

MEASURES OF ATTITUDE ANGLES OF A QUADRICOPTER WITH A COMPLEMENTARY FILTER

Társis B. Silva, Alex S. Schirmer, Carlos H. Barriquello, César Abascal, Daniel A. Nesvera, Gabriel J. C. Silva, José E. Baggio, Rodrigo Deutsch

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Departamento de Eletrônica e Computação, Centro de Tecnologia – Santa Maria- RS

tarsisnat.b.s@gmail.com

Abstract. This article aims to propose a solution to the estimation of attitude angles of an aircraft of the quadcopter type, using low cost inertial sensors. Such sensors contain a lot of noise and diversion measure and the use of filters is highly recommended to obtain the angular position of the quadcopter. Here it is used a complementary filter, using only the ideal area of operation in the field of frequency of each sensor. To calibrate the sensors, it was used a temporary third sensor, a potentiometer which varies its resistance depending on the angle of its axis. The results were satisfactory, enabling the design technique.

Palavras-chave: Filtro complementar, ângulos de atitude, Quadrotor

1. INTRODUÇÃO

Um quadrotor ou quadricóptero, é uma aeronave de formato cruciforme, dotada de quatro propulsores, um em cada extremidade, formando dois eixos ortogonais em um plano. Pode ser tripulada ou não tripulada.



Figura 1. Quadrotor típico

Um ponto vital no funcionamento de qualquer aeronave, inclusive quadrotores, é uma boa estimativa de sua atitude no espaço. Geralmente utiliza-se técnicas complexas e trabalhosas para estimar tais medidas satisfatoriamente devido a ruídos presentes em seus sensores, como variações do filtro de kallmann conforme Henz G.[2].

É apresentado neste artigo, uma possível forma de estimar a orientação de um quadrotor, medindo os ângulos de atitude com sensores de baixo custo, com o projeto

de um filtro complementar através de uma técnica singular.

2. SISTEMA DE REFERENCIAS

A aeronave em questão, possui seis graus de liberdade, três de rotação e três de translação. É de suma importância obter boas medidas destas variáveis para a orientação do sistema corpo (B), em relação ao sistema de coordenadas da Terra (referencial não inercial E). Para isso primeiramente, é necessário definir um sistema de coordenadas para o corpo, que pode ser descrito conforme a Figura 1. Existe um eixo x na direção do motor 1 e um eixo y na direção do motor 2, formando um plano xy. Perpendicular ao plano, há um eixo z. Todos os três eixos podem ser rotacionados e transladados em relação a E.

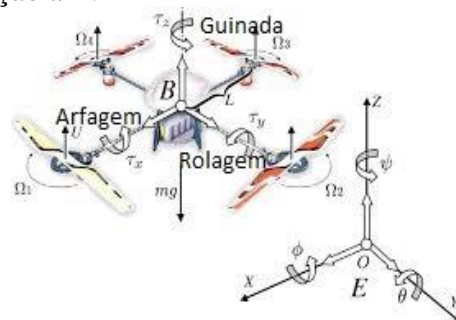


Figura 2. Graus de liberdade de um quadrotor em relação ao sistema Terra (E)

2.1 Sensores utilizados

O sensor utilizado na confecção deste protótipo limita a medição de apenas dois graus de liberdade de rotação, a rotação do corpo em torno do eixo X (arfagem) e a rotação em torno do eixo Y (rolagem). Nota-se, que para a medida da posição angular do corpo em torno do eixo Z (guinada), é necessário a presença de sensores como

magnetômetros, que não estão presentes no protótipo atual.

Os sensores utilizados são acelerômetro e giroscópios de 3 eixos, ambos incluídos na unidade de processamento de movimento de inercial, MPU6050 desenvolvida pela *invensense*.

