

TÍNH TOÁN DUNG SAI CHUỖI DẪN ĐỘNG CHÓT KHÓA KẾT SẮT BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

Phạm Thành Long*, Lê Thị Thu Thủy

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong chế tạo máy việc đảm bảo độ chính xác của các cơ cấu cơ khí là một trong các nội dung cơ bản. Ở bước thiết kế, người kỹ sư cần định lượng được giá trị dung sai của các chi tiết máy dựa trên sơ đồ liên kết động học của chúng. Chuỗi kích thước là một trong những phương pháp phổ biến để làm việc này, tuy nhiên các chuỗi không gian với số lượng khâu lớn không dễ có được lời giải hợp lý. Bài báo này giới thiệu một phương pháp số giúp xác định dung sai các cơ cấu không gian nhanh chóng, chính xác và tôn trọng phản ứng động học tự nhiên của cơ cấu hơn phương pháp chuỗi kích thước truyền thống. Chúng tôi cũng minh họa giải thuật trên một cơ cấu cơ khí là hệ thống dẫn động chốt khóa kết sắt. Kết quả thực nghiệm trên mô hình và mô phỏng cho thấy tính đúng đắn của giải thuật trong điều kiện lắp lắp hoàn toàn chi tiết máy. Phương pháp này hoàn toàn có thể ứng dụng trên các cụm chi tiết máy dạng chuỗi động kín hoặc hở.

Từ khóa: *dung sai; chuỗi động; lắp lắp; độ chính xác; Jacobian*

MỞ ĐẦU

Độ chính xác của cơ cấu chấp hành là hệ quả của một quá trình từ thiết kế, chế tạo, lắp ráp, điều chỉnh và điều khiển. Việc điều khiển phản hồi không thể thay thế hoàn toàn cho chất lượng chế tạo cơ khí, do vậy việc xác định được dung sai của các khâu thành phần tham gia vào chuỗi động học là một nội dung cơ bản của hệ dẫn động cơ khí.

Có hai phương pháp cơ bản để làm việc này, một là phương pháp chuỗi kích thước truyền thống [1]. Phương pháp này được ứng dụng trong nhiều kỹ thuật bao gồm cả tính toán dung sai chuỗi kích thước và thiết kế độ chính xác của các phép đo nhiều thứ nguyên [1]. Nó có nhược điểm mang nhiều nhận định chủ quan do trong một chuỗi động n khâu cần gán trước $(n-1)$ thành phần của chuỗi để giải khâu khép kín, cách làm này tuy đảm bảo được dung sai của chuỗi song không tôn trọng phản ứng động học tự nhiên của cơ cấu.

Hai là dựa vào ma trận Jacobian để tìm ảnh xạ của các di chuyển nhỏ ngõ vào theo các di chuyển nhỏ ngõ ra [2]. Cách này khá phức tạp và ít được ứng dụng do phải xác định được đạo hàm của các hàm liên kết động học phức

tạp, mặt khác nó cũng chưa tìm được dung sai của tất cả các yếu tố thiết kế bao gồm các kích thước dài và kích thước góc.

Do bài toán động học ngược của robot cũng là một kênh phản ánh chính xác quan hệ về chất lượng chế tạo các khâu thành phần với độ chính xác vị trí và hướng khâu cuối [3]. Nên hoàn toàn có thể sử dụng công cụ này xác định dung sai cho các chuỗi động học nếu có một công cụ giải được bài toán này với độ chính xác cao [3]. Một số nghiên cứu khác sử dụng hồi quy thực nghiệm sẽ không xác định được dung sai chế tạo mà sẽ cung cấp thông tin về mức độ ảnh hưởng của các thông số khác nhau tới chất lượng điều khiển khâu cuối như độ chính xác, diễn hình cho hướng nghiên cứu này là [4].

