

Aula 10*: Simulação de um Canal de Comunicações

Para esta aula é necessário trazer fone de ouvido.

1. Introdução

Na aula de hoje, nós iremos simular a transmissão e recepção de um sinal de áudio através de um canal de comunicações sujeito a reflexões e sinais interferentes.

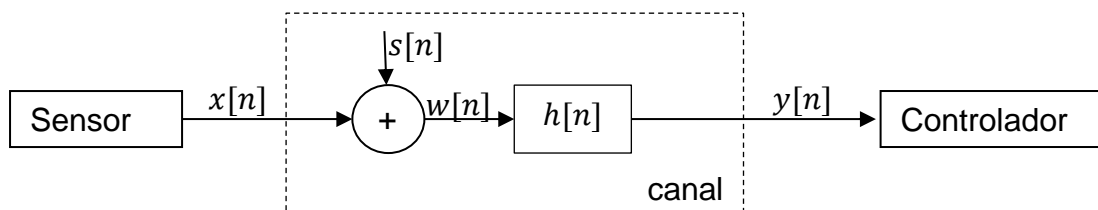
Estes dois efeitos são muito comuns na transmissão através de qualquer meio (cabado ou sem fio), entre curtas ou longas distâncias.

Para ilustrar melhor o este processo, na aula de hoje, nós iremos usar sinais de áudio. Entretanto, é importante ressaltar, que este processo pode ocorrer com qualquer tipo de sinal (digital ou analógico), e por isso é de extrema importância na correta aquisição de dados.

2. O sistema de comunicação.

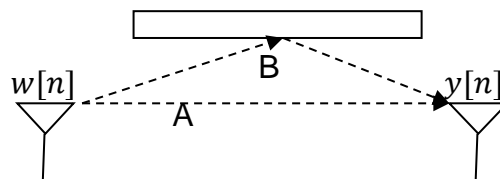
Assim como na aula 03, vamos utilizar o exemplo de um sensor que envia informações para um controlador. Entretanto, desta vez, em vez de enviar o sinal digital, este sensor enviará um sinal analógico (representado pelo áudio amostrado) e em vez de cabos, a transmissão será simulada sem fio.

Para isto, será utilizada uma frequência de amostragem $f_s = 8KHz$ e seguinte diagrama de blocos:



O sinal $s[n]$, que representa o ruído do canal, é um sinal senoidal de frequência $f_0 = 3KHz$, e $h[n]$, a resposta impulsiva do canal, é obtida conforme apresentado nos próximos parágrafos.

O canal escolhido para esta representação apresenta uma reflexão conforme a figura abaixo:



*Baseado no roteiro da apostila do Laboratório de Comunicações Digitais -março/2007, Márcio Eisencraft e Marco Antônio Assis.

A partir da onde, podemos ver que o sinal resultante que alcança o receptor é igual à soma entre o sinal que percorre o caminho A e o sinal que percorre o caminho B (visivelmente mais comprido que o percurso A).

Suponhamos que o caminho B faça com que o sinal percorrido por ele atrase 0,5s em relação ao sinal que percorre o caminho A e que a reflexão gere uma perda de 30% na amplitude do sinal.

Assim, no domínio do tempo contínuo, poderíamos modelar o sinal, $y(t)$, como:

$$y(t) = w(t) + 0,7w(t - 0,5)$$

Entretanto, como estamos simulando o canal e os sinais amostrados com $f_s = 8\text{KHz}$, então o sinal amostrado de $y[n]$ será:

$$y[n] = w\left[\frac{t}{T_s}\right] + 0,7w\left[\frac{t}{T_s} - \frac{0,5}{T_s}\right]$$

ou seja

$$y[n] = w[n] + 0,7w[n - 4000]$$

3. Atividades

- I. **CANAL:** O arquivo *Aula010_ex01.wav* o sinal de áudio, amostrado em 8KHz, que será transmitido pelo canal. Assim, para simular o canal de transmissão, crie um programa chamado *Aula010_ex01.m* que:

- 1.1. Utilize o comando $[x, f_s] = \text{audioread}('Aula10_ex01.wav')$ para armazenar o áudio na variável x e a frequência de amostragem na variável f_s . Ouça este áudio através do comando *sound(x, f_s)*.

