

## DESENVOLVIMENTO DE CONTROLADOR NEUROFUZZY PARA APLICAÇÃO EM QUADRIROTORES E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM O CONTROLE PD

Matheus Zimmer Schupel<sup>1</sup> Celso José Faria de Araújo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica CCT UDESC - bolsista PIBIC/CNPq.

<sup>2</sup>Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica CCT – [celso.araujo@udesc.br](mailto:celso.araujo@udesc.br)

Palavras-chave: PID, *Hovering*, Quadrirotor, Drone, *Chattering*.

Controlar significa impor comportamento. Para isso existe uma série de estratégias de controle, cabendo ao pesquisador verificar qual controlador e qual estratégia de controle é a mais adequada a sua planta. Neste trabalho a planta a ser controlada é de um Quadrirotor, popularmente conhecido como Drone. Esta planta é altamente não linear, mas dependendo do ponto de operação, podemos torná-la linear. Nesta pesquisa são explorados o comportamento não linear, onde é aplicado o controlador NeuroFuzzy e o comportamento dentro de uma região linear de operação, onde é utilizado um controlador PD. Ao final serão apresentados a comparação dos resultados obtidos, mediante os mesmos sinais de teste, para ambos os controladores.

Quando estamos trabalhando com Quadrirotores precisamos utilizar dois sistemas inerciais de referência. Um localizado na terra com movimentos ao longo do eixo x, y e z e outro localizado no próprio corpo do Drone, com movimentos angulares de rolagem ( $\theta$ ), arfagem ( $\phi$ ) e guinada ( $\psi$ ). Os quatro motores determinam através da rotação de suas hélices, o ângulo desses movimentos. Estes ângulos combinados produzem movimentos ao longo do eixo x e y. A posição em z é determinada pela aceleração dos motores. Quando a aceleração for nula e a velocidade das hélices for suficiente para gerar uma força vertical para cima que anule o peso do Drone, estaremos na configuração de *hovering*, ou seja, todos os motores estarão na mesma velocidade e o Drone estará parado em uma determinada posição em z. A velocidade em que ocorre o *hovering* depende de parâmetros construtivos, no caso do Drone pesquisado, a velocidade de cada hélice é de 255 rad/s (Bresciani, 2008). Podemos observar que possuímos 4 graus de liberdade e 6 movimentos, configurando uma planta não linear.

O modelo matemático utilizado é baseado no modelo de Newton-Euler para corpos rígidos, (Bresciani, 2008). A dinâmica da planta envolve a transformação do sinal de teste (entrada) para tensão e posteriormente para velocidade das hélices. Esta velocidade irá gerar uma saída que será comparada com a entrada gerando um erro que será a entrada do controlador.

Um simples mas efetivo método de controle robusto é o controle por modos deslizantes (SMC). As principais vantagens deste método são a inerente robustez frente a uma grande classe de perturbações e incertezas do modelo e a necessidade de uma quantidade reduzida de informação, comparada com as técnicas clássicas de controle (Utkin, 1977). Entretanto, a implementação de um SMC tem que levar em conta as restrições não ideais, a vulnerabilidade nas medidas de ruído e também a possibilidade de ocorrência de *chattering*, que são oscilações de alta frequência na saída do controlador. Redes Fuzzy e/ou Neural baseadas em modelos podem ser empregados como ferramenta para introduzir informações nos sistemas de controle não linear, através da aplicação de um mecanismo de adaptação apropriado para os

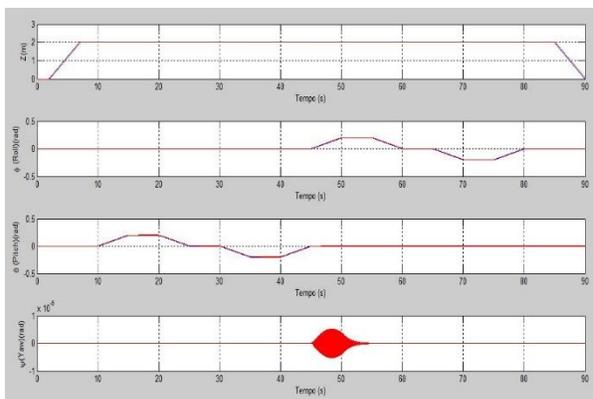
parâmetros dos modelos matemáticos utilizados nos SMC, particularmente no caso de modelos baseados na lógica Fuzzy (Poursamad, 2009).

