

# Utilização do Algoritmo de Inteligência Artificial K-Means em Partições QAM de Modulações 4D mPolSK-8PSK

Jonatas X. Yamaguti<sup>1</sup> Danyel M. Doval<sup>2</sup> Ivan A. A. Garde<sup>3</sup> Cintya W. O. Benedito<sup>4</sup>  
Faculdade de Engenharia, Unesp, São João da Boa Vista, SP

O algoritmo de inteligência artificial K-means será utilizado neste trabalho com o objetivo de construir limiares de decisão nas partições QAM das modulações mPolSK-8PSK nos planos  $(x_1, x_2)$  e  $(x_3, x_4)$  a partir de um sistema de transmissão ruidoso. Baseando-se em sua capacidade de clusterização e análise automática de dados, o estudo do K-means fornece meios sobre como separar os pontos da modulação de forma eficiente, mesmo em cenários de ruído elevado. O algoritmo K-means é um método de aprendizado não supervisionado utilizado para realizar a clusterização de dados. Sua função principal é dividir um conjunto de dados em grupos distintos, sem a necessidade de classificação prévia. Durante sua execução, o K-means atribui automaticamente as informações fornecidas em clusters, baseando-se em análises comparativas entre os dados [1]. Neste trabalho, iremos apresentar as modulações mPolSK-8PSK para  $m = 4, 6, 8, 12, 16$  utilizando códigos esféricos ótimos, realizar o rotulamento dos pontos por meio da álgebra dos quatérnios e, por fim, apresentar a utilização do algoritmo de inteligência artificial K-means para amenizar os efeitos do ruído em um sistema de comunicação ruidoso.

De modo a exemplificar as construções realizadas motivadas por [2], apresentamos, na Figura 1, a modulação 8PolSK-8PSK. Na Figura 1(a), temos a configuração ótima no  $S^2$  para oito pontos, a qual é dada por um antíprisma quadrado. Aplicando o mapeamento inverso da fibração de Hopf nas coordenadas obtidas a partir do código esférico ótimo considerado e, em seguida, a projeção estereográfica, obtemos os 8 círculos da esfera  $S^3$  na esfera  $S^2$  apresentados na Figura 1(b), de modo que em cada círculo são consideradas 8 amostras da modulação PSK, gerando assim a modulação 8PolSK-8PSK. Por fim, excluindo os círculos, na Figura 1(c) temos a constelação de sinais óptima da modulação 8PolSK-8PSK, onde cada cor está associada ao respectivo ponto na esfera  $S^2$ , de acordo com a Figura 1(a).

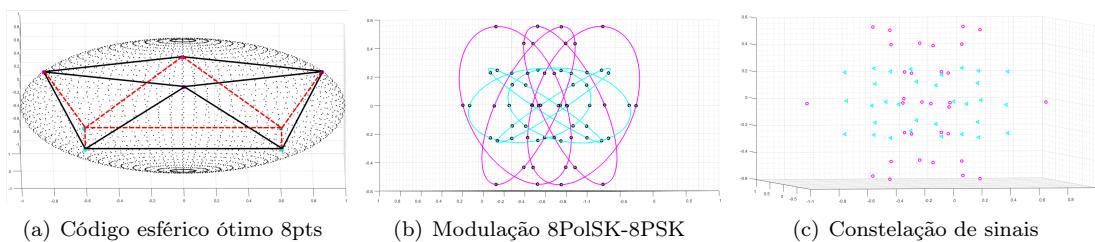


Figura 1: Modulação 8PolSK-8PSK utilizando códigos esféricos ótimos. Fonte: próprio autor.

