

www.mientayvn.com

Khi đọc qua tài liệu này, nếu phát hiện sai sót hoặc nội dung kém chất lượng xin hãy thông báo để chúng tôi sửa chữa hoặc thay thế bằng một tài liệu cùng chủ đề của tác giả khác. Tài liệu này bao gồm nhiều tài liệu nhỏ có cùng chủ đề bên trong nó. Phần nội dung bạn cần có thể nằm ở giữa hoặc ở cuối tài liệu này, hãy sử dụng chức năng Search để tìm chúng.

Bạn có thể tham khảo nguồn tài liệu được dịch từ tiếng Anh tại đây:

http://mientayvn.com/Tai_lieu_da_dich.html

Thông tin liên hệ:

Yahoo mail: thanhlam1910_2006@yahoo.com

Gmail: frbwrthes@gmail.com

Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây

**DỊCH VỤ
DỊCH
TIẾNG
ANH
CHUYÊN
NGÀNH
NHANH
NHẤT VÀ
CHÍNH
XÁC
NHẤT**

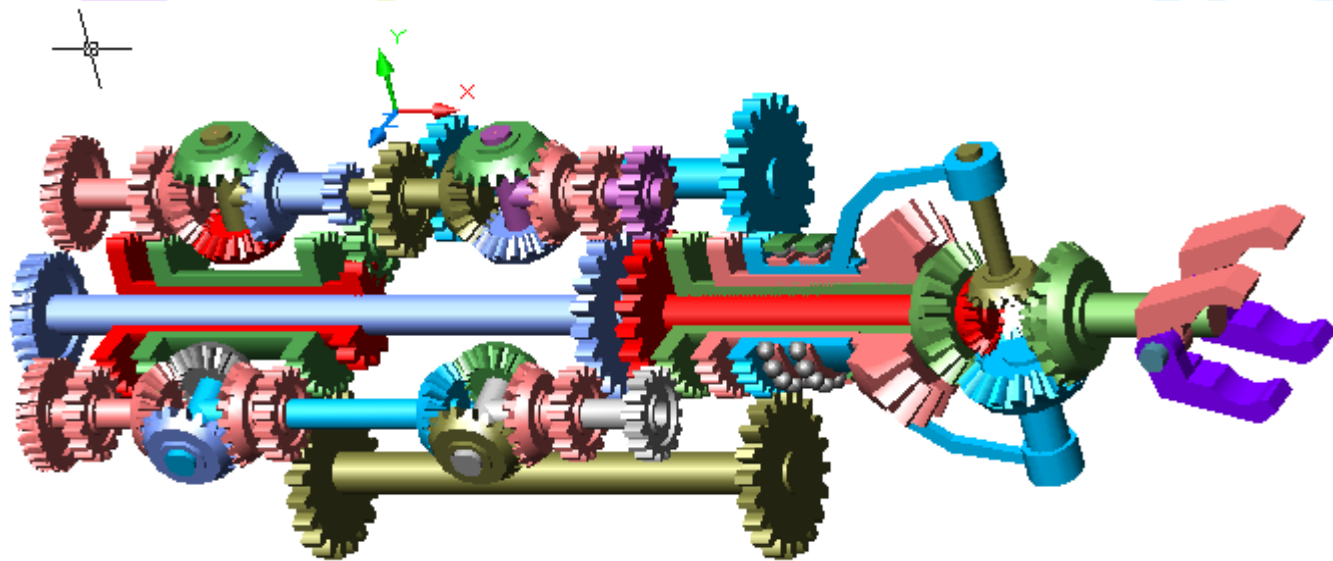
Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tạo dựng niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

ROBOT CÔNG NGHIỆP

ROBOT CÔNG NGHIỆP



B
Ộ
M
ÔN
M
Á
Y
&
T
Ự
Đ
ỘNG
H
ÓA

Nội dung môn học gồm ba phần

1. Các khái niệm cơ bản, nền tảng cơ học – cơ khí trong kết cấu robot.
2. Điều khiển robot.
3. Ứng dụng robot.

Tài liệu tham khảo:

1. Modernling and control robotic.
2. Robotic control.
3. Robot và hệ thống công nghệ robot hoá.
4. Kỹ thuật robot.
5. Robot công nghiệp.

Các lĩnh vực có quan hệ chặt chẽ:

1. Toán học cao cấp.
2. Cơ lí thuyết.
3. Cơ học máy.
4. Kỹ thuật điều khiển.
5. Động học và động lực học máy.
5. Công nghệ thông tin.

Chương 1: Các vấn đề cơ bản về robot. (3 tiết)

1.1. Các khái niệm cơ bản và phân loại robot:

1.1.1. Robot và robotic:

Theo tiêu chuẩn AFNOR của pháp:

Robot là một cơ cấu chuyển đổi tự động có thể chương trình hoá, lập lại các chương trình, tổng hợp các chương trình đặt ra trên các trục toạ độ; có khả năng định vị, di chuyển các đối tượng vật chất; chi tiết, dao cụ, gá lắp ... theo những hành trình thay đổi đã chương trình hoá nhằm thực hiện các nhiệm vụ công nghệ khác nhau.

Theo tiêu chuẩn VDI 2860/BRD:

Robot là một thiết bị có nhiều trục, thực hiện các chuyển động có thể chương trình hóa và nối ghép các chuyển động của chúng trong những khoảng cách tuyến tính hay phi tuyến của động trình. Chúng được điều khiển bởi các bộ phận hợp nhất ghép kết nối với nhau, có khả năng học và nhớ các chương trình; chúng được trang bị dụng cụ hoặc các phương tiện công nghệ khác để thực hiện các nhiệm vụ sản xuất trực tiếp hay gián tiếp.

Theo tiêu chuẩn GHOST 1980:

Robot là máy tự động liên kết giữa một tay máy và một cụm điều khiển chương trình hoá, thực hiện một chu trình công nghệ một cách chủ động với sự điều khiển có thể thay thế những chức năng tương tự của con người.

Bên cạnh khái niệm robot còn có khái niệm robotic, khái niệm này có thể hiểu như sau:

Robotics là một ngành khoa học có nhiệm vụ nghiên cứu về thiết kế, chế tạo các robot và ứng dụng chúng trong các lĩnh vực hoạt động khác nhau của xã hội loài người như nghiên cứu khoa học - kỹ thuật, kinh tế, quốc phòng và dân sinh.

Robotics là một khoa học liên ngành gồm cơ khí, điện tử, kỹ thuật điều khiển và công nghệ thông tin. Nó là sản phẩm đặc thù của ngành cơ điện tử (mechatronics).

1.1.2. Robot công nghiệp:

Mặc dù lĩnh vực ứng dụng của robot rất rộng và ngày càng được mở rộng thêm, song theo thống kê về các ứng dụng robot sau đây chúng được sử dụng chủ yếu trong công nghiệp, vì vậy khi nhắc đến robot người ta thường liên tưởng đến robot công nghiệp.

Lĩnh vực	1985	1990
Hàn	35%	5%
Phục vụ máy NC và hệ thống TĐLH	20%	25%
Đúc	10%	5%
Lắp ráp	10%	35%
Phun phủ	10%	5%
Sơn	5%	15%
Các ứng dụng khác	10%	10%

Robot công nghiệp là một lĩnh vực riêng của robot, nó có đặc trưng riêng như sau:

- Là thiết bị vận năng được TĐH theo chương trình và có thể lập trình lại để đáp ứng một cách linh hoạt khéo léo các nhiệm vụ khác nhau.
- Được ứng dụng trong những trường hợp mang tính công nghiệp đặc trưng như vận chuyển và xếp dỡ nguyên vật liệu, lắp ráp, đo lường.

Do có hai đặc trưng trên nên robot công nghiệp có thể định nghĩa như sau:

Theo Viện nghiên cứu robot của Mỹ đề xuất:

RBCN là tay máy vận năng, hoạt động theo chương trình và có thể lập trình lại để hoàn thành và nâng cao hiệu quả hoàn thành các nhiệm vụ khác nhau trong công nghiệp, như vận chuyển nguyên vật liệu, chi tiết, dụng cụ hoặc các thiết bị chuyên dùng khác.

Hay theo định nghĩa GHOST 25686 – 85 như sau:

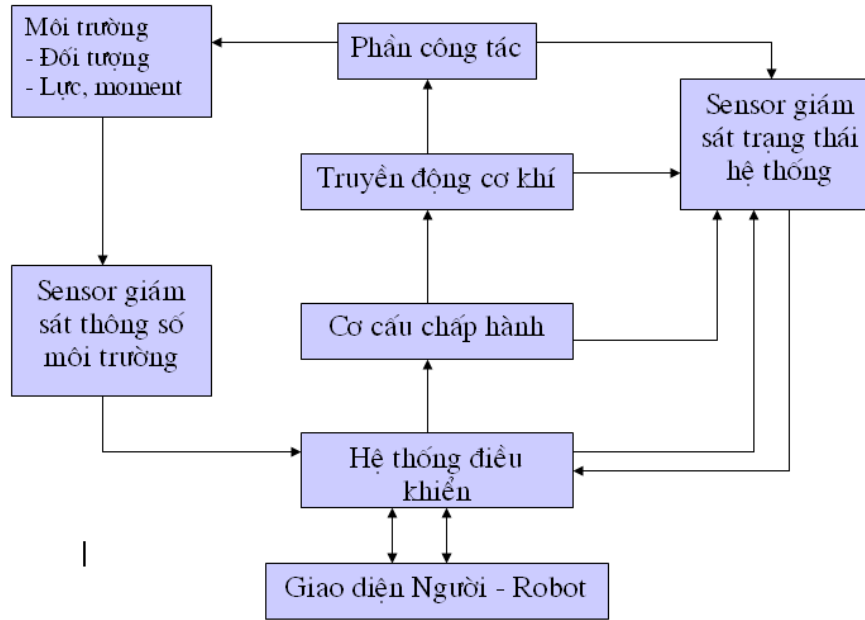
RBCN là tay máy được đặt cố định hay di động, bao gồm thiết bị thừa hành dạng tay máy có một số bậc tự do hoạt động và thiết bị điều khiển theo chương trình, có thể tái lập trình để hoàn thành các chức năng vận động và điều khiển trong quá trình sản xuất.

Trong môn học này chỉ đi sâu nghiên cứu về robot công nghiệp trên các khía cạnh phân tích lựa chọn sử dụng, khai thác...

1.2. Các cấu trúc cơ bản của robot công nghiệp:

1.2.1. Cấu trúc chung:

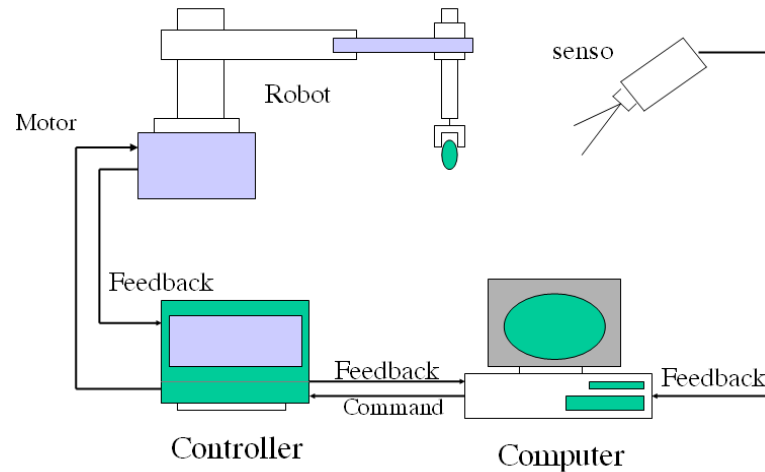
Một RBCN bao gồm các phần cơ bản sau:



Tay Máy: (Manipulator) là cơ cấu cơ khí gồm các khâu, khớp. Chúng hình thành **cánh tay**(arm) để tạo các chuyển động cơ bản, **Cổ tay** (Wrist) tạo nên sự khéo léo, linh hoạt và **bàn tay** (Hand) hoặc **phần công tác** (End Effector) để trực tiếp hoàn thành các thao tác trên đối tượng.

Hệ thống cảm biến: gồm các sensor và thiết bị chuyển đổi tín hiệu khác. Các robot cần hệ thống sensor trong để nhận biết trạng thái của bản thân các cơ cấu của robot và các sensor ngoài để nhận biết trạng thái của môi trường.

Cơ cấu chấp hành: tạo chuyển động cho các khâu của tay máy. Nguồn động lực của các cơ cấu chấp hành là động cơ các loại: Điện, thuỷ lực, khí nén hoặc kết hợp giữa chúng.



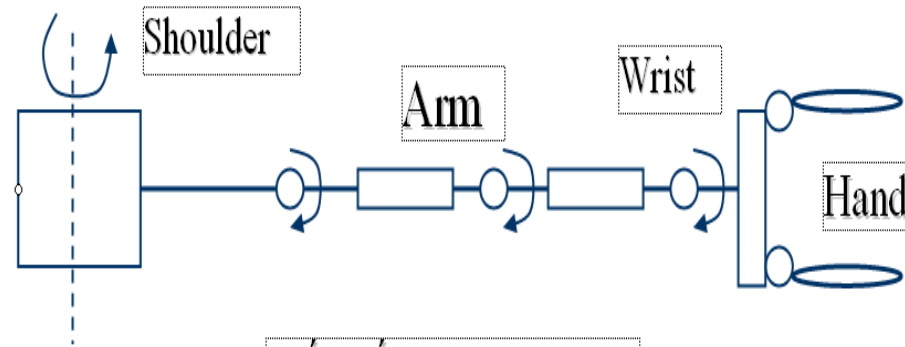
Hệ thống điều khiển: (controller) hiện nay thường là hệ thống điều khiển số có máy tính để giám sát và điều khiển hoạt động của robot

1.2.2. Kết cấu tay máy:

Tay máy là phần cơ sở quyết định khả năng làm việc của robot. Đó là phần cơ khí đảm bảo cho robot khả năng chuyển động trong không gian và khả năng làm việc như- nâng, hạ vật, lắp ráp... Tay máy hiện nay rất đa dạng và nhiều loại khác xa với tay người. Tuy nhiên, trong kỹ thuật robot vẫn dùng các thuật ngữ quen thuộc để chỉ các bộ phận của tay máy như vai (*shoulder*), Cánh tay (*Arm*), cổ tay (*Wrist*), bàn tay (*Hand*) và các khớp (*Articulations*),...

Trong thiết kế quan tâm đến các thông số có ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của robot như:

- Sức nâng, độ cứng vững, lực kẹp của tay...
- Tầm với hay vùng làm việc: Kích thước và hình dáng vùng mà phần làm việc có thể với tới.
- Sự khéo léo, là khả năng định vị và định hướng phần công tác trong vùng làm việc.



Kết cấu tay máy

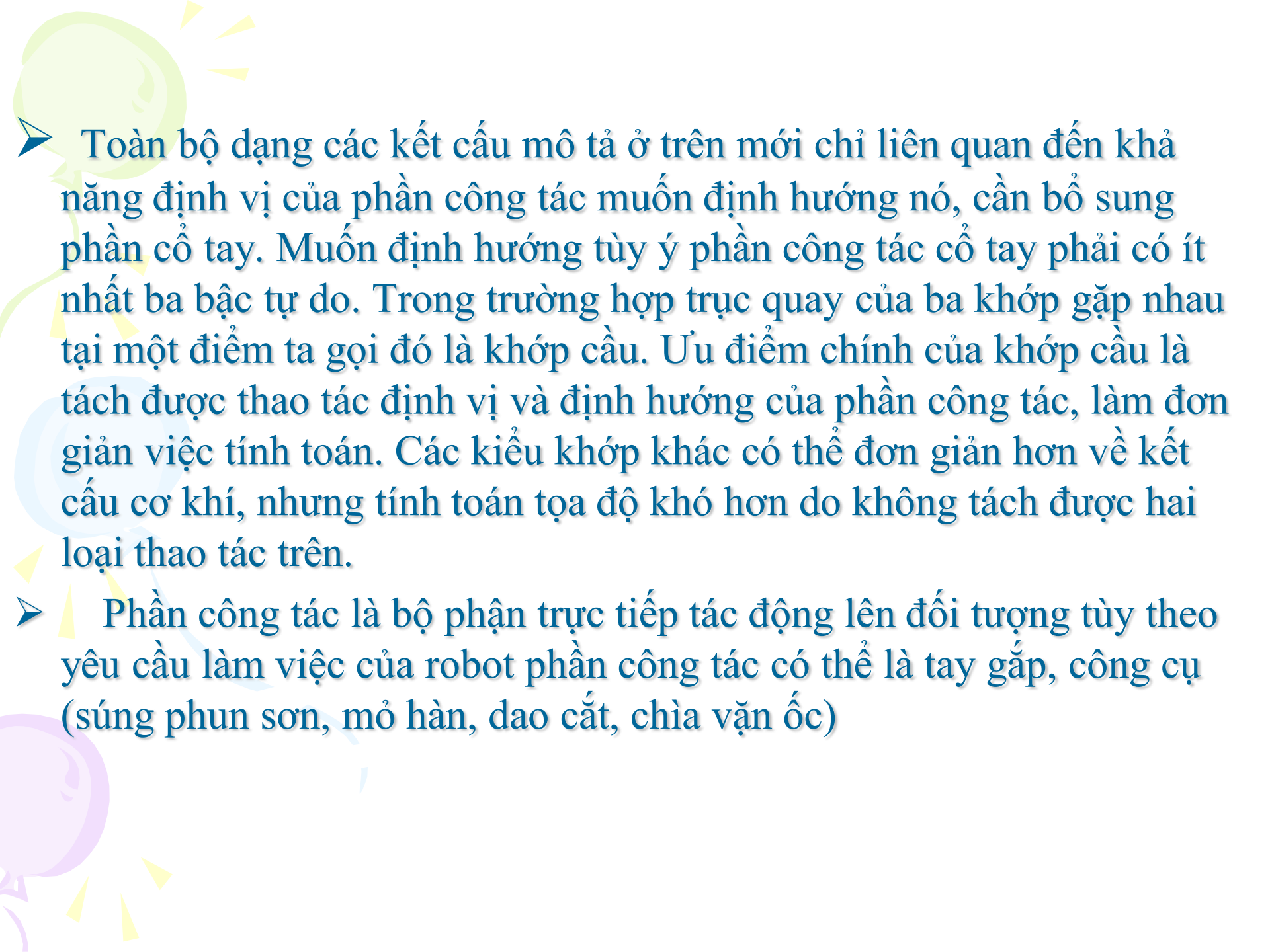
Các tay máy có đặc điểm chung về kết cấu là gồm có các khâu, được nối với nhau bằng các khớp để hình thành một chuỗi động học hở tính từ thân đến phần công tác.

Các khớp được dùng phổ biến là khớp trượt và khớp quay. tùy theo số lượng và cách bố trí các khớp mà có thể tạo ra các tay máy kiểu toạ độ Decac (*Cartesian*), toạ độ trụ (*Cylindrical*), toạ độ cầu (*Revolute*), SCARA, POLAR, kiểu tay người (*Anthropomorphic*).

- ❖ *Tay máy kiểu tọa độ đề các*, còn gọi là kiểu chữ nhật, dùng ba khớp trượt, cho phép phần công tác thực hiện một cách độc lập các chuyển động thẳng, song với ba trục tọa độ. Vùng làm việc của tay máy có dạng hình hộp chữ nhật. Do sự đơn giản về kết cấu tay máy kiểu này có độ cứng vững cao, độ chính xác được đảm bảo đồng đều trong toàn bộ vùng làm việc, nhưng ít khéo léo. Vì vậy, tay máy kiểu đề các được dùng để vận chuyển và lắp ráp.
- ❖ *Tay máy kiểu tọa độ trụ* khác với tay máy kiểu đề các ở khớp đầu tiên: Dùng khớp quay thay cho khớp trượt. Vùng làm việc của nó có dạng hình trụ rỗng. Khớp trượt nằm ngang cho phép tay máy “thò” được vào khoang rỗng nằm ngang. Độ cứng vững cơ học của tay máy trụ tốt, thích hợp với tải nặng nhưng độ chính xác định vị góc trong mặt phẳng nằm ngang giảm khi tầm với tăng.
- ❖ *Tay máy kiểu tọa độ cầu* khác kiểu trụ do khớp thứ hai (khớp trượt) được thay bằng khớp quay. Nếu quỹ đạo chuyển động của phần công tác được mô tả trong tọa độ cầu thì mỗi bậc tự do tương ứng với một khả năng chuyển động và vùng làm việc của nó là khối cầu rỗng. Độ cứng vững của loại tay máy này thấp hơn hai loại trên và độ chính xác định vị phụ thuộc vào tầm với .

❖ *Tay máy Scara* được đề xuất dùng cho công việc lắp ráp. Đó là một kiểu tay máy có cấu tạo đặc biệt, gồm hai khớp quay và một khớp trượt, nhưng cả ba khớp đều có trục song song với nhau. Kết cấu này làm tay máy cứng vững hơn theo phương thẳng đứng nhưng kém cứng vững theo phương được chọn là phương ngang. Loại này chuyên dùng cho công việc lắp ráp với tải trọng nhỏ theo phương đứng. Từ Scara là viết tắt của “selective compliance assembly robot arm” để mô tả các đặc điểm trên. Vùng làm việc của Scara là một phần của hình trụ rỗng.

❖ *Tay máy kiểu phỏng sinh*, có cả ba khớp đều là khớp quay, trong đó trục thứ nhất vuông góc với hai trục kia. Do sự tương tự với tay người, khớp thứ hai được gọi là khớp vai, khớp thứ ba gọi là khớp khuỷu nối cẳng tay với khuỷu tay. Với kết cấu này không có sự tương ứng giữa khả năng chuyển động của các khâu và số bậc tự do. Tay máy làm việc rất khéo léo, nhưng độ chính xác định vị phụ thuộc vị trí của phần công tác trong vùng làm việc. Vùng làm việc của tay máy kiểu này gần giống một phần khối cầu.



➤ Toàn bộ dạng các kết cấu mô tả ở trên mới chỉ liên quan đến khả năng định vị của phần công tác muốn định hướng nó, cần bổ sung phần cổ tay. Muốn định hướng tùy ý phần công tác cổ tay phải có ít nhất ba bậc tự do. Trong trường hợp trục quay của ba khớp gặp nhau tại một điểm ta gọi đó là khớp cầu. Ưu điểm chính của khớp cầu là tách được thao tác định vị và định hướng của phần công tác, làm đơn giản việc tính toán. Các kiểu khớp khác có thể đơn giản hơn về kết cấu cơ khí, nhưng tính toán tọa độ khó hơn do không tách được hai loại thao tác trên.

➤ Phần công tác là bộ phận trực tiếp tác động lên đối tượng tùy theo yêu cầu làm việc của robot phần công tác có thể là tay gắp, công cụ (súng phun sơn, mỏ hàn, dao cắt, chìa vặn ốc)

1.3. Phân loại Robot:

1.3.1. Phân loại theo kết cấu:

- ❖ Lấy hai hình thức chuyển động nguyên thủy làm chuẩn:
 - Chuyển động thẳng theo các hướng X, Y, Z trong không gian ba chiều thông thường tạo nên những khối hình có góc cạnh, gọi là Prismatic (P).
 - Chuyển động quay quanh các trục X, Y, Z kí hiệu (R).
- ❖ Với ba bậc tự do, robot sẽ hoạt động trong trường công tác tùy thuộc tổ hợp P và R ví dụ:
 - PPP trường công tác là hộp chữ nhật hoặc lập phương.
 - RPP trường công tác là khối trụ.
 - RRP trường công tác là khối cầu.
 - RRR trường công tác là khối cầu.

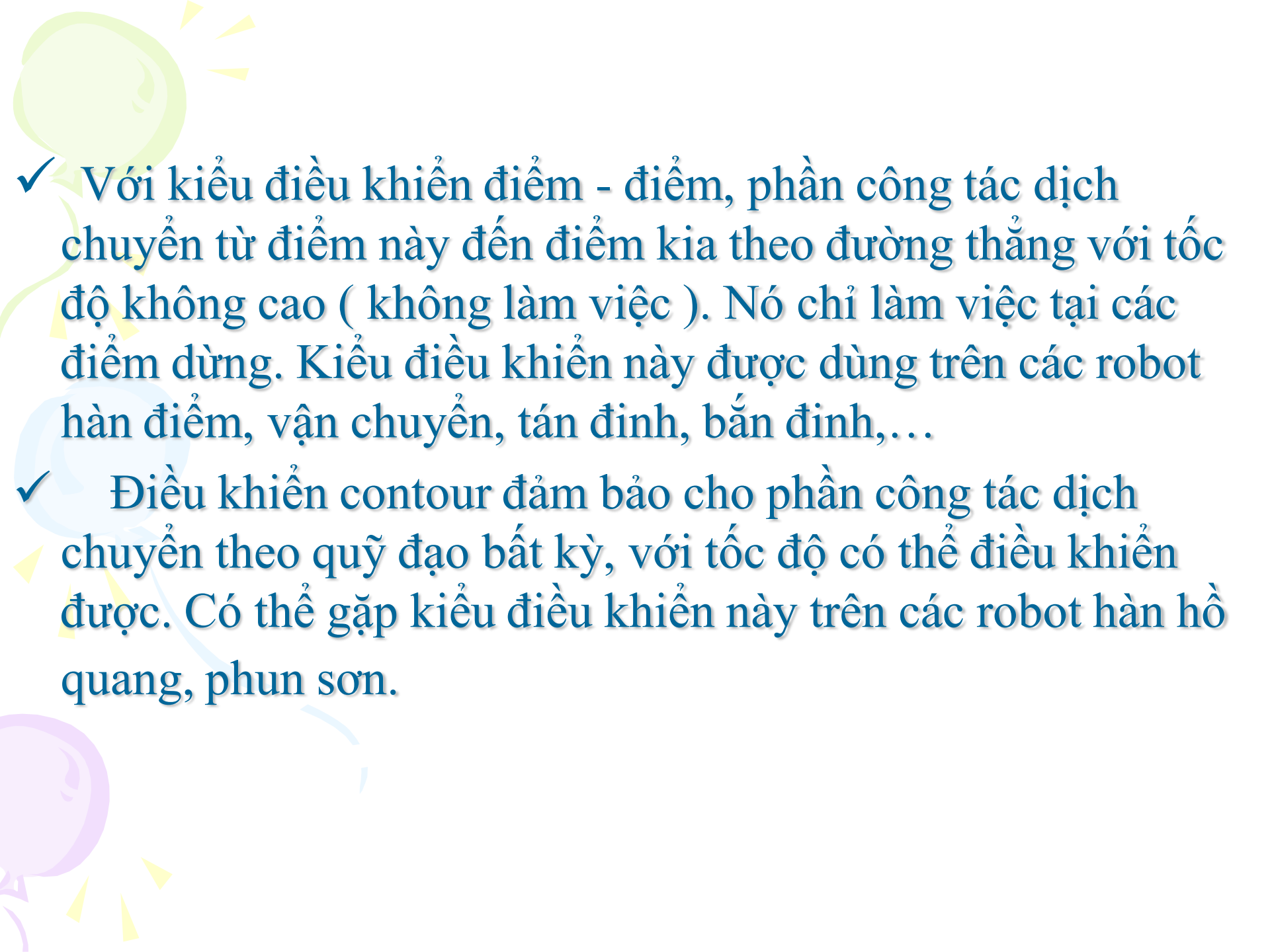
Bảng thống kê sau đây trên 200 mẫu robot về phương diện tổ hợp bậc tự do, theo đó phổ biến là loại robot có trường công tác là một khối trụ với tổ hợp là một khối trụ PPR chiếm 72%. Số bậc tự do trên 4 chiếm không nhiều.

3T	4%	4%	-	-
2T	3%	3%	3%	-
1T	-	-	10%	-
0T	-	-	-	2%
Tĩnh tiến/ Quay	0R	0R	2R	3R

1.3.2. Phân loại theo phương pháp điều khiển:

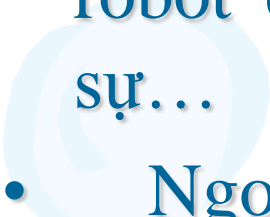

Có 2 kiểu điều khiển robot: điều khiển hở và điều khiển kín.

- Điều khiển hở, dùng truyền động bước (động cơ điện hoặc động cơ thủy lực, khí nén,..) mà quãng đường hoặc góc dịch chuyển tỷ lệ với số xung điều khiển. Kiểu này đơn giản, nhưng đạt độ chính xác thấp.
- Điều khiển kín (điều khiển kiểu servo), sử dụng tín hiệu phản hồi vị trí để tăng độ chính xác điều khiển. Có 2 kiểu điều khiển servo: điều khiển điểm - điểm và điều khiển theo đường (contour).

- 
- ✓ Với kiểu điều khiển điểm - điểm, phần công tác dịch chuyển từ điểm này đến điểm kia theo đường thẳng với tốc độ không cao (không làm việc). Nó chỉ làm việc tại các điểm dừng. Kiểu điều khiển này được dùng trên các robot hàn điểm, vận chuyển, tán đinh, bắn đinh,...
 - ✓ Điều khiển contour đảm bảo cho phần công tác dịch chuyển theo quỹ đạo bất kỳ, với tốc độ có thể điều khiển được. Có thể gặp kiểu điều khiển này trên các robot hàn hồ quang, phun sơn.



1.3.3. Phân loại theo ứng dụng :

- Cách phân loại này dựa vào ứng dụng của robot. Ví dụ, có robot công nghiệp, robot dùng trong nghiên cứu khoa học, robot dùng trong kỹ thuật vũ trụ, robot dùng trong quân sự...
 - Ngoài những kiểu phân loại trên còn có : Phân loại theo hệ thống năng lượng, phân loại theo hệ thống truyền động, phân loại theo độ chính xác...
- 
- 

Chương 2: Động học tay máy. (15 tiết)

2.1. Vị trí và hướng của vật rắn trong không gian:

2.1.1. Hệ tọa độ vật:

❖ Một vật rắn trong không gian hoàn toàn xác định nếu vị trí và hướng của nó được mô tả trong một hệ quy chiếu cho trước. Trong hình vẽ dưới đây hệ tọa độ $Oxyz$ với các véc tơ đơn vị là x, y, z được dùng làm hệ quy chiếu gốc. Để mô tả vị trí và định hướng của của vật rắn trong không gian, thường phải gắn lên nó một hệ tọa độ, gọi là hệ quy chiếu địa phương, chẳng hạn hệ tọa độ $O'x'y'z'$ gốc của hệ tọa độ này đại diện cho vị trí của vật trong hệ quy chiếu gốc $Oxyz$, biểu thức sau đây nói lên quan hệ giữa chúng:

$$O' = o'_x x + o'_y y + o'_z z$$

- Trong đó o'_x, o'_y, o'_z là các hình chiếu vuông góc của véc tơ O' lên hệ tọa độ $Oxyz$. Có thể mô tả định vị của điểm O' qua véc tơ O' (3.1) như sau:

$$O' = \begin{bmatrix} o'_x \\ o'_y \\ o'_z \end{bmatrix}$$

- Hướng của vật được đại diện bởi các véc tơ đơn vị x', y', z' của hệ quy chiếu $O'x'y'z'$, và được mô tả bằng quan hệ sau:

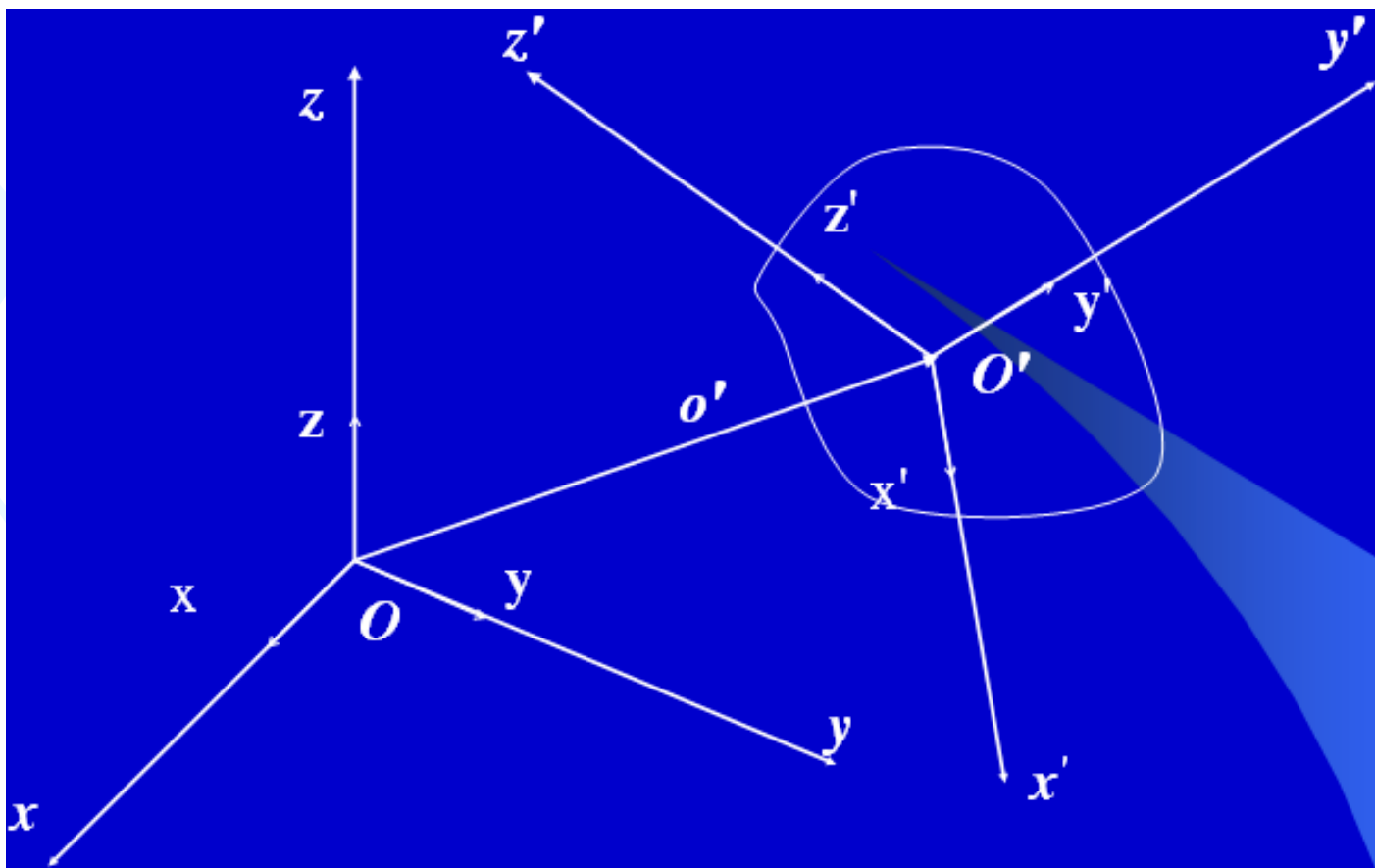
$$x' = x'_x x + x'_y y + x'_z z$$

$$y' = y'_x x + y'_y y + y'_z z$$

$$z' = z'_x x + z'_y y + z'_z z$$

- Các thành phần của các véc tơ đơn vị (x'_x, x'_y, x'_z) là cosin chỉ phương của các trục của hệ tọa độ địa phương so với hệ quy chiếu chung.

Hình vẽ dưới đây mô tả vị trí và hướng của vật rắn trong không gian:

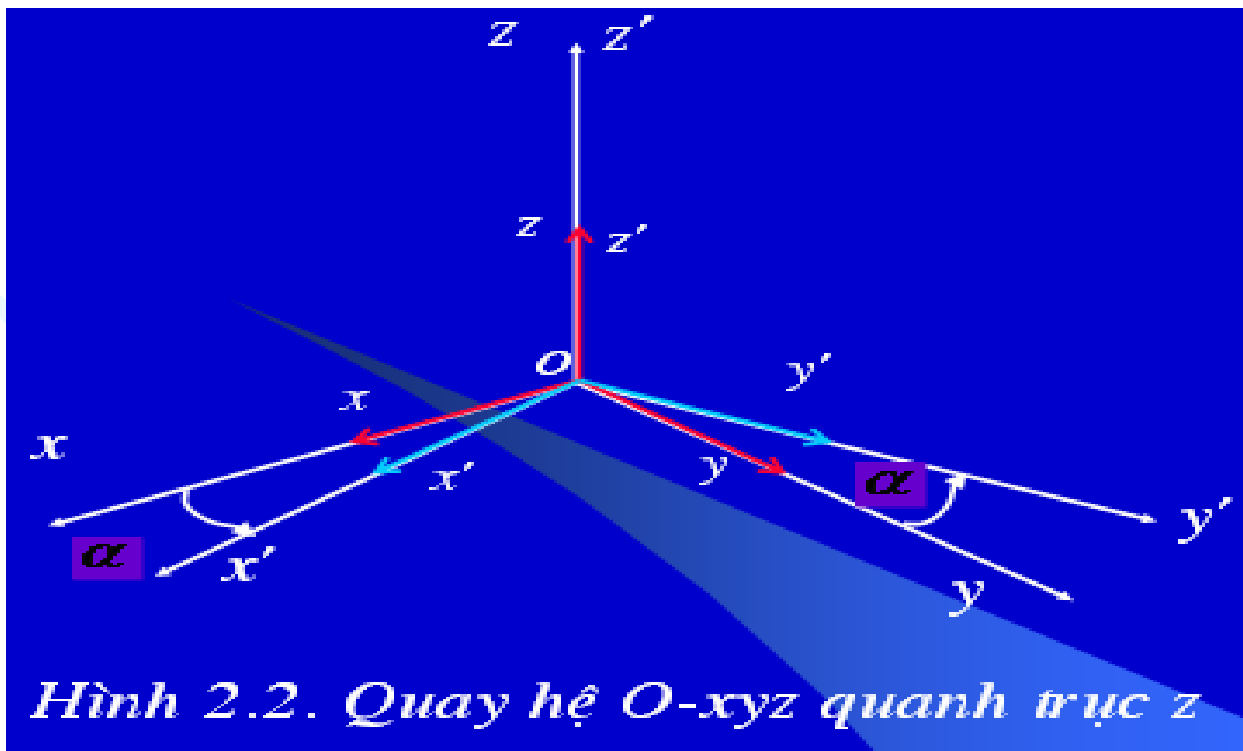


2.1.2. Ma trận quay:

• Để cho gọn, 3 véc tơ đơn vị ở trên có thể biểu diễn dưới dạng ma trận (3.3) gọi là ma trận quay như sau:

$$R = \begin{bmatrix} \hat{x}' & \hat{y}' & \hat{z}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_x & y'_x & z'_x \\ x'_y & y'_y & z'_y \\ x'_z & y'_z & z'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'^T x & y'^T x & z'^T x \\ x'^T y & y'^T y & z'^T y \\ x'^T z & y'^T z & z'^T z \end{bmatrix}$$

• Phép quay quanh một trục tọa độ là trường hợp đặc biệt của phép quay một vật quanh một trục bất kì trong không gian, chiều quay được quy ước là dương nếu nhìn từ ngọn về gốc của trục thuộc hệ quy chiếu đang xét thấy ngược chiều kim đồng hồ.



Hình 2.2. Quay hệ O-xyz quanh trục z

- ✓ Giả sử hệ $O'x'y'z'$ nhận được do quay hệ $Oxyz$ quanh trục z một góc α , véc tơ đơn vị của hệ này được biểu diễn trong hệ $Oxyz$ như sau:

$$x' = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \\ 0 \end{bmatrix}; y' = \begin{bmatrix} -\sin \alpha \\ \cos \alpha \\ 0 \end{bmatrix}; z' = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

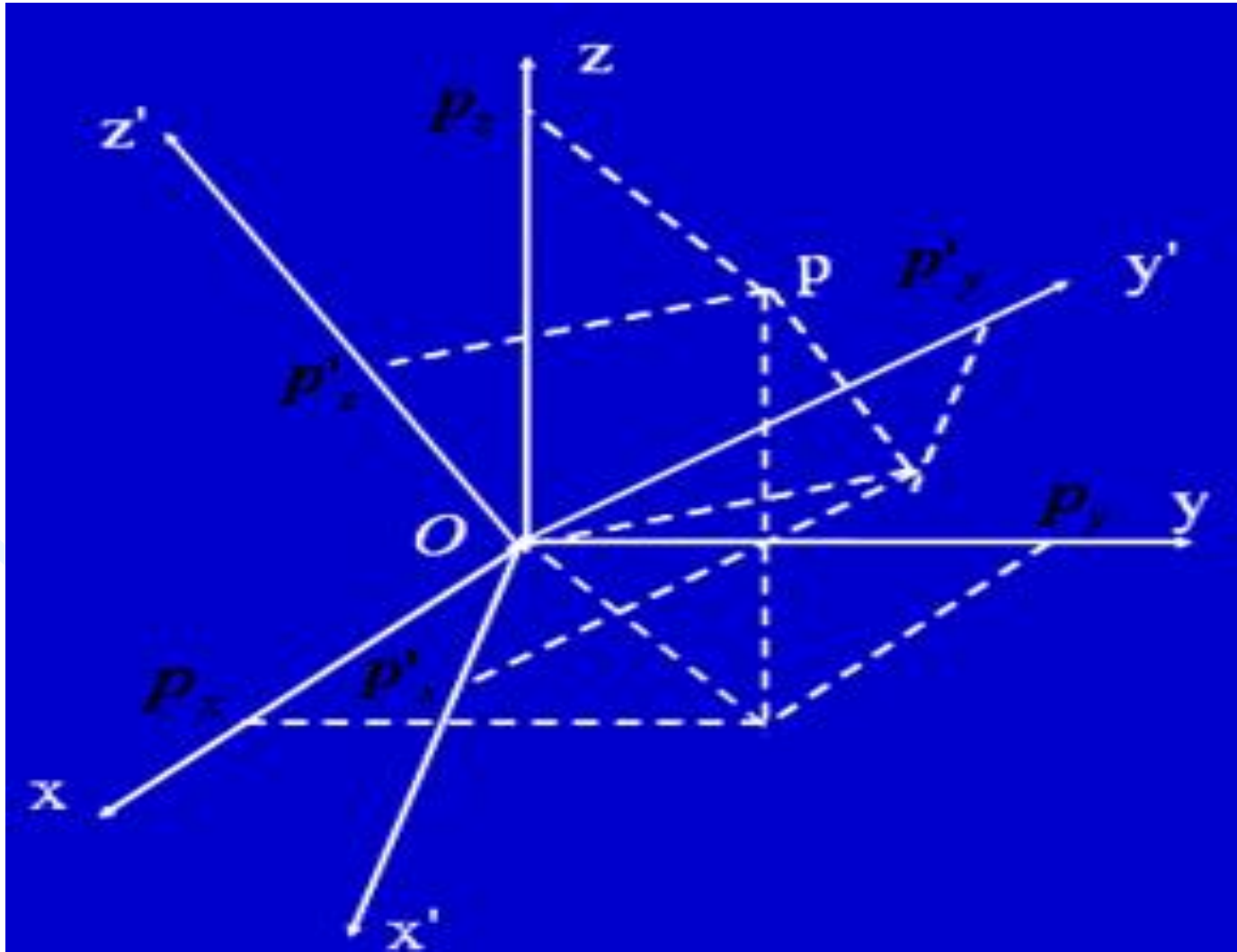
- ✓ Lần lượt ma trận quay quanh trục z , trục y , trục x của hệ quy chiếu O' so với hệ O có dạng:

$$R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

- ✓ Từ các phép quay căn bản quanh các trục của hệ quy chiếu cho phép thành lập ra các ma trận quay một đối tượng quanh một trục bất kì.
- ✓ Cần lưu ý rằng các ma trận này có tính chất trực giao, ta có thể xác định nghịch đảo của nó theo hai cách, hoặc thay góc bằng giá trị đối dấu của nó vào ma trận quay, hoặc chuyển vị ma trận quay đang có.

2.1.3. Quay một véc tơ:

Có thể mô tả phép quay một véc tơ bằng cách sử dụng các ma trận quay nêu trên, hãy xem mô tả của điểm P trong hai hệ quy chiếu trùng gốc như sau:



- Lần lượt mô tả điểm P trong hai hệ tọa độ rồi tiến hành đồng nhất hai tọa độ đó như sau:

$$p = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}; p' = \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ p'_z \end{bmatrix}$$

- Vì cùng mô tả một điểm nên có đồng nhất thức:

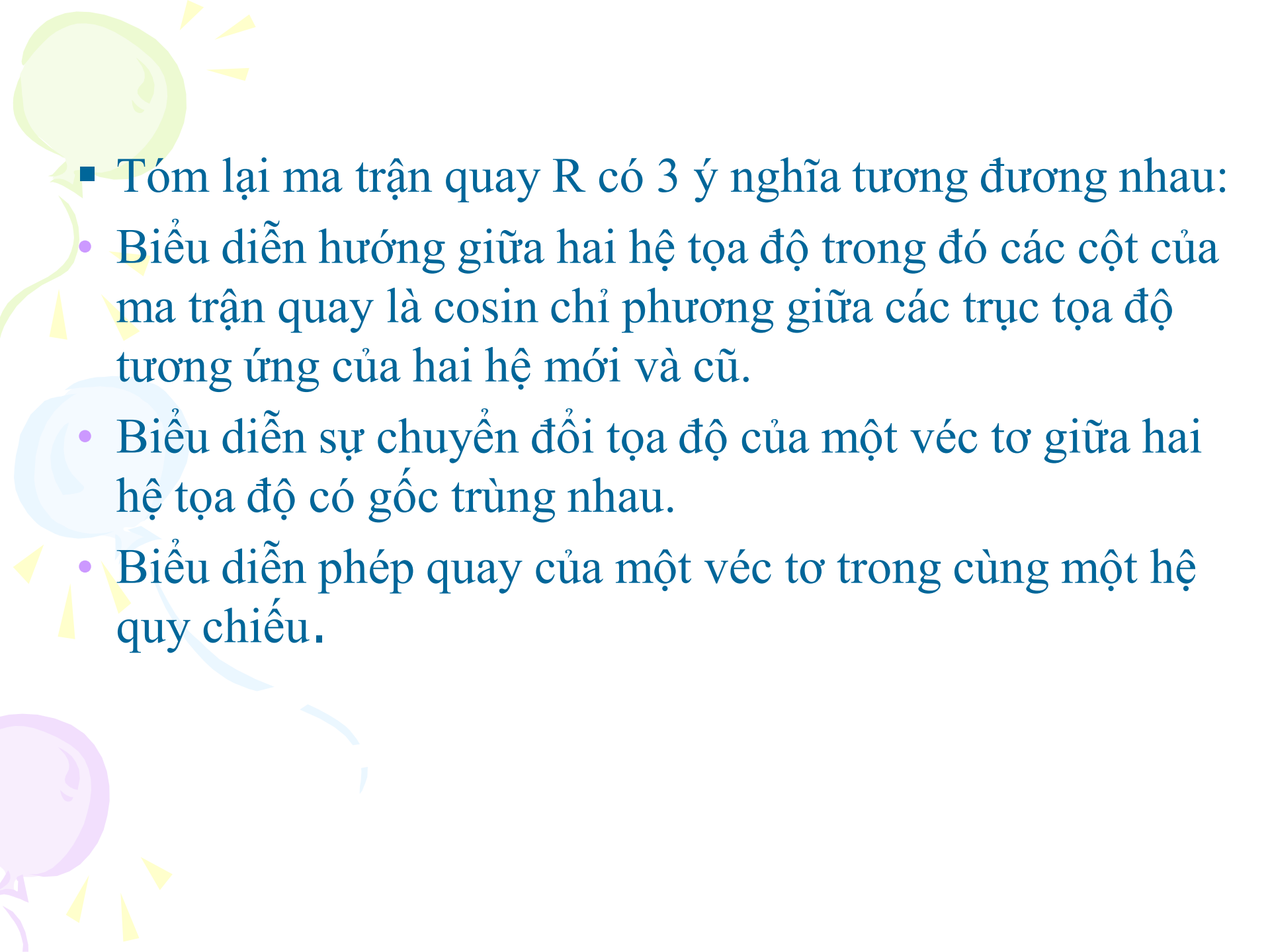
$$p = p' = p'_x x' + p'_y y' + p'_z z' = \begin{bmatrix} x' & y' & z' \end{bmatrix} p' = R p'$$

- Hay cũng có thể biến đổi để có dạng: $p' = R^T p$

- Nếu viết dưới dạng khai triển ma trận quay có dạng đầy đủ của phép quay như sau:

$$p = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} p'$$

- Trong đó các cột của ma trận quay chính là các cosin chỉ phương của các cặp trục tương ứng giữa hai hệ quy chiếu. Vì 3 trục của một hệ quy chiếu có quan hệ đôi một vuông góc nên 9 thành phần của ma trận quay chỉ có ba thành phần thực sự độc lập tuyến tính.


- 
- Tóm lại ma trận quay R có 3 ý nghĩa tương đương nhau:
 - Biểu diễn hướng giữa hai hệ tọa độ trong đó các cột của ma trận quay là cosin chỉ phương giữa các trục tọa độ tương ứng của hai hệ mới và cũ.
 - Biểu diễn sự chuyển đổi tọa độ của một véc tơ giữa hai hệ tọa độ có gốc trùng nhau.
 - Biểu diễn phép quay của một véc tơ trong cùng một hệ quy chiếu.

2.2. Quay một véc tơ quanh một trục bất kì:

2.2.1. Tổng hợp các ma trận quay:

Trong quá trình biến đổi đồ họa hoặc nhận diện các đối tượng trong không gian, các phép quay có thể không thực hiện đối với trục cơ sở là trục cơ bản của hệ quy chiếu, mà quanh một trục quay bất kì. Khi đó để thực hiện được phép quay cần biết 2 điểm cơ bản sau đây:

- Việc quay quanh một trục bất kì có thể tương đương với nhiều lần quay quanh các trục cơ bản của hệ quy chiếu, mà mỗi phép quay quanh các trục cơ bản của hệ quy chiếu được đặc trưng bởi ma trận A_i tương ứng có dạng đã nêu trên.
- Việc biểu diễn một loạt các thao tác biến đổi quay được thực hiện bằng cách nhân liên tiếp theo đúng trật tự các ma trận đặc trưng cho từng bước.



Nếu kí hiệu P_i là điểm P biểu diễn trong hệ quy chiếu i , còn là biểu thị ma trận quay của hệ i so với hệ j . Hãy xem chuỗi quan hệ sau:

$$P^1 = R_2^1 P^2$$

$$P^0 = R_1^0 P^1$$

$$P^0 = R_2^0 P^2$$

$$R_2^0 = R_1^0 R_2^1$$

2.2.2. Phép quay quanh trục bất kì:

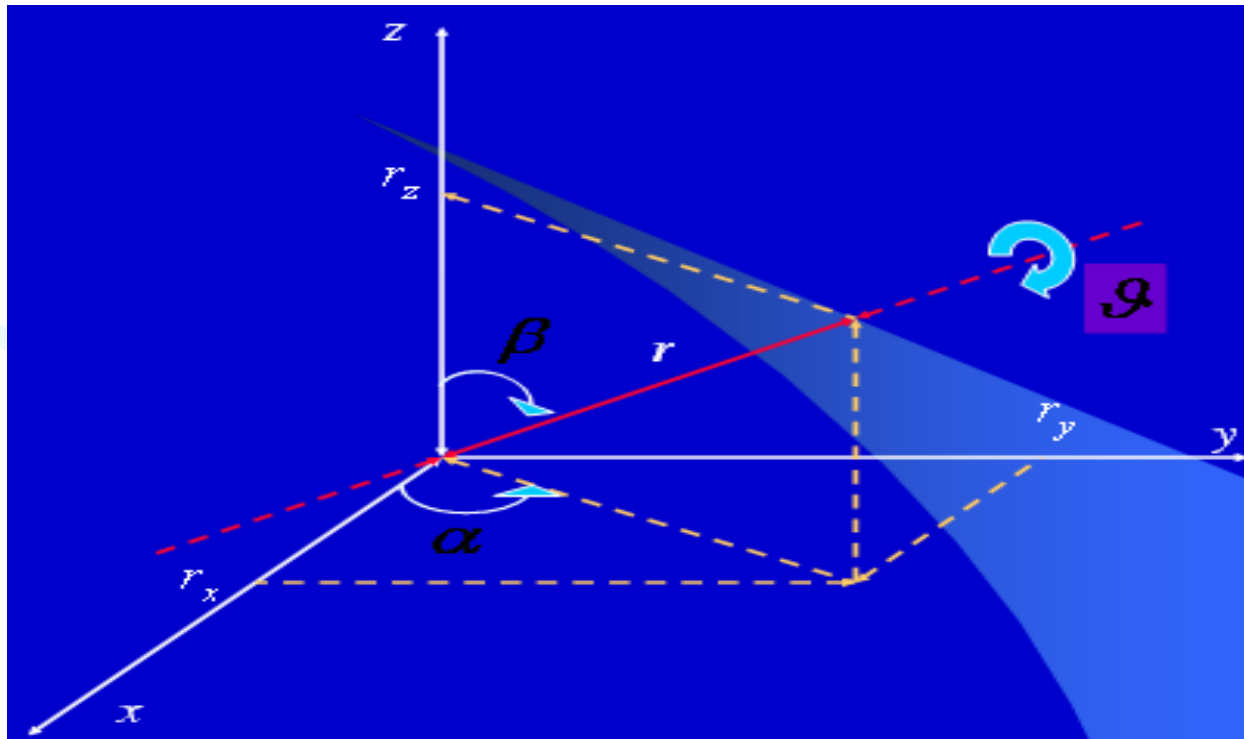
Đây là một trường hợp thường xuyên gặp khi mô tả động học tay máy, về cách thức thực hiện phải nắm được ý tưởng như sau:

1- Biến đổi trục quay so với hệ quy chiếu (hoặc biến đổi hệ quy chiếu so với trục quay) bằng ma trận quay tiêu chuẩn trình bày ở trên sao cho đường đóng vai trò trục quay về trùng với 1 trong 3 trục cơ bản của hệ quy chiếu, gọi A_1 là ma trận được sử dụng ở bước này.

Ở đây cần chú ý rằng nếu biến đổi trục quay giữ nguyên hệ quy chiếu, ma trận A_1 là ma trận tiêu chuẩn đã trình bày ở trên, còn nếu biến đổi hệ quy chiếu so với trục quay cố định, phải sử dụng ma trận A_1^T là chuyển vị (nghịch đảo) của ma trận quay tiêu chuẩn.

Ma trận A_1 nói trên trong trường hợp tổng quát luôn là tích của hai ma trận quay tiêu chuẩn quanh 2 trong 3 trục cơ bản của hệ quy chiếu, hãy xem ví dụ sau:

Đường thẳng v trên hình vẽ đóng vai trò trục quay, ở đây không biểu diễn đối tượng quay sẽ lấy nó làm cơ sở. Vì v không trùng vào trục cơ bản nào của hệ quy chiếu $Oxyz$ đang xét nên nó bị coi là trục bất kì. Tuy nhiên để mô tả v phải biết trước như hình vẽ. Để đưa được v về trùng với 1 trong 3 trục cơ bản có thể thực hiện như sau:

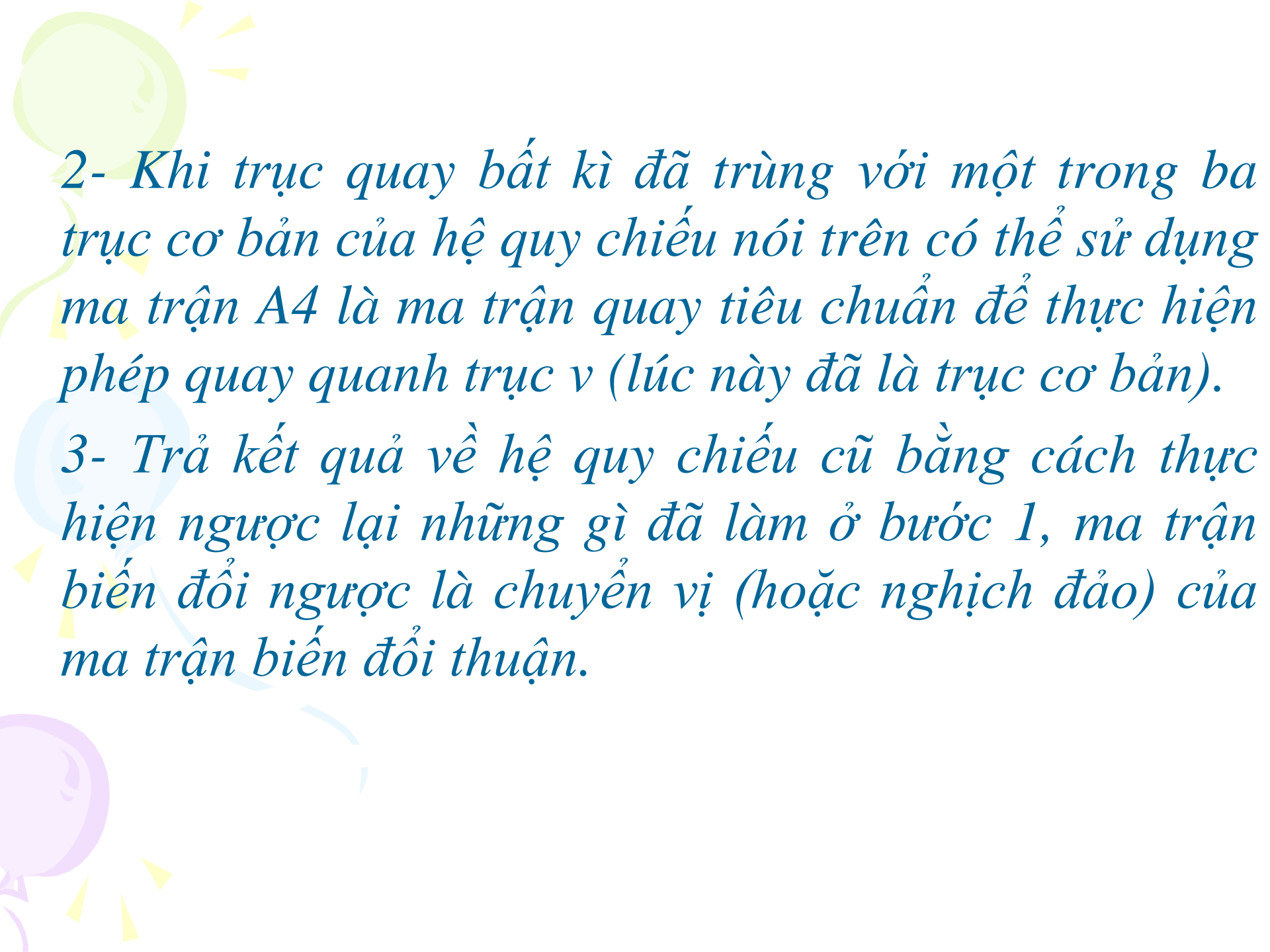


Gọi $A_2 = \text{Rot}(z, -\alpha)$ là ma trận quay v quanh trục z góc theo chiều kim đồng hồ khi nhìn từ ngọn về gốc trục z . Mục đích của bước này là làm cho v về trùng với mặt phẳng xoz .

Trong mặt phẳng xoz , gọi $A_3 = \text{Rot}(y, \beta)$ là ma trận quay v quanh trục y góc theo chiều kim đồng hồ khi nhìn từ ngọn về gốc trục y . Lúc này v đã trùng với trục Oz , phép quay quanh trục v đã trùng với Oz là phép quay cơ bản đã nói trên. Vậy thao tác biến đổi v về trùng với Oz thực ra gồm hai bước như sau:

$$A_1 = A_2 A_3$$

Có thể rút ra kết luận rằng để đưa v về trùng với trục Ox hoặc Oy cũng chỉ gồm hai thao tác tương tự, và dữ liệu góc mô tả v như trên là đủ dù đưa v về trùng với bất cứ trục nào.



2- Khi trục quay bất kì đã trùng với một trong ba trục cơ bản của hệ quy chiếu nói trên có thể sử dụng ma trận A4 là ma trận quay tiêu chuẩn để thực hiện phép quay quanh trục v (lúc này đã là trục cơ bản).

3- Trả kết quả về hệ quy chiếu cũ bằng cách thực hiện ngược lại những gì đã làm ở bước 1, ma trận biến đổi ngược là chuyển vị (hoặc nghịch đảo) của ma trận biến đổi thuận.

Chẳng hạn trong ví dụ trên, để trả kết quả về hệ quy chiếu cũ cần:

Quay ν ngược kim đồng hồ quanh trục Oy bằng ma trận A_3T .

Quay ν ngược kim đồng hồ quanh trục Oz bằng ma trận A_2T .

Vậy toàn bộ quá trình mô tả một phép quay góc một đối tượng nào đó quanh trục ν bất kì, là một ma trận tổng hợp nhiều bước biến đổi mà trình tự thực hiện có liên quan đến thứ tự sắp xếp của từng ma trận trong một phép nhân sau:

$$Rot(\gamma, \nu) = A_2 A_3 \cdot Rot(z, \nu) \cdot A_3^T A_2^T$$

Hãy nhận xét quy tắc trên và xây dựng cho những trường hợp khác còn lại.

2.2.3. Mô tả tối thiểu của hướng:

2.2.3.1. Góc Euler:

- Góc ơle hình thành mô tả hướng tối thiểu bằng cách tổ hợp các thành phần độc lập tuyến tính của ma trận quay trong hệ tọa độ hiện thời (ba lần quay quanh ba trục của ba hệ quy chiếu khác nhau). Tùy theo cách tổ hợp cụ thể 3 thành phần độc lập từ 9 thành phần ban đầu có thể đạt được 12 bộ góc ơle khác nhau.

(Ví dụ một bộ góc ole là zyz , nghĩa là quay quanh trục z , quay quanh trục y , rồi lại quay quanh trục z , tức là trong một bộ góc ole có thể quay quanh một trục tối đa 2 lần, song phải là 2 lần không liên tiếp. Vậy khởi xuất nếu một trục quay có thể có mặt hai lần thì ban đầu sẽ có bộ 6 lần quay, quanh 6 trục x, y, z, x, y, z .

Có ba khả năng chọn trục quay đầu tiên hoặc x , hoặc y , hoặc z .

Có hai khả năng chọn trục quay thứ hai, chọn 2 trong 3 trục trên trừ trục đã chọn ở bước trước, vì hai trục quay giống nhau không được thực hiện liên tục.

Có hai khả năng chọn trục quay lần ba vì có thể chọn lặp lại trục đầu tiên và còn một trục chưa dùng lần nào.

Vậy số khả năng của phép quay ole là $k = 3.2.2 = 12$)

Ví dụ: Phép quay ơle $ZYZ = (\varphi, \vartheta, \psi)$

- Quay một góc quanh trục Oz đầu tiên để được hệ O'.
- Quay một góc quanh trục Oy' vừa nhận được để được hệ O''.
- Quay một góc quanh trục Oz'' vừa nhận được để được hệ O'''.

Phương trình mô tả biến đổi hỗn hợp này là tích của ba ma trận quay liên tiếp nói trên, matlab sẽ cho ra kết quả chính xác vì vậy không trình bày ở đây.

$$R_{EUL} = \text{Rot}(z, \varphi) \cdot \text{Rot}(y', \vartheta) \cdot \text{Rot}(z'', \psi)$$

Nếu cho trước ma trận kết quả của phép biến đổi ơle với trình tự các phép quay quanh các trục đã cho trước, yêu cầu tìm giá trị góc quay đây là bài toán ngược. Bài toán này có thể giải dễ dàng bằng cách đồng nhất các thành phần tương ứng của ma trận thuận đã biết dạng tổng quát (ma trận chứa các biến góc) và ma trận ngược cho trước (chứa các hằng số). Khéo léo chọn các phương trình sao cho việc giải là đơn giản nhất tạo đủ 3 phương trình cân bằng với ba ẩn.

Ví dụ: Kết quả phép nhân ma trận:

$$R_{\text{EUL}} = \text{Rot}(z, \varphi) \cdot \text{Rot}(y', \vartheta) \cdot \text{Rot}(z'', \psi) = \begin{bmatrix} c_\varphi c_\vartheta c_\psi - s_\varphi s_\psi & -c_\varphi c_\vartheta s_\psi - s_\varphi c_\psi & c_\varphi s_\vartheta \\ s_\varphi c_\vartheta c_\psi + c_\varphi s_\psi & -s_\varphi c_\vartheta s_\psi + c_\varphi c_\psi & s_\varphi s_\vartheta \\ -s_\vartheta c_\psi & s_\vartheta s_\psi & c_\vartheta \end{bmatrix}$$

- Cho trước ma trận sau khi nhân bằng các góc cụ thể là:

$$R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

- Nhận thấy cột cuối cùng của hai ma trận có dạng đơn giản nhất, ta có thể tạo ra hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} c_\varphi s_\vartheta = a_{13} \\ s_\varphi s_\vartheta = a_{23} \\ c_\vartheta = a_{33} \end{cases}$$

- Chia vế của phương trình thứ nhất cho phương trình thứ hai, tính được một ẩn.
- Thế ẩn vừa tìm được vào phương trình thứ nhất tính được một ẩn nữa.
- Sử dụng tiếp một biểu thức khác có chứa ψ ta tính nốt được biến này.

2.2.3.2. Góc Roll – pitch – Yaw:

- Người ta thường ví đây là dao động của một con tàu.
- Trên cơ sở đã hiểu thế nào là góc Euler, chúng ta có thể hiểu ngắn gọn là RPY chẳng qua là bộ góc EULER theo trình tự (zyx) = (song điểm khác biệt căn bản là ba lần quay đều thực hiện quanh ba trục của cùng một hệ quy chiếu ban đầu.

$$R_{RPY} = R(z, \varphi)R(y, \vartheta)R(x, \psi) = \begin{bmatrix} C_\varphi C_\vartheta & C_\varphi S_\vartheta S_\psi - S_\varphi C_\psi & C_\varphi S_\vartheta C_\psi + S_\varphi S_\psi \\ S_\varphi C_\vartheta & S_\varphi S_\vartheta S_\psi + C_\varphi C_\psi & S_\varphi S_\vartheta C_\psi - C_\varphi S_\psi \\ -S_\vartheta & C_\vartheta S_\psi & C_\vartheta C_\psi \end{bmatrix}$$

- Tương tự như trường hợp góc EULER, bài toán ngược được giải bằng cách so sánh ma trận kết quả nói trên với ma trận định hướng cho trước:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

- Bộ thông số góc quay có thể xác định được bằng cách đồng nhất các phần tử tương ứng tạo ra một hệ ba phương trình ba ẩn.

