

PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CHO ROBOT CÔNG NGHIỆP SỬ DỤNG PLC MITSUBISHI Q

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL ROBOTS USING
PLC MITSUBISHI Q

TS. Dương Văn Lạc

Khoa Cơ Điện tử, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Việc nghiên cứu phát triển hệ thống điều khiển cho robot công nghiệp là cực kỳ cần thiết trong thực tiễn để làm chủ sản xuất và ứng dụng khôi phục các robot công nghiệp đã bị hư hỏng hệ thống phần điều khiển. Bài báo trình về phát triển một hệ thống điều khiển cho robot công nghiệp ba bậc tự do tích hợp ngôn ngữ lập trình cho người dùng, sử dụng bộ điều khiển PLC Mitsubishi Q02HCPU và mô-đun điều khiển vị trí QD75MH4. Phần mềm có đầy đủ các chức năng cơ bản, cũng như cho phép người dùng có thể soạn mã lập trình để điều khiển robot. Thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển robot có thể hoạt động tốt và ổn định.

Từ khóa: Robot công nghiệp; Bộ điều khiển robot; Bộ điều khiển logic PLC.

ABSTRACT

Researching control systems for industrial robots is necessary to master production and to restore industrial robots whose control systems have been damaged. This article presents the development of a control system for three degrees of freedom industrial robots that integrates programming language for users, using a Mitsubishi Q02HCPU PLC controller and QD75MH4 position control module. The software has all the basic functions and allows users to compose programming code to control robots. Experiments show that the robot controller can operate well and stably.

Keywords: Industrial robots; Robot controllers; Programmable logic controller (PLC).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thời đại công nghiệp 4.0, robot công nghiệp không chỉ đóng vai trò làm tăng hiệu suất sản xuất mà còn là cốt lõi của tự động hóa và linh hoạt trong quá trình sản xuất. Tính linh hoạt của các hệ thống robot ngày càng trở nên quan trọng trong việc đáp ứng nhu cầu thay

đổi của thị trường và phản ứng nhanh chóng với các biến động. Việc nghiên cứu và phát triển hệ thống điều khiển cho robot công nghiệp ở Việt Nam trong bối cảnh của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đặt ra một thách thức đặc biệt: làm chủ công nghệ sản xuất cũng như khôi phục các robot công nghiệp đã bị hỏng hệ thống điều khiển.

Hiện nay, phần lớn robot công nghiệp đều phụ thuộc vào các nền tảng phần mềm độc quyền của nhà sản xuất, với việc lập trình robot dựa trên ngôn ngữ lập trình riêng mà mỗi nhà sản xuất cung cấp. Điều này tạo ra những thách thức đối với việc cập nhật, bảo trì và phát triển các chức năng mới để đáp ứng nhu cầu sản xuất hiện tại, do quyền truy cập vào các cấp độ thấp của hệ thống điều khiển bị hạn chế [1]. Để khắc phục những hạn chế này và mở rộng các ứng dụng của robot, có rất ít nghiên cứu học thuật giới thiệu các công nghệ mới và các giải pháp điều khiển thay thế [2]. Ví dụ, Claudio và cộng sự [3] đã phát triển cấu trúc điều khiển sử dụng hai bộ vi điều khiển dsPIC30F4013. Tuy nhiên, việc duy trì hệ thống này trong môi trường công nghiệp trong thời gian dài đặt ra những thách thức lớn.

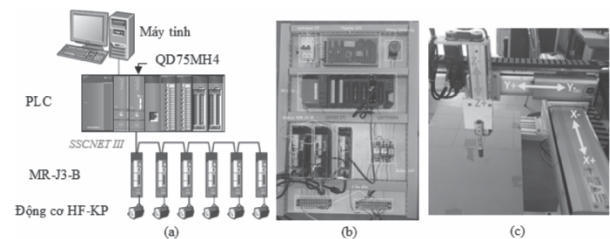
Để giải quyết vấn đề trên, bài báo đưa ra phương án xây dựng phần mềm và hệ thống điều khiển robot dựa trên các bộ điều khiển logic PLC sẵn có trên thị trường. Mục tiêu của nghiên cứu này là làm chủ hệ thống điều khiển, xây dựng mã nguồn mở ứng dụng cho robot công nghiệp để vượt qua các hạn chế kỹ thuật và sự phụ thuộc vào nền tảng phần mềm độc quyền của các nhà sản xuất robot.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng hệ thống điều khiển