QUAN HỆ DỊCH CHUYỂN KHẤU CUỐI VỚI DUNG SAI KHẤU THÀNH PHẦN

Xét một chuỗi động học n thành phần gồm các yếu tố kích thước dài và kích thước góc khi không kể đến dung sai có dạng như (1):

$$f(d_1, \dots, d_n) = p_i; \quad i = 1 \div m \quad (1)$$

Trong đó d_i là kích thước (dài hoặc góc) khảo sát, m là số lượng điểm khảo sát;

Mô hình (1) thể hiện quan hệ lý tưởng khi các tham số d_i chế tạo chính xác và p_i là điểm

*Tel: 0947 169291, Email: kalongkc@gmail.com

mong muốn. Khi kể đến dung sai của kích thước d_i , vị trí và hướng của điểm cuối có sự thay đổi và được biểu diễn bởi phương trình (2):

$$f(d_1 \pm \delta d_1, \dots, d_n \pm \delta d_n) = p_i \pm \delta p_i; \quad (2)$$

$$i = 1 \div m$$

Do trong (2) chứa cả kích thước dài và kích thước góc nên bài toán này rất khó để khảo sát chung, tiến hành chia nhỏ bài toán (2) thành hai bài toán dưới dạng đơn giản hơn bằng cách chỉ nhìn nhận một loại tham số có dung sai trong mỗi lần khảo sát trong khi các tham số khác giữ cố định giá trị danh nghĩa của nó:

$$f(d_1 \pm \delta d_1, \dots, d_j \pm \delta d_j, d_{j+1}, \dots, d_n) = p_i \pm \delta p_i; \quad (3)$$

$$i = 1 \div m$$

$$f(d_1, \dots, d_j, d_{j+1} \pm \delta d_{j+1}, \dots, d_n \pm \delta d_n) = p_i \pm \delta p_i; \quad (4)$$

$$i = 1 \div m$$

Trong (3,4) $d_1 \dots d_j$ được coi là kích thước dài, $d_{j+1} \dots d_n$ được coi là kích thước góc.

Trong các bài toán này p_i là tọa độ các điểm khảo sát được người thiết kế lựa chọn, $\pm \delta p_i$ thể hiện chất lượng định vị hoặc định hướng khâu cuối mong muốn. Toàn bộ các kích thước danh nghĩa $d_1 \dots d_n$ lấy theo thiết kế, phương trình (3) chứa j ẩn số là các dung sai từ $\delta d_1 \dots \delta d_j$, phương trình (4) chứa các ẩn số là $\delta d_{j+1} \dots \delta d_n$.

Nếu giải được các phương trình (3) và (4) sẽ xác định được miền dung sai của các khâu thành phần tham gia vào chuỗi kích thước tại các điểm khảo sát, việc các giá trị này có đúng cho cả miền giá trị của các tham số đó hay không cần được chứng minh độc lập để có kết quả cuối cùng, việc chứng minh này được trình bày trong mục tiếp theo.

PHƯƠNG PHÁP SỐ CHO BÀI TOÁN DUNG SAI

Để giải bài toán (3) và (4) với đặc trưng của chuỗi kích thước tổng quát thì chúng có đặc điểm phi tuyến, siêu việt [3], vì (3) và (4) có dạng như nhau, ở đây trình bày cách giải với (3) là ví dụ.

Biến đổi sơ cấp (3) về dạng tương đương như sau:

$$\text{Min}[f(d_1 \pm \delta d_1, \dots, d_j \pm \delta d_j, d_{j+1}, \dots, d_n) - (p_i \pm \delta p_i)];$$

$$i = 1 \div m$$

(5)

Khi biểu diễn cho một chuỗi không gian, phương trình (5) dưới dạng khai triển thường dưới dạng các tọa độ thành phần với dạng khai triển như sau:

$$\text{Min}[(f(d_1 \pm \delta d_1, \dots, d_j \pm \delta d_j, d_{j+1}, \dots, d_n)_x - (p_i \pm \delta p_i)_x)^2 +$$

$$(f(d_1 \pm \delta d_1, \dots, d_j \pm \delta d_j, d_{j+1}, \dots, d_n)_y - (p_i \pm \delta p_i)_y)^2 +$$

$$(f(d_1 \pm \delta d_1, \dots, d_j \pm \delta d_j, d_{j+1}, \dots, d_n)_z - (p_i \pm \delta p_i)_z)^2];$$

$$i = 1 \div m$$

(6)

Hàm toán ở (6) gọi là hàm Banana, trong [3] bàn đến cách giải bài toán này bằng phương pháp GRG và hiệu quả thực tế đã được chứng minh.

