

KHẢO SÁT TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC ROBOT CÔNG NGHIỆP BẰNG MÔ PHỎNG SỐ

AN INVESTIGATION OF INDUSTRIAL MANIPULATOR VIA NUMERICAL SIMULATION

Đỗ Việt Long, Trương Văn Thuận

Trường Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về khảo sát động lực cánh tay robot công nghiệp bằng công cụ mô phỏng số. Mô hình 3D và toán học của cánh tay được xây dựng. Từ đó, động học và động lực học của cánh tay được mô hình hóa và tính toán thông qua mô phỏng tích hợp Matlab/Simulink và RecurDyn. Kết quả thu được qua mô phỏng số phản ánh đúng bản chất động lực của cơ hệ, là tiền đề để phát triển nghiên cứu cho các cánh tay robot công nghiệp nhiều bậc tự do hơn trong tính toán tối ưu thiết kế và điều khiển.

Từ khóa: Cánh tay robot; Mô phỏng số; Động lực học.

ABSTRACT

This paper presents some research results of investigating industrial manipulator dynamics via numerical simulation tools. The 3D and mathematic model of manipulator are established. Then, the kinematics and kinetics are modeled and calculated via co-simulation between Matlab/Simulink and RecurDyn. The obtained results reflect well the essentials of manipulator dynamics, and it can seem to be a reference for investigating more degree of freedom robots in design optimization or control.

Keywords: Manipulator; Numerical Simulation; Dynamics.

1. GIỚI THIỆU

Cánh tay robot công nghiệp là một cơ cấu máy chiếm vai trò ngày càng quan trọng trong sản xuất ở mọi lĩnh vực. Cùng với công nghiệp hóa và hiện đại hóa ngày một mạnh mẽ, robot công nghiệp dần phổ biến trong các xưởng và nhà máy trên khắp thế giới. Ứng dụng của cánh tay robot công nghiệp trong các nguyên công có thể kể tới như: Hàn, sơn, cầm

gắp... thậm chí trong cả y tế. Đáp ứng nhu cầu thực tiễn, nghiên cứu trong lĩnh vực robot thu hút sự quan tâm sâu rộng của các nhà khoa học và sản xuất.

Để làm chủ và ứng dụng công nghệ cánh tay robot công nghiệp, động học và động lực học của mỗi cấu hình máy cần được khảo sát tính toán. Bên cạnh ứng dụng toán học giải tích và cơ học truyền thống, công cụ số hỗ trợ

lĩnh vực cơ hệ nhiều vật ngày càng trở nên phổ biến và tin cậy. Rất nhiều công bố trong và ngoài nước đã ứng dụng và tích hợp phần mềm công nghiệp để xử lý khâu này có thể kể tới như: [1] đã khảo sát động học cánh tay robot R-R; [2] khảo sát tìm hàm truyền cho cơ hệ nhiều vật; [3] ứng dụng công cụ máy tính trong tính toán động lực robot...

Trong nghiên cứu này, các tác giả xây dựng một cấu hình cánh tay robot R-R (quay-quay) cơ bản và phổ biến trong thiết kế 3D, khảo sát mô hình toán học, xây dựng mô hình mô phỏng tính toán tích hợp giữa công cụ Matlab/Simulink và Recurdyn. Kết quả tính toán có sự phù hợp với đặc tính thực của cơ hệ, là tiền đề để phát triển nghiên cứu cho các cánh tay robot nhiều bậc tự do hơn, hay trong tối ưu thiết kế và điều khiển.

2. CẤU HÌNH CÁN H TAY ROBOT CÔNG NGHIỆP VÀ ĐỘNG LỰC HỌC

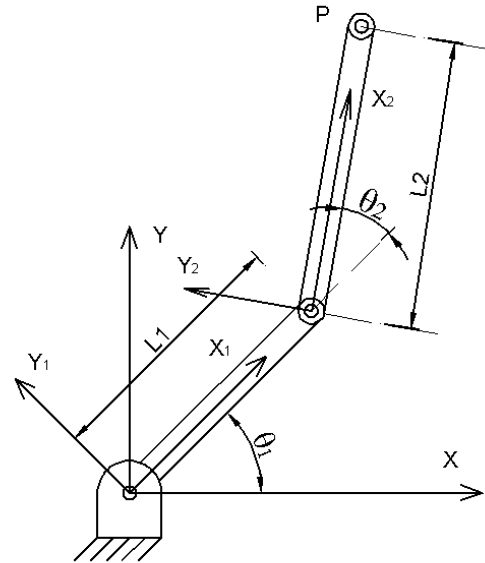
Hình 1, mô tả cấu hình của cánh tay robot 2 bậc tự do R-R với các thông số kích thước được tham số hóa tương ứng là L_1 và L_2 . Hai khâu này được nối với nhau và khâu gốc qua khớp quay. Ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ $\{i\}$ tới $\{i-1\}$ được thiết lập theo công thức của Denavit - Hartenberg (D-H), ma trận chuyển đổi cơ hệ từ hệ tọa độ $\{N\}$ tới hệ gốc $\{0\}$ được thể hiện bởi công thức:

$${}^0_N T = {}^0_1 T {}^1_2 T {}^2_3 T \dots {}^{N-1}_N T \quad (1)$$

Bảng trị số D-H được thể hiện bởi bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Thông số D-H của mô hình cánh tay robot R-R:

