

# THIẾT KẾ PHÁT TRIỂN VÀ TỐI ƯU HÓA KẾT CẤU TAY GẤP MỀM ROBOT

## SOFT ROBOT GRIPPER DESIGN AND STRUCTURAL OPTIMIZATION

Phùng Văn Bình, Nguyễn Hải Nam, Trần Anh Vàng, Trần Xuân Trung

Khoa Hàng không Vũ trụ, Học viện Kỹ thuật Quân sự

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày về việc thiết kế phát triển và tối ưu kết cấu tay gấp mềm robot. Một phiên bản tay gấp mềm robot mới đã được phát triển và tích hợp lên tay robot 6 bậc tự do. Thiết bị đã có thể gấp các vật có hình dáng và kích thước khác nhau một cách linh hoạt và tự động. Để nâng cao khả năng gấp và giữ vật, phương pháp tối ưu hóa tham số thiết kế ngón tay mềm đã được đề xuất. Mô hình toán tối ưu hóa ngón tay mềm gồm bốn tham số, một ràng buộc và một tiêu chuẩn đã được xây dựng. Điều kiện ràng buộc và giá trị tiêu chuẩn của mô hình toán tối ưu được tính toán thông qua chương trình tính toán tự động được phát triển trên ngôn ngữ Python tích hợp với phần mềm Abaqus. Việc lựa chọn tham số thiết kế tối ưu được thực hiện bằng cách áp dụng giải thuật di truyền. Kết quả tìm kiếm cho thấy, phương án tối ưu tạo được lực kẹp lớn hơn đáng kể so với phương án hiện tại.*

**Từ khóa:** Tay gấp mềm; Tối ưu hóa thiết kế; Giải thuật di truyền; Chương trình tính tự động.

### ABSTRACT

*This paper presents the design, development, and structural optimization of a soft robot gripper. A new version of the gripper has been developed and integrated into a 6-degree-of-freedom robotic arm enabling it to pick up flexibly and automatically objects of different shapes and sizes. The method to optimize finger's geometical parameters has been proposed to improve its ability to grasp and hold objects. Its optimization model with four parameters, one constraint, and one criterion has been developed. These constraint and criterion were determined by an automatic calculation program written in Python and integrated to the Abaqus® software. The optimal design parameters were defined by means of the genetic algorithm. The results demonstrated that the optimal model generated a much higher clamping force than that generated by the existing model.*

**Keywords:** Soft gripper; Design optimization; Genetic algorithm; Automatic calculation program.

## 1. GIỚI THIỆU

Những năm gần đây, cơ cấu tay gấp mềm xuất hiện như là một xu thế mới để gấp các vật mềm, vật dễ vỡ, vật có hình dạng, kích thước đa dạng khi thực hiện một số công việc đặc thù như gấp thực phẩm [1], thu hoạch nông sản [2],... Tay gấp mềm phổ biến nhất là loại được chế tạo bằng vật liệu siêu đàn hồi dựa trên nguyên lý hoạt động của tay người. Cùm tay mềm được lắp ráp bởi nhiều ngón tay, mỗi ngón tay được cấu tạo bởi các khoang thông nhau và kết nối với hệ thống khí nén [3]. Cấu hình này đã đạt được thành công bước đầu khi được ứng dụng vào trong dây chuyền đóng gói thực phẩm và được thử nghiệm trong việc thu hoạch nông sản. Hiệu quả tích cực trong ứng dụng thực tế đã truyền cảm hứng cho rất nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới trong việc hoàn thiện và tối ưu hóa thiết kế các phiên bản tay gấp mềm khác nhau. Tuy nhiên, đặc trưng phi tuyến (hình học và vật liệu) của vật liệu siêu đàn hồi đã gây ra những khó khăn không nhỏ trong việc xây dựng mô hình tính toán và tối ưu hóa thiết kế tay gấp mềm. Đây là những thách thức đối với các nhà nghiên cứu trong việc xây dựng mô hình toán và tối ưu thiết kế tay gấp.

