

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO BÀN CÁT VẼ TRANH NGHỆ THUẬT

RESEARCH ON THE DESIGN AND MANUFACTURING OF AN ARTISTIC SAND DRAWING TABLE

Nguyễn Minh Triều¹, Vũ Tường Quyên², Trịnh Thùy Anh², Nguyễn Trường Thịnh^{1*}

¹Viện Công nghệ Thông minh và Tương tác, Đại học Kinh tế TP. Hồ Chí Minh

²Khoa Thiết kế Truyền thông, Đại học Kinh tế TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Nhu cầu trang trí nội thất ngày càng tăng cao trong thời đại ngày nay, đặc biệt là đối với những người có niềm đam mê nghệ thuật, không chỉ đơn thuần tìm kiếm những sản phẩm nội thất thông thường mà còn muốn sở hữu những món đồ độc đáo, hiện đại và mang tính thẩm mỹ cao. Tuy nhiên, thị trường hiện tại vẫn còn thiếu hụt những sản phẩm mang tính đột phá, kết hợp nhuần nhuyễn giữa các lĩnh vực khác nhau. Ngày nay, sự phát triển mạnh mẽ của cơ khí hóa và tự động hóa trong nhiều lĩnh vực, bao gồm cả trang trí nội thất. Nghiên cứu này tập trung vào nghiên cứu thiết kế và chế tạo bàn cát vẽ tranh nghệ thuật nhằm kết hợp giữa tính nghệ thuật trong thiết kế nội thất với công nghệ cơ khí tự động hóa. Nghiên cứu này tập trung vào cả phần cứng và phần mềm, trong đó bàn cát động lực sẽ tạo ra các hoa văn nghệ thuật dựa trên mã G-code do người dùng cung cấp. Phần mềm đóng vai trò là giao diện người dùng, cung cấp các lệnh cần thiết để điều khiển bàn một cách hiệu quả. Một bàn cát nghệ thuật có thể vẽ tranh cát tự động được đề xuất trong nghiên cứu này.

Từ khóa: Bàn cát nghệ thuật; ArtTech; Sand table; Công nghệ nghệ thuật; Robot.

ABSTRACT

The demand for interior decoration is increasingly rising in today's era, especially among those passionate about art. They are not merely looking for ordinary furniture products but also seeking unique, modern, and aesthetically pleasing items. However, the market still lacks innovative products that combine different fields seamlessly. There is a significant development in mechanization and automation across various sectors, including interior decoration. This research focuses on designing and developing an artistic sand drawing table to blend artistic elements in interior design with automated mechanical technology. The study addresses both hardware and software aspects, wherein the kinetic sand table creates artistic patterns based on user-provided G-code. The software serves as the user interface, providing the commands to efficiently control the table. An artistic sand table capable of automatic drawing is proposed in this study.

Keywords: Art technology; ArtTech; Sand table; Artistic sand table; Robot.

1. TỔNG QUAN

Hiện nay, xu hướng thiết kế nội thất kết hợp với cơ khí tự động hóa đang ngày càng phát triển, tạo ra những sản phẩm vừa thông minh vừa mang tính thẩm mỹ cao. Đồ nội thất thông minh được tích hợp công nghệ điều khiển tự động và cảm biến, cho phép người dùng điều chỉnh nhiều chức năng tiện ích. Bên cạnh đó, xu hướng kết hợp giữa nghệ thuật và kỹ thuật trong nội thất cũng đang được ưa chuộng, điển hình là các món đồ nội thất có khả năng tự thay đổi hình dáng, tạo ra hoa văn phức tạp trên nền cát. Sự ra đời của bàn vẽ tranh cát tự động “Sisyphus 1.0” vào năm 2015 của nghệ sĩ Bruce Shapiro là một ví dụ tiêu biểu, mang lại trải nghiệm độc đáo cho người dùng [1]. Sau khi ra mắt bàn vẽ tranh cát tự động đầu tiên, Bruce Shapiro đã thu hút sự quan tâm lớn từ người tiêu dùng. Chiếc bàn được giới thiệu vào năm 2017 đã nhận được sự đón nhận nồng nhiệt, với các đơn đặt hàng kín trước gần 1 năm. Thành công của phiên bản đầu tiên đã thúc đẩy Bruce Shapiro tiếp tục ra mắt các phiên bản nâng cấp với nhiều cải tiến về mẫu mã và tính năng. Hiện nay, bàn vẽ tranh cát tự động đã trở thành sản phẩm phổ biến trong lĩnh vực nghệ thuật, trang trí nội thất và giải trí, mang đến trải nghiệm thú vị và sáng tạo cho người dùng.