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



Hình 1. Cấu hình cánh tay robot R-R

Ứng dụng công thức (1) ta có ma trận chuyển đổi như sau:

$${}^0_2 T = {}^0_1 T {}^1_2 T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & L_1 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & L_1 c_1 \\ s_{12} & c_{12} & 0 & L_1 s_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ma trận ${}^0_2 T$ thể hiện mối quan hệ từ hệ tọa độ $\{2\}$ và $\{0\}$.

Trên hệ tọa độ $\{2\}$, vị trí điểm P là $[L_2 \ 0 \ 0 \ 1]$. Đối với hệ tọa độ gốc $\{0\}$ tọa độ của P là $[x \ y \ 0 \ 1]$, do đó:

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

Qua các phép tính toán hình học thu được:

$$\theta_2 = a \tan 2(\sin \theta_2, \cos \theta_2) \quad (4)$$

Đặt x, y theo dạng:

$$x = k_1 c_1 - k_2 s_1; y = k_1 s_1 + k_2 c_1; k_1 = L_1 + L_2 c_2; k_2 = L_2 s_2$$

Nếu $r = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$; and $\gamma = a \tan(k_2, k_1)$;
thì $k_1 = r \cos \gamma; k_2 = r \sin \gamma$.

Ta thu được:

$$\theta_1 = a \tan 2(y, x) - a \tan 2(k_2, k_1) \quad (5)$$

Tùy theo dấu của θ_2 , tương ứng với cánh tay vòng lên hay hõm xuống.

Đối với mô men để gây chuyển động cho 2 khâu, công thức Lagrange được sử dụng để thiết lập phương trình vi phân chuyển động cho cơ hệ. Bắt đầu từ phương trình năng lượng gồm động năng và thế năng (K và U, tương ứng):

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial K}{\partial \theta} + \frac{\partial U}{\partial \theta} \quad (6)$$

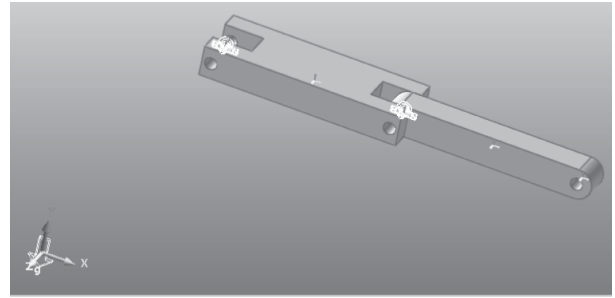
Phương trình vi phân cho từng khâu thu được:

$$\tau_1 = (I_{1zz} + I_{2zz} + 2m_2 L_1 a_2 c_2 + m_2 a_2^2 + m_1 a_1^2 + m_2 L_1^2) \ddot{\theta}_1 + (I_{2zz} + m_2 a_2^2 + m_2 a_2 L_1 c_2) \ddot{\theta}_2 - m_2 a_2 L_1 s_2 \dot{\theta}_2^2 - 2m_2 a_2 L_1 s_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + m_2 a_2 g c_{12} + m_1 g a_1 c_1 + m_2 g L_1 c_1 \quad (7)$$

$$\tau_2 = I_{2zz} (\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) + m_2 L_1 a_2 \ddot{\theta}_1 c_2 + m_2 L_1 a_2 \dot{\theta}_1^2 s_2 + m_2 a_2 g c_{12} + m_2 a_2^2 (\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) \quad (8)$$

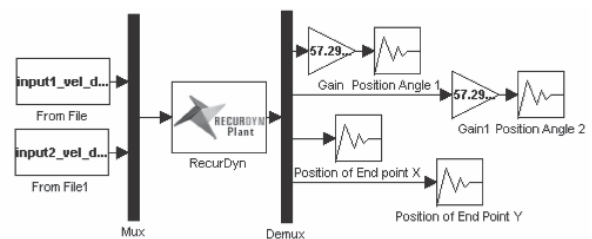
3. KHẢO SÁT HOẠT ĐỘNG CÁNH TAY ROBOT CÔNG NGHIỆP BẰNG MÔ PHỎNG SỐ

Trong các phần trên, động học và động lực học của cánh tay robot công nghiệp R-R được phát triển. Trong phần này, một mô hình 3D của cánh tay được xây dựng như Hình 2. Các khâu và khớp được định nghĩa trong phần mềm Recurdyn, trong đó, các yếu tố động lực như hệ số ma sát ổ khớp được bổ sung đưa vào tính toán.



