

UTILIZAÇÃO DE MULTIROTOR PARA INSPEÇÃO DE ÁREAS DE DIFÍCIL ACESSO

USING MULTIROTOR FOR DIFFICULT ACCESS AREA INSPECTION

Wesley Karl El Anderson

euwesley@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Jane Stela Mazzola Anderson

jane stelamaz zola@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

RESUMO

O projeto desenvolvido referente ao multirrotor, também chamado de VOR (veículos operados remotamente), consistiu em desenvolver um sistema de inspeção de áreas de difícil acesso, embarcado com uma câmera para vistoria das áreas, controlado por GPS (Global Positioning System) e Rádio Frequência. O sistema de inspeção desenvolvido pode ser utilizado para aumentar a segurança da vistoria dessas áreas, evitando acidentes, que, pela exposição humana, podem vir a ocorrer. Tendo, ainda com esse sistema, a possibilidade de visualização dessas áreas de forma remota, por meio de imagens coletadas pelo multirrotor.

PALAVRAS-CHAVE: VOR. GPS. Inspeção. Segurança.

ABSTRACT

This design of a multicopter, also called VOR (remotely operated vehicles) aimed to develop a system of inspection of hard to reach areas where the same, embedded with a camera to survey the areas being controlled by GPS (Global Positioning System) and Radio Frequency. The inspection system developed can be used to increase the security inspection in hard to reach areas, avoiding exposing humans to an accident risk, whereas with this system you can remotely view areas through images collected by multicopter.

KEYWORDS: VOR. GPS. Inspection. Security.

Recebido: 30 ago. 2018.

Aprovado: 12 set. 2018.

Direito autoral:

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



INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos a robotização evoluiu consideravelmente, sobretudo pelos avanços que ocorreram nos setores da computação, microeletrônica e mecatrônica, em que, se destaca nessas ciências, os veículos operados remotamente (VOR), pertencentes às classes de robôs para inspeção utilizados pelas áreas industrial, militar e espacial, normalmente empregados em ambientes com dificuldades de acesso, com riscos biológicos, radioativos, ou seja, que coloquem em risco a vida de seres humanos, apoio tático em catástrofes naturais ou de outras naturezas, para inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica, análise estrutural em barragens de usinas hidrelétricas, em prédios e pontes de alturas elevadas. (ALMEIDA; GALDINO; PEREIRA, 2009, p.01).

Assim, a utilização de veículos operados remotamente (VOR) será mais viável a esta inspeção, mais especificamente um multirotor. Este se tratando de uma aeronave cujo peso é maior que o do ar, que tem sua decolagem vertical e pouso, com dois ou mais rotores, em que estes utilizam lâminas de passo fixo, em mesmo plano paralelos ao chão, em que seu movimento é conseguido por conta da variação da velocidade relativa de cada hélice (FERNANDES, 2011, p.01). Com este intuito, o projeto atual visa analisar barragens, através do uso de um multirotor.

MÉTODOS

O projeto do multirotor, foi adaptado a partir do conceito de construção de Acosta, Esteban e John (p. 48-90, 2012) e Fernandes (2013), onde apontam as características, cálculos matemáticos e físicos, para escolha dos componentes necessários na construção do multirotor adequado para desempenhar a função de coleta de imagens em alta resolução em áreas de difícil acesso.

Para o desenvolvimento do multirotor deste projeto foram utilizados os seguintes componentes:

- a) Quatro motores Brushless modelo E-MAX BL 2210/30 1450 KV 208W;
- b) Quatro controladores Turnigy Multistar 30 Amp Multirotor Brushless ESC 2-4S;
- c) Um Multiwii and Megapirate AIO Flight Controller com FTDI e microcontrolador ATmega 2560;
- d) Quatro hélices de duas lâminas, sendo que, duas hélices são para rotação horária e duas hélices são para rotação anti-horária;
- e) Um controle transmissor e um receptor de radiofrequência modelo Turnigy 9X, que serve para a comunicação do piloto com o multirotor.

