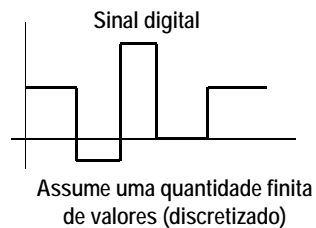
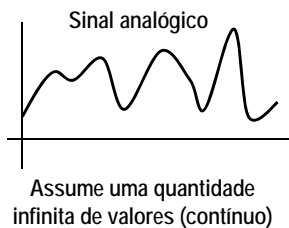


Redes de Computadores

Transmissão de Informações Análise de Sinais

Aula 03

- ❑ Informação é transmitida variando uma grandeza física
 - Tensão ou corrente (geram ondas eletromagnéticas)
- ❑ A transmissão é uma função $f(t)$ que pode ser
 - Contínua: sinal analógico
 - Discreta: sinal digital

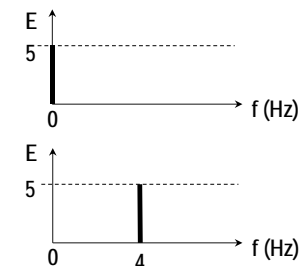
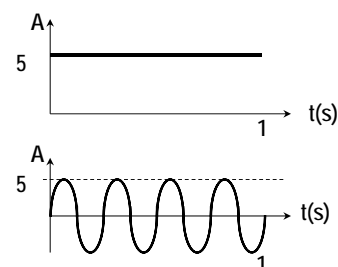


Introdução

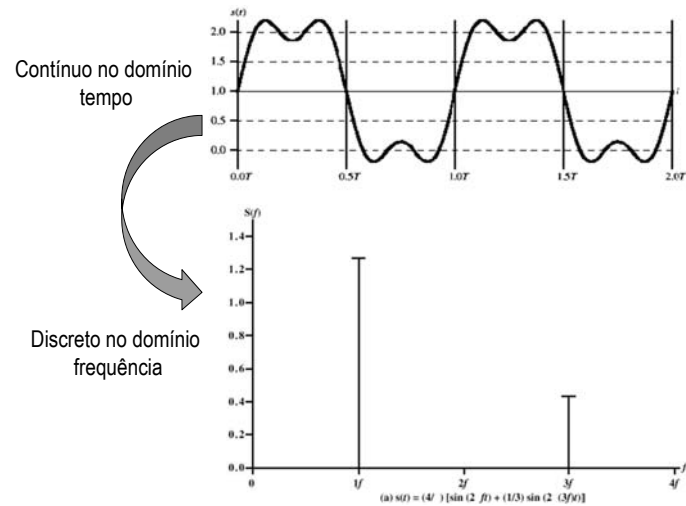
- ❑ A camada de nível físico define
 - Características físicas das interfaces e dos meios (ex. conectores, pinagem, semântica de sinais de controle, etc)
 - Representação dos dados: codificação dos dados em sinais elétricos ou ópticos
 - Taxa de transmissão (9600bps, 10Mbps, etc), tipo de transmissão (banda base ou banda passante), sincronização de bits (delimitação do que é um bit)
- ❑ Propriedades do meio físico impõem limites na transmissão de dados
 - Vazão da rede (kbps, Mbps, Gbps, ...)
 - Latência
 - Taxa de erros

Domínio tempo versus domínio frequência

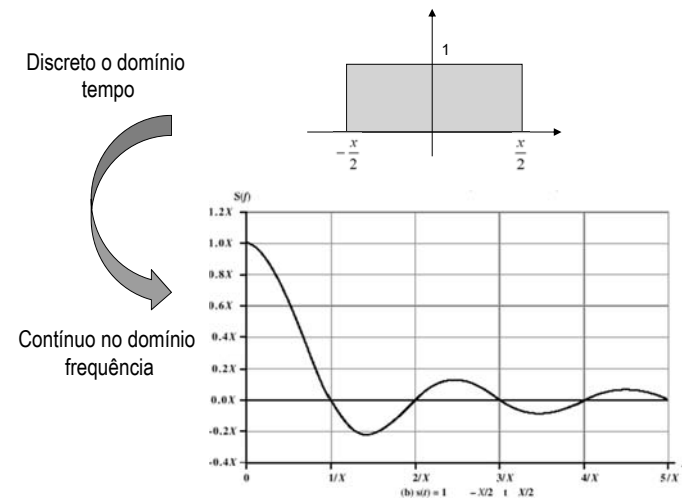
- ❑ Domínio tempo:
 - A função é representada através da evolução de sua amplitude no tempo
 - Fase e frequência não são explicitamente representadas
- ❑ Domínio frequência:
 - A função é representada através das componentes de frequência que a compõem e de sua energia