Hình 2. Mô hình 3D cánh tay robot R-R

Các dữ liệu đầu vào như thông số vận tốc, chuyển vị được tính toán từ Matlab/Simulink, điều khiển mô hình 3D trong Recurdyn thông qua mô hình mô phỏng kết hợp được minh họa trong Hình 3.



Hình 3. Mô phỏng tích hợp công cụ Matlab/Simulink và Recurdyn

Thông số hình học có xét tới vật liệu của mỗi khâu được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số tính toán của mô hình cánh tay robot R-R:

Khâu 1	Khâu 2
$L_1 = 300 \text{ mm}$	$L_2 = 300 \text{ mm}$
$a_1 = 150 \text{ mm}$	$a_2 = 150 \text{ mm}$
$I_{1zz} = 28747.8496 \text{ (kg.mm}^2\text{)}$	$I_{2zz} = 11207.6427 \text{ (kg.mm}^2\text{)}$
$m_1 = 4.044 \text{ (kg)}$	$m_2 = 1.433 \text{ (kg)}$

Cánh tay robot R-R được mô phỏng chuyển động theo quỹ đạo được xác định thông qua tính toán đa thức:

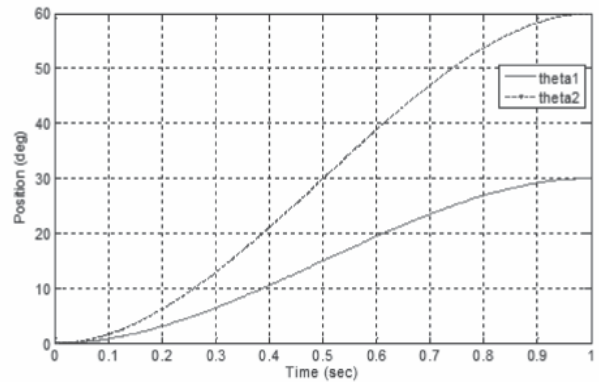
$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n \quad (9)$$

Trong nghiên cứu này, một hàm vị trí, vận tốc và gia tốc theo thời gian đối với bậc tự do được sử dụng như tín hiệu đầu vào:

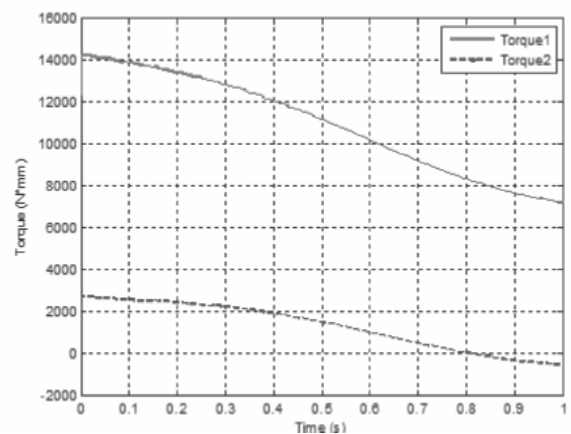
$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 \quad (10)$$

Việc tính toán các hệ số của hàm được xác định thông qua một số điểm theo thời gian lựa chọn: P_0 ($\theta_1 = 0, \theta_2 = 0$) tới P_1 ($\theta_1 = 15, \theta_2 = 15$) trong 0,4 giây, dừng ở P_1 trong 0,2 giây, tiếp tục di chuyển từ P_1 tới P_3 ($\theta_1 = 5, \theta_2 = 55$) đi qua P_2 ($\theta_1 = 8, \theta_2 = 35$) trong 1 giây, sau đó dừng ở P_3 trong 0,1 giây, cuối cùng tới P_4 ($\theta_1 = 7, \theta_2 = 68$) trong 0,4 giây. Quỹ đạo θ_1 và θ_2 được thiết kế để vận tốc là liên tục. Hình 4, thể hiện kết quả tính toán mô phỏng với chuyển vị của điểm P tương ứng với chuyển vị từng khớp θ_1 và θ_2 trường hợp cánh tay vồng xuống. Tương ứng với quỹ đạo chuyển động của 2 khâu, Hình 5, thể hiện kết quả tính toán mô men dẫn động tại mỗi khớp trong trường hợp này. Khi cánh tay vồng lên, chuyển vị từng khớp θ_1 và θ_2 được biểu thị ở Hình 6 và mô men trong trường hợp này thể hiện ở Hình 7.

