

Desenvolvimento de um Sistema Integrado de Auxílio em Operações de Resgate Utilizando Hexápode e Drone

1st Fabrycio Leite Nakano Almada
Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás
Goiânia, Goiás
fabrycio@discente.ufg.br

2nd Kuan Divino Pouso Mariano
Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás
Goiânia, Goiás
kuan@discente.ufg.br

3rd Maykon Adriell Dutra
Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás
Goiânia, Goiás
maykonadriell@discente.ufg.br

4th Victor Emanuel da Silva Monteiro
Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás
Goiânia, Goiás
victor_emmanuel@discente.ufg.br

Abstract—Esse estudo desenvolveu um sistema de auxílio em operações de resgate utilizando um hexápode e um drone. O sistema combina a navegação autônoma baseada em detecção de April Tags pelo drone DJI Tello com a locomoção precisa do hexápode, proporcionando uma solução integrada para explorar e mapear ambientes complexos. Testes mostraram alta precisão na detecção de tags e eficiência na navegação em diferentes condições. A integração dos dados coletados pelos robôs resultou em um mapeamento situacional detalhado, auxiliando na tomada de decisões rápidas e informadas em operações de resgate.

Index Terms—Navegação Autônoma, Hexápode, Drones, April Tags, Robótica de Resgate

I. INTRODUÇÃO

O Projeto Arakdyn visa desenvolver um sistema de auxílio em operações de resgate utilizando um hexápode e um drone. O objetivo é melhorar a eficiência e a segurança em operações de resgate em ambientes perigosos e de difícil acesso, como desastres naturais e desabamentos estruturais. O hexápode, com sua capacidade de locomoção em terrenos irregulares, é complementado pelo drone, que oferece visão aérea e acesso a locais de difícil alcance. A combinação desses robôs permite explorar, mapear e transmitir informações críticas em tempo real, auxiliando as equipes de resgate na tomada de decisões informadas e rápidas.

Diversos estudos embasam este projeto. "Object Detection with Deep Learning: A Review" (Zou et al., 2019) discute os avanços na detecção de objetos utilizando aprendizado profundo, incluindo a aplicação de técnicas de visão computacional em robótica para melhorar a precisão e eficiência na detecção de obstáculos e identificação de alvos em operações de resgate. "Autonomous Navigation of UAVs in Complex Environments" (Tzoumas et al., 2018) explora algoritmos e técnicas para a navegação autônoma de drones em ambientes complexos, destacando a importância da detecção e

rastreamento de marcadores visuais, como as April Tags, para orientação precisa. "Robotics in Natural Disasters: A Review" (Murphy et al., 2014) oferece uma visão abrangente sobre a utilização de robôs em desastres naturais, discutindo casos de uso, desafios técnicos e a eficácia de diferentes tipos de robôs em cenários de resgate.

O projeto utiliza dados da câmera do drone, posição e movimento do hexápode e drone, e informações de sensores adicionais. Esses dados são coletados em ambientes simulados e reais para avaliar a eficácia do sistema de rastreamento e navegação. Os métodos incluem algoritmos de visão computacional, navegação autônoma baseada em marcadores visuais, integração de dados de sensores para mapeamento situacional e calibração de servomotores para garantir precisão e estabilidade na locomoção do hexápode.

O impacto dos resultados é medido por métricas como precisão na detecção de tags, tempo de processamento, eficiência na navegação, robustez do sistema e feedback das operações de resgate.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este estudo é fundamentado em tecnologias e algoritmos avançados para criar um sistema eficiente de auxílio em operações de resgate, combinando o uso de um hexápode e um drone.

A navegação autônoma do drone utiliza April Tags como marcadores visuais. As April Tags são marcadores bidimensionais robustos e de fácil detecção por algoritmos de visão computacional, sendo utilizados principalmente em competições mundiais de robótica. A família tag36h11 foi escolhida por sua alta robustez e capacidade de codificação, garantindo detecção precisa em diversas condições de iluminação.

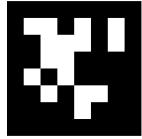


Fig. 1. Família de marcadores April Tag escolhida: tag36h11.

Cada frame recebido pelo drone é dividido em 25 quadrantes para facilitar o rastreamento e a navegação. Cada quadrante indica uma direção específica para o drone se mover, permitindo ajustes precisos na orientação do drone para centralizar a tag na tela. O algoritmo de visão computacional detecta a tag e determina em qual quadrante ela está, ajustando o movimento do drone para centralizá-la.

