

Đề xuất phương pháp sử dụng thị giác máy trong đánh giá độ chính xác của cánh tay robot IRB 4600 tại Viện Ứng dụng Công nghệ

Nguyễn Quang Hải, Nguyễn Bá Thi, Giang Mạnh Khôi*, Phạm Chí Hiếu

Viện Ứng dụng Công nghệ, 25 Lê Thánh Tông, phường Phan Chu Trinh, quận Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/7/2024; ngày chuyển phản biện 01/8/2024; ngày nhận phản biện 20/8/2024; ngày chấp nhận đăng 23/8/2024

Tóm tắt:

Hệ thiết bị gia công vật liệu kim loại bằng bức xạ laser có cánh tay robot 6 trục được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp khi gia công các sản phẩm kim loại hình dạng 3D. Đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật của một hệ robot 6 trục cắt vật liệu kim loại bằng bức xạ laser, cần tiến hành phân tích, đánh giá thông số từng khối bộ phận của hệ thống. Đối với robot 6 trục, một trong các thông số quan trọng nhất quyết định chất lượng của cánh tay robot là độ chính xác quãng đường dịch chuyển trong quá trình điều khiển chuyển động cánh tay robot. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày phương pháp đánh giá độ chính xác dịch chuyển cánh tay robot dùng thị giác máy thông qua 02 thông số: tọa độ dịch chuyển và quãng đường dịch chuyển. Đây là phương pháp đánh giá cho độ chính xác cao, bố trí thí nghiệm khá nhanh, phù hợp với điều kiện phòng thí nghiệm ở Việt Nam. Kết quả đo được trong thực tế có so sánh đối chứng với số liệu do hãng cung cấp cho thấy giải pháp sử dụng thị giác máy là hoàn toàn đáp ứng về độ chính xác. Kết quả này cho thấy bộ lập trình tự động ghi nhận tọa độ dịch chuyển cánh tay robot chính xác, tức thời và có đối chứng với thang/bảng tọa độ gốc là phù hợp yêu cầu bài toán.

Từ khóa: độ chính xác lặp lại, độ chính xác theo đường, độ chính xác vị trí, robot 6 trục, thị giác máy.

Chỉ số phân loại: 2.2, 2.3

Proposing a method of using computer vision to evaluate the accuracy of the IRB 4600 robot arm at the National Center for Technological Progress (Nacentech)

Quang Hai Nguyen, Ba Thi Nguyen, Manh Khoi Giang*, Chi Hieu Pham

National Center for Technological Progress, 25 Le Thanh Tong Street, Phan Chu Trinh Ward, Hoan Kiem District, Hanoi, Vietnam

Received 26 July 2024; revised 20 August 2024; accepted 23 August 2024

Abstract:

Metal material processing equipment systems with 6-axis robot arms using laser radiation are widely used in industry for processing 3D-shaped metal products. To evaluate the technical specifications of a 6-axis robot system for cutting metal materials using laser radiation, it is necessary to analyse and evaluate the parameters of each component block of the system. For 6-axis robots, one of the most important parameters determining the quality of the robot arm is the accuracy of the displacement path during the robot arm motion control. In this article, we present a method for evaluating the displacement accuracy of robot arms through two parameters, when using computer vision: displacement coordinates and displacement distance. This is an evaluation method with high accuracy and a fast experimental setup, suitable for laboratory conditions in Vietnam. The actual measurement results compared with the data provided by the manufacturer show that the computer vision solution fully meets the accuracy requirements. This result exhibits that the automatic programmer records the robot arm's displacement coordinates accurately, instantly and when compared with the original coordinate scale/table, it meets the problem requirements.

Keywords: accuracy position, computer vision, path accuracy, repeated positioning, 6-axis robot.