Hình 1(a), (b), và (c) lần lượt trình bày sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển, tủ điều khiển và mô hình robot ba bậc tự do được sử dụng để kiểm chứng hoạt động. Hệ thống bao gồm máy tính, mô-đun PLC Q02HCPU và các động cơ AC servo dẫn động cho các khớp của robot. Trong nghiên cứu này, dòng động cơ servo HF-KP và driver MR-J3B của hãng Mitsubishi đã được lựa chọn. Để thực hiện điều

khiển các động cơ này, mô-đun điều khiển vị trí QD75MH4 đã được sử dụng. Đặc điểm nổi bật của mô-đun này là khả năng điều khiển đồng thời 4 trục với nhiều tính năng điều khiển, bao gồm điều khiển riêng lẻ và điều khiển nội suy. Tín hiệu về vận tốc và vị trí sẽ được nhập trên giao diện phần mềm máy tính. Chương trình sẽ quét lệnh và chuyển dữ liệu điều khiển đến PLC, và sau khi nhận được dữ liệu, PLC sẽ ghi vào các thanh ghi chức năng trên mô-đun điều khiển chuyển động QD75MH4. Mô-đun này được kết nối với các bộ điều khiển động cơ AC servo MR-J3B thông qua truyền thông mạng SSCNET III. PLC sau đó nhận lại tín hiệu về vị trí của các khớp và gửi lại lên máy tính để hiển thị trạng thái hoạt động của hệ thống.



Hình 1. (a) Sơ đồ hệ thống điều khiển; (b) Tủ điều khiển; (c) Mô hình robot.

Việc điều khiển động cơ AC servo thông qua mô-đun QD75MH4 tương đối dễ dàng. Trong bộ nhớ của mô-đun phân chia thành các thanh ghi bộ nhớ với các chức năng tương ứng. Lấy ví dụ với việc điều khiển trục X (trục 1). Nếu ta muốn di chuyển trục X theo một vận tốc nhất định đến một điểm, cần hai thông số cơ bản là vị trí và vận tốc. Danh sách 600 điểm di chuyển của trục 1 được nhà sản xuất quy định là từ 2000 đến 7999. Mỗi một điểm được cấp phát 10 thanh ghi, mỗi thanh nhớ gồm 16 bit. Chức năng của mỗi thanh ghi như sau:

- Data No: Số thứ tự của điểm, khi cần di chuyển đến điểm nào chỉ cần đưa giá trị thứ tự tương ứng của điểm đó vào thanh ghi G1500. ➡

• Positioning identifier: Định danh địa chỉ của điểm, ô nhớ chứa các thông tin về kiểu điều khiển, kiểu di chuyển, thời gian tăng và giảm tốc,...

• M code: Tùy chọn giá trị M code nếu cần.

• Dwell time: Thời gian chờ cho đến khi di chuyển đến điểm kế tiếp.

Command speed: Thanh ghi tốc độ, cấu thành từ 02 thanh ghi 16 bit, tương đương thanh ghi 32 bit và kiểu giá trị nguyên.

Positioning address: Thanh ghi địa chỉ.

Arc data: Thanh ghi địa chỉ phụ, dùng khi điều khiển nội suy cung tròn.

Bằng cách phối hợp điều khiển các động cơ một cách hợp lý, robot có thể thực hiện các yêu cầu di chuyển theo quỹ đạo mà người vận hành mong muốn.

Item	Axis #1	Axis #2	Axis #3
Basic parameters 1			
Unit setting	0mm	0mm	0mm
No. of pulses per rotation	262144 pulses	262144 pulses	262144 pulses
Movement amount per rotation	10000.0 um	10000.0 um	10000.0 um
Unit magnification	1 x 1 Times	1 x 1 Times	1 x 1 Times
Basic parameters 2			
Speed limit value	Set according to the machine and applicable motor when system is started up. (This parameter becomes valid when the PLC READY signal is ON)	3000.00 mm/min	3000.00 mm/min
Acceleration time 0	1000 ms	1000 ms	1000 ms
Deceleration time 0	1000 ms	1000 ms	1000 ms
Detailed parameters 1			
Feedrate compensation amount	0.0 um	0.0 um	0.0 um
Software stroke limit upper limit value	214748364.7 um	214748364.7 um	214748364.7 um
Software stroke limit lower limit value	-214748364.8 um	-214748364.8 um	-214748364.8 um
Software stroke limit selection	0: Set Software Limit to Sending Current Value	0: Set Software Limit to Sending Current Value	0: Set Software Limit to Sending Current Value
Software stroke limit valid/invalid selection	0: Invalid	0: Invalid	0: Invalid
Command position width	32.0 um	32.0 um	32.0 um
Torque limit setting value	200 %	100 %	100 %
Mode Chn signal output wiring	1: APT200 Mode	0: I1774 Mode	0: APT200 Mode
Speed switching mode	0: Standard Speed Switch Mode	0: Standard Speed Switch Mode	0: Standard Speed Switch Mode
Interpolation speed designation method	0: Composite Speed	0: Composite Speed	0: Composite Speed
Current feed value during speed control	0: Not update of sending current value	0: Not update of sending current value	0: Not update of sending current value
Input signal logic selection (over)	0: AND	0: AND	0: AND

Hình 2. Giao diện cấu hình cho mô-đun QD75MH4.