O multirotor pode ser operado tanto pelo software transmitido por radiofrequência ou por um controle radiotransmissor, e para a estabilidade de seu voo, utilizou-se um sensor microcontrolador contendo seis eixos, sendo que três são giroscópicos e três são de aceleração com modelo MPU6050.

Já na coleta de imagens, foi utilizada uma câmera fotográfica modelo HERO, marca GOPRO, onde o local das imagens foi georreferenciado a partir de um receptor GPS de modelo CIRUS, acoplado ao multirotor, do qual o dado coletado por ele é melhorado com a utilização de um sensor de alta resolução de altitude

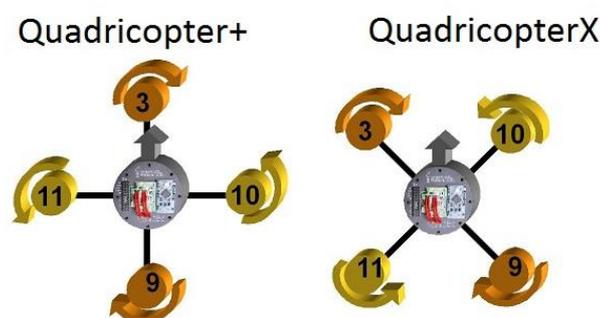
modelo MS5611-01BA01, e também conta com a ajuda de uma bússola eletrônica (magnetômetro) de modelo HMC5883L.

O modelo de navegação utilizado neste projeto é baseado na proposta de Chaves, Cugnasca e Neto (p.57-58, 2012), aquele em que a navegação do multirrotor entre as células se restringe às direções norte, sul, leste e oeste. Os autores argumentam que esse modelo é bem próximo das capacidades de um multirrotor de pequeno porte, pois, em voos reais, um multirrotor faz uma curva de 90 graus onde cobre três células, ao mesmo instante que dois deslocamentos perpendiculares, que também cobrem três células, ocorrem. Assim o modelo de navegação descrito, é extremamente adequado a mini ou micro-VANTs e a VANTs de asas rotativas, neste caso os multirrotores.

Assim, os multirrotores empregam uma padronização de busca em “Rotas Paralelas” como algoritmo de navegação, onde este é o mais indicado em situações onde não há dados sobre o local exato a ser examinado, o que acontece neste projeto.

O primeiro passo do projeto, foi o levantamento das peças utilizadas para montagem do multirrotor e seu custo, utilizando um modelo de montagem e disposição do quadro para alocar quatro motores, sobre este foi implementado o circuito eletrônico de rádio controle e navegação via satélite entre outros componentes para o voo estabilizando o mesmo, podendo utilizar uma disposição de voo em (x) ou (+). A Figura 1 apresenta um esboço desta disposição.

Figura 1: Disposição de voo com quatro motores.



Fonte: <http://www.drotek.fr/photos/MultiWiiConfigurationMotor.jpg>

Utilizou-se motores brushless, pois o seu funcionamento é similar ao motor brushed (com escova), no entanto o motor brushless não possui contato mecânico com o rotor para a passagem de corrente elétrica, o funcionamento se dá a partir de um ímã na parte externa que rotaciona sobre o seu próprio eixo, desta forma rotacionando também o rotor (FOUR; RAMOUNTAR; ROMEU; COPELAND, 2007, p.11). Este modelo de motor possui grandes vantagens em relação ao motor com escova. Possui alta potência, torque alto, uma inércia baixa, tamanho reduzido, vida útil longa (por não utilizar escovas e comutadores metálicos), não é afetado por poeira, ausência de faíscas, maior dissipação de calor e em alguns modelos pode chegar a 80.000 rotações por minuto.

Estes motores utilizam em seu funcionamento a corrente contínua, cada modelo contém características diferentes em seu valor de entrada. O motor brushless possui três fios condutores que formam as bobinas, que podem ser unidas nas configurações. Quando ligadas em delta a corrente se torna igual para as três bobinas, que são ativadas a cada pulso emitido pelo ESC (Eletronic Speed Control), sendo assim o motor tem maior força e consumo, já na ligação em estrela o consumo e sua força são reduzidos (FOUR; RAMOUNTAR; ROMEU; COPELAND, 2007, p.6). Nos motores brushless, quem rotaciona é a parte externa do motor e não o seu núcleo, como no caso dos motores brushed. O ESC tem uma função importante para o motor brushless, é ele quem vai ditar o ritmo para o funcionamento, e irá acionar as bobinas em sequência conforme a largura do pulso emitido pelo Arduino.

