

MỘT NGHIÊN CỨU VỀ MÔ PHÒNG SỐ KẾT HỢP THỰC NGHIỆM TRONG TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC ROBOT: BÀI TOÁN ROBOT 2R

A STUDY ON NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENT OF ROBOT KINEMATICS: ROBOT 2R CASE

Đỗ Viết Long, Trương Văn Thuận*
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Tính toán mô phỏng robot ngày quan trọng và hữu dụng trong công nghiệp những năm gần đây. Cùng với sự phát triển của khoa học tính toán, rất nhiều công cụ hỗ trợ lĩnh vực này được phát triển. Kết quả thu được có độ tin cậy cao, có thể sử dụng cho tính toán thiết kế động học, động lực học và quỹ đạo cho robot nhằm tránh va chạm và tối ưu hóa vận hành. Bài báo này trình bày một số kết quả mô phỏng số kết hợp thực nghiệm về động học cho cánh tay robot công nghiệp, trường hợp robot 2R.

Từ khóa: Động học robot; Robot phẳng; Mô phỏng số.

ABSTRACT

The numerical simulation of robot is important and useful in industries day by day. According to the development of computational science, there are many supporting tools developed in this field. The obtained results are reliable, can be used for kinematic, dynamic calculation and trajectory planning for avoiding obstacle and optimized operation. The paper presents some results of numerical simulation and experiment combination, a case of 2R.

Keywords: Robot Kinematics; Planar Robot; Numerical Simulation.

1. GIỚI THIỆU

Robot là trang thiết bị có vai trò ngày càng lớn trong công nghiệp và dân dụng. Lý thuyết tính toán robot được phát triển trên cơ sở cơ học hệ nhiều vật [1] và được xây dựng bởi nhiều nhà nghiên cứu nổi tiếng như John J. Craig [2], Jazar [3]. Đó là những nền tảng để phát triển cho mọi tính toán, thiết kế và điều khiển các robot hiện đại ngày nay. Cùng với sự phát triển của khoa học tính toán, nhiều công

cụ số được sử dụng hỗ trợ quá trình tính toán thiết kế robot được nhanh và hiệu quả để có thể nhanh chóng đưa vào ứng dụng. Một số công trình công bố có thể kể đến như: Mahmoud Gouasmi cùng các cộng sự [4] đã mô hình hóa và mô phỏng robot 2R sử dụng Solidworks và xác thực bằng Matlab/Simulink; Lin Jian Liang và Xue Guan Gao đã sử dụng Adam và Matlab để tính toán động lực cho robot dựa trên phương pháp Newton-Euler... Trong thực tế, khi robot công nghiệp được sản xuất và ứng

dụng hàng loạt, nhiệm vụ của đội ngũ kỹ sư và kỹ thuật viên chủ yếu tập trung tính toán động học và thiết kế quỹ đạo để quá trình vận hành trơn tru và tối ưu.

Trong nghiên cứu này, động học của robot 2R được khảo sát tính toán bằng RecurDyn kết hợp Matlab/Simulink cùng với thực nghiệm bằng cánh tay máy có động cơ Dynamixel phát triển bởi Robotics. Kết quả thu được phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, cho thấy sự kết hợp tính toán số và thực nghiệm này là bộ công cụ tin cậy để khảo sát động học robot hỗ trợ cho công nghiệp và dân dụng.

2. ĐỘNG HỌC THUẬN CỦA ROBOT 2R

Hình 1 mô tả một cấu hình robot 2R với hệ tọa độ và thông số kích thước được xác định. Cả hai khâu đều được chuyển động trong cùng mặt phẳng. Bảng thông số Denavit-Hartenberg được thể hiện bởi bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Bảng thông số D-H của robot 2R

