

3.04.05 - Engenharia Elétrica / Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos.

DESENVOLVIMENTO E CONTROLE AUTOMÁTICO DE UM SISTEMA BOLA-MESA

Augusto Luiz Greuel¹, Daniel Ferreira Coutinho², Rodolfo César Costa Flesch³

1. Estudante de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
2. Professor da UFSC – Departamento de Automação e Sistemas/Orientador
3. Professor da UFSC – Departamento de Automação e Sistemas/Coorientador

Resumo

Este documento se baseia na ideia de construir um protótipo, com comportamento instável em malha aberta, que permita validar experimentalmente diferentes técnicas de controle obtidas pelo grupo de pesquisa. Esta plataforma servirá como base de estudos de controladores para que se possa verificar de maneira funcional como estes podem alterar o funcionamento de sistemas instáveis. Para isto utiliza-se uma base retangular guiada por servomotores, possibilitando assim a movimentação em dois eixos. A partir da construção física e da modelagem dinâmica do projeto, passa-se para os testes funcionais, com o objetivo de estabelecer uma comunicação lógica entre os motores, controladores e aquisição de posição para que se possa iniciar a aplicação da estrutura do controlador. Destaca-se também o funcionamento do protótipo e o sucesso do desempenho do primeiro controlador analisado. Ainda são frisados os problemas e dificuldades no decorrer do processo de construção.

Palavras-chave: Controle de Processos, Técnicas de Controle, Bola-Mesa, Sistemas Instáveis.

Introdução

O sistema Bola-Mesa, também conhecido pela expressão em inglês *Ball and Plate*, tem como objetivo principal controlar a posição de uma esfera em cima de uma plataforma que pode se inclinar tanto no sentido latitudinal quanto longitudinal [1]. A instabilidade e os dois graus de liberdade fazem com que este sistema possa servir como uma plataforma de testes de diferentes tipos de técnicas de controladores. Estes conhecimentos poderão ser empregados futuramente em diversas outras aplicações como drones e sistemas anti-queda [2].

O foco desta pesquisa é construir um protótipo Bola-Mesa para que se possa avaliar na prática o desempenho de diferentes estratégias de controle, através de diferentes metodologias. Deseja-se também, como objetivo específico, obter a modelagem dinâmica da planta e verificar inicialmente o funcionamento do sistema em malha fechada quando controladores PID são empregados.

Este documento descreve um estudo da modelagem dinâmica do sistema e o projeto de um controlador PID. Para a implementação deste controlador demonstra-se a ideia de funcionamento do programa feito no software Arduino. Ainda destaca-se o programa feito no software *LabVIEW* que servirá como plataforma de visualização dos resultados e também de manejo da estrutura para que a planta possa ser operada por qualquer pessoa. Por fim analisam-se os resultados positivos e negativos obtidos durante o processo de pesquisa, ressaltando as dificuldades e as possíveis melhorias futuras.

Metodologia

A plataforma foi montada pensando nos componentes mecânicos e elétricos que compõem a mesma. Para isso realizou-se um estudo do circuito elétrico e também da montagem estrutural tornando possível construí-la de maneira eficiente, sem desperdício de recursos. Com a montagem feita, iniciou-se uma análise matemática do funcionamento efetivo para somente então começar o projeto dos controladores responsáveis pelo desempenho da planta.

Para o melhor entendimento do sistema Bola-Mesa obteve-se o equacionamento matemático do mesmo. Este servirá como uma função que representa o movimento simplificado da plataforma possibilitando assim utilizar técnicas de controle para obtenção dos parâmetros do controlador [2]. Para deixar o equacionamento mais sucinto os parâmetros da tabela 1 são utilizados:

Tabela 1 – Descrição dos parâmetros

Símbolo	Descrição
x	posição da bola no eixo x [m]
y	posição da bola no eixo y [m]
θ_x	ângulo do motor no eixo x [rad]
θ_y	ângulo do motor no eixo y [rad]
d	comprimento do braço do servo [m]
L_x	distância entre o apoio do eixo x até o centro da plataforma [m]
L_y	distância entre o apoio do eixo y até o centro da plataforma [m]
g	aceleração da gravidade [ms^{-1}]