Classification numbers: 2.2, 2.3

*Tác giả liên hệ: Email: gmkhoi@most.gov.vn

1. Đặt vấn đề

Cánh tay robot IRB 4600 thuộc dạng cánh tay robot 6 trục (hay còn gọi là 6 bậc tự do) thuộc nhóm ‘Cánh tay robot khớp nối’ (articulated robotic arm) [1]. Một cánh tay robot 6 trục điển hình có khớp nối theo chiều dọc, bao gồm 7 liên kết được kết nối thành chuỗi thông qua 6 khớp nối (trục). Mỗi trục là một khớp cho phép robot di chuyển theo các cách khác nhau (xoay, xoắn...). Các chuyển động khác nhau này được gọi là bậc tự do. Robot 6 trục có tính linh hoạt, sức mạnh và phạm vi tiếp cận cần thiết để hoàn thành hầu hết các ứng dụng bao gồm tự động hóa trong gia công vật liệu (cắt, hàn, xử lý vật liệu, sơn...)

Để điều khiển cánh tay của robot, mỗi trục được trang bị một bộ phân giải là một thiết bị tương tự trả về vị trí góc của trục robot. Thông tin vị trí được sử dụng để tính các lỗi vị trí được đưa vào bộ điều chỉnh PID của bộ điều khiển servo. Nếu đầu gia công của robot được lập trình lặp đi lặp lại ở cùng một vị trí, thì thực tế đầu gia công của robot có thể không đạt đến vị trí vật lý giống hệt nhau (một cách tuyệt đối) ngay cả khi tất cả các trình phân giải đều trả về giá trị phản hồi chính xác. Điều này được giải thích bởi không có khả năng đo lường độ lệch có thể xảy ra giữa các bộ phân giải một cách tuyệt đối và sai lệch như vậy có thể được tạo ra do sự giãn nở nhiệt hoặc tính linh hoạt của cánh tay robot, hoạt động của hộp số (hình 2). Tuy nhiên, việc chế tạo cánh tay robot có chất lượng cao thì điều kiện hoạt động của robot có độ ổn định cao cho sai lệch là rất nhỏ [2, 3]. Để đánh giá độ sai lệch vị trí dịch chuyển của một cánh tay robot, người ta thường sử dụng qua các tiêu chí sau đây:

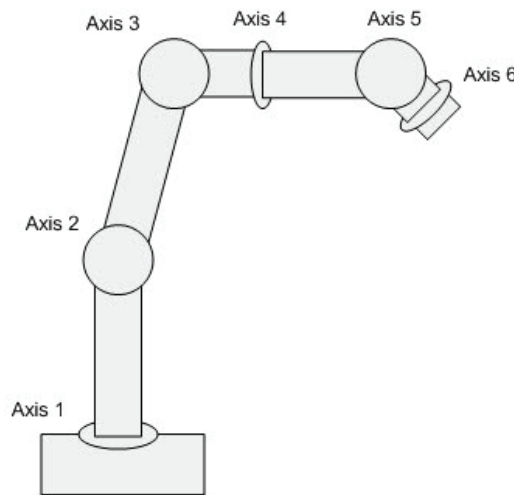
1.1. Độ chính xác của vị trí và độ chính xác lặp lại vị trí

Trong hình 3, độ chính xác vị trí (AP) và độ chính xác lặp lại vị trí (RP). Giả sử ta có vị trí A là vị trí được lập trình, khi thực

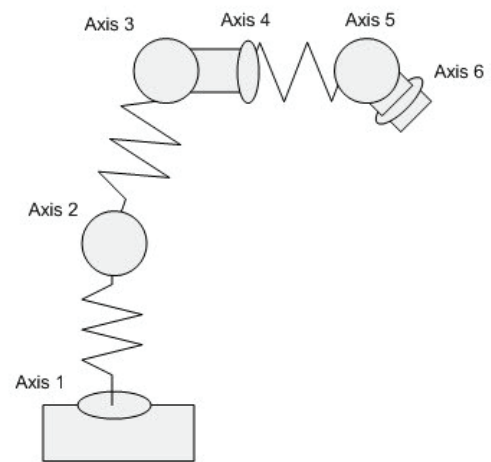
hiện chương trình dịch chuyển đầu cánh tay robot, vị trí thực sẽ là $B_1, B_2, B_3, \dots, B_N$; Vị trí B là vị trí trung bình $B = (B_1 + B_2 + \dots + B_N) / N$. Khi đó độ chính xác vị trí AP (accuracy position) - là khoảng cách trung bình từ vị trí được lập trình A đến vị trí trung bình B. Độ chính xác lặp lại vị trí RP (repeated positioning) - là dung sai của vị trí B khi lặp lại vị trí nhiều lần [3].

