

Camada Física

Redes de Computadores

Profa. Kalinka Regina L. J. Castelo Branco

Universidade de São Paulo

Março de 2019

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão
Transmissão
Análogica

Referência

- 1 Funções da Camada Física
- 2 Dados, Sinais e Transmissão
- 3 Largura de banda
- 4 Problemas na Transmissão
- 5 Transmissão
Transmissão Analógica
- 6 Referência

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência

- Estabelecer a conexão física entre máquinas ligadas em rede;
- Especificar interfaces mecânicas e elétricas;
- Executar tarefas de sincronização para a rede;
- Converter informações de bits em sinais que são passados pelos meios de transmissão.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência

- Estudar e para entender:
 - fatores que limitam a capacidade de transmissão de dados dos canais de comunicação;
 - fornecer dicas de porque todas as formas de comunicação estão migrando do sistema analógico para o digital.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência

- Meios guiados: os sinais se propagam em meios sólidos:
 - Fios de cobre, com variação de alguma propriedade física elétrica (tensão e corrente);
 - Fibra óptica, com transmissão de luz (geralmente usada na frequência do infravermelho).
- Meios não-guiados: os sinais se propagam livremente:
 - Rádio, com a propagação de ondas eletromagnéticas em todas as direções (geralmente em frequências menores do que o infravermelho);
 - Satélite, com a propagação de ondas eletromagnéticas direcionais (geralmente em frequências maiores, como na ordem de microondas).

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

**Dados, Sinais
e Transmissão**

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Quase todos os sinais utilizados para comunicação são parte do espectro eletromagnético – energia eletromagnética viaja em ondas que se irradiam para fora da sua fonte (no nosso caso o transmissor, que é transportada pelo meio de transmissão sob forma de ondas eletromagnéticas).

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Tempo e espectros de tempo – são componentes das definições dos conceitos mais fundamentais.
- Quando expresso matematicamente, um sinal eletromagnético é uma função do tempo. Entretanto, ele pode ser também expresso em função da frequência (sendo constituído por diversas frequências) – diferenciação entre diferentes instrumentos e diferentes vozes. . .

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Em função do tempo o **signal** pode ser analógico ou digital:
 - **Analógico** – a intensidade do sinal varia de forma suave ao longo do tempo (não existe descontinuidade ou interrupção);
 - **Digital** – a intensidade do sinal mantém um nível constante durante um certo período, e então muda para outro nível constante.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

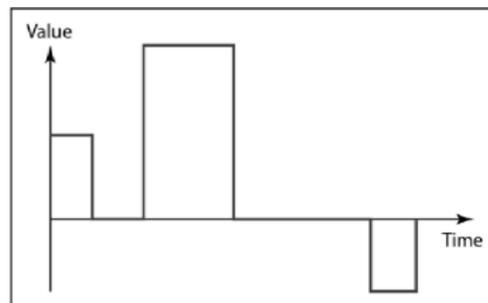
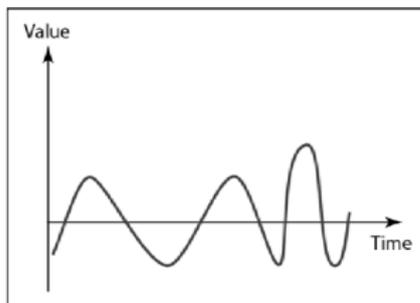
Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Dados:** Analógicos e Digitais.
 - **Analógicos** – representados como formas de onda contínua que, em determinado ponto no tempo podem estar em um número infinito de pontos entre um valor máximo e um valor mínimo;
 - **Digitais** – representados por formas discretas.

- Analógicos:
 - Dados: áudio (voz humana) e vídeo.
 - Sinais: valores **contínuos** em um intervalo de tempo.
- Digitais:
 - Dados: arquivos armazenados em computador.
 - Sinais: valores **discretos** em um intervalo de tempo.



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- O sinal mais simples é o periódico – que se repete ao longo do tempo.
- Onda senoidal (sinal analógico) ou onda quadrada (sinal digital).

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

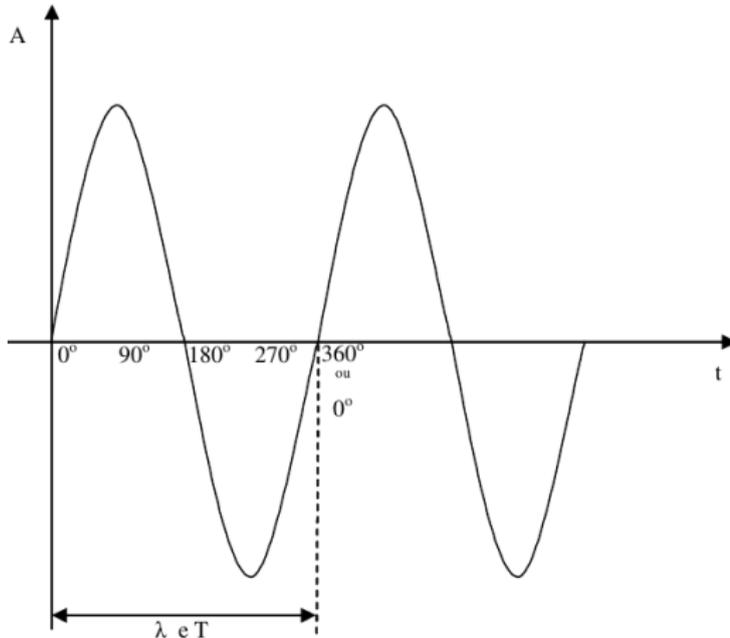
Transmissão
Analógica

Referência

- A onda senoidal geral pode ser representada por três componentes básicos:
 - Amplitude de pico (A), frequência (f) e fase (θ).

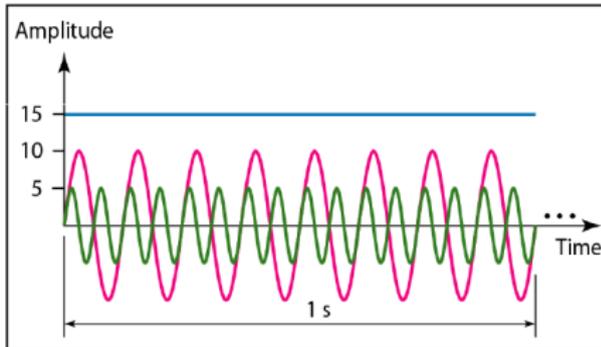
- Ondas senoidais:

$$F(t) = A \sin(\omega_0 t + \theta)$$

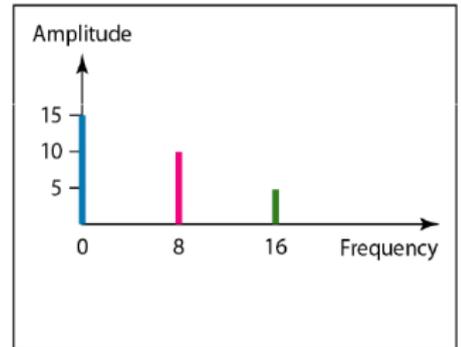


- A : Amplitude máxima;
 - ω_0 : Frequência angular;
 - θ : constante de fase.
-
- Amplitude: magnitude;
 - Frequência: número de ciclos por segundo (Hz);
 - Fase: deslocamento da onda;
 - Comprimento de onda (λ) distância mínima que o ciclo se repete (m).

