

Redes de Computadores

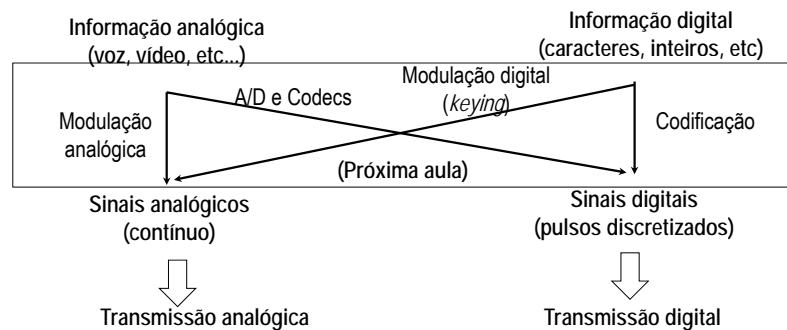
Transmissão de Informações Análise de Sinais

Aula 03

Introdução

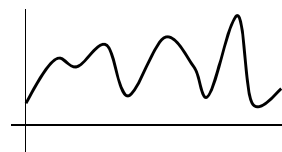
- ❑ Transmissão é o deslocamento de ondas eletromagnéticas em um meio físico (canal de comunicação)
 - ▶ Necessário converter informação (dados) em sinais eletromagnéticos (elétricos ou ópticos) → função mais importante da camada de nível físico
- ❑ A “conversão” depende:
 - ▶ Tipo (natureza) da informação: analógica ou digital
 - ▶ Meio físico empregado na propagação das ondas eletromagnéticas, sendo necessário adequar a informação (dados) a esse meio

Informação, sinais e transmissão



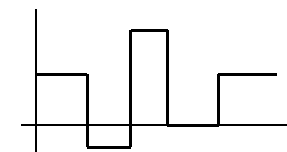
Sinal analógico x sinal digital

Sinal analógico



Assume uma quantidade infinita de valores (contínuo)

Sinal digital



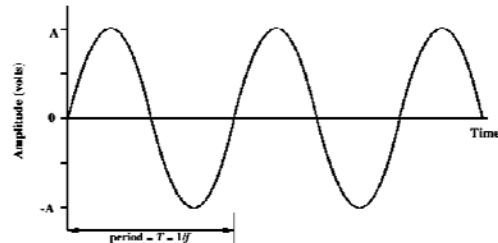
Assume uma quantidade finita de valores (discreto)

- ❑ Podem ser:
 - ▶ Periódicos
 - ▶ Aperiódicos

Sinais analógicos

Podem ser:

- ▶ Simples: formado por um único sinal (ex. senóide)
- ▶ Compostos: formado por vários sinais simples (ex. senóides)



$$s(t) = A \times \sin(2\pi f t + \phi)$$

Grandezas básicas em sinais periódicos

Amplitude (A)

- ▶ Valor absoluto de maior intensidade (energia que carrega)

Período (T)

- ▶ Tempo necessário para completar um ciclo

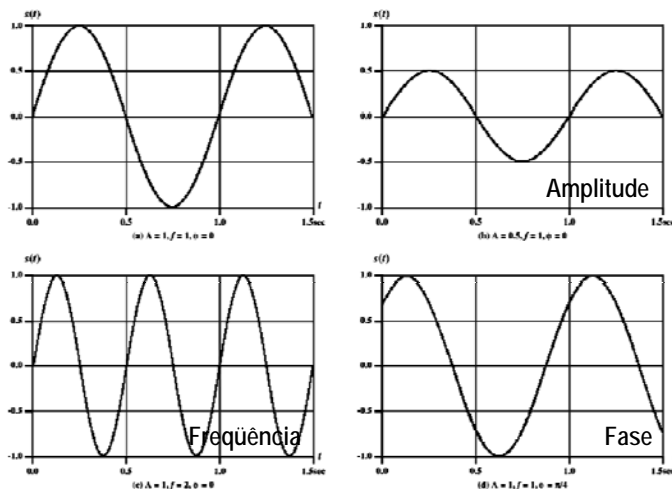
Frequência (f)

- ▶ Taxa de repetição do sinal medida em ciclos por segundos (Hertz- Hz)
- ▶ Período (T) tempo para a ocorrência de uma repetição $\rightarrow T = 1/f$ s
- ▶ Dois extremos:
 - ▶ Sinal não varia no tempo $\rightarrow 0$ troca em t seg (constante) $\rightarrow 0$ Hz
 - ▶ Sinal varia instantaneamente $\rightarrow 1$ troca em 0s $\rightarrow \infty$ Hz