Đã có một số công trình đề cập đến việc tối ưu hóa thiết kế của tay gấp mềm. Ví dụ, công trình [4] đưa ra sự ảnh hưởng của một số tham số thiết kế của ngón tay mềm đến góc uốn và lực kẹp, sau đó lựa chọn phương án tốt nhất từ tập hợp các tham số đã khảo sát. Tuy nhiên, số lượng các phương án mà tác giả có thể khảo sát là không nhiều và phương pháp lựa chọn phương án thiết kế tối ưu cũng mang tính cảm quan chứ không dựa trên một thuật toán tối ưu cụ thể nào. Công trình [5] đã đưa ra được phương pháp tối ưu hóa tham số cho ngón tay mềm với 2 tham số thiết kế dựa vào sự kết hợp giữa phần mềm phân tích kết cấu bằng

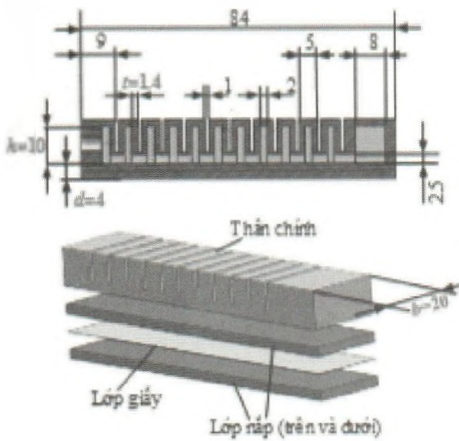
phương pháp phần tử hữu hạn Abaqus và phần mềm tối ưu hóa Isight (Dassault System, MA). Tuy nhiên, phương pháp tác giả sử dụng phụ thuộc vào phần mềm nên không có sự tùy biến linh hoạt.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một phương án thiết kế cải tiến của cùm tay gấp mềm và cách tiếp cận mới để tối ưu hóa thiết kế ngón tay mềm robot. Kết quả nghiên cứu sẽ được áp dụng cho việc phát triển các phiên bản tay gấp mềm của nhóm tác giả nhằm tìm ra các phiên bản hoàn thiện và có tính ứng dụng cao hơn trong điều kiện thực tế ở Việt Nam.

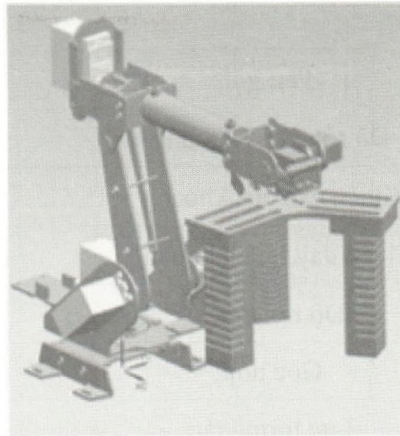
## 2. THIẾT KẾ, PHÁT TRIỂN CỤM TAY GẤP MỀM TÍCH HỢP VỚI TAY MÁY ROBOT

Nhằm khắc phục những hạn chế của các phiên bản tay gấp mềm đã có, nhóm tác giả phát triển một phiên bản tay gấp mềm mới có cấu tạo và kích thước như được thể hiện trên Hình 1. Phiên bản mới có hai ưu điểm chính đó là: cho phép tùy chỉnh vị trí của các ngón tay để gấp các vật có kích thước lớn nhỏ khác nhau và cho phép tích hợp vào tay máy robot 6 bậc tự do (mô hình tay máy ABB).