1.2. Độ chính xác đường tuyến tính và độ chính xác lặp lại đường tuyến tính

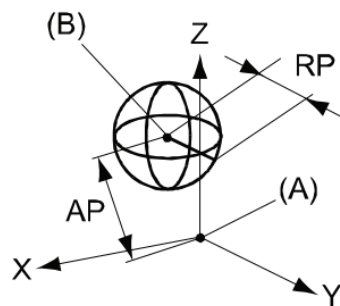
Trong hình 4 ta có E là đường đi được lập trình. Khi thực hiện chương trình nhiều lần, ta có kết quả đường dịch chuyển thực tế là $D_1, D_2, D_3, \dots, D_N$; Đường D là đường trung bình $D = (D_1 + D_2 + \dots + D_N) / N$. Khi đó, độ chính xác đường tuyến tính (linear path accuracy) hay AT - Độ lệch tối đa từ đường dẫn được lập trình E đến đường trung bình khi thực hiện chương trình D. Độ lặp lại đường tuyến tính (linear path repeatability) - là dung sai của đường đi khi thực hiện chương trình lặp lại nhiều lần [3].



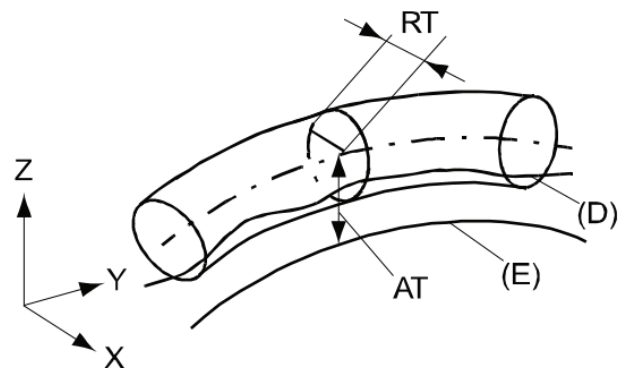
Hình 1. Cấu trúc cơ khí của robot.



Hình 2. Độ lệch tiềm năng giữa các trục trong cấu trúc cơ khí của robot.



Hình 3. Độ chính xác vị trí (AP) và độ chính xác lặp lại vị trí (RP).



Hình 4. Độ chính xác đường tuyến tính (AT) và độ lặp lại đường tuyến tính (RT).

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Điểm tâm công cụ lắp trên đầu cánh tay robot (TCP viết tắt từ Tool Center Point) là giá trị xác định điểm tọa độ hết sức quan trọng [4], giúp xác định vị trí của TCP trong hệ tọa độ của robot, hiện nay có một số phương pháp được sử dụng [5].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thủ công

Phương pháp thủ công truyền thống đã được sử dụng từ lâu, phương pháp này bao gồm việc di chuyển TCP robot đến các điểm tham chiếu xác định đối tượng công việc. Bằng cách sử dụng các công cụ thuận lợi, các cạnh được đặt ở phía trước nhau, từ đó có thể xác định được vị trí của vật thể. Phương pháp hiệu chuẩn thủ công không hiệu quả lắm khi yêu cầu cao về độ chính xác. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, giá cả cạnh tranh. Nhược điểm là mất thời gian và độ chính xác không cao.

2.2.2. Phương pháp Bull's eye

Phương pháp Bull's eye được xác định với điểm gốc của hệ tọa độ công cụ, tại điểm gốc của hệ tọa độ cổ tay từ đó xác định TCP bằng thiết bị hiệu chuẩn Bull's eye. Thiết bị hiệu chuẩn Bull's eye dựa trên nguyên lý chiếu thẳng của tia laser, bằng cách di chuyển công cụ của robot đi qua chùm tia laser, có thể xác định được chiều rộng vật lý của các phần đồng tâm của công cụ khi đã biết hình dạng danh nghĩa của công cụ, khi đo chiều rộng các lát cắt mà công cụ đi qua, có thể xác định được đường tâm.