Sinais contínuos no domínio tempo e frequência



Sinais discretos no domínio tempo e frequência



Teorema de Fourier

- Uma função periódica $g(t)$ pode ser representada pelo somatório de senos e cossenos com diferentes amplitudes, frequências e fases

- Série de Fourier

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

$f = 1/T$: frequência fundamental ou primeira harmônica

a_n e b_n : amplitude senos e cossenos na n -ésima harmônica ($n.f$)

c_n : constante

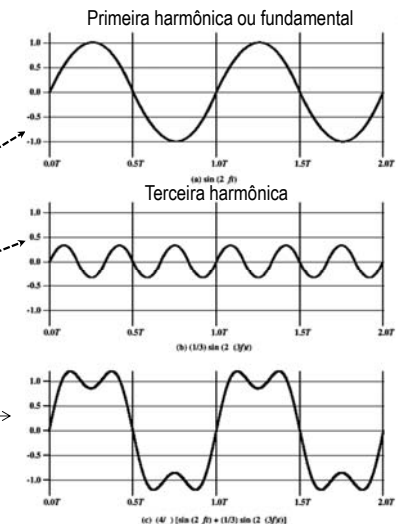
- Uma função qualquer pode ser reconstruída a partir dos termos de sua série de Fourier

Análise de sinais: sinal analógico

- Frequência fundamental:
 - Frequência das demais componentes são múltiplos inteiros (harmônica)
- Período da função resultante é igual ao período da sua fundamental

$$s(t) = \frac{4}{\pi} \times \left[\sin(2\pi f t) + \frac{1}{3} \times \sin(2\pi 3f t) \right]$$

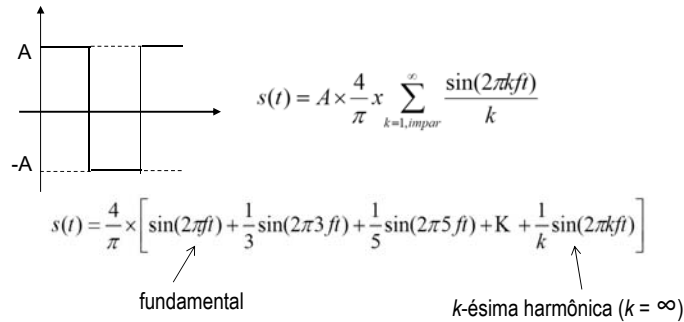
harmônicas



Análise de sinais: sinal digital

Um sinal digital é visto como um sinal analógico composto

- Sinal simples: formado por um único sinal (ex.: senoide)
 - Não é interessante: tem apenas um estado
- Sinal composto: formado por vários sinais simples

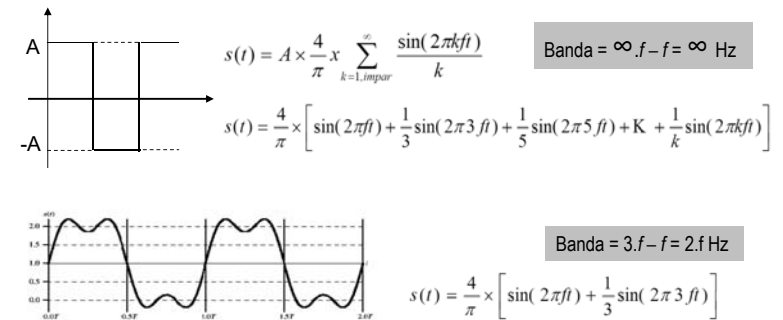


Espectro de frequência

Conjunto de frequências que formam um sinal composto

Banda passante do sinal (Hz)

- Diferença entre a maior e a menor frequência



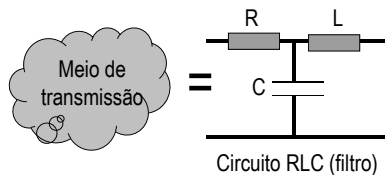
Sinais compostos em meios de transmissão

Meio de transmissão possui características físicas que:

- Deixam passar uma certa faixa de frequências de um sinal
- Atenuam frequências de forma diferente (mais altas, mais atenuadas)
- Eliminam frequências de determinadas faixas

Meio físico é um filtro passa-baixa ou passa-faixa

- Meio físico ideal manteria a integridade do sinal (amplitude, fase, frequência)



Exemplos de filtros:
Linha telefônica (300 Hz a 3300 Hz)
Audição humana (20 Hz a 20 kHz)

