

BUSCA ADAPTATIVA COM MÚLTIPLOS VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS)

ADAPTIVE SEARCH WITH MULTIPLE UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS)

A. N. Chaves
P. S. Cugnasca
J. J. Neto

aquila.chaves@usp.br, paulo.cugnasca@poli.usp.br
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brazil.

Resumo: Apesar de já existirem pesquisas sobre veículos aéreos não tripulados colaborativos, operações com este tipo de robôs ainda não estão ocorrendo. Usando os conceitos adaptativos, este trabalho propôs um modelo para investigar operações de busca colaborativas utilizando múltiplos VANTS. Os conceitos adaptativos se encaixam muito bem com o dinamismo inerente a operações de busca em ambientes desconhecidos. Dois mecanismos de adoção são propostos. O primeiro visa à priorização das células mais prováveis dentro de um mapa probabilístico e o segundo, a uma realocação dinâmica das subáreas inicialmente alocadas aos VANTS. Cálculos teóricos mostram um aumento na eficiência em torno de 100%. As vantagens de se utilizar VANTS colaborativos não dizem respeito somente ao aumento da eficiência, mas também a redução do custo e a redução risco para a tripulação. Além disso, trabalhos relacionados, histórico dos VANTS, conclusões e sugestões para pesquisas futuras são apresentadas.

Palavras-chave: Sistemas adaptativos; Veículos Aéreos Não Tripulados; múltiplos VANTS; operações de busca; busca e salvamento.

Abstract: Despite there being some researches about collaborative unmanned aerial vehicle, operations with this kind of robots are not yet occurring. Using adaptative concepts, a model to investigate search operations applied to multiple UAVs is proposed. The adaptative concepts fit very well with the dynamism present in search operations in unknown environment. Two mechanism of adaption are purposed. The first leads to a prioritization of the most likely cells in the probabilistic map and the second leads to a dynamic redivision of the subareas initially allocated. Theoretical calculations show an increase in efficiency by about 100%. The utility of collaborative UAVs is not only the increase in efficiency, but also the reduction of costs and risks for the crew. Furthermore, related works, UAV history, conclusions and suggestions for future researches are also presented.

Keywords: Adaptative systems; Unmanned Aerial Vehicle; multiple UAVs; search operations; SAR.

1 INTRODUÇÃO

Vants (Veículos Aéreos Não Tripulados) são aeronaves capazes de serem operadas por controle remoto ou autonomamente. Esses robôs são ideais para operações longas (que expõem a tripulação à fadiga extrema) e operações em que há risco para o piloto (tanto para a saúde quanto risco de morte) – são as chamadas *dull, dirty and dangerous missions*. Logo, uma importante aplicação desses veículos diz respeito às operações de busca envolvendo múltiplos VANTS [1], [2], [3], [4], pois aumentando o número de aeronaves pode-se aumentar a cobertura da busca e a utilização de VANTS torna viável que a operação perdure por muito mais tempo. Além disso, com o barateamento das tecnologias de controle e de comunicação, a utilização de múltiplos VANTS se torna viável e bastante atrativa. Espera-se que a combinação de esforços das partes colaborativas supere a soma dos esforços das partes isoladas, minimizando o tempo e os recursos necessários para localizar um ou mais alvos. Também em favor da utilização de VANTS em operações de busca, o Manual Internacional de Busca e Salvamento [5] aponta que mais de uma aeronave tripulada não deve fazer buscas na mesma subárea, pois essa situação gera um estado de alerta prejudicial ao sucesso da operação, fazendo com que a tripulação tenha a sua atenção desviada das buscas visuais para a navegação e coordenação com outras aeronaves. Portanto, a utilização de VANTS nesse tipo de operação se faz necessária.

As operações de buscas representam a fase mais importante das operações de busca e salvamento [6], mais conhecidas na literatura pela sigla SAR (*search and rescue*). Nesse contexto, a utilização de tecnologias adaptativas mostra-se atrativa, pois permite que os VANTS se adaptem a novas informações provenientes de outros VANTS, permitindo o compartilhamento do mesmo espaço de busca e agregando dinamismo às buscas, contribuindo, assim, para aumentar a eficiência da operação.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de modelagem de um sistema de VANTS colaborativos, aplicada a operações de busca, utilizando os conceitos de tecnologia adaptativa.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção II apresenta o histórico dos VANTS até chegar à visão de operação envolvendo múltiplos VANTS e como a colaboração

Este trabalho recebeu apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do programa de Bolsas de Mestrado.

de VANTS é abordada em trabalhos relacionados. A seção III apresenta o mecanismo de busca adaptativa, definindo o cenário de busca, a estrutura da informação trocada entre os VANTS e os mecanismos de adaptação em si. Por fim, as seções IV e V apresentam, respectivamente, os resultados esperados com base em cálculos teóricos e as considerações finais deste trabalho.

