

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA



KHOA CƠ KHÍ



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
KỸ THUẬT ROBOT

Đề tài: ROBOT KUKA KR 4 AGILUS

GVHD: TS. Phạm Công Bằng

Lớp: DT01

Nhóm: Mysterious Engineers

| Họ và tên | Mã số sinh viên | Điểm số |
|----------------------|-----------------|---------|
| Phan Trung Đạt | 1910115 | |
| Phạm Thế Hùng | 1911992 | |
| Lê Nguyễn Quang Minh | 1911291 | |
| Đỗ Anh Tài | 1914155 | |

MỤC LỤC

| | |
|---|-----------|
| LỜI NÓI ĐẦU..... | ii |
| NỘI DUNG..... | 1 |
| 1. Giới thiệu về các thông số kĩ thuật của Robot KUKA KR4 AGILUS | 1 |
| 2. Đặt hệ tọa cho các khâu của Robot..... | 3 |
| 3. Xác định các thông số DH..... | 4 |
| 4. Bài toán động học thuận | 4 |
| 5. Bài toán động học nghịch..... | 6 |
| 6. Không gian làm việc của Robot..... | 8 |
| 7. Ma trận Jacobian..... | 9 |
| 8. Mô phỏng viết chữ | 10 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO..... | 12 |

LỜI NÓI ĐẦU

Ra đời từ giữa thế kỷ XIX, Robot công nghiệp đã và đang được ứng dụng để thay thế phần lớn các công việc lao động nặng nhọc cho con người. Đến cuối thế kỉ XIX, nhờ những tiến bộ kỹ thuật về vi xử lý và công nghệ thông tin thì Robot công nghiệp đã được cải thiện hiệu suất một cách vượt bậc khi có thể thực hiện nhiều công việc đòi hỏi tính chính xác cao và có khối lượng công việc lớn. Với sự bùng nổ cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4, Robot công nghiệp ngày nay như một cỗ máy được tích hợp thêm những bộ não giúp chúng trở nên thông minh hơn, tương tác với con người tốt hơn và có thể tự động lên kế hoạch cho các công việc tốt hơn.

Do tính ứng dụng cao, Robot công nghiệp cũng được phát triển theo nhiều hướng khác nhau tùy thuộc vào nhu cầu sản xuất của con người. Từ đó, Robot công nghiệp có rất nhiều hình dáng, kích thước, chủng loại khác nhau như: Robot song song, Mobile Robot, Cánh tay Robot, Robot hình người,... Trong đó, cánh tay Robot là loại phổ biến nhất và phát triển nhất, nhờ tính linh hoạt cũng như khả năng lao động như một con người. Cấu tạo của các Cánh tay Robot gồm các khớp xoay hoặc tịnh tiến nối tiếp với nhau giống như các khớp cánh tay của con người, nhờ vậy những công việc mà con người thực hiện thủ công đều có thể được thay thế bằng loại Robot này. Trên thế giới ngày nay có rất nhiều hãng sản xuất Robot lớn như: KUKA, Yaskawa, ABB, FANUC, Stäubli,...

Trong bài báo cáo này, nhóm chúng em sẽ trình bày về Robot KUKA KR 4 AGILUS – Một Cánh tay robot của hãng KUKA. Nội dung của bài báo cáo sẽ đi vào giới thiệu các thông số kỹ thuật, phân tích động học của Robot và mô phỏng chuyển động của Robot một cách trực quan bằng phần mềm Matlab.

NỘI DUNG

1. Giới thiệu về các thông số kỹ thuật của Robot KUKA KR4 AGILUS

KR 4 AGILUS: Robot nhỏ gọn, linh hoạt cho các ứng dụng khác nhau trong ngành công nghiệp điện tử. KR 4 AGILUS kết hợp thiết kế siêu nhỏ gọn, không gây nhiễu với hiệu suất tối ưu, robot nhỏ gọn và thực hiện nhiều nhiệm vụ khác nhau, chẳng hạn như xử lý và lắp ráp trong ngành công nghiệp điện tử hoặc trong các xí nghiệp tự động hóa nhỏ. Nó hoạt động đáng tin cậy và chính xác ngay cả với chu kỳ làm việc ngắn nhất.



Hình 1. Robot công nghiệp KUKA KR4 AGILUS

1.1 Thông số các trục của Robot

Robot KR 4 AGILUS có 6 trục, với thông số về phạm vi chuyển động được cho trong bảng sau:

| Axis | Motion range |
|------|--------------------------|
| A1 | $\pm 170^\circ$ |
| A2 | $-195^\circ / 40^\circ$ |
| A3 | $-115^\circ / 150^\circ$ |
| A4 | $\pm 185^\circ$ |
| A5 | $\pm 120^\circ$ |
| A6 | $\pm 350^\circ$ |

1.2 Thông số kỹ thuật

- + Phạm vi hoạt động tối đa: 601 mm
- + Độ chính xác lắp lại: $\pm 0,015$ mm
- + Tải trọng tối đa: 4,63 kg
- + Số trục: 6
- + Vị trí lắp đặt: Có thể lắp đặt linh hoạt ở sàn nhà, trần nhà, tường nhà hoặc góc nghiêng nào mà ta mong muốn.
- + Khối lượng robot: 27 kg

