

Sistemas de Comunicações Digitais

Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações

Universidade Federal do Ceará

Semestre 2017.2

Parte 7

Recuperação de Portadora

Conteúdo

- 1 **Método M -power**
- 2 Tipos de estimações
- 3 Estimador ML e MAP
- 4 Próxima aula

Método *M*-power

- Suporemos que o demodulador possuiu perfeito conhecimento do atraso de símbolo, τ , e do o desvio de frequência, ν . Sendo assim, trabalharemos apenas com θ , i.e.,

$$s(t, \hat{\theta}_k) = s_l(t) e^{j\hat{\theta}_k} \quad (1)$$

- O método *M*-power consiste em uma técnica de estimação de fase em malha aberta (*feedforward*) para sinais *M*-PSK sem offset ¹.
- Este método NDA (*non-data-aided*), pois não depende dos símbolos transmitidos.

¹O esquema OQPSK, por exemplo, não se adequa a este método.

Introdução

- Do slide anterior, temos que

$$\Lambda_L(\hat{\theta}_k) = \int_{(k-K)T}^{kT} \operatorname{Re} \{r(t)s^*(t, \hat{\theta}_k)\} dt - \frac{1}{K} \int_{(k-K)T}^{kT} |s(t, \hat{\theta}_k)|^2 dt \quad (2)$$

- Como o envelope complexo possui módulo constante para sinais M -PSK, podemos ignorar o segundo termo desta equação, sendo assim

$$\Lambda_L(\hat{\theta}_k) = \int_{(k-K)T}^{kT} \operatorname{Re} \{r(t)s^*(t, \hat{\theta}_k)\} dt \quad (3)$$

Recorde que

$$s_l(t) = \sum_k A_k g(t - kT) \quad (4)$$

- $A_k \in \mathbb{C}$ é o k -ésimo símbolo transmitido
- $g(t) \in \mathbb{C}$ é a resposta ao impulso do pulso formatador.

Introdução

- Substituindo (4) e (1) em (3), obtemos

$$\Lambda_L(\hat{\theta}_k) = \sum_k A_k^* e^{-j\hat{\theta}_k} \int_{(k-K)T}^{kT} r(t)g(t - kT) dt \quad (5)$$

- Em uma aplicação prática, no entanto, $g(t)$ é limitado²

²Recorde a impossibilidade de implementarmos o filtro raiz cosseno levantado, e como solucionamos isso na prática através do truncamento de sua resposta ao impulso.

Modelando o nosso sistema

- Seja $s_I(t)$ o envelope complexo transmitido, o equivalente passa-baixa do sinal recebido é dado por:

$$\begin{aligned} r(t) &= s(t, \boldsymbol{\lambda}) + w(t), \\ &= s_I(t - \tau)e^{j(2\pi\nu t + \theta)} + w(t) \end{aligned} \quad (6)$$

em que

- $s(t, \boldsymbol{\lambda}) = s_I(t - \tau)e^{j(2\pi\nu t + \theta)}$ é o sinal recebido considerando as imperfeições de atraso de símbolo e desvios de fase e frequência.
- θ é o desvio de fase.
- $\nu = f_c - f_{cL}$ é o desvio de frequência, sendo f_c e f_{cL} a frequência do sinal recebido e frequência da portadora local, respectivamente.
- τ é o atraso de símbolo.
- $\boldsymbol{\lambda} = (\theta, \nu, \tau)$ é o vetor de parâmetros.
- $w(t)$ é um ruído Gaussiano branco com densidade de potência $N_0/2$.

Modelando o nosso sistema

- Nosso objetivo é obter as estimativas de λ , i.e., $\hat{\lambda} = (\hat{\theta}, \hat{\nu}, \hat{\tau})$.
- Ao longo dessa disciplina, as perturbações que incidem no sistemas são modeladas como segue:
 - ν é um valor determinístico, mas desconhecido, que está dentro do intervalo $\pm 1/T$, sendo T o tempo de símbolo.
 - θ é um valor determinístico, mas desconhecido, que está dentro do intervalo $(0, 2\pi]$.
 - τ é um valor determinístico, mas desconhecido, que está dentro do intervalo $(0, T]$.
- Devido a complexidade do problema, suporemos que alguns parâmetros são conhecidos, ao passo que outros não.

