

Fundamentos de Sistemas Computacionais (IC/UFRJ)

Aula 5: Princípios da comunicação de dados

Prof. Silvana Rossetto (IC/CCMN/UFRJ)

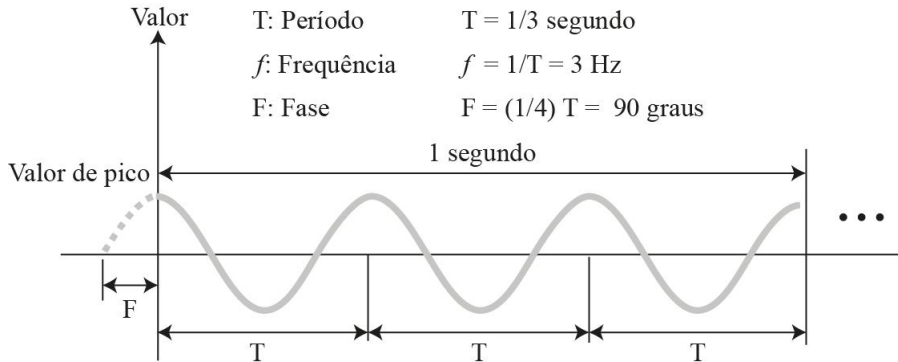
Transmissão de dados

- **Dados** podem ser transmitidas através de fios (condutores elétricos) variando-se alguma propriedade física, como **voltagem**
- **Voltagem** é criada pela separação de cargas elétricas, então as medições de voltagem são realizadas entre dois pontos

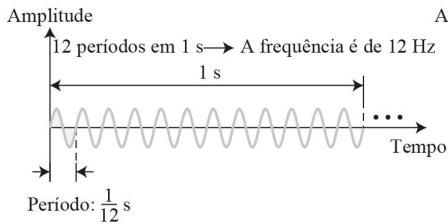
Hardware de comunicação com interface balanceada

- Cada sinal usa **dois fios**: **sinal +** e **sinal -**
- O receptor faz a diferença entre os dois sinais (recebimento diferencial)
- Minimiza o efeito de ruídos nas linhas

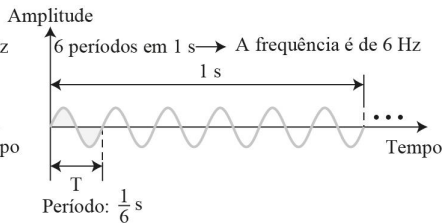
Onda senoidal



Frequência e período



(a) Um sinal com frequência de 12 Hz



(b) Um sinal com frequência de 6 Hz

Análise de Fourier

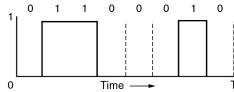
Fourier provou que qualquer função periódica bem comportada, $g(t)$, com período T , pode ser construída como a soma de um número (provavelmente infinito) de senos e cosenos:

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

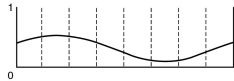
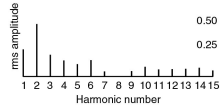
onde: $f = \frac{1}{T}$ é a **frequência fundamental**, a_n e b_n são as amplitudes das funções sin e cos da **n-ésima harmônica** (termo da expressão) e c é uma constante

- A decomposição de funções sin e cos é chamada **série de Fourier**
- Um sinal de dado que tenha duração finita (todos tem) pode ser tratado assumindo que ele **repete o padrão inteiro** (i.e, o intervalo T a $2T$ é o mesmo de 0 a T)

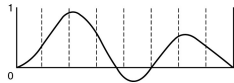
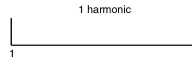
Exemplo ilustrativo: transmissão do caractere "b"



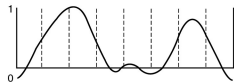
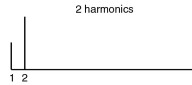
(a)



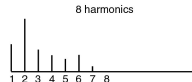
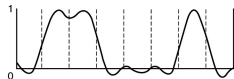
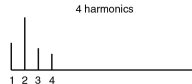
(b)



(c)

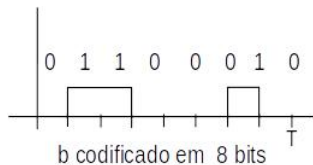


(d)