2.2. Lập trình điều khiển PLC

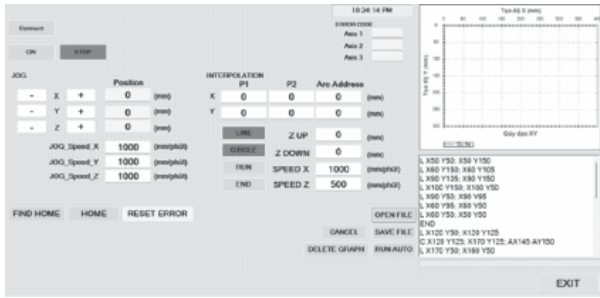
Chương trình điều khiển PLC được xây dựng trên phần mềm GX Work 2 của hãng Mitsubishi. Trước khi lập trình điều khiển chuyển động cho các trục, cần cài các tham số

cho mô-đun QD75MH4 như Hình 2, bao gồm như đơn vị, số xung trên một vòng quay, tỷ số truyền động,... Chương trình được thiết kế với đầy đủ các chức năng cho mục đích điều khiển các khớp của robot như chế độ chạy JOG (chạy thử), chế độ OPR (dò góc) và FAST OPR (về gốc nhanh), chế độ Interpolation (chạy nội suy).

Trong phần lập trình liên quan đến dò góc (Home) của robot, mỗi khi khởi động hệ thống, cần đưa các khớp của robot về gốc. Để thực hiện quá trình này, chức năng OPR của mô-đun QD75MH4 được sử dụng, robot sẽ tìm gốc dựa trên cảm biến Home, vị trí gốc sẽ được tự động lưu lại, làm cơ sở cho các dịch chuyển cho robot sau này. Trong chế độ chạy nội suy, quy tắc di chuyển của robot là trục Y nội suy theo trục X (nên vận tốc trục Y cũng sẽ phụ thuộc vào trục X) để tạo ra quỹ đạo mong muốn, trục Z chạy phối hợp với hai trục X và Y vẽ ra quỹ đạo chuyển động cho robot. Các thông số cần xác định gồm địa chỉ điểm đầu và điểm cuối với trường hợp nội suy đường thẳng. Với nội suy đường tròn cần thêm điểm trung gian. Các thông số quan trọng khác cần xác định bao gồm: địa chỉ điểm đầu và cuối của trục Z, tốc độ nội suy của trục X và Y, tốc độ tiếp cận của trục Z.

2.3. Phần mềm điều khiển

Hãng Mitsubishi Electric cung cấp các phần mềm lập trình cũng như hỗ trợ các thư viện lập trình khi làm việc với các thiết bị của hãng. Nghiên cứu này sử dụng phần mềm MX Component để thực hiện kết nối giữa phần mềm lập trình trên máy tính và PLC của hãng. Chuẩn USB được sử dụng làm chuẩn giao tiếp giữa máy tính với PLC. Hình 3 là giao diện phần mềm điều khiển được thiết kế trên Windows Form sử dụng phần mềm lập trình Visual Studio 2022.



Hình 3. Giao diện phần mềm điều khiển trên máy tính.

Phần mềm điều khiển được phát triển đầy đủ các chức năng cơ bản trong điều khiển robot bao gồm: chạy JOG các trục độc lập, về gốc, hiển thị mã lỗi, chạy nội suy, hiển thị quỹ đạo robot, điều chỉnh tốc độ, hiển thị trạng thái của hệ thống theo thời gian thực. Một điểm nổi bật của phần mềm là có tích hợp ngôn ngữ lập trình cho người vận hành.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1. Đánh giá sai số

