

# 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 Recuperação Direcionada a Decisão
- 3 Potência de  $N$

# Introdução

Os sinais transmitidos estão sujeitos a desvios em frequência e em fase devido aos seguintes fatores:

- **Desvio em Frequência:** Causado por instabilidades no oscilador do transmissor ou receptor e pelo efeito Doppler quando o receptor está se locomovendo em relação ao transmissor.
- **Desvio em Fase:** Devido à instabilidade de fase dos osciladores, a atrasos de transmissão e ao ruído térmico.

Nesta aula analisaremos formas de estimar e corrigir os desvios nos sinais recebidos.

# Introdução

- Considere o Sinal PAM sujeito a desvio de frequência ou *jitter* em fase modelados como  $\theta(t)$ :

$$e^{j(2\pi f_c + \theta(t))} \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m p(t - mT)$$

- Uma portadora com estimativa de fase  $\phi(t)$  é usada para a demodulação

$$e^{-j(2\pi f_c + \phi(t))}$$

- O sinal é demodulado e amostrado com taxa  $t = kT$ , considerando que a formatação de pulso satisfaz o critério de Nyquist ( $p_k = \delta_k$ )

$$q_k = e^{j(\theta_k - \phi_k)} A_k$$

- 

-

# Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Recuperação Direcionada a Decisão**
- 3 Potência de  $N$

- $$\varepsilon_k = \theta_k - \phi_k = \sin^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{q_k A_k^*\}}{|A_k|^2} \right)$$

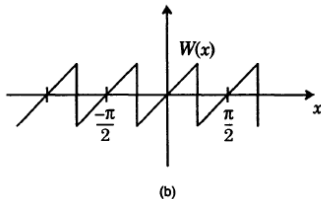
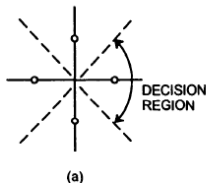
- Porém os símbolos  $A_k$  não são conhecidos nos receptores.
- Usaremos as decisões  $\hat{A}_k$  ao invés dos símbolos reais.



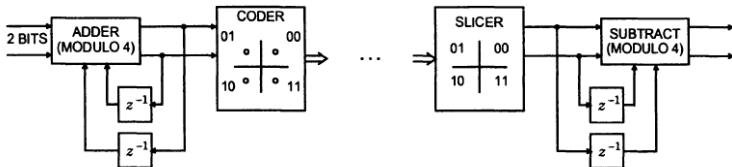


# Recuperação Direcionada a Decisão

- Em um sinal 4-PSK com erros maiores que  $\pi/4$  a decisão será incorreta:



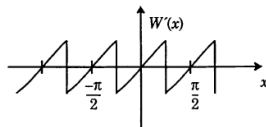
- Este erro de decisão é chamado de ambiguidade de fase.
- Para corrigí-lo pode ser utilizado um codificador diferencial.



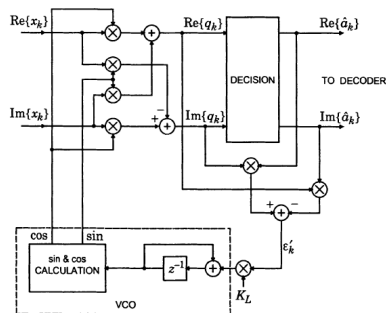
# Recuperação Direcionada a Decisão

- A expressão do erro de fase pode ser simplificada. Para erros de fase pequenos  $\varepsilon_k = \sin(\varepsilon_k)$  e

$$\sin(\varepsilon_k) = \frac{\text{Im}\{q_k A_k^*\}}{|A_k|^2} = W'$$



- Ou ainda mais simplificado (comumente utilizado):  $\varepsilon'_k = \text{Im}\{q_k A_k^*\}$



# Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Recuperação Direcionada a Decisão
- 3 Potência de  $N$**

# Potência de $N$

- Em situações com baixa SNR a Recuperação Direcionada a Decisão apresenta muitos erros.
- O método da potência de  $N$  pode ser utilizado como uma alternativa.
- Considere novamente um sinal amostrado PAM

$$x_k = e^{j(2\pi f_c kT + \theta_k)} \sum_{m=-\infty}^{\infty} |A_m| e^{j\angle A_m} p_{k-m}$$

- Considere ISI nula ( $p_k = \delta_k$ )

$$x_k = e^{j(2\pi f_c kT + \theta_k)} |A_k| e^{j\angle A_k}$$

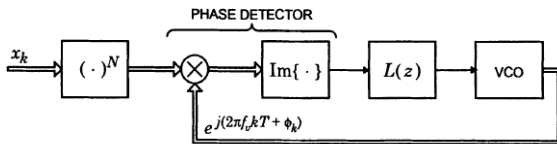
- Se elevássemos os dois lados à  $N$ -ésima potência e supondo que existe um  $N$  tal qual  $e^{jN\angle A_k} = 1$

$$x_k^N = e^{jN(2\pi f_c kT + \theta_k)} |A_k|^N$$

# Potência de $N$

- Este sinal tem uma forte linha espectral em  $Nf_c$  que pode ser extraída utilizando um filtro passa banda

$$x_k^N = e^{jN(2\pi f_c kT + \theta_k)} E[|A_k|^N] + e^{jN(2\pi f_c kT + \theta_k)} (|A_k|^N - E[|A_k|^N])$$



- Para demodular o sinal a senóide com frequência  $Nf_c$  deve ser convertida em outra com frequência  $f_c$  utilizando um sintetizador.
- Embora não se encontre  $N$  tal qual  $e^{jN\angle A_k} = 1$ . A linha espectral em  $Nf_c$  ocorrerá se  $E[A_k^N] \neq 0$ .