

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ THIẾT BỊ MÔ PHỎNG CHUYỂN ĐỘNG VÀ HÀNH VI CỦA TRIỆU CHỨNG RUN Ở CÁNH TAY NGƯỜI

STUDY ON THE DESIGN OF DEVICE SIMULATING MOTION AND BEHAVIOR OF TREMORS IN THE HUMAN ARM

Đặng Trung Kiên^{1,3}, Trịnh Hoài Ân⁴, Nguyễn Tấn Tiến^{1,2,3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁴Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Ngày nay, nhiều thiết bị y tế được ứng dụng công nghệ tiên tiến nhằm nâng cao hiệu quả điều trị và quá trình khám chữa bệnh. Để phục vụ nghiên cứu và phát triển những thiết bị đó cần có hệ thống thử nghiệm, mô phỏng nhằm ngăn ngừa rủi ro, nguy hiểm cho con người. Trong nghiên cứu này, robot mười bậc tự do sẽ được nghiên cứu thiết kế dựa trên sự kết hợp của cánh tay máy sáu bậc tự do với robot bốn bậc tự do và đề xuất phương án thử nghiệm thiết bị vật lý trị liệu cho các bệnh lý liên quan đến cánh tay như khó khăn trong di chuyển hay triệu chứng run.

Từ khóa: Robot mười bậc tự do; Thử nghiệm; Thiết bị vật lý trị liệu; Run tay.

ABSTRACT

These days, there are numerous medical devices using cutting-edge technology to improve the effectiveness of treatment and healing process. In order to mitigate risks and dangers to human, it is necessary to have testing and simulation systems for research and development. In this study, a ten-degree-of-freedom robot model will be researched and designed based on the combination of a six-degree-of-freedom manipulator with a four-degree-of-freedom robot and propose testing programs to evaluate rehabilitation equipment for tremor or troubles moving arm.

Keywords: Ten degree-of-freedom robot; Testing; Rehabilitation equipment; Tremor.

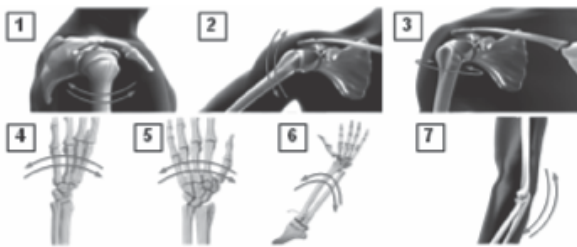
1. TỔNG QUAN

Thiết bị y tế như máy tập vật lý trị liệu, máy đo hoạt động của cánh tay,... đóng một vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ đảm bảo sức khỏe và đời sống của con người. Trong quá trình phát triển và sản xuất các thiết bị trong lĩnh vực y tế thì các quá trình thử nghiệm, kiểm

tra các thiết bị luôn được đặt lên hàng đầu để đảm bảo các tiêu chuẩn kỹ thuật. Để đảm bảo được tính an toàn và sự hiệu quả trong điều trị, phục hồi đối với các bệnh nhân có triệu chứng run ở tay, một hệ thống mô phỏng các chuyển động và hành vi triệu chứng run ở tay người sẽ được đề xuất nghiên cứu thiết kế trong bài báo này.

1.1. Tìm hiểu về cánh tay người

Cánh tay con người được chia thành bốn phần: Vai, cánh tay trên, cẳng tay và bàn tay. Các bộ phận của cánh tay tạo nên 7 bậc tự do với 7 khớp xoay và 3 bậc tự do được tạo ra giữa liên kết của khớp vai và cơ thể khi di chuyển. Các bậc tự do và khớp xoay của cánh tay sẽ được biểu thị trong Hình 1.



