	Projeto #2	Turma: C213 L1/L2	Data: 12/11/24
	C213 – Sistemas Embarcados		
Docente: Samuel Baraldi Mafra		PED: Igor Gonçalves de Souza	
Objetivo: Apresentar a proposta para o segundo Projeto Prático da disciplina.			
Integrante 1:			
Integrante 2:			
Integrante 3:			

## Projeto Prático de Sistemas Embarcados - Sistemas de Controle Fuzzy PD

### Estabilização do Controlador de Voo para Drones

#### Estabilização do Controlador de Voo para Veículos Aéreos não Tripulados

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma aeronave operada sem intervenção humana direta, podendo voar de forma autônoma ou sob controle de microcomputadores [1]. Drones são exemplos populares de VANTs e têm uma ampla gama de aplicações, como transporte de pequenas cargas, missões de resgate em áreas de difícil acesso, segurança e agricultura. Na agricultura de precisão, por exemplo, drones são utilizados para mapear plantações, monitorar o desenvolvimento das culturas e aplicar fertilizantes de forma precisa e eficiente.

A estabilidade de voo é um aspecto fundamental para o desempenho seguro e eficiente de aeronaves não tripuladas. Um drone instável apresenta dificuldades de controle e maior propensão a acidentes, além de comprometer a precisão de medições e a qualidade de imagens capturadas [2]. Assim, a manutenção de uma operação estável é essencial para possibilitar missões seguras e precisas, especialmente em voos autônomos e programados.

Para manter a estabilidade dos drones, uma série de sensores – incluindo giroscópios, acelerômetros e magnetômetros – monitora a atitude e a posição da aeronave. As informações desses sensores são processadas por sistemas de controle, que ajustam os motores e as superfícies de controle para estabilizar o drone. Esse processo abrange o controle de altitude e dos movimentos nos três eixos principais: inclinação (*pitch*), rotação lateral (*roll*) e orientação direcional (*yaw*), essenciais para a manutenção da estabilidade em voo [1].

O voo estável traz benefícios diretos, como maior precisão em mapeamentos, qualidade aprimorada de imagens e vídeos e eficiência operacional. Contudo, esse nível de controle enfrenta desafios, incluindo condições climáticas adversas, como ventos fortes, e interferências eletromagnéticas nos sensores e sistemas de controle [2].

Dada a importância da estabilidade para drones e a necessidade de sistemas de controle eficientes, este trabalho propõe a aplicação de um Sistema de Controle PD baseado em Lógica Difusa para garantir a operação estável dos drones em diversas condições. Mais especificamente, o Controle PD será voltado para a Altitude do drone. As seções seguintes apresentam o modelo do drone, seus componentes e o princípio de funcionamento, concluindo com a proposta detalhada de aplicação do Controle Fuzzy PD.

#### Drone *DJI Phantom 4 Advanced*

A *Phantom Series* é uma linha de Drones da DJI, empresa localizada no Vale do Silício da China que beneficia do acesso direto aos fornecedores, matérias-primas e jovens talentos

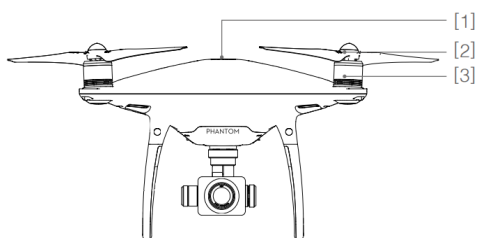
criativos necessários para o sucesso sustentado.

O *DJI Phantom 4 Advanced* é um modelo de Quadricóptero com câmera inteligente, capaz de evitar obstáculos durante o voo. Comandos sofisticados fazem com o que o drone sobrevoe ou rastreie objetos em movimento de forma simples. Os índices no Diagrama da Figura 1 representam, respectivamente, o GPS, as hélices e os motores do veículo.

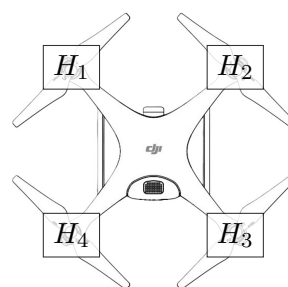


Visto de cima, as quatro hélices possuem motores independentes e são numeradas por  $H_n$  em que  $n \in \{1, 2, 3, 4\}$ . Os sentidos de movimento do drone são formados por pares de hélices, descritos como  $H_{n,m}$ .

**Figura 1:** Diagrama Frontal do Quadricóptero e componentes [3].



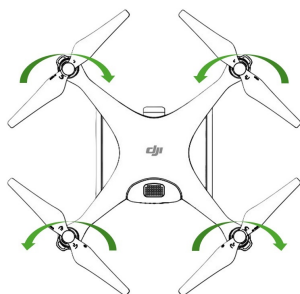
**Figura 2:** Vista Superior do Quadricóptero e indicação das hélices [3].



