

Análise e teste de placas controladoras Open-Source para quadrrrotores

Analysis and testing of Open-Source control boards for quadrotors

RESUMO

Umberto Xavier da Silva Neto
umbertoxavier@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Marcio Aurelio Furtado Montezuma
montezuma@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

O estudo sobre quadrrrotores apresenta peculiaridades, seja sobre qualquer abordagem, como comunicação com os sensores inerciais, aplicação de um Filtro de Kalman ou complementar, aquisição dos sinais por rádio frequência, aplicação de um protocolo de comunicação serial e, principalmente, as características das malhas de controle presentes nestes. Todas estas aplicações, somadas, criam um sistema robusto, e a melhor maneira para ter acesso à essas abordagens presentes em firmwares são placas controladoras OSPs. Neste trabalho foram construídos dois sistemas quadrrrotores com orientações e placas controladoras diferentes, a *MultiWii Pro*, contendo um *ATMEGA2560* e a *CC3D OpenPilot*, contendo um *STM32*. Analisando as placas, notou-se que a *MultiWii Pro* possui características favoráveis que facilitam o desbravamento de seu firmware. Os resultados procurados são, após documentar este firmware, quais as malhas de controle aplicadas e quais os impactos de periféricos nestas, como um sistema de aumento de estabilidade (SAS).

PALAVRAS-CHAVE: Controle de voo. Estabilidade. Drone.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

THE QUADROTOR STUDY PRESENTS PECULIARITIES , WHETHER IT BE ANY APPROACH, LIKE INERTIAL SENSORS COMMUNICATION, A KALMAN OR COMPLEMENTARY FILTER APPLICATION, ACQUISITION OF RADIO FREQUENCY SIGNALS, A SERIAL PROTOCOL APPLICATION AND, MAINLY, THE CHARACTERISTICS OF THE CONTROLLER PRESENT IN THESE. ALL THESE APPLICATIONS, WHEN JOINED, CREATES A ROBUST SYSTEM, AND THE BEST WAY TO GAIN ACCESS TO ALL THIS APROACHS IN FIRMWARE ARE OSPS CONTROLLERS. IN THIS WORK, TWO QUADROTOR SYSTEMS WITH DIFFERENT ORIENTATION AND OSPS CONTROL BOARDS WERE BUILD, A MULTIWII PRO, WITH AN ATMEGA2560 EMBEDDED, AND THE CC3D OPENPILOT, WITH A STM32 EMBEDDED. WITH THE BOARD ANALYSIS, ITS HAS BEEN FOUND THAT THE MULTIWII PRO HAS FAVORABLE FEATURES THAT MAKE IT EASIER TO DEBUG. THE RESULTS SOUGHT ARE, AFTER DEBUGGING, WHICH CONTROL METODS ARE USED AND THE IMPACTS OF THEIR PERIPHERALS, LIKE A STABILITY AUGMENTATION SYSTEM (SAS).

KEYWORDS: Flight Control. Stability. UAV.

INTRODUÇÃO

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs, do inglês *Unmanned Aerial Vehicles*, UAVs) são veículos aéreos sem a necessidade de uma pessoa embarcada para operação. (BORSOI et al., 2012). O desenvolvimento tecnológico, como o surgimento e a melhoria gradual de dispositivos eletrônicos, principalmente processadores e sensores eletromecânicos inerciais compactos, vem adicionando possibilidades de aplicações, antes muito complexas, nestes veículos. (PAULA, 2012). Desde à cartografia, até aplicações militares em ambientes hostis. (BORSOI et al., 2012).

Dentro das diversas categorias de VANTs, destacam-se os quadricópteros, caracterizados pela propulsão por quatro rotores de empuxo vertical com intensidade variável de acordo com a leitura e processamento dos dados fornecidos pelos sensores inerciais, que exercem função de uma unidade de medida inercial (do inglês *Inertial Measurement Unit*, IMU), realizando, portando, o controle de atitude. Tal controle consiste num conjunto de controles capaz de manter uma estimativa dos ângulos de rolagem, arfagem e guinada enquanto o quadricóptero se movimenta. (BORSOI et al., 2012; PAULA, 2012).

O controle de atitude pode ser aplicado em técnicas clássicas de controle, como Proporcional (P), Proporcional Derivativo (PD) e Proporcional Integral Derivativo (PID), sendo estas dependentes de ajustes em seus ganhos. (BORSOI et al., 2012). Estes controles são comumente encontrados em sistemas embarcados nos projetos de código fonte aberto (do inglês *Open Source Projects*, OSPs), aparecendo em várias configurações diferentes, principalmente em cascata e com um sistema de aumento de estabilidade (do inglês *Stability Augmentation System*, SAS).

