

Insper
Engenharia Mecatrônica
Iniciação científica

Projeto de Pesquisa

Modelagem e desenvolvimento de um sistema atuador
para o controle de *yaw* de um monociclo auto-equilibrado

Aluno: Victoria Leal Garcia de Souza
Orientadores: Dr. Gabriel Pereira das Neves

Abril
2023

Nome do Aluno: Victoria Leal Garcia de Souza

Nome dos Orientadores: Dr. Gabriel Pereira das Neves

Tema: Modelagem e controle de sistemas dinâmicos

Palavras chaves: Monociclo, Roda de reação, Controle linear, Modelagem matemática.

1 Introdução

Um monociclo auto-equilibrado consiste em um veículo que mantém a posição de equilíbrio apenas mantendo uma roda em contato com o chão, utilizando outro sistema de atuação para controlar o ângulo de queda lateral. O monociclo que será usado para a implementação deste projeto foi originalmente construído em 2017 [4], e possui dois graus de liberdades controlados, os ângulos de *pitch* e *roll*. O controle do primeiro ângulo é feito através da roda em contato com o chão, enquanto o controle do ângulo de *roll* é feito através de uma roda de reação [5]. Atualmente o sistema não possui controle no ângulo de *yaw*.

Os ângulos de *pitch*, *roll* e *yaw* são os ângulos em torno dos eixos y , x e z , respectivamente. O desenho esquemático do monociclo, juntamente com o sistema de coordenada de referência, são apresentados na Figura 1.

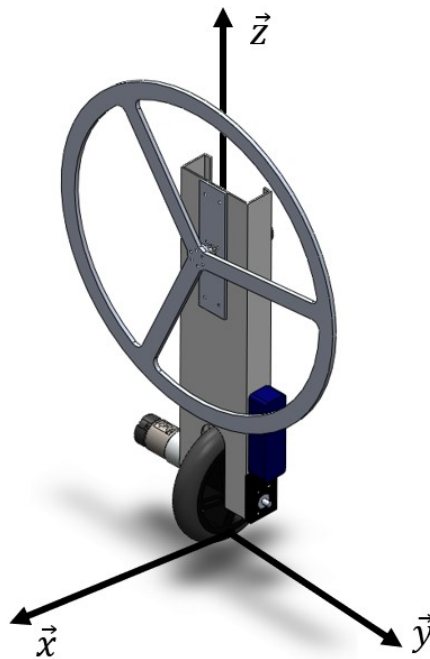


Figura 1: Desenho esquemático do monociclo.

Considerando a posição de equilíbrio do monociclo na posição vertical, o ângulo de *yaw* não é controlado pelas outras duas entradas. Logo, é necessário introduzir um novo atuador para garantir a controlabilidade de todos os ângulos.

Enquanto há muita literatura a respeito do controle da estabilidade estática sobre uma roda, não há muita que retrate o controle de trajetórias. Algumas das soluções já existentes para o controle dos graus de liberdade em monociclos autônomos incluem o uso de giroscópios [1], a adição de uma ou mais rodas de inércia [3] e o uso de força magnética [6], porém não foram implementadas estas soluções de maneira a controlar apenas o ângulo de *yaw* e tampouco são - com exceção da roda de inércia - soluções que tornam o controle dos ângulos independentes um dos outros.

É de maior interesse verificar a possibilidade de utilizar um acionador que não tenha interferência na implementação do sistema já existente de controle dos ângulos, e portanto há duas maneiras de controlar o ângulo de *yaw* que serão estudadas inicialmente: um par de hélices utilizando propulsão diferencial ou uma segunda roda de inércia, que deverá ser acoplada perpendicular ao eixo z , de tal forma que a reação do torque aplicado à roda é utilizado para movimentar o ângulo em questão.

