

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Aplicação do Controle Servo Visual em um Quadrrrotor

Flavio de Abreu Bezerra Filho¹

Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Departamento de Ciências Exatas e Naturais, UFERSA, Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP 59625900 Mossoró, RN.

Maxwell Cavalcante Jácome²

Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Departamento de Ciências Exatas e Naturais, UFERSA, Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP 59625900, Mossoró, RN.

Elmer Rolando Llanos Villareal³

Programa de Pós-graduação em Sistemas de Comunicações e Automação -UFERSA, Departamento de Ciências Exatas e Naturais DCEN-UFERSA, Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP 59625900, Mossoró-RN

Resumo. Uma das formas de controlar a dinâmica de um robô é a partir da visão computacional. Dentre as técnicas estabelecidas na literatura, pretende-se desenvolver um estudo sistemático a fim de classificar os conceitos referentes ao controle servo visual aplicado em um quadrrrotor.

Palavras-chave. Visão Computacional, Servo Visão, Quadrrrotor, IBVS, PBVS.

1 Introdução

Normalmente, os robôs são utilizados na indústria para a execução de atividades com maior rapidez e agilidade que o ser humano, porém, estes dependiam bastante do homem para ter a possibilidade de exercer algumas de suas funções devido à baixa eficiência de seus sensores.

Devido ao aumento da necessidade do homem, este cenário vem mudando gradativamente e as máquinas estão cada vez mais aptas a servirem ao seu usuário, atendendo a praticamente todas as suas exigências.

Essa mudança se deve, em partes, a um tipo de sensor com maior capacidade de desempenhar a obtenção de informações de um determinado local – o sensor visual – onde, a câmera, juntamente com os sistemas de informação que compõem o robô,

¹ flavioabreubf@gmail.com

² maxwellc.jacome@hotmail.com

³ elmerllanos@ufersa.edu.br

fornece localização e forma dos elementos em um espaço definido. Em função dessa alta eficiência na busca de informação, os sensores servo visuais têm sido bastante utilizados pelos pesquisadores e cientistas atuais para auxiliar no controle de robôs.

De início, pretende-se aplicar as técnicas, já utilizadas em robôs terrestres, em robôs aéreos, no caso, os VANT's – veículos aéreos não tripulados – mais especificamente nos quadricópteros. Para isso, é necessária a implementação dessas técnicas, primeiramente, em locais fechados e de ambiente conhecido para que se possa passar por uma série de testes, para que, por fim, seja possível manipular os robôs em áreas sujeitas a alterações impostas pela natureza, onde as matérias existentes no meio possam alterar a sua posição.

O aperfeiçoamento dos veículos aéreos não tripulados, com o auxílio do controle servo visual, permitirá que ele monitore, por exemplo, grandes áreas, podendo assistir desde o tráfego urbano até o setor de plantações rurais, sendo adaptável a diferentes ambientes.

2 Objetivos

A interação dos quadricópteros com os interesses humanos gera uma relação promissora na inspeção de grandes áreas. Seja na infraestrutura, na agricultura, na pecuária, no monitoramento da poluição ambiental e em todas as áreas que sejam compostas por ambientes hostis que se caracterizam pelo difícil acesso tanto do homem quanto de robôs terrestres.

Desse modo, o foco principal desse estudo é a aplicação do controle servo visual nos VANT's, visando o aperfeiçoamento das técnicas de monitoramento e controle de diversos ambientes.

3 Materiais e Métodos

O principal objeto de estudo foi um quadricóptero do tipo Ar.Drone Parrot (versão 1.0), com o qual inicialmente foram realizados os testes de voo e coleta de imagens com controle manual. O VANT pesa 420g e é equipado com quatro motores presos a hastes de fibra de carbono e um corpo de plástico. A principal característica do veículo para esse estudo são suas duas câmeras, uma voltada para a frente e outra apontada verticalmente para baixo. Ambas as câmeras são do tipo VGA (640x480). É alimentado por uma bateria capaz de fornecer uma autonomia de voo de aproximadamente doze minutos [4].



