

MÔ HÌNH VÀ LỜI GIẢI SỐ CHO BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC ROBOT SONG SONG BẤT ĐỐI XỨNG NHÓM 3URS

Phạm Thành Long, Lê Thị Thu Thủy*

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực y khoa, có một số robot cấu trúc song song bất đối xứng có động học rất phức tạp. Những robot này có chức năng là cơ cấu chấp hành cho trị liệu vật lý, phục hồi chức năng hoặc bàn máy CT (chụp cắt lớp). Tuy cấu trúc song song có ưu điểm tạo ra độ cứng vững cơ học cao, độ chính xác cao nhưng cấu trúc song song bất đối xứng là nhóm có động học phức tạp nhất trong các loại robot. Bài báo này đề cập đến một robot cấu trúc song song kiểu 3URS do trường Đại học Hoa Nam, Trung Quốc thiết kế. Tuy kết cấu cơ khí hoàn thiện nhưng việc khảo sát động học của cấu trúc này còn để ngỏ. Trong phạm vi bài báo này chúng tôi giới thiệu mô hình toán, phương pháp và công cụ mà chúng tôi đề xuất để chuẩn bị dữ liệu động học cho robot này. Các kết quả đạt được cho thấy đề xuất của chúng tôi hoàn toàn phù hợp.

Từ khóa: robot song song, cấu trúc bất đối xứng, 3URS, Bài toán động học, phương pháp GRG

Ngày nhận bài: 09/4/2019; Ngày hoàn thiện: 26/4/2019; Ngày duyệt đăng: 07/5/2019

MODEL AND NUMERICAL SOLUTION FOR ASYMMETRIC PARALLEL ROBOT KINEMATIC PROBLEM 3URS

Pham Thanh Long, Le Thi Thu Thuy*

University of Technology - TNU

ABSTRACT

In the medical field, there are a number of asymmetric parallel robots that have very complex kinematics. The function of these robots is the actuator for physical therapy, rehabilitation or CT table (tomography). Although the parallel manipulator has the advantage of creating high mechanical rigidity and high accuracy, the asymmetric parallel structure is the most complex group of robots. This article refers to an asymmetrical parallel structure robot 3URS designed by South China University of Technology, Guangzhou, China. The mechanical structure is complete, but the kinematic investigation of this structure is left open. Within the scope of this paper, we introduce the mathematical model, methods and tools we propose to prepare kinematic data for this robot. The results show that our proposal is completely appropriate.

Keywords: parallel robot, asymmetric structure, 3URS, kinematic problem, GRG method

Received: 09/4/2019; Revised: 26/4/2019; Approved: 07/5/2019

* Corresponding author: Tel: 0982 567982, Email: hanthuyngoc@tnut.edu.vn

1. Mở đầu

Các thiết bị cơ điện tử phi tiêu chuẩn mang cấu hình robot ngày nay có rất nhiều ứng dụng trong lĩnh vực y khoa. Chúng cho độ cứng vững cao nên đạt độ chính xác tốt trong điều kiện mang tải nặng. Cấu trúc cơ khí truyền động song song dư cho phép điều khiển linh hoạt và không phải sử dụng các động cơ công suất lớn. Với mục đích phát triển một cơ cấu phục hồi chức năng bàn chân ở người phải trị liệu khớp chân, Đại Học Hoa Nam – Trung Quốc đã phát triển một robot cấu trúc song song kiểu 3URS [1] cho mục đích này. Tuy nhiên các tác giả [1] còn bỏ ngỏ khả năng chuẩn bị dữ liệu động học cho cấu trúc của họ. Vì không tìm được đối chứng nào tiếp tục



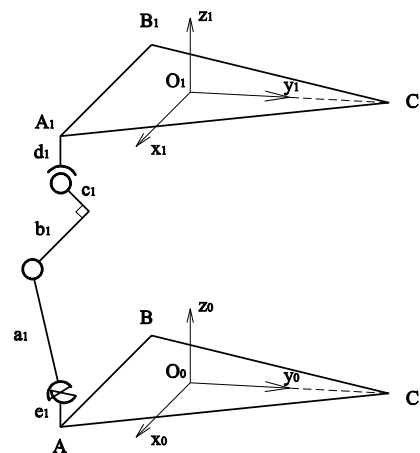
Hình 1a. Kết cấu cơ khí

công trình còn bỏ dở, trong bài báo này chúng tôi đề xuất phương pháp GRG [2] để hoàn thành bài toán động học.

Bài toán được bắt đầu theo quan điểm riêng của chúng tôi, tức là chuyển nó về dạng tối ưu trước khi thực sự tìm lời giải thay vì giải bài toán gốc [3]. Phương pháp này cho thấy khả năng của nó trên nhóm robot chuỗi [3] và trên nhóm robot song song [4]. Tuy nhiên khả năng áp dụng trên nhóm song song bất đối xứng là điều sẽ được chúng tôi kiểm chứng ở đây.

