
Fundamentos de Telecomunicações 1 – MIEEC / FEUP

Trabalho sobre

MODULAÇÕES DIGITAIS BINÁRIAS

Conteúdo

1 Objectivos	1
2 Preliminares teóricos	1
3 Experiências	2
3.1 Formas de onda e densidades espectrais de potência de ASK e OOK	3
3.2 Forma de onda e densidade espectral de potência PSK	4
3.3 Formatação de impulsos usando filtros de cosseno elevado	4
3.4 Detecção coerente das modulações digitais OOK e BPSK.....	5

1 OBJECTIVOS

Neste trabalho serão estudadas as modulações digitais binárias ASK e BPSK. Pretende-se ganhar familiaridade com as formas de onda de cada uma e ficar a conhecer os seus espectros de potência, bem como a largura de banda ocupada. Adicionalmente, será avaliado o desempenho de OOK e BPSK na presença de ruído gaussiano branco aditivo (AWGN) através do cálculo e da estimação de probabilidades de erro.

2 PRELIMINARES TEÓRICOS

O objectivo principal da operação de modulação é gerar uma forma de onda que transporte a informação de um sinal de uma forma adequada ao canal de transmissão disponível.

Na operação de modulação a forma de onda de uma portadora é alterada em função do sinal que se pretende transmitir, pelo que se pode dizer que a portadora modulada transporta a informação do sinal. É ainda importante que a operação de modulação seja reversível, isto é, que no receptor se possa recuperar o sinal através de uma desmodulação.

Nas modulações digitais o sinal digital altera de forma discreta um ou mais parâmetros da portadora. Estes parâmetros podem ser a amplitude, a frequência ou a fase da portadora. Assim, na modulação digital de amplitude (ASK ou o seu caso particular OOK) altera-se a amplitude da portadora em função das variações do sinal digital. Na modulação digital de frequência (FSK) varia-se a frequência da portadora em função do sinal digital, e na modulação digital de fase (PSK) modifica-se a fase da portadora em função do

sinal digital. Existem ainda modulações digitais em que a amplitude e a fase da portadora são ambas alteradas em função do sinal digital (QAM, por exemplo).

Na recepção, a operação de desmodulação pode ser feita de uma forma coerente ou não-coerente. Na detecção coerente é necessário dispor no receptor de uma portadora, para os casos de ASK e PSK, ou de portadoras, para o caso de FSK, com a mesma frequência e fase da portadora ou das portadoras utilizadas na emissão. No detector não-coerente, só aplicável nos sinais ASK ou FSK, apenas é necessário dispor no receptor de uma portadora ou portadoras com a mesma frequência da(s) portadora(s) utilizada(s) na emissão.

Os critérios de escolha de uma dada modulação digital são vários, destacando-se a eficiência em termos de largura de banda (eficiência espectral) e a imunidade ao ruído, que se traduz na probabilidade de erro na detecção dos bits de informação. Normalmente, para o estudo da probabilidade de erro das várias modulações, considera-se o canal como sendo do tipo AWGN, assumem-se probabilidades iguais para a ocorrência dos diferentes símbolos transmitidos e consideram-se receptores que utilizam filtros adaptados ou correlacionadores.

Tendo em conta estes pressupostos, apresentam-se na tabela seguinte expressões para a probabilidade de bit errado das modulações ASK (OOK), PSK binária (BPSK) e FSK binária (BFSK). Nas várias expressões o parâmetro E_b representa a energia média dos bits 0 e 1.

Modulação	Detecção coerente	Detecção não-coerente
OOK	$P_b = Q\left(\sqrt{E_b/N_0}\right)$	$P_b = \frac{1}{2}e^{-\frac{E_b}{2N_0}}$
BPSK	$P_b = Q\left(\sqrt{2E_b/N_0}\right)$	Não aplicável
BFSK	$P_b = Q\left(\sqrt{E_b/N_0}\right)$	$P_b = \frac{1}{2}e^{-\frac{E_b}{2N_0}}$

3 EXPERIÊNCIAS

Na primeira parte do trabalho serão observadas as formas de onda e as respectivas densidades espectrais de potência das modulações digitais ASK (incluindo OOK) e BPSK. Na segunda parte será considerada a formatação em cosseno elevado para o caso de BPSK. Finalmente, na terceira parte será estudado o desempenho, em termos de probabilidade de erro, das modulações digitais OOK e BPSK para o caso de um canal de transmissão AWGN.

