

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE PLANEJAMENTO DE COBERTURA DE TERRENO COM VANTS

RENAN ZAFALON DA SILVA¹; BRUNO SIQUEIRA DA SILVA² TAUÃ MILECH CABREIRA³; PAULO ROBERTO FERREIRA JUNIOR⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – renan.zafalon@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – bruno.siqueira@inf.ufpel.edu.br

³Instituto Federal Sul-rio-grandense – tmcabreira@inf.ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – paulo@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Os drones têm apresentado grande destaque na mídia atual, no entanto, eles já existem desde o século passado. Também chamados de veículos aéreos não tripulados (VANTS). O termo mencionado refere-se a uma aeronave não tripulada operada por controle remoto que é capaz de voar até um determinado ponto autonomamente. Atualmente, a Amazon está investindo no serviço de entrega de encomendas com veículos aéreos não tripulados com o programa Prime Air, que faz a entrega dos produtos em um tempo aproximado de 30 minutos (AMAZON, 2016).

Os VANTS podem ser classificados em dois grupos gerais: asa fixa e asa rotativa (ALVARENGA, 2015). Os VANTS de asa fixa apresentam asas rígidas que permitem voar com base na elevação criada pelo ar para a frente. Possuem boa aerodinâmica para voos de longa duração, permitindo também a operação em alta velocidade. Já os drones de asa rotativa têm a vantagem de ter maior manobrabilidade e conseguem realizar decolagens e aterrissagens verticais e voos em baixa altitude. Esse tipo de plataforma ainda pode ser classificado como rotor único e multirotor.

Os VANTS são utilizados em diversas aplicações na cobertura de terrenos, como por exemplo: missões de busca e salvamento, monitoramento do campo e colheita, agricultura inteligente, vigilância de incêndios florestais, coleta e informações sobre gerenciamento de gelo, inspeção de linhas de energia e fotogrametria, que é um estudo realizado para mapear áreas de interesse através de câmeras integradas com drones, é capaz de gerar mapas inteligentes para resolução de determinados problemas (SILVA et.al, 2018, DI FRANCO et.al, 2016). Um grande número de aplicações com VANTS está relacionado com o problema de planejamento de caminho e cobertura CPP - é um problema em que um robô precisa encontrar a rota que cobre todos os pontos de um cenário. No CPP também devem ser considerados as zonas proibidas de voo e obstáculos que podem existir em uma missão.

Esse trabalho tem como objetivo principal apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre o planejamento de missões de cobertura com VANTS com a preocupação na eficiência energética. No estudo, foram consideradas diferentes áreas de interesse, abordagens e métricas de desempenho no planejamento de missões de cobertura de terreno com VANTS. Como limite temporal, foram avaliados trabalhos publicados nos últimos cinco anos da área de planejamento de cobertura de terreno com VANTS.

2. METODOLOGIA

Para realizar a revisão sistemática bibliográfica foram utilizadas as bases científicas de pesquisa: IEEE Xplore, ScienceDirect, Springer Link e Google Acadêmico. Para a busca dos artigos utilizou-se a seguinte expressão: *coverage path planning and unmanned aerial vehicle and energy-aware*.

Os resultados da busca realizada nas bases científicas, foram organizados em uma planilha com os seguintes dados dos artigos: Os títulos dos artigos, ano dos artigos, revista de publicação, base onde foi publicado.

Para selecionar os artigos foi realizada a leitura do resumo, da introdução e dos resultados obtidos, e assim foram escolhidos os principais artigos da revisão. Após o uso dos mecanismos de busca, foram encontrados ao total 1468 artigos, do total foram escolhidos 12 artigos, que foram os trabalhos mais recentes encontrados que possuem preocupação com a otimização da performance e outras métricas relevantes do planejamento de caminho de cobertura com VANTs.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os trabalhos revisados foram identificadas as principais métricas de performance dos algoritmos, dentre elas destacam-se: tempo de voo, consumo de energia, qualidade da cobertura, manobras de virada e distância viajada. Dentre as métricas mais exploradas pelos trabalhos, destacam-se o tempo de voo e o consumo de energia dos VANTs. Com a revisão dos artigos, foi percebido que existem lacunas de pesquisa na área. As oportunidades de contribuição vão desde o estudo de algoritmos e técnicas para melhorar o desempenho das aplicações e o desenvolvimento de algoritmos mais robustos que consigam trabalhar de forma dinâmica em diversos cenários com múltiplos obstáculos, zonas proibidas de voo e diferentes formatos da área de interesse a ser coberta pelos VANTs.

