



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76

Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - 2019

PROJETO DE CONTROLADORES ROBUSTOS PARA UM SISTEMA BARRA-BOLA

Lindelmo Havallon da Silva Pinto Azevedo¹, Márcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana,

e-mail: havallon.ecomp@gmail.com

2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:

marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de Controle; Controle Robusto; Sistema Barra-Bola.

INTRODUÇÃO

Sistemas de Controle fazem parte de várias áreas de aplicações, desde sistemas térmicos, hidráulicos, mecânicos, elétricos, econômicos, biológicos, e etc. (OGATA, 2010). Todos os tipos de sistemas precisam obter respostas que atendam determinadas especificações, e para isto, pode-se utilizar controladores para obter as respostas desejadas. Os controladores são primeiro projetados matematicamente, simulados e, através dos testes, os resultados são analisados para posteriormente fazer a aplicação no sistema em questão. Para tanto, há uma série de conceitos e ferramentas que precisam ser adquiridos para proceder o projeto de forma adequada.

O primeiro passo ao projetar um controlador é conhecer o modelo matemático do objeto de controle, com base nas leis da física. Geralmente o modelo pode ser não linear, o que o torna difícil de estudar. Por conta disso, muitas vezes aproximamos o modelo para uma equação linear. Entretanto, essas aproximações incorporam incertezas nos parâmetros da planta. A fim de garantir o funcionamento do controlador, em respeito às suas especificações, utilizam-se a teoria de controle robusto, descrevendo as incertezas em um intervalo fechado (OGATA, 2010; PRADO E PAZ, 2008).

O sistema de barra-bola pode ser geralmente encontrado na maioria dos laboratórios de controle de universidades da área. Este sistema geralmente ligado a problemas de controle reais, como, por exemplo, estabilizar horizontalmente um avião durante o pouso e no fluxo de ar turbulento (WANG, 2007). O sistema consiste em manter em equilíbrio a bola sobre a barra em uma determinada posição.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

Para a pesquisa foi utilizado o sistema Barra-Bola disponível em (CTMS, 2005). A Figura 1 ilustra o sistema.

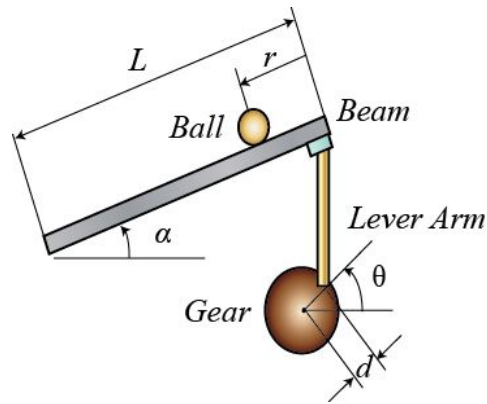


Figura 1. Sistema Barra-Bola (CTMS, 2005).

Neste sistema, a bola é posicionada sobre a barra, de forma que ela possa rolar livremente. Uma alavanca é utilizada para fazer o interfaceamento entre o servo motor e a barra. O motor gira um ângulo θ , que conseqüentemente faz com que a barra gire α . Com a variação do ângulo horizontalmente, a gravidade atua sobre a bola fazendo-a rolar.

A função de transferência do sistema, descrita na equação 1, foi obtida aplicando a transformada de Laplace na equação diferencial que dita o movimento da bola.

$$G(s) = \frac{R(s)}{\Theta(s)} = \frac{0,21}{s^2} \quad (1)$$

A equação 1 relaciona a entrada $\Theta(s)$ com a saída $R(s)$, que representam, respectivamente, o ângulo do motor e a posição da bola.

Para o projeto do controlador foi utilizada a técnica de controle Proporcional e Derivativo (PD) com realimentação de velocidade. Com isso, a resposta transitória obtém um desempenho mais adequado. A Figura 2 ilustra o diagrama de blocos para esta configuração do controlador.

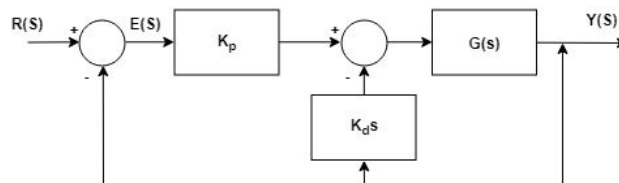


Figura 2. Diagrama de blocos do controlador PD com realimentação de velocidade.

Sendo $G(s)$ a função de transferência da planta, descrita na equação (1), a função de transferência em malha fechada para o sistema da Figura 2 é dada por:

$$T(s) = \frac{0,21K_p}{s^2 + 0,21K_d s + 0,21K_p} \quad (2)$$

Para encontrar os ganhos do controlador PD foi necessário comparar o denominador da equação (2) com a equação (3), tal equação representa o polinômio característico de segundo ordem (OGATA, 2010).

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 \quad (3)$$

Onde ξ e ω_n representam, respectivamente, o coeficiente de amortecimento e a frequência natural do sistema. Estas constantes são definidas através da máxima sobrelevação (MP) e o tempo de estabelecimento da resposta (t_s) (OGATA, 2010).

Para realizar o projeto do controlador robusto para o sistema, foi necessário transformar o parâmetro da planta em um intervalo modal (SAINZ, 2014). Sendo assim, foi considerado que a constante da planta fosse variada em 5%. O valor nominal de 0,21 foi transformado no intervalo [0,1995 , 0,2205].

