

Curso: Engenharia de Computação

Sistemas de Comunicações Móveis

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

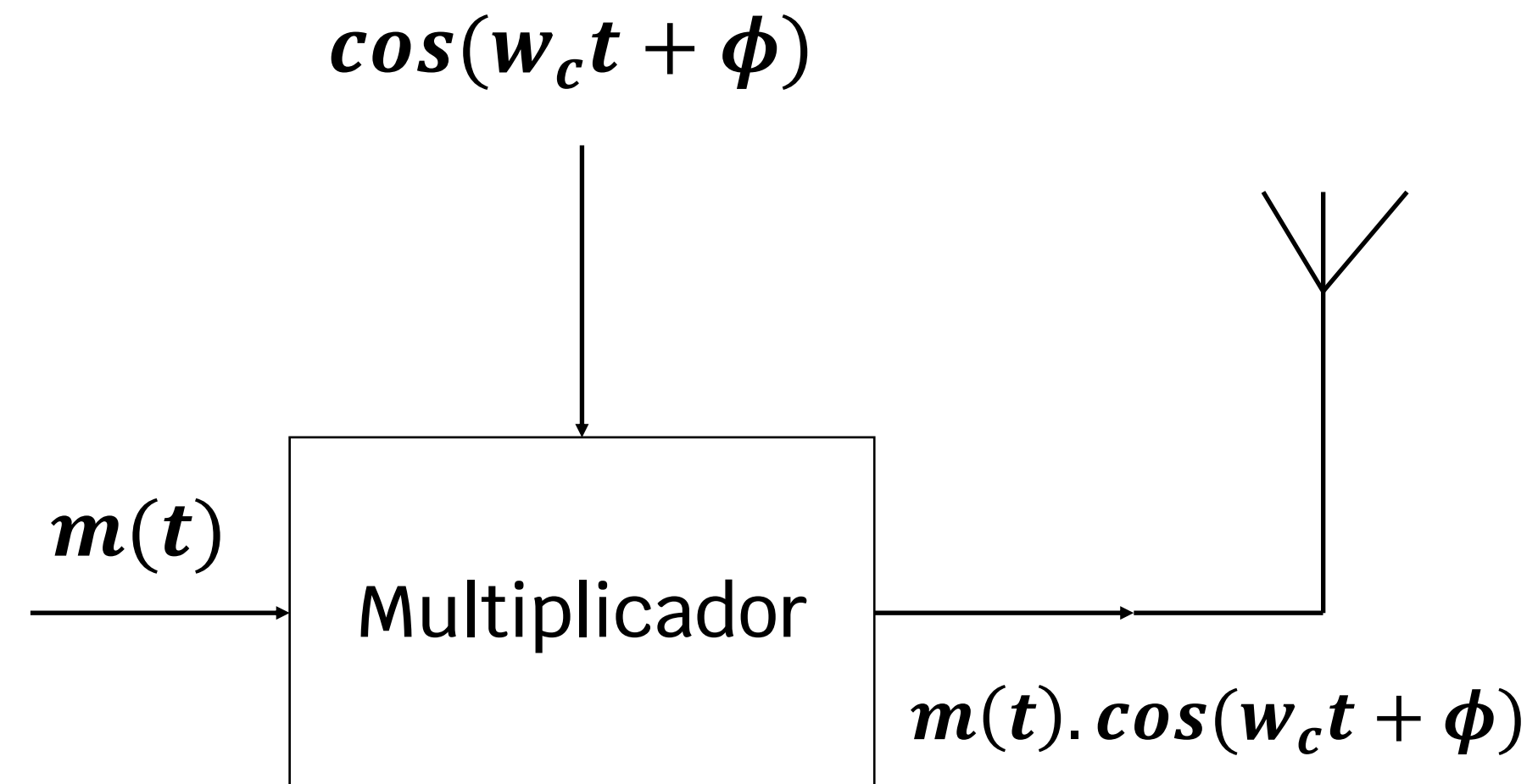


Modulação

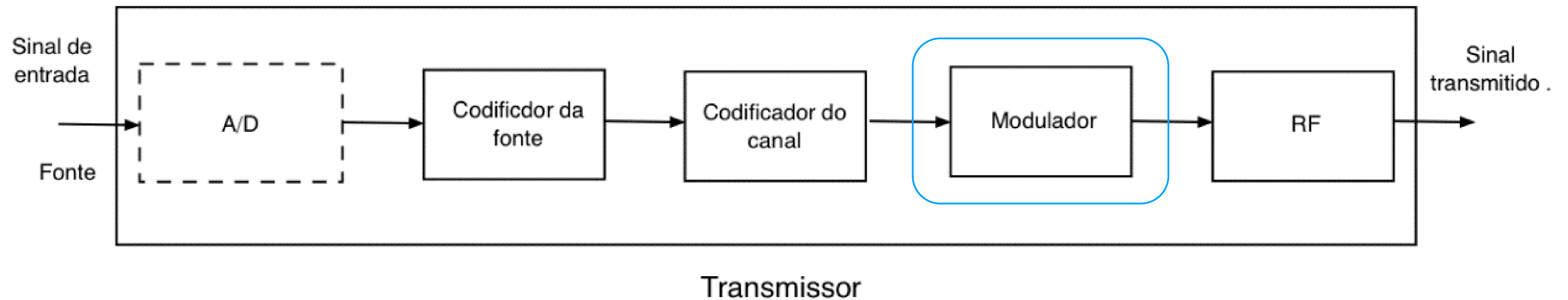
Modulação

- 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**.
- 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.
- Propicia: (i) transmissão mais eficiente; (ii) superação das limitações de hardware; (iii) redução de ruído e interferência; (iv) definição da frequência de transmissão; (v) multiplexação de sinais

Modulação analógica



Transmissor 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?

