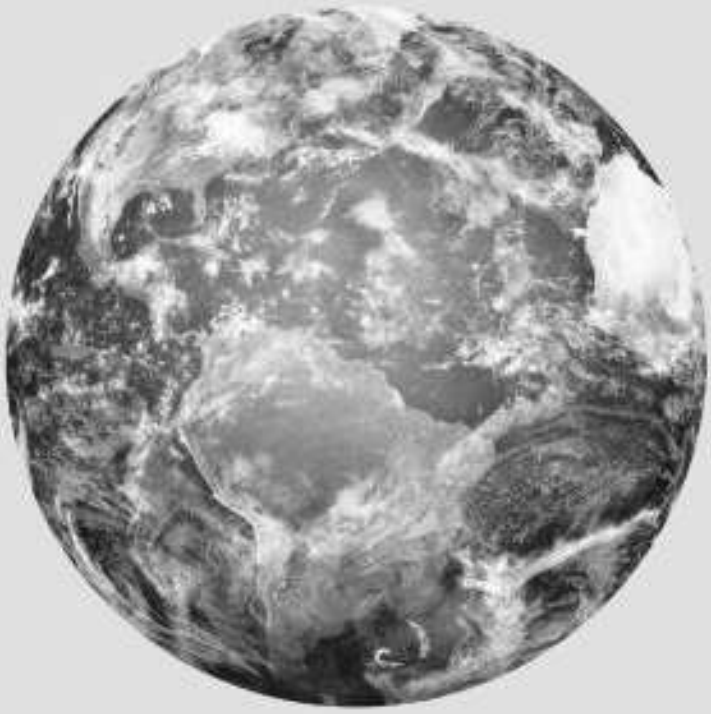
ERSD 2018

KỶ YẾU

HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Hà Nội, 07 - 12 - 2018

CƠ ĐIỆN



Nhà xuất bản giao thông vận tải

Chuyển đổi giữa góc tính toán và góc điều khiển của Robot Công nghiệp

Nguyễn Đức Khoát [1,*] , Phạm Minh Hải [1]
[1] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TÓM TẮT

Bài báo đề cập đến một ví dụ thực tiễn trong điều khiển Robot Rascal thông qua việc chuyển đổi góc tính toán trong bài toán động học ngược sang góc điều khiển thực tế trên Robot. Một ví dụ minh họa trong phòng thí nghiệm sử dụng thuật toán này cũng được trình bày.

Từ khóa: Động học Robot, Robot Rascal, Robot công nghiệp

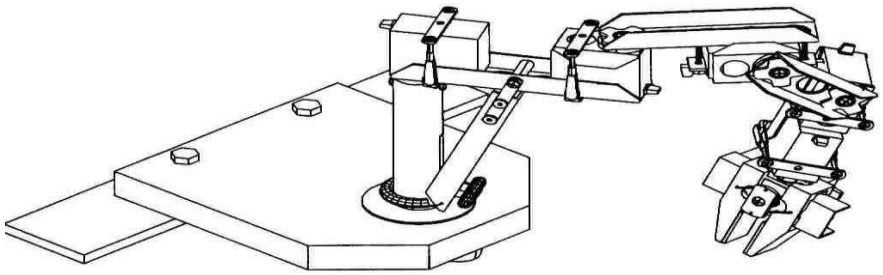
1. Đặt vấn đề

Bài toán điều khiển Robot được xác định thông qua giải các phương trình động học thuận và nghịch. Khi quy đạo chuyển động để gắp vật là xác định. Tuy nhiên việc giải các phương trình trên rất khó giải trực tiếp, và vấn đề này cũng xảy ra đối với hầu hết các tay máy robot. Vì thế, cần phải xây dựng các thuật toán hiệu quả có hệ thống để giải quyết dựa vào cấu trúc động học đặc biệt của từng tay máy. Trong khi vấn đề động học thuận luôn có lời giải duy nhất, bằng cách thay các giá trị góc tính toán của từng biến khớp vào các phương trình động học thuận, thì vấn đề động học ngược có thể không có lời giải. Chọn nghiệm cho bài toán động học ngược phụ thuộc vào yếu tố toán học và công nghệ. Ví dụ, chuyển động của khớp quay có thể bị giới hạn nhỏ hơn một vòng quay 360^0 đưa đến việc không phải tất cả nghiệm của phương trình động học đều có được vị trí vật lý thật tương ứng trên tay máy.

