

DESIGN A ROBOTICS FOREARM PRODUCT FOR BIOINFORMATIC LABORATORIES

Tran Duc Hoang*, Le Hoang Hiep

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 14/6/2021 Revised: 12/8/2021 Published: 18/8/2021	This paper focuses on researching and designing a forearm Robot product using advanced technologies in the field of biomedical informatics with the aim of assisting users to control the Robots in difficult environments hard. The product design of this study inherits and promotes the advantages of commercialized products on the market such as communication through synapses using electromechanical signals, using communication technology modern. The advantages of the product are: low cost, easy to use and applicable to many objects in practice. Moreover, the product can be used as a practical tool for students of biomedical informatics at universities and research centers where there is a shortage of equipment related to this field adding research tools, in-depth experiments, improving knowledge and ability to apply theory to practice more effectively. The results of research, design and implementation show that the actual product is highly rugged, easy to install, operate, maintain and maintain.
KEYWORDS Computer science Biomedical engineering Robot Forearm Electromyography Bioinformatics	

THIẾT KẾ SẢN PHẨM ROBOT CĂNG TAY PHỤC VỤ THỰC HÀNH KỸ THUẬT TIN HỌC Y SINH

Trần Đức Hoàng*, Lê Hoàng Hiệp

Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 14/6/2021 Ngày hoàn thiện: 12/8/2021 Ngày đăng: 18/8/2021	Bài báo này tập trung nghiên cứu và thiết kế một sản phẩm Robot căng tay sử dụng các công nghệ tiên tiến trong lĩnh vực tin học y sinh với mục đích là hỗ trợ người sử dụng điều khiển các Robot trong các môi trường khó khăn, khắc nghiệt. Thiết kế sản phẩm của nghiên cứu này kế thừa và phát huy được các ưu điểm của các sản phẩm đã được thương mại hóa trên thị trường như truyền tin qua các khớp thần kinh sử dụng tín hiệu điện cơ, sử dụng công nghệ truyền thông hiện đại. Ưu điểm của sản phẩm là giá thành rẻ, dễ sử dụng và áp dụng cho nhiều đối tượng trên thực tế. Hơn nữa, sản phẩm có thể được sử dụng làm công cụ thực hành cho sinh viên các ngành tin học y sinh tại các trường đại học, trung tâm nghiên cứu nơi mà đang còn thiếu thốn trang thiết bị liên quan đến lĩnh vực này có thêm công cụ nghiên cứu, thực nghiệm chuyên sâu, nâng cao kiến thức và khả năng áp dụng lý thuyết vào thực tế được hiệu quả hơn. Kết quả nghiên cứu, thiết kế và triển khai cho thấy sản phẩm thực tế có độ chắc chắn cao, dễ lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng và bảo trì.
TỪ KHÓA Khoa học máy tính Kỹ thuật y sinh Căng tay Robot Tín hiệu điện cơ Tin sinh học	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4659>

