

# Um aprendizado de classificação do esquema de modulação para rede assistidas por VANT

FLAVIO SOUZA<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>Instituto Federal de São Paulo (e-mail: flavio.souza@ifsp.edu.br)

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica

## ABSTRACT TODO

INDEX TERMS Classificação de Modulação Automática, Classificação de Modulação, 5G, VANT

## 1. INTRODUÇÃO

OS Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ofertam uma ampla gama de aplicações civis, comerciais, militares e recreativas. Por decorrência da sua flexibilidade em aplicação, a utilização dos VANTs torna recorrente em ambientes Rurais e Urbanos. Os recentes avanços na tecnologia de VANTs tornam possível implantação destes para fins de comunicação sem fio. [2] afirmam que, se implantados e operados adequadamente, os VANTs podem fornecer soluções de comunicação sem fio confiáveis e econômicas para uma grade variedade de cenários do mundo real. Motivados pelas comunicações sem fio assistidas por VANT, [3] propõem uma nova arquitetura para o provisionamento de rede por VANTs. Um grupo de VANTs são despachados para sobrevoarem uma área provendo um sinal de rede. Segundo [3], ao otimizar a trajetória do VANT juntamente com o agendamento de comunicação, as distâncias entre o VANT e os usuários atendidos no solo podem ser efetivamente reduzidas, melhorando significativamente a taxa de transferência do sistema.

Com o desenvolvimento e implantação do 5G, a Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) se tornam mais incidentes na sociedade com adesão dessa tecnologia. Dado o crescente número de dispositivos IoT, consequente, haverá uma explosão de dados e será crescente o número de conexões na rede 5G. O provisionamento de comunicação na rede assistida por VANTs também tem esse desafio. A rede 5G e a rede VANT, quando combinadas para ofertar um serviço, podem apresentar uma alta performance e ser mais segura, desempenhando um papel importante e expressivo no mundo real tanto para as conexões humanas, como celulares, e/ou recursos IoT, como sensores e monitores [1].

No entanto, essa rede 5G assistida por VANT, são mais suscetíveis a múltiplas conexões, como afirma [1]. Essas

conexões precisam de decodificadas de acordo com a modulação do dispositivos de origem. Ao receber o sinal de comunicação, estabelecido pela conexão, é difícil identificar, no canal, o correto o esquemas de modulação, ao ponto de comprometer a comunicação. Portanto, de acordo com [1], não é possível garantir a comunicação correta na rede 5G e VANT. Sob tais circunstâncias, não é possível obter as informações corretas na rede 5G assistida por VANT. As consequências da falha de comunicação podem ser drásticas ao ponto de sistemas, que utiliza de sensores IoT, expor a riscos vidas. [4] afirmam que o reconhecimento do sinal de comunicação é de grande importância para várias aplicações diárias, como regulação do operador, anti-interferência de comunicação e identificação do usuário. Um dos principais objetivos do reconhecimento de sinais é detectar recursos de comunicação, garantindo a troca de dados segura, estável, oportuna e confiável para as comunicações.

[1] enfatizam que, apenas quando identificando corretamente os esquemas de modulação no canal podem funcionar corretamente. Logo, a classificação de modulação é a principal tecnologia na rede 5G assistida por VANT. Como explica [7], para a área de telecomunicações, a fase de modulação é o processo que antecede a transmissão do sinal. Nesta etapa, de modulação, ocorre uma modificação do sinal eletromagnético que contem a informação que será transmitida. O modulo transmissor adiciona a onda eletromagnética, que contem a informação, um outro sinal eletromagnética (onda portadora). Essa informação poderá ser recuperada pelo modulo receptor em uma fase chamada demodulação (processo inverso ao da modulação). De acordo com [4], é nesta fase, de demodulação, que as rede 5G assistidas por VANTs podem ser penalizadas, prejudicando a conexão.

Para atingir o objetivo de reconhecimento de sinais, a classificação de modulação automática (AMC - *Automatic Mod-*

ulation Classification) é indispensável. Visto que há grande quantidade de modulações adotadas por diversos dispositivos [4]. [5] dizem que o AMC é um passo importante antes da demodulação. Esse processo ajuda a reconhecer de forma significativa o receptor que não possui ou tem informações limitadas sobre os sinais recebidos. [4] explicam que a AMC desempenha um papel essencial na obtenção de informações da banda de base digital a partir do sinal quando apenas um conhecimento limitado sobre os parâmetros está disponível.

[5] explicam que o AMC é utilizado para classificar o tipo de modulação de um sinal recebido e que geralmente, a maioria dos algoritmos AMC, classificam o sinal em duas categorias principais:

- os métodos baseados em máxima verossimilhança (ML) e
- os métodos baseados em características.

Segundo [4], a técnica AMC, é amplamente usada em aplicações militares e civis, por exemplo, detecção inteligente de rádio e anomalia cognitiva. Pois ajuda os usuários a identificar o modo de modulação nas faixas operacionais, o que beneficia a reconfiguração da comunicação e a análise do ambiente eletromagnético.

