

# THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỪ XA CÁNH TAY ROBOT BẰNG CÔNG NGHỆ TRÊN IOT

**Đỗ Trí Nhật<sup>(1)</sup>, Nguyễn Hoài Nhân<sup>(1)</sup>**

(1) Trường Đại học Công nghệ Thông tin (VNU-HCM)

Ngày nhận bài 29/9/2023; Ngày gửi phản biện 25/10/2023; Chấp nhận đăng 6/11/2023

Liên hệ email: trinhutdo@uit.edu.vn

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2023.06.486>

## **Tóm tắt**

Cánh tay Robot được lập trình để thực hiện một số nhiệm vụ bằng cách di chuyển bộ phận cuối khớp từ nơi này sang nơi khác như nâng, đặt xuống, tháo hoặc hàn một phần hoặc toàn bộ phôi, tùy theo thông số kỹ thuật và nhu cầu của nhà sản xuất với độ chính xác và hiệu suất cao. Cánh tay Robot còn được sử dụng khi thay thế thao tác người làm những công việc nguy hiểm, rủi ro nhằm đảm bảo an toàn. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thiết kế hệ thống điều khiển cánh tay robot 4 bậc tự do. Hệ thống cánh tay robot được điều khiển từ xa theo thiết kế bằng cách giữ, thả và di chuyển cánh tay robot lên xuống, cùng các thao tác khác. Trong thiết kế bao gồm một hệ thống nhúng với phương pháp dựa trên Internet vạn vật cũng được đề xuất và một phần mềm ứng dụng được thiết kế trên website với 4 bảng điều khiển tương ứng cho điều khiển 4 động cơ servo có biên độ dao động từ 0 đến 180 độ theo cả chiều kim đồng hồ và ngược chiều kim đồng hồ. Nhiều thử nghiệm được tiến hành dựa trên nhiều kịch bản được thiết kế đã chứng minh tính khả thi và ổn định của hệ thống điều khiển không dây bằng phần mềm được thiết kế cài đặt trên các thiết bị di động như điện thoại, máy tính bảng hoặc máy tính như laptop, máy tính cá nhân.

**Từ khóa:** công nghệ IOT, hệ thống điều khiển, robot

## **Abstract**

### **DESIGN OF REMOTE CONTROL SYSTEM ROBOT ARM WITH IOT TECHNOLOGY**

A robot arm that is programmed to perform various tasks by moving its end joint from one place to another, such as lifting, placing, removing, or welding a part or an entire workpiece, depending on the technical specifications and needs of the manufacturer with high precision and efficiency. The robot arm is also used to replace human operations in dangerous and risky jobs to ensure safety. In this article, we propose a design for a 4-degree-of-freedom robot arm control system. The robot arm system is remotely controlled by holding, releasing, and moving the robot arm up and down, along with some other operations. The design includes an embedded system with an Internet of

*Things-based approach and an application software designed on a website with 4 corresponding control panels for controlling 4 servo motors with oscillation amplitudes ranging from 0 to 180 degrees in both clockwise and counterclockwise directions. Many experiments have been conducted based on various designed scenarios that have demonstrated the feasibility and stability of the wireless control system using software installed on mobile devices such as phones, tablets or computers like laptops or desktops.*

---

## 1. Giới thiệu

Trên thế giới hiện nay, các máy công cụ thay thế sức lao động của con người như Cánh tay robot công nghiệp (Alessandro Massaro, 2022; Shuai Li và cs., 2019) được hiểu là hệ thống máy mô phỏng hoạt động của con người nhằm mục đích hoàn thiện dây chuyền sản xuất với năng suất cao trong vận hành nhờ cơ chế ưu việt. Cánh tay robot công nghiệp chuyên thực hiện các công việc lặp đi lặp lại, nhàm chán, làm giảm sự tập trung của người lao động như lắp ráp các bộ phận hoặc linh kiện lại với nhau để tạo ra sản phẩm cuối cùng, đóng gói và sắp xếp giao hàng, thao tác các chi tiết nhỏ như linh kiện điện tử đòi hỏi độ chính xác và nhất quán cực cao. Chính vì những ưu điểm nêu trên nên nhiều nghiên cứu ứng dụng liên quan đến phương pháp điều khiển cánh tay robot trong nhiều lĩnh vực đã được đề xuất và công bố.