É possível estimar o ângulo de rolagem e arfagem de um corpo em relação ao sistema E , utilizando a variação da direção do vetor de aceleração da gravidade g , que tem suas componentes mapeadas nos eixos X, Y e Z do acelerômetro, o qual deve estar no centro de massa da aeronave. Como mencionado anteriormente, o acelerômetro não está apto a medir o ângulo de guinada da aeronave, pois neste caso não há variação de aceleração nos eixos do sensor, pois o vetor de aceleração da gravidade, terá apenas a componente do eixo Z. As Equações a seguir permitem obter a estimativa da posição angular do quadrotor em torno dos eixos x e y quando os sensores estão posicionados em seu centro de gravidade, segundo Vasconcellos C. S[3]:

$$\theta_{ax} = \frac{Acx}{\sqrt{(Acy)^2 + (Acz)^2}} \quad (1)$$

$$\theta_{ay} = \frac{Acy}{\sqrt{(Acx)^2 + (Acz)^2}} \quad (2)$$

Já os sensores giroscópios, de acordo com Bueno A. G.[1], medem a velocidade angular com uma precisão normalmente boa. Portanto, a integração do valor obtido pelo giroscópio, em relação ao tempo, estima uma boa aproximação da informação angular, se provida a posição inicial do sistema.

O processo de integração também age como um filtro passa baixas e reduz o já baixo ruído de alta frequência gerado

$$\theta_{gx} = \int_0^t \omega x \cdot dt \quad (3)$$

$$\theta_{gy} = \int_0^t \omega y \cdot dt \quad (4)$$

Porém, os acelerômetros não costumam estimar corretamente a posição angular de um corpo em altas frequências, sendo úteis

apenas em regime permanente. Devido a acelerações medidas pela translação do centro de massa em seus eixos, há ruído de alta frequência contaminando as medidas.

Por outro lado, giroscópios são ótimos para estimar posição angular em regime transitório, pois apresentam pouco ruído em alta frequência, mas em contrapartida, na prática sempre existirá um pequeno erro de medida para o ângulo atual (*deriva do giroscópio*). Tal erro é propagado no tempo, devido ao processo de integração, gerando um desvio na medida da posição angular, também chamado de *bias*. Logo, não é possível utilizar o sensor para aferir a medida da posição angular em torno do eixo de guinada em regime permanente.

3. FILTRAGEM DOS DADOS

Uma das possíveis soluções para a medida da atitude do corpo no espaço de forma precisa, é utilizar o giroscópio apenas em altas frequências com um filtro passa alta, e o acelerômetro em baixas frequências com um filtro passa baixa.

Abaixo filtros de primeira ordem dos eixos dos sensores, já discretizados em uma frequência genérica.

$$\theta a[i] = \theta a[i - 1] \cdot \rho + \theta a[i] \cdot (\rho - 1) \quad (5)$$

A Eq. (5), mostra o filtro passa baixas discreto, sendo θa , o angulo estimado pelo acelerômetro, i o índice da amostra e ρ o peso do filtro configurado conforme sua frequência de corte.

$$\theta g[i] = (\theta g[i - 1] \times \rho) + (\omega[i] \times T) \quad (6)$$

Na Eq. (6), é apresentado o filtro passa altas discreto, sendo: θg o angulo estimado pelo giroscópio, ω a velocidade angular medida pelo giroscópio e T o período de amostragem, utilizado no processo de integração da velocidade angular no tempo.

A solução proposta para este problema, é fundir os dados dos sensores com um filtro

complementar. Uma solução simplificada do filtro de Kallmann, porém com resultados semelhantes, e menor complexidade.

A ideia é estimar os ângulos de arfagem e rolagem através de uma média ponderada das medidas do acelerômetro e do giroscópio, utilizando pesos específicos para ambos os sensores, que serão resultados da frequência de corte, projetada para os filtros passa alta e passa baixa, que neste caso é a mesma.

$$\theta_{comp}[i] = \theta_a[i] + \theta_g[i] \quad (7)$$

O filtro complementar, apresentado na Eq. (7) é simplesmente a soma dos demais filtros calculados na Eq. (5) e Eq. (6).

