

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT HỖ TRỢ VẬT LÝ TRỊ LIỆU

TRẦN HỮU TOÀN

*Khoa Công Nghệ Điện, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh
tranhuutoan@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Nhận thức được tầm quan trọng, những thách thức về học thuật cũng như xu hướng phát triển của các loại robot xương khớp ngoài, bài báo trình bày về việc thiết kế và chế tạo một mẫu robot xương khớp ngoài hỗ trợ quá trình vật lý trị liệu cho phân chi trên. Những nghiên cứu ban đầu về đặc tính cơ sinh đôi với chi khớp trên (từ vai đến bàn tay) của con người giúp cho chúng tôi có những cơ sở để phân tích đặc điểm và xác định các yêu cầu thiết kế. Dựa vào những yêu cầu về mặt công suất và hỗ trợ lực, các phương án truyền động và các lựa chọn cơ cấu được đưa ra. Từ đó, chúng tôi phát triển một nguyên mẫu của robot xương khớp ngoài với tên gọi là RAR (Rehabilitation Assistance Robot) với các bản vẽ thiết kế, chế tạo và tiến hành gia công nguyên mẫu của robot. Để RAR làm việc và thao tác hỗ trợ người bệnh, các thiết kế điều khiển và lập trình cho robot RAR được thực hiện dựa trên nền tảng chế độ điều khiển thời gian thực, kèm theo một bảng điều khiển các chế độ làm việc cho người sử dụng. Robot được đánh giá về hiệu quả ứng dụng thông qua các bài tập mẫu về vật lý trị liệu trên người khỏe mạnh và một số bệnh nhân.

Từ khóa: Kỹ thuật cơ sinh học; Robot mang được; Robot xương khớp ngoài; Robot hỗ trợ lực; Vật lý trị liệu; Tương tác người-máy.

DESIGN AND MANUFACTURING OF A REHABILITATION ASSISTANCE ROBOT

Abstract. Inspired by the difficulties behind specification requirements as well as realizing the applicable capacity of upper exoskeleton robots, this paper presents the design and development of an upper extremity limb exoskeleton for human assistance in rehabilitation. The exoskeleton has been designed through the analysis of human factors engineering, biomechanics, and dynamics properties of the human upper limb. Based on the requirements of the exoskeleton's power and the torques of human joints, the solutions of mechanism, actuator for the robot have been drawn. As a contribution to robotic exoskeletons field, we present an original prototype of Rehabilitation Assistance Robot (RAR). During development of the RAR, a basically control network has been developed to increase the ability of integration, and ensure real-time control performance besides a custom-built control panel for users. The robot's applicable efficiency has been evaluated through several rehabilitation training tests on both healthy persons and patients as fundamental criteria in the exoskeleton development.

Keywords: Biomechanics technology; Wearable Robot; Upper limb exoskeleton; Robot for human augmentation; Rehabilitation; Physical human-machine interaction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự kết hợp giữa robot và con người trong các thao tác vận động là một xu hướng phát triển khoa học tất yếu nhằm phát huy khả năng hỗ trợ của robot trong các công việc nặng nhọc hay trong những tình huống mà con người gặp khó khăn, nguy hiểm trong di chuyển, thao tác. Trong khi robot dù thừa hưởng sự phát triển tiên tiến của khoa học và công nghệ, cũng không thể nào tự bản thân thực hiện được các công việc phức tạp của con người, như các kỹ năng vận động hay thao tác tinh vi trong đời sống hàng ngày. Ngược lại, năng lượng con người là có giới hạn và các robot có thể bù đắp hoặc thay thế nguồn năng lượng này để gia tăng sức bền, sự dẻo dai cho con người trong quá trình vận động nhờ vào nguồn động lực từ bên ngoài như năng lượng điện, khí nén hay thủy lực. Chính vì vậy, sự ra đời của các robot mang được, với tên gọi là các loại robot xương khớp ngoài (exoskeletal robots- exoskeletons) giúp hiện thực hóa xu hướng trên [1, 2]. Các robot xương khớp ngoài là loại robot đặc biệt có thể mang được bởi người dùng nhằm mục đích gia tăng lực, hỗ trợ chuyển động trong các ứng dụng quân sự cũng như y học. Trong số đó, các loại robot xương khớp ngoài với chức năng hỗ trợ vận động đối với bệnh nhân mang lại ứng dụng thiết thực và hiệu quả trong quá trình vật lý trị liệu nói riêng cũng như công tác phục hồi chức năng trong y học nói chung. Việc triển khai các bài tập chức năng cho bệnh nhân đòi hỏi nhiều qui trình và tiến độ khác nhau tùy thuộc vào

