

Concepção de um Veículo Aéreo Não-Tripulado do Tipo Quadrrrotor

Autor: Pedro Henrique de Rodrigues Quemel e Assis Santana
Orientador: Prof. Dr. Geovany Araújo Borges

Resumo: O presente trabalho trata da concepção de um inovador protótipo de veículo aéreo não-tripulado do tipo quadrrrotor, desenvolvido no Laboratório de Robótica e Automação (LARA) da Universidade de Brasília (UnB). A revisão bibliográfica feita inicialmente forneceu as bases para a determinação do modelo matemático da dinâmica da aeronave, usado posteriormente na criação de um simulador computacional de voo e na validação das estratégias de controle para estabilização do quadrrrotor. Uma vez constatada a viabilidade do projeto por meio dos resultados do simulador, passou-se à construção mecânica do protótipo, sua instrumentação e programação da eletrônica embarcada. Os dados de uma central de medidas inerciais (IMU, do inglês *Inertial Measurement Unit*), um sonar e um magnetômetro foram usados para determinação da orientação espacial e da altitude do quadrrrotor. Informações transmitidas em tempo real por interfaces de comunicação sem-fio instaladas no protótipo confirmaram o sucesso do controle de velocidade de rotação dos motores. Por fim, uma nova estratégia de controle de estabilização, baseada no controle PID desacoplado dos diferentes graus de liberdade do quadrrrotor, foi proposta, validada em simulação e implementada no protótipo.

1. Introdução

Quadrrrotores são uma classe particular de helicópteros cuja propulsão é feita por meio de quatro rotores [1][2], assim como pode ser visto na Figura 1. Estes helicópteros estiveram entre os primeiros veículos mais pesados do que o ar com capacidade de decolagem e pouso verticais (VTOL, do inglês *Vertical Take Off and Landing*) de sucesso. Atualmente, estão despertando interesse na forma de veículos aéreos miniatura não-tripulados (VANT, Veículo Aéreo Não-Tripulado) com sistemas eletrônicos embarcados para controlá-los. Suas aplicações estão muitas vezes voltadas às áreas de vigilância, inspeção, filmagem, fotografia e diversão, entre outras. Seu tamanho reduzido e boa manobrabilidade [1] permitem que estas aeronaves sejam usadas tanto em ambientes internos quanto externos. Além disso, a mecânica simplificada de suas hélices de pás fixas e o empuxo simultâneo de seus quatro motores tornam os quadrrrotores aeronaves robustas e com grande capacidade de carga.



Figura 1 – Policial britânico controla quadrrrotor de vigilância. (Disponível em http://img.dailymail.co.uk/i/pix/2007/05_02/spycamPA2105_468x463.jpg)

2. Objetivos

Os objetivos principais deste projeto de pesquisa são:

- Conceber, projetar, construir e instrumentar um protótipo de quadrrrotor;
- Implementar um sistema de navegação para fornecer dados de orientação espacial à aeronave;
- Criar interfaces e protocolos de comunicação para troca de informações entre os componentes do quadrrrotor e entre o helicóptero e o mundo externo;
- Desenvolver um simulador computacional da dinâmica do quadrrrotor para auxílio às tarefas de desenvolvimento, tornando o processo mais célere e seguro.

3. Metodologia e Resultados

3.1 Simulador

A primeira etapa do projeto foi o desenvolvimento de um modelo matemático razoavelmente preciso da dinâmica de movimentação do quadrrrotor, escrito na forma de equações diferenciais [1]-[7]. Estas equações foram implementadas no ambiente *Simulink* do *Matlab* e deram origem a um simulador de voo, que foi usado na validação das estratégias de controle para estabilização do quadrrrotor. Seus resultados são apresentados em gráficos da Seção 3.4.