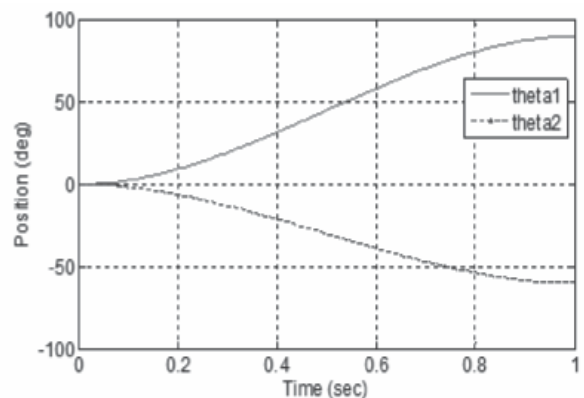
Kết quả thu được qua bộ công cụ số là tương đương với kết quả tính toán bằng mô hình toán học. Việc sử dụng bộ công cụ mô phỏng số làm giảm đáng kể thời gian thực hiện nghiên cứu, đồng thời có thể dễ dàng thay đổi đối với các bộ thông số khác nhau của từng khâu, từng khớp.



Hình 4. Chuyển vị của góc θ_1 và θ_2 ứng với chuyển động trường hợp cánh tay vồng xuống (elbow down)

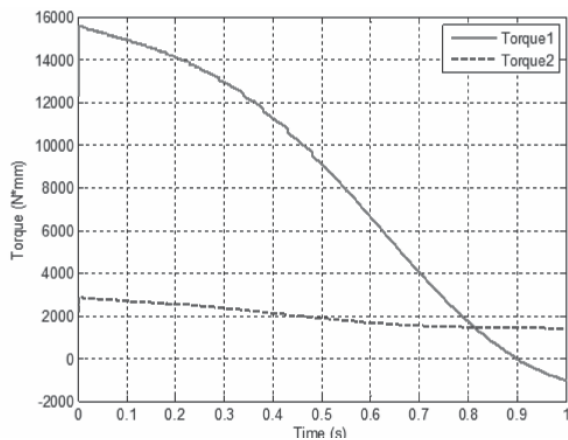


Hình 5. Mô men dẫn động khâu 1 và khâu 2 (chuyển vị θ_1 và θ_2) trường hợp cánh tay vồng xuống (elbow down)



Hình 6. Chuyển vị của góc θ_1 và θ_2 ứng với chuyển động trường hợp cánh tay vồng lên (elbow up)





Hình 7. Mô men dẫn động khâu 1 và khâu 2 (chuyển vị θ_1 và θ_2) trường hợp cánh tay vồng lên (elbow up)

Trên cơ sở các phương trình toán học xây dựng ở trên, kết quả thu được qua bộ công cụ số là tương đương với kết quả tính toán bằng mô hình toán học. Việc sử dụng bộ công cụ mô phỏng số làm giảm đáng kể thời gian thực hiện nghiên cứu, đồng thời có thể dễ dàng thay đổi đối với các bộ thông số khác nhau của từng khâu, từng khớp.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày kết quả tính toán, mô hình hóa và mô phỏng cánh tay robot công nghiệp R-R bằng bộ công cụ số Matlab/Simulink và Recurdyn. Động học và động lực

học của cơ cấu được khảo sát. Kết quả thu được phù hợp với lý thuyết tính toán và là cơ sở để phát triển mở rộng mô hình với những cánh tay có nhiều bậc tự do trong tính toán tối ưu và thiết kế bộ điều khiển. ❖

Ngày nhận bài: 03/3/2022

Ngày phản biện: 15/3/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Yunn-Lin Hwang, Jung-Kuang Cheng, Van-Thuan Truong, "Dynamic Analysis and Control of Industrial Robotic Manipulators", Applied Mechanics and Materials/ Vol.883, pp.30-36, 2018.
- [2]. Yunn-Lin Hwang and Van-Thuan Truong, "Dynamic Analysis and Control of Multibody Manufacturing Systems Based on Newton-Euler Formulation", International Journal of Computational Methods, Vol. 12(2), 2015.
- [3]. Yunn-Lin Hwang, Jung-Kuang Cheng and Van-Thuan Truong, "Computer-Aided Dynamic Analysis and Simulation of Multibody Manufacturing Systems", Applied Mechanics and Materials, Vol.764-765, pp. 757-761, 2015.
- [4]. FunctionBay Inc., Recurdyn/Solver Theoretical Manual, (2018).
- [5]. Matlab/Simulink user functions, <http://www.mathworks.com>, (2016).