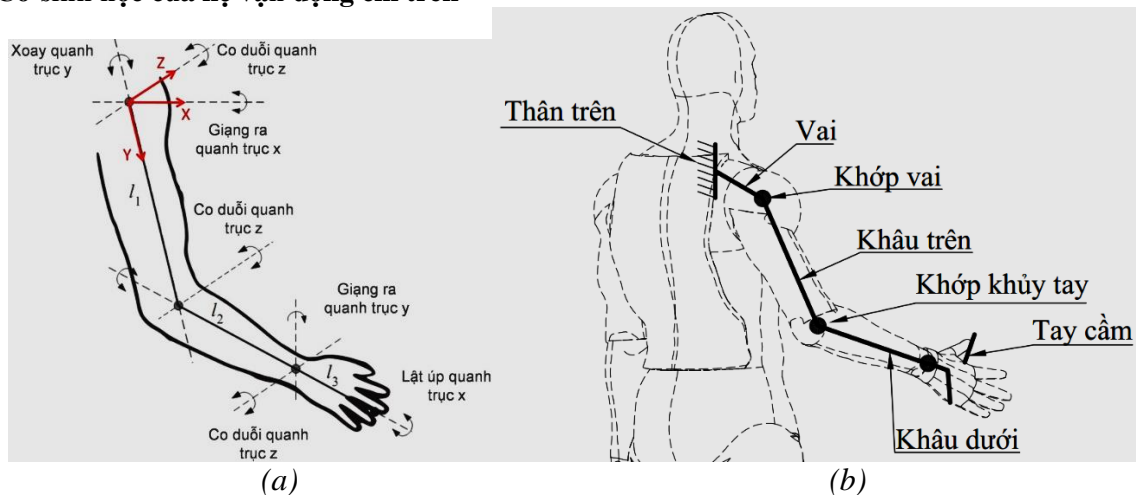
mức độ và khả năng phục hồi của bệnh nhân trong từng giai đoạn [3, 4]. Chính vì vậy, việc phục vụ cho một số lượng lớn các bệnh nhân đòi hỏi một đội ngũ các y bác sĩ hay các hướng dẫn viên tương ứng. Điều này gần như không thể đáp ứng, trong khi có rất nhiều bài tập vận động hay thao tác đơn giản mà ở một mức độ nhất định, không cần sự trợ giúp trực tiếp của y bác sĩ mà cần sự trợ giúp của các “máy hỗ trợ” trong các bài tập phục hồi. Các robot xương khớp ngoài chính là lời giải hợp lý cho bài toán này, khi chúng đóng vai trò là một bộ “xương-khớp” dẫn hướng và thực hiện các chuyển động, do đó có khả năng hỗ trợ người bệnh trong rất nhiều các bài tập trị liệu với nhiều mức độ khác nhau.

Robot xương khớp ngoài là một lĩnh vực nghiên cứu về robot mang được (wearable robots) có lịch sử phát triển hơn năm mươi năm trên thế giới. Trong những năm đầu thập kỷ 60, các nhà khoa học tại Hoa Kỳ đã nỗ lực nghiên cứu các phiên bản nguyên mẫu đầu tiên một robot với tên gọi là “man-amplifier” có khả năng gia tăng sức mạnh và độ bền năng lượng cho cánh tay con người nhằm giúp đỡ con người thực hiện một số công việc nặng nhọc một cách hiệu quả [5, 6]. Đến những năm cuối của thập niên 60 và đầu những năm 70, dự án này được mở rộng cho toàn bộ các chi khớp trên và dưới của con người, được sự bảo trợ và phát triển bởi tập đoàn General Electric của Hoa Kỳ, với tên gọi là Hardiman (Human Augmentation Research and Development Investigation) là sự kết hợp giữa hai robot xương khớp ngoài cho cả chi trên và chi dưới. Cùng thời điểm phát triển với Hardiman, một số các thiết bị hỗ trợ lực cũng được nghiên cứu bởi các nhà nghiên cứu tại Nam Tư cũ [7, 8], các thiết bị này hướng đến hỗ trợ các bệnh nhân hay người tàn tật trong việc vận động, đi lại. Với kết cấu ban đầu được thiết kế theo dạng các cơ cấu song song, các dự án này đạt được một số thành công nhất định và mở đường cho rất nhiều các công trình nghiên cứu tiếp theo trong lĩnh vực này.

Từ các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước [9, 10, 11, 12], chúng ta thấy việc phát triển các loại robot đặc biệt này là một nhu cầu tất yếu và một xu thế phát triển trong lĩnh vực kỹ thuật robot thông minh và thiết bị y học [13]. Tuy nhiên, do đặc thù của loại robot này là được mang bởi người sử dụng và làm việc đồng bộ với các chi/khớp của con người, nên những thách thức đặc ra khi thiết kế, chế tạo và sử dụng robot là rất lớn. Trước những thách thức này, cùng với mong muốn thực hiện công trình khoa học mang tính ứng dụng thực tiễn cao, bài báo trình bày những nội dung cốt lõi trong việc nghiên cứu, thiết kế, và chế tạo robot để hỗ trợ quá trình vật lý trị liệu cho phần cánh tay.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sinh học của hệ vận động chi trên



