

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e**  
**Sistemas**

**Tema de Mestrado 2017**

**Modelagem e Controle de um Veículo Aéreo não**  
**Tripulado**

Edson Roberto De Pieri - Orientador  
Ebrahim Samer El'Youssef - Co-orientador

Florianópolis, julho de 2017

## **1 Resumo do projeto**

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm despertado muito interesse da comunidade científica devido às possibilidades de uso destes equipamentos em diferentes aplicações e também pelos problemas de modelagem, controle e construção que estão associados. O uso destes equipamentos, originalmente estava associado aos problemas de vigilância e monitoramento e mais recentemente inclui tarefas de resgate, de filmagem e de lazer. As aplicações têm se expandido tanto no meio civil quanto militar. Do ponto de vista construtivo, os VANTS possuem várias arquiteturas, com diferentes números de rotores, sendo mais comuns as configurações com dois ou quatro rotores. Neste trabalho, busca-se a modelagem de quadrirotores com diferentes formas construtivas: convencional e com rotores inclináveis, incluindo câmeras direcionáveis para localização e seguimento de objetos fixos ou que se deslocam no ambiente. A partir dos modelos desenvolvidos serão projetadas e testadas leis de controle que sejam capazes de rastrear trajetórias determinadas para o VANT assim como manter a câmera alinhada com o objeto considerado como alvo.

**Palavras-chave:** VANT. Gimbal. Euler-Lagrange. Seguimento de trajetória. Sistemas não lineares

## 2 Introdução

O desenvolvimento de sistemas de automação e o avanço da engenharia mecatrônica têm contribuído para ampliar as áreas de aplicação destes sistemas. Além das pequenas e médias empresas, das empresas do setor de serviços, de segurança e de entretenimento, de modo geral há um grande interesse de inúmeros setores da indústria no desenvolvimento de sistemas de automação e de sistemas mecatrônicos específicos e de características peculiares. Há, portanto, uma área de pesquisa bastante promissora para desenvolvimentos teóricos, experimentação e de inovação tecnológica unindo o interesse das indústrias, centros de pesquisas e universidades.

A robótica alcançou sucesso na indústria onde se utiliza predominantemente robôs manipuladores fixos ao solo, os quais desempenham tarefas de precisão em aplicações repetitivas e limitadas por um espaço operacional definido pela soma dos prolongamentos físicos do robô e restrições impostas ao seu movimento. Entre as tarefas mais comumente desempenhadas por estes sistemas destacam-se a pintura, a soldagem (fortemente aplicada na indústria automobilística e eletrônica), manipulação de objetos em ambientes biologicamente controlados e serviços de manutenção em ambientes insalubres.

A robótica móvel tem evoluído e deve tornar-se uma solução para a indústria e diversos outros setores da sociedade, valendo-se de sua capacidade de se deslocar, de facilmente adaptar-se a ambientes pouco conhecidos e que apresentam constantes mudanças de configuração física. As principais tarefas atuais que utilizam robôs móveis são o transporte de peças, vigilância, manutenção, inspeção de dutos e de ambientes hostis. Essas aplicações têm expandido nos últimos anos e novas aplicações têm sido vislumbradas para um futuro próximo, entre elas, a assistência a pessoas com dificuldade de locomoção, a vigilância espacial de propriedades, a inspeção de locais sensíveis, além de diversas tarefas civis e militares.

No contexto da robótica móvel, os robôs na forma de helicópteros ou quadricópteros têm despertado o interesse da comunidade pois, além do espectro de aplicações que se apresentam, há um forte interesse científico no desenvolvimento de modelos e de sistemas de controle que permitam o uso destes equipamentos com segurança, robustez e eficiência. Entre esses tipos de robôs, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) são sistemas complexos tanto do ponto de vista da modelagem como do desenvolvimento de técnicas de controle.

Uma forma de melhorar a eficiência de um sistema de segurança usando VANTs é equipando esses dispositivos com câmeras e conectando-os em redes. Por exemplo, uma das justificativas do estudo de robôs aéreos, como quadricópteros e tilt rotores, é a vigilância. Um sistema de vigilância deve ser concebido com um número expressivo de dispositivos, composto por câmeras fixas e móveis, robôs aéreos, dispositivos móveis etc. conectados via rede que pode ser interpretada como uma rede de sensores móveis.

Do ponto de vista técnico e científico, existem vários desafios relacionados à modelagem, controle e operação dos VANTs. Dentre os quais destacam-se o projeto e a construção de um robô móvel, considerando aspectos eletromecânicos, como potência dos motores, carga máxima transportada e autonomia de voo; desenvolvimento de um sistema de comunicação entre o VANT e a base, formando uma rede de sensores sem fio; desenvolvimento de um sistema de localização e mapeamento do ambiente; desenvolvimento de um sistema de planejamento e geração de trajetórias; concepção de um sistema de controle que proporcione seguimento de referências e rejeição de perturbações, entre outros.

No desenvolvimento deste tema de mestrado, será tratado o problema de concepção e projeto do sistema de controle baseado em modelo para um VANT com câmera orientável. O sistema de controle deve ser capaz de gerar e rastrear trajetórias de referências relacionadas a tarefas de ronda ou missões relativas ao deslocamento de um objeto. Os principais problemas a serem resolvidos dizem respeito ao seguimento de trajetórias com o controle de variáveis de interesse com respeito a uma trajetória fornecida ou calculada a partir de um sistema de navegação. Será considerado também o problema de controle servo-visual, em que as variáveis de configuração, incluindo aquelas relacionadas à orientação e posicionamento da câmera para que o alvo seja rastreado corretamente, devem ser controladas.