Hiện nay, khi nhắc đến bàn cát động lực nghệ thuật, người ta thường nghĩ ngay đến sản phẩm bàn vẽ tranh cát tự động Sisyphus của Bruce Shapiro. Đây là một sáng tạo kết hợp giữa công nghệ điều khiển tự động và nghệ thuật, mang đến trải nghiệm độc đáo cho người dùng. Bàn Sisyphus sử dụng cơ cấu nam châm để vẽ các hoa văn phức tạp trên bề mặt cát, tạo nên những tác phẩm nghệ thuật sống động và có thể xóa đi để tạo lại liên tục. Không chỉ là một bàn cát thông thường, Sisyphus còn là một sản phẩm mang tính thẩm mỹ cao, tích hợp

công nghệ hiện đại như điều khiển Raspberry Pi, đèn LED, và cơ chế điều khiển thông qua ứng dụng trên điện thoại. Mặc dù hiện tại chưa có nhiều nghiên cứu chuyên sâu về loại bàn cát tự động này, nhưng sự kết hợp hài hòa giữa nghệ thuật và công nghệ đã khơi nguồn cảm hứng mạnh mẽ cho người yêu thích lĩnh vực này. Sản phẩm Sisyphus không chỉ đóng góp vào việc phát triển nghệ thuật số mà còn mở ra hướng đi mới trong việc kết hợp giữa nghệ thuật và công nghệ, mang đến các sản phẩm độc đáo và hấp dẫn. Hay trong nghiên cứu của Chen và cộng sự [2] đã giới thiệu một sự tương tác của bàn cát sử dụng camera có chiều sâu để tương tác. Ngoài ra ngày nay, công nghệ còn được ứng dụng nhiều trong các sản phẩm nghệ thuật [3-4].

Trong nghiên cứu này, một bàn cát vẽ tranh nghệ thuật được đề xuất thiết kế. Các cơ sở lý thuyết được sử dụng cho thiết kế được giới thiệu trong phần 2. Phần 3 trình bày các thiết kế cơ khí và các thuật toán điều khiển của bàn cát. Các thực nghiệm và đánh giá cho bàn cát vẽ tranh tự động được trình bày trong phần cuối.

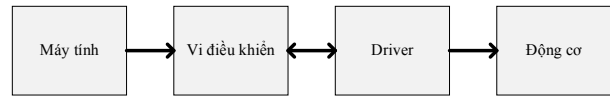
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Bàn cát động lực nghệ thuật có thể có nhiều kiểu dáng và kết cấu khác nhau, nhưng thường bao gồm các thành phần chính như bề mặt vẽ, hệ thống điều khiển, hệ thống khung và động cơ. Bề mặt vẽ là tấm phẳng phủ cát động lực, nơi các hình vẽ được tạo ra thông qua sự di chuyển của viên bi. Hệ thống điều khiển chuyên dụng sẽ điều chỉnh chuyển động của viên bi trên bề mặt, tạo nên các hình vẽ độc đáo. Hệ thống khung, thường được tạo thành từ các thanh nhôm định hình liên kết chắc chắn bằng các ke góc vuông, giúp cấu trúc bàn cát vững chãi và dễ dàng tháo lắp. Động cơ được



sử dụng để tạo chuyển động cho viên bi trên bề mặt vẽ và có thể là động cơ bước, động cơ servo hoặc các loại động cơ khác, tùy vào thiết kế và yêu cầu của bàn vẽ. Tóm lại, dù có nhiều cách cấu tạo khác nhau, các bàn cát động lực nghệ thuật đều cần những thành phần cơ bản này hoạt động cùng nhau để tạo ra các tác phẩm nghệ thuật độc đáo trên cát.