Através das equações (1) e (2) é possível projetar um controlador PID que tenha como objetivo principal seguir as referências do tipo degrau e rejeitar perturbações externas rapidamente [3]. Para isso, utilizou-se o software Matlab e o método do lugar das raízes visando um controlador que cumprisse os objetivos e ainda que tivesse um tempo de resposta satisfatório. Alocando-se polos e zeros de maneira a respeitar as especificações de tempo de subida e sobressinal, pode-se projetar os controladores [4].

$$\frac{x(s)}{\theta_x(s)} = \frac{5gd}{7L_x} \frac{1}{s^2} \quad (1)$$

$$\frac{y(s)}{\theta_y(s)} = \frac{5gd}{7L_y} \frac{1}{s^2} \quad (2)$$

Após o projeto dos controladores pode-se simular estes para verificar o desempenho. Obteve-se um tempo de acomodação, numa faixa de 5% de erro, de aproximadamente 5 segundos e um sobressinal de aproximadamente 10% durante a realização da simulação.

Resultados e Discussão

Através dos projetos dos controladores verificou-se um valor alto em relação à ação derivativa. Para evitar que a esfera caia da plataforma o sistema deve agir rapidamente compensando a alta taxa de mudança de erro. Por este motivo, o valor da ação derivativa será relativamente maior que o valor da ação proporcional [5]. Este alto valor fará com que se possa rejeitar as perturbações de maneira mais eficiente, porém poderá aumentar as oscilações do controle. Como a planta já possui ação integral, se não existirem perturbações de carga constantes, o sistema seguirá referências e portanto o controlador final será na prática um PD [6].

O projeto de controle pelo lugar das raízes pode ser extremamente útil para se obter os parâmetros iniciais do controlador a ser usado na planta real. Entretanto, devido aos erros de modelagem causados pelas simplificações e considerações, o modelo da planta real não será igual ao modelado. Com isto, no momento de implementação do controle na planta, verificou-se que este não conseguia manter a esfera na posição desejada rejeitando as perturbações. Portanto, foram necessários ajustes para o melhor funcionamento do controlador. Para fazer com que a esfera seguisse a referência desejada, bastava utilizar a ação proporcional. Entretanto, como esta se move rapidamente, verificou-se que a ação derivativa do projeto ainda não era suficiente para evitar que ela caísse na plataforma. Com isto, ajustou-se a ação derivativa até um valor máximo para que este problema fosse solucionado, porém sem fazer com que o sistema se tornasse extremamente oscilatório, descaracterizando a proposta.

Na figura 1 pode-se verificar o resultado do seguimento de referência, aplicando-se um degrau na entrada, quando o controlador é implementado na planta real. Observa-se que a esfera segue a referência em ambos os eixos, entretanto existem oscilações perto deste ponto. Para verificar a rejeição de perturbação, empurrou-se a esfera para fora da referência e observou-se a resposta, vista na figura 2. Pode-se notar que a planta consegue rejeitar a perturbação, voltando para a referência inicial. Entretanto, conforme analisado no seguimento de referência, existem oscilações neste ponto.

