TÍNH TOÁN ĐỒ GÁ ỔN ĐỊNH ĐỘNG HỌC CÓ CẤU TRÚC ROBOT

Phạm Thành Long[1*], Lê Thị Thu Thủy[1], Phạm Đức Dương[2]
[1]*Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên*
[2]*Công ty Cổ phần 22, Bộ Quốc Phòng*

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp luận để thiết kế một đồ gá dưới dạng tay robot có chức năng ổn định động học cho vật gá trên đó khi giá có các di chuyển ngẫu nhiên. Đồ gá có cấu hình một tay robot với n bậc tự do tổng quát, một đầu nối giá, một đầu mang vật cần ổn định động học. Thông thường, giá đứng yên và vật chuyển động, tuy nhiên trong một số trường hợp, khi giá chuyển động làm thay đổi vị trí và hướng của vật sẽ gây ra hư hại nào đó thì cơ cấu gá lại phải có chức năng khử đi các chuyển động này của giá để ổn định động học cho vật, nhằm giữ cho nó có vị trí và (hoặc) hướng không thay đổi so với ban đầu. Chúng tôi dựa vào bài toán động học robot trên cơ sở phương pháp GRG để thực hiện các tính toán này, các kết quả đạt được cho thấy tính toán lý thuyết hoàn toàn chính xác. Đây là cơ sở toán học để điều khiển các tay robot có chức năng đặc biệt thuộc nhóm ổn định thế vật gá.

Từ khóa:*Ổn định động học, đồ gá kiểu robot, GRG, Bài toán động học ngược, kỹ thuật đổi giá***.**

MỞ ĐẦU

Ở các robot thông thường, giá sẽ đứng yên làm điểm tựa cho các khâu động khác liên kết với nó chuyển động theo quỹ đạo định trước. Tuy nhiên, một số cấu trúc lại có cách hoạt động ngược lại, tức là khâu cuối cùng cần giữ nguyên tư thế cho dù giá có chuyển động bất kỳ. Khi đó các khớp của nó có chức năng tạo ra các chuyển động khử đi các chuyển động của giá có xu hướng làm cho khâu cuối di chuyển vị trí hoặc hướng. Các có cấu có chức năng như vậy có thể có cấu trúc chuỗi hoặc song song, được gọi chung là gá ổn định thế. Chúng được ứng dụng rất nhiều trong quân sự, đặc biệt là ở các hệ thống ổn định pháo xe tăng với tư cách là hệ thống ổn định tầm và hướng [1], [2], [3]. Tuy nhiên trên xe tăng thiết bị này hoạt động dựa vào con quay hồi chuyển [4], [5], nó tiêu hao năng lượng lớn, kết cấu cồng kềnh và không thích hợp để ổn định vị trí, thường chỉ dùng ổn định hướng nòng pháo khi di chuyển, đây là nhược điểm lớn khi vận dụng thiết kế này sang các cơ cấu khác yêu cầu kích thước nhỏ gọn. Y. G. Martynenko [5] khi sử dụng con quay hồi chuyển để ổn định xe nó không phân biệt được tác động chủ động của người lái với tác động mất thăng bằng. Các cơ cấu công tác yêu cầu tác động nhanh, trường vận động lớn hoặc cấu trúc song song, yêu cầu ổn định cả vị trí và hướng sẽ không thể giải quyết theo cách làm của các tài liệu nêu trên.

Với định hướng giải bài toán tổng quát, trong bài báo này chúng tôi trình bày phương pháp tính toán ổn định vật với đồ gá n bậc tự do tổng quát cấu trúc chuỗi hoặc song song, thông qua bài toán động học ngược và kỹ thuật đổi giá. Chúng tôi cũng minh họa ý tưởng với một cơ cấu chuỗi và một cơ cấu song song. Kết quả kiểm tra trên phương trình động học thuận cho thấy khả năng ứng dụng thực tiễn của cơ cấu tốt, có thể nâng công suất để có các ứng dụng công nghiệp đòi hỏi độ chính xác và tốc độ tác động cao.

MÔ TẢ BÀI TOÁN ỔN ĐỊNH ĐỘNG HỌC

Xét một tay robot tổng quát gồm n bậc tự do như hình 1.

