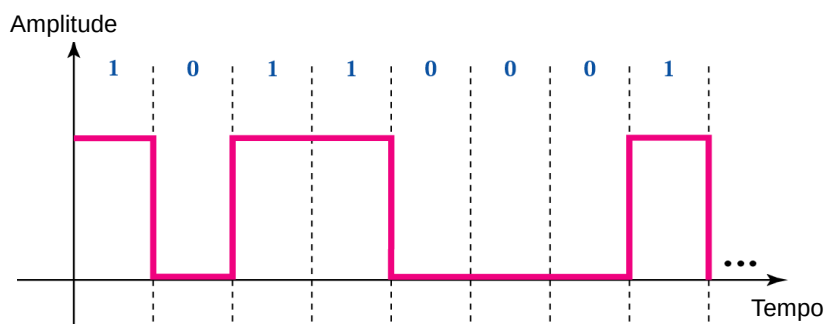


Figura 3.16 Um sinal digital

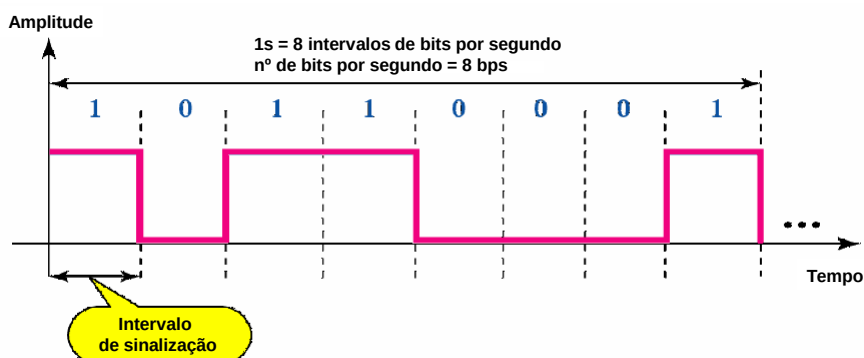
15

kroton
passão por educar



Aula 4

Figura 3.17 Intervalo de sinalização e número de bits por segundo.



16

kroton
passão por educar



Aula 4

Sinal Digital como um Sinal Analógico Composto

Baseado na análise de Fourier, um sinal digital é um sinal analógico composto. A largura de banda é infinita, como você deve ter imaginado. Podemos chegar intuitivamente a esse conceito quando consideramos um sinal digital. Um sinal digital, no domínio do tempo, é formado por segmentos de reta verticais e horizontais conectados. Uma reta vertical no domínio do tempo significa uma frequência infinita (mudança repentina no tempo); uma reta horizontal no domínio do tempo significa uma frequência zero (nenhuma mudança no tempo). Ir de uma frequência zero a uma frequência infinita (e vice-versa) implica que todas as frequências entre esses dois pontos fazem parte do domínio.

A análise de Fourier pode ser usada para decompor um sinal digital. Se o sinal digital for periódico, o que é raro em comunicação de dados, o sinal decomposto tem uma representação no domínio da frequência com uma largura de banda infinita e frequências discretas. Se o sinal digital não for periódico, o sinal decomposto ainda tem uma largura de banda infinita, porém as frequências são contínuas. A Figura 3.17 mostra um sinal periódico e outro não periódico e suas larguras de banda.

17

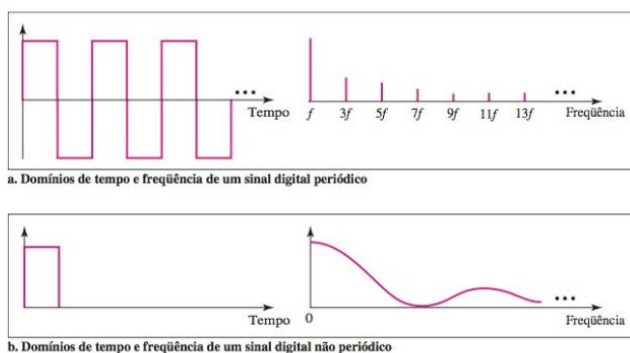
kroton
paixão por educar



Aula 4

Sinal Digital como um Sinal Analógico Composto

Figura 3.17 Os domínios do tempo e da frequência de sinais digitais periódicos e não periódicos



Note que ambas as larguras de banda são infinitas, mas o sinal periódico possui frequências discretas, ao passo que o sinal não periódico tem frequências contínuas.