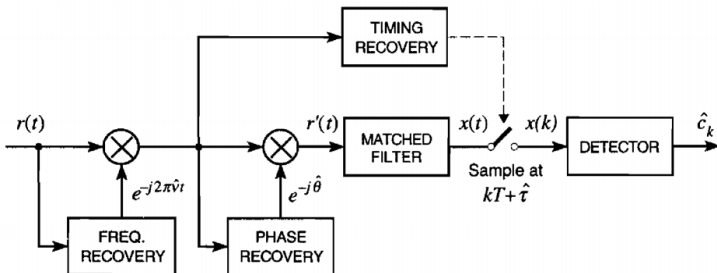
Conteúdo

- 1 Método *M*-power
- 2 Tipos de estimações**
- 3 Estimador ML e MAP
- 4 Próxima aula

Tipos de estimações

- Existem diferentes estratégias para a estimação do vetor de parâmetros, e elas podem ser categorizadas a depender das seguintes características:
 - *Data-aided* (DA), *decision-directed* (DD), *non-data-aided* (NDA): o método DA faz uso de um preâmbulo para que o demodulador tenha o conhecimento adicional dos dados. Alternativamente, pode-se realizar a estimação dos parâmetros a partir das decisões feitas pelo detector, estratégia comumente chamada de estimação direcionada por decisão. Há ainda uma terceira estratégia, que não depende de dado algum, chamada de NDA. O método DA costuma obter melhor performance de estimação quando comparado com o método NDA [Mengali, 2013]. Naturalmente, o método DD opera em malha fechada (*feedback loop*).
 - *Clock-aided* ou *non-clock-aided*: similarmente, quando o estimador possui o conhecimento do relógio, dizemos que é uma estimação ajudada por relógio. Caso contrário, dizemos que a estimação é *non-clock-aided*.
 - Topologia do estimador: *feedforward* ou *feedback loops*.
 - Esquema da modulação: apesar de ser algo que independe do estimador utilizado, a presença ou a ausência de um *offset* na modulação interfere na estratégia adotada.

Exemplo do diagrama de blocos de um receptor coerente



- Normalmente, a recuperação da portadora (fase e frequência) é feita antes da recuperação do tempo de símbolo. Mas existem diferentes arquiteturas que podem recuperar os parâmetros em outra ordem, inclusive em paralelo ou conjunta (*joint estimation*).

Conteúdo

- 1 Método *M*-power
- 2 Tipos de estimações
- 3 Estimador ML e MAP**
- 4 Próxima aula

Estimador ML e MAP

- Existem basicamente dois critérios amplamente empregados para a estimação de $\hat{\lambda}$: o critério de máxima verossimilhança (ML) e o critério de máxima a posteriori (MAP), que originam os estimadores ML e MAP, respectivamente.
- Realizando a projeção de $r(t)$ em um espaço de N funções ortonormais, obtemos, para o k -ésimo símbolo transmitido, o vetor $\mathbf{r}_k \in \mathbb{R}^N$.
- Pelo o teorema de Bayes, tem-se a seguinte relação

$$p(\hat{\lambda}_k | \mathbf{r}_k) = \frac{p(\mathbf{r}_k | \hat{\lambda}_k) p(\hat{\lambda}_k)}{p(\mathbf{r}_k)} \quad (7)$$

Estimador ML e MAP

- $p(\hat{\lambda}_k)$ é a probabilidade a priori.
- $p(\hat{\lambda}_k | \mathbf{r}_k)$ é a probabilidade a posteriori.
- $p(\mathbf{r}_k | \hat{\lambda}_k)$ é a função de verossimilhança.
- Como $p(\mathbf{r}_k)$ é igual para $\hat{\lambda}_k$, podemos disconsidera-la.
- Quando a probabilidade a priori possui uma distribuição uniforme, também podemos disconsidera-la. Neste caso, o método MAP se torna igual ao ML

Conteúdo

- 1 Método *M*-power
- 2 Tipos de estimações
- 3 Estimador ML e MAP
- 4 Próxima aula**

Estimador ML e MAP

- Derivação das equações de MAP e ML
- Apresentação de algumas arquiteturas de estimadores de fase.

Referências

-  Mengali, U. (2013).
Synchronization techniques for digital receivers.
Springer Science & Business Media.