

COMUNICAÇÕES DIGITAIS

Prof. Claudio Coutinho

Turma EC
2018

Aula 06

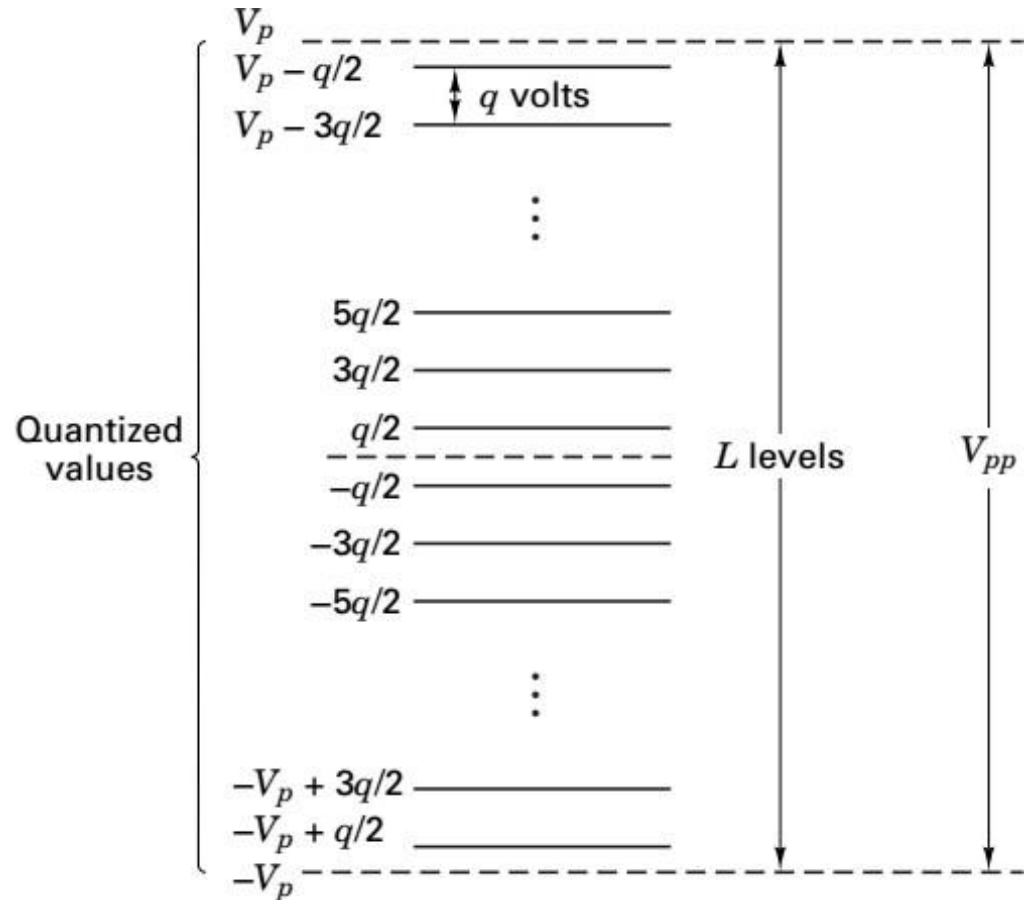
Relação Sinal-Ruído para Pulsos Quantizados

Quantizador Uniforme

- A Figura ao lado mostra um quantizador **uniforme** com L níveis para um sinal com tensão pico-a-pico:

$$V_{pp} = V_p - (-V_p) = 2V_p$$

e passo de quantização de q V.



Determinação do Passo de Quantização

- Quando usamos quantização uniforme, os níveis de quantização podem ou não incluir os valores de pico.
- A abordagem escolhida modifica os valores dos níveis e do passo de quantização q .
- Quando incluimos apenas um dos picos, ou nenhum, o passo de quantização pode ser dado por

$$q = \frac{V_{max} - V_{min}}{L}$$

- Por outro lado, quando incluimos ambos os picos, temos

$$q = \frac{V_{max} - V_{min}}{L - 1}$$

Potência do Erro de Quantização

- Como o passo de quantização é o mesmo para qualquer valor do sinal, dizemos que a quantização é **uniforme**.
- Nesse caso, o maior erro que pode ocorrer é no intervalo entre $-q/2$ e $q/2$.
- Uma boa medida da intensidade do erro e é o erro quadrático médio, ou variância.