- Podem ser representados no tempo e na frequência:



a. Time-domain representation of three sine waves with frequencies 0, 8, and 16



b. Frequency-domain representation of the same three signals

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

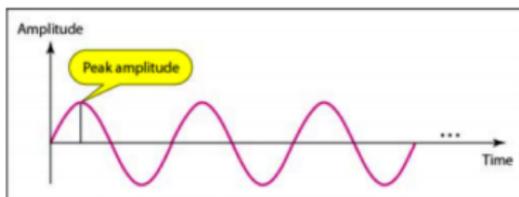
Problemas na
Transmissão

Transmissão

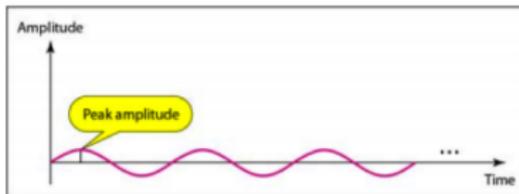
Transmissão
Análogica

Referência

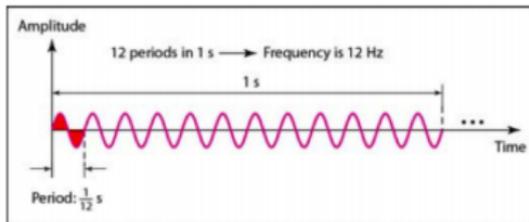
- **Amplitude** – é a altura máxima da onda acima ou abaixo de determinado ponto de referência (representa intensidade do sinal ao longo do tempo – nível de tensão do sinal).
- **Frequência** – número de vezes que o sinal faz um ciclo completo dentro de determinado período. O comprimento por ciclo é chamado período do sinal (T). O período é calcula como o inverso da frequência ($1/f$).
- **Fase** - é uma medida de posição da forma de onda em relação a determinado instante dentro do período de um sinal.



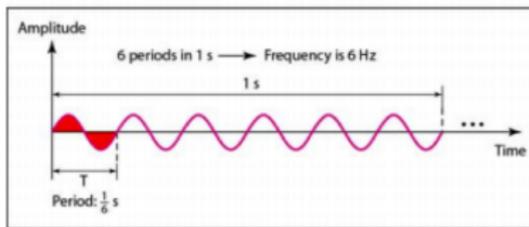
a. A signal with high peak amplitude



b. A signal with low peak amplitude



a. A signal with a frequency of 12 Hz



b. A signal with a frequency of 6 Hz

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Comprimento de onda (λ) – é o conceito que ajuda a entender por que a mesma forma senoidal pode ser expressa como uma função de tempo ou espaço. O comprimento de onda de um sinal é definido como a distância ocupada por um único ciclo, ou a distância entre dois pontos da fase correspondente de dois ciclos consecutivos (como por exemplo as amplitudes máximas).

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Informações – Podem ser transmitidas em fios, variando-se propriedades físicas como voltagem e corrente.
 - Por exemplo: se representamos uma voltagem como uma função do tempo $f(t)$ é possível definir um modelo para o comportamento do sinal e analisá-lo matematicamente.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Qualquer função $g(t)$ periódica com o período T pode ser escrita como uma soma de senos e cossenos.
 - Isso significa que qualquer função periódica pode ser decomposta em uma soma de funções senoidais e co-senoidais, mais simples:

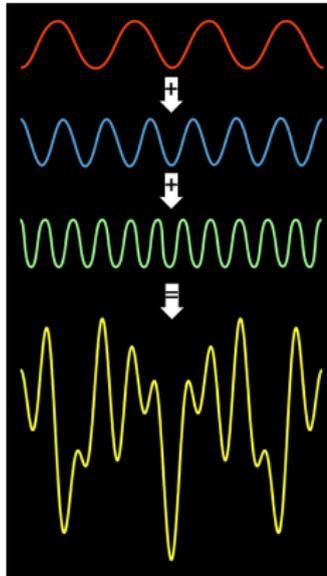
$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{sen}(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{cos}(2\pi nft), \text{ onde}$$

$f = 1/T$ (frequência fundamental)

a_n, b_n são as amplitudes dos senos e co-senos da n -ésima harmônica.

Para qualquer $g(t)$, a , b e c podem ser calculados \rightarrow **"Termos de Fourier"**

- Segundo Fourier, qualquer sinal periódico estável pode ser construído como uma combinação de ondas senoidais simples de diferentes frequências:



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

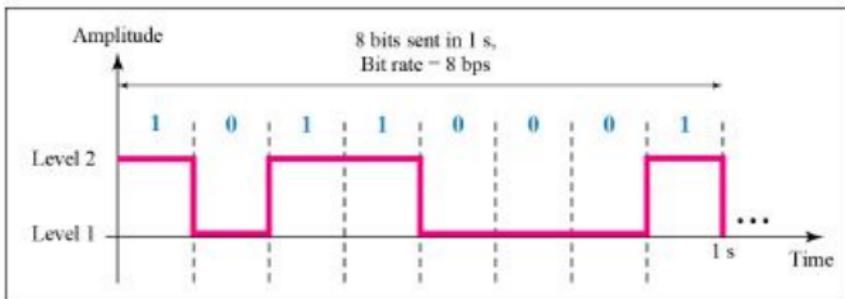
Problemas na
Transmissão

Transmissão

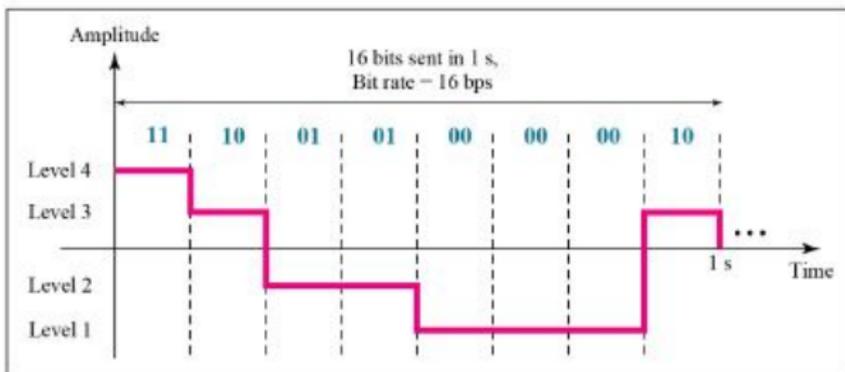
Transmissão
Analógica

Referência

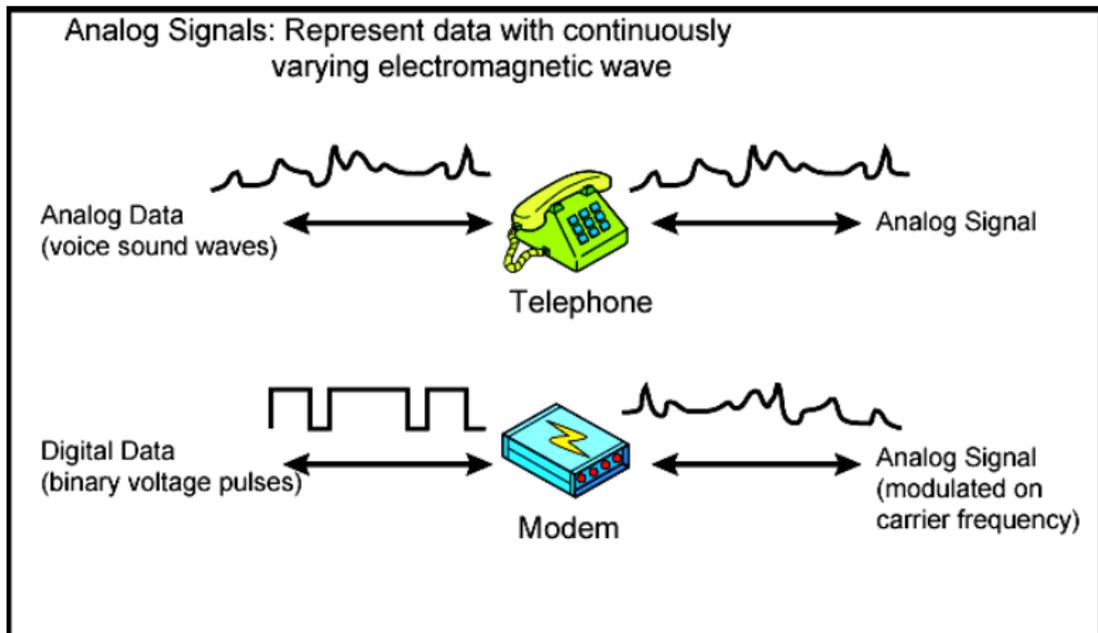
- A sequência de pulsos com amplitude fixa (em valores discretos), na qual o sinal é construído por meio de uma sequência de intervalos de tamanho fixo iguais a T segundos, chamados intervalos de sinalização.