Vấn đề còn lại ở đây là khi (3) và (4) giải riêng, đáp ứng riêng lẻ của các nghiệm đạt được từ (3) hoặc (4) đương nhiên thỏa mãn các phương trình này. Tuy nhiên chúng có thể thỏa mãn (2) hay không mới là điều kiện đủ để chấp nhận lời giải có tư cách ứng dụng vào chế tạo. Sự điều chỉnh miền dung sai đạt được trên cơ sở phương pháp kiểm tra phối hợp như sau:

Gọi $d_j \in (d_{j\min}, d_{j\max})$; $j = 1 \dots n$ là miền dung sai tính toán độc lập của d_j theo (3) và (4), chia khoảng này làm k phần đều nhau, với k đủ nhỏ. Chuỗi giá trị khảo sát với mỗi một kích thước danh nghĩa sẽ là một chuỗi cộng có dạng:

$$d_j \in (d_{j\min}, d_{j\min} + \frac{d_{j\max} - d_{j\min}}{k}, d_{j\min} + 2 \cdot \frac{d_{j\max} - d_{j\min}}{k}, \dots, d_{j\max});$$

$$j = 1 \dots n$$

(7)

Như vậy với một chuỗi động học có n khâu động, số tổ hợp cần kiểm tra dung sai theo phương trình (2) trên quan điểm lặp lần hoàn toàn các chi tiết máy sẽ là n^k tổ hợp.

Trong trường hợp một phương án ngẫu nhiên nào đó thất bại, tức (2) không thỏa mãn, việc điều chỉnh có thể diễn ra như sau:

- Di chuyển một cận xa hơn so với giá trị danh nghĩa của d_j về phía trung tâm, bỏ đi một bước chia theo (7), lúc này giá trị mới của miền là:

$$d_j \in (d_{j\min} + \frac{d_{j\max} - d_{j\min}}{k}, d_{j\max}); \quad j = 1 \dots n \quad (8)$$

- Di chuyển cả hai cận về phía trung tâm của miền bỏ đi một bước chia ở mỗi đầu:

$$d_j \in (d_{j\min} + \frac{d_{j\max} - d_{j\min}}{k}, d_{j\min} + (k-1) \cdot \frac{d_{j\max} - d_{j\min}}{k});$$

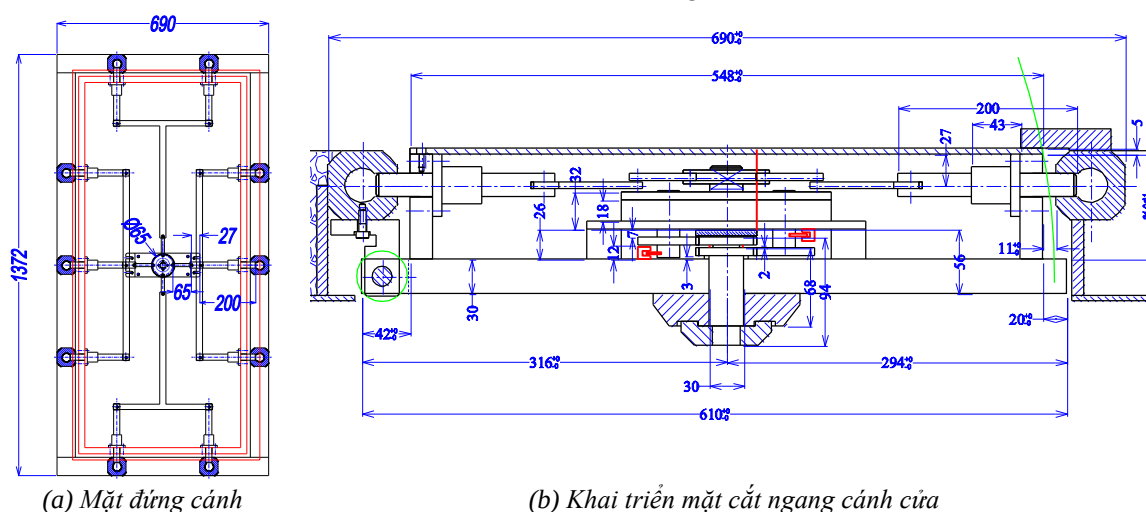
$$j=1...n \quad (9)$$

Cần lập một chương trình để làm việc này vì khối lượng tính toán khi kiểm tra toàn bộ n^k tổ