18

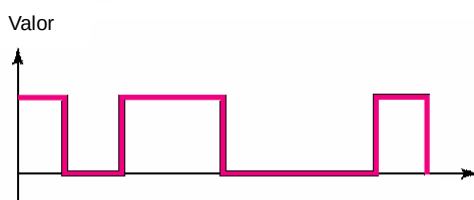
kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão de Sinais Digitais

A discussão anterior afirma que um sinal digital periódico, ou não, é um sinal analógico composto por frequências entre zero e infinito. Para o restante da discussão, consideremos o caso de um sinal digital não periódico, similar àqueles que encontramos em comunicações de dados. A questão fundamental é: como podemos enviar um sinal digital do ponto *A* para o ponto *B*? Podemos transmitir um sinal digital utilizando uma das duas abordagens a seguir: transmissão banda-base ou transmissão banda larga (usando modulação).



b. sinal digital

19

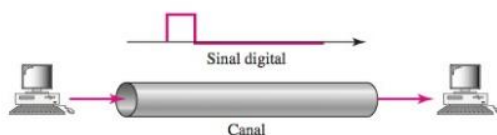


Aula 4

Transmissão Banda-Base

Transmissão banda-base significa enviar um sinal digital por um canal sem mudá-la em um sinal analógico. A Figura 3.18 ilustra a transmissão **banda-base**.

Figura 3.18 Transmissão banda-base



Um sinal digital é um sinal analógico composto por largura de banda infinita.

20



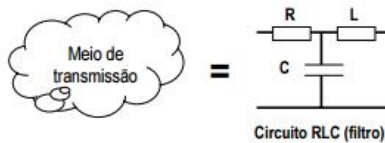
Aula 4

Transmissão Banda-Base

Sinal composto versus meio de transmissão

- Meio de transmissão possui características físicas próprias que:
 - ▶ Deixam passar uma certa faixa de frequências de um sinal
 - ▶ Atenuam frequências de outra faixa
 - ▶ Eliminam frequências de determinadas faixas
- Meio ideal: mantém a integridade do sinal (amplitude, fase, frequência)

A. Carlsam - 10março07



21

kroton
paixão por educar

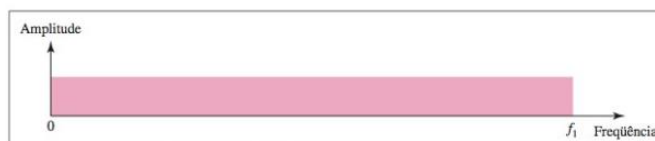


Aula 4

Transmissão Banda-Base

A transmissão banda-base requer que tenhamos um **canal passa-baixa**, um canal com largura de banda que começa em zero. Este é o caso se tivermos um meio de transmissão dedicado com toda largura de banda alocada em apenas um canal. Por exemplo, toda a largura de banda de um cabo conectando dois computadores é um canal único. Outro exemplo poderia ser a conexão de vários computadores a um barramento, mas não permitir que mais de duas estações se comuniquem por vez. Enfatizando, temos um canal passa-baixa e podemos usá-lo para comunicação banda-base. A Figura 3.19 ilustra dois canais passa-baixa: um com uma largura de banda estreita e outro com uma largura de banda ampla. Precisamos lembrar que um canal passa-baixa com largura de banda infinita é ideal, mas não é possível termos um canal desse tipo na prática. No entanto, podemos chegar próximo disso.

Figura 3.19 Larguras de banda de dois canais passa-baixa



a. Canal passa-baixa, largura de banda ampla

kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão Banda-Base



b. Canal passa-baixa, largura de banda estreita

Vamos estudar dois casos de uma comunicação banda-base: um canal passa-baixa com largura de banda ampla e outro com largura de banda limitada.

