

SISTEMA DE VANTS PARA MONITORAMENTO PERSISTENTE DE AMBIENTES DINÂMICOS: UM SIMULADOR DE TRAJETÓRIAS

LUIS CLAUDIO BATISTA DA SILVA*[†], BRUNO S. GIOVANINI*, PAULO FERNANDO F. ROSA*

**Instituto Militar de Engenharia (IME)
Praça General Tibúrcio, 80 - Urca, Rio de Janeiro, RJ*

*†Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
Campus Nova Friburgo - Av. Governador Roberto Silveira, 1900 - Prado, Nova Friburgo, RJ*

Email: luis.silva@cefet-rj.br, bsgiovanini@gmail.com, rpaulo@ime.eb.br

Abstract— In this paper, we present a simulator of a unmanned aircraft system (UAS) to control multiple micro unmanned aerial vehicles (MAVs) for persistent monitoring tasks by area coverage. In this kind of task, the region of interest must be frequently revisited, presenting points whose priorities can change with the evolution of the mission. The architecture of the proposed system is based on the spatial coordination approach with strategic positioning of embedded robotic multi-agents, responsible for sensing and communication. Also, it adopts monitoring by gradients priorities, where the point of greatest interest should be updated more frequently to the other, forming a safety perimeter around this. In summary, the purpose of the system is to allow a single pilot to control a fleet of MAVs, with high-level supervision focused on the task, applied for area coverage monitoring with different priorities and dynamic mission control.

Keywords— UAS Simulator, Persistent Monitoring, Area Coverage.

Resumo— Neste artigo, é apresentado um simulador de um sistema para controle de múltiplos veículos aéreos não tripulados de pequeno porte (micro-VANTS) em tarefas de monitoramento persistente por cobertura de área. Nestas, a região de interesse deve ser frequentemente revisitada, bem como, apresenta pontos com maior prioridade, que podem mudar com a evolução da missão. A arquitetura do sistema proposto é baseada na coordenação espacial por posicionamento estratégico de multiagentes robóticos embarcados, responsáveis pelo sensoriamento e comunicação das informações. Também, propõe-se uma abordagem de prioridades gradientes, na qual o ponto de maior interesse terá uma frequência de visitas superior aos demais, que formam um perímetro de segurança em torno deste. Em síntese, o propósito do sistema é prover a um único piloto o controle de uma frota de micro-VANTS, com supervisão de alto nível centrada na tarefa, aplicado no monitoramento de cobertura de área com diferentes prioridades e controle dinâmico da missão.

Palavras-chave— Simulação de Sistema de VANTS, Monitoramento Persistente, Cobertura de Área.

1 Introdução

A coordenação de múltiplos veículos aéreos não tripulados de pequeno porte (micro-VANTS) tem sido aplicada a tarefas de monitoramento por cobertura de área, para fins tanto civis quanto militares, tais como: mapeamento, escolta, patrulhamento e vigilância, busca e salvamento, aquisição de alvos, dentre outros. Neste trabalho, destacam-se as tarefas de monitoramento persistente aplicadas a missões de ISR (sigla do inglês para Inteligência, Vigilância e Reconhecimento), comumente desempenhadas em operações de defesa, que diferentemente da varredura para mapeamento e exploração, requer que os pontos de interesse sejam frequentemente revisitados, como também, a região monitorada possui pontos de maior prioridade, que podem variar com a evolução da missão. A atualização dos dados sensorizados tem por objetivo fornecer ao controle da missão conhecimento do estado do ambiente sob monitoramento.

Os micro-VANTS - peso total de decolagem inferior a 2kg - apresentam vantagens, tais como baixo custo e menor risco de operação. Entretanto, a restrição de recursos devido ao baixo *payload* - carga útil para os objetivos da missão, tais

como energia e alcance da comunicação, limitam sua eficácia (Chen et al., 2014). Para reduzir tais limitações e visando aumentar a robustez, eficiência e confiabilidade, tem sido amplamente investigado o uso de múltiplas aeronaves operando em trabalho cooperativo aplicados a este tipo de tarefa (Nigam, 2014). Porém, tal solução eleva a complexidade e diversos desafios se apresentam, tais como controle e integração.

