

Análise e desenvolvimento de Sistema de Controle Aplicado para Estruturas de Soft Robot

**Dayanna Axly Santiago Villantoy^{1,2}, Harrson Silva Santana¹, Marcelo Fernandes de Oliveira¹,
Marcília Valéria Guimarães¹**

¹LAPRINT - Laboratório Aberto de Impressão 3D
CTI Renato Archer – Campinas/SP

²Faculdade de Engenharia Mecânica - Engenharia de Controle e Automação
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas/SP

dvillantony@cti.gov.br, hsantana@cti.gov.br, mfolivei@cti.gov.br

mvguimaraes@cti.gov.br

Abstract. Conventional robotic manipulators have rigid structural elements and joints that define the number of degrees of freedom that the mechanical system could have. Consequently, structural rigidity poses a limitation in certain situations where greater mobility and complex movements are required. In this way, soft robots become necessary and have great potential; however, there are some challenges due to the modeling of nonlinear geometries and the application of conventional control techniques. In this context, this article aims to study and present alternatives to obtain an adequate control system for a flexible structure, thereby ensuring lower computational cost and greater efficiency.

Resumo. Os robôs manipuladores convencionais possuem elementos estruturais rígidos e juntas que definem a quantidade de graus de liberdade que o sistema mecânico poderia ter. Com isso, a rigidez estrutural representa uma limitação em certas situações onde é necessária maior mobilidade e movimentações complexas. Dessa forma, os soft robots tornam-se necessários e com grande potencial, no entanto, existem algumas dificuldades devido a modelagem de geometrias não lineares e aplicações de técnicas convencionais de controle. Neste contexto, este artigo tem como objetivo estudar e apresentar alternativas para obter um sistema de controle adequado para uma estrutura flexível e assim, garantir um menor custo computacional e maior eficiência.

1. Introdução

Os robôs flexíveis são principalmente compostos por materiais macios que podem permitir manobras mecanicamente robustas que geralmente não são possíveis com sistemas robóticos rígidos convencionais conforme relatado por [Huang et al. 2020]. Diante disso, percebe-se esse tipo de estrutura como uma grande contribuição para a indústria e principalmente na área biomédica por possibilitar maior adaptação aos movimentos do ambiente complexo do corpo humano para realizar tarefas cotidianas como andar ou segurar com firmeza algum objeto. Além disso, soft robots já foram usados como próteses e órteses, objetivo de reduzir limitações e obter com maior conforto e segurança, inclusive são ideias para atividades mais complexas como a participação em processos operatórios como já apresentado por [Ilievski et al. 2011].

No entanto, por ser uma estrutura que tem um comportamento de deformação contínua, a sua integração em tempo real com controles é desafiadora devido ao processamento computacional exigido como descrito por [Ashuri et al. 2020], pois para o desenvolvimento de um sistema de controle convencional uma parte importante é fazer a modelagem do sistema mecânica. Porém ao contrário dos robôs industriais e manipuladores convencionais, os robôs flexíveis possuem uma geometria variável e não linear com sistemas de dimensões infinitas cuja evolução temporal é governada por equações diferenciais parciais altamente não lineares, geralmente não integráveis analiticamente tal qual foi demonstrado por [Duriez 2013].

A partir dos desafios vistos para a modelagem pela complexidade mecânica, este trabalho tem como objetivo analisar e desenvolver uma análise de modelagem para estrutura complexa de um soft robot e desenvolver um sistema de controle alternativo para o atuador do sistema. E como muitos soft robots são compostos por atuadores que tem foco principal de controle na taxa de fluxo e pressão no atuador. Com isso, obter com mais facilidade um sistema robusto, eficiente e com menos custo computacional que podem ser implementados em soft robots com aplicações em órteses humanas, trazendo maior conforto, segurança e consequentemente maior autonomia.