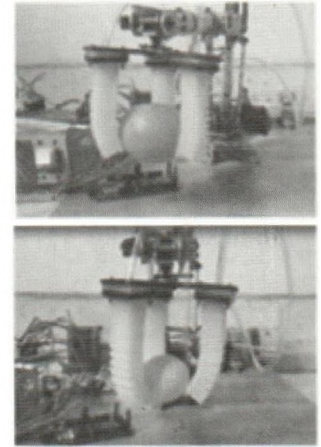
Ngón tay mềm được chế tạo bằng phương pháp đúc vật liệu silicon trong khuôn nhựa [3]. Sau khi được chế tạo, cùm tay mềm được tích hợp lên tay máy robot. Tiếp đó, thực nghiệm được tiến hành để đánh giá khả năng gấp và giữ vật của cùm tay gấp mềm khi được tích hợp lên tay máy robot. Kết quả cho thấy, cùm tay gấp mềm được phát triển có khả năng gấp, nâng vật lên, di chuyển và thả vật vào đúng vị trí yêu cầu một cách liên hoàn và hoàn toàn tự động. Thực nghiệm đã được thực hiện thành công đối với các vật mềm có hình dáng, kích thước khác nhau, ví dụ như các loại quả (cam, cà chua), vật dễ vỡ (trứng).



a) Cấu tạo ngón tay mềm



b) Tích hợp lên tay máy



c) Thực nghiệm gấp vật

Hình 1. Thiết kế, chế tạo và thử nghiệm cụm tay gấp mềm gắn trên tay máy robot

Để nâng cao khả năng gấp và giữ vật của cụm tay gấp mềm, nhằm đáp ứng nhu cầu thực tế ứng dụng, việc tối ưu hóa thiết kế ngón tay mềm đã được thực hiện và được trình bày ở phần tiếp theo.

### 3. TỐI ƯU HÓA KẾT CẤU TAY GẤP MỀM

#### 3.1. Mô hình bài toán tối ưu hóa

##### a) Các tham số thiết kế

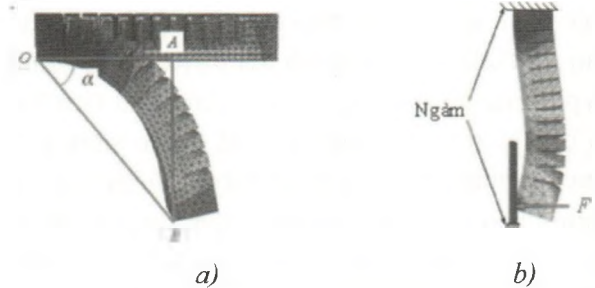
Bốn tham số thiết kế được thay đổi trong mô hình tối ưu là: độ rộng khoang  $b$ , chiều cao khoang  $h$ , chiều dày thành khoang  $t$  và độ dày đáy  $d$  (Hình 1). Khoảng giá trị của các tham số thiết kế này được lựa chọn dựa trên phương án thử nghiệm và khả năng chế tạo thực tế của ngón tay mềm, Bảng 1. Các kích thước còn lại của ngón tay mềm được coi là không đổi. Giá trị áp suất khí nén được sử dụng là  $P = 10$  kPa.

##### b) Điều kiện ràng buộc

Để đảm bảo khả năng gấp vật, điều kiện ràng buộc được đặt ra trong mô hình tối ưu này là góc uốn  $\alpha$  (Hình 2a) của ngón tay phải lớn

hơn một giá trị cho trước  $\alpha_{bd}$ . Trong khuôn khổ mô hình tối ưu này, giá trị  $\alpha_{bd}$  được lựa chọn bằng giá trị góc uốn của mẫu ngón tay mềm ban đầu (đã được chế tạo thành công và đã có khả năng gấp được vật, tương ứng với phương án "Ban đầu" trong các bảng của mục 3.4).

##### c) Hàm mục tiêu



Hình 2. Các đặc tính quan trọng của ngón tay mềm

Trong quá trình mô phỏng, vật được gấp được thay thế bằng một mặt phẳng cố định có hướng thẳng đứng. Khi đó, lực gấp vật thực tế sẽ tương ứng với lực tương tác  $F$  giữa mô hình ngón tay mềm và mặt phẳng (Hình 2b). Lực này được lựa chọn là hàm mục tiêu của mô hình toán tối ưu ngón tay mềm. Quá trình tối ưu hóa chính là quá trình cực đại hóa giá trị của lực  $F$ .