Hình 1. a. Tóm tắt các chuyển động có thể xảy ra ở chi trên khi con người vận động; b. Mô hình hóa hệ RAR trên cơ thể người

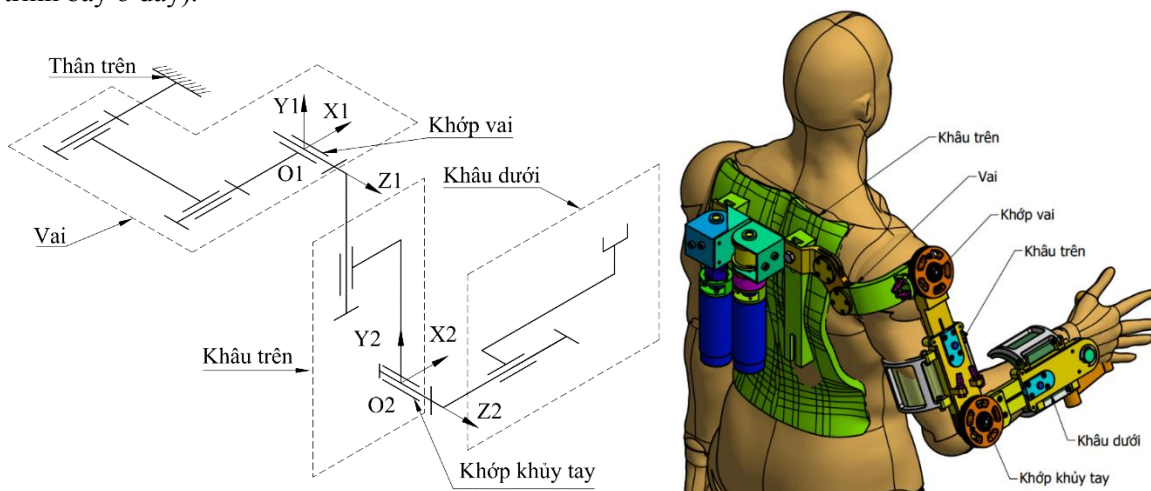
Mô hình cơ sinh học của cánh tay người gồm có xương chi trên kết nối chuyển động thông qua các khớp. Một cách tổng thể, cánh tay người là một hệ cơ sinh vận động phức tạp gồm nhiều chuyển động phối hợp giữa các khâu chính là cẳng tay, khuỷu tay và bàn tay thông qua lần lượt các khớp tương ứng là khớp vai, khớp khuỷu và khớp cổ tay như mô tả trong hình 1a. Xét về mặt động học trong tọa độ Decart và những chuyển động chính trên chức năng của cánh tay, có tổng cộng 7 bậc tự do với các chuyển động chính tại các khớp: chuyển động co duỗi, dạng, và xoay quanh khớp vai; chuyển động co duỗi quanh khớp khuỷu; chuyển động co duỗi, dạng và lật úp quanh cổ tay. Dựa vào số liệu thống kê về momen vận động tại các

khớp trên cánh tay, trong 7 chuyển động chính ở trên thì các chuyển động co duỗi quanh trục z tại các khớp vai, khớp khuỷu và khớp cổ tay là các chuyển động chính, mất nhiều năng lượng nhất trong quá trình vận động của cánh tay (theo bảng 5, phụ lục, [14]).

2.2. Thiết kế cơ khí

a. Phân tích, lựa chọn phương án thiết kế

Khi đưa ra các phương án lựa chọn cấu trúc truyền động cơ khí cho hệ RAR, mục tiêu thiết kế là đảm bảo được quỹ đạo chuyển động của tay bệnh nhân (tâm vận động) với kết cấu nhỏ gọn, ít cản trở trong quá trình bệnh nhân vận động, trọng lượng thấp để đảm bảo việc mang vác, treo gọn gàng, đồng thời ít tiêu thụ năng lượng trong quá trình RAR hoạt động. Trên cơ sở đó, chúng tôi đề xuất một số phương án và sơ đồ động để đánh giá, so sánh và lựa chọn phương án phù hợp nhất cho thiết kế (vì giới hạn của bài báo nên không được trình bày ở đây).



Hình 2. a. Sơ đồ động của RAR theo phương án lựa chọn; b. Mô hình hóa kết cấu chi tiết của RAR

b. Thiết kế kết cấu của Robot

Trên cơ sở phân tích dữ liệu cơ sinh, đặc biệt là kích thước, giới hạn vận động cánh tay người (như được tổng hợp trong bảng 1) [14, 15], ta có thể mô hình hóa hệ robot xương khớp ngoài RAR trên cơ thể người như được trình bày trên hình 1b. Từ đó, ta có sơ đồ khối tổng quan về kết cấu cơ khí của cánh tay robot bao gồm 5 cụm bộ phận chính:

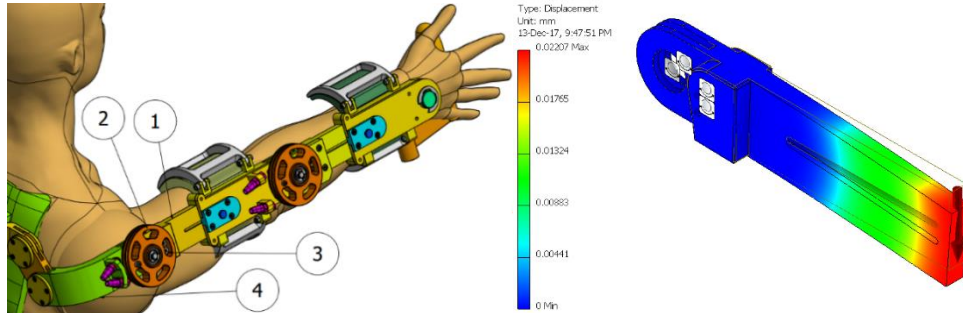
- Thân trên là cụm dùng chịu toàn bộ trọng lượng của các bộ phận khác trên cánh tay RAR (bộ phận khung) và đồng thời dùng để liên kết RAR với người sử dụng, tạo ra sự tương quan về vị trí để RAR có thể hỗ trợ các chức năng vận động trên cơ thể người.
- Vai là bộ phận chuyển tiếp từ thân trên đến khớp vai, tạo ra sự tương quan về vị trí của khâu trên với bắp tay trên cơ thể người.
- Khâu trên là bộ phận hỗ trợ chức năng của bắp tay trong chuyển động.
- Khâu dưới là bộ phận hỗ trợ chức năng của khuỷu tay trong chuyển động.
- Tay cầm là bộ phận dùng để gá đặt bàn tay bệnh nhân với RAR.

Bảng 1. Các thông số động học và động lực học cho người và RAR (dự kiến). Trong bảng, dữ liệu lấy từ nghiên cứu cơ sinh [15, 16] và thông số đặc tính thiết kế cho RAR dự kiến. Dữ liệu động học và động lực học được lấy chuẩn cho một người nam, 75 kg và mang tải trọng 5kg (Đơn vị: Góc (°), Momen (Nm)).

Khớp	Chuyển động	Người mang		RAR	
		Góc giới hạn (°)	Momen tối đa (Nm)	Góc giới hạn (°)	Momen tối đa (Nm)
Vai	Co	-21.5	4.5	-5	37
	Duỗi	187	-5.4	180	-42
	Dạng ra	112	2.3	-15	Thụ động
	Khép vào	0	-1.8	0	Thụ động
Khuỷu tay	Co	102	2.20	90	30
	Duỗi	0	-1.45	0	-25
Cổ tay	Co	9.2	1.22	Cố định	Thụ động
	Duỗi	-7.5	-0.91	Cố định	Thụ động

c. Kiểm tra bền

Trong khi thiết kế RAR, chúng tôi tiến hành kiểm tra bền trên một số chi tiết chịu lực và tải trọng lớn nhất trong quá trình vận hành. Trong giới hạn bài báo, chúng tôi dẫn ra qui trình kiểm tra bền cho chi tiết số 1 như là ví dụ đặc trưng. Chi tiết 1 của khâu trên (mã số 01CT071701005a trong thiết kế, gia công) có vị trí được trình bày trên hình 3a. Căn cứ trên mô hình vị trí của RAR chịu lực lớn nhất, xét trong mặt phẳng XY, ta có sơ đồ lực tác động lên khâu trên của RAR.



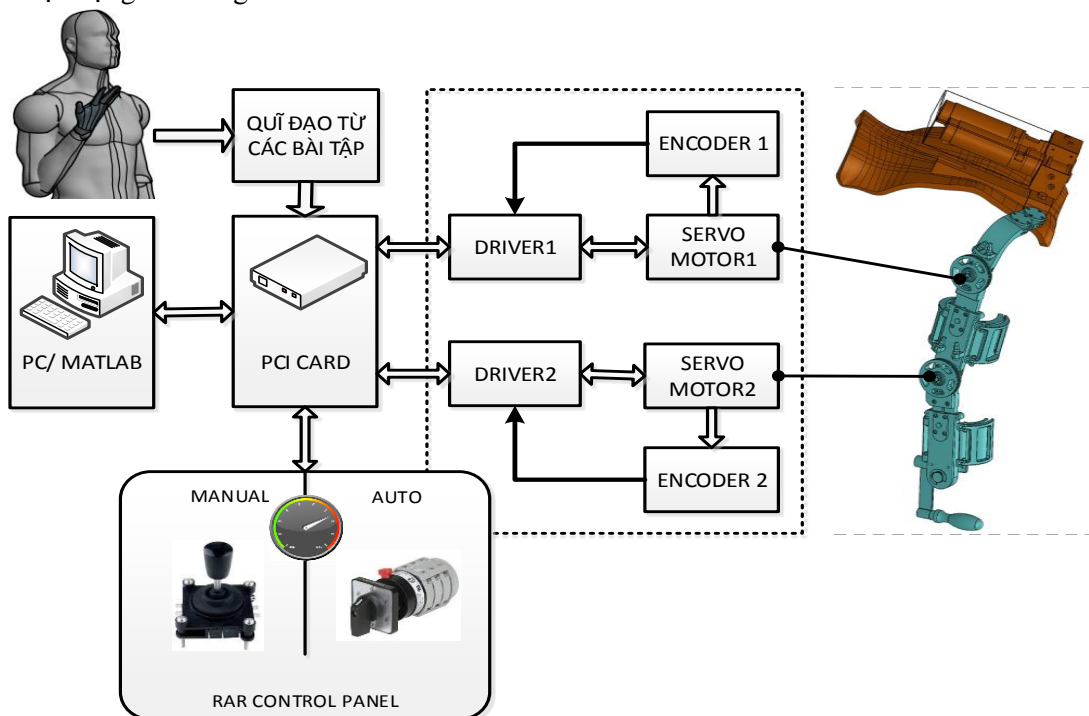
Hình 3. a. Ký hiệu các chi tiết trên RAR cần tính toán bền; b. Kết quả phân tích chuyển vị trên chi tiết số 01 khâu trên.