Como explicado por [4], embora muitas pesquisas tenham desenvolvido e aprimorado diversas técnicas e algoritmos para AMC, ainda existe muitos problemas e dificuldades. Pois não há conjuntos de dados representativos no campo da comunicação. Nos trabalhos de [4] e [5] foram considerados onze tipos de esquemas de modulação digital com tamanhos diferentes. Isso demonstra que uma implementação adequado de um AMC é complexo devido a sua diversidade de aplicação no mundo real. Como explicado no material [14], a identificação da modulação é uma tarefa desafiadora devido à variedade da banda de frequência que a onda pode ser formada. Essa onda eletromagnética pode sofrer interferência do ambiente em termos de condições de propagação e interferência de outras fontes.

[5] salientam que os sinais e as modulações são variáveis e difíceis de prever, porque as amostras consideradas são puramente teóricas sem a informação do ambiente e condições de transmissão real e em muitos casos empregam-se recursos artesanais que contribuem para a falta de caracterização.

Como apresentado por [9] e [1], o aprendizado de máquina, e especificamente o supervisionado, tem apresentado bons resultados na tarefa para a qual foram treinados. Logo, neste artigo, para enfrentar os desafios apresentados, propõe-se um classificador de esquema de modulação por aprendizado de máquina supervisionado.

Com base em materiais da Math Works [14]–[17], pretende-se gerar um *dataset* com as ondas de forma sintética, uma vez que a ferramenta, Math Lab, é amplamente utilizada em pesquisas e trabalhos de modelagem na comunidade de engenharia de comunicação. Sendo assim, é possível gerar de forma programaticamente um grande número de sinais I/Q (*In-phase and Quadrature components*) para cada tipo de modulação. Onde cada onda possui parâmetros únicos e os sinais resultantes são perturbados com várias

interferências para aumentar a fidelidade do modelo. Para a validar o modelo, propõe-se usar de uma média performática com *k-folds*, visto que a proposta utiliza de um modelo supervisionado.

## II. DESCRIÇÃO DO DATASET

### A. MATLAB

De propriedade da MathWorks, o MATrix LABoratory (LAB-oratório de MATrizes) MATLAB é uma ferramenta de computação numérica com vários paradigmas e linguagem de programação implementadas em um único ambiente. Utilizada fortemente por engenheiros e cientistas em todo o mundo, o MATLAB oferece recurso otimizados para analisar e projetar sistemas e produtos.

### B. CONSTRUÇÃO DO DATASET

O software MATLAB é usado na preparação do conjunto de dados (*dataset*). Com as orientações dos tutoriais [14], [16], esta trabalho pretende produzir um *dataset* com 8.000 quadros (*frames*) para oito tipos de modulação digital:

- 1) **8-PSK**: 8-ary Phase Shift Keying
- 2) **16-QAM**: 16-ary Quadrature Amplitude Modulation
- 3) **64-QAM**: 64-ary Quadrature Amplitude Modulation
- 4) **BPSK**: Binary Phase Shift Keying
- 5) **CPFSK**: Continuous Phase Frequency Shift Keying
- 6) **GFSK**: Gaussian Frequency Shift Keying
- 7) **QPSK**: Quadrature Phase Shift Keying
- 8) **PAM4**: 4-ary Pulse Amplitude Modulation

Com essas modulações definidas, da qual cada uma utiliza de técnicas distintas para modular onde os parâmetros de largura e frequência são alterados, é possível produzir, programaticamente, um grande número de sinais I/Q (*In-phase and Quadrature components*) para cada tipo de modulação.

O processo da modulação digital é a combinação do sinal digital discreto ( $S_d$ ) com o sinal portador analógico ( $S_p$ ) em um sinal de transmissão digital ( $S_r$ ) conforme expresso na 1. O sinal da portadora ( $S_p$ ) é escolhida entre os esquema de modulação listados anteriormente. Na construção do *dataset* cada ( $S_p$ ) terá a largura do pulso e a frequência de repetição são geradas aleatoriamente.

$$S_r(t) = S_p(t) \otimes S_d(t) \quad (1)$$

Com o proposito de aumentar a fidelidade do modelo, durante a construção do *dataset*, cada forma de onda de transmissão digital, os sinais resultantes ( $S_r$ ), passam por um canal de interferências onde são adicionados várias ruídos ao sinal resultante ( $S_r$ ):

- $R_a$  AWGN (*Additive white Gaussian noise*);
- $R_c$  Deslocamento de *clock*;
- $R_f$  Deslocamentos de fase e frequência (Efeito Doppler) no sinal resultante ( $S_r$ );
- $R_r$  *Rician fading*.