Para os intervalos dos requisitos do projeto, foram consideradas duas especificações dentro das adotadas anteriormente. A primeira é de um MP = 0% e um $t_s = 1,5s$ e a segunda é um MP = 5% e um $t_s = 3s$. Sendo assim, os intervalos adotados foram $[\xi]' = [1, 0,6901]$ e $[\omega_n]' = [2,6667, 1,9321]$.

Aplicando a aritmética intervalar modal descrita em (SAINZ, 2014) obtemos o valor para os ganhos do controlador na forma de intervalos, são eles: $[K_p]' = [32,2499, 18,7112]$ e $[K_d]' = [24,1875, 13,3668]$, com os seguintes significados: Como os intervalos são impróprios, para todo K_p existe pelo menos um valor de ω_n para toda variação do parâmetro da planta em 5%. Do mesmo modo, para todo K_d , existe pelo menos um valor de ξ e ω_n para toda variação da planta em 5%.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Para realizar a análise do controlador, foi utilizada a resposta ao degrau no sistema controlado, variando o parâmetro da planta e os ganhos do controlador. A constante da planta foi variada de forma a apresentar os valores extremos e o ponto central do seu intervalo. Da mesma forma foram variados os valores dos ganhos do controlador. Sendo assim, para cada variação do parâmetro da planta, foram aplicados cinco controladores.

A Figura 3.A mostra o resultado obtido para o sistema barra-bola em que foram aplicados às variações do parâmetro da planta e dos ganhos na equação 2. É possível notar, através do gráfico, que o erro de regime do sistema é nulo e que os controladores atenderam aos requisitos exigidos. Visto que a sobrelevação e o tempo de acomodação respeitaram os limites adotados para este projeto.

A Figura 3.B mostra o resultado do controlador tradicional aplicado na planta com as variações da planta. Podemos notar que com o valor central o controlador não consegue atender aos requisitos do sistema, atingindo uma sobrelevação de 6% e o tempo de

acomodação de 3,1s. Assim, o controlador robusto mostrou-se ser mais eficaz quando aplicado na situação em que os parâmetros da planta podem variar.

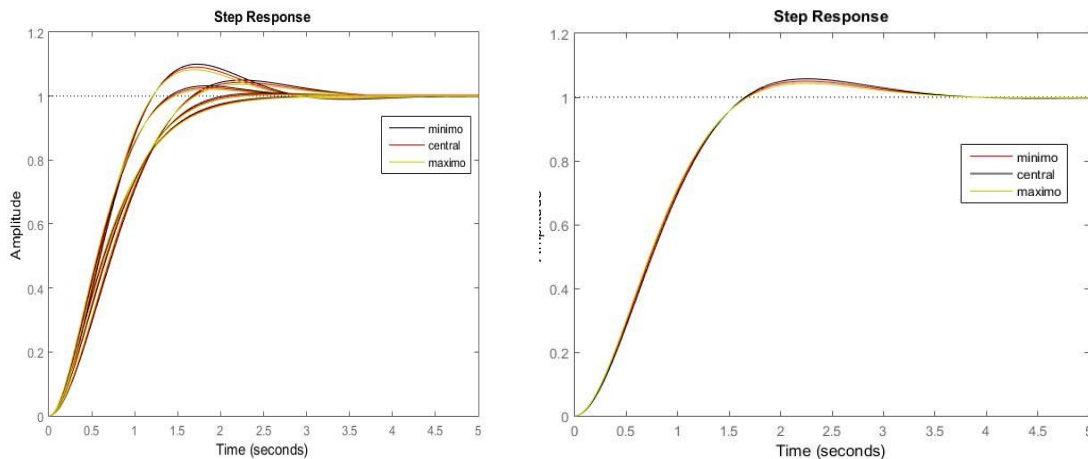


Figura 3: A. Resposta do sistema ao degrau utilizando o controlador PD robusto.
B. Resposta do sistema ao degrau utilizando o controlador PD Tradicional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Com os resultados obtidos com os projetos dos controladores PD robusto e tradicional, foi possível perceber que em situações em que há variações na planta, o controlador robusto consegue garantir um desempenho melhor que o tradicional.

O projeto do controlador PD robusto utilizando análise intervalar modal mostrou-se bastante eficiente para ser aplicado em sistemas que possuem incertezas em seus parâmetros e exigem um desempenho adequado.

REFERÊNCIAS

- CTMS. **Ball & beam: System modeling**, 2005. Acessado em 05 ago. 2019. URL = <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=BallBeam§ion=SystemModeling>.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**, 5a Edição, São Paulo, Prentice Hall, 2010.
- PRADO, M. e PAZ, M. **Controle robusto utilizando estrutura pd e análise intervalar modal**. XIII Congresso Latinoamericano de Control Automatico, 2008.
- SAINZ, M. A, ARMENGOL, J, CALM, R, HERRERO, P, JORBA, L e VEHI, J. **Modal interval analysis: New Tools for Numerical Information**, Switzerland, Springer, 2014.
- WANG, W. **Control of a Ball and Beam System**. 2007, 213f. Thesis (Submitted for the degree of Advanced Master)- School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, South Australia, 2007.