* Corresponding author. Email: tdhoang88@gmail.com

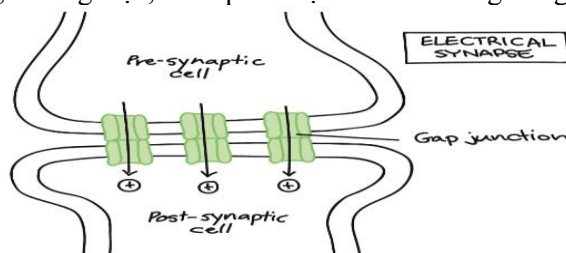
1. Giới thiệu

Kể từ khi ra đời đến nay, Robot đã giúp con người thực hiện hiệu quả những yêu cầu mà chúng ta muốn từ đơn giản tới phức tạp, chức năng thông minh và độ tinh vi ngày càng thể hiện rõ nét trên nhiều lĩnh vực. Riêng trong lĩnh vực tin học y sinh, Robot có vai trò rất lớn. Robot thay thế các bác sĩ thực hiện vai trò của mình ở các trường hợp khác nhau như phẫu thuật, chăm sóc sức khỏe, chẩn đoán bệnh,... Trên thế giới, các hãng sản xuất Robot ứng dụng vào lĩnh vực này đã và đang phát triển rất mạnh mẽ. Các nghiên cứu, thiết kế và phát triển cánh, cẳng tay Robot tích hợp trí tuệ nhân tạo, các thuật toán tối ưu và công nghệ truyền thông hiện đại đã làm cho loại Robot này càng gần giống hơn với chức năng cánh, cẳng tay của con người ở sự mềm mại, khéo léo và độ linh hoạt, thông minh [1], [2]. Các sản phẩm Robot cẳng tay đã được thương mại hóa thường được nghiên cứu và phát triển bởi các hãng lớn, giá thành rất cao có đăng ký bản quyền sáng chế, yêu cầu người sử dụng vận hành phải có chuyên môn sâu. Hơn nữa, việc bảo trì, sửa chữa cũng do các hãng độc quyền. Vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này nhằm tối giản hóa chi phí thiết kế, lắp đặt nhưng vẫn tích hợp được các công nghệ hiện đại và đạt hiệu quả cao, dễ dàng sử dụng trong quá trình thực hành thí nghiệm cho sinh viên; ngoài ra có thể sản xuất hàng loạt với chi phí thấp hơn nhiều lần việc nhập khẩu từ nước ngoài. Một số trường Đại học trong nước hiện nay bắt đầu xây dựng chương trình đào tạo và mở các mã ngành liên quan tới kỹ thuật y sinh (là sự kết nối hài hòa giữa các kỹ thuật truyền thống như điện, điện tử, viễn thông, cơ khí, tin học với các ngành khoa học liên quan đến sự sống và con người như sinh học, y, dược, nha khoa) để bắt kịp với xu thế mới trên thế giới. Các hệ thống Robot phục vụ cho việc nghiên cứu, thực hành tại các phòng Lab về kỹ thuật y sinh còn rất khiêm tốn, thiếu thiết bị thực hành, chưa hiện đại bởi giá thành nhập khẩu rất cao. Vì vậy, việc tự nghiên cứu và thiết kế các sản phẩm về Robot tin sinh học với giá thành rẻ, dễ làm mà vẫn đáp ứng được các yêu cầu về công nghệ [3]-[5] là điều đáng khuyến khích phát triển mở rộng hơn nữa. Do vậy, mục đích nghiên cứu của nhóm tác giả là lên ý tưởng xây dựng và thiết kế nhằm giải quyết những hạn chế của các Robot thông thường bằng việc thiết kế ra một dạng Robot, cụ thể là cẳng tay Robot có thể mô phỏng lại chính xác các cử động của con người ứng dụng các công nghệ hiện đại, phục vụ việc nghiên cứu chuyên sâu và làm thiết bị thực hành, triển khai thực tế cho sinh viên ngành kỹ thuật y sinh, tin sinh học tại các phòng Lab ở các cơ sở đào tạo.

2. Cơ sở nghiên cứu

2.1. Quá trình truyền tin qua các khớp thần kinh

Quá trình truyền tin qua các khớp thần kinh: Synapse là diện tích tiếp xúc giữa tế bào thần kinh với tế bào thần kinh, giữa tế bào thần kinh với các tế bào khác như tế bào cơ, tế bào tuyến... Có 2 loại synapse: Synapse hóa học và synapse điện. Synapse điện (cấu trúc được mô tả như hình 1) có khoảng cách tiếp giáp giữa tiền synapse và hậu synapse chỉ vào khoảng 3,5 nm ngắn hơn nhiều so với 20 – 40 nm ở synapse hóa học. So với synapse hóa học, synapse điện truyền xung thần kinh với tốc độ nhanh hơn, độ trễ truyền tín hiệu vào khoảng 0,2 ms; trong khi ở synapse hóa học là 2 ms. Synapse điện được tìm thấy ở các tế bào thần kinh có nhu cầu đáp ứng nhanh nhất có thể như phản xạ tự vệ, ở võng mạc, ở khắp các hệ thần kinh trung ương như vỏ não [1], [2].