- Transições repentinas causam harmônicas altas
- Cortar harmônicas superiores significa atenuar transições, causando distorção no sinal
- Potência do sinal tende a se concentrar nas harmônicas baixas

Exemplo ilustrativo: transmissão do caractere “b”



Se taxa de 300 bps então: 1 bit a cada $1/300$ s
 $T = 8 \times 1/300 = 26,67$ ms
 $f = 1/T = 37,5$ Hz (primeira harmônica)

Limitações na transmissão de sinais

- Nenhum meio de transmissão transmite sinais sem perda de energia
- Se todas as componentes do sinal perdessem energia igualmente, o sinal perderia amplitude, mas **não seria distorcido**
- Normalmente as amplitudes são transmitidas sem alteração de 0 a alguma frequência f_c com todas as frequências acima desse limiar atenuadas

Largura de banda do meio

O conjunto de frequências transmitidas **sem atenuação forte** é chamado **largura de banda** (*bandwidth*) do meio de transmissão

Exemplo ilustrativo

- Dada uma taxa de transmissão de **b bits/seg**, o tempo necessário para enviar **8 bits** é de $\frac{8}{b}$ seg
- A frequência da primeira harmônica é de $\frac{b}{8}$ Hz
- Se um filtro de frequência é introduzido limitando a faixa de frequência para 3000Hz (ex., telefonia), significa que o número da maior harmônica será: $\frac{3000}{b/8} = \frac{24000}{b}$

Exemplo de linha de comunicação com filtro passa baixa

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
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	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

Figure: Fonte: Computer Networks, Tanenbaum, 4ed., 2003.

Obs.: Considerando um filtro de frequência de 3000Hz

Equação de Nyquist

- *Nyquist* provou que um sinal qualquer, em um canal perfeito (sem ruídos), com filtro passa baixa de **H**, pode ser completamente reconstruído fazendo-se no máximo **2H** amostras por segundo
- Considerando a possibilidade de V níveis discretos de sinais, tem-se: $Taxa_{max} de transmissão = 2H \log_2 V$
- Ex., em um canal sem ruído de **3000Hz**, é possível transmitir sinais binários (i.e., 2 níveis discretos) até uma taxa de **6000bps**

Analógico versus digital

Os termos **analógico (contínuo)** e **digital (discreto)** são usados em quatro contextos:

- 1 **Dados:** entidades que transportam significado ou informação
- 2 **Sinais:** representações elétricas ou eletromagnéticas dos dados
- 3 **Sinalização:** propagação física do sinal no meio
- 4 **Transmissão:** comunicação de dados, com processamento de sinais e propagação

Modulador/Demodulador

- Dados digitais podem ser representados por sinais analógicos, usando um **modem**
- Conversão de pulsos de voltagem binários em sinal analógico que modula a **frequência portadora**
- O sinal resultante ocupa uma faixa de frequências
- Os modems mais comuns usam o espectro de frequência da voz (entre 300Hz e 3400Hz), permitindo propagação por linhas telefônicas
- **Vantagem:** permitem o uso de meios de transmissão como fibra óptica e satélite (propagam apenas sinais analógicos)

Codificadores/Decodificadores

- Dados analógicos podem ser representados por sinal digital, usando um **codec**
- Captura do sinal analógico, ex. voz, e aproximação por um fluxo de bits

Deficiências na transmissão

Para os meios guiados (ex., par trançado, cabo coaxial), as deficiências mais importantes são:

- 1 Atenuação e distorção de atenuação
- 2 Distorção de retardo
- 3 Ruído

Atenuação e distorção de atenuação

Quando um sinal eletromagnético é transmitido, ele se torna **gradualmente mais fraco** em distâncias maiores, introduzindo três questões:

- 1 O sinal recebido precisa ter força suficiente para que o receptor seja capaz de detectá-lo
- 2 O sinal precisa manter um nível suficientemente mais alto que o ruído para ser recebido sem erro
- 3 A atenuação é maior em frequências mais altas, o que causa **distorção do sinal**