Bảng 1. Các tham số của bài toán tối ưu

	Tên gọi	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Tham số thiết kế	Độ rộng của khoang	b	[15 - 25]	mm
	Chiều cao của khoang	h	[7 - 15]	mm
	Chiều dày thành khoang	t	[1 - 2]	mm
	Độ rộng đáy	d	[2 - 4]	mm
Ràng buộc	Góc uốn	$\alpha$	$\alpha^3 \alpha_{\text{bđ}}$	độ
Mục tiêu	Lực tương tác	F	$F \text{ @ } F_{\text{max}}$	N

### 3.2. Xây dựng chương trình tự động tính toán giá trị tiêu chuẩn và ràng buộc

Mục tiêu của bài toán tối ưu hóa là tìm ra một bộ giá trị của các tham số b, t, h, d (một phương án thiết kế) sao cho góc uốn  $\alpha$  thỏa mãn điều kiện ràng buộc và lực tương tác F đạt giá trị lớn nhất. Việc tính toán được thực hiện trên phần mềm Abaqus. Với mỗi phương án thiết kế, phần mềm Abaqus phải thực hiện việc phân tích (bằng phương pháp phần tử hữu hạn - PTHH) để tìm ra bộ giá trị ( $\alpha$ , F). Để tìm ra phương án thiết kế tối ưu, cần phân tích tất cả các phương án thiết kế, sau đó so sánh kết quả với nhau. Phương pháp truyền thống khi sử dụng phần mềm Abaqus nói riêng và các phần mềm CAE nói chung có thể được tóm tắt lại thành 3 bước: 1 - Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn của kết cấu (tiền xử lý); 2 - Phân tích kết quả; 3 - Xử lý kết quả (hậu xử lý). Nếu sử dụng phương pháp này, đối với mỗi phương án thiết kế cần phải thực hiện đầy đủ cả ba bước nói trên. Khi đó, chi phí phân tích tất cả các phương án thiết kế sẽ rất lớn.

Để giảm chi phí (rút ngắn thời gian) tính toán và có thể khảo sát được nhiều phương án thiết kế khác nhau, nhóm nghiên cứu đã phát

triển một chương trình tự động hóa tính toán kết cấu ngón tay mềm bằng ngôn ngữ Python, sau đó tích hợp nó với bộ xử lý trên phần mềm Abaqus, nhờ đó quá trình phân tích được thực hiện hoàn toàn tự động [3]. Ở giai đoạn tiền xử lý, chương trình này cho phép tham số hóa kích thước hình học và xây dựng mô hình PTHH của tay gấp. Sau khi người dùng nhập bộ giá trị (b, t, h, d), chương trình sẽ tự động phân tích, lưu kết quả và đề nghị người dùng cập nhật bộ giá trị mới để tiếp tục. Ở giai đoạn hậu xử lý, chương trình tự động truy cập, sắp xếp và hiển thị kết quả dưới dạng bảng và dạng đồ thị.

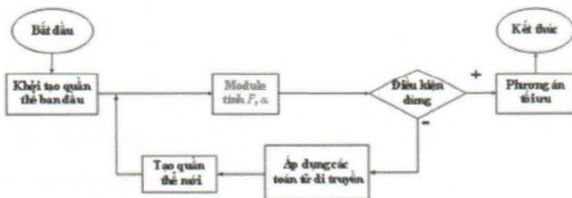
Cách tiếp cận này cho phép rút ngắn giai đoạn tiền xử lý và hậu xử lý, đồng thời cho phép giai đoạn xử lý được thực hiện liên tục và hoàn toàn tự động. Nhờ đó, tổng thời gian để tính toán một phương án thiết kế đã giảm đáng kể. Ngoài ra, quá trình đánh giá và phân tích kết quả cũng trở nên dễ dàng hơn.

