

# BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC TAY MÁY KHI CÓ KỂ ĐẾN SAI LỆCH CỦA CÁC THAM SỐ ĐỘNG HỌC

## MANIPULATOR DYNAMIC WITH ERRORS IN THE KINEMATIC PARAMETERS

TS. Lương Hồng Sâm, KS. Nguyễn Xuân Tiến  
Trường Đại học Trần Đại Nghĩa

### TÓM TẮT

*Bài toán động lực học tay máy là một phần quan trọng trong việc thiết kế, chế tạo và điều khiển tay máy. Tuy nhiên, bài toán động lực học này thường được giải trên các tay máy mà các khâu, các khớp là lý tưởng không có sai lệch hình học. Điều này đã gây ra sai lệch động lực học khi điều khiển tay máy. Bài báo này đưa ra một phương pháp giải bài toán động lực học cho tay máy khi có kể đến sai lệch hình học của các khâu, các khớp. Từ đó, có thể xác định được các tham số động lực học chính xác hơn nhằm nâng cao độ chính xác điều khiển cho tay máy.*

**Từ khóa:** Động lực học tay máy; Tham số động lực học; Độ chính xác trong điều khiển.

### ABSTRACT

*Manipulator dynamics is a very important part in design, manufacturing and control of manipulator. However, this problem was normally solved with nominal kinematic parameters. As a result causing dynamic error for manipulator control. This paper gives a method that solves dynamic problem for manipulator with consideration of the deviation of the kinematic parameters. Therefore, dynamic parameters will be determined more accurately, thus the accuracy of manipulator control field is improved.*

**Keywords:** Manipulator dynamics; Kinematic parameters; Precision in control.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán động lực học tay máy thường được giải trên các khâu, các khớp lý tưởng, không có sai lệch. Trên thực tế, có nhiều nguyên nhân gây ra sai lệch động lực học dẫn đến sai lệch vị trí của tay máy [1]. Đã có nhiều nghiên cứu giải bài toán động lực học tay máy trong các điều kiện có kể đến các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của các tham số động lực học nhằm nâng cao hơn nữa độ chính xác khi giải bài toán này. Mohammad Mehdi Fateh [2] cho rằng, việc lý tưởng hóa các tham số trong ma trận D-H là một nguyên nhân gây ra sai lệch động lực học. Rajesh K Moolam [3] đã giải bài toán động lực học tay máy khi có kể đến biến dạng của các khâu, các khớp. Basilio Bona và Marina Indri [4] lại giải bài toán này khi có kể đến ảnh hưởng của ma sát.

Bài báo này sẽ trình bày bài toán toán động lực học tay máy khi có kể đến sai lệch hình học của các khâu, các khớp. Các sai lệch này được hình thành do chế tạo, lắp ráp và trong quá trình hoạt động của các khâu các khớp tay máy. Từ đó xác định được sai lệch và lượng bù động lực học trong trường hợp này nhằm nâng cao độ chính xác trong các quá trình điều khiển tay máy.

2. BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC TAY MÁY KHI KỂ ĐẾN SAI LỆCH CỦA CÁC THAM SỐ ĐỘNG HỌC

1.1. Giới thiệu chung

Bài toán động lực học tay máy nhằm xác định moment và lực động khi đã biết quy luật biến đổi của các biến khớp và ngược lại. Có 2 phương pháp để giải bài toán động lực học của tay máy:

- Phương pháp thứ nhất là sử dụng các định luật của Newton;

- Phương pháp thứ 2 là sử dụng nguyên lý Lagrange.

Vì robot là cơ cấu không gian 3 chiều có nhiều bậc tự do nên khó sử dụng phương trình cơ học Newton. Do đó, bài báo này sẽ sử dụng nguyên lý Lagrange để tìm ra các phương trình động lực học cho tay máy.

Vị trí của các khớp so với tọa độ cơ sở được biểu diễn bằng ma trận sau:

$$A^0(q) = \begin{bmatrix} n^0(q) & s^0(q) & a^0(q) & p^0(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó:  $p^0(q)$  là véc tơ định vị,  $n^0(q), s^0(q), a^0(q)$  là các véc tơ định hướng dưới dạng cosin chỉ phương của phần làm việc.

Động năng của hệ thống gồm hai phần là động năng của phần chấp hành và động năng của cơ cấu phát động cùng với hệ thống truyền động:

$$K = \sum_{i=1}^n (K_i + K_m)$$

Động năng của toàn hệ thống:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}(q) \dot{q}_i \dot{q}_j = \frac{1}{2} \dot{q}^T B(q) \dot{q}$$

Trong đó:  $q$  là vector các biến khớp,  $\dot{q}_i$  là vận tốc khớp  $i$ ,  $\dot{q}_j$  là vận tốc khớp  $j$ .

