



DOI:10.22144/ctujos.2023.159

## THIẾT KẾ VÀ PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG MÁY CẮT VẢI TỰ ĐỘNG

Ngô Quốc Vinh, Phạm Thành Tâm, Phạm Phương Tùng và Nguyễn Quốc Chí\*

Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Quốc Chí (email: ngchi@hcmut.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 09/02/2023

Ngày nhận bài sửa: 08/03/2023

Ngày duyệt đăng: 10/03/2023

### Title:

Design and development of an automatic fabric-cutting machine system

### Từ khóa:

Giác sơ đồ, máy cắt vải, phần mềm Deepnest

### Keywords:

Deepnest software, fabric-cutting machine, nesting problem

### ABSTRACT

The garment manufacturing industry has recently contributed significantly to Vietnam's export turnover. However, most of the production stages are manual or semi-automation. Automating production processes is essential to improve the quality and quantity of garment products. This paper introduces a budget design of an automatic fabric-cutting machine system. The machine consists of a gantry system and an oscillating knife. A testbed was constructed to verify the designed system. In fabric-cutting machines, the placement of the parts on a sheet such that the material used is minimal, known as the nesting problem, is a matter of concern. In this study, the designed fabric-cutting machine system uses an open-source tool called Deepnest, developed based on the No Fit Polygon and the genetic algorithms to deal with the nesting problem.

### TÓM TẮT

Hiện nay, ngành sản xuất các sản phẩm may mặc đóng góp một phần không nhỏ vào kim ngạch xuất khẩu Việt Nam. Tuy nhiên, phần lớn các công đoạn sản xuất ở nước ta hiện nay đều được thực hiện thủ công. Để nâng cao chất lượng và sản lượng các sản phẩm may mặc, việc tự động hóa các quy trình sản xuất là vấn đề cấp thiết. Bài báo này giới thiệu một thiết kế của hệ thống máy cắt vải tự động. Máy được thiết kế bao gồm một bàn máy ba bậc tự do và một hệ thống dao cắt rung, được dẫn động bởi hệ thống các động cơ AC servo. Một mô hình thực nghiệm được xây dựng để kiểm tra hệ thống bàn máy được thiết kế. Trong các hệ thống cắt vải, việc bố trí các mảnh cần cắt lên trên một tấm vật liệu để giảm thiểu vật liệu hao phí, được gọi là bài toán giác sơ đồ, là một vấn đề rất đáng được quan tâm. Trong nghiên cứu này, hệ thống máy cắt vải sử dụng công cụ mã nguồn mở Deepnest, dựa trên thuật toán No Fit Polygon và giải thuật di truyền được, để xây dựng sơ đồ cắt tối ưu cho hệ thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy thiết kế máy cắt vải được đề xuất trong bài báo này có thể đạt được hiệu năng cao với chi phí đầu tư thấp.

## 1. GIỚI THIỆU

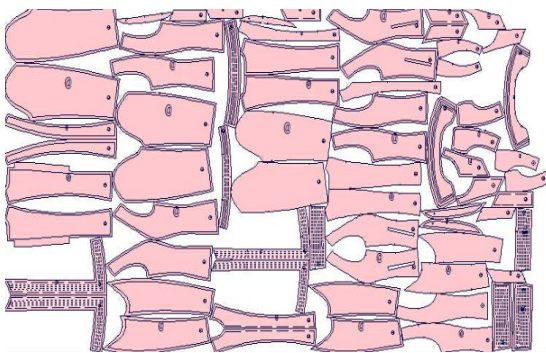
Hiện nay, ngành dệt may đóng góp một phần không nhỏ vào kim ngạch xuất khẩu Việt Nam. Trong nhiều năm, ngành may Việt Nam là ngành có

tốc độ tăng trưởng và kim ngạch xuất khẩu lớn nhất trong các mặt hàng xuất khẩu (2010-2015 tăng trưởng toàn ngành đạt trung bình 15%, 2017 xuất khẩu toàn ngành 31.16 tỉ USD và 39 tỉ USD vào 2019). Nhưng đặc biệt, sau khi chịu ảnh hưởng nặng

