

Curso: Engenharia de Computação

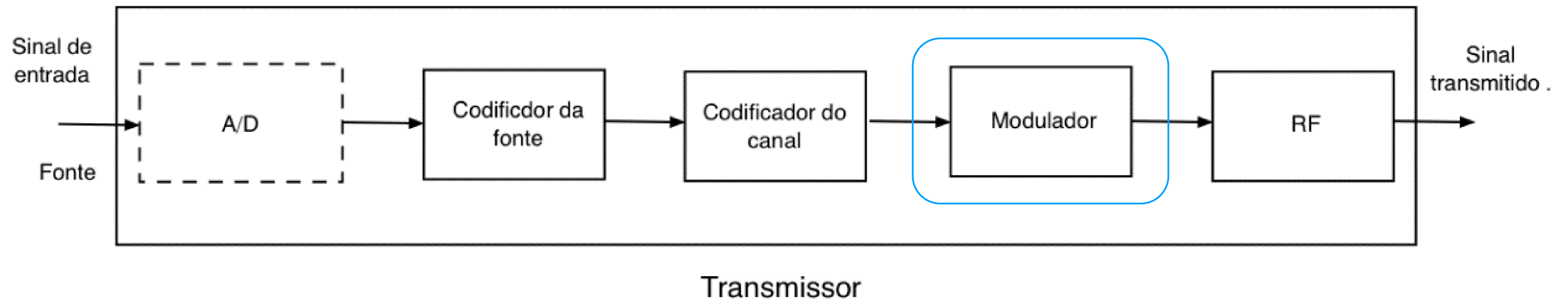
Sistemas de Comunicações Móveis

Prof. Clayton J A Silva, MSc
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br



Modulação

Transmissor



Modulação

- O **modulador** é um bloco que gera um sinal para o módulo de RF, em que um dos parâmetros, como **frequência**, **amplitude** e/ou **fase**, de um sinal chamado de **portadora** é alterado em função do sinal da saída do codificador da fonte, chamado de **sinal modulante**.
- Portanto, a modulação envolve **duas formas de onda**: o **sinal modulante**, que representa a mensagem; e a **portadora** que se ajusta ao sinal modulante para ser transmitido.
- O sinal modulado transporta a informação, que é colocada na parte apropriada do **espectro**, com propriedades espectrais adequadas para ser encaminhada pelo canal de comunicações.

Benefícios da modulação

- (1) assegurar a transmissão eficiente
- (2) superar as limitações de hardware
- (3) reduzir ruído e interferência
- (4) definir a frequência
- (5) multiplexação de sinais

Tipos de modulação

- Analógica
- Digital

Tipos de modulação

- Analógica
- Digital

Vantagens da modulação digital

- Suporta maiores taxas de dados
- Possibilita poderosas técnicas de correção de erros
- Maior resiliência às imperfeições do canal
- Possibilita estratégias de múltiplo acesso ao canal mais eficientes
- Menor susceptibilidade ao ruído e desvanecimento

O que caracteriza a modulação digital?