1.3 Điều kiện hoạt động

Nhiệt độ môi trường phù hợp cho quá trình hoạt động: từ 0°C đến 55°C (hay tương đương 273 K đến 328 K)

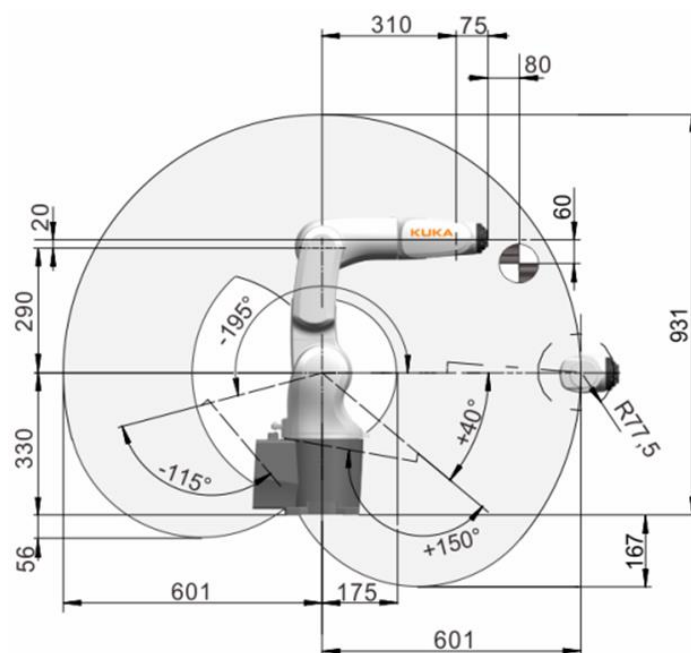
1.4 Bộ điều khiển

KUKA KR4 Agilus sử dụng bộ điều khiển KR C5 micro thể hệ mới có kích nhỏ gọn.

1.5 Chu kì làm việc

Tốc độ làm việc của Robot có thể đạt 152 chu kì một phút với tải trọng tối đa lên đến 3kg.

1.6 Không gian hoạt động



Hình 2. không gian làm việc của Robot KUKA KR4 AGILUS

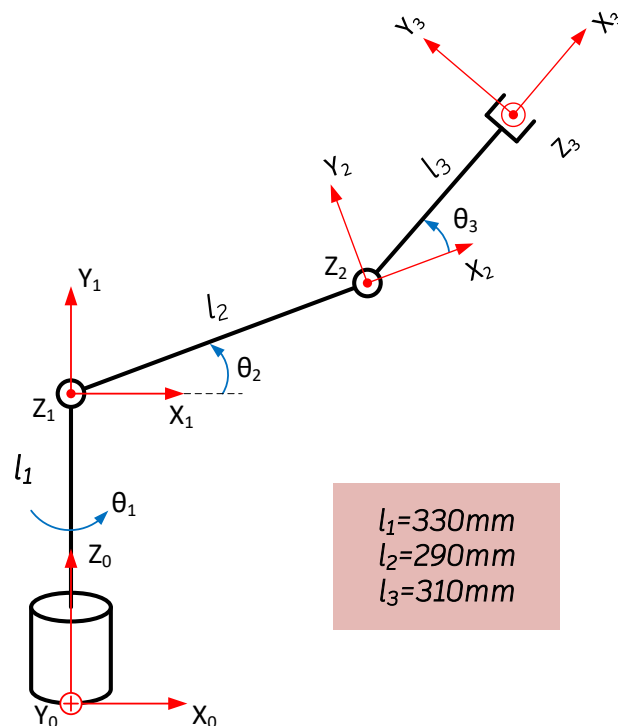
Phạm vi hoạt động tối đa robot đạt được theo phương thẳng đứng là $H_{reach} = 931$ mm và theo phương ngang $V_{reach} = 601$ mm.

2. Đặt hệ tọa độ cho các khâu của Robot

Trong bài báo này, nhóm chúng em thực hiện tính toán đối với 3 khâu đầu tiên của Robot, khâu thứ 3 được vẽ một mũi nhọn để biểu thị vị trí công tác một cách trực quan. Sau khi đặt trục tọa độ vào các khớp, Robot sẽ được mô phỏng chuyển động bằng phần mềm Matlab.



Hình 3. Robot KUKA KR4 AGILUS với 3 khâu đầu tiên



Hình 4. Đặt hệ tọa độ cho các khâu

3. Xác định các thông số DH

| i | a_i | α_i | d_i | θ_i |
|-----|-------|------------|-------|------------|
| 1 | 0 | 90° | l_1 | θ_1 |
| 2 | l_2 | 0° | 0 | θ_2 |
| 3 | l_3 | 0° | 0 | θ_3 |

4. Bài toán động học thuận

Quy ước: $s_{ij} = \sin(i + j)$; $c_{ij} = \cos(i + j)$; $c_i = \cos i$; $s_i = \sin i$

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 330 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 290\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 290\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & 310\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & 310\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Suy ra:

$${}^0_3T = {}^0_1T \times {}^1_2T \times {}^2_3T = \begin{bmatrix} c_{23}c_1 & -s_{23}c_1 & s_1 & 310c_1c_{23} + 290c_1c_2 \\ c_{23}s_1 & -s_{23}s_1 & -c_1 & 310s_1c_{23} + 290s_1c_2 \\ s_{23} & c_{23} & 0 & 310s_{23} + 290s_2 + 330 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