Dentre os principais trabalhos revisados, destaca-se o trabalho de GHADDAR et.al, (2020), onde é apresentado um novo método para otimizar o planejamento do caminho de cobertura, foi criado um método particionado denominado Particionamento Paralelo ao Longo de um Lado (*Parallel Partitioning along a Side* - PPS). O método é um mapeamento de grade e subdivisão de grade da área. Os autores avaliaram o método com outras abordagens da literatura e mostraram os resultados do consumo de energia sobre o planejamento do caminho de cobertura. No estudo, os autores definiram uma nova função de custo, que varia conforme a área de interesse a ser coberta pelo VANT. Este algoritmo de planejamento de caminho é aplicado a uma área com decomposição celular aproximada ou exata.

O método PPS foi aplicado para VANTs múltiplos e únicos. Além disso, esse programa evita zonas de exclusão aérea, cobre todo o planejamento da trajetória da área de interesse e garante o consumo mínimo de energia ao diminuir o número de voltas e o tempo de conclusão da cobertura do terreno. Através da revisão sistemática, foram analisados os principais trabalhos que possuem preocupação energética no planejamento de caminho de cobertura de terrenos. Existem diversas abordagens que são aplicadas conforme os requisitos de missão e conforme as condições externas, como por exemplo, a velocidade e direção do vento.

Logo abaixo são apresentados os resultados da revisão bibliográfica, na tabela 1, foi apresentado as principais abordagens para CPP e foram analisadas outras informações relevantes, como a área de interesse, número de VANTs, a presença de decomposição celular.

Tabela 1 - Resumo das principais abordagens analisadas nos artigos revisados

Abordagem	Área	Número de VANTs	Decomposição Celular	Referência
Particionamento paralelo ao longo de um lado (PPS)	Irregular	Único e Múltiplos VANTs	Aproximada e exata	(GHADDAR; MEREI; NATALIZIO, 2020)
Baseado em Grade	Irregular	Único VANT	Aproximada	(CABREIRA et al., 2019)
Espiral com consciência de energia	Regular	Único VANT	Aproximada	(CABREIRA et al., 2018)
<i>Energy-Aware Grid Based Solution For Obstacle Avoidance</i>	Irregular	Único VANT	Exata	(GHADDAR; MEREI, 2020)
Algoritmos <i>Dijkstra</i> , <i>Wavefront</i> e Espiral	Irregular	Único VANT	Exata	(CAMPO; LEDEZMA; CORRALES, 2020)
Algoritmo de alocação de área	Irregular	Múltiplos VANTs	Aproximada	(ANN; KIM; AHN, 2015)
<i>Multi-Constrained Cooperative Path Planning (MCCPP)</i>	Irregular	Múltiplos VANTs	-	(WU; WU; HU, 2021)
<i>Interior Extension of Edge</i>	Irregular	Único VANT	Convexa	(NIELSEN; SUNG; NIELSEN, 2019)
<i>Deep Reinforcement Learning Approach</i>	Irregular	Único VANT	-	(THEILE et al., 2020)
<i>Energy Efficient Coverage Path Planning (EECPP)</i>	Regular	Múltiplos VANTs	-	(MODARES et al., 2017)
Algoritmo genético	Irregular	Único VANT	-	(SHIVGAN; DONG, 2020)
Algoritmo genético e redes neurais	Irregular	Múltiplos VANTs	-	(RUETTEN et al., 2020)

Na tabela 2, foi apresentado um resumo das principais métricas de performance e análise dos algoritmos CPP da revisão sistemática.

