

ẢNH HƯỞNG CỦA TẢI TRỌNG ĐẾN VIỆC ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ CƠ NHÂN TẠO KHÍ NÉN

EFFECT OF PAYLOAD ON POSITION CONTROL PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLE

TRẦN VĂN PHÚC^{1,a}, NGÔ HIẾU NGHĨA¹, NGUYỄN MINH KHẢI¹

¹ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

^aTác giả liên hệ: phuctv@vlute.edu.vn

Nhận bài(Received):31/5/2023; **Phản biện (Reviewed):**3/6/2023 ; **Chấp nhận(Accepted):**7/10/2023

TÓM TẮT

Bộ truyền động cơ nhân tạo khí nén (PAM) là một loại bộ truyền động mô phỏng sinh học, đang được sử dụng rộng rãi trong ứng dụng robot mô phỏng sinh học và các thiết bị phụ trợ y tế. Tuy nhiên, các hệ thống PAM thường có độ phi tuyến tính cao, độ không đảm bảo và các đặc tính thay đổi theo thời gian, đặc biệt là ảnh hưởng của khối lượng tải. Để đánh giá sự ảnh hưởng của tải trọng trong việc điều khiển vị trí cơ nhân tạo khí nén, trong bài báo này, vị trí PAM được điều khiển bởi bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ (PID) trong nhiều trường hợp tải trọng khác nhau. Kết quả cho thấy sai số trung bình bình phương (RMSE) có xu hướng tăng dần từ 2.2 mm đến 4.8 mm, khi vị trí đặt khác nhau tại 10 mm và 30 mm với cùng khối lượng tải là 20 kg. Bên cạnh đó, kết quả thực nghiệm tại vị trí đặt 10 mm và thay đổi lần lượt khối lượng tải là 10kg và 25 kg cho thấy hệ sẽ ổn định hơn khi tải trọng tăng.

Từ khóa: Cơ nhân tạo, bộ điều khiển PID cổ điển, thiết bị truyền động thông minh, khí nén, hai vòng điều khiển

ABSTRACT

Pneumatic artificial muscles (PAMs) are a type of biomimicry actuators, which are being widely used in the application of bio-simulation robots and medical auxiliary devices. However, PAM systems often have high non-linearity, uncertainty, and characteristics that change over time, especially the effect of load volume. To assess the effect of load on pneumatic artificial mechanical position control, in this paper, the PAM position is controlled by a proportional-integral-derivative controller (PID) in various load cases. The results showed that the root mean squared error (RMSE) tended to gradually increase from 2.2 mm to 4.8 mm when the placement was different at 10 mm and 30 mm with the same load volume of 20 kg. In addition, the experimental results at the 10 mm placement and the change in load mass of 10 kg and 25 kg respectively show that the system will be more stable as the load increases.

Keywords: artificial muscle, classic PID controller, transmission equipment

1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ chế tạo robot, nó mang lại nhiều

yêu cầu hơn về hiệu suất từ các bộ truyền động và hệ thống cơ điện tử khác nhau [1]–[3]. Là một thiết bị truyền động phỏng

sinh học mới, cơ nhân tạo khí nén (PAM) bao gồm một ống cao su hình trụ được bao quanh bên ngoài bởi một lớp sợi và hai đầu của PAM được bịt kín bằng nút kim loại. Khi khí nén được bơm vào bóng cao su bên trong PAM, “cơ” sẽ ngăn lại và tạo ra lực co dãn trực tiếp; khi giảm áp suất, nó sẽ giãn ra và trở lại chiều dài ban đầu [4], [5]. Do đó, PAM chỉ có thể cung cấp lực co một chiều và chiều dài của nó sẽ không bao giờ vượt quá chiều dài ban đầu khi nó hoạt động. So với các bộ truyền động truyền thống (ví dụ: động cơ và bộ truyền động thủy lực), PAM giống với các cơ sinh học về hình dạng và hành vi. Do đó, PAM đang được coi là một loại thiết bị truyền động với nhiều ưu điểm như: an toàn, sạch sẽ, trọng lượng nhẹ, tỷ lệ lực/khối lượng cao, v.v. [6]. Từ những năm 1950, PAM lần đầu tiên được áp dụng cho thiết bị chỉnh hình y tế bởi nhà vật lý J. L. McKibben. Ngày nay, PAM, còn được gọi là cơ McKibben, nó ngày càng đóng vai trò quan trọng hơn trong nhiều lĩnh vực [7], đặc biệt là trong các ứng dụng của robot phòng sinh học, bộ xương ngoài và robot phục hồi chức năng. Tuy nhiên, do cấu trúc hình học phức tạp của lớp sợi bên, độ đàn hồi của bóng cao su, khả năng nén không khí cao, ma sát nhớt, v.v., hệ thống PAM thường chịu tác động của độ phi tuyến cao (ví dụ: độ trễ và độ rã), sự không chắc chắn, và đặc điểm thay đổi theo thời gian. Do đó, đây là một chủ đề nghiên cứu đầy triển vọng và đầy thách thức để có được các mô hình động lực chính xác của các hệ thống PAM cũng như thiết kế các bộ điều khiển kiểm soát.