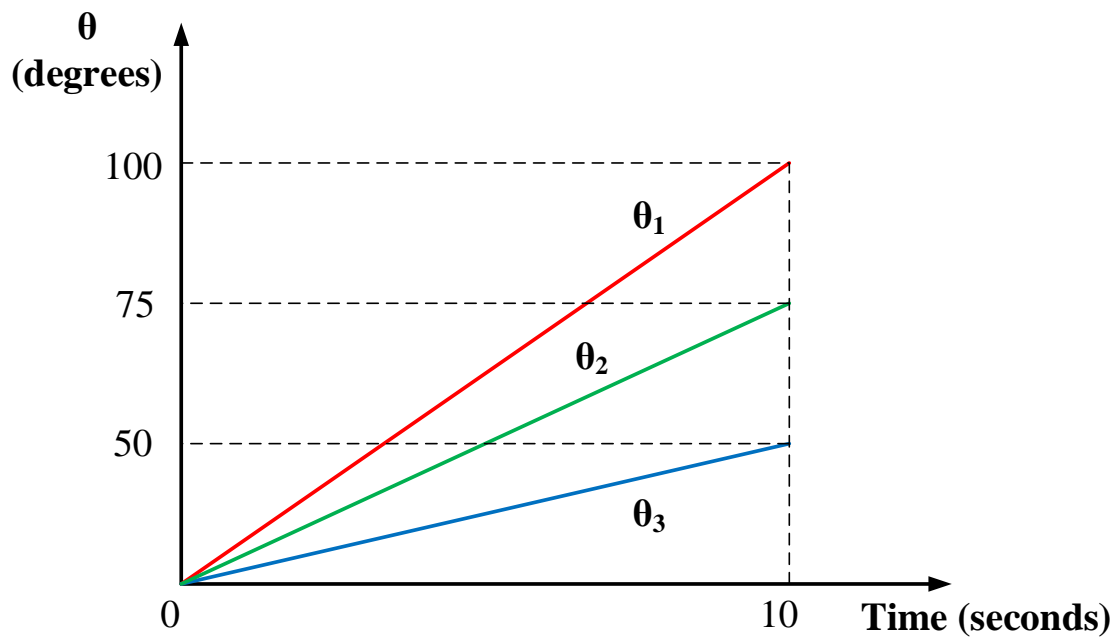
Tọa độ của điểm công tác:

$$\begin{cases} x = 310 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 290 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ y = 310 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 290 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ z = 310 \sin(\theta_2 + \theta_3) + 290 \sin \theta_2 + 330 \end{cases}$$

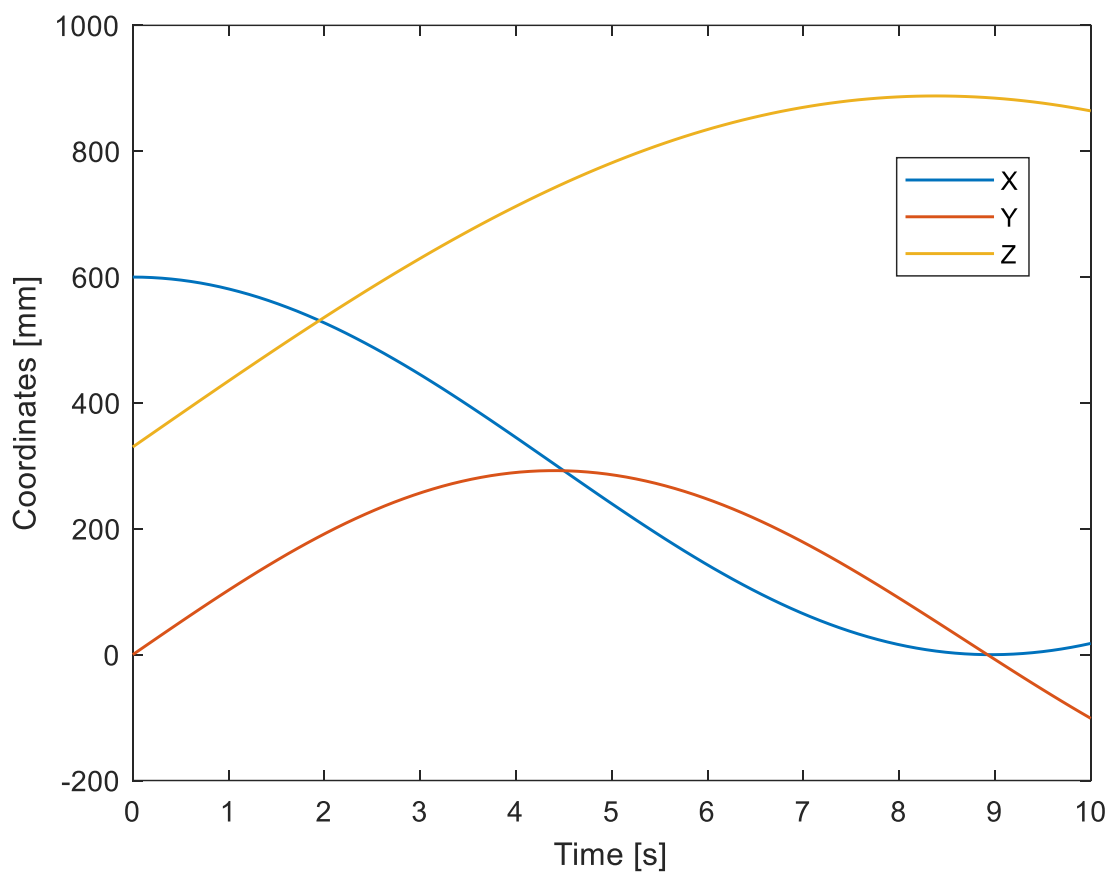
Xét trường hợp đơn giản: $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0^\circ$