A colaboração autônoma permite que as aeronaves forneçam recursos umas às outras, tanto na aplicação do *payload* da missão, quanto no suporte à comunicação em rede e apoio na navegação. Dessa forma, as aeronaves podem alcançar mais eficiência nas missões, tais como: aumento da área de cobertura, atribuição dinâmica de tarefas, como também, otimização da composição do time de aeronaves e recursos empregados na missão (DARPA, 2014).

Neste artigo, é apresentado um simulador para um sistema de múltiplos micro-VANTS colaborativos, aplicado no monitoramento persistente por cobertura de área com prioridade de interesse e alocação dinâmica de tarefa, com intervenção de um único operador.

2 Trabalhos Relacionados

  de interesse deste trabalho o monitoramento persistente de regiões que possuam pontos com diferentes prioridades de interesse. Ousingsawat (2006) apresenta um trabalho de vigilância por cobertura de área, com uso do conceito de entropia para definir as áreas de maior prioridade, e fornece um planejamento de trajetória para um VANT que prioriza estas áreas, visando redução da entropia. Sauter et al. (2005) utilizam uma técnica de feromônios digitais para controle de um enxame de veículos não tripulados heterog neos, para cobertura de região com diferentes áreas de interesse (AOI, sigla do inglês), na qual áreas com maior prioridade recebem feromônios de maior atração que as de prioridade menor. Khandani et al. (2014) propõem um algoritmo baseado em campos potenciais para busca e rastreamento de alvos, onde é aplicado um quadricóptero que, ao detectar o alvo, aplica maior prioridade no rastreamento deste que na cobertura da área sob monitoramento. Howden (2013) apresenta um algoritmo para controle de um enxame de VANTs com base em mapa de feromônios distribuídos, aplicado na detecção e monitoramento de incêndios florestais, de modo a dar maior prioridade a áreas com incêndios detectados, enquanto com menor prioridade realiza uma varredura para detectar novos pontos de incêndio. Yao et al. (2012) tratam o problema da vigilância persistente com uso de múltiplos VANTs, considerando a região sob monitoramento com variação de prioridade e introduzem o conceito de níveis de interesse (LoI, sigla do inglês). Michael et al. (2011) propõem um sistema para controle de um time de quadricópteros para o monitoramento de locais discretos em um prédio, onde existem pontos de maior interesse, que devem ser revisitados com maior frequência.

Também, restrições de comunicação podem reduzir a eficácia do uso de micro-VANTs. Acevedo et al. (2013) apresentam o trabalho colaborativo de múltiplos VANTs, em que restrições de comunicação são tratadas, de maneira que as aeronaves formam uma rede, na qual aquelas que não possuem alcance direto para comunicação com a estac o de controle possam utilizar outras aeronaves como replicadoras. Pesquisas recentes (Bekmezci et al., 2013; Sahingoz, 2014), endereçam o problema de comunicação entre múltiplos VANTs como uma nova família de rede, denominada *flying ad hoc networks* (FANET), vistas como uma forma especial das *mobile ad hoc networks* (MANET) e *vehicle ad hoc networks* (VANET). De acordo com os autores, redes formadas por veículos aéreos necessitam de novas abordagens, devido aos desafios impostos tanto pela distância da cobertura quanto pela mobilidade desses veículos, que exigem uma frequente mudança na topologia da rede.