2 Objetivo

Este projeto tem como objetivo principal modelar, construir e implementar um sistema de atuação para o controle do ângulo de *yaw* em um monociclo autônomo já existente. Para tal, foram estabelecidos objetivos intermediários:

- Verificar a melhor forma de atuação por meio do desenvolvimento de um desenho em CAD para as opções que sejam viáveis;
- Modificar o modelo matemático existente para incorporar mais um grau de liberdade;
- Manufaturar o sistema de atuação escolhido e acoplá-lo ao monociclo autônomo para realizar testes práticos;
- Desenvolver o circuito de acionamento do atuador proposto e acoplá-lo ao circuito de controle existente;
- Validação prática do acionamento.

3 Metodologia

De maneira a atingir os objetivos listados, a metodologia proposta é de inicialmente verificar se é possível implementar o sistema de propulsão com um par de hélices de maneira não-interferente no controle existente dos outros ângulos. Caso não seja possível, seria necessário estudar outras maneiras de realizar o controle de *yaw*, como por meio de uma roda de inércia [2]. Enquanto a literatura reflete que o uso da roda de inércia é tido como uma boa solução do controle de um grau de liberdade sem grandes interferências nos remanescentes, é de interesse explorar uma forma diferente de atingir o objetivo.

Estabelecida a forma de atuação do sistema, haverá necessidade de verificar a disponibilidade com fabricantes para os componentes requeridos, assim como a readequação da eletrônica e programação existentes no monociclo. Também será necessário dimensionar os componentes como o motor que será utilizado, para que a manufatura e implementação do sistema de atuação seja possível.

Tendo em vista o objetivo principal - adicionar o grau de liberdade sem interferir nos demais - a solução encontrada deve manter a independência das entradas e das saídas em torno do ponto de operação na posição vertical. Assim, uma validação prática da solução escolhida é de extrema importância para verificar que não há interferência em ambos os graus de liberdade já controlados.

4 Resultados Esperados

Como o objetivo principal é de controlar o ângulo de *yaw* por meio de um sistema de atuação a ser implementado, o primeiro dos resultados esperados é que seja possível implementar tal acionador de forma a não alterar os dois ângulos já controlados (*pitch* e *roll*).

Adicionalmente, é também esperado que uma das duas propostas de acionador mencionadas - hélices e roda de inércia - componha o sistema de atuação, e que a implementação de tal sistema não seja muito disruptivo no sistema já existente, permitindo a sua integração sem necessitar de uma grande reelaboração dos modelo matemático e circuito elétrico atuais.

5 Cronograma

O cronograma proposto pode ser encontrado na página a seguir com a Tabela 5, composto das atividades delimitadas na seção de metodologia, dividido por mês e semestre visando ter uma melhor organização do tempo.

Atividade	1º semestre						2º semestre					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revisão bibliográfica	X	X										
Verificação do sistema de propulsão			X	X								
Desenho em CAD do sistema escolhido				X	X							
Primeira versão						X						
Revisão do cronograma						X						
Compra de componentes							X					
Readequação do sistema existente								X	X			
Manufatura do novo sistema									X			
Implementação do novo sistema										X		
Testes práticos e validação											X	
Versão final												X

Tabela 1: Cronograma proposto para o trabalho.

Referências

- [1] Development of the unicycle-riding robot. <https://corporate.murata.com/newsroom/news/company/csrtopic/2008/0923>.
- [2] Gong Daoxiong and Liu Xiang. Yaw control for a self-balancing unicycle robot with two flywheels. In *Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference*, pages 5576–5582, 2013.
- [3] Ming-Tzu Ho, Yusie Rizal, and Yi-Lung Chen. Balance control of a unicycle robot. In *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pages 1186–1191, 2014.

- [4] Gabriel P. Neves. Modeling, construction and control of a self-balancing unicycle. 2017.
- [5] Gabriel P. Neves, Bruno A. Angélico, and Cristiano M. Agulhari. Robust 2 controller with parametric uncertainties applied to a reaction wheel unicycle. *International Journal of Control*, 93(10):2431–2441, 2020.
- [6] Xiaogang Ruan, Xiaoqing Zhu, Yalei Li, and Ruoyan Wei. Lateral stabilization of a single wheel robot applying electromagnetic force. In *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pages 3675–3680, 2012.