

Introdução

A Automação é uma tecnologia por meio da qual um procedimento ou processo é conseguido sem a interferência humana. Para realizar a mesma, é preciso que um programa de instruções seja escrito combinado a um sistema de controle que executa as tarefas. Um processo automatizado necessita-se de energia não só para operar a condução do processo como para operar o programa e o sistema de controle (GROOVER, 2010). Ademais, considera-se uma grande aliada da otimização do desempenho, já que com essa tecnologia é possível conhecer indicadores que auxiliam a gestão, acelera os processos e remove trabalhos repetitivos, dispensáveis e não aceitáveis ergonomicamente.

Uma grande área em ascensão da robótica é a robótica móvel. Sendo assim, os robôs se locomovem dentro de um ambiente qualquer de diversas formas, com rodas, esteiras, pernas mecânicas, dentre outras. Estes robôs são caracterizados pela capacidade de se deslocar, podendo ser de modo guiado, semiautônomo ou totalmente autônomo (JUNG et al., 2005). Algumas de suas mais variadas aplicações são: aspiração de pó, entrega de alimentos, vigilância predial, busca e salvamento, etc.

Assim sendo, neste trabalho, pretende-se o desenvolvimento de um veículo do tipo pêndulo invertido sobre duas rodas, que pode ser classificado como um robô do tipo móvel. Para a estabilização na vertical deste sistema, pretende-se a utilização de técnicas de controle robustas e que irão conseguir tratar as simplificações e considerações de seu modelo matemático.

1.1 Definição do Problema

A realização do controle do pêndulo invertido, seja qual for sua variação, é um dos exemplos mais importantes na teoria de controle moderno. Sua estrutura é de um sistema não linear cuja complexidade transcende a tudo aquilo que se estuda em teorias voltadas a sistemas lineares. Em muitas das vezes, o controle é impraticável e a obtenção de um controlador para uma planta deste tipo requer uma série de considerações e simplificações.

Dessa maneira, o projeto proposto tem por finalidade a obtenção de não apenas um controlador ideal para este tipo de sistema, mas também um protótipo que tenha uma estrutura bem projetada/construída para que as intervenções externas sejam mínimas.

1.2 Motivação

O estudo da Teoria de Controle em sistemas dinâmicos e a aplicação dessas técnicas em uma planta física, complexa e com características não lineares, além da realização e a concretização de um projeto completo, é de fundamental importância na consolidação dos conceitos assimilados ao longo da formação de um profissional da área de Mecatrônica.

Além de tudo, após o estudo em seguida de três disciplinas da área de Controle e a vontade do autor de conseguir realizar o controle de uma planta clássica, porém com um nível de dificuldade elevada e a construção de um projeto mecatrônico, contribuiu para que o mesmo realizasse o projeto proposto.

1.3 Objetivos do Trabalho

Aqui é descrito de forma sucinta o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho. Fazendo-se cumprir esses objetivos específicos, espera-se alcançar o objetivo geral.

1.3.1 Objetivo Geral

Construir e controlar uma planta de controle, denominada robô equilibrista sobre duas rodas ou pêndulo invertido sobre duas rodas. Além disso, é claro, realizar o controle para que a mesma se mantenha equilibrada na posição vertical.

1.3.2 Objetivos específicos

Listam-se os seguintes objetivos específicos:

- desenvolver por meio de *softwares* CAD o conceito do protótipo;
- realizar o levantamento dos materiais para o desenvolvimento do trabalho e a justificar a utilização do mesmos;
- elaborar o esquemático da ligação elétrica dos componentes;
- realizar a montagem da planta;
- obter o modelo dinâmico do sistema;
- realizar a validação do modelo obtido;

- projetar um controlador LQG com base no modelo;
- aplicar ao modelo o controlador projetado;
- avaliar este controlador observando os critérios desejados;
- aplicar o controlador obtido na planta física;