## 2.1 Objetivos

O objetivo principal desta proposta é o desenvolvimento e aplicação de técnicas de modelagem e controle servo-visual aplicadas no desenvolvimento de um sistema de navegação para um veículo aéreo não tripulado (VANT), de diferentes concepções construtivas, equipados com uma câmera orientável, que permita realizar as tarefas de pairar, rastrear trajetórias, focar e seguir um alvo.

## 3 Etapas

- A Revisão da literatura referente à modelagem de VANTs
- B Desenvolvimento e testes de modelos considerando a teoria multicorpos
- C Incorporação no modelo do dispositivo servo-visual
- D Revisão bibliográfica da literatura de controle não linear e de aplicações em robôs aéreos
- E Projeto e simulação de controladores baseados no modelo VANT e câmera acoplada
- F Análise e publicação de resultados
- G Redação e defesa da dissertação

## 4 Requisitos

- Bom desempenho acadêmico
- Capacidade de leitura, compreensão e redação em inglês
- Iniciativa e capacidade de trabalho em grupo
- Dedicção exclusiva ao mestrado até a etapa de publicação de resultados

## Referências

- [1] S. Bouabdallah e R. Siegwart – Full control of a quadrotor – in Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ International Conference on, 2007, pp. 153–158
- [2] M. Bouchoucha, S. Seghour e M. Tadjine – Classical and second order sliding mode control solution to an attitude stabilization of a four rotors helicopter: From theory to experiment – in Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on, 2011, pp. 162–169
- [3] O. Bourquardez, R. Mahony, N. Guenard, F. Chaumette, T. Hamel e L. Eck – Image- based visual servo control of the translation kinematics of a quadrotor aerial vehicle – Robotics, IEEE Transactions on, vol. 25, no 3, pp. 743–749, 2009
- [4] T. Danko e P. Oh – Toward coordinated manipulator-host visual servoing for mobile manipulating uavs – in Technologies for Practical Robot Applications (TePRA), 2014 IEEE International Conference on, 2014, pp. 1–6
- [5] T. Danko e P. Oh – Evaluation of visual servoing control of aerial manipulators using test gantry emulation – in Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on, 2014, pp. 821–829 .

- [6] R. Donadel – Modeling and control of a tiltrotor unmanned aerial vehicle for path tracking – dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015
- [7] G. Flores, I. Lugo e R. Lozano – 6-dof hovering controller design of the quad tiltrotor aircraft: Simulations and experiments – in Decision and Control (CDC), 2014 IEEE 53rd Annual Conference on, 2014, pp. 6123 – 6128
- [8] F. S. Gonçalves, J. P. Bodanese, R. Donadel, G. V. Raffo, J. E. Normey-Rico e L. B. Becker – Small scale uav with birotor configuration – in Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on, 2013, pp. 761–768 .
- [9] N. Guenard, T. Hamel e R. Mahony – A practical visual servo control for an unmanned aerial vehicle – Robotics, IEEE Transactions on, vol. 24, no 2, pp. 331–340, 2008
- [10] M.-D. Hua, T. Hamel, P. Morin e C. Samson – Introduction to feedback control of underactuated vtol-vehicles: A review of basic control design ideas and principles – Control Systems, IEEE, vol. 33, no 1, pp. 61 – 75, 2013
- [11] Z. Hurak e M. Rezac – Image-based pointing and tracking for inertially stabilized air-borne camera platform – Control Systems Technology, IEEE Transactions on, vol. 20, no 5, pp. 1146–1159, 2012 .
- [12] R. Jazar – Advanced Dynamics: Rigid Body, Multibody, and Aerospace Applications – Wiley, 2011
- [13] D. Kingston, R. Beard e R. Holt – Decentralized perimeter surveillance using a team of uavs – Robotics, IEEE Transactions on, vol. 24, no 6, pp. 1394–1404, 2008 .
- [14] W. C. Lombardy – Desenvolvimento de controladores robustos para sistemas de visão acoplados em robôs móveis – dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008
- [15] G. V. Raffo – Robust control strategies for a quadrotor helicopter: An underactuated mechanical system – tese de doutorado, Universidad de Sevilla, 2011
- [16] E. Semsch, M. Jakob, D. Pavlicek e M. Pechoucek – Autonomous uav surveillance in complex urban environments – in Web Intelligence and Intelligent Agent Technologies, 2009. WI-IAT-09. IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on, IET, vol. 2, 2009, pp. 82 – 85
- [17] P. Serra, R. Cunha, T. Hamel, C. Silvestre e F. Le Bras – Nonlinear image-based visual servo controller for the flare maneuver of fixed-wing aircraft using optical flow – Control Systems Technology, IEEE Transactions on, vol. 23, no 2, pp. 570–583, 2015 .
- [18] A. Shabana – Dynamics of Multibody Systems, series on Dynamics of Multibody Systems – Cambridge University Press, 2013
- [19] J. Slotine e W. Li – Applied Nonlinear Control – Prentice Hall, 1991
- [20] B. Sumantri, N. Uchiyama e S. Sano – Second order sliding mode control for a quadrotor helicopter with a nonlinear sliding surface – in Control Applications (CCA), 2014 IEEE Conference on, 2014, pp. 742–746
- [21] C. Torno, C. Hintz e L. Carrillo – Design and development of a semi-autonomous fixed-wing aircraft with real-time video feed – in Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on, 2014, pp. 1021–1028