- 1.2. Crie o vetor s a partir do comando $s = 0.1 * \sin(\omega * n)$ e obtenha $w[n]$ a partir da soma destes dois sinais. Ouça este sinal.

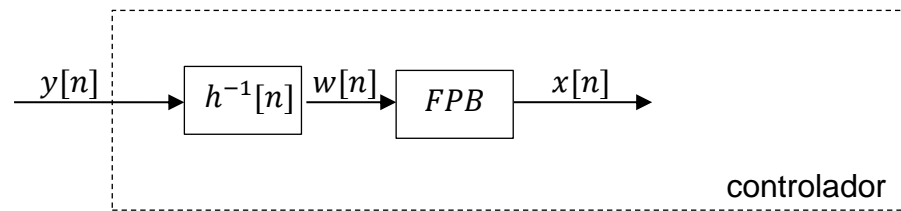
Dica 01: lembre-se que $\omega_0 = 2\pi \frac{f_0}{f_s}$ é a frequência do sinal senoidal em $\frac{\text{rad}}{\text{amostra}}$ e que n é o vetor de índice das amostras que vai de 0 até $N - 1$ onde N é a quantidade de amostras da variável x , criada no exercício anterior.

Dica 02: Perceba que o vetor x é um vetor coluna enquanto que o vetor s é linha. Isso vai fazer com que não seja possível realizar a soma entre os dois sem que o vetor x se torne linha ou o vetor s se torne coluna.

- 1.3. A partir do comando $y = \text{filter}(B, A, w)$ obtenha $y[n]$.

Dica: lembre-se que o vetor A contém os coeficientes do sinal de saída, $y[n]$, e o vetor B os coeficientes do sinal de entrada, $w[n]$. Perceba que $A = 1$; e que $B(1)=1$, $B(4001) = 0.7$ e todo o restante $B(2:4000) = 0$.

- ii. **RECEPTOR:** Ao receber o sinal, o receptor interno ao controlador deve recuperar o sinal transmitido a partir do sinal recebido, para só então controlar o sistema. Assim, um sistema representado pelo diagrama de blocos da figura abaixo, deve ser projetado na entrada do receptor.



Desenvolva um programa **Aula010_ex02.m** que a partir de $y[n]$ obtido no exercício anterior:

- 2.1. Recupere e ouça o sinal $w[n]$, através do cancelamento do eco do canal. Para isso utilize o comando **filter** e simule o sistema inverso $h^{-1}[n]$.
- 2.2. Através do comando $W = \text{fft}(w)$, plote o módulo do espectro do sinal $w[n]$ em função de $f = (0:N-1).f_s$ e identifique (visualmente) as componentes do sinal de áudio e do sinal senoidal interferente, $s[n]$.
- 2.3. Obtenha a resposta impulsiva de um filtro passa-baixas capaz de excluir a componente do sinal senoidal. Através do comando $H = \text{fft}(h)$, plote o módulo do espectro da resposta em frequência do filtro em função de $f = (0:N-1).f_s$ e verifique se você projetou o filtro corretamente.
- 2.4. Recupere o sinal $x[n]$, fazendo a convolução entre $w[n]$ e $h[n]$ do exercício anterior.
- 2.5. Através do comando $X = \text{fft}(x)$, plote o módulo do espectro do sinal recuperado em função de $f = (0:N-1).f_s$ e verifique se as componentes foram realmente excluídas.
- 2.6. Ouça o sinal e perceba algumas sutis diferenças em relação ao sinal original.

Exercícios de fixação

- I. Crie uma sequência de comandos que plote os espectros obtidos nos exercícios 2.2 e 2.3, feitos em sala de aula, em função de $\omega \left(\frac{rad}{amostra} \right)$ e $f(Hz)$ e verifique as frequências que compõe o sinal de áudio, $x[n]$, e o sinal senoidal, $s[n]$. Depois de plotar, também, a resposta em frequência de filtro passa-baixa em função de $\omega \left(\frac{rad}{amostra} \right)$ e $f(Hz)$, responda: qual foi a frequência de corte utilizada?
- II. Modifique a frequência de amostragem dos exercícios feitos em sala de aula para $f_s = 16KHz$ e rode novamente todos os algoritmos (incluindo aquele feito no exercício de fixação I. Verifique o efeito desta variação nos gráficos e nos áudios gerados através do comando *sound*.