2 MÚLTIPLOS VANTS

Existem diversas abordagens que tratam da colaboração de múltiplos VANTS. A subseção a seguir apresentará um breve histórico da tecnologia em VANTS, mostrando a evolução desde o seu surgimento até a visão de futuro com múltiplos VANTS colaborativos, contexto em que este trabalho se insere.

a) Da origem à visão de futuro

Também conhecidos como *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs), *Uninhabited Aerial Vehicles* [7], *Unmanned Aircraft Systems* (UASs), ou simplesmente *drones* [8], os VANTS possuem histórico associado, principalmente, a operações militares.

Enquanto o conceito de voo não tripulado foi introduzido formalmente por Nicola Tesla em 1915 [9], os primeiros testes sem tripulação datam de 1916, quando Lawrence e Elmer Sperry construíram uma aeronave com navegação automática – batizada de “torpedo aéreo” [7]. Mas, somente em 1917 o primeiro VANT foi desenvolvido, durante a Primeira Guerra Mundial. Até aquele momento, os VANTS não eram confiáveis e sua utilidade não era reconhecida pela maioria dos militares e líderes políticos [8]. No entanto, muito antes disso, o ser humano já se aventurava a construir “engenhocas” que, pela definição atual, já poderiam ser consideradas VANTS. Em 1849, austríacos utilizaram balões interligados a cabos elétricos para lançar bombas sobre o inimigo [10].

A era moderna dos VANTS inicia-se na década de 1970, com os Estados Unidos e Israel desenvolvendo projetos de VANTS de pequeno porte, menos velozes e mais baratos que os utilizados até aquele momento. O sucesso das operações israelenses na guerra do Líbano, utilizando essas aeronaves, em 1982, deu origem a um novo sistema que foi utilizado com sucesso nas operações no Iraque, em 1991 e em 2003 [7]. Portanto, pode-se dizer que foram após as operações em 1991, quando o VANT Pioneer foi utilizado em 300 missões durante a operação *Desert Storm*, que a utilização de VANTS deslanchou [8] [9].

Atualmente, a maior parte dos VANTS ainda são semiautônomos, ou seja, dependem de um operador humano para serem guiados [11]. Nesse contexto, este trabalho também contribui para o avanço na pesquisa de VANTS verdadeiramente autônomos.

Após décadas de avanço, os principais desafios referentes aos VANTS estão relacionados ao voo colaborativo [8]. Apesar de os VANTS atuais apresentarem baixa autonomia, a visão é que, no futuro, múltiplos robôs aéreos sejam capazes

de atuar de modo colaborativo. Os VANTS funcionarão como uma rede de sensores, devendo ser coordenados para cumprir missões complexas [12]. É nessa direção que este trabalho visa majoritariamente contribuir.

b) Abordagens em relação a Múltiplos VANTS

Ryan *et al.* [13] apontam que, apesar do barateamento dos sistemas computacionais e do crescente interesse pela utilização de VANTS colaborativos, alguns desafios ainda persistem, tais que: (i) detecção do alvo por câmeras ou sensores; (ii) mecanismos para evitar colisão com outros VANTS ou com obstáculos fixos; (iii) reconfiguração de formação, quando os VANTS voam em formação; (iv) controle transparente do grupo de VANTS, que visa à operação de múltiplos VANTS sem a necessidade de operar individualmente cada VANT; e (v) limitações de hardware e de comunicação. Nesse trabalho, os autores abordam, principalmente, o desafio (iv), sugerindo que uma aplicação de VANTS colaborativos deve fornecer uma interface gráfica simplificada para que um operador insira os objetivos da missão. Assim, os VANTS devem cooperar para dividir e realizar as tarefas de modo autônomo. Será visto, a seguir, que a proposta de busca adaptativa atende à sugestão desses autores.