2. Metodologia

Enquanto os robôs rígidos tradicionais podem ser totalmente representados por algum conjunto discreto finito de quadros, na robótica flexível o robô é um contínuo de partículas armanini2023soft. Dessa forma é necessário aplicar técnicas de controle avançadas para obter um modelo dinâmico do sistema completo, que seja capaz de integrar esse corpo contínuo. No entanto, existem outras abordagens de controle que não é necessário saber a planta completa do sistema, como por exemplo, podemos usar uma estratégia de controle chamada Controle Independente de Juntas, onde um compensador para cada junta é projetado de forma separada porém segue uma determinada trajetória de referência a partir de um modelo cinemático. Além disso, como muitos soft robots são compostos por atuadores com acionamento hidráulico ao pneumático onde o foco principal de controle é na taxa de fluxo e pressão no atuador como descrito e implementado por [Young et al. 2021], que será a abordagem que o trabalho seguirá como parte da modelagem cinemática.

2.1. Estrutura 3D e esquema elétrico

A partir dos desafios vistos para a modelagem pela complexidade mecânica, este trabalho tem como objetivo analisar e desenvolver uma análise de modelagem para estrutura complexa de um soft robot e desenvolver um sistema de controle alternativo para o atuador do sistema. Com isso obter um sistema robusto, eficiente e com menos custo computacional.

Dessa forma, para desenvolver um sistema de controle para ser aplicado em soft robots, foi escolhido um modelo 3D disponibilizado gratuitamente com download do modelo .CAD (Figure 1). Este modelo é um molde para obter uma estrutura simétrica de um soft robot confeccionado em material flexível. A partir do modelo CAD foi gerado o molde em poliamida 12 usando a tecnologia de impressão tridimensional por sinterização seletiva a laser (SLS). Em seguida, usando o molde obteve-se a estrutura final em silicone para o soft robot.

Definir os componentes que irão compor o sistema é uma parte importante pois, a partir das características e capacidade de cada componente é possível chegar em uma

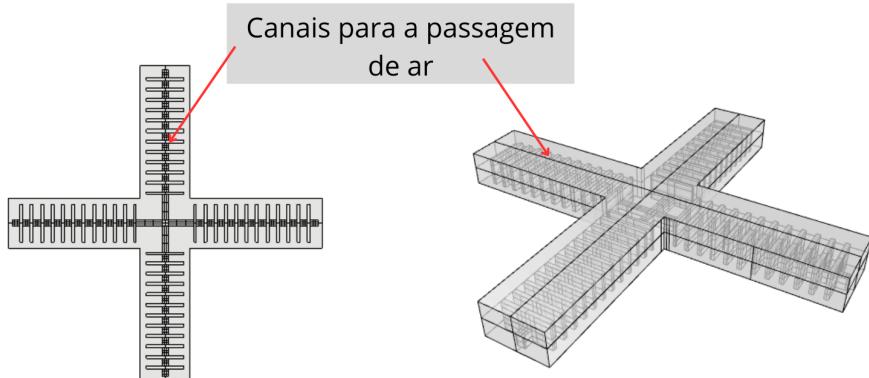


Figura 1. Vista superior e perspectiva do modelo 3D de um soft robot.

simulação com resultados que sejam próximos dos resultados adequados. Com isso a configuração eletrônica para o sistema pode ser visto na Figura 2.