1.4 Estado da Arte

O trabalho de Pedroso; Modesto (2017), consistiu basicamente na construção de um protótipo projetado por meio de um *software* CAD, visto na Figura (1.1), e no desenvolvimento de um sistema de controle para esse projeto. Os autores se engajaram em controlar o sistema com um controlador do tipo PID, obtendo seus coeficientes por meio do método de sintonização de *Ziegler-Nichols*. Para a parte eletromecânica do projeto, deram uma ênfase maior na relação torque do motor com o tamanho do diâmetro da roda, que estão totalmente relacionados. A parte de sensoramento ficou a cargo da placa MPU6050, que possui sensores como giroscópio e acelerômetro para os três eixos. Contudo, é necessário o tratamento que provém da leitura do sinal desses dois sensores. Sendo assim, os autores optaram por utilizar o filtro complementar, que nada mais é do que um filtro de média que dá mais confiabilidade para a leitura vinda do giroscópio.

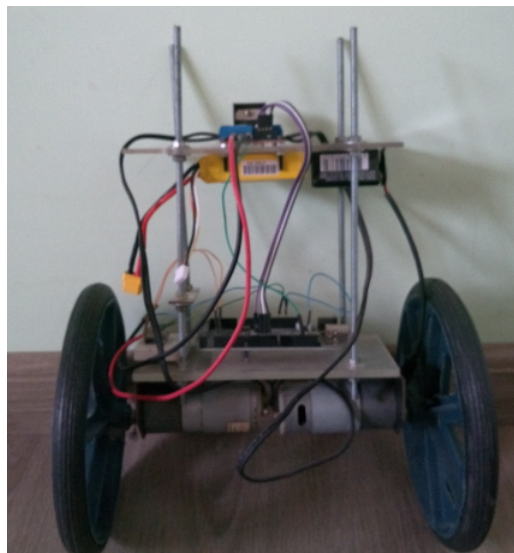


Figura 1.1: Protótipo Pêndulo Invertido

O artigo de Melo (2017), como descrito em seu título teve como objetivo a identificação e controle de um veículo do tipo segway para fins educacionais. Dessa maneira, o autor dividiu o artigo em partes como: sistema eletrônico e mecânico, linearização do modelo matemático e discretização do mesmo, implementação de filtros para a leitura dos sinais

provindo do acelerômetro e giroscópio, identificação do sistema e a implementação de um controlador PD (Proporcional-Derivativo), sendo que seus coeficientes foram obtidos por meio de inspeção gráfica utilizando o lugar das raízes. O diagrama de malha fechada foi o padrão, com o controlador em série com o sistema. Os resultados que foram obtidos foram apenas em cima do modelo, sendo assim, não houve a implementação física ou mesmo a montagem do protótipo proposto, visto na Figura (1.2). Os resultados obtidos na simulação foram bem satisfatório, sendo que em malha fechada o autor conseguiu fazer com que o sistema seguisse a referência senoidal aplicada e após aplicação de um distúrbio, o sistema conseguiu se recompor rapidamente.