Largura de banda analógica ou *bandwidth*

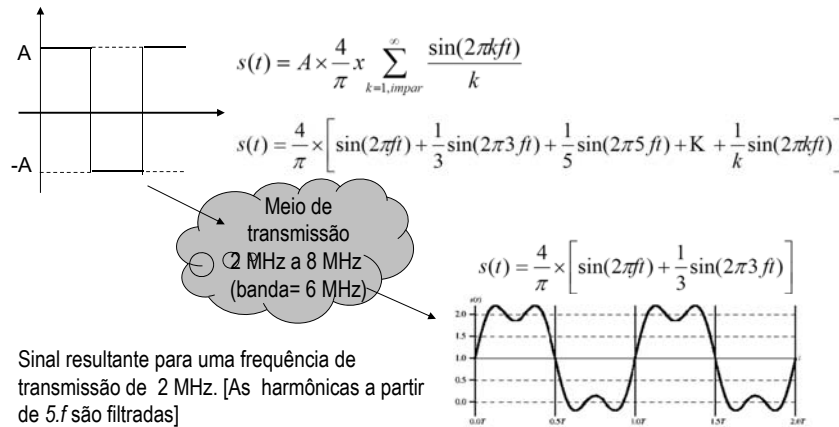
Faixa de frequências que são transmitidas sem serem fortemente atenuadas

- Frequência de corte: frequência em que a potência do sinal recebido cai a metade (3 dB)
- Propriedade do meio de transmissão

A comunicação é possível sempre que:

- o espectro do sinal "couber" na largura de banda do meio
- As frequências mínima e máxima do espectro estiverem contidas na faixa de frequência do meio (largura de banda)

Exemplo: Efeito da largura de banda do meio sobre um sinal



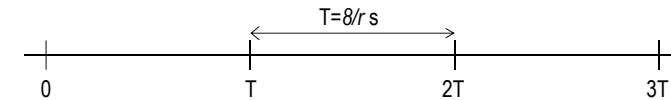
O importante não é preservar o sinal, mas sim a informação!!

13

Exemplo: transmissão do caractere "b" (01100010)₂

Considera:

- Taxa de transmissão de r bits/s, tal que cada bit possui uma duração temporal de $1/r$ s, ou seja, um caractere (8 bits), leva $8/r$ s para ser enviado.
- Transmissão de uma sequência infinita de caracteres "b" (sinal periódico)
- Enviado por modem analógico (emprega canal de voz = 4 kHz)
- Para dados é usada a banda de 2400 Hz ($f_{\min}=600$ Hz e $f_{\max}=3000$ Hz)



Então:

Frequência fundamental é $r/8$ Hz ($f=1/T$)

Frequência de corte em canal de voz quando usado para dados é 3.000 Hz

Maior frequência possível é 3.000 Hz, então, $n.f = 3.000$ Hz (enésima harmônica)

enésima harmônica possível no meio é dada por $n=24.000/r$ Hz ($n.f = 3.000$; $n.r/8 = 3.000$)

Redes de Computadores

14

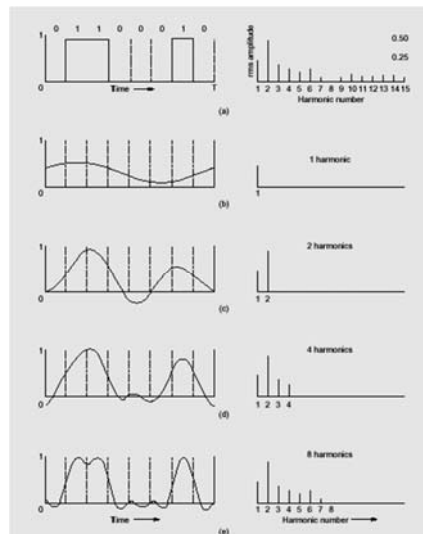
Transmissão de "b" em função da banda do meio

bps	$T=8/r$ (ms)	f (Hz)	Harmônicos*
300	26,67	37,5	80
600	13,33	75	40
1200	6,67	150	20
2400	3,33	300	10
4800	1,67	600	5
9600	0,83	1200	2
19200	0,47	2400	1

*menor valor inteiro (não existe "meia" harmônica)

Conclusão:

Largura de banda do meio, limita a taxa de transmissão



15

Largura de banda analógica e digital

□ Largura de banda analógica

- Banda passante (banda larga)
 - Sinais com uma frequência mínima (\neq zero) e uma frequência máxima
 - Associada a sinais analógicos (transmissão analógica)
 - Sinal analógico pode ser deslocado em frequência \rightarrow modulação
- Banda base
 - Sinais com frequência de zero até uma frequência máxima
 - Normalmente associada a sinais digitais (transmissão digital)
 - Não pode ser modulado

□ Nome depende da área (mas estão relacionadas)

- Engenharia: largura de banda analógica é fornecida em Hz
- Computação: largura de banda digital é fornecida em bits/s

Redes de Computadores

16

Largura de banda digital (bits/s)