Nguyễn Đăng Quang và Văn Vĩ Thành (2023) đã đề cập đến một robot cánh tay được áp dụng trong các hệ thống phân loại các sản phẩm có màu sắc khác nhau đã được biết đến. Phần cứng hệ thống được thiết kế trong bao gồm Arduino Uno, cảm biến màu TCS3200 và 5 động cơ servo. Nguyên lý hoạt động được xây dựng dựa trên vị trí của sản phẩm. Khi có vật thể đi qua, cảm biến màu sẽ được kích hoạt để gửi tín hiệu đến Arduino Uno để điều khiển các servo trong các khớp của cánh tay và di chuyển mang theo vật thể có màu đến các điểm cố định theo màu tương ứng. Do chỉ sử dụng Arduino Uno để xử lý nên robot cánh tay hệ thống được thiết kế ở chế độ giới hạn thực hiện một công việc cụ thể và không thể giao tiếp với các thiết bị khác được.

Nhiều nghiên cứu công bố trong (Sabya Bharat và Patil Ashish, 2015; Emad và cs., 2017; Dalgic và cs., 2019; Naveen và cs., 2023) đã đề xuất các phương pháp điều khiển cánh tay robot không dây thông qua các giao thức và công nghệ bluetooth, radio, sóng hồng ngoại. Nghiên cứu trong (Sathyamoorthy và cs., 2022) đã thiết kế một hệ thống phần cứng bao gồm Bộ kit công cụ phát triển TM4C123G Tiva C Series hoạt động như một bộ điều khiển, Mô-đun Bluetooth HC-05 và động cơ servo SG90 và MG995. Cánh tay robot được điều khiển thủ công thông qua ứng dụng trên thiết bị thông minh sử dụng công nghệ Bluetooth. Nhược điểm của nghiên cứu này là Bluetooth là công nghệ cũ truyền tín hiệu ở gần, dễ gây nhiễu và độ bảo mật thấp hơn.

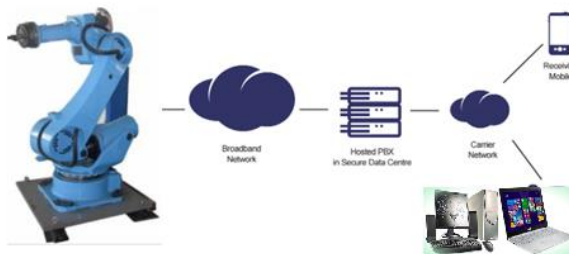
Trong bài báo này, một thiết kế mới của hệ thống cánh tay robot được đề xuất. Các thiết bị di động thông minh được sử dụng để điều khiển chuyển động của cánh tay robot. Trong thiết kế, cánh tay robot và thiết bị di động thông minh được kết nối (gửi/nhận dữ

liệu tín hiệu) qua Wi-Fi bằng cách sử dụng bộ Arduino có tên ESP8266. ESP8266 có nhiệm vụ kết nối Wi-Fi và truyền tải thông tin giữa phần mềm ứng dụng được cài đặt trong thiết bị di động thông minh và bộ vi điều khiển nhúng trên bo mạch Arduino được sử dụng để xử lý và điều khiển các thiết bị ngoại vi bao gồm trình điều khiển động cơ servo, thiết bị hiển thị. Trình điều khiển động cơ servo điều khiển các động cơ servo được đặt cố định trên các khớp cánh tay robot.

Phần còn lại của bài viết này được tổ chức như sau. Thiết kế của hệ thống đề xuất được mô tả ở phần 2. Ở phần 3, một số kết quả thực nghiệm cũng được trình bày. Phần 4 kết luận bài viết và những định hướng trong tương lai.

## 2. Thiết kế hệ thống

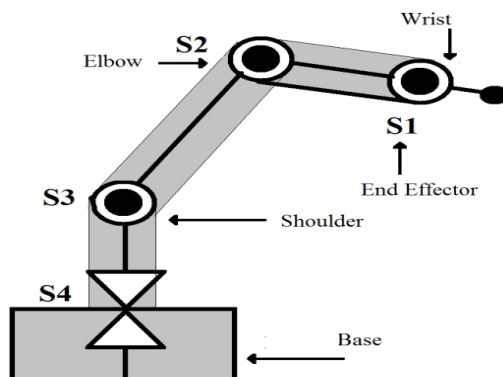
Hệ thống cánh tay robot bao gồm hai phần: phần cứng và phần mềm. Mỗi bộ phận được thiết kế riêng biệt trên cơ sở đảm bảo tính đồng bộ, tương thích với nhau. Hệ thống đề xuất được thiết kế để điều khiển từ xa cánh tay robot bằng các thiết bị di động thông minh như điện thoại, máy tính xách tay, máy tính cá nhân, v.v. thông qua IoT Cloud dựa trên Wi-Fi. Nó được mô tả như trong hình 1. Phần bên trái của hình 1 là phần cứng của khung cánh tay robot trong khi phần bên phải là phần mềm dựa trên giao thức IoT Cloud.