1. Codifica uma sequência de bits de comprimento finito em um conjunto de símbolos
2. Mapeia símbolos em formas de onda para transmissão por um dado canal
3. O receptor minimiza a probabilidade de erro decodificando o sinal como um do conjunto de possíveis sinais transmitidos

O que caracteriza a modulação digital?

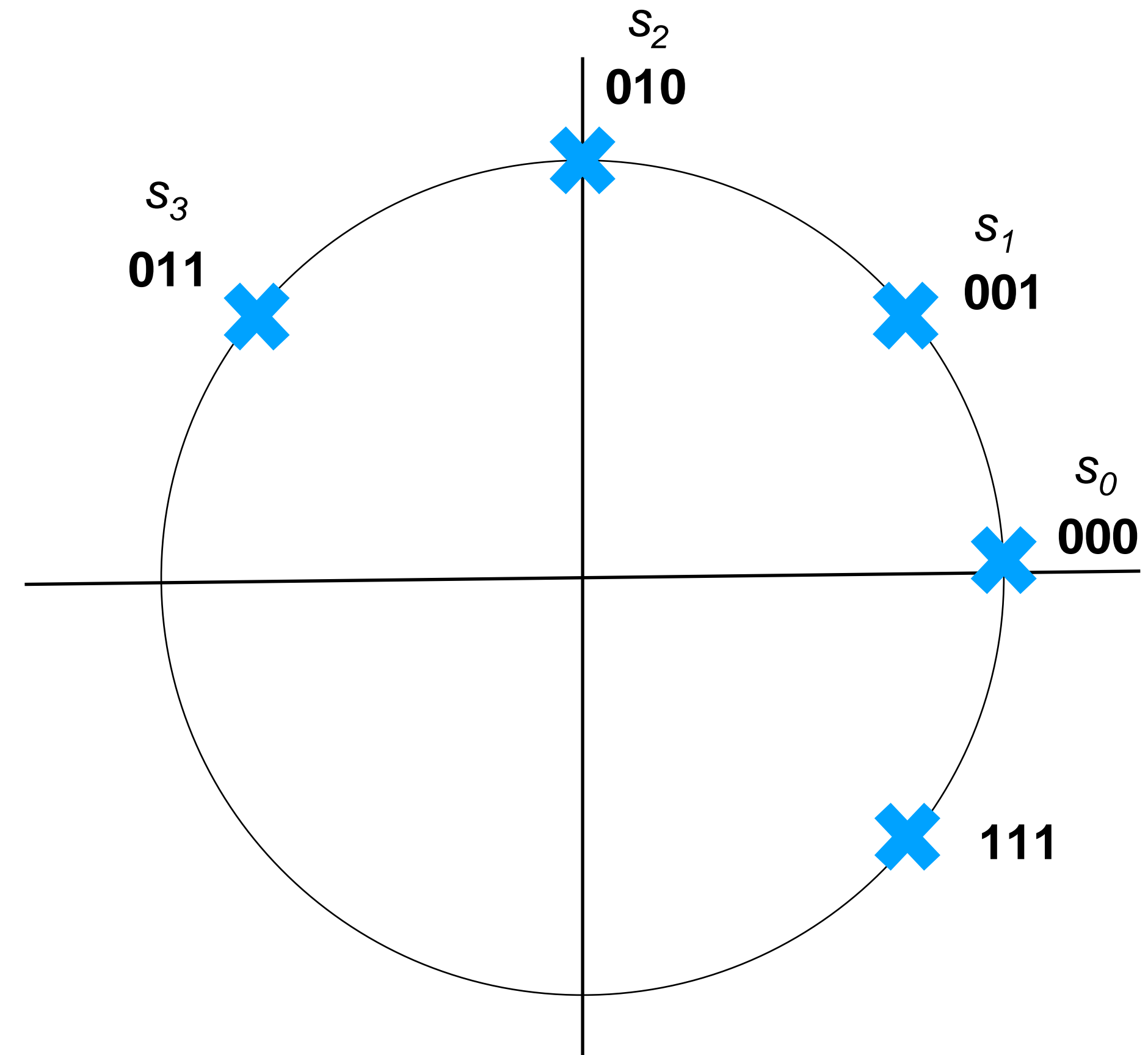
Seja uma sequência de bits a transmitir

$\{011010001000001 \dots 111\}$

Codificados em uma sequência

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

formada por símbolos



O que caracteriza a modulação digital?