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo bàn cát vẽ tranh nghệ thuật mang lại nhiều ưu điểm vượt trội trong cả lĩnh vực nghệ thuật và kỹ thuật. Đầu tiên, hệ thống được thiết kế với độ chính xác cao nhờ vào việc sử dụng cơ cấu chuyển động hiện đại như CoreXY, đảm bảo các nét vẽ được thực hiện mượt mà và chính xác trên bề mặt cát [5-6]. Thứ hai, tốc độ và tính ổn định của hệ thống giúp rút ngắn thời gian tạo ra các tác phẩm nghệ thuật, đồng thời giảm thiểu lỗi trong quá trình vận hành. Ngoài ra, khả năng chịu tải cao và kích thước nhỏ gọn của hệ thống cho phép linh hoạt triển khai ở nhiều không gian khác nhau, từ triển lãm nghệ thuật đến không gian giáo dục. Cuối cùng, hệ thống điều khiển thân thiện, sử dụng các thiết bị phổ biến như Arduino hoặc bộ điều khiển CNC [7], giúp người dùng dễ dàng lập trình và tùy chỉnh theo nhu cầu sáng tạo riêng biệt. Đây là một bước tiến lớn trong việc kết hợp công nghệ vào nghệ thuật, tạo điều kiện cho sự sáng tạo và khám phá không ngừng. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của bàn cát được thể hiện như hình 1, quá trình vận hành bắt đầu từ máy tính, nơi phát tín hiệu điều khiển và gửi dữ liệu đến vi điều khiển. Vi điều khiển thực hiện xử lý tín hiệu và chuyển tiếp lệnh đến driver. Driver đóng vai trò như bộ khuếch đại tín hiệu và cấp nguồn cần thiết để điều khiển động cơ, từ đó động cơ nhận tín hiệu và thực hiện chuyển động theo yêu cầu. Sơ đồ này thể hiện mối liên kết chặt chẽ giữa các thành phần, đảm bảo sự chính xác và ổn định trong hoạt động của hệ thống.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của bàn cát.

3. TÍNH TOÁN VÀ THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Trong thiết kế bàn cát vẽ tranh nghệ thuật, yếu tố thẩm mỹ và khả năng thu hút người xem được đặt lên hàng đầu. Không chỉ đơn thuần là một hệ thống cơ khí, bàn cát còn được xem như một tác phẩm nghệ thuật với nhiệm vụ truyền tải vẻ đẹp của từng đường nét và sự hài hòa trong thiết kế tổng thể. Việc tính toán và thiết kế cơ khí không chỉ đảm bảo độ chính xác và bền vững, mà còn phải hòa quyện với các yếu tố mỹ thuật như đường nét mềm mại, cấu trúc tinh tế và sự phối hợp hài hòa giữa các vật liệu. Bề mặt bàn cát được thiết kế với kích thước phù hợp, đảm bảo mọi người có thể quan sát rõ ràng từng chuyển động của các nét vẽ. Đồng thời, màu sắc, ánh sáng và các chi tiết trang trí xung quanh cũng được chú trọng để làm nổi bật tính nghệ thuật và tạo không gian truyền cảm hứng. Thiết kế này không chỉ nhằm tạo ra một sản phẩm cơ khí, mà còn mang đến trải nghiệm thẩm mỹ độc đáo cho người xem. Các động cơ cần được tính toán nhằm lựa chọn các thiết bị có thông số phù hợp với không gian hoạt động và tải trọng của hệ thống, tổng số bước quay của động cơ trong quá trình hoạt động được tính toán như (1). Thời gian tăng tốc được tính $t = t_0 \times 0.25 = 0.6s$ và tần số hoạt động của động cơ được tính toán như (2).

$$\frac{\times 360}{\times} \quad (1)$$

$$f_{2xy} = \frac{\frac{\times 360}{\times} A^T}{t_0 - t_1} \quad (2)$$

Với θ_s là góc bước của động cơ, D là đường kính của pulley truyền đai. Vận tốc của động cơ được tính như công thức (3).

$$V_M = f_{2xy} \times \frac{\theta_s}{6} \quad (3)$$

Lực gây ra bởi đầu công tác của bàn cát vẽ tranh được định nghĩa như sau (4).

$$F_{xy} = F_A + mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) \quad (4)$$

Với F_A là ngoại lực tác dụng lên đầu công tác, m là khối lượng của tải và đai. Tổng mô-men quán tính được tính theo công thức (5).

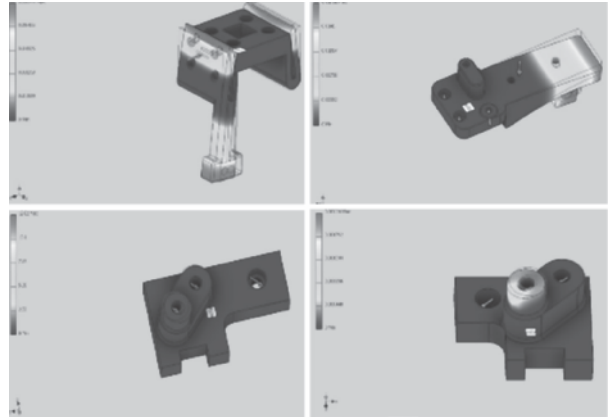
$$\begin{aligned} M_x &= m_y \times \left(\frac{\pi D}{2} \right)^2 + 2 \times \left(\frac{1}{8} m_\rho D^2 \right) \\ M_y &= m_T \times \left(\frac{\pi D}{2} \right)^2 + 2 \times \left(\frac{1}{8} m_\rho D^2 \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Mô-men cần thiết khi động cơ hoạt động được tính toán nhằm lựa chọn động cơ phù hợp với các thông số được yêu cầu, nó được tính toán như (6). Bên cạnh đó, việc tính toán lựa chọn và kiểm tra độ bền của dây đai truyền động được tính và phân tích theo tải trọng riêng của dây đai được tính như công thức (7).