OSPs fazem a utilização de sites de hospedagem comunitária, como *Google Code* e *Github*, para a criação e divulgação de códigos, plantas e esquemáticos. Essas criações são disponibilizadas como licença pública geral (do inglês *General Public License*, GPL), abrindo oportunidade para desenvolvedores independentes de todo o mundo. Este método acaba permitindo um desenvolvimento rápido e robusto, pois toda uma comunidade estaria engajada testando novas características e retornando respostas sobre várias condições e configurações, tornando o firmware mais confiável. (KIM et al., 2012). Analisar e compreender essas abordagens, tanto em nível de hardware quanto de software, é estar ciente de métodos utilizados em nível comercial, portanto, estar ciente de uma das tecnologias mais recentes e com maior promessa de utilização em empreendimentos atuais.

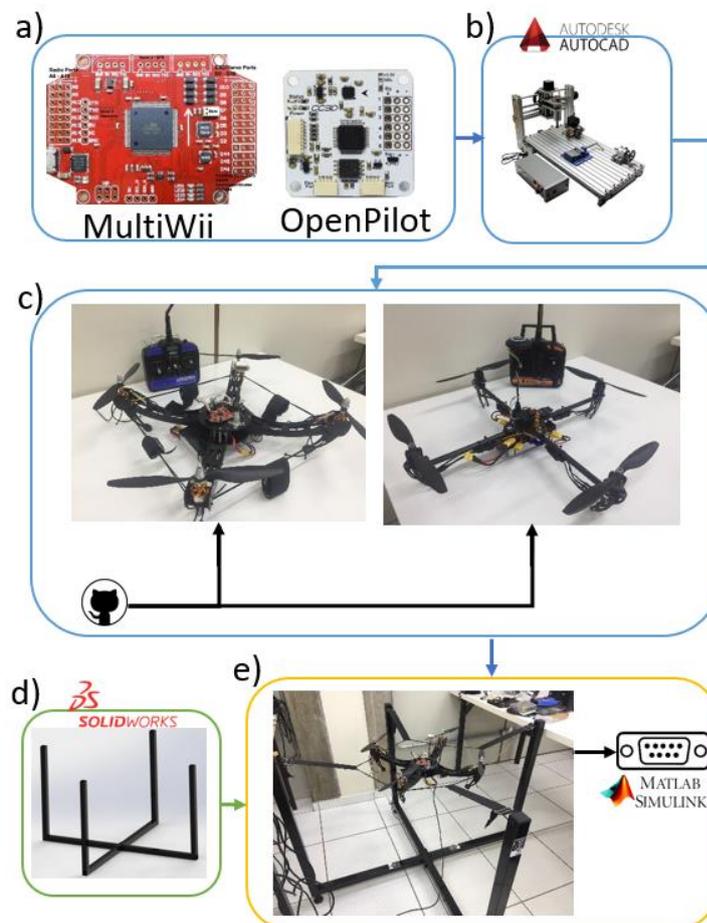
MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada segue a sequência da Figura 1:

- a) estudo das placas OSPs *MultiWii Pro* e *CC3D OpenPilot* com o intuito de ambientar-se e apontar as diferenças e semelhanças de cada, como os sensores inerciais e o filtro de fusão aplicado nestes, microcontroladores, softwares para configuração e abordagens de programação;

- b) construção das estruturas de cada quadricóptero a partir de frames já disponíveis no mercado e adaptações necessárias por meio da produção com auxílio da máquina CNC. Os desenhos 2D de cada peça fabricada foram realizados com o software *AUTOCAD*;
- c) Instalação da eletrônica embarcada para cada quadricóptero, incluindo: Motores *Brushless*; Hélices de passo fixo; Controladores eletrônico de velocidade (do inglês *Electronic Speed Controllers, ESCs*); Sistema rádio controle de 2.4GHz, contendo transmissores e receptores; Baterias de Li-Po (ion-polímero) de 3 células; E as próprias controladoras de voo. Após todas as conexões realizadas e testadas, foram feitos os *uploads* dos *firmwares* de cada projeto respectivo por meio do site *Github*. Por fim, foi feita uma comparação técnica entre as placas e decidiu-se desbravar o *firmware* da *MultiWii Pro*, produzindo então, a documentação da mesma, ainda não presente na comunidade;
- d) projeto e produção de uma estrutura para calibração dos ganhos das malhas de controle de um quadricóptero. O projeto 3D da estrutura foi realizado com o software *SOLIDWORKS*;
- e) calibração dos ganhos da *MultiWii Pro* com auxílio gráfico de dados obtidos por meio de um protocolo de comunicação serial assíncrono entre *SIMULINK* e placa controladora.