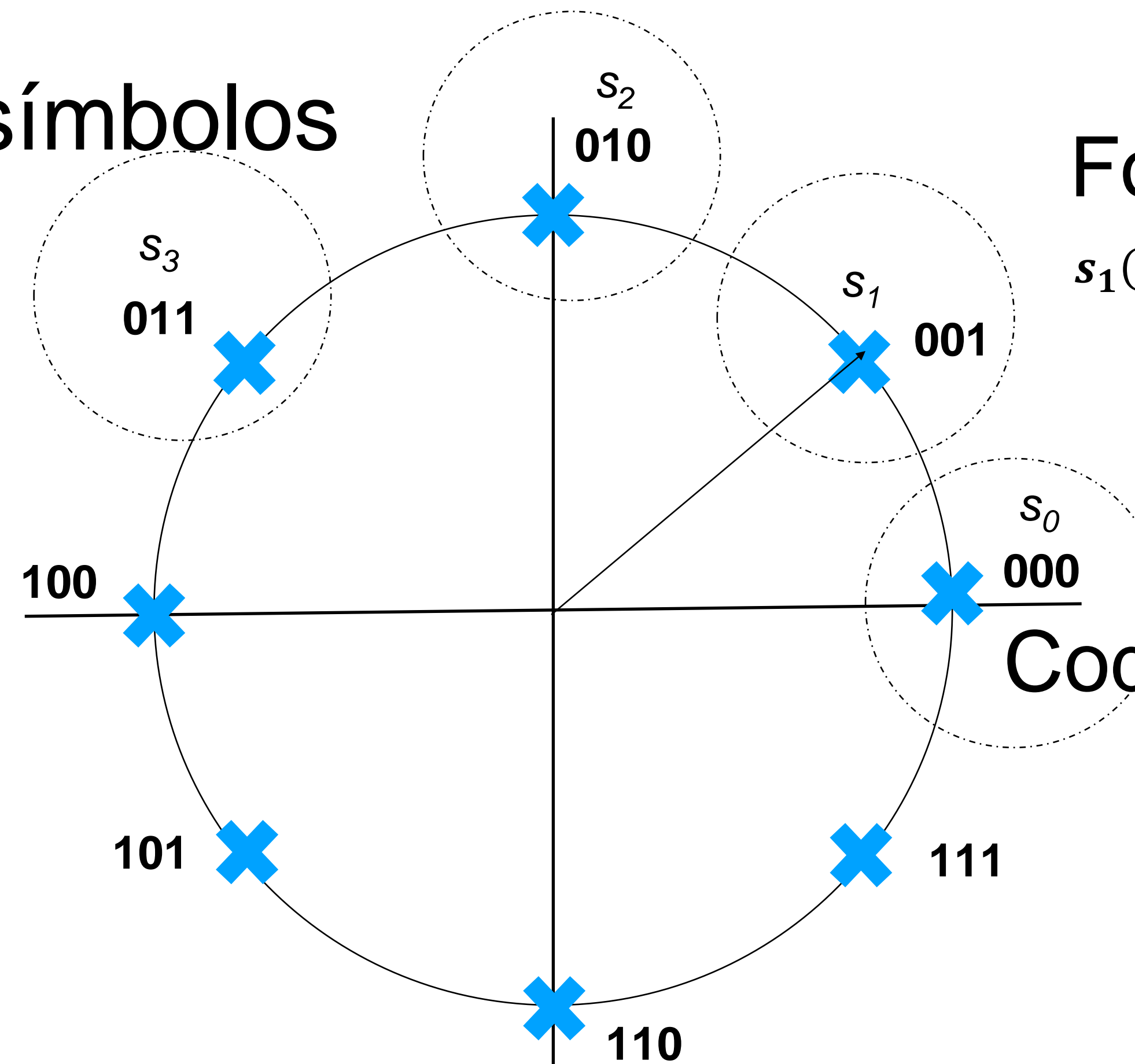
Mapear símbolos em formas de onda para transmissão por um dado canal

Codifica uma sequência de bits de comprimento finito em um dos sinais transmitidos

O receptor minimiza a probabilidade de erro decodificando o sinal como um do conjunto de possíveis sinais transmitidos

O que caracteriza a modulação digital?