Figura 1: AR. Drone Parrot (versão 1.0).

Sobre o ponto de vista de controle, foram analisados os circuitos de alguns toolboxes (traduzido livremente por caixas de ferramentas) os quais fornecem circuitos de simulação em ambiente Matlab (Simulink). Os arquivos disponíveis são livres, permitindo a modificação e adaptação, e foram bastante úteis na compreensão das etapas nas quais a imagem deve passar desde sua captura até a ação tomada pelo sistema de controle:

- Robotics Toolbox: é composto por um conjunto de ferramentas para simulação de robôs móveis.
- Machine Vision Toolbox: disponibiliza funções de controle visual em máquinas.
- Visual Servoing Toolbox: os recursos visuais dos robôs são aplicados no sistema de controle servo visual.

4 Resultados

A visão computacional é a ciência que busca desenvolver algoritmos e tecnologias, através dos quais sistemas computacionais são capazes de interpretar imagens ou quaisquer outros dados de várias dimensões e extrair informações em um determinado contexto [3].

A aplicação da visão computacional em robôs móveis tem se desenvolvido graças a crescente disponibilidade de recursos computacionais de alto desempenho, somada aos resultados de muitos projetos de pesquisa nessa vertente e na de processamento de imagens, permite-nos considerar a inclusão destes sistemas em malhas fechadas de controle [2].

A abordagem de controle servo visual envolve os problemas e aplicações da visão robótica no controle de sistemas, abrangendo aspectos de realimentação, dinâmica e estimação de parâmetros [2]. Assim, o sistema servo visual se trata do controle da informação visual com sua realimentação em malha fechada, o que diminui os erros associados às imagens já que a cada ciclo o manipulador tem sua posição corrigida, até atingir a posição desejada.

Uma particularidade notada no estudo da aplicação do controle servo visual em robôs aéreos como nos quadricópteros é sobre o comportamento da imagem adquirida para fazer parte do controle frente aos movimentos de voo. Graças à dinâmica de voo de um quadricóptero, os movimentos de rolagem e arfagem são responsáveis pela translação horizontal e provocam uma inclinação na câmera embarcada, isso gera uma rotação relativa na imagem captada no sentido inverso do movimento do veículo. Nota-se que é indispensável a análise do erro intrínseco ao modo de captura das imagens que serão utilizadas no controle servo visual.

A análise da literatura sobre servo visão permitiu resultados conceituais, sobre como a abordagem de controle visual terá sua melhor aplicação num quadricóptero.

4.1 Classificação da câmera

Um critério de classificação do controle servo visual é quanto ao número de câmeras pertencentes ao sistema, podendo ser Monocular (apenas uma câmera), Estéreo ou

Binocular, que utiliza duas câmeras, e Redundante, quando se têm mais de duas câmeras. Outro critério é a posição entre a câmera e o robô, podendo ser câmera fixa (“eye-to-hand”), onde a câmera se encontra imóvel durante o processo, e câmera embarcada (“eye-in-hand”), quando esta se move junta ao robô [6].

Nesse sentido é fácil classificar o veículo em estudo, visto que possui duas câmeras (binocular) as quais estão contidas em sua estrutura, enquadrando-se como “eye-in-hand”.

4.2 Definição do erro

Outra classificação comumente trabalhada na literatura é quanto à definição do erro inerente ao sistema de controle, como segue:

- Image-Based Visual Servoing (IBVS)

No controle servo visual baseado em imagem o erro é definido no espaço da imagem (bidimensional), usando parâmetros das características visuais diretamente no seu cálculo [4].