$$\sigma^2 = \int_{-q/2}^{q/2} e^2 p(e) de = \int_{-q/2}^{q/2} e^2 \frac{1}{q} de = \frac{q^2}{12}$$

Relação Potência de Pico-Ruído (PSNR)

- A potência do valor de pico do sinal é dada por:

$$V_p^2 = \left(\frac{V_{pp}}{2}\right)^2 = \left(\frac{Lq}{2}\right)^2 = \frac{L^2 q^2}{4}$$

- Assim, a PSNR para o ruído de quantização, pode ser dada por:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_q = \frac{V_p^2}{\sigma^2} = \frac{L^2 q^2 / 4}{q^2 / 12} = 3L^2$$

- A equação acima mostra que a quantização terá melhor qualidade quanto mais níveis forem utilizados.
- Note que este valor foi definido assumindo-se que V_p está dentro da escala do quantizador.

Experimento

- Experimento: Verificar o efeito da quantização sobre a qualidade de um sinal de áudio e como suas características definem a PSNR. Código `quantize_audio_signal.m`.

Exercício

- Exercício: Quais são os níveis e a potência esperada do erro de quantização dos sistemas abaixo?
- (a) $b = 2$; $V_p = 3.5 V$.
- (b) $b = 3$; $V_p = 3.5 V$.
- (c) $b = 4$; $V_p = 3.5 V$.
- Exercício : Qual é a PSNR de cada um dos sistemas acima?

Relação Número de Bits/Símbolo
Distorção do Sinal Quantizado

Distorção por Quantização

- A escolha do número de *bits* por amostra depende da distorção que se pode tolerar com a quantização.
- Vamos especificar a magnitude do erro de quantização como uma fração p de V_{pp}

$$|e| \leq pV_{pp}$$

- Considerando que o erro não pode ser maior que $q/2$, temos:

$$|e|_{max} = \frac{q}{2} = \frac{V_{pp}}{2L}$$

Distorção por Quantização

- Assim:

$$\frac{V_{pp}}{2L} \leq pV_{pp}$$
$$L \geq \frac{1}{2p} \text{ níveis}$$
$$2^l \geq \frac{1}{2p}$$

- Então:

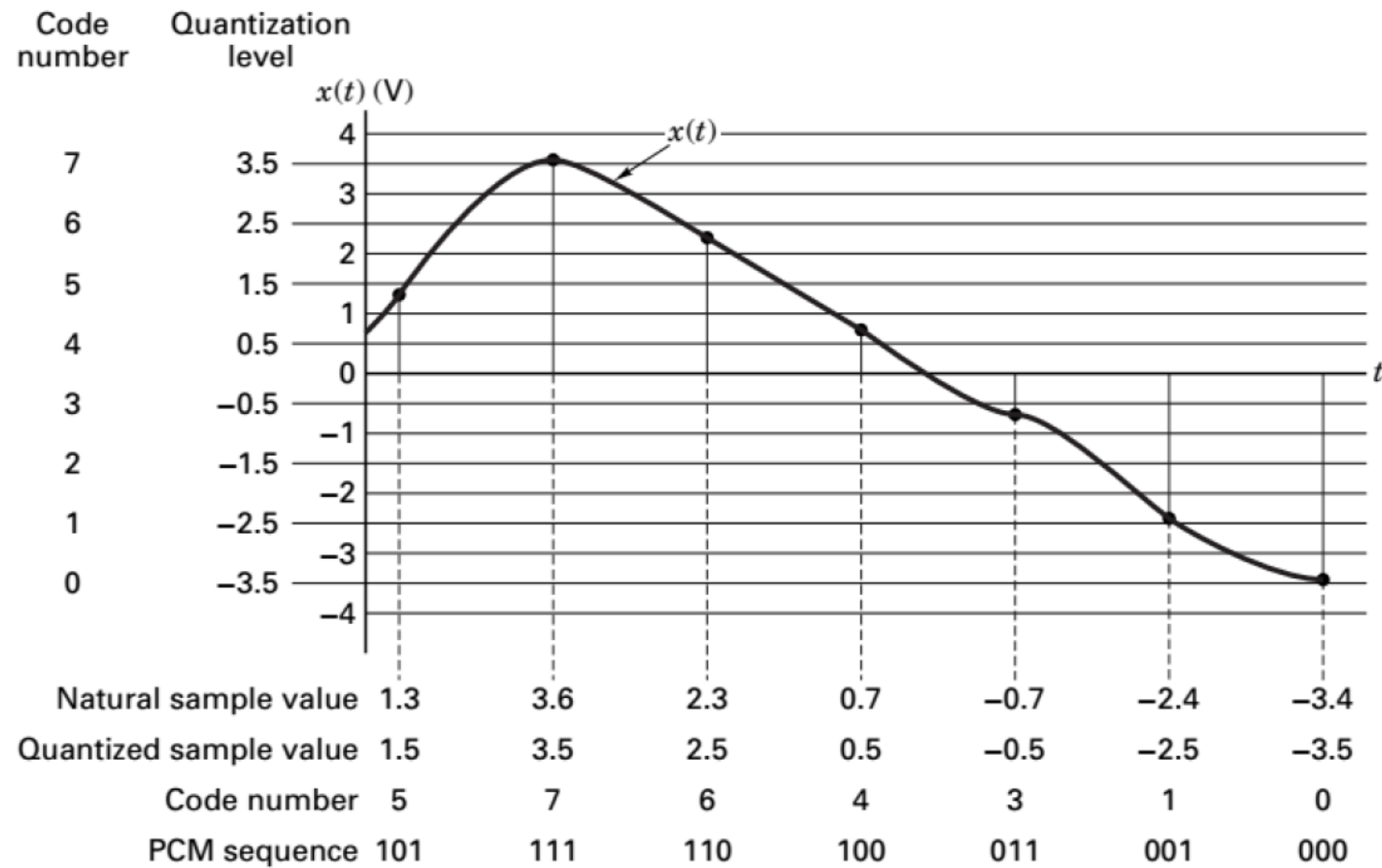
$$l \geq \log_2 \frac{1}{2p} \text{ bits}$$