Figura 1 – Metodologia aplicada



Fonte: SILVA NETO (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

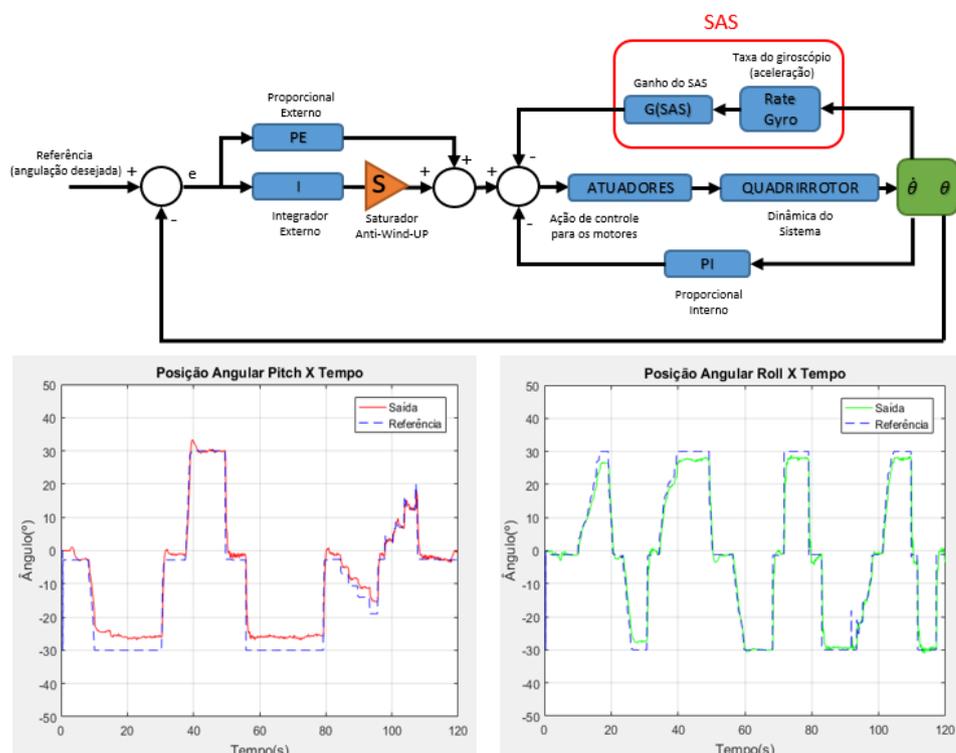
Tendo documentado o *firmware* da *MultiWii Pro*, abrangendo: Comunicação I2C com os sensores inerciais; Aplicação do filtro complementar para a estimativa de atitude; Geração de pulso PWM específico para os drivers dos motores; Identificação do protocolo de comunicação serial; Recepção das referências de posição por rádio frequência; Aplicação da estrutura de controle para cada eixo controlável; Gravação dos valores de calibração de cada sensor na memória EEPROM. Tornou-se possível analisar com eficácia a malha de controle para dois modos de voos disponíveis.

O Modo Level utiliza os dados do acelerômetro e giroscópio na realimentação do controle, sendo assim, o sinal de referência do controle é o ângulo desejado para determinado movimento. Apenas os movimentos de rolagem e arfagem são interferidos por este modo.

O Modo Acro utiliza apenas os dados do giroscópio na realimentação do controle, ou seja, o sinal de referência do controle atua na velocidade em que o quadricóptero rotaciona em determinado movimento. Os movimentos de rolagem, arfagem e guinada sofrem interferência neste modo.

A Figura 2 demonstra a malha de controle para o Modo Level, seguida pela relação entre saída e referência para os movimentos de rolagem e arfagem após a calibração dos ganhos, que estão dispostos na Tabela 1. A Figura 3 demonstra a malha e resultados para o Modo Acro com os ganhos dispostos na Tabela 2.