Por fim, busca-se também a otimização dos recursos humanos empregados na missão. Em (Goodrich and Cummings, 2015; Cummings et al., 2014), os autores discutem a sobrecarga sobre um único piloto em tarefas baseadas no controle dos veículos. Em contrapartida, busca-se a abordagem de controle executivo de alto nível, na qual um único piloto controla um conjunto de aeronaves através de um sistema de controle aut nomo, que forneça uma interface para controle da missão. Em (Araujo et al., 2013), é apresentada uma solução de múltiplos VANTs para monitoramento de área, com interface de usuário por controle baseada na tarefa, de maneira que o operador possa auxiliar na execução dos algoritmos, como também, de áreas com diferentes prioridades, entretanto, não trata questões de conectividade. Em (Lichtenstern et al., 2011), os autores apresentam um sistema para controle de múltiplos quadricópteros por um único usuário, na observação de um alvo   partir de múltiplas perspectivas, na qual as aeronaves realizam o voo aut nomo, através de navegação inercial e por satélite. O sistema provê uma interface para que o usuário informe para cada aeronave apenas o ângulo de observação e a distância do alvo. Entretanto, os VANTs não formam uma rede, pois não se comunicam diretamente, sendo conectados apenas ao servidor.

A tabela 1, adaptada de (Chen et al., 2014), apresenta um comparativo com o posicionamento do sistema proposto. A contribuição do presente trabalho   uma solução que integra três requisitos fundamentais para a tarefa proposta: interação do usuário no controle da missão, e não apenas no planejamento; rede de VANTs (conectividade); monitoramento com diferentes prioridades.

Tabela 1: Comparativo de trabalhos relacionados

		Cobertura Est�tica	Cobertura Dinâmica	Veículo Aut�nomo	Homog�neos	Heterog�neos	Controle Energia	Interface Controle	Conectividade	Diferentes Prioridades
a	Acevedo et al (2013a)		x	x	x				x	
b	Duan, Li (2014)		x	x	x	x	x		x	
c	Yanmaz, Costanzo, Bettstetter (2010)		x	x	x					
d	Goddemeier, Daniel, Wietfeld (2010)		x	x		x			x	
e	Xu, Hu, Xie (2012)		x	x	x	x			x	
f	Erman, Hoesel, Havinga (2008)		x	x	x	x			x	
g	Ha (2010)		x	x	x		x			
h	Acevedo et al (2013b)		x	x	x		x		x	
i	Kasbekar, Bejerano, Sarkar (2011)		x	x	x		x		x	
j	Acevedo et al (2014)		x	x	x				x	
k	Bezzo, Fierro (2011)		x	x					x	
l	Acevedo et al (2013c)		x	x	x		x		x	
m	Araujo, Sujit, Souza (2013)		x		x			x		
n	Acevedo, Arrue, Maza, et al (2013)		x	x		x	x		x	
o	Ousingsawat (2006)		x	x	x					x
p	Sauter, Matherws (2005)		x	x	x				x	x
q	Khandani, Moradi, Yazdan (2014)		x	x	x					x
r	Howden (2013)		x	x	x				x	x
s	Yao, Zhang, Liu, He (2012)		x	x	x				x	x
t	Michael, Stump, Mohta (2011)		x	x	x		x		x	x
u	Cummings et al (2014)		x	x	x			x		
v	Lichtenstern, Angermann, Frassl (2011)		x	x	x			x		
	Sistema de VANTs Proposto		x	x	x	x	x	x	x	x

3 Visão Geral do Sistema de VANTs

O objetivo do sistema proposto é a observação de um ponto de interesse com a manutenção de um perímetro de monitoramento, cuja prioridade decai proporcionalmente à distância radial do ponto de maior interesse (centro do evento) até as bordas do perímetro de segurança. As informações sensorizadas devem ser enviadas para a estação de controle da missão em tempo hábil, como também, prover interface de alto nível baseada na tarefa para o planejamento e controle dinâmico da missão.

