

Kiểm chứng trạng thái đầu – cuối của cơ cấu fidget toy dạng khối lập phương trên cơ sở mô hình robot song song

Lê Thị Thu Thủy*

Bộ môn Cơ điện tử, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp.

*Email: hanthuyngoc@tnut.edu.vn

Nhận bài: 07/9/2023; Hoàn thiện: 08/11/2023; Chấp nhận đăng: 15/11/2023; Xuất bản: 10/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.157-164>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày việc kiểm chứng các trạng thái đầu – cuối và khả năng chuyển động của mô hình fidget toy dạng lập phương trên quan điểm mô hình cấu trúc robot song song. Đồ chơi thư giãn (fidget toy) dạng khối hộp có thể thay đổi trạng thái từ không gian sang dạng bán khai triển. Đây là sự kết hợp giữa đồ chơi giải trí và nghệ thuật xếp hình Origami của Nhật Bản. Việc khối hộp này có thể đạt được trạng thái thiết kế mong muốn hay không nằm ngoài khả năng tưởng tượng của chúng ta vì chuyển động không gian của mặt này quy định chuyển động của mặt kia và tồn tại chuyển động theo của một số mặt. Vì vậy, việc kiểm chứng bằng toán học là cần thiết để đảm bảo rằng hộp có thể dịch chuyển và đạt được trạng thái như yêu cầu trước khi nó được chế tạo, sản xuất. Phương pháp mô hình hóa cấu trúc dưới dạng robot song song đã được áp dụng trong bài viết này và cho kết quả chính xác như cấu trúc thiết kế mong muốn. Cách thức thiết lập mô hình này là một gợi ý đáng chú ý để giải các bài toán cấu trúc phức tạp tương tự.

Từ khóa: Fidget toy; Lập phương; Mô hình hóa; Động học; Robot song song.

1. MỞ ĐẦU

Đồ chơi fidget toy là thuật ngữ chỉ những đồ chơi chuyên được dùng với ngón tay. Cuộc sống hiện đại với bao áp lực, căng thẳng buộc chúng ta phải nỗ lực mỗi ngày tìm kiếm phương pháp xoa dịu tâm trí. Đồ chơi thư giãn (Fidget Toy) hay còn gọi là EDC Toy (Every Day Carry) đã được ra đời từ nhu cầu thiết yếu đó. Là công cụ tự điều chỉnh rất hữu ích, Fidget Toy thường có kích thước nhỏ gọn để dễ dàng cất vào trong túi áo quần hoặc balo, túi xách. Công dụng chính của chúng là giữ cho cơ thể được thả lỏng, phân tán sự lo lắng, xoa dịu thần kinh, và tăng nhận thức xúc giác. Nhiều quốc gia ở Châu Âu công nhận rằng căng thẳng là rủi ro lớn trong nghề nghiệp, nên họ thường xuyên tạo nhiều hoạt động ý nghĩa nhằm ngăn chặn tình trạng không mong muốn đó cho nhân viên. Đồ chơi thư giãn là một trong số những biện pháp được áp dụng. Chúng được công nhận và phê duyệt rộng rãi bởi các tổ chức y tế ở Châu Âu. Việc thường xuyên sử dụng các công cụ hoặc tiện ích thể này được chứng minh có thể giúp giảm tác động tiêu cực lên hiệu suất làm việc và thậm chí cải thiện tâm trạng cho người đi làm. Thư giãn đóng vai trò quan trọng trong việc phân tán năng lượng tiêu cực tích tụ lên bản thân chúng ta mỗi ngày. Phương thức hoạt động của các món đồ chơi giảm căng thẳng được ví như liệu pháp nhẹ nhàng xoa dịu tâm lý khiến người dùng thấy thoải mái, dễ chịu hơn [1].

