

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG KIỂM ĐỊNH CÔNG SUẤT BÌNH CHỮA CHÁY XÁCH TAY

STUDY ON DESIGN OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR TESTING THE CAPACITY OF PORTABLE FIRE EXTINGUISHERS

Nguyễn Hữu Cường Thịnh¹, Phan Hoàng Long^{1,2,3}, Nguyễn Huy Hùng⁴,
Dương Văn Tú^{1,2,3}, Nguyễn Tấn Tiến^{1,2,3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁴Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Sài Gòn

Email: nttien@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp thiết kế và chế tạo hệ thống robot tự động kiểm định công suất bình chữa cháy xách tay nhằm thay thế quy trình thủ công tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn cho người vận hành. Hệ thống robot được đề xuất có 5 bậc tự do, gồm 3 bậc định vị và 2 bậc định hướng vòi phun, sử dụng cơ cấu tay máy tọa độ trụ kết hợp để di chuyển trên đường ray để đảm bảo tốc độ và quỹ đạo dập lửa ổn định. Kiến trúc điều khiển phân tán gồm bộ điều khiển trung tâm và các driver servo AC tích hợp điều khiển vòng kín PID, cho phép định vị vòi chính xác và điều chỉnh tốc độ phun linh hoạt. Hệ thống đáp ứng yêu cầu kiểm định theo tiêu chuẩn TCVN 7026:2013 đối với đám cháy loại A và B, đảm bảo độ chính xác, tăng tốc độ thao tác, giảm rủi ro, và nâng cao hiệu quả kiểm định.

Từ khóa: Robot kiểm định bình chữa cháy; Tự động hóa kiểm định; Tiêu chuẩn TCVN 7026:2013.

ABSTRACT

This paper presents the design and development of an automated robotic system for testing the capacity of portable fire extinguishers, replacing the hazardous manual process and improving operator safety. The proposed system features 5 degrees of freedom, consisting of 3 for nozzle positioning and 2 for nozzle orientation, utilizing a cylindrical-coordinate robotic arm combined with a rail-guided mobile base to ensure stable extinguishing trajectories and high-speed operation. The distributed control architecture comprises a central controller and AC servo drivers with integrated closed-loop PID control, enabling precise nozzle positioning and flexible spray speed adjustment. The system meets the testing requirements of TCVN 7026:2013 for Class A and Class B fires, ensuring accuracy, improved operation speed, reduced risk, and enhanced testing efficiency.

Keywords: Fire extinguisher testing robot; Automated testing; TCVN 7026:2013 standard. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cháy là một trong những tai nạn nguy hiểm nhất, gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Theo thống kê của Báo Nhân dân, số vụ cháy tại hộ gia đình chiếm tỷ lệ đáng kể [1]. Do đó, việc trang bị và kiểm định định kỳ bình chữa cháy đạt chuẩn là yêu cầu bắt buộc để đảm bảo an toàn.

Bình chữa cháy xách tay được phân loại theo chất chữa cháy thành bột khô, khí, gốc nước và chất chữa cháy sạch. Theo TCVN 7026:2013 [2], để được chứng nhận đạt chuẩn, bình phải vượt qua nhiều phép thử, trong đó phép thử công suất dập tắt đám cháy loại A (chất rắn tạo than hồng) và loại B (chất lỏng) là quan trọng và nguy hiểm nhất. Quy trình này đòi hỏi người thực hiện phải tiếp cận gần ngọn lửa ở nhiệt độ cao, khói và khí độc, tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn.

Phương pháp kiểm định hiện hành áp dụng kỹ thuật “dập và tiến” (progressive extinguishing), kết hợp điều chỉnh hướng phun để bao phủ toàn bộ đám cháy. Mặc dù phản ánh được điều kiện thực tế, cách làm thủ công này khó đảm bảo tính lặp lại và độ chính xác, đồng thời ảnh hưởng đến sức khỏe và an toàn người kiểm định.

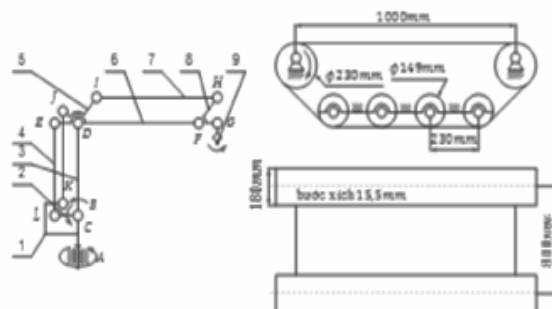
Vì vậy, việc nghiên cứu và phát triển giải pháp tự động hóa quy trình kiểm định công suất bình chữa cháy xách tay là cần thiết, nhằm giảm rủi ro, nâng cao hiệu suất và bảo đảm kết quả kiểm định ổn định, phù hợp tiêu chuẩn TCVN 7026:2013.