$$\begin{cases} x = 600 \text{ (mm)} \\ y = 0 \text{ (mm)} \\ z = 330 \text{ (mm)} \end{cases}$$

Vẽ đồ thị cho trường hợp cụ thể, cho các góc θ_1 , θ_2 , θ_3 thay đổi theo thời gian từ 0 đến 10 giây và khảo sát sự biến thiên của tọa độ điểm công tác như sau:



Hình 5. Sự thay đổi các góc θ_1 , θ_2 , θ_3 trong thời gian từ 0 đến 10 giây

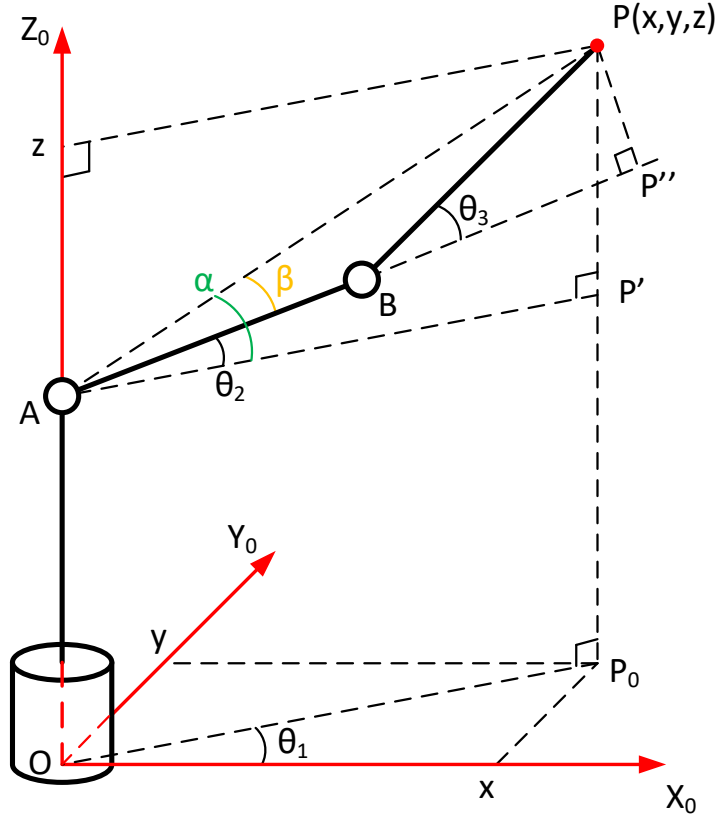


Hình 6. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi tọa độ của điểm công tác

5. Bài toán động học nghịch

Áp dụng phương pháp hình học khi tay máy ở một vị trí bất kì như hình vẽ dưới đây.

Với: $OA = l_1$; $AB = l_2$; $BP = l_3$



Hình 7. Hình học cho bài toán động học nghịch

- **Tìm góc θ_1**

Chiếu điểm P (điểm công tác) lên mặt phẳng OX_0Y_0 . Khi đó góc hợp bởi đoạn thẳng OP_0 và trục X_0 là góc quay của khớp thứ nhất θ_1 . Do đó:

$$\tan \theta_1 = \frac{y}{x}$$

$$\Rightarrow \theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{y}{x}\right)$$

- **Tìm góc θ_3**

Áp dụng định lí hàm Cos cho $\triangle ABP$, ta có:

$$AP^2 = AB^2 + BP^2 + 2AB \cdot BP \cdot \cos \theta_3$$

$$\Rightarrow \cos \theta_3 = \frac{AP^2 - AB^2 - BP^2}{2AB \cdot BP} \quad (1)$$

Xét $\triangle APP'$ vuông tại P' , có:

$$\begin{cases} AP' = OP_0 = \sqrt{x^2 + y^2} \\ PP' = PP_0 - P'P_0 = z - l_1 \end{cases}$$

Theo định lý Pytago, ta có:

$$AP^2 = AP'^2 + PP'^2 = x^2 + y^2 + (z - l_1)^2 \quad (2)$$

Từ (1) (2) suy ra:

$$\cos \theta_3 = \frac{AP^2 - AB^2 - BP^2}{2AB \cdot BP} = \frac{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3}$$

Ta chọn góc θ_3 là góc âm, nghĩa là khâu cuối luôn gấp xuống phía mặt đất nên:

$$\sin \theta_3 = -\sqrt{1 - \cos^2 \theta_3}$$

$$\Rightarrow \theta_3 = \text{atan2} \left(\frac{\sin \theta_3}{\cos \theta_3} \right) = \text{atan2} \left(\frac{-\sqrt{1 - \cos^2 \theta_3}}{\cos \theta_3} \right)$$