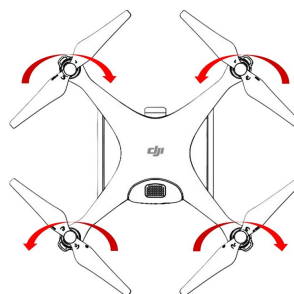
O Drone pode operar em três modos de voo, descritos como *P*, *S* ou *A-mode*, em que a câmera inteligente permite criar um mapa em tempo real da rota de voo. A operação de voo *A-mode* não será abordada nesta aplicação.

- ***P-mode* (Posicionamento):** modo em que o Drone utiliza GPS e a câmera para estabilização, evitando obstáculos e rastreando objetos em movimento. O modo funciona melhor quando o sinal de GPS é forte;
- ***S-mode* (Sport):** modo em que o Sistema de Detecção de Obstáculos é desativo para ajustar a capacidade de manobras, aumentando a velocidade máxima para 72 [km/h];

Especificações do Drone podem ser consultadas pelo modo de voo no manual em [3]. Os movimentos das hélices são coordenados para definir a movimentação do veículo, com controle de altitude determinado pelo par de hélices  $H_{1,3}$  e  $H_{2,4}$ , com sentidos e velocidades de rotação ilustrados nas Figuras 3 e 4.



**Figura 3:**  $M_1$  - Movimento de Descida (*move down*) do Drone.



**Figura 4:**  $M_2$  - Movimento de Subida (*move up*) do Drone.



Para cada movimentação do drone, as cores nos sentidos de giro indicam a potência do motor e, conseqüentemente, a velocidade de rotação do mecanismo. Em **verde**, a rotação das hélices é mais baixa, em oposição à velocidade **vermelha**.

**Tabela 1:** Especificações técnicas para os modos de voo do Quadricóptero.

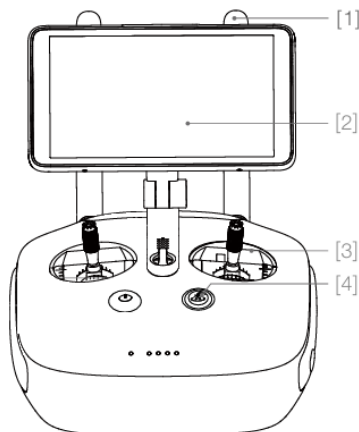
Especificações	Características
Velocidade Máxima de Subida [m/s]	$S\text{-mode} = 6, P\text{-mode} = 5$
Velocidade Máxima de Descida [m/s]	$S\text{-mode} = 4, P\text{-mode} = 3$

O sistema permite a definição de um **Fator de Ajuste (FA)**, que designa diferentes potências do motor para cada sentido de movimentação ou modo de operação. A maior potência é para o voo em  $P\text{-mode}$ , com  $FA = 1$ . Este fator pode ser ajustado durante a operação, não sendo, necessariamente, constante.

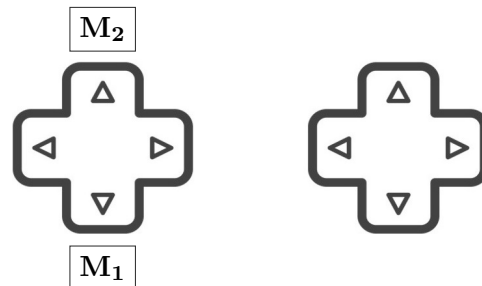
### Controle Remoto GL300E

O controle remoto permite ao piloto comandar o voo e manobrar o drone à distância de até 1 [km]. O GL300E, com Diagrama na Figura 5, é um dispositivo sem fio que opera em 2,4 [GHz] e possui um par de antenas para transmissão do sinal, uma tela de exibição para operação do dispositivo, *joysticks* que controlam o movimento e um botão RtH (*Return to Home*), indicados pelos índices de 1 a 4, respectivamente [3].

**Figura 5:** Diagrama do Controlador Remoto GL300E *Phantom 4 Advanced*.



**Figura 6:** Sentidos de Movimentos dos Controles dos *joysticks*.

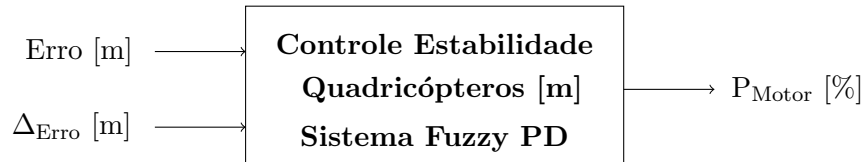


Como ilustrado na Figura 6, neste modelo, o *joystick* da esquerda regula a altitude (subida e descida). Para esta aplicação, um ponto de referência (setPoint) será definido e ao pressionar o botão o movimento será executado. Como desenvolvedor, escolha se o **botão deve permanecer pressionado** ou se **basta iniciar o movimento** para que o Drone seja deslocado a posição de destino. Também defina um ponto de recuo para a funcionalidade do botão RtH. O Drone deve retornar à origem nesta situação.