Hình 1. Cấu tạo synapse điện

2.2. Tín hiệu điện cơ

Điện cơ (Electromyography – EMG) là một kỹ thuật chẩn đoán để xác định bệnh của dây thần kinh ngoại biên ở chân tay và mặt, hay bệnh của bắp thịt, hoặc các bệnh khác gây yếu hoặc đau hoặc rối loạn cảm giác. Bản ghi điện cơ là bản ghi các kết quả thu được trên máy, in ra dưới dạng các biểu đồ và bảng số. Các kỹ thuật viên sẽ sử dụng các điện cực (electrodes) để dẫn truyền hay phát hiện các tín hiệu điện do dây thần kinh hoặc cơ bắp phát ra. Bác sĩ sẽ sử dụng điện cực kim để châm trực tiếp vào bắp cơ để ghi lại hoạt động điện của cơ đó. Kết quả điện cơ có thể cho thấy các bất thường của dây thần kinh, bất thường về cơ, hay bất thường dẫn truyền của nơi tiếp xúc giữa dây thần kinh với cơ. Trong điện cơ, kim được cắm vào cơ (như mô tả hình 2) và hoạt động điện được ghi lại trong khi cơ co và nghỉ [3], [4].



Hình 2. Đo tốc độ dẫn truyền thần kinh cơ trên thực tế

3. Ứng dụng xây dựng và triển khai

3.1. Đặt bài toán

Để giải quyết bài toán đưa ra, nhóm tác giả đề xuất một số giải pháp sau [5]-[8]:

➤ **Giải pháp 1:** Sử dụng các cảm biến uốn cong (Flex sensor) đặt dọc theo chiều của các bó cơ để mô phỏng lại tín hiệu điện tại các bó cơ được gắn cảm biến. Một số ưu điểm của giải pháp: Tín hiệu thu được có biên độ lớn, rõ ràng, ít nhiễu; Có thể mô phỏng lại chính xác các chuyển động gấp và duỗi các khớp; Không cần thiết lập lại mỗi khi thay đổi người sử dụng. Tuy nhiên, giải pháp có một số mặt hạn chế như: Không thể mô phỏng lại được tín hiệu của các bó cơ ở lớp giữa và lớp sâu; Khó mô phỏng được các chuyển động xoay khớp tại cổ tay, cổ chân... Kích thước tương đối lớn, khi gắn vào cơ thể người sử dụng sẽ gây cảm giác khó chịu.

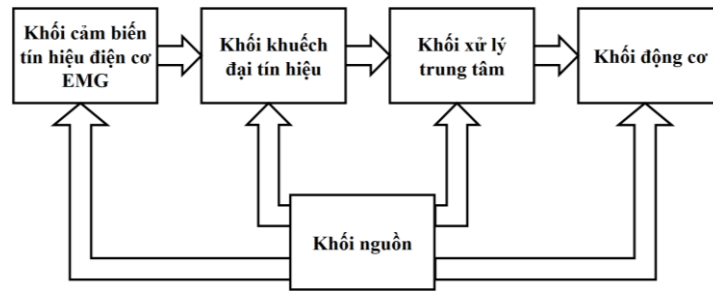
➤ **Giải pháp 2:** Sử dụng cảm biến điện cơ chuyên dụng (Muscle sensor) gắn vào điểm bụng và đầu của các bó cơ, thu tín hiệu trực tiếp phát ra từ các bó cơ khi cơ thể cử động. Một số ưu điểm của giải pháp là: Có thể thu nhận tín hiệu phát ra từ các bó cơ ở lớp nông và lớp giữa; Kích thước nhỏ, tạo sự thoải mái cho người sử dụng. Tuy nhiên, giải pháp có một số hạn chế: Tín hiệu thu về có biên độ nhỏ, có nhiễu nhiễu. Với cơ thể của mỗi người khác nhau sẽ có mức điện thế hoạt động khác nhau, cần phải thiết lập lại nếu thay đổi người sử dụng.

Dựa vào ưu nhược điểm của từng giải pháp và điều kiện thực hiện hệ thống, nghiên cứu đã lựa chọn giải pháp 2 để đảm bảo yêu cầu của bài toán đề ra và hạn chế tối đa nhất những nhược điểm của các phương pháp điều khiển robot truyền thống, giảm thiểu ít sai số nhất có thể của bài toán. Phương pháp này giải quyết được một số vấn đề sau: Mô phỏng lại chuyển động chính xác của cơ thể người; Tăng được tính linh hoạt của robot nhưng vẫn đảm bảo được độ chính xác; Người sử dụng, vận hành không cần phải có trình độ chuyên môn cao về kỹ thuật vẫn có khả năng vận hành được.