- **Tìm góc θ_2**

Theo hình vẽ, ta có:

$$\theta_2 = \alpha - \beta$$

Chiều P xuống phương của đoạn thẳng AB được điểm P''. Xét $\Delta APP''$ vuông tại P'' có:

$$\begin{aligned} \tan \beta &= \frac{PP''}{AP''} = \frac{l_3 \sin \theta_3}{l_2 + l_3 \cos \theta_3} \\ \Rightarrow \beta &= \text{atan2} \left(\frac{l_3 \sin \theta_3}{l_2 + l_3 \cos \theta_3} \right) \end{aligned}$$

Xét $\Delta APP'$ vuông tại P', có:

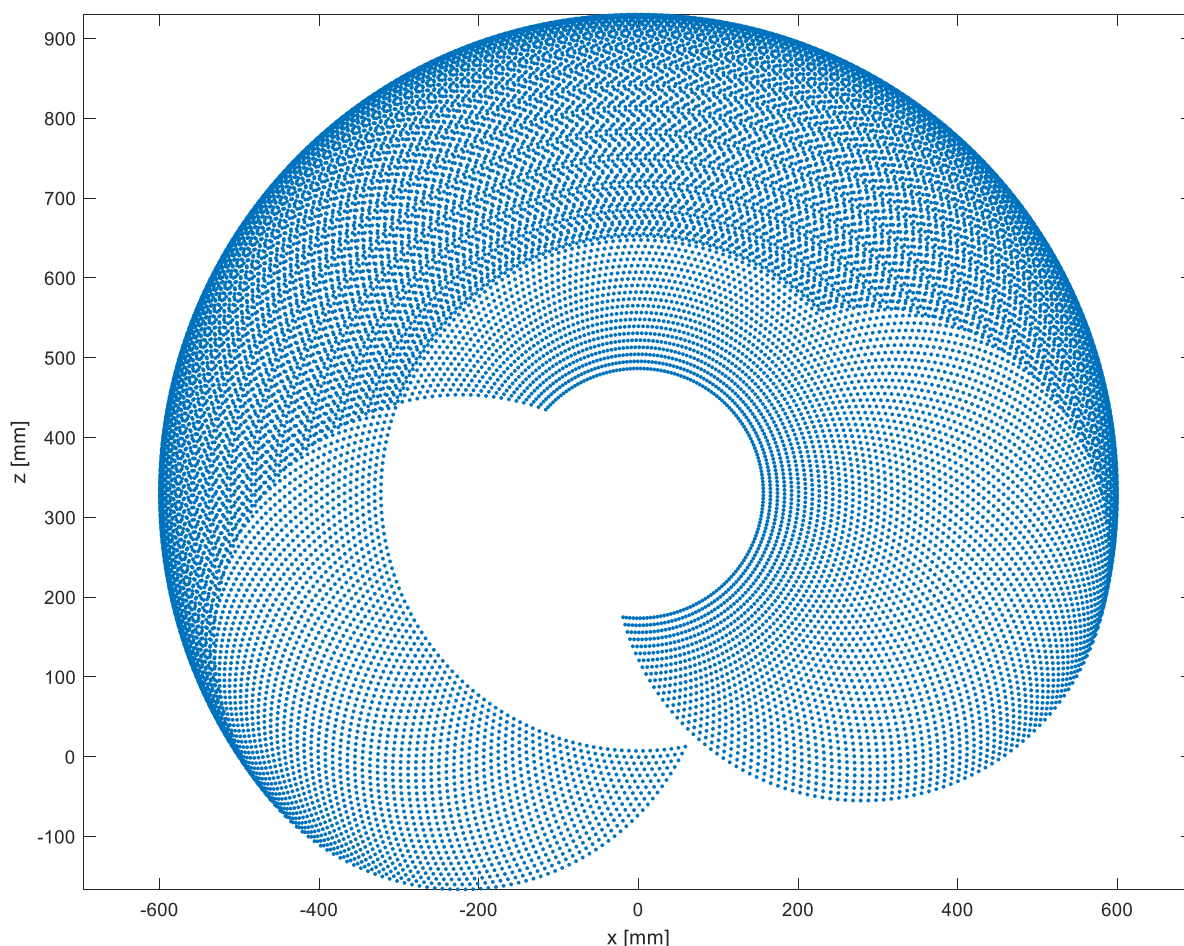
$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{PP'}{AP'} = \frac{z - l_1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \\ \Rightarrow \alpha &= \text{atan2} \left(\frac{z - l_1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \end{aligned}$$

Từ đó suy ra:

$$\theta_2 = \alpha - \beta = \text{atan2} \left(\frac{z - l_1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \text{atan2} \left(\frac{l_3 \sin \theta_3}{l_2 + l_3 \cos \theta_3} \right)$$

6. Không gian làm việc của Robot

Không gian làm việc của robot trong mặt phẳng Oxz . Giới hạn góc xoay của các khớp theo datasheet của nhà sản xuất: $\theta_2: -40^\circ \rightarrow 195^\circ$; $\theta_3: -150^\circ \rightarrow 115^\circ$, ta được đồ thị như hình sau đây.



