

Proposta de uma arquitetura de controle híbrida *Fuzzy-PID* para a realização de manobras em VANTs

Nilton Kazuo G. Suzuki¹, Alejandro R. Garcia Ramirez¹

¹ Curso de Mestrado em Computação Aplicada – Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)

Rodovia SC 407, Km. 4 – Sertão do Maruim – São José – SC – Brasil

nkazuo@gmail.com, ramirez@univali.br

Abstract. *An hybrid control architecture Fuzzy-PID (Proportional - Integral - Derivative) to perform basic flight maneuvers of a UAV, is proposed in this work. Combining Fuzzy logic and PID allows to join the advantages of both individual control techniques, adjusting and adapting the skills of each one, ensuring robustness and quality in the controlled system. The results of applying the proposed technique have been validated through simulations using Matlab / Simulink, the Fuzzy Logical Toolbox, Aerosim Blockset library and 3D flight simulator FlightGear, enabling the development and improvement of control algorithms before their practical implementation on UAVs.*

Resumo. *Neste trabalho é apresentada uma arquitetura de controle híbrida Fuzzy-PID (Proporcional - Integral - Derivativo) para a realização de manobras de voo básicas de um VANT. O uso combinado da lógica Fuzzy e o PID possibilitou adaptar as habilidades de cada controlador, garantindo robustez e qualidade no sistema controlado. Os resultados da aplicação da técnica proposta, foram validados através de simulações, usando o Matlab/Simulink, o Fuzzy Logical Toolbox, a biblioteca AeroSim Blockset e o simulador de voo 3D FlightGear, permitindo o desenvolvimento e aprimoramento dos algoritmos de controle antes mesmo de sua implementação prática em VANTs.*

1. Introdução

Aeromodelos são caracterizados como plataformas não tripuladas ou VANTs. Seus primeiros relatos datam da década de 60.

Os VANTs devem ser dotados de autonomia para executar missões de voo, passando por pontos pré-determinados, transmitindo as informações coletadas e retornando à base em segurança, por exemplo. Para realizar essas tarefas é necessário projetar um sistema de controle, o qual é o responsável pela execução dos procedimentos e pela estabilidade da aeronave [Doitsids *et al* 2004]. Alguns dos parâmetros a serem controlados são, por exemplo, a velocidade e altitude desejadas.

Usualmente, o controle do VANT é baseado em técnicas clássicas [Dorf e Bishop 2001], [Neris 2001] as quais são simples de implementar e robustas, porém a presença de não linearidades, em função da complexidade crescente dos modelos e as variações paramétricas dificultam o desempenho e a sintonia desses controladores,

limitando a operação. Assim surgem trabalhos utilizando novas propostas baseados em técnicas de controle moderno e inteligência artificial. Doitsids, *et al* (2004) propõem a utilização de um controlador *Fuzzy* para o controle da aeronave Navion e mostram que é mais robusto perante as não linearidades do modelo da aeronave. Sampaio (2006) combina controladores *Fuzzy* e PID, utilizando uma técnica conhecida como escalonamento de ganhos [Erenoglu et al 2006]. Em outra abordagem, Silveira (2008) sugere utilizar a fusão das técnicas de controle não linear LQG/LTR e *Fuzzy* para o controle do Aerosonde. A robustez em aplicações práticas e a capacidade de controlar processos complexos são vantagens da lógica *Fuzzy* [Bickraj *et al.* 2006].

Nesse contexto, este trabalho propõe um sistema de controle baseado na lógica *Fuzzy* e no controle clássico PID, mas utilizando a configuração conhecida como ação direta [Kurnaz, Cetin e Kaynak 2009], a qual tem sido pouco explorada em controle de VANTs.

Para validar a técnica apresenta serão utilizados critérios de desempenho, tais como, a medição do sobressinal, o tempo de acomodação e o erro em regime, como em [Neris 2001], [Sampaio 2006] e [Silveira 2008].

O artigo é dividido em cinco seções. Na primeira seção foi realizada a introdução do trabalho. Na segunda seção é descrita a técnica de controle utilizada. Os resultados da validação do controle são apresentados na seção três e na seção quatro são realizadas as conclusões do trabalho e as perspectivas para trabalhos futuros. Para finalizar, na seção cinco, são listadas as referências bibliográficas consultadas.

2. Técnica proposta

Neste artigo é proposta uma técnica de controle resultante da combinação da lógica *Fuzzy* e o controle clássico PID, a qual combina o melhor de cada técnica [Al-Odienat e Al-Lawama 2008]. O controle é dividido em dois: rolagem e altitude.