• *Nhận xét: Phép quay ole và phép quay RPY khác nhau ở chỗ:*

- *Phép quay ole quay ba lần quanh ba trục của ba hệ quy chiếu khác nhau, tư thế của vật cần định vị với hệ quy chiếu đã quay đi 3 lần được xác định bằng ma trận ole. Thực chất là vật thể đạt tới định hướng của nó bằng cách quay hệ quy chiếu còn bản thân nó đứng cố định. (đối tượng quay đi trong phép quay này là hệ quy chiếu)*
- *Phép quay RPY lại định vị vật thể bằng cách giữ hệ quy chiếu cố định trong khi xoay vật liên tiếp ba lần quanh ba trục của hệ quy chiếu ban đầu. (đối tượng quay đi trong phép quay này là vật thể)*
- *Phép quay hệ quy chiếu đi liên tiếp (ole) theo các trục của hệ quy chiếu địa phương vừa sinh ra (trong điều kiện vật thể cố định) cho kết quả giống như phép quay liên tiếp vật thể (RPY) so với hệ quy chiếu cố định song theo thứ tự ngược lại.*

- Chứng minh:
- Gọi A là ma trận điểm biểu diễn điểm nút véc tơ cần biến hình trong cả hai hệ quy chiếu.

- Phép quay vật so với hệ quy chiếu cố định liên tiếp:

$$R_{RPY} = R(z, \varphi)R(y', \mathcal{G})R(x'', \psi) \quad (1)$$

- Hay gọi A1 là ảnh của A qua ánh xạ đó ta có:

$$A_1 = A.R(z, \varphi)R(y', \mathcal{G})R(x'', \psi) \quad (2)$$

- Sau khi quay vật đi lần thứ nhất bởi phép thực hiện bình thường vì trục z lúc này là trục cơ bản. Lần quay thứ hai quanh trục y' không có ma trận quay vì y' lúc này là trục bất kì, ta phải làm trùng nó với một trục của hệ quy chiếu rồi sử dụng phép quay có bản quanh trục y cũ, sau đó trả kết quả lại như sau:

$$A.R(z, \varphi)R^{-1}(z, \varphi)R(y, \mathcal{G})R(z, \varphi) = A.R(y, \mathcal{G})R(z, \varphi) \quad (3)$$

- Lúc này trục x'' lại là trục bất kì, để có ma trận quay ta lại phải làm trùng trục quay trước khi quay, sau khi quay bằng ma trận quay tiêu chuẩn trả kết quả lại như sau:

$$A.R(y, \mathcal{G})R(z, \varphi)R^{-1}(z, \varphi)R^{-1}(y, \mathcal{G})R(x, \psi)R(y, \mathcal{G})R(z, \varphi) = A.R(x, \psi)R(y, \mathcal{G})R(z, \varphi) \quad (4)$$

- Vậy biểu thức đạt được cuối cùng ở đây chính là một trình tự ngược lại với (2). Biểu thức (2) biểu thị phép quay RPY còn (4) biểu thị oie.

2.3. Phép biến đổi thuần nhất:

Trong giáo trình CAD/CAM khi học về biến đổi đồ họa đã nói rõ rằng ma trận (3.3) không phù hợp cho việc thể hiện phép biến đổi tịnh tiến, mặc dù để thể hiện phép quay ma trận quay chỉ cần có kích thước (3.3), các phép biến đổi tỉ lệ đều, không đều, quay, tịnh tiến có thể được biểu thị tổ hợp trong một ma trận duy nhất (4.4), nếu trọng số $a_{44} = 1$ không thể hiện phép tỉ lệ. Phép biến đổi nhờ ma trận thuần nhất gọi là phép chuyển đổi thuần nhất.

- Quy ước ma trận điểm viết sau ma trận biến hình có các ma trận biến hình như sau:

$$Rot(z, \alpha) = \begin{bmatrix} c_\alpha & -s_\alpha & 0 & 0 \\ s_\alpha & c_\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; Rot(y, \beta) = \begin{bmatrix} c_\beta & 0 & -s_\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ s_\beta & 0 & c_\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; Rot(x, \gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_\gamma & -s_\gamma & 0 \\ 0 & s_\gamma & c_\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Trans(M, N, P) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & M \\ 0 & 1 & 0 & N \\ 0 & 0 & 1 & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Nhờ 4 ma trận này có thể biểu thị chuyển động của một vật bất kì trong không gian, song tính trực giao của ma trận quay biểu diễn dưới dạng thuần nhất không được đảm bảo.

2.4. Bài toán động học thuận của tay máy:

- Nhiệm vụ của bài toán thuận là khi cho trước các biến khớp phải xác định vị trí và định hướng của tất cả các khâu trên cánh tay, thông thường nếu không khống chế quỹ đạo của các khâu trên cánh tay nhằm tránh va chạm với các đối tượng khác trong vùng làm việc, người ta thường chỉ xác định vị trí và định hướng của khâu sau cùng.
- Trên cánh tay có các khâu và các khớp tổ hợp với nhau mà tạo thành, cánh tay có hai hình thức cơ bản, có thể chuỗi động hình thành nên nó là kín, hoặc hở.
- Các khâu và các khớp được mô tả qua các thông số được chia ra hai loại, các thông số không thay đổi (chiều dài khâu) gọi là *tham số*. Các thông số thay đổi (góc quay của khâu, lượng di chuyển dài của khâu tịnh tiến) gọi là biến khớp.
- Trong kỹ thuật robot sử dụng phổ biến hai loại khớp thấp là quay và tịnh tiến, khớp cầu được tổ hợp từ ba khớp quay có đường trục quay giao nhau tại một điểm.

- Phép chuyển đổi tọa độ được biểu diễn bằng ma trận chuyển đổi thuần nhất:

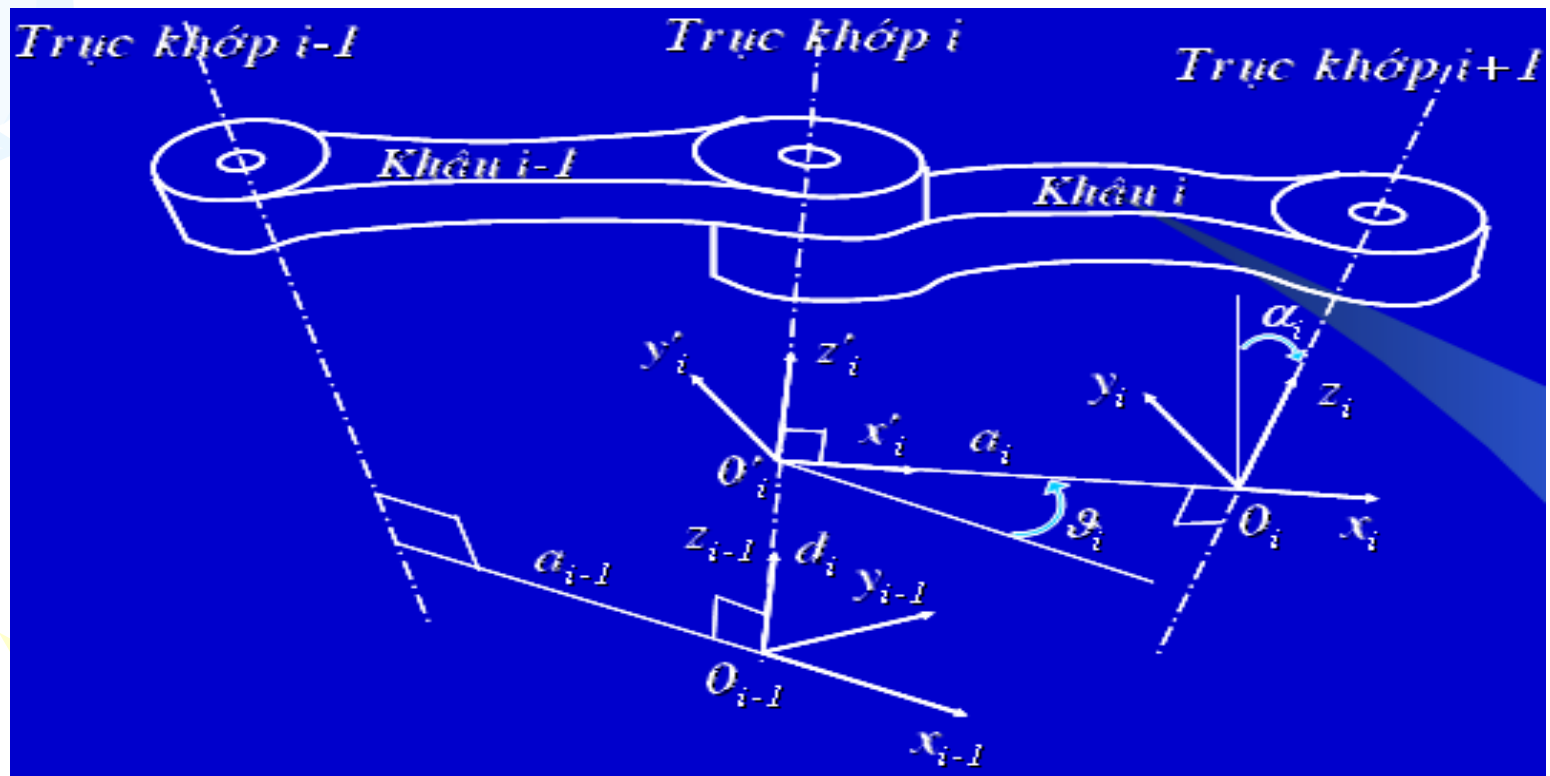
$$T^0(q) = \begin{bmatrix} n^0(q) & s^0(q) & a^0(q) & p^0(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Trong đó $p^0(q)$ là véc tơ định vị, $n^0(q), s^0(q), a^0(q)$ là các véc tơ định hướng dưới dạng cosin chỉ phương của phần làm việc. Chẳng hạn với ma trận thuần nhất có thể chọn như sau:

$$T^0(q) = \begin{bmatrix} - & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ - & - & a_{23} & a_{24} \\ - & - & - & a_{34} \\ - & - & - & 1 \end{bmatrix}$$

- Các phần tử $a_{12}; a_{13}; a_{23}$ là các phần tử định hướng, các phần tử $a_{14}; a_{24}; a_{34}$ là các phần tử định vị. Như vậy chỉ cần 6 phần tử để mô tả định vị và định hướng.

Để định vị và định hướng từng khâu trên cánh tay cũng như khâu tác động sau cùng người ta phải gắn các hệ tọa độ suy rộng lên từng khâu, cả cơ cấu có một hệ quy chiếu chung nối với giá cố định, hệ quy chiếu này có chức năng vừa để mô tả định vị, định hướng khâu tác động sau cùng của tay máy, vừa để mô tả đối tượng tác động của tay máy mà nó cần nhận diện. Việc xây dựng các hệ quy chiếu này cần có tính thống nhất cao, đòi hỏi tính xác định duy nhất. Sau đây sẽ xem xét quy tắc **DH** là một quy tắc điển hình.



Một cách tổng quát tay máy coi là có n khâu, trong đó khâu thứ i liên kết khớp (i) với khớp $(i+1)$ như hình vẽ. Theo quy tắc DH các hệ tọa độ được xác định theo quy ước sau:

- Trục tọa độ z_i trùng với trục quay của khớp $(i + 1)$, gốc trùng với chân của đường vuông góc chung giữa trục quay khớp (i) và trục quay khớp $(i+1)$, trục x của nó trùng với đường vuông góc chung và hướng từ trục $(i-1)$ tới trục (i) , trục y tự xác định theo quy tắc bàn tay phải.
- Trục tọa độ z_{i-1} trùng với trục quay của khớp (i) , trục x trùng phương đường vuông góc chung giữa trục $(i-1)$ và khớp (i) , chiều dương hướng từ trục $(i-1)$ tới khớp (i) . Trục y tự xác định theo quy tắc bàn tay phải.
- Quy ước các góc và khoảng cách trên lược đồ như sau:
 - là khoảng cách giữa hai khớp theo phương đường vuông góc chung.
 - d_i là khoảng cách giữa giao điểm của hai đường vuông góc chung với trục quay, tính theo phương của đường vuông góc chung.
 - là góc quay quanh trục x_i để z_{i-1} đến trùng với z_i .
 - là góc quay quanh trục z_{i-1} để x_{i-1} đến trùng với x_i .

- Công việc còn lại là biến đổi sao cho hệ quy chiếu O_{i-1} trùng với hệ quy chiếu O_i . Trình tự biến đổi thực hiện như sau:
- Tịnh tiến O_{i-1} theo trục $(O_{i-1}z_{i-1})$ một lượng di bằng ma trận tịnh tiến.
- Quay hệ quy chiếu O_i vừa nhận được một góc quanh trục z_i bằng ma trận quay.
- Nhân hai ma trận này với nhau có ma trận biến đổi thuần nhất của bước này như sau:

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} & 0 & 0 \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

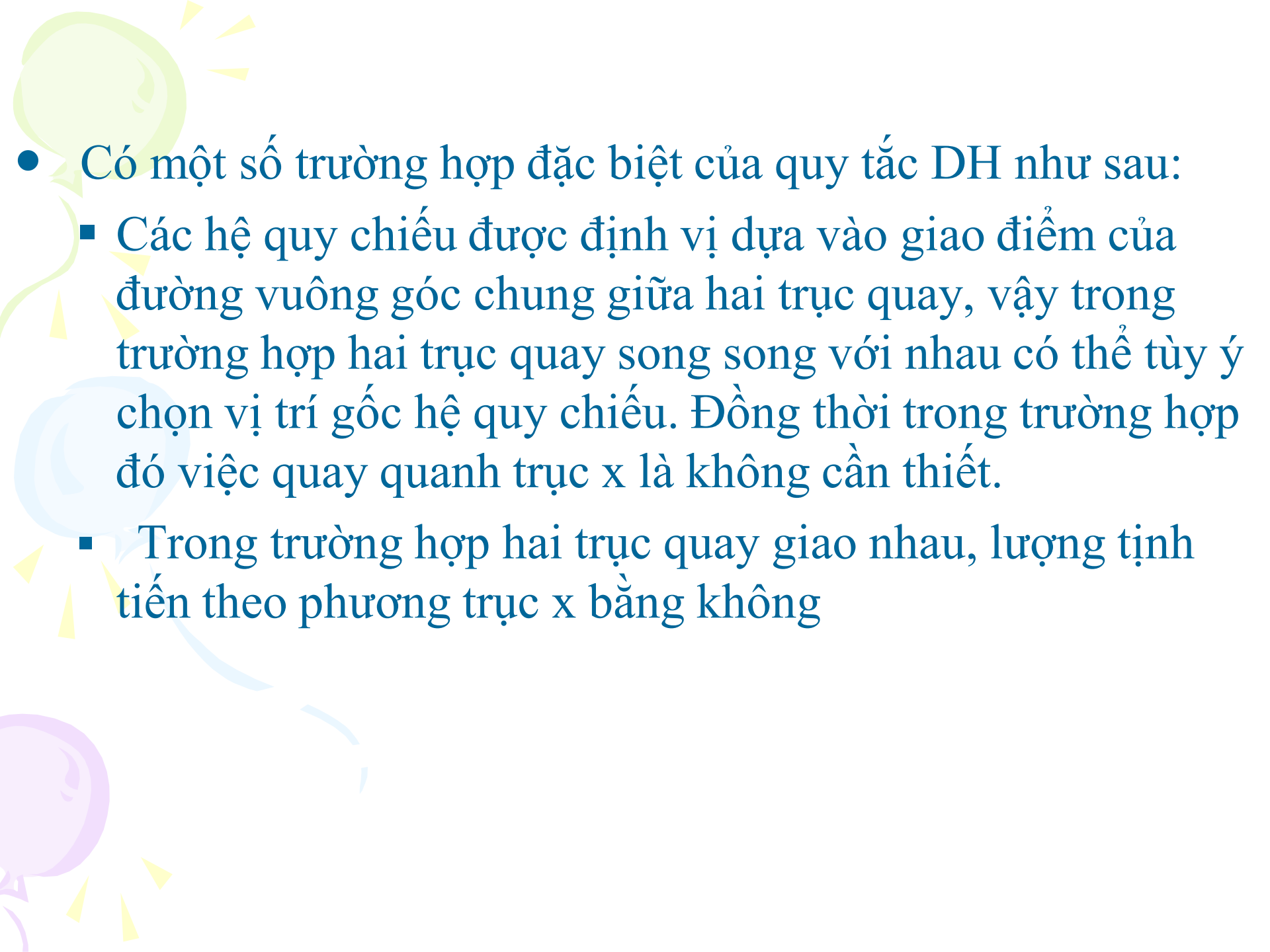
- Tịnh tiến hệ quy chiếu O_i theo trục x_i một lượng a_i bằng ma trận tịnh tiến.
- Quay hệ quy chiếu nhận được ở bước trên quanh trục x_i góc để hoàn thiện.

- Nhân hai ma trận này với nhau có ma trận biến đổi thuận nhất của bước này như sau:

$$A_i^{i'} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & c_{\alpha i} & -s_{\alpha i} & 0 \\ 0 & s_{\alpha i} & c_{\alpha i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Ma trận biến hình tổng hợp đạt được bằng cách nhân hai ma trận trên có dạng:

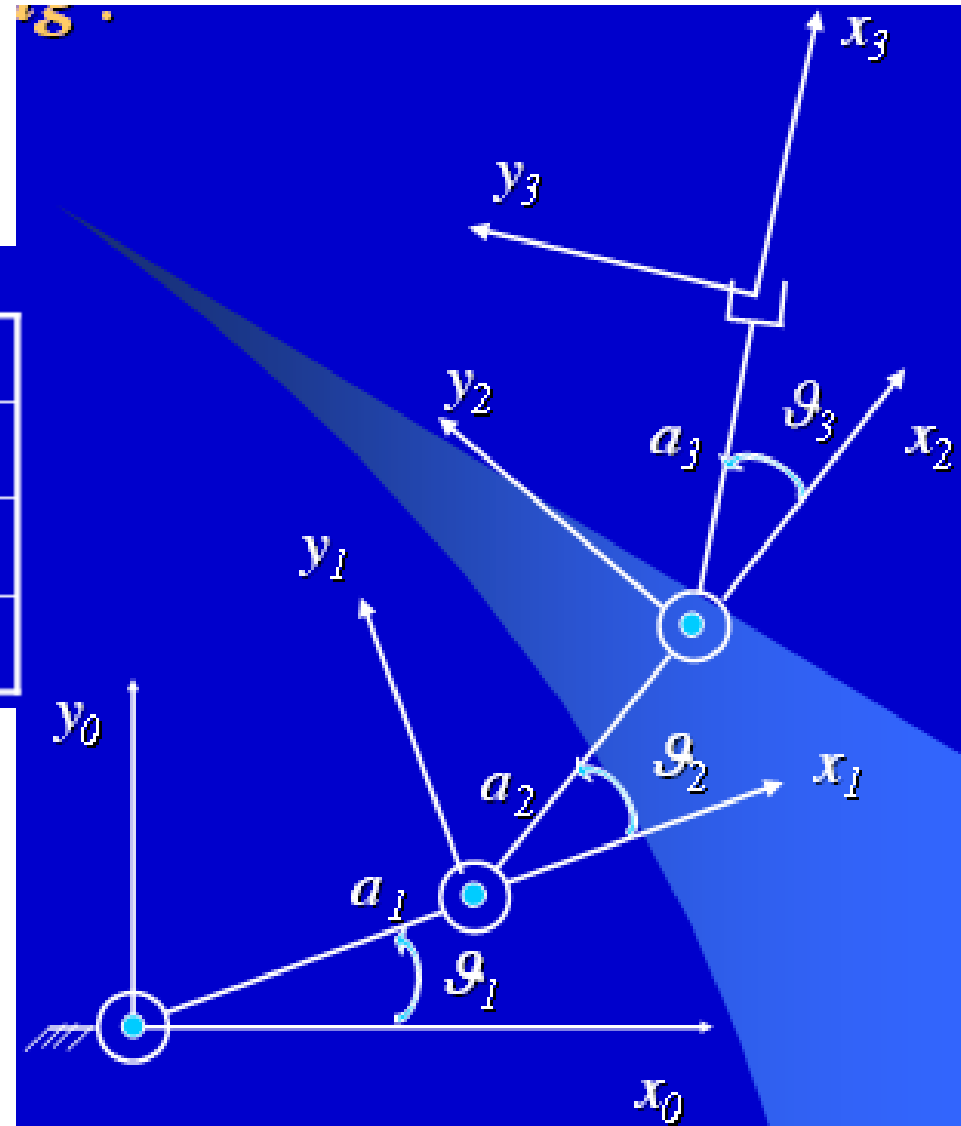
$$A_i^{i-1}(q_i) = A_i^{i-1} A_i^{i'} = \begin{bmatrix} c_{g_i} & -s_{g_i} c_{\alpha i} & s_{g_i} s_{\alpha i} & a_i c_{g_i} \\ s_{g_i} & c_{g_i} c_{\alpha i} & -c_{g_i} s_{\alpha i} & a_i s_{g_i} \\ 0 & s_{\alpha i} & c_{\alpha i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 
- Có một số trường hợp đặc biệt của quy tắc DH như sau:
 - Các hệ quy chiếu được định vị dựa vào giao điểm của đường vuông góc chung giữa hai trục quay, vậy trong trường hợp hai trục quay song song với nhau có thể tùy ý chọn vị trí gốc hệ quy chiếu. Đồng thời trong trường hợp đó việc quay quanh trục x là không cần thiết.
 - Trong trường hợp hai trục quay giao nhau, lượng tịnh tiến theo phương trục x bằng không

- 2.4.2. Một số ví dụ ứng dụng quy tắc DH:
- Tay máy ba khâu phẳng:
- Sơ đồ động học của tay máy cho thấy như hình vẽ:

• *Bảng thông số Denavit-Hartenberg.*

Khâu	a_i	α_i	d_i	\mathcal{G}_i
1	a_1	0	0	\mathcal{G}_1
2	a_2	0	0	\mathcal{G}_2
3	a_3	0	0	\mathcal{G}_3



- Thay các thông số tương ứng vào các ma trận mẫu tổng quát nói trên nhận được ma trận biến hình cho từng bước như sau:

$$A_i^{i-1}(\vartheta_i) = \begin{bmatrix} c_i & -s_i & 0 & a_i c_i \\ s_i & c_i & 0 & a_i s_i \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Khi nhân các ma trận này với nhau có ma trận chuyển đổi tổng hợp:

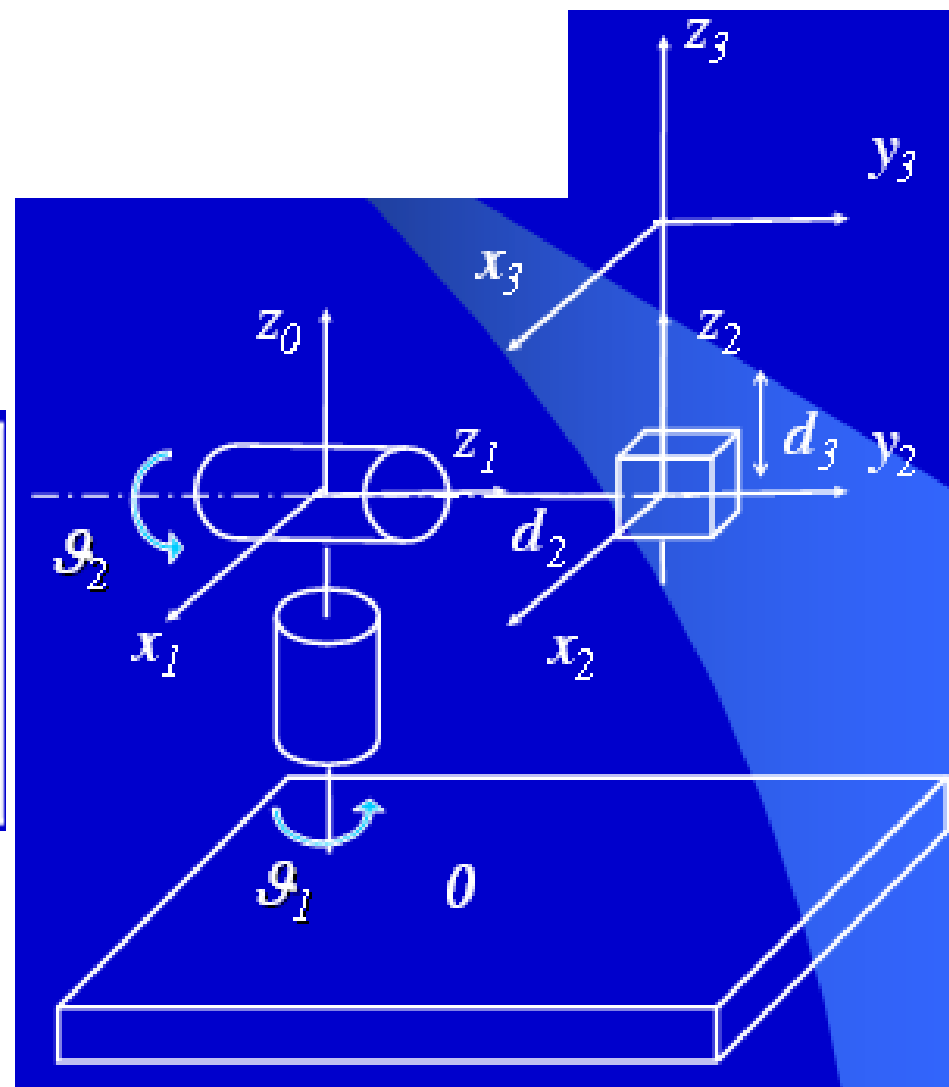
$$T_3^0(q) = A_1^0 A_2^1 A_3^2 = \begin{bmatrix} c_{123} & -s_{123} & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_{12} + a_3 c_{123} \\ s_{123} & c_{123} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_{12} + a_3 s_{123} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Ở đây kí hiệu: $c_{123} = \cos(\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3)$

Tay máy tọa độ cầu:

Sơ đồ động và bảng thông số DH cho thấy như hình vẽ:

Khâu	a_i	α_i	d_i	\mathfrak{g}_i
1	0	$-\pi/2$	0	\mathfrak{g}_1
2	0	$\pi/2$	d_2	\mathfrak{g}_2
3	0	0	d_3	0



- Vì z_0 và z_1 cắt nhau nên $d_1 = 0$. Từ bảng thông số DH có các ma trận chuyển vị thành phần như sau:

$$A_1^0(\mathcal{G}_1) = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2^1(\mathcal{G}_2) = \begin{bmatrix} c_2 & 0 & s_2 & 0 \\ s_2 & 0 & -c_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_3^2(d_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Nhân các ma trận trên với nhau có ma trận chuyển vị tổng hợp:

$$T_3^0(q) = A_1^0 A_2^1 A_3^2 = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -s_1 & c_1 s_2 & c_1 s_2 d_3 - s_1 d_2 \\ s_1 c_2 & c_1 & s_1 s_2 & s_1 s_2 d_3 + c_1 d_2 \\ -s_2 & 0 & c_2 & c_2 d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.4.3. Vùng hoạt động của phần công tác:

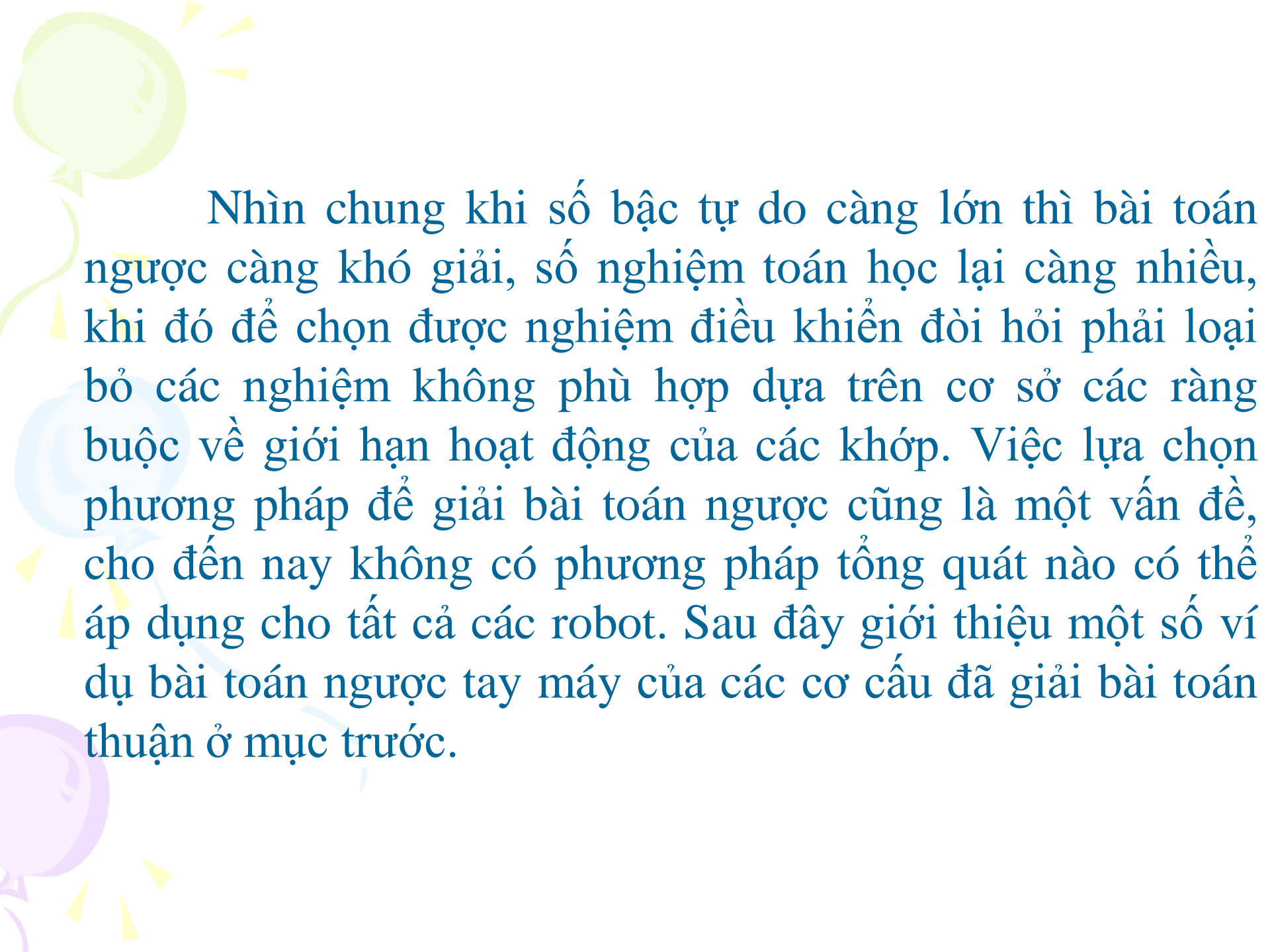
- Tập hợp các điểm mà tay máy có khả năng định vị và định hướng phần công tác thỏa mãn yêu cầu công việc tạo thành một hoặc vài miền liên tục, miền đó được gọi là miền công tác, hay vùng làm việc, Những điểm thuộc vào vùng làm việc mà tay máy không thể đạt được định vị ở đó do các lí do kết cấu gọi là lỗ trống.
- Vùng làm việc của tay máy là một thông số quan trọng của nó, thể tích và hình dạng của vùng làm việc phụ thuộc vào kết cấu của tay máy và giới hạn của các biến khớp.
- Đôi khi người ta có phân biệt vùng với tới và vùng với tới có định hướng, để biểu diễn được vùng làm việc, xác định phần với tới có định hướng và với tới không định hướng cần có các kĩ năng toán học, và trên cơ sở đặc điểm cụ thể của từng loại tay máy.

2.5. Bài toán động học ngược của tay máy:

- Bài toán thuận động học nhằm xác định vị và định hướng của phần công tác khi cho trước các biến khớp. Bài toán ngược cho trước vị trí và định hướng của khâu tác động sau cùng đòi hỏi phải xác định bộ thông số tọa độ suy rộng để đảm bảo chuyển động cho trước của phần công tác.
- Đối với tay máy có kết cấu dạng chuỗi động hở, nếu cho trước bộ thông số biến khớp thì vị trí và định hướng của phần công tác xác định duy nhất, điều này không đúng với các tay máy có cấu trúc dạng chuỗi động kín.

• Đối với các tay máy dạng chuỗi động hở, ứng với một bộ thông số mô tả định vị và định hướng của phần công tác khi giải bài toán ngược có thể xảy ra các trường hợp:

- Có thể có nhiều lời giải khác nhau;
- Các phương trình đồng nhất thức thường có dạng phi tuyến, siêu việt, thường không cho lời giải đúng;
- Có thể gặp nghiệm vô định vì có các liên kết thừa giống kiểu kết cấu siêu tĩnh;
- Có thể có lời giải toán học, song lời giải này không chấp nhận được về mặt vật lí do các yếu tố về kết cấu của cấu trúc không đáp ứng được.



Nhìn chung khi số bậc tự do càng lớn thì bài toán ngược càng khó giải, số nghiệm toán học lại càng nhiều, khi đó để chọn được nghiệm điều khiển đòi hỏi phải loại bỏ các nghiệm không phù hợp dựa trên cơ sở các ràng buộc về giới hạn hoạt động của các khớp. Việc lựa chọn phương pháp để giải bài toán ngược cũng là một vấn đề, cho đến nay không có phương pháp tổng quát nào có thể áp dụng cho tất cả các robot. Sau đây giới thiệu một số ví dụ bài toán ngược tay máy của các cơ cấu đã giải bài toán thuận ở mục trước.

- **2.5.1. Cơ cấu ba khâu phẳng:**

- Dựa trên kết quả đã triển khai ở bài toán thuận, ta đã có phương trình động học của tay máy này dưới dạng ma trận đồng nhất (4.4):

$$T_3^0(q) = A_1^0 A_2^1 A_3^2 = \begin{bmatrix} c_{123} & -s_{123} & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_{12} + a_3 c_{123} \\ s_{123} & c_{123} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_{12} + a_3 s_{123} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Ma trận định vị và định hướng phần tác động sau cùng trên cánh tay được cho trước trong bài toán ngược dưới dạng như sau:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

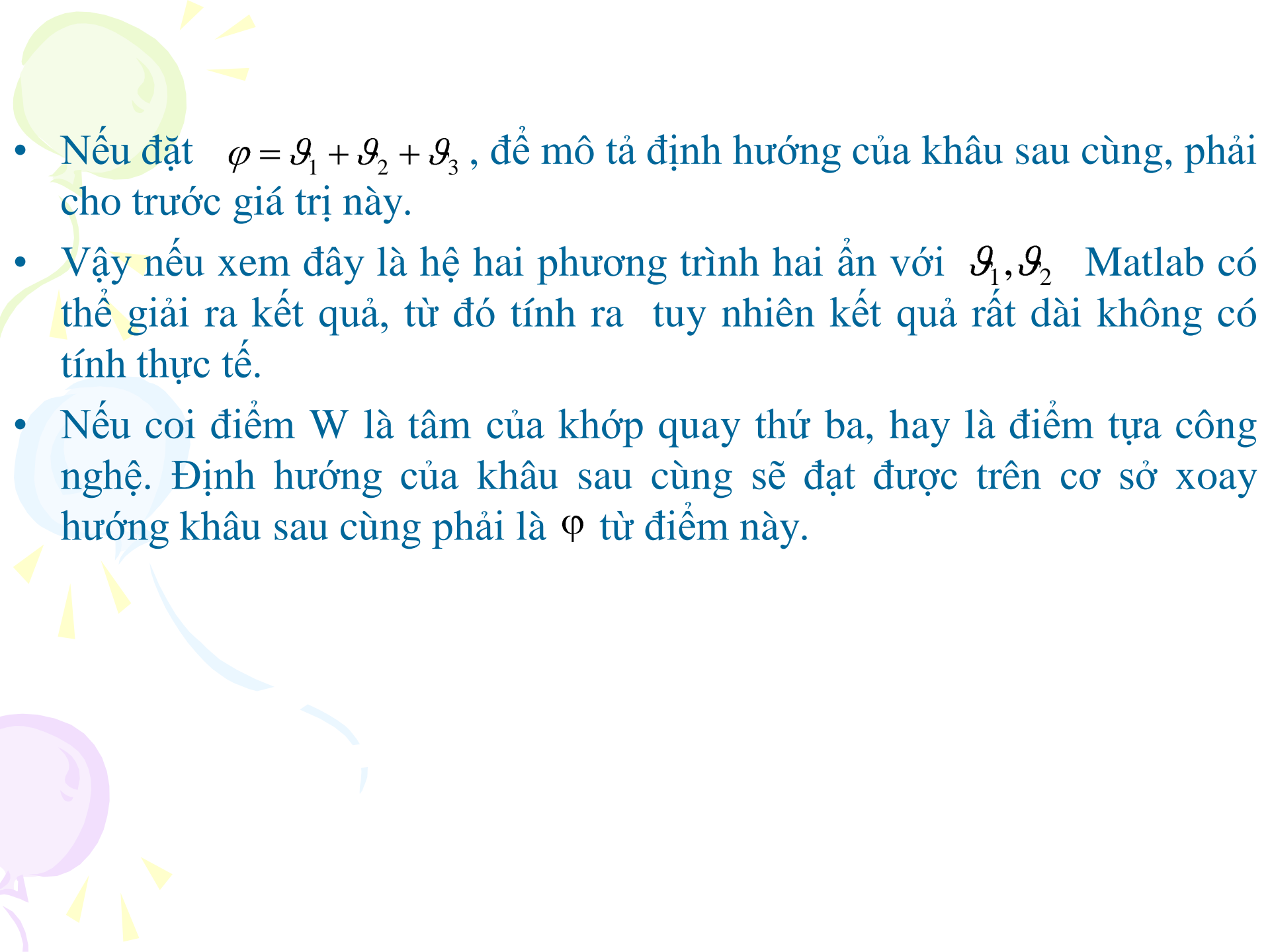
- Nhiệm vụ của bài toán ngược phải xác định một bộ công thức tính $\mathcal{G}_1; \mathcal{G}_2; \mathcal{G}_3$ dựa trên các đồng nhất thức tạo ra từ hai ma trận trên.

- Vì biến số nằm trong góc nên nếu giải trực tiếp hệ phương trình mô tả định vị và định hướng là không thể. Hãy xem hệ thiết lập được trên 2 điều kiện này:

$$\begin{cases} -\sin(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3) = a_{12} \\ 0 = a_{13} \\ 0 = a_{23} \\ a_1 \cos(\mathcal{G}_1) + a_2 \cos(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2) + a_3 \cos(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3) = a_{14} \\ a_1 \sin(\mathcal{G}_1) + a_2 \sin(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2) + a_3 \sin(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3) = a_{24} \\ 0 = a_{34} \end{cases}$$

- Ba phương trình đầu của hệ mô tả định hướng của khâu sau cùng, ba phương trình sau mô tả định vị của khâu sau cùng. Vì hệ suy biến nên thực chất còn ba phương trình, ba ẩn:

$$\begin{cases} -\sin(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3) = a_{12} \\ a_1 \cos(\mathcal{G}_1) + a_2 \cos(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2) + a_3 \cos(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3) = a_{14} \\ a_1 \sin(\mathcal{G}_1) + a_2 \sin(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2) + a_3 \sin(\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3) = a_{24} \end{cases}$$

- 
- Nếu đặt $\varphi = \vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3$, để mô tả định hướng của khâu sau cùng, phải cho trước giá trị này.
 - Vậy nếu xem đây là hệ hai phương trình hai ẩn với ϑ_1, ϑ_2 Matlab có thể giải ra kết quả, từ đó tính ra tuy nhiên kết quả rất dài không có tính thực tế.
 - Nếu coi điểm W là tâm của khớp quay thứ ba, hay là điểm tựa công nghệ. Định hướng của khâu sau cùng sẽ đạt được trên cơ sở xoay hướng khâu sau cùng phải là φ từ điểm này.

- Điểm tựa công nghệ W có thể xác định bằng hình học như sau:

$$\begin{cases} p_{wx} = p_x - a_3 c_\phi = a_1 c_1 + a_2 c_{12} \\ p_{wy} = p_y - a_3 s_\phi = a_1 s_1 + a_2 s_{12} \end{cases}$$

- Bình phương hai vế phương trình này rồi cộng lại nhận được:

$$c_2 = \frac{p_{wx}^2 + p_{wy}^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2}$$

- C_2 phải thỏa mãn miền giá trị của hàm cosin. Tính được: $s_2 = \pm \sqrt{1 - c_2^2}$

- Thay c_2 vào hệ phương trình trên và giải ra được:

$$s_1 = \frac{(a_1 + a_2 c_2) p_{wy} - a_2 s_2 p_{wx}}{p_{wx}^2 + p_{wy}^2} \quad c_1 = \frac{(a_1 + a_2 c_2) p_{wx} + a_2 s_2 p_{wy}}{p_{wx}^2 + p_{wy}^2} \quad \mathcal{G}_2 = A \tan 2(s_2, c_2)$$

- Cuối cùng tính được: $\mathcal{G}_3 = \phi - \mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2$
- Bài toán ngược kết thúc phần xác định nghiệm toán học, cần tiếp tục căn cứ vào các yêu cầu cụ thể chọn nghiệm điều khiển.

2.5.2. Cơ cấu cầu:

- Phương trình động học cơ cấu cầu đã xác định trong bài toán thuận, nếu tổng quát bài toán ngược đòi hỏi đáp ứng cả định vị và định hướng của điểm quản lí, sẽ phải giải hệ 6 phương trình (ba định vị, ba định hướng) để xác định các biến khớp .

- Xuất phát từ phương trình động học trong bài toán thuận:

$$T_3^0(q) = A_1^0 A_2^1 A_3^2 = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -s_1 & c_1 s_2 & c_1 s_2 d_3 - s_1 d_2 \\ s_1 c_2 & c_1 & s_1 s_2 & s_1 s_2 d_3 + c_1 d_2 \\ -s_2 & 0 & c_2 & c_2 d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Ma trận mô tả định vị, định hướng của phần công tác biết trước:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

- Hệ 6 phương trình ba ẩn như sau:

$$\begin{cases} a_{12} = -s_1 \\ a_{13} = c_1 s_2 \\ a_{23} = s_1 s_2 \\ c_1 s_2 d_3 - s_1 d_2 = a_{14} \\ s_1 s_2 d_3 + c_1 d_2 = a_{24} \\ c_2 d_3 = a_{34} \end{cases}$$

- Chúng ta thấy ba phương trình đầu mô tả định hướng của phần làm việc vì vậy không liên quan gì đến tầm với d_3 , mà chủ yếu liên quan đến hai bậc tự do quay. Ngược lại, ba phương trình sau mô tả định vị nên liên quan chặt chẽ đến tầm với d_3 .
- Nếu không đòi hỏi định hướng, chỉ xét hệ gồm ba phương trình sau trong hệ

2.6. Bài toán vận tốc:

- Bài toán vận tốc có thể giải theo hai cách, dựa trên quan hệ hình học hoặc dựa trên quan hệ giải tích. Ở đây trình bày lời giải theo quan hệ giải tích (vi phân động học) để có thể kế thừa được các kết quả của phần tính toán động học nói trên.

- Biết rằng chuyển vị là lời giải của bài toán ngược động học, còn đạo hàm bậc nhất của chuyển vị theo thời gian chính là vận tốc. Hãy xem quan hệ sau:

- Vận tốc chuyển động tịnh tiến của phần công tác so với hệ cơ sở được tính bằng cách lấy đạo hàm của tọa độ $p(q)$ theo thời gian:

$$p' = \frac{\partial p}{\partial q} q' = J_p(q) q'$$

- Tương tự, vận tốc quay của phần công tác được tính bằng đạo hàm của $\varphi(q)$

$$\varphi' = \frac{\partial \varphi}{\partial q} q' = J_\varphi(q) q'$$

- Tổng hợp lại ta có phương trình biểu diễn ảnh hưởng của các vận tốc khớp đến vận tốc của phần công tác như sau:

$$x' = \begin{bmatrix} p' \\ \varphi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_p(q) \\ J_\varphi(q) \end{bmatrix} q' = J_A(q) q'$$

- Trong đó $J_A(q)$ gọi là Jacobian giải tích.

Chương 3: Động lực học tay máy (7 tiết)

- Động lực học tay máy nghiên cứu mối quan hệ giữa lực, mômen, năng lượng... với các thông số chuyển động của nó. Nghiên cứu động lực học tay máy nhằm các mục đích sau:
 - Mô phỏng hoạt động của tay máy, để khảo sát, thử nghiệm quá trình làm việc của nó mà không phải dùng tay máy thật.
 - Phân tích tính toán kết cấu của tay máy.
 - Phân tích thiết kế hệ thống điều khiển của tay máy.

• 3.1. Phương pháp Lagrange:

• 3.1.1. Cơ sở toán học:

- Phương pháp Lagrange dựa trên mối quan hệ giữa tổng năng lượng của hệ thống với lực tổng quát trong một hệ tọa độ tổng quát.
- Giả sử xác định một tập hợp các biến λ_i với $i = 1 \dots n$, với tư cách là các thông số mô tả vị trí các khâu của một tay máy có n bậc tự do, hàm lagrange của cơ hệ là hàm số tổng quát của các biến nói trên:

$$L = T - U$$

- Trong đó T và U tương ứng là động năng và thế năng của hệ thống.
- Công thức Lagrange được viết như sau:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \lambda'_i} - \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = \xi_i \quad \text{với } i = 1 \dots n$$

Trong đó ξ_i là lực tổng quát liên kết với các tọa độ tổng quát λ_i

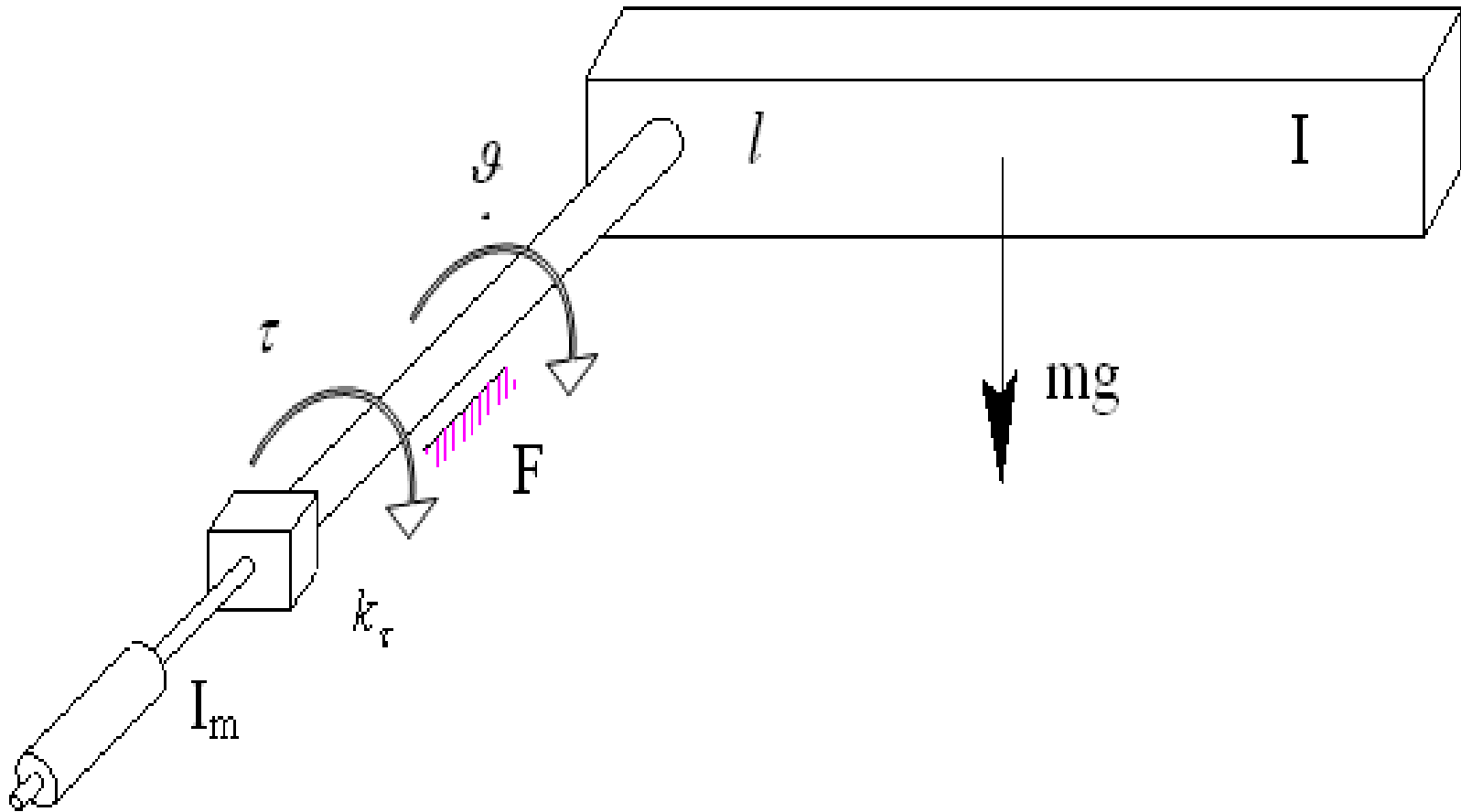
- Đối với các tay máy có cấu trúc dạng chuỗi động hở, chọn các tọa độ tổng quát là véc tơ các biến khớp (khớp quay là góc quay, khớp tịnh tiến là lượng tịnh tiến):

$$q = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix}$$

- Lực tổng quát có thể bao gồm mô men phát động trên trục động cơ, mômen ma sát tại các ổ trục, lực tương tác giữa phần công tác với đối tượng...

Ví dụ 1:

- Mô hình động học của trục dao động tượng trưng cho một khâu chuyển động quay tròn của robot, được dẫn động bởi một động cơ độc lập như hình vẽ:



Trên hình vẽ động cơ điện có có mômen quán tính I_m , nối với hộp giảm tốc có tỉ số truyền k_r , nhờ đó, trục được truyền một mô men chủ động và có vận tốc góc . Vật quay có khối lượng m , mômen quán tính I và tọa độ trọng tâm đặt cách trục dẫn động một khoảng l . Chọn thông số chính mô tả vị trí của trục quay là góc quay của trục (xem hình vẽ). Có nghĩa là tính ngược lại qua tỉ số truyền của hộp giảm tốc trục động cơ phải quay một góc . Khi đó động năng của hệ thống tính theo công thức:

$$T = \frac{1}{2} I \dot{\vartheta}^2 + \frac{1}{2} I_m k_r^2 \dot{\vartheta}^2$$

- Trong đó thừa số thứ nhất mô tả động năng của khâu chấp hành, thừa số thứ hai mô tả động năng của động cơ.
- Thế năng của hệ thống phụ thuộc vào chiều cao thế năng của khâu chấp hành:

$$U = mgl(1 - \cos\vartheta)$$

- Thay vào phương trình Lagrange được:

$$L = \frac{1}{2}I\vartheta'^2 + \frac{1}{2}I_m k_r^2 \vartheta'^2 - mgl(1 - \cos\vartheta)$$

- Công thức Lagrange mô tả quan hệ giữa các tọa độ suy rộng với lực suy rộng, đòi hỏi phải tính trước một số đại lượng có mặt như:

$$\frac{\partial L}{\partial \vartheta'} = I\vartheta' + I_m k_r^2 \vartheta'$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \vartheta'} = I\vartheta'' + I_m k_r^2 \vartheta''$$

$$\frac{\partial L}{\partial \vartheta} = -mgl \sin \vartheta$$

- Thay các kết quả trung gian vào công thức Lagrange và giả thiết rằng lực tổng quát ξ gồm mô men phát động τ , và mô men ma sát $F\mathcal{G}'$ có mô hình sau:

$$(I + I_m k_r^2) \mathcal{G}'' + mgl \sin \mathcal{G} = \xi = \tau - F \mathcal{G}'$$

- Hay dưới dạng quan hệ với lực phát động của động cơ:

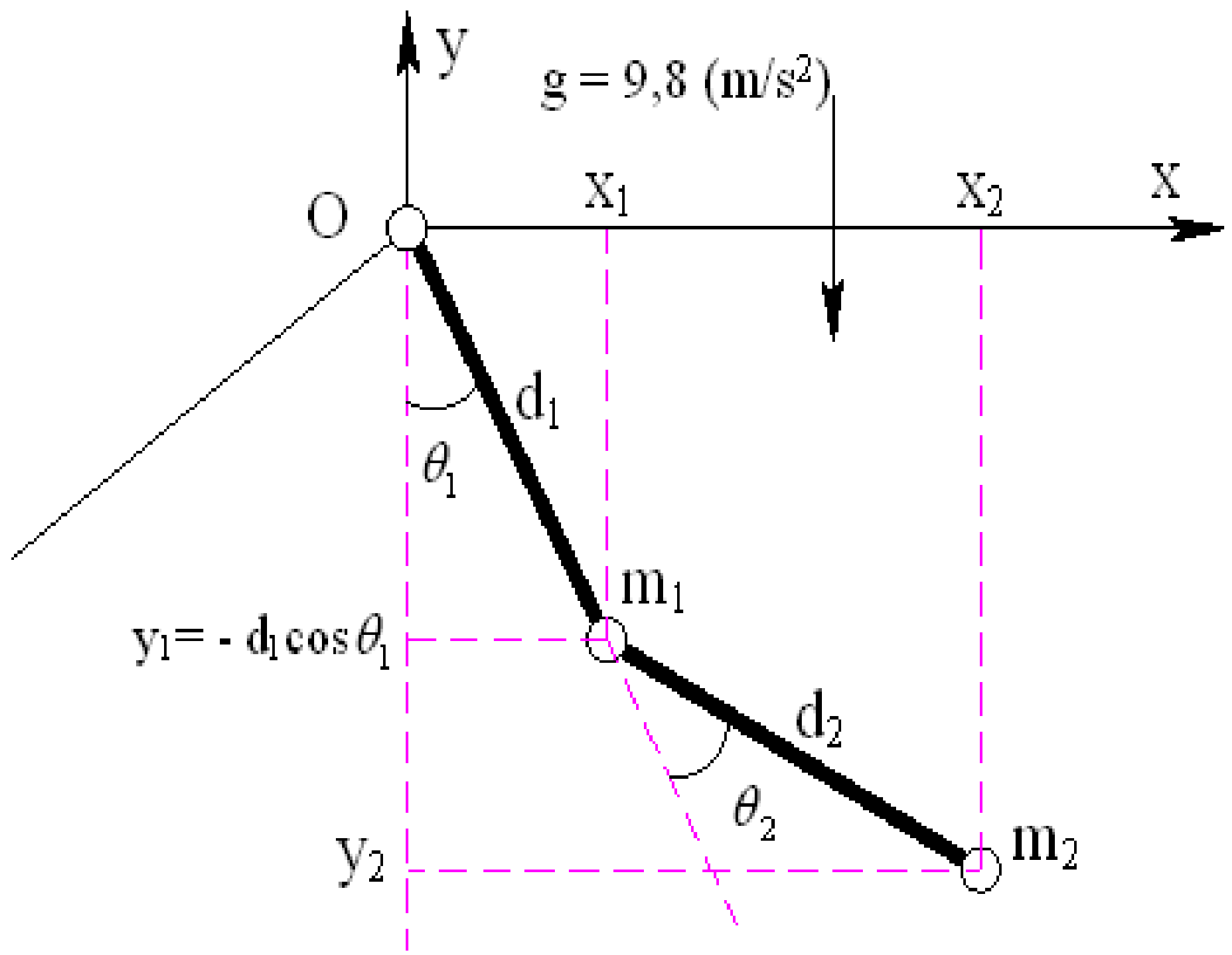
$$(I + I_m k_r^2) \mathcal{G}'' + F \mathcal{G}' + mgl \sin \mathcal{G} = \tau$$

- Phương trình này có ý nghĩa như sau:

Để quay trục chấp hành đi một góc \mathcal{Q} cần tác dụng lên trục động cơ một lực tối thiểu τ , lực này dùng tạo ra tất cả các thành phần có công âm ở vế trái, trong đó:

- Các đại lượng gắn với \mathcal{Q}' trong phương trình mô tả hiệu ứng của lực quán tính (đạo hàm bậc hai của góc quay là gia tốc góc, gia tốc góc gắn với lực quán tính).
- Các đại lượng gắn với \mathcal{Q} trong phương trình mô tả hiệu ứng tương hỗ (đạo hàm bậc nhất của góc quay là vận tốc, vận tốc lũy thừa một gắn với lực ma sát).
- Các đại lượng gắn với \mathcal{Q}^2 trong phương trình mô tả hiệu ứng li tâm (trong ví dụ này bỏ qua hiệu ứng li tâm nên không có mặt thừa số này).
- Các đại lượng gắn với \mathcal{Q} trong phương trình mô tả hiệu ứng trọng lực (lực trọng trường).

Ví dụ 2: Xét một robot hai khâu có hệ quy chiếu cố định như hình vẽ:



Hai khâu của robot có chiều dài d_1 ; d_2 với các khối lượng tương ứng m_1 ; m_2 . Các khớp quay hoạt động với biên θ_1 ; θ_2 hãy xác định biểu thức tính lực tổng quát.

- Với khâu 1:

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 d_1^2 \dot{\theta}_1^2$$

$$P_1 = -m_1 g d_1 \cos \theta_1$$

- Trong đó K kí hiệu của động năng, ở đây chỉ xét động năng của khâu mà không kể động cơ, P là thế năng của khâu
- Vị trí của khâu 2 tính theo biểu thức sau:

$$x_2 = d_1 \sin \theta_1 + d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$y_2 = -d_1 \cos \theta_1 - d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

- Chiều cao thế năng của khâu 2 tính bằng tung độ điểm 2:

$$h = d_1 \cos \theta_1 + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

- Khâu 2 chuyển động theo phương trục x và trục y đồng thời nên vận tốc tổng hợp bằng đường chéo hình chữ nhật tính theo pitago như sau:

$$x_2' = \frac{d}{dt} x_2 = d_1 \cos \theta_1 \frac{d\theta_1}{dt} + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \left(\frac{d\theta_1}{dt} + \frac{d\theta_2}{dt} \right)$$

$$= d_1 \cos \theta_1 \theta_1' + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) (\theta_1' + \theta_2')$$

$$y_2' = \frac{d}{dt} y_2 = d_1 \sin \theta_1 \theta_1' + d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) (\theta_1' + \theta_2')$$

$$v_2^2 = x_2'^2 + y_2'^2 = [d_1^2 \theta_1'^2 + d_2^2 (\theta_1'^2 + 2\theta_1' \theta_2' + \theta_2'^2) + 2d_1 d_2 \cos \theta_2' (\theta_1'^2 + \theta_1' \theta_2')]]$$

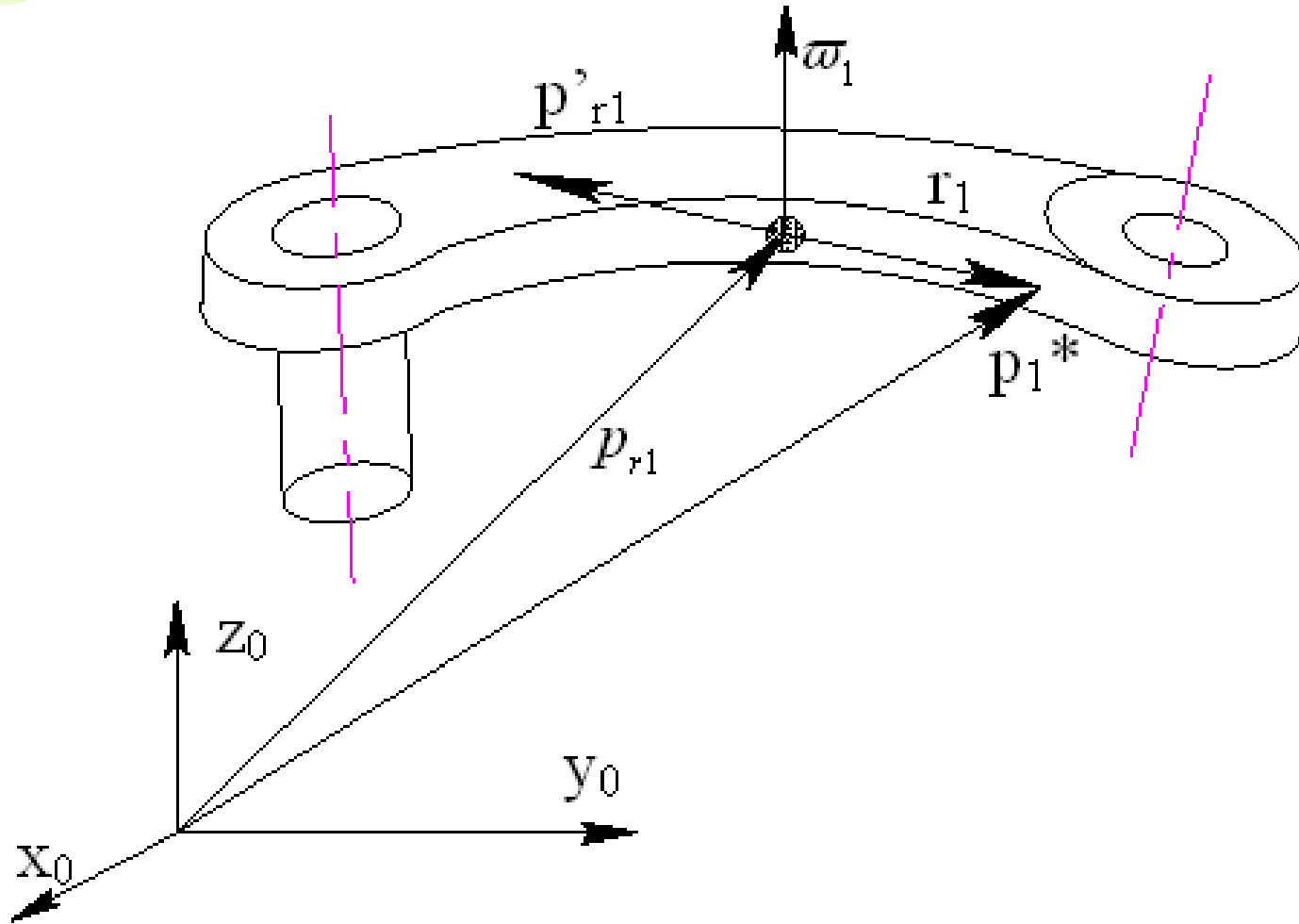
- Vậy:

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_2 [d_1^2 \theta_1'^2 + d_2^2 (\theta_1'^2 + 2\theta_1' \theta_2' + \theta_2'^2) + 2d_1 d_2 \cos \theta_2' (\theta_1'^2 + \theta_1' \theta_2')]]$$

$$P_2 = -m_2 g [l_1 \cos \theta_1 + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)]$$

3.1.2. Tính động năng:

Sơ đồ tính động năng chuyển động



- Động năng của hệ thống gồm hai phần là động năng của phần chấp hành và động năng của cơ cấu phát động cùng với hệ thống truyền động:

$$T = \sum_{i=1}^n (T_i + T_m)$$

- Động năng chuyển động T_{li} có thể được tính theo sơ đồ ở trên:

$$T_{li} = \frac{1}{2} \int_{V_{li}} p_i'^{*T} p_i'^* \rho dV$$

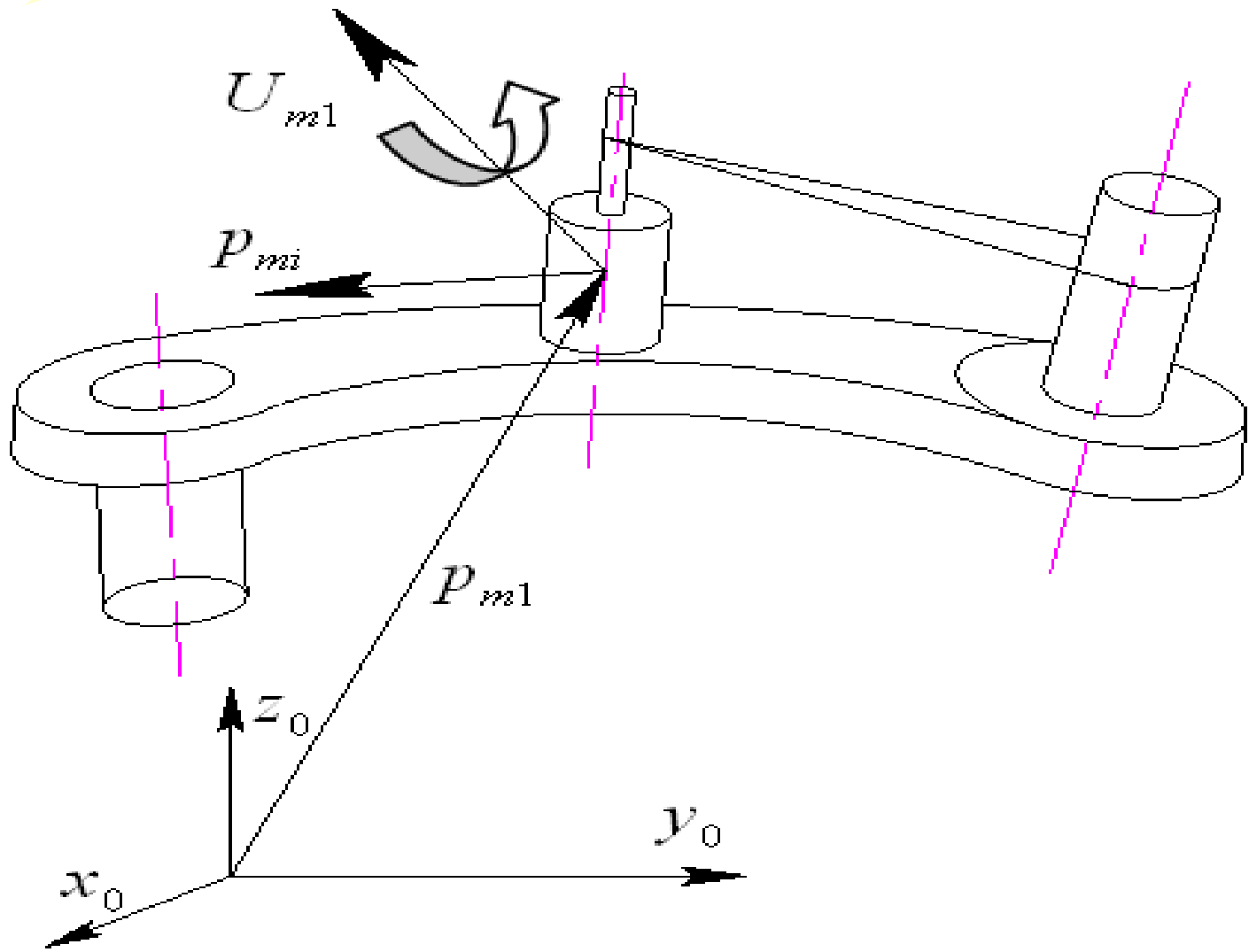
- Trong đó:

$p_i'^*$ là vector vận tốc dài ($v^2 = p_i'^{*T} \cdot p_i'^*$)

ρ là khối lượng riêng của phân tử thể tích dV

V_{li} là thể tích của khâu thứ i :

$$p_i'^* = p_{li}' + \omega_i \times r_i$$



Sơ đồ tính động năng khâu dẫn

- Sau khi tính các thành phần dưới dấu tích phân của (1), ta nhận thấy động năng T_{li} có 3 thành phần: tịnh tiến, quay lại và quay. Tổng thành phần chủ yếu là tịnh tiến và quay, sau khi tính các tích phân tương ứng, bằng:

$$T_{li} = \frac{1}{2} m_{li} \mathbf{q}^T \mathbf{J}_P^{(li)T} \mathbf{J}_P^{(li)} \mathbf{q}' + \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{J}_o^{(li)T} \mathbf{R}_i \mathbf{I}_{li}^T \mathbf{R}_i \mathbf{J}_o^{li} \mathbf{q}' \quad (2)$$

- Ngoài các ký hiệu đã dùng từ trước, các ký hiệu trong phần này được quy ước như sau:

T - Động năng

U - Thế năng

m - Khối lượng

J – Jacobian

I – Tensor quán tính tương ứng với khối tâm

- Chỉ số l tương ứng với khâu (link); m với động cơ (motor).
- Động năng của motor cũng được tính tương tự. Giả thiết động năng của stator được tính vào khâu mạng nó. Phần phải tính là động năng của các phần chuyển động, quy về rotor. Một giả thiết nữa là động cơ điều khiển khớp thứ i sẽ được gắn trên khâu thứ $i - 1^*$.

