



PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA

Prof. Fabio Augusto de Alcantara Andrade, M.Sc.¹

VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Recentes conflitos militares internacionais têm posto o desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados (VANTs) em evidência. A proliferação de VANTs também tem sido vista no cenário nacional brasileiro, por exemplo, no seu uso pela Polícia Federal e pela Força Aérea Brasileira no monitoramento de fronteiras. Ademais, no desastre ambiental recente ocorrido na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, VANTs foram utilizados pelo Instituto Militar de Engenharia para busca, resgate e mapeamento das regiões afetadas. Além destas, existem diversas iniciativas no uso

dos VANTs no Brasil, como filmagem, uso militar, alvo móvel, entre outras. Apesar de este assunto ser relativamente novo, ele remete à Guerra Civil Americana, na metade do século XVIII, onde um VANT primitivo foi utilizado. Tratava-se de um balão carregado com bombas que era lançado ao ar quando o vento estivesse na direção do inimigo (Figura 1).

A partir do século XIX, foram construídos vários tipos de torpedos aéreos (Figura 2). Apesar de a Primeira Guerra Mundial ter terminado antes que um VANT fosse utilizado, foi ela que impulsionou as pesquisas sobre o tema. Nos anos 30, as forças armadas britânicas desenvolveram o Queen Bee (Figura 3) para servir de alvo nos treinamentos aéreos.

Na Segunda Guerra Mundial, os nazistas utilizaram massivamente o VANT V-1 (Figura 4) para bombardear alvos não militares. Tentativas dos Estados

¹ Mestre em Engenharia Elétrica pelo CEFET/RJ.



Figura 1: Balão Bombardeiro

Fonte: Library of Congress.



Figura 2: Torpedo Kettering

Fonte: National Museum of the USAF.



Figura 3: Queen Bee

Fonte: Royal Air Force.



Figura 4: Nazi V-1

Fonte: Musée de l'Armée.

Unidos da América para eliminar o V-1 lançaram as bases para os programas de pós-guerra em VANTs nos EUA.

Durante os anos 60, na Guerra do Vietnã, VANTs controlados remotamente (Drones) foram utilizados para vigilância furtiva. O mais famoso foi o *Firebee*, que teve mais sucessores na década de 70. Posteriormente, na década de 80, a Força Aérea de Israel investe massivamente no estudo e desenvolvimento dos VANTs, se tornando

uma potência neste campo (Figuras 5).

Nos anos 90, os Estados Unidos utilizaram VANTs na invasão do Iraque e, dez anos depois, na Guerra do Afeganistão, iniciada em 2001. Conflitos recentes, como os que vêm acontecendo na Ucrânia, evidenciam que a era moderna dos VANTs já começou. Além das notícias do uso de VANTs para fins militares nesta guerra, seu emprego em missões civis desarmadas também tem sido observado, como o caso em que um VANT da Organização para a Segurança e Cooperação na Europa foi alvo de ataques antiaéreos sobre a Ucrânia.



Figura 5: Ryan Firebee

Fonte: Muzeyon Heyl ha-Avir.

CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA

Após a tragédia de 11 de setembro de 2001, enquanto os EUA procuravam melhorar a segurança e a proteção dos seus cidadãos, surgiu neste país o conceito de *Maritime Domain Awareness* (MDA), Consciência dos Domínios Marítimos em português, cujo termo já havia sido utilizado anteriormente, porém sem o conceito definido. Esta “consciência marítima” significava ter informações oportunas e confiáveis a respeito de todas as áreas e fatos sobre, sob, relativos a, adjacentes a, ou limítrofes a um mar, oceano, ou outra via navegável, incluindo todas as atividades marítimas relacionadas, infraestrutura, pessoas, carga, navios ou outros meios. Assim, o conceito de MDA é a compreensão efetiva de qualquer fato, associado ao domínio marítimo, que pode afetar a segurança, a defesa, a economia e o meio ambiente.

No final de 2006, como resultado da reunião de cúpula da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) em Riga, o termo *Maritime Domain Awareness* (inicialmente um conceito americano) evoluiu para *Maritime Situational Awareness* (MSA), Consciência Situacional Marítima em português, refletindo um conceito internacional mais amplo e mais adequado às definições utilizadas por diversos países.

Atualmente, na vastidão do oceano, diversas ações de agentes ilegais são frequentemente observadas, como, por exemplo, a pirataria, que retornou devido à incapacidade e à fraqueza do seu enfrentamento. Além desta, também existem as ameaças já estabelecidas como terrorismo, crimes transacio-

nais, imigração ilegal e desastres ambientais causados por poluição e catástrofes.