A configuração usada é conhecida como ação direta, Figura 1. A estrutura genérica do controlador *Fuzzy*-PID, de ação direta, possui duas entradas: o erro (e), que é o desvio entre a variável de processo e o seu valor desejado, e a derivada no tempo desse sinal de erro (e') que alimentam uma base de regras *Fuzzy*. Possui ainda uma variável de saída (u) e K_e , K_d , α e β que são ganhos de controle.

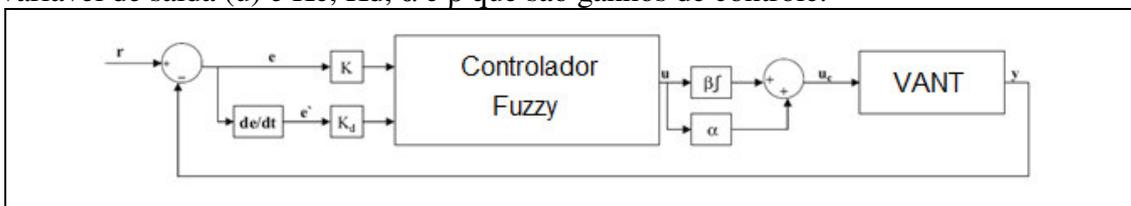


Figura 1 – Estrutura do controlador *Fuzzy*-PID.
Fonte: Adaptado de Kurnaz, Cetin e Kaynak (2009).

2. 1. Controle de rolagem e altitude

O controle de rolagem pode ser realizado atuando diretamente nos ailerons da aeronave. A entrada de controle captura a diferença (erro) entre o valor atual do ângulo de rolamento (*roll*) e o ângulo de referência ou ângulo desejado. O erro gerado e a derivada do erro são as entradas do controlador *Fuzzy*-PID, Figura 2, que através de suas funções

de pertinência, regras e ganhos de controle, fornece as correções necessárias aos ailerons da aeronave, de modo a manter ou alterar sua trajetória.

Para atuar nos ailerons usando o controlador de rolagem *Fuzzy-PID*, foi necessário definir as funções de pertinência e a base de regras as quais atuam junto às variáveis de entrada e saída produzindo as correções necessárias nos ailerons. As funções de pertinência utilizadas são do tipo triangular e trapezoidal, pela facilidade de implementação [Suzuki 2009].

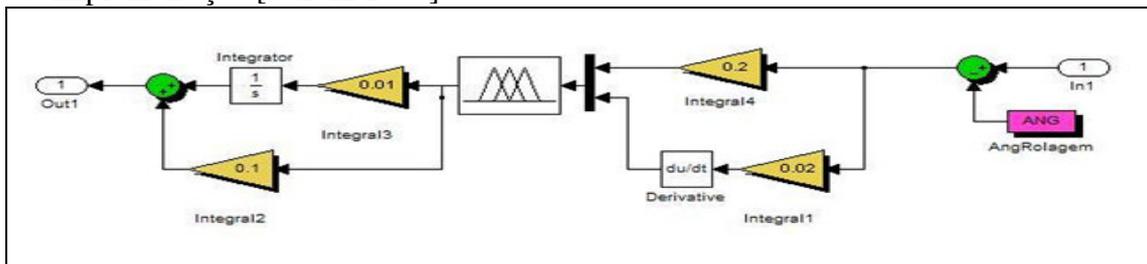


Figura 2 – Controle *Fuzzy-PID* de rolagem.

O controle de altitude é conseguido atuando na aceleração (*throttle*) da aeronave em conjunto com o comando do profundor (*elevator*), o qual controla a subida ou a descida do nariz da aeronave, determinando o ganho ou perda de altitude. As variáveis de entrada são: *AltitudeError*, que é a diferença entre a altitude atual da aeronave e a desejada, e *Velocidade*, que é a velocidade atual da aeronave.

Foi necessário atuar em duas saídas: Profundor, que corrige a altitude e Aceleração, que permite a aceleração e desaceleração do motor, produzindo, dessa forma, as correções necessárias para o controle da altitude [Suzuki 2009]. A implementação do controlador *Fuzzy-PI* de altitude é ilustrado na Figura 3, a qual mostra também a integração dos controles de direção (rolagem) e altitude. Os resultados da aplicação do controle integrado de altitude e rolagem são apresentados na seguinte seção.