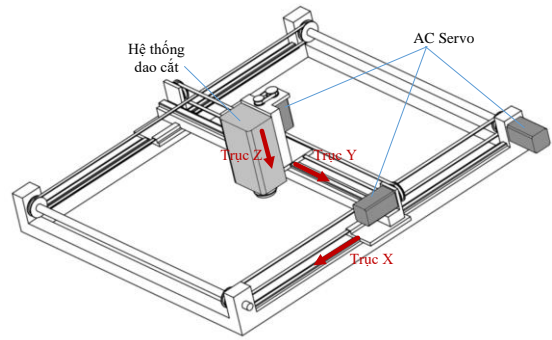
nề của Covid-19, xuất khẩu hàng dệt may đã vượt qua khó khăn duy trì đà tăng trưởng tốt trong năm 2021 (tăng 0,3% so với năm 2019). Trong năm 2022, xuất khẩu dệt may đạt gần 44 tỷ USD.

Với việc tự động hóa quá trình sản xuất, chất lượng và sản lượng các sản phẩm may mặc có thể được đẩy mạnh. Trong khâu sản xuất của các sản phẩm may mặc, công đoạn cắt vải đóng vai trò rất quan trọng, ảnh hưởng lớn đến năng suất và chất lượng sản phẩm. Các thiết bị tự động như máy trải vải nhiều lớp và máy cắt vải nhiều lớp có thể được ứng dụng để nâng cao tính tự động hóa trong quá trình sản xuất (Wong, 2003; Phakphonhamin & Chudokmai, 2018; Vilumsone-Nemes, 2018; Gahm, 2022). Trong quá trình này, nhiều lớp vải được trải tự động lên bề mặt, bàn máy được điều khiển tự động dưới sự trợ giúp của máy tính (máy CNC) sau đó được sử dụng để cắt vải dựa theo sơ đồ cắt được thiết lập trước đó.

Sơ đồ cắt là một sơ đồ bố trí các mảnh chi tiết cần cắt lên trên một tấm vật liệu (Hình 1). Quá trình bố trí này trong lĩnh vực may mặc được gọi là giác sơ đồ. Việc thực hiện bố trí sơ đồ cắt thủ công có thể dẫn đến lãng phí vật liệu, làm tăng chi phí sản xuất. Tối ưu hóa sơ đồ cắt là bài toán bố trí các hình cần cắt lên trên một bề mặt vật liệu với mục tiêu tối thiểu lượng vật liệu cần sử dụng (Qin et al., 2021; ElShishtawy et al., 2022). Việc tối ưu này giúp tiết kiệm được vật liệu khi cắt, dẫn đến tác động tích cực về cả kinh tế lẫn hệ sinh thái. Đây là vấn đề được chú trọng trong nhiều ngành sản xuất công nghiệp. Giải quyết được vấn đề này cũng đóng một phần to lớn trong việc hạn chế bớt đi sử dụng tài nguyên thiên nhiên. Hiện nay, có một số đơn vị đã phát triển các phần mềm để giải quyết bài toán giác sơ đồ, tuy nhiên, giá thành các phần mềm thương mại này tương đối cao. Điển hình như phần mềm NestFab (www.nestfab.com), chi phí sử dụng phần mềm này tầm khoảng 2.250 USD cho một người dùng.



Hình 1. Sơ đồ cắt



Hình 2. Sơ đồ hệ thống máy cắt vải

Mục đích của nghiên cứu này là thiết kế một hệ thống cắt vải tự động. Kết quả nghiên cứu là một bản thiết kế máy bao gồm một bàn máy 3 bậc tự do, dẫn hướng bằng các động cơ AC servo thông qua bộ truyền đai và bộ truyền vít me bi. Thiết kế của hệ thống dao cắt rung cũng được giới thiệu trong bài báo. Giải pháp giác sơ đồ của máy cắt vải được thiết kế trong nghiên cứu này là sử dụng phần mềm mã nguồn mở Deepnest nhằm giảm thiểu chi phí đầu tư cho máy. Một mô hình thực nghiệm được xây dựng để kiểm tra độ chính xác của hệ thống bàn máy được thiết kế.