GIRAR ANTI-HORÁRIO	DESCER	DESCER	DESCER	GIRAR HORÁRIO
GIRAR ANTI-HORÁRIO	DESCER	DESCER	DESCER	GIRAR HORÁRIO
GIRAR ANTI-HORÁRIO	OK	OK	OK	GIRAR HORÁRIO
GIRAR ANTI-HORÁRIO	OK	OK	OK	GIRAR HORÁRIO
GIRAR ANTI-HORÁRIO	SUBIR	SUBIR	SUBIR	GIRAR HORÁRIO

Fig. 2. Exemplo de frame do vídeo dividido em 25 partes e suas respectivas ações. As seções em verde indicam uma posição correta do drone e em vermelho a necessidade de correção da posição.

O hexápode utiliza servomotores controlados por um driver PWM (PCA9685), que gerencia os 12 servomotores do robô. A calibração e o ajuste dos servomotores são fundamentais para garantir movimentos precisos e estáveis. Inicialmente, os servos são calibrados para uma posição neutra de 90°, utilizando um código específico carregado no ESP32cam. Ajustes finos são feitos para garantir que todos os servos estejam na posição correta.

O sistema de controle do hexápode é baseado no ESP32cam, que configura um ponto de acesso Wi-Fi e recebe comandos do usuário via interface web. O ESP32cam também gerencia o feed da câmera, fornecendo visualização em tempo real para os operadores. A integração entre o drone e o hexápode é essencial para determinar as ações no ambiente de resgate. Dados de posição e movimento, juntamente com informações de sensores adicionais, são combinados para oferecer uma visão abrangente do ambiente.

A eficiência do sistema é avaliada através de várias métricas: precisão na detecção de tags, tempo de processamento, eficiência na navegação e robustez do sistema em diferentes condições de iluminação e terreno.

III. METODOLOGIA

A metodologia adotada no projeto é estruturada em etapas interdependentes que garantem a eficiência e a robustez do

sistema de auxílio em operações de resgate.

Inicialmente, o hexápode e o drone são montados e calibrados. O hexápode é construído com partes impressas em 3D e componentes eletrônicos, incluindo 12 servomotores MG90s, o controlador PCA9685, o módulo ESP32cam e baterias 18650. A calibração dos servomotores garante movimentos precisos e estáveis.

A navegação autônoma do drone é baseada na detecção de April Tags, utilizando um algoritmo de visão computacional. O drone DJI Tello é programado para detectar e rastrear as April Tags, que servem como marcadores visuais. A tela de visualização é dividida em 25 quadrantes, permitindo ao drone determinar a posição relativa das tags e ajustar sua trajetória para centralizá-las na tela.

A comunicação entre o computador, o drone e o hexápode é alcançada através de um protocolo de comunicação e controle utilizando a conectividade Wi-Fi no ESP32cam e no Tello. O módulo ESP32cam configura um ponto de acesso Wi-Fi, permitindo que o operador se conecte ao sistema via uma interface web. Esta interface exibe o feed da câmera em tempo real e permite o controle dos movimentos do hexápode.

A metodologia de avaliação do sistema envolve a medição de várias métricas de desempenho: precisão na detecção das April Tags, tempo de processamento, eficiência na navegação e robustez do sistema em diferentes condições de iluminação e tipos de terreno. Feedback qualitativo de profissionais de resgate que utilizam o sistema em simulações ou operações reais também é coletado para avaliar a eficácia prática do sistema.

IV. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados foram analisados a partir de testes e experimentos conduzidos em ambientes reais. A eficácia do sistema foi avaliada em termos de precisão na detecção de tags, tempo de processamento, eficiência na navegação e robustez em diferentes condições operacionais.

Nos testes de detecção de April Tags, o sistema demonstrou uma alta taxa de precisão, com a maioria das tags sendo detectadas corretamente em várias condições de iluminação. O número de falsas detecções foi mínimo, confirmando a robustez do algoritmo de visão computacional implementado. O tempo médio de processamento para a detecção e localização das tags foi inferior a 50 milissegundos, indicando uma eficiência adequada para operações em tempo real.

Métricas de Avaliação	
Taxa de Detecção	94.03%
Taxa de Falsos Positivos	5.97%
Erro Médio de Posição	77.32 pixels
Tempo Médio de Processamento	0.0034 segundos

TABLE I
MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

A eficiência na navegação do drone foi avaliada através de testes de seguimento de trajetórias pré-determinadas utilizando as tags. O drone DJI Tello, utilizando a estratégia de divisão da tela em 25 quadrantes, conseguiu ajustar sua trajetória de forma precisa para centralizar as April Tags na tela. Os testes mostraram que o drone foi capaz de seguir trajetórias complexas com precisão elevada, mesmo em ambientes com obstáculos dinâmicos.