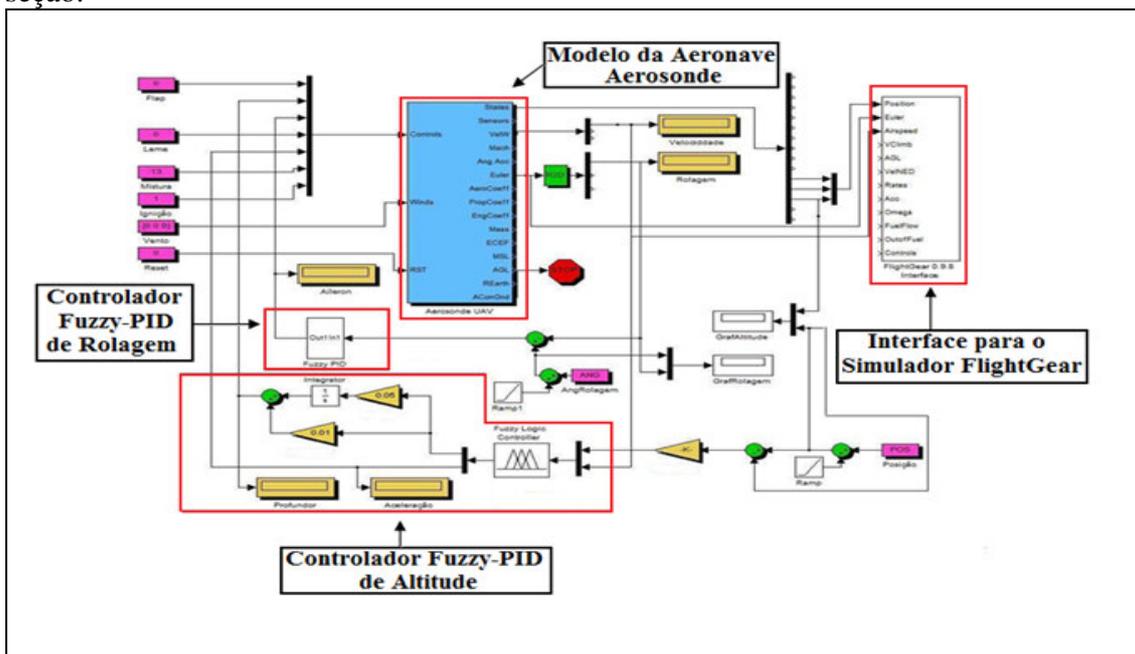


Figura 3 – Controlador integrado de altitude e direção.

3. Simulações

Nas simulações realizadas a aeronave executa manobras básicas de vôo, tal como: Vôo reto ascendente, no qual a aeronave ganha altitude, mantendo a direção estabelecida, sendo o ângulo de rolagem nulo; Vôo em curva ascendente, onde a aeronave rotaciona, para gerar uma mudança de direção e eleva-se à altitude de vôo e Vôo em curva nivelado, no qual se mantém a altitude constante e muda o ângulo de rolagem, alterando-se assim a direção da aeronave. O ajuste dos ganhos de controle partiu da aplicação de técnicas clássicas, realizando a sintonia fina, de forma empírica, a partir dos resultados das simulações.

As Figuras 4 e 5 ilustram a combinação das manobras citadas, sendo representativas dos resultados alcançados. A primeira manobra executada é o vôo reto ascendente. Após 60 segundos de simulação, o VANT inicia a manobra vôo em curva ascendente, mantendo-se o erro de altitude inferior a 5%. Aos 100 s inicia o vôo em curva nivelado. Cabe destacar que a partir de 60 s a aeronave iniciou uma rolagem em forma de rampa até chegar ao valor máximo de 50 graus, retornando posteriormente a 0 graus, Figura 5.

A referência máxima para o ângulo de rolagem foi estabelecida em 50 graus. Para avaliar o desempenho dos controladores, foi definido um erro máximo de altitude de 5%, um erro máximo de rolagem de 2%, o sobresinal de altitude não deverá ser superior a 25% e o sobresinal da rolagem não deverá ultrapassar 10%. O tempo de acomodação não deverá ser superior a 50 s nos instantes iniciais das manobras.

Na Figura 4 o sobresinal de altitude chega a 22%, sendo inferior ao desejado. O erro máximo de rolagem foi inferior a 1%, satisfazendo o definido como quesito de desempenho para o controle de rolagem. Destaca-se, que não se observou sobresinal significativo no ângulo de rolagem.