Từ kết quả phân tích số liệu bằng phần mềm tính toán Inventor ta nhận được một số kết quả phân tích dùng kỹ thuật phân tử hữu hạn. Kết quả phân tích chuyển vị được trình bày trên hình 3b. Từ kết quả phân tích ta thấy: độ chuyển vị lớn nhất tại vị trí đặt tải trọng và có độ chuyển vị là 0.02207 mm; So với chiều dài tổng thể của khâu và độ chính xác trong quá trình điều khiển, độ chuyển vị này là không đáng kể, không ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của RAR.

2.3. Thiết kế điều khiển

RAR là hệ robot y sinh tương tác với người sử dụng, do đó khi thiết kế hệ thống điều khiển (hình 4), ngoài các yêu cầu về điều khiển chính xác thì cần đáp ứng một số các tiêu chí đặc biệt khác như:

- Các chế độ an toàn cần được thiết kế và lập trình: An toàn về nguồn động lực và các cơ cấu ngắt an toàn khi gặp sự cố
- Đáp ứng thời gian thực: Để đánh giá chính xác các đặc tính cơ sinh của robot khi làm việc tương ứng với khả năng làm việc của người vận hành một cách chính xác.
- Khả năng thu thập dữ liệu và đánh giá kết quả các bài tập
- Tính tiện dụng của bảng điều khiển



Hình 4. Sơ đồ phân cứng hệ thống điều khiển robot RAR

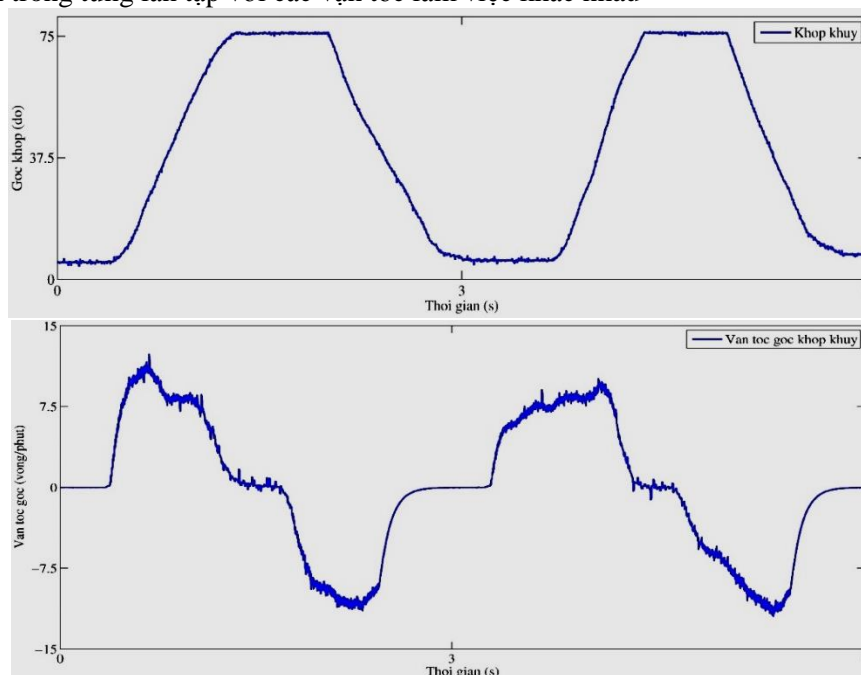
Như đã đề cập ở trên, hệ robot RAR được thiết kế và sử dụng cho người mang, nên yếu tố an toàn khi thiết kế được đặt lên trên hết. Do đó, trong khi thiết kế RAR, nhóm tác giả đã đưa ra qui tắc an toàn theo 3 lớp: An toàn trong cấu trúc cơ khí (1); An toàn khi có tín hiệu dừng khẩn cấp (2); An toàn trong các ngắt (Interrupt) điều khiển (3). Thứ nhất, trong thiết kế cơ khí, một cơ cấu chặn hành trình chuyển động của hai khâu được đặt tại hai đầu khớp vai và khuỷu nhằm đảm bảo các góc quay không vượt quá giới hạn chuyển động cho phép. Lớp an toàn này đảm bảo cho dù các cơ cấu chấp hành có gặp sự cố hay nguồn động lực chưa được ngắt đi khi sự cố xảy ra thì vẫn đảm bảo an toàn cho người sử dụng. Thứ hai, cũng như một máy móc tự động thông thường, một chế độ dừng khẩn cấp được thiết kế trong phần mạch động lực để ngăn ngừa sự cố khi điều khiển. Khi nút nhấn Emergency được tác động, toàn bộ nguồn động lực cấp cho RAR được ngắt đi để đảm bảo an toàn cho người sử dụng. Thứ ba, trong cấu trúc điều khiển ở các chế độ bằng tay (manual) hay tự động (auto), các vòng lặp điều khiển đều được kiểm tra bởi các ngắt an toàn nhận tín hiệu từ giới hạn hành trình của hai khâu, từ đó luôn luôn có thể kiểm tra được chế độ an toàn khi vận hành. Bất cứ khi nào có sự cố xảy ra, vòng lặp điều khiển sẽ dừng lại và chờ khởi động lại hệ thống. Ngoài ra, còn một chế độ ngắt mềm khác để giới hạn momen làm việc giới hạn trên bộ lái động cơ DC servo, điều này đạt được khi chúng tôi cài đặt chế độ làm việc với dòng điện tối đa cho bộ lái này. Theo các yêu cầu đưa ra khi thiết kế hệ thống điều khiển cho robot RAR, chúng tôi triển khai sơ đồ điều khiển ban đầu theo như trong hình 4. Trong sơ đồ điều khiển gồm có các thành phần:

- Máy tính đóng vai trò điều khiển trung tâm
- Card giao tiếp điều khiển PCI 6221 NI (National Instrument) giao tiếp qua khe cắm PCI Express của máy tính giúp giao tiếp, điều khiển thời gian thực (real-time)
- Bộ lái driver MSD_E410 lái công suất và điều khiển động cơ DC servo
- Động cơ servo liên kết với các kết cấu bộ truyền cơ khí (như trình bày trong chương 4)
- Bảng điều khiển cho người sử dụng lựa chọn các chế độ, các tùy chọn và các bài tập vận động được lập trình sẵn.

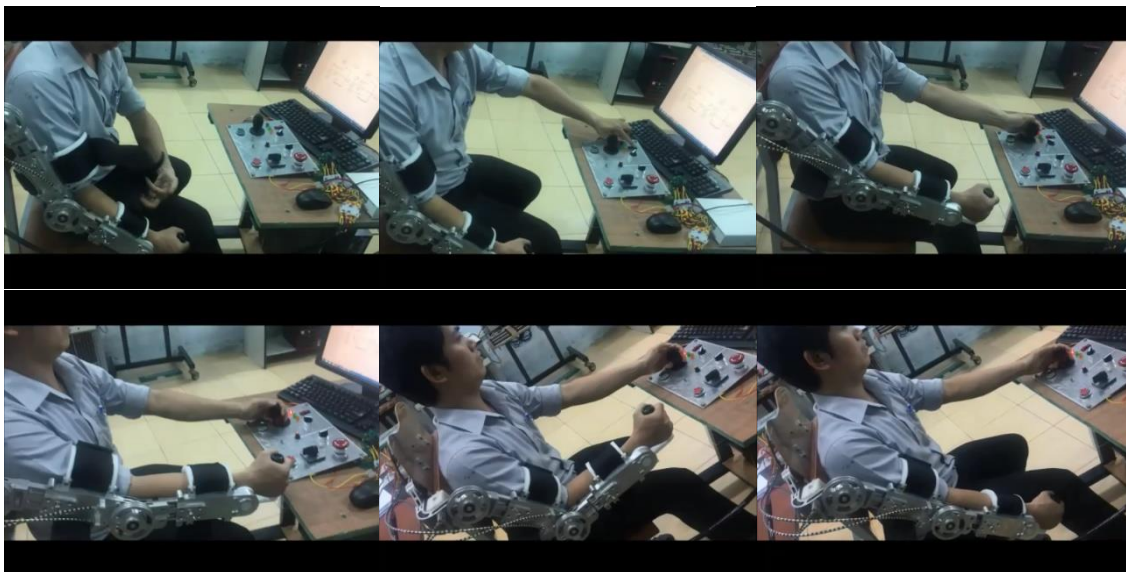
3. KẾT QUẢ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá RAR ở chế độ bằng tay

