

Desenvolvimento de um Sistema de Controle Bola e Mesa Usando Visão Computacional

LUIZ EDUARDO PRESTES KOLOQUE¹; SOPHIA SCHROEDER LIFCZYNSKI ROVIRA²; BERNARDO BARANCELLI SCHWEDERSKY³

¹*Universidade Federal de Pelotas – lkolosque@inf.ufpel.edu.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – ssirovira@inf.ufpel.edu.br*

³*Universidade Federal de Pelotas – bernardo@inf.ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

O controle de grandezas mecânicas, como a posição e o ângulo, é um desafio comum em diversos tipos de sistemas físicos. Um tipo de mecanismo, presente em diversos processos, é o sistema de bola e mesa (*ball and plate*) no qual o objetivo prático do sistema é o controle e equilíbrio de uma esfera livre para rolar sobre uma superfície plana inclinável que atende ao comando de servo motores (VITAL, 2019). Ele é amplamente utilizado no ensino de engenharia de controle, eletrônica, computação e robótica, pois permite desenvolver e testar algoritmos avançados para lidar com sistemas de controle complexos. Apesar de simples, seu princípio de funcionamento tem aplicações diretas em diversas áreas, como na estabilização de plataformas, na automação industrial e no desenvolvimento de tecnologias em robótica (WAHAB; KADIR, 2012).

Existem diversas formas de implementar um sistema bola e mesa, dependendo dos métodos adotados para aquisição de dados e controle do movimento da esfera. Algumas abordagens utilizam mesas sensíveis ao toque, que detectam a posição da bola em tempo real, fornecendo dados precisos para o controle do sistema (MOHAMED et al., 2014). Outras estratégias empregam câmeras associadas a algoritmos de visão computacional, permitindo o rastreamento da esfera por meio de processamento de imagem. Além disso, técnicas mais avançadas integram aprendizado de máquina para otimizar o controle e a resposta do sistema, tornando-o mais eficiente e adaptável a diferentes condições operacionais (VITAL, 2019).

A implementação de visão computacional em malhas de controle exige a conversão eficiente dos sinais visuais em dados utilizáveis, garantindo precisão e robustez contra variações de iluminação, posicionamento da câmera e efeitos de paralaxe. (LEITE et al., 2008). Implementações práticas deste sistema são muito utilizadas como ferramentas laboratoriais para fins educacionais bem como para pesquisas no ramo de engenharia de controle (Ker et al., 2007). Além de seu uso em ambiente acadêmico, o sistema bola e mesa é amplamente empregado no desenvolvimento e teste de algoritmos avançados de controle, incluindo técnicas de aprendizado de máquina e controle preditivo.

Dessa forma, neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um sistema mesa e bola, que tem como objetivo estabilizar uma esfera em posições desejáveis através do ajuste preciso da inclinação da plataforma. Para alcançar esse objetivo serão integrados visão computacional e controle microprocessado, no qual, o modelo de visão computacional deverá ser capaz de identificar e rastrear a posição da esfera em tempo real, bem como identificar os limites da mesa, fornecendo um sinal confiável para o sistema de controle. A estrutura mecânica do sistema será projetada em software de modelagem 3D e fabricada por meio de impressão 3D. O controle será implementado por meio de microcontroladores, na

qual um Maixduino k210 será responsável pelo processamento de imagem em tempo real para identificar a posição da esfera, enquanto um Arduino Nano receberá essas coordenadas e controlará os motores de passo para ajustar a inclinação da mesa, assim possibilitando o controle da bola sobre a mesa.

2. METODOLOGIA

A metodologia usada neste projeto é dividida em três etapas. A primeira etapa envolve a modelagem tridimensional da estrutura, que será produzida por manufatura aditiva. A segunda etapa abrange o desenvolvimento da parte eletrônica responsável pelo acionamento dos motores de passo e pela obtenção dos dados. A terceira etapa consiste na criação do código que estabelece a comunicação entre os microcontroladores, permitindo a aplicação da aprendizagem de máquina. A metodologia se encerra com a avaliação do protótipo, na qual serão feitos testes de controladores e os ajustes necessários.

2.1. Projeto da estrutura mecânica

A estrutura do sistema bola e mesa é composta por uma mesa com dimensões 20cm x 20cm controlável e uma câmera para monitoramento da posição da bola. O projeto será modelado em 3D no Autodesk Fusion e impresso utilizando filamento PLA, tanto para mesa quanto para a base utilizada na montagem do sistema. O sistema de movimentação de cada eixo será projetado de forma desacoplada, permitindo que os movimentos dos eixos sejam controlados independentemente. Para isso, será projetado um mecanismo para transformar o movimento rotacional do motor elétrico e um movimento translacional, para cada eixo da mesa. Além disso, a mesa será acoplada à base de maneira a permitir um movimento livre ao redor de um ponto central.