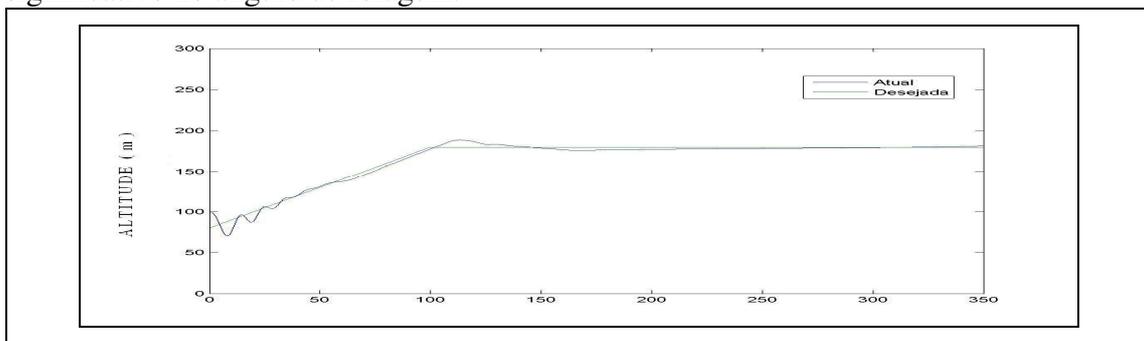


Figura 4 – Gráfico de altitude das manobras.

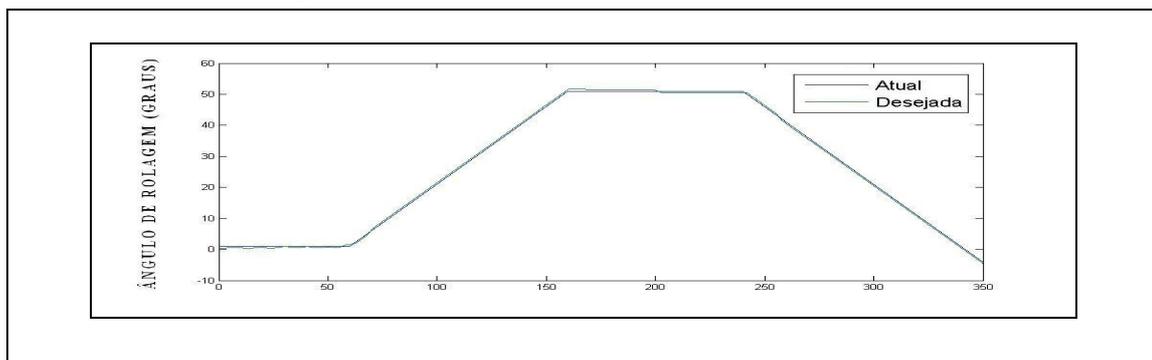


Figura 5 – Gráfico de rolagem das manobras.

4. Conclusão

Neste artigo é descrita uma combinação de técnicas clássicas e inteligência artificial para o controle de manobras de voo de um VANT. São implementados dois controladores, de altitude e rolagem, baseados na técnica *Fuzzy*-PID de ação direta. O estudo realizado através de simulações mostra que a técnica proposta consegue executar com sucesso manobras básicas de voo, atendendo aos parâmetros de desempenho definidos, o qual torna-se imprescindível para uma posterior aplicação prática do sistema híbrido descrito. As maiores dificuldades encontradas foram na sintonia dos controladores o qual será objeto de trabalhos futuros, juntamente com a análise de perturbações e variações paramétricas.

Referências

- Al-odienat, A. I.; Al-lawama, A. A. "The advantages of PID Fuzzy controllers over the Conventional types." American Journal of Applied Sciences. p. 653-658, 2008.
- Bickraj, Kimberly; et al. "Fuzzy Logic Based Integrated Controller for Unmanned Aerial Vehicles." In: Florida Conference on Recent Advances in Robotics. 2006, Miami. Proceedings... Miami:FIU, 2006.
- Doitsids, L; et al. "A Framework for Fuzzy Logic Based UAV :Navegation and Control." In: Int. Conference on Robotics and Automation. 4., 2004, Tampa. Proceedings... Tampa: IEEE, 2004. p. 4041-4046.
- Dorf, Richard C.; Bishop, Robert H. Sistemas de controle modernos. Tradução de Bernardo Severo da Silva Filho. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.
- Erenoglu, I.; et al. "An Intelligent Hybrid Fuzzy PID Controller." In: 20th European Conference on Modelling and Simulation. 20., 2006, Bonn. Proceedings ... Bonn, 2006.
- Kurmaz, S.; Cetin, O.; Kaynak, O.; "Fuzzy Logic Based Approach to Design of Flight Control and Navigation Tasks for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles. " Springer Science + Business Media. p. 229-244, 2009.
- Neris, L. O. "Um piloto automático para as aeronaves do Projeto ARARA." Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- Sampaio, R.P. "Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala." 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) - Escola Politécnica e Instituto de Matemática, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.
- Silveira, Antonio da Silva. "Técnicas de Controle LQG/LTR e Fuzzy Aplicadas ao Veículo Aéreo Não Tripulado: Aerosonde." 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- Suzuki, N. K. G. "Proposta de uma arquitetura de controle híbrida fuzzy-pid para a realização de manobras em VANTs." 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Fundação Universidade do Vale de Itajai – UNIVALI, São José, 2009.