Assim, a finalidade da Consciência Situacional Marítima é desenvolver a habilidade de identificar ameaças existentes tão cedo e tão distante quanto possível, pela integração de informações de inteligência, vigilância, observação e sistemas de navegação, interagindo no mesmo quadro operacional. Para que esta capacidade seja efetiva, é necessária uma estrutura que permita a coleta de dados, monitoramento, sensores aéreos e navais e a correta análise dos fatos, possibilitando uma resposta rápida e precisa.

Para o Brasil, é importante o pleno conhecimento dos seus domínios marítimos para preservar o imenso patrimônio que é a Amazônia Azul, composta pela área formada pelo total da Zona Econômica Exclusiva e pela Plataforma Continental, com 4.489.919 km² (Figura 6).

Para atender a esta demanda, a Marinha do Brasil decidiu desenvolver um sistema integrado, abrangente e complexo, chamado de Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), que é um dos seus projetos estratégicos.

Uma das seis fases de implantação do SisGAAz (Figura 7) será quanto ao uso de radares de longo alcance (OTHR), sensoriamento satelital remoto (SERE), Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e Blimps (similares aos dirigíveis). Os VANTs constituem uma importante fonte de coleta de dados para o SisGAAz, já que eles possuem as seguintes vantagens sobre as aeronaves tripuladas: alta descrição, maior capacidade de vigilância, menores custos, possibilidade de preser-



Figura 6: Amazônia Azul
Fonte: Poder Naval OnLine.

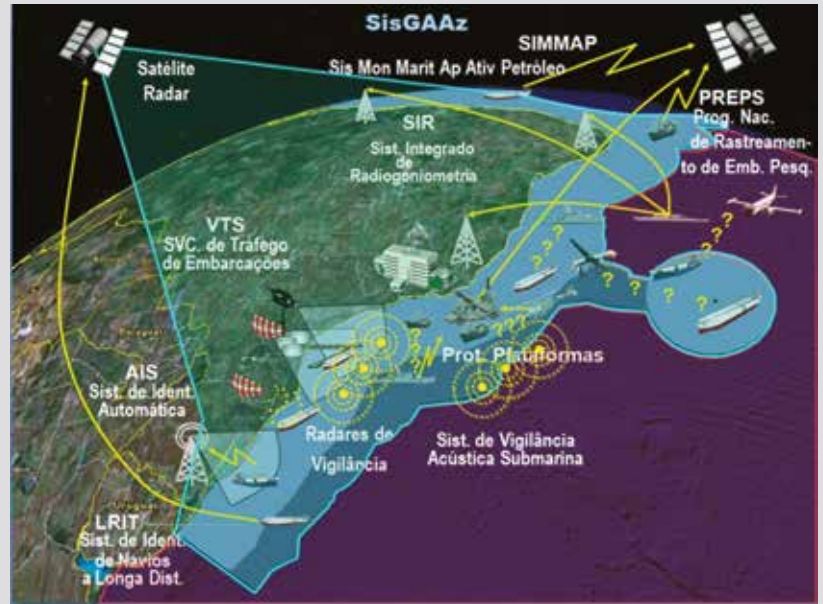


Figura 7: SisGAAz
Fonte: Marinha do Brasil.

vação da vida e maior capacidade de reação inicial. Adicionalmente, o SisGAAz também prevê a utilização dos Blimps, outro tipo de VANT, como fonte de dados. Os Blimps possuem algumas vantagens sobre VANTs tradicionais, como: alta autonomia, custo baixo, tecnologia simples, maior tempo pairado, alta capacidade de carga útil e versatilidade e flexibilidade.

PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DE VANTs

Na robótica de VANTs, um dos objetivos mais almejados é relativo aos VANTs autônomos, em outras palavras, VANTs que possuem certa autonomia no desempenho de tarefas a que são designados. Um dos problemas relacionados aos VANTs autônomos é o planejamento da sua trajetória, no qual se deseja somente informar a configuração de partida e de chegada que se espera que o VANT se mova, sendo que o mesmo deve conseguir escolher como fazê-lo.

A navegação de um VANT autônomo é uma das tarefas mais complexas nos problemas de locomoção de robôs móveis. Esta complexidade se dá pelo fato de que a navegação deve integrar sensoramento, atuação, planejamento, arquitetura, hardware e eficiência computacional. Assim, a integração de todos estes elementos é inerente à obtenção de uma navegação ótima.

O principal objetivo do planejamento de trajetória é conferir aos VANTs a habilidade de planejar seus

próprios movimentos sem a necessidade de interferência humana, o que é uma tarefa difícil devido à limitação no seu raio de curva.