Chính vì lý do này bài báo đề cập đến một ví dụ thực tiễn trong điều khiển Robot Rascal thông qua việc chuyển đổi góc tính toán trong bài toán động học ngược sang góc điều khiển thực tế trên Robot được trình bày trong phần 2. Cuối bài báo là phần kết luận.

2. Bài toán điều khiển Robot Rascal

Mô hình nghiên cứu được thực hiện tại phòng thí nghiệm Bộ môn Tự động hóa. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng Robix-6, có cấu trúc kỹ thuật mô tả như trong Hình 1 (Robix Rascal Project Book, 2005).



Hình 1. Cấu trúc kỹ thuật Robix-6

Robot Rascal với các đường liên kế có thể tháo rời và lắp đặt tùy theo từng bái toán đặt ra, các khớp quay liên kết sử dụng động cơ servo với bước điều khiển từ -1400 ÷ +1400.

2.1. Động học thuận Robot Rascal

Để thực hiện bài toán điều khiển Robot, việc xác định các tham số về hệ tọa độ các khớp giữ vai trò quan trọng. Bộ tham số này được xác định thông qua các bước sau:

- **Bước 1:** Xác định các trục khớp và đặt tên tương ứng $z_0 \ldots z_{n-1}$.

* *Tác giả liên hệ*
Email: nguyenduckhoat@humg.edu.vn

- Bước 2: Xác lập hệ tọa độ nền. Đặt gốc của hệ tọa độ này tại bất kỳ điểm nào trên trục z_0. Các trục x_0 và y_0 được chọn thỏa qui tắc tam diện thuận. Lặp $i = 1,..., n-1$ lần thực hiện bước 3 đến bước 5.

- Bước 3: Xác định các gốc O_i là giao điểm của đường vuông góc chung giữa z_i và z_{i-1} với z_i. Nếu z_i giao với z_{i-1}, đặt O_i tại giao điểm này. Nếu z_i song song với z_{i-1}, đặt O_i tại bất kỳ vị trí nào trên z_i sao cho thuận tiện.

- Bước 4: Xác định x_i dọc theo đường vuông góc chung giữa z_{i-1} và z_i đi qua O_i, hoặc theo hướng vuông góc với mặt phẳng tạo bởi z_{i-1} và z_i nếu z_{i-1} và z_i giao nhau.

- Bước 5: Xác định y_i thỏa qui tắc tam diện thuận.

- Bước 6: Xác định hệ tọa độ tác động cuối $o_n x_n y_n z_n$. Giả sử khớp n là khớp quay, đặt $z_n = a$ dọc theo hướng z_{n-1}. Xác định gốc O_n bất kỳ trên z_n sao cho tuân thủ quy tắc bàn tay phải, thường là tâm của bộ kẹp hay tại đầu dụng cụ mà tay máy phải mang. Đặt $y_n = s$ theo hướng kẹp và đặt x_n theo s x a. Nếu dụng cụ kẹp không đơn giản thì đặt x_n và y_n tạo thành tam diện thuận.

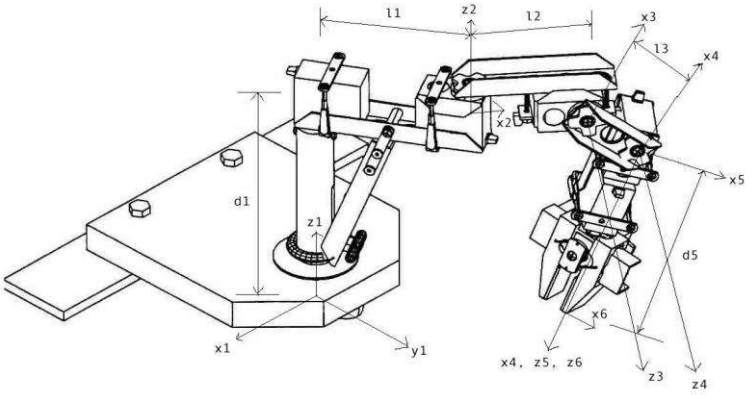
- Bước 7: Lập bảng tham số DH cho các khâu trên robot

- a_i : khoảng cách theo phương $\mathbf{x}_i$ từ O_i đến giao điểm của các trục $\mathbf{x}_i$ và $\mathbf{z}_{i-1}$.
- d_i : khoảng cách theo phương z_{i-1} từ O_{i-1} đến giao điểm của các trục $\mathbf{x}_i$ và $\mathbf{z}_{i-1}$, d_i thay đổi khi khớp i là khớp trượt.
- α_i : là góc quay quanh trục $\mathbf{x}_i$ từ $\mathbf{z}_{i-1}$ đến $\mathbf{z}_i$.
- θ_i : là góc quay quanh trục $\mathbf{z}_{i-1}$ từ $\mathbf{x}_{i-1}$ đến $\mathbf{x}_i$.