Để đạt được các mục tiêu điều khiển ổn định vị trí, một số phương pháp điều khiển được trình bày [8]. Bộ điều khiển đạo hàm-tích phân-tỷ lệ (PID) và một số bộ điều khiển PID mở rộng thường được áp dụng cho các hệ thống PAM [9]. Mặc

dù các phương pháp PID được sửa đổi này tăng cường tính mạnh mẽ của phương pháp PID thông thường ở một mức độ nào đó, nhưng hiệu suất kiểm soát của chúng có thể bị hạn chế trong một số trường hợp do các hệ thống PAM thường có độ phi tuyến tính cao, độ không đảm bảo và các đặc tính thay đổi theo thời gian. Do đó, một số sơ đồ điều khiển dựa trên mô hình toán học được đề xuất [10]. Mặc dù đã có rất nhiều nỗ lực có ý nghĩa, nhưng đối với các hệ thống PAM vẫn còn tồn tại nhiều vấn đề cần nghiên cứu. Trong đó có sự ảnh hưởng của tải trọng trong quá trình điều khiển vị trí PAM. Để làm rõ vấn đề này, bài báo đề xuất phương pháp điều khiển PID kinh điển, dễ dàng áp dụng vào việc điều khiển các hệ thống không yêu cầu quá khắt khe về vọt lố và thời gian quá độ. Đầu tiên tiến hành thực nghiệm cùng một tải trọng với các vị trí đặt khác nhau. Sau đó thực hiện thay đổi các mức tải khác nhau tại cùng một vị trí đặt. Phần còn lại của bài báo này được tổ chức như sau. Phần 2 trình bày phương pháp nghiên cứu, kết quả và thảo luận. Kết luận được trình bày trong phần thứ 3.