2. Mô hình toán robot song song 3URS

Hình 1 cho thấy kết cấu cơ khí của robot này theo dữ liệu của Đại Học Hoa Nam cung cấp:



Hình 1b. Sơ đồ tương đương

Hình 1. Robot cấu trúc song song kiểu 3URS.

Gọi $P(p_x, p_y, p_z)$ là tọa độ của O_1 trong hệ quy chiếu O_0 gốc ở trọng tâm tâm cố định;

Gọi $(\cos(\alpha), \cos(\beta), \cos(\gamma))$ là véc tơ cosin chỉ hướng của O_1 gốc này ở trọng tâm tâm di động so với O_0 ;

Tách kết cấu như hình 2b, các tọa độ nút của các véc tơ cần xác định trong hệ quy chiếu tương ứng bao gồm:

$A_1, B_1, C_1, d_1, d_2, d_3$ đo tọa độ trong hệ quy chiếu O_1 bằng tọa độ thực theo kết cấu của nó;

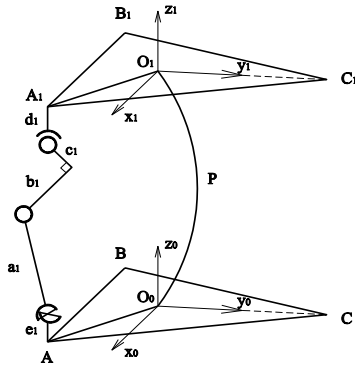
A, B, C, e_1, e_2, e_3 đo tọa độ trong hệ quy chiếu O_0 bằng tọa độ thực theo kết cấu của nó;

Theo hình 2a, phương trình vòng véc tơ qua chân 1 biểu diễn như sau:

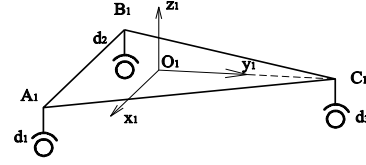
$$\vec{O_0P} = \vec{O_0A} + \vec{e_1} + \vec{a_1} + \vec{b_1} + \vec{c_1} - R_{RPY} \cdot (\vec{d_1} + \vec{A_1O_1}) \quad (1)$$

$$\vec{a_1} + \vec{b_1} + \vec{c_1} = \vec{O_0P} - (\vec{O_0A} + \vec{e_1}) + R_{RPY} \cdot (\vec{d_1} + \vec{O_1A_1}) \quad (2)$$

Để tính tổng các tọa độ ở vế trái của phương trình (2), sử dụng sơ đồ khai triển trên hình 3.

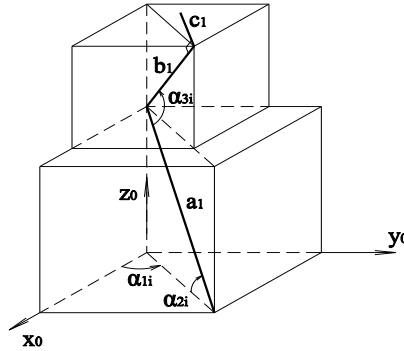


Hình 2a. Vòng véc tơ ảo qua chân số 1



Hình 2b. Các điểm kết cấu cần đo kích thước

Hình 2. Vòng véc tơ ảo qua chân thứ nhất và kết cấu hai tấm tam giác.



Hình 3. Sơ đồ tính tổng về trái phương trình (2)

Cuối cùng kết hợp cả các tọa độ lý thuyết (về trái phương trình 2) và các tọa độ thực (về phải phương trình (2) theo kết quả đo được) để có phương trình khai triển vòng kín là (3):

$$\begin{bmatrix} a_1 \cdot \cos(\alpha_{21}) \cdot \cos(\alpha_{11}) + b_1 \cdot \cos(\alpha_{31} - \alpha_{21}) \cdot \cos(\alpha_{11}) + c_1 \cdot \sin(\alpha_{31} - \alpha_{21}) \cdot \cos(\alpha_{11}) \\ a_1 \cdot \cos(\alpha_{21}) \cdot \sin(\alpha_{11}) + b_1 \cdot \cos(\alpha_{31} - \alpha_{21}) \cdot \sin(\alpha_{11}) + c_1 \cdot \sin(\alpha_{31} - \alpha_{21}) \cdot \sin(\alpha_{11}) \\ a_1 \cdot \sin(\alpha_{21}) + b_1 \cdot \sin(\alpha_{31} - \alpha_{21}) + c_1 \cdot \cos(\alpha_{31} - \alpha_{21}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{e1} \\ y_{e1} \\ z_{e1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) \\ \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) - \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \\ -\sin(\beta) & \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{d1} \\ y_{d1} \\ z_{d1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Do tính bất đối xứng thể hiện ở kích thước thực nên phương trình (3) vẫn truy hồi được, cho chân thứ hai và ba để nhận được hệ phương trình đầy đủ gồm 9 phương trình mô tả toàn bộ cấu trúc nói trên. Chân thứ hai:

$$\begin{bmatrix} a_2 \cdot \cos(\alpha_{22}) \cdot \cos(\alpha_{12}) + b_2 \cdot \cos(\alpha_{32} - \alpha_{22}) \cdot \cos(\alpha_{12}) + c_2 \cdot \sin(\alpha_{32} - \alpha_{22}) \cdot \cos(\alpha_{12}) \\ a_2 \cdot \cos(\alpha_{22}) \cdot \sin(\alpha_{12}) + b_2 \cdot \cos(\alpha_{32} - \alpha_{22}) \cdot \sin(\alpha_{12}) + c_2 \cdot \sin(\alpha_{32} - \alpha_{22}) \cdot \sin(\alpha_{12}) \\ a_2 \cdot \sin(\alpha_{22}) + b_2 \cdot \sin(\alpha_{32} - \alpha_{22}) + c_2 \cdot \cos(\alpha_{32} - \alpha_{22}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{e2} \\ y_{e2} \\ z_{e2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) \\ \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) - \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \\ -\sin(\beta) & \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{d2} \\ y_{d2} \\ z_{d2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Chân thứ ba:

$$\begin{bmatrix} a_3 \cdot \cos(\alpha_{23}) \cdot \cos(\alpha_{13}) + b_3 \cdot \cos(\alpha_{33} - \alpha_{23}) \cdot \cos(\alpha_{13}) + c_3 \cdot \sin(\alpha_{33} - \alpha_{23}) \cdot \cos(\alpha_{13}) \\ a_3 \cdot \cos(\alpha_{23}) \cdot \sin(\alpha_{13}) + b_3 \cdot \cos(\alpha_{33} - \alpha_{23}) \cdot \sin(\alpha_{13}) + c_3 \cdot \sin(\alpha_{33} - \alpha_{23}) \cdot \sin(\alpha_{13}) \\ a_3 \cdot \sin(\alpha_{23}) + b_3 \cdot \sin(\alpha_{33} - \alpha_{23}) + c_3 \cdot \cos(\alpha_{33} - \alpha_{23}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{e3} \\ y_{e3} \\ z_{e3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) \\ \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) - \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \\ -\sin(\beta) & \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{d3} \\ y_{d3} \\ z_{d3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. Phân tích và giải bài toán động học robot 3URS

Thiết lập bài toán cùng các ràng buộc trên nền excel để theo phương pháp số GRG:

Hình 4. Thiết lập bài toán động học trên Excel

Trong đó,

- A, B, C, A₁, B₁, C₁ lần lượt là tọa độ đầu mút các chân của robot tương ứng.
- e_i, a_i, b_i, c_i, d_i là các tham số chân thứ i.
- P_x, P_y, P_z, α, β, γ tương ứng mô tả vị trí và hướng của tấm động của robot.
- α_{1i}, α_{3i}, α_{2i} là các góc khớp của chân thứ i, với α_{1i}, α_{3i} là góc khớp chủ động, α_{2i} là góc khớp thụ động.

Các bài toán động học sau được thực hiện:

Bảng 1. Các thông số đầu vào và kết quả của bài toán động học ngược.

STT	Đầu vào						Đầu ra									Hàm mục tiêu F
	Px	Py	Pz	α	β	γ	α11	α12	α13	α31	α32	α33	α21	α22	α23	
1	0	0	470	0	0	0	0,2339	0,5339	1,0460	3,3978	3,3978	-2,7859	1,5182	1,5182	-4,1298	3,6E-19
2	10	10	4260	0,1753	0	0	4,1477	-2,1354	3,9670	3,5549	3,5549	-2,6579	1,2618	1,2618	-4,5010	9,6E-16
3	10	20	465	0,003	0,105	0	1,2181	1,1772	1,1931	3,3255	3,3029	-2,8089	1,3645	1,4678	-4,6195	3,52E-18
4	34	26	400	0	0,123	0,295	0,6734	0,0871	2,3809	3,0348	3,0854	-2,7858	0,9215	1,0214	-4,9521	3,57E-13
5	42	27	436	0,382	0,112	0,322	0,6607	0,5616	0,6585	3,2128	3,2133	-2,8964	1,0892	1,1667	-4,7839	2,3E-17
6	2	35	4520	0,0285	0,114	0,001	1,6035	-1,5693	1,5676	3,2777	3,5595	-2,8562	1,2427	1,5722	-4,7330	1,96E-15
7	-14	21	428	0	0,118	0,218	1,2628	-2,8530	2,8456	3,2501	3,5186	-2,9247	1,1397	1,4118	-4,9406	3,3E-17
8	-31	14	457	0,121	0,142	0,031	2,5920	-3,5874	2,7477	3,2732	3,2734	-2,8933	1,1915	1,3067	-4,6071	1,92E-17
9	-47	-29	417	0,149	0,031	0	3,6085	-2,6740	3,6798	3,2164	3,2147	-2,9246	1,0250	1,0429	-4,8717	1,13E-14
10	-28	-33	422	0,021	0,032	0,216	4,8309	-1,4586	3,6517	3,4065	3,2325	-3,0048	1,2281	1,1440	-5,0092	4,72E-17