2. TỔNG QUAN

Theo TCVN 7026:2013 [1], bình chữa cháy xách tay phải trải qua quy trình kiểm định

ng nghiêm ngặt trước khi được đưa ra thị trường, nhằm đảm bảo khả năng làm việc và an toàn vận hành. Trong đó, phép thử công suất đối với đám cháy loại A và B là quan trọng nhất nhưng tiềm ẩn nhiều nguy hiểm cho người thực hiện, do yêu cầu tiếp cận gần nguồn lửa ở nhiệt độ cao, khói và khí độc. Điều này cho thấy nhu cầu cấp thiết về việc tự động hóa quy trình kiểm định để giảm rủi ro và nâng cao hiệu quả.

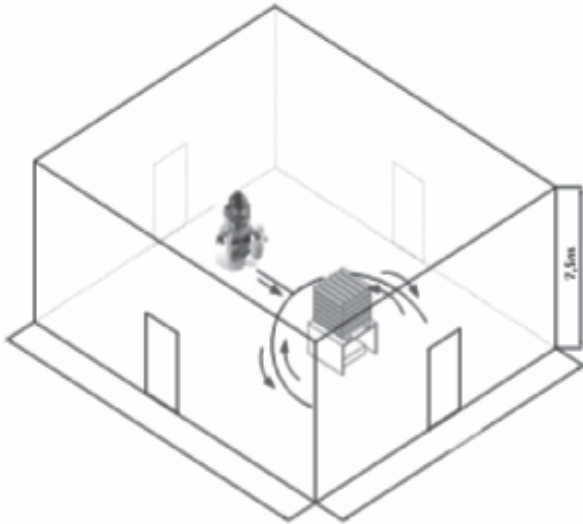
Một số nghiên cứu [2-4] đã tập trung vào việc lượng hóa các tiêu chí kiểm định, xây dựng lưu đồ thuật toán và nhóm các phép thử theo chức năng, phục vụ thiết kế hệ thống kiểm định tự động. Nghiên cứu [4] đề xuất mô hình robot tay máy 4 bậc tự do gắn trên đế bánh xích để mô phỏng thao tác (Hình 1). Tuy nhiên, hệ thống này còn hạn chế về tốc độ, khả năng định vị và độ phức tạp khi điều khiển do cấu trúc cơ khí.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý phương án cũ [2-4]

Các công trình [5], [6] đã phát triển tay máy 5 bậc tự do trên đế bánh xích, đáp ứng tiêu chuẩn quốc tế ISO 7165:2009 và ISO 11601:2008. Hệ thống sử dụng servo AC điều khiển vòng kín, kết hợp chiến lược bám quỹ đạo và thị giác máy tính, cho phép hoàn thành bài kiểm định loại 20A nhanh hơn thời gian phun của bình. Mặc dù kết quả mô phỏng cho thấy độ chính xác và ổn định cao, cấu hình di động tự do vẫn dễ bị ảnh hưởng bởi bề mặt sàn và yêu cầu định vị phức tạp.

Bài kiểm định sẽ được thực hiện ở trong phòng thử với yêu cầu sử dụng sàn xi măng nhẵn, có các lỗ thông gió ở 4 góc và kích thước như Hình 2.



Hình 2. Kích thước phòng kiểm định [1]

Từ những phân tích trên, bài báo này kế thừa và cải tiến các mô hình trước, đề xuất cấu hình robot tay máy tọa độ trụ trên để di chuyển đường ray (Hình 3), giúp cố định bán kính quỹ đạo, tăng tốc độ di chuyển, đơn giản hóa điều khiển và đảm bảo đáp ứng đầy đủ yêu cầu kiểm định loại A và B theo TCVN 7026:2013.

3. PHƯƠNG ÁN GIẢI QUYẾT

Dựa trên các hạn chế được chỉ ra trong phần Tổng quan, bài báo đề xuất một hệ thống robot kiểm định công suất bình chữa cháy xách tay với cấu hình tay máy tọa độ trụ gắn trên để di chuyển đường ray. Thiết kế này giúp cố định bán kính quỹ đạo di chuyển, đảm bảo tốc độ ổn định, loại bỏ các sai số do di động tự do, đồng thời đơn giản hóa bài toán điều khiển so với mô hình tay máy trên nền bánh xích.