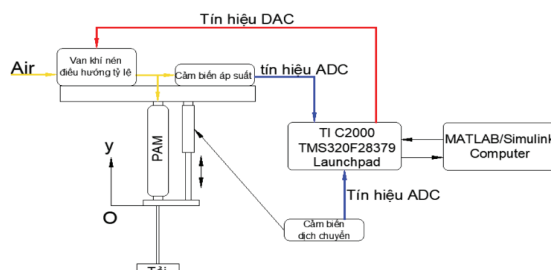
2. NỘI DUNG

2.1. Phương pháp nghiên cứu

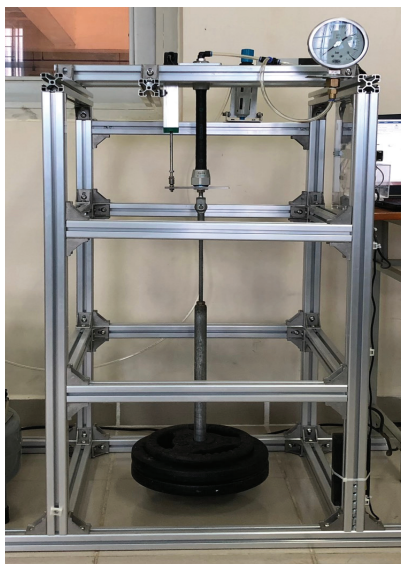
2.1.1. Thiết bị thực nghiệm

Việc thực nghiệm được tiến hành trên PAM của hãng FESTO (loại MAS-20-200N), có đường kính 20 mm và chiều dài 200 mm khi ở trạng thái ban đầu. Thực nghiệm cho thấy PAM dịch chuyển 37 mm ở áp suất 6 bar với tải trọng 20 kg. Độ dịch chuyển được đo bằng cảm biến khoảng cách KTC của hãng AccuracyTM có khoảng đo từ 0-100 mm và áp suất bên trong PAM được đo bằng cảm biến áp suất SR13002A có dải đo từ 0-10 bar của hãng GeorGIN. Khí nén được cung cấp thông qua van tỉ lệ điều hướng 5/3 (FESTO loại MPYE-5-1/8-HF-

101B). Tất cả dữ liệu I/O đều được nhập và xuất bởi bộ vi điều khiển C2000 của hãng Texas Instruments (loại TMS320F28379D LaunchPAD), được nhúng vào máy tính thời gian thực. Các thuật toán điều khiển và đo lường được thực hiện dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink. Tất cả dữ liệu I/O được truyền bởi bộ vi điều khiển Texas Instruments C2000 (loại TMS320F28379D LaunchPAD). Để thu được các kết quả trình bày trong nghiên cứu, mô hình thực nghiệm được triển khai theo cấu trúc ở hình 1a và mô hình thực nghiệm được thiết lập ở hình 1b.



Hình 1a. Cấu trúc hệ thống

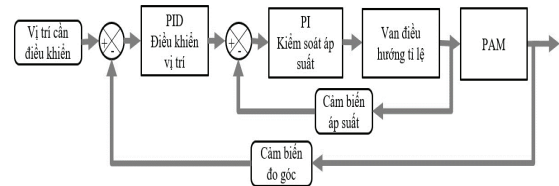


Hình 1b. Mô hình thực nghiệm

2.1.2. Bộ điều khiển

Cấu trúc bộ điều khiển của hệ thống được trình bày trong hình 2, với hai vòng điều khiển. Trong đó, vòng điều khiển

bên trong sử dụng bộ điều khiển PI cho việc kiểm soát áp suất, điều này đảm bảo cho việc kiểm soát vị trí PAM bằng bộ điều khiển PID ở vòng điều khiển bên ngoài.



Hình 2. Cấu trúc Bộ điều khiển PID-PI

Sử dụng phương pháp chỉnh định dựa trên đáp ứng của hệ như sau:

- Đặt $K_i = K_d = 0$. Tăng K_p đến khi hệ thống dao động tuần hoàn.
- Đặt thời gian tích phân T_i bằng chu kỳ dao động để xác định hệ số K_i
- Điều chỉnh lại giá trị K_p cho phù hợp.
- Nếu có dao động thì điều chỉnh giá trị K_d .

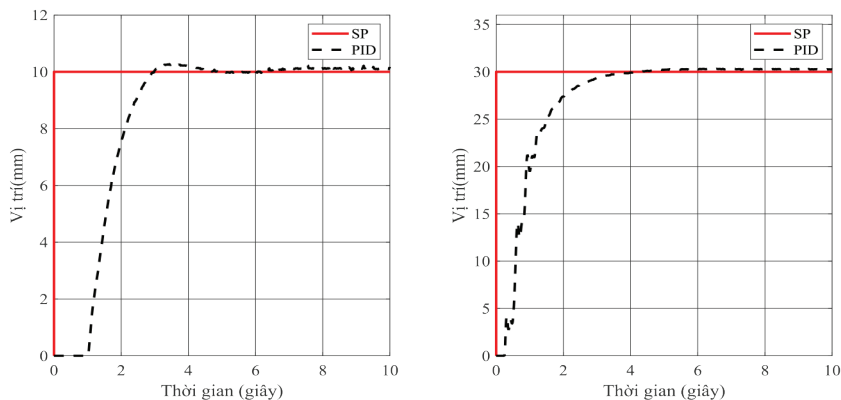
Bộ điều khiển PI: Bộ điều khiển tỉ lệ P là đủ cho việc kiểm soát hệ bậc nhất như áp suất. Tuy nhiên áp suất trong PAM không chỉ phụ thuộc vào tính phi tuyến của lưu lượng khí đi qua van điều hướng mà còn phụ thuộc vào sự thay đổi thể tích, nhiệt độ không khí và sự rò rỉ không khí qua van. Do đó, thành phần I được thêm vào để loại bỏ các trạng thái không ổn định. Thông số của bộ điều khiển PI được xác định lần lượt, K_p là 1.45 và K_i là 3.87. Bộ điều khiển PI cho việc kiểm soát áp suất được giữ không đổi trong tất cả các thực nghiệm của nghiên cứu.

