

Homeworks 1 e 2 referentes às aulas do Capítulo II de “Sistemas De Comunicação Digital II – UFSM00265”, aulas disponibilizadas em <http://www.fccdecastro.com.br/download.html>

Centro de Tecnologia – Departamento de Eletrônica e Computação UFSM00265 – SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL II

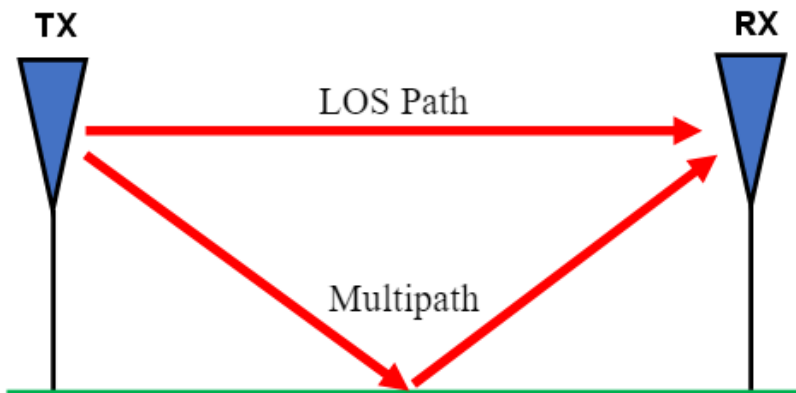
Prof. Fernando DeCastro

A solução deste homework deve ser enviada por e-mail em 06/05.



Homework 1

A figura abaixo mostra um possível cenário de *multipath* (multipercurso) na operação de um sistema digital *wireless* e o correspondente *delay profile* do canal de transmissão.



| Delay Profile | |
|--------------------------|--------------------------|
| Amplitude do eco em [dB] | Atraso do eco [μ s] |
| 0 | 0 |
| -3.0 | 0.4 |

LOS – *line of sight* (linha de visada = percurso direto)

Sabendo que a modulação adotada no sistema é M-QAM, que a frequência central do canal *passband* é $f_0 = 2400$ [MHz] e que o *symbol rate* do sistema é $SR = 12$ [MHz], pede-se:

- Determine a resposta ao impulso discreta $h[n]$ do canal de transmissão e plote o seu gráfico.
- De acordo com Nyquist, determine as frequências F_{min} e F_{max} passíveis de serem transmitidas através da onda EM que se propaga neste canal de transmissão, canal cuja resposta em frequência é $H(f)$, sendo $F_{min} \leq f \leq F_{max}$.
- Plote a curva do módulo em [dB] da resposta em frequência $|H(f)|$ [GHz] do canal de transmissão **passband** no intervalo $F_{min} \leq f \leq F_{max}$, i.e., plote o módulo de $H(f) = H(e^{j\theta}) = Z\{h[n]\}|_{z=e^{j\theta}}$ no intervalo $-\pi \leq \theta \leq \pi$ da frequência digital θ , que é equivalente ao intervalo $f_0 - SR/2 \leq f \leq f_0 + SR/2$ da frequência analógica f , sendo $Z\{\cdot\}$ o operador Transformada Z e sendo a relação entre a frequência analógica f e a frequência digital θ dada por $f = f_0 + \frac{\theta}{2\pi} SR$.
- Plote a curva da fase da resposta em frequência $\angle H(f)$ [°] do canal de transmissão **passband**, i.e., plote o ângulo de $Z\{h[n]\}|_{z=e^{j\theta}}$ no intervalo $-\pi \leq \theta \leq \pi$.
- Determine a atenuação em [dB] e o giro de fase em [°] que a componente espectral do espectro do sinal do TX localizada na frequência $f_e = 2397.3$ [MHz] sofre ao ser transmitida através deste canal de transmissão.

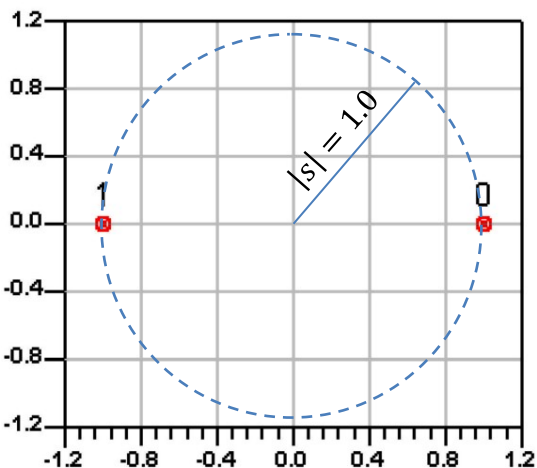
Homework 2

Um TX digital adota modulação BPSK (*Binary PSK*) e envia informação através de um canal de transmissão dispersivo (= canal com *multipath*) com um *Symbol Rate* $SR = 10 \times 10^6$ [símbolos/s], sendo $SR = 1/T$, onde T é a duração de um símbolo da modulação BPSK. O ruído aditivo no referido canal não é significativo e pode ser desprezado. O RX utiliza um equalizador fracionário LMS com um filtro transversal de 4 coeficientes, conforme mostrado no diagrama abaixo, amostrando o sinal recebido do canal a uma taxa de 20×10^6 [símbolos/s]. O passo de adaptação do equalizador é $\eta = 0.4$ e o vetor \underline{W} de coeficientes do filtro FIR é inicializado com $\underline{W}(n = 0) = \underline{0}$. O sincronismo de símbolo entre TX e RX é tal que amostras de índice par recebidas do canal correspondem a instantes de tempo em que o TX gera símbolos.