Substituindo Eq. (3) e Eq. (4) na Eq. (7), e já simplificando:

$$\theta_{comp}[i] = (\rho \times \theta_{comp}[i - 1]) + (1 - \rho) \times \theta_{comp}[i] \quad (8)$$

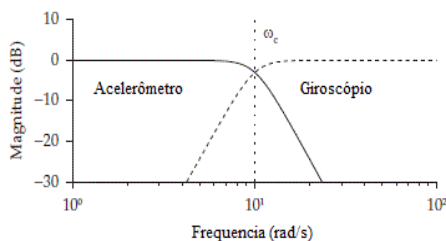


Figura 3. Magnitude de um filtro complementar na frequência ($\omega_c = 10 \text{ rad/s}$)

3.1 Projeto dos filtros

Para uma estimação precisa, é importante definir a frequência de corte dos filtros de forma adequada. Foram realizados ensaios com o protótipo do quadrotor em uma plataforma de testes, para definir a banda de trabalho adequada para cada sensor.

Primeiramente, foi fixado um dos eixos do quadrotor em uma base com rolamentos, dando liberdade de rotação apenas ao outro eixo. Em um dos rolamentos, anexou-se o eixo de um potenciômetro linear de $10\text{K}\Omega$, submetido a uma tensão de 3.3V , sendo possível relacionar a posição angular do eixo livre, com a tensão lida na resistência variável do potenciômetro.

Ao ocorrer qualquer inclinação no eixo livre, seja pelos torques dos propulsores ou por algum torque externo, a rotação nos rolamentos, gira o eixo do potenciômetro, fazendo sua resistência interna variar. A tensão sobre a resistência do potenciômetro, pode ser lida por um conversor analógico digital, gerando um vetor de valores de tensão que podem ser relacionados com o ângulo do eixo livre, pois o potenciômetro é linear e apresenta resposta rápida e pouco ruído.

Agora, é possível projetar a frequência de corte dos filtros em função dos resultados obtidos pela tensão fornecida pelo potenciômetro.

4. O PROTÓTIPO

O protótipo utilizado é um quadrotor com motores *brushless*, cada um com uma hélice no rotor, a interface de potência entre os motores e a unidade de controle é feita por um controlador eletrônico de velocidade (*ESC*). No caso do protótipo de testes, utilizou-se apenas os dois motores do eixo livre, não havendo a necessidade de manter os outros motores anexados no corpo da aeronave. Próximo ao centro de massa, está o sensor MPU6050 junto com a unidade de controle, composta por um microcontrolador *STM32f103c8t6*, com um núcleo *ARM Cortex M3*, futuramente responsável pelo algoritmo de estabilização e atualmente encarregado de gerar sinais *PWM* para os motores e ler e interpretar os sensores.

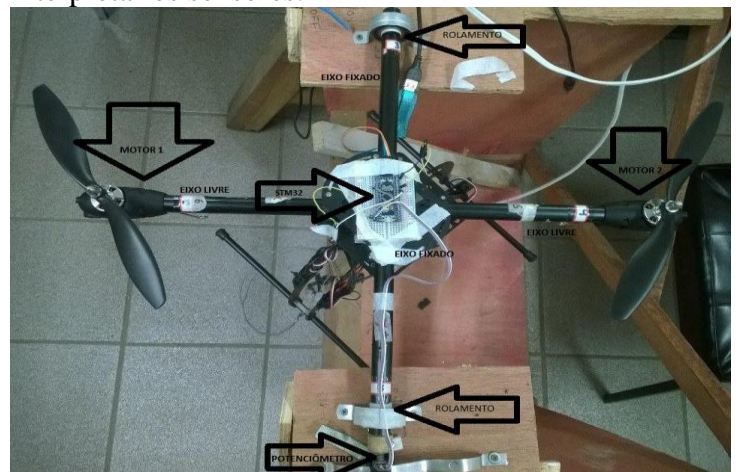


Figura 4. Montagem do protótipo na plataforma de testes

4.1 Resultados

Primeiramente gerou-se uma diferença de torques nos propulsores através de um sinal PWM, resultando em uma variação de inclinação do eixo livre, que foi lida pelos sensores do MPU650 e pelo potenciômetro.