Để đánh giá độ chính xác lặp của robot, một thí nghiệm đã được thực hiện để đánh giá sai số chuyển động của robot. Một đồng hồ so được đặt sao cho phương di chuyển của đầu so trùng với phương chuyển động của trục cần đo. Sau đó cho robot di chuyển theo trục cần đo, khi mặt tiếp xúc chạm vào mũi đo của đồng hồ, kim đồng hồ sẽ chỉ một giá trị nhất định nào đó. Giữ nguyên trạng thái của robot, xoay mặt đồng hồ sao cho mũi kim chỉ giá trị trùng với vạch “0”, và ghi nhớ vị trí hiện tại của robot đang hiển thị trên giao diện điều khiển. Tiếp đó, cho robot quay về gốc xuất phát và quay lại vị trí của robot đã lưu trước đó trong 20 lần đo. Khi đó, nếu có bất kỳ sai số nào so với vị trí quy ước “0”, sai số sẽ hiển thị trên kim chỉ thị của đồng hồ so. Kết quả độ chính xác lặp được đánh giá bằng độ lệch chuẩn và được tính theo công thức sau:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Trong đó, n là tổng số mẫu đo, $\bar{x}$ là trung bình của mẫu đo, x_i là giá trị mẫu đo thứ i . Qua tính toán, sai số của các khâu X, Y, và Z sau 20 lần đo như sau:

Bảng 1. Kết quả sai số

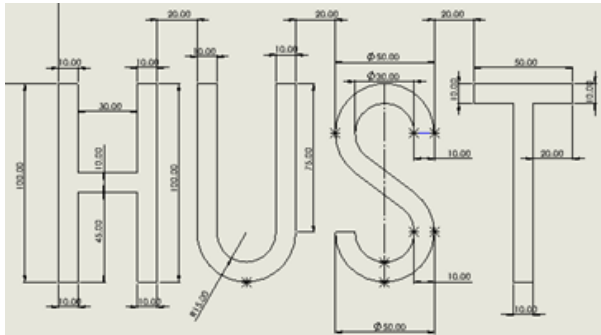
	X	Y	Z
Độ lệch chuẩn (σ)	0.01	0.00607	0.007255

Các sai số trên cho thấy rằng robot có khả năng hoạt động khá ổn định và chính xác. Theo độ phân giải của động cơ, các khâu của robot có thể thực hiện chuyển động với độ chính xác đến cỡ $1\mu\text{m}$, cho thấy rằng các sai số thực nghiệm chủ yếu đến từ sai số cơ khí của các trục chuyển động. Vì vậy, nếu cơ khí của các trục được sản xuất chính xác, robot có thể đạt được độ chính xác cao hơn nhiều. Điều này làm nổi bật vai trò quan trọng của sự kết hợp giữa các yếu tố điều khiển và cơ khí trong việc đảm bảo hiệu suất và độ chính xác của robot trong quá trình hoạt động.

3.2. Quỹ đạo thử nghiệm

Cuối cùng, để kiểm tra hoạt động của robot với phần mềm điều khiển được phát triển, một quỹ đạo hình chữ “HUST” đã được thử nghiệm, như trong Hình 4(a). Quỹ đạo chạy thực tế của robot được thể hiện trong Hình 4(b). Kết quả thu được cho thấy rằng quỹ đạo thực tế đáp ứng đúng với quỹ đạo mong muốn. Tuy nhiên, trong quá trình hoạt động, thời gian xử lý lệnh còn tương đối chậm. Điều này đặt ra yêu cầu tiếp tục nghiên cứu và xây dựng các

giải thuật điều khiển để nâng cao tốc độ và tính mượt mà trong chuyển động của robot.



(a)



(b)

Hình 4. (a) Quỹ đạo mong muốn; (b) Quỹ đạo thực tế của robot.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày một hệ thống điều khiển cho robot công nghiệp dựa trên sử dụng bộ điều khiển PLC. Mặc dù các chức năng còn tương đối đơn giản, nhưng hệ thống cơ bản đã đáp ứng được các yêu cầu của bài toán điều

khiển: gồm chức năng điều khiển bằng tay, điều khiển theo chương trình và hiển thị trạng thái hoạt động của hệ thống theo thời gian thực. Kết quả của nghiên cứu hoàn toàn có thể mở rộng lên các cấu hình robot có nhiều bậc tự do hơn, như sử dụng mô-đun điều khiển 16 trục QD77MS16. Mã nguồn mở của nghiên cứu được công bố theo đường dẫn sau: <https://github.com/lacduong/RobotController>. ❖

Ngày nhận bài: 12/02/2024

Ngày phản biện: 04/3/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Daiki Kondo, Kazuaki Kusakabe, “Development of Robot Controller MRC01 and Example for Introducing Robot to Equipment”. Oriental Motor, 2022.
- [2]. A. Nakamura, Y. Ohyama, K. Ito, K. Saito, “Controller for industrial robots”. Proceedings, 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA, USA, 1986, pp. 254-259.
- [3]. Claudio Urrea, John Kern, “Development of an electronic controller applied to a robotized manipulator”. Computers & Electrical Engineering, vol. 56, pp. 648-658, 2016.
- [4]. MELSOFT, MELSEC-Q QD75MH Positioning Module User's Manual, <http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/ssc/ib0300117/ib0300117b.pdf>.