

Estudo da Modelagem Matemática e Estratégias de Controle de folga em uma junta rotativa de um robô SCARA com transmissão por engrenagens

Fernando F. Pinto¹

IFFar, Santa Rosa, RS

Eduardo Padoin²

IFFar, Santa Rosa, RS

Este trabalho refere ao estudo da modelagem matemática e de estratégias de controle da não linearidade devido à folga (backlash) presente em transmissões mecânicas do tipo trens de engrenagens, comuns no acionamento das juntas rotativas de manipuladores robóticos do tipo SCARA [1, 2, 4, 6, 8].

Com o crescimento do consumo mundial em diversos setores de produção, se fez necessário empregar métodos de produção industriais mecanizados com o auxílio de manipuladores robóticos no lugar da mão de obra humana, visto que algumas atividades oferecem riscos insalubres. Além de benefícios como ganhos em produtividade e qualidade, a utilização de manipuladores robóticos é aplicada em tarefas que requerem precisão e repetitividade em movimentos desejados. Entretanto, existem fatores que dificultam boas precisões com repetições, sendo a folga presente nos trens de engrenagens um desses fenômenos que prejudicam o desempenho de sistemas de controles, causando efeitos indesejáveis no movimento do sistema [9].

O manipulador robótico utilizado nesse estudo é do tipo SCARA, que é dotado de um ponto de apoio e seguido de duas juntas rotativas, uma prismática e, em alguns modelos, uma junta rotativa de orientação. Além disso, a forma de acionamento das juntas rotativas aplicada é a de transmissão por engrenagens com dentes retos, que é o tipo mais tradicional, sendo utilizadas para a transmissão de rotação entre eixos paralelos ou para deslocamento linear de uma cremalheira.

De acordo com [5], na seleção de uma transmissão por engrenagens para aplicações em mecatrônica, a escolha do tipo depende de muitos fatores, onde os mais importantes são velocidade de entrada, folga, eficiência e custo. Em geral a transmissão de menor custo apresenta maior folga, então ou se aumenta o custo ou se compensa a não linearidade de folga com um sistema de controle.

O modelo que descreve a dinâmica da junta robótica é composto pela combinação do modelo do eixo motor (1) e movido (3) do trem de engrenagens, baseados na segunda lei de Newton do equilíbrio dinâmico, com o modelo da não linearidade da folga (2) proposto por [7]. Assim, tem-se a modelagem completa do sistema dinâmico como um todo, levando em conta o acoplamento da dinâmica do trem de engrenagem com a da folga, conforme equações abaixo.

$$J_m \ddot{\theta}_m + C_m \dot{\theta}_m + T_{lI} = T_m \quad (1)$$

$$\theta_1(t) = \begin{cases} m(\theta_m(t) - cl) & \text{se } \theta_m(t) \leq v_l \\ m(\theta_m(t) - cr) & \text{se } \theta_m(t) \geq v_r \\ \theta_1(t-1) & \text{se } v_l < \theta_m(t) < v_r \end{cases} \quad (2)$$

¹fernando.fei7en@gmail.com

²eduardo.padoin@iffarroupilha.edu.br

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + C_1 \dot{\theta}_1 + T_d = T_{III} \quad (3)$$

Onde:

$$v_l = \frac{\theta_1(t-1)}{m} + C_l \quad v_r = \frac{\theta_1(t-1)}{m} + C_r$$

O modelo é validado experimentalmente em uma bancada de testes e os resultados ilustram as características da não linearidade. Os modelos foram implementados no software MATLAB/Simulink, para as simulações computacionais.

Por fim, o trabalho apresentará o comparativo entre duas estratégias de controle para compensação da não linearidade, sendo essas: Estratégia de compensação com inversa de folga a partir da trajetória desejada e controle proporcional com realimentação da posição angular no eixo motor; Estratégia de controle proporcional com a realimentação da posição angular no eixo movido.

Agradecimentos

Agradeço ao Instituto Federal Farroupilha e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Adeleke, A. Adaptive Backlash Inverse Compensated Virtual Decomposition Control of a Hydraulic Manipulator with Backlash Nonlinearity. Tampere University of technology, March 2017.
- [2] Fiori, A. F.; Viecelli, S. B.; Maraschin, L. B.; Garlet, I. B.; Valdiero, A. C.; and Rasia, L. A. Modelagem Matemática da transmissão mecânica em uma unta robótica com fuso de esferas. *Blucher Mathematical Proceedings*, vol. 1, no. 1, pp. 472/480, 2015.
- [3] Paatz, S. Anatomy of a Robot, *Engineering and Technology*, pp. 42-44, 2008.
- [4] Padoin, E. Modelagem Matemática da Dinâmica da Não Linearidade de Folga em uma Junta Rotativa de um Robô Scara com Transmissão por Engrenagens. 2011. Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática, UNIJUÍ. Ijuí, 2011.
- [5] Ross, F.; Johansson, H.; Wikander J. Optimal selection of motor and gearhead in mechatronic applications. *Mechatronics*, pp. 63-72, 2006.
- [6] Schneider, F. F.; Evald, P. J. D. O.; Silva, C. B.; Azzolin, R. Z. Melhoria de Desempenho em Sistemas com Folga por Controle PID com Compensação por Modelo Inverso - Simulação e Prática. In *Seminar on Power Eletronics and Control*, XI., 2018, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria: SEPOC, 2018.
- [7] Tao, G.; Kokotovic, P. V. Adaptative control of systems with actuator and sensor nonlinearities, *John Wiley and Sons*, 294 p., New York, 1996.
- [8] Xiao, Y.; Fu, L.; Luo, J.; Shi, W.; Kang, M. Nonlinear Dynamic Characteristic Analysis of a Coated Gear Transmission System. *Coatings* 2020, 10, 39. <https://doi.org/10.3390/coatings10010039>.
- [9] Yi, Y.; Huang, K.; Xiong, Y.; Sang, M. Nonlinear dynamic modelling and analysis for a spur gear system with time-varying pressure angle and gear backlash. *Mech. Syst. Signal Process.* 2019, 132, 18/34