Fase (φ)

- ▶ Posição da forma de onda em relação a origem

Exemplos de variações nas grandezas básicas



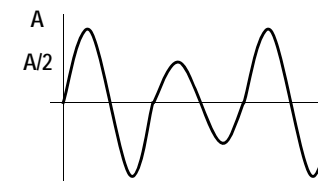
Sinais analógicos compostos

Sinais simples têm capacidade limitada para representar informações

- ▶ Possuem apenas um estado

Solução: agregar mais estados e combiná-los

- ▶ Como? modificação e combinação das grandezas básicas (A, T ou f, φ)



Bit 1: senóide A

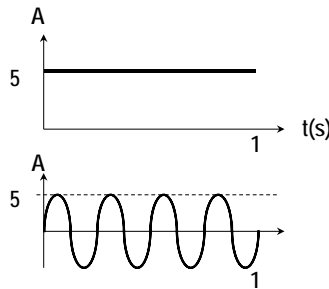
Bit 0: senóide A/2

Entretanto: não é mais um sinal simples!!! \rightarrow sinal composto

Domínio tempo versus domínio frequência

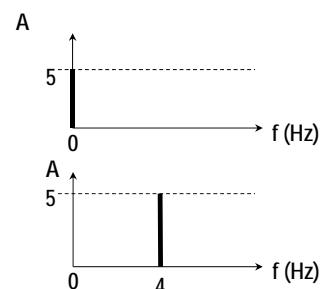
Domínio tempo:

- ▶ Sinal representado através da evolução de sua amplitude no tempo
- ▶ Fase e frequência não são explicitamente representadas



Domínio frequência:

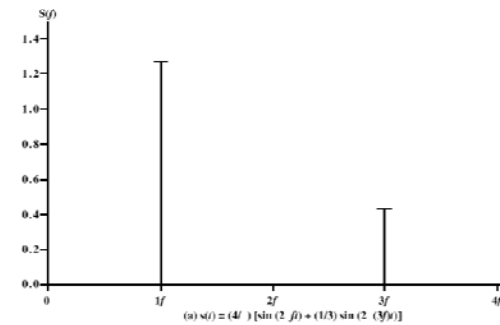
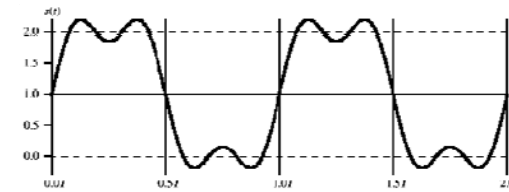
- ▶ Sinal representado através de sua amplitude em função da frequência



Redes de Computadores

9

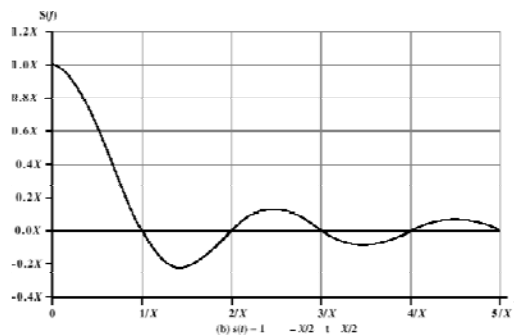
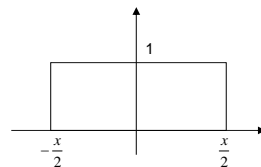
Sinais contínuos no domínio tempo e frequência



Redes de Computadores

10

Sinais discretos no domínio tempo e frequência



Redes de Computadores

11

Análise de Fourier

- ▶ Sinal composto pode ser representado através do somatório de sinais simples com diferentes amplitudes, frequências e fases
- ▶ Teorema de Fourier:

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

$f = 1/T$: frequência fundamental

a_n e b_n : amplitude senos e cossenos na enésima harmônica

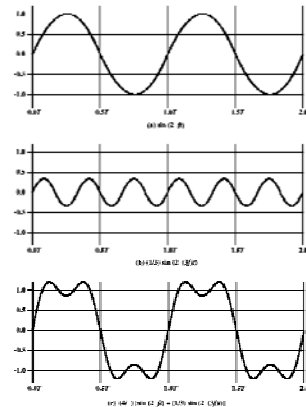
- ▶ Um sinal qualquer pode ser reconstruído a partir de sua série de Fourier, i.e.; conhecendo-se o período (T) e suas amplitudes