## 2. HỆ THỐNG MÁY CẮT VẢI

### 2.1. Bàn máy

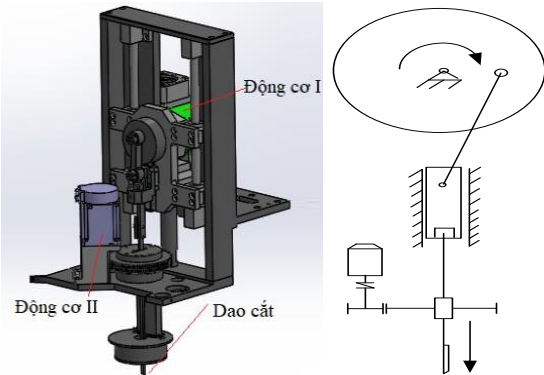
Máy cắt vải tự động được thiết kế bao gồm một bàn máy ba trục (Hình 2) và một hệ thống dao cắt được lắp trên đầu công tác. Cả ba trục của bàn máy được dẫn động bởi các động cơ AC servo. Hai trục X và Y được dẫn động bởi bộ truyền đai, trong khi trục Z được dẫn động bởi bộ truyền vít me bi.

### 2.2. Hệ thống dao cắt

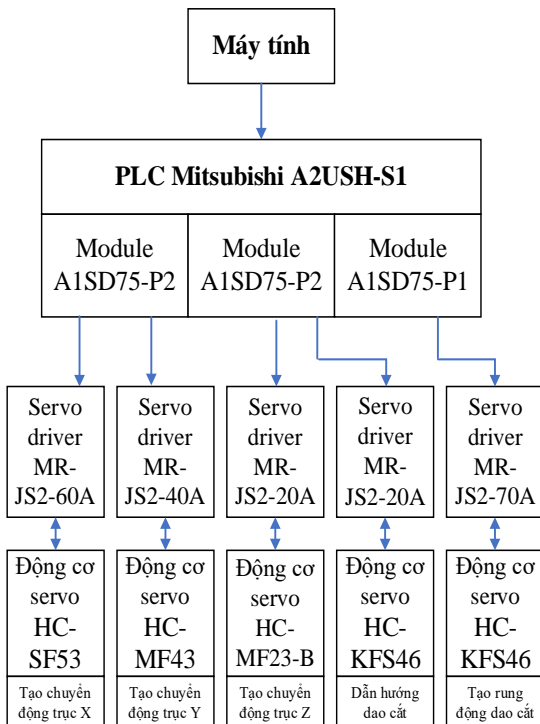
Quá trình cắt trong dệt may được thực hiện bằng dao được sử dụng rộng rãi. Một đầu cắt có thể mang nhiều loại dao cắt khác nhau, phục vụ cho nhiều công đoạn cắt khác nhau. Việc lựa chọn dao nào phụ thuộc vào loại vật liệu và độ phức tạp của đường cắt. Đường bao của vật liệu cắt có thể được thực hiện bằng dao tròn, dao khắc, dao rung; mũi đục dùng để tạo lỗ. Trong các loại đó, dao rung có đặc điểm là lưỡi dao di chuyển lên và xuống với tần số nhất định (Cosson-Coche et al., 2017). Dao này phù hợp cho trường hợp đối tượng được cắt gồm nhiều lớp vật liệu mỏng xếp chồng lên nhau, có biên dạng phức tạp. Với yêu cầu cắt trải vải nhiều lớp, dao rung được sử dụng trong hệ thống được thiết kế.