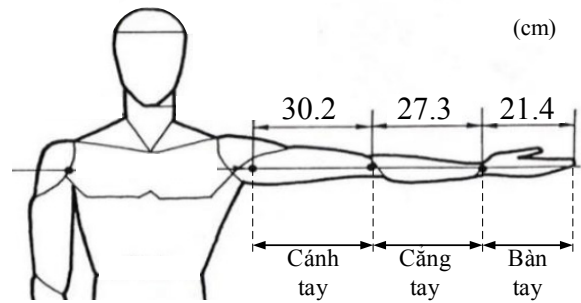
Hình 1. Bảy bậc tự do của khớp vai, khớp khuỷu tay và khớp cổ tay.

Theo nghiên cứu [1], [2], các giới hạn góc tương ứng với 7 khớp ở Hình 1 được nêu rõ ở Bảng 1.

Bảng 1. Giới hạn góc quay của bảy khớp cánh tay

Khớp	Giới hạn góc, °
Khớp vai (1)	$-60 \div 180$
Khớp vai (2)	$-75 \div 180$
Khớp vai (3)	$-45 \div 135$
Khớp cổ tay (4)	$-75 \div 80$
Khớp cổ tay (5)	$-35 \div 45$
Khớp cổ tay (6)	$-75 \div 60$
Khớp khuỷu tay (7)	$40 \div 180$

Việc nghiên cứu các chỉ số liên quan đến độ dài, khối lượng và trọng tâm các phần cánh tay sẽ đưa ra yêu cầu thiết kế robot giống với thực tế nhất. Trong nghiên cứu [3], tác giả đã chỉ ra độ dài của cánh tay trên, cẳng tay và bàn tay của một người đàn ông cao 180cm.



Hình 2. Chiều dài từng phần cánh tay

Mặc dù vậy, chiều dài của cánh tay con người có sự khác biệt giữa các cá nhân với nhau như vùng miền, thể trạng hay di truyền. Thay vào đó, một số nghiên cứu về chiều dài của cánh tay đã chỉ ra rằng có mối liên hệ giữa chiều cao và chiều dài của từng phần trên cánh tay [4], [5]. Kết hợp với thông tin tổng hợp từ các nghiên cứu về con người tại Việt Nam [6], thông số về chiều dài cho từng phần của cánh tay được chọn như Bảng 2, ngoài ra theo báo cáo [7], trọng tâm của từng phần được biểu thị theo chiều dài của phần đó như Hình 3.

Bảng 2. Chiều dài từng phần của cánh tay

Bộ phận	Chiều dài, cm
Cánh tay trên, L_{UA}	30.2
Cẳng tay, L_{FA}	27.3
Bàn tay, L_H	21.4

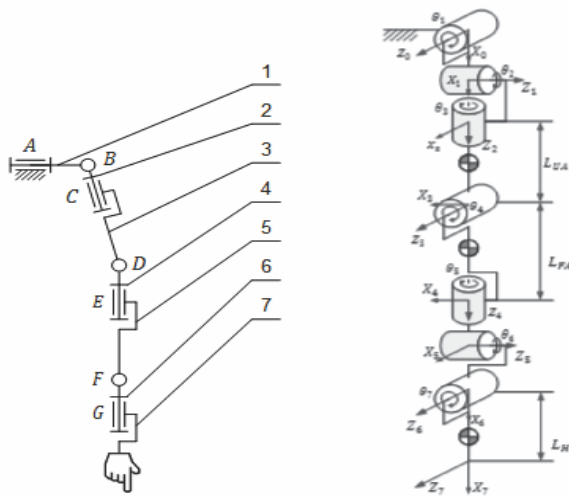
Hình 3. Trọng tâm của từng phần cánh tay

Những báo cáo về khối lượng của từng phần cánh tay với các phương pháp đo lường khác nhau trong [8], [9], [10] chỉ ra được khối lượng trung bình và mối liên hệ giữa khối lượng cơ thể và khối lượng của từng phần cánh tay. Qua đó, ta xác định khối lượng thiết kế cho từng phần của cánh tay như mô tả ở Bảng 3.