Para controlar a velocidade de rotações de motores elétricos foi utilizado o ESC (Eletronic Speed Control), esse circuito trabalha como um controlador de acesso de energia para o motor brushless. O dispositivo contém uma alimentação central da bateria, um conector de três vias (GND,+5v,Sinal) para receber a aceleração e as três vias condução de energia para o motor brushless DC.

A alimentação principal utilizada no projeto foi uma bateria, com corrente contínua com tensão de 3.7 a 11.1V. Como controle de aceleração, o ESC utiliza um sinal PWM, que deriva do inglês Pulse-width modulation, que varia entre dois pontos de tensão, a alta e a baixa.

O “duty cycle” é o tempo em que cada pulso permanece em alta. O ESC controla basicamente a velocidade com que rotaciona cada motor a partir do “duty cycle” fornecido pelo conector de três vias, desta forma quanto maior o tempo em que o pulso fica em alta no “duty cycle”, maior é a tensão transferida ao motor, aumentando assim a velocidade de rotação dos motores. Os ESCs foram desenvolvidos com transistores que acionam de forma muito rápida¹, sendo assim uma tensão de maior ou menor amplitude é fornecida rapidamente para o motor, quanto maior for o tempo que o “duty cycle” do PWM ficar ativo em alta, maior será a velocidade de rotação do motor.

Para o projeto do multirotor, o ESC é uma ferramenta substancial, pois ele é o dispositivo que fará a variação das rotações dos motores, para estabilizar o multirotor no plano horizontal. Também é o responsável pelo deslocamento em direções e sentidos do mesmo no ar, e para isso a precisão na aceleração da rotação dos motores e o seu controle por PWM são necessários para o funcionamento do aeromodelo.

Para medir a aceleração foi utilizado um acelerômetro que é um dos instrumentos básicos, que tem a capacidade de medir a aceleração, e por decorrência, a velocidade e a localização, baseando-se nas leis da física para a precisão dos dados coletados. As medições ocorrem em uma, duas ou três dimensões, o que agrega um grande valor a esse componente. Ao aprofundar o estudo sobre acelerômetros (FIGUEIREDO, et al. 2007) foi verificado que existem vários modelos: o acelerômetro piezoelétrico, o acelerômetro capacitivo, o acelerômetro piezo resistivo e, o mais comum entre eles o acelerômetro eletromecânico. No caso deste projeto utilizou-se o eletromecânico.

¹ Informação retirada de: <http://www.math.niu.edu/behr/RC/pwm.html>

Este acelerômetro possui sensores que capturam a aceleração e a vibração em até três dimensões. São muito sensíveis e versáteis, permitindo acrescentar novas capacidades, assim torna-se mais eficaz. O movimento é capturado e convertido em sinal analógico ou digital. Estes modelos de acelerômetro podem ser encontrados facilmente em celulares, GPS, controles remotos por movimento, controles de videogames, etc.

O modelo utilizado no multirrotor é o MPU6050 encontrado na placa de controle de voo Megapirate AIO Flight Controller. Este acelerômetro possui três eixos de aceleração e três eixos de velocidade angular, os eixos de velocidade angular são controlados por um giroscópio. No acelerômetro a saída de dados é em forma de tensões analógicas proporcionais a medida de aceleração, ele também tem a capacidade de medir a aceleração estática da gravidade na inclinação, tal como a aceleração de movimentos, choques ou vibrações. As informações podem ser encontradas no datasheet do modelo utilizado².

O acelerômetro foi utilizado no multirrotor para calcular a inclinação e a sua aceleração, assim corrigindo o pulso PWM de cada motor para mantê-lo na horizontal equilibrado. As informações coletadas pelo acelerômetro são repassadas para um software desenvolvido na plataforma Arduino, podendo assim através dessa comunicação ajustar os mínimos detalhes do voo.

