

Segmentação Federada de Imagens de VANTs em Condições Não-IID

Victor Gonçalves Vieira, Larissa Ferreira Rodrigues Moreira, Michel Melo Silva, Thiago Luange Gomes, Rodrigo Moreira

ODS 9
Pesquisa

Introdução

Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são essenciais para monitoramento, inspeção e resposta a desastres, necessitando de modelos de segmentação semântica para interpretar o ambiente. O método tradicional de treinamento centralizado é inviável devido a limitações de privacidade, largura de banda e descentralização.

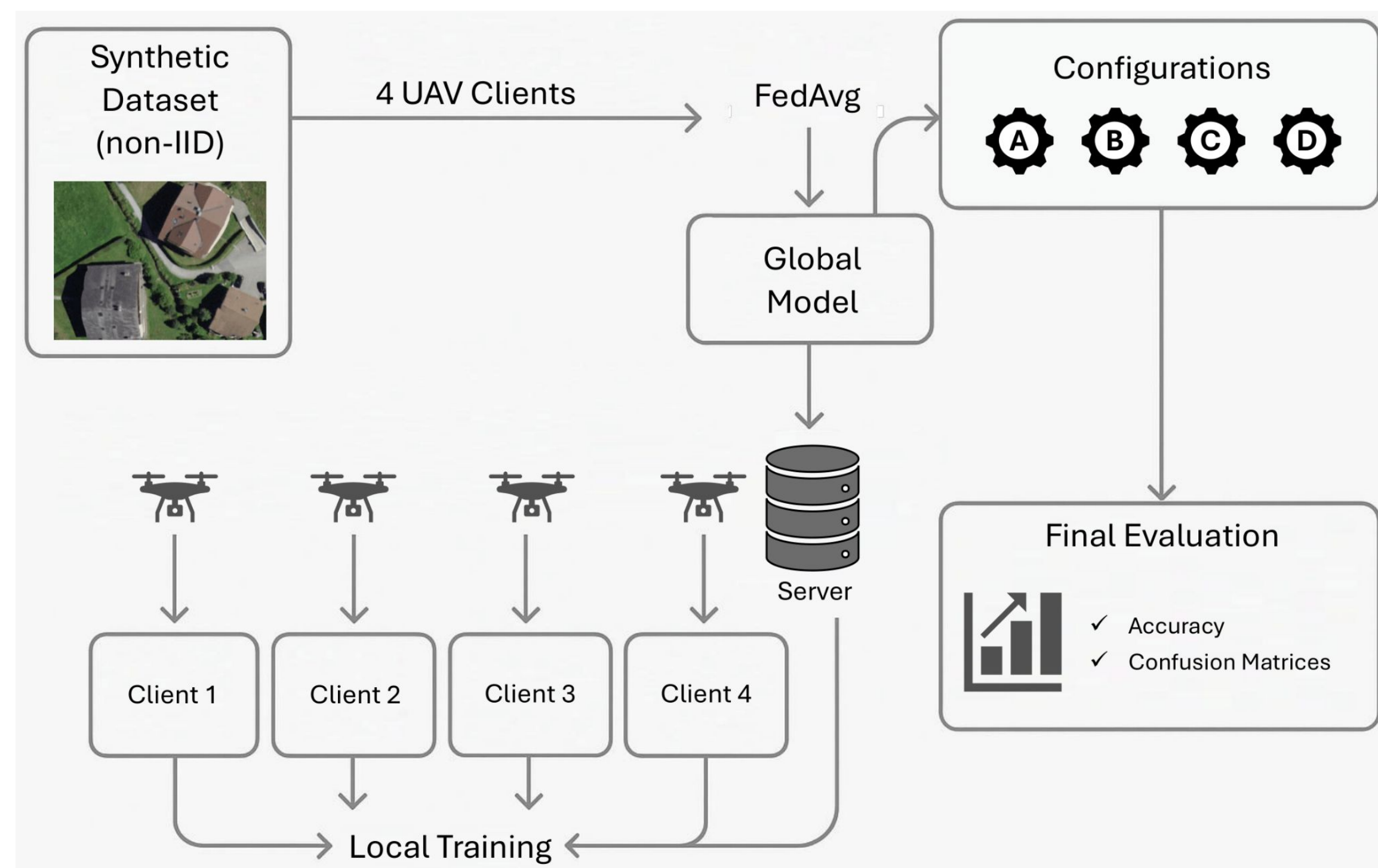
Aprendizado Federado (FL) surge como solução, permitindo o treinamento colaborativo sem compartilhar dados brutos. Contudo, sua eficácia é desafiada por dados não-independentes e identicamente distribuídos (não-IID), uma vez que VANTs operam em ambientes distintos, gerando dados heterogêneos que podem prejudicar a convergência do modelo global.