Bảng 3. Khối lượng từng phần của cánh tay

Bộ phận	Khối lượng, kg
Cánh tay trên	1.65
Cẳng tay	1.05
Bàn tay	0.41

Qua đó, ta xác định được sơ đồ nguyên lý, xây dựng động học thuận và vùng làm việc theo các giới hạn cho 7 bậc tự do của cánh tay người:



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý 7 bậc tự do của cánh tay

Tiếp đó, chúng ta có được bảng Denavit Hartenberg:

Bảng 4. Bảng Denavit-Hartenberg của cánh tay người 7 bậc tự do

Liên kết	a_i, m	α_i, rad	d_i, mm	θ_i, rad
1	0	$-\pi/2$	0	θ_1
2	0	$-\pi/2$	0	θ_2
3	0	$\pi/2$	L_{UA}	θ_3
4	0	$-\pi/2$	L_{FA}	θ_4
5	0	$\pi/2$	0	θ_5
6	0	$\pi/2$	0	θ_6
7	L_H	0	0	θ_7

Mỗi ma trận biến đổi $i-1T$ sẽ được viết dưới dạng tổng quát:

$$i-1T = R_{Z,\theta_i} Trans_{Z,d_i} Trans_{X,a_i} R_{X,\alpha_i} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} c(\theta_i) & -s(\theta_i)c(\alpha_i) & s(\theta_i)s(\alpha_i) & a_i c(\theta_i) \\ s(\theta_i) & c(\theta_i)c(\alpha_i) & -c(\theta_i)s(\alpha_i) & a_i s(\theta_i) \\ 0 & s(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Với:

$$c(\theta_i) = \cos(\theta_i)$$

$$s(\theta_i) = \sin(\theta_i)$$

$$c(\alpha_i) = \cos(\alpha_i)$$

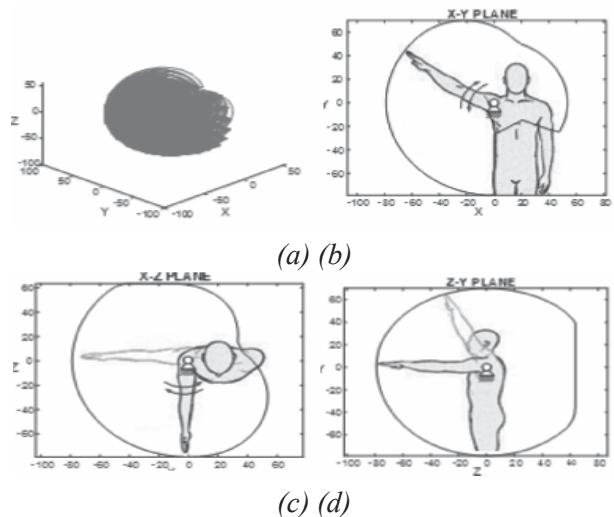
$$s(\alpha_i) = \sin(\alpha_i)$$

Ma trận biến đổi cuối cùng cho điểm cuối và hệ cơ sở:

$${}^0_7T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T {}^6_7T$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Từ đây, ta có thể tính được vùng hoạt động của cánh tay người bằng cách sử dụng phần mềm Matlab.



Hình 5. Vùng hoạt động của cánh tay (a), trong mặt phẳng X-Y (b), trong mặt phẳng X-Z (c), trong mặt phẳng Z-Y (d).