Mapeia em formas de onda

$$s_3(t) = A \sin(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4})$$

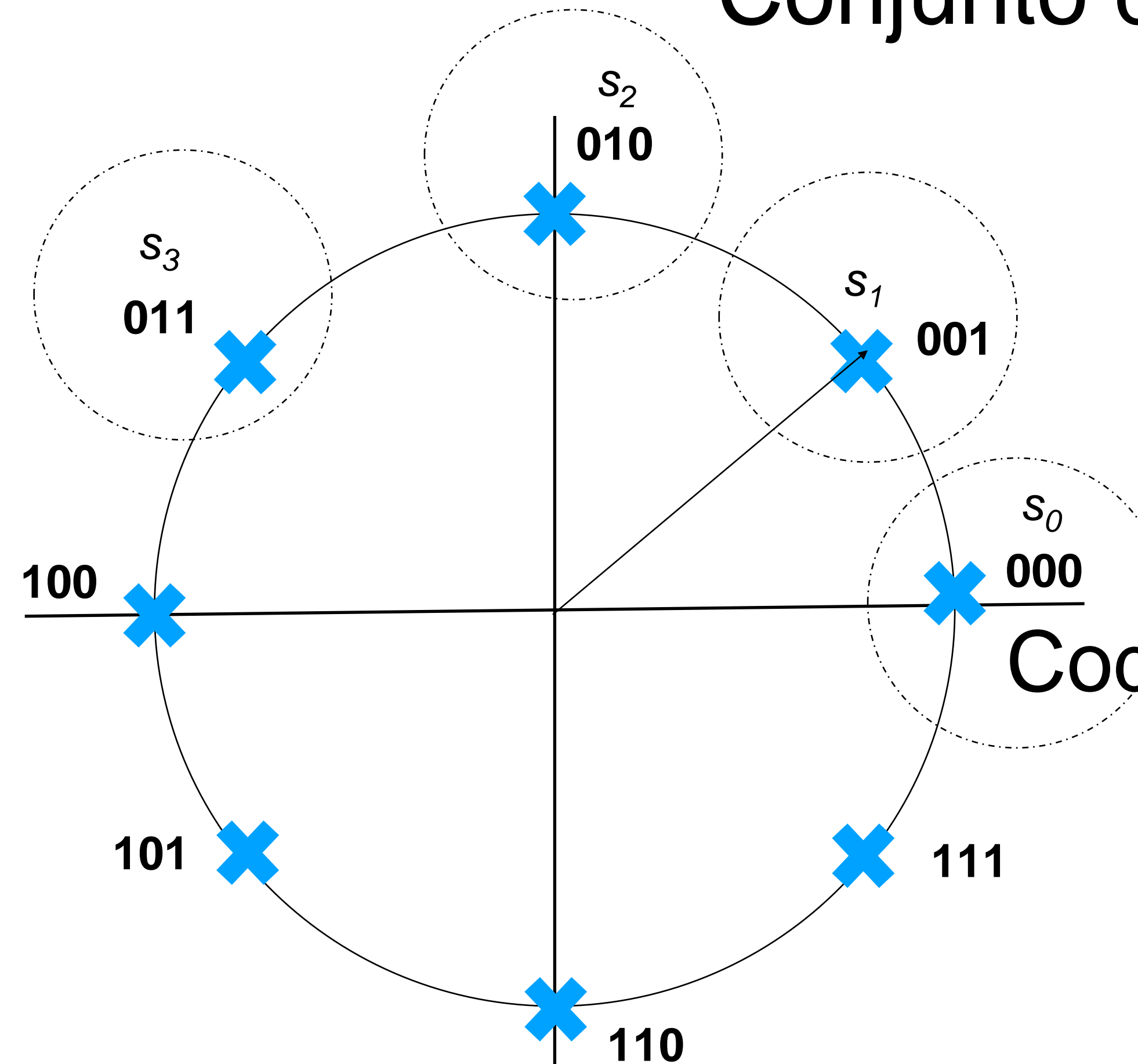
$$s_2(t) = A \sin(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2})$$