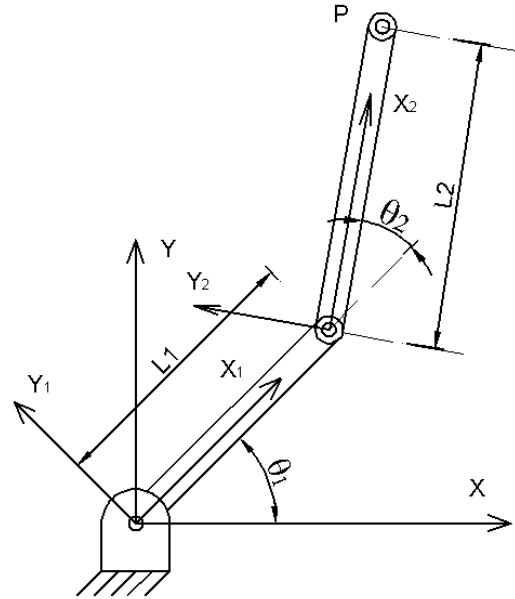
Link	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	0	L_1	0	θ_2

Từ bảng Denavit-Hartenberg, ma trận chuyển đổi được xác định bởi các công thức:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & L_1 \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & L_1 \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & L_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & L_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_2^0 = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & L_1 c_1 + L_2 c_{12} \\ s_{12} & c_{12} & 0 & L_1 s_1 + L_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$



Hình 1. Cấu hình tay máy 2R được tính toán

3. ĐỘNG HỌC NGƯỢC CỦA ROBOT 2R

Ma trận mục tiêu của tính toán:

$$T_w^B = \begin{bmatrix} c_\phi & -s_\phi & 0 & x \\ s_\phi & c_\phi & 0 & z \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Vì $T_2^0 = T_w^B$, ta có:

$$x = L_1 c_1 + L_2 c_{12} \quad (5)$$

$$z = L_1 s_1 + L_2 s_{12} \quad (6)$$

Từ đó:



$$x^2 + z^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2c_2 \quad (7)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + z^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \quad (8)$$

$$\sin \theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2} \quad (9)$$

$$\theta_2 = \pm a \tan \left(\frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} \right) \quad (10)$$

Xác định thông số chuyển vị của khâu một theo công thức:

$$\theta_1 = a \tan\left(\frac{z}{x}\right) - a \tan\left(\frac{k_2}{k_1}\right) \quad (11)$$

Với góc cho trường hợp vòng lên:

$$\theta_1 = a \tan\left(\frac{z}{x}\right) - a \tan\left(\frac{L_2s_2}{L_1 + L_2c_2}\right) \quad (12)$$

Với góc cho trường hợp vòng xuống:

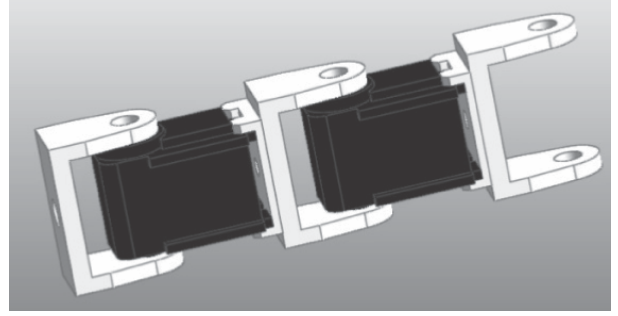
$$\theta_1 = a \tan\left(\frac{z}{x}\right) - a \tan\left(\frac{L_2s_2}{L_1 + L_2c_2}\right) \quad (13)$$

Vận tốc của điểm cuối (P) được tính qua ma trận Jacobian:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_1s\theta_1 - L_2s(\theta_1 + \theta_2) & -L_2s(\theta_1 + \theta_2) \\ L_1c\theta_1 + L_2c(\theta_1 + \theta_2) & L_2c(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

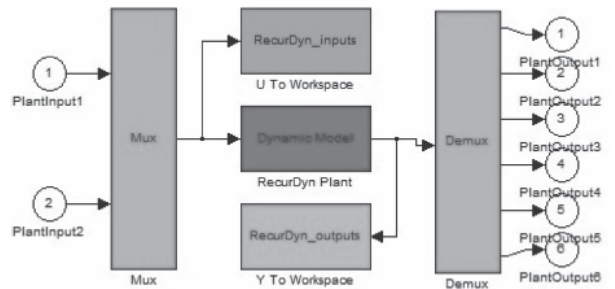
4. MÔ PHỎNG ĐỘNG HỌC ROBOT 2R BẰNG CÔNG CỤ SỐ