Conjunto de símbolos



Forma de onda

$$s_1(t) = A \sin(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4})$$

Codificação de bits

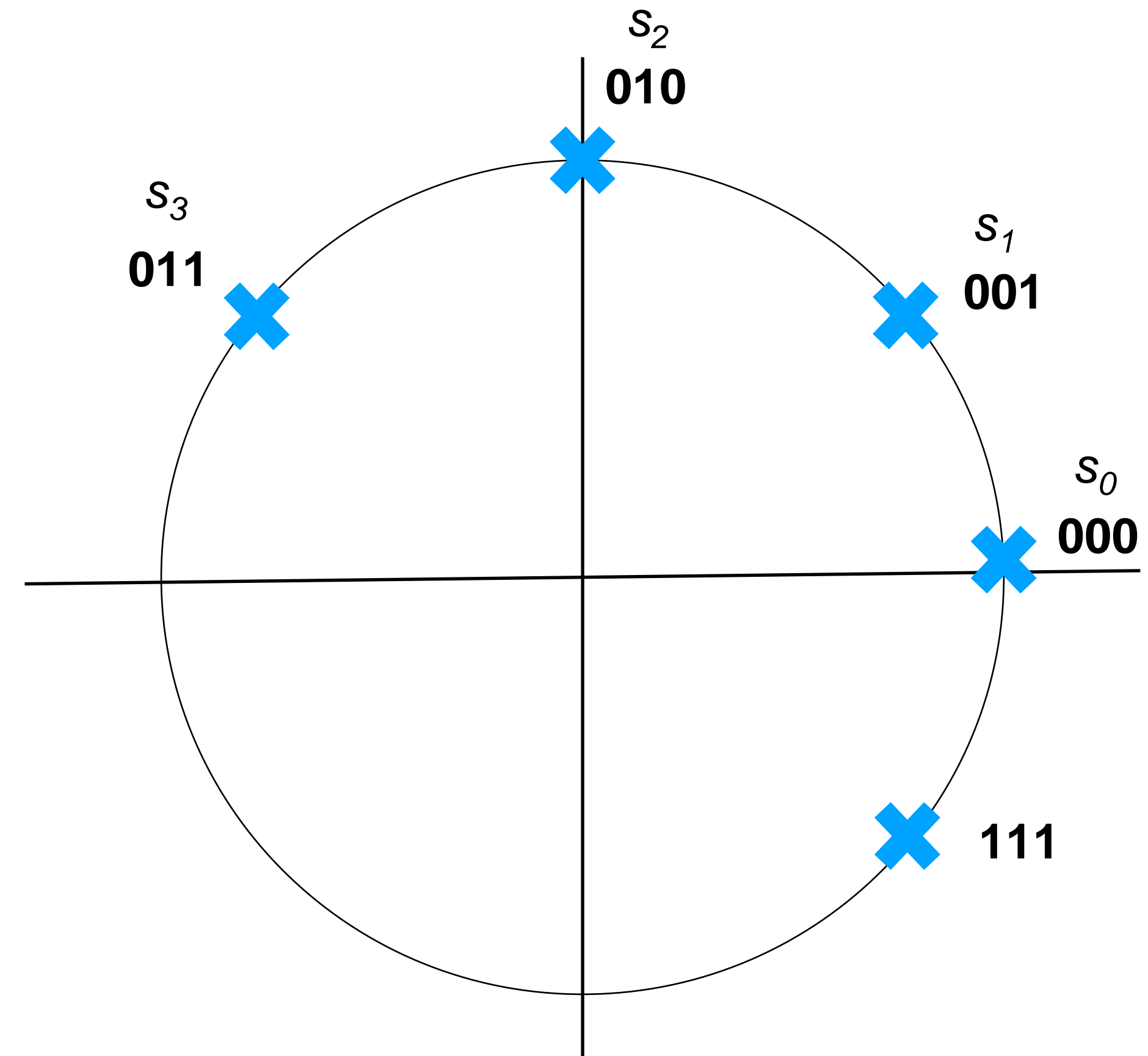
O que caracteriza a modulação digital?