Các tác giả tiến hành các bài tập vận động thử nghiệm với chế độ bằng tay trên RAR ở 3 người khỏe mạnh (A, B, C) và 1 người bệnh (D, được giả định và có giám sát khi sử dụng RAR). Mỗi đối tượng (người sử dụng trên) thực hiện thao tác với RAR theo hướng dẫn sử dụng với một số lần tập nhất định và ghi nhận lại kết quả của 2 lần tập ngẫu nhiên. Kết quả người sử dụng robot sẽ nhận xét về mức độ thoải mái, khả năng hỗ trợ của RAR trong từng lần tập với các vận tốc làm việc khác nhau



Hình 5. Dữ liệu góc khớp và vận tốc góc lưu trữ trong một bài tập ở chế độ bằng tay (dữ liệu đo vận tốc chưa qua bộ lọc)



Hình 6. Snapshot với video ghi lại quá trình làm việc của RAR với chế độ bằng tay

Ngoài ra, trong khi thực hiện các bài tập bằng tay theo yêu cầu ngẫu nhiên của người sử dụng, các dữ liệu về góc khớp có thể được quan sát để so sánh và đánh giá tâm vận động cũng như tần số làm việc tối hạn của RAR. Hình 5 đưa ra một dữ liệu góc khớp và vận tốc góc lưu trữ, khi người sử dụng B thực hiện một bài tập ở chế độ bằng tay trong tâm vận động. Hình ảnh ghi lại một số tiến trình thao tác trong trường hợp này được đưa ra trong hình 6, như là một ví dụ. Các tác giả cũng ghi nhận lại kết quả bằng các đoạn video, trong đó kết quả thực hiện bài tập ở chế độ bằng tay với người sử dụng C có thể xem tại [17].

3.2. Đánh giá RAR ở chế độ tự động

Để kiểm tra chức năng tự động và xác nhận khả năng làm việc ổn định, an toàn của RAR với thuật toán trạng thái mây hữu hạn, chúng tôi tiến hành các bài tập co duỗi cơ bản nhất tại từng khớp với tần số co duỗi khác nhau từ tốc độ thấp đến tốc độ cao, tại mỗi khớp vai và khớp khuỷu. Qua nhiều lần thực nghiệm và cho kết quả tương tự, RAR cho kết quả làm việc ổn định với dãy làm việc trên.

Bảng 2. Bảng mô tả kết quả thử nghiệm các bài tập vận động với chế độ tự động trên RAR ở 3 người khỏe mạnh (A, B, C) và 1 người bệnh (D, được giả định và có giám sát khi sử dụng RAR) thực hiện với các bài tập chọn theo chỉ định của kĩ thuật viên hướng dẫn (bài tập 1(Ex1) đến bài tập 4(Ex4)). Kí hiệu viết tắt trong kết quả tập: TM: thoải mái; HG: Hơi gượng; Rất gượng (gây đau nhẹ): RG

STT	Mô tả	Kích thước (l_1/l_2 mm)	Bài tập	Kết quả tập lần 1	Kết quả tập lần 2
1	Người sử dụng A (nữ, 55 kg, 1m57)	272/220	Ex1	TM	TM
			Ex2	TM	TM
			Ex3	TM	HG
2	Người sử dụng B (nam, 72 kg, 1m70)	308/255	Ex1	TM	TM
			Ex3	HG	TM
			Ex4	HG	TM
3	Người sử dụng C (nam, 67 kg, 1m66)	292/240	Ex2	TM	TM
			Ex4	HG	TM
			Ex3	TM	HG
4	Người sử dụng D (nam, 61 kg, 1m62)	285/231	Ex1	HG	TM
			Ex4	TM	HG
			Ex2	TM	TM

Tương tự các bài tập vận động thử nghiệm với chế độ bằng tay trên RAR, 4 người sử dụng trên (A, B, C, D) cũng tiến hành các bài tập với chế độ tự động, trong đó các bài tập được đánh số từ bài tập số 01 đến bài tập số 04 (Ex1 đến Ex4). Mỗi đối tượng (người sử dụng trên) thực hiện thao tác với RAR theo hướng dẫn

sử dụng, tự chọn một bài tập ngẫu nhiên (trừ đối tượng D được chỉ định của hướng dẫn viên với các bài tập tăng dần mức độ phức tạp) với một số lần tập nhất định. Hình 7 ghi lại quá trình làm việc của RAR với chế độ tự động trên bài tập số 02. Tương tự chế độ bằng tay, kết quả người sử dụng robot sẽ nhận xét về mức độ thoải mái, khả năng hỗ trợ của RAR trong từng lần tập với các bài tập khác nhau [18]. Ở đây, các bài tập được chọn ở hai tốc độ là chậm và trung bình. Bảng 2 mô tả chi tiết các kết quả cụ thể ghi nhận lại kết quả làm việc của RAR trong quá trình hỗ trợ người sử dụng trong các bài tập mà quỹ đạo các bài tập với sự hỗ trợ của RAR là được lập trình trước.