Serão consideradas as seguintes condições:

- Dados transmitidos: sequência binária aleatória
- Débito binário da fonte de dados: $R_b = 1000$ bits/s
- Amplitude e frequência da portadora (no emissor e no receptor): $A_c = 1$ V, $f_c = 10$ kHz

- Frequência de simulação (taxa de amostragem): $f_s = 10f_c = 100 \text{ kHz}$

3.1 FORMAS DE ONDA E DENSIDADES ESPECTRAIS DE POTÊNCIA DE ASK E OOK

Objetivos:

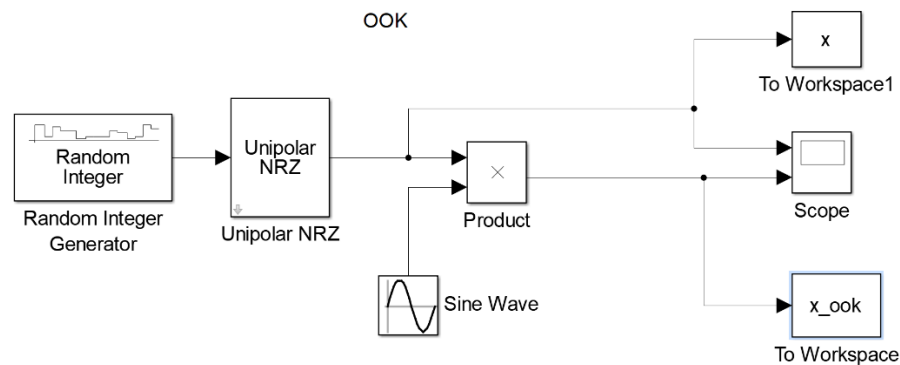
- Gerar os sinais OOK e ASK
- Visualizar as respectivas formas de onda e espectros
- Estimar por simulação valores médios e potências para sinais banda base e modulados comparando com os valores teóricos
- Responder a questões de escolha múltipla

Organização do código:

- Definição dos parâmetros da simulação
- Inicialização de vetores para guardar sinais
- Geração do sinal binário aleatório (1000 bits)
- Geração do sinal banda base (100 amostras por bit) para modular a portadora em OOK
- Geração do sinal banda base no qual o 0 é representado por 2V e o 1 é representado por 5V
- Realizar a modulação usando uma portadora em seno para obter os sinais OOK e ASK
- Visualizar os sinais em banda base e modulados nos domínios do tempo e da frequência

Procedimento: completar o código fornecido, testar, responder à(s) pergunta(s).

A figura seguinte apresenta o diagrama de blocos do modelo Simulink, para o caso de OOK, equivalente à simulação MatLab a realizar.



Ajuda MatLab:

```
randi Pseudorandom integers from a uniform discrete distribution.
% R = randi(IMAX,N) returns an N-by-N matrix containing pseudorandom
% integer values drawn from the discrete uniform distribution on 1:IMAX.
% randi(IMAX,M,N) or randi(IMAX,[M,N]) returns an M-by-N matrix.
% randi(IMAX,M,N,P,...) or randi(IMAX,[M,N,P,...]) returns an
% M-by-N-by-P-by-... array. randi(IMAX) returns a scalar.
% randi(IMAX,SIZE(A)) returns an array the same size as A.
% R = randi([IMIN,IMAX],...) returns an array containing integer
% values drawn from the discrete uniform distribution on IMIN:IMAX.
```

3.2 FORMA DE ONDA E DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA PSK

Objetivos:

- Gerar o sinal PSK
- Visualizar forma de onda e o respetivo espectro
- Responder à(s) pergunta(s)

Organização do código:

- Definição dos parâmetros da simulação
- Inicialização de vetores para guardar sinais
- Geração do sinal binário aleatório
- Geração do sinal banda base polar para modular a portadora em PSK
- Realizar a modulação PSK
- Visualizar os sinais em banda base e modulado nos domínios do tempo e da frequência

Procedimento: deve reutilizar o código da questão anterior com as modificações que achar necessárias para este caso.

3.3 FORMATAÇÃO DE IMPULSOS USANDO FILTROS DE COSSENO ELEVADO

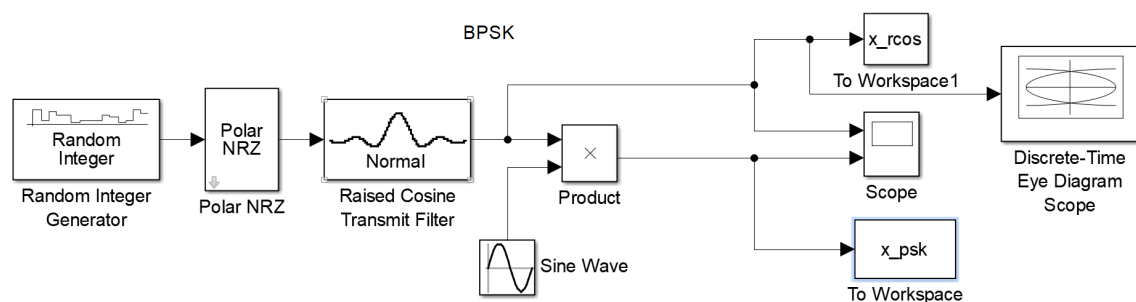
Objetivos:

- Gerar o sinal banda base com formatação em cosseno elevado
- Usar três valores para fatores de roll-off
- Gerar os sinais PSK correspondentes
- Visualizar sinais banda base, sinais PSK e respetivas densidades espectrais de potência
- Visualizar os diagramas de olho para os sinais banda base
- Responder à(s) pergunta(s)

Organização do código: segue a organização descrita nos pontos anteriores

Procedimento: reutilizar o código da questão anterior com as modificações que achar necessárias para este caso.