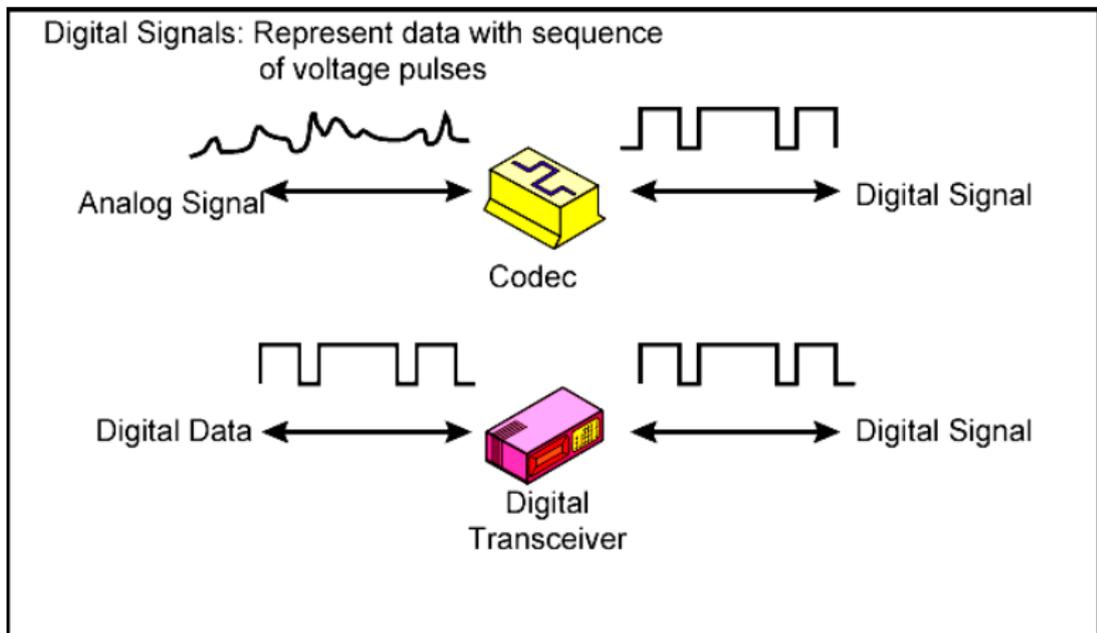


a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels





Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Formas senoidais simples são difíceis de serem encontradas na vida real.
- O espectro de um sinal é o espectro de frequências que ele contém. Para o sinal composto, o espectro abrange a composição.

Largura de banda

É definido na comunicação de dados como sendo a diferença entre a maior e menor frequência que pode ser utilizada para transmissão de sinais em um meio físico (como um cabo de cobre).

Pode ser uma limitação física (do meio físico) ou imposta por meio de filtros (gerada artificialmente).

- **Qual a diferença entre largura de banda e taxa de transmissão?**
- A largura de banda é medida em MHz e a taxa de transmissão em Mbps.
- A largura de banda de um cabo pode ser dividida em canais. As duas formas de utilizar a capacidade de um meio físico são **banda base e banda larga**.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Banda Base:** neste tipo de transmissão toda a largura de banda é usada por um único canal.
- Esta tecnologia é frequentemente usada para transmissão digital. Por essa razão, é a técnica adotada pela maioria das redes de computadores.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Banda Larga:** Este modelo de transmissão é caracterizado pela divisão da largura de banda em múltiplos canais.
- Cada canal pode transmitir diferentes sinais analógicos. Por essa razão, redes de banda larga podem transmitir múltiplos sinais simultaneamente.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

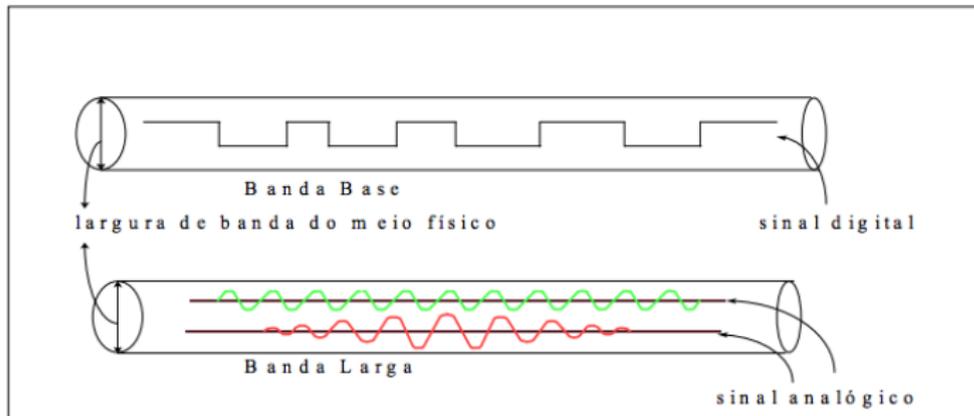
Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Análogica

Referência

- A transmissão ocasiona perda de energia no processo. As perdas ocorrem de maneira diferente para diferentes harmônicas, o que insere distorção.
- Normalmente, as frequências são transmitidas sem alterações até uma determinada frequência f_c .
- O limite f_c , muitas vezes é devido a propriedades físicas do meio.
- No caso de linhas telefônicas comuns, $f_c=3\text{KHz}$.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

**Largura de
banda**

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Meios de transmissão – perda de sinal durante o processo de transmissão:
 - A atenuação não é a mesma para todas as frequências.
 - Coeficientes da série de Fourier não são igualmente reduzidos.
 - Causa distorção no sinal.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

**Largura de
banda**

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Normalmente – Existe transmissão desde 0 até uma frequência f_c (frequência de corte), sendo que todas as frequências acima desta são atenuadas (propriedades físicas ou filtros atenuadores que limitem a largura de banda).