Modulação por Código de Pulso (PCM)

Introdução

- No processo de quantização gera-se um valor que é proporcional à magnitude (amplitude) do sinal em cada instante (PAM).
- A **modulação por código de pulso** é o nome dado a uma classe de sinais obtidos dos sinais PAM, codificando cada pulso em uma **palavra digital** (sequência de *bits*).
- A fonte de informação é quantizada em L níveis, e cada nível é mapeado em uma **palavra-código** com $l = \log_2 L$ *bits*.
- No momento da transmissão as palavras-código são transformadas em formas de onda.

Exemplo Gráfico



Comentários

- Na Figura anterior, os níveis foram divididos em 8 níveis, de -3.5 V a 3.5 V .
- Na ordenada temos os níveis de quantização.
- Note que nessa Figura são mostradas 4 representações do mesmo sinal, em que a última é uma sequência de *bits*.
- O conjunto de bits atribuído a cada *número de código* é a **palavra-código**.

Melhorando a Qualidade do Sinal Quantizado

- Considere que o sinal avaliado seja de áudio, e que foi amostrado obedecendo ao teorema de Nyquist.
- Mesmo assim o áudio digital soa de maneira horrível. O que poderíamos fazer para melhorá-lo?
- Recordando que o ruído de quantização diminui com a quantidade de níveis, poderíamos aumentar L .
- Isso faria com que o sinal quantizado se tornasse mais próximo ao original.

Custo do Aumento do Número de Níveis

- Quando aumentamos o número de níveis, aumentamos a quantidade *bits* manipulada.
- Em sistemas de tempo real cada amostra deve ser tratada com uma mesma duração de tempo.
 - Independentemente da quantidade de *bits* por amostra.
- Nesse caso, mais *bits* por amostra implicaria em mais bits transmitidos por segundo (aumento da taxa).
- Isso exigiria um sistema com processamento mais poderoso.
- Além de um aumento na largura de banda, devido ao fato de os símbolos tornarem-se mais curtos.