- Trong sơ đồ tính động năng khâu dẫn, động năng của motor được tính nhờ công thức:

$$T_{mi} = \frac{1}{2} m_{mi} p_{mi}^T p'_{mi} + \frac{1}{2} \omega_{mi}^T I_{mi} \omega_{mi}$$

- Trong đó các thông số của rotor:

m_{mi} : khối lượng

p'_{mi} : vận tốc dài

I_{mi} : Tensor quán tính của rotor đối với khối tâm của nó

ω_{mi} : vận tốc góc

Ta nhận được công thức tương tự:

$$T_{mi} = \frac{1}{2} m_{li} q^T J_P^{(mi)T} J_P^{(mi)} q' + \frac{1}{2} q^T J_o^{(mi)T} R_{mi} I_{mi}^T R_{mi} J_o^{mi} q' \quad (4)$$

- Cộng động năng của tất cả các khâu tương ứng với các biểu thức (2) và (4) được công thức tính động năng của toàn hệ thống:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}(q) q_i' q_j' = \frac{1}{2} q^T B(q) q'$$

3.1.3. Tính thế năng:

• Thế năng của hệ thống cũng bao gồm thế năng của từng khâu và của từng động cơ:

$$U = \sum_{i=1}^n (U_{li} + U_{mi})$$

• Trong đó kí hiệu li - chỉ link – khâu.

mi - chỉ motor - động cơ (nguồn chuyển động).

• Giả thiết các khâu rắn tuyệt đối và lực duy nhất gây nên thế năng là trọng lực, khi đó thế năng của các khâu được tính bởi công thức:

$$U_{li} = - \int_{li} g_0^T p_i^* \rho dV = -m_{li} g_0^T p_{li}$$

• Trong đó g_0 là véc tơ gia tốc trọng trường trong hệ cơ sở, nghĩa là:
 $g_0 = [0, 0, -g]$ nếu trục z đặt thẳng đứng.

• Thế năng của động cơ: $U_{mi} = -m_{mi} g_0^T p_{mi}$

• Cộng tất cả với nhau, thế năng của hệ thống mô tả như sau:

$$U = - \sum_{i=1}^n (m_{li} g_0^T p_{li} + m_{mi} g_0^T p_{mi})$$

3.1.4. Tính lực tổng quát và phân tích ý nghĩa cơ học của mô hình Lagrange:

• Trở lại với ví dụ 2, trong mục 3.1.1 về robot hai khâu. Động năng và thế năng của hai khâu đều đã xác định được trong mục đó. Để tính lực tổng quát có phương trình Lagrange như sau:

$$L = (K_1 + K_2) - (P_1 + P_2)$$

$$L = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)d_1^2\theta_1'^2 + \frac{1}{2}m_2d_2^2(\theta_1'^2 + 2\theta_1'\theta_2' + \theta_2'^2) + (m_1d_1d_2\cos\theta_2(\theta_1'^2 + \theta_1'\theta_2') + (m_1 + m_2)gd_1\cos\theta_1 + m_2gd_2\cos(\theta_1 + \theta_2))$$

• Khi tính lực tổng quát kí hiệu: $q_1 = \theta_1$; $q_2 = \theta_2$, với khâu 1 để xây dựng công thức Lagrange, dưới dạng:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \theta_1'} - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = F_1$$

- Đi tính toán các đại lượng có mặt trong công thức:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1'} = (m_1 + m_2)d_1^2 \theta_1' + m_2 d_2^2 (\theta_1' + \theta_2') + 2m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \theta_1' + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \theta_2'$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \theta_1'} = (m_1 + m_2)d_1^2 \theta_1'' + m_2 d_2^2 (\theta_1'' + \theta_2'') - 2m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \theta_2' \theta_1' +$$

$$2m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \theta_1'' - m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \theta_2'^2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \theta_2''$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -(m_1 + m_2)gd_1 \sin \theta_1 - m_2 gd_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

Thay vào phương trình Lagrange tổng quát và nhóm các thừa số:

$$F_1 = \left[(m_1 + m_2)d_1^2 + m_2 d_2^2 + 2m_1 d_1 d_2 \cos \theta_2 \right] \theta_1'' + \left[m_2 d_2^2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \right] \theta_2'' - 2m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \theta_2' \theta_1' - m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \theta_2'^2 + (m_1 + m_2)gd_1 \sin \theta_1 + m_2 gd_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

Để quay khâu 1 đi một góc θ_1 động cơ phải tạo ra một lực tối thiểu là F_1 , Lực này có đặc tính phi tuyến, là hợp của nhiều yếu tố như quán tính, tương hỗ, trọng lực, li tâm...

- Tương tự xây dựng công thức lực tổng quát cho khâu 2:

$$F_2 = \left[m_2 d_2^2 + m_1 d_1 d_2 \cos \theta_2 \right] \theta_1'' + m_2 d_2^2 \theta_2'' - m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \theta_1'^2 - 2m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \theta_1' \theta_2' - 2m_2 g d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

- Để phân tích ý nghĩa các thành phần trong biểu thức tính lực tổng quát, biểu diễn gọn lại như sau:

$$F = D_1 \theta_i'' + D_2 \theta_i'^2 + D_3 \theta_i' + D_4 \theta_i$$

Thừa số gắn với θ_i'' : mô tả hiệu ứng quán tính;

$\theta_i'^2$: Mô tả hiệu ứng li tâm;

θ_i' : Mô tả hiệu ứng tương hỗ (ma sát, chuyển động theo..);

θ_i : Mô tả hiệu ứng trọng trường.

3.2. Phương pháp NEWTON – EULER:

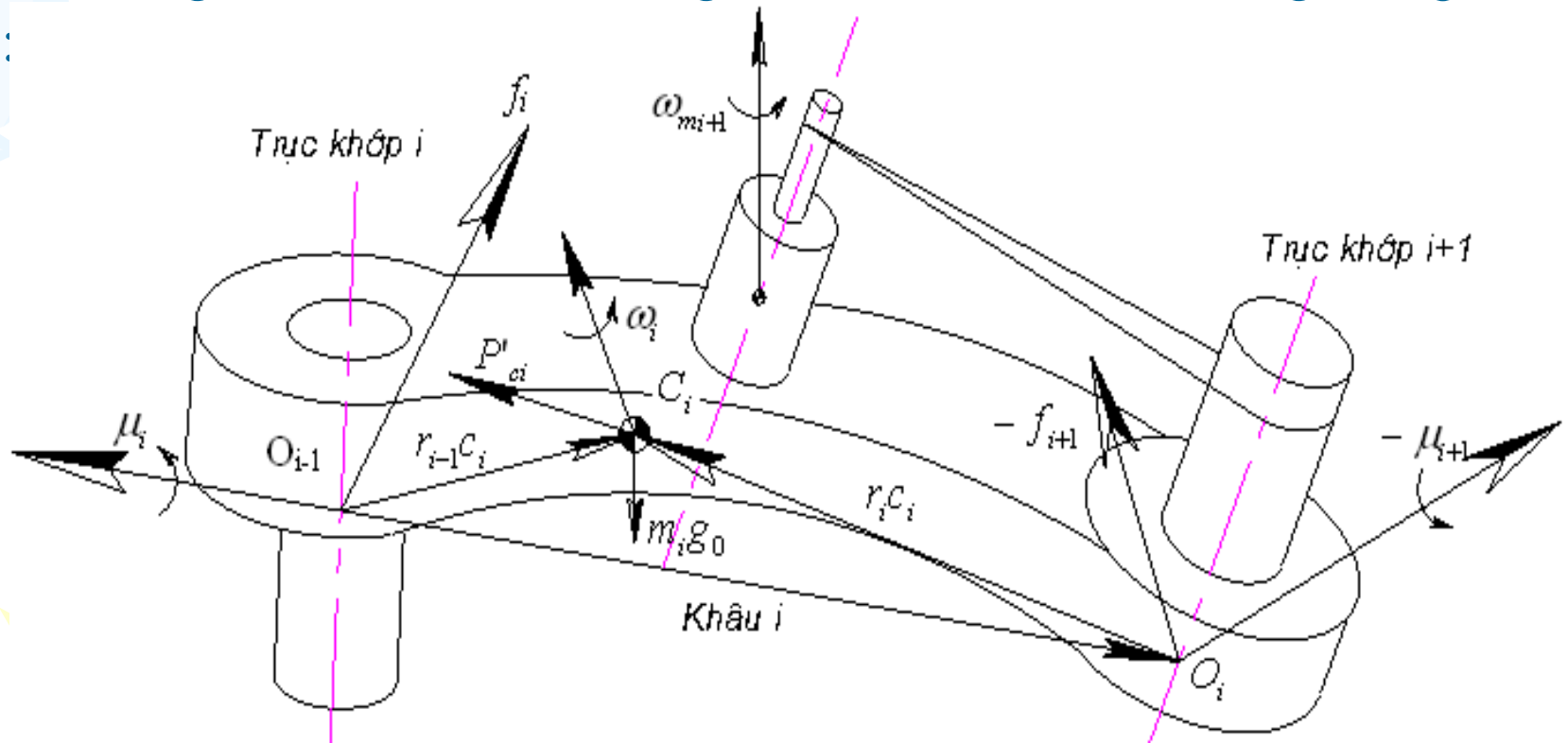
Với phương pháp Lagrange, mô hình động lực học của tay máy xuất phát từ tổng năng lượng của hệ thống. Phương pháp Newton – Euler xây dựng mô hình dựa trên sự cân bằng của hệ lực tác dụng lên hệ thống. (Nguyên lí đalămbe cho hệ lực cân bằng)

Sơ đồ động học dẫn đến công thức Newton – Euler như sau:

$$f_i - f_{i+1} + m_i g_0 = m_i p$$

Chuyển động tịnh tiến của trọng tâm được mô tả bằng công thức

Newton:



- Công thức *Euler* được dùng cho chuyển động quay của khâu, trong đó các momen được tính đối với tọa độ tâm và trọng lực $m_i g_0$ không gây nên momen, vì nó được đặt ngay tại trọng tâm:

$$\mu_i + f_i r_{i-1, Ci} - \mu_{i+1} - f_{i+1} r_{i, Ci} = \frac{d}{dt} (I_i \omega_i + k_{r, i+1} q'_{i+1} I_{mi+1} z_{mi+1})$$

- Đạo hàm thành phần thứ nhất của vế phải: $\frac{d}{dt} (I_i \omega_i) = I_i \omega'_i + \omega_i (I_i \omega_i)$
- Đạo hàm thành phần thứ hai:

$$\frac{d}{dt} (q'_{i+1} I_{mi+1} z_{mi+1}) = q''_{i+1} I_{mi+1} z_{mi+1} + q'_{i+1} I_{mi+1} \omega_i z_{mi+1}$$

- Thay vào công thức *Euler*

$$\mu_i + f_i r_{i-1, Ci} - \mu_{i+1} - f_{i+1} r_{i, Ci} = I_i \omega'_i + \omega_i (I_i \omega_i) + k_{r, i+1} q''_{i+1} I_{mi+1} z_{mi+1} + k_{r, i+1} q'_{i+1} I_{mi+1} \omega_i z_{mi+1}$$

- Lực tổng quát có thể tìm được bằng cách chiếu lực f_i (đối với khớp trượt) hoặc momen (đối với khớp quay) lên trục khớp, cộng thêm momen quán tính của rotor:

$$\tau_i = \begin{cases} f_i^T z_{i-1} + k_{ri} I_{mi} \omega_{mi}^T z_{mi} \\ \mu_i^T z_{i-1} + k_{ri} I_{mi} \omega_{mi}^T z_{mi} \end{cases}$$

3.2.2. Tính gia tốc của khâu:

➤ Tính gia tốc dài:

- Đối với khâu (i), để tính được gia tốc cần biết vận tốc và góc của vấn đề là cần biết véc tơ xác định vị trí của trọng tâm khâu (i).
- Với khớp trượt, kí hiệu p_{i-1} ; p_i lần lượt là véc tơ vị trí của khớp (i – 1) và khớp (i), $r_{i-1,i}$ là khoảng cách giữa hai trục của chúng, d_i là khoảng dịch chuyển theo khớp (i) ta có:

$$p'_i = (p'_{i-1} + d_i' z_{i-1} + \omega_i r_{i-1,i})$$

- Trong công thức này, thừa số thứ nhất là vận tốc của khâu mang khâu đang xét. Thừa số thứ hai là vận tốc tịnh tiến (do khớp trượt). Thừa số thứ ba là vận tốc dài (chuyển động quay tạo ra).

- Đạo hàm hai vế theo thời gian phương trình nói trên có:

$$p_i'' = p_{i-1}'' + d_i'' z_{i-1} + d_i' \omega_{i-1} z_{i-1} + \omega_i' r_{i-1,i} + \omega_i d_i' z_{i-1} + \omega_i (\omega_{i-1} r_{i-1,i})$$

- Thay $r_{i-1,i}' = d_i' z_{i-1} + \omega_{i-1} r_{i-1,i}$ vào phương trình trên có:

$$p_i'' = p_{i-1}'' + d_i'' z_{i-1} + 2d_i' \omega_i z_{i-1} + \omega_i' r_{i-1,i} + \omega_i (\omega_i r_{i-1,i})$$

- Với khớp quay:

$$p_i' = p_{i-1}' + \omega_i r_{i-1,i}$$

- Đạo hàm vận tốc p_i' theo thời gian, được:

$$p_i'' = p_{i-1}'' + \omega_i' r_{i-1,i} + \omega_i (\omega_i r_{i-1,i})$$

- Tổng hợp lại, ta có công thức tính gia tốc dài của khâu thứ i:

$$p_i'' = \begin{cases} p_{i-1}'' + d_i'' z_{i-1} + 2d_i' \omega_i r_{i-1,i} + \omega_i (\omega_i r_{i-1,i}) \\ p_{i-1}'' + \omega_i' r_{i-1,i} + \omega_i (\omega_i r_{i-1,i}) \end{cases}$$

➤ Tính gia tốc góc:

- Đối với khớp trượt: Vì $\omega_i = \omega_{i-1}$ nên:

$$\omega_i' = \omega_{i-1}'$$

- Đối với khớp quay, vì $\omega_i = \omega_{i-1} + \mathcal{G}_i' z_{i-1}$ nên:

$$\omega_i' = \omega_{i-1}' + \mathcal{G}_i'' z_{i-1} + \mathcal{G}_i' \omega_{i-1} z_{i-1}$$

- Tổng hợp lại ta có công thức tính gia tốc góc của khâu thứ i:

$$\omega_i' = \begin{cases} \omega_{i-1}' \\ \omega_{i-1}' + \mathcal{G}_i'' z_{i-1} + \mathcal{G}_i' \omega_{i-1} z_{i-1} \end{cases}$$

Chương 4: Cơ sở điều khiển robot (5 tiết)

- Động học và động lực học tay máy để phục vụ việc phân tích kết cấu của tay máy, làm nền tảng cho việc thiết kế phần cơ khí của tay máy. Mặt khác quan hệ giữa lực tổng quát, mô men và chuyển động lại rất cần cho việc thiết kế cơ cấu dẫn động, chọn nguồn chuyển động, song về cơ bản những công việc trên mới chỉ đề cập đến phần tay máy.
- Theo như các định nghĩa đã đưa ra trong chương 1, tay máy là thiết bị được điều khiển tự động theo chương trình. Nó gồm hai phần là đối tượng điều khiển và hệ thống điều khiển. Nhiệm vụ của hệ thống điều khiển là điều khiển tay máy thực hiện các nhiệm vụ đặt ra, nghĩa là phần công tác phải dịch chuyển theo quỹ đạo định trước và thực hiện các chức năng công tác. Nội dung chính của điều khiển robot liên quan tới những vấn đề sau:
 - Quan hệ giữa quỹ đạo hoạt động của phần công tác với các thông số động học, động lực học của tay máy.
 - Luật, phương pháp điều khiển và cấu trúc của hệ điều khiển.
 - Các cơ cấu của hệ thống điều khiển như cơ cấu phát động, cảm biến, bộ điều khiển, cùng các cơ cấu chuyển đổi và truyền tín hiệu giữa chúng.
 - Lập trình cho robot.

Các vấn đề trên liên quan đến nhiều ngành khoa học khác nhau, trong phạm vi chương này chúng ta đề cập đến các vấn đề thiên về cơ khí trong bài toán điều khiển robot.

4.1. Thiết kế quỹ đạo:

- Quỹ đạo là vấn đề chung trong điều khiển robot, vì để hoàn thành nhiệm vụ cụ thể của mình thì trước hết phần công tác phải di chuyển theo đúng quỹ đạo xác định. Nói cách khác, quỹ đạo là yếu tố cơ bản để mô tả hoạt động của robot. Việc thiết kế quỹ đạo cung cấp dữ liệu đầu vào cho hệ thống điều khiển nên cũng là cơ sở trực tiếp cho việc điều khiển.

- Tạm phân biệt hai thuật ngữ *đường dịch chuyển* hàm ý chỉ tập hợp các điểm trong không gian mà khâu cần điều khiển phải đi qua trong quá trình làm việc, nó chứa đựng các yếu tố hình học thuần túy, điều này đã được nghiên cứu kỹ khi học về tạo hình và mô tả ban đầu của các dạng đường cong khác nhau trong CAD/CAM học phần I.

- Thuật ngữ *quỹ đạo chuyển động* hay gọi tắt là *quỹ đạo*, bao gồm cả yếu tố hình học của đường dịch chuyển lẫn yếu tố thời gian thực hiện chuyển động đó như vận tốc, gia tốc. Vì vậy bài toán thiết kế quỹ đạo liên quan đến các vấn đề động học và động lực học.

- Các yếu tố đầu vào của bài toán bao gồm đường dịch chuyển và các điều kiện ràng buộc về động học và động lực học.

- Các yếu tố đầu ra là quỹ đạo của phần công tác. Nói chung, mô tả chính xác đường dịch chuyển là rất khó khăn. Người ta giảm bớt các tham số bằng cách quy định các điểm biên của vùng hoạt động, thêm các điểm trung gian mà đường phải đi qua, sau đó xấp xỉ (nội suy) bằng các đường đơn giản. tương tự như vậy, yếu tố thời gian của quỹ đạo không thể xác định cho từng điểm mà thường quy định cho cả đoạn đường. Chúng cũng thường được quy định bằng các giá trị giới hạn như vận tốc cho phép, hay gia tốc cho phép, hoặc gán bằng các giá trị mặc định.

- Bài toán thiết kế quỹ đạo được đặt ra trong cả không gian khớp lẫn vùng hoạt động. Các ràng buộc về *đường dịch chuyển* thuần túy các yếu tố hình học thường được mô tả trong vùng hoạt động. Ngược lại lực chuyển động của hệ thống thường xuất phát từ các khớp, nên việc điều khiển các động cơ dẫn động đòi hỏi xác định quy luật biến thiên theo thời gian của các biến khớp, việc này thực hiện trong không gian khớp.

- **4.1.1. Thiết kế quỹ đạo trong không gian khớp:**
- Chuyển động của tay máy thường được mô tả trong vùng làm việc bằng các điểm nút (gồm điểm đầu, điểm cuối, và có thể có một số điểm trung gian) và thời gian chuyển động. Vì vậy, để thiết kế quỹ đạo trong không gian khớp phải giải bài toán ngược động học để xác định giá trị các biến khớp tại các điểm nút. Sau đó thiết lập các hàm nội suy $q(t)$ để mô tả quỹ đạo vừa nhận được.
- Thuật toán thiết kế quỹ đạo trong không gian khớp yêu cầu:
 - Không đòi hỏi tính toán quá nhiều;
 - Vị trí, vận tốc, có thể cả gia tốc của các khớp phải được biểu diễn bằng các hàm liên tục;
 - Giảm thiểu các hiệu ứng bất lợi, ví dụ quỹ đạo không trơn.
- Dạng đơn giản của quỹ đạo là chuyển động điểm - điểm, nếu thêm các điểm trung gian thì quỹ đạo có dạng chuyển động theo đường.

- **4.1.1.1. Chuyển động điểm - điểm:**
- Chuyển động điểm- điểm sử dụng cho một số loại robot như robot hàn điểm, tán đinh, xếp dỡ vật liệu, trong dạng chuyển động này, người ta chỉ quan tâm đến các tọa độ điểm đầu, điểm cuối của đường dịch chuyển và thời gian chuyển động giữa các điểm đó chứ không quan tâm đến dạng hình học của đường dịch chuyển. Nhiệm vụ đặt ra là xác định quỹ đạo chuyển động thỏa mãn các yêu cầu chung và có thể thêm cả một số tiêu chí tối ưu nào đó.
- Gọi I là mômen quán tính của một vật rắn quay quanh trục của nó, cần xác định quy luật thay đổi của góc q , giữa giá trị đầu q_i (i : initial) và giá trị cuối q_f trong khoảng thời gian t_f . (f : finish). Lực phát động là mô men τ từ một động cơ. Tiêu chuẩn tối ưu đặt ra là năng lượng tiêu thụ trên động cơ là nhỏ nhất.
- Do kí hiệu góc quay của khâu chấp hành là q , vậy quan hệ của góc quay và vận tốc góc thể hiện dưới dạng đạo hàm như sau: $q' = \omega$
- Song nếu biểu thị gia tốc qua vận tốc quan hệ này có dạng như sau:
$$I\omega' = \tau$$

- Vì chỉ xét trong khoảng thời gian t_i đến t_f nên cần có điều kiện:

$$\int_0^{t_f} \omega(t) dt = q_f - q_i$$

- Có kể đến tiêu chuẩn tối ưu:

$$\int_0^{t_f} \tau^2(t) dt \rightarrow \min$$

- Phương trình vi phân cấp 2, bậc một với mô men quán tính và lực suy rộng nói trên có lời giải tổng quát là một đa thức bậc hai đối với thời gian t : $\omega(t) = at^2 + bt + c$

- Theo quan hệ đạo hàm, chuyển vị hay quỹ đạo chuyển động có dạng một đa thức bậc ba: $q(t) = a_3t^3 + a_2t^2 + a_1t + a_0$

- Nghiệm riêng của vận tốc có dạng một đa thức bậc hai viết lại như sau: $q'(t) = 3a_3t^2 + 2a_2t + a_1$

- Gia tốc thay đổi theo quy luật bậc nhất: $q''(t) = 6a_3t + 2a_2$

Để xác định được 4 hệ số giả định thường cần có 4 điều kiện đầu, thường là vị trí đầu q_i và vị trí cuối q_f , vận tốc đầu q'_i vận tốc cuối q'_f . Thường chọn vận tốc đầu và vận tốc cuối bằng không $q_i = q_f = 0$. Các hệ số giả định được xác định từ hệ phương trình:

$$\begin{cases} a_0 = q_i \\ a_1 = q'_i \\ a_3 t_f^3 + a_2 t_f^2 + a_1 t_f + a_0 = q_f \\ 3a_3 t_f^2 + 2a_2 t_f + a_1 = q'_f \end{cases}$$

Ví dụ 1: Cho trước quy luật chuyển động một bậc tự do của tay máy như sau:

- Góc xuất phát $q_i = 0$, góc cuối cùng $q_f = \pi$;
- Thời gian chuyển động $t_i = 0$, thời gian cuối $t_f = 1$;
- Vận tốc đầu và vận tốc cuối bằng không: $\dot{q}_i = \dot{q}_f = 0$.
- Thay các thông số này vào hệ phương trình giả định ở trên xác định được các ẩn số như sau:

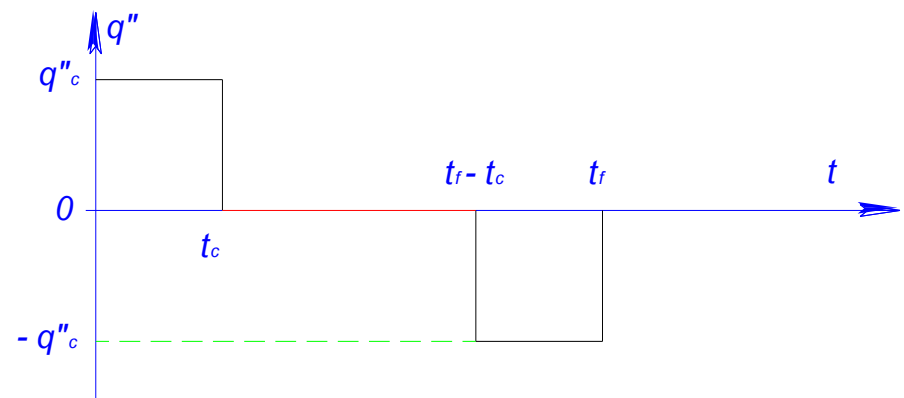
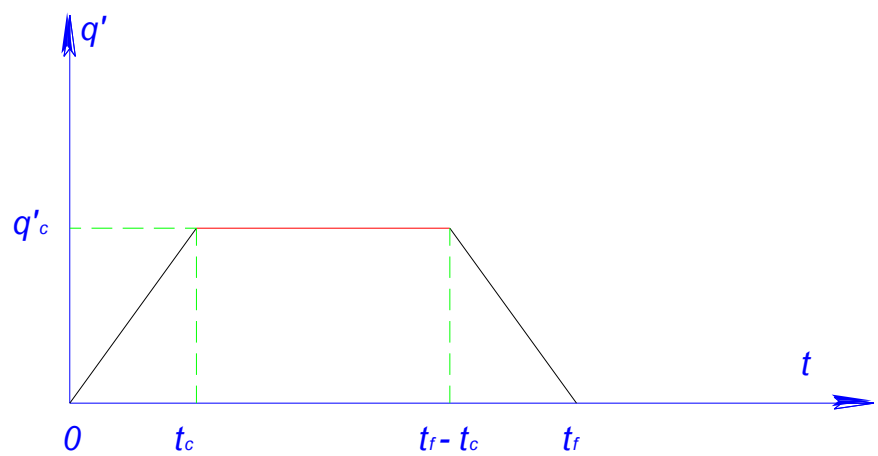
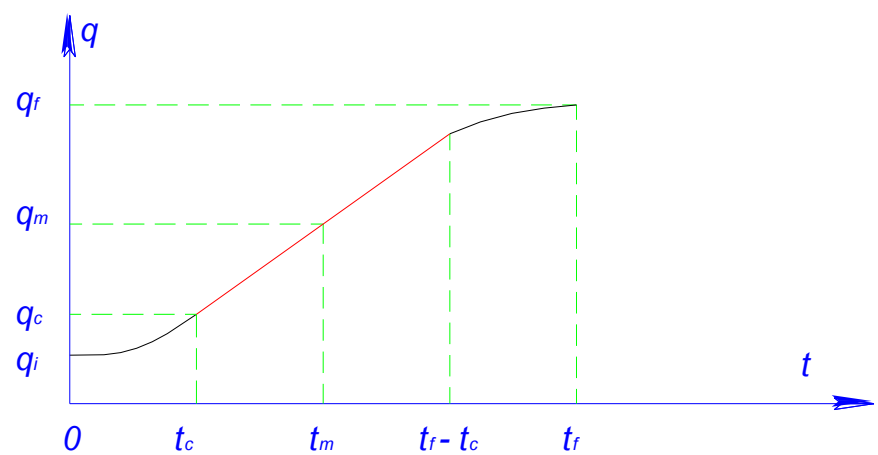
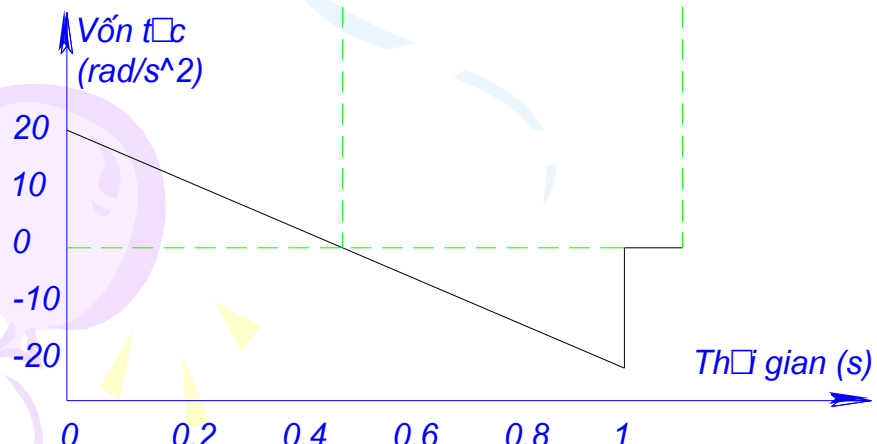
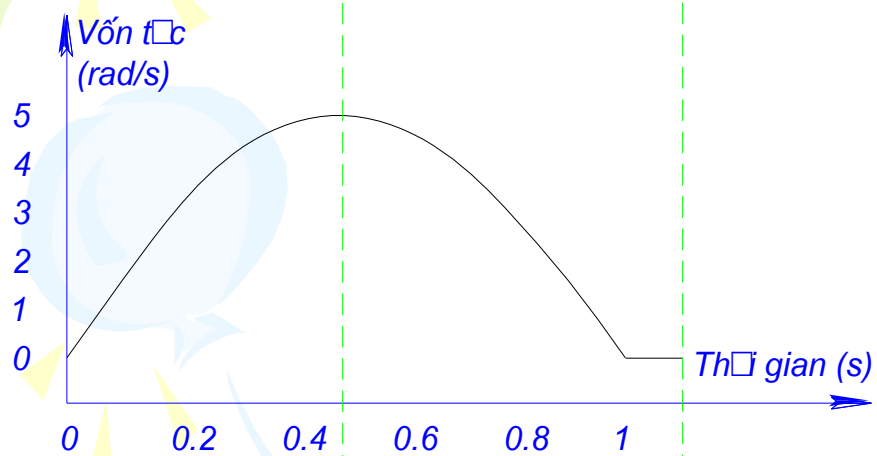
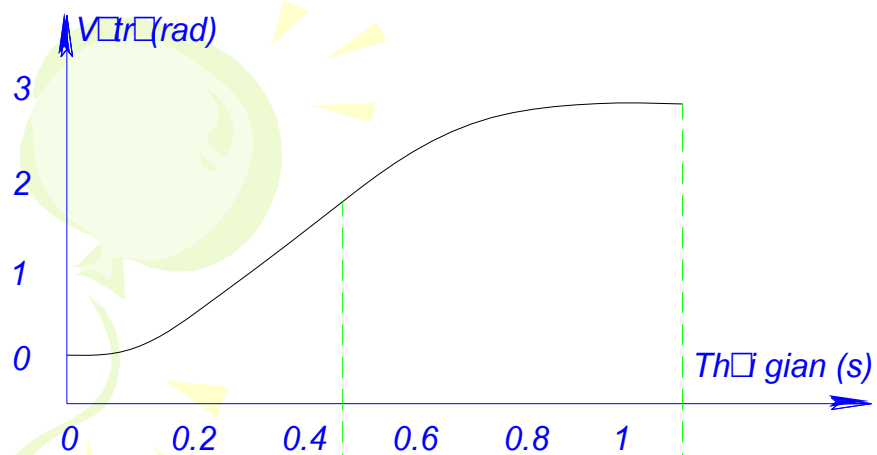
$$a_0 = a_1 = 0;$$

$$a_2 = 3\pi$$

$$a_3 = -2\pi$$

Có dạng đầy đủ của tất cả các đường cong giả định, vẽ lại các quan hệ chuyển vị, vận tốc và gia tốc nói trên theo kết quả vừa tìm được và tiến hành khảo sát sơ bộ các đặc điểm của chúng có các giới hạn chính như sau:

- Vận tốc có quy luật bậc 2 với giá trị cực đại: $\dot{q}'_{\max} = 3\pi/2$ khi $t = 1/2$;
- Gia tốc biến thiên theo quy luật bậc nhất với: $\ddot{q}''_{\max} = 6\pi$ khi $t = 0$ và $t = 1$;



- Một dạng quỹ đạo thường sử dụng trong công nghiệp là dạng đa thức hỗn hợp, dạng quỹ đạo này chọn quy luật vận tốc hình thang.
- Quỹ đạo chia ra làm ba phần rõ rệt, khởi động với gia tốc không đổi, chuyển động tiếp với vận tốc không đổi, về đích với gia tốc không đổi.
- Quỹ đạo thực tế là hai đoạn parabol (màu đen) nối với nhau bằng một đoạn thẳng (màu đỏ)
- Giả thiết $q_i' = q_f' = 0$, giả thiết thời gian tăng tốc và thời gian giảm tốc bằng nhau (q'' có giá trị bằng nhau ở điểm đầu và điểm cuối). Các điều kiện trên dẫn đến quỹ đạo đối xứng nhau qua điểm giữa

$$q_m = (q_f - q_i)/2 \text{ tại } t_m = t_f/2.$$

- Để đảm bảo quỹ đạo là hàm liên tục, vận tốc tại các điểm tiếp giáp đoạn parabol và đoạn thẳng không được nhảy bậc, nghĩa là trên đồ thị chuyển vị đoạn thẳng phải trở thành tiếp tuyến của đoạn parabol, hay hệ số góc của đoạn thẳng phải bằng hệ số góc của đoạn parabol tại điểm t_c . (*hệ số góc của đường thẳng*

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q_m - q_c}{t_m - t_c}$$

phương trình của đoạn chuyển động nhanh dần đều ứng với đoạn parabol là

$$q_c = q_i + \frac{1}{2} q_c'' t_c^2$$

- vậy hệ số góc bằng đạo hàm bậc nhất của chuyển vị là $q_c' = q_c'' t_c$).
 Vậy điều kiện liên tục tại điểm tiếp giáp được thể hiện như sau:

$$q_c'' t_c = \frac{q_m - q_c}{t_m - t_c}$$

- Trong đó q_c là giá trị biên khớp q đạt tới tại thời điểm kết thúc đoạn parabol t_c dưới dạng nhanh dần đều, với gia tốc q_c'' , vì $q'(0) = 0$ nên:

$$q_c = q_i + \frac{1}{2} q_c'' t_c^2$$

- Kết hợp với ràng buộc liên tục nói trên được phương trình:

$$q_c'' t_c^2 - q_c'' t_f t_c + q_f - q_i = 0$$

- Nếu cho trước $q_c''; t_f; q_i; q_f$ đây là phương trình bậc hai một ẩn với t_c , giải phương trình này trong khoảng $t_c \leq \frac{t_f}{2}$ nhận được nghiệm như sau:

$$t_c = \frac{t_f}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{t_f^2 q_c'' - 4(q_f - q_i)}{q_c''}}$$

Để biểu thức dưới dấu căn dương, cần phải có: $|q_c''| \geq \frac{4|q_f - q_i|}{t_f^2}$

- Nếu biểu thức trên nhận dấu bằng thì không có đoạn nằm ngang của vận tốc, biểu đồ vận tốc có dạng tam giác.
- Như vậy, với các giá trị cho trước của q_i ; q_f và t_f từ biểu thức này cho phép tính được gia tốc q_c ”, sau đó tính được t_c , cuối cùng xác định được quỹ đạo từ ba đoạn:

$$q(t) = \begin{cases} q_i + \frac{1}{2} q_c t^2; 0 \leq t \leq t_c \\ q_i + q_c t_c (t - \frac{t_c}{2}); t_c \leq t \leq t_f - t_c \\ q_f - \frac{1}{2} q_c (t_f - t)^2; t_f - t_c \leq t \leq t_f \end{cases}$$

- Chú ý rằng quy luật vận tốc hình thang không đảm bảo tối ưu về năng lượng như đạt được với quỹ đạo là đa thức bậc ba, nó tăng khoảng 12,5% so với giá trị tối ưu

4.1.1.2. Chuyển động theo đường:

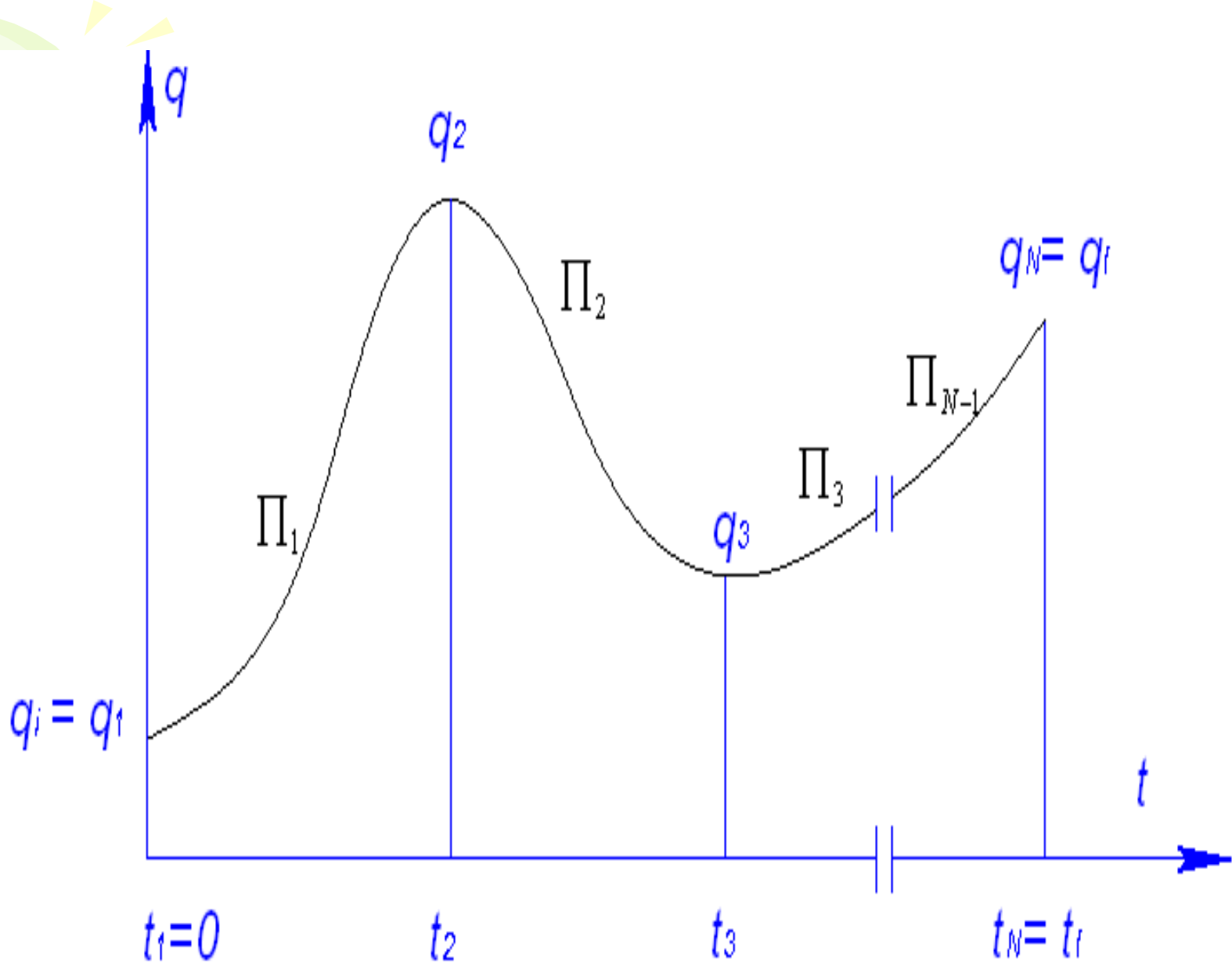
- Trong nhiều hoạt động, ví dụ hàn hồ quang, sơn, xếp dỡ vật liệu trong không gian có nhiều chướng ngại vật, robot cần được điều khiển theo đường. Khi đó số lượng điểm của mỗi đường lớn hơn hai. Đó có thể không chỉ là điểm phải đi qua đơn thuần mà tại đó có thể phải không chế cả vận tốc và gia tốc để đáp ứng yêu cầu công nghệ. Các điểm như vậy gọi là các điểm chốt, số lượng điểm này nhiều hay ít tùy thuộc yêu cầu độ chính xác của quỹ đạo.

- Bài toán đặt ra là xác định quỹ đạo qua N điểm chốt. Như vậy mỗi biến khớp phải thỏa mãn N điều kiện ràng buộc. Để thực hiện điều đó, có thể nghĩ đến quỹ đạo dạng đa thức bậc $(N-1)$. Tuy nhiên giải pháp này có các nhược điểm:

- Không thể không chế được vận tốc tại điểm đầu và điểm cuối.
- Bậc đa thức càng cao thì khả năng dao động càng lớn, ảnh hưởng xấu đến trạng thái làm việc của robot.
- Độ chính xác tính toán các hệ số của đa thức giảm khi bậc của đa thức tăng.
- Hệ phương trình ràng buộc phức tạp và khó giải.
- Các hệ số của đa thức phụ thuộc tất cả các điểm, vì vậy khi cần sắp xếp lại một điểm thì cũng phải tính toán lại toàn bộ.

- Có thể khắc phục các nhược điểm trên bằng cách sử dụng một quỹ đạo lai, trong đó một số đoạn đa thức bậc cao được thay thế bằng các đoạn đa thức có bậc thấp hơn. Các đa thức thay thế gọi là đa thức nội suy.

- Để đảm bảo tính liên tục của vận tốc tại các điểm chốt, bậc của đa thức nội suy không thể nhỏ hơn bậc ba, xét quy luật biến thiên theo thời gian của một biến khớp $q(t)$. Đường cong biến thiên của nó gồm $N - 1$ đoạn đa thức nội suy bậc ba $\prod_k(t)$ với $k = 1..(N-1)$. Hàm $q(t)$ nhận giá trị q_k tại điểm t_k ($k = 1..N$). Tại điểm đầu $t_1 = 0$, giá trị $q_1 = q_i$ (i : initial), tại điểm cuối $t_N = t_f$ (f : finish) có $q_N = q_f$. Các giá trị q_k chính là đại diện cho các điểm chốt của quỹ đạo
- Quỹ đạo được thiết kế cần phải thỏa mãn những điều kiện ràng buộc, nhất định có thể xem xét các trường hợp sau:
 - Giá trị vận tốc tại các điểm $q'(t)$ tại các điểm chốt là xác định,
 - Giá trị $q'(t)$ tại các điểm chốt được tính theo các chỉ tiêu xác định,
 - Đảm bảo tính liên tục của gia tốc $q''(t)$ tại các điểm chốt.



Quỹ đạo với các điểm chốt và các đa thức nội suy

- Đa thức nội suy với giá trị cho trước của vận tốc tại các điểm chốt:
- Có hai điều kiện chính cần phải đảm bảo:
 - Các đa thức nội suy phải đi qua các điểm chốt (điều kiện với hàm chuyển vị).
 - Vận tốc tại các điểm chốt phải bằng giá trị định trước (điều kiện với đạo hàm bậc nhất của chuyển vị).
- Nếu trên quỹ đạo có N điểm chốt thì số đa thức bậc ba nội suy kí hiệu $\Pi_k(t)$ nối các điểm q_k và q_{k+1} là $(N - 1)$. Trong đó mỗi đa thức phải thỏa mãn các ràng buộc sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_k(t_k) = q_k \\ \Pi_k(t_{k+1}) = q_{k+1} \\ \Pi'_k(t_k) = q'_k \\ \Pi'_k(t_{k+1}) = q'_{k+1} \end{array} \right.$$
- Mỗi đa thức nội suy bậc ba có 4 hệ số giả định. Chúng được xác định bằng cách giải các hệ phương trình có dạng như trên, cần phải giải $(N - 1)$ hệ để xác định $(N - 1)$ bộ hệ số đã giả định, thường giá trị vận tốc tại điểm đầu và tại điểm cuối được lấy bằng 0. Điều kiện liên tục của vận tốc tại các điểm chốt được đảm bảo bởi điều kiện: $\Pi'_k(t_{k+1}) = \Pi'_{k+1}(t_{k+1})$

- **Đa thức nội suy với gia trị vận tốc tính toán tại các điểm chốt:**
- Trong trường hợp này giá trị của vận tốc tại các điểm chốt được tính toán từ những điều kiện nhất định. Bằng cách nối các điểm chốt bằng các đoạn thẳng, vận tốc tại các điểm chốt được tính theo quy tắc sau:

$$q_1' = 0$$

$$q_k' = \begin{cases} 0 & \text{Khi đoạn } (v_k) \text{ khác đoạn } (v_{k+1}) \\ \frac{1}{2}(v_k + v_{k+1}) & \text{Khi đoạn } (v_k) \text{ trùng đoạn } (v_{k+1}) \end{cases}$$

$$q_N' = 0$$

- Trong đó $v_k = \frac{q_k - q_{k-1}}{t_k - t_{k-1}}$ là hệ số góc, tượng trưng cho độ dốc của đoạn thẳng trong khoảng thời gian $(t_k - t_{k-1})$.

- Xem hình vẽ b) minh họa trường hợp nói trên với số liệu sau:

$$q_1 = 0; q_2 = 2\pi; q_3 = \frac{\pi}{2}; q_4 = \pi$$

$$t_1 = 0; t_2 = 2; t_3 = 3; t_4 = 5;$$

$$q_1' = 0; q_4' = 0$$

- Ta thấy vận tốc tiến tới giá trị 0 tại các điểm chốt.

- Đa thức nội suy với gia tốc liên tục tại các điểm chốt:
- Cả hai trường hợp nói trên đều không đảm bảo được tính liên tục của gia tốc tại các điểm chốt. Muốn đảm bảo tính liên tục của cả chuyển vị, vận tốc và gia tốc thì đa thức nội suy giữa hai điểm chốt liên nhau phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc:

$$\begin{cases} \Pi_{k-1}(t_k) = q_k \\ \Pi_{k-1}(t_k) = \Pi_k(t_k) \\ \Pi'_{k-1}(t_k) = \Pi'_k(t_k) \\ \Pi''_{k-1}(t_k) = \Pi''_k(t_k) \end{cases}$$

- Trong đó về ý nghĩa các ràng buộc diễn đạt các điểm chính như sau:
 - Ràng buộc thứ nhất chỉ điều kiện đi qua;
 - Ràng buộc thứ hai chỉ điều kiện đi qua cùng một điểm;
 - Ràng buộc thứ ba chỉ hệ số góc tiếp tuyến bằng nhau tại điểm chuyển tiếp trên biểu đồ chuyển vị (hoặc vận tốc chuyển tiếp bằng nhau trên biểu đồ vận tốc);
 - Ràng buộc thứ ba chỉ bán kính cong tức thời tại điểm chuyển tiếp bằng nhau trên biểu đồ chuyển vị (hoặc gia tốc bằng nhau tại điểm chuyển tiếp trên biểu đồ gia tốc).



Xem hình vẽ c) minh họa trường hợp nói trên với số liệu sau:

$$q_1 = 0; q_3 = 2\pi; q_4 = \frac{\pi}{2}; q_6 = \pi;$$

$$t_1 = 0; t_3 = 2; t_4 = 3; t_6 = 5;$$

$$q_1' = 0; q_6' = 0$$

- **Nội suy đường bậc nhất bằng các đoạn parabol:**

- Một trong những dạng đơn giản nhất của quỹ đạo tay máy gồm các đoạn thẳng, nối với nhau bằng các đoạn parabol tại các điểm chốt.
- Giả sử trên quỹ đạo có N điểm chốt, ứng với thời điểm t_k , tại đó biến khớp đạt giá trị q_k với $k = 1 \dots N$. Quỹ đạo nguyên thủy gồm các đoạn thẳng nối với nhau tại các điểm chốt. Để đảm bảo tính liên tục tại các điểm chốt, đường chuyển động được nối bằng các đoạn parabol.
- Vận tốc và gia tốc tại các điểm chốt được tính như sau:

$$q'_{k-1,k} = \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta t_{k-1}}$$

$$q''_k = \frac{q'_{k,k+1} - q'_{k-1,k}}{\Delta t'_k}$$

- Trong đó, vận tốc bằng quãng đường di chuyển chia cho thời gian, gia tốc bằng số gia vận tốc chia cho số gia thời gian (*đạo hàm của vận tốc theo thời gian*). Các đại lượng sau đây đòi hỏi biết trước.

$\Delta t_{k,k+1} = t_{k+1} - t_k$ là vận tốc không đổi ứng với khoảng thời gian

$q'_{k,k+1}$ là khoảng thời gian giữa hai vị trí q_k và q_{k+1} ;

q''_k là gia tốc tương ứng với đoạn nối parabol và khoảng thời gian

4.1.2. Quỹ đạo trong không gian công tác:

- Quỹ đạo trong không gian khớp mô tả diễn tiến theo thời gian của các biến khớp $q(t)$, sao cho phần công tác di chuyển thẳng từ điểm đầu đến điểm cuối của quỹ đạo hoặc đi qua các điểm trung gian. Thực tế khi thiết kế quỹ đạo trong không gian khớp khó có thể đảm bảo chuyển động chính xác của phần công tác do ảnh hưởng phi tuyến của việc chuyển đổi các quan hệ động học từ không gian khớp sang không gian công tác. Muốn cho phần công tác di chuyển theo đúng lộ trình đã định trong không gian công tác cần thiết kế quỹ đạo trực tiếp trong chính không gian này. Quỹ đạo có thể xác lập bằng cách nội suy đường dịch chuyển qua các điểm chốt hoặc xác lập bằng giải tích hàm chuyển động.
- Nhiệm vụ của việc xây dựng quỹ đạo trong *không gian công tác* là quy luật biến thiên của biến khớp trong *không gian thực* phải được chuyển đổi về quy luật biến thiên của biến khớp trong *không gian khớp* để điều khiển động cơ làm việc. Quỹ đạo của robot trong không gian công tác xây dựng thông qua việc giải bài toán ngược động học. Đây chính là chuẩn đầu vào của hệ điều khiển, người ta dùng phép *vi nội suy đường thẳng* tăng tần số cập nhật chuẩn đầu vào để cải thiện đặc tính động lực học của hệ thống.

• 4.1.2.1. Các nguyên tố của đường dịch chuyển:

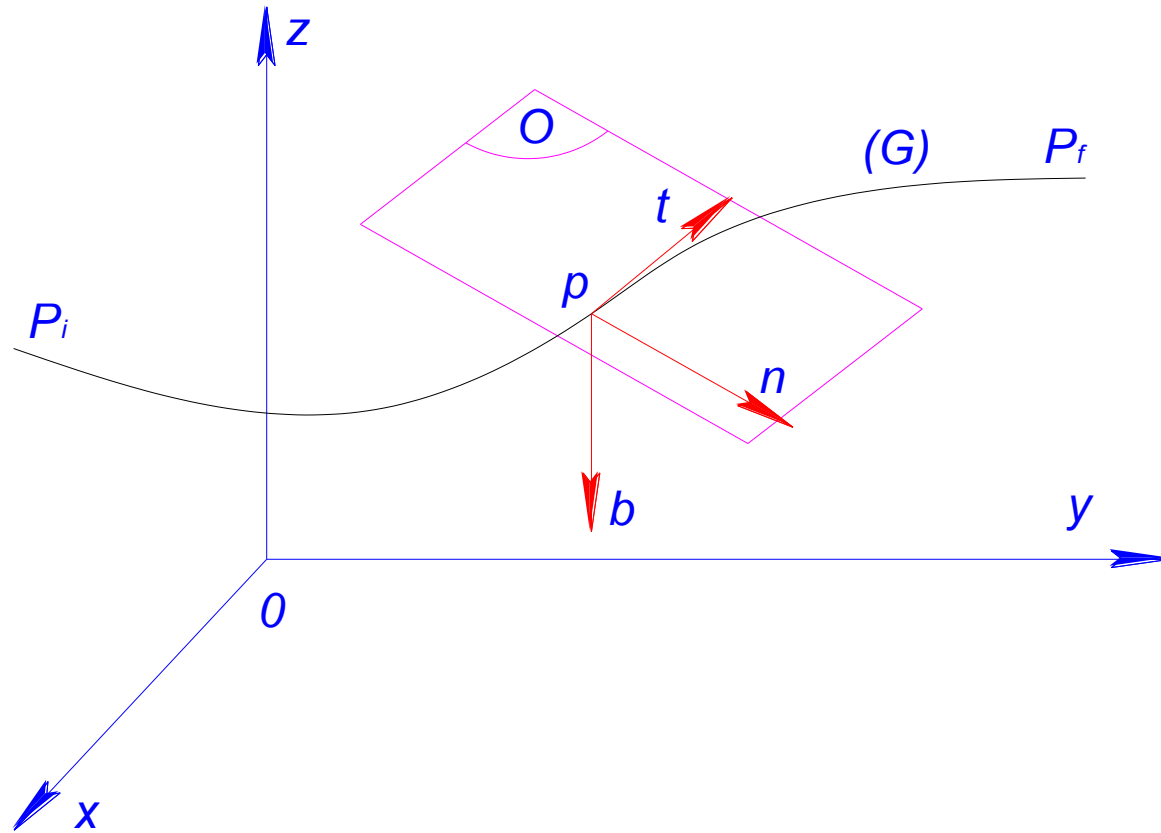
- Một đường dịch chuyển trong không gian có thể tham số hóa theo một số biến chọn trước. Giả sử p là một véc tơ (3.1) và $f(\sigma)$ là một hàm véc tơ liên tục trong khoảng $[\sigma_i; \sigma_f]$, xét phương trình:

$$p = f(\sigma)$$

- Khi σ thay đổi trong khoảng $[\sigma_i; \sigma_f]$ thì tập hợp các giá trị tương ứng của p hình thành một đường trong không gian, phương trình nói trên chính là phương trình tham số của đường cong biểu diễn quỹ đạo chuyển động trong không gian công tác, trong đó đại lượng σ là tham số vô hướng. Khi σ tăng điểm p di chuyển trên quỹ đạo theo một hướng nhất định.
- Giả sử gọi điểm p_i cố định làm gốc, gọi s là độ dài cung tính từ p_i tới p . Mỗi điểm p trên quỹ đạo ứng với một tọa độ s , vì vậy s có thể dùng như một tham số của đường dịch chuyển:

$$P = f(s)$$

Xét một đường G biểu diễn theo tham số (s) như hình vẽ:



Hãy tưởng tượng rằng đường (G) có mặt cắt ngang vuông góc với đường tâm của nó tại p là một mặt phẳng, pháp tuyến của mặt phẳng đó tại p là tiếp tuyến t , chiều của t là chiều tăng của tham số s để đi từ p_{initial} đến p_{finish} , mặt phẳng mặt tiếp (O) là mặt chứa t và lân cận của (G) ở phía pháp tuyến t .

- Phương của véc tơ pháp tuyến chính n là giao tuyến của mặt phẳng nhận t là pháp tuyến, với mặt phẳng mặt tiếp, chiều của n sao cho t , lân cận của (G) phía sau t , và n cùng phía.
- Véc tơ b , trục thứ ba của hệ quy chiếu xác định theo quy tắc bàn tay phải.
- Theo định nghĩa về tọa độ s của điểm p trên đường (G) , ta có các quan hệ sau:

$$\begin{cases} t = \frac{dp}{ds} \\ n = \frac{1}{\left\| \frac{d^2 p}{ds^2} \right\|} \frac{d^2 p}{ds^2} \\ b = t.n \end{cases}$$

- Sau đây là hai phân tử hình học điển hình thường sử dụng trong xây dựng quỹ đạo.
- **Đoạn thẳng trong không gian công tác:**
- Xét đoạn thẳng nối hai điểm p_i và p_f . Nó được biểu diễn dưới dạng tham số bởi phương trình sau:

$$p(s) = p_i + \frac{s}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i)$$

(dạng tổng quát của phương trình tham số đường thẳng $x = x_0 + a \cdot t$ ở đây p_i đóng vai trò một điểm đầu của đường thẳng, s là tham số như t , $\frac{p_f - p_i}{\|p_f - p_i\|}$ là cosin chỉ phương của đường thẳng, hay quen gọi

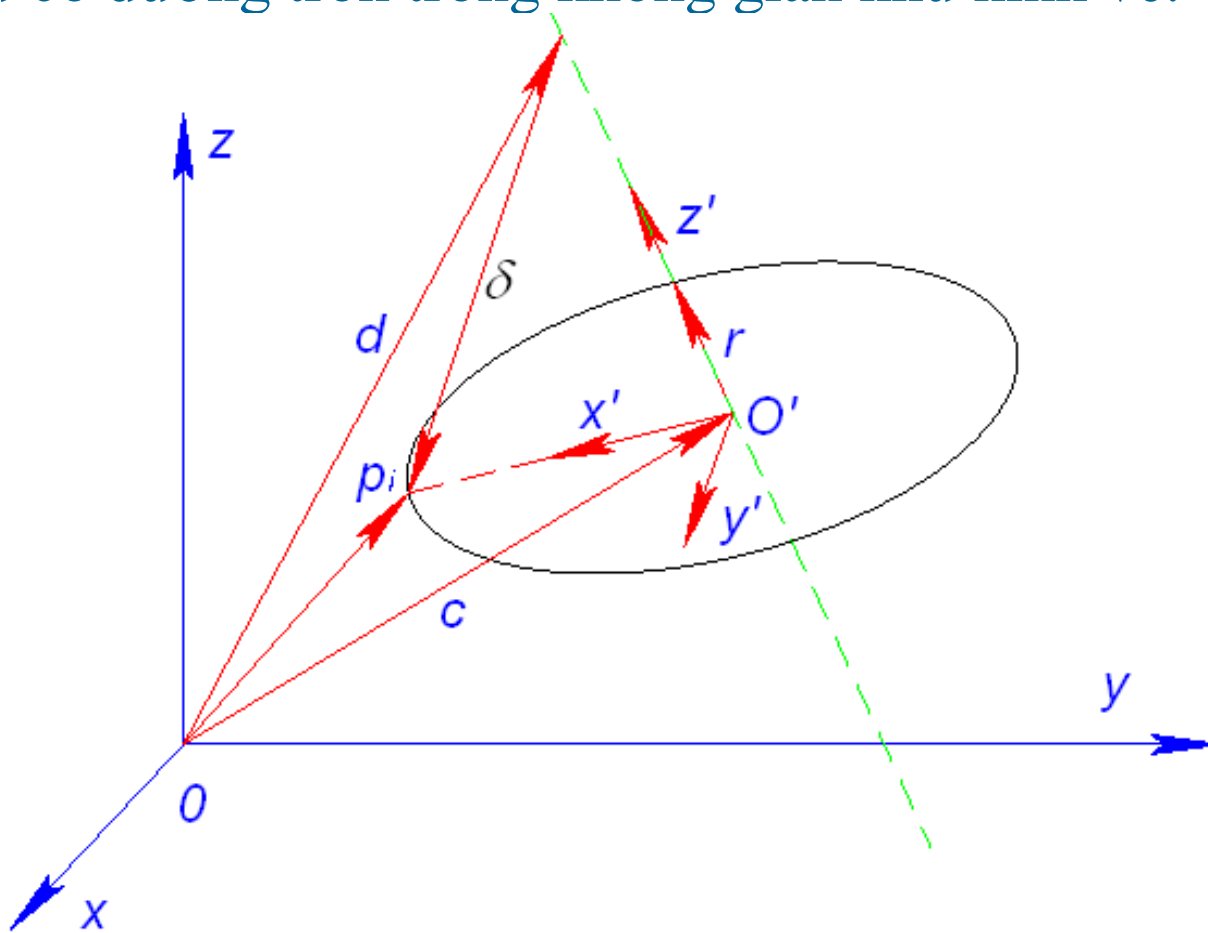
tất là véc tơ chỉ phương).

- Chú ý rằng: $p(s = 0) = p_i$ và $p(s = 1) = p_f$.

- **Đoạn thẳng trong không gian công tác:**
- Xét đoạn thẳng nối hai điểm p_i và p_f . Nó được biểu diễn dưới dạng tham số bởi phương trình sau:
- (dạng tổng quát của phương trình tham số đường thẳng $x = x_0 + a \cdot t$ ở đây p_i đóng vai trò một điểm đầu của đường thẳng, s là tham số như t , $\frac{p_f - p_i}{\|p_f - p_i\|}$ là cosin chỉ phương của đường thẳng, hay quen gọi tắt là *véc tơ chỉ phương*).
- Chú ý rằng: $p(s = 0) = p_i$ và $p(s =) = p_f$.
- Vì vậy hướng của đường thẳng là đi từ p_i đến p_f .
- Hệ số góc của đường thẳng xác định bởi: $\frac{dp}{ds} = \frac{p_f - p_i}{\|p_f - p_i\|}$
- Bán kính cong của đường thẳng xác định bởi: $\frac{d^2 p}{ds^2} = 0$
- Điều đó có nghĩa là tồn tại vô số mặt phẳng mặt tiếp, vậy không thể xác định hệ tọa độ (t, n, b) một cách duy nhất.

- **Đường tròn trong không gian công tác:**

- Giả sử có đường tròn trong không gian như hình vẽ:



- Trong đó véc tơ đơn vị r nằm theo trục đường tròn;

- Véc tơ vị trí d mô tả một điểm nằm trên trục của đường tròn;

- Véc tơ p_i mô tả vị trí của một điểm nằm trên đường tròn.

- Kí hiệu $\delta = p_i - d$, nếu p_i không nằm trên trục, nghĩa là đường tròn không suy biến thành một điểm thì điều kiện sau đây phải được thỏa mãn: $|\delta^T r| = \|\delta^T\| |r| \cos(\delta; r) \leq \|\delta\|$
- Khi đó có thể xác định tâm của đường tròn thông qua véc tơ sau:

$$c = d + (\delta^T r)r$$

- Cần biểu diễn đường tròn dưới dạng tọa độ của s . Để cho hàm này đơn giản, cần chọn một hệ tọa độ thích hợp $O'x'y'z'$. Trong đó O' trùng với tâm đường tròn; trục x' hướng theo chiều véc tơ $(p_i - c)$, trục z' hướng theo r , còn y' được xác định theo quy tắc bàn tay phải. tọa độ của p trong hệ này tương tự như xác định phương trình tham số đường tròn trong tọa độ cực:

$$p'(s) = \begin{bmatrix} \rho \cos\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ \rho \sin\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ 0 \end{bmatrix}$$

• Trong đó $\rho = \|p_i - c\|$ là bán kính đường tròn và điểm p_i là gốc tọa độ. Khi thay đổi hệ quy chiếu phương trình biểu diễn đường tròn trở thành:

$$p(s) = c + Rp'(s)$$

• Trong đó R là ma trận quay của hệ tọa độ O' so với hệ tọa độ O .

• Biểu thức của vận tốc và gia tốc dưới dạng hàm số của tọa độ s như sau:

$$\frac{dp}{ds} = R \begin{bmatrix} -\sin\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ \cos\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{d^2p}{ds^2} = R \begin{bmatrix} -\frac{1}{\rho} \cos\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ -\frac{1}{\rho} \sin\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ 0 \end{bmatrix}$$

4.1.2.2. Vị trí và hướng trên quỹ đạo:

Quỹ đạo trong không gian công tác mô tả bằng hai yếu tố là định vị và định hướng, có thể mô tả cả hai yếu tố tại mỗi một vị trí thông qua véc tơ:

$$x = \begin{bmatrix} p \\ \varphi \end{bmatrix}$$

Vị trí của phần công tác:

Gọi $p = f(s)$ (3.1) là véc tơ biểu diễn đường dịch chuyển (G) dưới dạng hàm của tọa độ (s). Gốc tọa độ của phần công tác di chuyển từ điểm p_i đến điểm p_f trong khoảng thời gian t_f . Để đơn giản đặt gốc tọa độ tại điểm p_i hướng của (G) đi từ p_i đến p_f . Tọa độ của điểm p bất kì trên (G) chính là độ dài cung (s) tính từ p_{initial} đến p. Tọa độ này là một hàm biểu diễn theo thời gian t, hay còn có thể viết được $s = s(t)$. Vì $p = f(s)$ nên tính được vận tốc di chuyển trên đường (G) bằng cách tính đạo hàm bậc nhất của p theo (s):

$$p' = s' \frac{dp}{ds} = s' t$$

Trong đó t là véc tơ tiếp tuyến của đường cong tại p. Như vậy, s' biểu diễn độ lớn của véc tơ vận tốc tại p. Giá trị của của p' biến thiên từ 0 (thời điểm đầu $t = 0$) biến thiên theo quy luật hình thang, tùy theo chúng ta sử dụng phép nội suy bậc ba hay bậc nhất và trở lại bằng không khi $t = t_f$.