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- O tempo T necessário à transmissão do caractere depende do método de codificação e da velocidade de amostragem – número de vezes por segundo que o sinal muda seu valor (tem uma variação na voltagem)
- Esse número de mudanças é o **baud rate**.
- “BAUD” é o número de vezes que um sinal pode mudar por segundo em uma linha de comunicação.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Análogica

Referência

- **Bit rate** mede o número de bits de dados (que são 0's e 1's) transmitidos em um segundo num canal de comunicação. Por exemplo, 2400 bits por segundo, significa que 2400 zeros ou uns podem ser transmitidos em um segundo, logo abrevia-se para “bps” (bits por segundo). Caracteres individuais (como letras ou números), que são também conhecidos como bytes, nada mais são que um conjunto de 8 bits.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Baud rate** é o número de vezes que um sinal em um canal de comunicação muda seu estado, ou varia. Por exemplo, 2400 baud rate, significa que o canal pode mudar o estado até 2400 vezes por segundo. O termo “mudar estado” significa que ele pode variar de 0 para 1 ou de 1 para 0 até X vezes (nesse caso 2400) por segundo. Isto também refere-se ao estado atual da conexão, como voltagem, frequência ou nível de fase.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- A diferença principal entre os dois é que uma mudança do estado pode transmitir um bit, ou algo mais ou menos que um bit, dependendo da técnica de modulação usada. Assim, o bit rate (bps) e baud rate (baud por segundo) tem esta relação:

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Análogica

Referência

- A taxa de transmissão de dados é o número de eventos, ou mudanças de sinal, que ocorrem em um segundo – e não o número de bits transmitidos por segundo (bps). Na comunicação digital de alta velocidade, um evento pode, na verdade, representar mais de um bit, e os modems são descritos com mais precisão em termos de bits por segundo do que da taxa de transmissão de dados. Por exemplo, os chamados modems de **9.600 baud (na especificação 2400)**, que codificam quatro bits por evento, operam, na realidade, a 2.400 baud, porém, transmitem 9.600 bits por segundo (2.400 eventos vezes quatro bits por evento) e, portanto, deveriam ser denominados modems de 9.600 bps. Comparar com bit rate (taxa de transferência); transfer rate (taxa de transferência).

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Uma linha de b bauds não transmite necessariamente b bits/seg – cada sinal pode transmitir diversos bits – depende da codificação.
- Exemplo: se voltagens compreendidas entre 0 e 7 volts forem usadas, cada valor do sinal poderia ser usado para transportar 3 bits e, desta forma a taxa de bits seria 3 vezes maior que a taxa de bauds.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- No nosso caso – usamos somente 0's e 1's (volts), então a taxa de bits é igual a taxa de baud.
- Se a taxa é de b bits/s – então o tempo de envio de 8 bits é de $(8/b)$ seg = T (período).
- Frequência da Primeira Harmônica é de $b/8$ Hz ($f=1/T$ Hz).
- bps = baud por segundo x o número de bits por baud.

- baud: número de intervalos de sinalização por segundo.
- Se
 - 1 bit em 1 T - 2^1 níveis de sinalização;
 - 2 bits em 1 T - 2^2 níveis de sinalização (dibit);
 - 3 bits em 1 T - 2^3 níveis de sinalização (tribit);
 - . . .
 - n bits em 1 T - 2^n níveis de sinalização;
- Então
 - L níveis de sinalização - $\log_2(L)$ bits / nível de sinalização
- Assim,
 - 1 baud = $\log_2(L)$ bits por segundo

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Linha telefonica comum (voz) – fc artificialmente introduzida de aproximadamente 3.000 Hz (em geral os telefones transmitem frequências entre 400 e 3.400 Hz).
- Número de harmônica mais alta transmitida é de $3.000/b/8 = 24.000/b$ onde b é a taxa em bits/s isto significa que este é o maior número possível de harmônicas.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Para transmitir 9600bps, a harmônica mais alta será:
 $24000/9600 = 2,5$ aproximadamente 2 harmônicas.
- Para transmitir a 28800 bps – $24000/28800 = 0,83$ aproximadamente 0 harmônicas. **(não é possível transmitir – inviabiliza a transmissão).**

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

**Largura de
banda**

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Em resumo: limitando-se a Largura de Banda, limita-se a taxa de dados, mesmo nos canais sem ruídos.
 - Entretanto – sofisticados esquemas de codificação que usam diversos níveis de voltagem possibilitam a existência e a utilização de taxas de dados mais altas.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Em 1924 H. Nyquist provou que se um sinal arbitrário é transmitido por um canal de largura de banda de W Hz, o sinal resultante da transmissão pode ser totalmente reconstituído no receptor por meio da amostragem do sinal transmitido a uma frequência mínima de $2W$ Hz (que também é a máxima recomendada).

- Relativo a um canal sem ruído com largura de banda finita (canal idealizado, pois não existe canal sem ruído);
- Velocidade máxima de transmissão de um canal segundo Nyquist:

$$2W \log_2 L \text{ bits/seg}$$

- Onde:
 - **W**: Largura máxima da banda, medida em Hz;
 - **L**: Número de níveis discretos do sinal (é o número de representações possíveis do sinal).

- O Teorema de Nyquist é de extrema importância no desenvolvimento de codificadores de sinais analógicos digitais porque estabelece o critério adequado para a amostragem dos sinais.
- Nyquist provou que, se um sinal arbitrário é transmitido através de um canal de largura de banda W Hz, o sinal resultante da filtragem poderá ser completamente reconstruído pelo receptor através da amostragem do sinal transmitido, a uma frequência igual a, no mínimo $2W$ vezes por segundo.
- Esta frequência, denominada Frequência de Nyquist, é a frequência de amostragem requerida para a reconstrução adequada do sinal.

- Para o caso de sinais que utilizam mais do que dois níveis (blocos de bits, ao invés de apenas os 2 níveis, nível 0 ou nível 1), a formulação de Nyquist se torna $C = 2W \log_2(L)$ - Onde L é o número de níveis utilizados para representar o sinal e $\log_2(L) = 1\text{baud}$.
- Como $1 \text{ baud} = \log_2(L) \text{ bps}$ - Então a capacidade máxima de um canal digital (na ausência de ruído) é: $C = 2 W \log_2(L) \text{ bps}$.

Exercício

A linha telefônica utiliza canais de 4 kHz. Dado esse canal, qual seria a velocidade máxima de transmissão segundo Nyquist com uma representação de 2 níveis discretos do sinal? E com 8 níveis discretos?

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

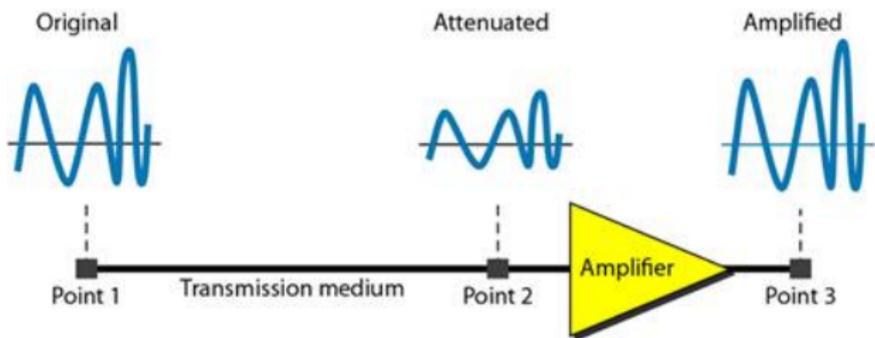
Problemas na
Transmissão

Transmissão
Análogica

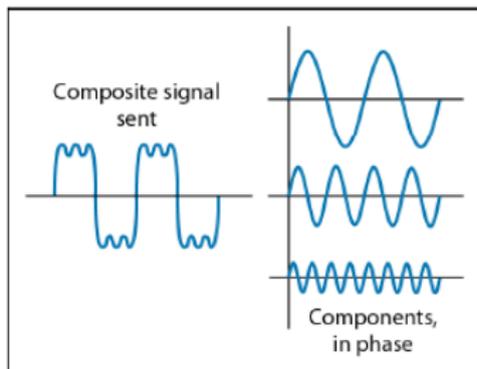
Referência

- queda de potência de um sinal em função da distância de transmissão e do meio físico. Normalmente é logarítmica e por isso é normalmente expressa em um número constante de decibéis por unidade de comprimento. Essa distorção é facilmente contornada em transmissão digital por meio da colocação de repetidores que podem regenerar o sinal original, desde que a atenuação não ultrapasse um determinado valor limite (que varia de acordo com o meio físico utilizado).