Đầu gắn với hệ quy chiếu O_0 là giá của tay robot, đầu còn lại gắn bàn kẹp mang vật thể gắn với hệ quy chiếu O_n. Hệ quy chiếu O_n gắn với vật có một yêu cầu đặc biệt là dù giá của robot chuyển động như thế nào thì O_n cũng

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

phải giữa nguyên vị trí (hoặc hướng, hoặc cả vị trí và hướng) không thay đổi. Tay robot làm được việc này nhờ có khả năng thay đổi các giá trị biến khớp của nó một cách chủ động để bù trừ các chuyển động mà giá tác động vào khâu 1 sinh ra.

Giả sử quỹ đạo của giá O_0 cho trước cần bám theo phương trình mô tả trong O_0 bởi (1):

$$f(x,y,z) = 0 \qquad (1)$$

Trong khi vị trí và hướng của O_6 mô tả trong O_0 được biểu diễn bởi ma trận (2):

$$A_6^0 = \begin{vmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad (2)$$

Thông thường khi đồ gá ở trạng thái (q_1, .., q_6) = 0 nó sẽ sao chép các chuyển động của O_0 sang O_6. Để ổn định thế của vật trong bàn tay, lúc này cần tính toán các chuyển động (q_1, .., q_6) sao cho vật đứng yên, tức là:

$$A_0^6 . O_6 = f(x,y,z) \qquad (3)$$

Trường hợp đặc biệt nếu chỉ yêu cầu ổn định hướng hoặc vị trí mà không yêu cầu ổn định đồng thời hai thông số trên thì sẽ ứng với các ma trận (2) khác nhau. Trường hợp chỉ ổn định vị trí:

$$A_0^6 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad (4)$$

Trường hợp chỉ ổn định hướng:

$$A_0^6 = \begin{vmatrix} n & s & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad (5)$$

Để đạt được mục đích ổn định động học vật, việc giải phương trình (3) để điều khiển cơ cấu của giá đỡ là cần thiết.

TÍNH TOÁN VỚI ĐỒ GÁ TỔNG QUÁT

Phương pháp đổi giá

Đối với một robot tổng quát nếu cho trước quỹ đạo chuyển động của giá (1) luôn xây dựng được phương trình (3), biến đổi tương đương phương trình này sang dạng:

$$f(x,y,z) = (A_6^0)^{-1} = A_0^6 \qquad (6)$$

Bài toán được hiểu là giữ bàn tay cố định cả vị trí và hướng, điều khiển giá di chuyển theo quỹ đạo cho trước, đó là phép đổi giá. Các tọa độ suy rộng tìm được từ lời giải của bài toán này về bản chất trùng với lời giải của bài toán (3) hoặc (6). Nó đảm bảo rằng khi khâu đầu di động với quy luật cho trước, các khớp sẽ tự khử các tác động không mong muốn để giữ vật trong bàn tay giữ nguyên một thế đã chọn.

Kiểm tra bằng mô hình động học

Sau khi có quỹ đạo thành phần $q_i(t)$ việc kiểm tra đáp ứng khử các chuyển động làm di chuyển vật khỏi thế đã xác định của đồ gá được tiến hành trên phương trình động học thuận của tay máy. Cụ thể là, nếu gọi $P_i(q_1, \ldots, q_6)$ là một điểm thuộc không gian khớp đã được ánh xạ từ $P_i(x_i, y_i, z_i)$ tương ứng thuộc f(x,y,z) = 0 của không gian công tác qua bài toán (3).

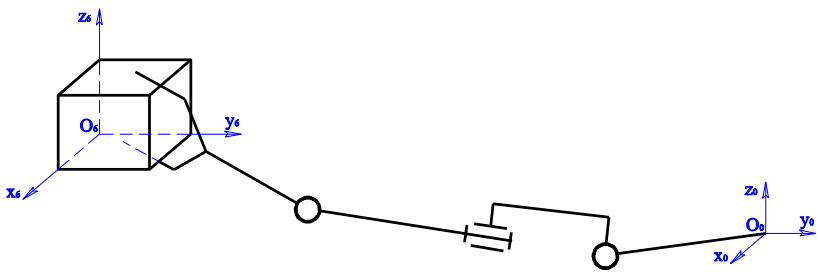
Việc kiểm tra tương ứng với chạy truy hồi phương trình sau:

$$P_i(q_1, .., q_6).A_0^6 = O_6 \qquad v\square i \quad i = 1 \div n \qquad (7)$$