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

$$s_0(t) = A \sin(2\pi f_c t)$$

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

Conjunto de símbolos

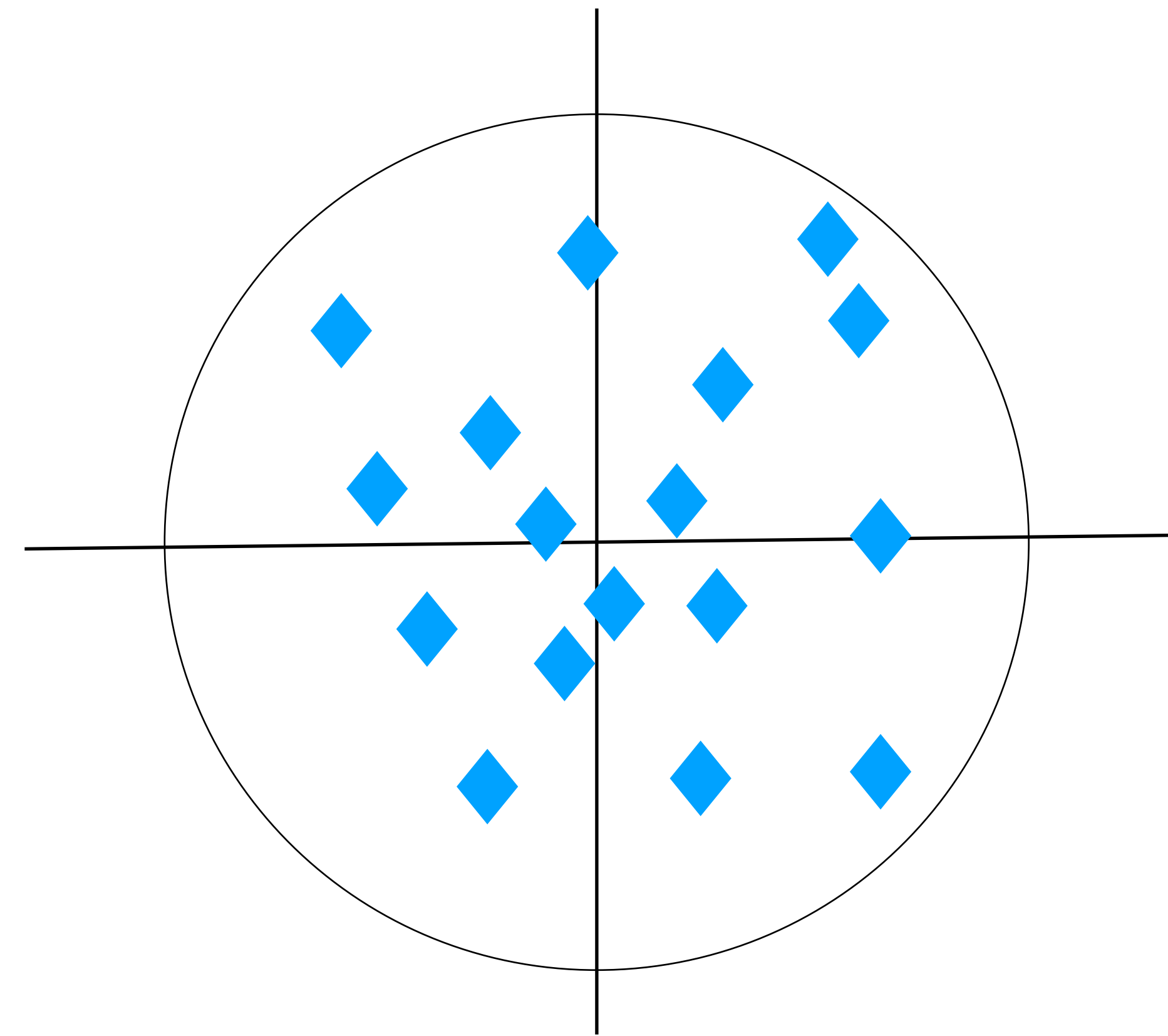


Codificação de bits

O que caracteriza a modulação digital?

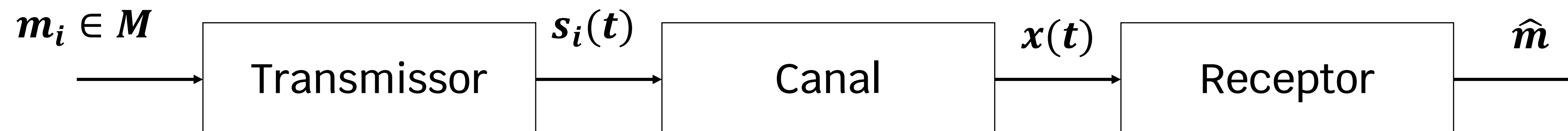
que implica recebimento de formas de onda afetadas pelo canal em **amplitude e fase**.

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



Modulação-Demodulação

- Na modulação digital, para cada mensagem m_i (sequência de bits de comprimento finito), o transmissor envia uma sequência de símbolos mapeados na forma de onda do sinal s_i
- Para cada forma de onda do sinal transmitido o receptor deve determinar a melhor estimativa de s_i , logo de m_i , dado que o sinal recebido foi $x(t)$.



Modulação-Demodulação

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

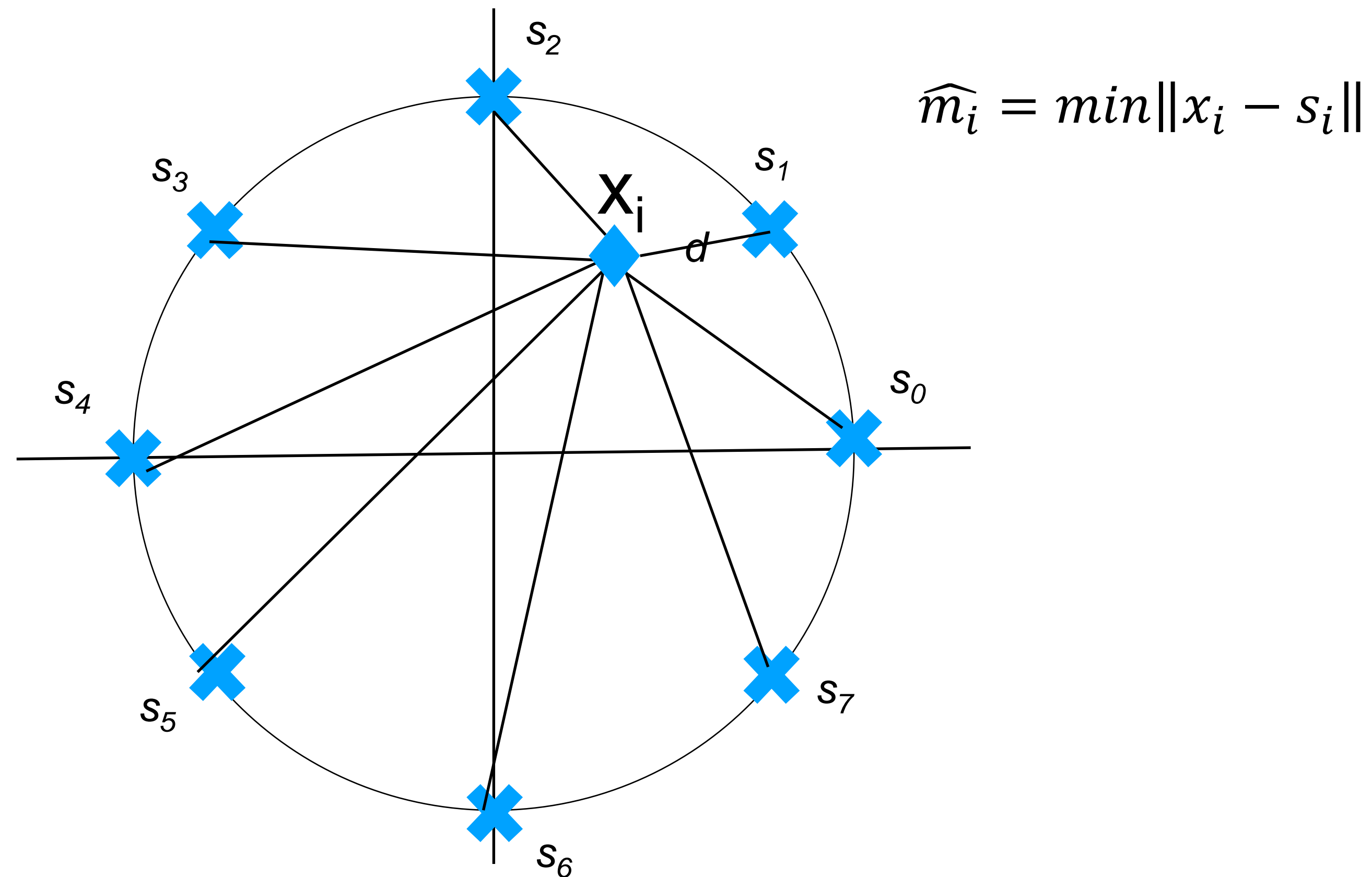
$$P_e = \sum_{i=1}^M p_i \cdot P(\hat{m} \neq m_i | m_i \text{ enviado})$$