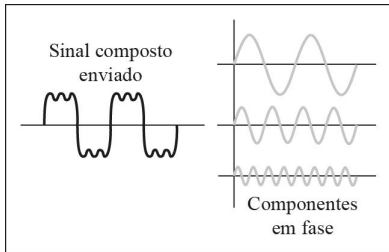
Força do sinal

- As questões 1 e 2 se resolvem com o uso de **amplificadores** (para o caso de sinais analógicos) ou **repetidores** (para o caso de sinais digitais):
 - **Amplificadores**, aumentam a amplitude (força) do sinal (podem causar distorções no sinal)
 - **Repetidores**, recebem o sinal, recuperam os dados binários, e transmitem o novo sinal

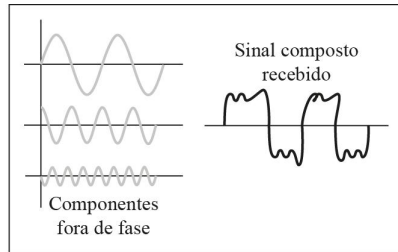
Distorção de retardo

- Causada pelo fato da **velocidade de propagação do sinal variar de acordo com a frequência**
- Vários componentes do sinal chegarão no destino em momentos diferentes

Exemplo ilustrativo: distorção do sinal



No emissor

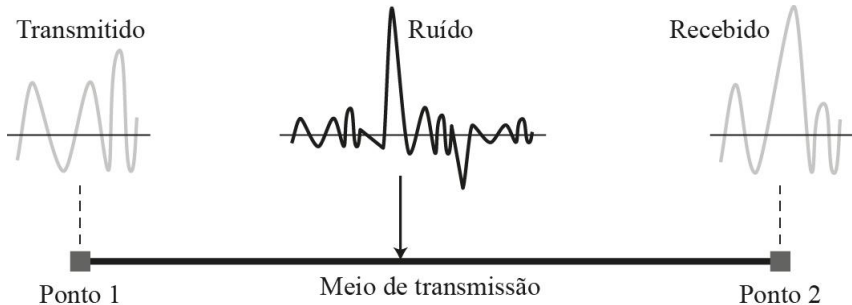


No receptor

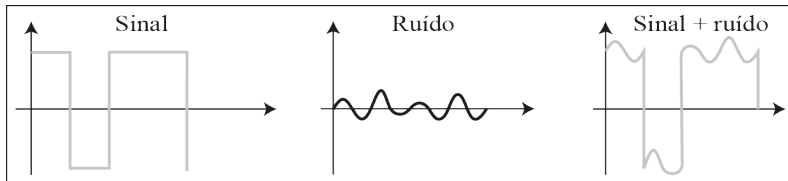
Sinais indesejados adicionados ao sinal transmitido, podem ser de diferentes tipos:

- 1 **térmico**: resultado do movimento dos elétrons, distribui uniformemente no espectro, não pode ser eliminado, impõe limite superior no desempenho do canal
- 2 **intermodulação**: resultado da soma ou diferença das frequências de vários sinais que compartilham o meio (ex., sinal de 4Khz e outro de 8KHz geram energia de 12KHz)
- 3 **linha cruzada**: resultado da combinação elétrica entre cabos próximos
- 4 **impulso**: resultado de distúrbios eletromagnéticos (ex., relâmpagos, falhas no sistema)

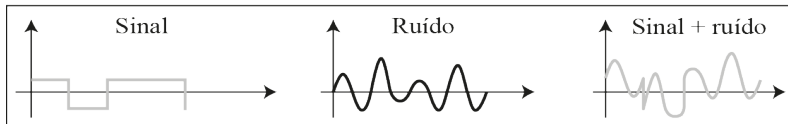
Exemplo ilustrativo: ruído



Exemplo ilustrativo: ruído



(a) S/R alta



(b) S/R baixa

- A **velocidade** (bps) em que os dados podem ser transmitidos em um determinado canal de comunicação, sob condições específicas, é chamada **capacidade do canal**
- Conceitos relacionados:
 - 1 **velocidade de dados** (bits por segundo)
 - 2 **largura de banda** (faixa de frequências limitada pelo meio e pelo transmissor)
 - 3 **ruído** (nível média de interferência indesejada)
 - 4 **taxa de erros** (um erro é a recepção de 1 quando 0 foi transmitido e vice-versa)

- Com relação a **dados digitais**, deseja-se obter a **velocidade de dados** mais alta possível, em determinado limite de taxa de erros, para uma largura de banda específica
- A **presença de ruído** pode danificar um ou mais bits, se a velocidade aumentar, os bits se tornam “mais curtos”, de modo que mais bits são afetados por determinado padrão de ruído
- Limite da velocidade de transmissão (considerando ruído térmico) dado pela equação de Shannon:
$$taxa_{max} de dados = H \log_2(1 + S/N)$$