Redes de Computadores

12

Composição de sinais

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



Frequência fundamental

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

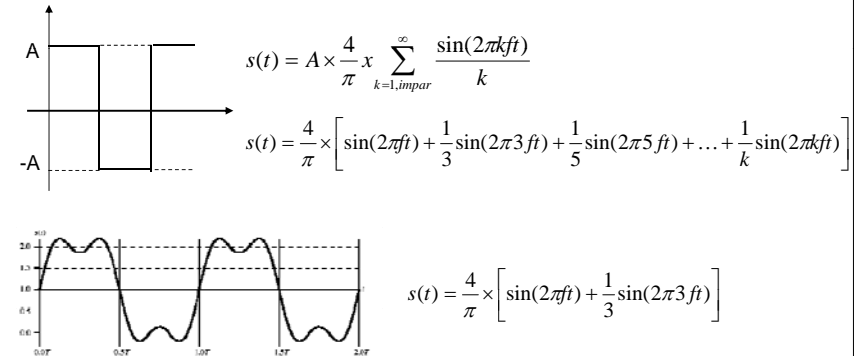
harmônicas

Redes de Computadores

13

Espectro de frequência

- Conjunto de frequências que formam um sinal composto
 - ▶ Termos da transformada de Fourier
- Banda passante do sinal = Diferença entre maior e menor frequência

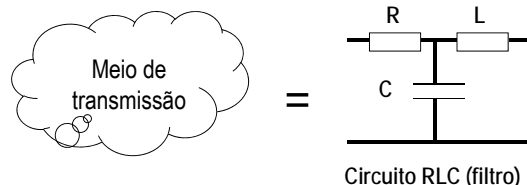


Redes de Computadores

14

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 forma diferente (mais altas, mais atenuadas)
 - ▶ Eliminam frequências de determinadas faixas
- Meio ideal: mantém a integridade do sinal (amplitude, fase, frequência)



Redes de Computadores

15

Largura de banda (analógica) ou *bandwidth*

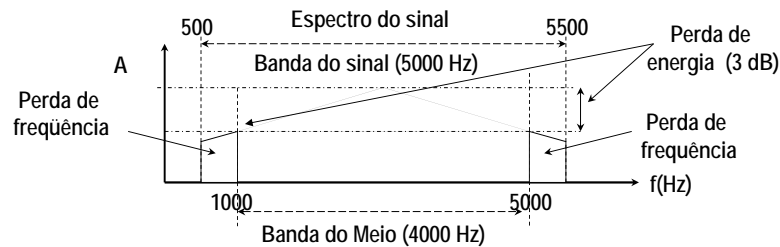
- Meio físico é um filtro passa-baixa ou passa-faixa
- Faixa de frequências que são transmitidas sem serem fortemente atenuadas
 - ▶ Frequência de corte: frequência em que a potência do sinal recebido cai a metade (3dB)
 - ▶ Propriedade do meio de transmissão
- A comunicação é possível sempre que:
 - ▶ o espectro do sinal "caber" na largura de banda do meio
 - ▶ As frequências mínima e máxima do espectro estiverem contidas na faixa de frequência do meio

Redes de Computadores

16

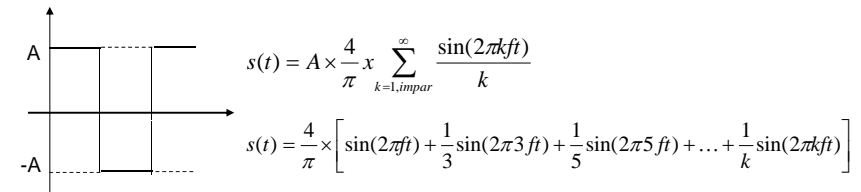
Largura de banda analógica e o meio

- A informação a ser transportada depende da largura de banda e não das frequências inicial e final do sinal
 - ▶ Ao limitar a largura de banda, limita-se a taxa de dados (mesmo em canais perfeitos, sem ruídos)



17

Efeito da largura de banda do meio sobre um sinal

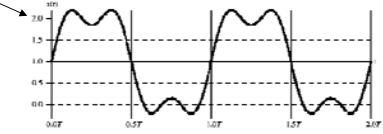


Exemplo:

Meio de transmissão
(2 a 6 MHz banda = 4 MHz)