- Đối với các quỹ đạo thường sử dụng là đường thẳng và đường tròn thì cách tính vận tốc và gia tốc cụ thể như sau:
 - Nếu quỹ đạo có dạng đường thẳng:

$$p(s) = p_i + \frac{s}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i)$$

- Lần lượt lấy đạo hàm bậc nhất và bậc hai:

$$p' = \frac{s'}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i) = s' t$$

$$p'' = \frac{s''}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i) = s'' t$$

- Nếu đường dịch chuyển là đường tròn biểu diễn bởi phương trình đã nói ở mục trước, lần lượt lấy đạo hàm theo thời gian, chú ý rằng $s = s(t)$ ta được:


$$p' = R \begin{bmatrix} -s' \sin\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ s' \cos\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$p'' = R \begin{bmatrix} (-s'^2 \cos\left(\frac{s}{\rho}\right)) \frac{1}{\rho} - s'' \sin\left(\frac{s}{\rho}\right) \\ (-s'^2 \sin\left(\frac{s}{\rho}\right)) \frac{1}{\rho} + s'' \cos\left(\frac{s}{\rho}\right) \end{bmatrix}$$

- Chú ý rằng vận tốc có hướng tiếp tuyến với quỹ đạo tại điểm đang xét. Còn gia tốc có hai thành phần là tiếp tuyến và hướng tâm.

Hướng của phần công tác:

- Hướng của phần công tác như đã nghiên cứu trong chương 2, được mô tả thông qua định vị và định hướng ma trận quay của hệ quy chiếu địa phương gắn với khâu chấp hành so với hệ quy chiếu cơ sở gắn với giá.
- Hướng của phần công tác có thể mô tả thông qua các ma trận quay, trong đó chú ý rằng ba cột của ma trận quay có $3.3 = 9$ thành phần của cosin chỉ phương, chúng không độc lập tuyến tính nên xác định đủ 9 thành phần này là không cần thiết. Việc mô tả định hướng ở đây dựa trên các phép mô tả hướng tối thiểu (MRO) như phép quay RPY hoặc EULER.
- Định hướng của phần công tác được mô tả tại vị trí đầu và vị trí cuối của quỹ đạo, tại các điểm trung gian được tiến hành nội suy bình thường như nội suy các thông số định vị. Hàm nội suy cũng là các hàm bậc ba hoặc hàm bậc nhất như đã thực hiện đối với vị trí. Như đã chỉ ra ở các phần trước vận tốc góc có quan hệ tuyến tính với đạo hàm bậc nhất thông số mô tả góc quay, là một hàm liên tục theo thời gian. Có nghĩa là nếu gọi $\varphi_{initial}$; φ_{finish} là góc mô tả hướng tối thiểu tại điểm đầu và điểm cuối của quỹ đạo theo thứ tự đó, công thức nội suy sự thay đổi định hướng của khâu, vận tốc thay đổi, gia tốc thay đổi từ điểm đầu cho trước, đến điểm cuối cho trước định hướng như sau:


$$\varphi = \varphi_i + \frac{s}{\|\varphi_f - \varphi_i\|} (\varphi_f - \varphi_i)$$

$$\varphi' = \frac{s'}{\|\varphi_f - \varphi_i\|} (\varphi_f - \varphi_i)$$

$$\varphi'' = \frac{s''}{\|\varphi_f - \varphi_i\|} (\varphi_f - \varphi_i)$$

- Một phương pháp nữa mô tả sự thay đổi liên tục của các thông số trong bộ thông số định hướng tối thiểu, là vận dụng ma trận biến đổi quay quanh một trục bất kì. Ý tưởng của phương pháp là nếu cho trước định hướng ban đầu trong ma trận R_i , và cho trước định hướng khi kết thúc làm việc là R_f , ta tưởng tượng khâu chấp hành biến đổi vị trí liên tục từ R_i đến R_f thì tồn tại một ma trận chuyển tổng quát R^T có giá trị thay đổi tại từng điểm trên quỹ đạo, sao cho hệ thức sau luôn được thỏa mãn:

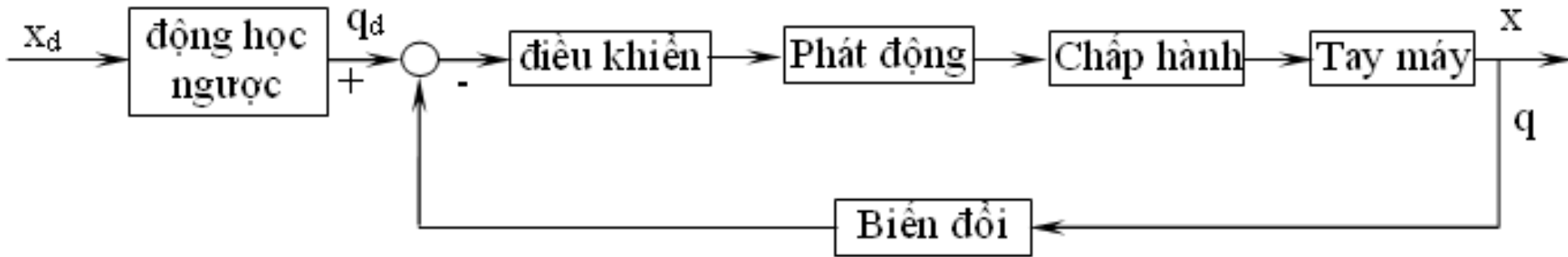
$$R_f = R^T R_i$$

- Việc xác định ma trận R^T thực hiện bằng các thuật toán ngược động học.
- 

4.2. Điều khiển chuyển động:

4.2.1. Điều khiển quỹ đạo trong gian khớp:

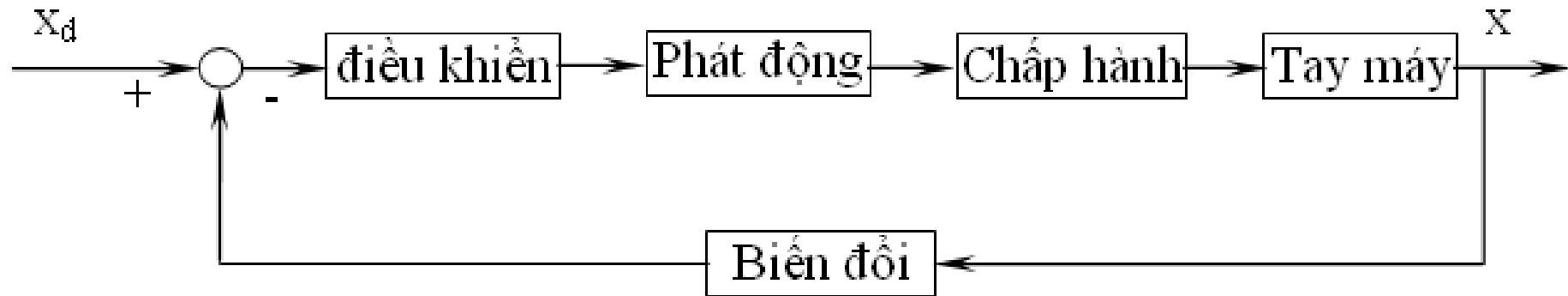
Ở đây bài toán động học ngược được giải trước để chuyển các thông số từ không gian công tác sang không gian khớp. Xem lược đồ sau:



- Mạch điều khiển nhận giá trị đặt của các biến khớp (có thể qua hệ số chuyển đổi nào đó) và điều khiển khớp theo sát diễn tiến thời gian của biến khớp. Mạch điều khiển này đơn giản song độ chính xác bị hạn chế do đối tượng bị giám sát trực tiếp là phần công tác lại nằm ngoài mạch điều khiển.

4.2.2. Điều khiển trong không gian công tác:

- Nhận trực tiếp thông số của không gian khớp làm số liệu đầu vào, bài toán ngược được giải trong mạch phản hồi. Sơ đồ này có hai nhược điểm cơ bản là hệ điều khiển phức tạp hơn. Thứ hai hệ thống đo thường gắn lên các khớp, giám sát trực tiếp các thông số của khớp. Muốn chuyển chúng sang không gian công tác thì phải thực hiện các phép tính động học thuận, đó cũng là nguyên nhân phát sinh sai số.



Chương 5: Thiết kế và lựa chọn robot (7 tiết)

5.1. Các thông số kỹ thuật của robot công nghiệp:

5.1.1. Sức nâng của tay máy:

- Đó là khối lượng (kg) mà robot có thể nâng được (không kể tự trọng bản thân của các khâu thuộc cánh tay) trong những điều kiện nhất định, ví dụ khi tốc độ dịch chuyển cao nhất hoặc khi tầm với lớn nhất. Nếu robot có nhiều tay thì đó là tổng sức nâng của các tay phối hợp với nhau, thông số này quan trọng với các thông số vận chuyển lắp ráp... Các robot có sức nâng lớn thường dùng hệ truyền động điện hoặc thủy lực, khuynh hướng sử dụng động cơ điện ngày càng tăng, truyền động khí nén thường chỉ áp dụng với các tay máy đòi hỏi sức nâng dưới 40(kg). Đối với một số kiểu robot người ta còn quan tâm đến lực hoặc mô men lớn nhất mà cánh tay hoặc bàn tay có thể tạo ra.

5.1.2. Số bậc tự do của phần công tác:

- Đó là tổng số các tọa độ mà phần công tác có thể dịch chuyển so với thân robot. Số bậc tự do càng lớn thì hoạt động của robot càng linh hoạt nhưng điều khiển nó càng phức tạp, thông kê thực tế cho thấy phần lớn robot có 4 – 5 bậc tự do.
- Vì phần kẹp không được tính vào bậc tự do, trên thực tế bậc tự do được tạo ra bởi hai phần chính là cánh tay và cổ tay.
- Công thức tổng quát để tính số bậc tự do của một cấu trúc là:
$$\text{DOF} = 6n - i.k_i$$
- Trong đó n là số khâu chuyển động được của cấu trúc, i là số khớp loại i .
- Để phù hợp về dẫn động các khớp không gian (khớp cầu, khớp trụ..) được tạo thành bằng cách phối hợp các khớp loại 5, như vậy với chuỗi động hở số khâu bằng số khớp và bằng bậc tự do. *Nhận định này chỉ đúng khi các điều kiện nêu trên thỏa mãn, chú ý khi vận dụng.*

5.1.3. Vùng công tác:

- Vùng công tác hay vùng làm việc diễn đạt không gian quanh robot, đó là tập hợp những điểm mà bàn kẹp hay dụng cụ trong bàn kẹp có thể thỏa mãn đồng thời cả định vị và định hướng tại điểm bất kì thuộc vùng đó. Đôi khi người ta cũng hiểu là chỉ cần đạt được định vị. Khi nói đến vùng làm việc người ta nói đến hai yếu tố, là hình dạng của nó và các kích thước đặc trưng để mô tả vùng đó. Kích thước của vùng làm việc không chỉ phụ thuộc vào kích thước các khâu mà cả thứ tự chuyển động của các khâu.
- Một thông số khác liên quan đến vùng làm việc là tầm với của cánh tay, tầm với tăng mức độ mất ổn định cũng gia tăng, đồng thời độ chính xác giảm.
- Vùng làm việc là một miền liên tục song trong đó lại chứa những điểm mà khâu tác động sau cùng không thể vươn tới do các giới hạn về kết cấu, thuật ngữ chuyên môn gọi các điểm này là lỗ trống.

5.1.4. Độ chính xác định vị:

- Độ chính xác định vị thể hiện khả năng đối tượng đạt được chính xác tới điểm đích. Đó là một thông số quan trọng, ảnh hưởng đến sự thao tác chính xác của phần công tác và khả năng bám quỹ đạo của nó. Đối với thiết bị điều khiển số, độ chính xác định vị liên quan đến hai vấn đề, độ phân giải điều khiển và độ chính xác lặp lại.

5.1.5. Tốc độ dịch chuyển:

- Xét về yếu tố năng suất người ta mong muốn tốc độ dịch chuyển nói chung càng cao càng tốt. Tuy nhiên về mặt có học, tốc độ cao sẽ dẫn đến những vấn đề như giảm tính ổn định, lực quán tính lớn, các cơ cấu ma sát mòn nhanh hơn.

- Xét về mặt điều khiển với độ phân giải sẵn có của bộ điều khiển, khi tăng tốc độ dịch chuyển có thể làm giảm độ chính xác định vị. Vì vậy vấn đề chọn tốc độ dịch chuyển hợp lý cũng đặt ra khi thiết kế và lựa chọn robot.

5.1.6. Đặc tính của bộ điều khiển:

- Robot là sản phẩm cơ điện tử nên ngoài khâu khớp còn có bộ não của robot là các thiết bị điều khiển.

- *Kiểu điều khiển:* có hai kiểu điều khiển hay dùng nhất cho RBCN là điều khiển điểm - điểm và điều khiển contour. Điều khiển điểm - điểm thường dùng cho các robot hàn điểm, tán đinh, vận chuyển. Điều khiển contour dùng cho các robot hàn đường, phun sơn, tạo mẫu...

- *Dung lượng bộ nhớ:* Bộ nhớ trên robot hiện đại chia làm hai phần:

- Bộ nhớ hệ thống lưu trữ các phần mềm hệ thống, phần mềm công dụng chung như hệ điều hành, dữ liệu máy, các mô đun chương trình tính toán động học, động lực học.

- Bộ nhớ chương trình dùng lưu trữ các chương trình ứng dụng do người dùng tạo ra. Thường bộ nhớ chương trình là RAM, dung lượng của nó là một thông số đáng quan tâm.

- *Giao diện với các thiết bị ngoại vi:* Các thiết bị ngoại vi là các thiết bị mà robot phải phục vụ hay phối hợp làm việc. Chẳng hạn máy công cụ, phương tiện vận chuyển như băng tải, máng tải, thiết bị đo lường, hoặc các thiết bị hiển thị, in ấn nhập dữ liệu... Hầu hết các robot phục vụ trong dây chuyền có khả năng ghép nối trong hệ CIM thông qua giao diện truyền thông chuẩn. Điều này có thể giúp mở rộng khả năng công nghệ vốn có của robot ra ngoài đặc tính chuẩn của nó, thông qua việc xây dựng dữ liệu bằng ngôn ngữ chuẩn của nhà sản xuất sau đó kết nối vào từ bên ngoài.

- *Các tiện ích:* Tiện ích của robot bao gồm lập trình có trợ giúp đồ họa, hệ thống dạy - học, mô phỏng gia công. Những tiện ích này làm cho robot thân thiện hơn với người sử dụng.

5.2. Thiết kế và tổ hợp robot:

- Thiết kế robot gồm hai mạng công việc chính, thiết kế cấu trúc cơ khí và thiết kế phần điều khiển. Thiết kế cấu trúc cơ khí cũng tuân thủ các nguyên tắc chung của thiết kế máy. Nhìn chung các bậc tự do dẫn động độc lập, sử dụng các nguồn dẫn động tiêu chuẩn. Những điều này là điều kiện thuận lợi để xây dựng các môđun cơ khí chuẩn. Các môđun quay thân, môđun cô tay, môđun nâng hạ cánh tay...trên cơ sở đó các robot có chức năng và hình dạng vùng làm việc được tạo ra bằng cách ghép các môđun có chức năng và công suất tương ứng với nhau.
- *Xuất phát từ yêu cầu công nghệ:* Robot có tính vạn năng song mỗi robot được thiết kế và chế tạo để trực tiếp thực hiện, hoặc phục vụ cho một quá trình sản xuất cụ thể. Vì vậy các thông số kỹ thuật của robot phải đáp ứng được các yêu cầu công nghệ của quá trình sản xuất cụ thể đó. Mỗi một quá trình công nghệ có đặc điểm riêng, cần nghiên cứu kỹ trước khi bắt tay vào thiết kế.
- *Đảm bảo sự đồng bộ với hệ thống:* Robot phải làm việc trong hệ thống công nghệ cùng với các đối tượng khác, nên chúng phải làm việc theo đúng nhịp độ để có thể phối hợp theo đúng ý đồ. Vì vậy trạng thái của robot cũng như các đối tượng khác phải được giám sát thường xuyên, thực chất đây là nội dung nằm trong thiết kế phần điều khiển.

- *Chọn kết cấu điển hình:* Tương tự như thiết kế máy, quá trình thiết kế robot cũng có tính kế thừa, căn cứ trên mẫu các thiết kế đã có, các kết cấu điển hình, đã làm việc ổn định mà không cần cải tiến sửa đổi gì hơn nữa sẽ được giữ lại. Sự phát triển cao của kỹ thuật này là tạo ra các mô đun tiêu chuẩn. Khi cần có một robot mới, sẽ tổ hợp các mô đun có chức năng và công suất phù hợp với nhau để đáp ứng tốc độ xây dựng thiết bị.
- *Đảm bảo sự hòa hợp giữa robot và môi trường:* Để robot bền lâu, hiệu quả an toàn và tin cậy thì cần phải làm cho giữa các đối tượng này có sự hài hòa. Hoặc cải tạo môi trường như lọc bụi, điều hòa không khí và độ ẩm, thông gió, hoặc bảo vệ robot làm kín, cách li, làm mát cục bộ cho robot khỏi các tác động bất lợi của môi trường. Các thiết bị điện tử công nghiệp ngày nay được thiết kế chuyên dụng nên có độ thích nghi rất cao với môi trường.
- *Sự hòa hợp giữa robot với người dùng:* Đáp ứng tiêu chí dễ sử dụng, thẩm mỹ công nghiệp.
- *Thiết kế có định hướng sản xuất:* Nói về tính công nghệ trong chế tạo, hay cụ thể là tính công nghệ trong kết cấu.

5.2.2. Các bước cần thực hiện khi thiết kế:

- Robot là một máy tự động khả trình, là sản phẩm điển hình của cơ điện tử. Về nguyên tắc thiết kế giống như thiết kế máy về cơ bản.

- 1. Phân tích quá trình công nghệ để xác định khâu nào cần phải sử dụng robot, chú ý các công đoạn có điều kiện lao động khắc nghiệt, các công đoạn lặp đi lặp lại đơn điệu. Sơ bộ đánh giá hiệu quả sử dụng robot vào khâu đó.

- 2. Nghiên cứu các thông số kết cấu của đối tượng dự định sẽ xử lý bằng robot, như hình dạng, khối lượng, trạng thái vật lý, sự phân bố khối lượng của vật thể.

- 3. Nghiên cứu điều kiện môi trường sử dụng robot như nhiệt độ, bụi, rung động, khả năng gây cháy nổ.

- 4. Xác định các thông số kỹ thuật chính của robot theo yêu cầu công nghệ, từ đó tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật, lựa chọn các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật phù hợp.

- 5. Phân chia kết cấu thành các cụm cơ cấu chính. Xác định cụm nào có khả năng trùng với các mô đun có sẵn, cụm nào có thể sử dụng các thiết kế tương tự, cụm nào phải thiết kế chế tạo mới hoàn toàn. Phân chia nhiệm vụ cho các cụm chuyên ngành phù hợp.

- 6. Tổ hợp hệ thống, thử nghiệm trên mô hình. Trong giai đoạn này nên sử dụng các kỹ thuật mô phỏng, mô hình hóa trên máy tính để giảm chi phí và thời gian thử nghiệm.

- 7. Chế thử, thử nghiệm robot trong phòng thiết kế và trong sản xuất.

- 8. Đánh giá kết cấu về tính năng kỹ thuật, công nghệ chế tạo và tính kinh tế. Từ đó đề xuất các biện pháp hoàn thiện kết cấu và công nghệ chế tạo.

5.2.3. Thiết kế theo phương pháp tổ hợp mô đun:

- Mục đích của phương pháp tổ hợp mô đun, là làm giảm thời gian chuẩn bị sản xuất khi có yêu cầu thay đổi thiết bị công nghệ. Dựa trên nguyên tắc tiêu chuẩn hóa kết cấu các cụm có công dụng chung, có nguồn dẫn động độc lập, có mặt lắp ghép tiêu chuẩn. Trong từng kiểu mô đun lại có nhiều gam ứng với công suất khác nhau để ứng dụng cho các mục tiêu khác nhau. Về cơ bản có thể chế tạo thêm các chi tiết phụ khác nên có thể hoàn thiện thiết bị với tính năng mới trong thời gian ngắn nhất.

- Thiết kế theo phương pháp tổ hợp mô đun có các ưu điểm chính như sau:

- Giảm thời gian thiết kế và chế tạo, vì sử dụng các bản thiết kế có sẵn hoặc các cụm chế tạo có sẵn trên thị trường. Nhiệm vụ của người thiết kế mới chỉ là tổ hợp các cụm được chọn theo yêu cầu thực tế và chế tạo bổ xung các chi tiết phụ.
- Thỏa mãn các điều kiện làm việc tiêu chuẩn với kết cấu đơn giản, sử dụng được các giải pháp kết cấu tối ưu, ít phạm phải các kết cấu và chức năng thừa. Khi thay đổi yêu cầu công nghệ.
- Nâng cao chất lượng và độ tin cậy của thiết bị, vì các cụm tiêu chuẩn được chế tạo với chất lượng cao, được thử nghiệm tại các cơ sở chuyên môn hóa có kinh nghiệm, được đầu tư đầy đủ các thiết bị gia công và thử nghiệm chuyên dùng.
- Giảm giá thành thiết bị vì các cụm được sản xuất với tính loạt cao.
- Vì các mô đun được tiêu chuẩn hóa cao nên nhiều robot sẽ cùng sử dụng chung một số mô đun nào đấy, điều này tạo sự thuận lợi khi bảo trì bảo dưỡng, sửa chữa, thay thế về sau.

- Nhược điểm cơ bản của phương pháp tổ hợp mô đun là khó thỏa mãn các yêu cầu cá biệt. Có một số trường hợp làm cho thiết bị cồng kềnh, nặng nề, tính năng kỹ thuật không hợp lí. Mặt khác phải tốn kém rất nhiều cho sự thống nhất hóa tiêu chuẩn hóa kết cấu.
- Sự tiêu chuẩn hóa kết cấu nhằm giảm số lượng chủng loại sản phẩm nên luôn luôn mâu thuẫn với yêu cầu đa dạng và yêu cầu sử dụng chúng. Mặt khác sự phát triển không ngừng trong kỹ thuật vật liệu, trình độ thiết kế, công nghệ chế tạo luôn luôn có xu hướng phá vỡ tiêu chuẩn đã xây dựng. Lựa chọn chỉ tiêu để tiêu chuẩn hóa và thống nhất hóa là điều khá khó khăn, đối với robot người ta dựa trên các chỉ tiêu sau:
 - - **Theo tính năng:** Robot trong các gam khác nhau có thể khác nhau về sức nâng khi cùng kết cấu, có thể khác nhau về tốc độ dịch chuyển, có thể khác nhau về độ chính xác định vị...tương tự người ta cũng phân chia robot theo kiểu điều khiển, ví dụ điều khiển điểm - điểm, điều khiển contour.
 - - **Theo chức năng:** Thống nhất hóa và tiêu chuẩn hóa các cụm có chức năng cơ bản như cụm tạo ra chuyển động thẳng, tạo ra chuyển động quay, cụm bàn kẹp, cụm có chức năng đo lường...
 - - **Theo công nghệ:** Thống nhất hóa và tiêu chuẩn hóa theo điều kiện sử dụng, ví dụ robot phun sơn, robot hàn, robot lắp ráp...

5.3. Một số kết cấu điển hình của robot:

Để minh họa các quan điểm trên trong mục này sẽ giới thiệu một số kết cấu điển hình của các tay máy công nghiệp, do các nước tiên tiến trên thế giới thiết kế và chế tạo. Các kết cấu này có thể kế thừa trong các thiết kế về sau nếu thấy không có vấn đề gì cần cải tiến sửa đổi.

5.3.1. Robot cố định trên nền dùng hệ tọa độ đề các và tọa độ trụ:

1. Set up the SCORBOT-ER 4u on a sturdy surface with a minimum 700mm of free space all around the robot.

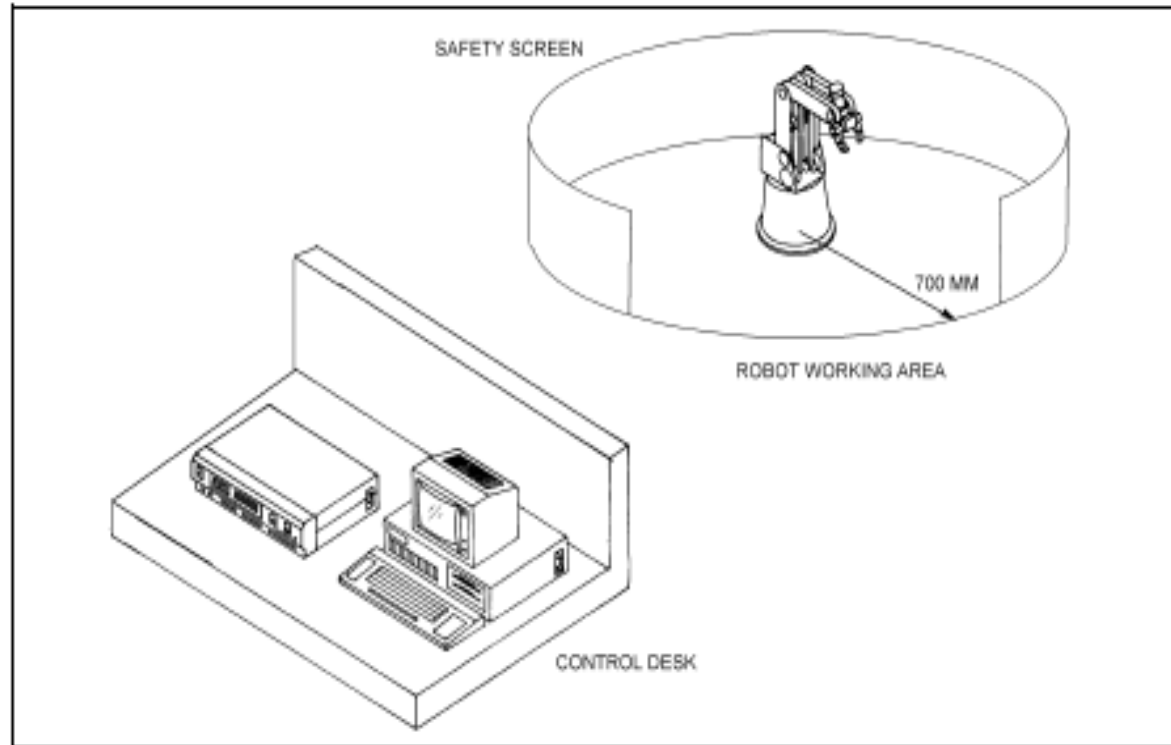
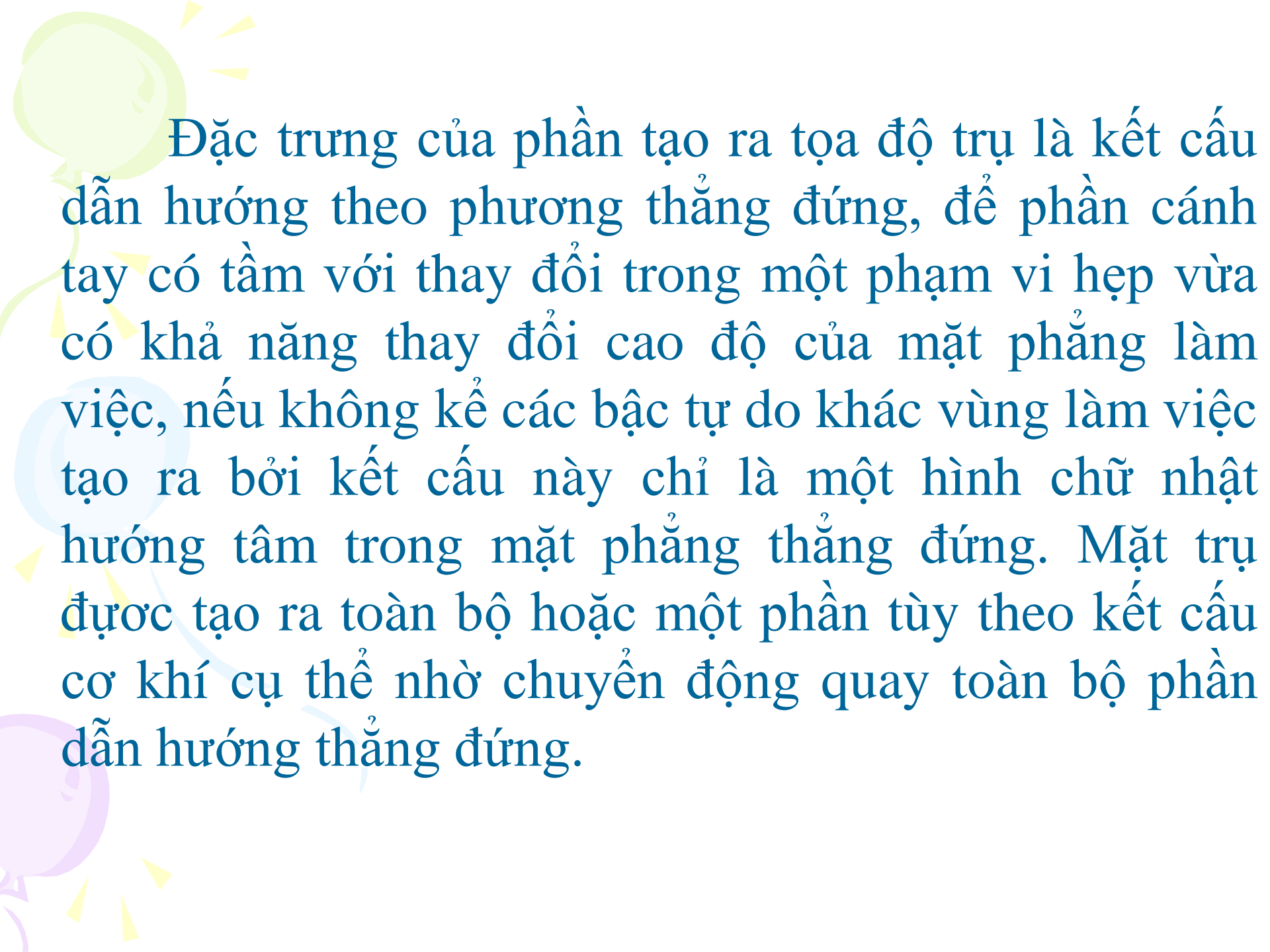


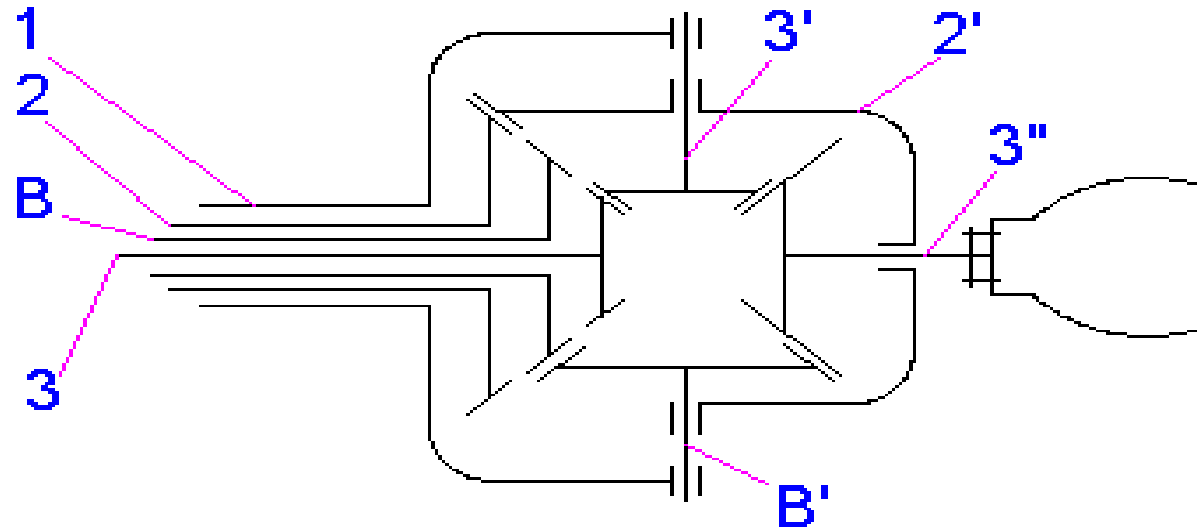
Figure 12: SCORBOT-ER 4u Installation



Đặc trưng của phân tạo ra tọa độ trụ là kết cấu dẫn hướng theo phương thẳng đứng, để phân cánh tay có tầm với thay đổi trong một phạm vi hẹp vừa có khả năng thay đổi cao độ của mặt phẳng làm việc, nếu không kể các bậc tự do khác vùng làm việc tạo ra bởi kết cấu này chỉ là một hình chữ nhật hướng tâm trong mặt phẳng thẳng đứng. Mặt trụ được tạo ra toàn bộ hoặc một phần tùy theo kết cấu cơ khí cụ thể nhờ chuyển động quay toàn bộ phần dẫn hướng thẳng đứng.

• 5.3.2. Rôbot cố định trên nền dùng hệ tọa độ cầu:

- Khớp cầu được tạo thành từ ba khớp quay có đường tâm giao nhau, điển hình cho kết cấu này là cổ tay robot kiểu cầu:



- Cơ cấu có ba bậc tự do với truyền động vi sai khử khe hở bộ truyền, mỗi một chuyển động chấp hành là hệ quả của việc tổng hợp chuyển động từ hai nguồn cùng quy luật truyền tới có tác dụng tạo ra chuyển động vặn ngược nhau hai khâu đồng trục. Ba chuyển động có bốn khâu nền (1, 2, 3, B). Tâm của khớp cầu là giao điểm của 8 bánh răng côn như lược đồ. Để kết cấu này làm việc cần có phần đóng mạch mang các cơ cấu vi sai nữa.



Phương pháp tạo ra tọa độ cầu thứ hai, là kết hợp hai chuyển động quay trùng tâm và một chuyển động tịnh tiến hướng kính qua tâm quay đó.

5.3.3. Robot treo:

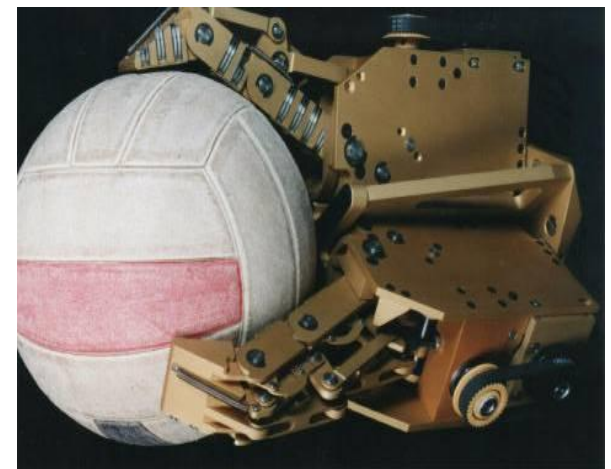
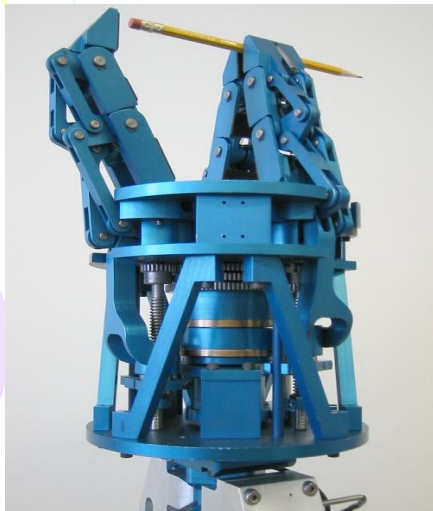
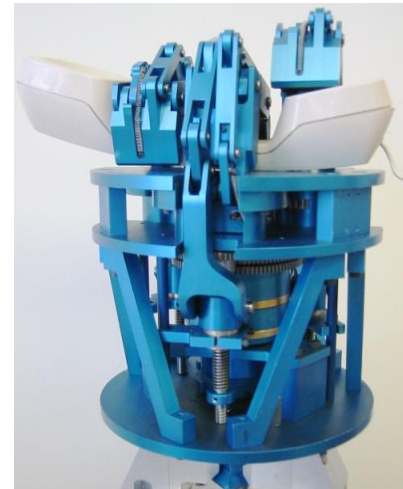
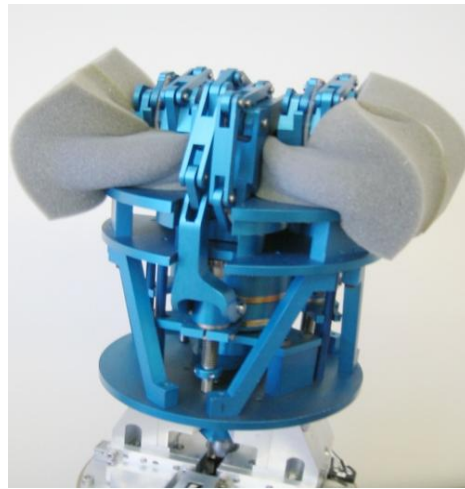
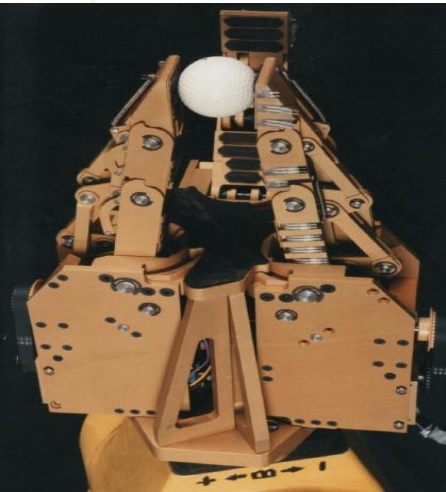
- Robot treo được lắp và chuyển động trên các đường ray trên không, ưu điểm của chúng là không chiếm diện tích sản xuất, ít cản trở hoạt động của các thiết bị khác và có vùng làm việc rộng. Các robot treo có thể vận chuyển nguyên vật liệu, thiết bị trong từng phân xưởng hoặc giữa các phân xưởng. Chúng có thể phục vụ nhiều thiết bị khác nhau trong dây chuyền, có thể sử dụng chúng vào việc lắp ráp, phun sơn hoặc hàn... Các robot treo có thể phân ra hai loại, chuyển động theo một phương (kiểu palăng), hoặc chuyển động theo hai phương (kiểu cầu trục).



5.3.4. Robot có điều khiển thích nghi:

- Robot thích nghi là robot có khả năng tự phản ứng có lợi trước những diễn biến bất lợi của môi trường mà người lập trình không lường trước được, hệ điều khiển của robot thường được xây dựng trên cơ sở điều khiển mờ. Sự phản ứng của robot dựa vào các thông số đo được của môi trường, ví dụ vị trí, tính chất vật lí của đối tượng, hoặc dựa vào trạng thái các cơ cấu trong robot. Trong trường hợp này chương trình điều khiển chỉ định hướng sơ bộ các hoạt động của robot, chính nó sẽ phải tìm hiểu và chính xác hóa các hoạt động của mình trên cơ sở phân tích các thông tin thu nhận được từ môi trường. Nhờ khả năng thích nghi mà robot kiểu này có thể làm được những việc mà robot thông thường không làm được, chẳng hạn tìm kiếm, lắp ráp, thay đổi lực kẹp phù hợp ... Phần lớn các robot thông thường đều có thể trở thành robot thích nghi nếu trang bị các sensor để thu nhận các thông tin về môi trường, chương trình phân tích thông tin thu được và ra quyết định với thông tin thu được.

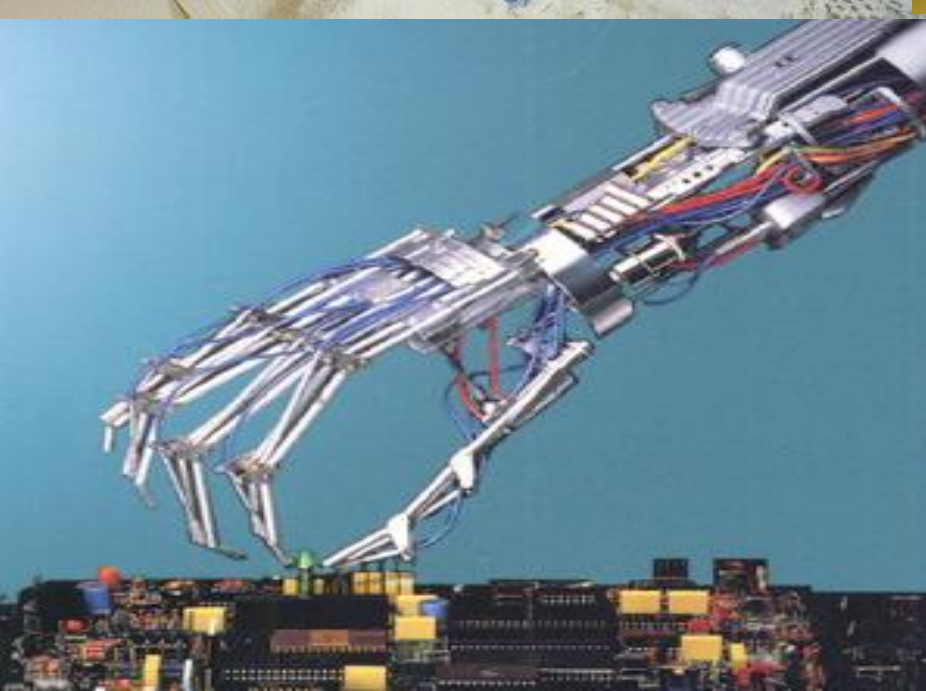
Các robot sau đây có thể cầm nắm được những vật khác nhau về hình dáng và kích thước là do cảm biến lực gắn với ngón tay điều khiển.

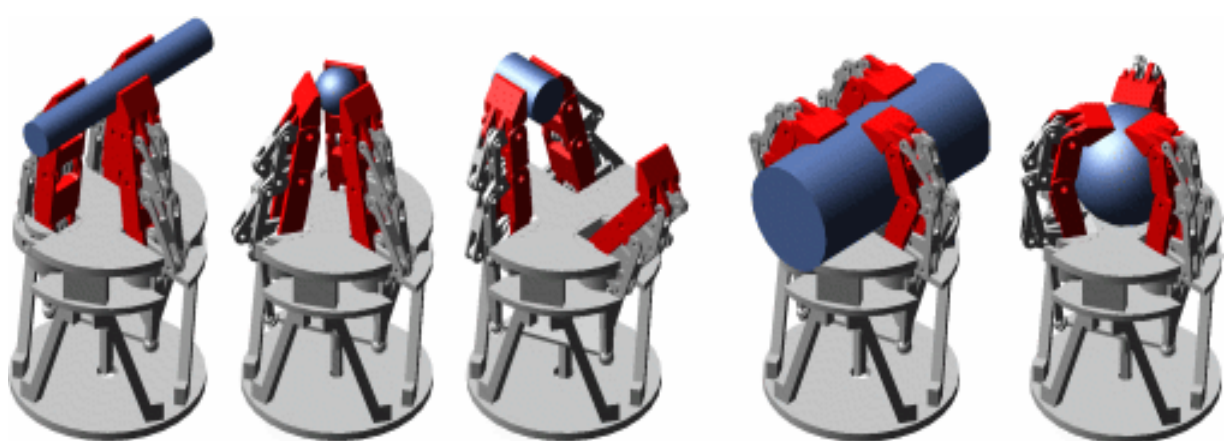


5.4. Cơ cấu tay kẹp:

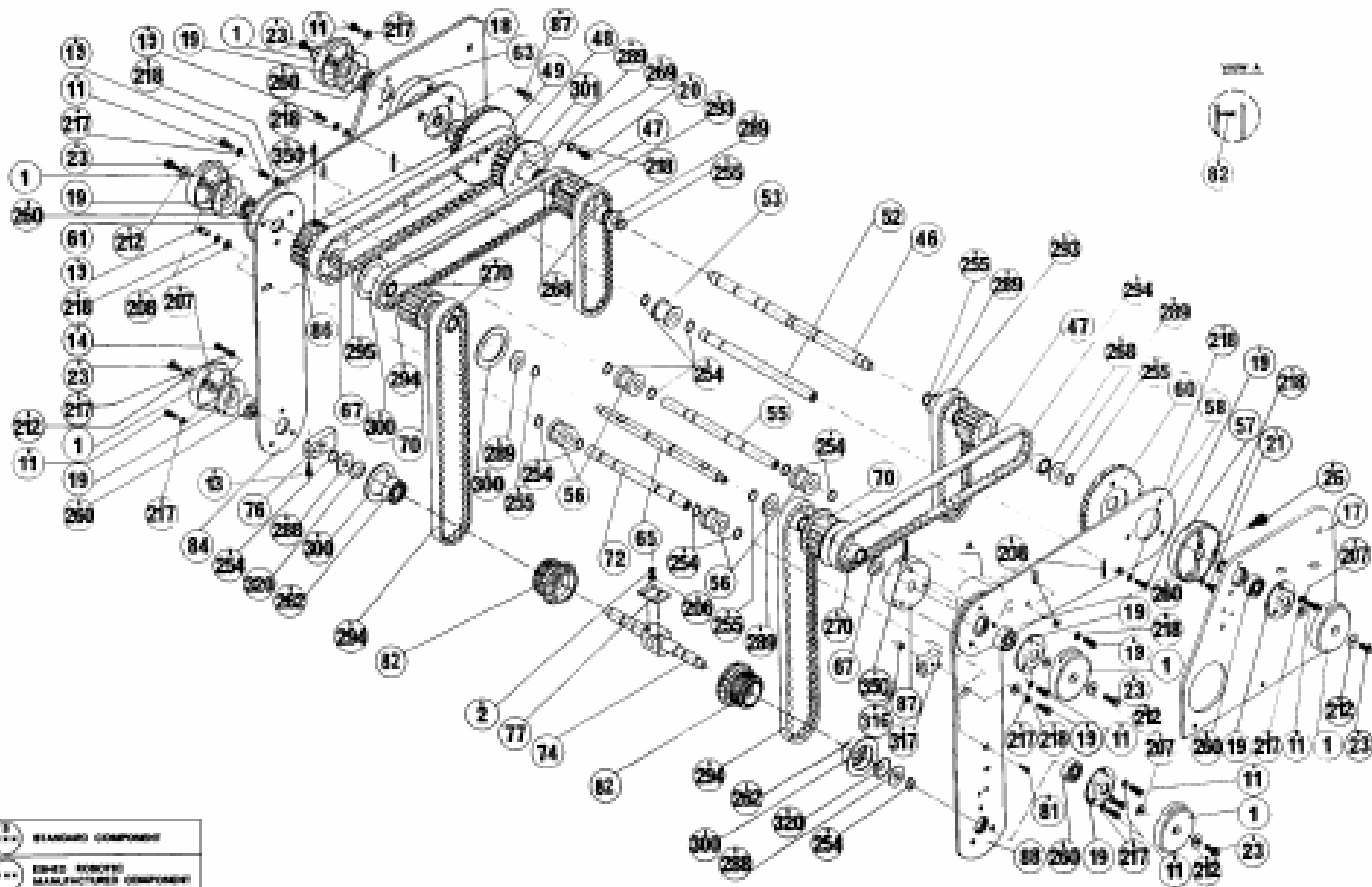
- Phần công tác của robot rất đa dạng, trên các robot chuyên dùng thì phần công tác cũng là thiết bị chuyên dùng. Ví dụ mỏ hàn, mỏ cắt, súng phun sơn, chìa vặn vít, bàn kẹp.
- Trên các loại robot vạn năng thường là robot lắp ráp, vận chuyển, xếp dỡ thì phần công tác có chức năng nắm giữ và thực hiện các thao tác khác nhau với đối tượng (xoay, nhấc, lật, thả..), nếu không đề cập đến sự khác biệt về kết cấu mà căn cứ vào chức năng chính của chúng, ta gọi chung là tay kẹp. Các hình ảnh sau minh họa các kết cấu từ đơn giản đến phức tạp của bộ phận này.



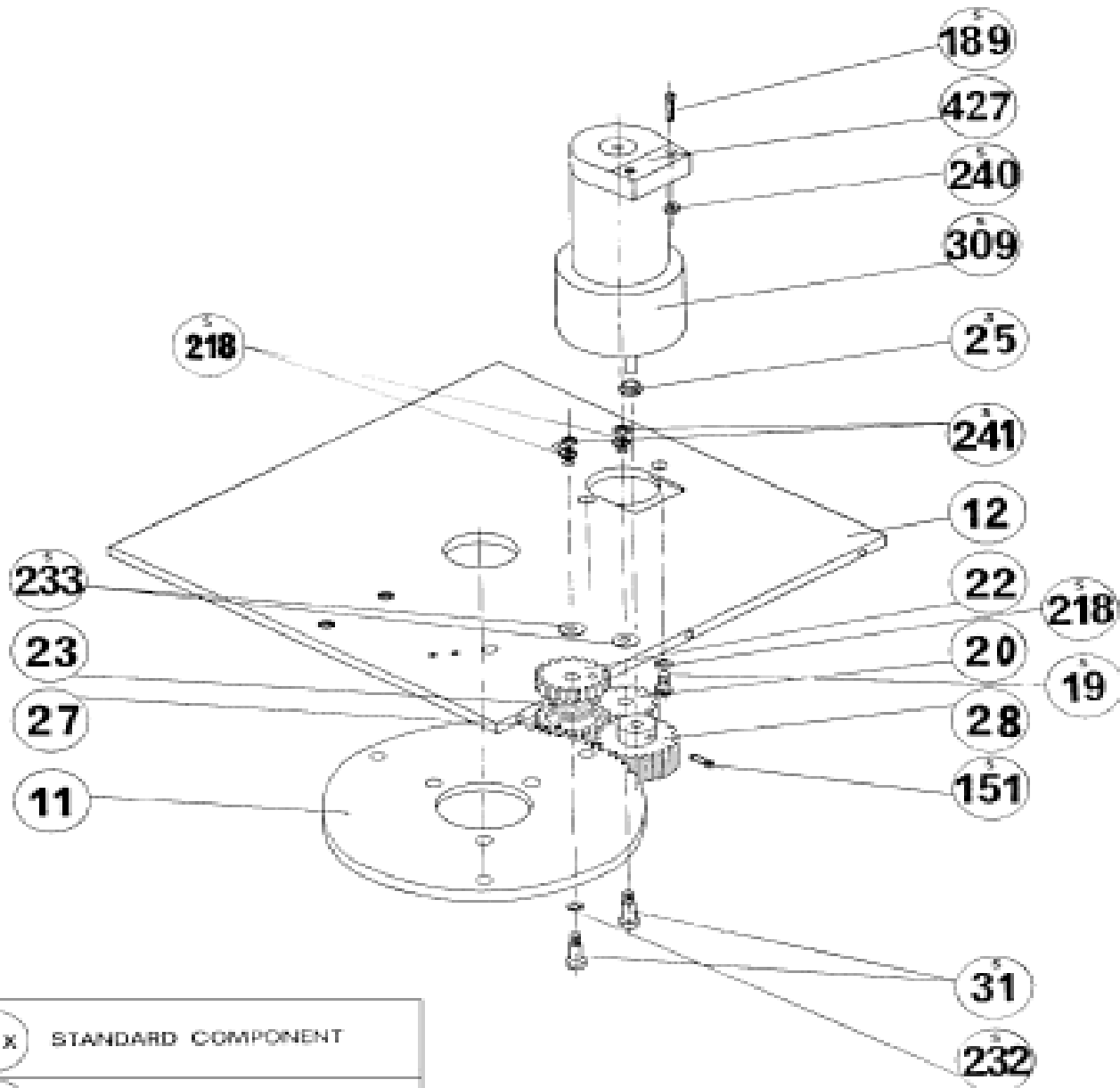




Dưới đây là bản lắp của phần cánh tay và truyền động của nó:



Kết cấu lắp động cơ với phần quay thân robot:



$\begin{matrix} S \\ XXX \end{matrix}$	STANDARD COMPONENT
$\begin{matrix} XXX \\ XXX \end{matrix}$	ESHED ROBOTEC MANUFACTURED COMPONENT

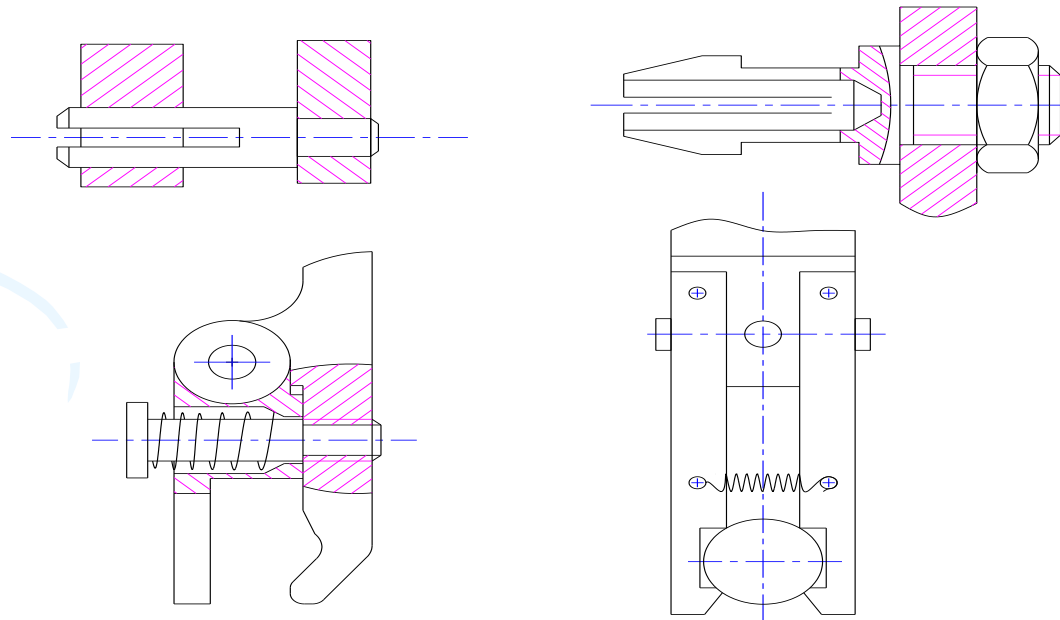
5.4.1. Khái niệm và phân loại tay kẹp:

- *Tay kẹp của robot là phần tương ứng với bàn tay trên cánh tay người, có chức năng thao tác trực tiếp với đối tượng công nghệ, cụ thể là tác động lên đối tượng để thay đổi vị trí, định hướng của đối tượng để đạt những mục đích công nghệ xác định.*
- Tay kẹp được phân loại theo nhiều đặc trưng khác nhau như theo công dụng, theo phương pháp giữ vật, theo tính vận năng. Chúng ta quan tâm đến các đặc trưng liên quan trực tiếp đến kết cấu như sau:
 - Theo nguyên lý tác động có tay kẹp cơ khí, chân không, từ trường, tĩnh điện...
 - Theo khả năng điều khiển, có tay kẹp không điều khiển, điều khiển cứng, điều khiển thích nghi.
 - Theo nguồn năng lượng có các loại tay kẹp có dẫn động và không có dẫn động.

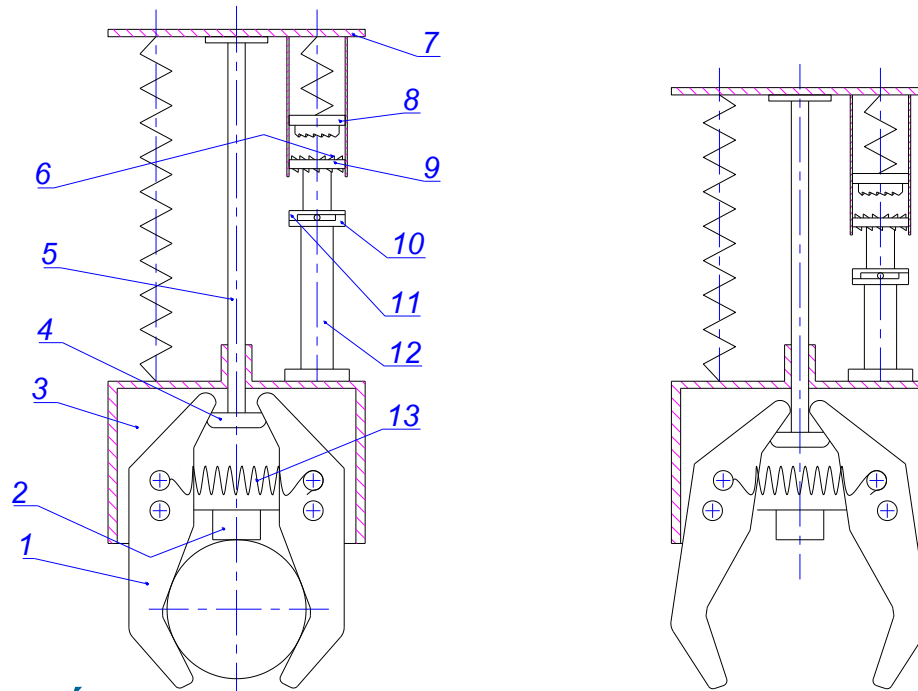
- **5.4.2. Kết cấu của tay kẹp:**

- **5.4.2.1. Tay kẹp cơ khí:**

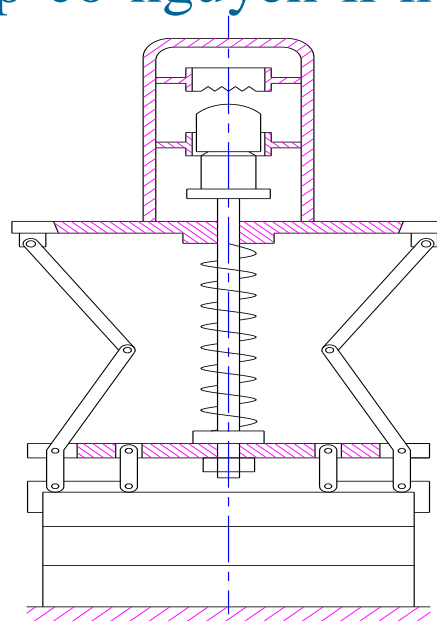
- Đó là loại tay kẹp để giữ, di chuyển đối tượng bằng các mỏ kẹp, móc, càng, tấm đỡ (xem các minh họa phần trên).
- Tay kẹp không có điều khiển dùng các loại mỏ, nhíp, chấu ... để kẹp vật nhờ tác dụng của lò xo hoặc nhờ lực đàn hồi của chính các chi tiết trong hệ thống. Kết cấu của các loại kẹp này rất đơn giản, chúng không có nguồn dẫn động riêng, không có cơ cấu hãm nên lực kẹp dao động theo kích thước của đối tượng. Vì vậy chúng thuộc loại tay kẹp chuyên dùng, được thiết kế cho từng loại đối tượng cụ thể, với phạm vi thay đổi kích thước hẹp. Do các đặc điểm nêu trên, chúng được dùng chủ yếu trong sản xuất hàng khối. Xem minh họa cơ cấu này như sau:



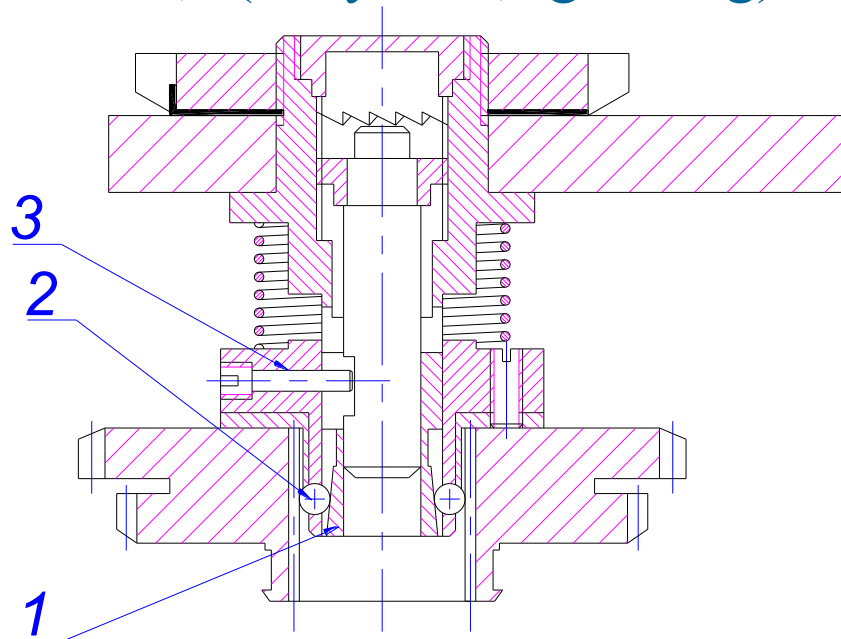
Đề đảm bảo làm việc tin cậy và ổn định ngay cả khi có biên động kích thước của đối tượng, tay kẹp được bổ xung cơ cấu hãm, ví dụ như cơ cơ minh họa dưới đây. Nhờ có cơ cấu hãm mà tay kẹp làm việc với hành trình kẹp và nhả rãnh mạch hơn dù vẫn không có nguồn dẫn động riêng. Các tay kẹp dùng với vật tròn xoay như hình vẽ (), lực kẹp được tạo ra dưới tác dụng của trọng lực, tâm nêm 4 tác động lên đuôi của các mỏ kẹp 1. Khi đặt vật xuống, nêm 4 tiến gần đến vật, hai mỏ kẹp được giải phóng, vật được nhả ra dưới tác dụng của lực kéo từ lò xo 13. Chú ý tới cơ cấu hãm, nó gồm thân 7 gắn liền với cần 5. Chốt hãm 10 gắn trên cần 12 nhưng có thể quay tự do trên đó. Trong lỗ của thân 7 có lòng 2 bạc không quay được 8 và 9. Bạc 8 có các vấu phía dưới, bạc 9 có cả vấu trên và dưới. Các vấu này khi ăn khớp và trượt tương đối với các vấu trên chốt 10 sẽ làm quay chốt đó 450. Trong hành trình nhả, thân 7 tiến gần đến đầu 3, chốt 10 tiếp xúc với bạc 8, quay 450, khi đi xuống tiếp xúc với mặt trên của bạc 9 lại quay tiếp 450 và bị mắc trong lỗ. Hai mỏ kẹp bị giữ ở trạng thái nhả. Trong hành trình kẹp, sau khi chốt 2 tiếp xúc với vật, đầu 3 và thân 7 tiến gần đến nhau. Chốt 10 tiếp xúc với bạc 8, bị quay 450. Khi đi xuống chốt 10 lại tiếp xúc với bạc 9, bị quay tiếp 450 nữa. Kết quả là chốt lọt qua được rãnh và lọt ra khỏi lỗ. Các mỏ 1 được khóa ở trạng thái kẹp.



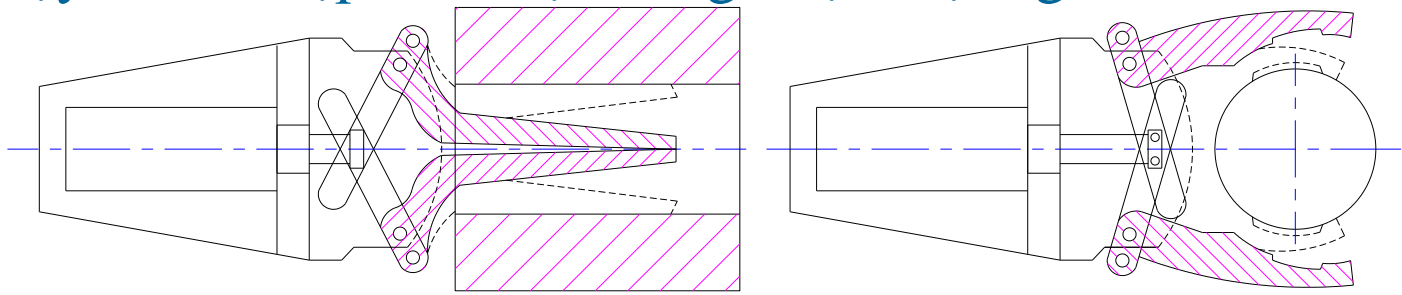
Để kẹp các chi tiết có dạng bánh răng, bạc, đĩa ở tư thế thẳng đứng thường sử dụng loại tay kẹp có nguyên lí hoạt động tương tự với kết cấu như sau:



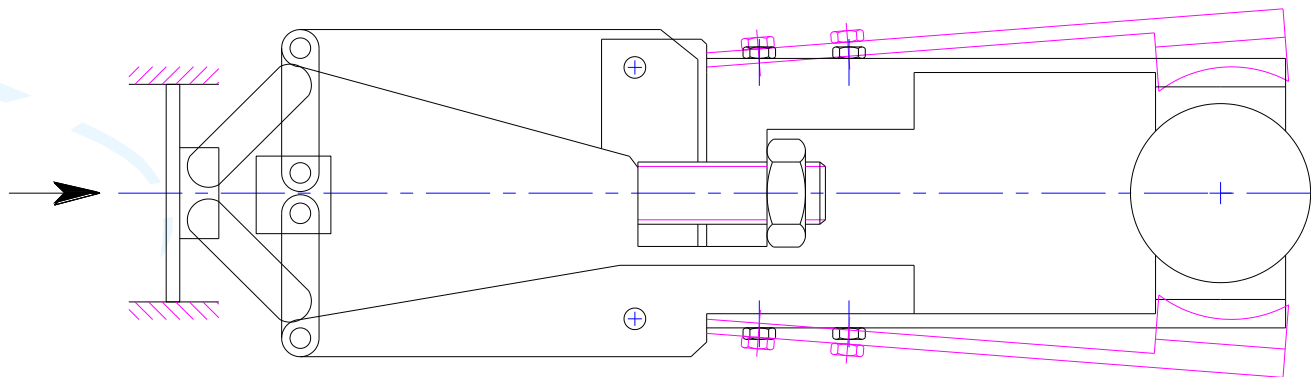
- Hai loại tay kẹp trên được dùng trong sản xuất loạt lớn hàng khối, để nhấc các vật tròn xoay khối lượng không quá 30(kg), kích thước không được dao động quá 0,5 (mm). Chúng được coi là tay kẹp có phạm vi công tác cứng.
- Loại tay kẹp có phạm vi công tác hẹp cho phép sai số của mặt được kẹp tới 1,5 – 2 (mm), trong kết cấu minh họa dưới đây, nó kẹp vào mặt trụ trong của lỗ bánh răng nhờ vào dây bi 2, xếp theo vòng tròn. Mặt côn 1 có góc ma sát nhỏ hơn góc ma sát giữa các viên bi và vật liệu chi tiết (thường từ 50 – 60), tạo ra chuyển động khi nhấc vật (chuyển động lên) và nhả vật (chuyển động xuống).