**Hình 1.** Sơ đồ khối hệ thống cánh tay Robot được đề xuất.

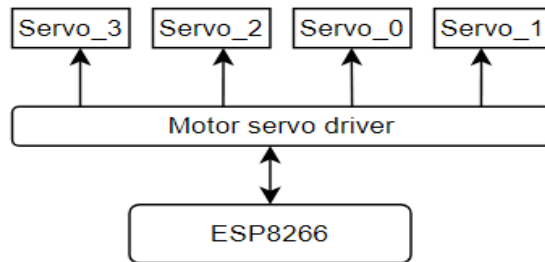
### 2.1. Thiết kế cánh tay Robot

Cánh tay Robot được thiết kế với 4 bậc tự do (DOF). Mỗi bậc tự do là 1 khớp xoay có góc quay giới hạn tương ứng với 1 vị trí đặt mô tơ servo. Chúng được đặt tên là cổ tay (Wrist), khuỷu tay (Elbow), vai (Shoulder) và đế (Base) như mô tả trong hình 2.



**Hình 2.** Hệ thống phần cứng cánh tay Robot.

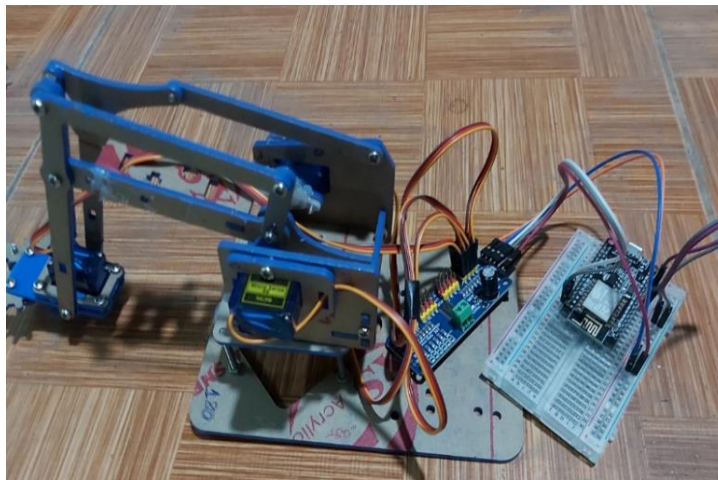
Hệ thống phần cứng cánh tay Robot như trên được kết nối với trình điều khiển động cơ, nơi nhận lệnh từ IoT Cloud thông qua bộ vi điều khiển và mô-đun Wi-Fi 8266 trên bo mạch Arduino ESP8266. Chi tiết thiết kế hệ thống phần cứng cánh tay Robot bao gồm khung kim loại, bốn động cơ servo SG90, một trình điều khiển động cơ và một bo mạch Arduino ESP8266. Các thiết bị và linh kiện được sử dụng theo thiết kế phần cứng như sơ đồ khối ở hình 3.



**Hình 3.** Các thiết bị và linh kiện sử dụng cho hệ thống phần cứng.

Hệ thống phần cứng bao gồm 3 phần chính:

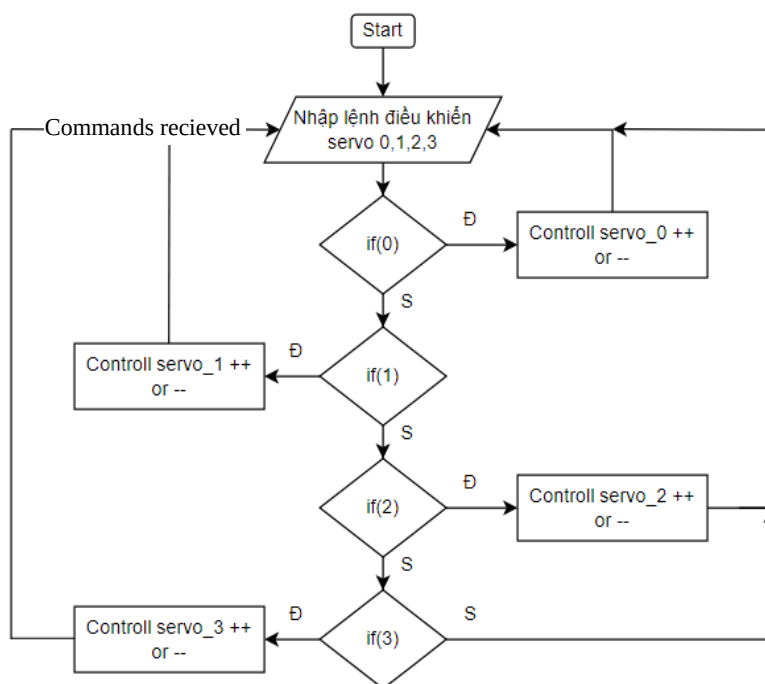
- Esp8266: Chịu trách nhiệm xử lý và điều khiển các bộ phận của cánh tay (thông qua bộ điều khiển động cơ servo).
  - Bộ điều khiển động cơ servo: Chịu trách nhiệm điều khiển động cơ servo và giúp ổn định điện áp.
  - Động cơ servo: Giúp cử động các khớp của cánh tay (4 bậc tự do).
- Chúng được lắp ráp thực tế để triển khai thực nghiệm như trong hình 4.



**Hình 4.** Hệ thống phần cứng cánh tay Robot thực tế.

## 2.2. Thiết kế phần mềm điều khiển

Phần mềm được thiết kế gồm 2 phần: một phần trên trang web dưới dạng nút điều khiển trong kiến trúc IoT và một phần trong bộ kit phát triển Arduino ESP8266. Thiết kế phần mềm cho nút ESP8266 được tóm tắt bằng sơ đồ thuật toán như được mô tả trong hình 5.



**Hình 5.** Sơ đồ thuật toán phần mềm.

Đầu tiên, một giao thức kết nối được sử dụng để thiết lập kết nối giữa nút ESP8266 và IoT Cloud dựa trên các chế độ hoạt động sau:

- Access Point (Wi-Fi\_AP): (Access Point – AP) cung cấp khả năng truy cập mạng Wi-Fi cho các thiết bị khác (Station – STA) và kết nối chúng với mạng có dây. ESP8266 có thể là một AP nhưng nó không kết nối có dây với mạng. Chế độ hoạt động như vậy được gọi là soft-AP. Số lượng trạm tối đa được kết nối với soft-AP là 5.

- Trạm (Wi-Fi\_STA): Thiết bị được kết nối với mạng Wi-Fi được gọi là trạm. Việc kết nối với mạng Wi-Fi được hỗ trợ bởi điểm truy cập (AP), một AP có chức năng như một trung tâm nhưng dành cho nhiều trạm. Mỗi điểm truy cập được xác định bởi một SSID (Service Set Identifier), SSID cũng chính là tên mạng hiển thị khi chúng ta kết nối Wi-Fi.

- Access Point – Station (Wi-Fi\_AP\_STA): Ở chế độ này, ESP8266 vừa kết nối Wi-Fi vừa phát tín hiệu Wi-Fi.

⇒ Thư viện hỗ trợ: “ESP8266Wi-Fi.h” và hệ thống được đề xuất sử dụng chế độ Wi-Fi\_STA.

Khi có tín hiệu điều khiển từ ứng dụng qua Wi-Fi, Esp8266 sẽ kiểm tra dữ liệu nhận được và điều khiển servo phù hợp rồi trả về ứng dụng dữ liệu vị trí servo hiện tại. Động cơ servo được phân bổ cho các khớp như sau:

- servo\_3 được gán cho khớp cổ tay S1: hành động nhả nắm. Lưu ý rằng phạm vi mô tơ servo này chỉ nằm trong khoảng [0o – 110o].

- servo\_2 gán cho khớp khuỷu tay S2 và servo\_1 gán cho khớp vai S3: động tác đẩy lên - xuống. Lưu ý rằng phạm vi mô tơ servo này chỉ nằm trong khoảng [0o – 160o].