Hình 8. Không gian hoạt động của robot trong mặt phẳng Oxz

Nhận xét: Không gian hoạt động của Robot có hình dáng tương tự với datasheet của nhà sản xuất. Từ hình trên có thể thấy không gian hoạt động của robot có mật độ khác nhau ở khác vùng: thưa ở phía trong và dày đặc hơn khi tiến ra vùng biên. Mật độ này gọi là **độ phân giải** của robot và quyết định đến độ chính xác lặp lại của robot khi vận hành. Ở vùng có độ phân giải thấp, robot sẽ hoạt động ít chính xác hơn (sai số cao hơn). Còn ở vùng có độ phân giải cao, robot sẽ hoạt động càng chính xác và chính xác nhất là ở vùng biên ngoài. Vì thế, khi robot thực hiện một công việc đòi hỏi độ chính xác cao, người vận hành sẽ cố gắng để cho Robot luôn hoạt động ở vùng có độ phân giải cao để đạt hiệu quả công việc cao nhất.

7. Ma trận Jacobian

Quy ước: $s_{ij} = \sin(i + j)$; $c_{ij} = \cos(i + j)$; $c_i = \cos i$; $s_i = \sin i$

Tọa độ của điểm công tác:

$$\begin{cases} x = 290 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + 310 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ y = 290 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + 310 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ z = 290 \sin \theta_2 + 310 \sin(\theta_2 + \theta_3) + 330 \end{cases}$$

Đạo hàm các biểu thức theo thời gian, ta được:

$$\begin{cases} \dot{x} = -s_1(290c_2 + 310c_{23})\dot{\theta}_1 - c_1(290s_2 + 310s_{23})\dot{\theta}_2 - 310c_1s_{23}\dot{\theta}_3 \\ \dot{y} = c_1(290c_2 + 310c_{23})\dot{\theta}_1 - s_1(290s_2 + 310s_{23})\dot{\theta}_2 - 310s_1s_{23}\dot{\theta}_3 \\ \dot{z} = (290c_2 + 310c_{23})\dot{\theta}_2 + 310c_{23}\dot{\theta}_3 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s_1(290c_2 + 310c_{23}) & -c_1(290s_2 + 310s_{23}) & -310c_1s_{23} \\ c_1(290c_2 + 310c_{23}) & -s_1(290s_2 + 310s_{23}) & -310s_1s_{23} \\ 0 & 290c_2 + 310c_{23} & 310c_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

Ma trận Jacobian của robot là:

$${}^0J = \begin{bmatrix} -s_1(290c_2 + 310c_{23}) & -c_1(290s_2 + 310s_{23}) & -310c_1s_{23} \\ c_1(290c_2 + 310c_{23}) & -s_1(290s_2 + 310s_{23}) & -310s_1s_{23} \\ 0 & 290c_2 + 310c_{23} & 310c_{23} \end{bmatrix}$$

Điểm kì dị (Singularity)

$$|{}^0J| = -899000 \sin \theta_3 (31 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 29 \cos \theta_2) = 0$$

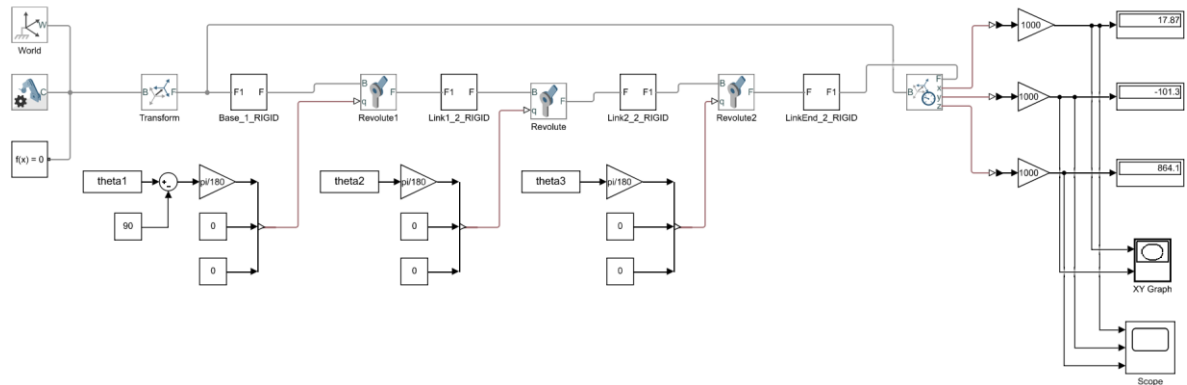
Giải phương trình trên kết hợp với điều kiện giới hạn quay của các biến khớp ta tìm được các điểm kì dị sau:

$$\theta_3 = 0^\circ \text{ hoặc } \begin{cases} \theta_2 = 90^\circ \\ \theta_3 = 0^\circ \end{cases}$$