- ❑ Sinais digitais codificam dados binários
 - Não necessariamente uma relação 1:1 $1 \text{ baud} = \log_2 N \text{ bits}$
- ❑ Melhor representados por:
 - Intervalo de sinalização ou *baud* (ao invés de período): tempo para representar uma unidade de informação (símbolo)
 - Taxa de *baud* ou taxa de símbolos
 - Taxa de bit ou *bit rate* (ao invés de frequência): quantidade de bits enviados por segundo
- ❑ Capacidade do canal depende da
 - Quantidade de níveis (N) que um sinal pode assumir
 - Largura de banda (analgica) do meio
 - Qualidade do meio físico

17

Capacidade do canal (Nyquist)

- ❑ Constatação: um sinal de w ciclos pode representar $2w$ estados
- ❑ Valor teórico máximo para a capacidade de transmissão de um meio

$$C = 2B \log_2 N$$

Onde:

B = largura de banda do meio (Hz)
 N = Número de estados possíveis
 C = capacidade do canal (bits/sec)

- ❑ Possível aumentar a capacidade do canal, aumentando-se a quantidade de estados possíveis (N)
 - Teoricamente fornece uma capacidade infinita

18

Capacidade do canal (Shannon)

- ❑ Capacidade do canal é limitada e independe do número de níveis
 - Depende da relação entre a potência do sinal e do ruído (S/R)
 - Ruído térmico

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{R} \right)$$

C : capacidade do canal
 B : largura de banda do canal
 S/R : razão sinal ruído

- ❑ Exemplo: linha telefônica ➡
 - Canal de 3000 Hz
 - Relação sinal/ruído de 30dB

$$dB = 10 \log \left(\frac{S}{R} \right)$$

$$C = 3000 \times \log_2 (1 + 1000)$$

$$C = 3000 \times \left(\frac{\log 1001}{\log 2} \right)$$

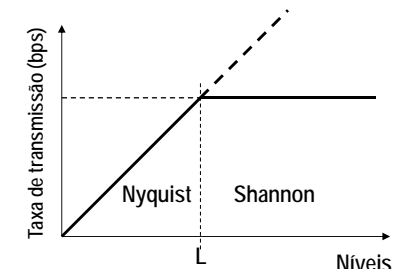
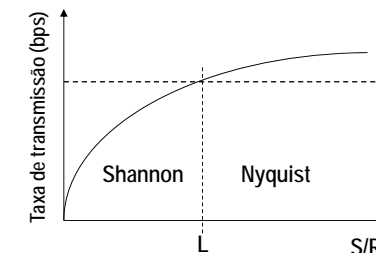
$$C = 3000 \times \frac{3}{0,3} \cong 30000 \text{ bps}$$

$$\log_b x = \frac{\log_k x}{\log_k b}$$

19

Usando ambos limites: taxa de transmissão versus S/R

- ❑ Shannon → capacidade máxima de transmissão do meio
- ❑ Nyquist → número de níveis para atingir uma capacidade de transmissão



Redes de Computadores

20

Comprimento de onda (λ)

- ❑ Distância ocupada por um ciclo
- ❑ Distância entre 2 pontos de mesma fase em 2 ciclos consecutivos
- ❑ Sendo v a velocidade de propagação do sinal, obtém-se:
 - $\lambda = v.T$
 - $\lambda . f = v$
 - Caso particular: $v = c$
 - ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s velocidade da luz no vácuo)
- ❑ Conclusão: sinais luminosos também possuem frequência
 - Análise feita para sinais analógicos/digitais pode ser aplicada para sinais ópticos

21

Perdas de transmissão

- ❑ Atenuação: modificação na energia do sinal (perda)
 - Ocorre em sinais simples ou compostos
 - Compensação: uso de amplificadores (repetidores)
- ❑ Distorção: modificação na forma do sinal
 - Ocorre em sinais compostos (frequências são alteradas de forma diferente)
 - Meios guiados
- ❑ Ruído: modificação no espectro do sinal
 - Ocorre em sinais simples ou compostos
 - Térmico: movimentação de elétrons
 - Induzido: fontes como motores funcionam como antenas transmissoras
 - *Crostalk*: acoplamento eletromagnético entre fios paralelos (antenas)
 - Impulso: sinal de alta energia em um pequeno intervalo de tempo

22

Leituras adicionais

- ❑ Tanenbaum, A.; Wethreall, D. Redes de Computadores (5ª edição), Editora Pearson Education, 2011.
 - Capítulo 2 (seção 2.1)
- ❑ Carissimi, A.; Rochol, J.; Granville, L.Z.; Redes de Computadores. Série Livros Didáticos. Bookman 2009.
 - Capítulo 3 (seções 3.2 a 3.4)

23