3.2. Triển khai

3.2.1. Sơ đồ khối hệ thống

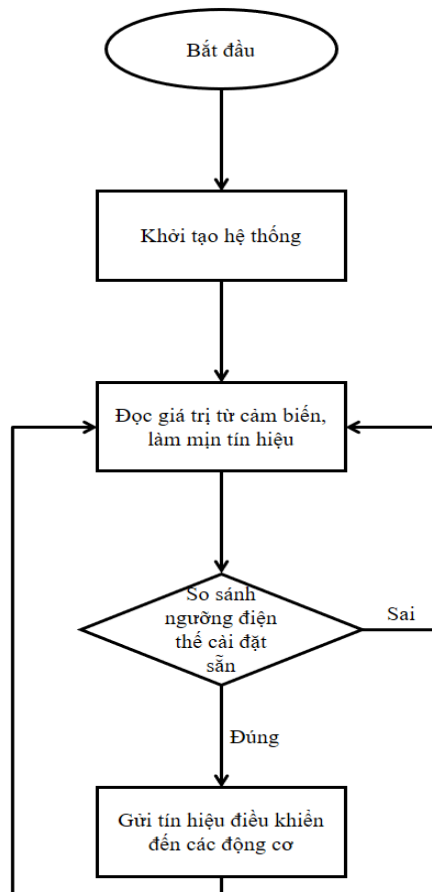
Giải pháp được thể hiện qua sơ đồ khối như hình 3:



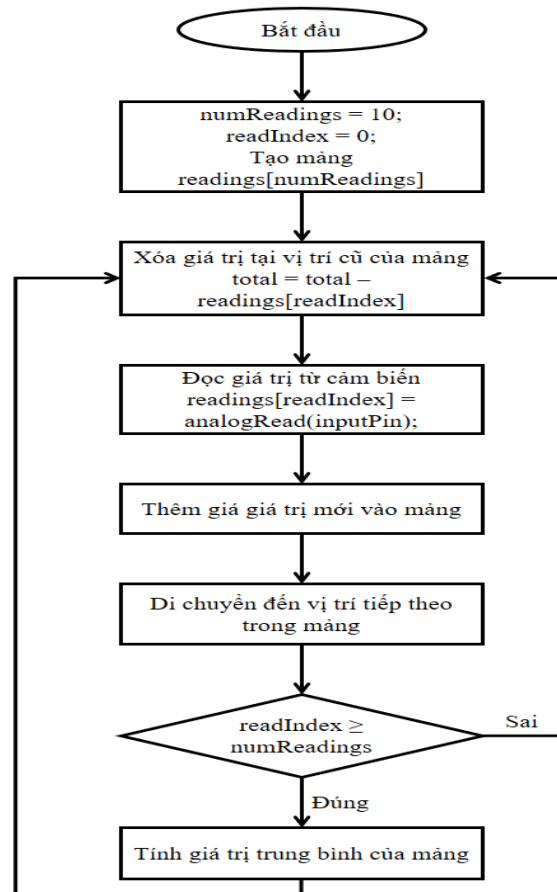
Hình 3. Sơ đồ khối của hệ thống

- *Khối cảm biến tín hiệu điện cơ EMG*: Thu tín hiệu điện phát ra từ bó cơ khi cử động và loại bỏ các tín hiệu gây nhiễu.
- *Khối khuếch đại tín hiệu*: Khuếch đại tín hiệu thu được từ khối cảm biến.
- *Khối xử lý trung tâm*: Nhận tín hiệu đã được khuếch đại, so sánh với giá trị ngưỡng được cài đặt trước và đưa ra tín hiệu điều khiển.
- *Khối động cơ*: Mô phỏng lại các chuyển động của cơ thể theo tín hiệu điều khiển được gửi đến.