1.2. Bệnh lý run của tay người

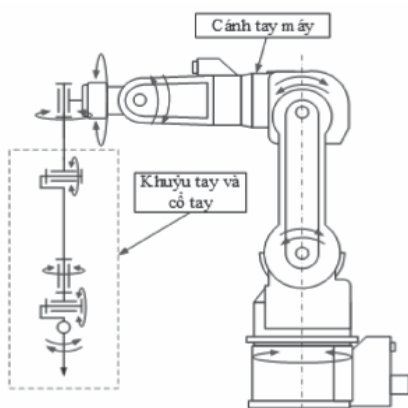
Run là một chuyển động không thể kiểm soát được, có tần số và biên độ khác nhau do nhiều yếu tố khác nhau. Mặc dù không có hại nhưng run có thể làm suy giảm các chức năng hàng ngày, chẳng hạn như run tay, cánh tay, đầu, chân và giọng nói, gây khó khăn trong các hoạt động như viết hoặc cầm đồ vật. Ngoài ra, sự suy giảm trong việc di chuyển cánh tay cũng tạo ra không ít khó khăn cho người mắc phải.

Qua các báo cáo [11], [12], [13], bệnh lý của người mắc chứng run tay được chia thành năm loại chính: run khi nghỉ, run khi chuyển động, run do tác động, run khi giữ tư thế và run khi làm một hoạt động cụ thể. Tần số rung của các bệnh nhân thu được từ $4 \div 12$ Hz với biên độ rung từ $0.0059 \div 0.19$ cm [14].

2. ĐỀ XUẤT THIẾT KẾ

2.1. Mô hình cơ khí

Với những yêu cầu kỹ thuật được nêu ở trên, phương án thiết kế được đề xuất kết hợp giữa mô hình sáu bậc tự do của cánh tay máy và bốn bậc tự do của khuỷu tay và cổ tay như Hình 6.

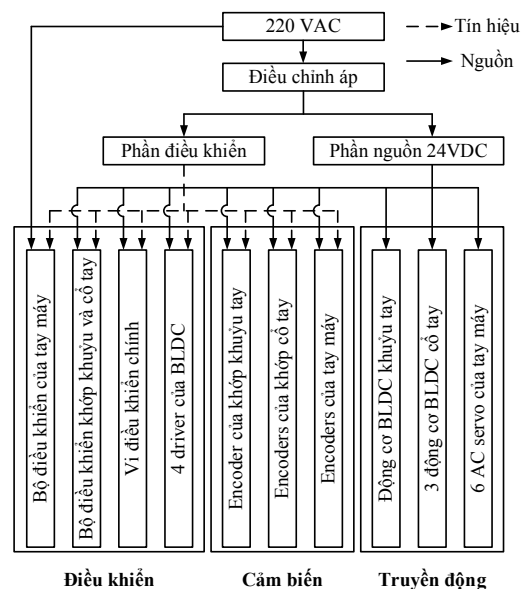


Hình 6. Phương án thiết kế robot 10 bậc tự do

Với các thiết bị y tế, tập luyện vật lý trị liệu cho các bệnh lý liên quan đến cánh tay hiện nay, đa phần được thiết kế để đeo hoặc có cấu trúc phù hợp với phần cánh tay từ khớp cầu vai đến bàn tay. Vì vậy, thay vì phải thiết kế hoàn toàn mười bậc tự do của robot, nhóm nghiên cứu đề xuất phương án sử dụng một cánh tay robot với sáu bậc tự do mô phỏng ba bậc tự do của cơ thể và ba bậc tự do của khớp vai, kết hợp với robot bốn bậc tự do mô phỏng khớp khuỷu tay và khớp cầu của cổ tay.

2.2. Mạch điện

Bộ điều khiển của cánh tay máy 6 bậc tự do sử dụng nguồn 220VAC còn với bộ điều khiển động cơ của 4 bậc tự do cẳng tay và bàn tay sử dụng điện áp 24VDC. Sơ đồ khối của mạch điện trong mô hình robot mười bậc tự do được biểu thị như Hình 7.

