

EL68B - Comunicações Digitais

Espaço de Sinais

Professor: Bruno Sens Chang

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Departamento Acadêmico de Eletrônica - DAELN

Introdução

- Quantos MF's são necessários no receptor?
- A técnica de espaço de sinais ajuda a responder
- O sinal recebido é visto como um vetor
- O vetor transmitido é estimado como aquele entre os possíveis transmitidos que esteja à “menor distância” do recebido.

Introdução

- Quantos MF's são necessários no receptor?
- A técnica de espaço de sinais ajuda a responder
- O sinal recebido é visto como um vetor
- O vetor transmitido é estimado como aquele entre os possíveis transmitidos que esteja à “menor distância” do recebido.

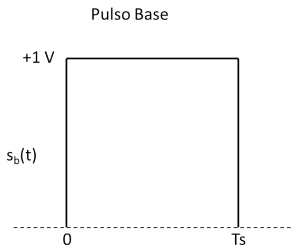
Introdução

- Quantos MF's são necessários no receptor?
- A técnica de espaço de sinais ajuda a responder
- O sinal recebido é visto como um vetor
- O vetor transmitido é estimado como aquele entre os possíveis transmitidos que esteja à “menor distância” do recebido.

Introdução

- Quantos MF's são necessários no receptor?
- A técnica de espaço de sinais ajuda a responder
- O sinal recebido é visto como um vetor
- O vetor transmitido é estimado como aquele entre os possíveis transmitidos que esteja à “menor distância” do recebido.

Exemplo: 2-PAM



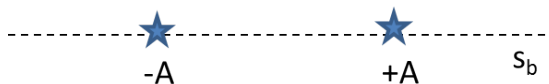
Escolhendo o pulso acima como pulso base, podemos escrever:

$$s_1(t) = A \cdot s_b(t) \text{ e } s_0(t) = -A \cdot s_b(t)$$

Mudaria para outro pulso base?'

Exemplo: 2-PAM

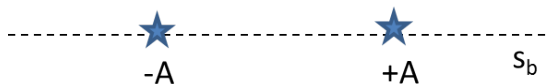
A chamada “constelação” para o 2-PAM é portanto:



- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

Exemplo: 2-PAM

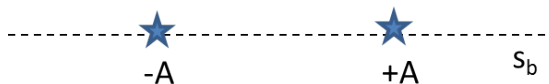
A chamada “constelação” para o 2-PAM é portanto:



- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

Exemplo: 2-PAM

A chamada “constelação” para o 2-PAM é portanto:



- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

Exemplo: 4-PAM

Usando o pulso base $s_b(t)$ do 2-PAM, os sinais do 4-PAM são:

$$s_0(t) = 3A \cdot s_b(t) \quad s_2(t) = -A \cdot s_b(t)$$

$$s_1(t) = A \cdot s_b(t) \quad s_3(t) = -3A \cdot s_b(t)$$

- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

Exemplo: 4-PAM

Usando o pulso base $s_b(t)$ do 2-PAM, os sinais do 4-PAM são:

$$s_0(t) = 3A \cdot s_b(t) \quad s_2(t) = -A \cdot s_b(t)$$

$$s_1(t) = A \cdot s_b(t) \quad s_3(t) = -3A \cdot s_b(t)$$

Constelação para o 4-PAM



- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

Exemplo: 4-PAM

Usando o pulso base $s_b(t)$ do 2-PAM, os sinais do 4-PAM são:

$$s_0(t) = 3A \cdot s_b(t) \quad s_2(t) = -A \cdot s_b(t)$$

$$s_1(t) = A \cdot s_b(t) \quad s_3(t) = -3A \cdot s_b(t)$$

Constelação para o 4-PAM



- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

Exemplo: 4-PAM

Usando o pulso base $s_b(t)$ do 2-PAM, os sinais do 4-PAM são:

$$s_0(t) = 3A \cdot s_b(t) \quad s_2(t) = -A \cdot s_b(t)$$

$$s_1(t) = A \cdot s_b(t) \quad s_3(t) = -3A \cdot s_b(t)$$

Constelação para o 4-PAM



- A dimensão do espaço de sinais é 1
- Apenas um filtro casado é necessário no receptor

2-PAM vs 4-PAM

Como comparar as constelações do 2-PAM e do 4-PAM de forma justa?

É possível determinar através das constelações quem tem maior probabilidade de erro de símbolo, 2-PAM ou 4-PAM?

E quanto à Probabilidade de Erro de Bit?

Exemplo: binária ortogonal

Os sinais $s_0(t)$ e $s_1(t)$ são ortogonais. Precisamos de duas bases.

Exemplo: binária ortogonal

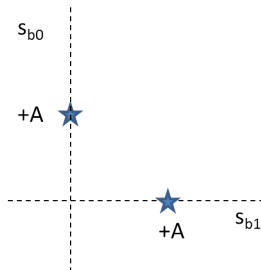
Os sinais $s_0(t)$ e $s_1(t)$ são ortogonais. Precisamos de duas bases.

Por exemplo, $s_{b0}(t) = s_0(t)/A$ e $s_{b1}(t) = s_1(t)/A$.

Exemplo: binária ortogonal

Os sinais $s_0(t)$ e $s_1(t)$ são ortogonais. Precisamos de duas bases.