Também, busca-se uma solução que possa ser aplicada como uma estação de controle em solo (ECS) portátil. Assim, o sistema proposto será composto por quadricópteros e computadores portáteis e robustos para a ECS. O uso de múltiplos VANTs aumenta a capacidade de cobertura, de modo que a região de interesse possa ser particionada entre aeronaves em trabalho cooperativo. Os VANTs devem formar uma rede de dados, de modo que uma aeronave cujos recursos de comunicação não alcancem a ECS, possam utilizar outras aeronaves para retransmissão. A figura 1 apresenta uma visão geral do Sistema de VANTs.

Os principais elementos do domínio da aplicação são descritos como segue:

- O ambiente W é *outdoor* e dispõe de um conjunto de coordenadas georreferenciadas $C_i \in R^3$, onde cada ponto sobre a superfície terrestre é dado pela posição $[lat, long, alt]$.
- A região R sob monitoramento é um subconjunto de W e R é um conjunto de coordenadas $C_i \in W$, que formam um polígono fechado.
- P é uma partição de R onde cada elemento de P é denominado “célula”, cujo tamanho é definido pelo alcance do sensor r .
- Ponto de interesse $p \in P$ é a coordenada do centróide C_i da célula.
- Prioridade r_i é a frequência de atualização de p_i . As células i têm diferentes prioridades.
- A frota de VANTs é formada por um conjunto de N veículos aéreos robóticos A_i . Cada veículo A_i no tempo t monitora uma área $p \in P$.

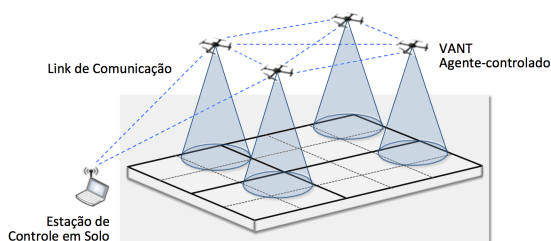


Figura 1: Visão geral do Sistema de VANTs

3.1 Quadricóptero

Neste trabalho, serão utilizados quadricópteros, que são veículos aéreos não tripulados de pequeno porte (micro-VANT) do tipo asa rotativa, controlado por um sistema eletrônico para estabilização autônoma de voo e apoiado por um sistema integrado de sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios) embarcado na plataforma (INS). Possuem capacidade de decolagem e pouso vertical (VTOL), voo pairado e boa manobrabilidade para voos aproximados de obstáculos, em baixa velocidade, assim como em baixa altitude. Também, a navegação baseada em sistemas global de satélites (GNSS) com uso de GPS pode ser integrada.

O quadricóptero é controlado pelas velocidades angulares de quatro motores elétricos, onde cada motor movimenta um rotor que produz um impulso e um torque que combinados geram um impulso principal, e os torques de rolagem, arfagem e guinada (Carrillo et al., 2012). A figura 2 exibe os movimentos gerados pela variação de velocidade dos motores. Nesta configuração tipo “X”, a frente do veículo é direcionada pelos motores 1 e 2. Os motores 1 e 3 rotacionam no sentido horário, e os motores 2 e 4 no sentido anti-horário.

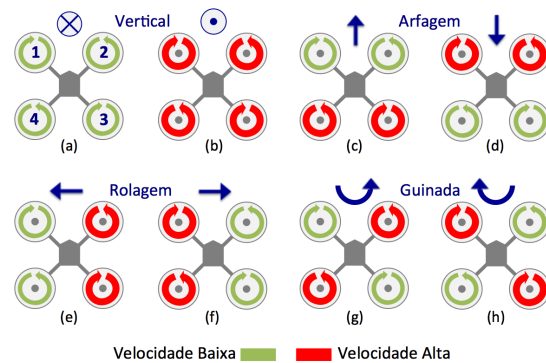


Figura 2: Movimentos do quadricóptero: (a) vertical de subida e (b) de descida; (c) arfagem para frente e (d) para trás; (e) rolagem à esquerda e (f) à direita; (g) guinada no sentido anti-horário e (h) no horário.