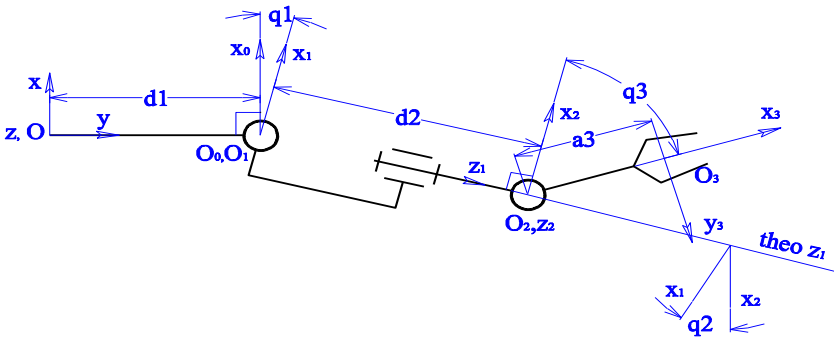
Số lượng điểm kiểm tra cần đủ dày để khẳng định lời giải là đúng.

MINH HỌA VỚI CÁC ROBOT KHÁC NHAU

Robot chuỗi ba bậc tự do



Hình 1. *Tay robot với vai trò đồ gá có chức năng ổn định thế của vật gá*

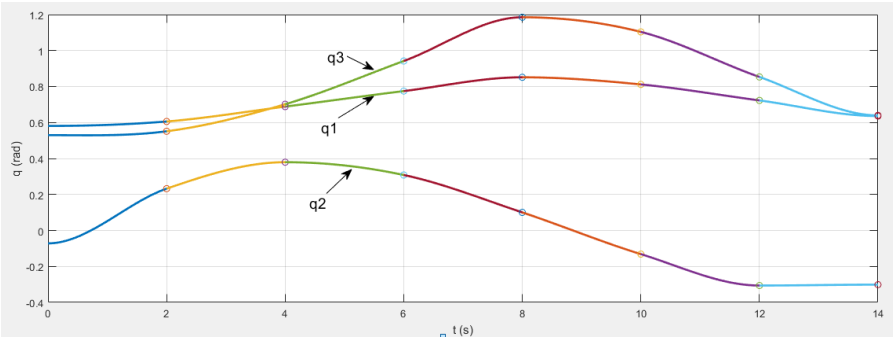


Hình 2. *Robot 3 bậc tự do*

Trong ví dụ này lấy: d_1 = 200 (mm); d_2 = 250 (mm) , a_3 = 165 (mm).

Tính toán được thế của O so với chuẩn quy chiếu O_3 dưới dạng lý thuyết là:

$$(A_3^O)^{-1} = A_O^3 = \begin{vmatrix} -s_1s_3 - c_1c_2c_3 & c_1s_3 + c_3s_1c_2 & c_3s_2 & -5(40c_1s_3 + 33 - 50s_3 + 40c_2c_3s_1) \\ c_3s_1 + c_1s_3c_2 & -c_1c_3 + c_2s_1s_3 & s_2s_3 & -50(-4c_1c_3 + 5c_3 + 4c_2s_1s_3) \\ c_1s_2 & s_1s_2 & -c_2 & -200s_1s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (8)$$



Hình 3. *Đặc tính của ba biến khớp khi bám quỹ đạo yêu cầu*

Giả sử sẽ di chuyển gốc O theo quỹ đạo là một đường tròn trong mặt phẳng xOz có tâm ở gốc O hiện thời và có bán kính là r = 45(mm).