Thế năng của hệ thống cũng bao gồm thế năng của từng khâu và của từng động cơ:

$$P = \sum_{i=1}^n (P_{li} + P_{mi})$$

□

Trong đó,  $l_i$  là khâu thứ  $i$ ,  $m_i$  là động cơ (nguồn chuyển động).

Thể năng của hệ thống mô tả như sau:

$$P = - \sum_{i=1}^n (m_{li} g_0^T p_{li} + m_{mi} g_0^T p_{mi})$$

Trong đó:  $g_0$  là véc tơ gia tốc trọng trường trong hệ cơ sở,  $p_{li}$  là vector định vị của khâu thứ  $i$ ,  $p_{mi}$  là vector định vị của động cơ.

Phương trình Lagrange là hàm số của các tọa độ tổng quát:  $L=K-P$ .

Trong đó:  $L$  Là hàm Lagrange;  $K, P$  - Là động năng và thể năng của toàn hệ thống.

Công thức Lagrange được viết như sau:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i$$

Trong đó:  $\tau_i$  là lực tổng quát,  $q_i$  là các biến khớp.

## 2. BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC TAY MÁY KHI KÈ ĐẾN SAI LỆCH CÁC THAM SỐ ĐỘNG

Do sai lệch của các tham số động học nên các khâu, khớp của nó bị lệch đi so với vị trí lí tưởng. Ma trận sai lệch động học được xác định như sau [1]:

$$E_i = \begin{bmatrix} 1 & -e_{ri} & e_{si} & e_{xi} \\ e_{ri} & 1 & -e_{pi} & e_{yi} \\ -e_{si} & e_{pi} & 1 & e_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó:  $e_{ri}, e_{yi}, e_{zi}$  là các sai lệch vị trí của gốc tọa độ;  $e_{ri}, e_{yi}, e_{zi}$  là các tham số sai lệch về hướng của bản kẹp tay máy. Các tham số  $\varepsilon_i = (e_{xi}, e_{yi}, e_{zi}, e_{ri}, e_{si}, e_{pi})$  được gọi là véc tơ sai lệch động học tổng hợp của tay máy.

Do các phần tử của véc tơ  $\varepsilon_i$  là nhỏ nên véc tơ sai lệch định vị tổng hợp của bản kẹp tay máy được xác định bằng biểu thức sau:

$$\Delta X_i = J_{ei} \cdot \varepsilon_i$$

Trong đó:  $J_{ei}$  là ma trận Jacobi.

Giả sử ma trận  $J_{ei}$  là khả nghịch, khi đó véc tơ sai lệch định vị tổng hợp của tay máy có thể được xác định như sau:

$$\varepsilon_i = J_{ei}^{-1} \cdot \Delta X_i$$

Trong đó:  $\Delta X_i$  là véc tơ sai lệch vị trí do các nguyên nhân sai lệch các tham số động học được xác định bằng đo lường thực nghiệm.

Phương trình động học tay máy lúc này là:  $p^0(q) = p(q) + dp(q)$

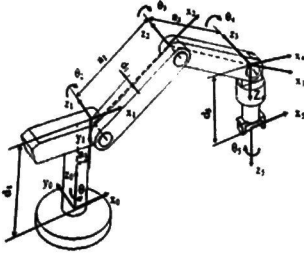
Trong đó:  $p^0(q)$  là véc tơ định vị tổng hợp,  $p(q)$  là véc tơ định vị không kể đến sai lệch,  $dp(q)$  là lượng sai lệch của véc tơ định vị khi các khâu, khớp khi có sai lệch động học.

Phương trình Lagrange lúc này được xác định như sau:

$$L = \sum_{i=1}^n (K_{li} + dK_{li} + K_{mi}) - \sum_{i=1}^n (P_{li} + dP_{li} + P_{mi}) = L_i + dL_i$$

Trong đó:  $K_{li}, P_{li}$  là động năng và thể năng tương ứng trên các khâu ở vị trí tiêu chuẩn,  $dK_{li}$  và  $dP_{li}$  là lượng sai lệch về động năng và thể năng khi véc tơ định vị lệch đi một lượng là  $dp(q)$ .  $K_{mi}, P_{mi}$  là động năng của động cơ.

3. VÍ DỤ ÁP DỤNG CHO MỘT KHỚP CỦA TAY MÁY SCORBOT ER-VII



Hình 1. Sơ đồ động học của tay máy Scorbot ER-VII

Tham số động học của tay máy Scorbot ER-VII được cho trong bảng 1:

Bảng 1: Các tham số động học của tay máy Scorbot ER-VII

TT	$\theta_i$ (rad)	$\alpha_i$ (rad)	$a_i$ (mm)	$d_i$ (mm)
1	$\theta_1$	$-\pi/2$	50	358.8
2	$\theta_2$	0	300	0
3	$\theta_3$	0	350	0
4	$\theta_4$	$-\pi/2$	0	0
5	0	0	0	251

Phương trình động lực học cơ bản để giải bài toán này được xác định như sau:

$$L = \sum_{i=1}^4 (K_i + K_m) - \sum_{i=1}^4 (P_i + P_{ml})$$

Trong bài báo này, chỉ quan tâm đến các thành phần  $K_i$  và  $P_i$  có nghĩa là bài báo đề cập đến sai lệch hệ lực tổng quát khi xảy ra sai lệch của véc tơ định vị và bài báo cũng chỉ trình bày lời giải với  $i=2$ .