3.2.2. Lưu đồ thuật toán của hệ thống



Hình 4. Lưu đồ thuật toán chương trình chính



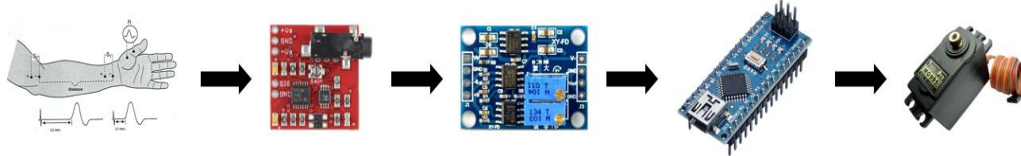
Hình 5. Lưu đồ thuật toán làm mịn tín hiệu đầu vào

Bắt đầu quá trình hoạt động (được mô tả ở hình 4 và chi tiết như hình 5): Hệ thống tự động khởi tạo quá trình và đọc tín hiệu thu được từ bộ khuếch đại, tiến hành làm mịn tín hiệu bằng cách lưu trữ tuần tự 10 kết quả đọc liên tiếp vào một mảng rồi tính giá trị trung bình của các giá

trị trong mảng đó, sau 10 lần đọc thì mảng sẽ được xóa và lặp lại quá trình, thu được tín hiệu có dạng sóng mịn hơn so với tín hiệu gốc. Tín hiệu này được so sánh với một giá trị ngưỡng (điện thế hoạt động của nhóm cơ được đo), nếu lớn hơn ngưỡng, bộ điều khiển sẽ phát tín hiệu đến cho các động cơ yêu cầu hoạt động. Nếu nhỏ hơn hoặc bằng ngưỡng thì không phát tín hiệu, các động cơ giữ nguyên ở trạng thái ban đầu (trạng thái nghỉ), hoặc trở lại trạng thái nghỉ nếu đang hoạt động, quá trình hoạt động kết thúc.

3.2.3. Linh kiện phục vụ xây dựng Robot

Thông qua đặc điểm và đặc tính sinh học, khả năng truyền tin qua các khớp thần kinh dựa trên synapse điện, nghiên cứu đã xây dựng ý tưởng và lên phương án thiết kế triển khai thực tế.



Hình 6. Sự phối hợp giữa các thiết bị trong sản phẩm

Sự phối hợp giữa các thiết bị linh kiện trong mô tả như hình 6 đó là: Các cảm biến sẽ có nhiệm vụ thu nhận tín hiệu điện phát ra từ cơ thể con người khi chuyển động (điện thế hoạt động của tế bào cơ), truyền qua bộ lọc để loại bỏ các tín hiệu không cần thiết và tín hiệu gây nhiễu, tiếp theo đó tín hiệu sẽ đi qua bộ khuếch đại và truyền đến bộ điều khiển. Tại bộ điều khiển, tín hiệu sẽ được so sánh với một giá trị ngưỡng nhất định, nếu vượt trên ngưỡng đó thì phát tín hiệu kích hoạt các động cơ hoạt động nhằm mô phỏng lại chuyển động đó. Khi không vượt quá ngưỡng thì toàn bộ hệ thống sẽ quay trở về trạng thái ban đầu (trạng thái nghỉ). Vai trò của các thiết bị cụ thể như sau:

- **Cảm biến A-03-002:** Có nhiệm vụ theo dõi tín hiệu điện phát ra từ các tế bào cơ, khuếch đại và điều chế tín hiệu thu được, đồng thời chuyển đổi tín hiệu đó thành dạng analog có thể đọc được một cách dễ dàng bởi vi điều khiển. Nguyên lý do: Khi cơ co lại, điện áp đầu ra của cảm biến sẽ tăng lên và ngược lại, điện áp đầu ra sẽ giảm xuống nếu cơ duỗi. Tín hiệu ra khỏi cảm biến không phải là tín hiệu điện cơ nguyên bản, tín hiệu này đã được chỉnh lưu và làm mịn.

- **Mạch khuếch đại sử dụng IC khuếch đại thuật toán AD620:** Là một bộ khuếch đại thiết bị đo đặc nguyên khối dựa trên sự sửa đổi của phương pháp tiếp cận ba op-amp cổ điển. Tuyệt đối cắt giảm giá trị cho phép người dùng lập trình đạt được chính xác (đến 0,15% ở $G = 100$) chỉ với một điện trở. Mạch có khả năng khuếch đại tín hiệu cỡ microvolt và milivolt từ 1,5 – 10000 lần, có thể điều chỉnh thông qua biến trở. Có thể sử dụng để khuếch đại tín hiệu AC và DC.

- **Bộ điều khiển Arduino Nano:** Có 8 đầu vào tương tự (19 đến 26), được đánh dấu A0 đến A7. Điều này có nghĩa là có thể kết nối 8 kênh đầu vào tương tự để xử lý. Mỗi chân tương tự này có một ADC có độ phân giải 1024 bit (do đó nó sẽ cho giá trị 1024). Theo mặc định, các chân được đo từ mặt đất đến 5V.