Hệ thống được chia thành ba nhóm giải pháp chính:

Giải pháp cơ khí – Thiết kế tay máy 5 bậc tự do gồm 3 bậc định vị và 2 bậc định hướng vòi phun, đảm bảo khả năng bao phủ toàn bộ vùng đám cháy thử theo tiêu chuẩn TCVN 7026:2013. Để di chuyển sử dụng ray dẫn hướng cho phép robot di chuyển chính xác quanh đám cháy với tốc độ điều khiển được.

Giải pháp điều khiển – Ứng dụng kiến trúc điều khiển phân tán, bộ điều khiển trung tâm phối hợp với các driver servo AC tích hợp điều khiển vòng kín PID, giúp điều chỉnh đồng thời vị trí, tốc độ và góc phun của vòi chữa cháy.

Giải pháp điện và an toàn – Hệ thống cấp nguồn bằng pin kết hợp biến tần, bảo đảm tính cơ động và an toàn cho người vận hành. Cảm biến phản hồi từ encoder tuyệt đối được sử dụng để loại bỏ nhu cầu lắp đặt thêm cảm biến phức tạp, đồng thời tích hợp giới hạn hành trình mềm và cứng nhằm ngăn chặn sự cố.

Các phần tiếp theo của bài báo sẽ trình bày chi tiết từng giải pháp, bao gồm thiết kế cơ khí, chiến lược điều khiển và cấu hình hệ thống điện, nhằm chứng minh tính khả thi và hiệu quả của phương án đề xuất.

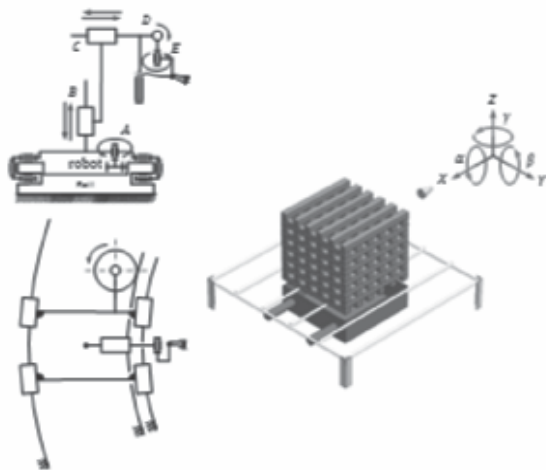
3.1. Giải pháp cơ khí

Hệ thống cơ khí được thiết kế dưới dạng tay máy tọa độ trụ (cylindrical coordinate robot) gồm 5 bậc tự do:

- 3 bậc định vị: Quay quanh trục thẳng đứng (R-rotation), di chuyển tịnh tiến theo phương ngang (R-linear), và nâng/hạ theo phương thẳng đứng (Z-axis).

- 2 bậc định hướng: Gật lên/xuống (pitch) và quét trái/phải (yaw) của vòi phun. 

Cấu trúc này cho phép tay máy bao phủ toàn bộ vùng đám cháy thử loại A và B theo yêu cầu TCVN 7026:2013, đồng thời giữ khoảng cách phun ổn định. Để robot chạy trên đường ray tròn giúp cố định bán kính quỹ đạo, tăng độ chính xác khi di chuyển và giảm tải cho bộ điều khiển.



Hình 3. Phương án cơ khí

3.2. Giải pháp điều khiển

Kiến trúc điều khiển phân tán gồm:

- Bộ điều khiển trung tâm (PLC hoặc máy tính công nghiệp) đảm nhận lập kế hoạch quỹ đạo, đồng bộ hóa các chuyển động.
- 05 driver servo AC tích hợp vòng kín PID, đảm bảo điều khiển vị trí, tốc độ và mô-men độc lập cho từng trục.

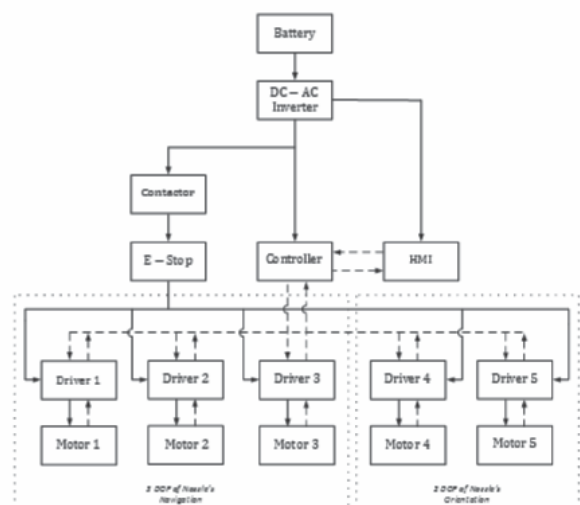
Hệ thống có khả năng lưu trữ và gọi lại các quỹ đạo tiêu chuẩn cho từng loại bình và loại đám cháy thử, giúp kiểm định nhanh chóng và lặp lại chính xác.