- Bước 8: Từ các ma trận biến đổi thuần nhất $\mathbf{A}_i$ bằng cách thay các tham số trên vào.

- Bước 9: Tính $T_n^0 = A_1 \dots A_n$. Ma trận này cho ta biết được vị trí và hướng đối với hệ tọa độ nền của tay kẹp gắn trên khâu cuối.

Căn cứ các bước từ 1-6, tham số các hệ toạ độ của bài toán được xác định và mô tả trong hình vẽ 2



Hình 2. Bộ tham số Denavit-Hartenberg

Với các tham số hệ toạ độ xác định, bộ các tham số DH của ma trận thuần nhất được xác định theo Bảng 1.

Bảng 1. Bộ tham số Denavit-Hartenberg

I	***li (cm)***	***di (cm)***	***αi (radians)***	***θi (radians)***
1	9.8	15.7	0	θ1 + π/2
2	9.6	0	π/2	θ2
3	6	0	0	θ3
4	0	0	π/2	θ4 + π/2
5	0	11	0	θ5

Ma trận thuần nhất Q_{PB} thể hiện mối quan hệ giữa các khớp của Robot được xác định:

$$Q_{PB}=\begin{bmatrix} -0.25\cos(\zeta)-0.25\cos(\varepsilon)+0.25\cos(\lambda)+0.5\sin(\delta)-0.5\sin(\gamma), \\ 0.25\sin(\varepsilon)-0.25\sin(\zeta)-0.25\sin(\eta)+0.25\sin(\lambda)+0.5\cos(\gamma)+0.5\cos(\delta), \\ -0.5\sin(\alpha)-0.5\sin(\rho), \\ -5.5\sin(\alpha)-5.5\sin(\rho)-3\sin(\theta_1+\theta_2+\theta_3)-3\sin(\theta_1+\theta_2-\theta_3)-9.6\sin(\theta_1+\theta_2)-9.8\sin(\theta_1) \\ \\ 0.25\sin(\eta)+0.25\sin(\lambda)-0.25\sin(\varepsilon)-0.25\sin(\zeta)+0.5\cos(\gamma)-0.5\cos(\delta), \\ -0.25\cos(\lambda)+0.25\cos(\eta)+0.25\cos(\zeta)-0.25\cos(\varepsilon)+0.5\sin(\delta)+0.5\sin(\gamma), \\ 0.5\cos(\rho)+0.5\cos(\alpha), \\ 5.5\cos(\rho)+0.5\cos(\alpha)+3\cos(\theta_1+\theta_2-\theta_3)+3\cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3)+9.6\cos(\theta_1+\theta_2)+9.8\cos(\theta_1) \\ \\ 0.5\cos(\theta_3+\theta_4-\theta_5)+0.5\cos(\theta_3+\theta_4+\theta_5), \\ -0.5\sin(\theta_3+\theta_4+\theta_5)+0.5\sin(\theta_3+\theta_4+\theta_5), \\ \sin(\theta_3+\theta_4), \\ 15.7+11\sin(\theta_3+\theta_4)+6\sin(\theta_3) \\ \\ 0,\ 0,\ 0,\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

với:

$\alpha = \theta1 + \theta2 + \theta3 + \theta4$; $\rho = \theta1 + \theta2 - \theta3 - \theta4$; $\gamma = \theta1 + \theta2 - \theta5$

$\delta = \theta1 + \theta2 + \theta5$; $\varepsilon = \theta1 + \theta2 + \theta3 + \theta4 + \theta5$; $\zeta = \theta1 + \theta2 + \theta3 + \theta4 - \theta5$

$\eta = \theta1 + \theta2 - \theta3 - \theta4 + \theta5$; $\lambda = \theta1 + \theta2 - \theta3 - \theta4 - \theta5$

2.2. Động học ngược Robot Rascal

Với ma trận Q_{PB}, việc điều khiển Robot chuyển động theo các góc tính toán cần được chuyển đổi sang góc điều khiển động cơ bước thực tế của Robot. Rascal với cấu hình gắp vật trong phòng thí nghiệm được điều khiển bởi 6 động cơ Servo với vị trí điều khiển mặc định từ *-1400 đến +1400* tương ứng với các góc điều khiển lớn nhất và nhỏ nhất trong bảng 2. Từ các vị trí điều khiển thực tế này việc chuyển đổi giữa góc tính toán ở bài toán động học thuận và góc điều khiển (bước điều khiển) được thể hiện tại Bảng 2.