Luotsinen, Gonzalez e Boeloeni [14] propuseram um modelo em que a colaboração de VANTS ocorre pela troca de informações sobre os riscos existentes na exploração de um ambiente hostil. Para isso, um mapa de ocupação é utilizado e compartilhado entres os VANTS. O mapa identifica as regiões hostis e é utilizado na navegação de cada VANT, de modo a evitar essas regiões. Nesse caso, a adaptação ocorre para desviar de áreas de risco. Segundo os autores, o principal conceito utilizado foi o *Context Based Reasoning framework* (CxBR) [15], cuja função é modelar o comportamento dos agente (que exerce papel de VANT) baseando-se no conhecimento prévio desse agente e na sua experiência adquirida ao longo da operação. Assim, a cada percepção, o agente define um conjunto finito de consequências e atualiza seu conhecimento.

Outro aspecto importante da aplicação de VANTS em operações de busca e salvamento é a detecção de pessoas por meio do processamento de imagens. Nesse contexto, Doherty e Rudol [3] abordaram esse problema, refinando algoritmos de identificação de corpos humanos. Além disso, desenvolveram um *framework* para cooperação baseado em delegação de metas e sequência de ações. Aqui, observa-se uma cooperação por meio da distribuição e divisão de tarefas.

Em determinados cenários de busca, também pode ser necessário considerar regiões de sombra enquanto a operação de busca é realizada. Por exemplo, em aéreas urbanas, a presença de prédios faz com que seja necessário observar determinados pontos no solo de vários ângulos diferentes. Abordando esse problema, Waharte e Trigoni [2] e Jakob *et al.* [16] compararam a eficiência de alguns algoritmos de busca, considerando regiões de sombra.

Por fim, há trabalhos que utilizam protótipos reais para estudar a colaboração de VANTS. Por exemplo, Ryan *et al.* [17] implementaram um sistema que realiza missões colaborativas supervisionadas por um único operador. Nesse trabalho, VANTS de pequeno porte foram utilizados e a cooperação também se baseia na distribuição de tarefas de patrulha ou de procura de invasor.

Portanto, verifica-se que a pesquisa de VANTS colaborativos realmente autônomos é uma área de interesse multidisciplinar que ainda se encontra no seu nascedouro. A seção a seguir apresenta a proposta de busca adaptativa, foco principal deste artigo.

3 BUSCA ADAPTATIVA

Outros trabalhos também utilizam adaptatividade para operações de busca. No entanto, abordam diferentes cenários de busca que o abordado neste trabalho. Rubio, Vagners e Rysdyk [18], por exemplo, utilizaram conceitos de adaptatividade para adequar a trajetória de busca aos reflexos do sol e trabalharam com um objeto de busca por vez.

A seguir, o cenário de busca deste trabalho é definido.

a) *Cenário de busca*

Sabe-se que, para cada cenário, há uma estratégia de busca mais adequada [6]. Portanto, a identificação do cenário de busca é essencial para o sucesso de uma operação de busca. O cenário proposto é a perda de uma aeronave em alto mar com o desconhecimento de qualquer informação sobre sua posição. Sabe-se apenas a região onde é possível que estejam as partes que se espalharam, representada pela região retangular na figura 1.

Os objetos de busca (*search objects*) serão espalhados a partir de um foco central de acordo com uma distribuição gaussiana, conforme apresentado na figura 1, que está coerente com a distribuição de probabilidades apresentada pelo Manual Internacional de Busca e Salvamento [5]. Inicialmente, os VANTS desconhecem qualquer informação sobre a localização dos objetos perdidos. Esses objetos de busca (também chamados de alvos na literatura) representam destroços e eventuais sobreviventes.

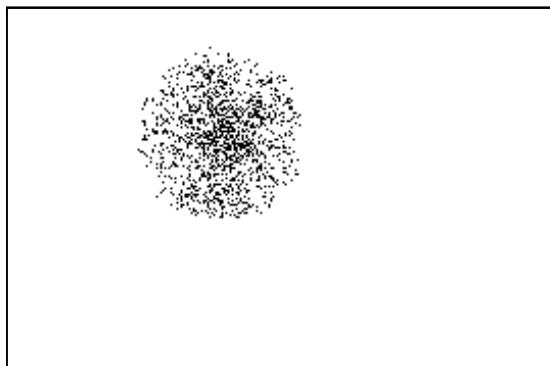


Figura 1. Cenário de busca.