- **Động cơ servo MG995 và SG90:** Dùng để thiết kế những hệ thống hồi tiếp vòng kín. Tín hiệu ra của động cơ được nối với một mạch điều khiển. Khi động cơ quay, vận tốc và vị trí sẽ được hồi tiếp về mạch điều khiển này. Nếu có bất kỳ lý do nào ngăn cản chuyển động quay của động cơ, cơ cấu hồi tiếp này sẽ nhận thấy tín hiệu đưa ra chưa đạt được vị trí mong muốn. Mạch điều khiển tiếp tục ra lệnh cho động cơ hoạt động để đạt được điểm chính xác.

3.2.4. Thiết kế hệ thống phần cứng và phần mềm

a. Vai trò của các khối trong sơ đồ hệ thống

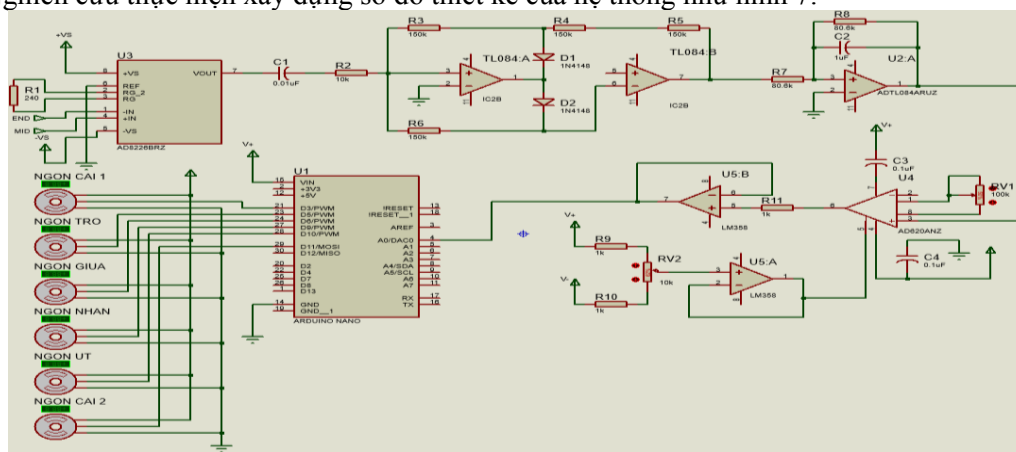
Để thực thi được hệ thống theo sơ đồ khối đã đề xuất, cần đánh giá chi tiết theo từng khối và lựa chọn linh kiện phù hợp, đảm bảo các yếu tố: Có năng lực xử lý thông tin đáp ứng yêu cầu lấy mẫu, truyền dẫn và cùng chuẩn truyền thông với nhau; Đơn giản, giá thành rẻ, dễ dàng thực thi

và thay thế nếu hỏng, dễ lập trình, thuận tiện khi kết nối ngoại vi cũng như các linh kiện khác. Các khối có vai trò cụ thể:

- Khối cảm biến tín hiệu điện cơ (Muscle Sensor A-03-002) có nhiệm vụ theo dõi tín hiệu điện phát ra từ các tế bào cơ, khuếch đại và điều chế tín hiệu thu được, đồng thời chuyển đổi tín hiệu đó thành dạng analog có thể đọc được một cách dễ dàng bởi vi điều khiển.
- Khối khuếch đại tín hiệu: Mạch khuếch đại sử dụng IC khuếch đại thuật toán AD620.
- Khối xử lý trung tâm: Bộ điều khiển Arduino Nano.
- Khối động cơ: Động cơ servo MG995 và SG90S.

b. Sơ đồ thiết kế của hệ thống

Nghiên cứu thực hiện xây dựng sơ đồ thiết kế của hệ thống như hình 7:



Hình 7. Sơ đồ thiết kế của hệ thống

Mô tả: Sau khi cấp nguồn cho toàn bộ hệ thống, các động cơ sẽ chuyển động dựa theo tín hiệu điện cơ thu được từ cơ thể người thông qua cảm biến, nếu tín hiệu lớn hơn ngưỡng điện thế hoạt động đã được cài đặt trước thì động cơ sẽ quay và kéo dây cước (đóng vai trò giống như gân của cơ thể người) làm gấp các ngón tay lại, trong trường hợp tín hiệu không lớn hơn ngưỡng điện thế hoạt động, động cơ sẽ không chuyển động hoặc trở lại trạng thái ban đầu, nhả các dây cước làm cho các ngón tay duỗi ra.

c. Xây dựng phần mềm

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng Arduino Intergrated Development Enviroment (IDE) để xây dựng chương trình điều khiển hệ thống hoàn thiện.