Còn với Origami - Nghệ thuật gấp giấy của Nhật Bản là một môn nghệ thuật độc đáo đòi hỏi sự khéo léo, óc sáng tạo. Gấp giấy Origami không đơn thuần chỉ là giải trí, làm đồ trang trí thông thường. Một trong số nguyên nhân giúp nghệ thuật gấp giấy Origami trở thành biểu tượng văn hóa Nhật Bản là bởi gấp giấy Origami còn có tác dụng như một liệu pháp tâm lý, giúp trấn an tinh thần, mang lại niềm vui và cảm hứng cho con người khi hoàn thành một tác phẩm. Ngoài ra, việc tạo ra một mẫu Origami sẽ phải áp dụng rất nhiều quy tắc hình học. Ở một vài nơi trên thế giới còn áp dụng dạy Origami trong các tiết học mỹ thuật, hình ảnh trực quan. Đặc biệt là ở các lớp mẫu giáo và cấp 1, học Origami giúp trẻ tư duy hình ảnh, hình học trực quan, trừu tượng, không gian, các khối 3 chiều, các hình tam giác, hình vuông,... rất có lợi cho sự phát triển tư duy của người chơi [2].



Hình 1. Một số fidget toy điển hình.



Hình 2. Một số sản phẩm minh họa cho Origami.

Một nhóm đồ chơi Origami có đặc tính xếp gọn dạng phẳng nhờ đặc điểm như nếp gấp hay các khớp đa chiều do khả năng co giãn của giấy. Như lồng đèn trung thu giấy xếp có khả năng khai triển phẳng như hình 3.

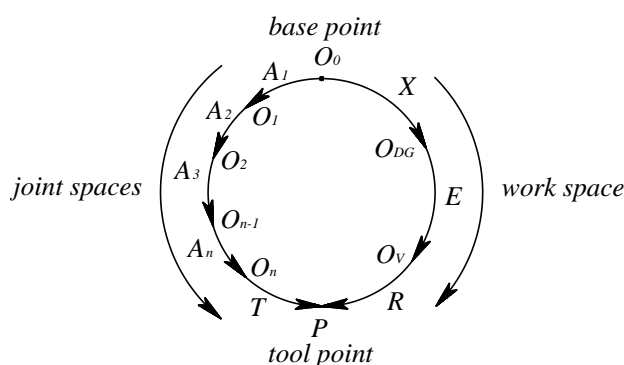


Hình 3. Lồng đèn trung thu giấy xếp có khả năng khai triển phẳng.

Đồ chơi dạng khối hộp có khả năng trải phẳng chính là sự kết hợp tuyệt vời giữa hai loại hình

Fidget và Origami sẽ được trình bày trong nghiên cứu này. Khối hộp có các mặt được liên kết động với nhau thông qua các khớp bản lề. Trong đó, nhờ các khớp thấp này, mỗi bề mặt đều được liên kết động với hai mặt khác trong số 6 mặt của khối. Đây chính là nguyên lý cấu tạo của cơ cấu song song.

Tập hợp các cơ cấu liên kết nhau thỏa mãn định nghĩa mỗi khâu trong chuỗi liên kết với ít nhất hai khâu khác gọi là cơ cấu song song. Với cơ cấu song song luôn có thể mô hình hoá dạng vòng kín như hình 4. Robot Delta là một ví dụ điển hình của cơ cấu song song được sử dụng phổ biến trong công nghiệp (hình 5).



Hình 4. Mô hình cơ cấu song song.



Hình 5. Robot song song Delta [3].

Cơ cấu song song, cụ thể là robot song song có cách thức mô hình hóa, tính toán và giải các bài toán động học khác biệt so với các cơ cấu khác do đặc thù liên kết động tạo thành các vòng tròn khép kín của nó.

Phần tiếp theo, tác giả sẽ trình bày về việc mô hình hóa cơ cấu dạng khối hộp dưới dạng cấu trúc robot song song để xác định chính xác hướng và vị trí của các khâu liên kết trong khối khi khối thay đổi trạng thái.

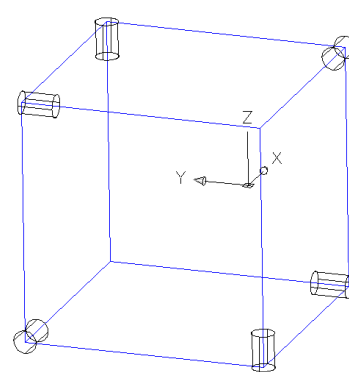
2. NỘI DUNG

2.1. Mô hình hình học cơ cấu đề xuất

Đề xuất cơ cấu hộp khi xếp như hình 6 (trái) và khi bán khai triển (phải). Để đạt được mục đích động học như trên 6 mặt hộp cần liên kết với nhau bằng các khớp bản lề (khớp R) ở các vị trí ấn định như hình 7. Cần mô hình hóa để xác định chính xác các trạng thái của cơ cấu bằng toán học. Quá trình mô hình hóa trên quan điểm robot song song được tiến hành.