Em acidentes como esse, é possível que haja aproximadamente 600 objetos entre bagagens, fuselagens, partes do avião e, principalmente, sobreviventes espalhados. Tudo isso dentro de uma área total de busca de aproximadamente 350 mil quilômetros quadrados [19].

Assim, a busca colaborativa é bastante atraente nesse cenário, pois, diferentemente de buscas tripuladas, os VANTS podem sobrevoar a área interrompidamente, durante muitas horas e, numa mesma altitude. A adaptatividade agrega ainda mais na medida em que, quando ocorre detecção dos primeiros objetos, os VANTS podem trocar informações e se adaptar às novas informações-, tentando inferir onde está a região de espalhamento.

b) *Discretização da região de busca*

De acordo com Chung e Burdick, os métodos probabilísticos são os mais apropriados para avaliar a evolução da maioria das tarefas de coleta de informações, pois eles são capazes de representar imprecisões na área busca [20]. Na proposta de busca adaptativa deste artigo, os VANTS compartilham o conhecimento sobre o ambiente e sobre a evolução da operação de busca na forma de um mapa de probabilidades. Essas probabilidades representam a chance de se detectar um objeto em cada célula desse mapa.

Dessa forma, a busca adaptativa utiliza um mapa de busca discretizado. Ou seja, cada VANT mantém o conhecimento da área de busca de forma discretizada, em que cada célula contém a probabilidade dela conter um objeto de busca. A figura 2 ilustra a representação do conhecimento do VANT.

Cabe ressaltar que a figura 2 apresenta apenas uma pequena parte do espaço de busca, que pode conter milhares de células. Nota-se que em cada célula há a probabilidade P dela conter um objeto de busca, cujo valor pode variar entre 0 a 1.

O modelo de navegação utilizado aqui é o mesmo utilizado em [21], em que a navegação do VANT entre as células se restringe às direções norte, sul, leste e oeste. No referido trabalho, Lin e Goodrich concluem que esse modelo é bem próximo das capacidades de um VANT de pequeno porte, pois, em voos reais, um VANT faz uma curva de 90 graus (cobrindo três células) no mesmo tempo em que dois deslocamentos perpendiculares (também cobrindo três células) ocorreriam. Portanto, esse modelo de navegação é bastante adequado a mini ou micro-VANTS e a VANTS de asas rotativas. Além disso, utilizando uma câmera com rotação em três eixos, mais conhecida como *gimbal camera*, é possível fazer com que a busca realizada pela câmera faça a curva em 90 graus.

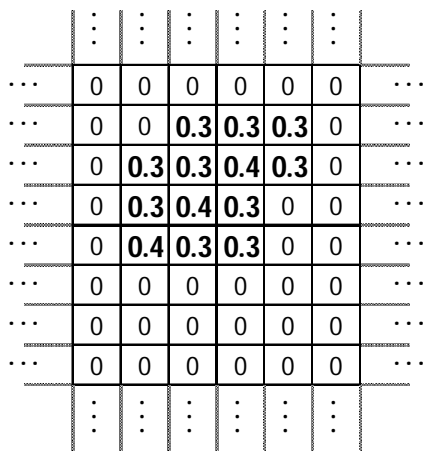


Figura 2. Discretização da área de busca.

c) Adaptação

Tendo o mapa do espaço de busca discretizado em células, a probabilidade de cada célula conter um objeto é inicializada com zero, pois não há qualquer conhecimento sobre a provável localização dos objetos no espaço de busca.

Nesse estado, os VANTS utilizam o padrão de busca “Rotas Paralelas” como algoritmo de navegação. A figura 3 ilustra esse padrão de busca, que é definido pelo DECEA [6] como o mais indicado em situação que não se tem informações sobre o objeto de busca.



Figura 3. Buscas iniciais utilizando o padrão de Rotas Paralelas para dois VANTS, explorando por varredura todo o espaço de busca, que foi dividido em duas subáreas.

Quando um dos VANTS (chamado de primeiro) detecta um objeto, ele atualiza o seu mapa de probabilidade (aumentando as probabilidades das células ao redor da célula em que este objeto foi encontrado) e o transmite ao outro VANT (chamado de segundo). Assim, as células dentro do círculo pontilhado (figura 4), excetuando as que já foram visitadas, têm as probabilidades aumentadas.