Bộ điều khiển PID: Bộ điều khiển PID ở vòng ngoài được xây dựng cho mục đích kiểm soát vị trí PAM thông qua phần mềm MATLAB/simulink. Với các hệ số K_p, K_i, K_d tìm được từ phương pháp chỉnh định dựa vào đáp ứng của hệ thống lần lượt là 0.2, 1, 0.01.

2.2. Kết quả và thảo luận

Sai số xác lập ở 2% được sử dụng làm tiêu chuẩn đánh giá các kết quả về độ vọt lố POT và thời gian quá độ trong nghiên cứu. Thử nghiệm thứ nhất được triển khai với cùng tải trọng 20 kg, kết quả được trình bày ở hình 3 cho thấy khả năng kiểm soát

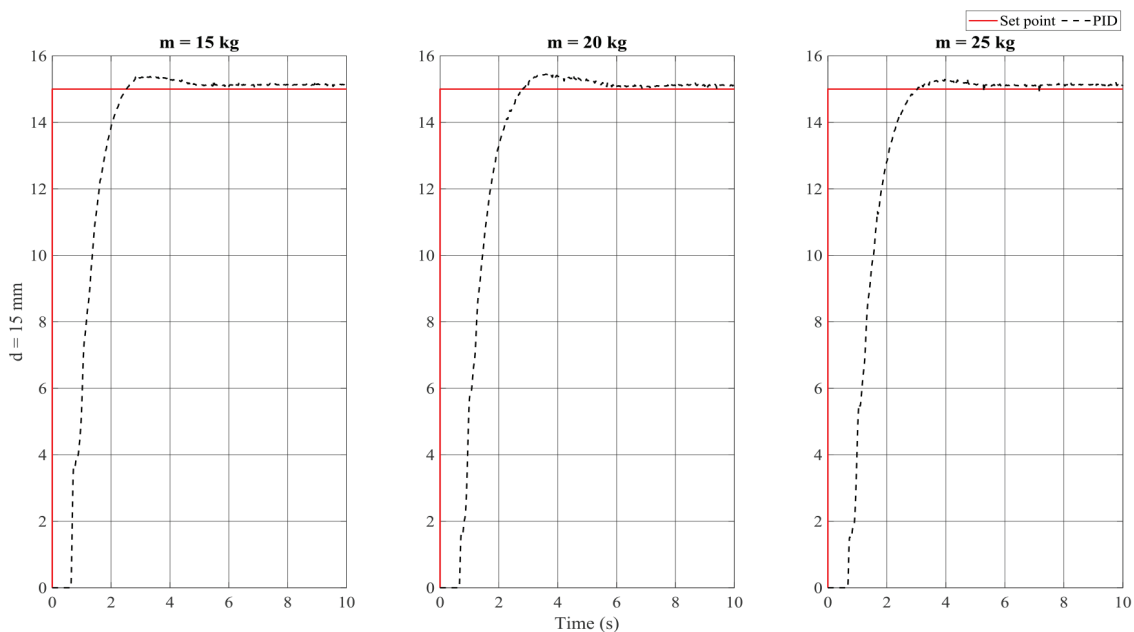
ở các vị trí đặt khác nhau của bộ điều khiển PID cổ điển đối với PAM là khả thi. RMSE lần lượt là 2.2 mm và 4.8 mm tại vị trí đặt 10 mm và 30 mm. Trong khi đó, độ vọt lố ở trị trí 10 mm cao gấp đôi vị trí 30 mm là 2.8% và 1.2%. Thời gian quá độ đều vào khoảng 4 giây.