- servo\_0 được gán cho khớp đế S4: tác động xoay Yaw theo chiều kim đồng hồ ngược chiều kim đồng hồ (trái-phải).

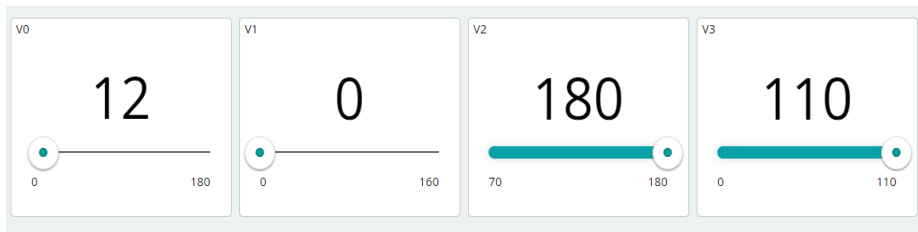
Quá trình truyền dữ liệu qua Wi-Fi (sử dụng đám mây IoT của Arduino):

- Khởi tạo 4 biến tương ứng với 4 động cơ servo và quản lý 4 biến đó để điều khiển góc quay.

- Sau khi kết nối Esp8266 với đám mây IoT và theo dõi 4 biến số đó.

- Bằng cách điều chỉnh các giá trị đó, chúng ta có thể điều khiển động cơ servo.

Bảng điều khiển được tạo trên trang web như trong hình 6.



**Hình 6.** Bảng điều khiển cho động cơ servo.

### 3. Kết quả thực nghiệm

#### 3.1. Kết nối thành công với Đám mây IoT

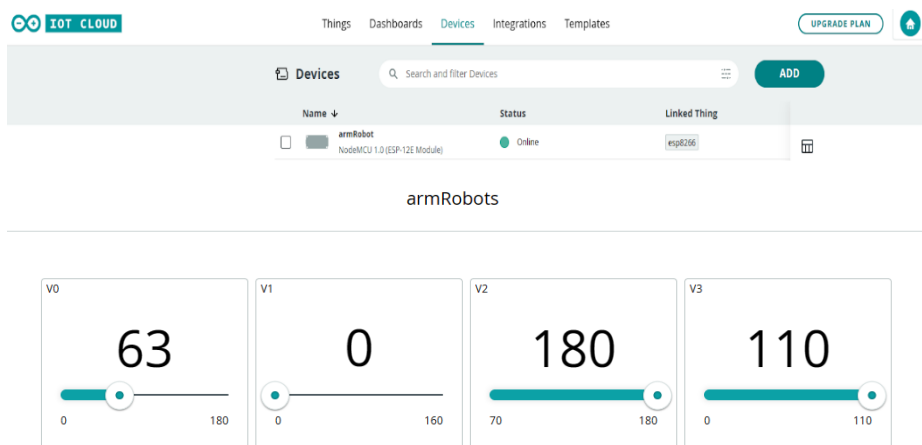
Cánh tay robot kết nối thành công với đám mây IoT nhờ thiết kế phần mềm được đề xuất ở phần trước với việc thiết lập các thông số phù hợp. Kết quả thử nghiệm cho thấy kết nối thành công được mô tả như trên hình 7.

```
WiFi.status(): /
***** Arduino IoT Cloud - configuration info *****
Device ID: a97cea53-fla4-4c06-9b2c-e20c0efcb15d
MQTT Broker: mqttt-up.iot.arduino.cc:8884
WiFi.status(): 7
Connection to "Unki82" failed
Retrying in "4000" milliseconds
Connected to "Unki82"
*****
***** Arduino IoT Cloud - configuration info *****
Device ID: a97cea53-fla4-4c06-9b2c-e20c0efcb15d
MQTT Broker: mqttt-up.iot.arduino.cc:8884
WiFi.status(): 3
Connected to "Unki82"
Connected to Arduino IoT Cloud
Thing ID: 993ce4a7-c249-4763-87bc-f1bd667df105
```

**Hình 7.** Thông tin về việc kết nối thành công cánh tay robot với Đám mây IoT.

#### 3.2. Phần mềm điều khiển trên nền web

Giao diện người dùng phần mềm ứng dụng quản lý trên trang web thông qua đám mây IoT được trình bày như Hình 8 cho thấy bo mạch Arduino ESP8266 đã được kết nối IoT Cloud qua Wi-Fi và chúng tôi sẵn sàng trao đổi thông tin trong vận hành, quản lý, giám sát, và điều khiển cánh tay robot từ xa bằng công nghệ IoT.