Objetivos

O objetivo principal foi avaliar a adaptação do modelo de segmentação semântica HRNet a um ambiente de Aprendizado Federado, investigando o impacto de diferentes hiperparâmetros (rodadas de comunicação, épocas de treino local e taxa de aprendizado) na convergência do modelo e analisando sua acurácia em nível de classe sob condições não-IID com dados sintéticos de VANTs.

Metodologia

A metodologia foi estruturada em um ambiente de Aprendizado Federado com um servidor central e quatro clientes (VANTs), utilizando o algoritmo Federated Averaging (FedAvg). Para o treinamento, foi usado um dataset de 10.451 imagens sintéticas fotorrealistas geradas em ROS e Gazebo e particionadas de forma não-IID. Adotou-se a arquitetura High-Resolution Network (HRNet), otimizada com uma função de perda composta (Dice, Cross-Entropy e Boundary Loss) para lidar com o desbalanceamento de classes. Finalmente, foram testadas quatro configurações experimentais (A, B, C, D), variando rodadas, épocas locais e taxa de aprendizado, para analisar os trade-offs entre comunicação e computação local.

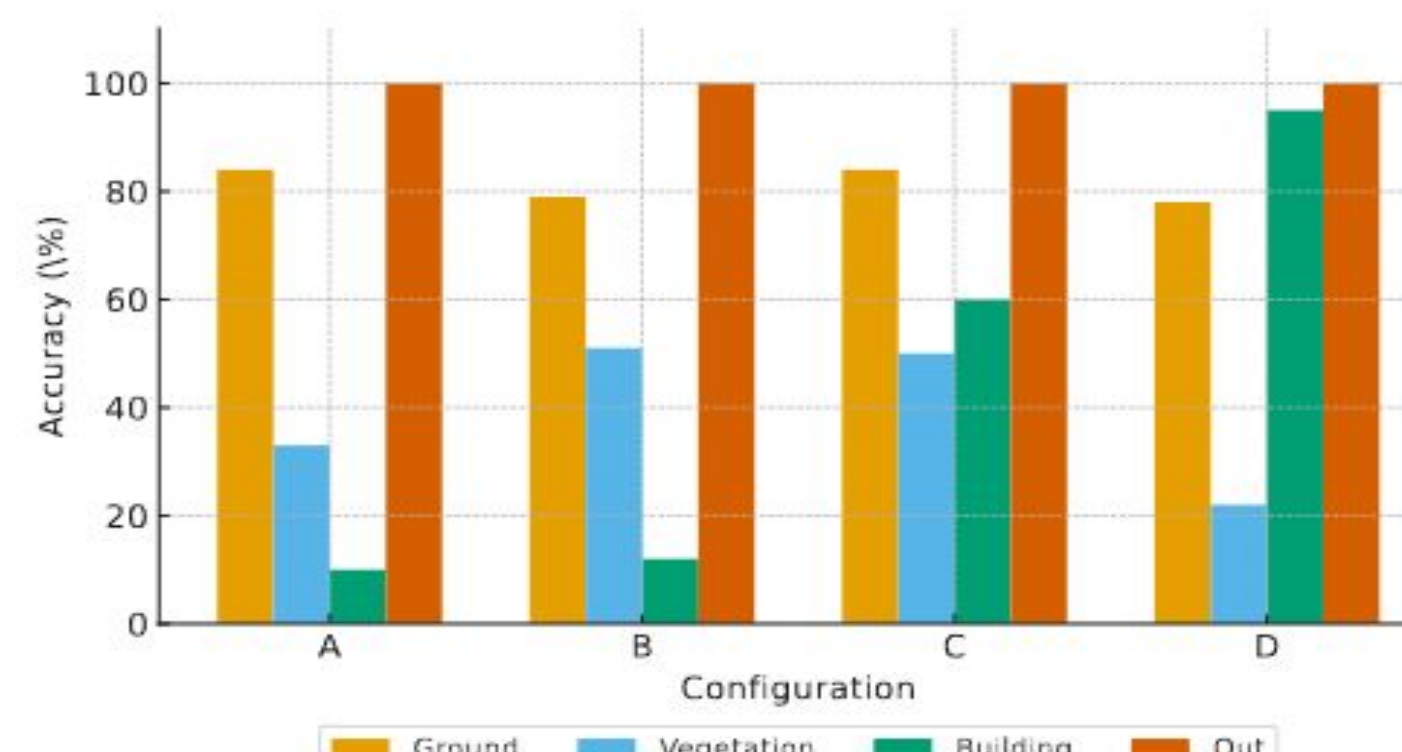


Apoio Financeiro

Resultados

Os experimentos revelaram que a performance do modelo é altamente sensível à configuração de treinamento.

- A Configuração C (5 rodadas, 100 épocas, LR 0.001) apresentou o resultado mais equilibrado e robusto, alcançando uma macro-acurácia de 73,5%.
- Configurações com alta taxa de aprendizado (A) geraram instabilidade, enquanto sincronização excessiva (D) causou vieses, favorecendo classes específicas.
- O modelo demonstrou alta acurácia para classes homogêneas como "Solo" (84%) e "Out" (100%), mas apresentou dificuldade em generalizar para classes minoritárias e complexas como "Construção" (60%) e "Vegetação" (50%), frequentemente confundidas com "Solo".