Giải phương trình trên ta xác định được lực tổng quát chưa kể đến sai lệch của các tham số hình học như sau:

$$\tau_1 = 0; \tau_2 = a_2 m_2 g \cos(\theta_2)$$

Giải phương trình trên ta xác định được lực tổng quát kể đến sai lệch của các tham số hình học như sau:

$$\tau_1 = 0; \tau_2 = a_2 m_2 g e_{21} (\cos(\theta_2) - e_{21} \sin(\theta_2)) - e_{22} (\sin(\theta_2) - e_{21} \cos(\theta_2)) + a_2 \cos(\theta_2) - e_{21} a_2 \sin(\theta_2)$$

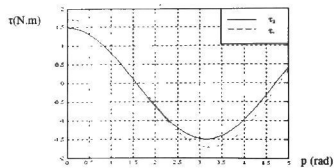
Giải sử xác định được sai lệch vị trí của bàn kẹp tay máy tại một số vị trí biểu diễn bằng vector sau:

$$\Delta X_T = [0.3241 \ 0.5123 \ 0.3708 \ 0.1867 \ 0.6001 \ 0.4432 \ 0.1324 \ 0.5324 \ 0.6712 \ 0.3125 \ 0.6723 \ 0.6617 \ 0.5412 \ 0.5534 \ 0.4278 \ 0.6000 \ 0.2987 \ 0.3339]^T$$

Từ đó, tính được ma trận Jacobi và vector sai lệch động học tổng hợp:

$$\epsilon = [0.0729 \ 0.0000 \ -0.0223 \ -0.0445 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0043 \ -0.0123 \ -0.0407 \ -0.0069 \ -0.0663 \ 0.0000 \ 0.0460 \ 0.0000 \ 0.0000 \ -0.0793 \ 0.0008 \ 0.0008]^T$$

Sai lệch động lực học cho một khớp của tay máy Scorbot ER-VII được thể hiện trên hình 2 và bảng 2:



Hình 2. Biểu đồ biểu diễn sai lệch động lực học của tay máy Scorbot ER-VII

Bảng 2: Lượng bù do sai lệch động học của tay máy Scorbot ER-VII

$q_2(\text{rad})$	0.1267	0.427613	0.641419	0.962128	1.443192	2.164788	3.247182
$\tau_2(\text{N.m})$	1.487976	1.364938	1.201872	0.857663	0.190887	-0.83951	-1.49165
$\tau_{r2}(\text{N.m})$	1.715953	1.615241	1.454408	1.092097	0.354596	-0.8441	-1.71725
$\Delta_{tt}(\text{N.m})$	-0.22798	-0.2503	-0.25254	-0.23443	-0.16371	0.004587	0.225606

### 3. KẾT LUẬN

Bài báo đã đánh giá mức độ ảnh hưởng sai lệch của các tham số động học đến kết quả của bài toán động lực học và đã đưa ra phương pháp giải bài toán động lực học khi có kể đến sai lệch của các tham số động học. Kết quả của bài toán đã xác định được lượng bù sai lệch động lực học khi có kể đến sai lệch động học. Tuy nhiên, độ chính xác của lời giải phụ thuộc nhiều vào kết quả đo lường thực nghiệm xác định sai lệch vị trí của tay máy. Kết quả nghiên cứu này sẽ góp phần làm cho bài toán điều khiển tay máy trở nên chính xác hơn. ❖

Ngày nhận bài: 14/02/2016

Ngày phản biện: 18/3/2016

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lương Hồng Sâm; *Bài toán động học ngược tay máy 5 bậc tự do khi kể đến sai lệch của các tham số động học*, Hội nghị Cơ khí toàn quốc, 2015.
- [2]. Mohammad Mehdi Fateh., *Dynamic Modeling of Robot Manipulators in D-H Frames.*, Department of Electrical and Robotic Engineering, World Applied Sciences Journal 6 (1): 39-44, 2009.
- [3]. Rajesh K Moolam, Francesco Braghin, Federico Vicentini., *Dynamic modeling and simulation of spatial manipulator with flexible links and joints.*, 11th International Conference on Vibration Problems., 9-12 September 2013.
- [4]. Basilio Bona and Marina Indri., *Friction Compensation in Robotics. an Overview.*, Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference., December 12-15, 2005.