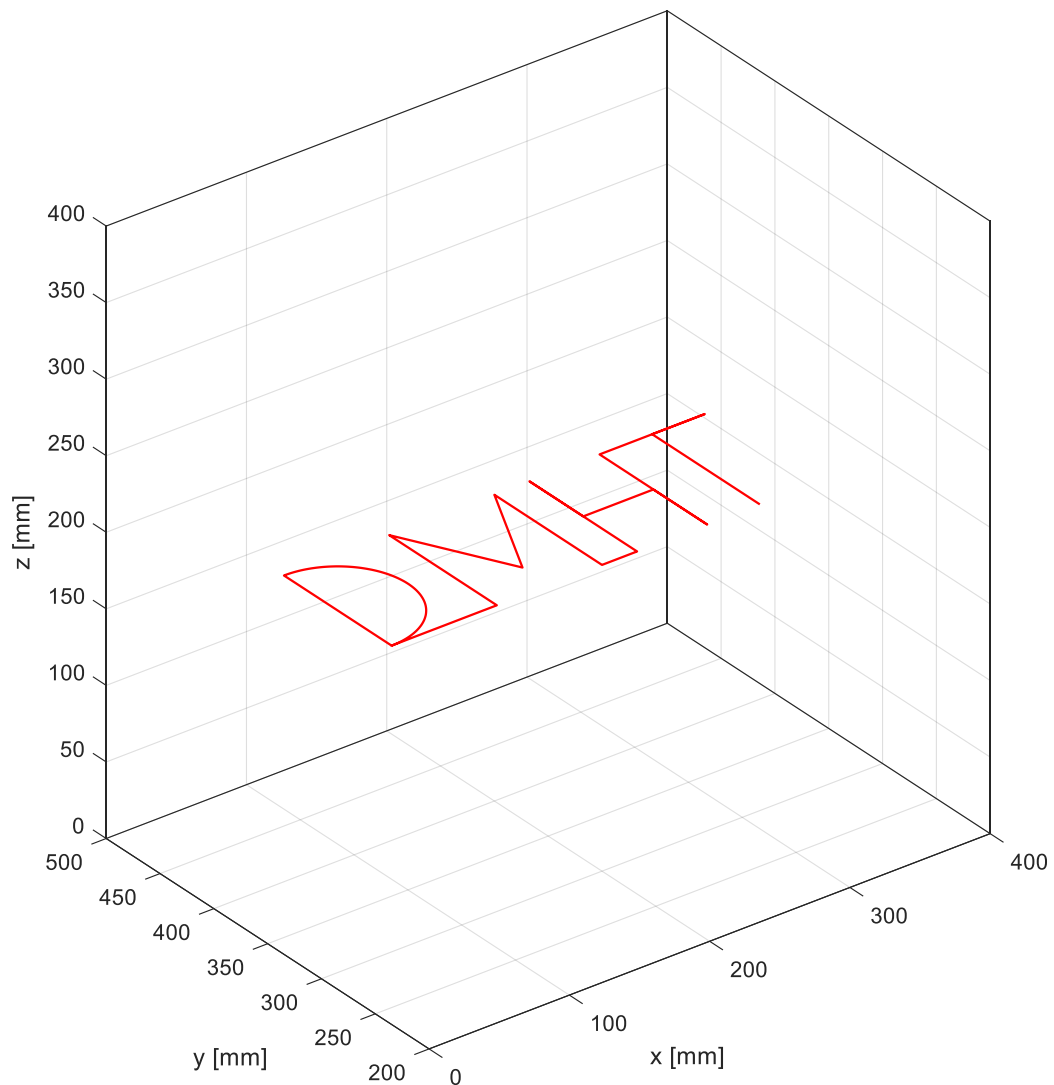
Nhận xét: Khi robot di chuyển qua vị trí $\theta_3 = 0^\circ$ làm robot mất 1 bậc tự do tức thời. Khi robot di chuyển qua vị trí mà $\theta_2 = 90^\circ$ và $\theta_3 = 0^\circ$ làm robot mất 2 bậc tự do tức thời.

8. Mô phỏng viết chữ

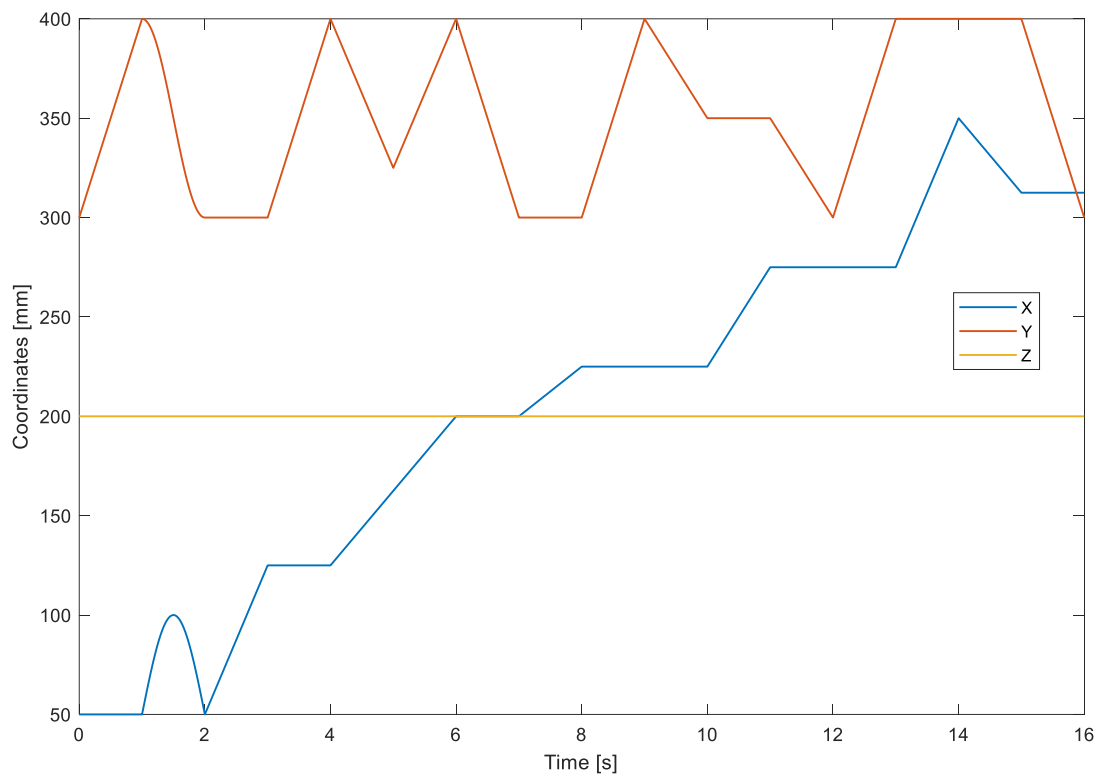
Sau khi có được sơ đồ Simulink của Robot trong Matlab, ta tiến hành thêm các khối chức năng để được sơ đồ sau đây:



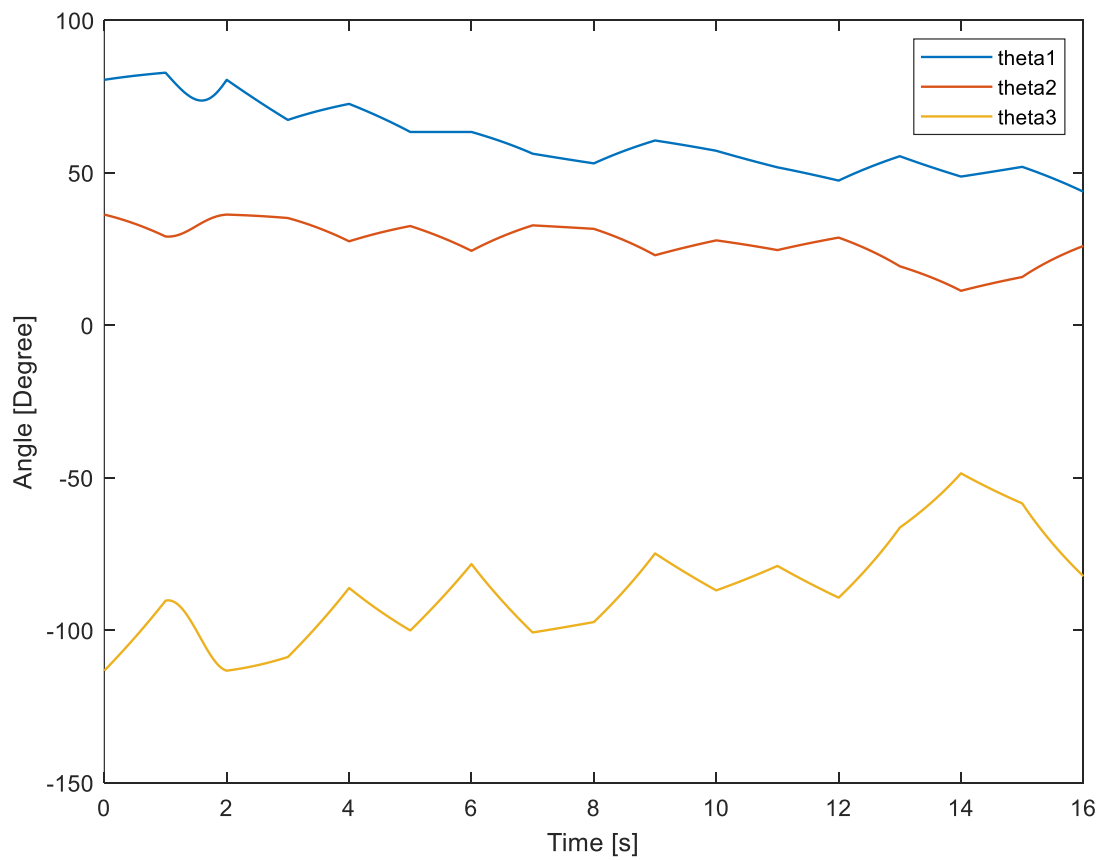
Hình 9. Sơ đồ Simulink trong Matlab



Hình 10. Vẽ chữ cái đầu của tên các thành viên (Dat-Minh-Hung-Tai)



Hình 11. Đồ thị sự thay đổi của tọa độ điểm công tác theo thời gian



Hình 12. Đồ thị sự thay đổi của các góc khớp theo thời gian

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] GS.TS. Đào Văn Hiệp (2013), *Kỹ thuật Robot*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội
- [2] John J. Craig (2005), *Introduction to Robotics – Mechanics and Control*, Pearson Education International, U.S.A
- [3] Reza N. Jazar (2010), *Theory of Applied Robotics – Kinematics, Dynamics and Control*, Springer Science & Business Media, U.S.A