Trên cơ sở động học thuận và động học ngược của robot 2R tổng hợp từ phần trước, phần này tập trung vào mô phỏng động học robot 2R bằng công cụ tính toán RecurDyn [6] kết hợp Matlab [7]. Hình 2 mô tả mô hình 3D của robot 2R:



Hình 2. Mô hình robot 2R trong thiết kế 3D

Thông số đầu vào/ra của robot 2R được thiết lập. Góc khớp của robot được tính toán trong Matlab. Các thông số chuyển vị này được tính toán trong RecurDyn và chuyển tới Matlab để xử lý. Mô hình mô phỏng kết hợp được thể hiện ở Hình 3.



Hình 3. Mô hình mô phỏng kết hợp giữa RecurDyn và Matlab

Trong nghiên cứu này, 2R robot có thông số $L_1 = L_2 = 68.1$ mm và $m_1 = m_2 = 0.069$ kg. Với vị trí ban đầu $x = 163.2$ và $z = 0$; vị trí cuối $x = 85.98$ và $z = 102.15$, thay vào các phương trình động học ở phần trước sẽ được phương trình quỹ đạo chuyển động cho hai góc khớp. Kết quả chuyển động của robot 2R cho hai trường hợp vòng lên và vòng xuống từ lý thuyết và mô phỏng trùng khớp, được thể hiện bởi bảng 2 dưới đây:

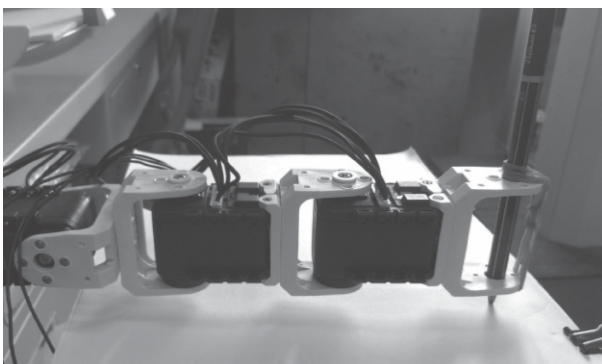
Bảng 2. Chuyển vị của robot 2R

Time (sec)	Vòng lên (Elbow up)		Vòng xuống (Elbow down)		x	z
	Theta1 (deg)	Theta2 (deg)	Theta1 (deg)	Theta2 (deg)		
0	0	0	0	0	163.2000	0
0.1	2.5200	-1.6800	0.8400	1.6800	163.1268	3.9926
0.2	9.3600	-6.2400	3.1200	6.2400	162.1924	14.7821
0.3	19.4400	-12.9600	6.4800	12.9600	158.8826	30.3505
0.4	31.6800	-21.1200	10.5600	21.1200	151.8994	48.2447
0.5	45.0000	-30.0000	15.0000	30.0000	140.9335	65.7795
0.6	58.3200	-38.8800	19.4400	38.8800	126.9820	80.6177
0.7	70.5600	-47.0400	23.5200	47.0400	112.1073	91.3943
0.8	80.6400	-53.7600	26.8800	53.7600	98.8178	97.9829
0.9	87.4800	-58.3200	29.1600	58.3200	89.4634	101.2159
1	90.0000	-60.0000	30.0000	60.0000	85.9763	102.1500

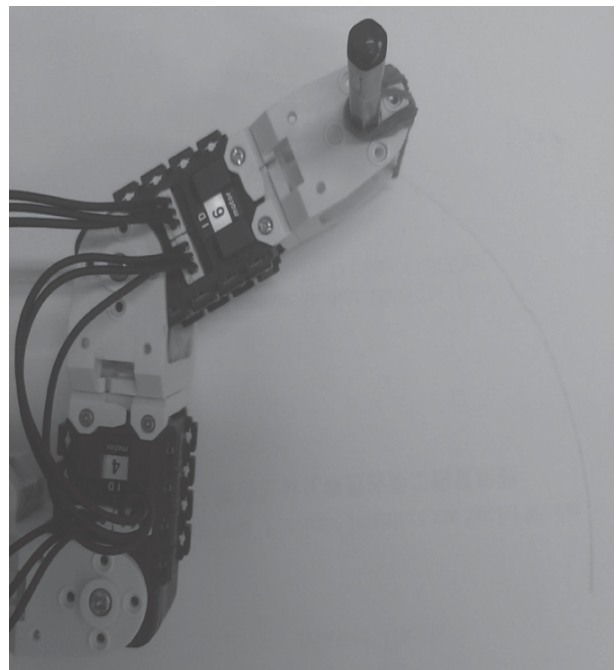
Từ kết quả thu được có thể thấy, chuyển vị của hai khâu ở trường hợp vòng xuống thấp hơn trường hợp vòng lên. Việc quyết định để cánh tay robot chuyển động vòng xuống hay vòng lên phụ thuộc vào yêu cầu tránh va chạm, tính ổn định... của yêu cầu điều khiển.

5. THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT ĐỘNG HỌC ROBOT 2R

Mô hình thực xây dựng bởi Dynamixel [8] được kết nối với máy tính qua cổng USB được mô tả trong Hình 4. Hình 5 và Hình 6 lần lượt là chuyển vị của Robot 2D theo hai trường hợp tính toán trên.

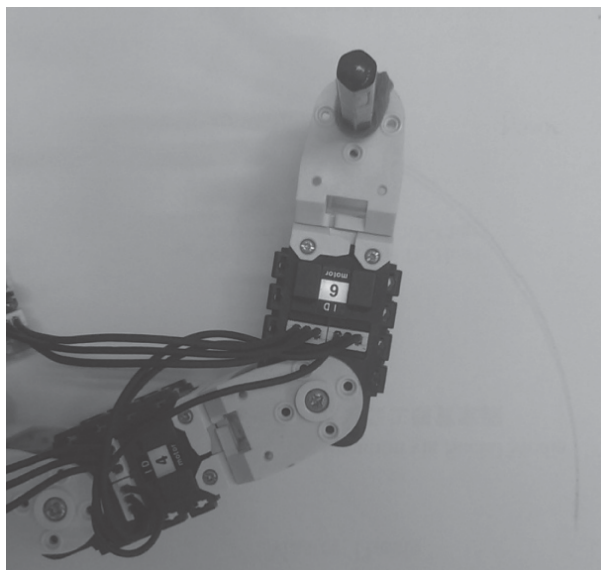


Hình 4. Mô hình thực robot 2R



Hình 5. Chuyển vị của robot 2R trường hợp vòng lên





Hình 6. Chuyển vị của robot 2R trường hợp vòng xuống

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, bộ công cụ RecurDyn và Matlab được sử dụng để tính toán khảo sát động học robot 2R. Kết quả thu được cho thấy sự tin cậy của bộ công cụ tính toán và ý nghĩa của nghiên cứu động học robot trong ứng dụng robot nói chung. Việc tính toán và mô phỏng với hỗ trợ của công cụ số sẽ giúp tối ưu hóa trong thiết kế cũng như vận hành robot công nghiệp. ❖

Ngày nhận bài: 18/4/2024
Ngày phản biện: 06/5/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. A.A. Shabana, “*Theory of Vibration: An Introduction*”, Second edition, Springer-Verlag New York, Inc (1996).
- [2]. John J. Craig, “*Introduction to Robotics Mechanics & Control*”, Third edition, Pearson Education International.
- [3]. Reza N. Jazar, 2010, “*Theory of applied Robotics (kinematics, dynamics and control)*”, Second edition, Springer New York.
- [4]. Mahmoud Gouasmi, Mohammed Ouali, Brahim Fernini and M’hamed Meghatria, “*Kinematic Modelling and Simulation of 2-R Rbot Using SolidWork and Verification by Matlab/Simulink*”, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 9, 2012.
- [5]. Lin Jian Liang, Xue Guan Gao, “*Palletizing Robot Dynamic Analysis and Simulation*”, Applied Mechanics and Materials (Volume 598), pp.623-626, 2014.
- [6]. FunctionBay, Inc, 2013, RecurDyn Help.
- [7]. The Mathworks, Simulink, <http://www.mathworks.com/products/simulink/>
- [8]. ROBOTIS e-manual v1.14.00, <http://support.robotis.com/en/>