23

kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão Banda-Base

Caso 1: Canal Passa-Baixa com Largura de Banda Ampla

Se quisermos preservar a forma exata de um sinal digital não periódico com segmentos verticais e horizontais, precisamos enviar todo o espectro, o intervalo contínuo de frequências entre zero e infinito. Isso é possível se tivermos um meio dedicado com uma largura de banda infinita entre o emissor e o receptor que preserve a amplitude exata de cada componente do sinal composto. Embora isso possa se realizar dentro de um computador (por exemplo, entre CPU e memória), não é possível entre dois dispositivos. Felizmente, as amplitudes das frequências na extremidade da largura de banda são muito baixas, a ponto de poderem ser ignoradas. Isso significa que, se tivermos um meio, como um cabo coaxial ou fibra óptica, com uma largura de banda muito ampla, duas estações podem se comunicar usando sinais digitais com precisão muito boa, conforme mostrado na Figura 3.20. Note que f_1 está próxima de zero e f_2 é muito alta.

24

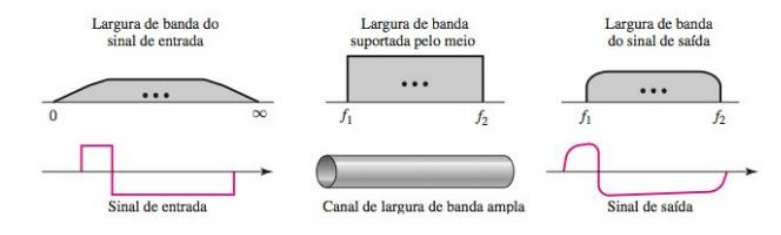
kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão Banda-Base

Figura 3.20 Transmissão banda-base usando um meio dedicado



Embora o sinal de saída não seja uma réplica exata do sinal original, os dados ainda podem ser deduzidos do sinal recebido. Observe que, embora parte das frequências seja bloqueada pelo meio, elas não são críticas.

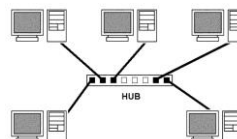
25

kroton
paixão por educar



Aula 4

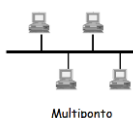
Transmissão Banda-Base



A transmissão banda-base de um sinal digital que preserve a forma do sinal digital é possível apenas se tivermos um canal passa-baixa com largura de banda infinita ou muito ampla.

Exemplo 3.21

Um exemplo de um canal dedicado quando a largura de banda inteira do meio é usada como um único canal seria o de uma LAN. Quase todas as LANs com fios usadas hoje em dia utilizam um canal dedicado para duas estações se comunicarem entre si. Em uma LAN de topologia de barramento com conexões multiponto, apenas duas estações podem se comunicar entre si a cada instante (tempo compartilhado); as demais estações precisam deixar de enviar dados. Em uma LAN com topologia estrela, todo o canal entre cada estação e o *hub* é usado para comunicação entre essas duas entidades. Vamos estudar a LAN no Capítulo 14.



26

kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão Banda-Base

Caso 2: Canal Passa-Baixa com Largura de Banda Limitada

Em um canal passa-baixa com largura de banda limitada, fazemos uma aproximação do sinal digital por meio de um sinal analógico. O nível de aproximação depende da largura de banda disponível.

Aproximação Grosseira Suponha um sinal digital com taxa de transferência N . Se quisermos enviar sinais analógicos para simular de forma grosseira esse sinal, precisamos considerar a pior das hipóteses, um número máximo de mudanças no sinal digital. Isso acontece quando o sinal

27



Aula 4

Transmissão Banda-Base

Aproximação Grosseira Suponha um sinal digital com taxa de transferência N . Se quisermos enviar sinais analógicos para simular de forma grosseira esse sinal, precisamos considerar a pior das hipóteses, um número máximo de mudanças no sinal digital. Isso acontece quando o sinal transporta a sequência 01010101... ou a sequência 10101010... Para simular esses dois casos, precisamos de um sinal analógico de frequência $f = N/2$. Suponhamos que 1 seja o valor máximo positivo e 0, o valor máximo negativo. Enviamos 2 bits em cada ciclo; a frequência do sinal analógico é a metade da taxa de transferência, ou seja, $N/2$. Entretanto, essa única frequência não é capaz de reproduzir todos os padrões; precisamos de mais componentes. A frequência máxima é $N/2$. Como exemplo desse conceito, vejamos como um sinal digital com padrão de 3 bits pode ser simulado por sinais analógicos. A Figura 3.21 ilustra a idéia. Os dois casos similares (000 e 111) são simulados com um sinal de frequência $f = 0$ e uma fase 180° para 000 e uma fase 0° para 111. Os dois casos piores (010 e 101) são simulados por um sinal analógico de frequência $f = N/2$ e fases 180° e 0° . Os outros quatro casos podem ser simulados apenas por meio de um sinal analógico com $f = N/4$ e fases 180° , 270° , 90° e 0° . Em outras palavras, precisamos de um canal capaz de tratar frequências 0, $N/4$ e $N/2$. Essa aproximação grosseira é conhecida como usando a frequência da primeira harmônica ($N/2$). A largura de banda necessária é