, 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.

Modulação-Demodulação

- 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*)

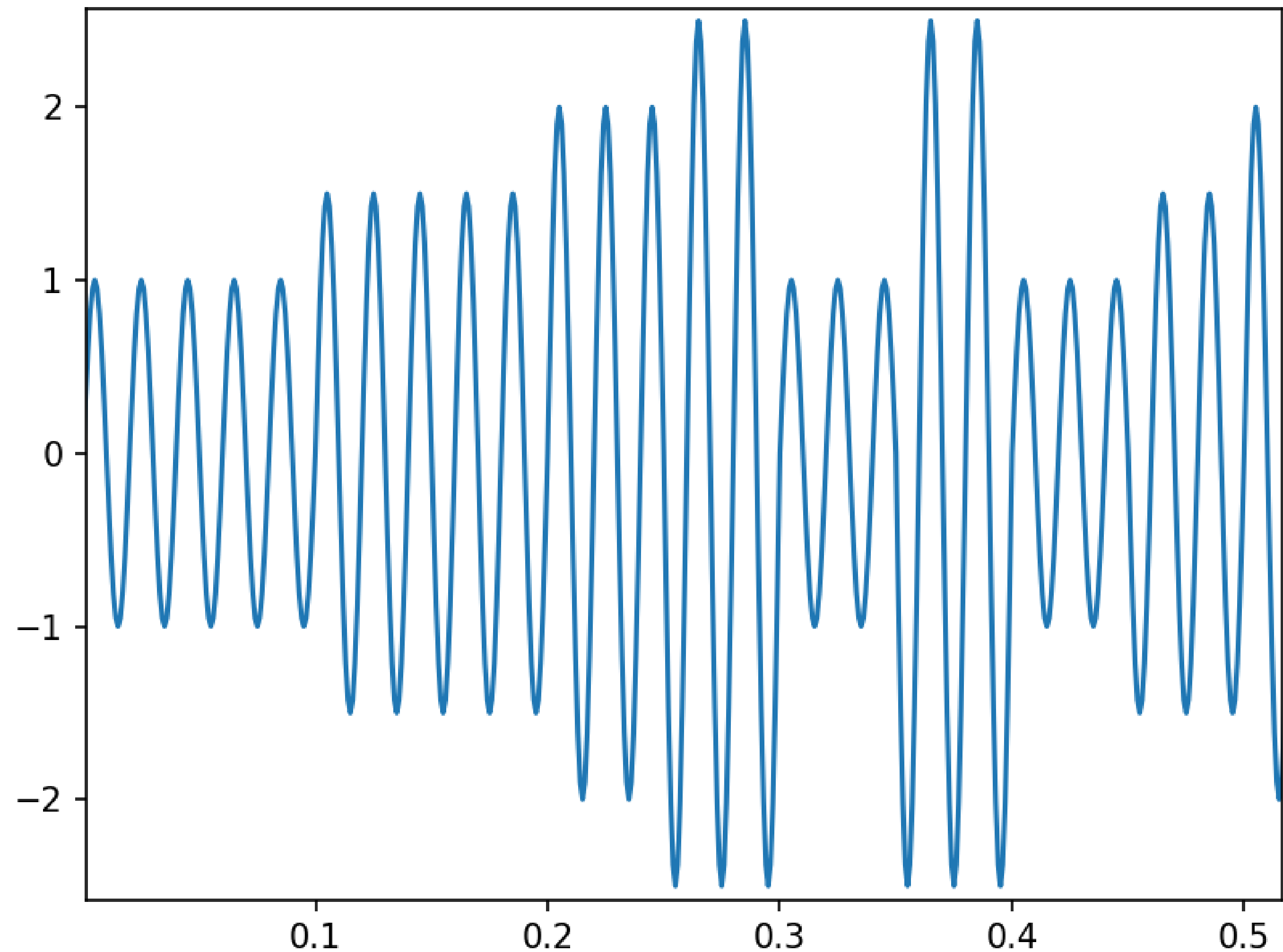
PAM

- Na modulação PAM, para k bits por intervalo de sinalização T_s são definidos M símbolos, tal que $2^k = M$.
- A forma de onda tem amplitude da portadora 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 4-PAM, para 2 bits por intervalo de sinalização T_s são definidos 4 símbolos: 00 – s_0 ; 01 – s_1 ; 10 – s_2 ; 11 – s_3