2.2.3. Phương pháp Force Control

Phương pháp Force Control - kiểm soát lực được thiết kế để sử dụng như một tiện ích bổ sung cho robot được trang bị gói chức năng kiểm soát lực ABB để giám sát các lực tác dụng lên vật thể bằng cảm biến bên ngoài.

2.2.4. Phương pháp laser LAB

Laser LAB là một công nghệ hiệu chuẩn dựa trên laser. Phương pháp này bao gồm một thiết bị đo có tên là "laser LAB" và một quả cầu đo. Thiết bị đo laser LAB bao gồm năm cảm biến laser riêng lẻ. Các cảm biến laser được đặt dưới dạng hình ngũ giác trong thiết bị và được căn chỉnh sao cho năm tia laser sẽ giao nhau tại một điểm chung. Bằng cách định vị quả cầu trong thiết bị laser, các vị trí trên bề mặt quả cầu có thể được xác định theo ba chiều.

2.2.5. Phương pháp độ chính xác tuyệt đối của ABB (ABB Absolute accuracy)

Độ chính xác tuyệt đối là phương pháp do hãng ABB phát triển dựa trên kỹ thuật laser [6]. Bằng cách sử dụng thiết bị theo dõi laser, một số vị trí tọa độ được xác định trong khu vực làm việc của robot. Bằng cách so sánh các vị

trí lý thuyết trong bộ điều khiển robot và vị trí thực tế của mặt bích lắp của robot, có thể xác định được một tập hợp hiệu chỉnh các tham số chuyển đổi từ trục robot sang bộ điều khiển servo.

2.2.6. Phương pháp PosEye®

Hệ thống PosEye® đo vị trí và hướng của cảm biến so với hệ thống tham chiếu bao gồm các mẫu đã biết. Nguyên lý đo lường tương tự như hệ thống định vị toàn cầu.

2.2.7. Phương pháp ABB Navigator

Hiệu chuẩn robot thường được thực hiện bằng cách định vị các điểm hiệu chuẩn sử dụng robot làm thiết bị đo lường. Điều hướng là một kỹ thuật tự động, rất chính xác và độc lập với người dùng, thay thế các bước thủ công.

3. Kết quả và bàn luận

Các phương pháp đo và hiệu chuẩn độ chính xác dịch chuyển cánh tay robot được trình bày ở trên có nhiều ưu điểm là đo với độ chính xác cao, một số phương pháp ít nhiều có nhược điểm ở các khía cạnh khác nhau (do đặc thù của phương pháp). Điểm chung của các phương pháp đo là có độ chính xác cao nhưng giải pháp này đi kèm thiết bị thường rất đắt tiền; yêu cầu thiết bị bổ sung đặc thù, giai đoạn thiết lập tốn thời gian và cần có kỹ năng đặc biệt. Với phương pháp hiệu chuẩn thủ công thì độ chính xác không cao, cần nhiều thời gian và phụ thuộc rất nhiều vào người vận hành.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp mới để đánh giá độ chính xác của cánh tay robot bằng cách sử dụng thị giác máy:

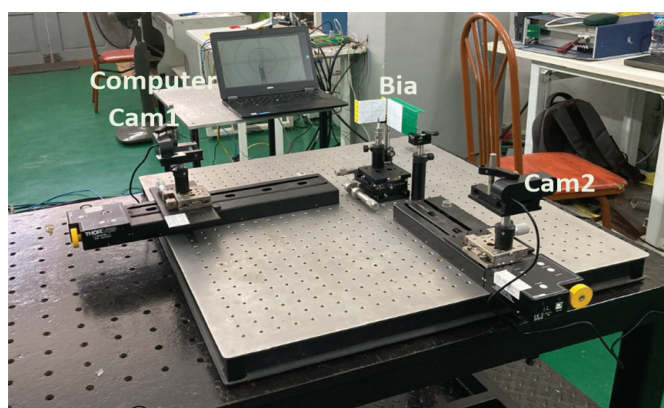
- Đánh giá độ chính xác của vị trí và độ chính xác lặp lại vị trí, sử dụng hai camera để theo dõi vị trí của TCP so với vị trí tham chiếu. Giá trị nhận được từ camera (x, z) và (y, z) sẽ qua xử lý của máy tính để được kết quả tức thời.

