

PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN ROBOT TỌA ĐỘ CẦU KHỚP PHẪNG TRÊN MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC THEO BA PHƯƠNG X, Y, Z

LÊ MINH HÙNG, PHẠM KHẮC HUY

Trung tâm Cơ học máy

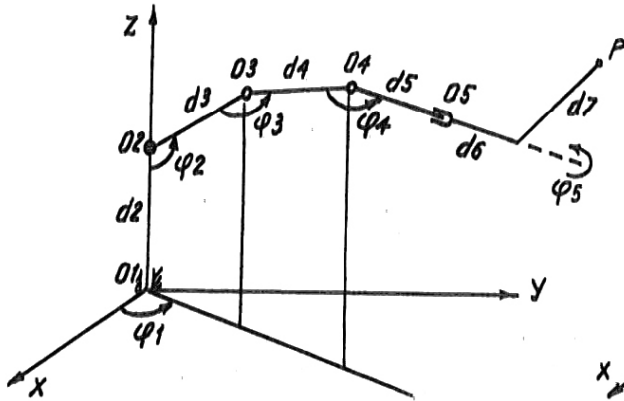
Viện Khoa học Việt Nam

I - ĐẶT VẤN ĐỀ

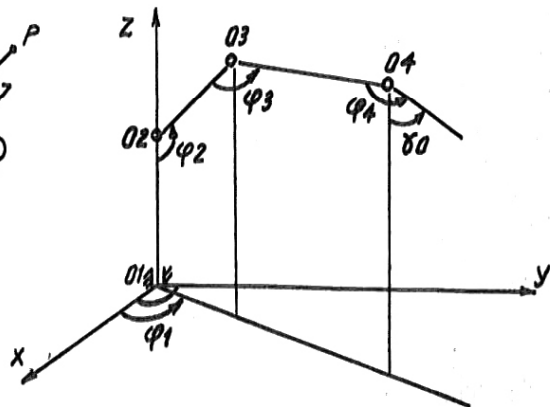
Để có được một thuật toán điều khiển Robot chúng ta cần dựa trên cơ sở lựa chọn một mô hình cấu trúc cơ học Robot đúng đắn. Trên mô hình cấu trúc, xác định được điểm đặc trưng và quỹ đạo chuyển động của nó. Chính những thông số động học và quỹ đạo chuyển động của điểm đặc trưng đó mới giúp cho ta có cơ sở để xây dựng mô hình điều khiển và xác lập các thuật toán điều khiển cho Robot.

II - PHÂN TÍCH MÔ HÌNH CƠ CẤU KHỚP PHẪNG

Trong các mô hình cơ học của Robot, mô hình cấu trúc có vùng làm việc cầu khớp là phức tạp nhất và phần lớn các loại Robot sơn, hàn, lắp ráp đều có hệ mô hình cầu khớp phẳng. Đặc trưng phẳng thể hiện như sau:



Hình 1. Đặc trưng động học cơ cấu Robot có vùng làm việc cầu khớp phẳng.



Hình 2. Xác định góc γ_0 của khâu đặc trưng

Các tâm O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 nằm trong cùng một mặt phẳng hợp với trục X của hệ tọa độ góc (O_1) một góc φ_1 .

Với cấu trúc 5 bậc tự do, khâu 6 là một khâu cứng góc khuỷu được chọn là 90° . Với giả thiết trên và với giả thiết là phương của khâu 6 (gồm 2 khâu d_6 và d_7) không đổi trong quá trình chuyển động, khâu 5 lắp đồng trục với khâu d_6 của khâu 6 cũng sẽ không đổi phương và được gọi là khâu đặc trưng, theo hình 2. Góc của khâu đặc trưng này không đổi và có giá trị:

$$\gamma_0 = \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 360^\circ \quad (1)$$

Mặt khác góc φ_5 cũng bằng hằng số được xác định trước trong quá trình điều khiển. Cho nên có thể xem tốc độ của tâm tọa độ O_4 cũng là tốc độ của điểm P (tâm bàn kẹp) và quỹ đạo, sai số quỹ đạo chuyển động của điểm P cũng là tâm O_4 . Do đó trong mô hình này thay vì xét điểm P ta xét điểm O_4 và gọi điểm O_4 là điểm đặc trưng.

III - XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ ĐỘNG HỌC CỦA ĐIỂM ĐẶC TRUNG

Từ hình 1 ta xác định được bán kính tọa độ điểm đặc trưng (O_4) theo công thức:

$$\vec{r}(O_4)_{4,1} = \prod_{n=k+1}^{n=3} A_{n,n-1} \cdot \vec{r}(O_4)_{4,3} \quad (2)$$

$$\vec{r}(O_4)_{4,1} = A_{2,1} \cdot A_{3,2} \cdot \vec{r}(O_4)_{4,3} \quad (3)$$

Trong đó:

$$A_{2,1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_1 & 0 & \sin \varphi_1 \\ 0 & \sin \varphi_1 & 0 & -\cos \varphi_1 \\ d_2 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$A_{3,2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ d_3 \sin \varphi_2 & \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ -d_3 \cos \varphi_2 & -\cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\vec{r}(O_4)_{4,3} = \begin{pmatrix} 1 \\ -d_4 \cos \varphi_3 \\ -d_4 \sin \varphi_3 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Thay (4), (5), (6), vào (3) ta có các tọa độ của điểm đặc trưng O_4 ở thời điểm i :

$$X'_{O_4} = d_3 \cos \varphi_1' \sin \varphi_2' - d_4 \cos \varphi_1' \sin \varphi_2' \cos \varphi_3' - d_4 \cos \varphi_1' \cos \varphi_2' \cos \varphi_3' \quad (7)$$

$$Y'_{O_4} = d_3 \sin \varphi_1' \sin \varphi_2' - d_4 \sin \varphi_1' \sin \varphi_2' \cos \varphi_3' - d_4 \sin \varphi_1' \cos \varphi_2' \sin \varphi_3' \quad (8)$$

$$Z'_{O_4} = d_2 - d_3 \cos \varphi_2' + d_4 \cos \varphi_2' \cos \varphi_3' - d_4 \sin \varphi_2' \sin \varphi_3' \quad (9)$$

Sau khi rút gọn ta có:

$$X_{O_4}^i = d_3 \cos \varphi_1^i \sin \varphi_2^i - d_4 \cos \varphi_1^i \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) \quad (10)$$

$$Y_{O_4}^i = d_3 \sin \varphi_1^i \sin \varphi_2^i - d_4 \sin \varphi_1^i \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) \quad (11)$$

$$Z_{O_4}^i = d_2 - d_3 \cos \varphi_2^i + d_4 \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i) \quad (12)$$

Khi đạo hàm các phương trình (10), (11), (12) ta có vận tốc thành phần của điểm đặc trưng

O_4

$$V_{X_{O_4}}^i = \omega_1 \sin \varphi_1^i [d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i] + \omega_2 \cos \varphi_1^i [d_3 \cos \varphi_2^i - d_4 \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i)] - \omega_3 d_4 \cos \varphi_1^i \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i) \quad (13)$$

$$V_{Y_{O_4}}^i = \omega_1 \cos \varphi_1^i [d_3 \sin \varphi_2^i - d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i)] + \omega_2 \sin \varphi_1^i [d_3 \cos \varphi_2^i - d_4 \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i)] - \omega_3 d_4 \sin \varphi_1^i \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i) \quad (14)$$

$$V_{Z_{O_4}}^i = \omega_2 [d_3 \sin \varphi_2^i - d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i)] - \omega_3 d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) \quad (15)$$

Từ các phương trình (10), (11), (12) xác định các chuyển vị của điểm đặc trưng O_4 theo quỹ đạo chuyển động ở thời điểm i và $i+1$

$$\Delta X_{O_4}^{i,i+1} = d_3 (\cos \varphi_1^{i+1} \sin \varphi_2^{i+1} - \cos \varphi_1^i \sin \varphi_2^i) + d_4 [\cos \varphi_1^i \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - \cos \varphi_1^{i+1} \sin(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1})] \quad (16)$$

$$\Delta Y_{O_4}^{i,i+1} = d_3 (\sin \varphi_1^{i+1} \sin \varphi_2^{i+1} - \sin \varphi_1^i \sin \varphi_2^i) + d_4 [\sin \varphi_1^i \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - \sin \varphi_1^{i+1} \sin(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1})] \quad (17)$$