Cụm dao cắt được thiết kế như Hình 3. Cụm dao cắt yêu cầu hai động cơ để tạo chuyển động cắt. Động cơ I thông qua cơ cấu tay quay con trượt tạo

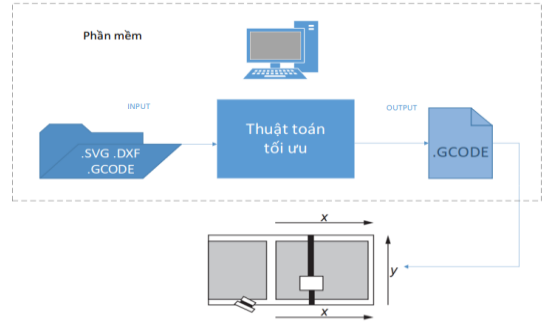
chuyển động tịnh tiến lên xuống với một tần số cho trước. Tần số dao động của dao cắt có thể được điều chỉnh thông qua việc điều khiển tốc độ của động cơ I. Tùy theo từng loại vật liệu khác nhau mà tần số dao động mong muốn của dao được lựa chọn khác nhau. Thiết kế của máy cho phép tạo ra dao động tới mức tần số 100 Hz. Trong khi đó, động cơ II được sử dụng để điều hướng mũi dao, xoay lưỡi dao cắt theo các góc khác nhau để xử lý các biên dạng cong khác nhau. Cả hai động cơ đều sử dụng động cơ AC servo HC-KFS46.



Hình 3. Cụm dao cắt vải



Hình 4. Hệ thống điện của máy cắt



Hình 5. Quy trình vận hành của máy

### 2.3. Hệ thống điện và điều khiển

Hệ thống điện-điều khiển của máy được mô tả trong Hình 4. Dữ liệu biên dạng cần cắt được xử lý trên máy tính và sau đó được gửi xuống PLC Mitsubishi A2USH-S1 dưới dạng Gcode, thông qua cổng truyền thông RS 422. Từ dữ liệu nội suy đó, các module điều khiển vị trí A1SD75-P2/P1 gửi tín hiệu cho các AC servo ở các trục của bàn máy và cụm dao cắt để thực hiện hành trình.

### 3. TỐI ƯU HÓA SƠ ĐỒ CẮT

Quy trình vận hành của máy cắt vải tự động được mô tả trong Hình 5: (i) Dữ liệu của các hình cần cắt (biên dạng và số lượng) được chuẩn bị; (ii) Tất cả các hình cần cắt được bố trí trên một vùng không gian hình chữ nhật; (iii) Sơ đồ bố trí đó được chuyển đổi thành Gcode và gửi đến cho bộ điều khiển khả trình (PLC). Trong quy trình đó, việc bố trí sơ đồ cắt ở bước (ii) có ảnh hưởng lớn đến chi phí vật liệu gia công và tác động đến lợi ích về kinh tế. Bài toán bố trí sơ đồ cắt gọi là nesting problem (Hopper & Turton, 2001), nó còn có một tên gọi khác là giác sơ đồ.

Bài toán giác sơ đồ bao gồm hai vấn đề: (i) bố trí các hình cần cắt lên một diện tích vật liệu, sao cho các mảnh không chồng chất lên nhau; (ii) tối ưu hóa diện tích vật liệu sử dụng. Hai vấn đề này có thể được xử lý thông qua giải thuật No Fit Polygon (NFP) (Lou & Rao, 2022) và giải thuật di truyền (GA) (Terashima-Marín et al., 2010; López-Camacho et al., 2013).

No Fit polygon là một phương pháp quỹ tích để giải quyết bài toán bố trí các hình lên trên một diện tích sao cho các hình không bị chồng chất lên nhau (Kendall, 2000; Burke et al., 2007). Phương pháp này được giới thiệu bởi Burke et al. (2006). Ý tưởng của phương pháp này được mô tả trong Hình 6. Xem xét hai hình đa giác A và B, trong đó, đa giác A cố định và đa giác B tịnh tiến xung quanh đa giác A. Một điểm tham chiếu R nằm trên đa giác B được lựa

chọn. Chúng ta sẽ xác định quỹ tích của điểm R để đảm bảo đa giác B luôn chạm vào đa giác A mà không chồng lên nó. Quỹ tích của điểm R khi ấy được gọi là đường NFP của đa giác A đối với đa giác B (đường màu xanh trong Hình 6).