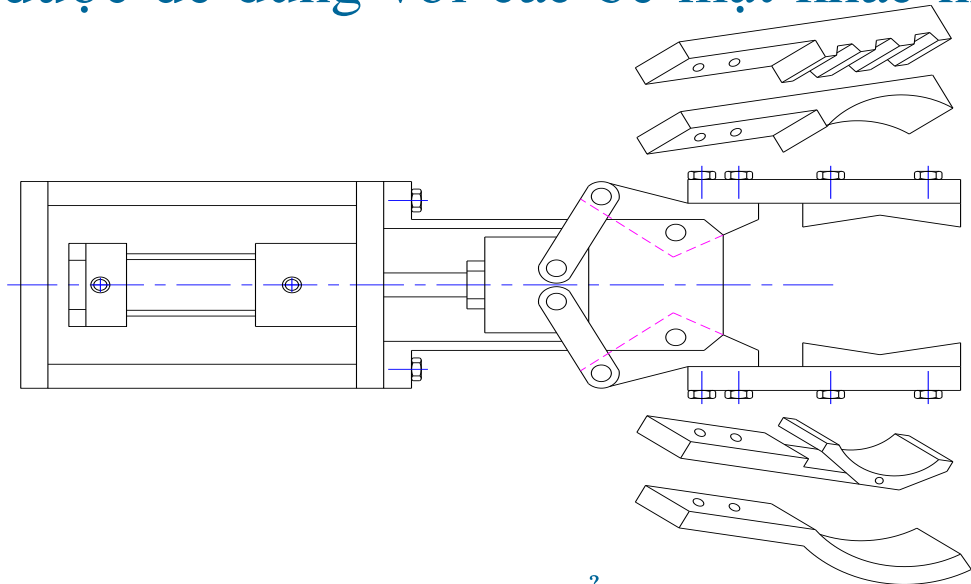
Để tăng độ tin cậy khi kẹp và nhả, có lực kẹp lớn, phạm vi công tác lớn, người ta dùng tay kẹp có dẫn động. Nguồn động lực là động cơ thủy lực hoặc khí nén. Dưới đây là hình minh họa cơ cấu tay kẹp có truyền động thủy lực, sử dụng hai càng kẹp. Mỏ kẹp có thể thay thế được vì vậy có thể kẹp vào mặt trong hoặc mặt ngoài của đối tượng.



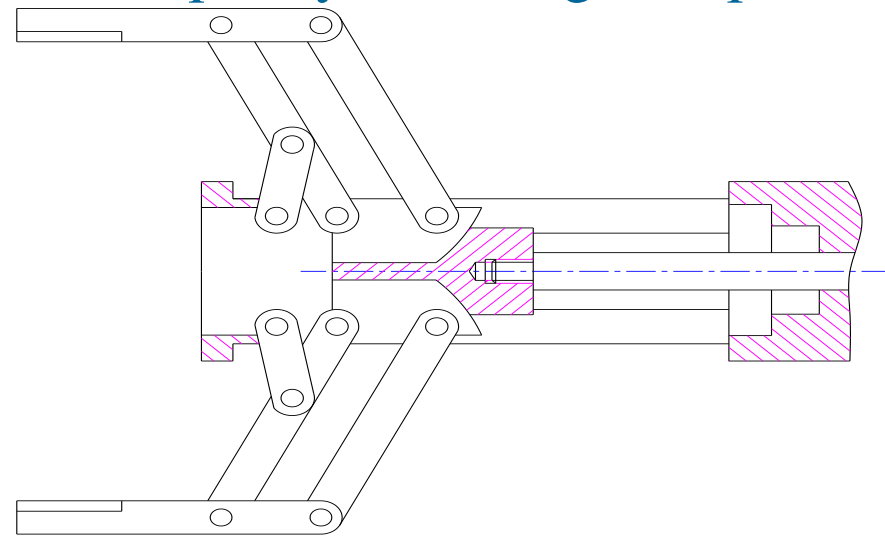
Để điều chỉnh khoảng cách giữa hai mỏ kẹp trong phạm vi không lớn lắm, có thể sử dụng kết cấu càng kẹp quay quanh tâm nhờ vít điều chỉnh như sơ đồ dưới đây:



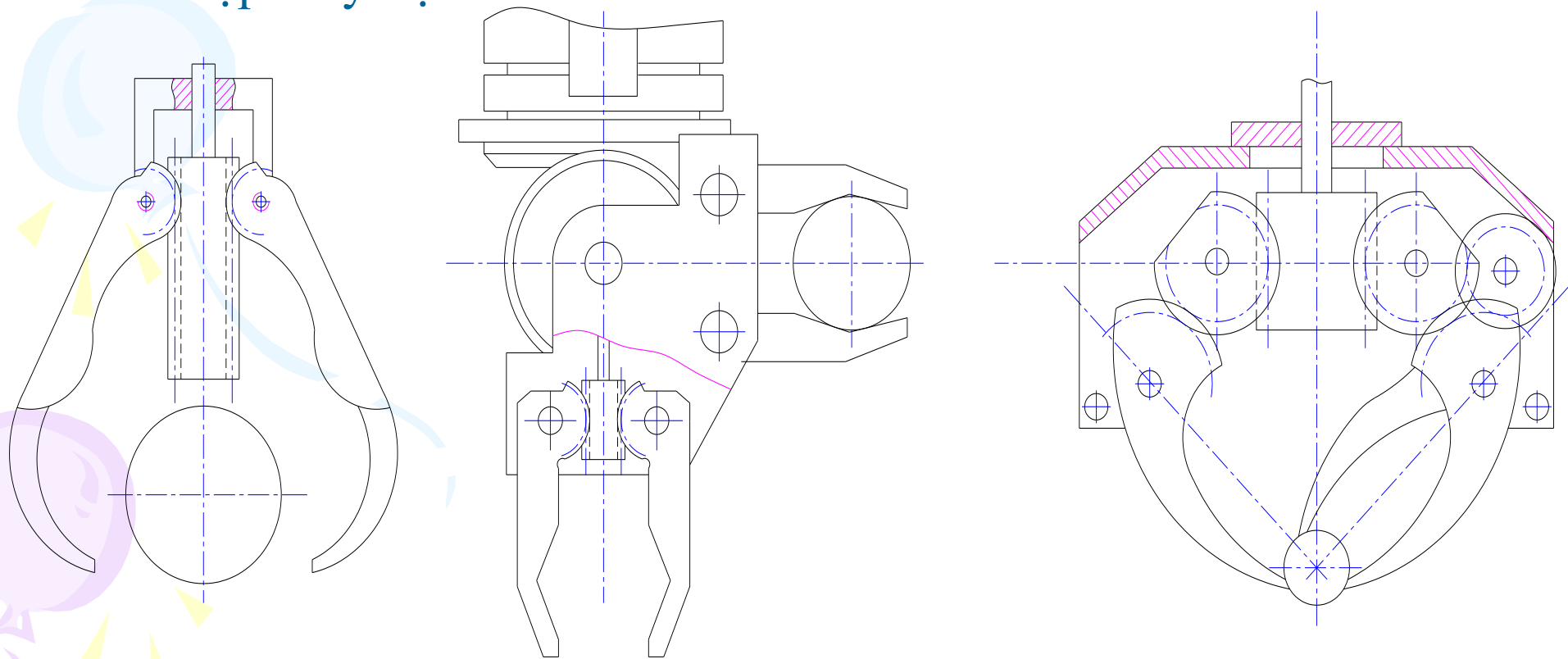
- Sau đây là các cơ cấu tay kẹp với truyền động khí nén. Các tay kẹp có mỏ kẹp thay đổi được để dùng với các bề mặt khác nhau về hình dáng và kích thước.



- Cơ cấu hình bình hành được sử dụng để duy trì độ song song hai má kẹp, khi kích thước vật kẹp thay đổi trong một phạm vi lớn.



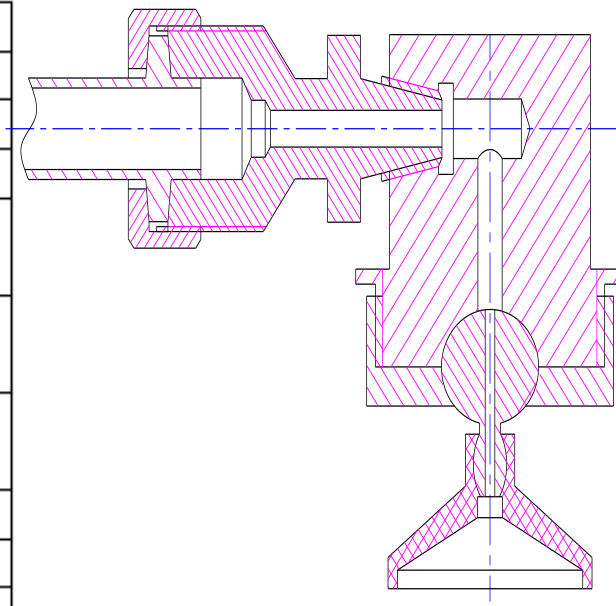
Thay cho dùng cơ cấu tay đòn, càng kẹp, trên nhiều tay kẹp người ta dùng cơ cấu thanh răng, trong đó các đuôi mỏ kẹp có dạng quạt răng. Ưu điểm của cơ cấu này là gọn, làm việc tin cậy. Các sơ đồ trên hình vẽ cũng biểu diễn các dạng mỏ kẹp tự định tâm. Chúng có thể làm việc ở hai vị trí, ví dụ vị trí kẹp phôi và vị trí đưa phôi vào mâm cặp máy tiện:



5.4.2.2. Tay kẹp chân không và điện từ:

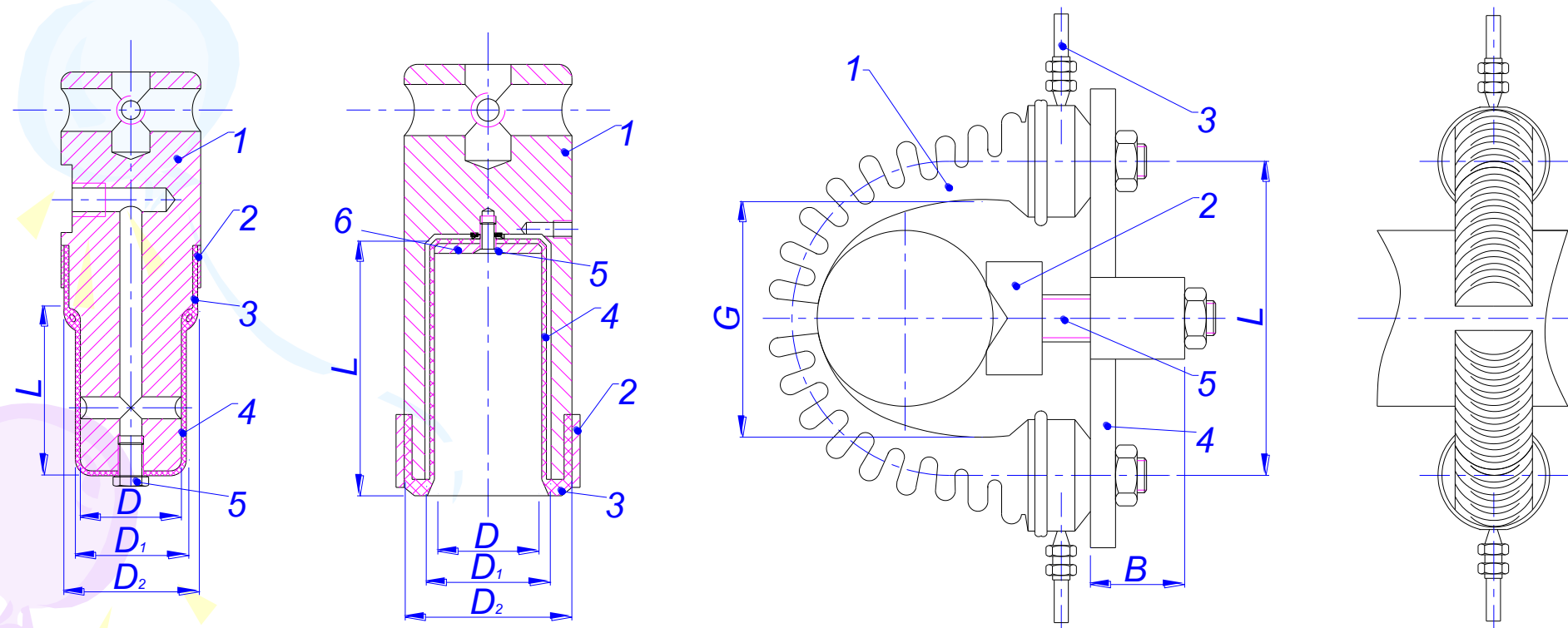
Kết cấu của hai kiểu tay kẹp này được thể hiện như hình vẽ dưới đây. Các kiểu tay kẹp này dùng lực hút chân không (hoặc lực từ) để nhấc và di chuyển đối tượng. Trong một vài trường hợp, người ta còn dùng cả lực hút tĩnh điện. Ưu điểm chính của loại tay kẹp này là có kết cấu đơn giản, có thể dùng với các loại bề mặt hay các loại vật liệu mà tay kẹp cơ khí khó đáp ứng, ví dụ chi tiết phẳng, mỏng nhưng rộng như tấm tôn, hoặc giấy mỏng, hình dạng chi tiết phức tạp, vị trí của chi tiết thay đổi ngẫu nhiên. Tuy có nhiều điểm giống nhau song cơ cấu kẹp điện từ và kẹp khí nén có những đặc điểm khác nhau về sử dụng thống kê trong bảng sau:

Tính chất	Kiểu điện - từ	Kiểu khí nén
Vật liệu vật kẹp	Phải có từ tính	Bất kì
Hình dạng vật kẹp	Bất kì	Mặt phẳng
Trạng thái bề mặt	Không cần nhẵn	Phải nhẵn, sạch
Lực kẹp	Lớn, ít phụ thuộc diện tích tiếp xúc	Hạn chế, phụ thuộc diện tích tiếp xúc
Thời gian kẹp	Nhanh	Chậm, phải đủ đạt độ chân không
Kết cấu	Đơn giản	Phức tạp, cần đường ống, đầu nối...
Thời gian sử dụng	Bền lâu	Hạn chế
Ảnh hưởng đến vật kẹp	Đề lại từ dư, phải khử từ	Không gây hại vật kẹp
Ảnh hưởng môi trường	Không	Gây tiếng ồn



5.4.2.3. Tay kẹp dùng buồng đàn hồi:

Buồng đàn hồi thường được làm bằng cao su, chất dẻo. Lực kẹp sinh ra do sự biến dạng của buồng đàn hồi dưới tác dụng của khí nén hoặc thủy lực. Hình vẽ dưới đây minh họa cho kết cấu và nguyên lý làm việc của tay kẹp kiểu này. Các chi tiết có thể được định vị và kẹp chặt mặt trụ trong hoặc mặt trụ ngoài nhờ buồng đàn hồi hình trụ, cũng có thể định vị bằng khối V và kẹp chặt bằng vòng ôm đàn hồi.



5.4.2.4. Tay kẹp thích nghi:

Trên các tay kẹp kiểu này người ta lắp đặt các sensor để thu nhận thông tin về sự tồn tại, vị trí, hình dáng, kích thước khối lượng, trạng thái bề mặt, màu sắc... của đối tượng để robot tự động tìm cách xử lí thích hợp. Chẳng hạn nhận hay không nhận, thay đổi nơi chuyển đến, thay đổi vị trí và lực kẹp. Trên hình vẽ minh họa tay kẹp kiểu *Anthropomorphic* (tay người) có 4 ngón kẹp, các đốt nối với bàn tay bằng chốt, các ngón có thể co duỗi như tay người.



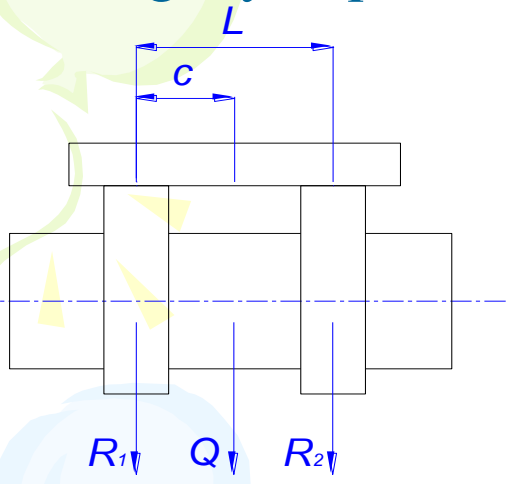
Trên các ngón tay, lớp màu tối là cảm biến được gắn vào ngón tay là điểm trực tiếp tiếp xúc với đối tượng thao tác của robot. Các cảm biến có dây truyền tín hiệu về cụm điều khiển trung tâm xử lí. Robot từ chỗ có cơ bắp, phát triển đến chỗ có thần kinh như con người gọi là robot phỏng sinh.

5.4.3. Phương pháp tính toán tay kẹp:

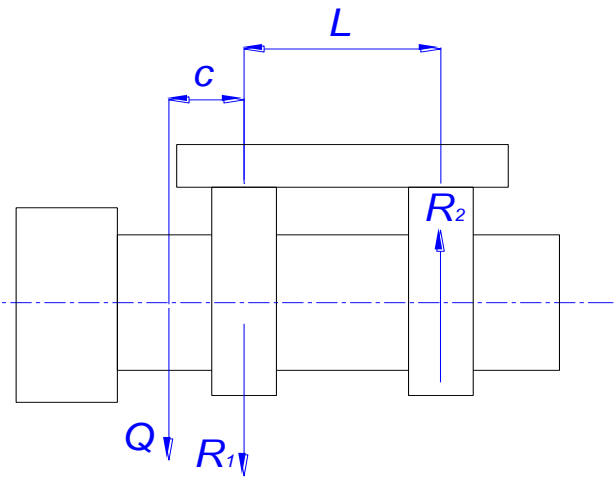
5.4.3.1. Tính toán tay kẹp cơ khí:

- - **Tính lực tiếp xúc:**
- Lực tác dụng tại điểm tiếp xúc giữa mỏ kẹp và đối tượng được xác định với hai mục đích: Đủ lực kẹp đồng thời không làm hỏng bề mặt được kẹp. Trong phần này sử dụng các kí hiệu sau:
- Q - tải trọng tính toán;
- C - Khoảng cách từ điểm đặt tải đến mỏ kẹp đang xét;
- L - Kích thước tay kẹp;
- R_n - Phản lực trên mỏ kẹp thứ n ;
- θ - Góc giữa trục phôi và lực R_n ;
- N_i - Lực tiếp xúc giữa mỏ kẹp và vật;
- φ_i - Góc giữa hình chiếu của lực R_n lên mặt phẳng và lực N_i ;
- μ - Góc ma sát giữa vật liệu mỏ kẹp và vật liệu vật kẹp.

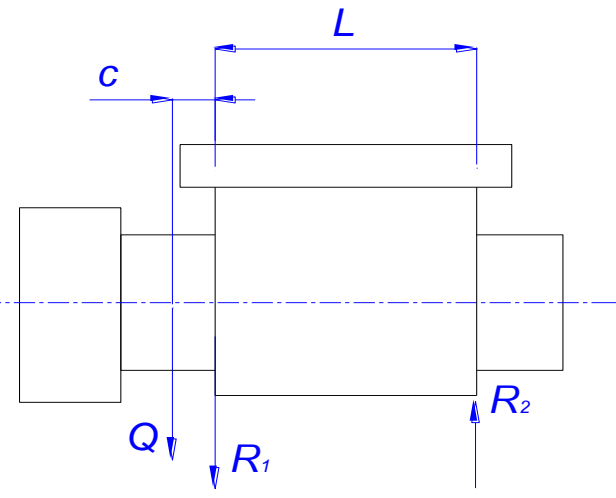
- Các tính toán dựa trên các nguyên tắc đã nêu trên, kết quả cho một số dạng tay kẹp điển hình thể hiện như sau:



Hình a



Hình b



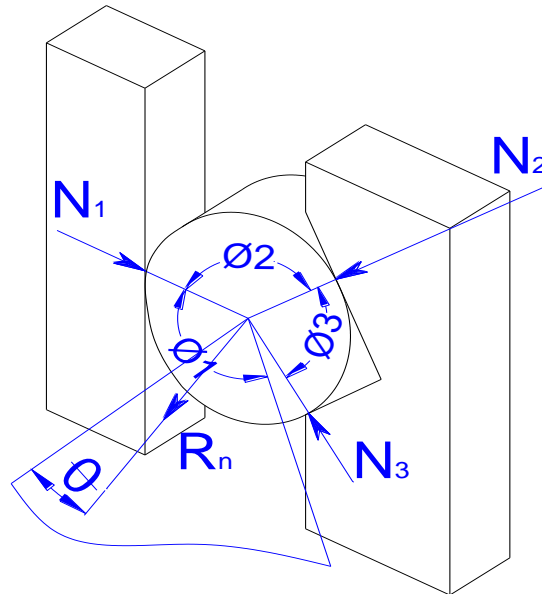
- Trường hợp a, chịu lực đối xứng:

$$R_1 = \frac{l-c}{l} Q \quad R_2 = \frac{c}{l} Q$$

- Trường hợp b, chịu lực không đối xứng:

$$R_1 = \frac{l+c}{l} Q \quad R_2 = \frac{c}{l} Q$$

- Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu kẹp nên lực ma sát ảnh hưởng rất ít đến lực kẹp.
- Với khối V thẳng đứng tạo lực ép từ hai bên, vừa định tâm, vừa kẹp chặt như hình vẽ:

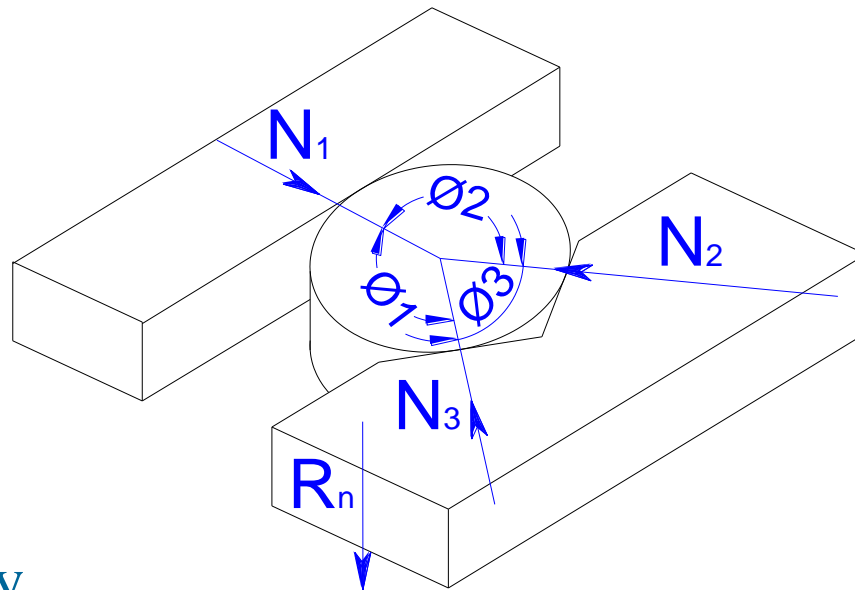


- Liên hệ toán học giữa các đại lượng có mặt trong mô hình:

$$\sin\theta(\sin\varphi_j - \sin\varphi_k - \mu(\cos\varphi_j - \cos\varphi_k)) - \frac{\cos\theta}{\mu} N_1 = R_n \frac{(1 - \mu^2)\sin(\varphi_j - \varphi_k)}{(1 - \mu^2)[\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + \sin(\varphi_3 - \varphi_1)]}$$

- Trong đó $i, j, k = 1, 2, 3$
- Với i, j, k không trùng nhau.

- Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu hãm nên lực ma sát ảnh hưởng nhất định đến lực kẹp
- Với khối V nằm ngang vừa định vị vừa kẹp chặt, trọng lực theo phương thẳng đứng:

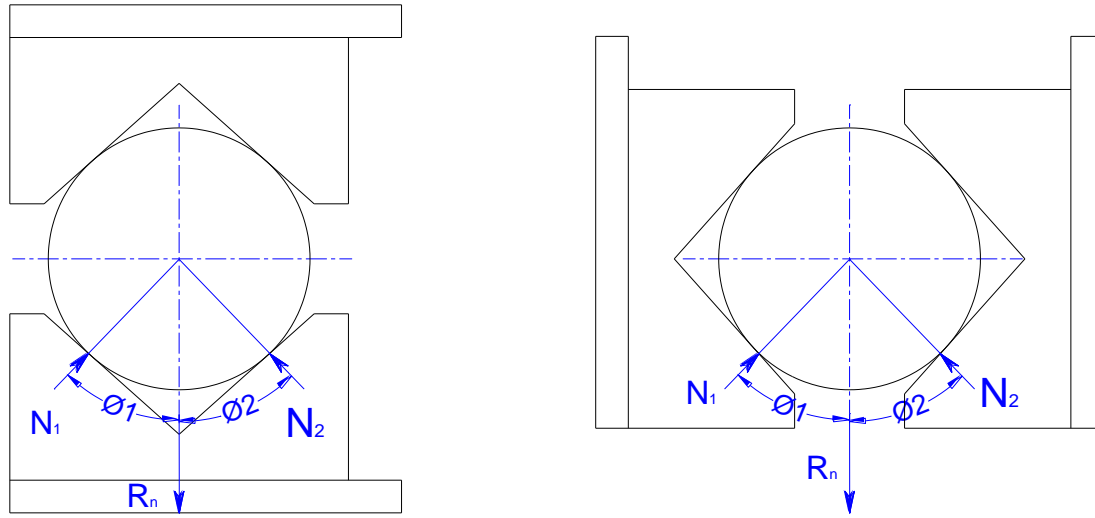


- Trong trường hợp này

$$\theta = 0^0; N_i = -\frac{R_n}{\mu} \frac{\sin(\varphi_j - \varphi_k)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + \sin(\varphi_3 - \varphi_1)}$$

- Trong đó $i, j, k = 1, 2, 3$
- Với i, j, k không trùng nhau.

- Đặc điểm: đối tượng được giữ bởi lực ma sát, ảnh hưởng của lực ma sát đến lực kẹp rất lớn.
- Trong trường hợp sử dụng cả hai khối V như hình vẽ:

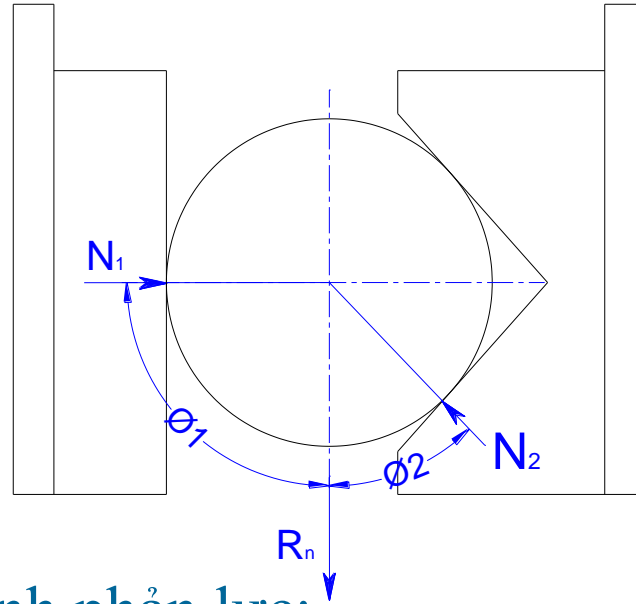


- Công thức xác định các phản lực:

$$N_i = R_n \frac{\sin \varphi_j - \mu \cos \varphi_j}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) - 2\mu \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

- Với i, j không trùng nhau.
- Trong đó $i, j, k = 1, 2$

- Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu kẹp nên lực ma sát ảnh hưởng rất ít đến lực kẹp.
- *Khi vật kẹp được định vị bằng khối V, giữ bằng cơ cấu hãm:*



- Công thức xác định phản lực:

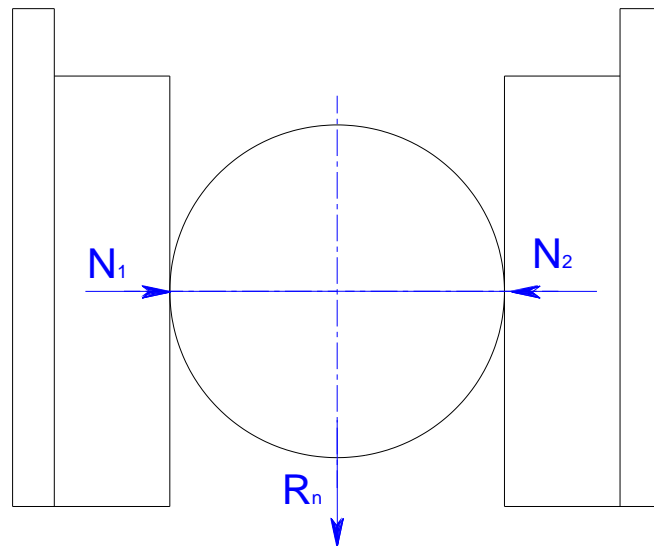
$$\varphi_1 = 90^0;$$

$$\varphi_2 = \varphi;$$

$$N_1 = R_n \frac{\sin \varphi - \mu \cos \varphi}{\cos \varphi + 2 \sin \varphi};$$

$$N_2 = R_n \frac{1}{\cos \varphi + 2 \mu \sin \varphi};$$

- Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu hãm nên lực ma sát ảnh hưởng nhất định đến lực kẹp
- *Khi vật kẹp được giữ bằng hai tấm phẳng dựa vào ma sát:*



Công thức xác định lực kẹp:

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0;$$

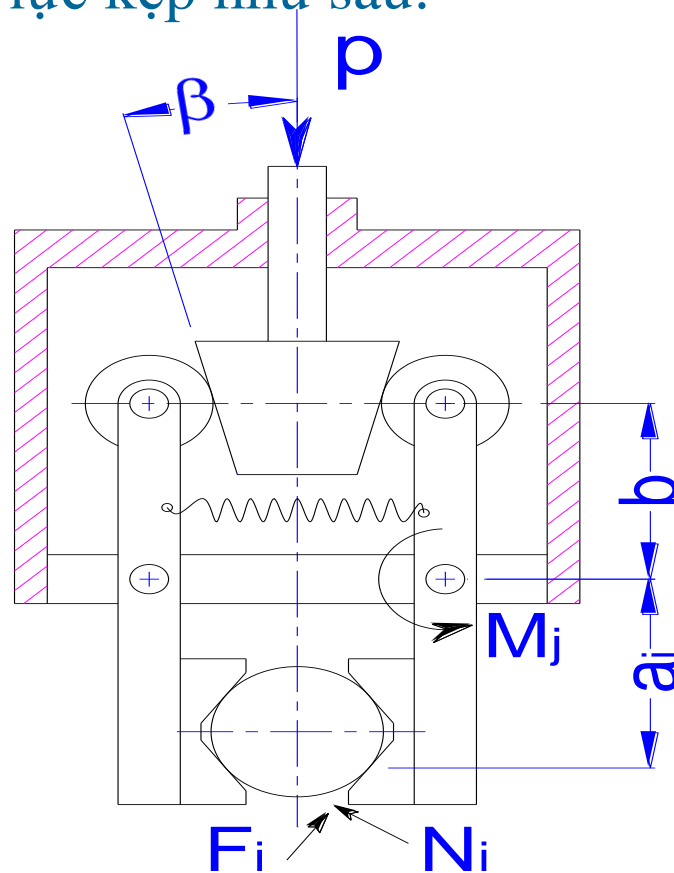
$$N_1 = N_2 = \frac{R_n}{2\mu}$$

- Đặc điểm: đối tượng được giữ bởi lực ma sát, ảnh hưởng của lực ma sát đến lực kẹp rất lớn.

– Tính lực dẫn động:

- Lực dẫn động do cơ cấu dẫn động sinh ra, đặt lên đầu vào của tay kẹp. Yêu cầu lực kẹp đủ lớn giữ vật trong tư thế làm việc, thông qua các quan hệ cơ bản của cơ cấu, các cơ cấu thông dụng như nêm, đòn, thanh răng được tính lực kẹp như sau:

- Với cơ cấu nêm:



- Trường hợp chung (dùng nêm một bên) lực kẹp tối thiểu tính như sau:

$$P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_p}$$

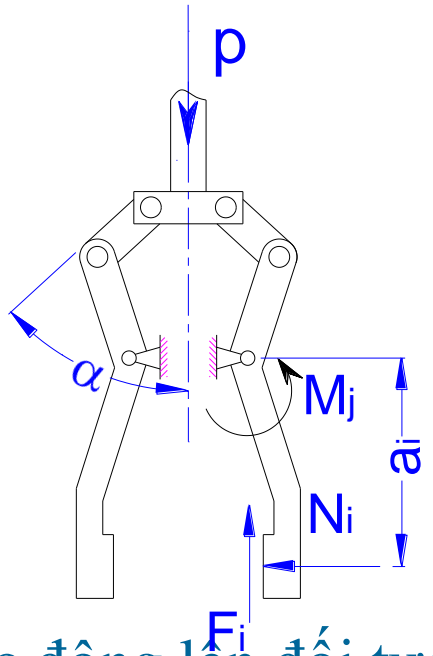
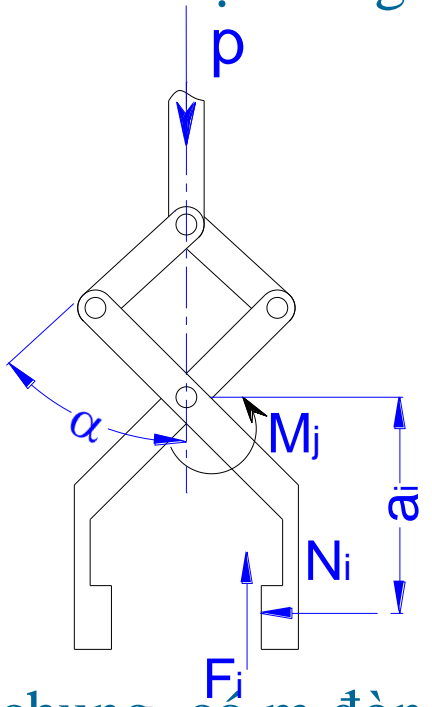
- Trường hợp hai nêm đối xứng, lực kẹp nhân đôi:

$$P \geq \frac{2M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_p}$$

- Trong các công thức trên:
 - m : Số càng kẹp dẫn động bằng chêm;
 - $\eta_p = 0,9$
 - $\beta = 4 - 8^\circ$ là góc nêm;
 - $\rho = 1^\circ 10'$ khi dùng ổ trượt, khi dùng ổ lăn;

- Trường hợp dùng đòn kẹp:

- Đòn kẹp có thể có một trong hai kết cấu điển hình sau:



- Trường hợp chung, có m đòn kẹp tác động lên đối tượng đồng thời:

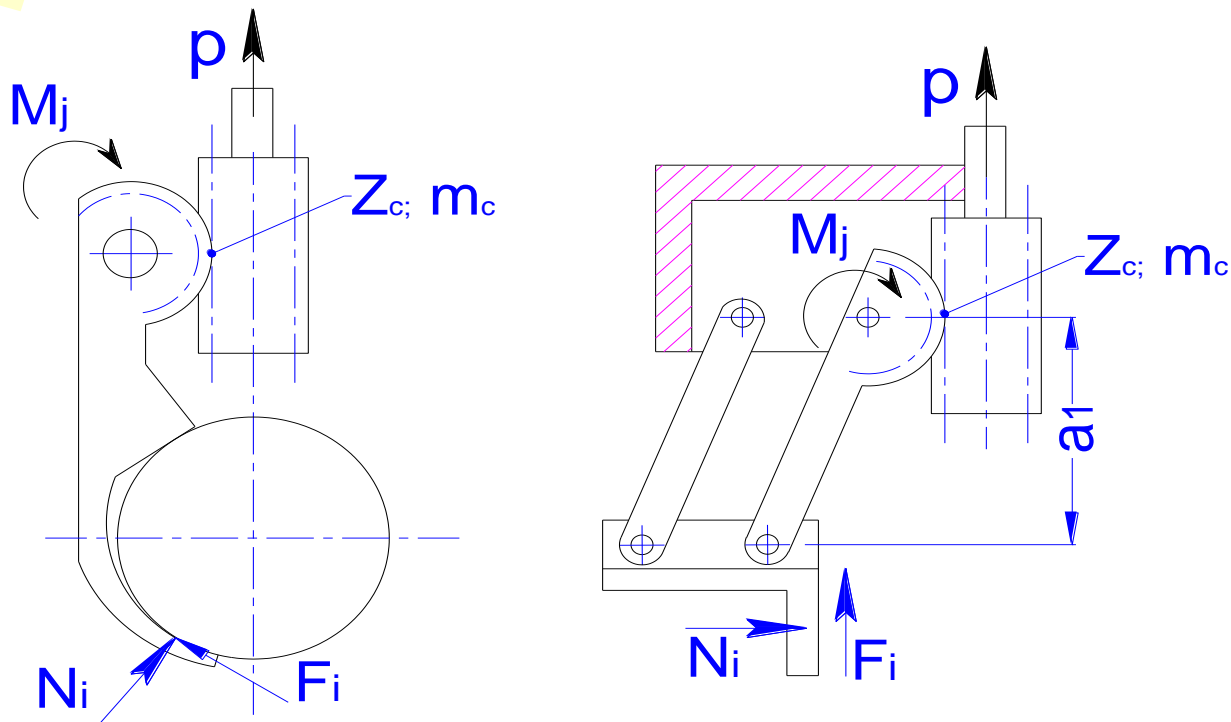
$$P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cos \alpha}{b \eta_p}$$

- Trường hợp có hai đòn kẹp, kết cấu đối xứng:

$$P \geq \frac{2M_j \cos \alpha}{b \eta_p}$$

với $\eta = 0,9 - 0,95$

- Trường hợp dùng cơ cấu thanh răng:



- Trường hợp có hai cơ cấu giống nhau, bố trí đối xứng:

$$P \geq \frac{2 \sum_{j=1}^m M_j}{m_s z_c \eta_p}$$

- Trường hợp chung có \$m\$ đơn kẹp dẫn động bằng quạt răng – thanh răng:

$$P \geq \frac{4M_j}{m_c z_c \eta_p} \quad \eta = 0,94$$

- Các kí hiệu dùng trong mục này:

- m : Số lượng mỏ kẹp;

- N_i : Lực tiếp xúc giữa mỏ kẹp và vật (N), tra bảng kế tiếp;

- M_j : Mô men kẹp ($N.m$) của mỏ kẹp thứ j tính theo công thức:

$$M_j = \sum_{i=1}^k N_i \cos \varphi_i [a_i \operatorname{tg} \varphi_i \pm c_i - \mu(a_i \mp c_i \operatorname{tg} \varphi_i)]$$

- k : Số điểm tiếp xúc;

- ρ : Góc ma sát quy đổi có tính đến lực cản trên các chốt của đòn;

- β : Góc nêp;

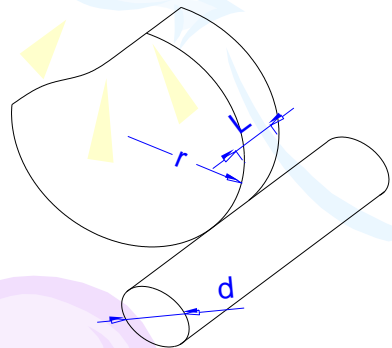
- η_p : Hiệu suất của cơ cấu;

- α : Góc nghiêng của đòn;

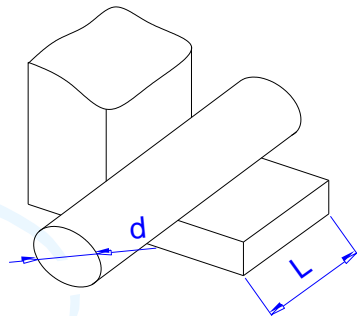
- m_c ; z_c : Mô đun và số răng của quạt răng;

– Tính ứng suất tiếp xúc:

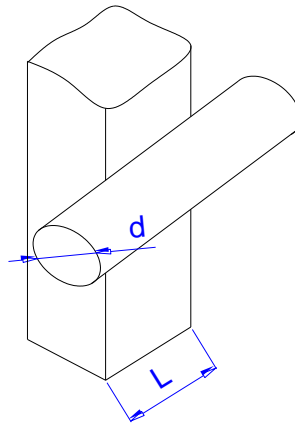
Tính ứng suất tiếp xúc là để không chế ứng suất tiếp xúc lớn nhất, nhỏ hơn giá trị phá hỏng chi tiết tại điểm tiếp xúc. Trong một số trường hợp, nhất là khi kẹp nhờ lực ma sát thì ứng suất tiếp xúc khá lớn. Điều đó có thể dẫn đến phá hỏng chi tiết hoặc mở kẹp, nhất là các chi tiết đã gia công tinh. Công thức tính ứng suất xây dựng trên có sở dạng tiếp xúc, diện tích tiếp xúc giữa chi tiết và mỏ kẹp.



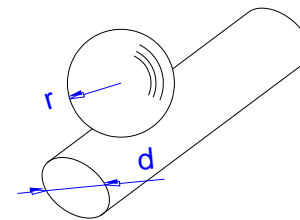
H-1



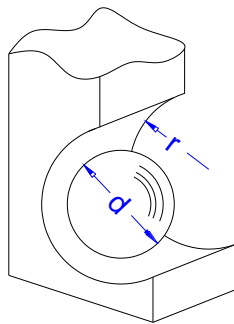
H-2



H-3



H-4a



H-4b

- Ở hình 1, chi tiết và mỏ kẹp tiếp xúc đường, ứng suất phát sinh tính theo công thức:

$$\sigma = 0.418 \sqrt{\frac{NE_q}{l} \left(\frac{2}{d} + \frac{l}{r} \right)}$$

- Ở hình 2, chi tiết và mỏ kẹp tiếp xúc 2 đường, ứng suất phát sinh tính theo công thức:

$$\sigma = 0.418 \sqrt{\frac{NE_q}{l} \left(\frac{2}{d} - \frac{l}{r} \right)}$$

- hình số 4, tiếp xúc điểm và tiếp xúc đường cong, ứng suất phát sinh tính chung như sau:

$$\sigma = 0.418 \sqrt{\frac{2NE_q}{ld}}$$

- Ở hình 3, chi tiết và mỏ kẹp tiếp xúc đường, ứng suất phát sinh tính theo công thức:

$$\sigma = m^3 \sqrt{\frac{NE_q^2}{r^2}} \quad \frac{d}{2} < r$$

- Trong đó:
- N : lực tiếp xúc giữa mỏ kẹp và vật (N);
- E_q : mô đun đàn hồi quy đổi của vật liệu mỏ kẹp và vật;
- l : Bề rộng của mỏ kẹp (cm);
- d : Đường kính của vật (cm);
- r : Bán kính của đầu mỏ kẹp (cm);
- m : Hệ số phụ thuộc vào tỉ số $2r/d$ (tra bảng);
- Mô đun đàn hồi của vật liệu đối tượng E_r và của mỏ kẹp E_m theo công thức:

$$E_q = \frac{2E_v E_m}{E_v + E_m}$$

- Bảng giá trị hệ số m , theo tỉ số $2r/d$:

$2r/d$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05
m	0.388	0.4	0.42	0.44	0.468	0.49	0.536	0.6	0.716	0.97	1.98

• 5.4.3.2. Tính toán tay kẹp chân không và điện từ:

• Tính lực kẹp chân không:

- Lực kẹp được tính theo công thức:

$$P = k_p F_{tx} (P_a - P_b)$$

- Trong đó:

- k_p : là hệ số tính đến sự thay đổi áp suất khí quyển và tình trạng kín khí của mặt tiếp xúc, lấy bằng 0,85
- F_{tx} : Diện tích giữa đầu kẹp và vật, thường lấy bằng 0,6 – 0,7 diện tích tiếp xúc thực tế;
- P_a : Áp suất khí quyển;
- P_b : Áp suất dư trong buồng hút.

Với hệ thống nối giữa buồng hút với bơm có gioăng kín khí thì áp suất dư lấy bằng áp suất chân không của bơm. Nếu không đạt được yêu cầu trên thì có thể lấy:

$$p_a - p_b = (3,0 - 3,5) \quad (\text{N/cm}^2)$$

- **Tính lực kẹp điện từ:**
- Lực kẹp được tính theo công thức:

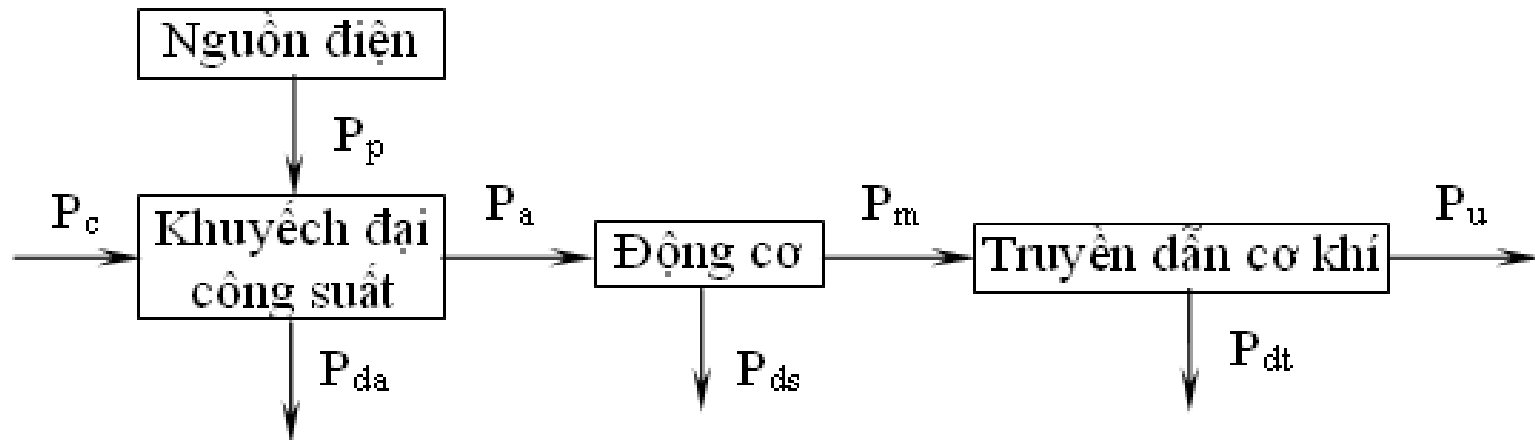
$$P = \frac{I_n^2}{25F(R_k + R_l)}$$

- Trong đó:
- I_n : Số ampe – vòng của cuộn dây nam châm;
- F : Diện tích tiếp xúc giữa cực nam châm và vật;
- R_k, R_l : từ trở của không khí và của lõi thép trong mạch từ;
- Nếu trong vật liệu sắt từ có các tạp chất P, S, Mn, Ni thì từ trở tăng, lực kẹp sẽ bị giảm.

Chương 6: Hệ thống điều khiển robot (5 tiết)

6.1. Hệ thống chấp hành:

- Chuyển động của các khớp trong tay máy được thực hiện bởi hệ thống chấp hành, nó gồm các bộ phận sau:
 - Nguồn điện (nguồn năng lượng nói chung).
 - Bộ khuếch đại công suất.
 - Động cơ.
 - Truyền động cơ khí.
- Dưới đây là sơ đồ ghép nối hệ thống chấp hành, trong đó có thể hiện sự chuyển đổi năng lượng:



- Để thể hiện quan hệ chung, kí hiệu P_c là tín hiệu điều khiển (thường là tín hiệu điện); P_u là công suất cơ học cần thiết để làm chuyển động khớp. Các đại lượng trung gian gồm:
- Công suất điện cung cấp cho động cơ (thủy lực, hoặc khí nén) P_a
- Công suất nguồn P_p (thường có cùng bản chất vật lí với P_a)
- Công suất cơ học do động cơ phát ra P_m
- Ngoài ra còn có các loại công suất tổn hao trên các khâu trung gian như:
- Khuyết đại công suất động cơ và truyền dẫn $P_{da}; P_{ds}; P_{dt}$.
- Xuất phát điểm để chọn các khâu trong hệ thống chấp hành là công suất cơ khí P_n để đảm bảo lực và vận tốc chuyển động của các khớp. Sau đây trình bày khái quát chức năng của các cụm chính trong hệ thống.

6.1.1. Truyền dẫn cơ khí:

Chuyển động tại các khớp của tay máy thường có vận tốc thấp và đòi hỏi mômen xoắn lớn trong khi các động cơ thường làm việc với tốc độ vòng quay lớn và mô men xoắn nhỏ. Vì vậy giữa động cơ và khớp thường có bộ phận biến tốc để sử dụng vùng làm việc có lợi nhất của động cơ. Thông qua bộ phận truyền dẫn này, công suất p_m trở thành p_u và bị tổn hao một lượng p_{dt} do ma sát. Khi chọn hình thức truyền dẫn cần căn cứ vào công suất cần thiết, loại chuyển động của khớp và vị trí đặt động cơ so với khớp, vì bộ phận truyền dẫn không chỉ biến đổi công suất mà cả dạng chuyển động, chẳng hạn chuyển biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến trong khớp. Nếu khéo bố trí động cơ và truyền dẫn có thể giảm tiêu hao năng lượng. Trong robot thường sử dụng các loại cơ cấu sau:

- - Cơ cấu trục vít bánh vít, cho phép đổi phương trục và tạo tính tự hãm cho cấu trúc.
- - Cơ cấu vít me đai ốc, cho phép biến chuyển động quay tròn của trục động cơ thành chuyển động tịnh tiến của khớp trượt, cơ cấu này cũng tạo được tính tự hãm trong các dịch chuyển thẳng đứng. Để giảm ma sát có thể sử dụng cơ cấu vít me đai ốc bi, cơ cấu này thường được lắp có độ dôi để điều chỉnh sức căng ban đầu và tăng độ cứng vững.
- - Truyền động đai răng và truyền động xích cho phép đặt động cơ xa trục khớp. Lực căng đai gây tải trọng hướng kính lên trục và gối đỡ nên chỉ dùng khi lực nhỏ và vận tốc chuyển động lớn. Ngược lại xích hay bị dao động nên thường dùng khi vận tốc nhỏ.
- - Cơ cấu khâu khớp như cơ cấu bốn khâu bản lề, cơ cấu con trượt, đòn bẩy..., cũng là những cơ cấu rất thường sử dụng trong robot.
- Với giả thiết chuyển động không có khe hở và không có trượt, tỉ số truyền của các bộ truyền cơ khí là không đổi.
- Ngày nay người ta thường gắn trực tiếp rotor của động cơ tuyến tính lên trục của khớp mà không qua truyền dẫn cơ khí trung gian, điều đó loại trừ được ảnh hưởng của khe hở và biến dạng do truyền dẫn cơ khí sinh ra. Tuy nhiên nó đòi hỏi các giải pháp kỹ thuật điều khiển để duy trì quan hệ tuyến tính truyền động trong dải rộng. Truyền động trực tiếp còn chưa phổ biến trong robot vì lí do kết cấu

6.1.2. Động cơ:

- Động cơ là nguồn tạo động lực chuyển động cho các khớp. Tùy thuộc dạng năng lượng sử dụng, người ta thường sử dụng các loại động cơ khí nén, động cơ thủy lực và động cơ điện. Trong kỹ thuật robot người ta sử dụng các động cơ công suất từ vài chục wat đến hàng chục kilowat. Do đặc điểm sử dụng trong robot, chẳng hạn yêu cầu bám sát quỹ đạo thiết kế, định vị chính xác nên các động cơ được sử dụng phải đáp ứng các tính chất sau:
 - Quán tính nhỏ và tỉ số tiêu hao / trọng lượng cao.
 - Có khả năng chịu quá tải là xung lực.
 - Có khả năng gia tốc tốt.
 - Dải tốc độ làm việc rộng từ 1 – 10.000 (v/p).
 - Độ chính xác định vị cao (ít nhất 1/1000 vòng tròn).
 - Có thể làm việc trơn tru ở vận tốc thấp.

- Động cơ khí nén khó đáp ứng được các yêu cầu trên, vì không thể khắc phục được tính nén được của môi chất thể khí. Chúng chỉ được dùng cho các chuyển động đóng mở, ví dụ dùng cho tay kẹp hoặc chuyển động điểm - điểm.
- Động cơ điện gồm các loại một chiều, xoay chiều thông dụng, động cơ servo, trong đó động cơ servo được dùng thông dụng hơn cả. Động cơ servo khác với động cơ thường ở chỗ nó được điều khiển phản hồi bằng một hệ thống điều khiển điện tử có phản hồi, tín hiệu phản hồi lấy từ các sensor vận tốc, hoặc các sensor vị trí giám sát liên tục vị trí tương đối giữa rotor và stator, trên cơ sở đó sinh ra tín hiệu điều khiển vận tốc và chiều quay của rotor. Động cơ servo có đặc tính động lực học tốt, kết cấu đơn giản làm việc tin cậy nên ngày càng được ưa dùng. Động cơ điện một chiều cổ điển không được ưa chuộng vì có bộ góp điện gây nhiều phiền phức khi sử dụng, có thể thay thế loại này bằng động cơ điện một chiều không cổ góp.
- Động cơ bước do có công suất nhỏ, độ chính xác thấp do không có mạch phản hồi vị trí, do đặc tính động lực học phụ thuộc tải trọng, có hiện tượng bỏ bước khi tải lớn. loại động cơ này rẻ tiền hơn động cơ servo nên thường được dùng cho những nơi không đòi hỏi độ chính xác cao.

- Động cơ thủy lực có các đặc tính tương đương với động cơ điện, có thể trực tiếp sinh ra chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay. Mặc dù về căn bản động cơ điện và động cơ thủy lực tương đương nhau song chúng khác nhau về đặc điểm sử dụng:
- Động cơ điện có các ưu điểm sau:
 - Dễ cung cấp năng lượng vì hệ thống điện có ở khắp nơi;
 - Giá rẻ, chủng loại phong phú và dải công suất rộng;
 - Hiệu suất biến đổi năng lượng cao;
 - Dễ sử dụng và chăm sóc;
 - Không gây ô nhiễm môi trường;
- Bên cạnh đó chúng có các nhược điểm sau:
 - Phát nhiệt ở trạng thái tĩnh hoặc khi tốc độ thấp do đó phải dùng phanh.
 - Cần bảo vệ đặc biệt nếu làm việc trong môi trường dễ cháy.

- Ngược lại động cơ thủy lực có ưu điểm:
 - Làm việc tốt ở trạng thái tĩnh và tốc độ thấp mà không phát nhiệt.
 - Tự bôi trơn và làm mát tốt nhờ sự lưu thông của chất lỏng khi làm việc.
 - An toàn trong mọi môi trường.
 - Có công suất riêng theo trọng lượng cao.
- Bên cạnh đó chúng có các nhược điểm sau:
 - Cần trạm cung cấp thủy lực riêng.
 - Đắt tiền, ít chủng loại, khó lắp đặt chăm sóc và bảo trì.
 - Hiệu suất biến đổi năng lượng thấp.
 - Dễ gây ô nhiễm môi trường do dầu trong hệ thống dò rỉ khi vận hành, hoặc có dầu thải khi sửa chữa bảo dưỡng.
- Xét về khía cạnh điều khiển và vận hành động cơ điện dễ điều khiển và có thể thay đổi chế độ làm việc một cách linh hoạt. Đặc tính động lực của động cơ thủy lực còn phụ thuộc vào nhiệt độ dầu. Động cơ điện làm việc tốt ở tốc độ cao và tải trọng nhỏ nên thường phải dùng truyền động cơ khí trung gian. Ngược lại động cơ thủy lực làm việc tốt khi tốc độ thấp và tải trọng lớn nên thường truyền động trực tiếp.

- **Khuyếch đại công suất:**

- Khuyếch đại công suất có chức năng biến đổi trạng thái năng lượng của nguồn cung cấp sao cho phù hợp với yêu cầu của động cơ. Công suất cung cấp tỉ lệ với tín hiệu điều khiển pc và thường lớn hơn công suất điều khiển nên bộ biến đổi này có tên là bộ khuếch đại công suất. Một bộ phận công suất vào, gồm p_c và p_p , sau khi biến đổi được cung cấp cho động cơ (p_a). Phần khác (p_{da}) bị tổn thất trên bản thân bộ biến đổi.

- Đối với động cơ điện, bộ biến đổi thường phải biến đổi điện năng dưới dạng xoay chiều thông dụng, thí dụ 230/380 V – 50 Hz thành điện một chiều (cho động cơ điện một chiều) hoặc thành điện xoay chiều với điện áp và tần số thích hợp (cho động cơ xoay chiều). Các bộ biến đổi dùng cho động cơ điện một chiều được gọi là AC to DC converter hay là chopper.

- Động cơ thủy lực thường được điều khiển bằng cách thay đổi lưu lượng chất lỏng cung cấp cho nó. Cơ cấu điều khiển thường là các van tiết lưu, cho phép thay đổi lưu lượng theo tín hiệu điện.



- **Nguồn cung cấp chính:**

- Nhiệm vụ của nguồn cung cấp chính là cung cấp năng lượng tới đầu vào của bộ biến đổi. Nếu là điện năng thì nguồn cung cấp thường là biến áp. Nếu dùng dòng điện một chiều thì phải có chỉnh lưu.

- Nguồn cung cấp cho động cơ thủy lực là trạm bơm các loại, như bơm bánh răng, bơm cánh gạt, bơm piston... Truyền động cho chúng là các động cơ sơ cấp, thường là các động cơ điện xoay chiều không đồng bộ. Ngoài ra trong hệ thống cung cấp còn có bể chứa, bộ lọc, van an toàn, van tràn... giúp cho hệ thống làm việc được ổn định, an toàn. Vai trò của chúng giống như tụ điện là phẳng và các kiểu bộ lọc khác trong hệ thống.

– 6.2. Điều khiển động cơ servo:

- Vì động cơ điện và động cơ thủy lực được dùng nhiều nhất trong kỹ thuật robot, trong phần này giới thiệu sâu hơn về mô hình toán học và sơ đồ điều khiển của chúng.

• 6.2.1. Điều khiển động cơ điện:

- Các loại động cơ điện phổ biến bao gồm động cơ điện xoay chiều có cổ góp, động cơ điện xoay chiều đồng bộ và không đồng bộ. Các động cơ điện dùng trong điều khiển tự động cần có những tính chất đặc biệt, như dễ điều khiển, quán tính nhỏ, có thể làm việc ổn định ở tốc độ thấp hoặc trong trạng thái tĩnh.

- Tuy có sự khác nhau về kết cấu và nguyên lý làm việc, động cơ điện một chiều và động cơ servo có thể được mô hình hóa giống nhau. Thông qua biến phức s , sự cân bằng điện của phần ứng được mô tả bởi phương trình:

$$V_a = (R_a + sL_a)I_a + V_g$$

- Trong đó:
- V_a, R_a, L_a, I_a lần lượt là điện áp, điện trở, điện kháng và dòng điện phần ứng.
- V_g là sức điện động phần ứng, tỷ lệ với vận tốc góc của rotor:

$$V_g = k_v \omega$$

- Hệ số kv thể hiện quan hệ giữa vận tốc góc của rotor với sức điện động. Nó phụ thuộc kết cấu của động cơ và tính chất điện từ của phần cảm.
- Tương tự phương trình cân bằng cơ học của động cơ có dạng:

$$C_m = (sI_m + F_m)\omega + C$$

$$C_m = k_1 I_a$$

- Trong đó: C_m và C_r là momen chủ động và momen phản lực, I_m và F_m là momen quán tính và hệ số cản nhớt trên trục động cơ. Hệ số tỷ lệ k_1 biểu diễn quan hệ giữa momen của động cơ và dòng điện phần ứng. Trong hệ đơn vị SI, giá trị của nó bằng kv.

- Đối với bộ phận khuếch đại công suất, quan hệ giữa điện áp vào V_c và điện áp phần ứng V_a chính là hàm truyền

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{G_v}{1 + sT_v}$$

- Trong đó: G_v là hệ số điện áp

- T_v là hằng số thời gian. Giá trị của T_v nhỏ so với hằng số thời gian khác của hệ thống nên có thể bỏ qua. Ví dụ nếu dùng bộ biến tần trong khoảng () kHz thì giá trị của T_v nằm trong khoảng () giây.

- Bên cạnh các khối thể hiện các quan hệ nói trên, còn có các yếu tố sau:

- Vòng phản hồi dòng điện phần ứng thông qua bộ biến đổi ki giữa cuộn dây phần ứng và khuếch đại công suất.

- Khối hiệu chỉnh dòng điện $C_i(s)$ có đặc tính phi tuyến ở trạng thái bão hòa.

- Vòng phản hồi được dùng với 2 mục đích. Một mặt, điện áp V'_c đóng vai trò điện áp chuẩn. Nếu chọn $C_i(s)$ thích hợp thì độ trễ của I_a so với V'_c sẽ nhỏ hơn độ trễ giữa I_a và V_c . Mặt khác, tính phi tuyến ở trạng thái bão hòa cho phép hạn chế sự tăng của V'_c . Nó có tác dụng như bộ hạn chế dòng điện, bảo vệ khỏi khuếch đại công suất.
- Từ sơ đồ trên, bằng cách chọn $C_i(s)$, có thể nhận được hệ điều khiển vận tốc hoặc hệ điều khiển momen.
- Nếu $k_i = 0$, và nếu hệ số cản nhớt rất nhỏ so với hệ số hãm điện năng, nghĩa là ($F_m \ll kvkl/Ra$), đồng thời đặt $K = C_i(0)Gv$ và giả thiết $C_r = 0$ thì dẫn tới trạng thái *điều khiển vận tốc*:

$$\omega \approx \frac{K}{k_v} v'_c$$
- nếu $k_i \neq 0$ và chọn hàm truyền dòng điện rất lớn ($Kk_i \gg Ra$) sẽ dẫn tới trạng thái *điều khiển momen*:

$$C_m \approx \frac{k_l}{k_i} \left(v'_c - \frac{k_v}{K} \omega \right)$$

- Mỗi quan hệ giữa các đại lượng vào (điện áp điều khiển V_c , momen phản ứng C_r) với các đại lượng ra, là vận tốc góc. Đối với điều khiển vận tốc:

$$\omega = \frac{\frac{K}{k_v}}{1 + s \frac{R_a I_m}{k_v k_1}} V_c' - \frac{\frac{R_a}{k_v k_1}}{1 + s \frac{R_a I_m}{k_v k_1}} C_r$$

- Đối với điều khiển momen:

$$\omega = \frac{\frac{k_1}{k_i F_m}}{1 + s \frac{I_m}{F_m}} V_c' - \frac{\frac{1}{F_m}}{1 + s \frac{I_m}{F_m}} C_r$$

• 6.2.2. Điều khiển động cơ thủy lực:

- Các động cơ thủy lực đều được điều khiển bằng cách thay đổi lưu lượng dầu qua bơm. Bất kể sự khác nhau về cấu trúc vật lý, các mối quan hệ cơ bản giữa lưu lượng và áp suất, chuyển động của chất lỏng và chuyển động của các chi tiết, sự cân bằng cơ học của các chi tiết đều xuất phát từ đạo hàm quan hệ vào/ra.
- Giả sử Q là lưu lượng cung cấp, Q_m là lưu lượng vào động cơ, Q_l là lưu lượng tổn hao do lọt dầu trên bơm, Q_c là lưu lượng tổn hao do tính nén được của dầu, ta nhận được phương trình cân bằng lưu lượng như sau

$$Q = Q_m + Q_l + Q_c$$

- Các đại lượng tổn hao Q_l và Q_c được tính đến khi hệ thống làm việc dưới áp suất cao, cỡ hàng trăm atmosphe.
- Gọi P là chênh lệch áp suất giữa đầu ra và đầu vào của bơm do tải, ta có quan hệ

$$Q_l = k_1 P$$

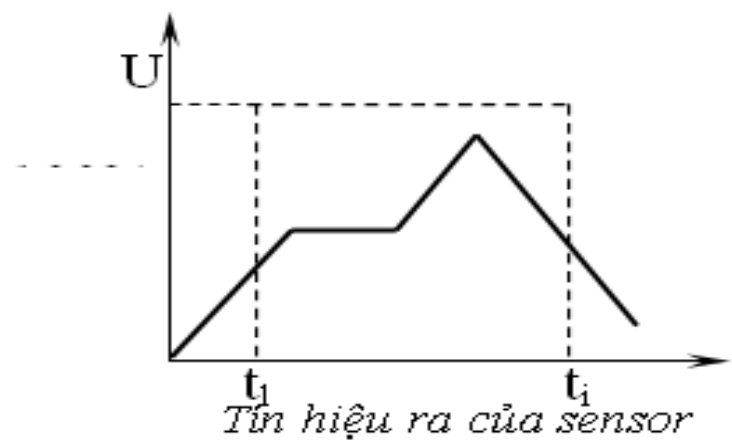
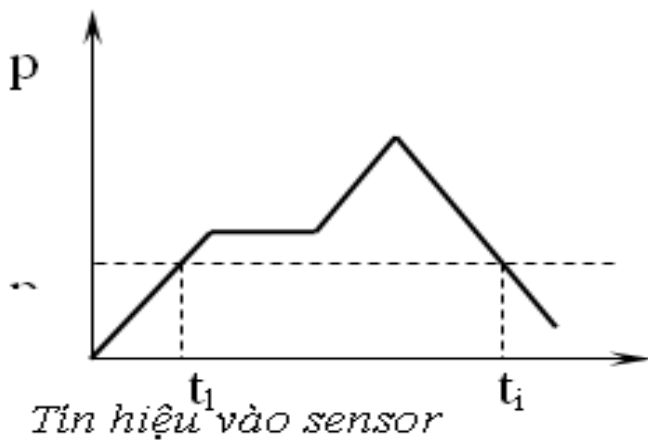
- Tổng hao lưu lượng do tính nén được của chất lỏng tỷ lệ với thể tích tức thời của chất lỏng V và áp suất P thông qua hệ số nén γ và biến phức s :
$$Q_c = \gamma V s P$$
- Từ đó ta thấy rằng hệ số tỷ lệ $k_c = \gamma V$ giữa đạo hàm theo thời gian của áp suất P và lưu lượng Q_c phụ thuộc vào thể tích V của chất lỏng. Vì vậy, đối với động cơ quay thì k_c là hằng số, còn đối với động cơ tịnh tiến thì V thay đổi nên phản ứng của hệ thống tùy thuộc điểm công tác.
- Lưu lượng chất lỏng vào động cơ tỷ lệ với lượng biến thiên trong một đơn vị thời gian của thể tích chất lỏng trong bể chứa. Mặt khác lượng biến thiên này lại tỷ lệ với vận tốc góc của động cơ. Cuối cùng nhận được:
$$Q_m = k_q \omega$$
- Cuối cùng thì momen của động cơ tỷ lệ với độ chênh lệch áp suất của bơm:
$$C_m = (sI_m + F_m)\omega + C_r$$
- Điều kiện cân bằng cơ học của các chi tiết chuyển động được mô tả bằng phương trình:
$$C_m = k_l P$$
- Đối với van điều khiển, hàm truyền giữa vị trí X của van và điện áp điều khiển V_c được xác định như sau:
$$\frac{X}{V_c} = \frac{G_s}{1 + sT_s}$$

6.3. Hệ thống cảm biến

6.3.1. Khái niệm và phân loại cảm biến

- * Các khái niệm:
- Cảm biến là thiết bị dùng để nhận giá trị của đại lượng vật lý cần đo và biến đổi nó thành tín hiệu mà thiết bị đo hay điều khiển có thể xử lý được.
- Như vậy, cảm biến có hai chức năng: “*cảm*”, nghĩa là nhận tín hiệu cần đo và “*biến*”, nghĩa là chuyển đổi dạng và giá trị của tín hiệu để sẵn sàng cung cấp cho thiết bị hiển thị hay xử lý tiếp theo. Có nhiều đại lượng vật lý, như lực, rung động, thành phần hóa học,... rất khó đo trực tiếp một môi cách chính xác và rẻ tiền. Người ta phải chuyển chúng sang đại lượng tương đương khác, thường là đại lượng điện như điện áp, dòng điện, điện trở để dễ sử dụng các thiết bị hiển thị và xử lý chuẩn, thông dụng và rẻ tiền. Dạng và giá trị tín hiệu xuất ra của các cảm biến thường được chuẩn hóa để dễ ghép nối vào các mạch xử lý tiếp theo.