- Đánh giá độ chính xác đường tuyến tính và độ chính xác lặp lại đường tuyến tính, sử dụng một camera để theo dõi độ lệch vị trí của TCP so với hình tham chiếu. Giá trị nhận được từ camera (dx, dy) sẽ qua xử lý của máy tính để được kết quả tức thời.

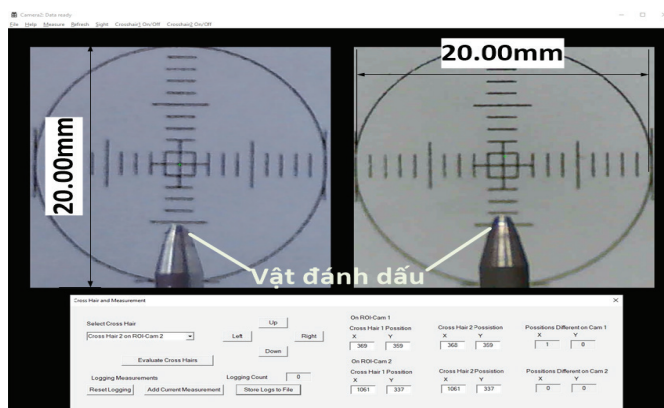
3.1. Thực nghiệm

Một bàn cơ khí kích thước 620x620 mm, trên đó lắp 2 thiết bị camera độ phân giải FullHD. Bố trí camera vuông góc với nhau, hướng vào một tấm bia (hình 5). Khoảng cách từ ống kính camera đến bia khoảng 400 mm, kết hợp góc mở, độ phóng đại cho kết quả hình ảnh kích thước khoảng 60x40 mm.

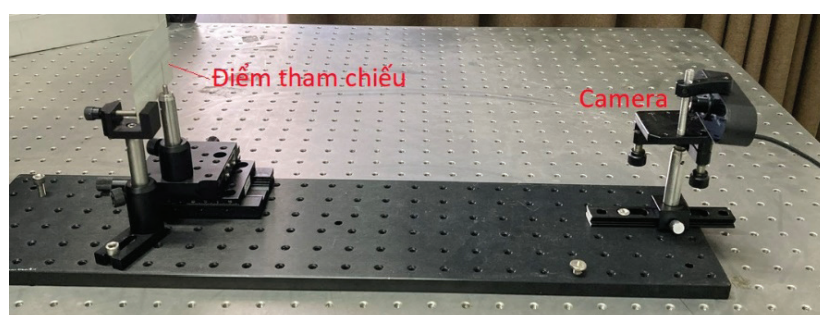
Đầu ra từ camera được nối vào máy tính, xử lý, thu hình ảnh vào khu vực cần theo dõi với kích thước 20x20 mm (hình 6).



Hình 5. Bàn làm việc.



Hình 6. Hình thu nhận trên máy tính.



Hình 7. Hệ thống giám sát điểm tham chiếu.



Hình 8. Vùng theo dõi của camera.

3.2. Luận giải độ chính xác kết quả đo

Bố trí camera theo dõi như ở hình 7. Kết quả theo dõi được ghi lại bởi camera ở phân giải chiều ngang 1920 pixel tương đương 60 mm (hình 8). Camera thuộc loại square pixel, vì vậy ta có độ phân giải tương ứng 32 pixels/mm. Như vậy ta có độ sai số khi tính theo pixel là $1/32 \text{ mm} \approx 0,033 \text{ mm}$.

3.3. Ngôn ngữ lập trình

Rapid là ngôn ngữ chương trình được sử dụng để điều khiển robot ABB [3]. Chương trình cho phép điều khiển chuyển động của trục robot, tính toán toán học, tín hiệu I/O... Cú pháp của chương trình tương tự như ngôn ngữ Basic. Với Rapid, vị trí đường đi trong các lệnh điều khiển chuyển động nhanh được biên soạn và chuyển đến bộ nội suy và kế hoạch đường đi của robot.