Seja uma mensagem

$$\{s_3, s_2, s_1, s_0, s_1, \dots, s_7\}$$

que implica uma sequência de bits a transmitir

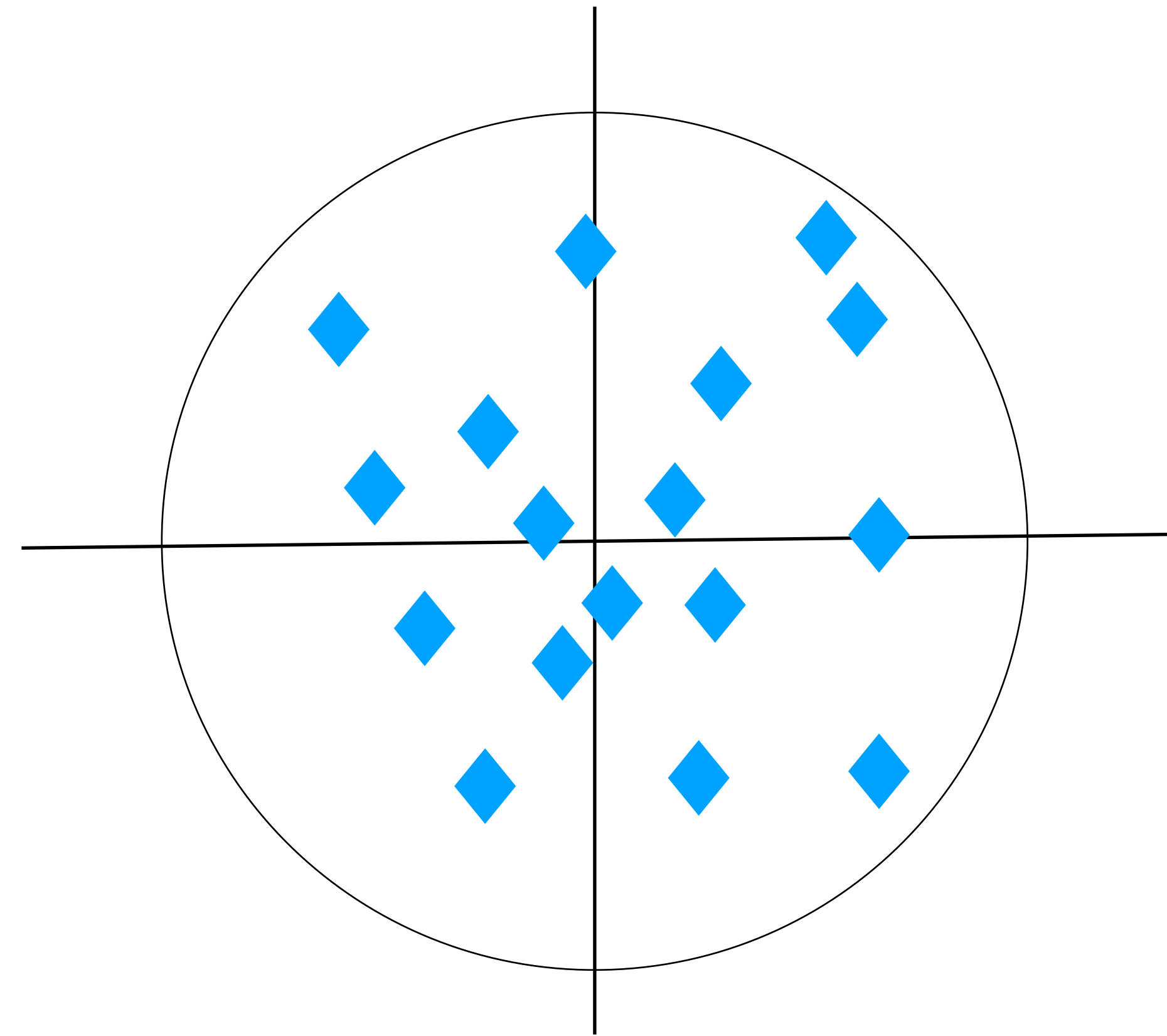
$$\{011, 010, 001, 000, 001, \dots, 111\}$$



O que caracteriza a modulação digital?

que implica recebimento de formas de onda afetadas pelo canal.