$$\text{Largura de banda} = \frac{N}{2} - 0 = \frac{N}{2}$$

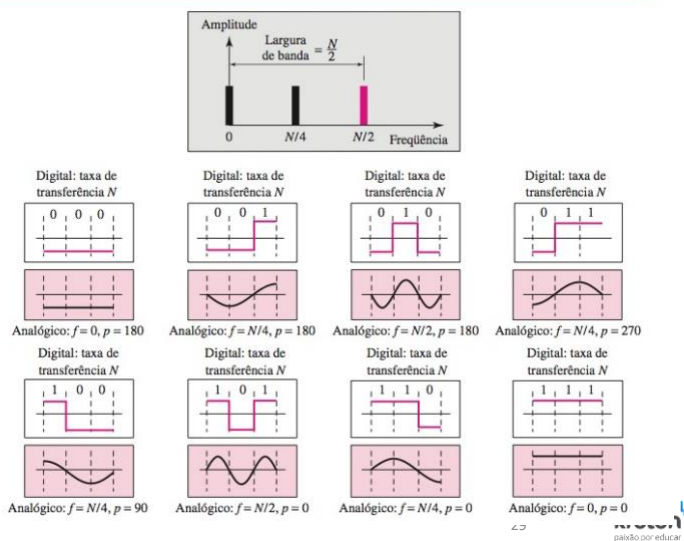




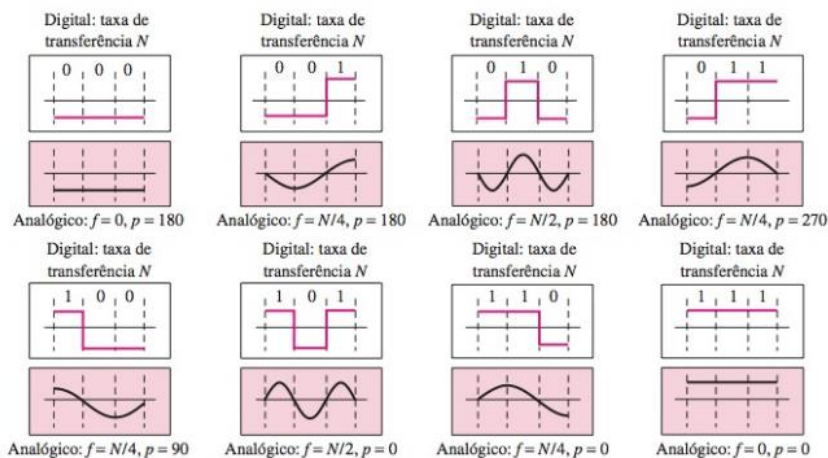
Aula 4

Figura 3.21 Aproximação grosseira de um sinal digital usando a primeira harmônica para a pior hipótese

**Transmiss
ão Banda-
Base**



Aula 4



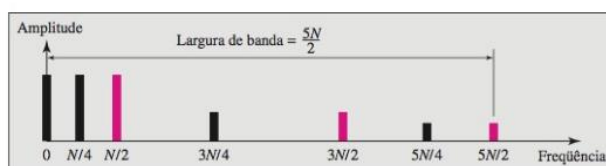


Aula 4

Transmissão Banda-Base

Melhor Aproximação Para fazer que a forma do sinal analógico se pareça mais com a de um sinal digital, precisamos acrescentar mais harmônicas das frequências. Precisamos aumentar a largura de banda. Podemos aumentar a largura de banda para $3N/2$, $5N/2$, $7N/2$ e assim por diante. A Figura 3.22 ilustra o efeito desse aumento para um dos piores casos, o padrão 010.