Na literatura, como descrito por Hyondong, diferentes abordagens têm sido utilizadas para planejar a trajetória mais viável, satisfazendo as restrições do VANT. Chandler et al. utilizaram o Diagrama de Voronoi para produzir rotas para VANTs minimizando a detecção por radar e então estas rotas foram refinadas para torná-las voáveis. Rapidly-Exploring Trees (RTTs), por sua vez, foram utilizadas para o planejamento de trajetórias livres de colisão, utilizando um algoritmo de suavização, baseado nas curvas em espiral cúbica, de modo a satisfazer as limitações de raio de curvatura do VANT. Técnicas de Otimização também são utilizadas, como: métodos probabilísticos, MILP e algoritmos genéticos, para produzir trajetórias por

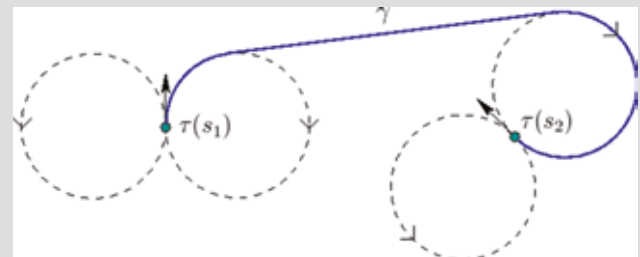


Figura 8: Segmentos de linha e arcos circulares (Dubins path)
Fonte: Cambridge University.

meio da minimização de alguma função de custo. Em todas estas abordagens, o resultado final é tipicamente um plano de rota, que satisfaça certas restrições. Se a rota é refinada adicionando restrições que considerem a cinemática do VANT, a trajetória resultante será dada por uma série de linhas e arcos (Dubins path).

Dubins mostrou que o caminho mais curto entre dois vetores, a ser percorrido por um avião e que satisfaça as suas limitações de raio de giro, é um caminho formado por segmentos de linha e arcos circulares, que ficou conhecido como Caminho de Dubins (Dubins path) (Figura 8).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Força Aérea. FAB e Polícia Federal empregam VANTs em ação conjunta na fronteira com o Paraguai. 2013. Disponível em: <<http://www.fab.mil.br/noticias/mostra/15033/%C3%81GATA-7---FAB-e-Pol%C3%ADcia-Federal-empregam-VANTs--em-a-%C3%A7%C3%A3o-conjunta-na-fronteira-com-o-Paraguai>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

Blog da Presidência da República. Novos projetos das Forças Armadas ampliam capacidade da defesa brasileira. 2010. Disponível em: <<http://blog.planalto.gov.br/novos-projetos-das-forcas-armadas-ampliam-capacidade-da-defesa-brasileira/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BORAZ, S. *Maritime Domain Awareness: Myths and Realities*. US Navy. 2009.

BUGRIY, M. *The Rise of Drones in Eurasia (Part One: Ukraine)*. 2014. Disponível em: <http://www.jamestown.org/single/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=42536&no_cache=1#.VQWVVI7F-xU>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BRASIL. Comando da Marinha. Centro de Comunicação Social da Marinha. Amazônia Azul – O Patrimônio Brasileiro no Mar. *Revista de Villegagnon* (suplemento). VII CONGRESSO ACADÊMICO SOBRE DEFESA NACIONAL. Rio de Janeiro, p.19-29, 2010.

CHAVES JUNIOR, S. *Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz)*. 2013. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia)- Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, 2013.

DUBINS, L.E. On curves of minimal length with a constraint on average curvature, and with prescribed initial and terminal positions and tangents. *American Journal of Mathematics*, v.79, n.3, p.497–516. 1957.

FUNDAÇÃO de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). *Vant do IME participa do socorro às vítimas na Região Serrana*. 2011. Disponível em: <<http://www.faperj.br/?id=1887.2.5>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

HAULMAN, D. L. *US unmanned aerial vehicles in combat, 1991-2003*. *Research Paper*, Air Force Historical Research Agency - Maxwell Air Force Base. Alabama, 2003.

NOVA. *Battle Plan Under Fire – Time Line of UAVs*. 2014. Disponível em: <<http://www.pbs.org/wgbh/nova/wartech/uavs.html>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

O'LEARY, M. *The Dictionary of Homeland Security and Defense*. iUniverse. 2006.

KOSCIELSKI, M. et al. *Maritime Situational Awareness (MSA)*. Akademia Marynarki Wojennej. Gdynia, Polônia, 2007.

OH, H. *Towards Autonomous Surveillance and Tracking by Multiple UAVs*. Cranfield, United Kingdom: Cranfield University. 2013.

STEVENSON, B. *OSCE Camcopter target of rebel gunfire in Ukraine*. Londres, 2014. Disponível em: <<http://www.flightglobal.com/news/articles/osce-camcopter-target-of-rebel-gunfire-in-ukraine-405615/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.