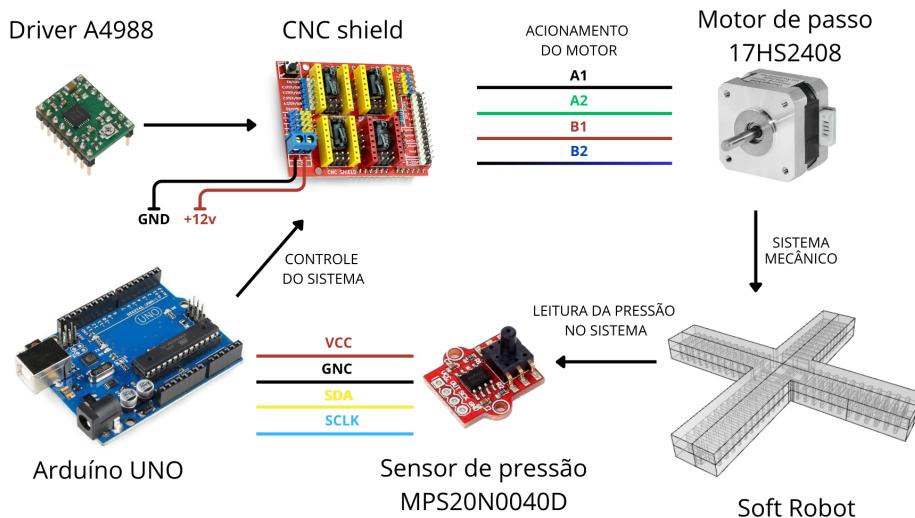


Figura 2. Esquema elétrico do sistema de controle.

2.2. Modelagem e Controle

Atualmente existem distintas maneiras de lidar com a modelagem para a construção de um controle adequado em um sistema para soft robots. Entre estes, há métodos que baseiam-se em algoritmos de aprendizado como o Aprendizado por Esforço ou controladores que são construídos a partir da modelagem cinemática e dinâmica requerida pelo modelo. Também é possível complementar e variar esses métodos utilizando um sistema com malha fechada ou aberta assim como foi demonstrado por thieffry2019model.

Dentre os modelos apresentados para a construção de um sistema de controle em relação a modelagem, a abordagem que o método livre de controle oferece por contornar a dificuldade e complexidade de modelar a estrutura mecânica de uma geometria variável. E uma alternativa para facilitar e implementar esse método em um modelo pequeno e com

uma função específica como no caso da garra que queremos modelar podemos seguir o método de controle híbrido de posição e força que baseia-se em uma abordagem sem modelo desenvolvida por grube2022comparison que tem como variáveis de saída a posição e a força como visto na Eq.(2) e na Eq. (3)

$$\Delta x = \hat{J}W \Delta y_x. \quad (1)$$

$$\Delta F = K_r \hat{J} \Delta y_F. \quad (2)$$

Onde, Δx é o deslocamento desejado em uma direção não restringida. ΔF é a atuação, K_r é a rigidez resultante entre o deslocamento atuado e a força de saída do manipulador responsável por aplicar forças na direção do contato, e a Eq. (3) refere-se a relação da força com a posição final.

$$\Delta y = \Delta y_x + \Delta y_F. \quad (3)$$

Com isso, também é possível incluir o método preditivo de controle como controlador principal do sistema da estrutura da soft robot, que irá relacionar a posição e força que vai ser exigido para o soft robot e com isso gerar uma malha de controle fechada como visto na Fig. 3 (Fonte: grube2022comparison)

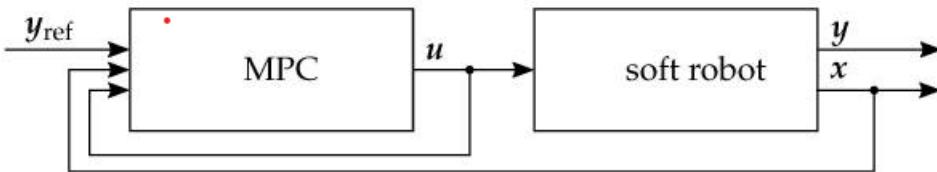


Figura 3. Malha de controle usando MPC.

3. Discussão e resultados preliminares

Foi implementado um sistema de controle no MatLab, a fim de controlar a taxa de fluxo de ar dentro do sistema e controlar a pressão interna. Para adequar o sistema com o objetivo de obter uma resposta adequada. Além disso, foi incluído parâmetros para relacionar o avanço do êmbolo com a rotação do eixo do motor. Com isso, chegamos no sistema de controle apresentado na Fig. 4.

Além disso, com a malha fechada do sistema de controle do mecanismo de atuação foi possível fazer simulações para comparar resultados desejados de pressão no soft robot com resultados obtidos utilizando o método de controle PID.

Para fazer essa comparações, a entrada foi implementada com base no somatório de 3 entradas degrau que possuem parâmetros diferentes que permite avaliar o sistema para diferentes valores em função do tempo. Com isso, adaptamos o sistema para relacionar valor da pressão do sistema com a entrada em milímetros a partir de uma constante. Tais resultados podem ser vistos na Fig. 5.