Bảng 2. Tham số chuyển đổi góc điều khiển

Động cơ	Góc điều khiển lớn nhất	Góc điều khiển nhỏ nhất	Hệ số chuyển đổi thực (bước điều khiển/độ)	Hệ số chỉnh (góc 0^0 và vị trí ban đầu của khớp)
1	77	-73	-18.6666	37.3333
2	85	-89	-16.0919	-32.1800
3	87	-84	-16.3742	24.5614
4	83	-88	16.3742	40.9356
.	81	-100	-15.4500	-145.0000

Trong bài toán động học ngược Robot Rascal việc từ quỹ đạo làm việc của robot xác định lại các góc điều khiển tương ứng được tác giả thực hiện qua đoạn chương trình điều khiển chuyển động các khớp:

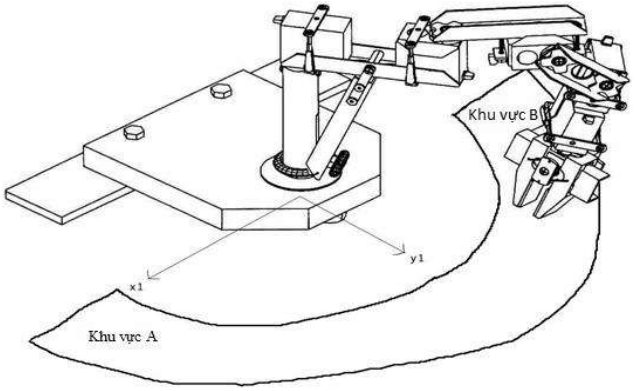
```
invert 1, 2, 3 on; invert 4, 5, 6 off
accdec all 200; maxspd all 25;
minpos all -1500; maxpos all 1500;
macro zpos; move all to 0; end
macro top; move 1, 4 to -280, 2, 5 to 100, 3, 6 to 250; end;
macro mid; move 1, 4 to 200, 2, 5 to 1100, 3, 6 to 750; end;
macro bot; move 1, 4 to 735, 2, 5 to maxpos, 3, 6 to 1000; end;
macro squat; top; mid; bot; mid; end;
macro rrub; move 1 to -280, 2 to 100, 3 to 250, 4 to 735, 5 to maxpos, 6 to 1000;
end;
macro lrub; move 1 to 735, 2 to maxpos, 3 to 1000, 4 to -280, 5 to 100, 6 to 250;
end;
macro rub; rrub; lrub; end;
```

```
macro rrock; move 1 to 1335, 2 to maxpos, 3 to maxpos, 4 to -578, 5 to -118, 6 to -
1096; end;
macro lrock; move 1 to -578, 2 to -118, 3 to -1096, 4 to -1335, 5 to maxpos, 6 to
maxpos; end;
macro rlean; move 1 to 1019, 2 to 94, 3 to 241, 4 to -1328, 5 to 94, 6 to 244; end;
macro llean; move 1 to -1328, 2 to 94, 3 to 244, 4 to 1019, 5 to 94, 6 to 241; end;
macro aframe;
move 1, 4 to 450, 2, 5 to 660, 3, 6 to -403; wait 3
move 1, 4 to 650, 2, 5 to 860, 3, 6 to -603; wait 10
move 1, 4 to 850, 2, 5 to 1060, 3, 6 to -803;
end;
macro manipulate;
squat 3; rub 3; mid; rrock; mid; lrock; mid;
top; llean; top; rlean; mid; aframe;
end;
zpos wait 20
top
wait 10
manipulate
```