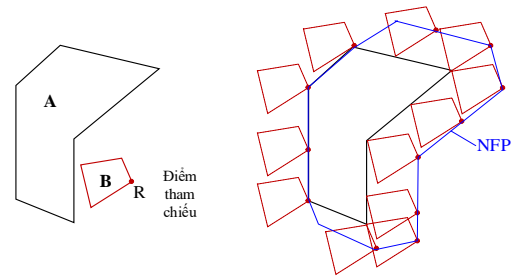
Khi đã xác định đường NFP, việc kiểm tra chồng chéo lên nhau của hai hình tương đương với việc kiểm tra điểm tham chiếu R có nằm trên đường NFP hay không. Phép toán Minkowski different có thể được sử dụng xác định đường NFP giữa hai đa diện lồi bất kỳ A và B. Nhưng đối với những đa diện lõm hoặc có phần lõm bên trong lớn NFP cũng theo đó có thêm biên dạng thứ 2 nằm bên trong biên dạng tính toán bên ngoài. Trong trường hợp đó, kỹ thuật được phát triển bởi Bennell & Song (2008) được sử dụng để xây dựng đường NFP.

Giải thuật NFP cho phép bố trí các hình đa giác chạm sát nhau mà không bị chồng chất lên nhau. Tuy nhiên, trong giải thuật này, các hình đa giác chỉ tịnh tuyến mà không xoay và thứ tự đặt các hình đa giác cũng được xác định trước. Giác sơ đồ có thể được tối ưu hơn khi ta xem xét xoay các hình đa giác phù hợp. Bên cạnh đó, việc bố trí các hình lớn trước, sau đó đặt các hình nhỏ vào sau cũng có thể giảm thiểu diện tích cần sử dụng. Để tối ưu hóa sơ đồ, giải thuật di truyền (GA) được sử dụng để (i) xác định các hình cần xoay và xoay chúng một cách phù hợp cũng như (ii) tìm thứ tự bố trí của các hình.

Dựa trên kỹ thuật NFP và GA được trình bày trên, công cụ bố trí sơ đồ SVGnest đã được phát triển (svgnest.com). Giải pháp giác sơ đồ của máy cắt vải được thiết kế trong nghiên cứu này là sử dụng phần mềm mã nguồn mở Deepnest (Qiao, 2018), được phát triển dựa trên công cụ SVGnest.

Deepnest cho phép nhập nhiều mảnh với nhiều hình dạng khác nhau thông qua các file dạng SVG, DXF và corel CDR. Nó sẽ tiến hành ghép các mảnh lại với nhau và bố trí chúng lên một mặt phẳng một cách tối ưu về diện tích, nhằm giảm thiểu vật liệu dư thừa. Nó cũng cho phép xoay các mảnh để có thể tăng tính tối ưu của sơ đồ cắt. Sau đó, dữ liệu sơ đồ cắt tối ưu sẽ được chuyển đổi thành Gcode và giao tiếp với máy CNC cắt vải để tiến hành cắt theo sơ đồ. Hình 7 cho thấy kết quả bố trí 470 mảnh cần cắt lên trên một tấm vật liệu có kích thước 800x1200 mm, sử dụng phần mềm thương mại NestFab và giải thuật NFP và GA trong công cụ Deepnest. Kết quả cho thấy ở phần mềm NestFab, sơ đồ được bố trí sử dụng 75,3% diện tích vật liệu, trong khi đó, công cụ Deepnest cũng đạt được hiệu quả tương đương: sơ đồ bố trí sử dụng 73,91% diện tích vật liệu. Điều đó cho thấy công cụ Deepnest có thể được sử dụng để

giảm thiểu chi phí về phần mềm cho máy cắt vải tự động.