Figura 2 – Modo Level



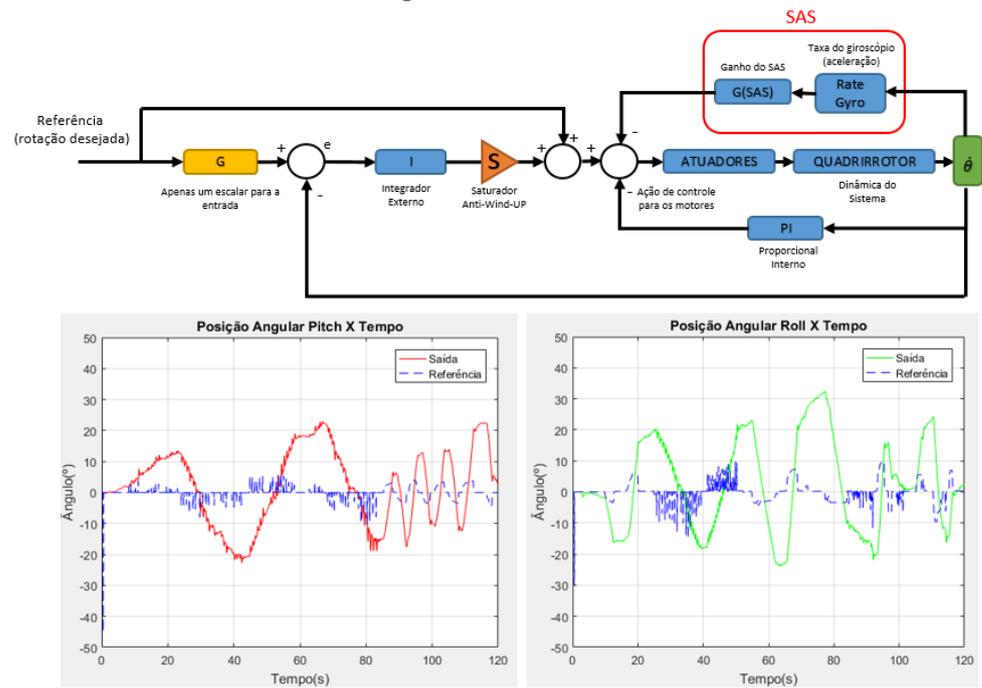
Fonte: SILVA NETO (2019).

Tabela 1 – Ganhos do Modo Level

Ganhos dos Termos	Valor
PE	0.7
I	0.002
PI	0.5
G(SAS)	0.718

Fonte: SILVA NETO (2019).

Figura 3 – Modo Acro



Fonte: SILVA NETO (2019).

Tabela 2 – Ganhos do Modo Acro

Ganhos dos Termos	Valor
I	0.003
PI	0.5
G	Depende da aquisição do sistema
G(SAS)	0.718

Fonte: SILVA NETO (2019).

CONCLUSÃO

O sistema de aumento de estabilidade (SAS), mostrou-se essencial para alcançar a estabilidade do sistema, principalmente no Modo Level. O SAS utiliza o giroscópio para mediar a taxa de variação angular do quadricóptero, variando da lógica aplicado ao *firmware*, e realimentar a ação de controle. Deste modo, um momento aerodinâmico proporcional à velocidade angular e sua derivada pode ser gerado e usado para produzir um efeito de amortecimento no movimento.

O saturador do *anti-wind-up* é aplicado para voos em altas altitudes, onde o atuador fica próximo da saturação. Evitar o acúmulo do termo integrativo nesta situação é essencial para a integridade do controle e sistema em tais situações.

No Modo Level é possível observar um *offset* entre referência e saída. Esta discrepância pode ser retirada adicionando um termo integrativo na malha interna do controle, possibilitando mais uma configuração na curva de resposta com chances menores de instabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos devem ser direcionados à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo programa voluntariado em iniciação científica e aos integrantes do Laboratório de sistemas Automatizados e Controle (LaSisC), essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BORSOI, B. T.; FAVARIM, F; LINARES, K. C.; MATTIELLO, C. D. **Controle de atitude para veículos aéreos não tripulados do tipo quadricóptero: PID vs Lógica Fuzzy.** Computer on the Beach, p 111-120, 2015.

KIM, H. J.; LEE, D.; LIM, B. H.; PARK, J. **Build your own quadrotor.** IEE Robotics & Automation Magazine, p 33-45, 2012.

NELSON, R. C. **Flight Stability and Automatic Control.** 2 Ed. B Singapore: McGraw-Hill Book Co, 1998.

PAULA, J. C. de. **Desenvolvimento de um VANT do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Paraná – UFPR. 110p Curitiba – PR 2012.

SILVA NETO, U. X. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Quadrirrotores.** 2019. 283 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

STEVENS, B. L.; LEWIS, F. L. **Aircraft Control and Simulation.** 1Ed. New York: John Wiley & Sons, 1992