Para complementar os acelerômetros, desta forma melhorando a precisão dos deslocamentos em seus eixos³ foi utilizado um giroscópio. Este dispositivo gira em seu próprio eixo, quando exposto a uma força tende a mudar sua orientação do eixo de rotação, mudando para uma direção intuitiva. Os giroscópios vem sendo desenvolvidos com a tecnologia MENS (Micro Eletro Mechanical Systems). O modelo de giroscópio utilizado foi o MPU6050, possui 3 eixos de velocidade angular, fazendo com que torne mais preciso as inclinações coletadas pelo acelerômetro.

A interface que foi utilizada para implementar os algoritmos que controlam a estabilidade é o Arduino, ele é a plataforma chave do projeto. O pulso PWM que controla cada rotação do motor vem do processamento dos dados coletados pelos sensores de aceleração e giroscópio. O Arduino é alimentado por uma bateria enquanto estiver em voo. O Arduino é uma plataforma de prototipagem, tendo vários modelos, e o utilizado no projeto é o Multiwii AND Megapirate AIO, esta placa apresenta uma interface de serial múltipla, bem como uma interface I2C dedicada, podendo ligar um GPS diretamente. O processador embarcado é o ATmega 2560, que tem mais pinos de IO e por isso podem ler o sinal PWM de seu receptor, possuem saídas PWM suficientes para controlar o ESC diretamente, sem a necessidade de fazer o sinal PWM em software.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os testes de estabilização do multirrotor, foram utilizados modelos de três e quatro rotores, notando que, com o modelo de três rotores, houve dificuldade na estabilização do voo, principalmente quando não se conseguia distribuir (equilibrar) os pesos dos equipamentos de forma precisa, ou seja, o equilíbrio do GPS, da câmera e da bateria, fazendo com que a rotação e o consumo da bateria

² Pode ser encontrado no link a seguir: <http://www.cdiweb.com/datasheets/invensense/PS-MPU-6000A.pdf>

³ Mais sobre giroscópios neste link: http://www.ufrgs.br/igeo/m.topografia/index.php?option=com_remository&Itemid=216&func=startdown&id=27

aumentassem. Enquanto que com o modelo de quatro rotores, a estabilização tornou-se mais ágil, conseqüentemente, utilizando menos rotações e consumo da bateria, para manter-se em voo horizontal, compensando o desnível captado pelos sensores elevando a rotação de cada motor individualmente.

Já com as hélices, foram feitos testes rotacionando-as em sentido horário e anti-horário, concluindo-se que das duas formas o multirotor irá submeter-se a força centrípeta girando em seu eixo Z sem parar. Para que isso não ocorresse mais, foram utilizados dois pares de hélices: um par cruzado girando em sentido horário e o outro par cruzado girando em sentido anti-horário. Esse movimento reduziu a força centrípeta que exercia sobre o eixo Z, tornando o voo do multirotor possível e estável.

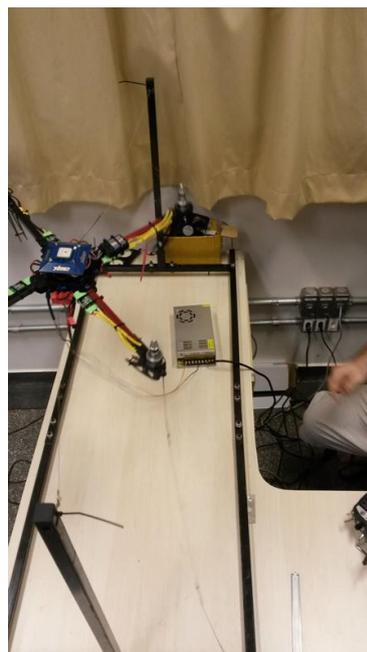
Os testes foram realizados inicialmente em área aberta, porém como haviam variações atmosféricas, ou seja, dias com vento excessivo e dias calmos, optou-se por montar uma bancada de testes, eliminando assim fatores externos.