Quais são os símbolos da mensagem? Decidir pela menor probabilidade de erro.



Categorias

- modulação em amplitude
- modulação em quadratura
- modulação em fase

Modelo do sistema

- Na modulação digital para cada mensagem m_i , o transmissor envia um sinal s_i , modulando a mensagem a ser transmitida
- Para cada sinal transmitido o receptor deve determinar a melhor estimativa de s_i , logo de m_i , dado que o sinal recebido foi $x(t)$.



Modelo do sistema

- As mensagens pertencem a um conjunto $M = \{m_1, m_2, \dots, m_M\}$ e cada mensagem possuir uma probabilidade de ser transmitida p_i
- Matematicamente, o receptor deve minimizar a probabilidade de erro, dada por

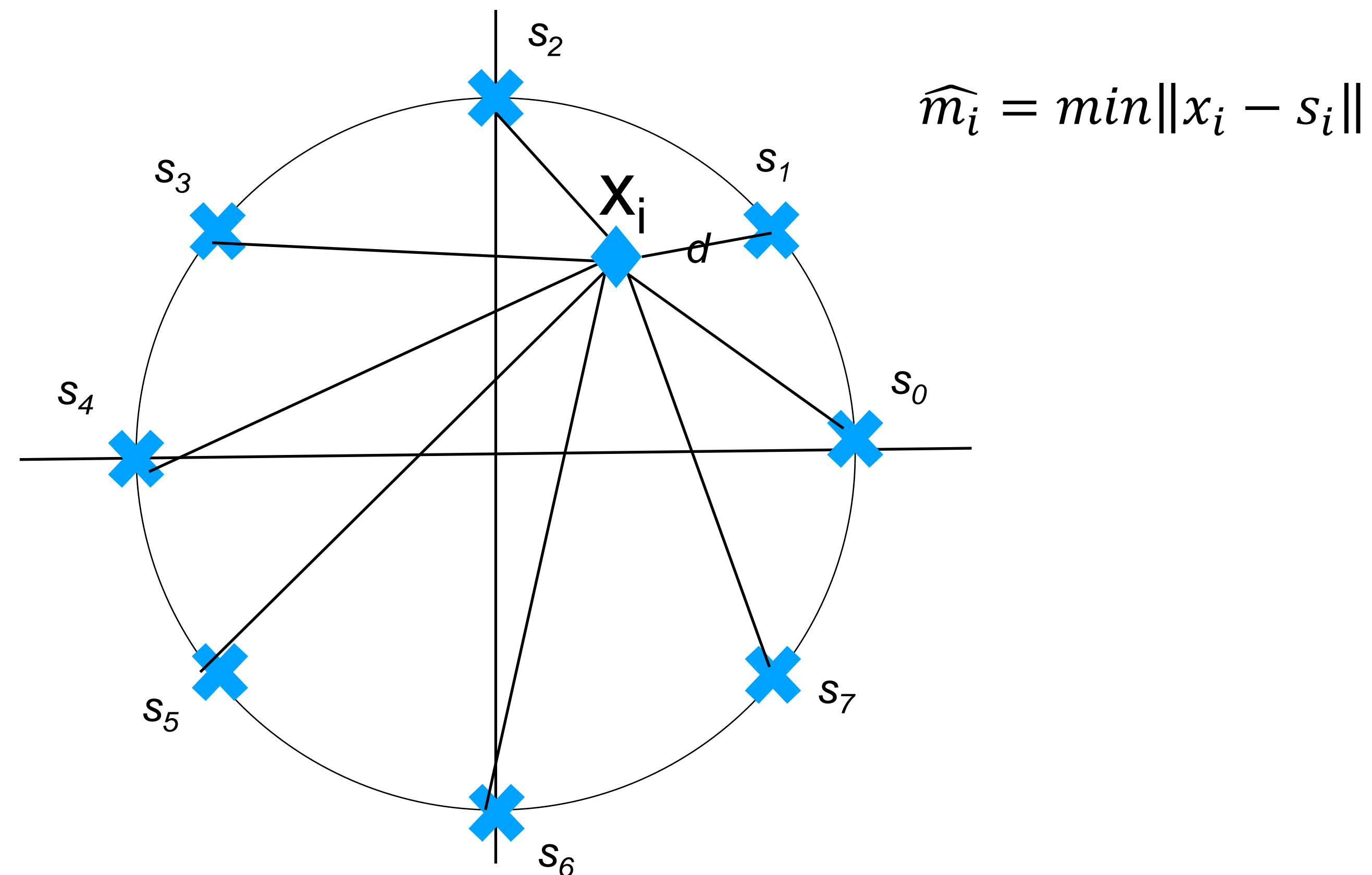
$$P_e = \sum_{i=1}^M p_i \cdot P(\hat{m} \neq m_i | m_i \text{ enviado})$$