3.2 Monitoramento por Prioridades

A decomposição da região é o primeiro passo para a tarefa de cobertura, pois os algoritmos de planejamento de trajetória dependem deste mapeamento. Em geral, usa-se a grade quadrada para navegação de robôs, porém, neste trabalho propomos o uso de uma grade hexagonal, que diferentemente da grade quadrada (figura 3.a), possui a mesma distância de navegação para qualquer célula vizinha (figura 3.b). Também, a decomposição da região deve levar em consideração a aproximação do alcance do sensor a ser utilizado. Na tarefa, cada célula deve ser coberta por um sensor de imagem, que apresenta um formato de cobertura retangular (e.g., sensores CMOS). Neste caso,

visando manter as propriedades de distância da grade hexagonal, pode-se fazer uma aproximação de retângulos vizinhos (figura 3.c), cujas distâncias dos centróides vizinhos se mant m idênticas.

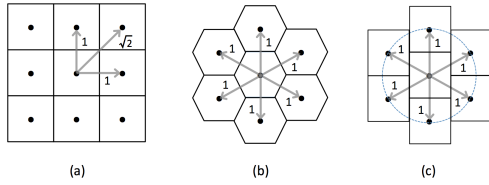


Figura 3: (a) grade quadrada (b) grade hexagonal (c) aproximação de retângulos com distâncias idênticas entre os centróides das células vizinhas.

Neste trabalho, propomos uma abordagem para o tratamento de cobertura de área com diferentes prioridades de interesse, chamada de gradiente de prioridades. A figura 4 apresenta uma região em duas configurações, com pontos de maior interesse em posições diferentes. Ao realizar recursivamente o decaimento de prioridade da célula de maior prioridade para as extremidades, as células mais externas formam camadas hexagonais concêntricas. Todas as células da mesma camada possuem a mesma prioridade de atualização e deverão ser revisitadas com frequências semelhantes.

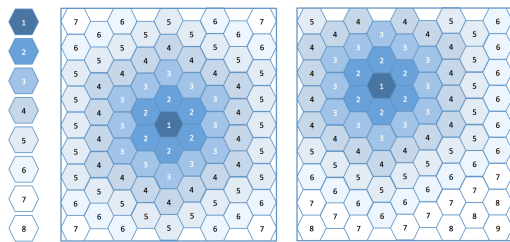


Figura 4: Gradiente de prioridades

3.3 Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema proposto é baseada na coordenação de multiagentes robóticos embarcados (Raspberry PI ), no qual os agentes são considerados cooperativos, de maneira que compartilham a necessidade da solução global do sistema. Para coordenação dos agentes, é utilizada a abordagem de coordenação espacial por posicionamento estratégico, conforme apresentado em (Reis, 2003). Nesta, são adotados planos centralizados para execução distribuída, através dos agentes embarcados nas aeronaves, que cumprem papéis de sensoriamento e transmissão de dados.

A arquitetura (fig. 5)   dividida em três partes: (a) estão de controle em solo (ECS), para planejamento e controle dinâmico da missão por intervenção do usuário; (b) frota de quadricópteros com capacidade de navegação por sensores inerciais e GPS; (c) agentes de controle embarcados nas aeronaves, responsáveis pela comunicação

entre as aeronaves e a ECS, alocação de tarefas e controle do *payload* da missão.

A ECS é o componente central do sistema. Através desta, o operador interage com o sistema para o planejamento e controle da missão, pela distribuição de tarefas dinamicamente entre os agentes de controle embarcados nos VANTs. Também, fornece uma interface de usuário que permite a um único operador o planejamento e o controle da missão dinamicamente, bem como, exibe em tempo real os dados sensorizados no ambiente.