Esta bancada funciona de maneira fixa, e serve de apoio para a sustentação do multirotor em um ambiente controlado. O multirotor é fixo na bancada por seis pontos, um em cada base de motor e dois segurando sua base central pela direita e pela esquerda. A Figura 2 apresenta um teste do multirotor sobre a bancada.

Após a estabilização do multirotor, ele foi removido da bancada e novamente submetido a testes ao ar livre, sendo implementada uma câmera GO PRO, com a qual foram feitos alguns vídeos, sem a implementação do processamento de imagens, onde, em todos os voos realizados, a estabilização se manteve.

Iniciou-se também a implementação das funções do GPS, onde somente a leitura de sinais de satélite está funcionando, sendo que o resultado do tratamento dos dados obtidos pelo GPS foram as posições de latitude e longitude, tendo um erro de 20 metros, mas ainda não foram feitos voos com esta nova implementação, para verificação de estabilidade e coleta de dados do GPS.

Figura 2: Multirotor em teste sobre a bancada.



Fonte: Foto tirada no laboratório de *hardware*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os testes desenvolvidos com o multirrotor, obteve-se êxito de um voo estável, pois foram realizados testes em bancada e os mesmos repetidos em ambiente externo, com lufadas de vento médio mantendo-se estabilizado, sendo possível a captura de fotos e vídeos comprovando a funcionalidade do mesmo, e tornando possível e viável a utilização do multirrotor, em voos de reconhecimento de padrões.

Referente a utilização do GPS, para o voo autômato de reconhecimento das áreas utilizando coordenadas de latitude, longitude e altitude, ainda não foram desenvolvidos testes que comprovem estas funções, mas a funcionalidade de leitura do GPS, seus códigos, já estão implementados e em funcionamento, assim, estas abordagens, serão desenvolvidos em trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos Diretores Prof. Marlos Wander Grigoletto, Prof. Neron Alipio Cortes Berghauser e Prof. Alexssander Ariel Kuhn Liesenfeld (lê-se IUT-MD-Incubadora de Inovações da UTFPR Campus Medianeira), por guiar, ceder, instigar, criticar e disponibilizar seu tempo e paciência para auxiliar no desenvolvimento do presente projeto. À UTFPR-MD (Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Campus Medianeira) por disponibilizar tal espaço para crescimento e desenvolvimento de novas empresas e ideais; por conta disso, hoje, pode-se relatar tal desenvolvimento e adequação de projetos inovadores como o aqui apresentado.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, Andrés Rosales; ESTEBAN, Sarche Carrión Felipe; JOHN, Vasconez Fuertes Kennedy. **Diseño y construcción de un prototipo de tricóptero controlado de forma mediante radiofrecuencia.** 2012. Disponível em: <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5530/1/CD-4627.pdf>>. Acesso em 01 de agosto de 2018.

ALMEIDA, Lucas; GALDINO, Alexsandro; PEREIRA, Jonathan. **Robô para inspeção de áreas classificadas e de difícil acesso com transmissão de imagens sem fio.** P.01, 2009. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/348/288>>. Acesso em 02 de agosto de 2018.

CHAVES, A. N.; CUGNASCA, P. S.; NETO, J. J. **Busca Adaptativa Com Múltiplos Veículos Aéreos Não Tripulados.** P. 57-58. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/rsc/article/view/2173/1654>> Acesso em 01 de agosto de 2018.

FERNANDES, Nelson dos. **Design and construction of a multi-rotor with various degrees of freedom.** P.01, 2011. Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1051330/1/Thesis.pdf>> Acesso em 12 de agosto de 2018.

FIGUEIREDO, Lígia J.; GAFANIZ, Ana R.; LOPES, Gustavo S.; PEREIRA, Rúben. **Aplicações de Acelerômetros.** 2007. Disponível em: <<http://nebm.ist.utl.pt/repositorio/download/375>> Acesso em 20 de agosto de 2018.

FOUR, Ronald De; RAMOUTAR, Emily; ROMEU, Juliet; COPELAND, Brian. **Operational characteristics of brushless DC motors.** 2007. Disponível em: <http://www.eng.uwi.tt/depts/elec/staff/rdefour/Publications/Operational%20Characteristic%20of%20BLDCM_OA_WebPg.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2018.