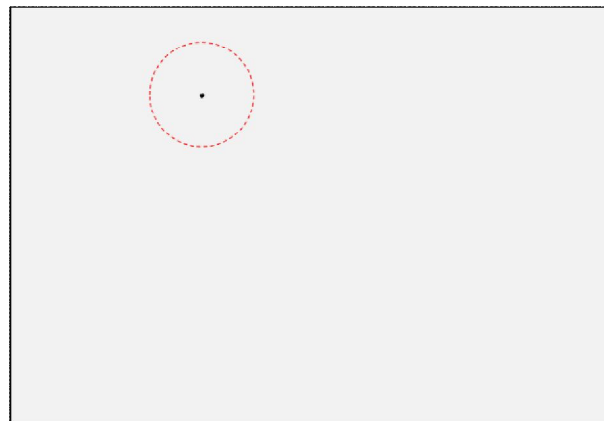


Figura 4. Exemplo de detecção do primeiro objeto. As células que estão dentro do círculo pontilhado têm suas probabilidades aumentadas.

Ao receber a atualização do mapa, o segundo VANT, que ainda não detectou nada, altera o seu padrão de busca, adaptando-se a essa à nova situação. A partir desse momento, a busca do segundo VANT passa a se comportar da seguinte forma:

1. Uso do algoritmo A* para chegar até a célula de maior probabilidade ou até a fronteira da região de maior probabilidade (em caso de haver mais de uma célula aglutinada com maior probabilidade). Aqui, as células já sobrevoadas e com detecções negativas ganham pesos suficientemente altos para evitar que o VANT perca tempo sobrevoando células onde já foi feita a busca. Ao mesmo tempo, os pesos devem ser suficientemente baixos para que não impeça a passagem do VANT por essas células, gerando um caminho demasiadamente longo. Células com maior probabilidade de conter objetos (mas com probabilidade menor do que a probabilidade da célula de destino), que ainda não foram sobrevoadas, também influenciam na redução do peso dos nós intermediários durante o cálculo do caminho pelo algoritmo A*.
2. Ao chegar à região de maior probabilidade, o VANT efetua uma busca local.

A busca local baseia-se em, a cada movimento, deslocar o VANT para a célula vizinha mais próxima de maior probabilidade. Se houver alguma outra célula de maior probabilidade que as células vizinhas, utiliza-se o algoritmo A* para navegar até essa célula, de acordo com o exposto anteriormente. Esse processo é repetido até que toda a região seja varrida.

Outras heurísticas mais elaboradas poderiam ser utilizadas na busca local. No entanto, isso não faz parte do escopo deste trabalho.

Enquanto isso, considerando que o primeiro VANT está numa região mais provável de conter os objetos (pois já houve uma detecção), ele continua a sua varredura pelo padrão “Rotas Paralelas” até finalizá-la em sua subárea. Apenas quando ele finaliza essa busca é que ele altera o seu comportamento, agindo da mesma forma que o segundo VANT e ajudando-o em buscas locais. Para evitar colisão entre VANTS, quando o primeiro VANT está em navegação no padrão “Rotas Paralelas”, todas as células que estão na mesma coordenada y se tornam não navegáveis pelo segundo VANT.

A cada nova detecção realizada por qualquer um dos VANTS, o mapa probabilístico é atualizado e os passos 1 e 2 são realizados pelo(s) VANT(s) responsável(is) pela busca local. Observa-se pela figura 5 que, conforme as detecções vão ocorrendo, o mapeamento da área dos objetos perdidos vai se tornando mais nítido.

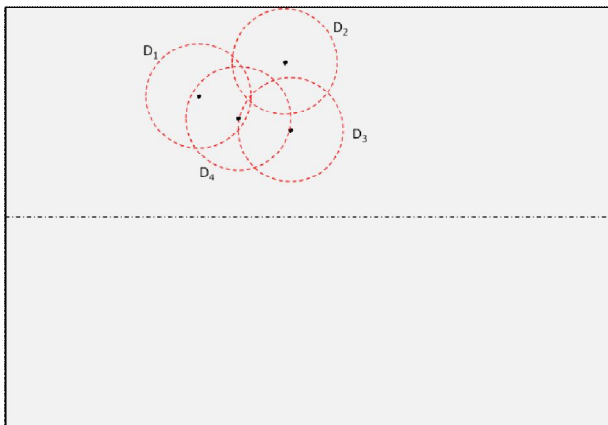


Figura 5. Quatro detecções de objetos e, conseqüentemente, quatro atualizações das probabilidades do espaço de busca.