Figura 3.22 Simulação de um sinal digital com três primeiras harmônicas



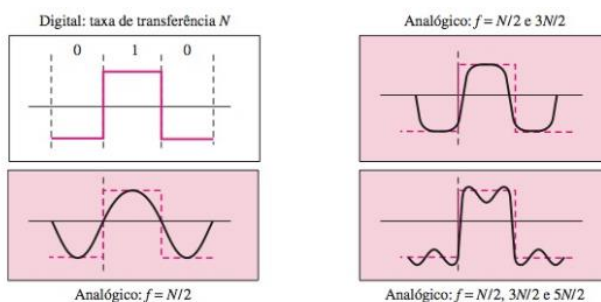
31

kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão Banda-Base



Observe que mostramos apenas a frequência mais alta para cada harmônica. Usamos a primeira, a terceira e a quinta harmônicas. A largura de banda necessária agora é $5N/2$, a diferença entre a frequência mais baixa 0 e a frequência mais alta $5N/2$. Conforme enfatizado antes, precisamos lembrar que a largura de banda necessária é proporcional à taxa de transferência.

32

kroton
paixão por educar



Aula 4

Transmissão Banda-Base

Na transmissão banda-base, a largura de banda necessária é proporcional à taxa de transferência; se precisarmos enviar bits de forma mais rápida, necessitaremos de mais largura de banda.

Usando esse método, a Tabela 3.2 mostra quanta largura de banda precisamos para enviar dados a taxas diferentes.

Tabela 3.2 Exigências de largura de banda

Taxa de Transferência	Harmônica 1	Harmônicas 1, 3	Harmônicas 1, 3, 5
$n = 1$ kbps	$B = 500$ Hz	$B = 1,5$ kHz	$B = 2,5$ kHz
$n = 10$ kbps	$B = 5$ kHz	$B = 15$ kHz	$B = 25$ kHz
$n = 100$ kbps	$B = 50$ kHz	$B = 150$ kHz	$B = 250$ kHz

33



Aula 4

Exemplo 6.

Qual é a largura de banda necessária de um canal passa-baixa, caso precisemos enviar 1 Mbps via transmissão banda-base?

Solução

A resposta depende da precisão desejada.

- A largura de banda mínima, na aproximação grosseira, é $B = \text{taxa de transferência}/2$, ou seja, 500 kHz. Precisamos de um canal passa-baixa com frequências entre 0 e 500 kHz.
- Podemos obter melhor resultado usando a primeira e a terceira harmônicas com a largura de banda necessária $B = 3 \times 500 \text{ kHz} = 1,5 \text{ MHz}$.
- Podemos obter um resultado melhor ainda usando a primeira, a terceira e a quinta harmônicas com $B = 5 \times 500 \text{ kHz} = 2,5 \text{ MHz}$.

34





Aula 4

Exemplo 7.

Temos um canal passa-baixa com largura de banda 100 kHz. Qual é a taxa de transferência máxima desse canal?

Solução

A taxa de transferência máxima pode ser atingida, caso utilizemos a primeira harmônica. A taxa de transferência é duas vezes a largura de banda, ou seja, 200 kbps.

35

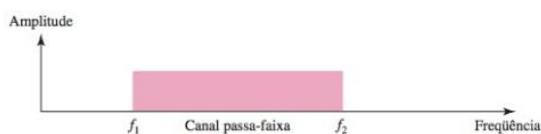


Aula 4

Transmissão Banda Larga (usando modulação)

A transmissão banda larga, ou modulação, significa transformar o sinal digital em sinal analógico para transmissão. A modulação nos permite usar um **canal passa-faixa** um canal com largura de banda que não se inicie em zero. Esse tipo de canal é mais disponível que um canal passa-baixa. A Figura 3.23 ilustra um canal passa-faixa.

Figura 3.23 Largura de banda de um canal passa-faixa



Note que um canal passa-baixa pode ser considerado um canal passa-faixa com a menor frequência iniciando em zero.

36





Aula 4

Note que um canal passa-baixa pode ser considerado um canal passa-faixa com a menor frequência iniciando em zero.

A Figura 3.24 mostra a modulação de um sinal digital. Na figura, um sinal digital é convertido em um sinal analógico composto. Temos usado um sinal analógico de frequência única (chamado portadora); a amplitude da portadora foi alterada para se parecer com o sinal digital. O resultado, porém, não é um sinal de frequência única; trata-se de um sinal composto, como veremos no Capítulo 5. No receptor, o sinal analógico recebido é convertido em digital e o resultado é uma réplica do sinal que foi enviado.