Chuyển phương trình biểu diễn đường tròn f(x,y) trong hệ quy chiếu O_0 về biểu diễn trong hệ quy chiếu O_6 theo quan hệ sau:

$$(A_6^0)^{-1}.f(x,y,z)^{O_0} = f(x,y,z)^{O_6} \quad (9)$$

Giả sử tâm bàn tay O_3 được định vị trong hệ quy chiếu O ở tọa độ thực ứng với bộ tọa độ suy rộng (10^0,15^0,30^0):

$$A_3^O = \begin{vmatrix} 0.7370 & 0.6260 & 0.2549 & 165.0143 \\ 0.6377 & -0.7690 & 0.0449 & 59.0125 \\ 0.2241 & 0.1294 & -0.9659 & 36.9837 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

Ma trận chuyển đổi ngược (8) có dạng tọa độ thực là:

$$A_O^3 = \begin{vmatrix} 0.7370 & 0.6377 & 0.2241 & -167.5327 \\ 0.6260 & -0.7690 & 0.1294 & -62.7058 \\ 0.2549 & 0.0449 & -0.9659 & -8.9887 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (11)$$

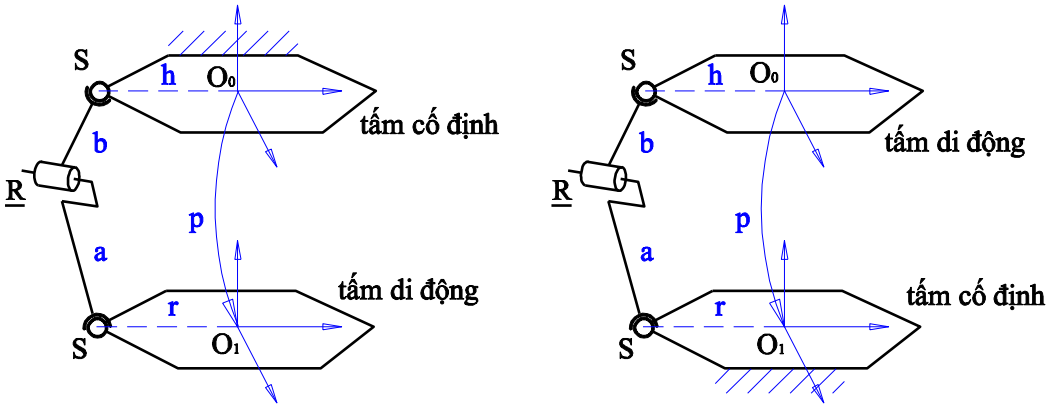
Chú ý rằng các ma trận (10) và (11) là nghịch đảo của nhau.

Xét các phương trình chuyển động thành lập được dưới dạng cùng biểu diễn trong hệ quy chiếu O_6 như (12):

$$f(x,y,z)^{O_6} = (A_6^0)^{-1} \quad (12)$$

Lời giải động học ngược bằng phương pháp GRG [6] cho quỹ đạo các biến khớp trong hình 3.

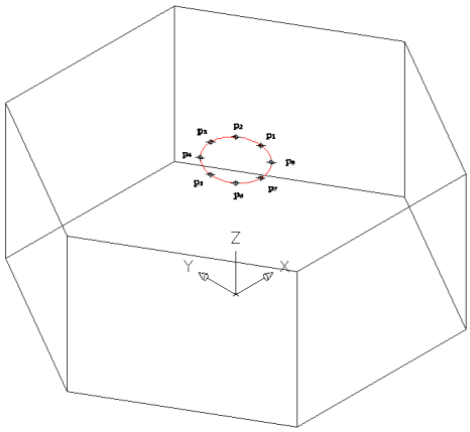
Robot song song 6 bậc tự do



Hình 4. *Robot song song cấu trúc SRS 6 bậc tự do trước và sau đổi giá*

Giả sử trên hình 4, tâm tấm cố định O_0 di chuyển theo quỹ đạo sau:

$$f(x,y,z) = (Rot(x,7^0).Trans(z,-22).(x^2 + y^2 = 30^2)).O_0(13)$$



Hình 5. *Quỹ đạo tâm giá O_0 trong hệ quy chiếu O_1 theo yêu cầu*

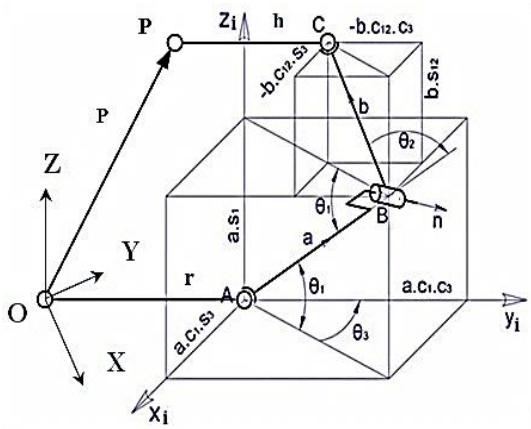
Trong khi đó cần ổn định tâm O_1 của tấm di động tại vị trí (14) so với O_0:

$$P = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 1 & 0 & -9 \\ 0 & 0 & 1 & -115 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad (14)$$