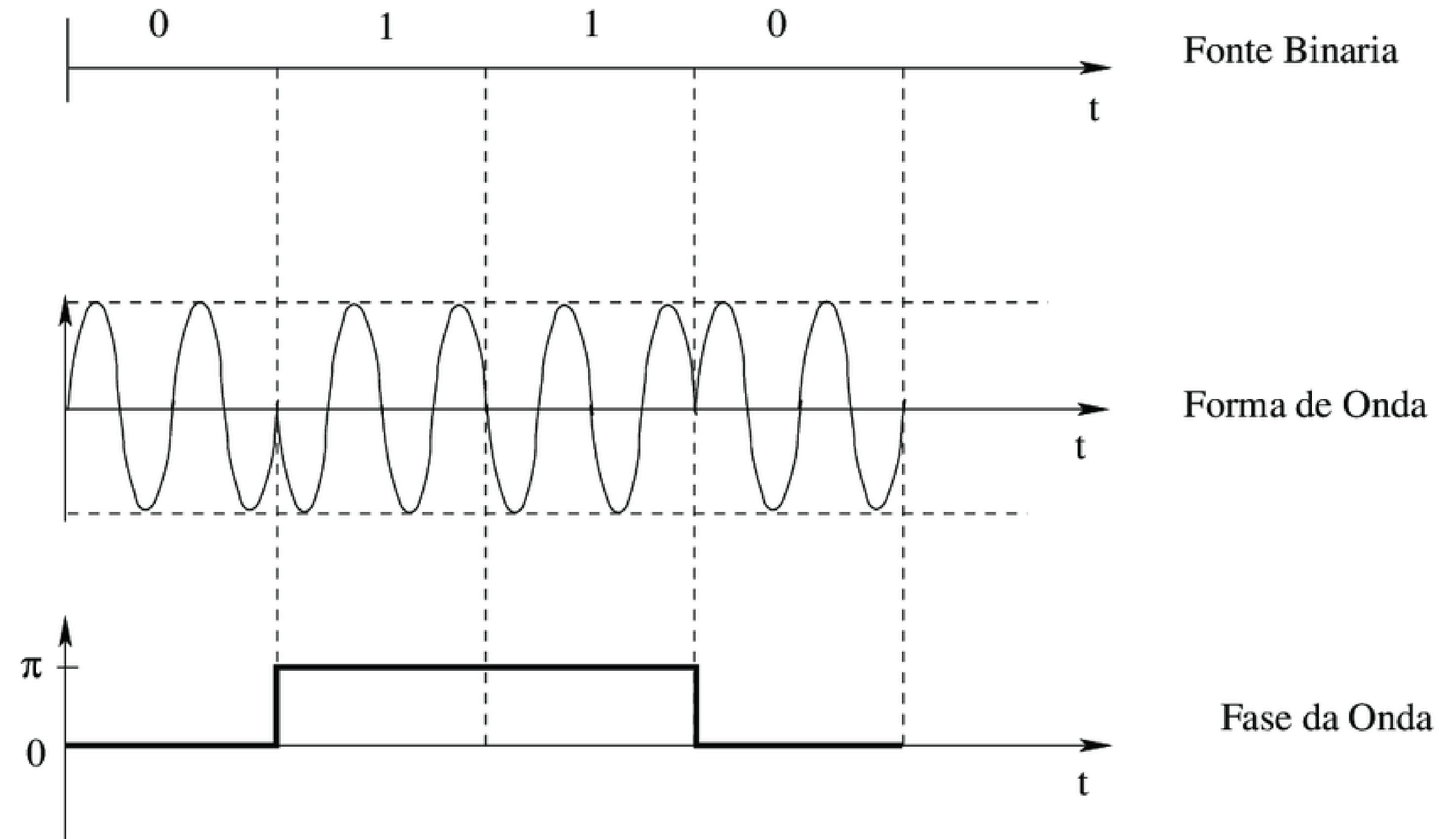
PSK

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

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

2-PSK

- Na modulação 2-PSK, 2 símbolos são definidos para 1 bit por intervalo de sinalização T_s :
 $0 - s_0$; $1 - s_1$