hợp là rất lớn, tuy các bài toán (3) và (4) được giải riêng rẽ nhưng đến đây kết quả đã được hợp nhất khi sử dụng mô hình (2) để kiểm tra ảnh hưởng phối hợp của tất cả các dung sai thành phần.

TÍNH TOÁN DUNG SAI CHUỖI DẪN ĐỒNG CHỐT KHÓA KẾT SẮT

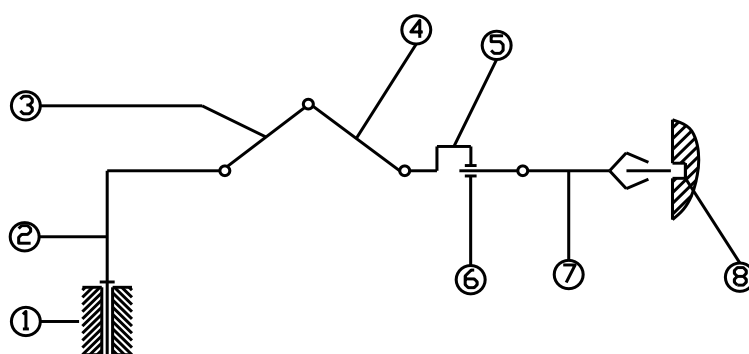
Để minh họa quan điểm lý thuyết nêu trên, trong mục này chúng tôi trình bày một tính toán và kiểm chứng bằng mô phỏng số cũng như thực nghiệm với chuỗi cánh cửa trên kết sắt.



Hình 1. Kết cấu hệ thống chốt khóa cánh cửa kết sắt gồm mười nhánh độc lập và các kích thước danh nghĩa khi chưa tính toán dung sai

Căn cứ vào sơ đồ động của chuỗi dẫn động chốt khóa, xây dựng sơ đồ tương đương để tính toán dung sai cho một nhánh như hình 2.

1. Bản lề cửa
2. Cánh cửa
3. Đĩa trung tâm
4. Thanh song phẳng
5. Càng ngang
6. Con trượt bi
7. Chốt khóa
8. Lỗ khóa



Hình 2. Sơ đồ hóa một nhánh độc lập hệ thống chốt khóa cánh cửa kết sắt

Khâu 1: là bản lề cửa dưới cùng của cánh cửa (cửa gồm hai bản lề, đồng trục, đối xứng qua đường nằm ngang đi qua tâm cánh cửa);

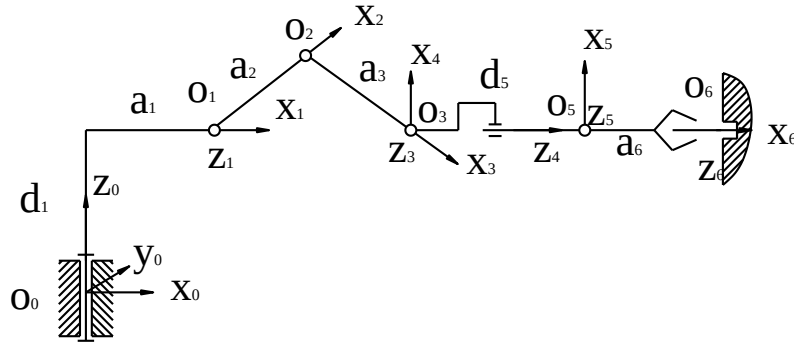
Khâu 2: tượng trưng cho một nửa chiều cao, một nửa chiều rộng của cánh cửa, tính từ góc dưới bên trái đến tâm cánh cửa;

Khâu 3: Tương ứng cho bán kính tác động của đĩa dẫn động trung tâm của khóa, nó gắn với các khâu song phẳng số 4 có hai đầu sử dụng khớp R;

Khâu 5: càng ngang có chức năng truyền động tập trung cho các chốt cùng phía;

Khâu 6: Con trượt bị được sơ đồ hóa thành ổ trượt;

Khâu 7: chốt khóa với đường tâm di động theo vị trí cánh cửa (gồm 6 bậc tự do khi tính dung sai).