3.4. Yêu cầu thử nghiệm

Tiêu chuẩn ISO 9283:1998 [7]: Thao tác với robot công nghiệp - Tiêu chí hiệu suất và các phương pháp thử nghiệm liên quan, mô tả các thử nghiệm để đánh giá hiệu suất của robot công nghiệp. Trong số những thử khác, nó cung cấp các quy trình để đo đúng độ chính xác của vị trí robot, độ lặp lại và độ chính xác đường dẫn.

Theo ISO 9283:1998, tất cả các thử nghiệm nên được thực hiện bên trong cái gọi là khối kiểm tra ISO, là khối lập

phương lớn nhất có thể phù hợp bên trong không gian làm việc của robot; Ngoài ra, độ chính xác của vị trí và độ lặp lại nên được đo ở năm cấu hình khác nhau, mỗi cấu hình tối thiểu 30 lần. Với khuyến cáo trên, thiết lập đối với IRB 4600 được lựa chọn là:

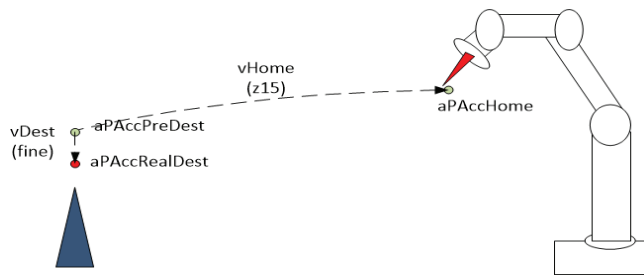
- Khối lập phương 1 M với tất cả sáu trục trong chuyển động; Tốc độ của cánh tay robot là 100, 150 và 200 mm/giây;
- Việc xác định độ chính xác vị trí và độ chính xác lặp lại cần được thực hiện tối thiểu với cấu hình MoveL, MoveC.

3.5. Tiến hành thử nghiệm độ chính xác lặp lại

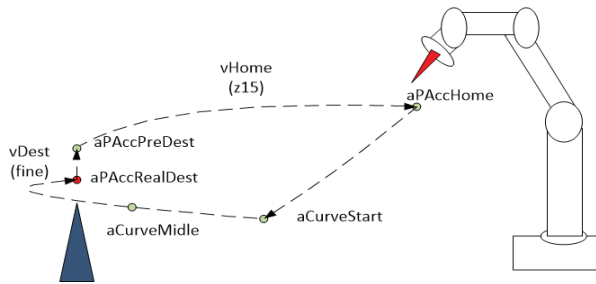
Thử nghiệm độ chính xác lặp lại được tiến hành với các điểm: aPAccHome, aPAccPreDest, aPAccRealDest, aCurveStart, aCurveMidle. Thử nghiệm với 2 cấu hình như sau:

Chuyển động thẳng MoveL (hình 9): Lập trình để robot di chuyển theo lộ trình aPAccHome đến aPAccPreDest rồi đến aPAccRealDest bằng lệnh MoveL. Đến aPAccRealDest robot dừng để đo số liệu rồi quay về aPAccHome.

Chuyển động cong MoveC (hình 10): Lập trình để robot di chuyển theo lộ trình aPAccHome đến aCurveStart, từ đó đến aPAccRealDest bằng lệnh MoveC qua điểm aCurveMidle. Đến aPAccRealDest robot dừng để đo số liệu rồi đi qua aPAccPreDest quay về aPAccHome.



Hình 9. Chuyển động thẳng.



Hình 10. Chuyển động cong.

3.6. Kết quả thử nghiệm

Trong quá trình di chuyển, áp dụng vùng z15 ở điểm trung gian và là FINE ở điểm aPAccRealDest. Tốc độ $v_{Home} = [250, 100, 40, 40]$ khi di chuyển trung gian và v_{Dest} khi đến đích aPAccRealDest. v_{Dest} được đặt ở ba giá trị $V = 100, 150$ và 200 (mỗi giá trị đo 3 ngày và thu thập 200 số liệu). Kết quả đo tại phòng thí nghiệm của Trung tâm Công nghệ Laser - Viện Ứng dụng Công nghệ thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả đo tính trung bình 200 số liệu.