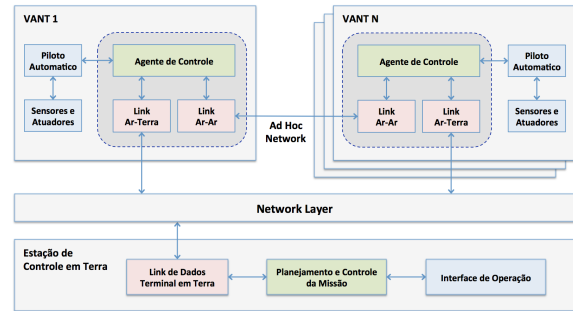


Figura 5: Visão geral da arquitetura do sistema

Visando a interoperabilidade do sistema, foram adotados padrões para comunicação entre agentes. Para a comunicação entre os agentes de controle, foram adotados padrões da *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA, 2015), mais especificamente, o conjunto de protocolos para comunicação entre agentes denominados FIPA-ACL (*Agent Communication Language*). Para a comunicação com a controladora do quadricóptero, optou-se por plataforma com suporte ao protocolo MAVLink (*Micro Air Vehicle Communication Protocol*), disponível em (Meier, 2015).

4 Simulador do Sistema de VANTs

Com o objetivo de uma plataforma de testes flexível para experimentação dos algoritmos de cobertura de área, foi desenvolvido um simulador em Java (figura 6). Os parâmetros da interface do simulador são os seguintes:

-  rea: a região de interesse é definida num plano cartesiano, cujas coordenadas nos eixos X e Y são definidas em relação ao tamanho da célula, baseado no alcance do sensor;
- Gradiente: determina a posição de maior interesse sob monitoramento dentro da região de interesse, bem como, a quantidade de camadas da borda de segurança;
- Sensor: alcance nominal do sensor de imagem; na grade hexagonal, é calculado em função do tamanho de lado do hexágono;
- Comunicação: alcance radial do rádio embarcado de comunicação omnidirecional;

- VANTs: configuração dos parâmetros de voo das aeronaves para o simulador (velocidade, altitude, erro estimado), como também, quantidade de aeronaves aplicadas na tarefa;
- ECS: posição da estação de controle em solo;
- Bateria: estimativa do decaimento da bateria em função do voo e da comunicação de dados.

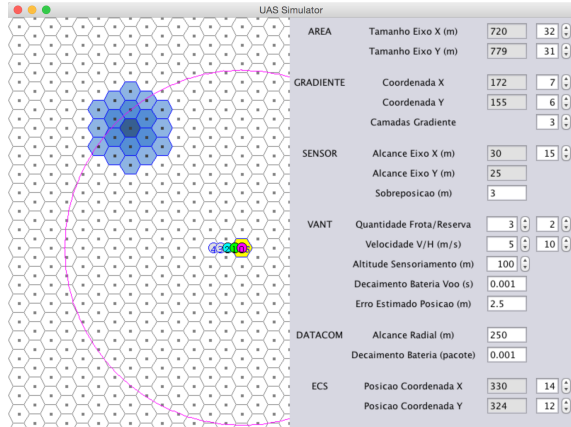


Figura 6: Interface com parâmetros do simulador

Na figura 7 é mostrado o simulador em execução, com 3 configurações do gradiente de prioridades sobre a região de interesse. A célula no centróide do gradiente é monitorada com maior prioridade e as demais células com decaimento proporcional por camada.

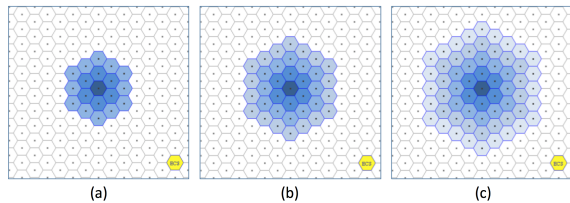


Figura 7: Parâmetros do gradiente: (a) gradiente com 3 camadas (b) 4 camadas (c) 5 camadas.

Na figura 8 observa-se o alcance da comunicação do VANT que deve ocupar o centro do gradiente, responsável pela comunicação da frota de VANTs com a ECS. Quando não há alcance direto do VANT líder com a ECS, é utilizado outro VANT para *relay* de comunicação (multi-salto).