Por exemplo, $s_{b0}(t) = s_0(t)/A$ e $s_{b1}(t) = s_1(t)/A$.



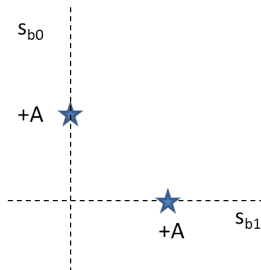
- A dimensão do espaço de sinais é 2
- Dois filtros casados são necessários

Figura: Constelação

Exemplo: binária ortogonal

Os sinais $s_0(t)$ e $s_1(t)$ são ortogonais. Precisamos de duas bases.

Por exemplo, $s_{b0}(t) = s_0(t)/A$ e $s_{b1}(t) = s_1(t)/A$.



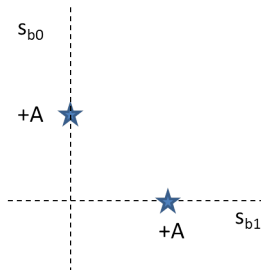
- A dimensão do espaço de sinais é 2
- Dois filtros casados são necessários

Figura: Constelação

Exemplo: binária ortogonal

Os sinais $s_0(t)$ e $s_1(t)$ são ortogonais. Precisamos de duas bases.

Por exemplo, $s_{b0}(t) = s_0(t)/A$ e $s_{b1}(t) = s_1(t)/A$.



- A dimensão do espaço de sinais é 2
- Dois filtros casados são necessários

Figura: Constelação

Exercícios

- 1 É possível explicar o pior desempenho da modulação binária ortogonal em relação ao 2-PAM usando os conceitos de constelação e receptor de distância mínima?
- 2 O que é possível dizer em relação ao desempenho relativo do 2-PAM e do 4-PAM olhando as constelações?
- 3 Como ficaria a constelação do 16-PAM? A probabilidade de erro será maior ou menor que a do 4-PAM? Por que?
- 4 Como ficaria a constelação de uma modulação com quatro símbolos ortogonais? A modulação 4-FSK tem esta característica.

Exercícios

- 1 É possível explicar o pior desempenho da modulação binária ortogonal em relação ao 2-PAM usando os conceitos de constelação e receptor de distância mínima?
- 2 O que é possível dizer em relação ao desempenho relativo do 2-PAM e do 4-PAM olhando as constelações?
- 3 Como ficaria a constelação do 16-PAM? A probabilidade de erro será maior ou menor que a do 4-PAM? Por que?
- 4 Como ficaria a constelação de uma modulação com quatro símbolos ortogonais? A modulação 4-FSK tem esta característica.

Exercícios

- 1 É possível explicar o pior desempenho da modulação binária ortogonal em relação ao 2-PAM usando os conceitos de constelação e receptor de distância mínima?
- 2 O que é possível dizer em relação ao desempenho relativo do 2-PAM e do 4-PAM olhando as constelações?
- 3 Como ficaria a constelação do 16-PAM? A probabilidade de erro será maior ou menor que a do 4-PAM? Por que?
- 4 Como ficaria a constelação de uma modulação com quatro símbolos ortogonais? A modulação 4-FSK tem esta característica.

Exercícios

- 1 É possível explicar o pior desempenho da modulação binária ortogonal em relação ao 2-PAM usando os conceitos de constelação e receptor de distância mínima?
- 2 O que é possível dizer em relação ao desempenho relativo do 2-PAM e do 4-PAM olhando as constelações?
- 3 Como ficaria a constelação do 16-PAM? A probabilidade de erro será maior ou menor que a do 4-PAM? Por que?
- 4 Como ficaria a constelação de uma modulação com quatro símbolos ortogonais? A modulação 4-FSK tem esta característica.

Exercícios

Explique o que querem dizer as constelações abaixo e como seriam os receptores ótimos para estes casos.

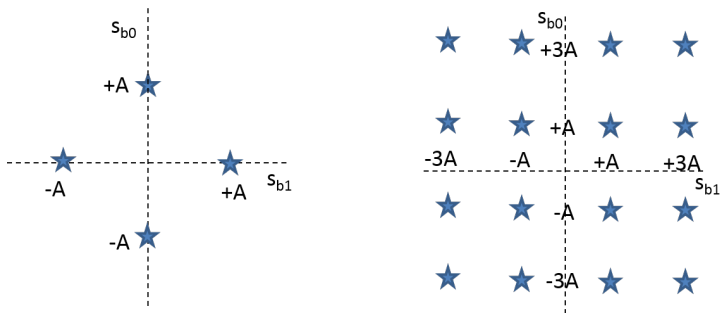


Figura: Constelações QPSK e 16-QAM

Exercícios

- 1 Comparando as constelações do QPSK e do 2-PAM (ou BPSK), o que podemos dizer sobre as probabilidades de erro de bit?
- 2 Quem tem maior probabilidade de erro de bit, o 16-FSK ou o 16-QAM? Por que?

Exercícios

- 1 Comparando as constelações do QPSK e do 2-PAM (ou BPSK), o que podemos dizer sobre as probabilidades de erro de bit?
- 2 Quem tem maior probabilidade de erro de bit, o 16-FSK ou o 16-QAM? Por que?

Tarefas

Como generalizar o processo de encontrar as bases, especialmente quando não for possível inferir diretamente?

Tarefa

Sklar, Exemplo 3.1