**Hình 8.** IoT Cloud đã cập nhật trạng thái của ESP8266 (phần trên) và giao diện người dùng điều khiển góc quay của 4 động cơ servo (phần dưới).

### 3.3. Điều khiển cánh tay robot

Thử nghiệm được lặp lại nhiều lần, thao tác điều khiển từ xa của từng mô tơ servo cho kết quả mượt mà, đáp ứng đúng chiều quay, góc quay mong muốn như số độ hiển thị trên bảng điều khiển. Hoạt động thử nghiệm nhịp và thả đồ vật cũng cho kết quả khả quan.

Kết quả thực nghiệm được đo bằng cách điều khiển từng mô tơ servo và ghi lại góc quay của servo đó sau khi nhấn nút dừng. Các góc đo được ghi lại bằng thước đo góc (thước đo góc) để đo lại số góc tương đối mà mô tơ servo đã quay. Tất cả các kết quả thí nghiệm được tóm tắt trong bảng 1.

**Bảng 1.** Kết quả điều khiển các động cơ servo tại khớp cánh tay Robot.

| Servos | Giá trị cần [°] | Đáp ứng thực tế [°] |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |
|--------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|        |                 | 1 <sup>st</sup>     | 2 <sup>nd</sup> | 3 <sup>rd</sup> | 4 <sup>th</sup> | 5 <sup>th</sup> | 6 <sup>th</sup> | 7 <sup>th</sup> | 8 <sup>th</sup> | 9 <sup>th</sup> | 10 <sup>th</sup> |
| Servo0 | 90              | 90                  | 88              | 90              | 90              | 90              | 88              | 90              | 88              | 92              | 90               |
|        | 60              | 60                  | 58              | 58              | 60              | 62              | 60              | 60              | 60              | 60              | 60               |
|        | 45              | 46                  | 46              | 46              | 46              | 46              | 46              | 46              | 48              | 48              | 44               |
|        | 30              | 30                  | 30              | 30              | 32              | 30              | 30              | 30              | 30              | 30              | 30               |
| Servo1 | 180             | 180                 | 180             | 180             | 180             | 180             | 180             | 178             | 178             | 176             | 176              |
|        | 160             | 156                 | 160             | 160             | 158             | 162             | 160             | 160             | 160             | 160             | 160              |
|        | 120             | 120                 | 122             | 120             | 120             | 120             | 120             | 120             | 118             | 120             | 120              |
|        | 100             | 104                 | 100             | 100             | 100             | 100             | 100             | 98              | 98              | 96              | 96               |
| Servo2 | 160             | 162                 | 160             | 164             | 160             | 160             | 160             | 160             | 160             | 160             | 158              |
|        | 120             | 122                 | 122             | 120             | 118             | 118             | 120             | 120             | 120             | 120             | 120              |
|        | 80              | 82                  | 80              | 82              | 80              | 80              | 80              | 80              | 80              | 78              | 78               |
|        | 40              | 44                  | 38              | 42              | 40              | 40              | 42              | 40              | 42              | 38              | 40               |
| Servo3 | 140             | 138                 | 140             | 142             | 138             | 138             | 136             | 136             | 138             | 134             | 134              |
|        | 90              | 92                  | 88              | 92              | 90              | 90              | 90              | 90              | 88              | 88              | 88               |
|        | 45              | 48                  | 46              | 46              | 48              | 46              | 46              | 46              | 44              | 44              | 42               |

Hiệu suất của cánh tay robot được đề xuất được đánh giá bằng sai số tuyệt đối trung bình (MAE) và sai số chuẩn trung bình gốc đối với xác thực chéo (RMSECV). MAE và RMSECV thể hiện sự khác biệt giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế (giá trị mong muốn là giá trị thực). Các phương trình được trình bày chi tiết trong. MAE và RMSECV được tính toán cho từng góc quay mong muốn (dưới dạng thực tế).

- Phương trình (1) tính MAE như sau:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (1)$$

- Phương trình (2) tính RMSECV như sau:

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Sau đó, giá trị trung bình của nó được lấy và các giá trị tối thiểu và tối đa của nó cũng được chọn. Đánh giá hiệu suất của cánh tay robot được đề xuất được tóm tắt trong bảng 2.