Neste trabalho uma técnica de controle Fuzzy adaptativo direto por modos deslizantes é empregada para realizar a aproximação de uma lei de SMC de controle “ideal” que garante um limite de desempenho especificado. O principal objetivo é manter o controle tão simples quanto possível usando somente três regras de interferência para construir uma modelo para a ação apropriada de controle SMC, evitando o *chattering* através da utilização da camada limite (Slotine, 1991).

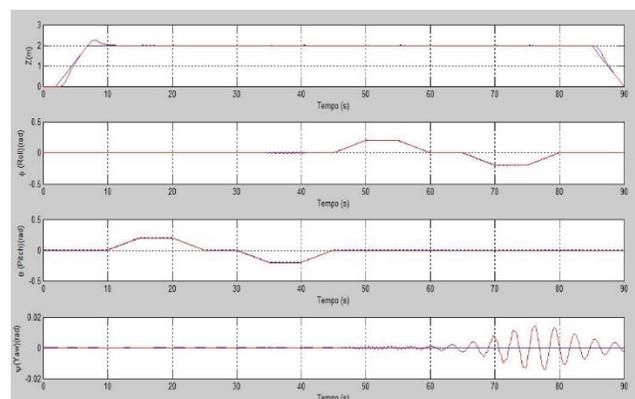
Operando o Drone na velocidade de *hovering* e limitando os movimentos de rolagem, arfagem e guinada em no máximo 10° temos uma planta linear (Bresciani, 2008). Respeitando essas condições notamos que matematicamente nossa planta já possui um duplo integrador e que aumentar o grau do sistema não trará nenhuma vantagem ao controle. Tendo isso em mente utilizaremos um controlador Proporcional Derivativo (PD), excluindo o controle integrativo do PID. A estrutura PD é caracterizada por dois parâmetros de controle. Variando esses parâmetros conseguimos distorcer o Lugar Geométrico das Raízes (LGR) fazendo com que a planta atenda nossos requisitos de desempenho. O requisito imposto é um coeficiente de amortecimento  $\zeta = 0.707$ , o qual nos garante uma boa margem de ganho e de fase. Os parâmetros de controle foram ajustados utilizando o SISOTool do *Matlab R2009a* de forma a atender o requisito de desempenho.

A figura 1 mostra os resultados obtidos utilizando o controlador NeuroFuzzy e a figura 2 mostra os resultados obtidos com controlador PD com a planta linearizada na velocidade de *hovering*. Em ambas as figuras o sinal de entrada é mostrado em azul e o sinal de saída é mostrado em vermelho.

**Fig. 1** Resultados obtidos com controlador NeuroFuzzy.



**Fig. 2** Resultados obtidos com a planta linearizada e controlador PD.



Ambos os controladores apresentam bons resultados. As oscilações no movimento de guinada possuem amplitude muito pequenas, não inviabilizando a estratégia de controle. Observemos que o PD acompanha a referência melhor do que o NeuroFuzzy na decolagem e na aterrissagem, sem gerar sobressinalis. Vale lembrar que o controlador PD é limitado a ângulos de arfagem e rolagem de cerca de 10°.

## Referências

[1] ARAÚJO, C.J.F, COSTA, D.A, CAMINHAS, W.M., MENEZES, B.R., TÔRRES, L.A.B., 2010. Controlador Adaptativo Direto Fuzzy de Modos Deslizantes de Baixa Complexidade Aplicado ao Controle de um Quadrirotor. Em: Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy.

[2] BRESCIANI, T. Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter. Dissertação de mestrado, Universidade de Lund, Suécia. 2008.