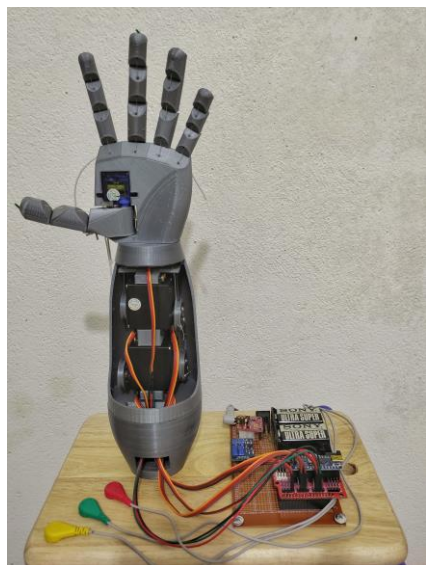
3.3. Triển khai, đánh giá sản phẩm thực tế

3.3.1. Sản phẩm cánh tay Robot

Dựa trên các phân tích nghiên cứu đề xuất bên trên, nhóm tác giả tiến hành thiết kế cơ khí, điện tử và lắp ráp sản phẩm hoàn thiện trên thực tế. Hình ảnh sản phẩm được mô tả như trong hình 8, hình 9 và hình 10.

3.3.2. Kết quả thực nghiệm

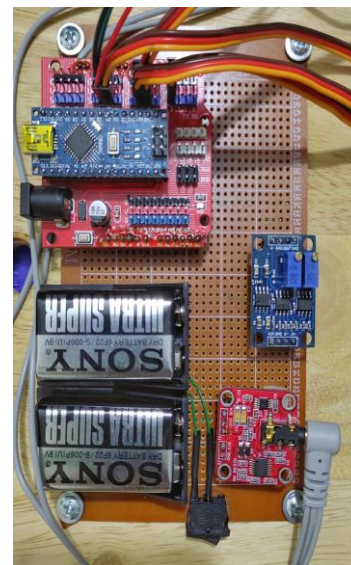
Sản phẩm được thử nghiệm trên nhiều người/đối tượng sử dụng khác nhau (trong độ tuổi lao động) dựa trên việc so sánh khẩu độ mở của bàn tay người và bàn tay máy qua nhiều lần xác minh kết quả. Sản phẩm đã hoạt động đúng quy trình, các động cơ quay đều, không xảy ra hiện tượng giật, mất tín hiệu tạm thời hoặc mất nguồn điện. Hình ảnh thực tế của sản phẩm khi tiến hành thực nghiệm, sử dụng được mô tả trên Hình 11 và Hình 12.



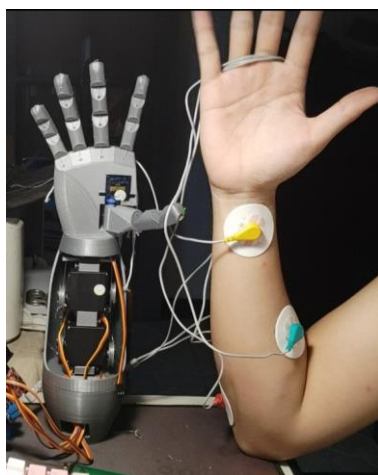
Hình 8. Hình ảnh toàn bộ hệ thống



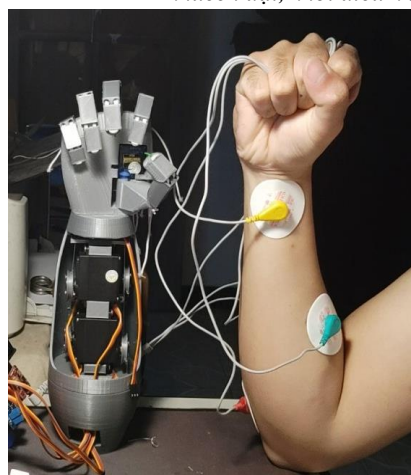
Hình 9. Hình ảnh khối động cơ của hệ thống