Hình 3. Mô hình hóa động học hệ thống chốt khóa cánh cửa kết sắt theo kỹ thuật robot

Bảng thông số D-H:

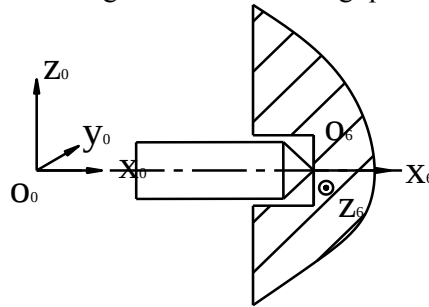
Bảng 1. Bảng thông số D-H

	$R(z_{i-1}, \alpha_i)$	$T(z_{i-1}, d_i)$	$T(x_i, a_i)$	$R(x_i, \theta_i)$
1	(θ_1)	d_1	a_1	90^0
2	(θ_2)	0	a_2	0
3	(θ_3)	0	a_3	0
4	(θ_4)	0	0	90^0
5	0	(d_5)	0	-90^0
6	(θ_6)	0	a_6	0

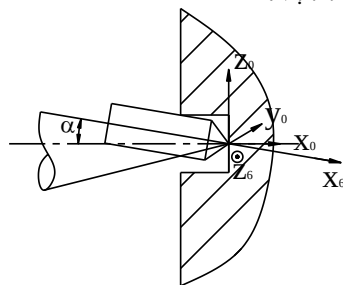
Xây dựng ma trận truyền dạng:

$$T = \begin{bmatrix} n_x & - & a_x & P_x \\ - & - & a_y & P_y \\ - & - & - & P_z \\ - & - & - & - \end{bmatrix}$$

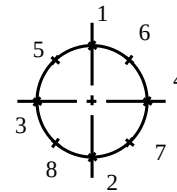
Tiến hành khảo sát sự xô dịch về hướng của chốt khóa xung quanh vị trí đóng:



Hình 4. Vị trí đóng khóa chính xác



Hình 5. a) Sự xô dịch hướng của chốt với trục nằm trong hình nón cho phép



Hình 5. b) 8 điểm khảo sát nằm trên đường sinh mặt nón

Kết quả khảo sát bài toán kích thước góc:

Với đường kính lỗ và chốt đã chọn, ta có khe hở hướng kính là 0,5mm, như vậy, sự lệch hướng cho phép của trục X_6 sẽ nằm trong hình nón như hình trên, với góc $\alpha_{\max}=0,0393$ rad, đỉnh nón tại điểm P(610,0,363)

Khảo sát 8 điểm trên đường sinh (hình 5.b) cho ra sai số cho phép của các biến khớp được kết quả thể hiện trong bảng sau:

Bảng 2. Kết quả khảo sát sai số các biến khớp q_i

	nx	ax	ay	q1	q2	q3	q4	q5	q6
0	1	0	-1	0	-0,3914889	0,7715775	1,1462471	26	-1,5707963
1	0,999228	0	-1	0	-0,4062307	0,7776914	1,1507832	25,956184	-1,5615439
2	0,999228	0	-1	0	-0,4062307	0,7776914	1,1507832	25,956184	-1,5615439
3	0,999228	-0,03929	-0,999228	-1,056E-07	-0,4058793	0,7775117	1,1507461	25,956208	-1,5617971
4	0,999228	0,0392899	-0,999228	1,056E-07	-0,4038704	0,7777601	1,1487591	25,987616	-1,5630315
5	0,999228	-0,019649	-0,999807	5,3E-08	-0,4010218	0,7767342	1,1480985	25,999177	-1,5652816
6	0,999228	0,0196487	-0,999807	5,28E-08	-0,399034	0,7666561	1,1543436	25,780797	-1,5612657
7	0,999228	0,0196487	-0,999807	5,28E-08	-0,4062307	0,7776914	1,1507832	25,956184	-1,5615439
8	0,999228	-0,019649	-0,999807	-5,28E-08	-0,4062307	0,7776914	1,1507832	25,956184	-1,5615439

Theo kết quả khảo sát ở bảng 2, giá trị của biến khớp q_i thống kê theo từng cột với $i=1-6$ sẽ biến động trong một giới hạn nhất định khi so sánh các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của chúng trong các cột đó sẽ định ra dung sai của từng khớp.

