

Sistemas de Comunicações Digitais

Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações

Universidade Federal do Ceará

Semestre 2017.2

Parte 6

Recuperação de Portadora

Conteúdo

- 1 Introdução**
- 2 Tipos de estimações
- 3 Estimador ML e MAP
- 4 Próxima aula

Introdução

Em sistemas de comunicações digitais, a saída do demodulador deve ser amostrada periodicamente, a cada intervalo de símbolo, para que a informação transmitida seja recuperada. Em um sistema de comunicação **síncrono** ou **coerente**, para que o sistema opere satisfatoriamente, devemos considerar (e corrigir) as seguintes imperfeições que incidem no sistema:

- **Atraso de símbolo:** como atraso de propagação é usualmente desconhecido, é necessário que o demodulador recupere a temporização de símbolo (*symbol timing*) para que o mesmo seja capaz de escolher o instante ótimo de amostragem, isto é o instante que maximize o diagrama de olho. Chamamos o circuito que realiza essa tarefa de sincronizador (ou estimador ou recuperação) de temporização (ou relógio ou símbolo). Iremos nos referir a esse módulo como **estimador de relógio** [Abrantes, 2010, Mengali, 2013].

Introdução

- **Desvio de fase:** o atraso da propagação também resulta em um atraso de fase. Adicionalmente, a portadora local desconhece a fase inicial da portadora do transmissor, o que gera uma diferença de fase. As imperfeições do oscilador de cristal também contribuem para um desvio de fase, uma vez que ela produz uma pequena diferença de fase (*drifting*) com o passar do tempo. Para que a detecção coerente seja livre de perturbações, tal como o *cross-talk*, faz-se necessário recuperar a fase do sinal transmitido. Chamamos esse circuito lógico de **estimador de fase**.

Introdução

- **Desvio de frequência:** devido a efeitos durante a propagação, como o efeito Doppler, existe uma diferença de frequência entre a portadora local e o sinal recebido. Salvo alguns esquemas de modulações que conseguem operar satisfatoriamente sob moderado desvio de frequência, o desvio de frequência também deve ser corrigido. O módulo que realiza essa tarefa é chamado de **estimador de frequência**.

Modelando o nosso sistema

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

$$\begin{aligned} r(t) &= s(t, \boldsymbol{\lambda}) + w(t), \\ &= s_I(t - \tau)e^{j(2\pi\nu t + \theta)} + w(t) \end{aligned} \quad (1)$$

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.

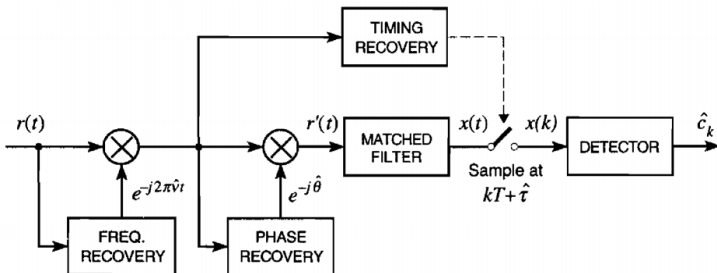
Conteúdo

- 1 Introdução
- 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 outra ordem, inclusive em paralelo ou conjunta (*joint estimation*).

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Tipos de estimações
- 3 Estimador ML e MAP**
- 4 Próxima aula

Estimador ML e MAP

- Existem basicamente dois critério 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

$$p(\hat{\lambda}_k | \mathbf{r}_k) = \frac{p(\mathbf{r}_k | \hat{\lambda}_k) p(\hat{\lambda}_k)}{p(\mathbf{r}_k)} \quad (2)$$

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 Introdução
- 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



Abrantes, S. A. (2010).

Recuperação digital da temporização com amostragem assíncrona—parte 1: transmissão em banda-base.



Mengali, U. (2013).

Synchronization techniques for digital receivers.
Springer Science & Business Media.