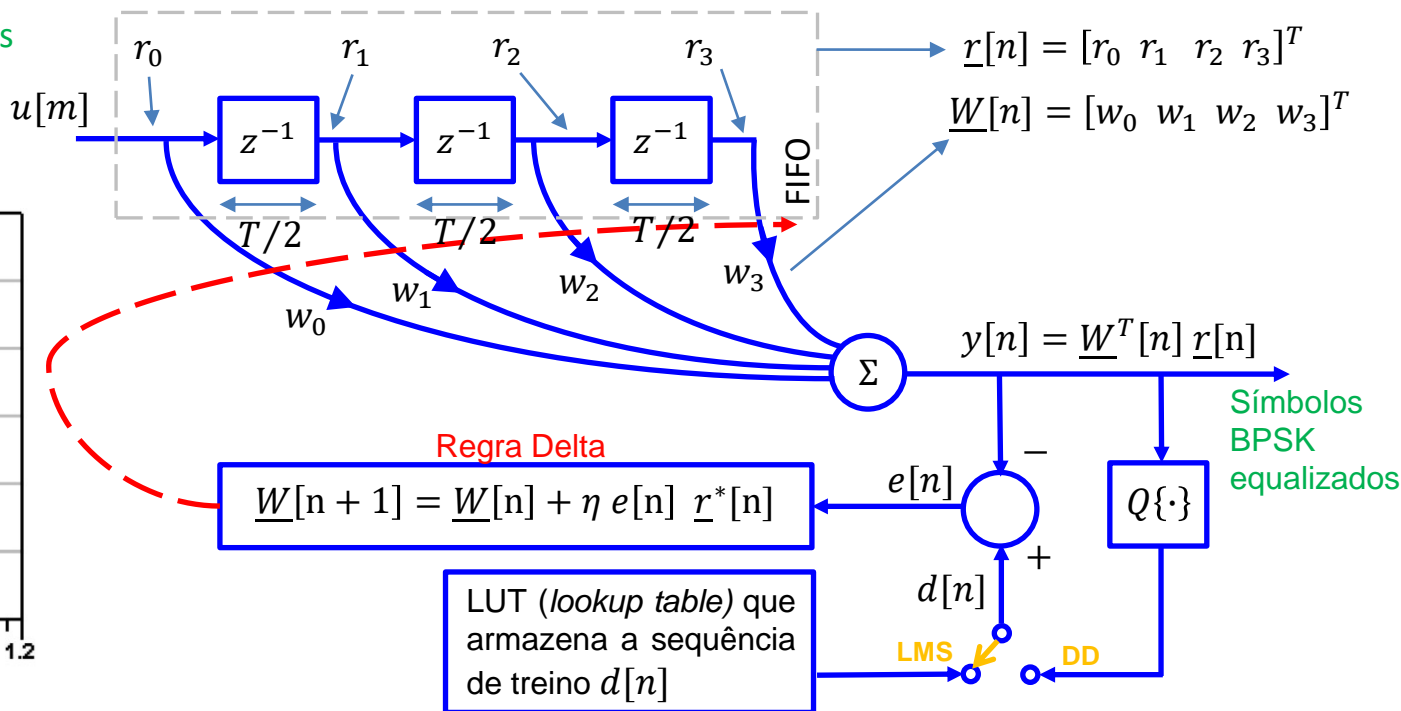
Durante a fase de treino do equalizador o TX transmite a sequência de treino $d[n]$ em banda-base abaixo especificada, formada por símbolos s que são aleatoriamente extraídos do alfabeto A da modulação BPSK, onde $A = \{1e^{j0^\circ}, 1e^{j180^\circ}\} = \{1, -1\}$. A sequência $d[n]$ é gravada em uma LUT (*look up table*) no hardware do RX, conforme mostra o diagrama abaixo.

$$d[n] = \{1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1\}$$

$u[m]$ é a sequência de amostras BPSK recebidas do canal separadas no tempo de $T/2$.