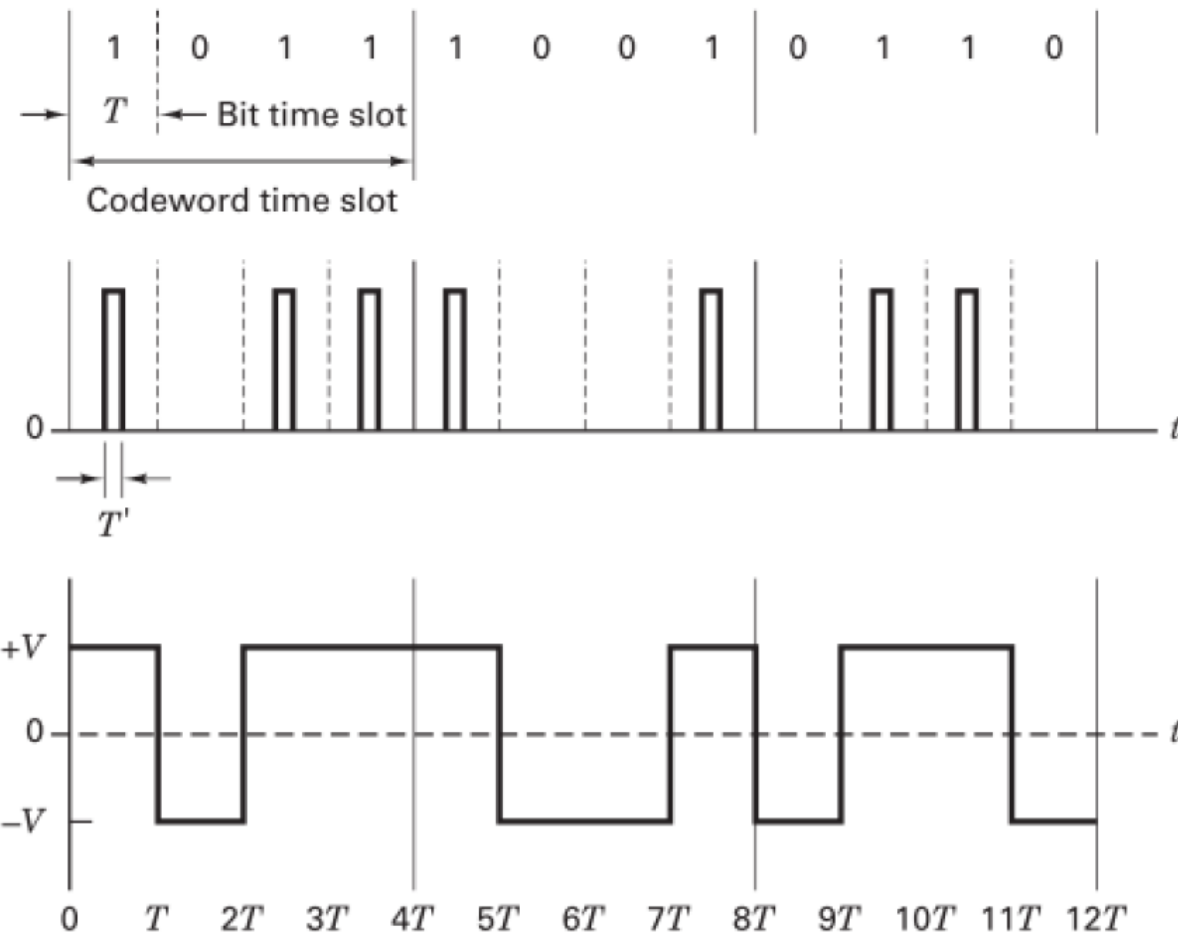
Transmissão em Banda Base

Representação em Forma de Onda de Dígitos Binários

Introdução

- Na seção anterior mostramos as etapas até a obtenção da sequência que será transmitida.
- No entanto, *bits* são abstrações, e precisam ser mapeados em algum elemento físico a fim de que sejam transmitidos.
- Por padrão, mapeamos esses *bits* em pulsos elétricos para então serem transmitidos em sistemas banda base.
- Os *bits* 1 são mapeados para um pulso e os *bits* 0 em outro.
- Cada *bit* tem um período correspondente, de largura T .
- O pulso que o representa pode ter uma duração $T' \leq T$.
- Como decodificadores são baseados na energia do pulso, é conveniente usar T' tão grande quanto possível.