Para finalizar, com esses resultados simulados no software Matlab, seria interessante comparar com resultados reais, onde o sistema de controle seria implementado por

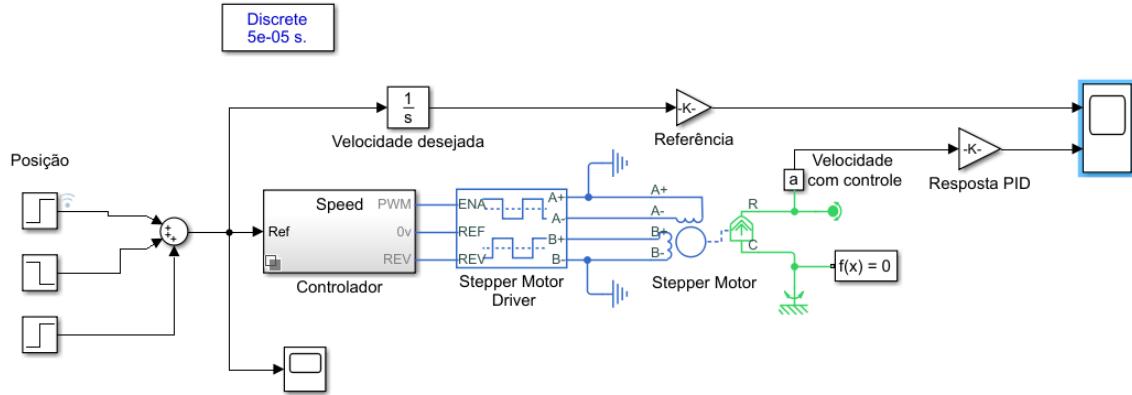


Figura 4. Malha fechada do sistema de acionamento

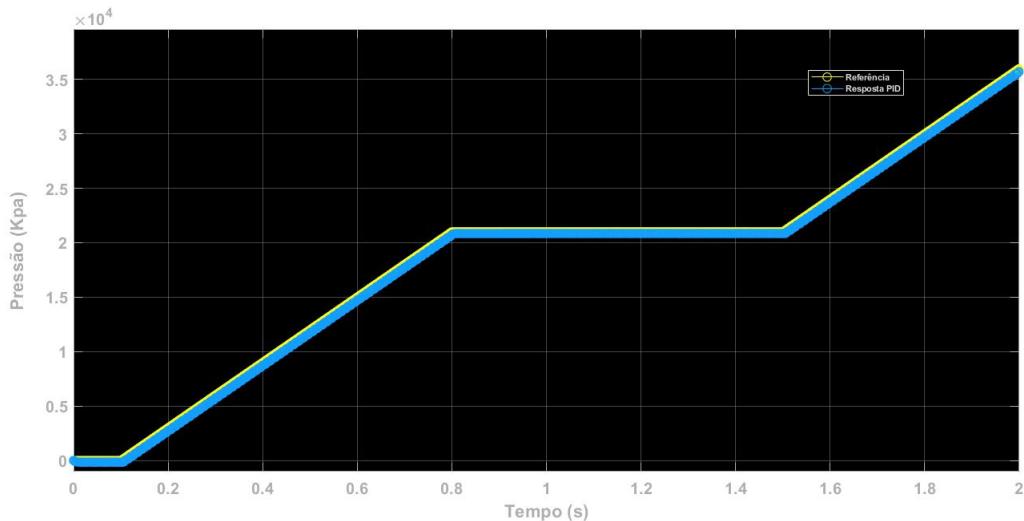


Figura 5. Comparação da saída e entrada da pressão(kPa) em função do tempo(s)

meio de um algoritmo à um sistema físico mecânico, para a movimentação do soft robot. Dessa forma, os proximos passos para o trabalho é finalizar a construção da estrutura que será usada para controlar a movimentação do êmbulo da seringa com ar, que é o principal atuador soft robot. Com isso será possível obter resultados mais concretos e melhorar o sistema atual de controle. Parte do sistema físico que está em desenvolvimento pode ser visto na Fig. 6.