Vậy dung sai cho phép của các biến khớp là:

$$\delta q_2 = -0.015 \div 0.00 \text{ (rad)}$$

$$\delta q_3 = -0.0036 \div 0.006 \text{ (rad)}$$

$$\delta q_4 = 0.00 \div 0.005 \text{ (rad)}$$

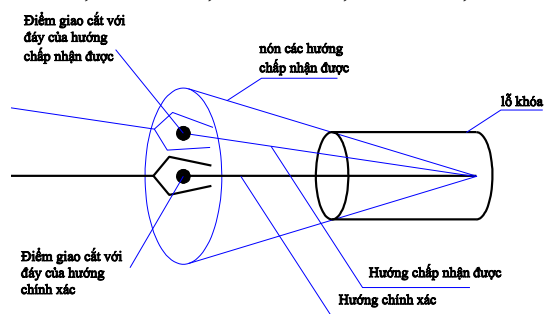
$$\delta q_5 = -0.15 \div 0.00 \text{ (mm)}$$

$$\delta q_6 = 0.00 \div 0.0088 \text{ (rad)}$$

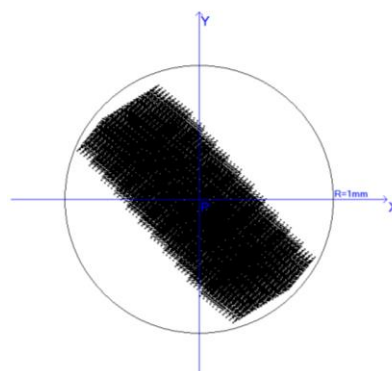
Kiểm tra kết quả trên phần mềm:

Kết quả mô phỏng trên phần mềm khi quan sát các giao điểm của đường thẳng tượng trưng trục của chốt với mặt phẳng đáy của hình nón. Các điểm chạm đều đã rơi vào trong mặt nón giới hạn.

Theo hình 5, việc kiểm tra một phương án định hướng nào đó có rơi vào trong nón hướng chấp nhận được hay không có thể thực hiện thông qua việc kiểm tra điểm cắt của phương án đó với mặt đáy của nón. Nếu điểm này rơi vào phía trong vòng tròn biểu thị đáy của nón thì phương án đó chấp nhận được và ngược lại.

**Hình 5. Kiểm tra độ chính xác định hướng của chốt khóa qua điểm chạm trên mặt đáy nón hướng chấp nhận được**

Trên hình 6, chúng tôi mô tả kết quả kiểm tra toàn bộ các tổ hợp được lắp lần theo quan điểm nói trên. Có thể thấy rằng tất cả các tổ hợp có thể có đã rơi vào trong vòng tròn giới hạn.

**Hình 6. Các điểm chạm khi lắp lần các khâu biểu diễn trên đáy mặt nón sai số hướng giới hạn**



Hình 7. Giao diện và kết quả kiểm tra tại điểm tính toán

Theo kết quả kiểm tra trên hình 7, có 500000 khả năng đã được thử nghiệm xung quanh điểm tính toán, tất cả đều đã đạt yêu cầu về dung sai.

Kết quả thực nghiệm trên 03 sản phẩm thật bao gồm kết sắt trong đề tài mã số T 2016-31 [5] do trường ĐHKT Công nghiệp quản lý, kết sắt trong luận văn Thạc sỹ của học viên Nguyễn Mạnh Tuấn [6], và kết sắt mà tác giả chế tạo cho công ty Nam Việt (hình 1) cũng cho thấy các chi tiết được lắp ngẫu nhiên không qua lựa chọn sau khi khẳng định chúng đáp ứng dung sai theo tính toán, hệ thống luôn vận hành ổn định không bị hóc, kẹt. Điều này chứng tỏ độ tin cậy của phương pháp tính toán dung sai mới mà chúng tôi giới thiệu.

