

Etapa 1 — Trabalho de Análise de Sistemas Lineares

Bernardo Bresolini* Ester Queiroz Alvarenga*

* Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,
Divinópolis - MG (e-mails: berbresolini14@gmail.com e
esterqueirozalvarenga@gmail.com).

Resumo

O trabalho final da disciplina de análise de sistemas lineares tem por objetivo o desenvolvimento de uma planta didática, de modo que sejam aplicados os conhecimentos mecatrônicos adquiridos pelos autores ao longo do curso de graduação em Engenharia Mecatrônica. Adotando, em especial, os saberes dos eixos de Modelagem e Controle de Processos. Dessa forma, o presente relatório visa descrever a primeira etapa deste trabalho, apresentando o estudo e o projeto conceitual do projeto Mecatrônico a ser desenvolvido pelos autores, sendo este um sistema de bola e viga, mais conhecido como “*ball and beam system*” cujo propósito é controlar a posição da bola em cima da barra por meio do giro de um servomotor.

Palavras-chaves: Ball and Beam, planta didática, controle, mecatrônica.

Abstract

The objective of the final task of the discipline of linear system analysis is the development of a didactic design, so that mechatronic knowledge, acquired by the authors of this paper in undergraduate mechatronics engineering, is applied. Adopting, in particular, the knowledge of modeling and process control axes. Thus, this report aims to describe the first stage of this task, presenting the study and conceptual design of the Mechatronic project to be developed by the authors, this being a ball and beam system whose purpose is to control the position of the ball on the beam by rotating a servomotor.

Keywords: Ball and Beam, didactic design, control, mechatronic.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas eletromecânicos que possuem mais graus de liberdade do que atuadores são denominados de subatuados. Segundo CHAN e CHANG (2013, p. 2251), o estudo de sistemas não lineares subatuados tem tido grande interesse na área de controle devido a seu menor consumo energético.

O sistema *ball and beam* é um clássico sistema eletromecânico subatuado com dois graus de liberdade com somente um atuador. A barra rotaciona num plano vertical em função do torque desenvolvido por um motor; enquanto que a bola pode rolar livremente ao longo da barra (MARTÓN *et al.*, 2008, p. 3724).

O conjunto formado pela bola e pela viga tem propósito de controlar a posição da bola sobre a barra com movimentos rotacionais. Tal sistema descreve um processo com aplicações diretas na área de controle, como o manejo da inclinação de aeronaves.

2. SISTEMA BALL AND BEAM

A FIG. 1 exibe o esquemático de um sistema *ball and beam*. Nele é possível observar que o servomotor tem seu eixo acoplado em uma barra que, por sua vez, está fixada em outra barra. Este conjunto de barras tem o intuito

de transmitir o torque do servo para a barra de rolagem. Portanto, por meio de uma relação cinemática, pode-se determinar a inclinação de α em função de θ .

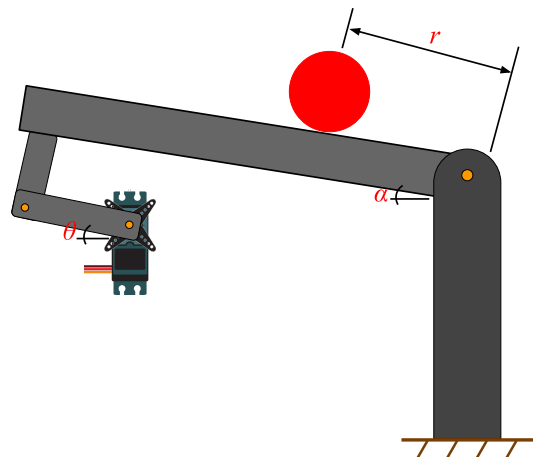


Figura 1. Esquemático do sistema *ball and beam*

Além disso, o ângulo α da barra de rolagem não implica, necessariamente, na movimentação da bola; embora com a sua inclinação, a força normal passe a não ser igual em módulo e direção a força peso (mostrado na FIG. 2).