2.3. Kết quả điều khiển

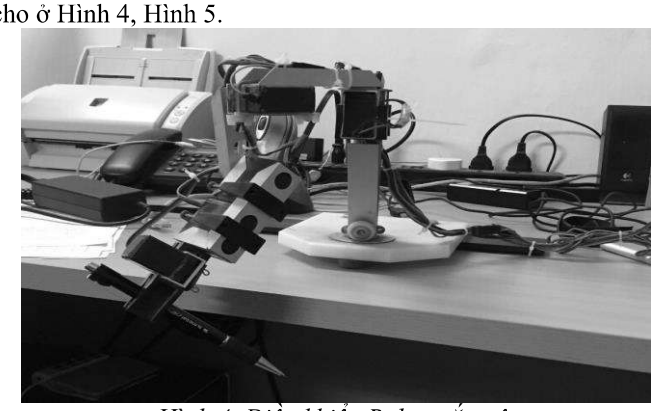
Bài toán điều khiển đặt ra:

- Di chuyển tay máy gắp vật từ vùng A chuyển sang vùng B.
- Với đoạn chương trình trong bài toán động học ngược vùng làm việc (quỹ đạo chuyển động) của Robot được xác định như Hình 3.

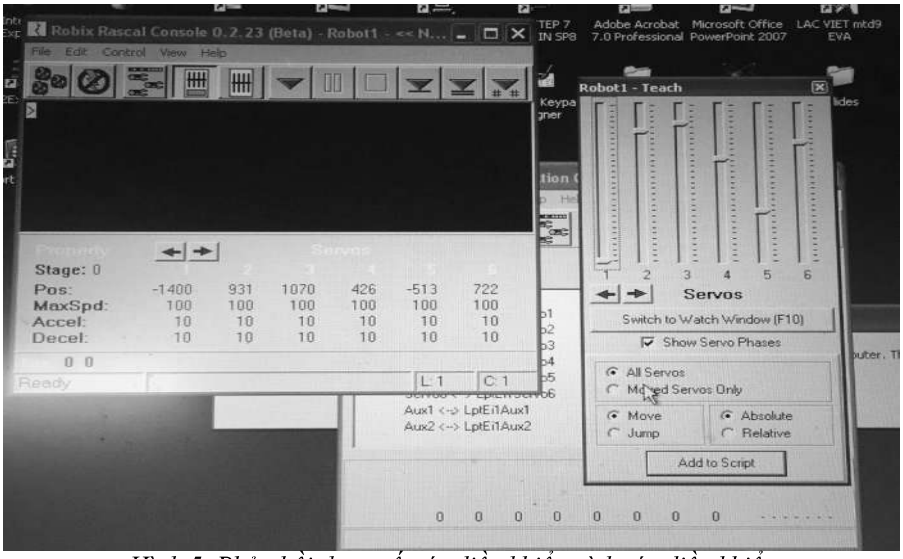


Hình 3. Vùng làm việc của Robot

Bài toán gắp vật và di chuyển một vật từ khu vực A sang khu vực B được thực hiện với các tham số điều khiển các khớp cho ở Hình 4, Hình 5.



Hình 4. Điều khiển Robot gắp vật



Hình 5. Phản hồi tham số góc điều khiển và bước điều khiển

3. Kết luận

Trong bài toán điều khiển Robot, việc xác định và đặt các hệ tọa độ thể hiện mối quan hệ giữa các khớp của Robot từ đó xác định bộ tham số DH, cũng như quỹ đạo chuyển động để giải quyết bài toán động học ngược giữ một vai trò hết sức quan trọng. Bài báo trình bày thuật toán chuyển đổi góc chuyển động của các khớp sang bước điều khiển của động cơ bước cũng như một ví dụ minh họa. Bài toán đặt ra tiếp theo là việc xây dựng bộ điều khiển tự động điều chỉnh tham số bám theo quỹ đạo làm việc cho trước thông qua bài toán nhận dạng và xử lý ảnh để điều chỉnh góc và bước điều khiển.

Tài liệu tham khảo

Desk@robix.com, www.Robix.com '*Robix Rascal Project Book'*, 2005

ABSTRACT

Converting between the computational angle and the actual control angle on the industrial robot

Nguyen Duc Khoat[1], Pham Minh Hai[1]
[1] *Hanoi University of Mining and Geology*

This paper discusses a practical example in controling Rascal robot through converting the computational angle in the inverse kinematics domain into the actual control angle on the robot. An illustrated example in the lab using this algorithm is also presented.

Keywords: Robot Kinematic, Rascal Robot, Industrial Robot