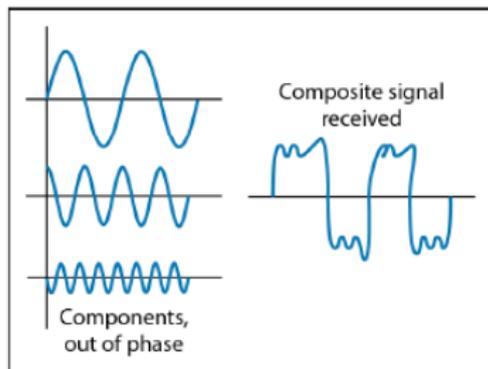
- Atenuação: enfraquecimento do sinal devido à perda de energia.



- Distorção: mudança no formato devido aos atrasos diferentes em diferentes frequências.



At the sender



At the receiver

**Camada
Física**Profa.
Kalinka
BracnoFunções da
Camada
FísicaDados, Sinais
e TransmissãoLargura de
banda**Problemas na
Transmissão**

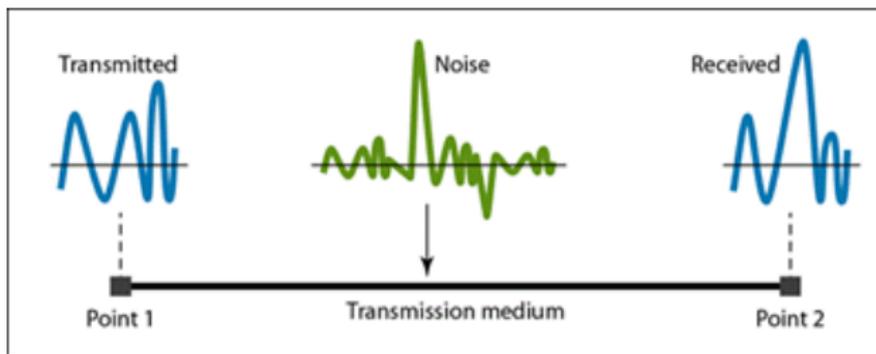
Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- reflexão de sinal quando há mudança da impedância (resistência à passagem de um sinal alternado) do meio de transmissão.

- Ruído: sinais indesejados inseridos entre a transmissão e recepção.



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

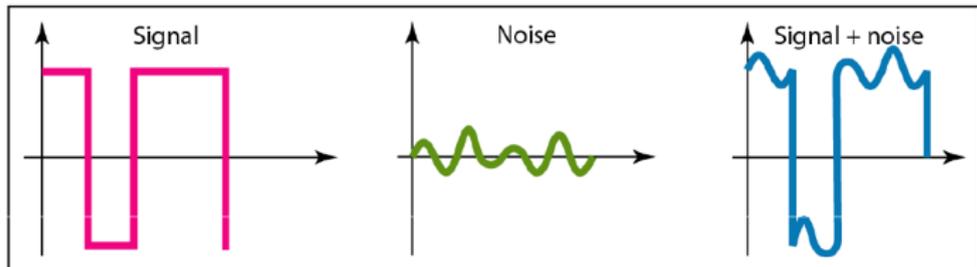
Problemas na
Transmissão

Transmissão
Análogica

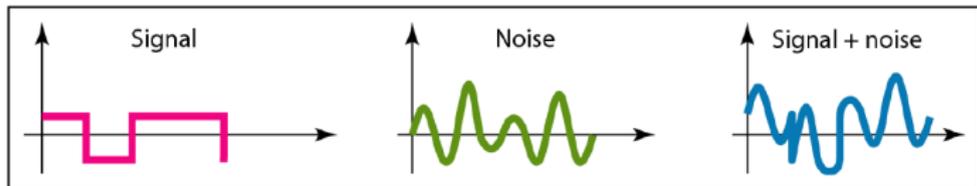
Referência

- Em qualquer transmissão, o sinal recebido é sempre igual ao sinal transmitido modificado por distorções impostas pelo meios físicos e por distorções inseridas através de interferências indesejáveis ou ruídos (maior limitação no desempenho dos sistemas de comunicação).
- O ruído é medido pela razão entre a potência do sinal (S) e a potência do ruído (N), chamada de razão (ou relação) sinal/ruído (S/N).
- É muito comum utilizar-se, ao invés desta razão S/N diretamente, o valor $10 \log_{10}(S/N)$
- Em geral se usa o valor que se denomina decibel (dB).
- $10 \log_{10} (S/N)$
- Uma razão de 10 corresponde a 10dB, uma razão de 100 corresponde a 20 dB, uma razão de 1000 a 30dB e assim por diante.

- Ruído: sinais indesejados inseridos entre a transmissão e recepção.



a. Large SNR



b. Small SNR

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Térmico:** causado pela agitação dos elétrons nos condutores, presente em todos os dispositivos eletrônicos e meios de transmissão, sendo uniformemente distribuído em todas as frequências do espectro (ruído branco) com quantidade definida em função da temperatura.
- **Intermodular:** causado pelo compartilhamento de um mesmo meio físico (através de multiplexação de frequência) por sinais de diferentes frequências. Ocorre em geral devido a defeitos de equipamento ou na presença de sinais de potência muito alta.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Crosstalk:** causado pela interferência indesejável entre condutores muito próximos que induzem sinais entre si, por exemplo: linhas telefônicas cruzadas, cabos de pares trançados em redes Ethernet.
- **Impulsivo:** pulsos irregulares de grande amplitude, não contínuos e de difícil prevenção. Tem origem em várias fontes: distúrbios elétricos externos, falha de equipamento, entre outros. Na transmissão analógica, sendo de curta duração, não causam danos. Na transmissão digital são a maior causa de erros.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Em 1948, Claude Shannon provou que a taxa de transmissão máxima de um canal, na presença de ruído térmico é: $C = W \log_2(1 + S/N)$ bps - onde W é a largura de banda e S/N a relação sinal ruído.

- Leva em consideração a existência do ruído branco (térmico), impondo um limite para a máxima taxa de transmissão do canal, limitando a modulação multinível que pode ser utilizada;
- Relação sinal/ruído:
 - Potência do sinal (S)/potência do ruído (N);
 - Geralmente dada em Decibéis (dB): $10\log_{10}(S/N)$
 - 10 dB significa $S/N = 10$;
 - 20 dB significa $S/N = 100$;
 - 30 dB significa $S/N = 1000$.
- Velocidade máxima segundo o Teorema de Shannon (referente a um canal com ruído):

$$W\log_2(1 + S/N)$$

- Onde:
 - **W**: largura máxima de banda
 - Independe do número discreto de níveis

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

Exercício

A linha telefônica utiliza canais de 4 kHz e tem uma relação sinal/ruído de 30 dB. Dado esse canal, qual seria a velocidade máxima de transmissão segundo Shannon com uma representação de 2 níveis discretos do sinal? E com 8 níveis discretos?

Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

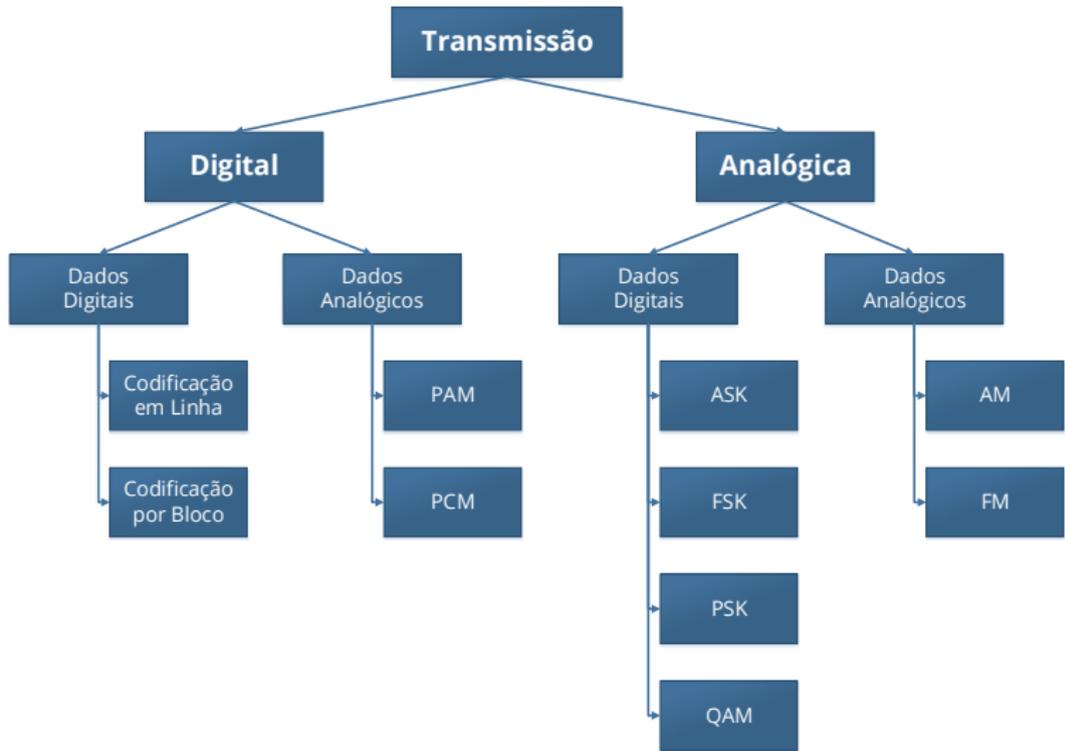
Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- O desafio aqui é transformar os dados digitais e analógicos em sinais analógicos para prover a comunicação.
- A técnica para fazer essa conversão é chamada **modulação**.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- **Modulação** é a variação das características de uma onda (denominada portadora) de acordo com outra onda ou sinal (denominado sinal modulador).
- O objetivo do processo de modulação é imprimir uma informação em uma onda portadora, para permitir que esta informação seja transmitida no meio de comunicação.

Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

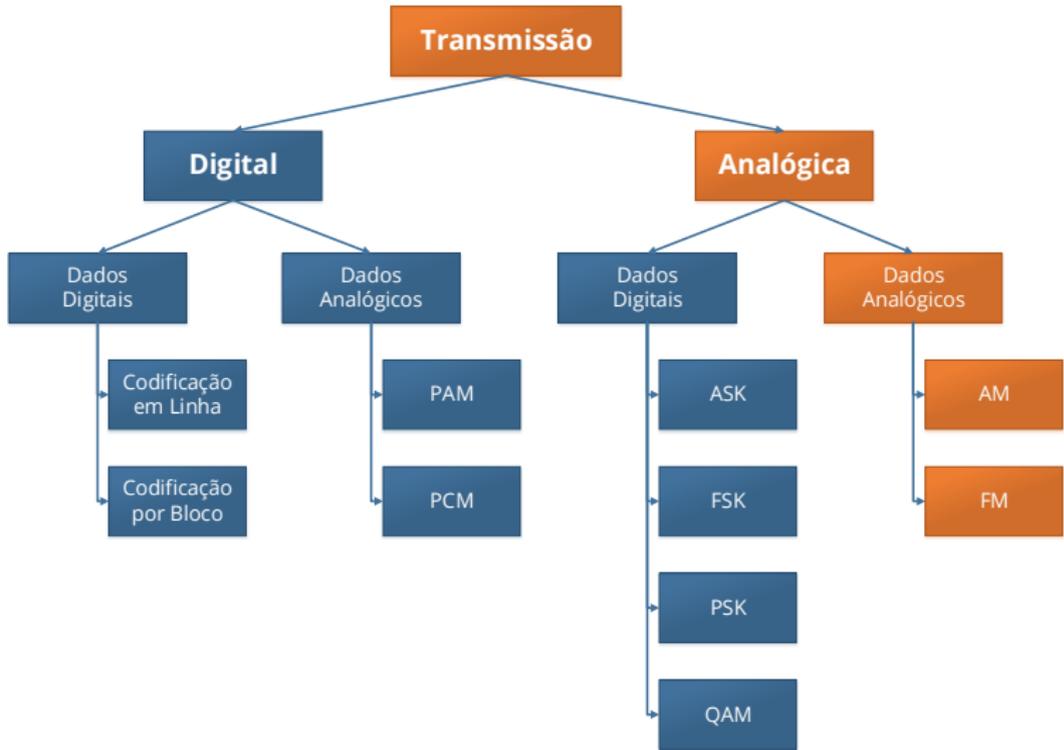
Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

**Transmissão
Analógica**

Referência

- Transformar os dados analógicos em um sinal analógico com uma faixa de frequência escolhida para prover a comunicação.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

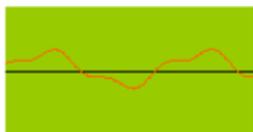
Referência

- AM (*Amplitude Modulation*) ou modulação em amplitude;
- FM (*Frequency Modulation*) ou modulação em frequência;
- PM (*Phase Modulation*) ou modulação em fase.

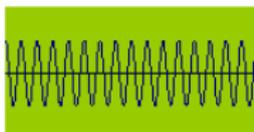
- Nesta técnica, o sinal a transmitir, $s(t)$, é veiculado na amplitude de uma portadora de frequência f_p , que pode ser elétrica, eletromagnética ou óptica, isto é, a amplitude da portadora varia de forma diretamente proporcional à amplitude do sinal a transmitir. O sinal modulado, $sm(t)$, é descrito por:

$$sm(t) = (s(t) + K) \times A \times \cos(2\pi \times f_p \times t)$$

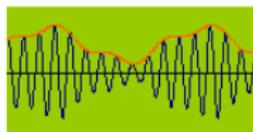
- onde K é uma constante adicionada ao sinal a transmitir por forma a que a amplitude da portadora nunca seja negativa e A é a amplitude da portadora.



Sinal a transmitir



Portadora



Sinal modulado

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

**Transmissão
Analógica**

Referência

- Os sinais modulados em AM são muito sensíveis ao ruído e interferência aditivos, uma vez que a informação é transportada pela amplitude da portadora.

- A modulação em frequência consiste em fazer variar a frequência de uma portadora de forma diretamente proporcional à amplitude do sinal a transmitir. O sinal modulado, **sm(t)**, pode ser representado por:

$$sm(t) = A \times \cos(2\pi \times (fp + m \times s(t)) \times t)$$

- onde **A** representa a amplitude da portadora, **fp** é a frequência da portadora e **m** é o índice de modulação. O índice de modulação determina a amplitude da variação da frequência do sinal modulado. Quanto maior for o índice de modulação, maior será a variação de frequência para o mesmo sinal a transmitir e mais largo será o espectro do sinal modulado.