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

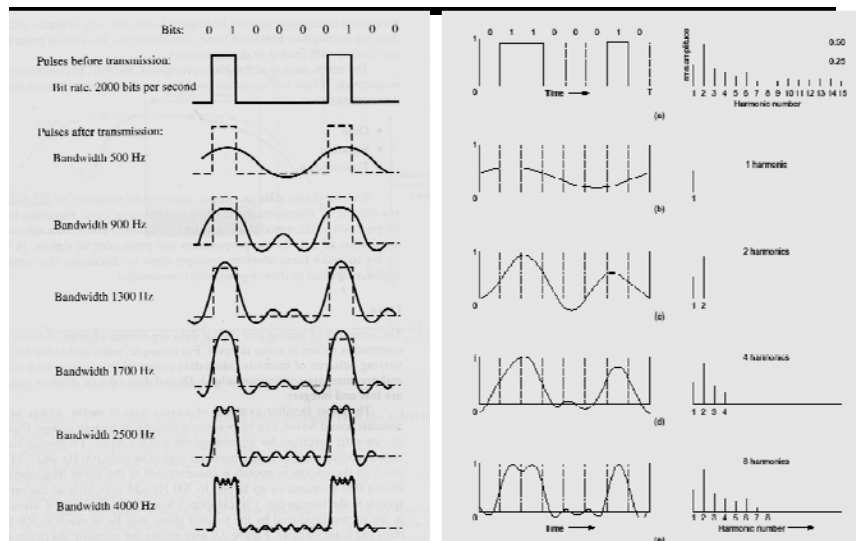
Sinal resultantes para uma frequência de transmissão de 2 MHz. [As harmônicas a partir de 5f são filtradas]



Redes de Computadores

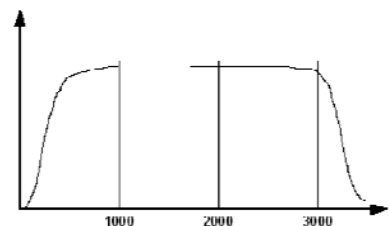
18

Influência do meio: dois exemplos gráficos



19

Exemplo: Linha telefônica



Banda passante: 3000Hz

- Filtro passa-faixa: preserva uma banda de frequência
- Elimina frequências superiores e inferiores a esta faixa
- Ex:
 - ▶ Audição: 20Hz até 20kHz
 - ▶ Telefone: 300Hz até 3300Hz
 - ▶ Parte da energia do sinal é perdida

Redes de Computadores

20

Largura de banda analógica e digital

❑ Largura de banda analógica

- ▶ Banda larga ou banda passante
 - ▶ 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 próxima a 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 e fornecida em Hz
- ▶ Computação: largura de banda digital e fornecida em bits/s

21

Largura de banda digital (bits/s)

- ❑ Dados binários são codificados em sinais digitais (discretizados)
- ❑ São melhor representados por:
 - ▶ Intervalo de sinalização ou *baud* (ao invés de período): tempo para representar uma unidade de informação
 - ▶ Taxa de baud ou taxa de símbolos
 - ▶ Taxa de bit ou *bit rate* (ao invés de frequência): quantidade de bits enviados por segundo
- ❑ Depende de

$1 \text{ baud} = \log_2 L \text{ bps}$

 - ▶ Largura de banda (analógica) do meio
 - ▶ Quantidade de níveis (L) que um sinal pode assumir
 - ▶ Qualidade do meio físico
- ❑ Capacidade máxima do canal: Teoremas de Nyquist e Shannon

22

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 se teria uma capacidade infinita

23

Capacidade do canal (Shannon)

- ❑ Capacidade do canal é limitada e independente 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 3100 Hz
- ▶ Relação $\frac{S}{R}$
$$dB = 10 \log \left(\frac{S}{R} \right)$$
$$\log_b x = \frac{\log_k x}{\log_k b}$$

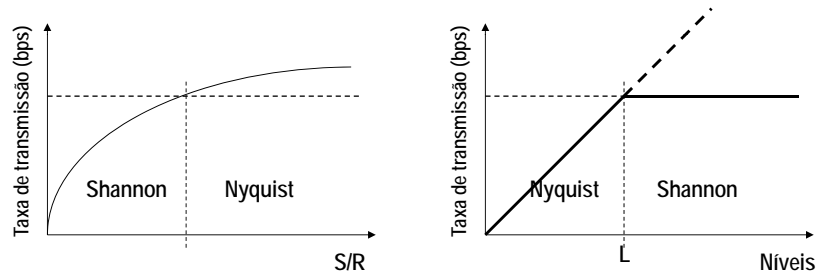


$$C = 3100 \times \log_2 (1 + 1000)$$
$$C = 3100 \times \left(\frac{\log 1001}{\log 2} \right)$$
$$C = 3100 \times \frac{3}{0.3} = 31000 \text{ bps}$$

24

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



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
 - ▶ *Croostalk*: acoplamento eletromagnético entre fios paralelos (antenas)
 - ▶ Impulso: sinal de alta energia em um pequeno intervalo de tempo

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:
 - ▶ $\lambda = v \cdot T$
 - ▶ $\lambda \cdot f = v$
 - ▶ 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

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)