$$\begin{aligned} T_{Mx} &= (M_x + T_{ax}) S_f \\ T_{My} &= (M_y + T_{ay}) S_f \end{aligned} \quad (6)$$

$$W_t = \frac{F_t}{b} + \frac{cv^2}{10} \quad (7)$$

Với T_{ax} là mô-men gia tốc theo trục x, T_{ay} là mô-men gia tốc theo trục y, S_f là hệ số an toàn, F_t là lực vòng, v là vận tốc của đai, c là khối lượng 1m dây đai.



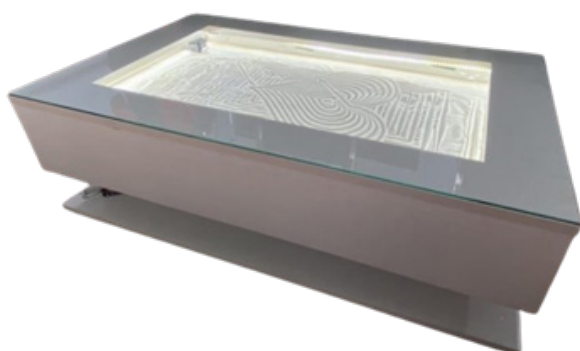
Hình 2. Mô phỏng chuyển vị của các gá chi tiết bằng vật liệu nhựa ABS.

Để kiểm tra lại độ bền của các chi tiết gá, các chi tiết được tính toán và mô phỏng để kiểm tra độ chuyển vị cũng như độ bền của chi tiết, chúng được trình bày ở hình 2. Dựa trên kết quả phân tích ứng suất hiển thị trong hình, thiết kế sử dụng vật liệu nhựa ABS cho các bộ phận đã chứng minh được khả năng chịu được ứng suất cần thiết. Các vùng có ứng suất cao vẫn nằm trong giới hạn bền của nhựa ABS, đảm bảo rằng cấu trúc không bị biến dạng hoặc hư hỏng dưới tải trọng làm việc thông thường. Ngoài ra, sự phân bố ứng suất đồng đều trên các bề mặt quan trọng giúp tăng độ bền và độ ổn định của thiết kế. Điều này cho thấy nhựa ABS là vật liệu phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu nhẹ, bền và có khả năng chịu lực tốt.

4. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Robot vẽ tranh cát được thiết kế và đề xuất phục vụ cho các ứng dụng về trang trí nội thất, các thiết bị mang tính nghệ thuật cao, tạo ra các giá trị tinh thần cho người sử dụng. Bàn cát động lực nghệ thuật có thể tái hiện chính xác các họa tiết mà người dùng mong muốn thông qua việc đọc và phân tích dữ liệu từ file G-code do người dùng nhập vào phần mềm điều khiển. 

Khi vận hành, động cơ của hệ chuyển động hoạt động êm ái, không tạo ra tiếng ồn lớn, mang lại trải nghiệm dễ chịu cho người sử dụng. Với tính ứng dụng cao, bàn cát động lực không chỉ là một sản phẩm công năng mà còn có giá trị nghệ thuật cao, có thể tái hiện các họa tiết phức tạp một cách linh hoạt, hình ảnh thực tế của bàn cát vẽ tranh nghệ thuật tự động được trình bày như hình 3 với thông số như bảng 1.



Hình 3. Bàn cát vẽ tranh tự động được chế tạo thực tế

Bảng 1. Thông số của bàn cát vẽ tranh tự động thực tế

Kích thước tổng thể	600 x 1000 x 340 (mm)
Không gian hoạt động	410 x 770 (mm)
Tốc độ đầu bi vẽ	220 (mm/s)