Biến đổi (16), (17) theo góc φ_1 ta có:

$$\Delta X_{O_4}^{i,i+1} = \cos \varphi_1^{i+1} [d_3 \sin \varphi_2^{i+1} - d_4 \sin(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1})] + \cos \varphi_1^i [d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i] \quad (18)$$

$$\Delta Y_{O_4}^{i,i+1} = \sin \varphi_1^{i+1} [d_3 \sin \varphi_2^{i+1} - d_4 \sin(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1})] + \sin \varphi_1^i [d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i] \quad (19)$$

$$\Delta Z_{O_4}^{i,i+1} = d_3 (\cos \varphi_2^i - \cos \varphi_2^{i+1}) + d_4 [\cos(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1}) - \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i)] \quad (20)$$

IV - XÁC ĐỊNH THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA ROBOT THEO BA PHƯƠNG TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC

1. Thuật toán điều khiển theo phương Z

Theo phương này quỹ đạo hệ thống phải thỏa mãn hệ phương trình sau:

$$\Delta X^{i+1,i} = \Delta Y^{i+1,i} = 0 \quad (21)$$

$$V_{X_{O_4}} = V_{Y_{O_4}} = 0 \quad (22)$$

$$\Delta Z = \Delta Z_i \quad (23)$$

$$V_{Z_{O_4}} = V_{Z_P} = \text{const} \quad (V_{Z_P} \neq 0) \quad (24)$$

Từ 21 ta rút ra

$$\varphi_1^{i+1} = \varphi_1^i \quad (25)$$

Từ (25), (18), (19) ta có

$$\begin{aligned} \Delta X_{O_4}^{i+1,i} = \Delta Y_{O_4}^{i+1,i} = 0 = & d_3(\sin(\varphi_2^{i+1}) - \sin \varphi_2^i) \\ & + d_4[\sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - \sin(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1})] \end{aligned} \quad (26)$$

Từ (22), (25) và (13), (14) ta có

$$\omega_1 = 0 \quad (27)$$

$$\omega_2 = -\frac{V_{Z_F} \cdot \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i)}{d_3 \cdot \sin \varphi_3^i} \quad (28)$$

$$\omega_3 = \frac{V_{Z_F}}{d_3 \cdot d_4 \cdot \sin \varphi_3^i} [d_4 \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \cos \varphi_2^i] \quad (29)$$

$$\omega_4 = \frac{V_{Z_F} \cdot \cos \varphi_2^i}{d_4 \cdot \sin \varphi_3^i} \quad (30)$$

$$\omega_5 = 0 \quad (31)$$

Từ (26) ta có nhận xét:

- Trong phạm vi $90^\circ \leq \varphi_2 + \varphi_3 \leq 270^\circ$ thì $B_X = d_4[\sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - \sin(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1})]$ luôn luôn dương và $\Delta \varphi_2 = -\Delta \varphi_3$ ($\Delta \varphi_2 > 0$).

- Trong phạm vi $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$ thì $A_X = d_3(\sin \varphi_2^{i+1} - \sin \varphi_2^i)$ luôn luôn dương và $90^\circ < \varphi_2 < 180^\circ$ thì A_X luôn âm khi $\Delta \varphi_2 > 0$.

Từ (20) có nhận xét:

- Khi $90^\circ \leq \varphi_2 + \varphi_3 \leq 180^\circ$ thì $B_Z = d_4[\cos(\varphi_2^{i+1} + \varphi_3^{i+1}) - \cos(\varphi_2^i + \varphi_3^i)]$ luôn luôn âm.

- Khi $180^\circ < \varphi_2 + \varphi_3 < 270^\circ$ thì B_Z luôn âm và $B_Z = 0$ khi $\Delta \varphi_2 = \Delta \varphi_3$ $\Delta \varphi_2 > 0$.

- Khi $0 \leq \varphi_2 \leq 180^\circ$ thì $A_Z = d_3(\cos \varphi_2^i - \cos \varphi_2^{i+1})$ luôn dương.