2.2. Projeto do sistema eletrônico

Nesta etapa será desenvolvida a parte eletrônica responsável pelo acionamento dos motores e pela aquisição de dados a partir de uma câmera. Para isso, serão utilizados dois microcontroladores: um Maixduino e um Arduino Nano. O Maixduino será responsável por capturar a posição da bola e as marcações de referência da mesa, como o ponto central e os limites da mesa. As informações visuais processadas no Maixduino serão enviadas por meio da comunicação I2C (Inter-Integrated Circuit) para o Arduino Nano, que será responsável por executar o algoritmo de controle, atuando nos motores de passo por meio de dois módulos ponte H L298h.

2.3. Desenvolvimento de software embarcado

O desenvolvimento do software embarcado será dividido em três componentes principais: o firmware do Maixduino, o firmware do Arduino e o protocolo de comunicação entre eles.

O firmware do Maixduino será responsável pela aquisição e processamento de imagem. Primeiramente, sua câmera integrada irá capturar imagens da mesa em tempo real. Em seguida, essas imagens serão processadas para identificar e rastrear a posição da esfera, bem como as marcações de referência da mesa, como o ponto central e seus limites. O resultado desse processamento é um conjunto de informações com as coordenadas precisas da bola.

O firmware do Arduino, por sua vez, deverá executar a malha de controle realimentada. Ele receberá os dados de posição enviados pelo Maixduino e os utilizará para calcular o erro em relação à posição desejada. Com base nesse erro, o Arduino enviará os comandos de controle para as pontes H, que acionam os motores de passo para ajustar a inclinação da mesa.

Por fim, para a transmissão das informações do Maixduino para o Arduino, será utilizado o protocolo de comunicação I2C (Inter-Integrated Circuit). Este protocolo garantirá que os dados de posição da esfera, obtidos pelo sistema de visão, sejam enviados de forma eficiente e confiável para o microcontrolador responsável pelo controle dos motores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo do sistema bola e mesa (Figura 1.A) foi projetado no software de modelagem 3D Autodesk Fusion. Foram projetadas três estruturas básicas, sendo elas, a mesa móvel, apresentada na Figura 1.B; a base, apresentada na Figura 1.C; e o mecanismo de acoplamento do motor com a mesa, apresentado na Figura 1.D.

O sistema eletrônico composto por uma placa Maixduino e um Arduino nano, dois motores de passo, duas pontes H L298n. O Maixduino é responsável por obter a posição da bola por meio de sua câmera integrada, e enviar por meio de I2C para o Arduino que processa os dados e envia os comandos para os módulos ponte H, que realizam o acionamento dos motores de passo, o que permite ajustar a inclinação da mesa de forma precisa. Uma representação completa do sistema eletrônico é apresentado na Figura 1.E.