- Cảm biến còn có tên khác, như *đầu đo*, *sensor*,... Từ có gốc Anh *sensor* đã được phổ cập rộng rãi trên thế giới, kể cả trong các tài liệu xuất bản ở Việt Nam.
- **Sensor** là tên gọi chung của **Switch** và **Transducer**. Switch là thiết bị đóng mở, thường gọi là công tắc, chỉ có hai trạng thái tín hiệu ra là đóng và mở. Transducer là thiết bị biến đổi. Tín hiệu ra và tín hiệu vào của nó có thể khác nhau về giá trị bản chất vật lý và giá trị, nhưng không khác nhau về quy luật biến thiên theo thời gian. Ví dụ với cùng tín hiệu vào là áp suất không khí, Switch có trạng thái đóng nếu áp suất ppo, có trạng thái mở nếu ppo còn Transducer thì cho tín hiệu ra là điện áp nhưng không thay đổi quy luật biến thiên theo thời gian vốn có của tín hiệu vào.



Hình 6.6: Sự khác nhau giữa switch và transducer

* Phân loại sensor:

- Theo chức năng người ta phân biệt 2 nhóm sensor. Một nhóm dùng để giám sát trạng thái công tác của bản thân robot, được gọi là sensor trong (proprioceptive sensor). Nhóm thứ hai, được gọi là sensor ngoài (heteroceptive sensor), dùng để đo các thông số của môi trường và sự tương tác của robot với môi trường.
- Các loại sensor trong chủ yếu là: sensor vị trí, sensor vận tốc và sensor gia tốc hay sensor lực.
- Sensor ngoài có rất nhiều loại tùy thuộc thông số môi trường cần đo, ví dụ sensor nhiệt độ để đo nhiệt độ của môi trường mà robot hoạt động, sensor lực để đo lực nắm (kẹp) của tay hoặc để định vị đối tượng (ví dụ để lồng trục vào bạc khi lắp ráp), thiết bị quan sát (vision system) để nhận dạng đối tượng...
- Ngoài cách phân loại sensor theo chức năng còn có nhiều cách phân loại khác như:
- Theo đại lượng cần đo, có sensor nhiệt độ, áp suất, vận tốc, gia tốc, lưu lượng...
- Theo kết cấu và nguyên lý làm việc, có sensor điện trở, điện dung, điện cảm, áp điện, quang điện, điện động...
- Theo phương thức cảm nhận, có sensor tiếp xúc (tactile sensor), không tiếp xúc (proximity sensor).

• 6.3.2. Nguyên lý làm việc của một số loại sensor

• * Cảm biến vị trí

• Các cảm biến vị trí được dùng để giám sát vị trí tức thời của các cơ cấu. Tùy theo dạng chuyển động cần quan tâm mà vị trí có thể được tính bằng đơn vị dài hay đơn vị góc. Nhờ các chuyển đổi cơ khí cần thiết mà có thể dùng sensor đo góc để đo chiều dài và ngược lại. Các sensor đo chiều dài có thể là biến trở, biến thế vi sai, encoder thẳng. Để đo góc quay có các loại sensor đo góc, như biến trở quay, encoder góc, resolver,... Sau đây nói về hai loại sensor thường gặp nhất là encoder và resolver.

• Encoder là thước đo vị trí theo nguyên tắc số, trong đó tọa độ được mã hoá theo hệ nhị phân. Tùy theo đơn vị đo, chúng ta dùng encoder thẳng (linear encoder) hay encoder góc (rotary encoder). Hai loại này giống nhau về nguyên lý làm việc, chỉ khác nhau ở chỗ các vạch được khắc theo đường thẳng hay theo vòng tròn. Theo phương pháp mã hóa, có hai loại encoder là tuyệt đối (absolute) và gia số (incremental).

• 6.3.2. Nguyên lý làm việc của một số loại sensor

• * Cảm biến vị trí

• Các cảm biến vị trí được dùng để giám sát vị trí tức thời của các cơ cấu. Tùy theo dạng chuyển động cần quan tâm mà vị trí có thể được tính bằng đơn vị dài hay đơn vị góc. Nhờ các chuyển đổi cơ khí cần thiết mà có thể dùng sensor đo góc để đo chiều dài và ngược lại. Các sensor đo chiều dài có thể là biến trở, biến thế vi sai, encoder thẳng. Để đo góc quay có các loại sensor đo góc, như biến trở quay, encoder góc, resolver, ... Sau đây nói về hai loại sensor thường gặp nhất là encoder và resolver.

• Encoder là thước đo vị trí theo nguyên tắc số, trong đó tọa độ được mã hoá theo hệ nhị phân. Tùy theo đơn vị đo, chúng ta dùng encoder thẳng (linear encoder) hay encoder góc (rotary encoder). Hai loại này giống nhau về nguyên lý làm việc, chỉ khác nhau ở chỗ các vạch được khắc theo đường thẳng hay theo vòng tròn. Theo phương pháp mã hóa, có hai loại encoder là tuyệt đối (absolute) và gia số (incremental).

- Thước đo vị trí theo gia số có 1 hoặc 2 đĩa quang, được khắc các vùng trong và đục xen kẽ nhau. Nếu dùng một đĩa thì nó được gắn với trục quay. Nếu dùng 2 đĩa thì một đĩa gắn với trục quay, còn đĩa kia cố định. Một phía của đĩa đặt nguồn sáng, phía đối diện đặt “3 con mắt điện” để thu tín hiệu của từng vòng tròn. Tại một vị trí nhất định của đĩa, vùng nào cho tia sáng đi qua sẽ được mã hóa là 1, vùng nào ngăn tia sáng sẽ được mã hóa là 0. Số vùng sáng, tối trên đĩa quyết định độ phân giải của encoder.
- Tại thời điểm bắt đầu làm việc, hệ thống phải được quy không bằng cách quay lỗ sạt vòng tròn thứ hai tới vị trí đối diện nguồn sáng để con mắt thứ ba nhìn thấy tia sáng. Khi hệ thống bắt đầu làm việc, một bộ xử lý sẽ đếm số lần con mắt ngoài cùng nhìn thấy tia sáng, từ đó tính ra góc mà đĩa đã quay. Chiều quay của đĩa được nhận biết nhờ sự phối hợp tín hiệu của hai vòng: nếu đĩa quay theo chiều kim đồng hồ thì mắt ngoài cùng nhìn thấy tia sáng trước mắt thứ hai và ngược lại. Căn cứ vào chiều quay mà gia số sẽ được cộng hoặc trừ vào tổng số.

- Thước đo vị trí tuyệt đối (Absolute Encoder) có một đĩa quang, trên đó có nhiều vòng tròn đồng tâm. Mỗi vòng chứa các vùng trong và đục xen kẽ nhau. Số vòng tròn quyết định độ phân giải của encoder. Nếu số vòng tròn là n thì số phần mà một vòng tròn có thể được chia ra bằng $2n$, góc nhỏ nhất mà encoder phân biệt được là $360^\circ/2n$. Ví dụ nếu số vòng là $n = 4$ thì số phần chia của vòng tròn là $2 \times 4 = 8$, encoder sẽ phân biệt được góc quay $360^\circ/8 = 45^\circ$. Nếu $n = 8$ thì góc đó là $360^\circ/16 = 22,5^\circ$. Nếu $n = 16$ thì góc đó là $360^\circ/32 = 11,25^\circ$. Nếu $n = 32$ thì góc đó là $360^\circ/64 = 5,625^\circ$. Nếu $n = 64$ thì góc đó là $360^\circ/128 = 2,8125^\circ$. Nếu $n = 128$ thì góc đó là $360^\circ/256 = 1,40625^\circ$. Nếu $n = 256$ thì góc đó là $360^\circ/512 = 0,703125^\circ$. Nếu $n = 512$ thì góc đó là $360^\circ/1024 = 0,3515625^\circ$. Nếu $n = 1024$ thì góc đó là $360^\circ/2048 = 0,17578125^\circ$. Nếu $n = 2048$ thì góc đó là $360^\circ/4096 = 0,087890625^\circ$.
- Resolver không phát ra tín hiệu số như encoder mà phát ra tín hiệu tương tự đại diện cho vị trí của đối tượng đo. Nhìn về bề ngoài nó giống động cơ điện nhưng nguyên lý làm việc của nó giống biến thế nhiều hơn. Cuộn dây rotor được cấp điện áp xoay chiều thông qua các vành dẫn điện.

Điện áp cung cấp cho rotor có dạng hình sin, dạng $V \sin \omega t \cdot \cos \vartheta$, còn trên cuộn kia có điện áp. Rõ ràng giá trị điện áp ra phụ thuộc góc ϑ giữa rotor và stator. Tín hiệu phản hồi của góc quay được cung cấp cho 2 cuộn dây qua hàm $\sin \alpha$ và $\cos \alpha$, sau khi nhân với tín hiệu đầu vào và cộng đại số được tín hiệu ra là $V \sin \omega t \cdot \sin(\vartheta - \alpha)$. Tín hiệu này được khuếch đại và gửi tới khối đồng bộ, đảm bảo giá trị của nó phải tỷ lệ với $\sin(\vartheta - \alpha)$ nếu có sai lệch, tín hiệu được bù bởi thiết bị bù. Sau đó, tín hiệu được tích phân. Mạch phản hồi có bộ tạo dao động, chuyển đổi điện áp thành tần số (*voltage-to-frequency converter - VCO*), và khối đếm xung. Giá trị số α đại diện cho góc quay ϑ .

* Cảm biến vận tốc

- Mặc dù có thể xác định vận tốc từ kết quả đo vị trí, người ta vẫn thường đo trực tiếp nó bằng cảm biến độc lập. Các cảm biến vận tốc thường dùng có tên là *tachometer*. Có 2 loại *tachometer* là *DC tachometer* và *AC tachometer*.
- *DC tachometer* là một máy phát điện một chiều, dùng nam châm vĩnh cửu. Yêu cầu đặc biệt đối với chúng là quan hệ tuyến tính giữa tín hiệu vào (tốc độ quay) và tín hiệu ra (điện áp); giảm hiệu ứng từ trễ và ảnh hưởng của nhiệt độ. Nhược điểm của *DC tachometer* là dùng cổ góp điện và không thể loại trừ được hiện tượng mạch đập bằng phương pháp lọc, vì tần số tín hiệu ra thay đổi thường xuyên. Độ tuyến tính của *DC tachometer* có thể đạt trong khoảng 0,1 - 1%, hệ số mạch đập bằng khoảng 2 - 5% giá trị danh định của tín hiệu ra.

- *AC tachometer* khắc phục được hiện tượng mạch đập. Nó gồm stator, có 2 cuộn dây và rotor kiểu cóc. Cuộn dây thứ nhất (cuộn kích từ) được cấp điện áp xoay chiều hình sin với tần số khoảng 400 Hz. Khi rotor quay, trên cuộn dây thứ hai sẽ xuất hiện điện áp xoay chiều tỷ lệ thuận với tốc độ quay của rotor. Hiện tượng mạch đập vẫn có nhưng có thể loại trừ bằng bộ lọc thích hợp, vì tần số tín hiệu ra không đổi. Ngoài ra, *AC tachometer* còn có các ưu điểm khác, như không gặp các phiền phức do cổ góp, rotor không có cuộn dây nên nhẹ, momen quán tính nhỏ, dễ cân bằng và chắc chắn. Nhược điểm của nó là có điện áp dư ở đầu ra ngay cả khi rotor không quay do hồ cảm ký sinh giữa các cuộn dây.

* Cảm biến đo lực

- Một vật chịu tác dụng của lực và momen bao giờ cũng bị biến dạng, nghĩa là có sự chuyển vị tương đối giữa các phần của nó. Vì vậy các phép đo lực và momen thường được quy về đo chuyển vị. Thông số của các linh kiện điện, như điện trở, điện dung, điện cảm, thường thay đổi khi bị biến dạng. Dựa vào đó người ta chế tạo các đầu đo kiểu điện trở, điện dung, điện cảm để đo lực. Trong một số tinh thể vật chất, như thạch anh, khi bị biến dạng sẽ có chênh lệch điện áp giữa các vùng. Dựa vào đó, người ta chế tạo ra các đầu đo lực kiểu áp điện (piezoelectric).

- Trong số các loại sensor lực kể trên, người ta hay dùng kiểu điện trở, gọi là tensiometer. Đó là điện trở làm bằng dây dẫn mảnh, được dán nên phần tử biến dạng. Nếu phần tử bị kéo thì tiết diện dây bị giảm, do đó điện trở của nó tăng. Ngoài yêu cầu về độ tuyến tính, điện trở suất của vật liệu làm tensiometer phải ít thay đổi theo nhiệt độ. Để tăng vùng làm việc tuyến tính, người ta dùng cầu cân bằng, trong đó tensiometer là một nhánh (R_s). Khi chưa tác dụng lực, cầu cân bằng, nghĩa là $V_o = 0$. Khi có lực R_s thay đổi, làm cầu mất cân bằng. Tín hiệu ra được tính theo công thức:

$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_s}{R_3 + R_s} \right) V_i$$

- Để bù sự ảnh hưởng của nhiệt độ, người ta dùng R_3 như điện trở bù, gắn lên vùng không chịu lực. Nếu gắn R_3 lên phía đối diện của phần tử biến dạng, sao cho R_s chịu kéo còn R_3 chịu nén thì sẽ tăng được độ nhạy của sensor.

Quan hệ giữa lực tác dụng và tín hiệu ra phụ thuộc rất nhiều vào cách gắn sensor lên phần tử biến dạng. Sau đây là ví dụ minh họa về ứng dụng tensiometer vào đo lực tác dụng lên cổ tay khi nâng vật. Trong trường hợp này phần tử biến dạng có dạng chữ thập (kiểu Maltese), đóng vai trò truyền lực giữa kẹp và cổ tay. Các tensiometer được dán lên các nhánh chữ thập, sao cho sensor nhận được tín hiệu lực tác dụng theo bất cứ phương nào. Mỗi nhánh chữ thập được dán 2 tensiometer, nên tổng số giá trị đo được là 8, từ ω_1 đến ω_8 . Lực tổng quát tác dụng lên cổ tay có 6 thành phần: 3 thành phần lực hướng theo 3 trục tọa độ (f_x, f_y, f_z) và 3 thành phần momen quanh 3 trục đó (μ_x, μ_y, μ_z). Quan hệ giữa các thành phần lực và momen với các giá trị đo được biểu diễn qua một ma trận, gọi là ma trận chuẩn định (calibration matrix):

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \\ \mu_x \\ \mu_y \\ \mu_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & c_{13} & 0 & 0 & 0 & c_{17} & 0 \\ c_{21} & 0 & 0 & 0 & c_{25} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{32} & 0 & c_{34} & 0 & c_{36} & 0 & c_{38} \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 & 0 & c_{48} \\ 0 & c_{52} & 0 & 0 & 0 & c_{56} & 0 & 0 \\ c_{61} & 0 & c_{63} & 0 & c_{65} & 0 & c_{67} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \\ \omega_7 \\ \omega_8 \end{bmatrix}$$

Các sensor thông dụng kiểu này có đường kính khoảng 10 cm, cao khoảng 5 cm; có giới hạn đo lực (50 – 500) N và momen (5 - 70) Nm; độ phân giải đo lực khoảng 0,1% và momen 0,05% giá trị cực đại; tốc độ lấy mẫu của mạch xử lý khoảng 1 Hz.

* Thiết bị quan sát (Visual System)

- Thiết bị quan sát là một sensor đặc biệt, có khả năng nhận biết và xử lý hình ảnh của đối tượng. Thiết bị quan sát được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp nói chung, song ứng dụng trong robot là ứng dụng đặc trưng nhất. Mặt khác xử lý ảnh cũng là một trong những lĩnh vực phát triển mạnh nhất của công nghệ thông tin hiện đại, nên thiết bị quan sát trên robot gắn liền với máy tính.
- Trên hình 6.12 là một hệ thống quan sát đơn giản của robot, để nhận biết 2 vật: một vật cao và một vật thấp. Hệ thống có một nguồn sáng và 2 sensor thu ánh sáng. Nếu có vật cao trước nguồn sáng thì cả 2 sensor đều nhận được ánh sáng phản xạ. Nếu chỉ có vật thấp thì chỉ riêng sensor thấp nhận được. Nếu không có vật nào thì không sensor nào nhận được tín hiệu. “Hình ảnh” của đối tượng chỉ gồm có 2 điểm ảnh (trong kỹ thuật xử lý ảnh, điểm ảnh được gọi là pixel).

- Tín hiệu về đối tượng, tuy chỉ có 2 pixel nhưng cũng cần bộ phân tích, ví dụ một PLC. Nó được lập trình để:
- Báo hiệu cho robot nếu có vật cao trước mặt. Vì vậy robot chỉ phải phản ứng khi gặp vật cao.
- Nổi hiệu lệnh cho người nếu chỉ có vật thấp trước mặt. Như vậy người chỉ phải phản ứng nếu gặp vật thấp.
- Gọi hệ thống trên là “thiết bị quan sát” có thể là hơi lạm dụng từ này và hệ thống như vậy có lẽ không tồn tại trên thực tế, nhưng nó cho một hình dung ban đầu về thiết bị quan sát.
- Thiết bị quan sát thật sự cũng có các bộ phận cơ bản như hệ thống ví dụ ở trên. Đó là hệ thống đơn giản để nhận dạng chi tiết. Nó có khả năng phân biệt các chi tiết trong trường quan sát của mình.

Hệ thống nhận dạng nói trên gồm có:

- Nguồn sáng, tia sáng do nó phát ra sẽ bị phản xạ bởi vật và được thu bởi...
- Camera, biến đổi quang năng thành điện năng, cung cấp cho...
- Bộ thu ảnh (Framegrabber), gồm mạch điện tử và phần mềm để phân tích tín hiệu thành các pixel và biểu diễn chúng dưới dạng mã nhị phân. Sơ đồ phân bố các điểm ảnh gọi là bitmap. Sơ đồ này sẽ được chuyển tới...
- Máy tính để lưu trữ và xử lý tiếp. máy tính sẽ so sánh sơ đồ điểm ảnh của vật với sơ đồ điểm ảnh chuẩn (gọi là template) trong thư viện để xem vật thuộc loại nào. Máy tính sẽ chỉ cho robot biết chi tiết nó đang nhìn thấy là chi tiết nào, thông qua...
- Giao diện đầu ra. Nó chuyển tín hiệu từ hệ thống nhận dạng cho bộ điều khiển robot. Ví dụ, một mã "H" (nếu chi tiết là hộp), mã "C" (nếu chi tiết là cờ lê) sẽ được truyền theo giao diện chuẩn RS 232.

Thiết bị nhận dạng càng chính xác nếu có số điểm ảnh trên một đơn vị diện tích ảnh (nghĩa là phân giải) càng lớn. Đơn vị chuẩn của độ phân giải là *dpi (dots per inch)*. Màn hình máy tính có độ phân giải cỡ 100 dpi, còn máy in laser thường có độ phân giải cao hơn (cỡ 300 dpi trở lên). Độ phân giải của ảnh càng lớn thì tốc độ xử lý và dung lượng bộ nhớ của máy tính càng phải cao. Khả năng nhận dạng chính xác của thiết bị quan sát cần cho những trường hợp sau:

- Phân biệt các chi tiết khá giống nhau
- Phân biệt các sản phẩm tốt và phế phẩm
- Sử dụng màu sắc để nhận dạng đối tượng
- Đo kích thước của chi tiết
- Nhận biết vật cản để tránh va chạm
- Nhận biết khoảng cách và hướng của chi tiết
- Nhận biết tốc độ và hướng chuyển động của đối tượng
- Nhận biết đối tượng 3 chiều

Các thiết bị nhận dạng mục tiêu của máy ném bom, nhận dạng đường cho các ô tô tự lái,... là những ví dụ về các thiết bị quan sát hiện đại.

• **6.4. Hệ thống điều khiển**

- Các phần trên đã trình bày về hệ thống cơ khí (xương cốt) và hệ thần kinh ngoại vi. Muốn điều khiển được robot cần một hệ thống thần kinh trung ương, tức là não bộ. Đó là hệ thống điều khiển.

• **6.4.1. Kiến trúc chức năng**

- Hệ thống điều khiển robot cần có các khả năng sau:
 - - Điều khiển chuyển động của các cơ cấu cơ khí (manipulation ability);
 - - Thu nhận thông tin về trạng thái của hệ thống và về môi trường công tác (sensory ability);
 - - Phân tích thông tin và phản ứng trước điều kiện thực tế trong phạm vi xác định (intelligent behavior ability);
 - - Lưu trữ, xử lý và cung cấp thông tin về hệ thống (data processing ability);

- Muốn vậy, bộ điều khiển cần có các khối (modul) cơ bản:
- - Modul cảm biến thu nhận, biến đổi, hiệu chỉnh, tổng hợp thông tin về trạng thái của hệ thống và về môi trường.
- - Modul tổng hợp, thiết lập mô hình tổng hợp về hệ thống và môi trường trên cơ sở thông tin do modul cảm biến cung cấp.
- - Modul ra quyết định, đưa ra phương thức hành động. Từ chiến lược hành động, lập kế hoạch, điều khiển hoạt động của cơ cấu để thực hiện nhiệm vụ theo tình huống cụ thể.
- Các modul trên tự động liên kết với nhau theo nhiệm vụ được quy định trong chương trình, có tính đến khả năng thích ứng của hệ thống trong quá tình huống cụ thể. Tuy vậy, vẫn cần có giao diện với người vận hành khi cần con người có thể kiểm tra, giám sát, can thiệp vào hệ thống.

- Tính đến cường độ trao đổi thông tin giữa các modul với nhau và giữa hệ thống với người vận hành, cần có bộ nhớ chung để lưu trữ các thông tin ban đầu và thông tin cập nhật của hệ thống và môi trường.
- Cấu trúc chức năng trên được phân cấp theo thứ bậc. Cấu trúc bậc thấp liên quan đến các dịch chuyển vật lý. Cấu trúc bậc cao gắn với chức năng phân tích logic. Các bậc liên hệ với nhau thông qua dòng dữ liệu. Sơ đồ trên hình 6.14 cho phép nhìn nhận tổng quan về cấu trúc chức năng và cấu trúc thứ bậc của hệ điều khiển robot.
- Tùy theo yêu cầu đối với hoạt động của robot, các chức năng được phân cấp với mức độ khác nhau. Nói chung có thể phân thành 4 cấp chính:
 - - Cấp nhiệm vụ (task level), giải quyết các vấn đề chung về nhiệm vụ. So sánh yêu cầu đặt ra với khả năng chấp nhận của hệ thống, tình trạng hiện tại của hệ thống với môi trường...
 - - Cấp chiến lược (action level), giải quyết phương thức hành động chung, ví dụ hệ tọa độ, vị trí của phần công tác, các điểm phải đi qua, hàm nội suy sẽ sử dụng...
 - - Cấp kế hoạch (primitive level), thiết lập quỹ đạo, tính toán động học và động học ngược, phân tích tình trạng hệ chấp hành,...
 - - Cấp thừa hành (servo level), liên quan đến các hoạt động cụ thể, như giải mã lệnh, nội suy, xử lý lỗi, giao diện với cơ cấu chấp hành.

6.4.2. Môi trường lập trình

- Đặc điểm quan trọng của robot là làm việc theo chương trình và tái lập trình được. Chương trình là phương tiện để người sử dụng truyền đạt cho robot các nhiệm vụ mà nó phải thực hiện và hướng dẫn cho robot làm việc đó thế nào. Vì vậy robot cần có một môi trường lập trình với ngôn ngữ lập trình nhất định. Môi trường lập trình, ngoài hệ thống lệnh và hàm như các ngôn ngữ lập trình khác, còn phải có khả năng giám sát quá trình làm việc của robot và có phản ứng thích hợp. Nói cách khác, dù hệ thống được thiết kế chính xác và tỷ mỉ đến đâu thì cũng không lường hết được mọi yếu tố bất trắc. Chương trình phải cho phép robot phản ứng hợp lý trong mỗi tình huống. Nói tóm lại, môi trường lập trình robot cần có các yếu tố sau:

- - Hệ thống điều hành trong thời gian thực.
- - Mô hình hóa không gian công tác
- - Điều khiển chuyển động
- - Đọc và xử lý thông tin từ hệ thống sensor
- - Giao diện với hệ thống vật lý
- - Phát hiện và xử lý lỗi
- - Phục hồi các chức năng làm việc đúng
- - Cấu trúc ngôn ngữ xác định

Như vậy, môi trường lập trình bắt nguồn từ cấu trúc hệ điều khiển, nghĩa là có kết cấu chức năng và thứ bậc.

Sự phát triển của môi trường lập trình phụ thuộc vào khoa học máy tính. Theo định hướng chức năng có thể nhận thấy 3 thể hệ của môi trường lập trình: lập trình kiểu làm mẫu (teach-in programming), lập trình định hướng robot (robot oriented programming), lập trình định hướng đối tượng (object oriented programming). Thế hệ sau thường bao cả chức năng của thế hệ trước.

* Lập trình làm kiểu mẫu

- Đây là phương pháp lập trình đơn giản nhất. Người vận hành dùng một thiết bị đặc biệt, gọi là teach pendant hay trực tiếp dẫn dắt tay máy thực hiện các thao tác. Mọi thao tác sẽ được ghi nhớ để sau đó tay máy có thể lặp lại. Dù ngày nay ngôn ngữ lập trình đã phát triển, phương pháp lập trình hiện nay vẫn còn được sử dụng, ví dụ người ta mới học lập trình hoặc để lập trình các thao tác phức tạp, khó diễn đạt trực tiếp bằng ngôn ngữ lập trình bậc cao.

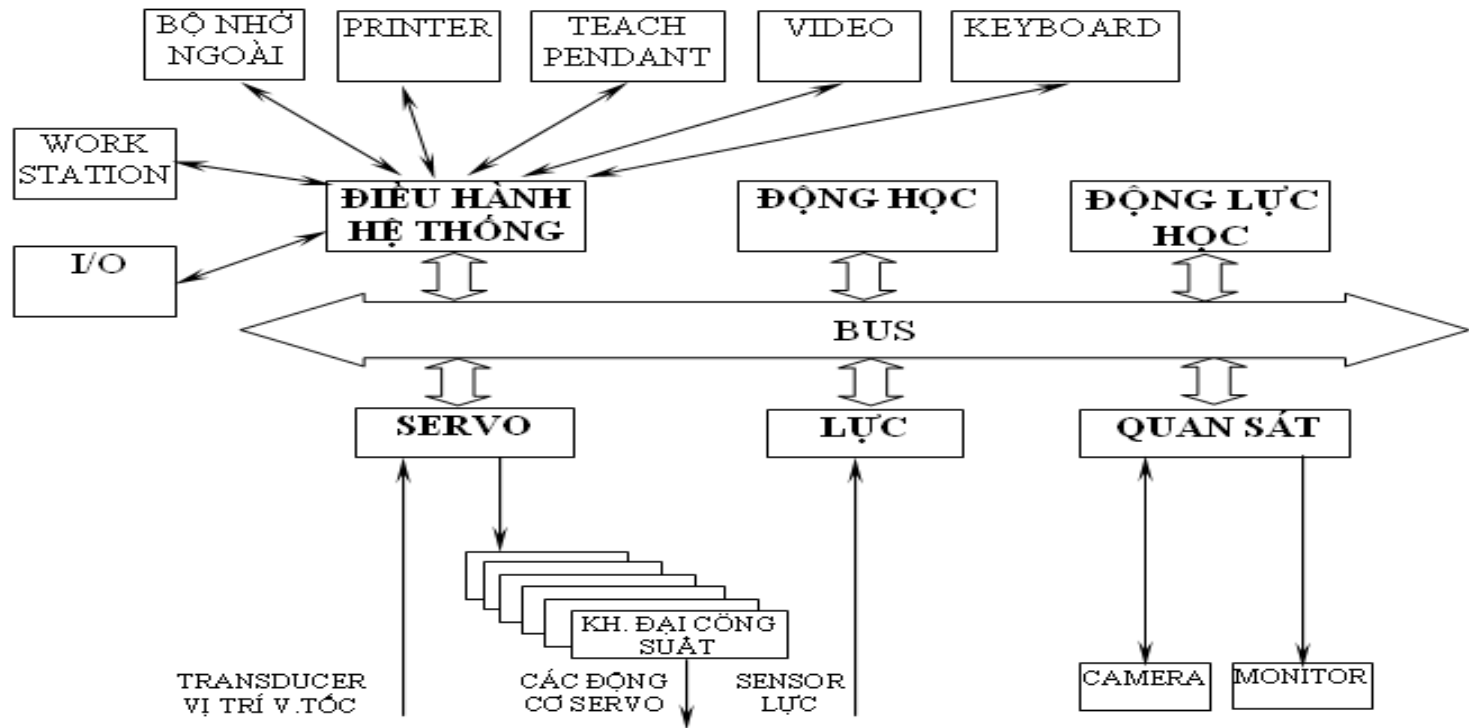
* Lập trình định hướng robot

- Phương pháp này phát triển trên cơ sở kỹ thuật máy tính hiện đại. Đặc điểm cơ bản của nó là dùng ngôn ngữ lập trình bậc cao, có cấu trúc để mô tả các thao tác. Các yếu tố chính của môi trường gồm:
 - - Bộ soạn thảo chương trình dưới dạng text editor
 - - Cấu trúc biểu thị dữ liệu phức tạp
 - - Sử dụng các biến trạng thái
 - - Thực hiện các phép toán ma trận
 - - Sử dụng ký hiệu để biểu diễn hệ tọa độ.
 - - Có khả năng chuyển đổi tọa độ vật trên các khâu, khớp của tay máy
 - - Dùng kỹ thuật chương trình con, thủ tục, vòng lặp
 - - Có khả năng tính toán song song
 - - Các chức năng điều khiển logic khả trình (PLC).

- Sử dụng môi trường lập trình định hướng robot có thể tạo ra các giao diện với các thiết bị khác trong hệ thống sản xuất. Mặt khác, không nhất thiết phải lập trình trực tiếp trên thiết bị mà trên một lập trình độc lập (offline programming). Một công cụ lập trình rất có hiệu quả là CAD/CAM, cho phép mô tả hệ thống và môi trường làm việc dưới dạng đồ họa.
- * Lập trình định hướng đối tượng:
- Lập trình hướng đối tượng cho phép thâm nhập vào cấp điều khiển cao nhất: mô hình hóa môi trường làm việc của robot như trong hệ thống sản xuất thực. Trong hệ thống đó robot chỉ là một trong những thiết bị, làm việc đồng bộ với các thiết bị khác. Đối tượng lập trình và mô tả là nhiệm vụ sản xuất của cả hệ thống chứ không phải chỉ riêng robot. Môi trường lập trình này dần dần mang các đặc tính của hệ chuyên gia và trí tuệ nhân tạo.

– 6.4.3. Cấu trúc phần cứng

• Thống nhất với cấu trúc chung của hệ thống điều khiển, phần cứng cũng có cấu trúc chức năng theo thứ bậc. Sơ đồ cấu trúc phần cứng như trong hình 6.16.



Hình 6.16: Sơ đồ cấu trúc phần cứng của hệ điều khiển RBCN

• Trong hệ thống này, tùy chức năng được hình thành nhờ bảng mạch riêng. Các bảng mạch được liên kết với nhau qua đường truyền (BUS) dữ liệu. Độ rộng của BUS phải đủ cho phép xử lý thời gian thực.

- Bản mạch (Board) hệ thống, thực chất là CPU, gồm:
- Một bộ vi xử lý với đồng xử lý toán học,
- Một EPROM cho cấu hình hệ thống,
- Một RAM riêng (local),
- Một RAM chia sẻ với các bảng mạch khác thông qua BUS
- Một số cổng nối tiếp và song song để ghép với BUS hoặc các thiết bị bên ngoài.
- Các bộ đếm, thanh ghi và đồng hồ
- Hệ thống ngắt
- Board hệ thống thực hiện các chức năng sau:
- Giao diện với các teach pendant, bàn phím, video, máy in,
- Giao diện với bộ nhớ ngoài (ổ cứng) để lưu dữ liệu và chương trình
- Giao diện với các trạm hoặc hệ điều khiển khác trong mạng cục bộ (LAN),
- Giao diện vào ra (I/O) với các thiết bị ngoại vi, như băng tải, nâng hạ, đo lường, ON/OFF sensor,
- Bộ dịch chương trình,
- Bộ điều khiển BUS.

- Board động học thực hiện các chức năng:
 - - Tính toán động học của cấu trúc,
 - - Giải các bài toán thuận, nghịch, Jacobian của động học tay máy,
 - - Test quỹ đạo
 - - Giải quyết vấn đề liên kết động học thừa.
 - - Board động lực học giải quyết bài toán ngược của động lực học tay máy.
 - - Servo board có các chức năng:
 - - Nội suy quỹ đạo,
 - - Thực hiện các thuật toán điều khiển,
 - - Chuyển đổi số - tương tự và giao diện với các bộ khuếch đại công suất
 - - Xử lý các thông tin về vị trí và vận tốc,
 - - Ngắt chuyển động khi có sự cố.

Các board khác có chức năng xử lý thông tin từ các servo tương ứng.

- Mặc dù các board đều truyền dữ liệu qua BUS, tốc độ trao đổi dữ liệu của chúng không cần giống nhau. Các thông tin hệ thống cung cấp cho các servo board cần cập nhật nhanh nhất có thể được, nên tốc độ trao đổi của chúng rất cao (100 – 1000) Hz. Board động học và động lực học chỉ thực hiện các phép tính không trực tiếp tham gia điều khiển hệ thống nên trao đổi thông tin ở tần số thấp hơn (10 - 100) Hz. Vision board còn trao đổi dữ liệu với tần số thấp hơn nữa (1 - 10) Hz. Việc các board trao đổi dữ liệu với tốc độ khác nhau giúp phòng ngừa tình trạng nghẽn kênh dữ liệu.
- Sự phát triển của kỹ thuật điều khiển robot không thể tách rời sự phát triển của công nghệ thông tin. Bản thân bộ điều khiển robot là một máy tính chuyên dùng (hình 6.17), bên cạnh những nguyên tắc chung có những đặc điểm riêng trong cấu tạo và hoạt động.

- Bộ xử lý trung tâm
- Máy tính đã gây nên sự phát triển đáng kể của kỹ thuật điều khiển robot. Các bộ vi xử lý (VXL) 8 bit như Motorola 6800 hoặc Zilog Z-80 đã từng được sử dụng phổ biến trong điều khiển robot. Ngày nay, phần lớn robot đã dùng VXL 16 bit, với co-processor để tăng khả năng tính toán. Thông dụng nhất là các bộ VXL Intel 8086, 8088. Ngoài tăng đáng kể tốc độ xử lý, chúng còn có khả năng mở rộng bộ nhớ địa chỉ, cho phép điều khiển tốt hơn vận tốc và gia tốc của phần công tác và mở rộng tiện ích lập trình. Một số robot hiện đại đã dùng bộ VXL 32 bit. Chúng rất thích hợp với điều khiển quỹ đạo liên tục.

Bộ nhớ

Địa chỉ	Nội dung bộ nhớ	Loại bộ nhớ
\$FFFFF	Chương trình quản lý vào/ra (trao đổi dữ liệu với thiết bị vào/ra)	ROM
	Chương trình điều khiển servo (xác định vị trí, vận tốc, momen của phần chấp hành)	
	Chương trình quản lý chuyển động (cung cấp setpoints cho các chương trình điều khiển, tọa độ cho các trục để điều khiển theo quỹ đạo liên tục)	
	Chương trình điều hành hệ thống (dịch và thi hành chương trình của người dùng)	
\$00000	Các chương trình ứng dụng (dịch và thi hành chương trình của người dùng)	RAM
	Các chương trình của người dùng	
	Quỹ đạo được dạy theo kiểu Teach-in	
	Giá trị các biên hiện thời	
	Các thông số điều khiển được thiết đặt	
	
	Dành riêng cho computer	
	Thiết bị vào / ra (dùng cho một số máy tính như bộ nhớ)	

- Thiết bị vào/ra
- Thiết bị vào/ra của robot (hình 6.19) phục vụ cho nhiệm vụ điều khiển, nghĩa là giao diện giữa máy tính với các thiết bị bên ngoài:
- - Thiết bị điều khiển các trục, điều khiển nguồn động lực cung cấp cho các trục để thi hành các nhiệm vụ của robot. Máy tính điều khiển hệ thống chấp hành thông qua các thiết bị này. Chúng có thể là các servo drive, inverter,... Chúng có thể bao gồm cả bộ chuyển đổi số - tương tự, cho phép máy tính điều khiển động cơ một chiều. Nếu dùng hệ điều khiển servo thì cần thu nhận tín hiệu từ các sensor.
- - Thiết bị dạy (Teach Pendants) có trên hầu hết robot. Loại đơn giản chỉ cho phép nhớ các tọa độ mà robot được dẫn qua để sau đó lặp lại. Loại phức tạp hơn có thể có các phím điều khiển chức năng, như chuyển động các trục, mở và đóng kẹp,... và các lệnh xử lý chương trình, như ghi, đọc, chạy chương trình,...
- - Các thiết bị ngoại vi, như máy in, thiết bị lưu trữ ngoài, màn hình,...
- - Giao diện với hệ thống sensor, có thể là số hay tương tự tùy theo loại sensor và thiết bị xử lý.
- - Giao diện với các thiết bị điều khiển khác, như PLC, máy CNC, robot và các thiết bị sản xuất khác,...
- - Mạng truyền thông cục bộ hay diện rộng.

CHƯƠNG 7: SỬ DỤNG ROBOT CÔNG NGHIỆP

7.1. Các ứng dụng điển hình của robot công nghiệp

- Robot được sử dụng trong mọi lĩnh vực: sản xuất, quốc phòng, nghiên cứu khoa học, dân sinh,...trong đó, công nghiệp là nơi sử dụng robot một cách phổ biến nhất. Trong công nghiệp, cùng với các thiết bị công nghệ và các thiết bị nâng chuyển, robot cũng đã được thống nhất hóa cao về một số trường hợp chính như sau:
 - - Công việc buồn tẻ, đơn điệu, hoặc làm việc liên tục cả ngày đêm, ví dụ vận chuyển, xếp dỡ hàng hóa, phục vụ máy công cụ, lắp ráp, đo lường, bao gói sản phẩm,...
 - - Công việc nặng nhọc;
 - - Công việc gây nguy hiểm cho con người, như nóng, độc, phóng xạ, dưới nước sâu, trong lòng đất, ngoài không vũ trụ,...
- Tuy robot được sử dụng rộng rãi như vậy nhưng tài liệu này chủ yếu đi sâu vào lĩnh vực ứng dụng rộng rãi nhất của RBCN, là ngành chế tạo máy.

7.2. Các hệ thống sản xuất có sử dụng robot công nghiệp

- Ngày nay người ta dùng tính từ robot hóa để chỉ các hệ thống sản xuất có sử dụng RBCN. Căn cứ vào hình thái tổ chức sản xuất, người ta phân biệt 4 dạng robot hóa hệ thống sản xuất.

7.2.1. Robot hóa các thiết bị công nghệ

- Đây là dạng ứng dụng đơn giản nhất của RBCN, trong đó thiết bị công nghiệp được phục vụ bởi một hay các robot (hoặc được trang bị cơ cấu phục vụ dạng robot) để tự động hóa các công việc phục vụ. Trong gia công cắt gọt, các công việc thường được phục vụ bởi robot là vận chuyển phôi và sản phẩm, đưa phôi vào thiết bị gá kẹp và tháo sản phẩm sau gia công, xếp sản phẩm vào giá, đo sản phẩm trên máy hoặc đưa sản phẩm lên thiết bị đo, làm sạch đồ gá hoặc bề mặt chi tiết, thay dụng cụ,... Trong sản xuất đúc, robot thường được giao nhiệm vụ lắp, dỡ khuôn, rót vật liệu, làm sạch vật đúc,... Trong gia công áp lực, robot có thể đảm nhận việc đưa phôi vào vùng gia công và lấy sản phẩm, đảo phôi khi rèn. Có những trường hợp như khi hàn, sơn,... robot đồng thời là thiết bị công nghệ, nghĩa là nó trực tiếp điều khiển mở hàn hay đầu phun sơn để hoàn thành nguyên công công nghệ.

Trên hình 7.1 (b) là sơ đồ của robot PNTM-01.01. Nó được thiết kế để phục vụ các máy gia công cắt gọt, máy giập nguội và lắp ráp đơn giản. Các tính năng kỹ thuật chính của nó trong bảng sau:

Tên thông số	Giá trị	Tên thông số	Giá trị
Sức nâng (kg)	0,1	Tầm vươn lớn nhất	345
Số bậc tự do	5	Di chuyển thẳng x/r/z (mm)	50/150/50
Kiểu truyền động	Khí nén	Vận tốc thẳng theo x/r/z (m/s)	0,17/0,6/0,17
Kiểu điều khiển	Chu trình	Di chuyển góc φ/α	220/90
Số tọa độ lập trình	4	Vận tốc góc theo φ/α ($^{\circ}/s$)	6,2/1,53
Sai số định vị (mm)	$\pm 0,1$	Khối lượng (kg)	30

Ví dụ về máy công cụ được một robot độc lập phục vụ ở trên hình 7.3 (a). Tổ hợp dùng máy tiện CNC kiểu A616. Robot kiểu БРиГ-10Б có nhiệm vụ lấy phôi từ giá 3, cấp cho máy tiện và lấy chi tiết gia công xong khỏi máy, chắt vào giá 5. Tổ hợp có thể gia công các chi tiết dạng đĩa, đường kính đến 100 mm, dài đến 200 mm, hoặc chi tiết dạng trục, đường kính đến 80 mm, dài đến 600 mm. Robot kiểu БРиГ-10 trên hình 7.3 (b) được thiết kế để phục vụ các máy tiện bán tự động kiểu 1A730, 1A240П-6, máy phen ren 5K63, máy tiện CNC kiểu АТПР-2М12. Nó có tính năng cơ bản như trong bảng sau:

Tên thông số	Giá trị	Tên thông số	Giá trị
Sức nâng (kg)	10	Tầm vươn lớn nhất (mm)	1260
Số bậc tự do	5	Di chuyển thẳng x/r/z (mm)	200/600/100
Kiểu truyền động	Khí nén	Vận tốc thẳng theo x/r/z (m/s)	0,3/0,6/0,3
Kiểu điều khiển	Chu trình	Di chuyển góc φ/α	210/180
Số tọa độ lập trình	4	Vận tốc góc theo φ/α (°/s)	1,53/1,53
Sai số định vị (mm)	$\pm 0,3$	Khối lượng (kg)	300

7.2.2. Robot hóa các tế bào sản xuất

- Tế bào sản xuất (manufacturing cell) là tổ hợp, gồm các thiết bị công nghệ, (các) robot và các thiết bị phục vụ có thể là thiết bị xếp dỡ, định hướng,... Mỗi tế bào sản xuất có thể hoạt động độc lập hoặc liên kết với các thiết bị hay tế bào sản xuất khác để hình thành một hệ thống sản xuất (manufacturing system). Tế bào sản xuất có robot phục vụ được gọi là tế bào sản xuất robot hóa. Một tế bào sản xuất tự động hóa được điều khiển bởi một bộ điều khiển chung (cell controller).
- Trên hình 7.7 (a) là sơ đồ một tế bào sản xuất robot hóa để tiện chi tiết khối lượng đến 40 kg. Nó gồm 2 máy tiện CNC cùng kiểu 16K30, được phục vụ bởi robot kiểu YM 160. Nó có sơ đồ như trên hình 7.7 (b). Chu trình hoạt động của tế bào như sau: Robot nhặt phôi trên bàn quay 3, đặt vào mâm cặp của máy tiện thứ nhất để gia công một đầu. Sau đó, chuyển phôi đó sang máy tiện kia để gia công đầu còn lại. Cuối cùng, chuyển chi tiết vào bàn quay. Bàn quay 180°, chuyển chi tiết về phía giá chi tiết.

YM 160 Φ2.81.02 là robot kiểu công, dùng để phục vụ đồng thời các máy cắt kim loại. Tính năng kỹ thuật cơ bản của nó như trong bảng sau:

Tên thông số	Giá trị	Tên thông số	Giá trị
Sức nâng (kg)	10	Tầm vươn lớn nhất (mm)	2300
Số bậc tự do	5	Di chuyển thẳng x/r/z (mm)	16000
Truyền động	Khí nén	Vận tốc thẳng theo x/r/z (m/s)	1,2
Kiểu điều khiển	YIIM-331	Di chuyển góc φ/α	90/90/90-180
Số tọa độ lập trình	4	Vận tốc góc theo φ/α (°/s)	0,51/0.51/0.25
Sai số định vị (mm)	$\pm 0,5$	Khối lượng (kg)	6500

7.2.3. Robot hóa hệ thống sản xuất

- Khác với tế bào sản xuất, nhiệm vụ của hệ thống sản xuất là hoàn thành một hay một số sản phẩm hoàn chỉnh. Vì vậy, một hệ thống sản xuất được tổ hợp từ các tế bào sản xuất và các thiết bị công nghệ, thiết bị phục vụ đơn lẻ. Về tổ chức, người ta phân biệt 2 dạng hệ thống sản xuất: dây chuyền sản xuất và công đoạn sản xuất.
- Dây chuyền sản xuất robot hóa là tổ hợp các tế bào sản xuất robot hóa, được liên kết với nhau bằng các thiết bị vận chuyển hoặc gồm một số thiết bị công nghệ, được phục vụ bởi một hay một số robot và các thiết bị vận chuyển,... để hoàn thành các nguyên công công nghệ gia công sản phẩm. Dây chuyền được tổ chức một cách chặt chẽ. Về mặt không gian và thời gian, các thiết bị công nghệ được sắp xếp theo trình tự công nghệ. Về mặt thời gian, nhịp sản xuất ở từng nguyên công (nghĩa là thời gian hoàn thành nguyên công tại mỗi thiết bị) phải bằng nhau hoặc bằng bội số của nhau để đảm bảo nhịp chung của dây chuyền. Đối với sản xuất dây chuyền, phương tiện vận chuyển không chỉ có nhiệm vụ vận chuyển đơn thuần mà còn duy trì nhịp sản xuất. Chúng được bố trí theo khuôn dạng của dây chuyền và tuân theo các nguyên tắc nhất định. Trên hình 7.10 là một sơ đồ bố trí phương tiện vận chuyển trên dây chuyền sản xuất robot hóa. Sự phối hợp một cách đồng bộ giữa các thiết bị trên dây chuyền được đảm bảo bởi một hệ điều khiển chung (global controller).

- Thiết bị trên dây chuyền gồm: thiết bị xếp dỡ 1, 2; thiết bị kiểm tra kích thước của phôi 3; các giá đỡ 4; cầu trục xếp dỡ 5; băng tải 6; robot 7; thiết bị vận chuyển có bàn nâng hạ 8; đường vận chuyển một ray 9; thiết bị vận chuyển độc lập 10; tay máy treo 11.
- Công đoạn sản xuất robot hóa không đòi hỏi phải tổ chức các thiết bị công nghệ một cách khắt khe về không gian và thời gian.

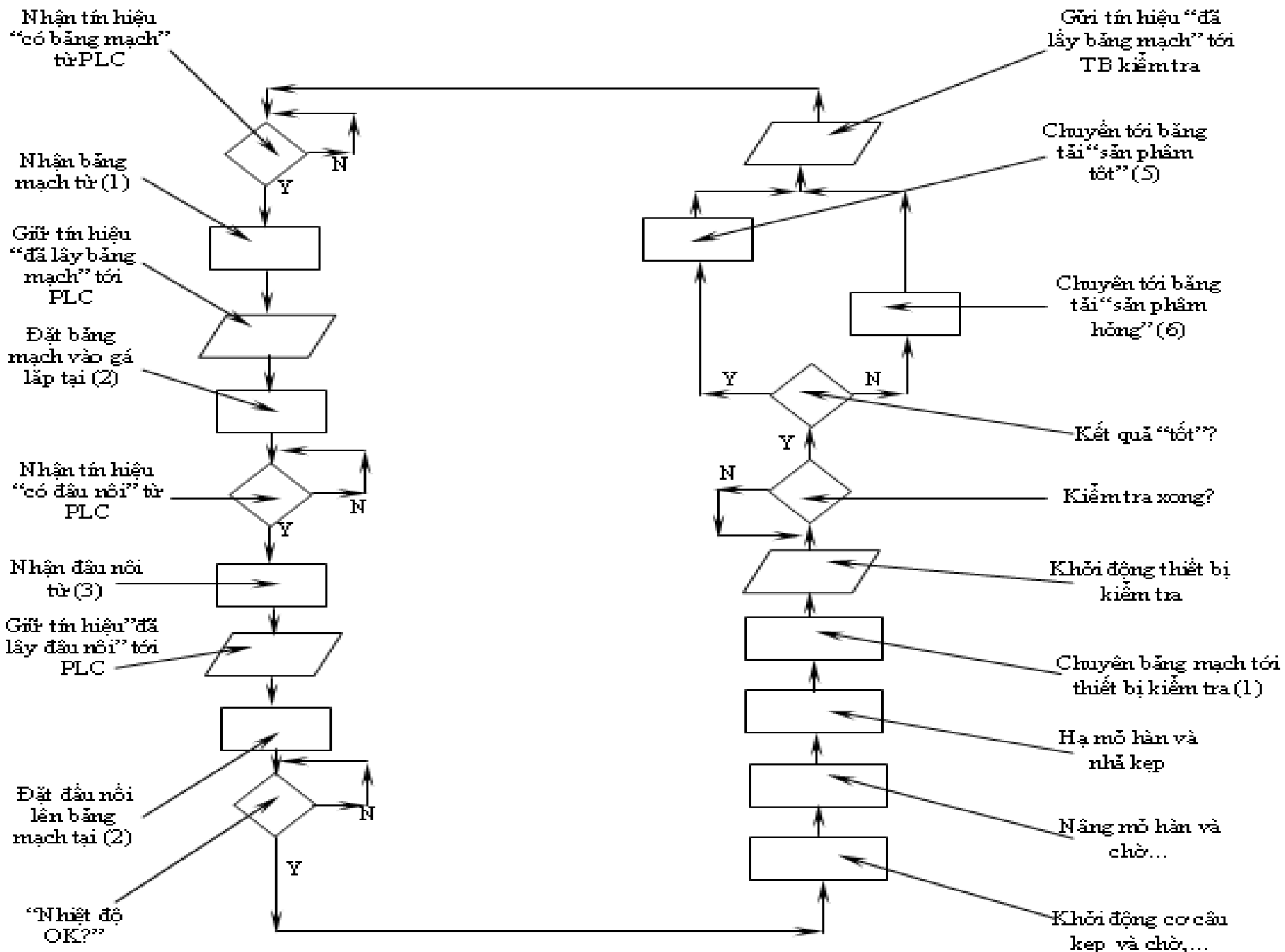
7.2.4. Robot trong sản xuất linh hoạt

- Sản xuất linh hoạt xuất hiện và phổ biến vào khoảng thập kỷ 80. Nó là kết quả của sự phát triển của máy công cụ điều khiển số, RBCN, kỹ thuật điều khiển tự động nhờ máy tính,... Một hệ thống sản xuất linh hoạt (Flexible Manufacturing System - FMS) trước hết phải là hệ thống sản xuất tự động hóa khả trình (Programmable Automation System), được robot hóa.
- Điểm mấu chốt nhất để phân biệt FMS với hệ thống sản xuất cứng (Fixed Manufacturing System) là ở chỗ FMS có khả năng thích ứng với sự thay đổi đối tượng sản xuất mà không cần sự can thiệp của con người. Sự tích hợp hệ thống thiết bị phân cứng (hệ thống sản xuất linh hoạt, mạng truyền thông, hệ máy tính và thiết bị ngoại vi) và phần mềm (hệ điều hành, hệ CSDL, các phần mềm chức năng), cho phép thực hiện tự động và trọn vẹn mọi giai đoạn của quá trình sản xuất (từ thiết kế, chuẩn bị công nghệ, điều khiển sản xuất, giám sát chất lượng, bao gói, thống kê,...) hình thành hệ thống sản xuất tích hợp nhờ máy tính (Computer Integrated Manufacturing-CIM).

Theo ГОСТ 26228-85, FMS được định nghĩa như sau:

- Hệ thống sản xuất linh hoạt là tổ hợp giữa hệ thống công nghệ (các máy điều khiển số, các thiết bị công nghệ đơn lẻ,...) và hệ thống đảm bảo các chức năng làm việc tự động của hệ thống, có khả năng tự điều chỉnh để thích ứng với sự thay đổi bất kỳ đối tượng sản xuất trong danh mục.
- Hệ thống đảm bảo chức năng gồm có các hệ thống tự động hóa thiết kế sản phẩm, chuẩn bị công nghệ, vận chuyển đối tượng, đảm bảo dụng cụ, giám sát chất lượng, thu và chuyên phoi, điều khiển.
- Một FMS có thể là một dây chuyền sản xuất linh hoạt, một công đoạn sản xuất linh hoạt, một phân xưởng sản xuất linh hoạt. Nó cũng được hình thành từ các tế bào sản xuất linh hoạt (Fixed Manufacturing Cell - FMC).

- Ví dụ sau giúp so sánh giữa một tổ hợp sản xuất robot hóa thông thường và một tổ hợp sản xuất linh hoạt.
- Tế bào sản xuất tự động hóa thông thường
- Trên hình 7.11 là sơ đồ tế bào sản xuất tự động hóa để hàn đầu nối lên bảng mạch điện tử. Các thiết bị trong hệ thống gồm: 1- bộ điều khiển robot; 2- băng tải nạp bảng mạch; 3- bộ logic khả trình (PLC); 4- chảo quay; 5- bộ điều khiển nhiệt độ; 6- giá hàn; 7- robot; 8- băng tải cho sản phẩm “tốt”; 9- băng tải cho sản phẩm “hỏng”; 10- bàn kiểm tra; 11- máy tính (PC) có card giao diện và chương trình điều khiển thiết bị kiểm tra.
- Quá trình làm việc của tế bào có 2 giai đoạn:
- Giai đoạn 1: Băng mạch cơ sở được chuyển vào nhờ băng tải 2. Băng giá đặt cuối băng tải, được điều khiển bởi PLC 3 định hướng băng mạch để robot có thể nhặt được. Robot 7 chuyển băng mạch từ băng tải lên bàn giá hàn 6. Các đầu nối được chứa trong chảo quay 4. Cũng nhờ sự điều khiển của PLC 3, các đầu nối được tách riêng và định hướng ở đầu ra của chảo. Robot 1 nhặt đầu nối, đặt vào đúng vị trí quy định trên bảng cơ sở đã đặt trước lên bàn giá hàn. Mỏ hàn thiếc, có bộ phận ôn nhiệt tự động, hàn chắc đầu nối vào bảng mạch.
- Giai đoạn 2: (sơ đồ logic trên hình 7.12). Robot chuyển bảng mạch đã được hàn đầu nối từ giá hàn 6 lên bàn của thiết bị thử 10. Quá trình thử được điều khiển bằng máy tính 11. Kết quả thử (tốt hay hỏng) được chuyển đến robot. Tùy theo kết quả nhận được, robot sẽ chuyển sản phẩm tới băng tải tương ứng. Trong trường hợp này, robot không chỉ làm nhiệm vụ vận chuyển mà còn giữ vai trò điều khiển trung tâm. Các bộ điều khiển khác không liên hệ trực tiếp với nhau mà qua bộ điều khiển của robot.



- Toàn bộ chu trình gồm 6 bước:
- 1. Robot chờ tín hiệu từ PLC, báo bảng mạch đã sẵn sàng trên bảng gá của băng tải. Nếu có tín hiệu thì robot nhắc bảng mạch lên, báo cho PLC biết và đặt bảng mạch lên gá hàn.
- 2. Lặp lại công việc như bước 1, nhưng với đối tượng là đầu nối.
- 3. Nếu bộ điều khiển hàn KHÔNG báo hiệu “nhiệt độ OK” thì robot chờ cho mỏ hàn được đốt nóng. Nếu có tín hiệu “nhiệt độ OK” thì robot tác động lên cơ cấu kẹp của máy hàn. Nửa giây sau (chờ kẹp xong), robot tác động lên cơ cấu nâng cho mỏ hàn (có thiếc) tiếp xúc với các chân của đầu nối. Chờ 5 giây cho quá trình hàn hoàn thành, robot điều khiển các cơ cấu hạ mỏ hàn, tháo kẹp, chuyển bảng mạch sang thiết bị thử.
- 4. Robot phát tín hiệu, báo cho biết thiết bị thử đã có bảng mạch và chờ kết quả.
- 5. Robot “đọc” kết quả thử. Nếu “ON” thì chuyển bảng mạch sang băng tải của sản phẩm tốt. Nếu “OFF” thì chuyển sang phía sản phẩm hỏng.
- 6. Robot báo cho thiết bị thử biết là bảng mạch đã được lấy đi

Tế bào sản xuất linh hoạt

- Để có thể nhận biết đối tượng gia công và tự quyết định giải pháp công nghệ tương ứng, so với tế bào tự động hóa thông thường, vừa mô tả ở phần trên, FMC trên hình 7.13 có thêm bộ phận sau: thiết bị đọc mã vạch 1 để nhận biết đối tượng gia công; bộ điều khiển chung của 2 tế bào để phối hợp các thiết bị; các chảo quay 4 chứa lần lộn tất cả các loại đầu nối. So với hệ TĐH thông thường, quá trình làm việc của nó có các đặc điểm sau:

- 1. Tế bào có thể nhận một số bảng mạch khác nhau. Các bảng mạch được đưa vào từ băng tải một cách ngẫu nhiên. Thiết bị đọc mã vạch có nhiệm vụ “nhận dạng” loại bảng mạch. Nó sẽ báo cho bộ điều khiển trung tâm biết mã của bảng mạch. Bộ điều khiển trung tâm sẽ yêu cầu các bộ điều khiển khác thực hiện các chương trình tương ứng. Do đó...

- 2. Đầu nối được chọn chính xác từ chảo tương ứng để hàn,

- 3. Mỏ hàn được đưa đúng vị trí của đầu nối trên bảng mạch,

- 4. Máy tính điều khiển trạm thử theo đúng chương trình kiểm tra phù hợp từng bảng mạch.

Để FMC có thể nối ghép và làm việc trong FMS, bộ điều khiển tế bào cần được nối với bộ điều khiển hệ thống (gọi là Plant Controller). Khi đó, loại bảng mạch có thể do plant controller chỉ định nên không cần có thiết bị đọc mã vạch trên các tế bào nữa.

7.3. Phương pháp tính kinh tế khi sử dụng robot công nghiệp

7.3.1. Xác định nhu cầu sử dụng robot

- Số lượng robot phục vụ cho một hệ thống sản xuất phụ thuộc số thiết bị công nghệ chính mà chúng phục vụ. Vì vậy, trước hết phải tính số lượng thiết bị công nghệ chính để hoàn thành nhiệm vụ sản xuất.
- Số thiết bị kiểu r được tính theo công thức:

$$S_r = \frac{\sum_{i=1}^n T_{lc.i} N_i}{60F_o}$$

Trong đó:

- $T_{lc.i}$ - thời gian để hoàn thành một sản phẩm thứ I trên nhóm thiết bị r (ph)
- N_i - số lượng sản phẩm thứ I cần được hoàn thành trong 1 năm;
- n- số loại sản phẩm được hoàn thành trên nhóm thiết bị kiểu r;
- F_o - quỹ thời gian hoạt động của nhóm thiết bị thứ r trong 1 năm (giờ).

- Khi tính số lượng robot phục vụ cho từng nhóm máy, cần tính đến khả năng phục vụ nhiều loại máy khác nhau. Điều kiện để một robot có thể phục vụ nhiều loại máy khác nhau. Điều kiện để một robot có thể phục vụ nhiều máy là sự tương tự về kết cấu, tính chất vật lý của các chi tiết để không được quá nhỏ, ví dụ . Với các điều kiện đó, số lượng robot cần thiết để phục vụ các nhóm thiết bị xác định là:

$$R = \frac{S}{k_{nm}}$$

Trong đó:

- S - số thiết bị công nghệ cần được phục vụ;
- k_{nm} - hệ số phục vụ nhiều máy của robot, không nên chọn quá 4

7.3.2. Tính toán hiệu quả kinh tế

- Hiệu quả kinh tế của việc trang bị robot được tính như mọi trường hợp đầu tư cơ bản.
- Chỉ tiêu kinh tế quan trọng nhất là hiệu quả kinh tế quy đổi:

$$H = C_o - C = \left(G_o + \frac{K_o}{T_{lc}}\right) - \left(G + \frac{K}{T_{lc}}\right)$$

Trong đó:

- H- hiệu quả kinh tế hàng năm nhờ trang bị robot;
- C, C_o- chi phí quy đổi khi sử dụng và không sử dụng robot;
- G, G_o- tổng chi phí thường xuyên để sản xuất lượng sản phẩm hàng năm khi sử dụng và không sử dụng robot;
- K, K_o- đầu tư cơ bản khi sử dụng và không sử dụng robot;
- T_{lc}- thời hạn thu hồi vốn tiêu chuẩn (năm).

Việc sử dụng robot chỉ có hiệu quả nếu $H > 0$.

- Chỉ tiêu kinh tế thứ hai là thời hạn thu hồi vốn đầu tư. Việc xác định nó xuất phát từ điều kiện, tổng tiết kiệm do giảm chi phí sản xuất trong T năm phải lớn hơn hoặc bằng vốn đầu tư thêm do trang bị robot:
$$(G_o - G)T \geq K - K_o$$

- Từ đây ta rút ra điều kiện để trang bị robot là:

$$T \leq T_{lc} = \frac{K - K_o}{G_o - G}$$



THANK YOU FOR YOUR ADTENTION!!!

Tìm hiểu Robot công nghiệp

CHƯƠNG I

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ROBOT CÔNG NGHIỆP

I. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN:

Do nhu cầu nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm ngày càng đòi hỏi ứng dụng rộng rãi các phương tiện tự động hoá sản xuất. Xu hướng tạo ra những dây chuyền về thiết bị tự động có tính linh hoạt cao đang hình thành. Các thiết bị này đang thay thế dần các máy tự động “cứng” chỉ đáp ứng một việc nhất định trong lúc thị trường luôn luôn đòi hỏi thay đổi mặt hàng về chủng loại, về kích cỡ, và về tính năng v.v... Điều này dẫn đến nhu cầu ứng dụng robot để tạo ra các hệ thống sản xuất tự động linh hoạt.

Thuật ngữ Robot xuất hiện vào năm 1920 trong một tác phẩm văn học của nhà văn Tiệp Khắc có tên là Karel Capek.

Thuật ngữ industrial Robot (IR) xuất hiện đầu tiên ở Mỹ do công ty AMF (Americal Machine and Foundry Company) quảng cáo mô phỏng một thiết bị mang dáng dấp và có một số chức năng như tay người được điều khiển tự động thực hiện một số thao tác để sản xuất thiết bị có tên gọi Versatran.

Quá trình phát triển của IR được tóm tắt như sau:

- Từ những năm 1950 ở Mỹ xuất hiện viện nghiên cứu đầu tiên.
- Vào đầu những năm 1960 xuất hiện sản phẩm đầu tiên có tên gọi là Versatran của công ty AMF.
- Ở Anh người ta bắt đầu nghiên cứu và chế tạo IR theo bản quyền của Mỹ từ những năm 1967.
- Từ những năm 1970 việc nghiên cứu nâng cao tính năng của robot đã được chú ý nhiều hơn và cũng bắt đầu xuất hiện ở các nước Đức, Ý, Pháp, Thụy Điển.
- Ở Châu Á có Nhật Bản bắt đầu nghiên cứu ứng dụng IR từ những năm 1968.

Từ những năm 80, nhất là vào những năm 90, do áp dụng rộng rãi các tiến bộ kỹ thuật về vi xử lý và công nghệ thông tin, số lượng robot công nghiệp đã gia tăng với nhiều tính năng vượt bậc. Chính vì vậy mà robot công nghiệp đã có vị trí quan trọng trong các dây chuyền tự động sản xuất hiện đại.

Đến nay, trên thế giới có khoảng trên 200 công ty sản xuất IR trong số đó có 80 công ty của Nhật, 90 công ty của Tây Âu, 30 công ty của Mỹ và một số công ty của Nga, Tiệp...

II. KHÁI NIỆM.

Robot công nghiệp có thể được hiểu là những thiết bị tự động linh hoạt, bắt chước được các chức năng lao động công nghiệp của con người. Nói đến thiết bị tự động linh hoạt là nhấn mạnh đến khả năng thao tác với nhiều bậc tự do, được điều khiển và lập trình thay đổi được. Còn nói đến sự bắt chước các chức năng lao động công nghiệp của con người là nói đến sự không hạn chế từ các chức năng lao động chân tay đơn giản đến trí khôn nhân tạo, tùy vào công việc lao động cần đến chức năng đó hay không.

Với đặc điểm có thể lập trình lại được, robot công nghiệp là thiết bị tự động hoá và ngày càng trở thành bộ phận không thể thiếu được của các tế bào hoặc hệ thống sản xuất linh hoạt.

