

Insper
Engenharia Mecatrônica
Proposta de Projeto de Iniciação Tecnológica

Projeto de Pesquisa
Modelagem e desenvolvimento de um monociclo
auto-equilibrado

Aluno: Victoria Leal Garcia de Souza

Orientadores: Dr. Carlos Eduardo de Brito Novaes e Dr. Gabriel Pereira das Neves

Abril
2023

Nome do Aluno: Victoria Leal Garcia de Souza

Nome dos Orientadores: Dr. Carlos Eduardo de Brito Novaes e Dr. Gabriel Pereira das Neves

Tema: Modelagem e controle de sistemas dinâmicos

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

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Objetivo	3
3	Metodologia	3
4	Resultados Esperados	3
5	Cronograma	4

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 controle de um monociclo por meio de uma roda de inércia é um conceito recente que tem sido progressivamente mais explorado na última década. Conforme a literatura até então publicada, há apenas um tal monociclo na América Latina, originalmente construído em 2017 [5] por um dos professores orientadores. Ele 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 [6]. 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.

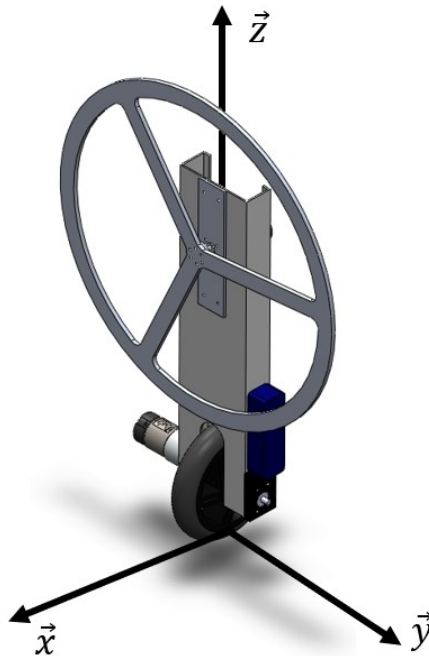


Figura 1: Desenho esquemático do monociclo.

Há literatura significativa a respeito do controle da estabilidade estática sobre uma roda. 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 [4] ou mais rodas de inércia [2], o uso de força magnética [7], massas móveis afim de mudar o centro de massa [3] ou o uso de uma *omniwheel* [8].

Enquanto o sistema de acionamento de escolha para o controle de estabilidade estática não é um tema pouco explorado, é importante considerar como o monociclo autônomo poderia comportar outros acionadores afim de controlar o ângulo responsável por fazer curvas - o de *yaw*, em torno de z - para poder, posteriormente à construção de um tal monociclo, o fazer seguir trajetórias.

2 Objetivo

Este projeto tem como objetivo principal replicar o monociclo autônomo apresentado na introdução. Para tal, foram estabelecidos objetivos intermediários:

- Verificar possíveis melhorias que podem ser feitas ao modelo matemático existente;
- Estudar as técnicas de controle avançado já implementadas e avaliar a implementação de outras técnicas;
- Otimizar a construção da réplica com técnicas de manufatura avançadas.

O projeto também tem como objetivo secundário fazer uma réplica em escala menor.

3 Metodologia

De maneira a atingir o objetivo primário de construir uma réplica do monociclo autônomo apresentado, a metodologia proposta é de inicialmente construir um modelo simulado onde seja possível verificar tanto a parte referente ao modelo matemático quanto à das técnicas de controle, ambas implementadas no monociclo a ser reproduzido. Para construir o modelo simulado, é proposto:

- Revisar a literatura publicada sobre o monociclo de referência;
- Conferir o modelo matemático existente e fazer quaisquer possíveis readequações necessárias;
- Analisar o LQR e norma \mathcal{H}_2 aplicados ao monociclo e verificar a necessidade de implementar outros métodos de controle;

Uma vez estabelecidos os parâmetros da réplica, haverá necessidade de verificar a disponibilidade para compra dos componentes requeridos (dimensionar os componentes como os motores e bateria que serão utilizados, por exemplo) para que a manufatura e implementação do sistema de atuação seja possível.

Por fim, é de fundamental importância a validação prática para verificar o funcionamento da réplica. A validação será composta dos mesmos testes que foram feitos com o monociclo original - verificar se consegue manter a estabilidade estática e rejeição de perturbação - de forma que seja possível comparar ambos os monociclos.

4 Resultados Esperados

Como o objetivo principal é construir uma réplica de um monociclo autônomo com os ângulos *pitch* e *roll* controlados, o primeiro dos resultados esperados é que seja possível replicá-lo seguindo a literatura publicada a respeito da referência. É de se esperar que a etapa de maior risco para este objetivo seja a de manufatura, especialmente no que diz respeito ao redimensionamento do monociclo e as implicações para o nível de precisão que é necessário para algumas peças. É possível que o objetivo secundário de fazer a réplica em escala menor não seja possível de ser cumprido, então a construção de uma réplica em mesma escala seria considerada satisfatória para este projeto.

Enquanto é posto como um objetivo intermediário a possibilidade de modificar o controle presente no monociclo, é esperado que as técnicas de controle implementadas na literatura publicada sobre o monociclo estudado sejam suficientemente ótimas para um primeiro protótipo. O mesmo vale para o modelo matemático.

5 Cronograma

O cronograma proposto, na **Tabela 5**, é 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	x									
Conferir o modelo matemático	x											
Analisar o controle implementado		x	x									
Elaboração do modelo simulado		x	x									
Compra de materiais e componentes				x	x	x						
Relatório intermediário					x	x						
Manufatura e construção					x	x	x	x	x	x	x	
Testes práticos e validação									x	x	x	x
Relatório final												x
Revisão do cronograma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	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] A. René Geist, Jonathan Fiene, Naomi Tashiro, Zheng Jia, and Sebastian Trimpe. The wheelbot: A jumping reaction wheel unicycle. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(4):9683–9690, 2022.
- [3] Lei Guo, Kailong He, and Yuan Song. Design of the sliding mode controller for a kind of unicycle robot. *2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, pages 1432–1437, 2016.
- [4] 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.
- [5] Gabriel P. Neves. Modeling, construction and control of a self-balancing unicycle, 2017.
- [6] Gabriel P. Neves, Bruno A. Angélico, and Cristiano M. Agulhari. Robust \mathcal{H}_2 controller with parametric uncertainties applied to a reaction wheel unicycle. *International Journal of Control*, 93(10):2431–2441, 2020.
- [7] 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.
- [8] Junjie Shen and Dennis Hong. Omburo: A novel unicycle robot with active omnidirectional wheel. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 8237–8243, 2020.