, onde \hat{m} é a mensagem selecionada, m_i é a mensagem enviada e p_i sua probabilidade no conjunto de mensagens.

- O problema do receptor é identificar a solução ótima do problema de minimização do erro.

Modelo do sistema

- Admitindo que os símbolos recebidos definem um vetor \mathbf{x} , pode-se escolher a mensagem $\hat{\mathbf{m}}$ cujos símbolos \hat{m}_i estão mais próximos do sinal recebido.



Esquemas de modulação digital

- Modulação por amplitude de pulsos (PAM, do inglês *Pulse Amplitude Modulation*)
- Modulação com Chaveamento por Deslocamento de Fase (PSK, do inglês *Phase Shift-Keying*)
- Modulação em Quadratura (QAM, do inglês *Quadrature Amplitude Modulation*)

PAM

- Na modulação PAM, M símbolos são definidos para k bits por intervalo de sinalização T_s , tal que $2^k = M$.
- A amplitude da portadora é definida por

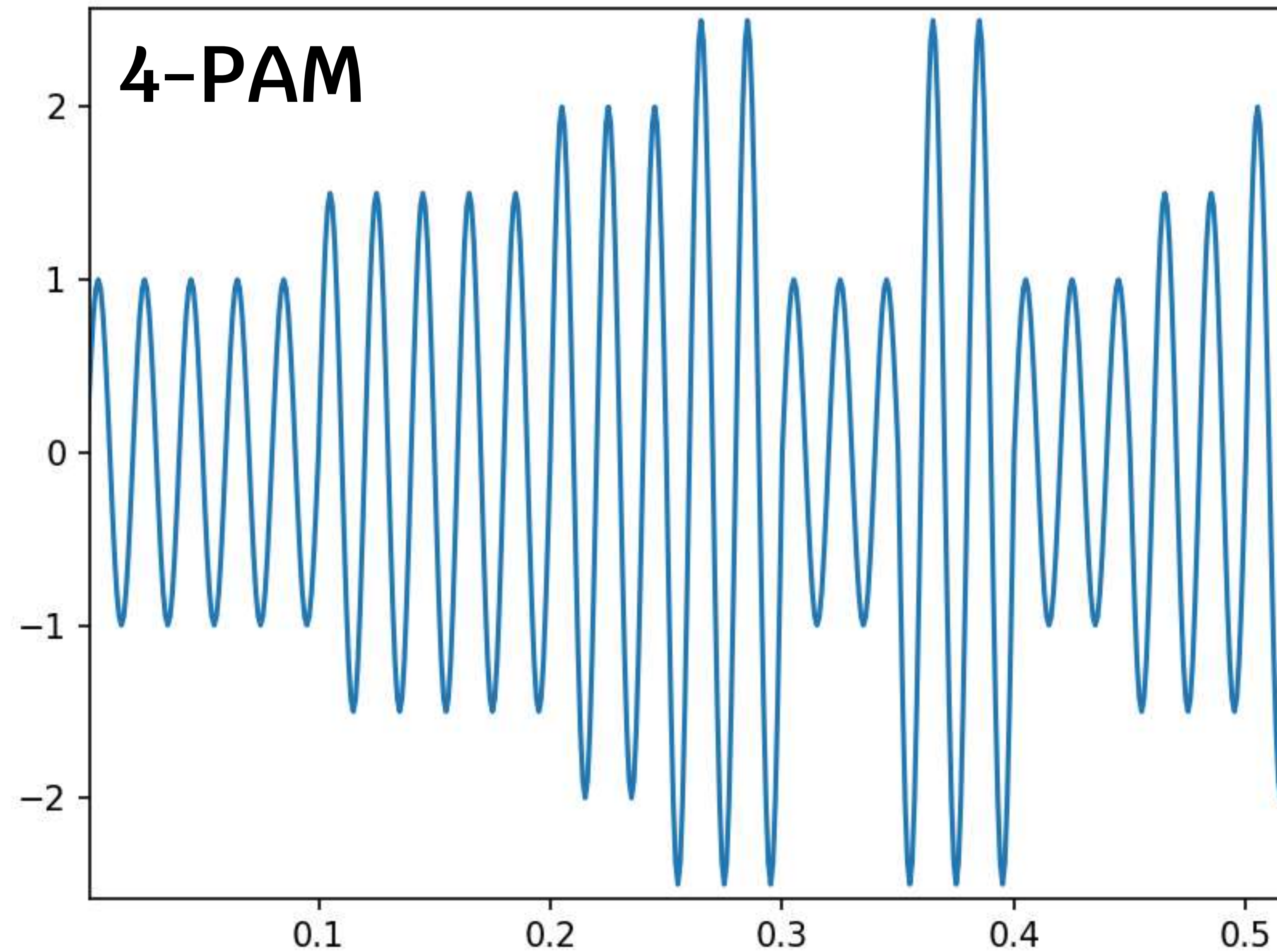
$$s(t) = A_m \cdot a(m_i) \cdot \text{sen}(2\pi f_c t) \text{ tal que } a(m_i) = N_j, j = 1, \dots, M$$

4-PAM