Hình 6. Hoạt động của thuật toán NFP



Hình 7. Sơ đồ cắt được tối ưu: (a) Sử dụng phần mềm thương mại NestFab (75.3%) và (b) sử dụng giải thuật NFP và GA trong công cụ Deepnest (73.91%)

#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa trên thiết kế, mô hình thực nghiệm của máy cắt vải được gia công chế tạo như Hình 8. Một nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện để kiểm tra sai số của bàn máy cắt vải được thiết kế. Trong nghiên cứu này, ta thực hiện việc bố trí 28 mảnh với hình dạng và kích thước đa dạng lên trên một tấm bìa giấy có kích thước 200x150 mm. Kết quả cắt các mảnh trên tấm bìa giấy với chiều sâu cắt là 1 mm được trình bày trong Hình 9.

Để kiểm tra sai số của hệ thống cắt vải, ta dựa trên quá trình tạo rập để đo cắt bản mẫu trong ngành may:

(i) In sơ đồ mẫu thiết kế lên tờ A4 với tỉ lệ 1:1, căng chỉnh sơ đồ trên theo biên dạng đã cắt được.

(ii) Chọn 3 hình A, B và C đã cắt như trong Hình 9 để đo sai số, thực hiện xác định sai lệch pixel bằng một số phần mềm chỉnh sửa ảnh.

(iii) Xác định pixel tương ứng với kích thước tấm foam: Tấm foam có kích thước  $w = 200$  mm và  $h = 150$  mm tương ứng với  $w_0 = 929$  pixel và  $h_0 = 693.5$  pixel.

(vi) Đo sai lệch pixel theo phương ngang và phương đứng của biên dạng cần đo, kết quả đo sai lệch được mô tả trong Bảng 1, trong đó  $\Delta w_p$ ,  $\Delta w_t$ ,  $\Delta h_t$ , và  $\Delta h_d$  lần lượt là kích thước sai lệch bên phải, bên trái, bên trên và bên dưới của mỗi hình đo.

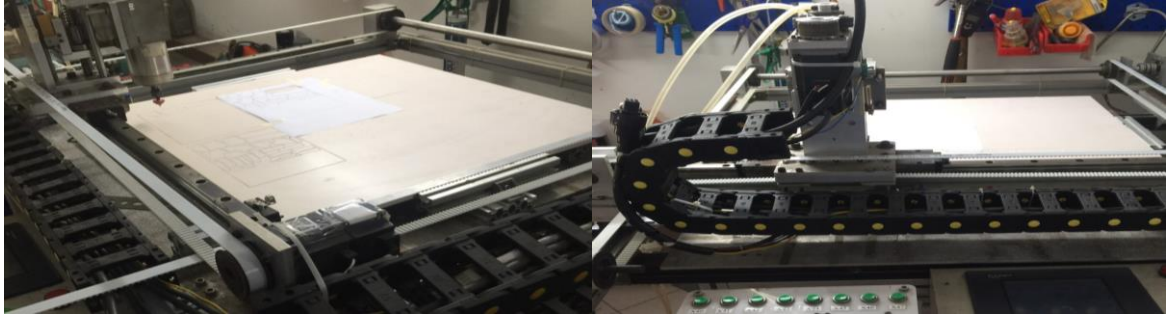
(v) Tính toán các kết quả sai lệch.