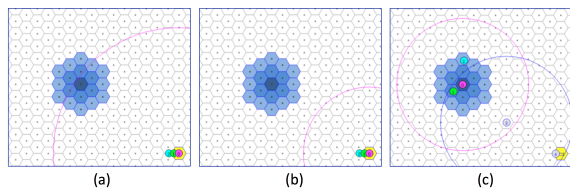


Figura 8: Parâmetros de comunicação: (a) comunicação com alcance da ECS e (b) sem alcance da ECS; (c) comunicação com uso de VANT para *relay*.

4.1 Simulação e Experimentos

Foi realizado experimento com uso do simulador para a validação da abordagem da coordenação de agentes cooperativos com uso da abordagem de posicionamento estratégico e troca de papéis. Neste, é executado o principal requisito do sistema proposto, qual seja, a relocação autônoma das aeronaves mediante solicitação do operador para uma posição dentro da região sob observação. A figura 9 apresenta um cenário de relocação dinâmica, na qual o operador solicita a mudança do ponto de observação.

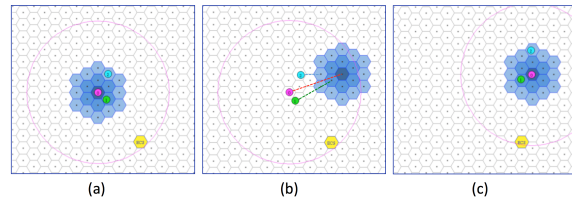


Figura 9: (a) posição das aeronaves no momentos da solicitação de relocação (b) nova posição do gradiente (c) aeronaves após relocação.

Para isso, foram utilizados dois algoritmos, o primeiro é trivial, no sentido que as aeronaves ocupam na nova posição a mesma camada do gradiente em que se encontravam antes da relocação; o algoritmo com uso da abordagem proposta, seleciona as aeronaves mais próximas de cada camada para sua ocupação, dessa maneira, o ponto central do gradiente de maior prioridade é o primeiro a ser ocupado e, conseqüentemente, deverá ser reiniciada a transmissão mais rapidamente.

Na figura 10 é apresentado um gráfico elaborado a partir dos tempos registrados em diversos cenários de relocação, com diferentes distâncias entre os centróides dos gradientes, como também, diferentes posicionamentos das aeronaves no momento da solicitação de relocação. Neste, são apresentados cenários para ocupação da célula central do gradiente (de maior prioridade) à partir do algoritmo trivial em comparação ao algoritmo de posicionamento estratégico proposto, no qual a aeronave mais próxima assume o papel de VANT líder, assim como as demais aeronaves assumem as camadas mais próximas de seu posicionamento no momento da relocação.

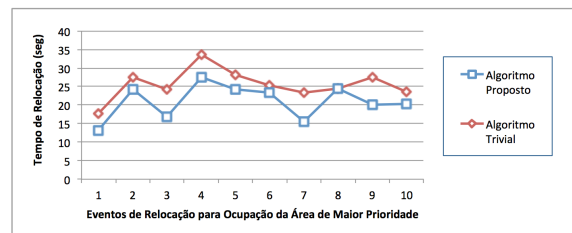


Figura 10: Gráfico comparativo dos tempos de relocações dinâmicas das aeronaves

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo, foi apresentada a proposta de um sistema para a coordenação de múltiplos micro-VANTs, aplicado no monitoramento persistente por cobertura de área, com alocação dinâmica de tarefas por um único operador. Para validação da abordagem de coordenação espacial por posicionamento estratégico de agentes cooperativos, foi desenvolvido um simulador com interface para configuração dos parâmetros da missão, como também, relocação dinâmica por intervenção do usuário. A partir da análise dos dados gerados pelo simulador, foi possível validar a abordagem proposta.