KẾT LUẬN

Với các hệ thống kết cấu cơ khí có chuyển động không gian việc chuyển sang tính dung sai theo hướng số hóa là cần thiết. Khi đó các giá trị dung sai của từng khâu không cần chọn trước theo quan điểm chủ quan như phương pháp truyền thống, tất cả các giá trị này hình thành đồng thời và không có khâu khép kín chuỗi nữa. Do bài toán không khảo sát được đồng thời hai nhóm biến là biến kích thước

góc và biến kích thước dài nên đã được chia làm hai bài toán nhỏ. Việc hợp nhất kết quả sau đó bằng cách kiểm tra đáp ứng lắp lẫn hoàn toàn trên phương trình động học thuận cho thấy các chi tiết máy đã xác định được giá trị dung sai cho phép của từng kích thước.

Với cách tiếp cận tổng quan như chúng tôi trình bày ở trên, phương pháp thiết kế dung sai này có thể áp dụng được cho nhiều kiểu dẫn động khác nhau từ robot công nghiệp, các cụm máy, các cơ cấu không gian nhiều bậc tự do nói chung đều rất hiệu quả.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Đại học Thái Nguyên đã tài trợ kinh phí cho bài báo này thông qua đề tài mã số ĐH2017-TN02-01.ĐH, do Đại học Thái Nguyên đặt hàng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Hữu Công (2002), *Giáo trình kỹ thuật đo lường*, Nxb Đại học Quốc Gia Hà Nội, Hà Nội.
2. Nguyễn Thiện Phúc (2006), *Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo các robot thông minh phục vụ cho các ứng dụng quan trọng*, Đề tài cấp Nhà nước, mã số KC.03.08.
3. Phạm Thành Long (2012), *A New Method to Solve the Reverse Kinematic Robot Problem*, ISTS, ThaiLand p 43-46, 10-2012.

4. Son Duy Dao, and Kazem Abhary (2012), *Determination of the Significance of Tolerance Parameters on Robot Performance Using Taguchi's Tolerance Design Experiment*, Applied Mechanics and Materials, Vols 229-231, pp. 2100-2105.
5. Phạm Thành Long, Nghiên cứu, phát triển phiên bản kết sắt cơ điện tử theo hướng nâng cao

tùy chọn bảo mật và bảo vệ của cá nhân người dùng, đề tài cấp cơ sở mã số T2016-31.

6. Nguyễn Mạnh Tuấn, Thiết kế, chế tạo kết sắt bảo mật sử dụng khóa cơ điện tử, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, ĐHKT CN Thái Nguyên, 2017.

ABSTRACT

CALCULATING TOLERANCE OF THE ACTUATORING CHAIN OF THE LATCH LOCK OF THE SAFE BY NUMERICAL METHOD

Phạm Thanh Long*, Le Thi Thu Thuy

University of Technology - TNU

In the manufacture of machines, ensuring the precision of the mechanical structure is one of the basic contents. At the design stage, the engineer needs to quantify the tolerance values of the machine parts based on their kinematic linkage scheme. Size chains are one of the common methods to do this, however spatial sequences with large numbers of strings are not easy to come up with. This paper introduces a numerical method that helps to define the tolerances of spatial structures more accurately and respects the natural dynamic response of the structure than the traditional dimension chain method. We also illustrate the algorithm on a mechanical mechanism is the key system locking the safe. Experimental results on the model and the simulation showed the correctness of the algorithm in terms of fully assembled and assembled components. This method can be applied on clusters of closed or open kinematic chain.

Keywords: Tolerance; Kinematic chain; interchangeability; Precision; Jacobian.

Ngày nhận bài: 01/11/2017; Ngày phản biện: 30/11/2017; Ngày duyệt đăng: 05/01/2018

*Tel: 0947 169291, Email: kalongkc@gmail.com