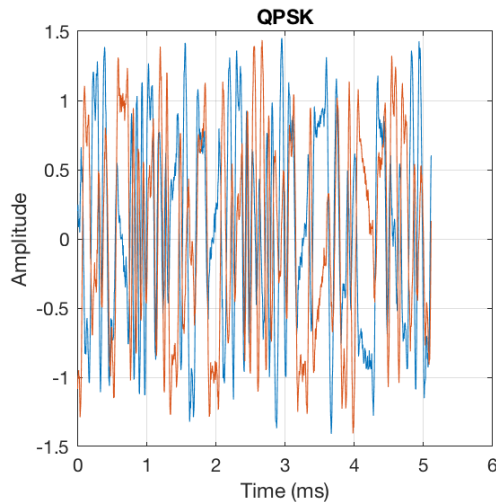


FIGURE 1. Exemplo de *frame* de QPSK

A Equação 2 descreve a sumarização dos ruídos produzido pelo canal de interferências. Como descrito pela Equação 3 o sinal transmitido ( $S_t$ )

$$R(t) = R_a(t) + R_c(t) + R_f(t) + R_r(t) \quad (2)$$

$$S_t(t) = S_r(t) + R(t) \quad (3)$$

O resultado final do *dataset* são 1000 amostras de *frames* para cada um dos 8 tipos de modulação, totalizando os 8000 *frames*. Cada amostra é composta por exemplo do comprimento de onda do sinal (número complexo). A Figura 1 demonstra o resultado da sobreposição de um *frame* do BPSK.

## REFERENCES

- [1] Wenwen Li and Zheng Dou and Lin Qi and Chengzhuo Shi, "Wavelet transform based modulation classification for 5G and UAV communication in multipath fading channel," in Physical Communication, 2019, esta publicado DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2018.12.019>.
- [2] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, Y. Nam and M. Debbah, "A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems," in IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2334-2360, thirdquarter 2019. esta publicado DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2902862>.
- [3] Jie Xu and Yong Zeng and Rui Zhang, "UAV-Enabled Wireless Power Transfer: Trajectory Design and Energy Optimization," in CoRR, 2017. esta publicado DOI: <http://arxiv.org/abs/1709.07590>.
- [4] Duona Zhang and Wenrui Ding and Baochang Zhang, "Automatic Modulation Classification Based on Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles," in MDPI, 2018. esta publicado DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/s18030924>.
- [5] Sara Mihandoost and Azimzadeh Ebrahim, "Introducing an Efficient Statistical Model for Automatic Modulation Classification," in Journal of Signal Processing Systems, 2020. esta publicado DOI: <https://doi.org/10.1007/s11265-019-01458-5>.
- [6] S. Kunze, A. Weinberger and R. Poeschl, "Concept for a Software Defined Radio Based System for Detection, Classification and Analysis of Radio Signals from Civilian Unmanned Aerial Systems," 2018 2nd URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC), Meloneras, 2018, pp. 1-4. esta publicado DOI: <https://doi.org/10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471398>.
- [7] Paulo Gomes, "Telecomunicação II," 2020 acessador por: <http://www.pgomes.com.br/arquivos/7e55280848b00393bdeb621d54bda02.pdf>
- [8] J. Tian, Y. Pei, Y. Huang and Y. Liang, "A Machine Learning Approach to Blind Modulation Classification for MIMO Systems," 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kansas City, MO, 2018, pp. 1-6. esta publicado DOI: <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422500>.
- [9] Nitish Srivastava and Elman Mansimov and Ruslan Salakhutdinov, "Unsupervised Learning of Video Representations using LSTMs," 2015 CoRR. esta publicado DOI: <http://arxiv.org/abs/1502.04681>.
- [10] V. Choqueuse, S. Azou, K. Yao, L. Collin, and G. Burel, "Blind modulation recognition for MIMO systems," Military Technical Academy, Review MTA, vol. 19, no. 2, pp. 183-196, 2009.
- [11] Z. Zhu and A. K. Nandi, "Blind modulation classification for MIMO systems using expectation maximization," in Proc. IEEE Mil. Commun. (MILCOM), 2014, pp. 754-759.
- [12] Z. Zhu and A. K. Nandi, "Modulation classification in MIMO fading channels via expectation maximization with non-data-aided initialization," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. (ICASSP), 2015, pp. 3014-3018.
- [13] W. Wei and J. M. Mendel, "Maximum-likelihood classification for digital amplitude-phase modulations," IEEE Trans. Commun., vol. 48, no. 2, pp. 189-193, 2000.
- [14] MathLab, "Deep Learning Using Synthesized Data for Communications and Radar," Math Works, acessado em 2020. esta disponível em: <https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/white-paper/gated/deep-learning-for-comms-and-radar-white-paper.pdf>
- [15] MathLab, "Radar Waveform Classification Using Deep Learning," Math Works, acessado em 2020. esta disponível em: <https://www.mathworks.com/help/phased/examples/modulation-classification-of-radar-and-communication-waveforms-using-deep-learning.html>
- [16] MathLab, "Modulation Classification with Deep Learning," Math Works, acessado em 2020. esta disponível em: <https://www.mathworks.com/help/comm/examples/modulation-classification-with-deep-learning.html>
- [17] MathLab, "Radar Target Classification Using Machine Learning and Deep Learning," Math Works, acessado em 2020. esta disponível em: <https://www.mathworks.com/help/phased/examples/radar-target-classification-using-machine-learning-and-deep-learning.html>