Hình 4. Sơ đồ điều khiển

3.3. Giải pháp điện và an toàn

Nguồn cấp gồm pin dung lượng cao kết hợp biến tần, bảo đảm tính cơ động và tránh kéo dây điện gần khu vực cháy. Tất cả động cơ đều sử dụng encoder tuyệt đối để phản hồi vị trí, loại bỏ nhu cầu sử dụng thêm cảm biến bên ngoài.



Hình 5. Sơ đồ điện

Hệ thống an toàn gồm:

- Giới hạn mềm qua phần mềm (soft limit) để ngăn tay máy vượt quá phạm vi làm việc.
- Chặn cứng cơ khí (hard stop) ở các vị trí nguy hiểm.
- Nút dừng khẩn (E-stop) bố trí thuận tiện.

Ngoài ra, HMI (Human Machine Interface) cho phép người vận hành chọn loại đám cháy, loại bình, giám sát trạng thái, và nhận cảnh báo.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích các hạn chế của phương pháp kiểm định công suất bình chữa cháy xách tay hiện hành và tổng hợp các nghiên cứu liên quan, từ đó đề xuất giải pháp tự động hóa quy trình kiểm định dựa trên robot tay máy tọa độ trụ gắn trên đế di chuyển đường ray. Cấu hình này cho phép cố định bán kính quỹ đạo, tăng tốc độ di chuyển, đơn giản hóa điều khiển, đồng thời đảm bảo bao phủ toàn bộ vùng đám cháy thử loại A và B theo TCVN 7026:2013.

Hệ thống được thiết kế với ba nhóm giải pháp chính:

- Cơ khí: Tay máy 5 bậc tự do, để di chuyển ray dẫn hướng.
- Điều khiển: Kiến trúc phân tán với servo AC tích hợp vòng kín PID.
- Điện và an toàn: Nguồn pin – biến tần, encoder tuyệt đối, giới hạn hành trình mềm và cứng.

Giải pháp này hứa hẹn nâng cao hiệu suất, độ chính xác và an toàn cho quá trình kiểm định, đồng thời giảm sự phụ thuộc vào thao tác thủ công của con người.

Hướng phát triển tiếp theo sẽ tập trung vào: Hoàn thiện chế tạo nguyên mẫu và thử

nghiệm thực tế; Tích hợp thị giác máy tính để nhận dạng và định vị đám cháy thử tự động; và Nghiên cứu tối ưu quỹ đạo để rút ngắn thời gian kiểm định và tiết kiệm chất chữa cháy.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2025-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **06/8/2025**

Ngày phản biện: **14/8/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. TCVN 7026:2013, “Chữa cháy – Bình chữa cháy xách tay – Tính năng và cấu tạo”.
- [2]. Đặng Trung Kiên, Nguyễn Hữu Cường Thịnh, Ngô Xuân Quang, “Nghiên cứu tự động hóa kiểm định bình chữa cháy xách tay. Phần 1 – Nghiên cứu tiêu chí kiểm định theo TCVN 7026:2013”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 314, tr. 387-397, 4.2024.
- [3]. Đặng Trung Kiên, Nguyễn Hữu Cường Thịnh, Ngô Xuân Quang, “Nghiên cứu tự động hóa kiểm định bình chữa cháy xách tay. Phần 2 – Đề xuất giải pháp kiểm định bình chữa cháy xách tay tự động”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 314, tr. 398-407, 4.2024.
- [4]. Ngô Xuân Quang, Nguyễn Tấn Tiến, Nguyễn Hữu Cường Thịnh, “Nghiên cứu tự động hóa kiểm định bình chữa cháy”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 299-300, tr. 5-10, 2.2023.
- [5]. Xuan Quang Ngo, Huu Cuong Thinh Nguyen, Tan Tien Nguyen, “Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part I: Key Specifications and Conceptual Design”. Proceedings of AETA 2022, tr. 1-10, Dec. 2022, Vietnam.
- [6]. Xuan Quang Ngo, Huu Cuong Thinh Nguyen, Tan Tien Nguyen, “Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part II: Design and Simulation”. Proceedings of AETA 2022, tr. 11-20, Dec. 2022, Vietnam.