III. PHÂN LOẠI.

Ngày nay, robot công nghiệp đã phát triển rất phong phú và đa dạng, vì vậy phân loại chúng không đơn giản. Có rất nhiều quan điểm khác nhau và mỗi quan điểm lại phục vụ một mục đích riêng. Dưới đây là hai cách phân loại chính.

1. Theo chủng loại, mức độ điều khiển, và nhận biết thông tin của tay máy-người máy đã được sản xuất trên thế giới có thể phân loại các IR thành các thể hệ sau:

Thế hệ 1: thế hệ có kiểu điều khiển theo chu kỳ dạng chương trình cứng không có khả năng nhận biết thông tin.

Thế hệ 2: thế hệ có kiểu điều khiển theo chu kỳ dạng chương trình mềm bước đầu đã có khả năng nhận biết thông tin.

Thế hệ 3: thế hệ có kiểu điều khiển dạng tinh khôn, có khả năng nhận biết thông tin và bước đầu đã có một số chức năng lý trí của con người.

2. Phân loại tay máy theo cấu trúc sơ đồ động:

Thông thường cấu trúc chấp hành của tay máy công nghiệp được mô hình hoá trong dạng chuỗi động với các khâu và các khớp như trong nguyên lý máy với các giả thuyết cơ bản sau:

- Chỉ dùng các khớp động loại khớp quay, khớp tịnh tiến, khớp vít.
- Trục quay hướng tịnh tiến của các khớp thì song song hay vuông góc với nhau.
- Chuỗi động chỉ là chuỗi động hở đơn giản:

Ta ví dụ một chuỗi động của một tay máy công nghiệp có 6 bậc tự do, các khớp A, B, F là các khớp tổng quát, có nghĩa là chúng có thể là khớp quay, cũng có thể là khớp tịnh tiến, các khớp D, E, K chỉ là những khớp quay. Các khâu được đánh số bắt đầu từ 0-giá cố định, tiếp đến là các khâu 1, 2, ...n - các khâu động, khâu tổng quát ký hiệu là khâu i, (i= 1, 2, 3, ...n), khâu n cuối cùng mang bàn kẹp của tay máy. Tương tự như tay người để bàn kẹp gồm có 3 loại chuyển động, tương ứng với các chuyển động này là 3 dạng của cấu trúc máy như sau:

- Cấu trúc chuyển động toàn bộ (chân người) cấu trúc này thực hiện chuyển động đem toàn bộ tay máy (tay người) đến vị trí làm việc. Cấu trúc này hết sức đa dạng và thông thường nếu không phải là tay máy hoạt động trong hệ thống mà chuyển động này cần có sự kiểm soát. Người ta thường coi tay máy là đứng yên, khâu 0 gọi là giá cố định của tay máy.
- Cấu trúc xác định bàn kẹp bao gồm các khớp A, B và F các khâu 1, 2 và 3, chuyển động của cấu trúc này đem theo bàn kẹp với vị trí làm việc. Do giả thiết về loại khớp động dùng trong chế tạo máy thông thường ta có những phối hợp sau đây của các khớp và từ đó tạo nên những cấu trúc xác định vị trí của bàn kẹp trong các không gian vị trí khác nhau của bàn kẹp.

Phối hợp TTT nghĩa là 3 khớp đều là khớp tịnh tiến và một khớp quay. Đây là cấu trúc hoạt động trong hệ tọa độ Đề Các so với các tọa độ So vì 3 điểm M nằm trên khâu 3 khớp đều là khớp tịnh tiến và một chuyển động quay.

Phối hợp TRT, RTT, hay TTR nghĩa là một khớp tịnh tiến hai khớp quay(các cấu trúc 2, 3, và 4). Đây là cấu trúc hoạt động trong hệ tọa độ trụ so với điểm M trên khâu 3 được xác định bởi 2 chuyển động tịnh tiến và một chuyển động quay.

Phối hợp RTR, RRT, TTR nghĩa là hai khớp tịnh tiến và hai khớp quay(các cấu trúc 5, 6, 7, 8, 9 và 10). Đây là cấu trúc hoạt động trong hệ tọa độ cầu so với hệ So, vì điểm M trên khâu 3 được xác định bởi một chuyển động tịnh tiến và hai chuyển động quay.

Phối hợp RRR tức là 3 khớp quay(các cấu trúc 11,12) đây là các cấu trúc hoạt động trong hệ tọa độ góc so với hệ So, vì điểm M trên khâu 3 được xác định bởi ba chuyển động quay(tức là ba tọa độ góc), cấu trúc này được gọi là cấu trúc phẳng sinh học.

Tuy nhiên trong thực tế, đối với các tay máy chuyên dùng ta chuyên môn hoá và đặc biệt đảm bảo giá thành và giá đầu tư vào tay máy thấp, người ta không nhất thiết lúc nào cũng phải chế tạo tay máy có đủ số ba khớp động cho cấu trúc xác định vị trí.

Đối với tay máy công nghiệp đã có hơn 250 loại, trong số đó có hơn 40% là loại tay máy có điều khiển đơn giản thuộc thế hệ thứ nhất.

Sự xuất hiện của IR và sự gia tăng vai trò của chúng trong sản xuất và xã hội loài người làm xuất hiện một ngành khoa học mới là ngành Robot học(Robotic). Trên thế giới nhiều nơi đã xuất hiện những viện nghiên cứu riêng về Robot.

CHƯƠNG II

ỨNG DỤNG TRONG ROBOT CÔNG NGHIỆP

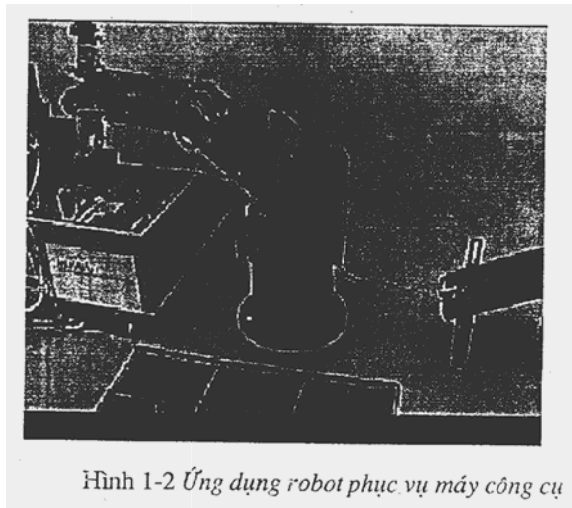
I. MỤC TIÊU ỨNG DỤNG ROBOT TRONG CÔNG NGHIỆP.

Nhằm góp phần nâng cao năng suất dây chuyền công nghệ, giảm giá thành, nâng cao chất lượng và khả năng cạnh tranh của sản phẩm, đồng thời cải thiện lao động. Điều đó xuất phát từ những ưu điểm cơ bản của Robot và đã được đúc kết qua nhiều năm được ứng dụng ở nhiều nước.

Những ưu điểm đó là:

- Robot có thể thực hiện một quy trình thao tác hợp lý, bằng hoặc hơn một người thợ lành nghề một cách ổn định trong suốt thời gian làm việc. Vì thế Robot có thể nâng cao chất lượng và khả năng cạnh tranh của sản phẩm. Hơn thế nữa Robot còn có thể nhanh chóng thay đổi công việc, thích nghi nhanh với việc thay đổi mẫu mã, kích cỡ của sản phẩm theo yêu cầu của thị trường cạnh tranh.

- Có khả năng giảm giá thành sản phẩm do ứng dụng Robot là bởi vì giảm được đáng kể chi phí cho người lao động nhất là ở các nước có mức cao về tiền lương của người lao động, cộng các khoản phụ cấp và bảo hiểm xã hội. Theo số liệu của Nhật Bản thì Robot làm việc thay cho một người thợ thì tiền mua Robot chỉ bằng tiền chi phí cho người thợ trong vòng 3-5 năm, tùy theo Robot làm việc ngày mấy ca. Còn ở Mỹ, trung bình trong mỗi giờ làm việc Robot có thể đem lại tiền lời là 13 USD. Ở nước ta trong những năm gần đây có nhiều doanh nghiệp, khoản chi phí về lương bổng cũng chiếm tỷ lệ cao trong giá thành sản phẩm.

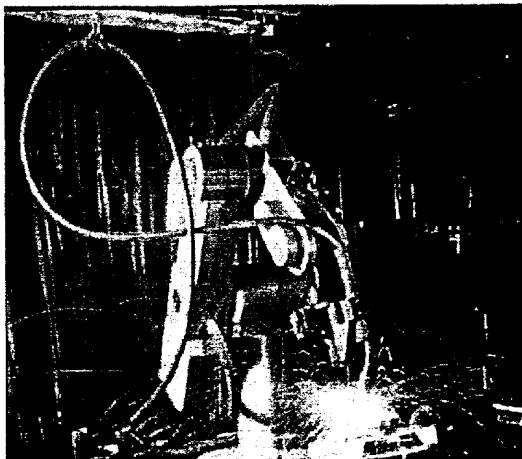


Hình 1-2 Ứng dụng robot phục vụ máy công cụ

Hình2 -1: Ứng dụng robot phục vụ máy công cụ.

- Việc ứng dụng Robot có thể làm tăng năng suất của dây chuyền công nghệ. Sở dĩ như vậy là vì nếu tăng nhịp độ khẩn trương của dây chuyền sản xuất, nếu không thay thế con người bằng Robot thì thợ không thể theo kịp hoặc rất chóng mệt mỏi. Theo tài liệu của Fanuc-Nhật Bản thì năng suất có khi tăng 3 lần.

- Ứng dụng Robot có thể cải thiện được điều kiện lao động. Đó là ưu điểm nổi bật nhất mà chúng ta cần quan tâm. Trong thực tế sản xuất có rất nhiều nơi người lao động phải lao động suốt buổi trong môi trường bụi bặm, ẩm ướt, nóng nực, hoặc ồn ào quá mức cho phép nhiều lần. Thậm trí ở nhiều nơi người lao động còn phải làm việc dưới môi trường độc hại, nguy hiểm đến sức khoẻ con người, dễ xảy ra tai nạn, dễ bị nhiễm hoá chất độc hại, nhiễm phóng xạ...



Hình 2-3 Ứng dụng robot trong công nghệ hàn

Hình 2 - 2: Ứng dụng robot trong công nghệ

II. CÁC BƯỚC ỨNG DỤNG ROBOT.

Việc ưu tiên đầu tư trước hết để nhằm để đồng bộ hoá cả hệ thống thiết bị, rồi tự động hoá và Robot hoá chúng khi cần thiết để quyết định đầu tư cho cả dây truyền công nghệ hoặc chỉ ở một vài công đoạn. Người ta thường xem xét các mặt sau:

- Nghiên cứu quá trình công nghệ được Robot hoá và phân tích toàn bộ hệ thống nếu không thể hiện rõ thì việc đầu tư robot hoá là chưa nên.

- Xác định các đối tượng cần Robot hoá:

Khi xác định cần phải thay thế Robot ở những nguyên công nào thì phải xem xét khả năng liệu Robot có thay thế được không và có hiệu quả hơn không. Thông thường người ta ưu tiên ở những chỗ làm việc quá nặng nhọc, bụi bặm ồn ào, độc hại, căng thẳng hoặc quá đơn điệu. Xu hướng thay thế hoàn toàn bằng Robot thực tế không hiệu quả bằng việc giữ lại một số công đoạn mà đòi hỏi sự khéo léo của con người.

- Xây dựng mô hình quá trình sản xuất đã được Robot hoá:

Sau khi đã xác định được mô hình tổng thể quá trình công nghệ, cần xác định rõ dòng chuyển dịch nguyên liệu và dòng thành phẩm để đảm bảo sự nhịp nhàng đồng bộ của từng hệ thống. Có thể mới phát huy được hiệu quả đầu tư vốn.

- Chọn lựa mẫu robot thích hợp hoặc chế tạo robot chuyên dùng. Đây là bước quan trọng vì robot có rất nhiều loại với giá tiền khác nhau. Nếu như không chọn đúng thì không những đầu tư quá đắt mà còn không phát huy được hết khả năng. Việc này thường xảy ra khi mua robot nước ngoài, có những chức năng robot được trang bị nhưng không cần dùng cho công

việc cụ thể mà nó đảm nhiệm dây chuyền sản xuất, vì thế mà đội giá lên rất cao, chỉ có lợi cho nơi cung cấp thiết bị.

Cấu trúc robot hợp lý nhất là cấu trúc theo modun hoá, như thế có thể hạ được giá thành sản xuất, đồng thời đáp ứng được nhu cầu phục vụ công việc đa dạng. Cấu trúc càng đơn giản càng dễ thực hiện với độ chính xác cao và giá thành hạ. Ngoài ra còn có thể tự tạo dựng các robot thích hợp với công việc trên cơ sở mua lắp các modun chuẩn hoá. Đó là hướng triển khai hợp lý đối với đại bộ phận xí nghiệp trong nước hiện nay cũng như trong tương lai.

III. CÁC LĨNH VỰC ỨNG DỤNG ROBOT TRONG CÔNG NGHIỆP.

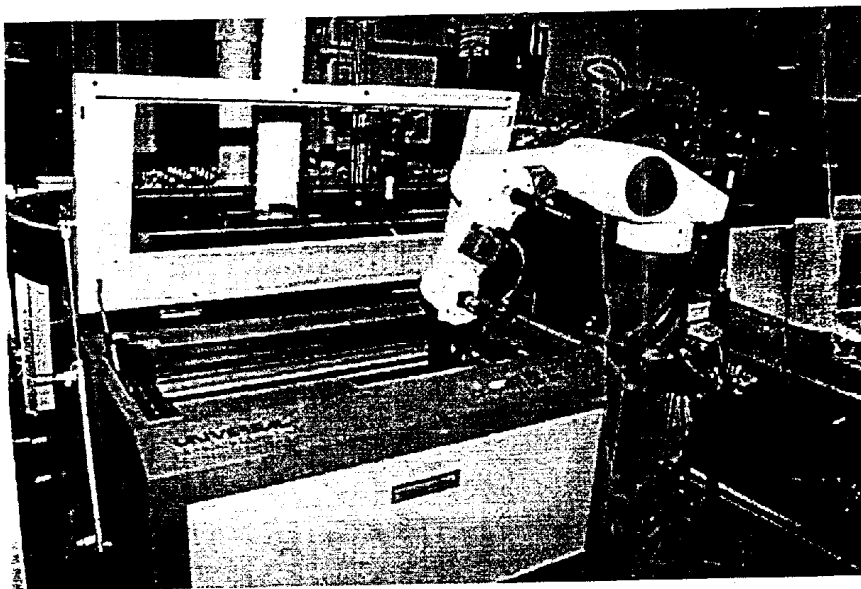
- Một trong các lĩnh vực hay ứng dụng robot là kỹ nghệ đúc. Thường trong phân xưởng đúc công việc rất đa dạng, điều kiện làm việc nóng nực, bụi bặm, mặt hàng thay đổi luôn và chất lượng vật đúc phụ thuộc nhiều vào quá trình thao tác.

Việc tự động hoá toàn phần hoặc từng phần quá trình đúc bằng các dây chuyền tự động thông thường với các máy tự động chuyên dùng đòi hỏi phải có các thiết bị phức tạp, đầu tư khá lớn. Ngày nay ở nhiều nước trên thế giới robot được dùng rộng rãi để tự động hoá công nghệ đúc, nhưng chủ yếu là để phục vụ các máy đúc áp lực. Robot có thể làm được nhiều việc như rót kim loại nóng chảy vào khuôn, cắt mép thừa, làm sạch vật đúc hoặc làm tăng bền vật đúc bằng cách phun cát... Dùng robot phục vụ các máy đúc áp lực có nhiều ưu điểm: đảm bảo ổn định chế độ làm việc, chuẩn hoá về thời gian thao tác, về nhiệt độ và điều kiện tháo vật đúc ra khỏi khuôn ép... bởi thế chất lượng vật đúc tăng lên.

- Trong ngành gia công áp lực điều kiện làm việc cũng khá nặng nề, dễ gây mệt mỏi nhất là ở trong các phân xưởng rèn dập nên đòi hỏi sớm áp dụng robot công nghiệp. Trong phân xưởng rèn, robot có thể thực hiện những công việc: đưa phôi thừa vào lò nung, lấy phôi đã nung ra khỏi lò, mang nó đến máy rèn, chuyển lại phôi sau khi rèn và xếp lại vật đã rèn vào giá hoặc thùng... Sử dụng các loại robot đơn giản nhất cũng có thể đưa năng suất lao động tăng lên 1,5-2 lần và hoàn toàn giảm nhẹ lao động của công nhân. So với các phương tiện cơ giới và tự động khác phục vụ các máy rèn dập thì dùng robot có ưu điểm là nhanh hơn, chính xác hơn và cơ động hơn.

- Các quá trình hàn và nhiệt luyện thường bao gồm nhiều công việc nặng nhọc, độc hại và ở nhiệt độ cao. Do vậy ở đây cũng nhanh chóng ứng dụng robot công nghiệp.

Khi sử dụng robot trong việc hàn, đặc biệt là hàn hồ quang với môi hàn chạy theo đường cong không gian cần phải đảm bảo sao cho điều chỉnh được phương và khoảng cách của điện cực so với mặt phẳng của mối hàn. Nhiệm vụ đó cần được xem xét khi tổng hợp chuyển động của bàn kẹp và xây dựng hệ thống điều khiển có liên hệ phản hồi. Kinh nghiệm cho thấy rằng có thể thực hiện tốt công việc nếu thông số chuyển động của đầu điện cực và chế độ hàn được điều khiển bằng một chương trình thống nhất, đồng thời nếu được trang bị các bộ phận cảm biến, kiểm tra và điều chỉnh. Ngoài ra robot hàn còn phát huy tác dụng lớn khi hàn trong những môi trường đặc biệt.



- Robot được dùng khá rộng rãi trong gia công và lắp ráp. Thường thường người ta sử dụng robot chủ yếu vào các việc tháo lắp phôi và sản phẩm cho các máy gia công bánh răng, máy khoan, máy tiện bán tự động...

Trong ngành chế tạo máy và dụng cụ đo chi phí về lắp ráp thường chiếm đến 40% giá thành sản phẩm. Trong khi đó mức độ cơ khí hoá lắp ráp không quá 10-15% đối với sản phẩm hàng loạt và 40% đối với sản xuất hàng

loạt lớn. Bởi vậy, việc tạo ra và sử dụng robot lắp ráp có ý nghĩa rất quan trọng.

Phân tích quá trình lắp ráp chúng ta thấy rằng con người khi gá đặt các chi tiết để lắp chúng với nhau thì có thể làm nhanh hơn các thiết bị tự động. Nhưng khi thực hiện các động tác khác trong quá trình ghép chặt chúng thì chậm hơn. Bởi vậy yếu tố thời gian và độ chính xác định vị là vấn đề quan trọng cần quan tâm nhất khi thiết kế các loại robot lắp ráp. Ngoài yêu cầu hiện nay đối với các loại robot lắp ráp và nâng cao tính linh hoạt để đáp ứng nhiều loại công việc, hạ giá thành và dễ thích hợp với việc sản xuất loạt nhỏ.

Ngày nay đã xuất hiện nhiều loại dây chuyền tự động gồm các máy vận năng với robot công nghiệp. Các dây truyền đó đạt mức độ tự động cao, tự động hoàn toàn, không có con người trực tiếp tham gia, rất linh hoạt và không đòi hỏi đầu tư lớn. Ở đây các nhà máy và robot trong dây truyền được điều khiển bằng cùng một hệ thống chương trình.

Trong một dây truyền tự động có các máy điều khiển theo chương trình robot có thể đứng một chỗ điều chỉnh trên đường ray hoặc theo di động.

Kỹ thuật robot có ưu điểm quan trọng nhất là tạo nên khả năng linh hoạt hoá sản xuất. Việc sử dụng máy tính điện tử, robot và máy điều khiển theo chương trình đã cho phép tìm được những phương thức mới mẻ để tạo nên các dây truyền tự động cho sản xuất hàng loạt với nhiều mẫu mã, sản phẩm. Dây truyền tự động “cứng” gồm nhiều thiết bị tự động chuyên dùng đòi hỏi vốn đầu tư lớn, nhiều thời gian để thiết kế và chế tạo trong lúc quy trình công việc luôn luôn cải tiến, nhu cầu đối với chất lượng và quy cách của sản phẩm luôn luôn thay đổi. Bởi vậy nhu cầu “mềm” hóa hay là linh hoạt hoá dây truyền sản xuất ngày càng tăng. Kỹ thuật công nghiệp và máy tính đã đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra các dây truyền tự động linh hoạt.

Xuất phát từ nhu cầu và khả năng linh hoạt hoá sản xuất, trong những năm gần đây không chỉ các nhà khoa học mà cả các nhà sản xuất đã tập trung sự chú ý vào việc hình thành và áp dụng các hệ sản xuất tự động linh hoạt, gọi tắt là hệ sản xuất linh hoạt. Hệ sản xuất linh hoạt ngày nay thường bao gồm các thiết bị gia công được điều khiển bằng chương trình số, các phương tiện vận chuyển và kho chứa trong phân xưởng đã được tự động hoá và nhóm robot công nghiệp ở vị trí trực tiếp với các thiết bị gia công hoặc thực hiện các nguyên công phụ. Việc điều khiển và kiểm tra điều khiển toàn hệ sản xuất linh hoạt là rất thích hợp với quy mô sản xuất nhỏ và vừa, thích

hợp với yêu cầu luôn luôn thay đổi chất lượng sản phẩm và quy trình công nghệ. Bởi vậy, ngày nay, hệ sản xuất linh hoạt thu hút sự chú ý không những ở các nước phát triển mà ngay cả ở các nước đang phát triển. Trong một số tài liệu nước ngoài hệ FMS (flexible Manufacturing System) nay được diễn giải như hệ sản xuất của tương lai (future Manufacturing System), sự trùng hợp các từ viết tắt này không phải ngẫu nhiên.

Tỷ lệ phân bố các loại công việc được dùng robot:

1. Đúc áp lực	18,3%
2. Hàn điểm	14,7%
3. Hàn hồ quang	12,3%
4. Cấp thoát phôi	9,6%
5. Lắp ráp	9,5%
6. Nghiên cứu, đào tạo	5,7%
7. Phun phủ bề mặt	5,7%
8. Nâng chuyển sắp xếp	3,9%
9. Các việc khác	30,3%

Sự phân bố tỷ lệ các loại robot với các loại phương pháp điều khiển khác nhau:

- a. Tay máy điều khiển bằng tay: 4%
- b. Robot được điều khiển theo chu kỳ cứng: 59%
- c. Robot được điều khiển theo chu kỳ thay đổi theo chương trình: 11%
- d. Robot được điều khiển dùng chương trình dạy học: 18%
- e. Robot được điều khiển theo chương trình số: 5%
- f. Robot được điều khiển có sử lý tình khôn: 3%

IV. CÁC XU THẾ ỨNG DỤNG ROBOT TRONG TƯƠNG LAI.

Robot ngày càng thay thế nhiều lao động

Ở đây chỉ đề cập đến robot công nghiệp. Trong tương lai, kỹ thuật robot sẽ tận dụng hơn nữa các thành tựu khoa học liên ngành, phát triển cả về phần cứng, phần mềm và ngày càng chiếm lĩnh nhiều lĩnh vực trong công nghiệp.

Số lượng lao động được thay thế ngày càng nhiều vì: càng ngày giá thành robot càng giảm, mặt khác chi phí tiền lương và các khoản phụ khác cấp cho người lao động ngày càng cao.

Robot ngày càng trở nên chuyên dụng:

Khi robot công nghiệp ra đời, người ta thường cố gắng làm sao để biểu thị hết khả năng của nó. Vì thế xuất hiện rất nhiều loại robot vạn năng có thể làm được nhiều việc trên dây chuyền. Tuy nhiên thực tế sản xuất chứng tỏ rằng, các robot chuyên môn hoá đơn giản hơn, chính xác hơn, học việc nhanh hơn và quan trọng là rẻ tiền hơn robot vạn năng. Các robot chuyên dụng hiện đại đều được cấu tạo thành từ các modul vạn năng. Xu thế modul hoá ngày càng phát triển nhằm chuyên môn hoá việc chế tạo các modul và từ các modul đó sẽ cấu thành nhiều kiểu robot khác nhau thích hợp cho từng loại công việc.

Robot ngày càng đảm nhận nhiều loại công việc lắp ráp.

Công đoạn lắp ráp thường chiếm tỷ lệ cao so với tổng thời gian sản xuất trên toàn bộ dây chuyền. Công việc khi lắp ráp là phải đòi hỏi rất cẩn thận, không được nhầm lẫn, thao tác nhẹ nhàng, tinh tế và chính xác nên cần thợ có tay nghề cao và phải làm việc căng thẳng suốt cả ngày.

Khả năng thay thế người lao động ở những khâu lắp ráp ngày càng hiện thực là do đã áp dụng được nhiều thành tựu mới về khoa học trong việc thiết kế, chế tạo robot. Ví dụ đã tạo ra những cấu hình đơn giản và chính xác trên cơ sở sử dụng các vật liệu mới vừa bền, vừa nhẹ. Trong đó nên kể đến các loại robot như Adept Oen, SCARA,... Đồng thời do thừa hưởng sự phát triển kỹ thuật nhận và biến đổi tín hiệu (sensor), đặc biệt kỹ thuật nhận và xử lý tín hiệu ảnh (vision) cũng như kỹ thuật tin học với

các ngôn ngữ bậc cao, robot công nghiệp đã có mặt trên nhiều công đoạn lắp ráp phức tạp.

Robot di động ngày càng trở nên phổ biến.

Trong các nhà máy hiện đại, tên gọi phương tiện dẫn đường tự động AVG (automatic Guided Vehicles) đã trở thành quen thuộc. Loại đơn giản là những chiếc xe vận chuyển nội bộ trong phân xưởng được điều khiển theo chương trình với một quỹ đạo định sẵn. Ngày nay các thiết bị loại này cũng được hiện đại hoá nhờ áp dụng kỹ thuật thông tin vô tuyến hoặc dùng tia hồng ngoại... Vì vậy AGV đã có thể hoạt động linh hoạt trong phân xưởng. Đó chính là robot linh động và còn gọi là robocar. Một hướng phát triển linh hoạt và quan trọng của robocar là không di chuyển bằng các bánh xe mà bằng chân, thích hợp với mọi địa hình.

Robot đi được bằng chân có thể tự leo thang, là một đối tượng đang rất được chú ý trong nghiên cứu không những định hướng trong công nghiệp hạt nhân hoặc trong kỹ thuật quốc phòng mà ngay cả trong công nghiệp dân dụng thông thường. ở đây việc tạo ra các cơ cấu chấp hành cơ khí bền vững, nhẹ nhàng, chính xác và linh hoạt như chân người lại là đối tượng nghiên cứu chủ yếu.

Robot ngày càng trở nên tinh khôn hơn.

Trí khôn nhân tạo là một vấn đề rất quan tâm nghiên cứu với các mục đích khác nhau. Kỹ thuật robot cũng từng bước áp dụng các kết quả nghiên cứu về trí khôn nhân tạo và đưa vào ứng dụng công nghiệp. Trước hết là sử dụng các hệ chuyên gia, các hệ thị giác nhân tạo, mạng nơron và các phương pháp nhận dạng tiếng nói... Cùng với các thành tựu mới trong nghiên cứu về trí khôn nhân tạo, robot ngày càng có khả năng đảm nhận được nhiều nguyên công dây chuyền sản xuất đòi hỏi sự tinh khôn nhất định.

Vấn đề thiết bị cảm biến được nhiều ngành kỹ thuật quan tâm và cũng đạt được nhiều thành tựu mới trong thời kì phát triển sôi động của lĩnh vực vi xử lý. Đó cũng là điều kiện thuận lợi trong việc áp dụng chúng trong kỹ thuật robot nhằm tăng cường khả năng thông minh của thiết bị.

Những loại hình được quan tâm nhiều trong công nghiệp là các robot thông minh có các modul cảm biến để nhận biết được khoảng cách để tránh vật cản khi thao tác, cảm biến nhận biết được màu sắc khi phân loại, cảm biến được lực khi lắp ráp... Khi được lắp thêm các modul cảm biến này robot

được gọi với nhiều tên mới. Ví dụ: robot “nhìn được” (vision robot), robot lắp ráp (assembli), robot cảnh báo (alarm robot),...

Để thông minh hoá robot bên cạnh việc cài đặt bổ xung các modul cảm biến “nội tín hiệu” và các modul cảm biến “ngoại tín hiệu” thì đồng thời có thể thông minh hoá robot bằng các chương trình phần mềm có khả năng tự thích nghi và tự xử lý các tình huống...

Như vậy bằng cách bổ xung các modul cảm biến và các phần mềm phù hợp có thể nâng cấp cải tiến nhiều loại robot. Tuy nhiên bản thân các robot này phải có các cơ cấu chấp hành linh hoạt chính xác . Ngày nay có nhiều loại robot thông minh không những có thể làm việc trong các phân xưởng công nghiệp mà còn thao tác được ở bên ngoài, trên các địa hình phức tạp như các loại robot vũ trụ (space robot), robot tự hành (walking robot), robot cần cẩu(robot crale), tạo dựng từ các modul robot song song...

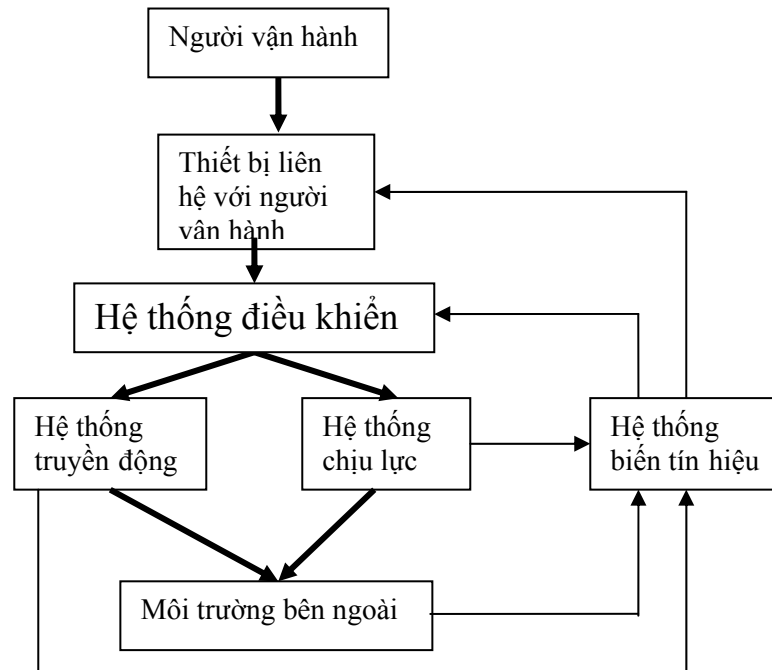
CHƯƠNG III

KẾT CẤU TRONG ROBOT CÔNG NGHIỆP

I. KẾT CẤU CHUNG.

Robot công nghiệp rất đa dạng về kết cấu và tính năng, được đánh giá bằng các thông số kỹ thuật rất khác nhau. Tuy nhiên, có những thông số kỹ thuật chung cho hầu hết robot. Dựa vào các thông số kỹ thuật chung đó người ta thống nhất hoá và tiêu chuẩn hoá kết cấu của robot.

Dưới đây là hệ thống kết cấu chung cho robot công nghiệp:



Hình 3 - 1: Sơ đồ cấu trúc và chức năng của Robot.

Trong sơ đồ trên, các đường \longrightarrow (đường đậm) chỉ mối quan hệ thông tin thuận, thông tin chỉ huy nhiệm vụ Robot. Các đường \longleftarrow (đường nhạt) chỉ mối liên hệ thông tin ngược, thông tin phản hồi về quá trình làm việc của Robot.

Chức năng của bộ phận giao tiếp là liên lạc với người vận hành và thực hiện quá trình “dạy học” cho Robot, nhờ đó Robot biết được nhiệm vụ phải thực hiện.

Chức năng của hệ thống điều khiển là thực hiện việc tái hiện lại các hành động nhiệm vụ đã được “học”.

Bộ phận chấp hành giúp cho Robot có đủ “sức” chịu được tải trọng mà Robot phải chịu trong quá trình làm việc, bộ phận này bao gồm:

Phần 1: bộ phận chịu chuyển động, phần tạo các khả năng chuyển động cho Robot.

Phần 2: bộ phận chịu lực, phần chịu lực của Robot.

Bộ cảm biến tín hiệu: làm nhiệm vụ nhận biết, đo lường và biến đổi thông tin các loại tín hiệu như: các nội tín trong bản thân Robot, đó là các tín hiệu về vị trí, vận tốc, gia tốc, trong từng thành phần của bộ phận chấp hành các ngoại tín hiệu, là các tín hiệu từ môi trường bên ngoài có ảnh hưởng tới hoạt động của Robot.

Với cấu trúc và chức năng như trên, Robot phần nào mang tính “người” còn phần máy chính là trạng thái vật lý của cấu trúc.

Với IR tính chất “người” và “máy” cũng được thể hiện đầy đủ như trên, duy trì hình thức mang dáng dấp của tay “người”.

Tay máy công nghiệp thường có những bộ phận sau:

Hệ thống điều khiển: thường là loại đơn giản làm việc có chu kỳ vận hành theo nguyên lý của hệ thống điều khiển hở hoặc kín.

Hệ thống chấp hành: bao gồm các nguồn động lực, hệ thống truyền động, hệ thống chịu lực như : các động cơ thủy, khí nén, cơ cấu servo điện tử, động cơ bước. Mỗi chuyển động của IR thường có một động cơ riêng và các thanh chịu lực.

- Bàn kẹp: là bộ phận công tác cuối cùng của tay máy, nơi cầm nắm các thiết bị công nghệ hay vật cần di chuyển.

II. CẤU TRÚC TAY MÁY.

Tay máy là phần cơ sở, quyết định khả năng làm việc của robot. Đó chính là thiết bị cơ khí đảm bảo cho robot khả năng chuyển động trong không gian và khả năng làm việc, như nâng, hạ, lắp ráp... ý tưởng ban đầu của việc thiết kế và chế tạo tay máy là phỏng các chức năng làm việc của tay người. Về sau, đây không phải là điều bắt buộc nữa. Tay máy hiện nay rất đa dạng và phong phú và nhiều loại có dáng vẻ khác xa so với con người. Tuy nhiên trong kỹ thuật robot ta vẫn dùng các thuật ngữ quen thuộc như vai (shoulder), cánh tay (arm), cổ tay (Wrist), bàn tay (Hand), và các khớp (Articulation)..., để chỉ tay máy và các bộ phận của nó.

Trong thiết kế và sử dụng tay máy, người ta quan tâm đến các thông số có ảnh hưởng đến khả năng làm việc của chúng như:

- Sức nâng, độ cứng vững, lực kẹp của tay ...
- Tâm với hay vùng làm việc: kích thước, hình dáng vùng mà phần công tác cơ thể với tới.
- Sự khéo léo, nghĩa là khả năng định vị và định hướng phần công tác trong vùng làm việc. Thông số này liên quan đến số bậc tự do của phần công tác.

Để định vị và định hướng phần công tác một cách tùy ý trong không gian 3 chiều nó cần 6 bậc tự do, trong đó có 3 bậc tự do để định vị, 3 bậc tự do để định hướng. Một số công việc như nâng, hạ, xếp dỡ... yêu cầu số bậc tự do ít hơn 6. Trong một số trường hợp cần sự khéo léo linh hoạt, cần sự tối ưu quỹ đạo thì cần số bậc tự do lớn hơn 6.

Các tay máy có đặc điểm chung về kết cấu là gồm các khâu, được nối với nhau bằng các khớp để hình thành một chuỗi động học hở, tính từ thân đến công tác. Các khớp được dùng phổ biến là khớp trượt và khớp quay. Tùy theo số lượng và cách bố trí các khớp mà ta có thể tạo ra tay máy kiểu tọa độ Đề các hay tọa độ trụ, hay tọa độ cầu, SCARA và kiểu tay người.

Tay máy kiểu tọa độ đề các: Hay còn gọi là kiểu hình chữ nhật, dùng 3 khớp trượt, cho phép phần công tác thực hiện một cách độc lập các chuyển động thẳng, song song với 3 trục tọa độ. Vùng làm việc của tay máy có dạng hình hộp chữ nhật. Do sự đơn giản về kết cấu, tay máy kiểu này có tọa độ cứng vững cao, độ chính xác được đảm bảo đồng đều trong toàn bộ vùng làm việc, nhưng ít khéo léo. Vì vậy, tay máy kiểu tọa độ Đề các được dùng cho vận chuyển và lắp ráp.

Tay máy kiểu tọa độ trụ: Khác tay máy kiểu tọa độ Đề các ở khớp đầu tiên: dùng khớp quay thay cho khớp trượt. Vùng làm việc của nó có dạng hình trụ rỗng. Khớp trượt nằm ngang cho phép tay máy thò vào khoảng rỗng nằm ngang. Độ cứng vững của tay máy trụ rất tốt, thích hợp với tải trọng nặng, độ chính xác định vị góc trong mặt phẳng ngang giảm khi tâm với tăng.

Tay máy kiểu tọa độ cầu: Khác kiểu trụ do khớp thứ hai là khớp trượt được thay bằng khớp quay. Nếu quỹ đạo chuyển động của phần công tác được mô tả trong tọa độ cầu thì mỗi bậc tự do tương ứng một khả năng chuyển động và vùng làm việc của nó là khối cầu rỗng. Độ cứng vững của

loại tay máy này thấp hơn hai loại trên và độ chính xác định vị phụ thuộc vào tầm với. Tuy nhiên loại này có thể nhặt được cả vật dưới nền.

SCARA được đề xuất lần đầu tiên vào năm 1979 tại trường đại học Yahanashi (Nhật), dùng cho công việc lắp ráp. Đó là một tay máy có cấu tạo đặc biệt gồm hai khớp quay và một khớp trượt, nhưng cả 3 khớp đều có trục song song với nhau. Kết cấu này làm tay máy cứng vững hơn theo phương thẳng đứng nhưng kém cứng vững theo phương được chọn là phương ngang. Loại này chuyên dùng cho lắp ráp, với tải trọng nhỏ, theo phương thẳng đứng. Từ SCARA là viết tắt của: Selective Compliance Assembly Robot Arm để mô tả các hoạt động trên. Vùng làm việc của SCARA là một hình trụ rỗng.

Tay máy kiểu tay người: Có cả 3 khớp đều là khớp quay, trong đó trục thứ nhất vuông góc với hai trục kia. Do sự tương tự với tay người, khớp thứ hai được gọi là khớp vai, khớp thứ 3 là khớp khuỷu tay nối cẳng tay với khuỷu tay. Với kiểu kết cấu này không có sự tương ứng giữa khả năng chuyển động giữa các khâu và số bậc tự do. Tay máy làm việc rất khéo léo nhưng độ chính xác định vị phụ thuộc vào phần công tác trong vùng làm việc. Vùng làm việc của tay máy kiểu này gần giống một phần khối cầu.

Toàn bộ kết cấu ở trên chỉ liên quan đến khả năng định vị của phần công tác. Muốn định hướng nó cần bổ xung phần cổ tay. Muốn định hướng một cách tùy ý phần cổ tay phải có ít nhất 3 chuyển động quanh 3 trục vuông góc với nhau. Trong trường hợp trục quay 3 khớp gặp nhau tại một điểm thì ta gọi đó là khớp cầu. Ưu điểm lớn nhất của khớp cầu là tách được thao tác định vị và định hướng của phần công tác, làm đơn giản cho việc tính toán. Các kiểu khớp khác có thể đơn giản hơn về kết cấu cơ khí, nhưng tính toán tọa độ khó hơn, do không tách được hai loại thao tác nói trên.

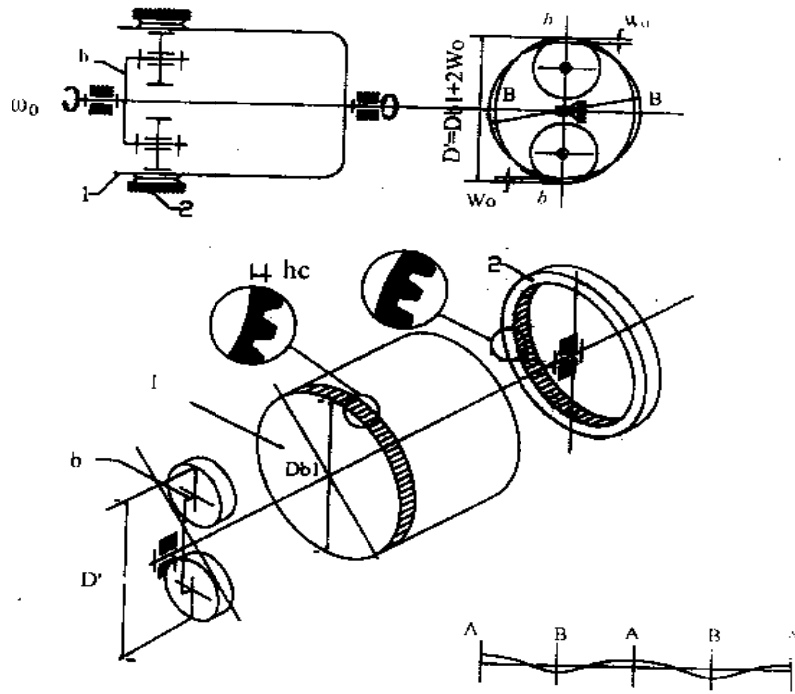
III. HỆ THỐNG CHẤP HÀNH.

1. Truyền dẫn cơ khí .

Truyền dẫn cơ khí có rất nhiều loại hình, chúng được dùng rộng rãi trong kỹ thuật máy nói chung và trong kỹ thuật robot nó riêng. Ngoài những loại truyền dẫn động cơ khí phổ thông, trong kỹ thuật robot đã sử dụng những kỹ thuật mới và tương đối mới mẻ.

1.1. Bộ truyền bánh răng sóng.

Truyền động bánh răng sóng khác biệt so với các loại truyền động bánh răng khác ở chỗ nó có một bánh răng mềm truyền sóng biến dạng và nhờ vậy mà truyền được chuyển động quay.



Hình 3 - 2: Bộ truyền bánh răng sóng.

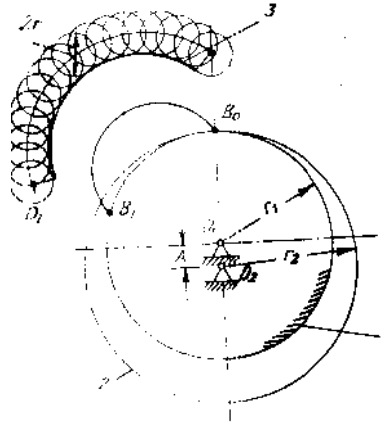
Bộ truyền bánh răng sóng gồm ba bộ phận cơ bản : bánh răng mềm 1, bánh răng cứng 2, cần tạo sóng b.

Bộ truyền bánh răng sóng được dùng chủ yếu ở các bộ truyền cần tỷ số truyền cao, các bộ truyền đòi hỏi độ chính xác cao và yêu cầu tác động nhanh trong hệ thống điều khiển tự động, các khớp động trong tay máy.

1.2 Bộ truyền động bánh răng con lăn – cycloid hành tinh.

Trong những năm gần đây truyền động bánh răng cycloid hành tinh lại được quan tâm nghiên cứu cải tiến và ứng dụng tương đối rộng rãi ở các bộ truyền dẫn trong robot. Truyền động này có nhiều ưu điểm : đạt tỷ số truyền cao, gọn nhẹ, độ bền và độ chính xác đều cao hơn so với

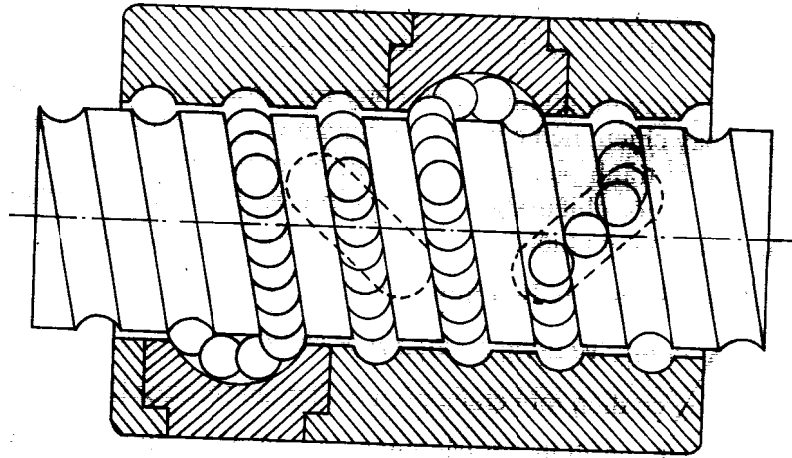
nhiều loại truyền động khác. Tuy nhiên lại yêu cầu cao về độ chính xác chế tạo và lắp ráp.



Hình 3 - 3: Sơ đồ tạo hình ăn khớp bánh răng Cycloid

1.3 Truyền động vít đai ốc bi.

Truyền động vít đai ốc bi được dùng đầu tiên trong cơ cấu tay máy của ô tô ở hãng General motors. Ngày nay, đã rất nhiều hãng sản xuất bộ truyền vít đai ốc bi, nhiều cải tiến mới và ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực trong đó có kỹ thuật Robot. Công dụng chủ yếu của bộ truyền vít đai ốc bi là biến chuyển động quay sang chuyển động tịnh tiến.



Hình 3 - 4: Sơ đồ kết cấu bộ truyền vít đai ốc bi.

Kết cấu bộ truyền vít đai ốc bi ngày nay đã có rất nhiều loại hình khác nhau. Nhưng việc chọn lựa hình dáng, kích thước rãnh bi lăn có liên quan nhiều đến công việc chế tạo và khả năng đạt được độ chính xác gia công. Ưu điểm : hiệu suất cao, độ chính xác định vị cao, độ bền cao, nhưng giá thành tương đối cao.

2. Động cơ điện và điều khiển động cơ.

Ứng dụng truyền động điện

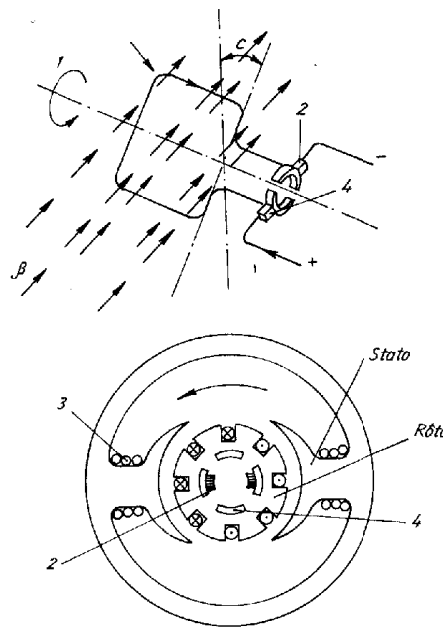
Truyền động điện được sử dụng khá nhiều trong kỹ thuật robot. vì có những ưu điểm như là điều khiển đơn giản không phải dùng các bộ biến đổi phụ thêm, không gây ồn cho môi trường, các loại động cơ hiện đại có thể lắp trực tiếp trên các khớp quay...

Tuy nhiên so với truyền động thủy khí thì truyền động điện có tỷ lệ thấp giữa công suất truyền trên một đơn vị khối lượng và thông thường đòi hỏi kèm theo hộp giảm tốc công kênh vì trong tay máy tốc độ quay rất chậm...

Trong kỹ thuật robot về nguyên tắc có thể dùng động cơ điện các loại khác nhau, nhưng trong thực tế chỉ có hai loại được dùng nhiều hơn cả. Đó là động cơ điện một chiều và động cơ bước.

Ngày nay do những thành công mới trong nghiên cứu điều khiển động cơ xoay chiều, nên cũng có xu hướng chuyển sang chuyển sử dụng động cơ xoay chiều để tránh phải trang bị thêm bộ nguồn điện một chiều. Ngoài ra loại động cơ một chiều không chổi góp (DC brushless motor) cũng bắt đầu được ứng dụng nhiều.

Động cơ điện một chiều:



riều

Đại cương về động cơ điện một chiều

Động cơ điện một chiều gồm có hai phần (hình 3-5)

a. Stato cố định với các cuộn dây có dòng điện cảm hoặc dùng nam châm vĩnh cửu. Phần này gọi là phần cảm. Phần cảm tạo nên từ thông trong khe hở không khí.

b. Roto với các thanh dẫn. Khi có dòng điện một chiều chạy qua và với dòng từ thông xác định, roto sẽ quay. Phần này còn gọi là phần ứng.

Do cách khác nhau khi bố trí dây cuốn phần cảm so với phần ứng ta có những loại động cơ điện một chiều khác nhau:

- Động cơ kích từ song song.
- Động cơ kích từ nối tiếp.
- Động cơ kích từ hỗn hợp.

Các đại lượng chủ yếu xác định sự làm việc của động cơ một chiều là:

U - Điện áp cung cấp của phần ứng.

I - Cường độ dòng điện trong phần ứng.

r - Điện trở trong phần ứng.

Φ - Từ thông trong khe hở.

E - Sức cản điện động phần ứng.

Các quan hệ cơ bản khi làm việc là:

$$E = U - rI = kn\Phi \quad (1)$$

k phụ thuộc vào đặc tính của dây cuốn và số thanh dẫn tác dụng của phần ứng.

Từ (1) ta có các nhận xét sau:

1) Khởi động E bằng 0 khi mở máy, chỉ có điện trở phần ứng r rất nhỏ hạn chế dòng điện. Vì thế cần phải có biến trở mở máy để duy trì I ở giá trị thích hợp.

2) Số vòng quay: $n = \frac{U - Ir}{k\phi}$ Vậy điều chỉnh tốc độ có thể tiến hành bằng cách tác động vào điện áp U hoặc tác động vào từ thông ϕ .

3) Momen động C xác định từ phương trình cân bằng công suất:
 $EI = 2\pi nC$

Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều:

Về phương diện điều chỉnh tốc độ thì động cơ điện một chiều có nhiều ưu việt hơn hẳn các động cơ khác. Khả năng điều chỉnh tốc độ dễ dàng trong dải rộng và có cấu trúc mạch lực và mạch điều khiển đơn giản.

Như đã nói trên, có hai phương pháp cơ bản để điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều:

- Tác động lên từ thông ϕ thông qua việc điều chỉnh điện áp dòng kích từ.
- Điều chỉnh điện áp phần ứng.

Khi điều chỉnh tốc độ 0 đến tốc độ định mức bằng cách giữ từ thông không đổi và tác động vào điện áp phần ứng U thì momen sẽ không đổi, còn công suất tăng theo tốc độ.

Khi điều chỉnh tốc độ từ 0 đến tốc độ định mức bằng cách tác động lên từ thông và giữ điện áp phần ứng không đổi thì công suất không đổi, còn momen giảm theo tốc độ.

Khi từ thông tiến về 0 thì tốc độ tiến tới vô cùng. Vì vậy khi không tải, động cơ kích từ nối tiếp có tốc độ quá lớn, các loại động cơ kích từ song song hoặc hỗn hợp để quá tốc độ nếu cắt mạch kích từ của nó.

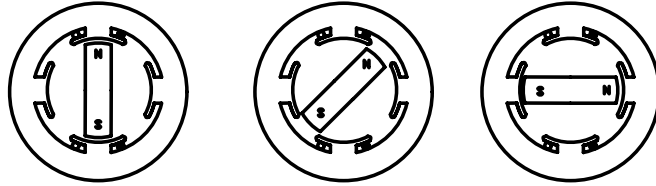
Đảo chiều quay:

Chiều quay của phần ứng phụ thuộc vào chiều dòng điện trong dây cuộn phần ứng và chiều của từ trường. Để đổi chiều quay của động cơ điện một chiều cần đổi chiều của từ thông hoặc dòng điện phần ứng.

3. Động cơ bước.

Nguyên tắc hoạt động.

Trên hình (3-6) là sơ đồ động cơ bước, loại đơn giản nhất dùng nam châm vĩnh cửu gồm Stato có 4 cực và roto có hai cực. Nếu cấp điện cho cuộn dây α thì roto sẽ dừng ở vị trí mà dòng từ thông qua cuộn dây là lớn nhất. Nếu cấp điện cho cuộn dây β thì roto sẽ quay đi $\pm 90^\circ$. Khi đó đồng thời cấp điện cho cả hai cuộn dây α và β thì roto sẽ dừng ở vị trí giữa 0° đến 90° và nếu dòng điện vào 2 cuộn dây hoàn toàn như nhau thì roto sẽ dừng ở vị trí 45° .



Hình 3 - 6: Sơ đồ nguyên lý hoạt động của động cơ bước

Như vậy, vị trí của roto phụ thuộc vào số cực được cấp trên stato và vào chiều của dòng điện cấp vào.

Trên đây là sơ đồ nguyên lý hoạt động của động cơ bước loại có ít cực và dùng nam châm vĩnh cửu. Trên cơ sở đó có thể tìm hiểu các loại động cơ có nhiều cực và dùng nam châm điện có từ tính thay đổi.

Vậy là tùy theo cách cấp điện cho các cuộn dây trên stato có thể điều khiển các vị trí dừng của roto. Việc cấp điện vào các cuộn dây trên stato có thể số hoá, cho nên có thể hiểu động cơ bước là một loại động cơ điện, chuyển các tín hiệu số đầu vào thành các chuyển động cơ học từng nấc ở đầu ra.

Ưu nhược điểm:

Việc sử dụng chúng trong hệ thống điều khiển có nhiều thuận lợi:

- Không cần mạch phản hồi cho cả điều khiển vị trí và vận tốc.
- Thích hợp với các thiết bị điều khiển số.

Ưu điểm lớn nhất của động cơ bước trong điều khiển vị trí là không cần phản hồi (khi điều khiển chính xác số bước quay của động cơ, đếm số bước có thể xác định vị trí chính xác mà không cần đến phản hồi vị trí) và điều khiển số trực tiếp (ghép nối trực tiếp với máy tính). Với khả năng điều khiển số trực tiếp, động cơ bước trở thành rất thông dụng trong các thiết bị hiện đại như robot công nghiệp, máy công cụ điều khiển số, các thiết bị ngoại vi của máy tính như trong máy in, bộ điều khiển bộ đĩa máy vi tính, máy vẽ...

Tuy vậy, phạm vi ứng dụng động cơ bước ở vùng công suất nhỏ và trung bình. Việc nghiên cứu nâng cao công suất của động cơ bước đang là vấn đề rất được quan tâm hiện nay. Ngoài ra nói chung hiệu suất của nó thấp hơn so với nhiều loại động cơ khác.

Các thông số của động cơ bước:

Góc quay:

Động cơ bước quay một góc xác định đối với mỗi xung kích. Góc bước θ càng nhỏ thì độ phân giải càng cao. Số bước s là một thông số quan trọng.

Tốc độ quay và tần số xung:
$$s = \frac{360^\circ}{\theta} \quad (1)$$

Tốc độ quay của động cơ bước phụ thuộc vào số bước trong một giây. Đối với hầu hết các động cơ bước, số xung cấp cho động cơ bằng số bước nên tốc độ có thể tính theo tần số xung f . Tốc độ quay của động cơ bước có bước tính theo công thức sau:

$$n = \frac{60f}{S} \quad (2)$$

Trong đó : n là tốc độ quay (vòng / giây), f là tần số bước (Hz), s là số bước.

Ngoài ra còn các thông số quan trọng khác như độ chính xác vị trí, tỷ số momen và quán tính roto. Độ chính xác vị trí của động cơ bước phụ thuộc vào đặc tính của động cơ, vào độ chính xác chế tạo... Tỷ số momen và quán tính roto có ảnh hưởng quyết định đến khả năng dừng ngay khi chuỗi xung điều khiển đã ngắt.

Các loại động cơ bước

Tùy theo kiểu của roto, động cơ bước được chia ra thành các loại sau:

- Động cơ bước loại từ trở biến đổi (VR).
- Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (PM).
- Động cơ bước kiểu lai (hybrid).

Tùy theo số cuộn dây độc lập trên stato động cơ bước được chia thành các loại: 2 pha, 3 pha hoặc 4 pha.

Động cơ bước có thể phân theo cách nối dây, không liên quan đến số pha.

a/ Hai pha: bốn đầu dây.

b/ Hai pha: 8 đầu dây.

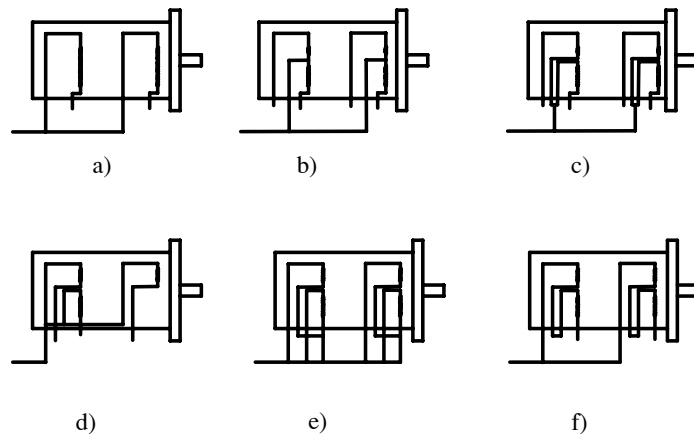
c/ Bốn pha: 8 đầu dây.

d/ Hai pha: 6 đầu dây.

e/ Ba pha : 4 đầu dây.

f/ Bốn pha: 8 đầu dây(nối tiếp).

Roto có nhiều cực, còn gọi là răng. Số cực của roto phối hợp với số cực của stato xác định giá trị góc bước θ . Như biểu thức (1) có góc bước θ bằng 360° chia cho số bước s . Góc bước lớn nhất là 90° ứng với động cơ có 4 bước. Phần lớn những động cơ bước hiện nay có số bước $s = 200$, nên $\theta = 1,8^\circ$.



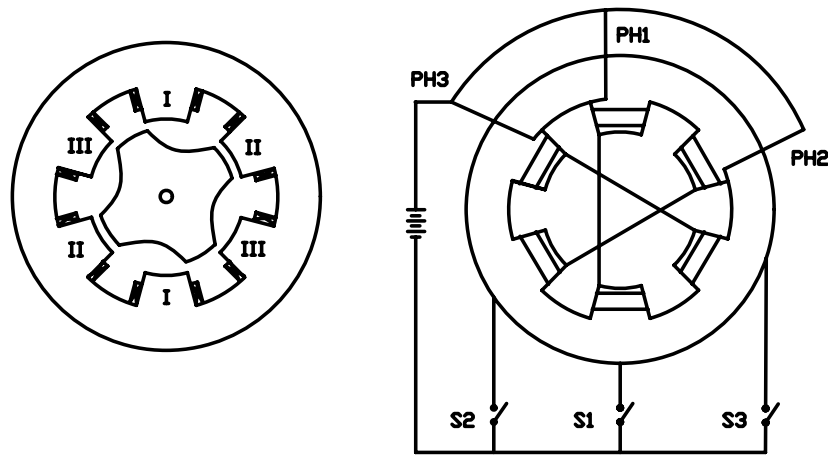
Hình 3 - 7: Pha của động cơ và các cách nối dây

Số bước càng lớn, độ phân giải càng cao và định vị càng chính xác. Trong thực tế cũng không thể tăng số bước lên quá cao. Tuy nhiên, có thể dùng công nghệ tạo bước nhỏ để chia bước thành hai nửa bước hoặc từ 10 đến 125 bước nhỏ. Có thể làm cho roto dừng lại ở nửa đường nếu cung cấp dòng điện như nhau cho cả hai cuộn α và β . Công nghệ tạo bước nhỏ, đòi

khi còn gọi là tạo vi bước, chỉ đơn giản là mở rộng phương pháp nói trên cho nhiều vị trí trung gian bằng cách cung cấp những giá trị dòng khác nhau cho mỗi cuộn dây. Kích thước bước nhỏ thường hay dùng nhất là $1/10$, $1/16$, $1/32$, $1/125$ của bước đầy. Ví dụ, nếu có 125 bước nhỏ trong một bước với 200 bước trong một vòng quay thì độ phân giải là $200 \times 125 = 25000$ bước nhỏ trong một vòng quay.

Động cơ bước loại từ trở biến đổi (VR).

Roto của động cơ bước VR làm bằng sắt non có nhiều răng. Stator cũng

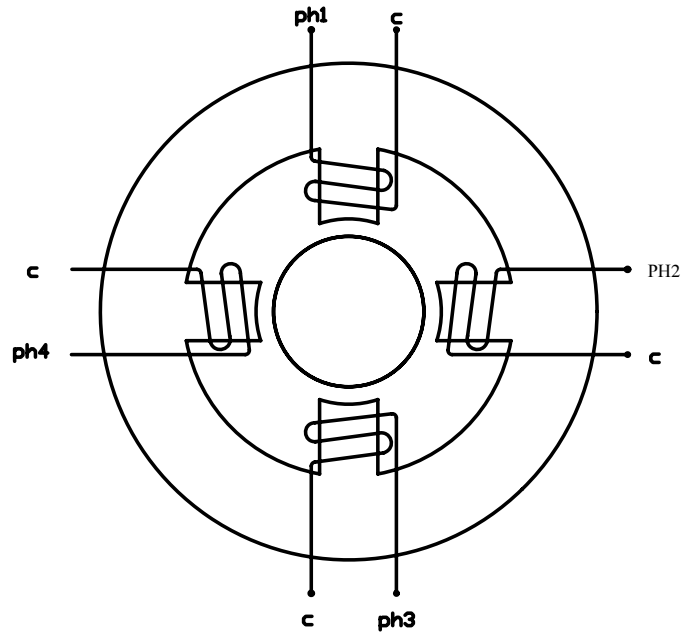


Hình 3 - 8 : Sơ đồ động cơ bước VR

có các răng cùng cuộn cảm. Khi dòng điện chạy qua một cuộn cảm trên stator sinh ra một từ trường làm cho răng trên roto bị hút đứng thẳng hàng với răng tương ứng trên stator. Khi dòng điện được cấp sang một cuộn cảm khác, roto chuyển dịch một góc bước. Góc bước của động cơ VR thường là $7,5^{\circ}$ hoặc 15° . Đặc điểm của động cơ bước VR là do roto sắt non có quán tính nhỏ hơn các loại khác, nên cho phép đáp ứng nhanh hơn. Tuy nhiên do roto không có từ trường nên không có momen dư do đó khi ngừng kích thích động cơ sẽ còn quay tự do.

Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (PM)

Động cơ bước PM có từ trường trong roto nên có momen giữ khi động cơ không được kích hoạt. Mỗi răng của từ trường đều hướng trực cực tính là

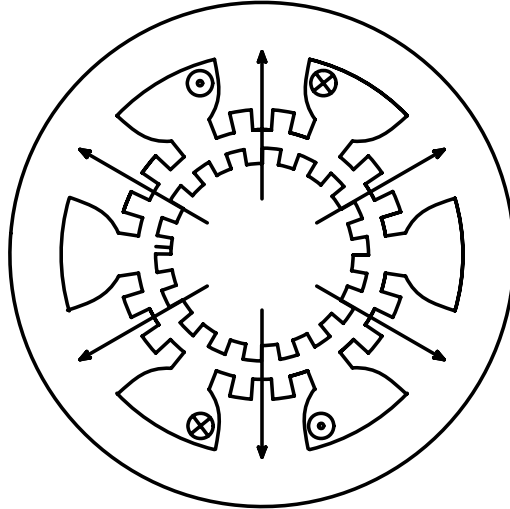


Hình 3 - 9: Sơ đồ động cơ bước PM 4 pha

nam hoặc bắc. Trong kỹ thuật hiện đại roto được làm ở dạng đĩa mỏng bằng vật liệu từ tính đặc biệt. Đĩa được nhiễm từ tới 50 cặp cực nam – bắc xen kẽ nhau. Một số động cơ bước có từ trường được đưa vào stato để tăng từ trường và tạo ra momen lớn hơn. Động cơ bước PM đòi hỏi ít năng lượng kích hoạt hơn các loại động cơ bước khác. Chúng còn có đặc tính tắt dao động tốt hơn. Góc bước của chúng bao gồm tất cả các góc bước chuẩn $1,8^{\circ}$, $7,5^{\circ}$, 15° , 30° , 45° , 90° . Trên hình(3-7) là sơ đồ động cơ bước PM 4 pha.

Động cơ bước kiểu lai (hybrid)

Động cơ bước kiểu lai kết hợp các đặc tính của động cơ bước VR và động cơ có bước PM. Động cơ bước kiểu lai có nhiều răng roto hơn và



Hình 3 - 10 : Sơ đồ động cơ bước kiểu lai

momen lớn hơn. Các góc bước thông dụng của động cơ bước kiểu lai là $0,9^{\circ}$ và $1,8^{\circ}$.

IV. CẢM BIẾN.

Trong tất cả các hệ thống tự động, thiết bị tiếp nhận thông tin về diễn biến của môi trường và về diễn biến của các đại lượng vật lý bên trong hệ thống được gọi là cảm biến. Khái niệm cảm biến trong tiếng Việt chưa thật chính xác với tiếng Anh (sensor), hay tiếng Pháp (capteur), vì nghĩa cảm biến trong tiếng Việt có phần hẹp hơn. Cảm biến đôi khi chỉ là các trang bị đơn giản dạng như công tắc mini, các công tắc hành trình, các thanh lưỡng kim (bimetal)...

Đối với người sử dụng, việc nắm được nguyên lý cấu tạo và các đặc tính cơ bản của cảm biến là điều kiện tiên quyết để đảm bảo sự vận hành tốt của hệ thống tự động. Trong các hệ thống vật lý, các đại lượng điều khiển rất đa dạng, do vậy các loại cảm biến cũng rất phong phú.

Trong robot công nghiệp, các thiết bị cảm biến trang bị cho robot để thực hiện việc nhận biết và biến đổi thông tin về hoạt động của bản thân robot và của môi trường, đối tượng mà robot phục vụ. Theo phạm vi ứng dụng các loại cảm biến dùng trong kỹ thuật robot có thể phân ra hai loại:

- Cảm biến nội tín hiệu (internal sensor) đảm bảo thông tin về vị trí, về vận tốc, về lực tác động trong các bộ phận quan trọng của robot. Các thông

tin này là những tín hiệu phản hồi phục vụ cho việc điều chỉnh tự động các hoạt động robot.