Hình 7. Snapshot với video ghi lại quá trình làm việc của RAR với chế độ tự động trên bài tập số 02

4. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Bài báo trình bày việc tiếp cận với các kỹ thuật chính liên quan đến chế tạo, phát triển các loại robot tương tác với người sử dụng mang tính chất y sinh. Sản phẩm mẫu đầu tiên (phiên bản ban đầu) của loại robot này với tên gọi là Rehabilitation Assistance Robot (gọi tắt là RAR) mang đến một số điểm mới đóng góp vào sự phát triển chung trong công nghệ robot thông minh trong nước cũng như lĩnh vực ứng dụng robot y sinh. Thông qua các bài tập thực nghiệm ở nhiều chế độ đa dạng và tốc độ làm việc khác nhau, cơ bản RAR có thể làm việc an toàn, ổn định và hỗ trợ người sử dụng trong một số các bài tập bằng tay hoặc các bài tập định trước. Từ các kết quả nhận được, chúng ta thấy cơ bản người sử dụng cảm nhận được sự trợ lực và hướng vận động để người sử dụng có thể thực hiện các động tác cơ bản nhất mà không cần dùng lực của cánh tay. Thông qua quá trình tập trung nghiên cứu và thử nghiệm với RAR, từ những mặt hạn chế của robot, nhóm nghiên cứu định hướng khắc phục, phát triển và đưa vào sử dụng thử nghiệm tại một số trung tâm chấn thương chỉnh hình – phục hồi chức năng với một số điểm như giảm tải trọng robot và thay đổi vật liệu, chuẩn hóa các chi tiết gia công, giảm sai số gia công và lắp đặt, trang bị thêm các cảm biến đo điện cơ sinh (cảm biến EMG, Electro-Myo-Graphical) để có thể đánh giá mức độ hỗ trợ của Robot và mức độ hồi phục của bệnh nhân một cách định tính.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] General Electric Company. "Research and Development Prototype for Machine Augmentation of Human Strength and Endurance Hardiman I Project". New York: General Electric Company Corporate Research and Development, 1971, 1-25
- [2] H. Herr. "Exoskeletons and Orthoses: Classification, Design Challenges and Future Directions", Journal of Neuro-Engineering and Rehabilitation, 2009, 6(21): 6-21
- [3] Lum P., Reinkensmeyer D., Mahoney R, et al. "Robotic Devices for Movement Therapy after Stroke: Current Status and Challenges to Clinical Acceptance", Topics in Stroke Rehabilitation, 2002, 8(4):40-53

- [4] Bộ y tế, "Hướng dẫn chẩn đoán, điều trị chuyên ngành phục hồi chức năng", kèm theo quyết định số 3109/QĐ-BYT ban hành ngày 19 tháng 08 năm 2014.
- [5] D. C. Clark, N. J. DeLeys, C. W. Matheis. Exploratory Investigation of the Man Amplifier Concept [R], No. AMRL-TDR-62-89, : Buffalo, New York: Cornell Aeronautical Laboratory, Inc., of Cornell University, 1962
- [6] General Electric Company. Research and Development Prototype for Machine Augmentation of Human Strength and Endurance Hardiman I Project [R]. New York: General Electric Company Corporate Research and Development, 1971, 1-25
- [7]. A. Heinlein. Starship Troopers [M]. New York: Putnam, 1959
- [8] D. Hristic, M. Vukobratovic, and F. Gracanin. Development and Evaluation of Modular Active Orthosis [C]. Proceedings International Symposium External Control Human Extremities, 1978, 137-146
- [9] Đào Văn Hiệp, Chu Anh Mỹ, Nhữ Quý Thor, Trần Xuân Thành, "Một giải pháp năng lượng cho Exoskeleton", tạp chí Tự động hóa ngày nay, 2009, số 103.
- [10] Đào Văn Hiệp, "Robot sinh học dạng orthotic Exoskeleton, hỗ trợ đi lại, phục hồi chức năng cho người thiếu năng vận động", Tạp chí Khoa học & công nghệ Việt Nam, 2015, số 10, trang 27.
- [11] M. A. Mikulski, Electromyogram Control Algorithms for the Upper Limb Single-DOF Powered Exoskeleton, , Proc. IEEE Int. Conf. on HSI, Yokohama, Japan, May 19-21, 2011
- [12] K. Kiguchi, Active Exoskeletons for Upper-Limb Motion Assist, Journal of Humanoid Robotics, vol. 4, no. 3, pp. 607-624, 2007.
- [13] Leslie Mertz. "The next Generation of Exoskeletons", IEEE Pulse, 2012, pp.56-61
- [14] D. A. Winter, Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 4th edition, New Jersey: Jonh Wiley and Sons Inc, 2009.
- [15] Noble, J., et al. "Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries." Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 1998, 45(1): 116-122.
- [16] Hidler, J., et al. "Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke." Neurorehabilitation and neural repair, 2009, 23(1): 5-13.
- [17] <https://youtu.be/x2UCAoEE5A>
- [18] <https://youtu.be/g-eXF03UbNo>

Ngày nhận bài: 22/10/2020

Ngày chấp nhận đăng: 15/03/2021