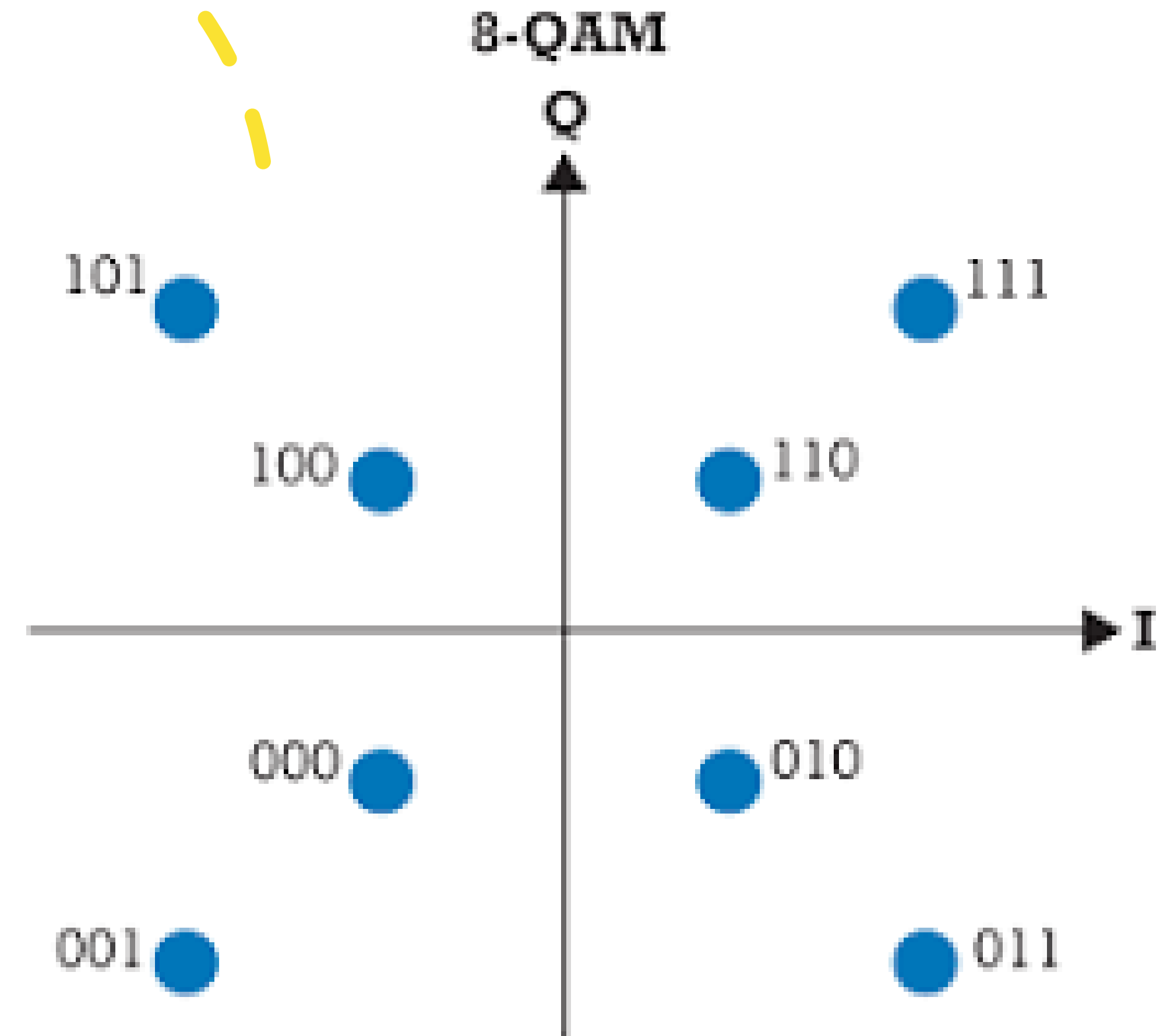
QAM

- No esquema de modulação QAM, os bits são utilizados para modular a **fase e a amplitude**. Ou seja, o esquema M-QAM tem dois graus de liberdade.
- Para k bits por intervalo de sinalização T_s são definidos M símbolos, tal que $2^k = M$. A forma de onda tem a amplitude e a fase da portadora definida por

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

8-QAM

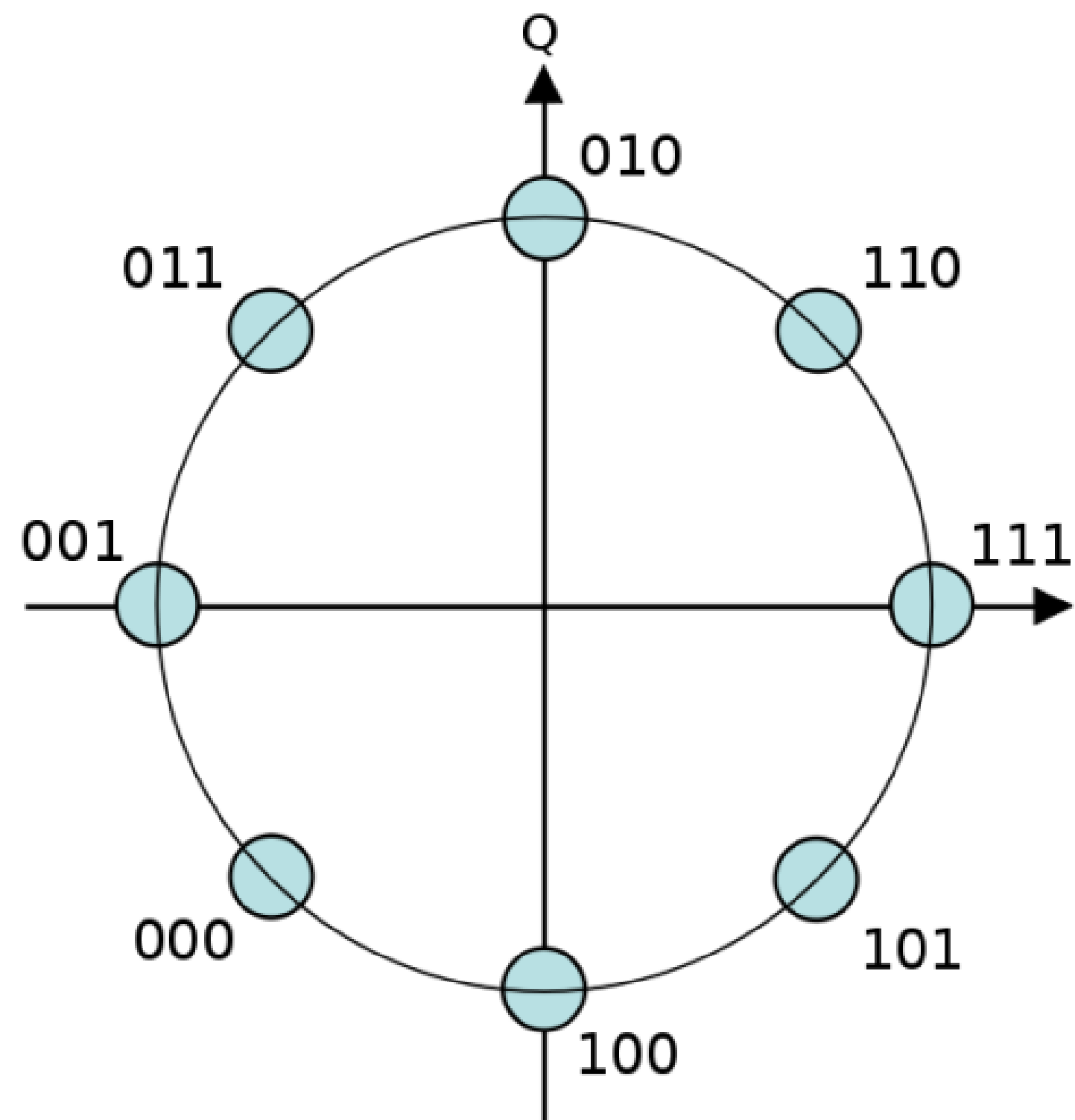
- Na modulação 8-QAM, 8 símbolos são definidos para 3 bits por intervalo de sinalização T_s :
000 – s_0
; 001 – s_1 ; ...