Kết quả nghiên cứu đã thành công trong việc đạt được sự cân bằng hoàn hảo giữa yêu cầu kỹ thuật và yếu tố thẩm mỹ, mang đến một thiết kế bàn cát vẽ tranh nghệ thuật không chỉ hoạt động chính xác mà còn có sức hút mạnh mẽ đối với người xem. Hệ thống vận hành cơ khí được tối ưu hóa dựa trên việc áp dụng cơ cấu chuyển động CoreXY hiện đại, giúp đảm bảo độ chính xác cao trong từng nét vẽ và độ bền vượt trội trong quá trình sử dụng. Bên cạnh đó, sự kết hợp thông minh giữa vật liệu nhựa ABS nhẹ, bền, và có khả năng chịu lực tốt đã góp phần nâng cao hiệu suất và tính linh hoạt của thiết

kế, cho phép hệ thống hoạt động ổn định trong nhiều điều kiện khác nhau. Các thông số quan trọng như vận tốc, tần số hoạt động và khả năng chịu tải đều được tính toán và kiểm chứng kỹ lưỡng để đáp ứng tối ưu các yêu cầu vận hành thực tế. Sự phân bố đồng đều ứng suất trên các chi tiết cũng đảm bảo độ an toàn và tuổi thọ cao cho hệ thống, giúp giảm thiểu rủi ro hư hỏng trong quá trình sử dụng. Hơn nữa, yếu tố thẩm mỹ được chú trọng thông qua việc tạo ra thiết kế tinh tế, trực quan, giúp người xem không chỉ cảm nhận được giá trị nghệ thuật trong từng đường nét mà còn dễ dàng tương tác với hệ thống. Nghiên cứu này không chỉ mở ra một hướng đi mới trong lĩnh vực ứng dụng nghệ thuật cơ khí mà còn góp phần thúc đẩy sự sáng tạo và sự giao thoa hiệu quả giữa công nghệ và nghệ thuật. Đây là tiền đề để phát triển thêm nhiều sản phẩm sáng tạo, thông minh, đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của xã hội, đồng thời khẳng định vai trò của công nghệ trong việc nâng tầm giá trị nghệ thuật truyền thống.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo bàn cát động lực nghệ thuật đã đạt được những kết quả nổi bật về cả kỹ thuật và thẩm mỹ. Hệ thống có khả năng vẽ chính xác các hình ảnh phức tạp theo yêu cầu của người dùng thông qua việc phân tích và thực thi dữ liệu từ file G-code. Với thiết kế vận hành êm ái, hệ chuyển động đảm bảo giảm thiểu tiếng ồn, mang lại trải nghiệm dễ chịu trong quá trình sử dụng. Bàn cát không chỉ mang tính ứng dụng thực tế cao, phù hợp với nhiều lĩnh vực như nghệ thuật, giáo dục và giải trí, mà còn vượt xa chiếc bàn thông thường khi kết hợp yếu tố nghệ thuật sáng tạo. Giao diện thân thiện góp phần nâng cao trải nghiệm của người dùng, đồng thời cung cấp đầy đủ các thông tin để tối ưu hóa thao tác và vận hành. Tổng thể, sản phẩm không chỉ là một bước tiến

trong việc kết hợp công nghệ và nghệ thuật, mà còn mở ra tiềm năng phát triển những giải pháp sáng tạo mới trong tương lai.

Lời cảm ơn:

Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp trường có mã số CTD-2024- 09 được tài trợ bởi Đại học Kinh tế TP. Hồ Chí Minh. ❖

Ngày nhận bài: **21/11/2024**

Ngày phản biện: **18/12/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Ersoy, A., & Bozkurt, M. (2015), “*Understanding an elementary school teachers' journey of using technology in the classroom from sand table to interactive whiteboard*”. International Electronic Journal of Elementary Education, 8(1), 1-20.
- [2]. Chen, K. M., & Wong, S. K. (2014, August), “*Interactive sand art drawing using kinect*”. In Proceedings of the 7th International Symposium on Visual Information communication and Interaction (pp. 78-87).
- [3]. Chun, D. (2023, August), “*When the NFT Hype Settles, What Is Left beyond Profile Pictures? A Critical Review on the Impact of Blockchain Technologies in the Art Market*”. In Arts (Vol. 12, No. 5, p. 181). MDPI.
- [4]. Pawelzik, L., & Thies, F. (2022), “*Selling Digital Art for Millions-a Qualitative Analysis of NFT Art Marketplaces*”. In ECIS.
- [5]. Amri, A. A. N., & Sumbodo, W. (2018), “*Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015*”. Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin, 3(2), 110-115.
- [6]. Aycardi Salgado, L. C., & Tuirán Moreno, H. J. (2018), “*Diseño y construcción de una impresora 3d de gran formato con tecnología de fabricación con filamento fundido (FFF) tipo Core-XY basada en Arduino*”.
- [7]. Quatrano, A., De Simone, M. C., Rivera, Z. B., & Guida, D. (2017), “*Development and Implementation of a Control System for a Retrofitted CNC Machine by Using Arduino*”. FME Transactions, 45(4).