	Di chuyển MoveL			Di chuyển MoveC		
Tốc độ	v100	v150	v200	v100	v150	v200
Sai lệch trung bình	0,0409	0,0252	0,0278	0,0345	0,0359	0,0340
Sai lệch lớn nhất	0,0577	0,0332	0,0350	0,0577	0,0667	

4. Kết luận

Trên cơ sở nhu cầu cần đo, kiểm tra các thông số dịch chuyển của cánh tay robot 6 bậc tự do: độ chính xác và độ lặp lại vị trí dịch chuyển cánh tay robot; độ chính xác đường tuyến tính và độ chính xác lặp lại đường tuyến tính. Chúng tôi đã đề xuất phương pháp sử dụng thị giác máy để đánh giá độ chính xác chuyển động của cánh tay robot IRB 4600 đã được đầu tư tại Phòng Thí nghiệm của Viện Ứng dụng Công nghệ. Trên cơ sở đó, xây dựng phương pháp đo độ chính xác dịch chuyển của các loại cánh tay robot công nghiệp bằng các trang thiết bị phù hợp với điều kiện sẵn có tại Viện mà vẫn cho các giá trị đáng tin cậy.

Kết quả thu được có độ chính xác nằm trong ngưỡng tham khảo từ hãng ABB [7]:

Sử dụng phương pháp này sẽ đem lại các lợi ích sau:

- Yêu cầu thiết bị bổ sung là phù hợp với các thiết bị, máy móc sẵn có trên thị trường hiện nay. Điều này cũng có nghĩa là giai đoạn thiết lập và vận hành nhanh hơn.

- Dễ dàng vận hành, không cần phải có năng lực đặc biệt. Ví dụ, việc hiệu chuẩn có thể được thực hiện bởi người vận hành robot.

- Thời gian khởi động linh hoạt và giảm thiểu. Việc hiệu chỉnh lại các đối tượng công việc có thể được tiến hành theo khoảng thời gian đã lên lịch. Bằng cách hiệu chỉnh lại các đối tượng làm việc trong khoảng thời gian đã đặt, độ chính xác vị trí liên tục có thể được đảm bảo.

- Phần mềm sẽ được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình robot nhanh chóng. Điều này có nghĩa là không cần cài đặt và thiết lập phức tạp cho các thiết bị bổ sung.

- Là một phương án thích hợp cho việc kiểm tra độ chính xác của robot (có tính tương thích về số liệu kết quả đo).

- Có tính kinh tế cạnh tranh (giá thành các thiết bị phụ trợ rẻ và sẵn có).

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ đã cho phép chúng tôi thực hiện đề tài khoa học và công nghệ cấp Quốc gia: “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, tích hợp thiết bị robot cắt kim loại sử dụng bức xạ fiber laser”, tạo điều kiện nghiên cứu chuyên sâu để có kết quả cho bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Agnoli, Barber & Brundage, Inc. (2023), *Product Specification: Controller IRC5*, 162pp.
- [2] Agnoli, Barber & Brundage, Inc. (2024), *Product Specification: Robot User Documentation, OmniCore with RobotWare 7*, 38pp.
- [3] Agnoli, Barber & Brundage, Inc. (2014), *Product Specification: Robot User Documentation, IRC5 with RobotWare 5*, 30pp.
- [4] Agnoli, Barber & Brundage, Inc. (2010), *Technical Reference Manual: RAPID Instructions, Functions and Data Types*, 1264pp.
- [5] Agnoli, Barber & Brundage, Inc. (2021a), *Technical Reference Manual: System Parameters*, 912pp.
- [6] Agnoli, Barber & Brundage, Inc. (2021b), *Product Specification: IRB 4600*, 72pp.
- [7] International Organization for Standardization (1998), *ISO 9283:1998: Manipulating Industrial Robots - Performance Criteria and Related Test Methods*, 2nd Edition, 60pp.