3.2 Construção Mecânica

O chassi do protótipo, no formato de um quadrado de 50cm de lado, é todo feito com tubos de fibra de carbono com 5mm de diâmetro. As barras internas de sustentação conferem melhor rigidez à estrutura. Suportes de alumínio foram colados em cada uma das quinas do chassi para fixação dos motores. Uma placa central de acrílico dá suporte aos circuitos eletrônicos e à bateria LiPo (Lítio-Polímero) de alimentação. A Figura 2 é uma foto do quadrrrotor com sua estrutura mecânica terminada e com toda a sua eletrônica embarcada.

3.3 Instrumentação

A Figura 3 mostra uma foto da placa eletrônica principal do quadrrrotor, cujo cerne é um microcontrolador ARM AT91SAM7S64. Este microcontrolador é responsável pela realização de todo o processamento necessário ao controle da aeronave, incluindo o controle da velocidade de rotação dos motores e a leitura dos dados sensoriais para estimação da orientação do quadrrrotor e de sua altitude. Estes dados são fornecidos pela central de medidas inerciais (IMU, do inglês *Inertial Measurement Unit*), pelo magnetômetro e pelo sonar contidos na placa mostrada na Figura 4(a). A Figura 4(b) mostra a forma de conexão entre as placas das Figuras 3 e 4(a).

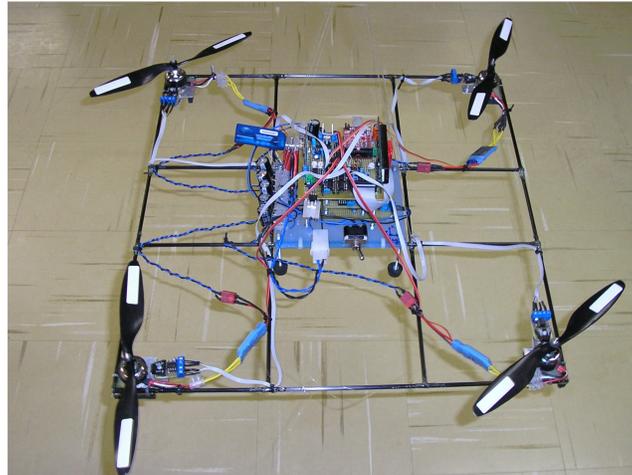


Figura 2 – Estágio final de construção do quadrrrotor.

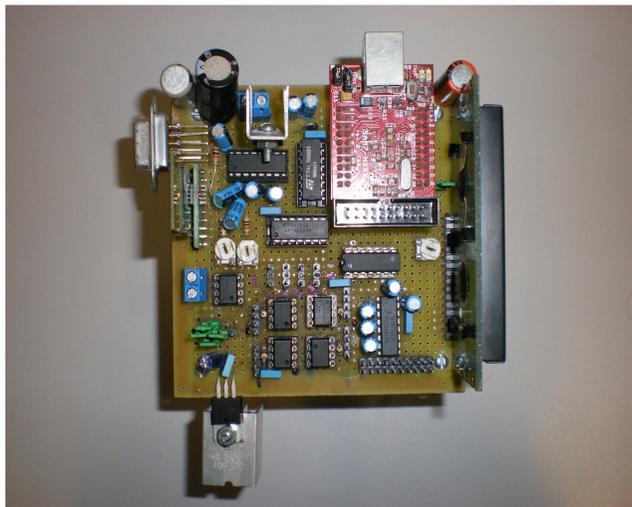
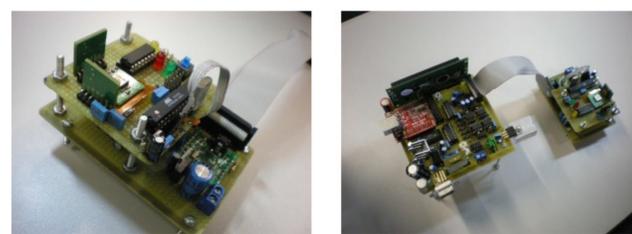


Figura 3 – Placa eletrônica de processamento do quadrrrotor.