- Na modulação PAM, 4 símbolos são definidos para 2 bits por intervalo de sinalização T_s : $00 - s_0$; $01 - s_1$; $10 - s_2$; $11 - s_3$
- Seja a sequência

$m = ['s1', 's1', 's2', 's2', 's3', 's4', 's1', 's5', 's1', 's2', 's3', 's4', 's4', 's1', 's2', 's3', 's2', 's4', 's1', 's1']$

$m = ['s1','s1','s2','s2','s3','s4','s1','s5','s1','s2','s3','s4','s4','s1','s2','s3','s2','s4','s1','s1']$



PSK

- Na modulação PSK, M símbolos são definidos para k bits por intervalo de sinalização T_s , tal que $2^k = M$.
- A fase da portadora é definida por

$$s(t) = A_m \cdot \text{sen}[2\pi f_c t + \phi(m_i)] \text{ tal que } \phi(m_i) = \phi_j, j = 0, \frac{2\pi}{M}, \dots, \frac{2\pi(M-1)}{M}$$

4-PSK

- Na modulação PAM, 4 símbolos são definidos para 2 bits por intervalo de sinalização T_s : $00 - s_0$; $01 - s_1$; $10 - s_2$; $11 - s_3$
- Seja a sequência

$$m = ['s1', 's1', 's2', 's2', 's3', 's4', 's1', 's5', 's1', 's2', 's3', 's4', 's4', 's1', 's2', 's3', 's2', 's4', 's1', 's1']$$

Referências

[1] Alencar, Marcelo S.; Telefonía Celular Digital; Capítulo 4; érica Saraiva;



IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**