Như vậy nếu đổi giá sang O_1 định vị ở (14), quỹ đạo (13) có dạng:

$$f(x,y,z) = P^{-1}.(Rot(x,7^0).Trans(z,-22).(x^2 + y^2 = 30^2)).O_1 \qquad (15)$$

Để mô hình hóa robot này xét sơ đồ khai triển chi tiết một nhánh chân của nó như hình 6, ở trạng thái đã đổi giá.



Hình 6. *Khai triển chi tiết vòng kín trên một chân sau khi đổi giá*

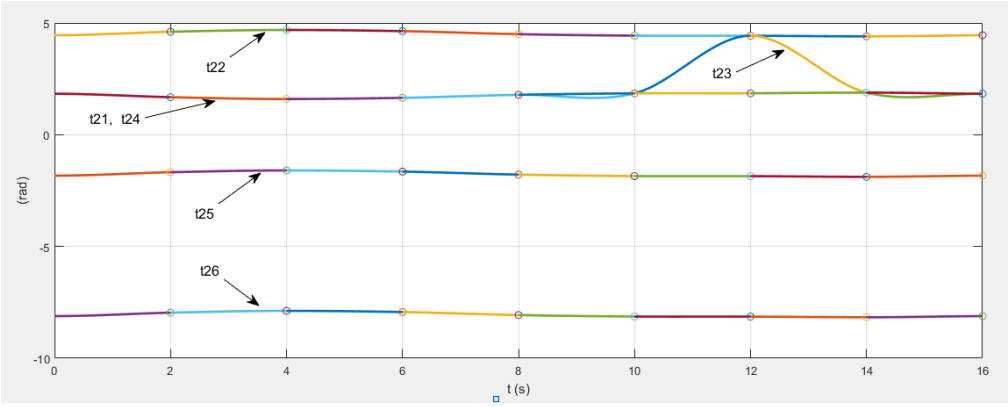
Trong hình 6, hai véc tơ r và h coi như chéo nhau trong không gian trong khi a và b là đồng phẳng do liên kết bởi khớp R.

$$\overrightarrow{OP} + R_{RPY}.\overrightarrow{PC_i} - \overrightarrow{OA_i} = \overrightarrow{A_iB_i} + \overrightarrow{B_iC_i}$$
$$\Leftrightarrow \overrightarrow{OP} = \overrightarrow{A_iB_i} + \overrightarrow{B_iC_i} - R_{RPY}.\overrightarrow{PC_i} + \overrightarrow{OA_i} \qquad (16)$$

Phương trình chi tiết theo biến suy rộng cho một chân có dạng:

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a.c\theta_{1i}.s\theta_{3i} + b.c(\theta_{1i} + \theta_{2i}).s\theta_{3i} \\ a.c\theta_{1i}.c\theta_{3i} + b.c(\theta_{1i} + \theta_{2i}).\mathrm{c}(\theta_{3i}) \\ a.s\theta_{1i} + b.s(\theta_{1i} + \theta_{2i}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{Ai} \\ y_{Ai} \\ z_{Ai} \end{bmatrix}$$
$$- \begin{bmatrix} c\beta.c\gamma & s\alpha.s\beta.c\gamma - c\alpha.s\gamma & c\alpha.s\beta.c\gamma + s\alpha.s\gamma \\ c\beta.s\gamma & s\alpha.s\beta.s\gamma + c\alpha.c\gamma & c\alpha.s\beta.s\gamma - s\alpha.c\gamma \\ -s\beta & s\alpha.c\beta & c\alpha.c\beta \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} x_{ci} \\ y_{ci} \\ z_{ci} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Sử dụng phương pháp GRG [6], các đặc tính 6 biến khớp nhận được khi điều khiển robot bám quỹ đạo yêu cầu như thấy trên hình 7.