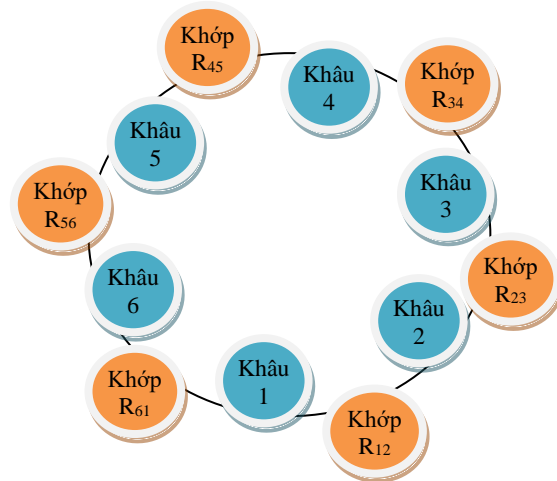
Hình 6. Cơ cấu hộp đề xuất và hai trạng thái đầu – cuối của nó.



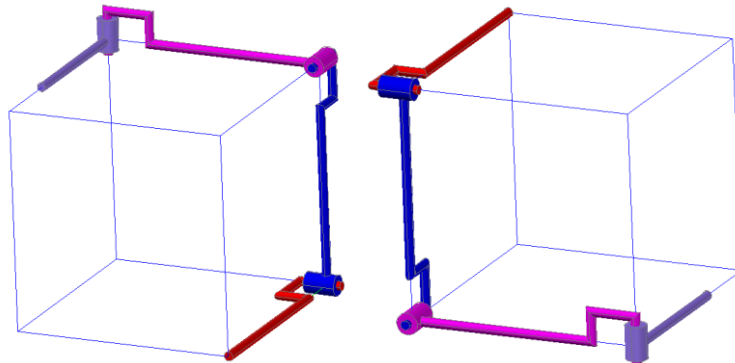
Hình 7. Vị trí các khớp bản lề liên kết các mặt hộp với nhau.

2.2. Mô hình động học cơ cấu tương đương

Trên cơ sở mô hình liên kết khớp bản lề, nếu tưởng tượng khai triển thành một chuỗi động học, chuỗi này sẽ có dạng khép kín như hình 8. Trên hình 8, tưởng tượng rằng chọn hai mặt phẳng đối diện nhau làm hai giá (một giá tĩnh, một giá động). Chẳng hạn ấn định khâu 1 và khâu 4 làm hai giá, sơ đồ kết cấu hình 8 sẽ có sơ đồ động học như hình 9.

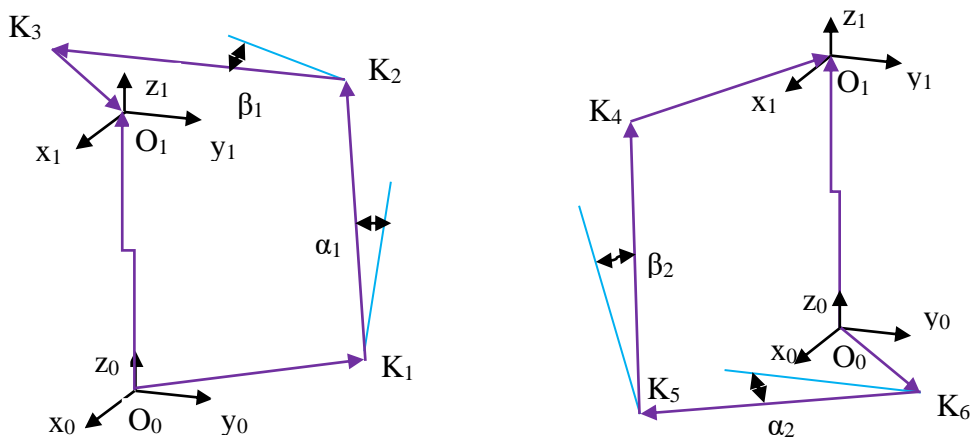


Hình 8. Khai triển chuỗi động học qua 6 khâu – 6 khớp bản lề.