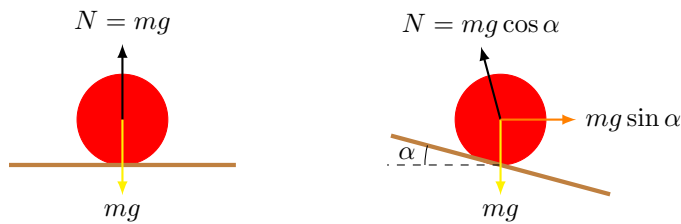


Figura 2. Diagrama de forças para a bola quando não há inclinação e quando há

Isto culmina numa força que tenderá a por em movimento a bola, que pode vir a não deslocar caso a força de atrito, resistência do ar, objetos no caminho, se oponham a rolagem.

Considere o sistema composto por uma barra de rolagem infinita e com uma inclinação α suficiente para iniciar a movimentação da bola. Percebe-se que a gravidade continuará agindo sobre a bola de forma a fazer com que sua posição nunca se estabeleça em um valor fixo. Então, pode-se escolher um tempo t , para que a posição r da bola seja tão grande quanto se queira. Matematicamente, se $t \rightarrow \infty$, então $r \rightarrow \infty$. Diante disso, o sistema é dito instável.

3. MATERIAIS E ESPECIFICAÇÕES

Para a montagem do que é proposto, faz-se necessário os materiais expostos na TAB. 1. Pretende-se usar uma barra com 400 mm ou 500 mm de largura, enquanto que a bola terá um diâmetro de 40 mm (bola de ping-pong). Além disso, propõe-se ancorar o sistema em uma das extremidades da barra.

Tabela 1. Componentes necessários para a montagem do sistema

Componente	Função
Sensor infravermelho	Mensura a posição da bola para que esta seja enviada para o controlador
Servomotor	Atuador do sistema que altera o ângulo da viga conforme o sinal enviado pelo controlador
Arduino	Interface que permite a comunicação entre o sensor, atuador e o controlador
Bola com 40 mm de diâmetro	Terá sua posição controlada em cima da calha
Barra de 400 mm de largura	Servirá de trilha para a rolagem da bola

Os materiais utilizados e a montagem do sistema são elementos essenciais para a garantia de um bom funcionamento, assim como em todo projeto de engenharia. Em vista disso, de modo a reduzir falhas operacionais, as juntas das barras não poderão possuir folgas, igualmente, o passo do servo motor deverá ser reduzido o máximo possível. Também é importante que as barras sejam rígidas e feitas de um material relativamente leve, a fim de

que o servo consiga produzir torque suficiente para movê-las; os apoios deverão ser fixos e firmes e o ambiente de funcionamento do sistema deverá ser tal que a resistência do ar possa ser desprezível.

Com o sistema em funcionamento, poder-se-á controlar a posição r (visto na FIG. 1) da bola sobre o trilho mediante ao controle do giro do servomotor. Tal posição, dita variável controlada, será da ordem de 6 a 40 centímetros. Já a variável manipulada virá a ser a posição do servomotor, determinada por um sinal recebido do Arduino que variará de 0 a 1023, correspondentes aos ângulos de 0° a 180° referentes ao giro do servo.

4. CONCLUSÃO

O sistema *ball and beam* proposto tem vasta referência na literatura de controle como sendo um sistema didático e com certa complexidade: instável, subatuado, não linear e com movimentos relativos mal definidos matematicamente.

Destarte, a sua montagem física deve ser bem estudada e projetada, de forma a reduzir as não linearidades oriundas de folgas, tempo de atuação mais lento que a dinâmica da planta, distúrbios ambientais, dificuldade da rolagem da bola, imprecisão dos instrumentos, etc.

Ademais, a planta opera com princípios simples da mecânica, com fácil percepção dos fenômenos envolvidos no processo. Isto possibilita uma apreensão mais eficiente do que sugere a disciplina e espera-se que se consiga desempenhar os requisitos do curso.

5. REFERÊNCIAS

- CHAN, Wei-Shou; CHANG, Chia-Wen. T-S Fuzzy Model-Based Adaptive Dynamic Surface Control for Ball and Beam System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 60, n. 6, p. 2251-2263, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6177238&isnumber=6451226>>. Acesso em: 21 ago. 2019.
- MARTÓN, Lörinc; HODEL, A. Scottedwand; LANTOS, Bella; HUNG, John Y. Underactuated Robot Control: Comparing LQR, Subspace Stabilization, and Combined Error Metric Approaches. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 55, n. 10, p. 3724-3730, 2008. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4493428>>. Acesso em: 21 ago. 2019.
- OGATA, Katsuhiko. *Engenharia de Controle Moderno*. 5 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010, 809 p.