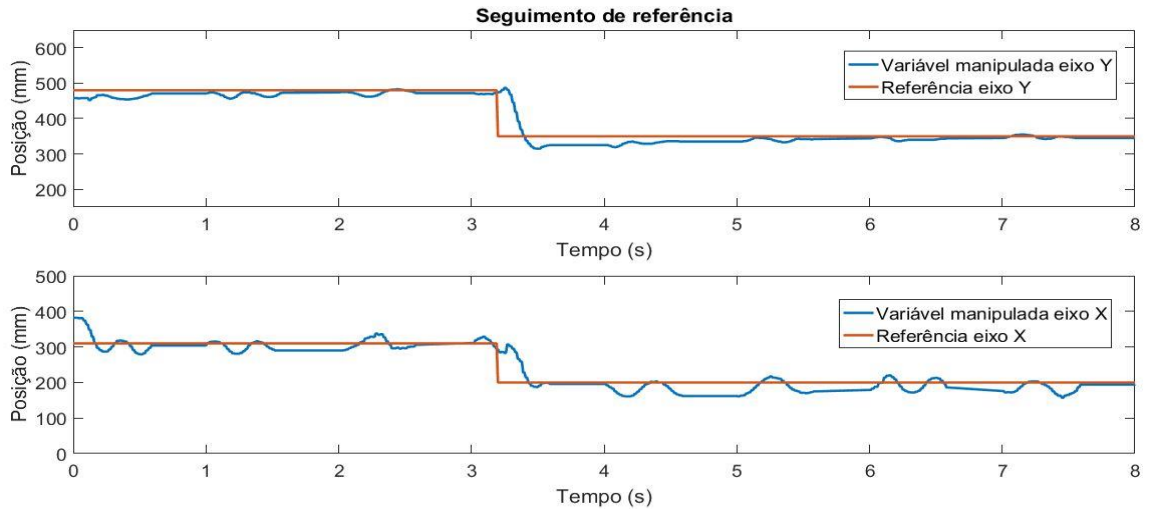


Figura 1: Seguimento de referência com controlador aplicado na planta real

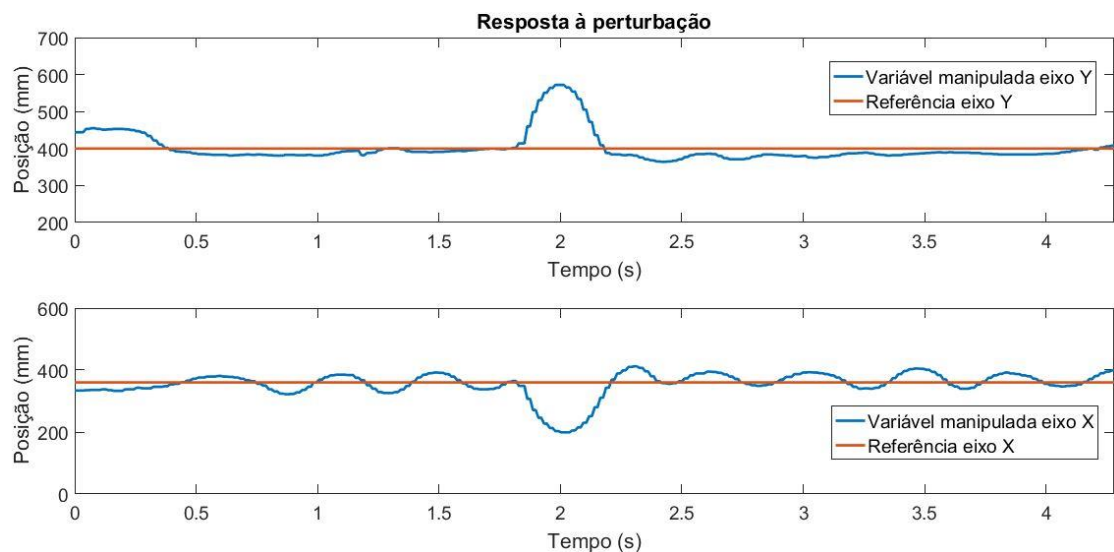


Figura 2: Resposta à perturbação com controlador aplicado na planta real

Os principais trechos de código do programa de implementação são a comunicação com a interface, o filtro de medições, o controlador PID e o envio de strings para a serial. A primeira parte é a de comunicação com a interface através da serial. Quando um valor é enviado pelo programa em LabVIEW, o mesmo será lido pelo Arduino e então será tomada uma ação, alterando a variável leitura para que haja uma mudança de comportamento do programa. Com esta mudança de variável, será possível iniciar, pausar, parar ou mudar a referência do sistema. Em seguida, existe um filtro de amostras dado pelos valores medidos da posição da bola na tela. A cada 5 valores de medição obtidos, calcula-se a mediana destes e utiliza-se este valor como posição da bola naquele instante. Isso é feito para evitar ruídos que possam ocorrer nas medições, prejudicando assim o sistema de controle.

Existem limites de ângulo de rotação dos servos para que os mesmos não extrapolem os limites físicos da estrutura. Cada servo possui um controlador individual, sendo ambos sintonizados de maneiras similares.

Vale lembrar que para que a mesa fique reta, ambos os servo-motores devem estar numa determinada posição. Para o servo-motor este valor é 31 graus e para o servo-motor 2 este valor é 34 graus. Quando o controlador calcula a ação de controle, este valor será somado (ou subtraído) ao valor que deixa os servos na posição reta.

Vale destacar também o trecho em que se envia os valores atuais da posição da esfera na mesa, assim como a referência, para a comunicação serial. Estes valores serão então utilizados pelo programa em LabVIEW para os plots dos gráficos.

Para melhor visualização e controle da estação Bola-Mesa, criou-se um programa supervisorio feito através do LabVIEW. Nele, pode-se controlar a planta através de comandos que serão enviados por comunicação serial. Esta comunicação foi desenvolvida para criar um compartilhamento de dados entre o programa supervisorio e o programa de controle. É possível ligar a planta, pausar e ainda parar a mesma apenas pela interface, de modo que a sua inicialização só funciona através do comando INICIAR.

