

Sistemas de Comunicações Digitais

Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações

Universidade Federal do Ceará

Semestre 2017.2

Parte 7

Recuperação do tempo de símbolo

Conteúdo

- 1 **Introdução**
- 2 Tipos de recuperação de relógio
- 3 Implementação
- 4 Próxima aula

Introdução

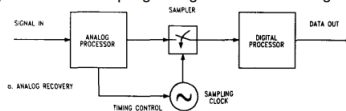
- Em métodos *clock-aided*, o transmissor envia o relógio do modulador separado do *stream* de dados. Dizemos então que este método de transmissão é *síncrono*.
- No entanto, para diversas aplicações, a transmissão de um relógio separado seria ineficiente, uma vez que isso exigiria recursos adicionais (largura de banda, potência, etc...).
- Como alternativa, faz-se necessário implementar um circuito adicional que recupere o tempo de símbolo no demodulador.
- O requerimento fundamental do estimador de relógio é que instante de símbolo seja recuperado, mesmo que imperfeitamente. Em outras palavras, a partir do envelope complexo do sinal recebido, o demodulador precisa saber qual é o instante de tempo no qual o k -ésimo símbolo transmitido inicia.

Conteúdo

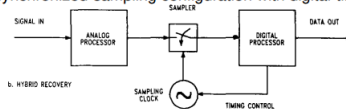
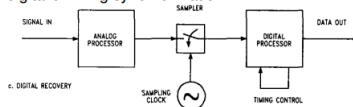
- 1 Introdução
- 2 Tipos de recuperação de relógio**
- 3 Implementação
- 4 Próxima aula

Tipos de recuperação de relógio

synchronized-sampling configuration with analog-time recovery



synchronized-sampling configuration with digital-time recovery

nonsynchronized-sampling configuration (free-running oscillator).
fully-digital timing synchronization

- A implementação de um detector completamente digital só é possível com a adoção do método de transmissão assíncrono.

Método de recuperação de relógio completamente digital

- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?

Método de recuperação de relógio completamente digital

- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?
- *Resposta:* através da *interpolação* do sinal discretizado.

Método de recuperação de relógio completamente digital

- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?
- *Resposta:* através da *interpolação* do sinal discretizado.
- Como a correção do instante de símbolo é implementada?

Método de recuperação de relógio completamente digital

- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?
- *Resposta:* através da *interpolação* do sinal discretizado.
- Como a correção do instante de símbolo é implementada?
- *Resposta:* utiliza-se três módulos funcionais que integram o chamado sincronizador de relógio [Abrantes, 2010]:
 - Interpolador: responsável por corrigir o instante de amostragem do sinal discreto.

Método de recuperação de relógio completamente digital

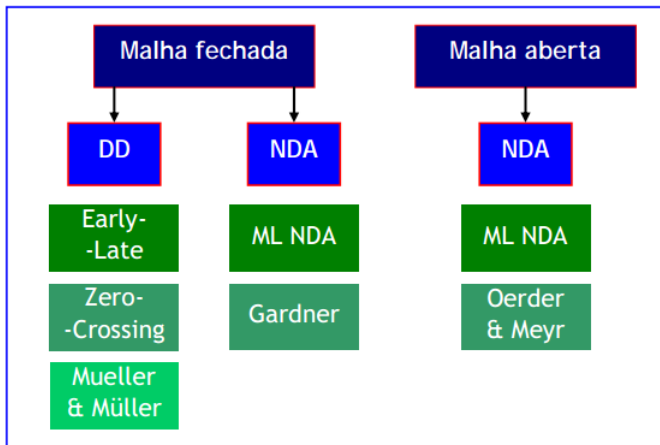
- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?
- *Resposta:* através da *interpolação* do sinal discretizado.
- Como a correção do instante de símbolo é implementada?
- *Resposta:* utiliza-se três módulos funcionais que integram o chamado sincronizador de relógio [Abrantes, 2010]:
 - Interpolador: responsável por corrigir o instante de amostragem do sinal discreto.
 - Controlador: utiliza o sinal de erro proveniente do estimador para gerar a parte inteira e fracionária do novo instante de símbolo.

Método de recuperação de relógio completamente digital

- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?
- *Resposta:* através da *interpolação* do sinal discretizado.
- Como a correção do instante de símbolo é implementada?
- *Resposta:* utiliza-se três módulos funcionais que integram o chamado sincronizador de relógio [Abrantes, 2010]:
 - Interpolador: responsável por corrigir o instante de amostragem do sinal discreto.
 - Controlador: utiliza o sinal de erro proveniente do estimador para gerar a parte inteira e fracionária do novo instante de símbolo.
 - Estimador do atraso de símbolo: gera um sinal de erro em relação à estimativa do atraso de símbolo. É aqui onde a estimação propriamente dita acontece.