Hình 7. *Đặc tính các biến khớp khi bám quỹ đạo yêu cầu*

Sai số đáp ứng khi kiểm tra vòng kín bằng phương trình động học thuận cho các robot nói trên vào khoảng 10^{-15} đến 10^{-22} khi thiết lập tùy chọn tính sai phân tới (forward) trong thuật toán GRG, giá trị này khi đơn vị đo sử dụng là mm hoàn toàn chấp nhận được.

KẾT LUẬN

Việc tính toán và điều khiển gá ổn định thế dạng chuỗi hoặc song song hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp đổi giá nêu trong bài. Do tính ngẫu nhiên của chuyển động mà giá thực hiện, chỉ cần lấy mẫu chuyển động của giá bằng các cảm biến gia tốc kết hợp với kỹ thuật trong bài để xác định đặc tính biến khớp. Trong đó tốc độ lấy mẫu và tốc độ tác động điều chỉnh của động cơ phải đủ nhanh. Với các cơ cấu mà giá chuyển động theo các quỹ đạo biết trước, hoàn toàn có thể thiết lập bài toán động học để lấy lời giải điều khiển cơ cấu như thực hiện trong bài này. Việc điều khiển các hệ dẫn động điện không liên tục, ngoài tiết kiệm năng lượng so với sử dụng con quay hồi chuyển còn ổn định được cả vị trí thay vì chỉ ổn định hướng cơ cấu.

Với các cơ cấu song song nên đổi giá ngay từ đầu thay vì sử dụng quan hệ nghịch đảo để tìm phương trình động học đổi giá của nó. Dù là cơ cấu chuỗi hay song song, bài toán động học cả hai chiều thuận nghịch luôn được phương pháp GRG [6] xử lý hoàn hảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. International Institute for Strategic Studies,"The Military Balance"(2014), pp.181.

2. Sổ tay tra cứu: "Vũ khí, kỹ thuật các quân đội nước ngoài"(1984) – Bản tiếng Nga,*Nhà xuất bản Quân sự Москва*.

3. Nguyễn Hữu Thăng (2002), "Vũ khí xưa và nay", *Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật*, Hà Nội, tr. 120-161.

4. Y. G. Martynenko, A. V. Lenskii, A. I. Kobrin, (2002), "Decomposition of the Problem of Controlling a Mobile One-Wheel Robot with an Unperturbed Gyrostabilized Platform," *Doklady Physics*, 47(10), pp. 772–774.

5. Y. G. Martynenko (2007), "Motion Control of Mobile Wheeled Robots", *Journal of Mathematical Science*, 147(2), pp. 6569–6606.

6. Phạm Thành Long, Nguyễn Hữu Công, Lê Thị Thu Thủy (2017)"Ứng dụng phương pháp Giảm Gradient tổng quát trong kỹ thuật robot"*Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật*.

ABSTRACT

CALCULATING A KINEMATIC STABILIZING FIXTURE WITH ROBOT STRUCTURE

Pham Thanh Long[1*], Le Thi Thu Thuy[1], Pham Duc Duong[2]

[1]*University of Technology - TNU*

[2]*Joint Stock Company 22 - Ministry of Defense*

This article presents the methodology for designing a fixture in the form of a manipulator. It has the kinematic stabilization function for the workpiece when the jack-horse has random movements. The fixture with the robot arm configuration-n generalized degrees of freedom has a head connecting the jack and a head holding the work needed kinematic stabilization. Normally, the stationary jack and the moving object, however, in some cases, when the moving jack changes the position and direction of the object causing certain damage, the fixture mechanism must have the function eliminating these movements of the jack to stabilize the kinematic of the object in order to keep it in the position and (or) the orient unchanged from the original. We rely on the robot kinematic problem based on the GRG method to perform these calculations. The results show that the theoretical calculations are completely accurate. This is the mathematical basis to control robot arms with special functions in the position stabilizing group of the object.

Keywords: *kinematic stabilization, robotic- type fixture, GRG, Inverse kinematic problem, jack conversion technique.*

Ngày nhận bài: 09/7/2018; Ngày phản biện: 14/7/2018; Ngày duyệt đăng: 31/8/2018

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