Hình 10. Hình ảnh bảng mạch bao gồm khối cảm biến, khối khuếch đại, khối điều khiển và pin



Hình 11. Hình ảnh khi bàn tay mở



Hình 12. Hình ảnh khi bàn tay nắm

4. Kết luận

Sau khi thực hiện các bước kiểm tra thực nghiệm, đánh giá kết quả vận hành trên thực tế tại phòng thí nghiệm cho thấy sản phẩm đạt độ chính xác tương đối, hoạt động theo đúng thiết kế. Sản phẩm là tiền đề để có thể chế tạo ra robot mô phỏng lại một cánh tay người hoàn chỉnh với các ưu điểm như: Các điện cực được gắn vào cơ thể bằng chất có độ dính vừa phải, có thể gắn trên da người trong một thời gian dài mà không gây khó chịu cho người sử dụng; Dễ dàng lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng và bảo trì; Giá thành rẻ, giúp tiết kiệm chi phí đầu tư. Trong điều kiện nghiên cứu còn hạn chế, nhóm tác giả đã cố gắng vận dụng và tham khảo những ưu điểm của các sản phẩm Robot thương mại để từ đó cố gắng xây dựng sản phẩm của mình nhằm mục đích hỗ trợ tốt hơn nữa cho sinh viên các ngành tin học y sinh tại các phòng Lab, nơi mà còn thiếu rất nhiều thiết bị thực hành về tin học y sinh hiện nay. Tuy nhiên, để sử dụng cần có quá trình thực nghiệm đánh giá kết quả nhiều lần trước khi đưa vào thực tế. Ở mức độ trong phòng thực hành/Lab, kết quả cho thấy, Robot hoạt động tốt, đáp ứng được các yêu cầu về lập trình và thiết kế, có thể sử dụng để thực hành chuyên sâu cho sinh viên các ngành tin học y sinh, kỹ thuật y sinh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] A. M. Tahir, J. Iqbal, and T. Aized, "Human machine interface: robotizing the instinctive living," *International Robotics & Automation Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 308-314, 2018, doi: 10.15406/iratj.2018.04.00142.
- [2] A. Ke, J. Huang, L. Chen, Z. Gao, and J. He, "An Ultra-Sensitive Modular Hybrid EMG–FMG Sensor with Floating Electrodes," *Sensors*, vol. 20, no. 17, 2020, Art. no. 4775, doi: <https://doi.org/10.3390/s20174775>.
- [3] Z. Gao, R. Tang, Q. Huang, and J. He, "A Multi-DoF Prosthetic Hand Finger Joint Controller for Wearable sEMG Sensors by Nonlinear Autoregressive Exogenous Model," *Sensors*, vol. 21, 2021, Art. no. 2576, doi: <https://doi.org/10.3390/s21082576>.
- [4] M. Simão, N. Mendes, O. Gibaru, and P. Neto, "A Review on Electromyography Decoding and Pattern Recognition for Human-Machine Interaction," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 39564-39582, 2019.
- [5] M. V. Ho, T. P. Mac, H. H. Le, and V. N. Dinh, "Designing a surveillance, measurement and control system for supplying livestock and farm labview platform – based," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 225, no. 06, pp. 258-264, 2020.
- [6] M. V. Ho, H. H. Le, T. P. Mac, and T. H. Dao, "Study to build and automatic measurement and warning system of alcohol concentration for vehicle drivers," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 225, no. 14, pp. 165-172, 2020.
- [7] H. Jian, S. Ri, T. Fukuda, and Y. A. Wang, "Disturbance Observer Based Sliding Mode Control for a Class of Underactuated Robotic System With Mismatched Uncertainties," *IEEE Trans. Autom. Contr.*, vol. 64, pp. 2480-2487, 2019.
- [8] E. Hortal, D. Planelles, A. Costa, E. Láñez, A. Úbeda, J. M. Azorín, and E. Fernández, "SVM-based Brain–Machine Interface for controlling a robot arm through four mental tasks," *Neurocomputing*, vol. 151, pp. 116-121, 2015.