Os parâmetros da imagem podem ser representadas matematicamente pelo vetor $s = [s_1 \dots s_k]^T$, e s_d é o vetor de valores desejados. Assim, o erro é dado por:

$$E(s) = s - s_d = 0$$

Para relacionar a taxa de variação nos parâmetros da imagem, \dot{s} , à velocidade da câmera v_c , tem-se a relação

$$\dot{s} = L_s(r)v_c$$

onde L_s é a matriz de iteração (também chamada de Jacobiano da imagem) relacionada ao vetor de características visuais s , representada da forma:

$$L_s = \frac{\partial s}{\partial r} = \begin{bmatrix} \frac{\partial s_1}{\partial r_1} & \dots & \frac{\partial s_1}{\partial r_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial s_k}{\partial r_1} & \dots & \frac{\partial s_k}{\partial r_m} \end{bmatrix}$$

Pode-se observar que no circuito do Simulink existe um bloco com a função de calcular a matriz Jacobiana, referente à matriz de interação.

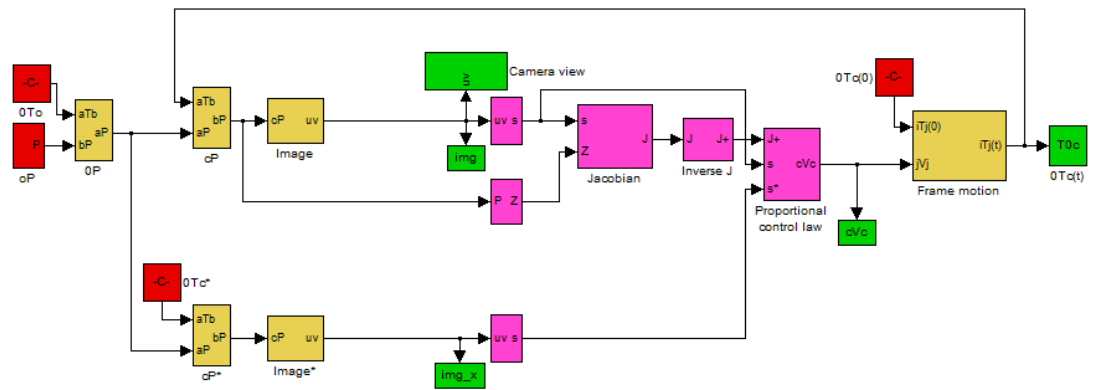


Figura 02: simulação do controle IBVS.

Além disso, nota-se que se trata de um sistema de malha fechada, com aquisição de imagens e realimentação do sistema de controle, conforme a definição de servo visual.

O modelo Simulink é um exemplo muito complexo que simula não só o robô, mas também a câmera e o algoritmo IBVS. A saída da câmera é a imagem em 2D, sendo o plano de coordenadas dos pontos de destino. Esses são usados para calcular a matriz Jacobiana da imagem que é invertida e multiplica o movimento desejado dos pontos de destino no plano da imagem. O movimento desejado é simplesmente a diferença entre os pontos do alvo observado e as posições dos pontos desejados [1].

- Position-Based Visual Servoing (PBVS)

O controle servo visual baseado em posição usa informações visuais para estimar a posição e orientação da câmera, e o erro se define no espaço da tarefa (tridimensional) [4].

Sendo a postura da câmera representada por $r = [X \ Y \ Z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$ (onde X, Y e Z representam as coordenadas espaciais da câmera em relação a um sistema de coordenadas fixo no ambiente e ϕ , θ e ψ são os ângulos de rotação passíveis do veículo – rolagem, arfagem e guinada) e r_d a postura desejada, o erro é dado por:

$$E(r,t) = r(t) - r_d(t)$$

O posicionamento espacial definido em termos de três variáveis justifica a classificação do IBVS como 3D. De maneira análoga, o circuito pode ser representado por:

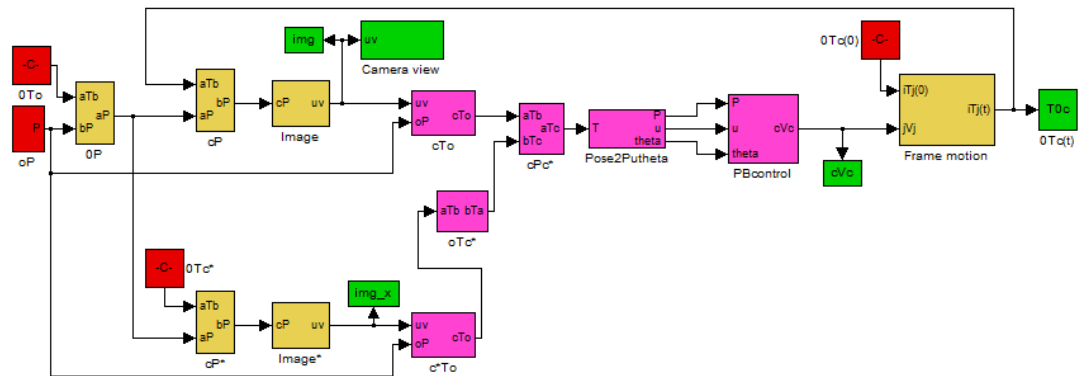


Figura 03: simulação do controle PBVS.

4.2 Comparação entre IBVS e PBVS

O fato de no PBVS se controlar a trajetória no espaço cartesiano facilita no projeto das leis de controle, pois quais serão mais simples, característica não pertinente à abordagem IBVS.

Tabela 1: Análise comparativa dos métodos de erro.

Método	Vantagens	Desvantagens
IBVS	Construção 2D (mais simples)	Estimação da profundidade
	Dispensa a calibração da câmera	
PBVS	Controla a trajetória no espaço cartesiano	Construção 3D (mais complexo)
		Estima a posição a cada iteração

A dificuldade da construção 3D diz respeito à necessidade de se ter a representação ideal das características do veículo ao qual a câmera estará a observar.

5 Discussões

Para solucionar os problemas contidos nas duas definições de erros, Menezes [4] e Gans [5] propõem a utilização de sistemas híbridos, em que tanto há a atuação de uma câmera embarcada como de uma fixa. Essa proposta atende a limitação do IBVS em se estimar a profundidade não dependendo apenas do método PBVS.

6 Conclusão

Essa exigência de aplicação do controle servo visual nos veículos aéreos se dá pela necessidade que o ser humano vem desenvolvendo ao longo dos anos. Isso permite que haja cada vez mais investimentos em pesquisas e testes acerca dessa tecnologia.

Tendo em vista esse estímulo, resultados positivos estão sendo obtidos, a partir de análises e manuseio de softwares, os quais trouxeram à tona características do VANT estudado como: a captura da imagem invertida pelo sistema binocular de câmeras embarcadas e a definição dos erros nos dois sistemas de controle, em duas dimensões (IBVS) ou em três dimensões (PBVS).

Diante do bom andamento dos estudos, a pesquisa continua sendo implementada em busca de novos resultados, a fim de contribuir para o aperfeiçoamento dessa tecnologia altamente promissora para a humanidade.

Agradecimentos

Agradecemos à CITED-UFERSA e ao CNPQ por subsidiarem os fatores ligados ao desenvolvimento do projeto.

Referências

- [1] P. I. Corke, *Robotics toolbox for Matlab*, CSIRO, vol. 1, (2002).
- [2] G. F. da Silveira Filho, *Controle servo visual de veículos robóticos aéreos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Unicamp, (2002).
- [3] L. C. de Lima, *Estudo sobre uma estratégia de controle adaptativo servo visual e sua aplicação em um robô industrial*, Monografia para graduação em Engenharia de Controle e Automação, UFRJ, (2013).
- [4] R. P. B. de Menezes, *Controle servo visual de veículos aéreos multirrotores*, Dissertação de Mestrado em Mecatrônica, UFBA, (2013).
- [5] N. R. Gans and S. A. Hutchinson, *Stable visual servoing through hybrid switched-system control*, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, (2007).
- [6] G. L. L. Muñoz, *Análise comparativa das técnicas de controle servo-visual de manipuladores robóticos baseadas em posição e em imagem*, Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, UnB, (2011).