(a) Placa de sensores de navegação (b) Conexão entre as placas eletrônicas
Figura 4 – Placas eletrônicas do quadrrrotor

3.4 Controle

A arquitetura de controle do quadrrrotor [1][8]-[14] pode ser dividida em duas camadas. Na superior, o controlador de estabilização obtém do sistema de navegação informações sobre a orientação do quadrrrotor [15]-[18]. A partir destes valores, este controlador gera referências para a segunda camada, onde estão os controladores de velocidade de rotação individuais dos motores. A grande inovação deste trabalho reside na estratégia de controle implementada na camada superior, que consiste no controle PID desacoplado dos diferentes graus de liberdade do quadrrrotor, a saber: ângulos de rolagem (*roll*), arfagem (*pitch*) e guinada (*yaw*) e altitude. A Figura 5 mostra o resultado experimental do controle de velocidade de um dos motores do quadrrrotor, enquanto a Figura 6 mostra os resultados das simulações de estabilização dos ângulos de orientação do quadrrrotor pela estratégia PID inovadora.

4. Conclusões

Os resultados experimentais obtidos a partir de ensaios do protótipo permitem concluir que este projeto de pesquisa teve sucesso em atender aos objetivos propostos. Ao final de seu período de duração, obteve-se uma plataforma aérea funcional e versátil, que poderá ser útil a futuros projetos na área de robótica aérea.

A base de todo o desenvolvimento foi o estudo matemático realizado inicialmente. Foi por meio dele que se pôde chegar aos modelos de equações diferenciais da dinâmica do quadrrrotor que, mais tarde, deram origem ao simulador.

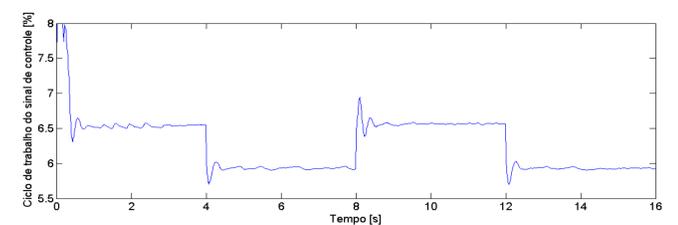
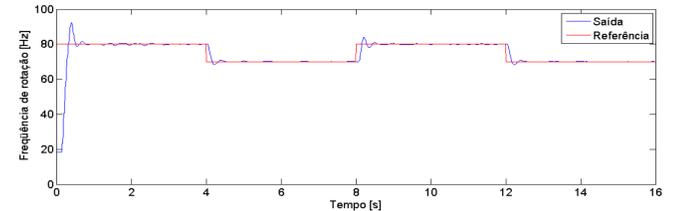


Figura 5 – Controle de velocidade de rotação de um dos motores.

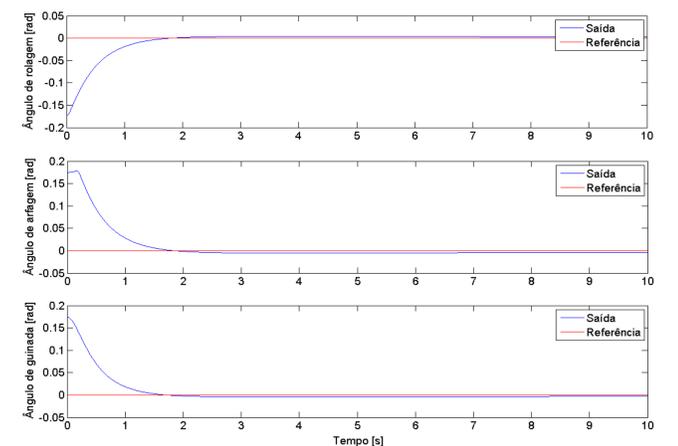


Figura 6 – Estabilização dos ângulos de orientação do quadrrrotor pela estratégia PID inovadora.

Este simulador permitiu que as estratégias de controle de orientação e altitude pudessem ser previamente validadas em ambiente virtual, evitando que tempo fosse desperdiçado na implementação de um sistema de controle incapaz de cumprir com seu objetivo.