Se o canal disponível for um canal passa-faixa, não podemos enviar diretamente o sinal para o canal; precisamos converter o sinal digital em sinal analógico antes da transmissão.

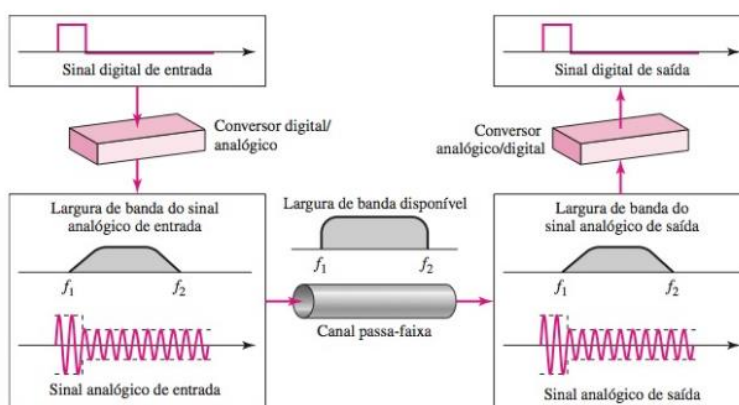
37

kroton
paixão por educar



Aula 4

Figura 3.24 Modulação de um sinal digital para transmissão em um canal passa-faixa



38

kroton
paixão por educar



Aula 4

Um exemplo de transmissão de banda larga usando modulação seria o envio de dados de um computador através de uma linha telefônica, a linha conectando um morador com a central telefônica. Esses tipos de linha, instalados há muitos anos, foram projetados para transmitir voz (sinal analógico) como uma largura de banda limitada (frequências entre 0 e 4 kHz). Embora esse canal possa ser usado como um canal passa-baixa, ele é considerado normalmente um canal passa-banda. Uma razão para isso é que a largura de banda é tão estreita (4 kHz) que, se tratarmos o canal como passa-baixa e o usarmos para transmissão de banda-base, a taxa de transferência pode ser de apenas 8 kbps. A solução é considerar o canal um canal passa-faixa, converter o sinal digital em analógico e transmitir o sinal analógico. Podemos instalar dois conversores para transformar o sinal digital em analógico e vice-versa no lado receptor. O conversor, nesse caso, é chamado *modem* (*modulador/demodulador*), que discutiremos em detalhe no Capítulo 5.



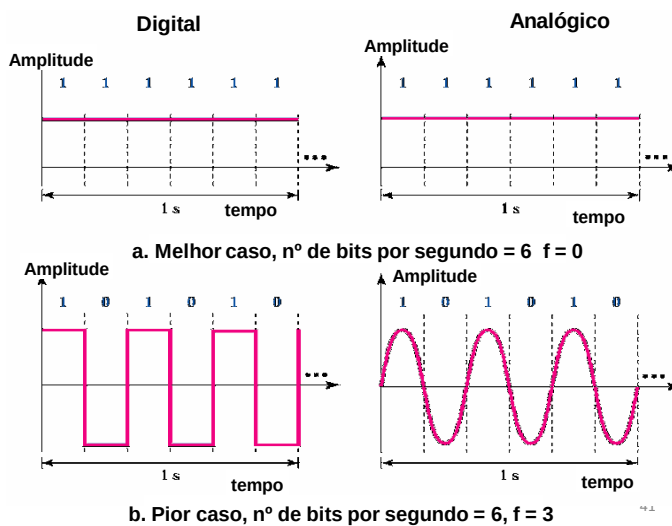
Aula 4

Um segundo exemplo é o telefone celular digital. Para melhor recepção, os celulares digitais convertem o sinal analógico de voz em um sinal digital (ver Capítulo 16). Embora a largura de banda alocada a uma companhia que fornece serviços de telefonia celular digital seja muito ampla, ainda assim não podemos enviar o sinal digital sem conversão. A razão é que temos apenas um canal passa-faixa disponível entre aquele que faz a ligação e o que a recebe. Se, por exemplo, a largura de banda disponível for W e permitirmos que 1.000 duplas de usuários falem ao mesmo tempo, isso significa que o canal disponível será $W/1.000$, apenas parte da largura de banda total. Precisamos converter a voz digitalizada em sinal analógico composto antes de transmiti-lo. Os celulares digitais convertem o sinal de áudio analógico em digital e depois o convertem novamente em analógico para transmissão através de um canal passa-faixa.