Hình 9. Sơ đồ động học tương đương nhánh thứ nhất và nhánh thứ 2 của hộp.

Hình thành hai vòng véc tơ cho hai nhánh 1 và 2 như trên hình 10:



Hình 10. Sơ đồ vòng kín cho nhánh 1 và nhánh 2.

Trong đó:

- K_{12} , K_{23} , K_{34} , K_{45} , K_{56} và K_{61} lần lượt là vị trí tại 6 khớp thấp của cơ cấu liên kết động với các khâu lần lượt từ khâu 1 đến khâu 6;
- 2° là độ dài cạnh của khối lập phương (ở đây lấy $2a = 60$ mm);
- $O_0x_0y_0z_0$ và $O_1x_1y_1z_1$ là hệ trục tọa độ tại tâm tâm tĩnh và tâm tâm động;
- $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ là tham số biến khớp tại hai nhánh chân tương ứng;
- (φ, ϕ, γ) là bộ góc định hướng của tâm động theo Roll-Pitch-Yaw (RPY).

Phương trình động học tương ứng cho hai nhánh có dạng như sau:

*Nhánh 1:

$$\overrightarrow{O_0O_1} = \overrightarrow{O_0K_{12}} + \overrightarrow{K_{12}K_{23}} + \overrightarrow{K_{23}K_{34}} - R_{RPY} \cdot \overrightarrow{O_1K_{34}} \quad (1)$$

Phương trình khai triển cụ thể:

$$\begin{bmatrix} X_{O1} \\ Y_{O1} \\ Z_{O1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a \\ a \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2aS_{\alpha_1} \\ 0 \\ aC_{\alpha_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2aS_{\beta_1}S_{\alpha_1} \\ -2aC_{\beta_1} \\ -2aS_{\beta_1}C_{\alpha_1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_\varphi C_\gamma & S_\phi S_\varphi C_\gamma - C_\phi S_\gamma & C_\phi S_\varphi C_\gamma + S_\phi S_\gamma \\ C_\varphi S_\gamma & S_\phi S_\varphi S_\gamma + C_\phi C_\gamma & C_\phi S_\varphi S_\gamma - S_\phi C_\gamma \\ -S_\varphi & S_\phi C_\varphi & C_\phi C_\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -a \\ -a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Hay:

$$\begin{aligned} X_{O1} &= -a - 2aS_{\alpha_1} + 2aS_{\beta_1}S_{\alpha_1} + aC_\varphi C_\gamma + aS_\phi S_\varphi C_\gamma - aC_\phi S_\gamma \\ Y_{O1} &= a - 2aC_{\beta_1} + aC_\varphi S_\gamma + aS_\phi S_\varphi S_\gamma + aC_\phi C_\gamma \\ Z_{O1} &= 2aC_{\alpha_1} - 2aS_{\beta_1}C_{\alpha_1} - aS_\varphi + aS_\phi C_\varphi \end{aligned} \quad (3)$$

*Nhánh 2:

$$\overrightarrow{O_0O_1} = \overrightarrow{O_0K_{64}} + \overrightarrow{K_{61}K_{56}} + \overrightarrow{K_{56}K_{45}} - R_{RPY} \cdot \overrightarrow{O_1K_{45}} \quad (4)$$

Phương trình khai triển cụ thể:

$$\begin{bmatrix} X_{O1} \\ Y_{O1} \\ Z_{O1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ a \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2aS_{\alpha_2} \\ -2aC_{\alpha_2} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2aS_{\beta_2}S_{\alpha_2} \\ -2aS_{\beta_2}C_{\alpha_2} \\ 2aC_{\beta_2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_\varphi C_\gamma & S_\phi S_\varphi C_\gamma - C_\phi S_\gamma & C_\phi S_\varphi C_\gamma + S_\phi S_\gamma \\ C_\varphi S_\gamma & S_\phi S_\varphi S_\gamma + C_\phi C_\gamma & C_\phi S_\varphi S_\gamma - S_\phi C_\gamma \\ -S_\varphi & S_\phi C_\varphi & C_\phi C_\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ -a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Hay:

$$\begin{aligned} X_{O1} &= -a - 2aS_{\alpha_2} - 2aS_{\beta_2}S_{\alpha_2} - aC_\varphi C_\gamma + aS_\phi S_\varphi C_\gamma - aC_\phi S_\gamma \\ Y_{O1} &= a - 2aC_{\alpha_2} - 2aS_{\beta_2}C_{\alpha_2} - aC_\varphi S_\gamma + aS_\phi S_\varphi S_\gamma + aC_\phi C_\gamma \\ Z_{O1} &= 2aC_{\beta_2} + aS_\varphi + aS_\phi C_\varphi \end{aligned} \quad (6)$$