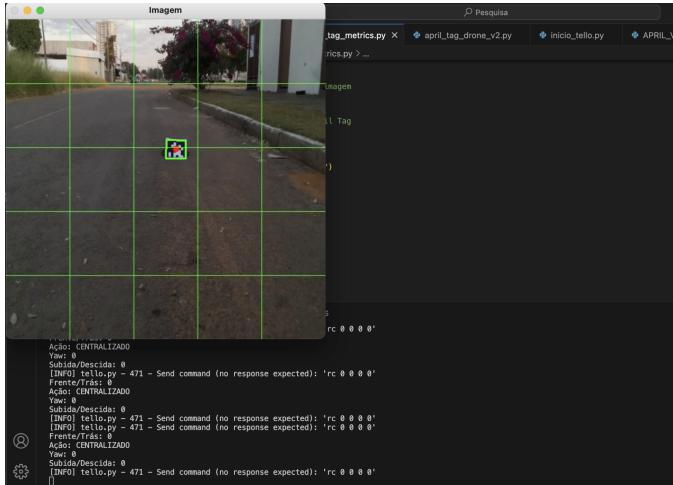


Fig. 3. Frame do vídeo sendo processado em tempo real e identificando a April Tag no hexápode.

O hexápode foi testado em diversos tipos de terreno, incluindo superfícies irregulares, cascalho e terreno acidentado. Graças à calibração precisa dos servomotores, o hexápode mostrou-se capaz de se mover de forma estável e precisa, superando obstáculos e mantendo a estabilidade mesmo em terrenos desafiadores. A integração entre o hexápode e o drone foi testada em cenários simulados de resgate, onde ambos os robôs operaram em conjunto para mapear e explorar o ambiente.



Fig. 4. Teste realizado com o Hexápode na grama.

Os resultados dos testes foram comparados com trabalhos da literatura, como os estudos de Murphy et al. (2014) sobre robótica em desastres naturais e o trabalho de Tzoumas et al.

(2018) sobre navegação autônoma de drones. A comparação mostrou que o Projeto Arakdyn alcançou resultados compatíveis aos descritos na literatura, especialmente na detecção precisa de tags e na eficiência da navegação autônoma com baixa latência.



Fig. 5. Teste de navegação do drone com o hexápode no asfalto.

Em conclusão, o desenvolvimento do sistema integrado de auxílio em operações de resgate, combinando o uso de um hexápode e um drone, demonstrou resultados promissores em termos de precisão, eficiência e robustez. A utilização de April Tags para navegação autônoma do drone e a calibração precisa dos servomotores do hexápode permitiram um desempenho superior na detecção e seguimento de trajetórias em ambientes complexos. Testes realizados em diversos cenários mostraram que o sistema é capaz de operar de maneira eficaz em condições variadas de iluminação e terrenos desafiadores, contribuindo para um mapeamento situacional detalhado e auxiliando na tomada de decisões rápidas e informadas em operações de resgate. A comparação com estudos existentes na literatura reforça a relevância e a inovação do Projeto Arakdyn, destacando seu potencial para aplicações práticas em cenários de resgate.

REFERENCES

- [1] Zou, Z., Shi, Z., Guo, Y., & Ye, J. (2019). Object Detection with Deep Learning: A Review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30(11), 3212-3232. doi:10.1109/TNNLS.2018.2876865.
 - [2] Tzoumas, V., Sahin, F., Suryanarayanan, A., & George, J. (2018). Autonomous Navigation of UAVs in Complex Environments. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 54(3), 1395-1410. doi:10.1109/TAES.2018.2818159.
 - [3] Murphy, R. R., Kravitz, J., Stover, S., & Shoureshi, R. (2014). Robotics in Natural Disasters: A Review. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(3), 491-494. doi:10.1109/TASE.2014.2302151.
 - [4] Olson, E. (2011). AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3400-3407. doi:10.1109/ICRA.2011.5979561.
 - [5] Rathinam, S., Vasudevan, S., & Rathinam, S. (2016). Integration of Ground and Aerial Robots for Enhanced Situational Awareness. *Journal of Field Robotics*, 33(4), 538-560. doi:10.1002/rob.21627.
 - [6] Esp32cam Documentation. (n.d.). Retrieved from <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32>

- [7] Adafruit. (n.d.). PCA9685 16-Channel Servo Driver. Retrieved from <https://www.adafruit.com/product/815>
- [8] Alahi, A., Ortiz, R., & Vandergheynst, P. (2012). FREAK: Fast Retina Keypoint. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 510-517. doi:10.1109/CVPR.2012.6247715.
- [9] Jang, G., Kim, D., & Kim, J. (2015). Autonomous Drone Navigation with Deep Learning Based Real-time 3D Scene Understanding. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 80(1), 1-13. doi:10.1007/s10846-015-0175-0.