Sai lệch theo phương ngang được xác định như sau:

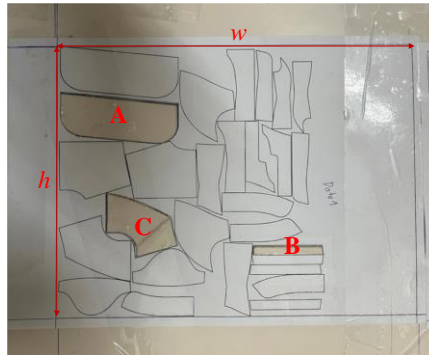
$$\Delta W = \left| \frac{200}{2w_0} (\Delta \bar{w}_p + \Delta \bar{w}_t) - R \right| = \left| \frac{200}{2 \times 929} (5.6 + 5.27) - 1 \right| = 0,17 \text{ mm} \quad (1)$$

**Bảng 1. Sai lệch đo được**

Lần đo	Hình đo	$\Delta w_p$ (pixel)	$\Delta w_t$ (pixel)	$\Delta h_t$ (pixel)	$\Delta h_d$ (pixel)
1		4	8	3	7
2		5	8	3	7
3		6	8	3	7
4		7	9	5	7
5	A	3	8	6	7
6		3	8	4	7
7		3	8	3	6
8		5	8	3	7
9		4	7	3	7
10		4	8	4	7
11		6	4	3	7
12		8	5	4	8
13		8	4	4	7
14		7	4	4	7
15	B	8	4	5	6
16		8	5	6	8
17		8	5	5	6
18		8	4	6	8
19		7	4	3	7
20		8	4	5	8
21		7	5	3	6
22		6	4	5	5
23		4	3	5	7
24		5	3	7	5
25	C	4	2	5	6
26		3	4	4	5
27		6	4	3	5
28		4	3	4	5
29		5	3	5	6
30		4	4	4	5
Giá trị trung bình		$\Delta \bar{w}_p = 5.6$	$\Delta \bar{w}_t = 5.27$	$\Delta \bar{h}_t = 4.23$	$\Delta \bar{h}_d = 6.53$



**Hình 8. Mô hình thực nghiệm máy cắt vải**



**Hình 9. Kết quả cắt**

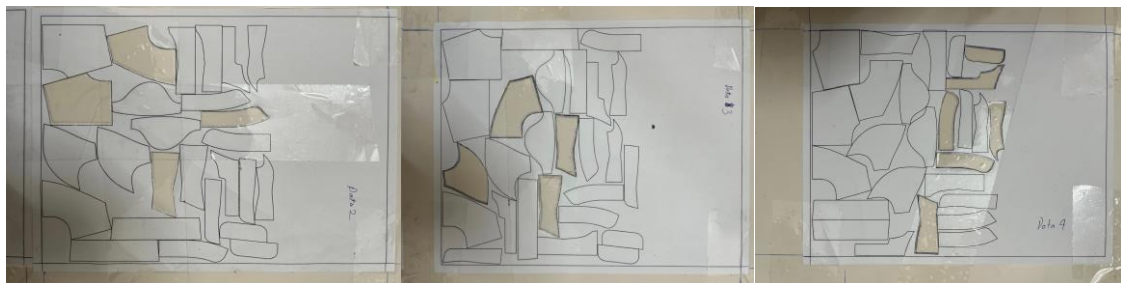
trong đó,  $R$  là bán kính dao cắt. Sai lệch theo phương đứng được xác định như sau:

$$\Delta H = \left| \frac{150}{2h_0} (\Delta \bar{h}_t + \Delta \bar{h}_d) - R \right|$$

$$= \left| \frac{150}{2 \times 693.5} (4.23 + 6.53) - 1 \right| = 0.16 \text{ mm} \quad (2)$$

Thực hiện lại các bước trên với 3 sơ đồ bố trí khác nhau (Hình 10). Kết quả giá trị sai lệch tính toán được thể hiện trong Bảng 2.

Dựa trên kết quả thực nghiệm có thể thấy sai số của bản máy là tương đối nhỏ và phù hợp cho các ứng dụng cắt vải.