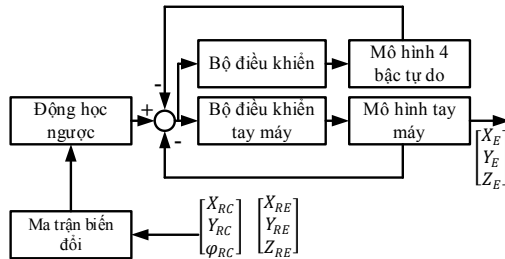


Hình 7. Sơ đồ khối mạch điện

2.3. Điều khiển

Trong quá trình mô phỏng, robot cần phải bám theo quỹ đạo tham chiếu hoặc rung

theo biên độ vị trí thiết lập. Phương pháp điều khiển của robot được đề xuất như mô tả ở Hình 8:



Hình 8. Sơ đồ khối phương pháp điều khiển

Với đầu vào là vị trí cuối của bàn tay robot, được biến đổi qua ma trận tính toán đưa về góc của các khớp. Các động cơ sẽ đáp ứng, đưa robot tiến đến vị trí mong muốn và thực hiện hành vi run được thiết lập trong chu kỳ hoạt động.

2.4. Giải thuật

Robot được điều khiển theo bốn chương trình làm việc nhằm mục đích mô phỏng lại hành vi run và hiện tượng các khớp khó di chuyển của người bệnh bao gồm: run khi nghỉ, run khi hành động, run khi giữ tư thế và ngăn cản chuyển động của các khớp cánh tay.



Hình 9. Sơ đồ giải thuật của robot

3. MÔ HÌNH THIẾT KẾ 3D

Dựa trên những đề xuất trong phần trước, nhóm nghiên cứu đã thiết kế mô hình 3D của các cánh tay bằng phần mềm Solidworks. Các thông số của mô hình thiết kế đề xuất được mô tả trong bảng sau:

Bảng 5. Thông số cánh tay robot bốn bậc tự do

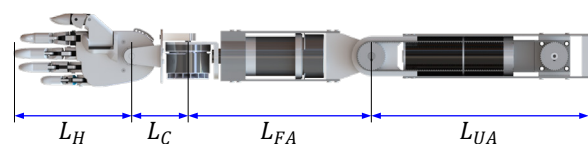
Thông số cánh tay	Giá trị
Loại	4 trục
Chiều dài, mm	$L_{UA} = 292, L_{FA} = 231, L_H = 184, L_C = 74$
Tần số rung, Hz	$4 \div 15 \text{ Hz}$
Giới hạn góc quay, °	Khuỷu tay: $-90 \div 140$ Cổ tay (1): $0 \div 360$ Cổ tay (2): $-90 \div 90$ Cổ tay (3): $-90 \div 90$

Cánh tay máy 6 bậc tự do của Denso với mã hiệu DENSO VC6353-E.

Bảng 6. Thông số cánh tay máy VC6353-E DENSO

Thông số tay máy	Giá trị
Loại	6 trục
Vận tốc tối đa, m/s	0,004
Tần số rung, Hz	$4 \div 15 \text{ Hz}$
Giới hạn góc quay, °	$J_1: \pm 160, J_2: +90, J_3: +145, J_4: \pm 170, J_5: \pm 120, J_6: \pm 360$

Chiều dài của mô hình cánh tay bốn bậc tự do được phân bố như Hình 10:



Hình 10. Chiều dài các phần của cánh tay robot bốn bậc tự do

Mô hình 3D của robot sau khi được lắp như trên hình sau:



Hình 11. Robot sau khi được lắp đặt

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày tổng quan về thiết kế đề xuất cho mô hình cánh tay và hành vi của triệu chứng run ở tay người, qua đó xác định được các thông số thiết kế dựa trên cánh tay thật và các thông số liên quan đến triệu chứng run tay. Nhóm nghiên cứu đã đề xuất phương án cho mô hình cơ khí, mạch điện, điều khiển và giải thuật điều khiển cho robot mười bậc tự do mô phỏng chuyển động và hành vi của triệu chứng run tay ở người.