Aula 4

Figura 3.18 *Digital versus analógico*



kroton
paixão por educar



Aula 4

Um sinal digital é um sinal composto de largura de banda infinita .

kroton
paixão por educar



Aula 4

Tabela 3.12 Requerimento da Largura de banda

Nº de bits por segundo	Harmônico 1	Harmônico 1, 3	Harmônico 1, 3, 5	Harmônico 1, 3, 5, 7
1 Kbps	500 Hz	2 KHz	4.5 KHz	8 KHz
10 Kbps	5 KHz	20 KHz	45 KHz	80 KHz
100 Kbps	50 KHz	200 KHz	450 KHz	800 KHz



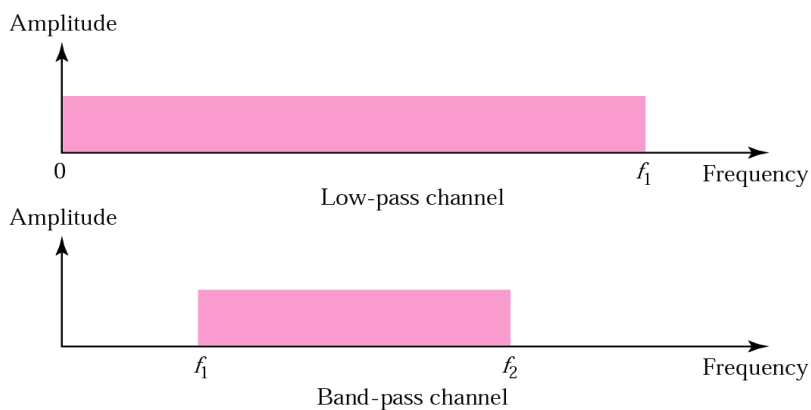
Aula 4

O número de bits e a largura de banda são proporcionais entre si .



Aula 4

Figura 3.19 *Passa-baixa versus passa-banda (ou passa-faixa)*



45

kroton
paixão por educar



Aula 4

A largura de banda analógica de um meio é expressa em hertz e largura de banda digital em bits por segundo .

46

kroton
paixão por educar



Aula 4

A transmissão digital necessita de um canal passa-baixas .

47

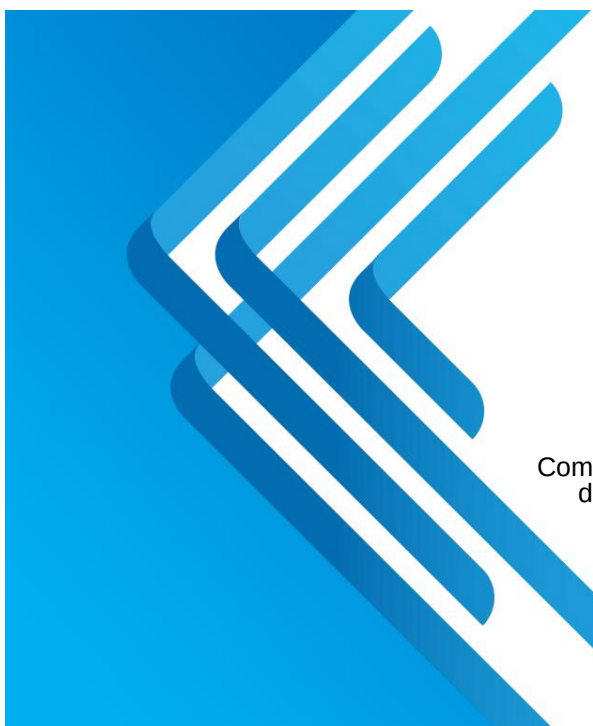


Aula 4

Transmissão analógica pode usar um canal passa-banda .

48





Bibliografia desta aula:

1. FOROUZAN, Behrouz A..
Comunicação de Dados e Redes
de Computadores. 1ª ed. São
Paulo: Bookman, 2010, v.1.

49



50