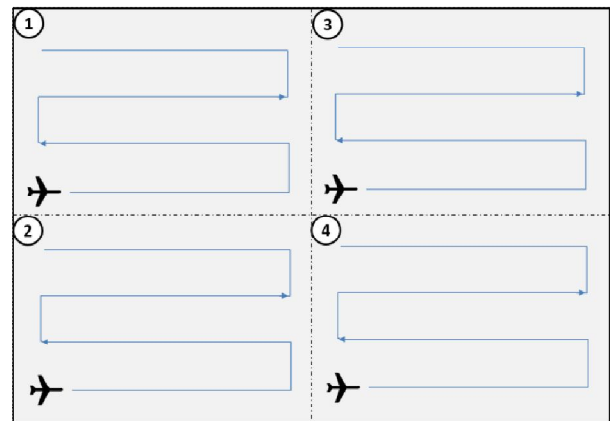
Assim, essa constante adaptação atua como se fosse uma “força de atração” que direciona o(s) VANT(s) responsável(is) pela busca local sempre para a região de maior probabilidade de detecção. Além desse mecanismo adaptativo, que atua fortemente na priorização de áreas, a busca com múltiplos VANTS exige outros mecanismos de adaptação que atuam na coordenação entre os VANTS.

Numa busca realizada por quatro VANTS, por exemplo, inicialmente o espaço de busca retangular é dividido em quatro partes iguais, alocadas a cada um dos quatro VANTS, conforme figura 6a. Posteriormente, assumindo que o VANT da área 1 encontrou um objeto, o VANT que estiver mais próximo abandona a sua subárea (neste caso o segundo VANT – figura 6b) e segue para realizar a busca local. Até aqui, foi introduzido apenas a coordenação para alocar o VANT mais próximo. Nesse momento, os outros dois VANTS, que ainda não assumiram a responsabilidade da busca local, devem se adaptar à nova situação e continuar a varredura na subárea deixada pelo segundo VANT que seguiu para a busca local.

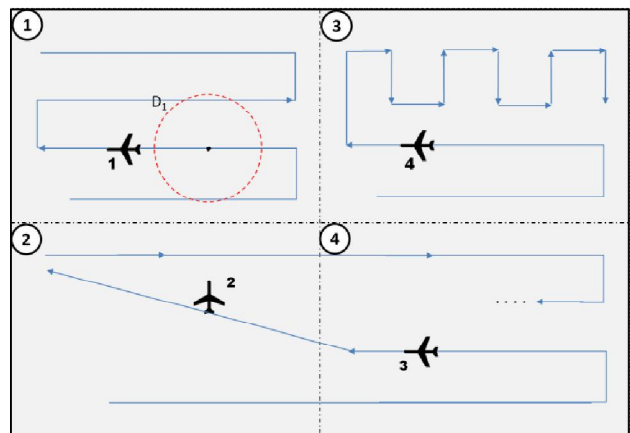
A adaptação proposta atua da redivisão dinâmica das subáreas e ocorre da seguinte forma: quando o segundo VANT segue para realizar a busca local, os outros VANTS das áreas 3 e 4 (figura 6) realizam as seguintes manobras:

- O VANT da área 3 adapta o padrão de busca de modo a priorizar as células que estão mais próximas de onde foi detectado o primeiro objeto.
- O VANT da área 4 adapta-se, da mesma forma, aumentando sua subárea de busca. Nesse último caso, a saída do segundo VANT faz com que a área 2 deixe de ser espaço proibido para o VANT da área 4.

Nessa segunda adaptação, as regras utilizadas foram: (i) o VANT mais próximo do VANT que assumiu a busca local assume a sua subárea; (ii) após a primeira detecção, atualizar o padrão de busca de modo que a varredura ocorra paralelamente à subárea em que o objeto foi detectado e que a progressão da varredura ocorra no sentido de afastamento dessa subárea.



(a) Busca adaptativa com quatro VANTS no estado inicial.



(b) Busca adaptativa com quatro VANTS após o segundo mecanismo de adaptação proposto.

Figura 6. Busca adaptativa com quatro VANTS.