### 3.3. Giải bài toán tối ưu hóa bằng giải thuật di truyền

Để tối ưu hóa thiết kế ngón tay mềm, nhiều phương án thiết kế khác nhau cần được khảo sát. Mặc dù chương trình tự động tính

toán giúp giảm chi phí tính toán đã được xây dựng, nhưng nếu phương án tối ưu được xác định bằng cách phân tích tất cả các phương án thiết kế thì chi phí tính toán vẫn ở mức rất cao. Để tiếp tục giảm chi phí tính toán, nhóm nghiên cứu đã sử dụng giải thuật di truyền [6] để giải bài toán tối ưu hóa này. Quy trình tối ưu hóa kết cấu ngón tay mềm được xây dựng nhờ thuật toán di truyền được thể hiện trên Hình 3. Đầu tiên, một số bộ giá trị của các tham số (được gọi là quần thể) sẽ được khởi tạo một cách ngẫu nhiên và được đưa vào chương trình tự động tính toán. Những bộ giá trị cho kết quả không tốt sẽ bị loại bỏ, ngược lại, những bộ giá trị cho kết quả tốt được giữ lại, làm cơ sở để xây dựng một quần thể các bộ giá trị mới (thông qua các toán tử di truyền như chọn lọc, lai tạo, đột biến) để cải thiện kết quả đạt được. Quá trình này được lặp lại cho đến khi số vòng lặp đạt đến một giá trị cho trước. Bộ giá trị được sử dụng trong vòng lặp cuối cùng chính là bộ giá trị tối ưu.

Với giải thuật di truyền, ta không cần thiết phải xem xét tất cả các bộ giá trị có thể xuất hiện, thay vào đó, ta chỉ cần phân tích các bộ giá trị tiềm năng. Điều này giúp giảm chi phí tính toán.

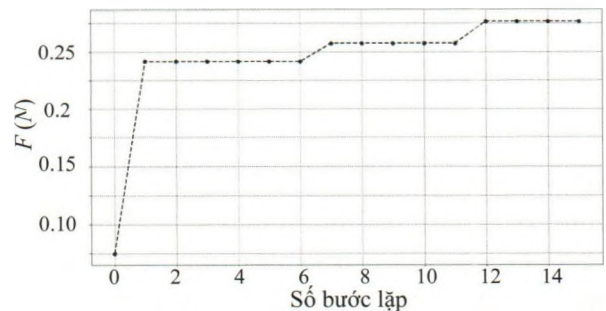


Hình 3. Sơ đồ thuật toán tối ưu hóa lực tương tác F sử dụng giải thuật di truyền

### 3.4. Kết quả

Kết quả tối ưu hóa giá trị lực tương tác F được thể hiện trên Hình 4. Giá trị lực F tăng

dần sau các bước lặp, từ 0,075 N ở phương án ban đầu đến 0,277 N (tăng 269 %) sau 15 vòng lặp. Bộ giá trị của các tham số thiết kế tìm được ở một số bước lặp khác nhau được thể hiện trong Bảng 2. Từ vòng lặp thứ 12 trở đi, giá trị của lực F được giữ ở mức ổn định. Do đó, bộ tham số tìm được ở vòng lặp thứ 15 được coi là bộ tham số thiết kế tối ưu.



Hình 4. Kết quả tối ưu lực tương tác F của ngón tay mềm (với  $P = 10 \text{ kPa}$ )

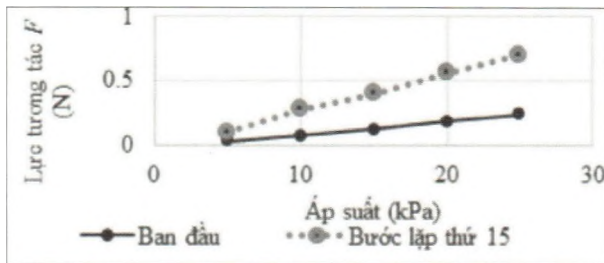
Kết quả so sánh giá trị của lực F tương ứng với các áp suất khác nhau được thể hiện trong Bảng 3 và trên Hình 5. Giá trị lực F tối ưu tìm được lớn hơn rõ rệt so với phương án ban đầu. Ngoài ra, phương án tối ưu tìm được cũng có giá trị góc uốn  $\alpha$  lớn hơn so với phương án ban đầu, đảm bảo thỏa mãn điều kiện đặt ra của mô hình toán tối ưu.