2. Xét quỹ đạo chuyển động theo phương Y

Ta cũng xét các hệ phương trình sau:

$$\Delta X^{i+1,i} = \Delta Z^{i+1,i} = 0 \quad (32)$$

$$V_{X_{O_4}} = V_{Z_{O_4}} = 0 \quad (33)$$

$$\Delta Y = \Delta Y(t) \quad (34)$$

$$V_{Y_{O_4}} = V_{Y_F} = \text{const} \quad (V_{Y_F} \neq 0) \quad (35)$$

suy ra:

$$\omega_1 = -\frac{V_{Y_P} \cdot \cos \varphi_1^i}{d_4 \cdot \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i} \quad (36)$$

$$\omega_2 = \frac{V_{Y_P} \cdot \sin \varphi_1^i \cdot \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i)}{d_3 \cdot \sin \varphi_3^i} \quad (37)$$

$$\omega_3 = -\frac{V_{Y_P} \cdot \sin \varphi_1^i}{d_3 \cdot d_4 \cdot \sin \varphi_3^i} [d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i] \quad (38)$$

$$\omega_4 = -V_{Y_P} \frac{\sin \varphi_1^i \sin \varphi_2^i}{d_4 \cdot \sin \varphi_3^i} \quad (39)$$

$$\omega_5 = 0 \quad (40)$$

Trong tự ta cũng có:

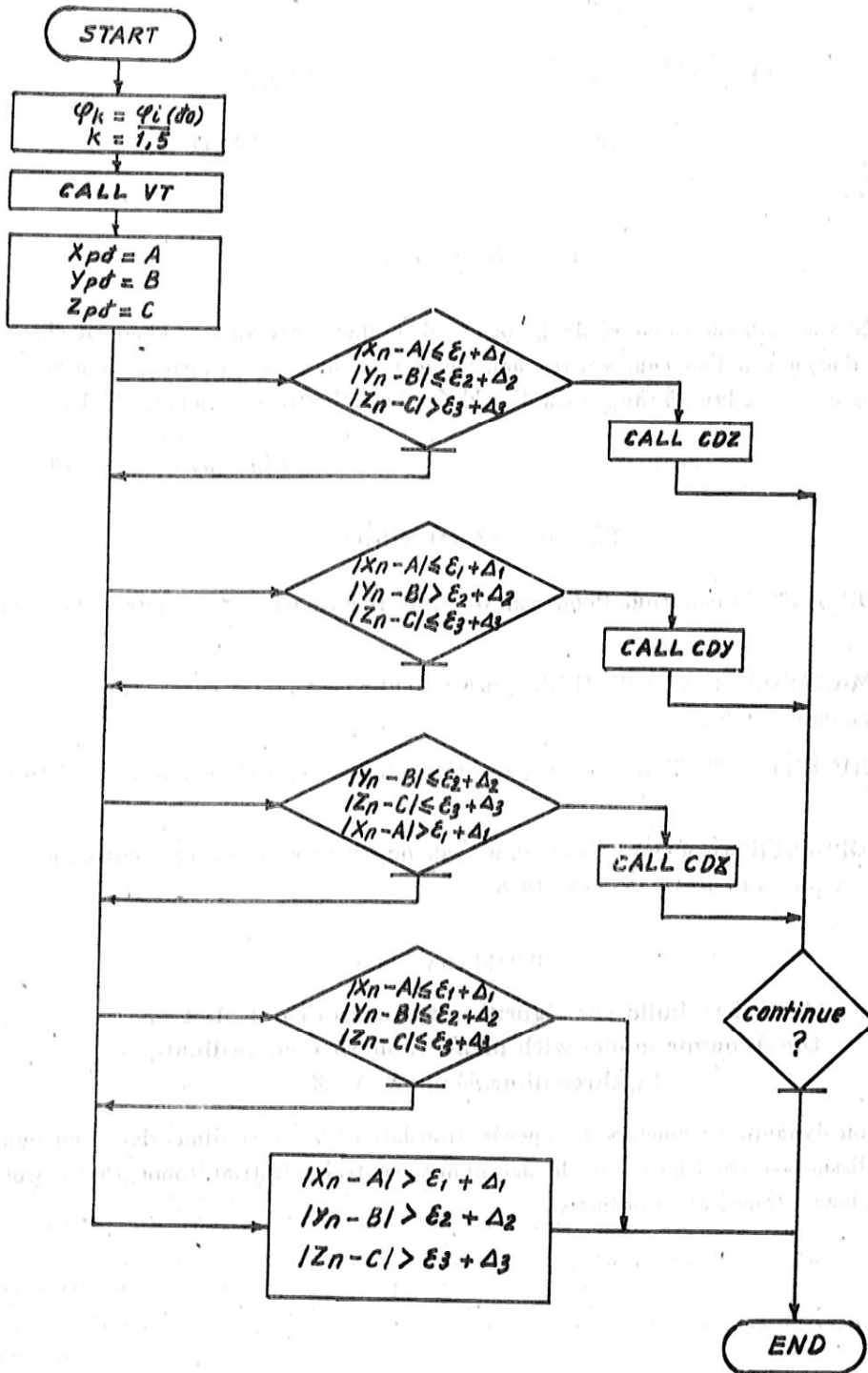
$$\begin{aligned} \Delta X_{O_4} &= \frac{d_3}{2} [\sin(\varphi_1 - \varphi_2) - \sin(\varphi_1 - \varphi_2 + 2\Delta\varphi_1)] \\ &+ \frac{d_4}{2} [\sin(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) - \sin(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + 2\Delta\varphi_1)] = 0 \\ \Delta Y_{O_4} &= \frac{d_3}{2} [\cos(\varphi_1 + \varphi_2) - \cos(\varphi_1 + \varphi_2 + 2\Delta\varphi_1)] \\ &+ \frac{d_4}{2} [\cos(\varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3) - \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 + 2\Delta\varphi_1)] \end{aligned}$$