A figura seguinte apresenta o diagrama de blocos do modelo Simulink equivalente à simulação Matlab a realizar.



Ajuda Matlab

rcosdesign Raised cosine FIR filter design

```
% B = rcosdesign(BETA, SPAN, SPS) returns square root raised cosine FIR
% filter coefficients, B, with a rolloff factor of BETA. The filter is
% truncated to SPAN symbols and each symbol is represented by SPS
% samples. rcosdesign designs a symmetric filter. Therefore, the filter
% order, which is SPS*SPAN, must be even. The filter energy is one.
% B = rcosdesign(BETA, SPAN, SPS, SHAPE) returns a normal raised cosine
% FIR filter when you set SHAPE to 'normal'. When you set SHAPE to
% 'sqrt', the function returns a square root raised cosine filter.
```

upfirdn Upsample, apply a specified FIR filter, and downsample a signal.

```
% upfirdn(X,H,P,Q) is a cascade of three systems applied to input signal X:
% (1) Upsampling by P (zero insertion). P defaults to 1 if not
% specified.
% (2) FIR filtering with the filter specified by the impulse response
% given in H.
% (3) Downsampling by Q (throwing away samples). Q defaults to 1 if not
% specified.
```

3.4 DETECÇÃO COERENTE DAS MODULAÇÕES DIGITAIS OOK E BPSK

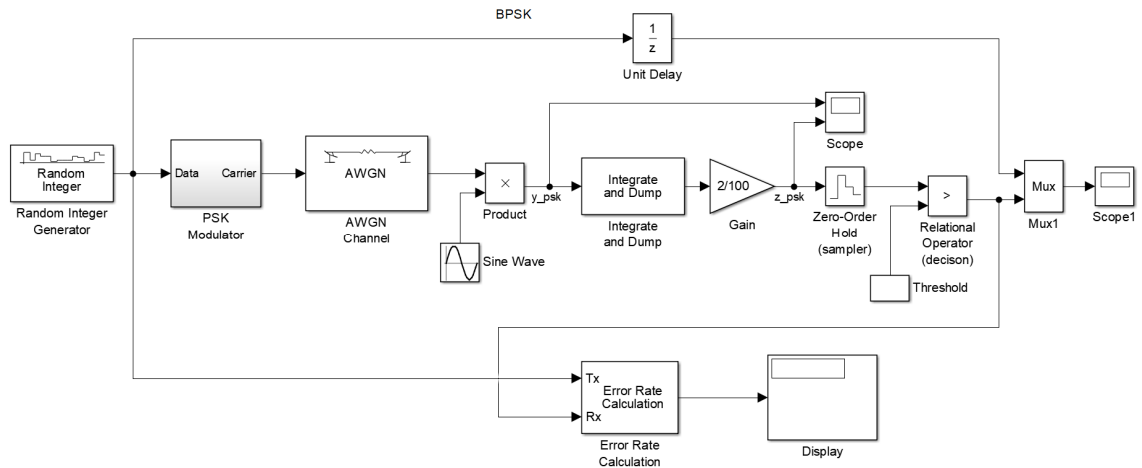
Objetivos:

- Gerar os sinais PSK e OOK
- Somar ruído aos sinais PSK e OOK
- Desmodular de forma coerente os sinais anteriores
- Amostrar e decidir os bits recebidos em função do nível de decisão aplicado
- Contar bits errados e estimar as probabilidades de erro PSK e OOK
- Obter os valores das probabilidades teóricas
- Traçar um gráfico com curvas teóricas de P_e em função de E_b/N_0 (em dB)
- Marcar no gráfico os pontos das probabilidades estimadas na simulação
- Responder à(s) pergunta(s)

Organização do código: segue a organização descrita nos pontos anteriores

Procedimento: reutilizar o código da questão anterior com as modificações e acrescentos sugeridos para este caso.

A figura seguinte apresenta o diagrama de blocos do modelo Simulink, para o caso PSK, equivalente à simulação MatLab a realizar. Notar que o multiplicador pela portadora local seguido do filtro I&D operam como um correlacionador.



Ajuda MatLab

intdump Integrate and dump.

```
% Y = intdump(X, NSAMP) integrates the signal X for 1 symbol period, then
% outputs the averaged one value into Y. NSAMP is the number of samples
% per symbol. For two-dimensional signals, the function treats each
% column as 1 channel.
```

Nota

No caso de um sinal ASK (e OOK) podemos usar detecção não coerente como se mostra na figura seguinte, que corresponde ao modelo Simulink disponível nos conteúdos de FTEL 1; sugere-se que experimente este modelo e retire conclusões quanto ao desempenho do detetor de envelope face ao detetor coerente; refira-se finalmente, que também para um sinal BFSK podemos usar desmodulação não coerente.