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

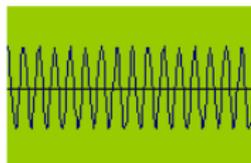
Transmissão

Transmissão
Analógica

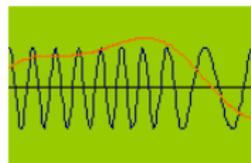
Referência



Sinal a transmitir



Portadora



Sinal modulado

Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência

- Os sinais modulados em FM são mais imunes ao ruído e à interferência aditivos que os sinais AM, uma vez que a informação é transportada pela frequência instantânea do sinal modulado e não pela amplitude da portadora. Assim, nos sistemas de transmissão em que é necessária uma maior qualidade do sinal (relação sinal-ruído) é utilizada normalmente a modulação em frequência.

Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

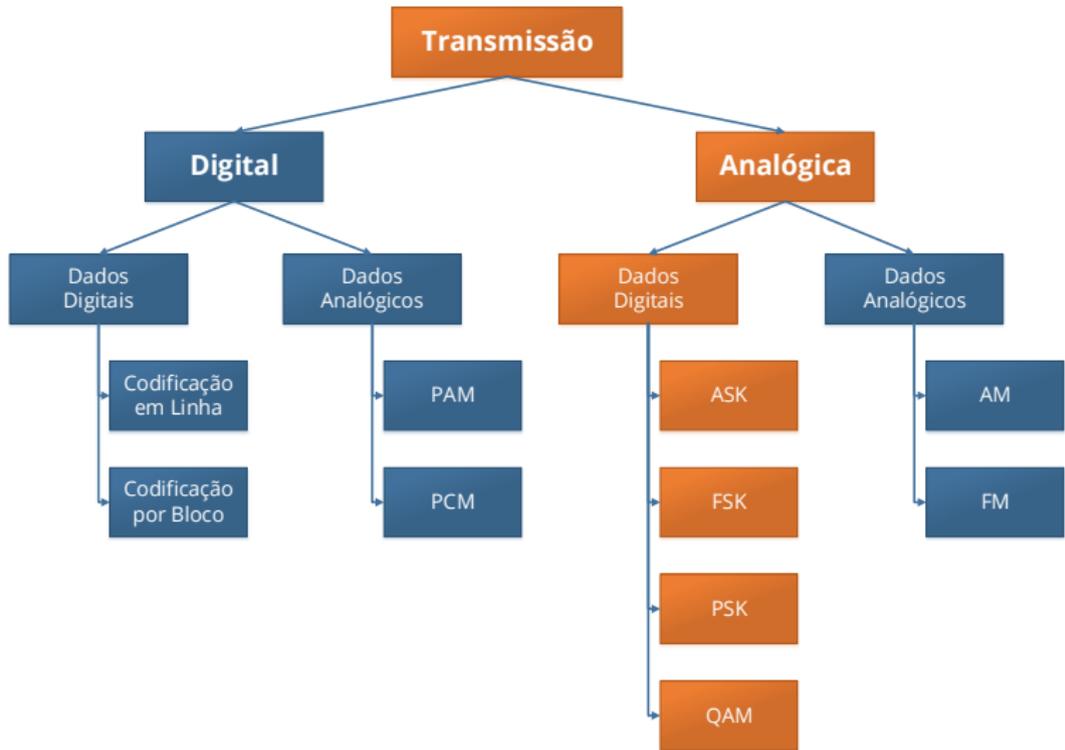
Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

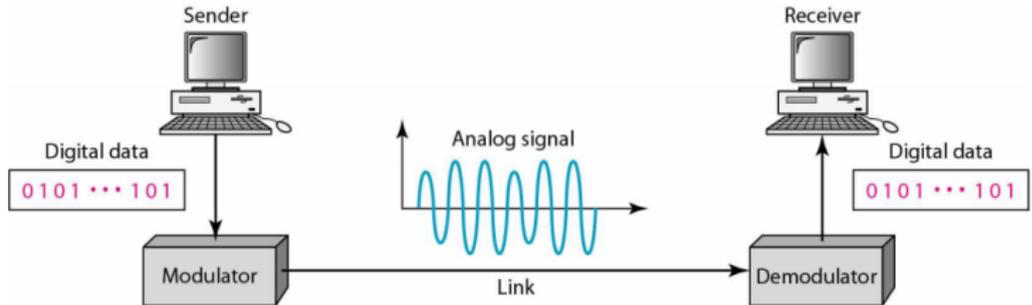
Transmissão

Transmissão
Analógica

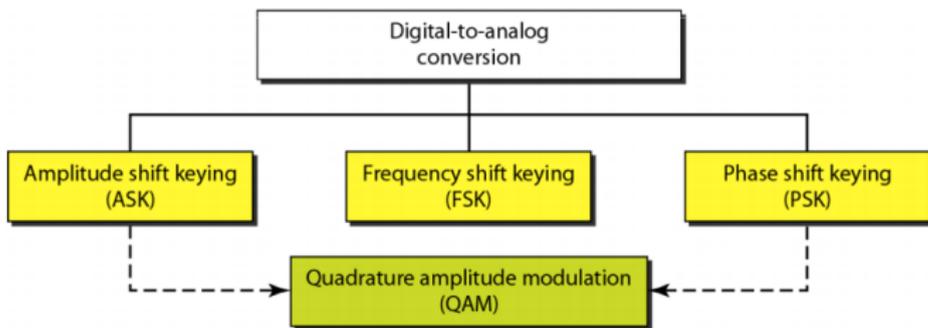
Referência

- O desafio aqui é transformar os dados digitais em analógicos para prover comunicação.
- Como já vimos, a técnica de converter sinais analógicos e digitais em um sinal analógico com uma faixa de frequência escolhida é chamada de **modulação**.

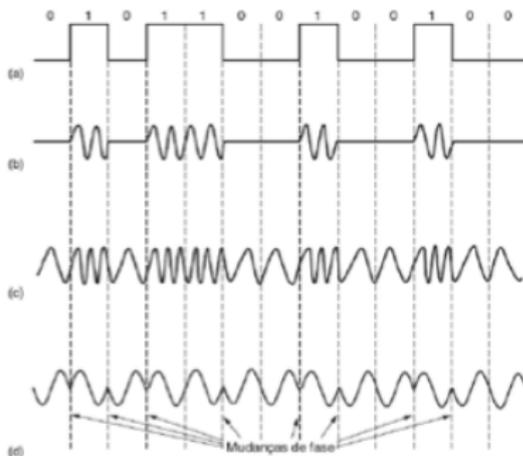
- O sinal analógico deve ser alterado de acordo com a variação dos bits.



- Podemos alterar a amplitude, a frequência e a fase.



- ASK – *Amplitude Shift Keying*
 - Altera valores de amplitudes para representar os bits (b).
- FSK – *Frequency Shift Keying*
 - Altera valores de frequência para representar os bits (c).
- PSK – *Phase Shift Keying*
 - Altera valores de fases para representar os bits (d).



Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

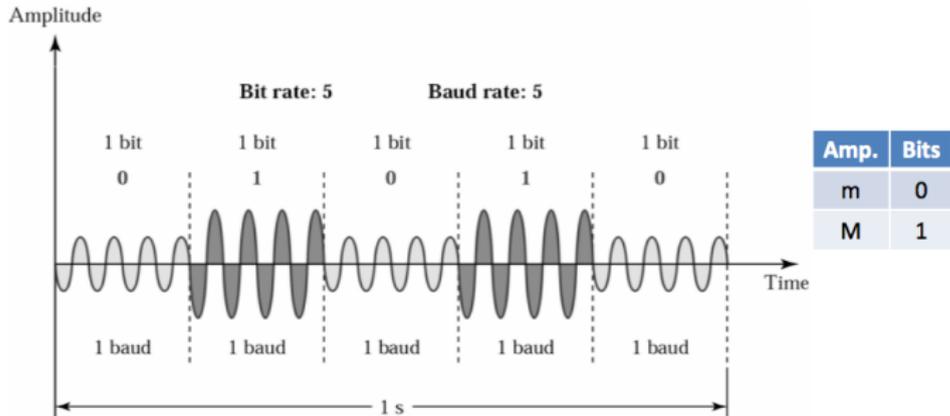
Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência



Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

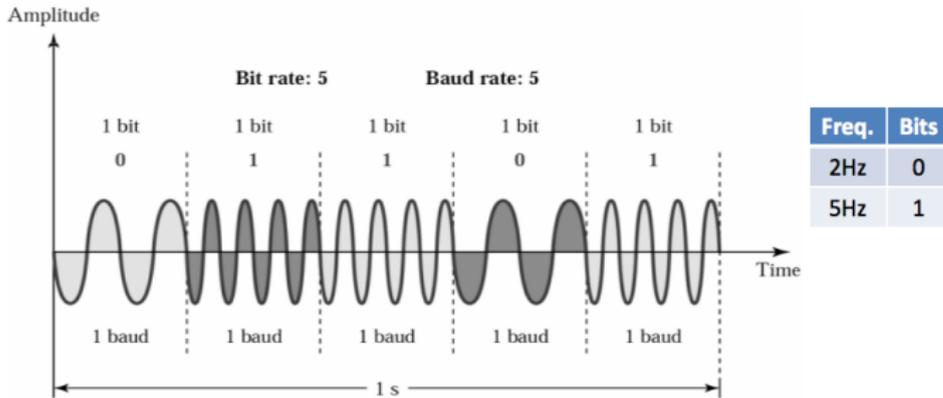
Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência



Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

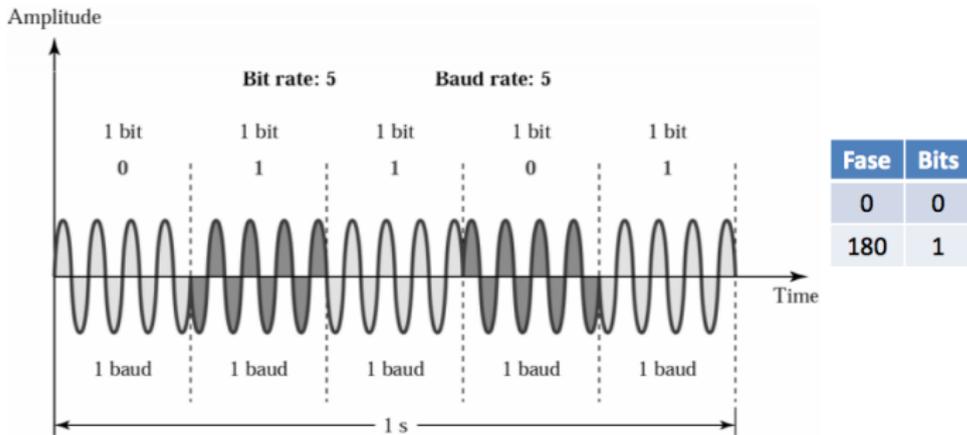
Largura de banda

Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

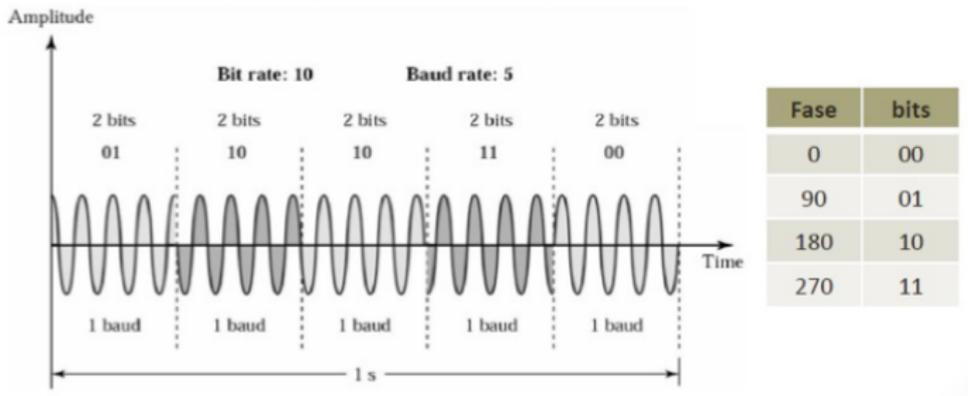
Transmissão
Analógica

Referência

- Surgiu a ideia de se utilizar mais do que duas fases. Por exemplo, se utilizar 0, 90, 180, 270 graus. Sendo assim, precisaremos de quantos bits para representar o estado?

Fase	Bits
0	0
90	1
180	?
270	?

- Variações do PSK:
 - O que vimos anteriormente é também denominado **BPSK**, **B** de *binary* (duas fases);
 - Pode-se usar mais fases para aumentar a taxa de transferência:
 - 4 fases = **QPSK** (**Q** de *Quadrature*):



QAM (Quadrature Amplitude Modulation Keying)

Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

Largura de banda

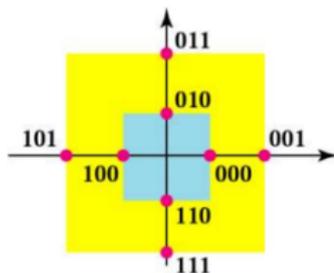
Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência

- Ideia é combinar ASK-PSK
- Mais utilizada
- A constelação pode ter dois ou mais níveis (amplitude) para o mesmo grau!
- Utilizada em TV digital e outros sistemas que necessitam de alta taxa de transmissão de informação.



8-QAM
2 amplitudes, 4 phases

QAM (Quadrature Amplitude Modulation Keying)

Camada Física

Profa. Kalinka Bracno

Funções da Camada Física

Dados, Sinais e Transmissão

Largura de banda

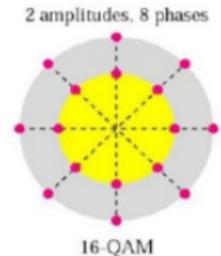
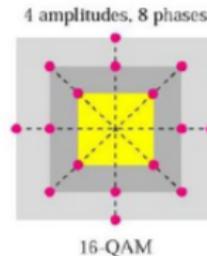
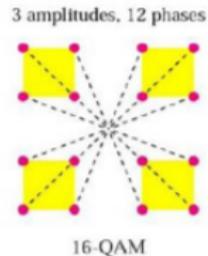
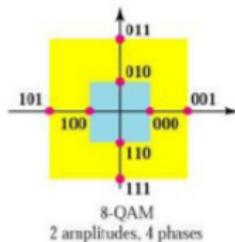
Problemas na Transmissão

Transmissão

Transmissão Analógica

Referência

- Diagramas de constelação:



Camada Física

Profa.
Kalinka
Bracno

Funções da
Camada
Física

Dados, Sinais
e Transmissão

Largura de
banda

Problemas na
Transmissão

Transmissão

Transmissão
Analógica

Referência



Redes e Sistemas de Comunicação de Dados

Tradução de 7ª edição

William Stallings | Thomas Case

ELSEVIER



STALLINGS, William; CASE,
Thomas. Redes e Sistemas
de Comunicação de Dados.
2. ed., 2016. 552 p.