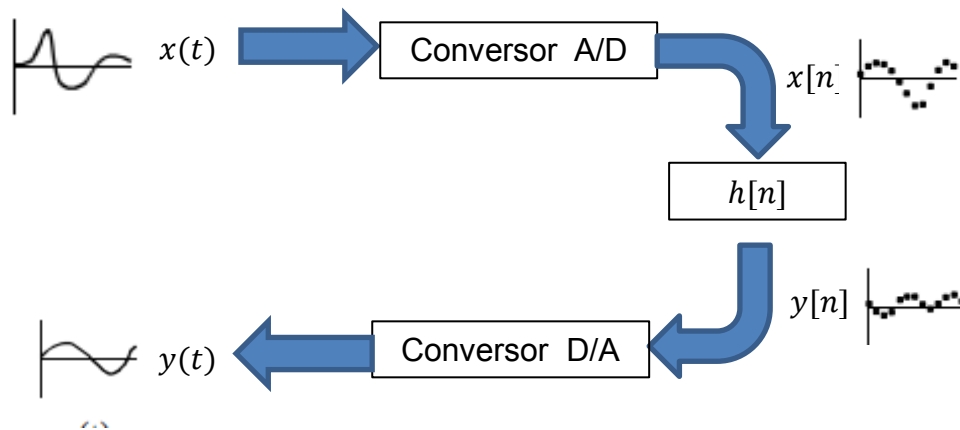


Aula 02: Amostragem de Sinais Analógicos

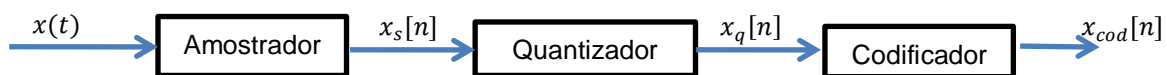
Para esta aula é necessário trazer fone de ouvido.

1. Introdução

Um sistema de processamento digital de sinais pode ser representado conforme apresentado na figura



Onde o conversor A/D é subdividido, de modo simplificado, em



2. Amostragem

A amostragem de um sinal analógico pode ser entendida como a multiplicação do mesmo por um trem de impulsos com espaçamento de T_s . Matematicamente, este processo é representado por

$$x_s(t) = x(t) \cdot \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta(t - rT_s)$$

3. Quantização e codificação

A quantização de um sinal amostrado pode ser entendida como o “arredondamento” das amostras do sinal para níveis de amplitude pré-determinados, com o objetivo de tornar a codificação mais eficiente.

Já a codificação é o processo responsável pela conversão das amplitudes das amostras do sinal quantizado em conjuntos de dígitos binários, de modo a possibilitar o armazenamento, envio e processamento do sinal digital.

4. Atividades

- I. **SIMULINK:** O arquivo *Aula02_ex01.mdl* fornece o diagrama de um circuito utilizado para amostrar, quantizar e reconstruir um sinal por interpolação.

1.1. Rode o arquivo, analise os gráficos e responda:

- Qual é a frequência do sinal original?
- Qual é a amplitude de pico-a-pico do sinal original?
- Qual é a frequência de amostragem utilizada?
- Quantas amostras do sinal foram apresentadas no osciloscópio?
- Qual é a diferença (em Volts) entre dois níveis consecutivos de quantização?
- Quais são os níveis de quantização e quantos bits são necessários para representá-los?

1.2. Mantenha a frequência do sinal senoidal (f) igual a 500Hz e simule a amostragem com as seguintes frequências:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| a) $f_s = 8\text{KHz}$ | d) $f_s = 900\text{Hz}$ |
| b) $f_s = 4\text{KHz}$ | e) $f_s = 500\text{Hz}$ |
| c) $f_s = 1\text{KHz}$ | f) $f_s = 100\text{Hz}$ |

Verifique que para um dado sinal limitado em frequência, $x(t)$, a recuperação só é possível se, e somente se, a frequência de amostragem escolhida obedecer ao critério definido por *Nyquist*.

Obs:

Para modificar a frequência de amostragem, o tempo de amostragem ($T_s = 1/f_s$) deve ser atualizado em dois campos:

- 1) Campo *Period* do *gerador de impulsos*, pertencente ao bloco *amostrador*;
- 2) Campo *Sample time* do *multiplicador*, pertencente ao bloco *sample&hold*.

A frequência do sinal analógico pode ser modificada diretamente no bloco *gerador de sinais*, campo *Frequency*.