4 RESULTADOS

Este trabalho faz parte de uma pesquisa em andamento cuja simulação, embora já demonstre alguns resultados, continua em fase de desenvolvimento. Por esse motivo, até o momento, analisou-se apenas o cenário com dois VANTS. Partindo do modelo adaptativo proposto e considerando os seguintes parâmetros:

- câmera com angulação de 30° [22],
- altitude de busca de 150 metros [6], e
- área total de varredura de 10.000 km² e objetos espalhados numa área de raio de 5 km de lado – espalhamento próximo ao de um caso real obtido em [23],

pode-se obter o resultado esperado.

Dada a angulação e a altitude, obtêm-se células de dimensões de aproximadamente 100m x 100m. Logo, considerando uma velocidade média do VANT de 20m/s (velocidade média atingida por um mini-VANT), dois VANTS levariam cerca de 7 dias (174 horas) voando ininterruptamente para varrer exaustivamente a área.

Utilizando os mecanismos adaptativos propostos neste trabalho, obtêm-se um valor médio teórico de 82 horas. Totalizando um aumento de eficiência de aproximadamente 100%. Ou seja, houve redução de aproximadamente 50% no tempo de busca. O cálculo foi feito tirando uma média entre o melhor caso (um dos VANTS encontra o primeiro objeto imediatamente após o início da varredura) e o pior caso (um dos VANTS encontra o primeiro objeto no fim da sua varredura).

Simulações foram conduzidas com dois VANTS e os resultados demonstraram, após 30 simulações, uma média de 55% de redução no tempo de busca (comparando com o tempo necessário para realizar buscas em 100% da área), com desvio padrão de 21%.

Novos cenários ainda serão analisados e os resultados serão apresentados em trabalhos futuros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um modelo de busca adaptativa que pode ser utilizado em qualquer tipo de robô. Porém, a utilização em grupos de VANTS é bastante atrativa de modo que os VANTS podem ser empregados em áreas de difícil acesso. Além disso, os VANTS podem realizar as buscas ininterruptamente enquanto houver combustível e, ao invés de câmeras, podem utilizar sensores térmicos, permitindo também buscas noturnas. Ainda que em aeronaves tripuladas também seja possível fazer uso de sensor térmico, há um aumento do risco para a tripulação, em se tratando de voos noturnos.

O modelo propõe adaptatividade no que se refere à priorização de áreas com maior probabilidade de se encontrar

objetos de busca e à redivisão das subáreas. Nesse segundo caso, além do redimensionamento dinâmico das subáreas que estão sendo varridas (emprego do padrão de busca “Rotas Paralelas”), o sentido da progressão da varredura também é ajustado ao novo mapa de conhecimento.

Para uma operação de busca utilizando dois VANTS no cenário proposto, cálculos teóricos mostram redução de 50% no tempo de busca. Num segundo momento, utilizando o método Monte Carlo, simulações serão conduzidas com o objetivo de demonstrar a potencialidade do método aqui proposto.

Trabalhos futuros também podem explorar a coordenação dos VANTS, utilizando a teoria multiagente, principalmente na fase de busca local e redimensionamento das subáreas. A teoria multiagente é aderente à autonomia que se deseja dar aos VANTS e fornece diversas técnicas de coordenação e colaboração que podem ser muito bem aplicadas nesta situação.

Diferentes algoritmos e heurísticas também devem ser explorados e estudados na busca local.

A discretização do mapa e o fato de os VANTS se guiarem apenas pelo mapa probabilístico também contribuem para a solução do desafio de controle transparente abordado em [13]. O mecanismo permite que apenas um operador controle todos os VANTS (não importa quantos), apenas manipulando as informações do mapa probabilístico.

Além disso, diversos outros cenários podem ser analisados, como, por exemplo, o caso em que se deseje iniciar as buscas pela rota planejada da aeronave perdida e, por fim, as simulações devem ser flexibilizadas de modo que a colaboração de n VANTS possa ser observada.