## Projeto Controle Fuzzy PD para Quadricópteros

O Controle de Estabilidade para Quadricópteros é um Sistema de Controle PD baseado em Lógica Fuzzy para controlar a altitude do Drone a partir da posição do Centro de Massa da estrutura. O diagrama da Figura 7 identifica as variáveis do sistema, em que a posição do Drone é dada em metros.

**Figura 7:** Diagrama em blocos do Sistema Fuzzy PD.



Os motores operados em pares apresentam a mesma potência [%] de saída. Os sentidos de giros que definem baixas potências não trabalham com motores desligados. Os diferentes grupos devem seguir especificações da Tabela 2 para desenvolvimento do Controle de Altitude.

**Tabela 2:** Sentidos de movimento e modo de voo para os Grupos.

	Movimento	Modo
<b>Grupos 1 e 2</b>	M <sub>1</sub> - Descida ( <i>move Down</i> )	<i>S-mode</i>
<b>Grupos 3 e 4</b>		<i>P-mode</i>
<b>Grupos 5 e 6</b>	M <sub>2</sub> - Subida ( <i>move Up</i> )	<i>S-mode</i>
<b>Grupos 7 e 8</b>		<i>P-mode</i>

Para qualquer Projeto Fuzzy, siga as etapas:

- **fuzzyficação:** determine as faixas de variação adequadas para as entradas -  $e/\Delta e$ , e a saída -  $P_{Motor}$ , do Controle Fuzzy PD, identifique as regiões de classificação e as funções de pertinência;
- **base de regras:** adote uma das estratégias de controle - Controle Direto ou Reverso, e defina a Base de Regras a partir dos comportamentos esperados para as combinações das variáveis de entrada. Observe se as regras propostas respeitam as condições necessárias;
- **defuzzyficação:** atualize a pose do Drone segundo a Função de Transferência do motor. A função de derivadas recursivas depende do sentido de movimento e do modo de voo, em que  **$d(t)$  descreve o deslocamento ao longo do tempo**,  $U_{máx}$  é o parâmetro máximo especificado na Tabela 1 e **FA** é o **Fator de Ajuste** para a potência do motor.

$$d(t) = FA \cdot d(t-1) \cdot 1.01398 + 0.5 \cdot (U_{máx} \cdot P_{H_{1,3}} + U_{máx} \cdot P_{H_{2,4}}) \quad (1)$$

**Observação:** Para a derivadas recursiva supracitadas em 1,  $P_{H_{n,m}} \subset [0, 1]$ .

O Sistema deve apresentar uma interface *node red* e um *dashboard* que represente o Controle Remoto da Figura 5. A interface deve apresentar o *joystick* para seleção do eixo de movimento e direção, entrada para o setPoint, botão RtH e um gráfico ilustrando o compor-

tamento da posição ao longo do tempo. Adicionalmente, personalize o *dashboard* com outra métrica que julgar interessante.

A parametrização do Sistema de Controle é livre: utilize valores de tolerância, intervalos e classificações etc. conforme desejo. Apenas seja crítico em relação ao resultado obtido... **"Esse movimento faz sentido na prática?"** Analise o deslocamento realizado, o tempo demandado para tal, entre outras métricas. Lembre-se que algumas verificações são necessárias antes de permitir o deslocamento do veículo.

Bom trabalho!

## Considerações

- A entrega do trabalho deve ser feita via GitHub. O repositório, que pode ser o mesmo do primeiro trabalho, deve conter um *readme* detalhando a proposta da aplicação;
- A apresentação deve conter os detalhes das etapas do projeto supracitadas, mostrando os gráficos e detalhando as características do Sistema de Controle;
- Teste o funcionamento do Sistema de Controle para diferentes SetPoints, sentidos de movimento e pontos de partida.

## Referências

- [1] Yogita Dubey, Mrunal Shinde, Rizwan Sheikh, Prathamesh Upadhye, Himanshu Hulke e Disha Suneja. "Stabilization of Flight Controller for Unmanned Aerial Vehicle". Em: *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*. 2021, pp. 1279–1283. DOI: 10.1109/ICAIS50930.2021.9395856.
- [2] Asaphe Felipe. *O que é : Estabilidade de Drones em Altas Velocidades*. pt. <https://aeroengenharia.com/glossario/o-que-e-estabilidade-de-drones-em-altas-velocidades/>. Acesso: 04-11-2024.
- [3] [https://dl.djicdn.com/downloads/Phantom\\_4\\_Advanced/20170722/Phantom\\_4\\_Adv\\_and\\_Adv\\_Plus\\_User\\_Manual\\_PTBR.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Phantom_4_Advanced/20170722/Phantom_4_Adv_and_Adv_Plus_User_Manual_PTBR.pdf). Acesso: 05-11-2024.