Hệ phương trình số (3) và (6) được sử dụng để giải bài toán động học nhằm kiểm chứng vị trí và hướng của các mặt của cơ cấu khi cơ cấu ở trạng thái hộp và ở trạng thái trải phẳng ba mặt như thể hiện ở hình 6.

2.3. Kết quả khảo sát và kiểm chứng

Phương pháp số Giảm Gradient tổng quát GRG [4, 5] được áp dụng để tìm lời giải cho bài toán động học thuận và ngược.

*Tại vị trí cơ cấu ở dạng khối hộp:

Lúc này các mặt đối diện ở trạng thái song song nhau. Dễ dàng nhận thấy rằng, 2 hệ trục tọa độ tĩnh và động là $O_0x_0y_0z_0$ và $O_1x_1y_1z_1$ có các cặp trục tương ứng song song và trùng nhau, tâm hai hệ cách nhau một đoạn bằng độ dài cạnh, tức là tại trạng thái này sẽ có các bộ thông số sau:

- Hệ tọa độ động $O_1x_1y_1z_1$ so với hệ tĩnh $O_0x_0y_0z_0$:
 - + Vị trí: $(X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}) = (0,0,60)$
 - + Hướng: Bộ góc RPY: $(\varphi, \phi, \gamma) = (0,0,0)$
- Các biến khớp tại 2 nhánh chân: $\alpha_1=0$ $\beta_1=0$
 $\alpha_2=0$ $\beta_2=0$

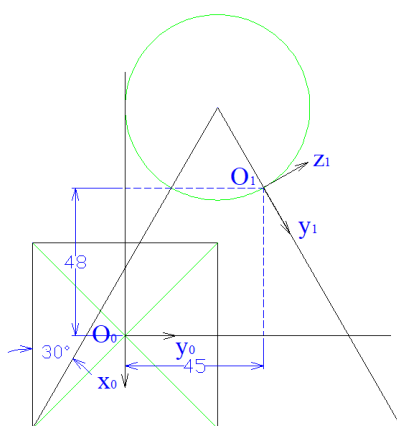
Kết quả khảo sát cho kết quả chính xác hoàn toàn, như thể hiện ở hình 11:

alpha1	alpha2	beta1	beta2	Xo1	Yo1	Zo1	phi	theta	gamma
0	0	0	0	0	0	60	0	0	0
Tham số khớp tại 2 chân				Vị trí tâm tâm động			Hướng tâm động		
Nhánh chân 1									
Xo1	0								
Yo1	0								
Zo1	60								
Nhánh chân 2									
Xo1	0								
Yo1	0								
Zo1	60								
Kiểm tra tại vị trí cơ cấu hình thành khối hộp									
L1	0								
L2	0								
L3	0								
L4	0								
L5	0								
L6	0								
L	0								

Hình 11. Kết quả khảo sát tại vị trí cơ cấu ở dạng hộp.

Lời giải tối ưu đã cho kết quả chính xác tuyệt đối.

*Tại vị trí cơ cấu có 3 mặt trái phẳng (hình 12):



Hình 12. Các giá trị tham số khi cơ cấu ở trạng thái bán khai triển.

Lúc này, theo tính toán lý thuyết và lời giải hình học phẳng, ta có các giá trị sau:

- Hệ tọa độ động $O_1x_1y_1z_1$ có: + Vị trí: $(X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}) = (-45, -47.9423, 30)$
- + Hướng: Bộ góc RPY: $(\varphi, \phi, \gamma) = (90^0, 0^0, -60^0)$

- Các biến khớp tại 2 nhánh chân: $\alpha_1 = 90^\circ$ $\beta_1 = 30^\circ$
 $\alpha_2 = 30^\circ$ $\beta_2 = 90^\circ$