Bảng 2. Các phương án thiết kế trong quá trình tối ưu hóa (với  $P = 10 \text{ kPa}$ )

Phương án thiết kế	b (mm)	t (mm)	h (mm)	d (mm)	$\alpha$ (độ)	F (N)
Ban đầu	20	1,5	10	4,0	42,25	0,075
Bước lặp thứ 15	23	1,1	15	3,6	58,12	0,277

Bảng 3. Lực tương tác F của các phương án thiết kế theo áp suất

Phương án thiết kế	Áp suất (kPa)				
	5	10	15	20	25
Ban đầu	0,031	0,075	0,130	0,186	0,245
Bước lặp thứ 15	0,107	0,277	0,401	0,559	0,700



Hình 5. Lực tương tác  $F$  của các phương án thiết kế theo áp suất

#### 4. KẾT LUẬN

Một phiên bản mới của ngón tay gấp mềm với thiết kế tối ưu đã được chế tạo. Chúng được làm bằng vật liệu silicon, hoạt động dưới tác dụng của khí nén và đã được tích hợp tay máy robot 6 bậc tự do cấu hình ABB. Thử nghiệm cho thấy, cụm tay gấp mềm khi tích hợp lên tay máy đã có khả năng gấp/thả các vật có hình dáng, kích thước khác nhau vào đúng vị trí yêu cầu một cách liên hoàn và hoàn toàn tự động. Để nâng cao khả năng gấp giữ vật, việc tối ưu hóa thiết kế theo bộ 4 kích thước hình học quan trọng của ngón tay được thực hiện bằng giải thuật di truyền, thông qua một chương trình tự động tính toán được phát triển trên cơ sở ngôn ngữ lập trình Python và được tích hợp vào phần mềm Abaqus. Đây là một cách tiếp cận mới, cho phép tự động hóa quá trình tính toán và giảm chi phí tính toán khi giải bài toán tối ưu hóa thiết kế. Kết quả thử nghiệm đã khẳng định tính đúng đắn của phương pháp. Cách tiếp cận này có thể được áp dụng cho các bài toán tối ưu hóa kết cấu của các đối tượng khác. ❖

Ngày nhận bài: 25/5/2022

Ngày phản biện: 02/6/2022

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Z. Wang, Y. Torigoe, and S. Hirai; "A Prestressed Soft Gripper: Design, Modeling, Fabrication, and Tests for Food Handling," IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 2, no. 4, pp. 1909–1916, 2017, doi: 10.1109/LRA.2017.2714141.
- [2]. E. Navas, R. Fernández, D. Sepúlveda, M. Armada, and P. Gonzalez-De-santos; "Soft grippers for automatic crop harvesting: A review," Sensors, vol. 21, no. 8, 2021, doi: 10.3390/s21082689.
- [3]. H. M. D. Van Binh Phung, Quoc Anh Nguyen, Trong Hoang Nguyen, Anh Vang Tran; "Determination of hyper-elastic material parameters and automatic computation for the soft-robotic gripper (in Vietnamese)," J. Sci. Technol., vol. 57, no. 3, pp. 1–11, 2021.
- [4]. F. Yang et al.; "Design and Optimize of a Novel Segmented Soft Pneumatic Actuator," IEEE Access, vol. 8, pp. 122304–122313, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006865.
- [5]. Z. Wang and S. Hirai; "Geometry and Material Optimization of a Soft Pneumatic Gripper for Handling Deformable Object," 2018 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics, ROBIO 2018, pp. 612–617, 2018, doi: 10.1109/ROBIO.2018.8665234.
- [6]. B. V. Phuong, S. S. Gavriushin, D. H. Minh, P. V. Binh, N. V. Duc, and V. C. Thanh; "The Impact of Interactive Visualization on Trade-off-Based Decision-Making Using Genetic Algorithm: A Case Study," in AIMEE 2020: Advances in Artificial Systems for Medicine and Education IV, 2021, vol. 1, pp. 248–258, doi: 10.1007/978-3-030-67133-4\_23.