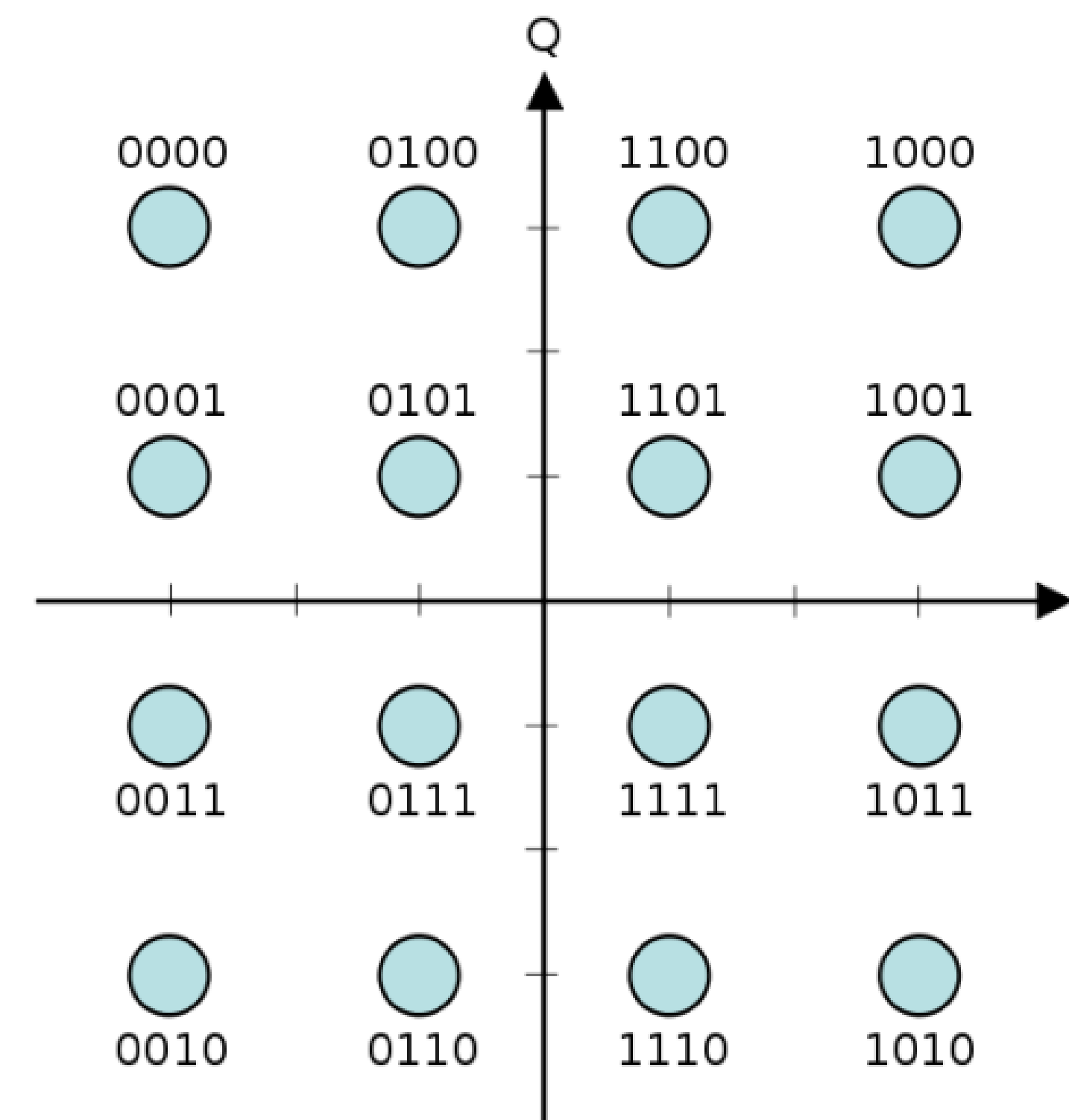
Diagramas de constelação

- Possibilita a representação genérica da forma de onda de um esquema de modulação digital.
- Apresenta em um plano as variações de amplitude e fase de cada símbolo do esquema de modulação.

Diagramas de constelação



8-QPSK



16-QAM

Referências

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



IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**