**Bảng 2.** Đánh giá hiệu suất cánh tay robot.

| Min MAE | Avg. MAE | Max MAE | Min RMSECV | Avg. RMSECV | Max RMSECV |
|---------|----------|---------|------------|-------------|------------|
| 0.200   | 0.7867   | 1.400   | 0.6325     | 1.34752     | 2.2804     |

## 4. Kết luận

Mô hình cánh tay robot tự do 4 bậc với phần mềm điều khiển, giám sát và quản lý từ xa thông qua đám mây IoT vừa được đề xuất trong bài báo này. Các tác giả đã thành công trong việc thiết kế phần cứng và phần mềm cho hệ thống đề xuất với kết quả của nhiều thử nghiệm cho thấy sự đáp ứng tốt của các lệnh điều khiển đối với hoạt động của hệ thống cơ khí. Phần mềm được xây dựng trên ứng dụng đám mây IoT rất dễ triển khai và hỗ trợ hầu hết mọi thao tác như truyền dữ liệu, xác minh thiết bị, trình điều khiển. Phần cứng của Cánh tay robot hoạt động trong không gian vừa đủ để hoàn tất quá trình nhặt, di chuyển và thả.

Mô hình này có thể nhặt/thả các vật thể nhỏ có khối lượng và kích thước xác định cũng như thao tác gần như tức thời với độ chính xác cao. Tuy nhiên, model vẫn còn một số nhược điểm như khả năng xoay các khớp bị hạn chế cũng như thiếu cơ chế kết nối tự động giữa các thiết bị. Ngoài ra, chúng tôi vẫn chưa xác định được trường tác động chính xác của cánh tay do tính phức tạp của mô hình cánh tay năm bậc tự do. Tuy nhiên, kết quả thu được trong bài báo này là nền tảng quan trọng để xây dựng một mô hình cánh tay robot hoàn thiện hơn trong tương lai. Trong tương lai, việc kết hợp cánh tay robot với phương pháp học máy sẽ mở ra nhiều hướng nghiên cứu cũng như giải quyết được nhiều vấn đề phức tạp khác nhau.



### Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ Thông tin – ĐHQG-HCM.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alessandro Massaro (2002). Advanced Robotics, in Electronics in Advanced Research Industries: Industry 4.0 to Industry 5.0 Advances. *IEEE*, pp.203-252, doi: 10.1002/9781119716907.ch5.
- [2] B. Sathyamoorthy, S. Umapathy and T. Rajalakshmi (2022). *Automatic Robotic Arm Based on Bluetooth Regulated for Progressed Surgical Task*. International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech), Pune, India, pp. 1-4, doi: 10.1109/I4Tech55392.2022.9952598.
- [3] Emad S. Othman and Region (2017). Voice Controlled Personal Assistant Using Raspberry Pi. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(11), pp. 1611-1615.
- [4] <https://dtkaplan.github.io/SDS-book/mean-square-error.html>, last accessed May 23, 2023.
- [5] Nguyễn Đăng Quang and Văn Vĩ Thành (2023). *Thiết kế và xây dựng cánh tay robot delta ứng dụng trong phân loại sản phẩm theo màu sắc*. <https://ir.vnulib.edu.vn/handle/VNUHCM/16651>, last accessed May 23, 2023.
- [6] O. Dalgic, A. Tekin and B. Ugurlu (2019). An Experimental Study of a Bluetooth Communication System for Robot Motion Control. IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal, pp. 604-609, doi: 10.1109/IECON.2019.8927130.
- [7] S. M, S. K. C, S. P. J, H. R. A, R. B. P and P. Naveen (2023). Development and Implementation of a Material Handling Robotic Arm Assisted by Voice. 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, pp. 1444-1448, doi: 10.1109/ICACCS57279.2023.10113044.
- [8] Sabya Bharat and Patil Ashish (2015). Robotic Arm Wirelessly Controlled by Android Application. *Inter. Jour. of Eng. and Tech. Research (IJETR)*, vol. 3.
- [9] Shuai Li, Long Jin, Mohammed Aquil Mirza (2019). Robust Neural Controller Design for Robotic arm Control. In Kinematic Control of Redundant Robotic arms Using Neural Networks. *IEEE*, pp.67-86, doi: 10.1002/9781119557005.ch5.