Representação Gráfica



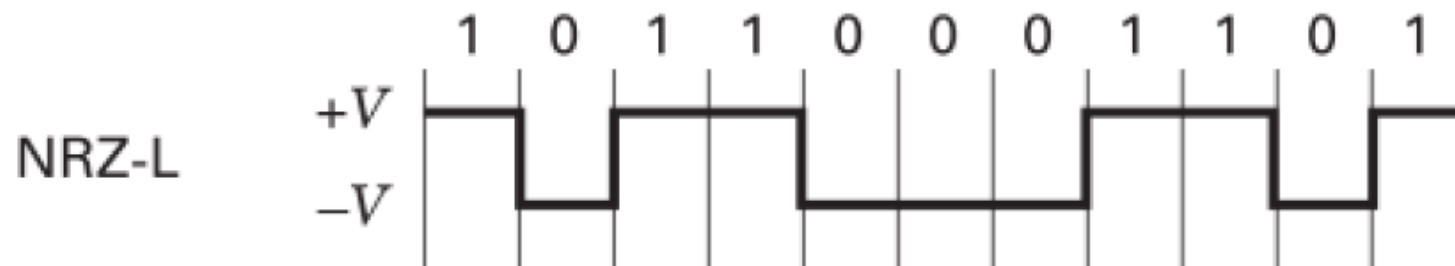
Tipos de Formas de Onda PCM

Introdução

- Quando usamos símbolos com 1 *bit*, as ondas são chamadas de **formas de onda de modulação por código de pulso** (PCM), ou códigos de linhas.
- Dígitos PCM vs formas de onda (sinais) PCM.
- Nesse curso trabalharemos com os tipos de sinais PCM:
 - a) Não retorno a zero (NRZ): O sinal mantém um nível por toda a duração do *bit*.
 - b) Retorno a zero (RZ): O sinal mantém um nível apenas por uma fração do período do *bit*; na outra fração o sinal vale 0 V.
 - c) Codificados em fase: O sinal se mantém em nível alto ou baixo por uma fração da duração do símbolo, na primeira metade ou segunda metade do período do *bit*.

Polar NRZ-L Polar (Nível)

- Nesse tipo de PCM os pulsos não retornam a 0 V.
- O *bit* 1 é mapeado em um pulso positivo e o *bits* 0 em pulsos negativos.
- Muito utilizado na sinalização de circuitos lógicos digitais.



Polar NRZ-M polar (Marca)

- O *bit 1* é mapeado em uma mudança de nível e o bit 0 não muda de nível.
- O sistema precisa definir em que nível a transmissão iniciará.
- Usado em sistemas Ethernet 100BaseT.



RZ-Unipolar

- Nos códigos RZ os pulsos retornam a 0 V.
- Os pulsos duram metade da largura do *bit*.
- Sinais deste tipo são usados em transmissões banda base e gravação magnética.
- No tipo unipolar os *bits* 1 são mapeados em pulso e os *bits* 0 em ausência de pulso.



Bi- ϕ -L (Código Manchester)

- Sinais codificados em fase fazem a codificação dos *bits* alternando o valor do pulso em uma das metades do período de *bit*.
- No código *Manchester*, um bit 1 é identificado como um pulso na primeira metade do período de bit.
- Um *bit* 0 se apresenta como um pulso na segunda metade do período de *bit*.
- É usado em gravações magnéticas, algumas transmissões ópticas e no Ethernet 10BaseT.



Exercício

- Exercício: Desenhe a forma de onda para a transmissão da sequência de *bits* 010111, usando código PCM polar NRZ-L polar, RZ-Polar e Manchester, com $T_{sym} = 0.5$.

Parâmetros de Códigos de Linha

- A escolha do código de linha para um sistema deve avaliar os parâmetros:
 1. **Componente DC:** Alguns sistemas são pouco sensíveis a níveis DC, ou que possuem mecanismo de rejeição de modo comum. Nesse caso, códigos com média zero são mais indicados.
 2. **Auto-clocking:** Alguns códigos de linha possuem na própria estrutura uma maneira de sincronizar o sistema. Por exemplo, os retornos a zero em códigos RZ permitem ao sistema identificar o início de cada novo *bit*.

Parâmetros de Códigos de Linha

- 3. Compressão de Largura de Banda:** Alguns códigos melhoram a eficiência de uso de largura de banda por permitirem uma redução na largura de banda requerida para a transmissão.
- 4. Imunidade a Ruído:** Algumas formas de onda PCM são mais robustas para erros de *bits* de acordo com uma dada SNR.