

Comunicações Digitais

Lista de Exercícios 5 Comunicações Digitais em Sistemas com Distorção Linear

Prof. André Noll Barreto

Exercício 1 (Lathi, 4a Ed., Ex.13.1-1, 13.2-1)

Um sistema QAM com taxa de símbolos igual a 1 Mbauds emprega pulsos $p(t)$ de cosseno levantado com fator de roll-off igual a 0,5 em uma portadora de frequência 2,4GHz.

- derive o pulso em banda base resultante $q(t)$ quando a resposta impulsional do canal for $0,95 \delta(t) - 0,3 \delta(t - T_s/2)$
- verifique se o diagrama do olho está aberto para transmissão QPSK se a saída do canal for amostrada em $t = kT_s$. (verifique qual é o pior caso possível de interferência e veja se o sinal amostrado ainda está do lado certo do limiar de decisão)
- determine o filtro casado ótimo para o pulso em banda base equivalente resultante na saída do canal.
- determine a função de transferência discreta equivalente $H(z)$ entre os símbolos amostrados na saída em $t = kT_s$ e os símbolos QAM de entrada.

Exercício 2 (Lathi, 4a Ed., Ex.13.2-2 e 13.2-3)

Em um sistema QAM digital, o pulso em banda base recebido é dado por $q(t) = \Delta\left(\frac{1}{2T_s}\right)$, e o ruído do canal é branco e gaussiano com densidade espectral de potência $\frac{N_0}{2}$ na entrada do filtro casado de recepção.

- Encontre a densidade espectral de potência do ruído $w(t)$ na saída do filtro casado.
- Ache a média e a variância do ruído amostrado $w(kT_s)$ na saída do filtro casado.
- Determine se as amostras $w(kT_s)$ são independentes.

Suponha agora que em vez de um filtro casado, seja utilizado um filtro de raiz-quadrada de cosseno levantado na recepção.

- Repita os itens (a), (b) e (c) para este filtro.
- Qual a diferença entre os receptores MLSE com os dois filtros?

Exercício 3 (Lathi, 4a Ed., Ex.13.3-1, 13.3-2, 13.3-3, 13.3-4)

Em um sistema BPSK o canal equivalente discreto em banda base é descrito por

$$H_1(z) = 1 + 0,6z^{-1}$$

Supondo que o ruído seja Gaussiano aditivo e branco com D.E.P $N_0/2$ e razão $E_b/N_0 = 18$,

- ache a probabilidade de erro se o sinal recebido não for equalizado;
- ache a probabilidade de erro se o sinal amostrado passar por um equalizador *zero-forcing* antes da decisão;
- Repita os itens anteriores para um canal $H_2(z) = 1 + 0,9z^{-1}$.
- Compare os resultados da probabilidade de erro nos dois canais, e justifique a diferença.
- Projete um equalizador MMSE com 6 *taps* e determine o erro quadrático médio mínimo. Qual seria o erro quadrático médio se fosse empregado o equalizador *zero-forcing*?

Comunicações Digitais

Exercício 4 (Lathi, 4a Ed., Ex.13.4-1, 13.4-2, 13.4-3, 13.4-4)

Em um sistema amostrado fracionalmente no receptor a frequência de amostragem é escolhida como $2/T_s$. As respostas dos dois subcanais amostrados são

$$H_1(z) = 1 + 0,9z^{-1}$$

$$H_2(z) = -0,3 + 0,5z^{-1}$$

O ruído é branco Gaussiano com amostras independentes nos dois canais e variância $\sigma_w = 0,2$.

Os símbolos de entrada pertencem a uma constelação 4-PAM com amplitudes $(\pm 1, \pm 3)$.

- Mostre que $F_1(z) = 0,3$ e $F_2(z) = 1$ formam um equalizador zero-forcing.
- Mostre que $F_1(z) = 1$ e $F_2(z) = -1,8$ também formam um equalizador zero-forcing.
- Determine qual dos dois equalizadores ZF tem melhor desempenho?
- Ache os equalizadores ZF com atrasos $u = 0, 1$ e 2 quando os filtros de equalização têm a forma $F_i(z) = f_i[0] + f_i[1]z^{-1}$, $i = 1, 2$.
- Para cada um dos três equalizadores dos itens (a), (b) e (d), ache a distribuição do ruído na saída.
- Determine a probabilidade de erro de símbolo na saída dos equalizadores.
- Ache os equalizadores FSE-MMSE com atrasos $u = 0$ e 1 , quando cada equalizador tem ordem 0, ou seja, $F_i(z) = f_i[0]$.
- Ache os equalizadores FSE-MMSE com atrasos $u = 0, 1$ e 2 quando cada equalizador tem ordem 1, ou seja, $F_i(z) = f_i[0] + f_i[1]z^{-1}$.

Exercício 5 (Lathi, 4a Ed., Ex.13.6-1)

Em um equalizador DFE com sinalização polar binária o filtro de equalização tem uma saída dada por

$$d[k] = x_{k-2} + 0,8x_{k-3} + w[k],$$

em que $w[k]$ é um ruído branco Gaussiano com variância 0,04.

- Determine os coeficientes do filtro de realimentação.
- Encontre a probabilidade de erro de bit quando as decisões realimentadas não apresentam erro.
- Determine a probabilidade de erro com propagação de erro, se soubermos que a decisão no instante anterior estava errada.

Exercício 6

Desenhe a treliça de um equalizador de Viterbi para um sistema de transmissão QPSK em um canal com multipercursos dado por $h[k] = 0,5\delta[k] - 0,5j\delta[k-1]$.

- Se for enviada a sequência de bits [01 00 10 11 00], qual o caminho percorrido na treliça?
- Qual a sequência de amostras na saída do canal sem o ruído?
- Suponha que o canal não tenha ruído, mas que o terceiro símbolo recebido tenha sido perdido. Execute o algoritmo de Viterbi e verifique se ainda assim é possível recuperar a mensagem correta.