- Quando os elétrons se movem eles criam **ondas eletromagnéticas** que se propagam pelo espaço (incluindo o vácuo)
- O número de **oscilações/seg** de uma onda é sua **frequência** (f)
- A distância entre duas máximas (ou mínimas) consecutivas é chamada **comprimento de onda** (λ)
- No vácuo as ondas eletromagnéticas viajam na velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$)
- Fora do vácuo, a velocidade cai para cerca de 2/3 desse valor, e depende da frequência
- A relação fundamental (no vácuo) é dada por: $\lambda f = c$

Princípio físico da comunicação sem fio

Quando uma antena de tamanho apropriado é ligada a um circuito elétrico, as ondas eletromagnéticas podem ser difundidas (*broadcasting*) e recebidas por outra antena

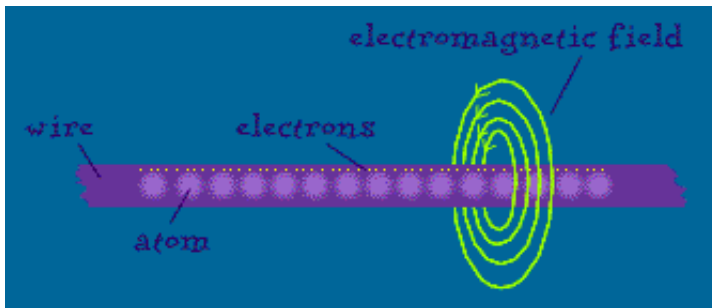


Figure: Fonte:

<http://www.pbs.org/wgbh/aso/tryit/radio/radiowaves2.html>.

- Ondas de **rádio, microondas, infravermelho, porções visíveis da luz** são espectros que podem ser usados para transmitir informações
- Ondas de **luz ultravioleta, raios X, raios gama**, seriam ainda melhores pelas suas altas frequências, mas são difíceis de gerar (e modular), não propagam bem por obstáculos, e são perigosas para os seres vivos

Faixas de frequências eletromagnéticas

- Equipamentos de comunicação que usam ondas eletromagnéticas operam em **faixas de frequências** distintas (ex., cada estação de rádio ou TV opera em uma faixa de frequência única em uma mesma região)
- Todos os serviços de telecomunicações (rádios, TVs, celulares) têm suas faixas de frequências definidas pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações)
- Redes WiFi usam as faixas de 2.4GHz ou 5GHz (frequências não licenciadas)

Espectro eletromagnético

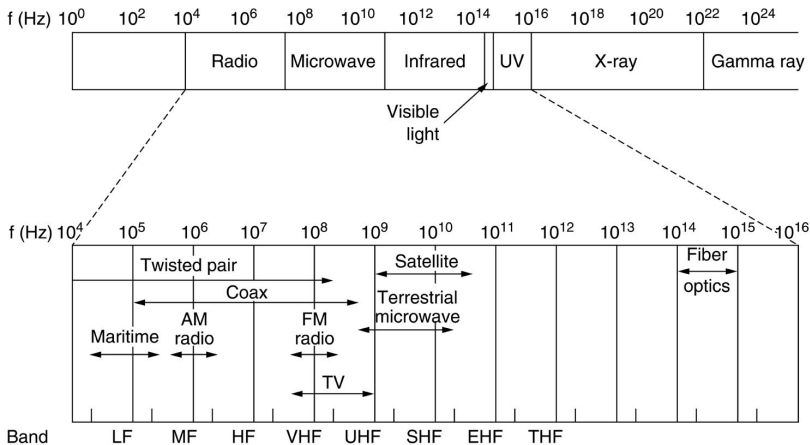


Figure: Fonte: Computer Networks, Tanenbaum, 4ed., 2003.

- ① A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Prentice-Hall, 4ª ed., 2003
- ② J. Kurose and K. Ross, *Computer Networking: A Top-Down Approach*, Addison-Wesley, 5ª ed., 2009
- ③ W. Stallings, **Redes e sistemas de comunicação de dados: teoria e aplicações corporativas** W. Stallings, Campus, 2005