Em relação aos trabalhos futuros, propomos uma investigação com uso do simulador para os tempos de restabelecimento do link de comunicação em casos de relocação nos quais o VANT líder necessite de *relay* para alcance da ECS.

Referências

- Acevedo, J. J., Arrue, B. C., Maza, I. and Ollero, A. (2013). Distributed approach for coverage and patrolling missions with a team of heterogeneous aerial robots under communication constraints, *Int J Adv Robotic Sy* **10**(28).
- Araujo, J., Sujit, P. and Sousa, J. (2013). Multiple uav area decomposition and coverage, *Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA), 2013 IEEE Symposium on*, IEEE, pp. 30–37.
- Bekmezci, I., Sahingoz, O. K. and Temel, Ş. (2013). Flying ad-hoc networks (fanets): A survey, *Ad Hoc Networks* **11**(3): 1254–1270.
- Carrillo, L. R. G., López, A. E. D., Lozano, R. and Pégard, C. (2012). *Quad rotorcraft control: vision-based hovering and navigation*, Springer Science & Business Media.
- Chen, Y., Zhang, H. and Xu, M. (2014). The coverage problem in UAV network: A survey, *Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2014 International Conference on*, pp. 1–5.
- Cummings, M. L., Bertucelli, L. F., Macbeth, J. and Surana, A. (2014). Task versus vehicle-based control paradigms in multiple unmanned vehicle supervision by a single operator, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* **44**(3): 353–361.
- DARPA (2014). Collaborative Operations in Denied Environment (CODE) - DARPA-BAA-14-33 - Defense Advanced Research Projects Agency, Federal Business Opportunities.
- FIPA (2015). Foundation for Intelligent Physical Agents, Em: <<https://www.fipa.org>>.
- Goodrich, M. and Cummings, M. (2015). Human factors perspective on next generation unmanned aerial systems, *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* pp. 2405–2423.
- Howden, D. J. (2013). Fire tracking with collective intelligence using dynamic priority maps, *Evolutionary Computation (CEC), 2013 IEEE Congress on*, pp. 2610–2617.
- Khandani, H., Moradi, H. and Panah, J. Y. (2014). A real-time coverage and tracking algorithm for uavs based on potential field, *Robotics and Mechatronics (ICRoM), 2014 Second RSI/ISM International Conference on*, IEEE, pp. 700–705.
- Lichtenstern, M., Angermann, M. and Frassl, M. (2011). IMU-and GNSS-assisted single-user control of a MAV-swarm for multiple perspective observation of outdoor activities, *ION ITM*.
- Meier, L. (2015). MAVLink Micro Air Vehicle Communication Protocol, Disponível em: <<http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>>.
- Michael, N., Stump, E. and Mohta, K. (2011). Persistent surveillance with a team of mavs, *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on*, IEEE, pp. 2708–2714.
- Nigam, N. (2014). The multiple unmanned air vehicle persistent surveillance problem: A review, *Machines* **2**(1): 13–72.
- Ousingsawat, J. (2006). Uav path planning for maximum coverage surveillance of area with different priorities, *20th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. Nakhon Ratchasima, Thailand*, pp. 18–20.
- Reis, L. P. (2003). *Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico*, PhD thesis, Universidade do Porto.
- Sahingoz, O. K. (2014). Networking models in flying ad-hoc networks (fanets): Concepts and challenges, *Journal of Intelligent & Robotic Systems* **74**(1-2): 513–527.
- Sauter, J. A., Matthews, R., Parunak, H. V. D. and Brueckner, S. A. (2005). Demonstration of digital pheromone swarming control of multiple unmanned air vehicles, *AAAI Infotech@ Aerospace*.
- Yao, Y., Zhang, P., Liu, H. H. and He, F. (2012). Optimal sweep-based persistent surveillance using multiple unmanned aerial vehicles with level of interest, *Intelligent Control and Automation (WCICA), 2012 10th World Congress on*, IEEE, pp. 2441–2446.