(a)

(b)

(c)

**Hình 10. Kết quả cắt với các mẫu bố trí hình cắt khác nhau**

**Bảng 2. Sai lệch theo phương ngang  $\Delta W$  và phương dọc  $\Delta H$**

Mẫu	$\Delta W$ (mm)	$\Delta H$ (mm)
(a)	0,11	0,04
(b)	0,15	0,23
(c)	0,17	0,09

## 5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một hệ thống máy cắt vải tự động với chi phí đầu tư thấp được nghiên cứu và phát triển. Hệ thống máy sử dụng phần mềm Deepnest để xây dựng sơ đồ cắt tối ưu. Sơ đồ cắt này cho phép tối thiểu lượng vải cần sử dụng trong quá trình gia công, qua đó, giảm thiểu chi phí sản xuất.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Burke, E. K., Hellier, R., Kendall, G., & Whitwell, G. (2007). Complete and robust nofit polygon generation for the irregular stock cutting problem. *European Journal of Operational Research*, 179(1), 27–49. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.03.011>
- Cosson-Coche, Q., Cahuc, O., Darnis, P., Laheurte, R., Teissandier, D., & Chabirand, D. (2017). Experimental study on cutting flexible sheet materials using an oscillating knife. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 29(3), 349-365. <https://doi.org/10.1108/IJCST-05-2016-0058>
- El-Shishtawy, N., Sinha, P., & Bennell, J. A. (2022). A comparative review of zero-waste fashion design thinking and operational research on cutting and packing optimisation. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 15(2), 187-199. <https://doi.org/10.1080/17543266.2021.1990416>
- Gahm, C., Uzunoglu, A., Wahl, S., Ganschietz, C., & Tuma, A. (2022) Applying machine learning for the anticipation of complex nesting solutions in hierarchical production planning. *European Journal of Operational Research*, 296(3), 819-836. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.04.006>
- Hopper, E., & Turton, B. C. (2001). A review of the application of meta-heuristic algorithms to 2D strip packing problems. *Artificial Intelligence Review*, 16(4), 257-300. <https://doi.org/10.1023/A:1012590107280>
- Bennell, J. A., & Song, X. (2008). “A comprehensive and robust procedure for obtaining the nofit polygon using Minkowski sums,” *Computers & Operations Research*, 35(1), 267–281. doi: 10.1016/j.cor.2006.02.026.
- Kendall, G. (2000). Applying meta-heuristic algorithms to the nesting problem utilizing the no fit polygon PhD Thesis. Nottingham: University of Nottingham.
- López-Camacho, E., Ochoa, G., Terashima-Marín, H., & Burke, E. K. (2013). An effective heuristic for the two-dimensional irregular bin packing problem. *Annals of Operations Research*, 206, 241-264. <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1341-4>
- Luo, Q., & Rao, Y. (2022). Improved sliding algorithm for generating no-fit polygon in the 2D irregular packing problem. *Mathematics*, 10(16), 2941. <https://doi.org/10.3390/math10162941>
- Phakphonhamin, V., & Chudokmai, M. (2018, May). Optimizing the performance of the LECTRA automatic fabric cutting machine. In *2018 5th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)* (pp. 282-287). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICBIR.2018.8391207>
- Qiao, J., Deepnest - open source nesting software, deepnest.io, 2018. <https://deepnest.io/>
- Qin, X., Jin, L., & Zheng, H. (2021). 2D Irregular Optimization Nesting Method based on Adaptive Probabilistic Genetic Simulated Annealing Algorithm. *Computer-Aided Design & Applications*, 18, 242-257. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.242-257>
- Terashima-Marín, H., Ross, P., Farías-Zárate, C. J., López-Camacho, E., & ValenzuelaRendón, M. (2010). Generalized hyper-heuristics for solving 2D regular and irregular packing problems. *Annals of Operations Research*, 179(1), 369–392. <https://doi.org/10.1007/s10479-008-0475-2>
- Vilumsone-Nemes, I. (2018). *Industrial cutting of textile materials*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102122-4.00007-X>
- Wong, W. K. (2003). A fuzzy capacity-allocation model for computerised fabric-cutting systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(9), 699-711. <https://doi.org/10.1007/s00170-002-1386-z>