Verificou-se o bom funcionamento da infra-estrutura de sensores do quadrrrotor e dos diferentes dispositivos de comunicação. O sistema de propulsão foi controlado digitalmente com sucesso e os gráficos da Figura 5 mostram o seu bom desempenho, mesmo quando submetido a variações bruscas de referência. A estratégia inovadora de controle PID para estabilização do quadrrrotor foi equacionada, implementada, simulada e validada.

Sugere-se como proposta para futuros trabalhos que tempo seja investido no melhoramento da estrutura mecânica do quadrrrotor. É possível que as condições impostas por ambientes externos reais sejam incompatíveis com a fragilidade da estrutura do protótipo. Outra sugestão é levantar o modelo dinâmico do sistema de propulsão. Dessa forma, estratégias de controle mais eficientes poderiam ser aplicadas sobre ele, o que provavelmente contribuiria para um melhor desempenho dinâmico do quadrrrotor.

5. Referências

- [1] SIEGWART, S. B. e R. Backstepping and sliding-mode techniques applied to an indoor micro quadrotor. In: Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2005. p. 2247-2252.
- [2] SIEGWART, S. B. e P. Murnien e R. Design and control of an indoor micro quadrotor. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, p. 4393-4398, Abril 2004.
- [3] BENALLEGU, T. M. e A. Control of a quadrotor mini-helicopter via full state backstepping technique. Decision and Control, 2006 45th IEEE Conference on, p. 1515-1520, Dezembro 2006.
- [4] BOJABDALLAH, S. Design and control of quadrotors with application to autonomous flying. Tese (Doutorado) – Echole Polytechnique Federale de Lausanne, 2007.
- [5] LEISHMAN, J. Principles of Helicopter Aerodynamics. Cambridge University Press, 2000.
- [6] (LCVC). L. de Controle e Visão por C. Desenvolvimento com microcontroladores Atmel AVR. Disponível em http://www.ene.untb.br/gaborges/recursos/notas/nt_avr.pdf, 2006.
- [7] BALMIFORD, G. D. e D. Branwell's Helicopter Dynamics. [S.l.]: Oxford Butterworth-Heinemann, 2001.
- [8] REYHANOGLU, A. VAN DER SCHAFT, N. H. M. I. K. M. Dynamics and control of a class of underactuated mechanical systems. IEEE Transactions on Automatic Control, v. 44, n. 9, p. 1663-1671, Setembro 1999.
- [9] TITERTON, J. L. W. D. H. Strapdown inertial navigation technology. [S.l.]: Peter Peregrinus LTD, 1997.
- [10] PADILHA, A. Desenvolvimento de um sistema de localização 3d para aplicação em robôs aéreos. Tese (mestrado) – Universidade de Brasília, 2007.
- [11] FERNANDES, M. Implementação de central inercial para scanner de reconstrução tridimensional (3D). Tese (graduacao) – Universidade de Brasília, 2006.
- [12] KUIPERS, J. B. Quaternions and Rotation Sequences. [S.l.]: Princeton University Press, 2002.
- [13] GEBRE-EGZABHER G.H. ELKAIM, J. P. B. P. D. A gyro-free quaternion-based attitude determination system suitable for implementation using low cost sensors. In: IEEE 2000 Position Location and Navigation Symposium, p. 185-192, 2000.
- [14] DURRANT-WHYTE, E. N. e H. Initial calibration and alignment of an inertial navigation. Proceedings of Fourth Annual Conference Mechatronics and Machine Vision in Practice, p. 175-180, September 1997.
- [15] KONG, X. Ins algorithm using quaternion model for low cost imu. Elsevier, p. 221-246, March 2005.
- [16] HANDEL, I. S. e P. A low-cost gps aided inertial navigation system for vehicle applications. Proceedings of European Signal Processing Conference, p. 1-4, June 2005.
- [17] VASCONCELOS J. CALVÁRIO, P. O. e. C. S. J. Gps aided imu for unmanned air vehicles. In: 5th IFAC/EUROCON Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 2004.
- [18] OH, M. D. S. e S. D. Three-axis attitude determination from vector observations. Journal of Guidance and Control, Vol. 4, No. 1, v. 17, n. 1, p. 70-77, February 1981.