Tabela 2: Resumo das métricas de performance analisadas nos artigos revisados

Métricas de Performance						Referência
Tempo de voo	Consumo de energia	Qualidade da cobertura	Manobras de virada	Distância viajada	Outras métricas	
✓	✓	✓				(GHADDAR; MEREI; NATALIZIO, 2020)
✓	✓					(CABREIRA et al., 2019)
✓		✓				(CABREIRA et al., 2018)
✓	✓		✓	✓		(GHADDAR; MEREI, 2020)
✓						(CAMPO; LEDEZMA; CORRALES, 2020)
✓	✓					(ANN; KIM; AHN, 2015)
					✓	(KHANAM et al., 2020)
	✓					(WU; WU; HU, 2021)
					✓	(NIELSEN; SUNG; NIELSEN, 2019)
					✓	(THEILE et al., 2020)
	✓		✓	✓		(SHIVGAN; DONG, 2020)
✓						(RUETTEN et al., 2020)

Através da revisão sistemática, foram analisados os principais trabalhos que possuem preocupação energética no planejamento de caminho de cobertura de terrenos. Existem diversas abordagens que são aplicadas conforme os requisitos de missão e conforme as condições externas, como por exemplo, a velocidade e direção do vento. No CPP, também deve ser considerado as zonas proibidas de voo e obstáculos que podem existir em uma missão. Além dos diversos algoritmos para CPP que foram vistos na tabela 1, também são importantes os modelos de energia como o do MARINS et al (2020), que apresenta grande relevância para modelar os mais diversos cenários para planejamento de cobertura de terrenos. Através de modelos matemáticos consegue-se por exemplo, prever o consumo de energia de um VANT com simulações.

4. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma revisão bibliográfica sobre o planejamento de caminhos de cobertura com VANTs. A pesquisa incluiu as abordagens tradicionais, diferentes métodos de busca e algoritmos para mapeamento de missões com consciência energética. Foram considerados diferentes áreas de interesse, como por exemplo a área poligonal, a área retangular e foram analisados diferentes métodos de decomposição celular. Conforme relatado nos trabalhos da literatura, áreas de formato regular são eficientemente melhor exploradas por algoritmo com os movimentos vai e vem e espiral. Já para aplicações em áreas irregulares foi desenvolvido o algoritmo baseado em grade proposto por VALENTE et.al (2013) e posteriormente aperfeiçoado por CABREIRA et.al (2019), onde foi otimizado o custo computacional do algoritmo.

Após realizar a leitura dos artigos do mapeamento sistemático, percebeu-se que existem diferentes métodos que atuam eficazmente em cenários específicos. Dentro dessa área de pesquisa ainda se encontram oportunidades de contribuição para otimização dos algoritmos com consciência energética de forma a possibilitar maior autonomia de voo para os VANTs. O desenvolvimento de novos algoritmos mais eficazes possibilitará com que os VANTs consigam realizar suas ações de mapeamento e cobertura de terrenos de forma mais satisfatória.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAZON. **Drones**. Amazon faz 1ª entrega de produtos usando drone, 15 dez. 2016. . Acessado em 01 aug. 2021. Online. Disponível em: <https://g1.globo.com/tecnologia/noticia/amazon-faz-1-entrega-de-produtos-usando-drone-voo-demorou-13-minutos.ghtml>
- GHADDAR, Alia; MEREI, Ahmad; NATALIZIO, Enrico. PPS: Energy-Aware Grid-Based Coverage Path Planning for UAVs Using Area Partitioning in the Presence of NFZs. **Sensors**, v. 20, n. 13, p. 3742, 2020.
- DI FRANCO, Carmelo; BUTTAZZO, Giorgio. Coverage path planning for UAVs photogrammetry with energy and resolution constraints. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 83, n. 3, p. 445-462, 2016.
- SILVA, Jeslane Ferreira. Mapeamento dos processos erosivos em área urbana de Vilhena através de fotogrametria com VANT. 2018.
- ALVARENGA, Jessica et al. Survey of unmanned helicopter model-based navigation and control techniques. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 80, n. 1, p. 87-138, 2015.
- MARINS, João Luís. A closed-form energy model for quadcopters based on the dynamic of the movement applied to calculate wind parameters aiming to extend the flight time. 2020.
- CABREIRA, Tauã M. et al. Grid-based coverage path planning with minimum energy over irregular-shaped areas with UAVs. In: **2019 international conference on unmanned aircraft systems (ICUAS)**. IEEE, 2019. p. 758-767.
- VALENTE, João et al. Aerial coverage optimization in precision agriculture management: A musical harmony inspired approach. **Computers and electronics in agriculture**, v. 99, p. 153-159, 2013.