

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 Técnicas de estimação de relógio
- 4 Controlador

Introdução

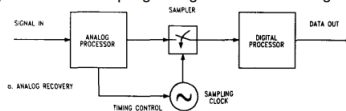
- Em métodos *clock-aided*, o transmissor envia o relógio do modulador separado do *stream* de dados. Dizemos então que este método de transmissão é *síncrono*.
- No entanto, para diversas aplicações, a transmissão de um relógio separado seria ineficiente, uma vez que isso exigiria recursos adicionais (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

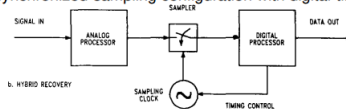
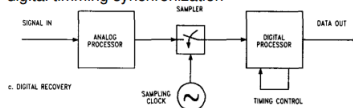
- 1 Introdução
- 2 Tipos de recuperação de relógio**
- 3 Técnicas de estimação de relógio
- 4 Controlador

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

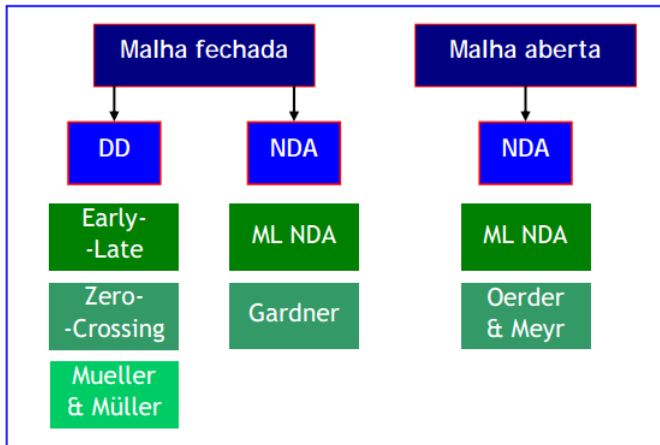
- No caso do método de recuperação de relógio completamente digital, como recuperar o relógio?
- *Resposta:* através da *interpolação* do sinal discretizado.
- Como a correção do instante de símbolo é implementada?
- *Resposta:* utiliza-se três módulos funcionais que integram o chamado sincronizador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

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Tipos de recuperação de relógio
- 3 Técnicas de estimação de relógio**
- 4 Controlador

Técnicas de estimação de relógio

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

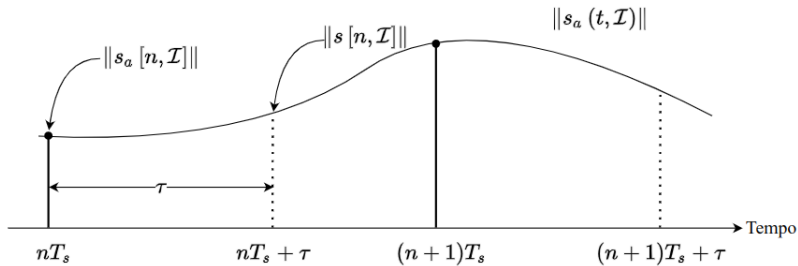


Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Tipos de recuperação de relógio
- 3 Técnicas de estimação de relógio
- 4 Controlador**

Controlador

- Precisamos, a partir das amostras vindas do oscilador local operando em *free-running* e do sinal de erro proveniente do estimador, obter novas amostras.



Controlador



$$\hat{\tau}_k = \hat{\tau}_{k-1} + \gamma_\tau e_\tau [k] \quad (1)$$

- γ_τ : passo de aprendizagem.
- $e_\tau [k]$: Sinal de erro proveniente do estimador de atraso de símbolo.
- Os instantes de interpolação podem ser definidos como

$$t_{n+1} = t_n + T_s + \frac{\gamma_\tau}{N} \dot{e}_\tau [n] , \quad (2)$$

em que t_n indica o instante de amostragem do sinal $\dot{r} [n] \triangleq r(t_n)$, sendo $r(t)$ o envelope complexo contínuo do sinal recebido.

Controlador

- Note que, se normalizarmos t_n por T_s , obteremos uma parte inteira, l_n , e uma parte fracionária, $0 \leq \mu_n < 1$. Matematicamente, tem-se

$$t_n = T_s (l_n + \mu_n) . \quad (3)$$

- Tomando as partes inteiras e fracionárias de ambos os lados, tem-se

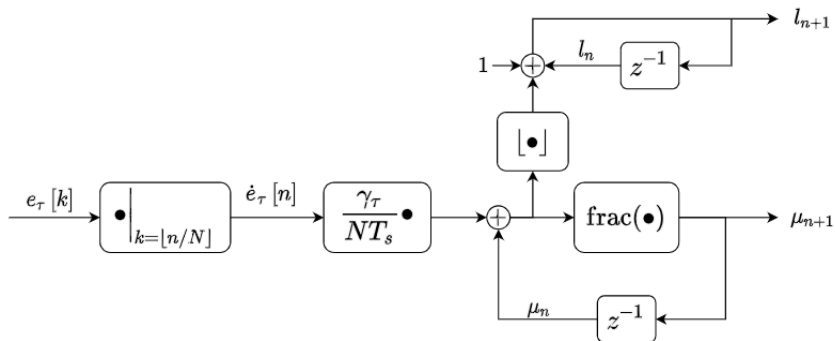
$$l_{n+1} = l_n + 1 + \left\lfloor \mu_n + \frac{\gamma_\tau}{NT_s} \dot{e}_\tau [n] \right\rfloor \quad (4)$$

e

$$\mu_{n+1} = \text{frac} \left(\mu_n + \frac{\gamma_\tau}{NT_s} \dot{e}_\tau [n] \right), \quad (5)$$

em que $\text{frac}(x) \triangleq x - \lfloor x \rfloor$ indica a parte fracionária de x .

Controlador



Exemplo de sincronismo de tempo

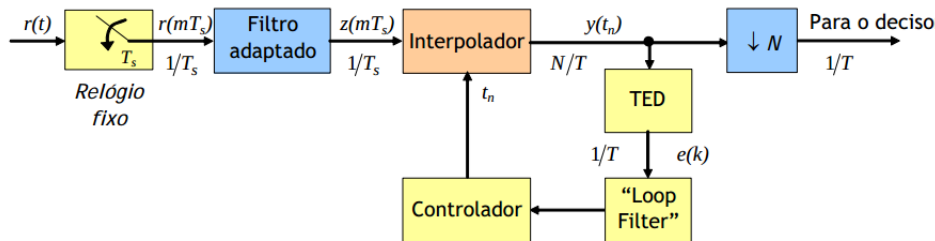


Fig. 2. Recuperação de relógio com amostragem assíncrona e realimentação.

Exemplo de sincronismo de tempo

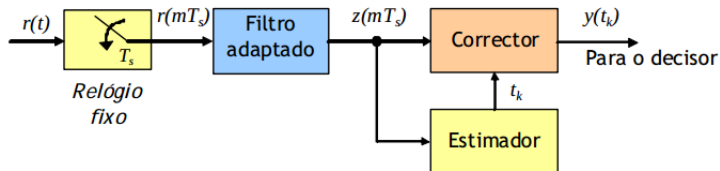


Fig. 3. Recuperação de relógio com amostragem assíncrona sem realimentação.

Referências



Abrantes, S. A. (2010).

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