Método de recuperação de relógio completamente digital

- Dentre os métodos de recuperação de temporização assíncronos (*non-clock-aided*), estes ainda podem ser classificados como segue



Método M -power

- Como $h(t)$ obedece o critério de Nyquist e $z^*z = |z|^2$ para $z \in \mathbb{C}$, a equação (??) se torna

$$\frac{1}{K} \int_{(k-K)T}^{kT} |s(t, \hat{\theta}_k)|^2 dt = \frac{1}{K} \sum_{i=k-K}^k |A_i|^2 \quad (1)$$

- Substituindo essas conclusões, tem-se

$$\Lambda(\mathbf{r}_k | \hat{\theta}_k) = \exp \left\{ \frac{2}{K} \sum_{i=k-K}^k \operatorname{Re} \left\{ x_i A_i^* e^{-j\hat{\theta}_i} \right\} - \frac{1}{K} \sum_{i=k-K}^k |A_i|^2 \right\} \quad (2)$$

Método M -power

- A equação anterior se torna mais elegante se observarmos que a métrica de decisão $\Lambda(\mathbf{r}_k|\hat{\theta}_k)$ pode ser multiplicada pelo fator

$$\exp \left\{ -\frac{1}{K} \sum_{i=k-K}^k |x_i|^2 \right\} \quad (3)$$

sem causar consequências na decisão¹. Sendo assim, tem-se

$$\Lambda(\mathbf{r}_k|\hat{\theta}_k) = \exp \left\{ -\frac{1}{K} \sum_{i=k-K}^k \left| x_i e^{-j\hat{\theta}_i} - A_i \right|^2 \right\} \quad (4)$$

¹O fator em questão independe de $\hat{\theta}_k$ e, portanto, não altera o valor máximo de $\Lambda(\mathbf{r}_k|\hat{\theta}_k)$

Método M -power

- Para o sinal M-PSK, tem-se que $A_k = e^{j\frac{2\pi m}{M}}$, em que $m \in \{0, 1, \dots, M-1\}$. Recordando que $|z_1 \pm z_2|^2 = |z_1|^2 \pm 2\text{Re}\{z_1 z_2^*\} + |z_2|^2$, para $z_1, z_2 \in \mathbb{C}$, e ignorando os termos que não interferem na métrica, a função log-verossimilhança pode ser escrita como

$$\Lambda_L(\mathbf{r}_k|\hat{\theta}_k) = \ln \Lambda(\mathbf{r}_k|\hat{\theta}_k) = \sum_{i=k-K}^k \text{Re} \left\{ x_i e^{-j(\frac{2\pi m}{M} + \hat{\theta}_i)} \right\} \quad (5)$$

Método M -power

- Mas recorde que $2\text{Re}\{z\} = z + z^*$ e

$$(z_1 + z_2)^p = \sum_{q=0}^p \binom{p}{q} z_1^q z_2^{p-q} \quad (6)$$

- Realizando essas substituições e expandindo a exponencial complexa, tem-se

$$\Lambda_L(\mathbf{r}_k | \hat{\theta}_k) = \sum_{i=k-K}^k \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{p!} \sum_{q=0}^p \binom{p}{q} x_i^q (x_i^*)^{p-q} e^{j(p-2q)\hat{\theta}_i} e^{j\frac{2\pi m}{M}} \quad (7)$$

Método M -power

- Para uma SNR suficientemente baixa, a seguinte aproximação é válida [Mengali, 2013]:

$$\Lambda_L(\mathbf{r}_k|\hat{\theta}_k) \approx \text{Re} \left\{ e^{-jM\hat{\theta}_k} \sum_{i=k-K}^k x_i^M \right\} \quad (8)$$

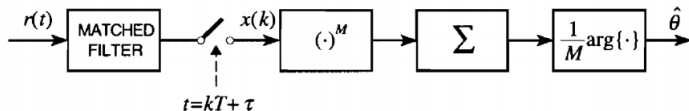
- O valor que $\hat{\theta}_k$ que maximiza a função log-verossimilhança é dada por

$$\hat{\theta}_k = \frac{1}{M} \text{Arg} \left\{ \sum_{i=k-K+1}^k x_i^M \right\} \quad (9)$$

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Tipos de recuperação de relógio
- 3 Implementação**
- 4 Próxima aula

Implementação



Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Tipos de recuperação de relógio
- 3 Implementação
- 4 Próxima aula**

Implementação

- Apresentação de algumas arquiteturas de estimadores de tempo de símbolo.

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.