1.3. Mantenha a frequência do sinal senoidal (f) igual a 500Hz , a frequência de amostragem (f_s) igual a 8KHz e simule a quantização para codificações de:

- | | |
|--------------------|-------------------|
| a) $n_{bits} = 16$ | c) $n_{bits} = 4$ |
| b) $n_{bits} = 8$ | d) $n_{bits} = 2$ |

Obs:

Para ajustar a quantização conforme a quantidade de bits deve-se inserir no campo *Quantization interval*, do bloco *Quantizador* a distância, $\Delta_{Niveis}(V)$, entre dois níveis de quantização.
$$\Delta_{Niveis} = \frac{V_{pp}}{n_{Niveis}} = \frac{V_{pp}}{2^{n_{bits}}}$$

- II. **MATLAB:** Agora, para verificar os efeitos da amostragem e quantização, crie um programa em Matlab, do tipo **Aula02_ex02.m** que gere o gráfico da função $x(t) = \sin(2\pi ft)$

Obs:

Para desenvolver este algoritmo, devem-se seguir os passos abaixo:

- Definir uma frequência f e um tempo de observação T_{max} para o sinal senoidal
- Definir uma frequência de amostragem f_s
- Criar um vetor de tempo t que vá de 0 até T_{max} , espaçado de $T_s = 1/f_s$
- Obter o vetor com as amostras de $x(t)$
- Plotar x em função de t (utilize *plot*)
- Definir uma quantidade de bits de quantização n_{bits}
- Encontrar a distância Δ_{Niveis} entre os níveis de quantização
- Quantizar as amostras através da equação

$$x_q = \Delta_{Niveis} \cdot \text{round}\left(\frac{x}{\Delta_{Niveis}}\right)$$

- Plotar x_q em função de t (utilize *stem* e sobreponha o *plot* anterior)
- Reproduza o tom a partir do comando *sound*(x_q, f_s)

- 2.1. Mantenha a frequência do sinal senoidal (f) igual a 500Hz, o tempo de observação (T_{max}) igual a 1s, a quantidade de bits (n_{bits}) igual a 8 e simule com diferentes frequências de amostragem. Para cada caso, ouça o efeito da mudança da variação da frequência de amostragem no áudio gerado, verifique o comprimento do vetor x_q e complete a tabela.

f_s	No. Amostras	f_s	No. Amostras
$f_s = 8KHz$		$f_s = 900Hz$	
$f_s = 4KHz$		$f_s = 500Hz$	
$f_s = 1KHz$		$f_s = 100Hz$	

- 2.2. Mantenha a frequência do sinal senoidal (f) igual a 500Hz, o tempo de observação (T_{max}) igual a 1s, a frequência de amostragem (f_s) igual a 8KHz e simule a quantização para diferentes quantidades de bits. Para cada caso, calcule a quantidade total de bits para um segundo do sinal amostrado e complete a tabela:

$n_{bits}/amostra$	$n_{bits} Total$	$n_{bits}/amostra$	$n_{bits} Total$
$n_{bits} = 16$		$n_{bits} = 4$	
$n_{bits} = 8$		$n_{bits} = 2$	

Exercícios de fixação*

- I. Os fonoaudiólogos usam um equipamento chamado audiômetro para testar a audição de seus pacientes. Basicamente, este aparelho reproduz um tom dado pela senóide $x(t) = \text{sen}(2\pi ft)$ para $100\text{Hz} \leq f \leq 3000\text{Hz}$, com certa duração, T_{total} .
Usando uma frequência de amostragem que você achar mais conveniente (e que atenda aos critérios de Nyquist), escreva uma função MatLab ***Aula02_fix01(f, Ttotal)*** que, dada uma frequência f e uma duração T_{total} gere nos fones de ouvido um tom desta duração, nesta frequência.
Exemplo: ***Aula02_fix01(2500, 10)*** deve gerar um tom em 2500 Hz com duração de 10s. Teste para as frequências do exercício anterior e verifique o efeito da escolha da frequência de amostragem.

- II. (Assis e Eisencraft). No filme contatos imediatos de terceiro grau do diretor Steven Spielberg, é descrito um contato entre seres humanos e seres de uma raça alienígena. A comunicação era feita através de uma sequência composta por 5 tons (de 1 segundo cada) nas frequências 493,9Hz, 554,4Hz, 440Hz, 220Hz e 329,6Hz. Sua tarefa consiste em criar um programa MaLab (***Aula02_fix02.m***) que gere esta sequência de tons. Para isto, não utilize qualquer forma de *loop* e utilize o comando ***sound*** apenas uma vez.

*Atividades extraídas da apostila do Laboratório de Comunicações Digitais -março/2007, Márcio Eisencraft e Marco Antônio Assis.