Hình 3. Đáp ứng của hệ tại vị trí đặt 10 mm và 30 mm với tải trọng 20 kg

Thử nghiệm thứ hai được triển khai với cùng vị trí đặt là 15 mm và khối lượng tải thay đổi lần lượt là 15 kg, 20 kg và 25 kg. Đồ thị tại hình 4 cho thấy bộ điều khiển PID vẫn tỏ ra hiệu quả với RMSE lần lượt là 2.9 mm, 3 mm và 3.2 mm. Với

tiêu chuẩn sai số xác lập ở 2%, gần như không có vọt lố ở cả 3 trường hợp. Từ đó, thời gian xác lập được xác định lần lượt là 2.3 giây, 2.6 giây và 2.7 giây. Điều này cho thấy với tải trọng nặng hơn thì thời gian xác lớn hơn.



Hình 4. Đáp ứng của hệ với các tải trọng khác nhau

3. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển PID kinh điển được sử dụng cho việc điều khiển vị trí PAM với các điều kiện vào khác nhau. Kết quả cho thấy với tải trọng càng lớn thì thời gian xác lập càng tăng, tuy nhiên với chênh lệch chỉ 0.4 giây đối với các hệ thống thực tế là có thể chấp nhận

được và sai số xác lập gần bằng 0 ở tiêu chuẩn 2%. Đáp ứng từ các thử nghiệm thay đổi tải trọng có thể thấy rằng khi sử dụng bộ điều khiển PID cho việc điều khiển vị trí PAM ở tải thấp thì độ vọt lố cao hơn và tải càng cao thì thời gian xác lập càng cao, tuy nhiên bộ điều khiển vẫn tỏ ra hiệu quả trong việc kiểm soát vị trí PAM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] Y. Wang and X. Jing, "Nonlinear stiffness and dynamical response characteristics of an asymmetric X-shaped structure," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 125, pp. 142–169, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.ymsp.2018.03.045.
- [2] H. Dai, X. Jing, C. Sun, Y. Wang, and X. Yue, "Accurate modeling and analysis of a bio-inspired isolation system: with application to on-orbit capture," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 109, pp. 111–133, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.ymsp.2018.02.048.
- [3] M. Al Janaideh and O. Aljanaideh, "Further results on open-loop compensation of rate-dependent hysteresis in a magnetostrictive actuator with the Prandtl-Ishlinskii model," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 104, pp. 835–850, May 2018, doi: 10.1016/j.ymsp.2017.09.004.
- [4] M. D. Doumit and S. Pardoel, "Dynamic contraction behaviour of pneumatic artificial muscle," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 91, pp. 93–110, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ymsp.2017.01.001.
- [5] J. Sarosi, I. Biro, J. Nemeth, and L. Cveticanin, "Dynamic modeling of a pneumatic muscle actuator with two-direction motion," *Mech. Mach. Theory*, vol. 85, pp. 25–34, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.11.006.
- [6] A. Merola, D. Colacino, C. Cosentino, and F. Amato, "Model-based tracking control design, implementation of embedded digital controller and testing of a biomechatronic device for robotic rehabilitation," *Mechatronics*, vol. 52, pp. 70–77, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.mechatronics.2018.04.006.
- [7] H. Al-Fahaam, S. Nefti-Meziani, T. Theodoridis, and S. Davis, "The Design and Mathematical Model of a Novel Variable Stiffness Extensor-Contractor Pneumatic Artificial Muscle," *Soft Robot.*, vol. 5, no. 5, pp. 576–591, Oct. 2018, doi: 10.1089/soro.2018.0010.
- [8] T. D. C. Thanh and K. K. Ahn, "Nonlinear PID control to improve the control performance of 2 axes pneumatic artificial muscle manipulator using neural network," *Mechatronics*, vol. 16, no. 9, pp. 577–587, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.mechatronics.2006.03.011.
- [9] T. Wang, X. Chen, and W. Qin, "A novel adaptive control for reaching movements of an anthropomorphic arm driven by pneumatic artificial muscles," *Appl. Soft Comput.*, vol. 83, p. 105623, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105623.
- [10] E. Arabi, T. Yucelen, B. C. Gruenwald, M. Fravolini, S. Balakrishnan, and N. T. Nguyen, "A neuroadaptive architecture for model reference control of uncertain dynamical systems with performance guarantees," *Syst. Control Lett.*, vol. 125, pp. 37–44, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.sysconle.2019.01.005.