Ainda, implementou-se quatro botões que mudam a referência da planta. Dois destes botões mudam a posição alvo da bola para os extremos da tela. Um botão muda a referência para a posição central. O último botão faz com que a referência seja uma linha reta e não apenas um ponto.

Também criou-se um sistema de gráficos que torna possível a visualização do seguimento de referência da planta a qualquer momento. Estes gráficos recebem dados do Arduino por comunicação serial. Pode-se verificar o comportamento do eixo X e Y através de uma linha que representa a referência e a outra que representa a variável de processo, que neste caso é a posição da bola no dado instante.

Conclusões

O sistema Bola-Mesa permite aperfeiçoar e entender diversos aspectos de problemas de controle. A necessidade de dois controladores individuais faz com que uma sintonia ruim de um deles possa atrapalhar o funcionamento do outro, sendo necessário atenção neste ponto. Ainda pode-se notar como funcionam as diversas técnicas de sintonia dos controladores, assim como a necessidade de testes baseados em observações para melhorar os desempenho destes.

Do ponto de vista de instrumentação, é interessante aprender a lidar com telas resistivas utilizando o Arduino como plataforma de aquisição de dados. Para isto foi necessária a utilização dos filtros destacados anteriormente para que reduzissem ruídos obtendo uma melhor exatidão dos resultados medidos.

Existiram algumas dificuldades em relação à parte mecânica, que teve que ser remontada diversas vezes para que funcionasse de forma adequada. Inicialmente não se planejava a utilização de uma junta universal como pivô da estrutura, porém depois de alguns testes com outras opções, chegou-se à conclusão que esta seria a melhor alternativa. Os servos também tiveram que ser realocados para que a amplitude de movimento fosse suficiente para o controle da base.

Ocorreram também alguns problemas na parte de programação do controlador, assim como na aquisição de dados. Alguns dos ruídos foram reduzidos através do filtro de mediana conforme dito anteriormente, porém outros inconvenientes ainda persistem durante o funcionamento. Entre estes problemas destaca-se as pequenas oscilações em torno da referência, que impossibilitam a esfera de ficar completamente parada. Também pode-se salientar perdas na leitura da posição da bola que ocorrem ocasionalmente fazendo com que o controlador se perca. Estes erros poderão ser corrigidos em um estudo futuro através de melhoras na estrutura física e no condicionamento de sinais da tela resistiva.

Os objetivos principais foram atendidos, fazendo com que fosse possível avaliar o funcionamento dos controladores estudados. O sistema conseguiu seguir as referências dadas e também rejeitar perturbações externas causadas. Além disso pôde-se aprender como funciona a implementação prática de controladores numa planta real, desde a montagem do circuito elétrico, programação e a criação de um programa supervisorio. Este projeto poderá ser utilizado futuramente para avaliação experimental de novas pesquisas acadêmicas e também para uso de outros alunos em aula práticas, visando agregar conhecimentos nesta área.

Referências bibliográficas

- [1] Douglas Henrique Caetano de Araujo, Henrique Ferreira Canova, Idevaldo Barbosa Souza, Marcelo de Freitas Sugaya, Carlos Renato Meneghetti, Modelagem e implementação de um sistema Ball and Plate, Brasil, 2016.
- [2] Yasmin Honório de Medeiros, Projeto e Construção de um Sistema Placa-Bola para Fins Didáticos, Rio Grande do Norte, Brasil, 2016.
- [3] Aghiad Kassem, Hassan Haddad, Chadi Albita, Comparison Between Different Methods of Control of Ball and Plate System with 6DOF Stewart Platform, Damasco, Síria, 2015.
- [4] Bc. Ľuboš Spaček, Digital Control of CE 151 Ball & Plate Model, Zlín, República Checa, 2016.
- [5] Agung Adiprasetya, Agung Surya Wibowo, Implementation of PID Controller and Pre-Filter to Control Non-Linear Ball and Plate System, Bandung, Indonésia, 2016.
- [6] Rafael da Silveira Castro, Jacson Miguel Olszanecki Barth, Jeferson Viera Flores, Aurélio Tergolina Salton, Modelagem e Implementação de um Sistema Ball and Plate Controlado por Supervisão, Porto Alegre, Brasil.