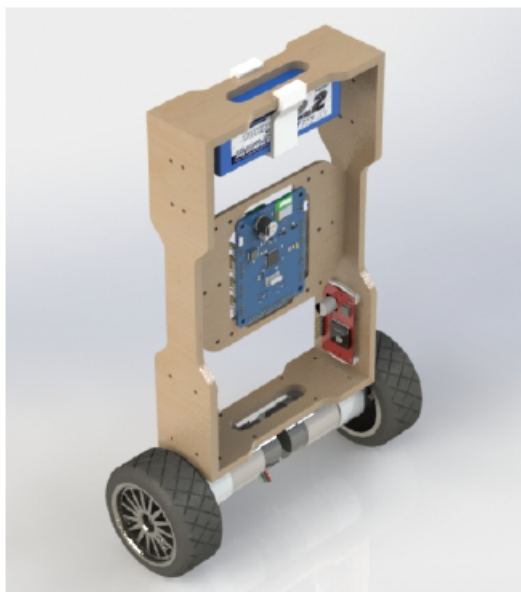


Figura 1.2: Protótipo renderizado

Por último, o artigo de Engin (2018), propôs a implementação de um controlador LQR - *Linear Quadratic Regulator*. A modelagem do sistema também foi feita utilizando equações lagrangianas e, depois que encontrou uma equação não linear para o sistema, linearizou a mesma e passou para a forma de espaço de estados, chegando assim nas matrizes A, B, C e D. Aplicou a essas matrizes a propriedade de controlabilidade e observabilidade, concluindo assim, que é um sistema controlável e observável. O sistema como todo do pêndulo invertido sobre duas rodas, é um sistema de uma única entrada e múltiplas saídas (SIMO). Dessa forma, lidar com um tipo de sistema desses é mais simples com o LQR baseado pelo controle de velocidade como propôs o autor. Sem entrar muito no mérito de como é desenvolvido ou mesmo encontrado os parâmetros desse controlador, basicamente, se faz necessário encontrar uma matriz K que são os ganhos e que irá minimizar uma função de custo J . Dessa maneira, o autor encontrou os valores de ganhos que minimizaram a equação de custo e implementou o seu controlador, como visto na Figura (1.3).

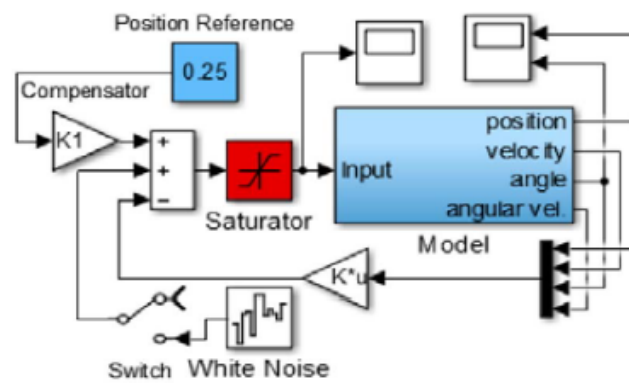


Figura 1.3: Implementação do controlador LQR.

O filtro que foi implementado também foi o complementar, que nada mais do que um filtro passa-baixas para o acelerômetro um filtro passa-altas para o giroscópio. As principais variáveis que foram medidas ou estimadas foram: a posição do sistema, θ , a velocidade angular, $\dot{\theta}$ e, velocidade da roda, ω . O protótipo montado pode ser visto na Figura (1.4).

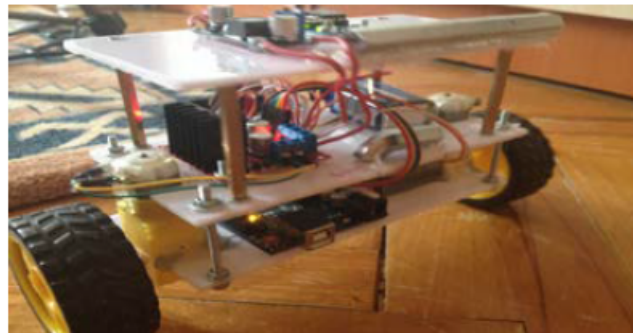


Figura 1.4: Planta física construída

1.5 Organização do Documento

Referências

- Engin, M. Embedded LQR controller design for self-balancing robot. In: MEDITERRANEAN CONFERENCE ON EMBEDDED COMPUTING (MECO), 2018., Budva, Montenegro. *Anais. . . IEEE*, 2018. p.1–4.
- Melo, J. V. Identificação e Controle de um Veículo Segway para fins Educacionais. , Porto Alegre, RS, p.1–6, October 2017.
- Pedroso, C. C. S.; Modesto, E. L. P. *Sistema de Controle de Pêndulo Invertido*. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Curitiba, PR.