8. Quỹ đạo chuyển động theo phương X

Ta có kết quả:

$$\begin{aligned} \Delta Y^{i+1,i} &= \Delta Z^{i+1,i} = 0 \\ V_{Y_{O_4}} &= V_{Z_{O_4}} = 0 \\ \Delta X &= \Delta X(t) \\ V_{X_{O_4}} &= V_{X_P} = \text{const} \quad (V_{X_P} \neq 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{V_{X_P} \cdot \sin \varphi_1^i}{d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i} \\ \omega_2 &= \frac{V_{X_P} \cdot \cos \varphi_1^i \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i)}{d_3 \cdot \sin \varphi_2^i} \\ \omega_3 &= \frac{V_{X_P} \cdot \cos \varphi_1^i [d_4 \sin(\varphi_2^i + \varphi_3^i) - d_3 \sin \varphi_2^i]}{d_3 \cdot d_4 \cdot \sin \varphi_3^i} \\ \omega_4 &= -\frac{V_{X_P} \cdot \cos \varphi_1^i \cdot \sin \varphi_2^i}{d_4 \cdot \sin \varphi_3^i} \\ \omega_5 &= 0 \end{aligned}$$



Hình 3. Sơ đồ thuật toán điều khiển chuyển động của Robot theo 3 phương X, Y, Z .

$$\Delta Y_{O_4} = \frac{d_3}{2} [\cos(\varphi_1 + \varphi_3) - \cos(\varphi_1 + \varphi_2 + 2\Delta\varphi_1)] \\ + \frac{d_4}{2} [\cos(\varphi_1 - \varphi_3) - \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 + 2\Delta\varphi_1)]$$

V - KẾT LUẬN

Qua việc xác định các thông số động học của điểm đặc trưng và việc khảo sát chiều biến thiên của quỹ đạo chuyển động cùng với việc hạn chế độ sai lệch chuyển vị theo các phương, chúng ta sẽ xây dựng được các lưu đồ thuật toán điều khiển cho Robot theo 3 phương X, Y, Z .

Nhận ngày 25 - 12 - 1991

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Е. И. ЮРЕВИЧ, Управление Robotами от ЭВМ. Издательство "Энегия" 1980. Ленинград.
2. И. М. МАКАРОВ, В. А. ЧИГАНОВ, Управляющие системы Robotов. Москва - "Машиностроение" 1984.
3. Ф. М. ДИМЕНТБЕРТ, Теория пространственных шарнирных механизмов. "НАУКА" 1982.
4. Е. И. ВОРОБЬЕВ, Уравнения динамики транспортных и ориентирующих движение промышленных Robotов. Москва 1978.

SUMMARY

Method to build the algorithm to control the Robot on the dynamic model with plane - spherical co-ordinate by three dimensions X, Y, Z

Basing on dynamic parameters as: speeds, translations on three dimensions and moving trajectory of distinctive point have tomade algorithm to control industrial Robot, that is working in zone with plane - spherical co-ordinate.