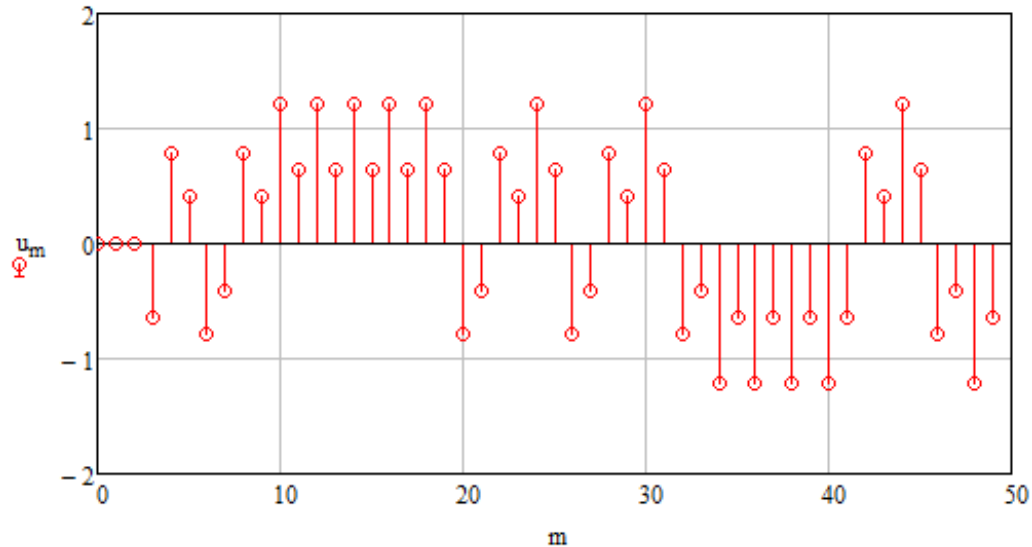


Constelação e *mapper* BPSK



Homework 2

A sequência $u[m]$ recebida do canal na entrada do RX durante a fase de treino do equalizador é plotada e numericamente explicitada abaixo. Note que os valores da sequência $u[m]$ não correspondem ao alfabeto $A = \{1e^{j0^\circ}, 1e^{j180^\circ}\} = \{1, -1\}$ da modulação BPSK, indicando haver ISI (*inter symbol interference*) na sequência recebida, ISI que tem origem no cenário de *multipath* (multipercurso) do canal de transmissão dispersivo.



$u[m] = \{0, 0, 0, -0.6352, 0.7831, 0.416, -0.7831, -0.416, 0.7831, 0.416, 1.2169, 0.6352, 1.2169, 0.6352, 1.2169, 0.6352, 1.2169, 0.6352, -0.7831, -0.416, 0.7831, 0.416, 1.2169, 0.6352, -0.7831, -0.416, 0.7831, 0.416, 1.2169, 0.6352, -0.7831, -0.416, -1.2169, -0.6352, -1.2169, -0.6352, -1.2169, -0.6352, -1.2169, -0.6352, 0.7831, 0.416, 1.2169, 0.6352, -0.7831, -0.416, -1.2169, -0.6352\}$

Pede-se:

- Determine o conjunto de regressores do canal resultante de $u[m]$ para $n = 0, 1 \dots 14$.
- Determine o erro quadrático normalizado $eqn[n] = \left(\frac{d[n] - y[n]}{d[n]}\right)^2$ para $n = 14$ sendo $y[n]$ a saída do equalizador, conforme mostrado no diagrama no slide 3.
- Determine o vetor de coeficientes $\underline{W}[n + 1]$ do filtro FIR do equalizador para $n = 14$.

Homework 2

Respostas (para efeito de balizamento da solução):

(a) Determine o conjunto de regressores do canal resultante de $u[m]$ para $n = 0, 1 \dots 14$.

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 0.7831 | -0.6352 | 0 | 0 |
| -0.7831 | 0.416 | 0.7831 | -0.6352 |
| 0.7831 | -0.416 | -0.7831 | 0.416 |
| 1.2169 | 0.416 | 0.7831 | -0.416 |
| 1.2169 | 0.6352 | 1.2169 | 0.416 |
| 1.2169 | 0.6352 | 1.2169 | 0.6352 |
| 1.2169 | 0.6352 | 1.2169 | 0.6352 |
| 1.2169 | 0.6352 | 1.2169 | 0.6352 |
| -0.7831 | 0.6352 | 1.2169 | 0.6352 |
| 0.7831 | -0.416 | -0.7831 | 0.6352 |
| 1.2169 | 0.416 | 0.7831 | -0.416 |
| -0.7831 | 0.6352 | 1.2169 | 0.416 |
| 0.7831 | -0.416 | -0.7831 | 0.6352 |
| 1.2169 | 0.416 | 0.7831 | -0.416 |
| -0.7831 | 0.6352 | 1.2169 | 0.416 |

(b) Determine o erro quadrático normalizado $eqn[n] = \left(\frac{d[n] - y[n]}{d[n]} \right)^2$ para $n = 14$ sendo $y[n]$ a saída do equalizador, conforme mostrado no diagrama no slide 3.

$$eqn[14] = 0.000213389$$

(c) Determine o vetor de coeficientes $\underline{W}[n + 1]$ do filtro FIR do equalizador para $n = 14$.

$$\underline{W}[15] = [0.984183 \quad -0.286842 \quad -0.0619402 \quad 0.0704041]^T$$