Config.	Ground	Vegetation	Building	Out	Macro-Acc.
A	84%	33%	10%	100%	56.8%
B	79%	51%	12%	100%	60.5%
C	84%	50%	60%	100%	73.5%
D	78%	22%	95%	100%	73.8%

Conclusões

O treinamento de modelos de segmentação para VANTs via Aprendizado Federado é viável, mas demonstrou ser altamente sensível aos hiperparâmetros em cenários com dados não-IID. Um balanço eficaz entre a comunicação global e o treinamento local, como o observado na Configuração C, é fundamental para mitigar os efeitos da heterogeneidade e alcançar um desempenho robusto. No entanto, o desbalanceamento de classes e a complexidade estrutural de categorias minoritárias (ex: "Construção") permanecem como os principais gargalos, indicando a necessidade de estratégias futuras como otimizadores adaptativos e aumento de dados.

Bibliografia

- [1] SILVA, L. et al. Photo-realistic and labeled synthetic uav flight data generation using ros and gazebo. In: 2024 Latin American Robotics Symposium (LARS). IEEE, 2024.
- [2] MCMAHAN, B. et al. Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data. In: Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics. PMLR, 2017.
- [3] WANG, J. et al. Deep high-resolution representation learning for visual recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. 43, n. 10, p. 3349-3364, 2021.
- [4] MIAO, J. et al. Fedseg: Class-heterogeneous federated learning for semantic segmentation. In: 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2023.
- [5] BEUTEL, D. J. et al. Flower: A friendly federated learning research framework. arXiv preprint arXiv:2007.14390, 2020.