Através de uma primeira análise, pode-se verificar se existe a necessidade de condicionar a frequência de corte dos filtros, de modo a aumentar o peso das medidas do acelerômetro (caso de elevado *overshoot*) ou o peso das medidas do giroscópio (caso de presença de elevado atraso na resposta).

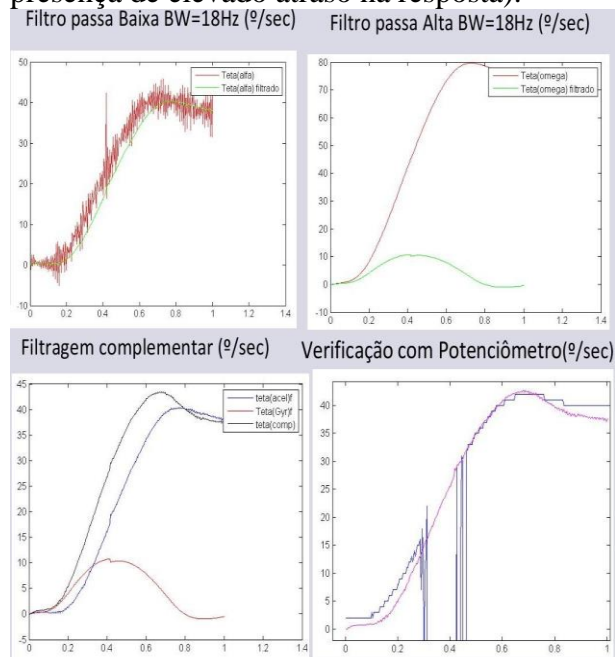


Figura 5. Curvas medidas pelo MPU6050 e potenciômetro

5. CONCLUSÃO

O projeto do filtro complementar para estimar a atitude do quadrotor, se mostrou uma alternativa viável, pois tem bons resultados e é de simples implementação, podendo facilmente ser implementada em até mesmo microcontroladores de 8 bits, devido a simplicidade computacional.

A técnica utilizada para o projeto da frequência de corte do filtro, com o potenciômetro também se destaca, pois evita uma análise extremamente trabalhosa e maçante a respeito das características de cada

sensor, economizando tempo valioso de projeto.

A resposta do ângulo calculado com base no acelerômetro e no giroscópio, usando o filtro complementar se mostrou satisfatória, quando comparada com a resposta obtida pelo potenciômetro usado como referência tal como mostra a Fig. 5.

Futuramente pretende-se utilizar este projeto para a confecção de um controle de estabilização de voo, e incluir um sensor magnético (magnetômetro) no projeto do filtro complementar.

Agradecimentos

É necessário prestar os devidos agradecimentos aos professores José Eduardo Baggio e Carlos Henrique Barriuelo, pelo apoio e incentivo ao trabalho de pesquisa deste artigo, ao professor Luiz Felipe Dias de Carvalho, pelo empréstimo do material utilizado na montagem do protótipo e também a todos os colegas do Grupo de Pesquisa de Sistemas Embarcados da UFSM por toda ajuda prestada durante este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Bueno A. G. FILTRO COMPLEMENTAR APLICADO A MEDIDA DE INCLINAÇÃO DE PLATAFORMAS MÓVEIS, EEM/CEUN-IMT, pp. 1-3.
- [2] Henz G. “MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DE CONTROLADOR DE VOO DE UM VEÍCULO QUADRIROTOR”Universidade Federal de Santa Maria, Out, 2015, pp. 24-26.
- [3] Vasconcellos C. S. “Projeto, construção e controle de um protótipo de um Quadrirotor”Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mar. 2013, pp. 24-50.