Bài toán ngược:

Cho trước 6 thông số $P(p_x, p_y, p_z)$ và $(\cos(\alpha), \cos(\beta), \cos(\gamma))$ mô tả vị trí và hướng của tấm di động, cần tìm các thông số $\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}$ $i = 1 \div 3$ từ hệ 9 phương trình đã biết ở trên.

Bài toán thuận:

Cho trước 6 tham số α_{1i}, α_{3i} $i = 1 \div 3$ cần tìm α_{2i} $i = 1 \div 3$, $P(p_x, p_y, p_z)$ và (α, β, γ) từ hệ 9 phương trình đã biết ở trên.

Bảng 2. Các thông số đầu vào và kết quả của bài toán động học thuận

STT	Đầu vào						Đầu ra									Hàm mục tiêu F
	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{31}	α_{32}	α_{33}	P_x	P_y	P_z	α	β	γ	α_{21}	α_{22}	α_{23}	
1	0,23389	0,53392	1,04600	3,39777	3,39777	-2,78585	0,00485	0,00098	469,99422	0,00009	0,00002	0,00001	1,51802	1,51805	2,15331	3,68E-08
2	4,14775	-2,13544	3,96698	3,55494	3,55494	-2,65791	9,98626	9,98138	425,90763	0,17532	0,00000	0,00001	1,26138	1,26138	1,78120	3,98E-06
3	0,66070	0,56158	0,65853	3,21276	3,21327	-2,89636	42,10093	27,06141	435,21428	0,10816	0,11272	0,03216	1,08604	1,16367	1,49471	0,000704
4	1,60352	-1,56931	1,56760	3,27768	3,55952	-2,85624	2,00559	35,00895	451,96981	0,02839	0,11429	0,00100	1,24248	1,57232	1,54986	2,43E-05

Như vậy, các kết quả đã chỉ ra rằng hoàn toàn có thể sử dụng bằng phương pháp số GRG để giải bài toán động học cho robot song song bất đối xứng.

4. Kết luận

Xuất phát từ bài toán còn dở của trường Đại Học Hoa Nam, chúng tôi đã mô hình hóa và giải thử bằng phương pháp số do chúng tôi đề xuất. Kết quả giải bài toán thuận và ngược đều hội tụ, việc kiểm tra ở các tư thế đặc biệt tiến hành khi giải cho thấy mô hình và lời giải nhận được là đúng. Như vậy có nghĩa là phương pháp và công cụ mà chúng tôi đề xuất cho đối tượng hoàn toàn hợp lý.

Tổng kết lại phương pháp GRG ứng dụng trên bài toán tối ưu khi áp dụng cho robot có thể giải được cho robot chuỗi, robot song song cấu trúc đối xứng và bất đối xứng. Đây là nhận định quan trọng để có thể rút ngắn chương trình giảng dạy môn học robot công

nh nghiệp trong trường Đại học dựa trên các luận cứ khoa học rõ ràng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Weiguang Li, Jian Huang, Chunbao Wang, Lihong Duan, Quanquan Liu, Suntong Yang, Wanfeng Shang, Yajing Shen, Zhuohua Lin, Zhixiang Lu, Xiaojiao Chen, Zhengzhi Wu, *Design of 6 – DOF parallel ankle rehabilitation robot*, 2008 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS), 2008.
- [2]. L. S. Lasdon, A. D. Warren, A. Jain, and M. Ratner, *Design and Testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear Programming*, ACM Trans. Math. SoftWare 4, (1), pp. 34-50, 1978.
- [3]. Trang Thanh Trung, Li Wei Guang and Phạm Thanh Long, “A New Method to Solve the Kinematic Problem of Parallel Robots Using an Equivalent Structure,” *Int. Conf. Mechatronics Autom. Sci. 2015)Paris, Fr.*, pp. 641–649, 2015.
- [4]. Trang Thanh Trung, *Optimization analysis method of parallel manipulator kinematic model*, a dissertation submitted for the degree of doctor, South China university of Technology Guangzhou, China 2018.