Đây là bước đầu tiên của hướng nghiên cứu, nên một số đề xuất chưa được tối ưu, nhiều vấn đề cần cải thiện liên quan đến cả kỹ thuật và các yêu cầu đặc biệt để phù hợp với các thiết bị y tế trong khi thử nghiệm và đánh giá. Dựa trên kết quả đạt được trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục cải tiến, phát triển mô hình và giải thuật điều khiển để tiến hành các bước thực nghiệm và ứng dụng vào thực tế.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này, được tài trợ bởi

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **10/3/2024**

Ngày phản biện: **12/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Korayem M. *Kinematics and dynamic modelling of the human shoulder*, International Journal of Engineering, 14(13), 247-254 (2001).
- [2]. Gull M, Bai S, Bak T. *A Review on Design of Upper Limb Exoskeletons*, Robotics 2020, 9(1), 16 (2020).
- [3]. Gurminder Singh, Ashsh Singla, Gurvinder S. Virk. *Modeling and Simulation of a Passive Lower-Body Mechanism for Rehabilitation*, Conference on Mechanical Engineering, IIT (BHU), Varanasi, pp.900-904 (2016).
- [4]. K. Renu; Y. P. Kumar (2016). *Estimation of stature from different anthropometric measurements in Kori population of North India*, Egyptian Journal of Forensic Sciences, 6(4), pp. 468-477. doi:10.1016/j.ejfs.2016.12.001.
- [5]. M. Abay, S. Bereket (2021). *Estimation of Stature from Arm Span, Arm Length and Tibial Length among Adolescents of Aged 15-18 in Addis Ababa*, Ethiopia, Ethiop J Health Sci. 2021, 31 (5), pp: 1053-1060. doi:10.4314/ejhs.v31i5.18.
- [6]. Thanh Phương (2023). *Chiều cao người Việt có sự cải thiện*, 29/02/2024, from: <https://vov2.vov.vn/suc-khoe/chieu-cao-nguoi-viet-co-su-cai-thien-45532.vov2>.
- [7]. L. Zhuorui, X. Xiangmin, Z. Shaolin (2017). *The smallest target size for a comfortable pointing in freehand space: human pointing precision of freehand interaction*, Universal

- Access in the Information Society, 16(2), pp. 381–393. doi:10.1007/s10209-016-0464-1.
- [8]. R. Drillis, R. Contini, M. Bluestein (1964). *Body Segment Parameters, A Survey of Measurement Techniques*, Artificial limbs, 8, pp. 44–66.
- [9]. C. D. Chamorro-R, N. G. Caicedo-D, J. I. Garcia-M. (2018). *Design, development and implementation of an assistive technology device for shoulder telerehabilitation via the Internet*, DYNA, 85(206), pp. 95–104. doi:https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.64889.
- [10]. Clauser, Charles E., et al. (1969). *Weight, Volume, and Center of Mass of Segments of the Human Body*, Air Force Systems Command, Aerospace Medical Division, Aerospace Medical Research Laboratory.
- [11]. A. Anouti, W. C. Koller (1995). *Tremor disorders: Diagnosis and management*, Western journal of medicine, 162(6), pp. 510–513.
- [12]. E. J. Sternberg, R. N. Alcalay, O. A. Levy, E. D. Louis. (2013). *Postural and Intention Tremors: A Detailed Clinical Study of Essential Tremor vs. Parkinson's Disease*, Frontiers in Neurology, 4 (51), doi:10.3389/fneur.2013.00051.
- [13]. J. S. Lou, J. Jankovic. (1991). *Essential tremor: clinical correlates in 350 patients*, Neurology, 41(2), pp. 234.
- [14]. S. Calzetti, M. Baratti, M. Gresty, L. Findley (1987). *Frequency/amplitude characteristics of postural tremor of the hands in a population of patients with bilateral essential tremor: implications for the classification and mechanism of essential tremor*. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 50(5), pp. 561–567. doi:10.1136/jnnp.50.5.561.