Figura 1.A - Sistema Bola e mesa

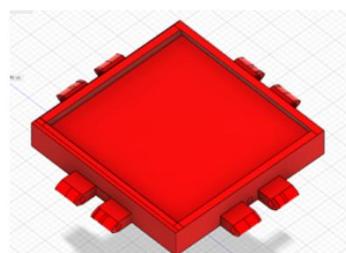


Figura 1.B - Mesa

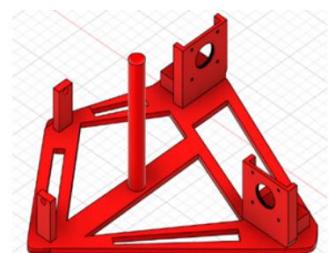


Figura 1.C - Base

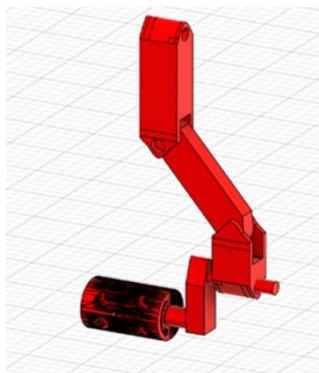


Figura 1.D - Acoplamento

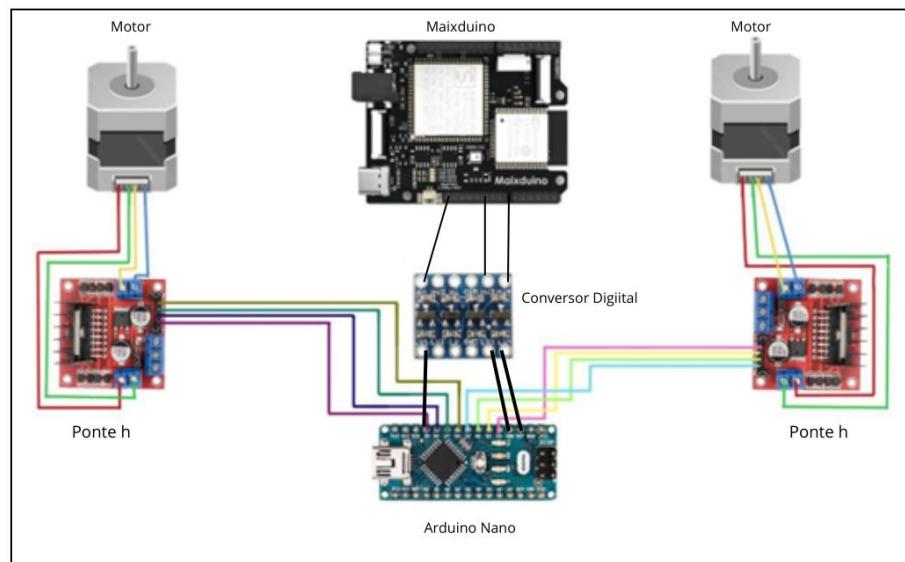


Figura 1.E - Sistema Elétrônico

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um protótipo para o sistema de bola e mesa, o qual foi projetado utilizando software de modelagem 3D. Adicionalmente, foi projetado um sistema eletrônico embarcado, empregando a plataforma Maixduino para a captura da posição da bola por meio de uma câmera e a plataforma Arduino Nano para o processamento e acionamento dos motores de passo. O protótipo foi impresso utilizando manufatura aditiva, e a eletrônica embarcada foi integrada para permitir o controle preciso da inclinação da mesa. Os resultados deste estudo indicam que o protótipo desenvolvido está apto para a implementação e teste de diferentes algoritmos de controle, podendo sofrer modificações tanto na estrutura física quanto na programação de forma simples e flexível. Em estudos futuros, é almejada a aplicação de técnicas de aprendizagem de máquina e a realização de testes com controladores para a avaliação completa do sistema.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREWS, G.; COLASUONNO, C.; HERRMANN, A. Ball on plate balancing system. Troy: Rensselaer Polytechnic Institute, 2004.
- CASTRO, R. S.; BARTH, J. M. O.; FLORES, J. V.; SALTON, A. T. Modelagem e implementação de um sistema Ball and Plate controlado por servo-visão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI), 11., Fortaleza, 2013. *Anais [...]*. Fortaleza: UFC, 2013. Disponível em: <http://www.sbai2013.ufc.br/pdfs/4635.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- COLLOQUIUM (ICSGRC), Shah Alam, 2012. **Proceedings...** Shah Alam, Malaysia: IEEE, 2012. p. 192-197.
- LEITE, F. T. A.; DA SILVA, J. M. G.; DE LIMA, E. R. Real-Time Vision-Based Control of a Ball-And-Plate System. In: 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION, ROBOTICS AND VISION, Hanoi, 2008. **Proceedings...** Hanoi, Vietnam: IEEE, 2008. p. 891-896.
- KER, C. C.; LIN, C. E.; WANG, R. T. Tracking and balance control of ball and plate system. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Taipei, v. 30, n. 3, p. 459–470, 2007,
- MOHAMED, M. F.; ZIN, M.; ADZRI, M.; RAHIM, A. Modeling and control of ball and plate system using PID controller. In: 2014 IEEE 10TH INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SIGNAL PROCESSING & ITS APPLICATIONS (CSPA), Kuala Lumpur, 2014. **Proceedings...** Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2014. p. 240-245.
- VITAL, L. A. V. *Modelagem, simulação e implementação de um sistema Ball and Plate utilizando controlador PID com detecção por touchscreen*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) - Universidade Federal de Uberlândia.
- WAHAB, M. H. A.; KADIR, A. F. A. Ball and Plate System: A Case Study on System Modeling and Control. In: IEEE CONTROL AND SYSTEM GRADUATE RESEARCH
- ZIA, A. Polar and polygon path traversal of a ball and plate system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND CONTROL ENGINEERING, Yichang, 2011. *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*. Yichang, China, 2011. p. 4005-4009.