

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.*

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

1. INTRODUÇÃO

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



Figura 1. Quadrirrotor típico

Quadrirrotores não tripulados, também chamados de *Drones*, tem se popularizado em áreas diversas como segurança, monitoramento de áreas remotas, ou até mesmo entretenimento. Tal popularização se deve a facilidade de acesso e adaptação de tais aeronaves a diversos tipos de ambientes, devido a sua estrutura relativamente compacta, possibilidade de

realizar decolagem e aterrissagem vertical, e sua dinâmica simples de voo em comparação a outras aeronaves não tripuladas como asas fixas e helicópteros.

É apresentado neste artigo, uma possível forma de estimar a orientação de um quadrotor, medindo os ângulos de atitude com sensores de baixo custo. Também é descrito a técnica utilizada para o projeto dos filtros utilizados no processo.

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 .

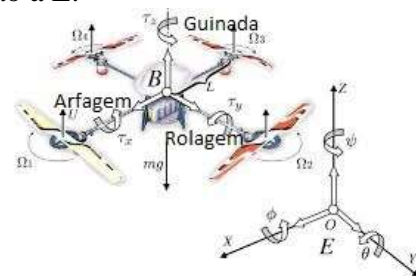


Figura 2. Graus de liberdade de um quadrotor em relação ao sistema Terra (E)

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 baixo custo, 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 componente em no 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[2] :

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

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

Já os sensores giroscópios, de acordo com Bueno A. G.[1] medem a velocidade angular, e sua precisão é normalmente boa. Portanto, a integração do valor obtido pelo giroscópio em relação ao tempo provém uma boa aproximação da informação angular, se provida a posição inicial do sistema e o sensor praticamente sem ruído. 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 no regime permanente, devido a acelerações medidas pela translação do centro de massa em seus eixos, gerando ruído de alta frequência. Ao contrário, 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*), e tal erro será propagado no tempo, devido ao processo de integração, gerando um desvio na medida da posição angular, também chamado de *bias*. O que também, impossibilita a utilização da medida da velocidade angular em torno do eixo Z, para obter a medida do ângulo 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 ângulo 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, para a obtenção da posição angular.

A solução proposta para este problema, é fundir os dados dos sensores com um filtro complementar. Uma solução simplificada do filtro de Kalmann, porém com resultados semelhantes, e complexidade computacional menor. 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 em (7) é simplesmente a soma dos demais filtros calculados em (3) e (4).

Substituindo Eq. (3) e Eq. (4) em Eq. (5), e já simplificando:

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

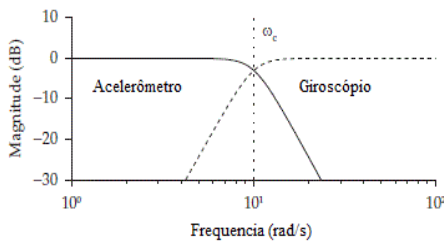


Figura 4. Magnitude de um filtro complementar na frequência ($\omega_c = 10 \text{ rad/s}$)

3.1 Projeto dos filtros

Para uma estimação precisa com a realidade, 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 convertidas em ângulo, pois o potenciômetro é linear.

Com isso é possível a obtenção da posição angular do eixo livre com uma resposta e precisão adequadas para este projeto. 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 quadrirrotor 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 5. 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).

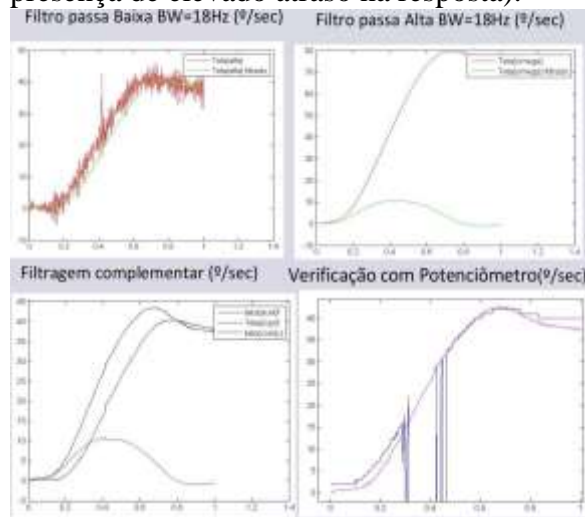


Figura 6. Curvas medidas pelo MPU6050 e potenciômetro

5. CONCLUSÃO

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. 7.

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.

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. Porém, os resultados obtidos neste artigo, mostram que é possível utilizar filtros complementares em praticamente qualquer problema que necessite fundir dados de dois ou mais sensores de forma satisfatória.

Agradecimentos

É necessário prestar os devidos agradecimentos aos professores José Eduardo Baggio e Carlos Henrique Barriquello, 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] Vasconcellos C. S. "Projeto, construção e controle de um protótipo de um Quadrrirrotor"Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mar. 2013, pp. 24-50.