Kết quả khảo sát cho kết quả chính xác, như thể hiện ở hình 13:

alpha1	alpha2	beta1	beta2	Xo1	Yo1	Zo1	phi	theta	gamma
1,570795	0,52359833	0,523598	1,570795	-45	-47,9423	30,00001	1,570795	0	-1,0472
Tham số khớp tại 2 chân				Vị trí tâm tầm động			Hướng tầm động		
Nhánh chân 1									
Xo1	-44,999974								
Yo1	-47,942271								
Zo1	30,0000398								
Nhánh chân 2									
Xo1	-44,999934								
Yo1	-47,942301								
Zo1	30,0000796								
Kiểm tra tại vị trí 3 khâu nằm trên 1 mặt phẳng									
L1	3,6227E-09								
L2	1,5749E-09								
L3	8,8078E-10								
L4	1,0098E-08								
L5	9,7641E-11								
L6	4,8277E-09								
L	2,1102E-08								

Hình 13. Kết quả khảo sát tại vị trí cơ cấu ở dạng trái phẳng 3 mặt.

Lời giải tối ưu chỉ ra rằng, trạng thái trái phẳng 3 mặt của cơ cấu là hoàn toàn hợp lý và khả thi (sai số rất rất bé $2,1.10^{-8}$).

3. KẾT LUẬN

Qua dữ liệu nhận được từ mô hình toán cho thấy, giả thiết về sự tương tự của đồ chơi fidget dạng lập phương và hai trạng thái đầu – cuối của nó hoàn toàn phù hợp với mô hình robot song song có hai nhánh gồm 6 khớp R. Các trạng thái đầu – cuối của robot kết hợp với một vài liên hệ toán học đơn giản cho phép khẳng định khả năng chuyển động của cấu trúc giữa hai trạng thái này. Việc khẳng định khả năng động học của cơ cấu là bước cơ bản trong quy trình thiết kế kiểu đồ chơi dạng fidget toy.

Đây cũng là quy trình có tính tổng quát được kiến nghị áp dụng trong các trường hợp tương tự khi mà các chuyển động không gian nằm ngoài khả năng tưởng tượng thông thường. Điểm mạnh của cách làm này ở chỗ cả mô hình động học robot và công cụ chuyên dùng để khảo sát các mô hình này sẵn có và dễ áp dụng ngay cả với các mô hình có chuyển động phức tạp hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://careerbuilder.vn/vi/talentcommunity/tiet-lo-danh-sach-15-mon-do-choi-cong-so-giup-giai-toa-cang-thang.35A51733.html> (Truy cập ngày 14/9/2023)
- [2]. <https://vtv.vn/chuyen-dong-24h/nghe-thuat-gap-giay-origami-bieu-tuong-van-hoa-cua-nhat-ban-20180415155036664.htm> (Truy cập ngày 14/9/2023)
- [3]. <https://www.wittenstein.co.uk/delta-robot/> (Truy cập ngày 14/9/2023)
- [4]. Trang Thanh Trung, L. W. G. and Pham Thanh Long, "A New Method to Solve the Kinematic Problem of Parallel Robots Using General reduce Gradient algorithm," J. Robot. Mechatronics, vol. 28-N03, (2016).
- [5]. Thuy Le Thi Thu and Long Pham Thanh, "Tolerance calculation for robot kinematic parameters to ensure end-effector errors within a predetermined limit area," Int. J. Eng. Res. Technol., vol. 12, no. 9, pp. 1567–1574, (2019).

ABSTRACT

Verifying the initial and final states of the cube-shaped fidget toy mechanism based on the parallel robot model

This article presents verifying the initial and final states and motion capabilities of the cube fidget toy model from the perspective of the parallel robot structure model. A cube-shaped fidget toy that can change its state from space to semi-expanded. This is a combination of entertainment toys and the Japanese art of Origami. Whether this cube can achieve the desired design state is beyond our imagination because the spatial motion of one face dictates the motion of the other face and there exist follow-on motions of certain faces. Therefore, mathematical verification is necessary to ensure that the box can move and achieve the required state before it is manufactured. The method of modelling the structure in the form of a parallel robot has been applied in this article and gives the exact results as the desired design structure. This modelling technique can also be applied to resolve other complex structural problems.

Keywords: Fidget toy; Cube; Modelling; Kinematics; Parallel robot.