REFERÊNCIAS

- [1] Seng Keat Gan and Salah Sukkarieh, "Multi-UAV target search using explicit decentralized gradient-based negotiation," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Shanghai, China, 2011, pp. 751-756.
- [2] S. Waharte and N. Trigoni, "Supporting Search and Rescue Operations with UAVs," in *International Conference on Emerging Security Technologies (EST)*, Canterbury, UK, 2010, pp. 142-147.
- [3] Patrick Doherty and Piotr Rudol, "A UAV Search and Rescue Scenario with Human Body Detection and Geolocalization," in *AI 2007: Advances in Artificial Intelligence*, Mehmet Orgun and John Thornton, Eds.: Springer Berlin / Heidelberg, 2007, vol. 4830, pp. 1-13.
- [4] Home Land Security NewsWire. (2010, Julho) Home Land Security NewsWire. [Online]. <http://www.homelandsecuritynewswire.com/uavs-perform-autonomous-search-and-rescue-operations>
- [5] IMO/ICAO, "IAMSAR Manual - International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual," IMO/ICAO, London/Montreal, 2003, 2003.

- [6] DECEA, "Manual de Busca e Salvamento (SAR)," Ministério da Defesa - Comando da Aeronáutica, 2009.
- [7] Timothy H. Cox, Christopher J. Nagy, Mark A. Skoog, and Ivan A. Somers, "Civil UAV Capability Assessment," NASA and CSM, Inc., Draft Version 2004.
- [8] Kimon P. Valavanis, *Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy*, Kimon P. Valavanis, Ed.: Springer, 2007.
- [9] U.S. Army, "Unmanned Aircraft System - Roadmap 2010-2035," U.S. Army UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama, USA, 2010.
- [10] Scientific American, "More about Ballons," *Scientific American*, vol. 4, no. no. 26, p. 205, Março 1849.
- [11] L.N. Long, S.D. Hanford, O. Janrathitikarn, G.L. Sinsley, and J.A. Miller, "A Review of Intelligent Systems Software for Autonomous Vehicles," in *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Security and Defense Applications (CISDA 2007)*, Honolulu, HI, USA, 2007, pp. 69-76.
- [12] George Vachtsevanos, Liang Tang, and Johan Reimann, "An Intelligent Approach to Coordinated Control of Multiple Unmanned Aerial Vehicles," in *In Presented at the American Helicopter Society 60th Annual Forum*, Baltimore, MD, 2004.
- [13] A. Ryan, M. Zennaro, A. Howell, R. Sengupta, and J.K. Hedrick, "An overview of emerging results in cooperative UAV control" , vol. 1, 2004, pp. 602-607.
- [14] Linus J. Luotsinen, Avelino J. Gonzalez, and Ladislau Boeloeni, "Collaborative UAV Exploration of Hostile Environments," *Intelligent Autonomous Vehicles*, vol. Spring 2008, 2004.
- [15] Avelino J. Gonzalez and Robert Ahlers, "Context-based representation of intelligent behavior in training simulations," *Trans. Soc. Comput. Simul. Int.*, vol. 15, pp. 153-166, 1998.
- [16] Michal Jakob, Eduard Semsch, Dusan Pavlicek, and Michal Pechoucek, "Occlusion-aware Multi-UAV Surveillance of Multiple Urban Areas," in *6th Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT 2010)*, 2010.
- [17] A. Ryan *et al.*, "Decentralized Control of Unmanned Aerial Vehicle Collaborative Sensing Missions," in *American Control Conference (ACC '07)*, New York City, USA, 2007, pp. 4672-4677.
- [18] Juan Carlos Rubio, Juris Vagners, and Rolf Rysdyk, "Adaptive path planning for autonomous uav oceanic search missions," in *AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference*, Chigado, Illinois, 2004.
- [19] Centro de Comunicação Social da Marinha. (2009, Junho) Força Aérea Brasileira (FAB). [Online]. <http://www.fab.mil.br/portal/capa/index.php?mostra=3311>
- [20] T.H. Chung and J.W. Burdick, "Multi-agent probabilistic search in a sequential decision-theoretic framework," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008.*, Pasadena, California, USA, 2008, pp. 146-151.
- [21] L. Lin and M.A. Goodrich, "UAV intelligent path planning for Wilderness Search and Rescue," in *The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, St. Louis, USA, 2009, pp. 709-714.
- [22] Michael A. Goodrich *et al.*, "Supporting wilderness search and rescue using a camera-equipped mini UAV," *Journal of Field Robotics*, vol. 25, no. 1-2, pp. 89-110, 2008.
- [23] Folha Online. (2009, Junho) Folha Online - Ministro afirma que avião da Air France caiu a cerca de 700 km de Fernando de Noronha. [Online]. <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u575492.shtml>