O rotulamento das coordenadas  $(x_1, x_2, x_3, x_4) \in \mathbb{R}^4$  dos  $m \cdot 8$  símbolos das constelações de sinais é realizado via álgebra dos quatérnios e, em seguida, os símbolos são representados em

<sup>1</sup>jonatas.yamaguti@unesp.br

<sup>2</sup>danyel.doval@unesp.br

<sup>3</sup>ivan.aldaya@unesp.br

<sup>4</sup>cintya.benedito@unesp.br

partições bidimensionais QAM. Através do isomorfismo existente entre o espaço  $\mathbb{R}^4$  e a álgebra dos quatérnios, no caso de  $m = 8$  pontos, podemos escrever cada um dos 64 símbolos da constelação de sinais como um quatérnio na forma  $x = x_1 + x_2 \cdot i + x_3 \cdot j + x_4 \cdot k$ . Utilizando a representação de Cayley–Dickson, obtemos dois conjuntos de coordenadas complexas na forma  $z_1 = x_1 + x_2 \cdot i$  e  $z_2 = x_3 + x_4 \cdot i$  para cada um dos 64 símbolos, como na Figura 2.

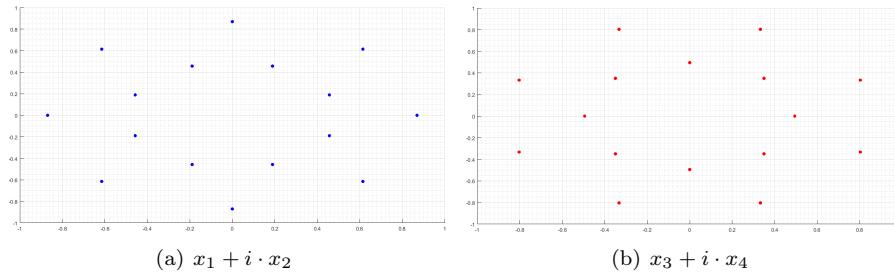


Figura 2: Partições QAM para 8 pontos ótimos. Fonte: próprio autor.

No contexto descrito, ao acrescentar ruído AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) ao sistema 8PolSK–8PSK com SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) de 15 dB e aplicando o algoritmo K-means para determinar a posição dos centróides das partições QAM, obtemos os resultados apresentados na Figura 3.

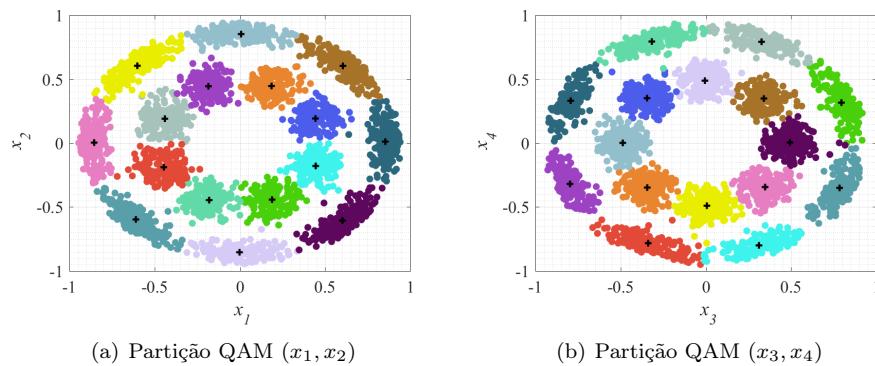


Figura 3: Clusters e Centróides com ruído de 15dB. Fonte: próprio autor.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao PIBITI/CNPq 10/2023 - Proc. 9429, PIBITI/Reitoria 9/2024 - PIBITI - Proc. 16737 e Fapesp 2020/03613-7 e 2024/05051-7.

## Referências

- [1] E. Alpaydin. **Introduction to Machine Learning**. 3a. ed. Cambridge (MA): MIT Press, 2014. ISBN 978-0-262-02818-9.
- [2] F. A. Rodrigues, G. Temporão e J. P. Weid. “Constructive methods for the design and labeling of four-dimensional modulations”. Em: **Journal of Communication and Information Systems** 33(1) (2018), pp. 257-270. DOI: 10.14209/jcis.2018.26.