4. Conclusão

Há diversas formas de aplicar métodos de controle para soft robots desde abordagens mais complexas como a modelagem cinemática do sistema que fornece um equacionamento complexo em razão da estrutura no qual essa modelagem está baseada, em contrapartida também temos o método que não necessita de um modelo para modelar o sistema no qual temos que estabilizar cada modelo ultra-local usando a teoria de estabilização ultra-local e isso é suficiente para obter bons resultados como visto por [Fliess and Join 2013]

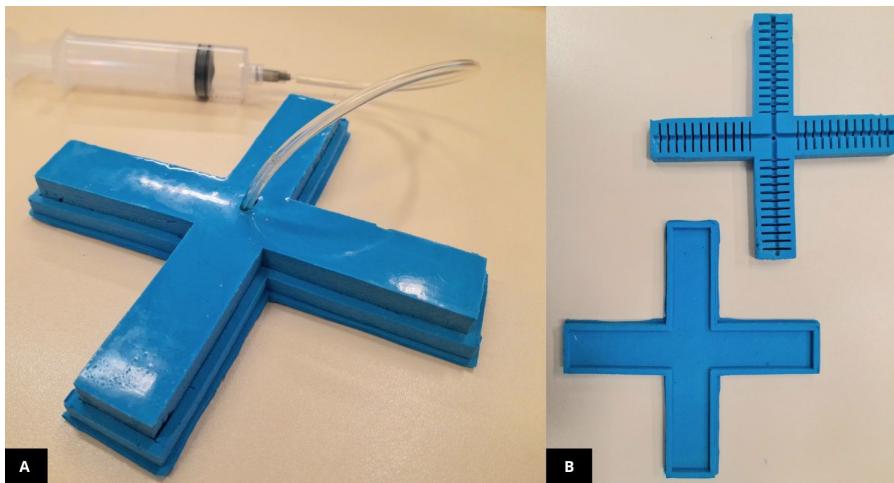


Figura 6. Modelo impresso e feito em silicone. (A)Estrutura fechada. (B)Partes que compõe a estrutura

Dessa forma, o Método preditivo de controle como controlador principal do sistema da estrutura do soft robot, que irá relacionar a posição e força que vai ser exigido para o soft robot. Também podemos garantir um sistema de controle onde é possível obter um bom controle dos pulsos de entrada do motor, contribuindo para uma maior precisão e maior eficiência. E isso é possível por meio do controle da taxa de fluxo e pressão no atuador pode ser o principal foco para o acionamento do robô.

Portanto, com este estudo apresentamos métodos e alternativas que podem ser aplicadas para realizar o desenvolvimento de um sistema de controle baseado em um modelo de uma garra, no qual pretende-se futuramente implementar fisicamente e realizar testes em relação a sua funcionalidade.

Referências

- Ashuri, T., Armani, A., Jalilzadeh Hamidi, R., Reasnor, T., Ahmadi, S., and Iqbal, K. (2020). Biomedical soft robots: current status and perspective. *Biomedical Engineering Letters*, 10:369–385.
- Duriez, C. (2013). Control of elastic soft robots based on real-time finite element method. In *2013 IEEE international conference on robotics and automation*, pages 3982–3987. IEEE.
- Fliess, M. and Join, C. (2013). Model-free control. *International journal of control*, 86(12):2228–2252.
- Huang, W., Huang, X., Majidi, C., and Jawed, M. K. (2020). Dynamic simulation of articulated soft robots. *Nature communications*, 11(1):2233.
- Ilievski, F., Mazzeo, A. D., Shepherd, R. F., Chen, X., and Whitesides, G. M. (2011). Soft robotics for chemists. *Angewandte Chemie International Edition*.
- Young, T. R., Xavier, M. S., Yong, Y. K., and Fleming, A. J. (2021). A control and drive system for pneumatic soft robots: Pneusord. In *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 2822–2829. IEEE.