- Cảm biến ngoại tín hiệu (external sensor) cung cấp thông tin về đối tác và môi trường làm việc phục vụ cho việc nhận dạng các vật xung quanh, thực hiện di chuyển hoặc thao tác trong không gian làm việc. Để làm được việc đó, cần có các loại cảm biến tín hiệu xa, cảm biến tín hiệu gần, cảm biến “Xúc giác” và cảm biến “ thị giác” ... Để thực hiện nhiệm vụ các loại cảm biến nội tín hiệu và ngoại tín hiệu nói trên, có thể dùng nhiều kiểu cảm biến thông dụng hoặc chuyên dụng. Các kiểu cảm biến thông dụng không chỉ dùng cho kỹ thuật robot mà còn dùng nhiều trong các thiết bị kỹ thuật khác. Có nhiều tài liệu kỹ thuật về các kiểu cảm biến này.

Tùy theo các dạng tín hiệu cần nhận biết mà phân thành các kiểu cảm biến khác nhau:

Cảm biến lực, vận tốc, gia tốc, vị trí, áp suất, lưu lượng, nhiệt độ...

Tùy theo cách thức nhận tín hiệu lại phân ra các kiểu khác nhau. Ví dụ: cũng là cảm biến vị trí nhưng có kiểu cảm ứng, kiểu điện dung, kiểu điện trở, kiểu điện quang...

CHƯƠNG IV

HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ROBOT

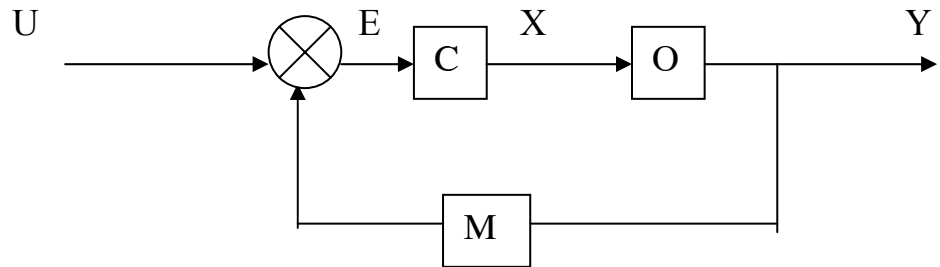
I. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ HỆ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG.

1. Khái niệm:

Hệ thống điều khiển tự động là hệ thống được xây dựng từ 3 bộ phận chủ yếu sau:

1. Thiết bị điều khiển C (Controller)
2. Đối tượng điều khiển O (Object)
3. Thiết bị đo lường M (Measuring device)

Đó là hệ thống có phản hồi (feedback) hay có liên hệ ngược. Sơ đồ đơn giản nhất về hệ thống điều khiển tự động :



U – Tín hiệu vào (input).

Y – Tín hiệu ra (output).

X – Tín hiệu điều khiển tác động lên đối tượng O.

E – Sai lệch điều khiển.

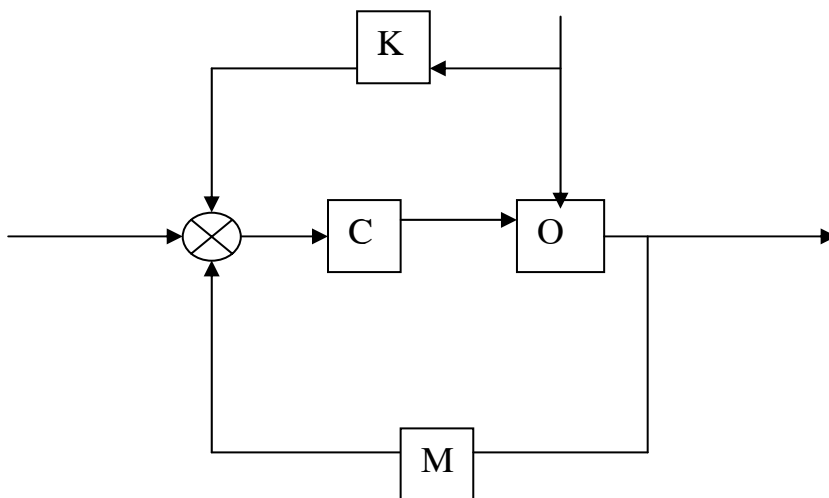
Z – Tín hiệu phản hồi (phản hồi âm kí hiệu bằng dấu (-) khi Z ngược dấu với tín hiệu V).

2. Nguyên tắc điều khiển :

a) Thông thường có 3 nguyên tắc điều khiển cơ bản

1. Nguyên tắc điều khiển theo độ sai lệch
2. Nguyên tắc điều khiển theo phương pháp bù nhiễu
3. Nguyên tắc điều khiển hỗn hợp theo độ sai lệch và bù nhiễu

Sơ đồ về hệ thống điều khiển theo nguyên tắc hỗn hợp



Nhiều $f(t)$ tác động lên đối tượng điều khiển. Ví dụ theo chiều hướng làm tăng tín hiệu ra $Y(t)$. Trong hệ có chứa một thiết bị bù K có tác dụng ngược dấu với f , nghĩa là V tác dụng bù về phía trước thiết bị điều khiển C để làm tín hiệu ra giảm bớt....

b) Ngoài các nguyên tắc điều khiển cơ bản người ta còn ứng dụng các nguyên tắc điều khiển khác như:

- Nguyên tắc điều khiển theo chương trình.
- Nguyên tắc điều khiển thích nghi.

II. PHÂN LOẠI HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN:

1. Phân loại thông thường:

- a. Hệ thống tuyến tính
- b. Hệ thống phi tuyến
- c. Hệ thống liên tục: khi các tín hiệu trong hệ là hàm liên tục theo thời gian
- d. Hệ thống rời rạc: Trong đó chỉ cần có một tín hiệu là hàm rời rạc theo thời gian
- e. Hệ thống tiên định là hệ thống trong đó tất cả các tín hiệu truyền là hàm theo thời gian xác định (không có tín hiệu ngẫu nhiên)
- f. Hệ thống ngẫu nhiên là hệ thống trong đó chỉ cần có 1 tín hiệu là hàm ngẫu nhiên
- g. Hệ thống tối ưu là hệ thống điều khiển trong đó thiết bị điều khiển có chức năng tổng hợp được một tín hiệu điều khiển $U(t)$ tác động lên đối tượng điều khiển để đạt một trạng thái tối ưu theo một chỉ tiêu nào đó
- h. Hệ thống thích nghi hay còn gọi là hệ thống tự chỉnh là hệ thống có khả năng một cách tự động thích ứng với những biến đổi của điều kiện môi trường và đặc tính của đối tượng điều khiển bằng cách thay đổi tham số và cấu trúc cấu sơ đồ của thiết bị điều khiển

2. Trong kĩ thuật người máy:

- a) Điều khiển chương trình : Việc điều khiển được thực hiện theo một chương trình định sẵn.
- b) Điều khiển thích nghi : việc điều khiển tùy thuộc vào thông tin nhận biết được trong quá trình làm việc về hiện trạng của môi trường thao tác và của bản thân người máy

3. Theo khả năng chuyển động của các người máy:

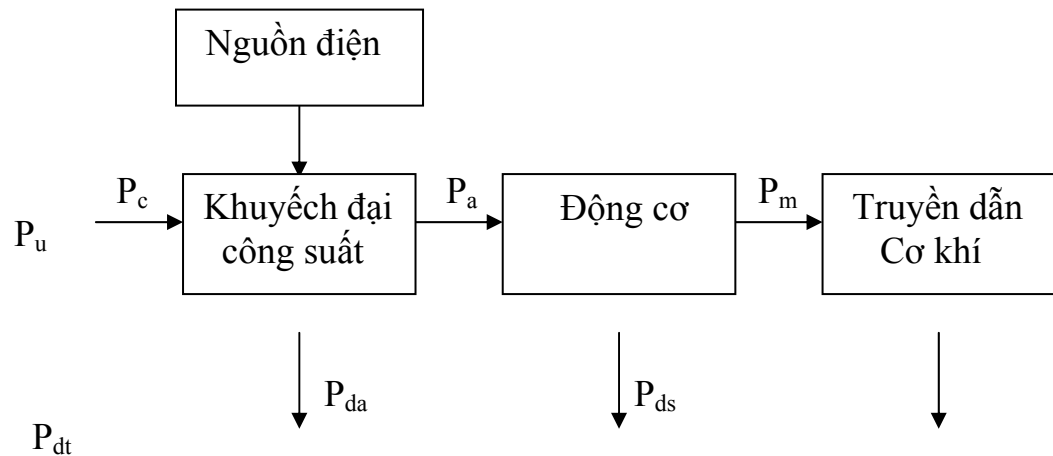
- a) Điều khiển theo chu tuyến: chuyển động thực hiện theo một đường liên tục
- b) Điều khiển theo vị trí: chuyển động được bảo đảm theo một số vị trí nhất định
- c) điều khiển theo chu kỳ: chuyển động được xác định bằng các vị trí đầu và cuối hành trình của mỗi bậc tự do

III. HỆ THỐNG CHẤP HÀNH.

Chuyển động của các khớp tay máy được thực hiện bởi hệ thống chấp hành. Nó gồm các bộ phận sau:

- Nguồn điện
- Khuyếch đại công suất
- Động cơ
- Truyền động cơ khí

Hình 4.1 là sơ đồ nối ghép hệ thống chấp hành, trong đó có thể hiện sự chuyển đổi năng lượng



Hình 4 - 1 : Sơ đồ hệ thống chấp hành

Để thực hiện quan hệ chung, kí hiệu P_c là tín hiệu điều khiển (thường là tín hiệu điện); P_u là công suất cơ học cần thiết để làm chuyển động khớp. Các đại lượng trung gian, gồm công suất điện cung cấp cho động cơ (điện, thủy lực hoặc khí nén) P_a ; công suất nguồn P_p (thường có cùng bản chất vật lý với P_a); công suất cơ học do động cơ phát ra P_m ngoài ra còn có các loại công suất tổn hao trên các khâu trung gian: khuyếch đại công suất, động cơ và truyền dẫn P_{da} , P_{ds} , P_{dt} . Xuất phát điểm để chọn các khâu trong hệ thống chấp hành là công suất có khí P để đảm bảo lực và vận tốc chuyển động của khớp.

Phần sau đây trình bày khái quát chức năng của các cụm chính:

1. Truyền dẫn cơ khí

Chuyển động tại các khớp của tay máy thường có vận tốc thấp và momen lớn, trong khi các động cơ thường làm việc với vận tốc lớn và momen nhỏ. Vì vậy, giữa động cơ và khớp thường có bộ phận biến tốc sử dụng vùng làm việc có lợi nhất của động cơ, thông qua bộ phận truyền dẫn này, công suất P_m trở thành P_u và bị tổn hao một lượng P_{dt} do ma sát. Khi chọn bộ phận truyền dẫn cần căn cứ vào công suất cần thiết, loại chuyển động của khớp và vị trí đặt động cơ so với khớp, vì bộ phận truyền dẫn không chỉ biến đổi giá trị công suất mà cả dạng chuyển động, ví dụ biến chuyển động quay của trục động cơ thành chuyển động tịnh tiến trong khớp. Nếu khéo bố trí động cơ và bộ phận truyền dẫn có thể giảm tiêu hao năng lượng. Ví dụ, nếu đặt động cơ và bộ phận truyền dẫn gần thân máy thì có thể tăng tỷ số công suất tiêu hao/ trọng lượng cơ cấu.

Trong robot thường sử dụng các loại truyền dẫn sau:

- Cơ cấu trục vít – bánh vít có tỷ số truyền lớn, cho phép đổi phương trục và thay đổi điểm tác dụng của lực.
- Cơ cấu vít me- đai ốc cho phép biến chuyển động quay của trục động cơ thành chuyển động thẳng tại khớp trượt. Vít me- đai ốc bị thường được dùng để giảm ma sát. Thường cơ cấu này được lắp có bộ đôi để giảm khe và tăng độ cứng vững.
- Truyền động đai răng và truyền động xích cho phép đặt động cơ xa trục khớp. Lực căng đai gây tải trọng phụ nên đai thường được dùng khi vận tốc chuyển động lớn và lực nhỏ. Ngược lại, xích hay bị dao động nên thường dùng khi vận tốc nhỏ.

Với giả thuyết chuyển động không có khe hở và không có trượt, tỷ số truyền của các bộ truyền động có khi là không đổi.

Ngày nay, người ta gắn trực tiếp rotor của động cơ lên trục quay của khớp mà không dùng truyền dẫn cơ khí trung gian. Điều đó loại trừ được ảnh hưởng của biến dạng cơ khí và khe hở, giảm tổn hao năng lượng. Tuy nhiên nó đòi hỏi các giải pháp kỹ thuật điều khiển để duy trì quan hệ tuyến tính truyền động trong dải rộng. Truyền động trực tiếp còn chưa phổ biến trong kỹ thuật robot vì lý do kết cấu

2. Động cơ

Động cơ là nguồn tạo động lực chuyển động cho các khớp. Tùy thuộc dạng năng lượng sử dụng, người ta dùng các loại động cơ khí nén, động cơ thủy lực và động cơ điện. Công suất và động cơ P là do tổn hao cơ khí,

thủy lực hoặc khí nén. Trong kỹ thuật robot người ta thường dùng các động cơ công suất từ vài chục wats đến hàng chục kilowat. Do đặc điểm sử dụng trong robot, chẳng hạn yêu cầu ‘bám sát” quỹ đạo thiết kế, định vị chính xác ... các động cơ phải có các tính chất sau:

- Quán tính nhỏ và tỷ số năng lượng tiêu hao/trọng lượng cao
- Có khả năng chịu quá tải và lực xung
- Có khả năng gia tốc tốt
- Dải tốc độ làm việc rộng ($1 \div 10.000$ v/ph)
- Độ chính xác định vị cao (ít nhất 1/1000 vòng tròn)
- Có thể làm việc trơn tru ở vận tốc thấp

Động cơ khí nén khó đáp ứng các yêu cầu trên, vì không thể khắc phục tính nén được của môi trường thể khí. Chúng thường chỉ được dùng cho các chuyển động đóng mở, ví dụ dùng cho tay khớp hoặc chuyển động điềm

Động cơ điện gồm các loại động cơ một chiều, xoay chiều thông dụng và động cơ servo, trong đó động cơ servo được dùng phổ biến hơn cả. Động cơ servo khác các loại động cơ bình thường khác ở chỗ nó được điều khiển tự động bằng 1 hệ thống điều khiển điện tử có phản hồi. Tín hiệu phản hồi được lấy từ sensor vận tốc hoặc sensor vị trí, giám sát liên tục chuyển động tương đối giữa rotor và stator, từ đó sinh ra tín hiệu điều khiển tốc độ và chiều quay của rotor. Động cơ servo có đặc tính động lực học tốt, đồng thời kết cấu đơn giản, làm việc tin cậy nên ngày càng được ưu dùng. Động cơ điện một chiều cổ điển không được ưa chuộng vì có bộ góp điện gây nhiều phiền phức khi sử dụng đã được thay bằng động cơ điện một chiều không cổ góp (Brushless DC Servomotor). Động cơ bước, do đó công suất nhỏ, độ chính xác thấp (do không có mạch phản hồi vị trí, do đặc tính động lực học phụ thuộc tải trọng, thậm chí có hiện tượng “bỏ bước” khi tải trọng lớn), nhưng lại rẻ tiền nên được dùng cho những nơi không đòi hỏi độ chính xác điều khiển cao.

Động cơ thủy lực có các đặc tính động lực học tương đương với động cơ điện, có thể trực tiếp sinh ra chuyển động thẳng và chuyển động quay.

Mặc dù, về đại thể, bản thân động cơ điện và động cơ thủy lực có đặc tính động lực học tương đương nhau, nhưng chúng khác nhau về đặc điểm sử dụng.

Về phương diện đó, động cơ điện có ưu điểm sau:

- Dễ cung cấp năng lượng, vì hệ thống cấp điện có ở khắp nơi.
- Giá rẻ, chủng loại phong phú và dải công suất rộng.
- Hiệu suất biến đổi năng lượng cao.
- Dễ sử dụng và dễ chăm sóc.
- Không gây ô nhiễm môi trường.

Bên cạnh đó chúng có các nhược điểm sau:

- Phát nóng ở trạng thái tĩnh hoặc khi ở tốc độ thấp, vì vậy thường phải dùng phanh.
- Cần bảo vệ đặc biệt nếu làm trong môi trường dễ cháy.

Ngược lại động cơ thủy lực có các ưu điểm sau:

- Làm việc tốt ở trạng thái tĩnh và tốc độ thấp mà không phát nóng.
- Tự bôi trơn và tản nhiệt tốt nhờ lưu thông của chất lỏng trong khi làm việc.
- An toàn trong mọi môi trường.
- Có công suất riêng theo trọng lượng cao.

Bên cạnh đó, chúng có các nhược điểm sau:

- Cần trạm cung cấp thủy lực riêng.
- Đắt tiền, ít chủng loại, khó lắp đặt, khó chăm sóc và bảo trì.
- Hiệu suất biến đổi năng lượng thấp.
- Dễ gây ô nhiễm môi trường do dầu trong hệ thống bị rò khi vận hành hoặc có dầu thải khi bảo dưỡng, sửa chữa.

Xét về khía cạnh điều khiển và vận hành, động cơ điện dễ điều khiển và có thể thay đổi chế độ làm việc một cách linh hoạt. Đặc tính động lực học của động cơ thủy lực còn phụ thuộc vào nhiệt độ dầu. Động cơ điện làm việc tốt ở tốc độ cao và tải trọng nhỏ nên thường truyền động trực tiếp.

3. Khuyếch đại công suất.

Bộ khuyếch đại công suất có nhiệm vụ biến đổi trạng thái năng lượng (gọi chung là lưu và áp) của nguồn cung cấp sao cho phù hợp với yêu cầu của động cơ. Công suất cung cấp tỷ lệ với tín hiệu điều khiển P_c và thường lớn hơn công suất điều khiển nên bộ biến đổi này có tên là bộ khuyếch đại công suất. Một bộ phận công suất vào, gồm P_c và P_p , sau khi biến đổi được cung cấp cho động cơ (P_a). Phần khác (P_{da}) bị tổn thất trên bản thân bộ biến đổi.

Đối với động cơ, bộ biến đổi thường phải tiến hành biến điện năng dưới dạng xoay chiều thông dụng, ví dụ 230/380V - 50Hz thành điện một chiều (cho động cơ một chiều) hoặc thành điện xoay chiều với điện áp và tần số thích hợp (cho động cơ xoay chiều). Các bộ biến đổi dùng cho động cơ điện một chiều được gọi là AC và DC converter, hay là chopper. Loại dùng cho động cơ một chiều không chổi than được gọi là DC to AC converter hay inverter. Để điều khiển động cơ xoay chiều không đồng bộ, có thể dùng bộ biến đổi bề rộng (pulse width modulator) hoặc bộ biến đổi tần số (frequency modulator hay frequency inverter). Các thông số quan trọng nhất của bộ biến đổi là hiệu suất biến đổi $P_a/(P_c + P_p)$ và tỷ số truyền P_a/P_c . Giá trị của chúng thường vào khoảng 0,9 và 10^6 .

Động cơ thủy lực được điều khiển bằng cách thay đổi lưu lượng chất lỏng cung cấp cho nó. Cơ cấu điều khiển thường là các van tiết lưu, cho phép thay đổi lưu lượng cung cấp theo tín hiệu điện.

4. Nguồn cung cấp chính.

Nhiệm vụ của nguồn cung cấp chính là nguồn năng lượng tới đầu vào của bộ biến đổi.

Nếu là điện năng thì nguồn cung cấp thường là biến áp. Nếu dùng dòng điện một chiều thì phải có chỉnh lưu.

Nguồn cung cấp cho các động cơ thủy lực là trạm bơm các loại, như bơm bánh răng, cánh gạt, piston,... Truyền động cho chúng là các động cơ sơ cấp,

thường là động cơ điện xoay chiều không đồng bộ. Ngoài ra, trong hệ thống cung cấp còn có bể chứa (để tránh hiện tượng mạch đập), bộ lọc, van an toàn, an toàn... giúp cho hệ thống làm việc ổn định, an toàn, vai trò của chúng giống như tụ điện là phẳng và các kiểu bộ lọc khác trong hệ thống nguồn điện.

IV. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN.

các phần trên đã trình bày về hệ thống cơ khí (xương cốt) và hệ thần kinh ngoại vi. Muốn điều khiển được robot cần một hệ thống thần kinh trung ương, tức là bộ não. Đó là hệ thống điều khiển.

1. Kiến trúc chức năng.

Hệ thống điều khiển robot cần có các khả năng sau:

- Điều khiển chuyển động của các cơ cấu cơ khí (manipulation ability)
- Thu nhận thông tin về trạng thái của hệ thống và về môi trường công tác (sensory ability)
- Phân tích thông tin và phản ứng trước điều kiện thực tế trong phạm vi xác định (intelligent behavior ability)
- Lưu trữ, xử lý và cung cấp thông tin về hệ thống (data processing ability)

Muốn vậy, bộ điều khiển cần có các khối (modul) cơ bản:

- Modul cảm biến thu nhận, biến đổi, hiệu chỉnh, tổng hợp thông tin về trạng thái của hệ thống và về môi trường.
- Modul tổng hợp, thiết lập mô hình tổng hợp về hệ thống và môi trường trên cơ sở thông tin do modul cảm biến cung cấp.
- Modul ra quyết định, đưa ra phương thức hành động. Từ chiến lược hành động, lập kế hoạch, điều khiển hoạt động của cơ cấu để thực hiện nhiệm vụ theo tình huống cụ thể.

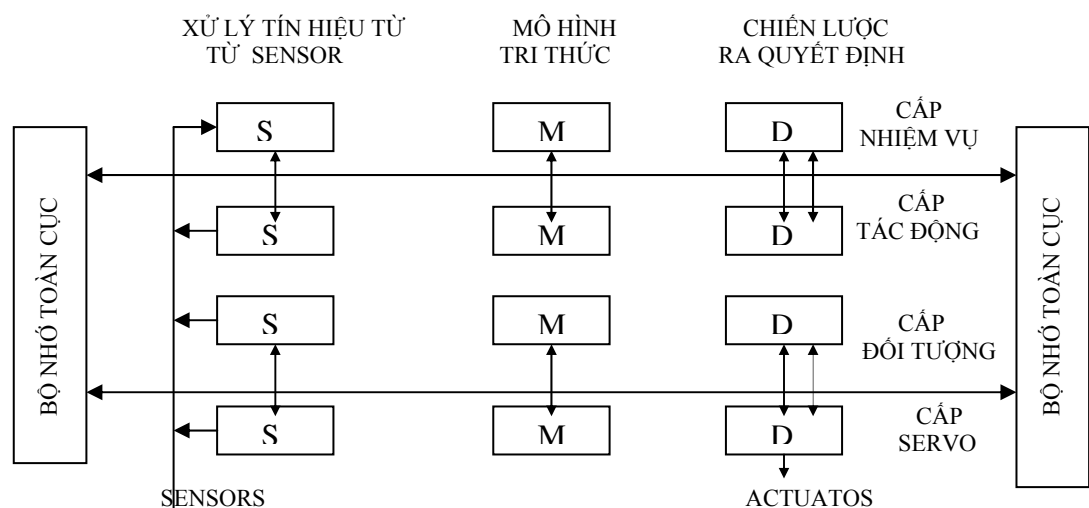
Các modul trên tự động liên kết với nhau theo nhiệm vụ, được quy định trong chương trình và có tính đến khả năng thích ứng của hệ thống trong tình huống cụ thể. Tuy vậy vẫn cần có giao diện với người vận hành để khi cần con người có thể kiểm tra, giám sát, can thiệp vào hệ thống.

Tính đến cường độ trao đổi thông tin giữa các modul với nhau và giữa hệ thống với người vận hành cần có bộ nhớ chung để lưu trữ các thông tin ban đầu và thông tin cập nhật của hệ thống và môi trường.

Cấu trúc chức năng trên được phân cấp theo thứ bậc. Cấu trúc bậc thấp liên quan đến các dịch chuyển vật lý. Cấu trúc bậc cao gắn với chức năng phân tích logic. Các bậc liên hệ với nhau thông qua dòng dữ liệu. Sơ đồ trên hình 4-2 cho phép nhìn nhận tổng quan về cấu trúc, chức năng và cấu trúc thứ bậc của hệ điều khiển robot.

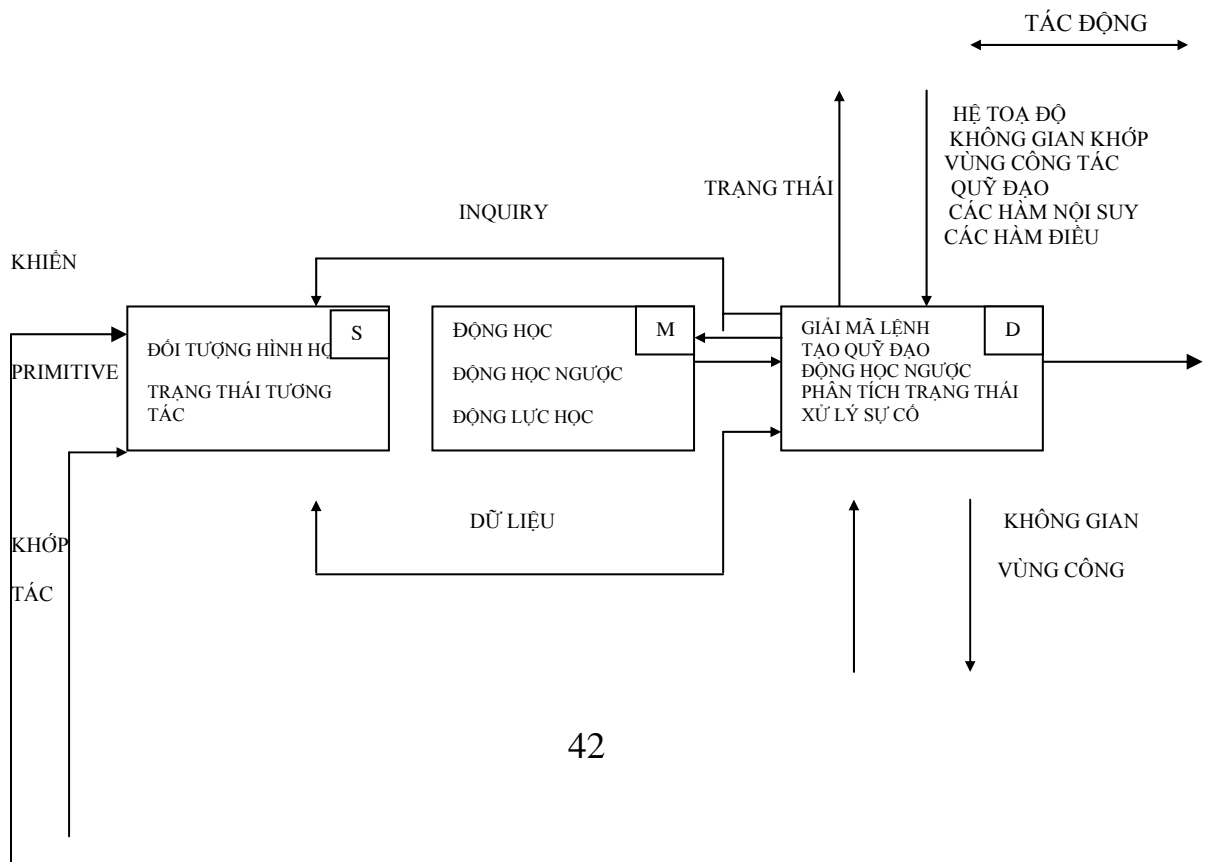
Tuỳ theo yêu cầu đối với hoạt động của robot, các chức năng được phân cấp với mức độ khác nhau. Nói chung, có thể phân thành 4 cấp chính:

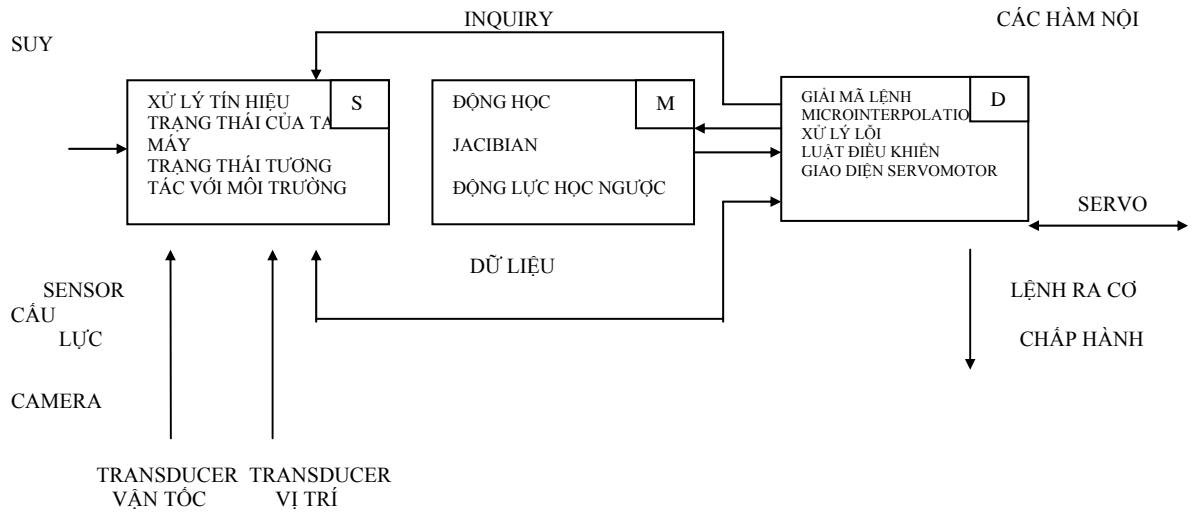
- Cấp nhiệm vụ (task level) giải quyết các vấn đề chung về nhiệm vụ. So sánh yêu cầu đặt ra với khả năng chấp nhận của hệ thống, tình trạng hiện tại của hệ thống và môi trường...
- Cấp chiến lược (action level) giải quyết phương thức hành động chung, ví dụ hệ toạ độ, vị trí của phần công tác, các điểm phải đi qua mà nội suy sẽ sử dụng.
- Cấp kế hoạch (primitive level) thiết lập quỹ đạo, tính toán vận động học và vận động học ngược, phân tích tình trạng hệ chấp hành...
- Cấp thừa hành (servo level), liên quan đến các hoạt động cụ thể như giải mã lệnh, nội suy, xử lý lỗi, giao diện với cơ cấu chấp hành.



Hình 4 - 2: Cấu trúc chức năng và thứ bậc của hệ điều khiển robot

Sơ đồ trong hình 4-2 cho phép hình dung chi tiết về sự phân cấp điều khiển. Trên thực tế, không phải hệ điều khiển robot nào cũng có đầy đủ nhiệm vụ. Ngược lại, một số loại robot, như robot dùng trong vũ trụ, trong quân sự, trong y học... có nhiều cấp điều khiển hơn.





4 - 3: Phân cấp điều khiển robot

2. Bộ điều khiển.

a. Bộ xử lý trung tâm

Trung tâm của bộ điều khiển là CPU chịu trách nhiệm quản lý thông tin về bộ nhớ, quản lý xuất nhập, xử lý thông tin tính toán, điều khiển và đưa ra các tín hiệu điều khiển.

Robot trở nên phổ biến từ khi các máy tính - bit như loại Apple 2E trở nên thông dụng. Nhược điểm cơ bản của bộ điều khiển này là tốc độ xử lý chậm, dung lượng bộ nhớ thấp điều này làm hạn chế khả năng lập trình cũng như hạn chế số vị trí trong vùng không gian làm việc của robot

Robot hiện nay được trang bị bộ xử lý 16-bit có kèm theo bộ đồng xử lý để phục vụ cho việc tính toán được sử dụng nhiều nhất là các bộ xử lý họ Intel 8086 và 8088. Điều này khắc phục các hạn chế của máy tính 8-bit

Các bộ vi xử lý 42-bit là bộ não cho các bộ điều khiển của thế hệ robot hiện đại nhờ ở khả năng tăng tốc độ xử lý và dung lượng của bộ nhớ. Máy tính 42-bit cho phép ghi nhớ được một số lượng lớn các vị trí, điều này cần thiết cho các robot điều khiển theo đường dẫn liên tục

b. Bộ nhớ

Bộ nhớ dùng để lưu giữ chương trình và những thông tin phản hồi từ môi trường thao tác

Các bộ nhớ Rom được cung cấp cho các robot chiếm giữ 1 phần bộ nhớ, các chương trình xuất / nhập cơ bản nằm trong bộ nhớ Rom. Các chương trình này cho phép máy tính nhận và chuyển thông tin với các mạch giao tiếp cảm biến, mạch giao tiếp của các cơ cấu tác động, mạch truyền thông nối tiếp.

Rom cũng chứa các chương trình điều khiển servo, sử dụng tín hiệu phản hồi từ các cảm biến để tính toán và xác định sai lệch giữa vị trí (vận tốc, gia tốc, momen) hiện tại với vị trí yêu cầu.

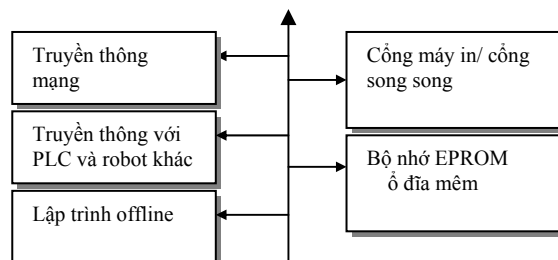
Hầu hết các bộ điều khiển robot có kèm theo các chương trình trong bộ nhớ Rom cho phép quản lý được toàn bộ chuyển động của robot Rom phải chứa các chương trình khởi động hệ thống. Hệ thống khởi động cho phép người sử dụng đưa ra các lệnh như run, learn, edit...

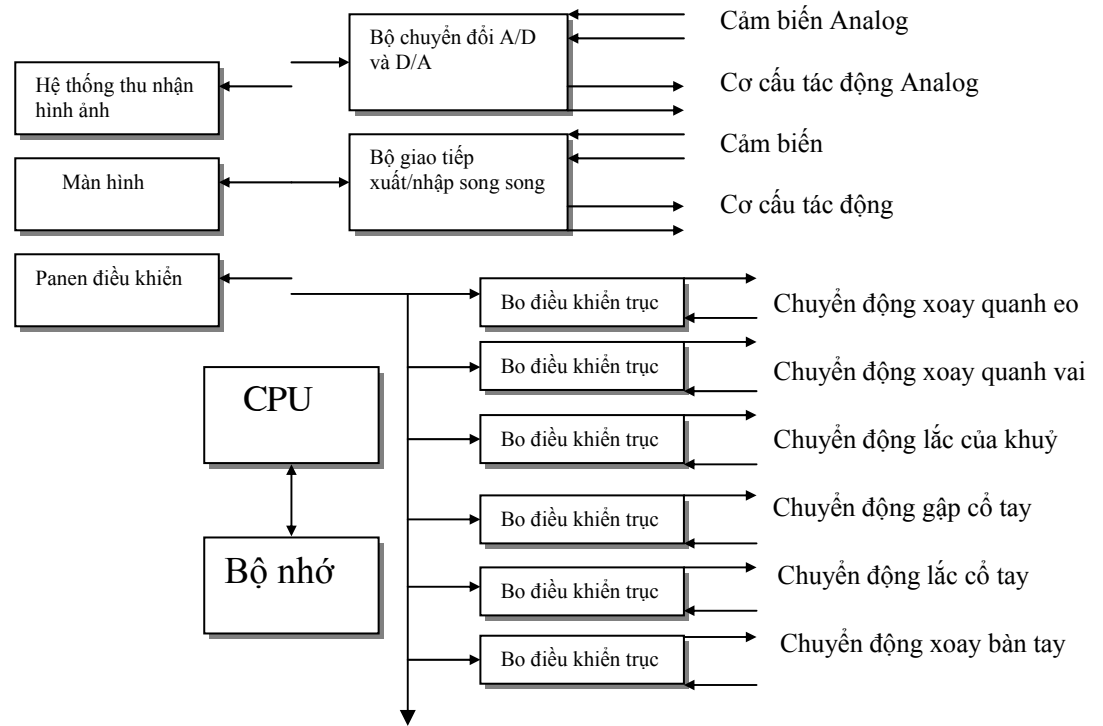
Cuối cùng Rom còn kèm theo chương trình ứng dụng để đáp ứng việc hướng dẫn cho người viết chương trình.

Bộ nhớ Rom có công dụng lưu chương trình của người sử dụng. Sử dụng trong chế độ huấn luyện, lưu trữ giá trị các biến hiện hành các thông số cài đặt và các dữ liệu làm việc được yêu cầu bởi chương trình bộ nhớ Rom.

c. Bộ xuất / nhập

Bộ xuất nhập dùng để đưa chương trình vào bộ xử lý và kiểm tra theo dõi hoạt động trong quá trình thao tác. Cấu hình của bộ xuất / nhập bao gồm bàn phím, màn kính, các bo mạch được bố trí các cổng giao tiếp xuất / nhập dạng nối tiếp và song song





Hình 4-4: Sơ đồ minh họa khả năng xuất / nhập của bộ điều khiển robot

d. Các loại bộ điều khiển

***) Bộ điều khiển trong hệ thống hở**

Robot hoạt động trong hệ thống hở không nhận biết được vị trí khi nó dịch chuyển từ điểm này sang điểm khác. Trên mỗi trục chuyển động thường có điểm dừng ở một vài vị trí xác định để kiểm tra độ chính xác của dịch chuyển.

Cấu tạo : gồm cơ cấu khí bên trong robot, dùng thiết lập vị trí chính xác và các thiết bị bên ngoài xử lý và truyền dẫn tín hiệu.

Các cơ cấu định vị bên trong gồm:

+) các cử chặn hạn chế hành trình cố định giới hạn sự dịch chuyển của cơ cấu tác động thủy lực hay khí nén ở cuối hành trình hay ở một khoảng cách xác định nào đó.

+) Các cử chặn hạn chế hành trình có thể điều chỉnh vị trí

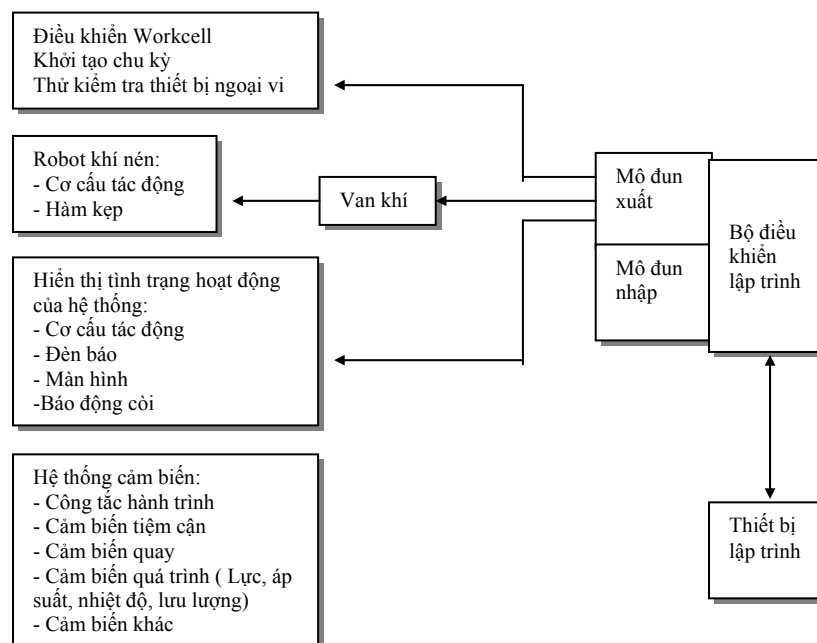
+) Các công tắc hạn chế hành trình

+) Động cơ bước có góc quay tùy vào số xung cung cấp. Động cơ bước ít dùng trong công nghiệp nhưng thường dùng trong phần cứng phụ như bàn định vị, để xoay cho robot....

+) Thiết bị đảm bảo sự tuần tự của robot

+) Bộ lập trình trống : người ta điều khiển tuần tự bằng cách xếp đặt các cam lên bề mặt tang trống. Các cam này tác động lên công tắc điện hay các van thủy lực (khí nén) chính các cam này kiểm soát sự dịch chuyển của mỗi trục robot. Kiểm soát bằng số lượng cam và tốc độ của tang trống.

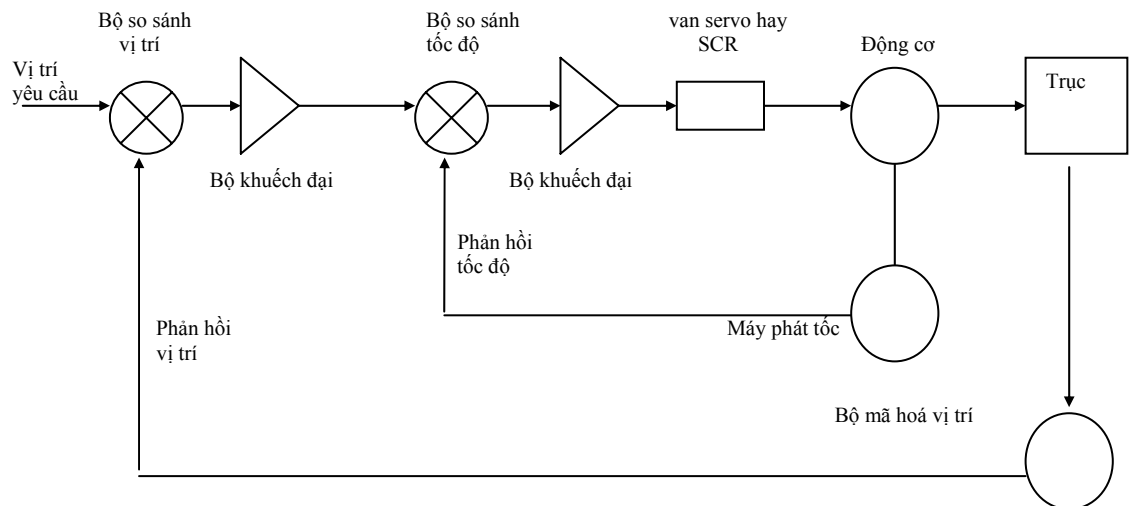
+) Logic khí nén và các phần tử logic khí nén: thời gian tuần tự dịch chuyển của robot được xác định bằng cách liên kết hợp lý các phần tử khí nén.



Hình4 - 5: Sơ đồ khối điều khiển kiểu vòng hở kết hợp với các công tắc hành trình

*) Điều khiển robot trong hệ thống kín

Sơ đồ sau là sơ đồ khối của một hệ thống điều khiển kín (hệ thống servo) sử dụng trọn điều kiện vị trí. ở đây mạch điều khiển được trang bị hai loại cảm biến là cảm biến vị trí và cảm biến vận tốc để kiểm soát liên tục sự thay đổi vị trí và vận tốc trên một trong sáu trục của robot.



Hình 4-6: Sơ đồ khối của một hệ thống kín

Ưu điểm của hệ thống servo;

- Khả năng định vị tốt của robot nhờ hệ thống điều khiển servo sẽ giảm đi độ phức tạp của tay gắp.
- Robot có khả năng thực hiện nhiều chuyển động có yêu cầu phức tạp đồng thời có khả năng thực thi nhiều chương trình để đáp ứng theo các yêu cầu sản xuất có trình tự thay đổi khác nhau, giúp cho hệ thống sản xuất có tính linh hoạt cao.

3. Hàm truyền chuyển động mỗi khớp động.

Trong cơ cấu tay máy mỗi bậc tự do thường được điều khiển bằng một hệ thống truyền động riêng. Truyền động có thể là thuỷ lực, khí nén nhưng nhiều hơn cả là bằng động cơ điện một chiều

Sơ đồ sau là sơ đồ động cơ điện một chiều với tín hiệu vào là điện áp V_a đặt vào phần ứng, tín hiệu ra là góc quay θ_m của trục động cơ có kích từ cho động cơ và kích từ từ độc lập

Trục động cơ thường nối liền với hộp giảm tốc rồi tới trục phụ tải. Gọi n là tỷ số truyền, θ_L là góc quay của trục phụ tải, ta có:

$$\left. \begin{aligned} \theta_L(t) &= n\theta_m(t) \\ \dot{\theta}_L(t) &= n\dot{\theta}_m(t) \\ \ddot{\theta}_L(t) &= n\ddot{\theta}_m(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Momen trên trục động cơ bằng tổng momen cần để động cơ quay cộng với momen phụ tải quy về trục động cơ

$$M(t) = M_m(t) + M_L^*(t) \quad (2)$$

Ký hiệu J_m - momen quán tính của động cơ

J_L - momen quán tính của phụ tải

$$\text{Ta có : } M_m(t) = J_m \ddot{\theta}_m(t) + f_m \dot{\theta}_m(t) \quad (3)$$

$$M_L(t) = J_L \ddot{\theta}_L(t) + f_L \dot{\theta}_L(t) \quad (4)$$

Trong đó F_m và F_L là hệ số cản của động cơ và của phụ tải

Theo định luật bảo toàn năng lượng, công do phụ tải sinh ra tính trên trục phụ tải là $M_L \dot{\theta}_L$ phải bằng công quy về trục động cơ $M_m \dot{\theta}_m$. Từ đó ta có:

$$M_L^*(t) = \frac{M_L(t)\dot{\theta}_L(t)}{\dot{\theta}_m(t)} = nM_L(t) \quad (5)$$

tính tới (1) và (4) ta có:

$$M_L^*(t) = n^2 [J_L \ddot{\theta}_m(t) + f_L \dot{\theta}_m(t)] \quad (6)$$

thay (3) và (6) vào (2) ta có:

$$M(t) = (J_m + n^2 J_L) \ddot{\theta}_m(t) + (f_m + n^2 f_L) \dot{\theta}_m(t) \quad (7)$$

$$M(t) = J\ddot{\theta}_m(t) + f\dot{\theta}_m(t) \quad (8)$$

Với $J = J_m + n^2 J_L$

$$f = f_m + n^2 f_L$$

Trong đó : J - momen quán tính tổng hiệu dụng

F - hệ số tổng hiệu dụng

Bởi vì momen trên trục động cơ phụ thuộc tuyến tính với cường độ dòng điện phần ứng và không phụ thuộc vào góc qua và vận tốc góc.

$$M(t) = K_a i_a(t) \quad (9)$$

Với i_a – cường độ dòng điện

K_a – hệ số tỉ lệ momen

Đối với mạch điện phần ứng

$$U_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (10)$$

Với R_a, L_a - điện trở và điện cảm phần ứng

e_b - sức phản điện động của động cơ

$$e_b(t) = K_b \dot{\theta}_m(t) \quad (11)$$

K_c – hệ số tỉ lệ với sức phản điện – n động

Dùng phép biến đổi laplace, từ (10) ta có :

$$I_a(s) = \frac{U_a(s) - sK_b \theta_m(s)}{R_a + sL_a} \quad (12)$$

Ta có :

$$M(s) = s^2 J \ddot{\theta}_m(s) + s f \dot{\theta}_m(s) \quad (13)$$

Từ (9) ta có :

$$M(s) = K_a I_a(s) = K_a \left[\frac{U_a(s) - sK_b \theta_m(s)}{R_a + sL_a} \right] \quad (14)$$

Từ (13) và (14) ta có:

$$\frac{\theta_m(s)}{U_a(s)} = \frac{K_a}{s[s^2 J L_a + (L_a f + R_a J)s + R_a f + K_a K_b]} \quad (15)$$

Đây là hàm truyền cần xác định, nó là tỷ số giữa tín hiệu ra (góc quay θ_m) và tín hiệu vào của hệ thống (điện áp V_a)

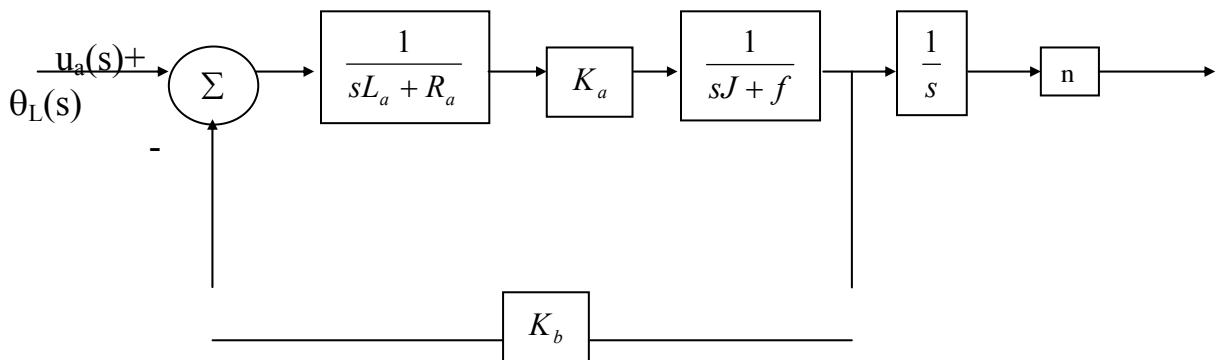
Biến đổi (15) dưới dạng sau:

$$\frac{\theta_m(s)}{U_a(s)} = \frac{K_a}{s[(sL_a + R_a)(sJ + f) + K_a K_b]} \quad (16)$$

Bởi vì hệ hống gồm có cả động cơ và phụ tải nên tín hiệu ra là góc quay của trục phụ tải θ_L như trong công thức (1). Cuối cùng hàm truyền chuyển động một bậc tự do của tay máy là :

$$\frac{\theta_L(s)}{U_a(s)} = \frac{nK_a}{s[(sL_a + R_a)(sJ + f) + K_a K_b]} \quad (17)$$

và sơ đồ khối tương ứng:



Hàm truyền chuyển động của một bậc tự do

Để đơn giản hoá có thể không xét đến ảnh hưởng của điện cảm phần ứng là L_a vì nó thường quá nhỏ so với các nhân tố ảnh hưởng cơ khí khác. Phương trình (17) còn lại:

$$\frac{\theta_L(s)}{U_a(s)} = \frac{nK_a}{s[(sR_aJ + R_af + K_aK_b)]} \quad (18)$$

4. Điều khiển chuyển động mỗi khớp động.

Nhiệm vụ điều khiển lúc này là làm sao cho động cơ dịch chuyển đi một góc bằng góc quay đã tính toán để đảm bảo theo quỹ đạo đã chọn, để điều khiển theo quỹ đạo phải đặt điện áp và động cơ tỷ lệ thuận với độ sai lệch góc quay của khớp động

$$U_a(t) = \frac{K_p e(t)}{n} = \frac{K_p [\tilde{\theta}_L(t) - \theta_L(t)]}{n} \quad (19)$$

Với $K_{p_}$ - hệ số truyền tín hiệu phản hồi về vị trí

$$e(t) - \text{độ sai lệch góc quay} : e(t) = \tilde{\theta}_L(t) - \theta_L(t)$$

Giá trị góc quay tức thời $\tilde{\theta}_L(t)$ được đo báo bằng cảm biến quang học hoặc chiết áp

Biết đổi laplace (19):

$$U_a(s) = \frac{K_p [\tilde{\theta}_L(s) - \theta_L(s)]}{n} = \frac{K_p E(s)}{n} \quad (20)$$

Thay (20) vào (18)

$$\frac{\theta_L(s)}{E(s)} = \frac{K_a K_b}{s[sR_aJ + R_af + K_aK_b]} = G(s) \quad (21)$$

Sau khi biến đổi đại số đơn giản ta có hàm truyền

$$\frac{\theta_L(s)}{\tilde{\theta}_L(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{K_a K_p}{s^2 R_a J + s(R_a f + K_a K_b) + K_a K_p} = \frac{K_a K_p / R_a J}{s^2 + \frac{[R_a f + K_a K_b]}{R_a J} s + \frac{K_a K_p}{R_a J}} \quad (22)$$

Từ pt (22) hệ điều chỉnh tỷ lệ dịch chuyển mỗi khớp động là hệ bậc 2. Nếu các hệ số phương trình bậc 2 này là dương thì hệ sẽ ổn định. Để nâng cao đặc tính động lực học của hệ và để giảm sai số tĩnh có thể tăng hệ số K_p và xét tới đạo hàm của độ sai lệch dịch chuyển qua hệ số k . Muốn thế thì điện áp điều khiển động cơ sẽ tỉ lệ thuận với độ sai lệch dịch chuyển và đạo hàm của nó:

$$U_a = \frac{K_p[\tilde{\theta}_L(t) - \theta_L(t)] + K_v[\dot{\tilde{\theta}}_L(t) - \dot{\theta}_L(t)]}{n} = \frac{K_p e(t) + K_v \dot{e}(t)}{n} \quad (23)$$

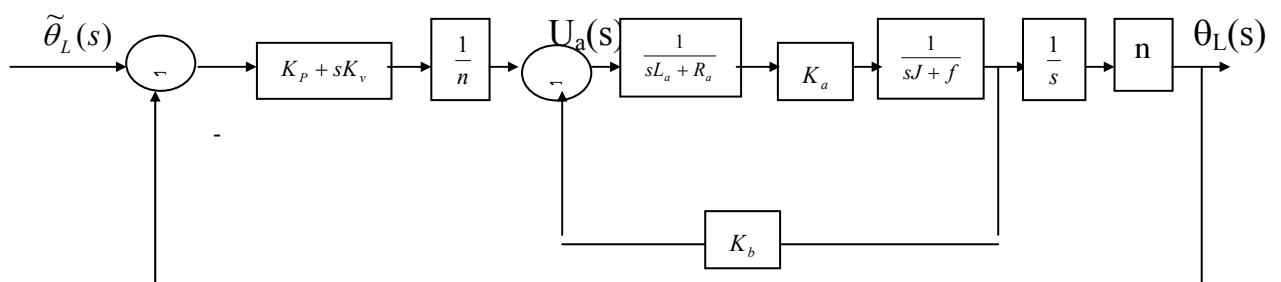
Như vậy khi có liên hệ phản hồi hệ thống trở thành khép kín

Sau khi biến đổi laplace biểu thức (23) và thay U_a vào (21) ta có hàm truyền:

$$\frac{\theta_L(s)}{E(s)} = \frac{K_a K_b}{s[sR_a J + R_a f + K_a K_b]} = \frac{K_a K_v s + K_a K_p}{s(sR_a J + R_a f + K_a K_b)} = G_v(s) \quad (24)$$

Từ đó có:

$$\frac{\theta_L(s)}{\tilde{\theta}_L(s)} = \frac{G_v(s)}{1 + G_v(s)} = \frac{K_a K_v s + K_a K_p}{s^2 R_a J + s(R_a f + K_a K_b + K_a K_v) + K_a K_p} \quad (25)$$



Sơ đồ điều khiển chuyển dịch 1 khớp động có liên hệ phản hồi

5. Đánh giá đặc tính động lực học của hệ điều khiển.

Trước hết cần nghiên cứu phạm vi thay đổi hệ số truyền phản hồi về vị trí và vận tốc (hệ số K_p và hệ số K_v)

Như đã biết, phương trình đặc trưng của hệ bậc 2 có dạng chuẩn như sau:

$$S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2 = 0 \quad (26)$$

Với ξ và ω_n - hệ số giảm chấn và tần số riêng của hệ dao động

Đổi chiều giữa 2 phương trình (25) và (26) ta có:

$$\omega_n^2 = \frac{K_a K_p}{J R_a} \quad (27)$$

$$2\xi\omega_n = \frac{R_a f + K_a K_b + K_a K_v}{J R_a} \quad (28)$$

Để đảm bảo chế độ làm việc có giảm chấn cần thiết thì $\xi \geq 1$. Do vậy :

$$\xi = \frac{R_a f + K_a K_b + K_a K_v}{2\sqrt{K_a K_p J R_a}} \geq 1 \quad (29)$$

Từ điều kiện (29):

$$K_v \geq \frac{2\sqrt{K_a K_p J R_a} - R_a f - K_a K_b}{K_a} \quad (30)$$

Để tránh dòng điện cộng hưởng cần chọn

$$\omega_n \leq 0,5\omega_r \quad (31)$$

Tần số cộng hưởng của hệ kết cấu chủ yếu phụ thuộc vào vật liệu chế tạo máy. Nếu gọi độ cứng vững của hệ khớp động là K_{er} thì momen gây nên $K_{ev}\theta_m(t)$, cân bằng với momen quán tính của động cơ

$$J\ddot{\theta}_m(t) + K_{ev}\theta_m(t) = 0 \quad (32)$$

Pt đặc trưng của biểu thức (32) sau khi biến đổi laplace là :

$$Js^2 + K_{cv} = 0 \quad (33)$$

Giải phương trình trên tìm tần số cộng hưởng

$$\omega_r = \left(\frac{K_{cv}}{J} \right)^{1/2} \quad (34)$$

Nếu ω_0 là tần số cộng hưởng đo được ứng với momen quán tính s_0 đã biết thì đối với momen quán tính S_1 tần số cộng hưởng tương ứng là :

$$\omega_r = \omega_0 \left(\frac{J_0}{J} \right)^{1/2} \quad (35)$$

Theo điều kiện (31), (27) có:

$$0 < K_p \leq \frac{\omega_r^2 J R_a}{4K_a} \quad (36)$$

Tính thêm biểu thức (34) ta có:

$$0 < K_p \leq \frac{\omega_0^2 J_0 R_a}{4K_a} \quad (37)$$

Biết K_p thay vào (30) nhận được:

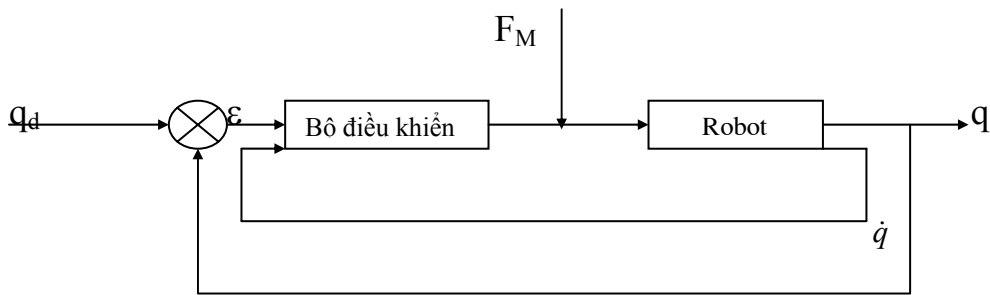
$$K_v \geq \frac{R_0 \omega_0 \sqrt{J_0 J} - R_a f - K_a K_b}{K_a} \quad (38)$$

6. Điều khiển chuyển động robot nhiều bậc tự do

Nhiệm vụ quan trọng đầu tiên của điều khiển robot là đảm bảo sao cho điểm tác động cuối E (End- effector) của cơ cấu tay máy phải dịch chuyển bám theo một quỹ đạo đặt trước. Không những thế, hệ tọa độ x_e, y_e, z_e gắn liền tại điểm E đó phải duy trì theo một định hướng nào đó. Tuy nhiên ở đây ta phải tính tới các điều kiện thực tế khi làm việc, như là có sự tác động của momen lực, của môi trường làm việc...

Các yếu tố này sẽ lần lượt được tính tới và phương pháp điều khiển cũng trở nên đa dạng và phong phú hơn, tùy theo yêu cầu nâng cao chất lượng điều khiển.

Như đã biết các khớp động của robot đều có nguồn động lực riêng, nên điều khiển robot là điều khiển các nguồn động lực độc lập đó. Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống điều khiển robot được mô tả trên hình sau:



Sơ đồ hệ thống điều khiển

q_d : vectơ vị trí đặt của biên khớp

\dot{q} : là vectơ tốc độ thay đổi biên khớp tương ứng

F_M : vectơ lực động tạo nên ở khớp động. Đó là lực hoặc momen tạo nên bởi nguồn động lực ở khớp động.

Phương trình động lực học của Robot đã được viết dưới dạng ma trận:

$$F_M = D(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) + c(q) \quad (39)$$

Cấu trúc bộ điều khiển vso thể lựa chọn là luật điều khiển tỷ lệ đạo hàm (P_D – prportional – Derivative):

$$F_M = K_P \varepsilon + K_D \dot{\varepsilon} \quad (40)$$

Trong đó :

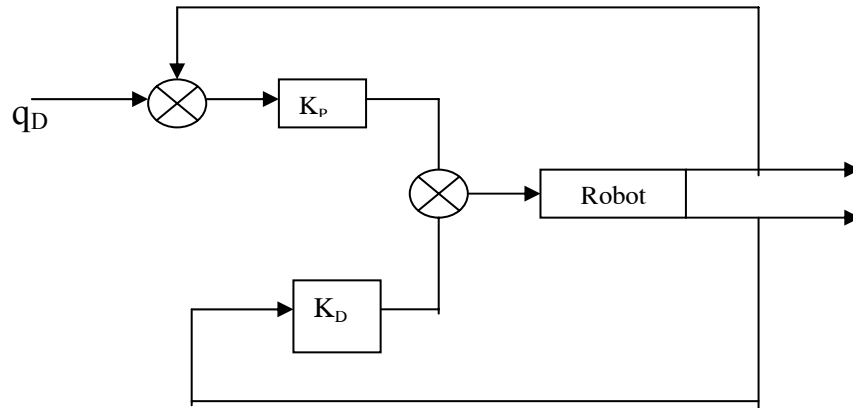
ε - sai số vị trí của khớp động : $\varepsilon = q_d - q$

$\dot{\varepsilon}$ - sai số tốc độ : $\dot{\varepsilon} = \dot{q}_d - \dot{q}$

K_p - ma trận đường chéo các hệ số khuếch đại của n lớp động : $K_p = \text{diag}(K_{p1}, K_{p2}, \dots, K_{pn})$

K_D - ma trận đường chéo của hệ số đạo hàm của n khớp động : $K_D = \text{diag}(K_{D1}, K_{D2}, \dots, K_{Dn})$

Sơ đồ hệ thống điều khiển phản hồi với cấu trúc điều khiển PD có dạng đơn giản :

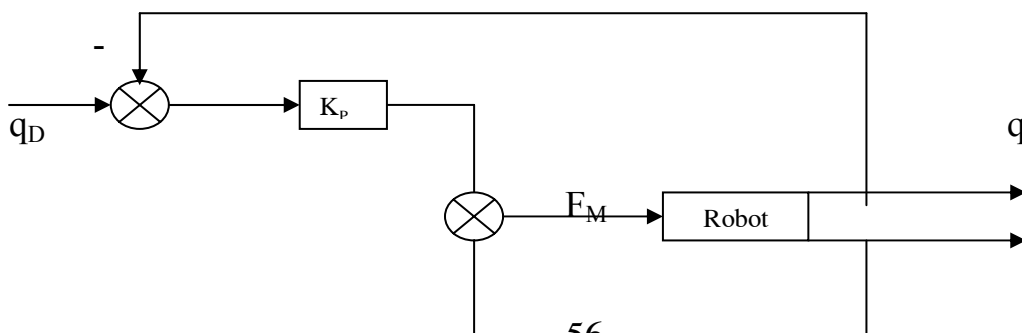


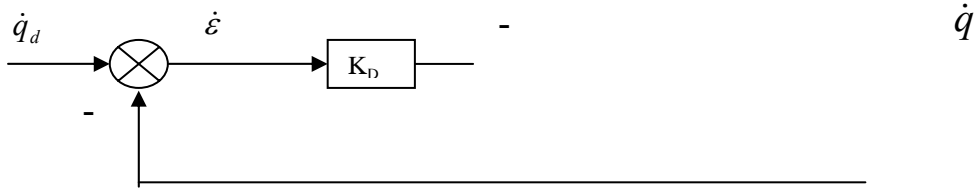
Sơ đồ cấu trúc hệ thống với bộ điều khiển PD có độ tắt dần

Trên sơ đồ trên tín hiệu đặt vị trí q_d được so sánh với vị trí tức thời q và độ sai lệch ε tác động vào khâu khuếch đại với hệ số K_p . Tín hiệu ra của khâu tỷ lệ được cộng đại số với tín hiệu tắt dần tỷ lệ với tốc độ của khớp động

$$F_m = K_p (q_d - q) + K_D \dot{q} \quad (41)$$

Hệ thống với cấu trúc luật điều khiển PD có độ tắt dần sẽ không thích hợp với một số kiểu robot. Một dạng hệ thống điều khiển khác giới thiệu trên hình trên có bổ sung thêm tín hiệu đặt tốc độ \dot{q}_d và độ sai lệch tốc độ ε tác động vào khâu khuếch đại K_D





Độ chính xác tĩnh của hệ thống điều khiển có thể nâng cao bằng cách tăng hệ số khuếch đại K_p . Tuy nhiên hệ số K_p lớn sẽ làm giảm độ ổn định của hệ thống cũng như làm tăng độ nhiễu. Bộ điều khiển có cấu trúc PID sẽ khắc phục được nhược điểm đó của bộ điều khiển PD. Khi đó phương trình lực động F_M tác động lên khớp động sẽ có dạng :

$$F_M = K_p \epsilon + K_D \dot{\epsilon} + K_i \int_0^t \epsilon(\tau) d\tau \quad (42)$$

Trong đó :

K_i – ma trận đường chéo các hệ số tích phân của n khớp động

$$K_i = \text{diag} (K_{i_1}, K_{i_2}, \dots , K_{i_n})$$

Như vậy tùy thuộc cấu trúc đã lựa chọn bộ điều khiển, ta đem đối chiếu phương trình (41) , (42) với phương trình Lagrange, từ đó nhận được các phương trình của hệ điều khiển tương ứng. Từ các phương trình của hệ điều khiển này có thể lựa chọn K_p , K_D và K_i sao cho sai lệch vị trí ϵ sẽ tiến tới 0.

7. Điều khiển động cơ thủy lực

Các động cơ thủy lực được điều khiển bằng cách thay đổi lưu lượng dầu qua bơm. Bất kể sự khác nhau về cấu trúc vật lý, các mối quan hệ cơ bản giữa lưu lượng và áp suất, chuyển động của chất lỏng và chuyển động của các chi tiết, sự cân bằng cơ học của các chi tiết đều xuất phát từ đạo hàm quan hệ vào/ra.

Giả sử Q là lưu lượng cung cấp, Q_m là lưu lượng vào của động cơ, Q_t là lưu lượng tổn hao do lọt dầu trên bơm, Q_c là lưu lượng tổn hao do tính nén được của dầu, ta nhận được phương trình cân bằng lưu lượng như sau:

$$Q = Q_m + Q_t + Q_c \quad (43)$$

Các đại lượng tổn hao Q_1 và Q_c được tính đến khi hệ thống làm việc dưới áp suất cao, cỡ hàng trăm atmosphe.

Gọi P là chênh lệch áp suất giữa đầu ra và đầu vào của bơm do tải, ta có quan hệ:

$$Q_1 = k_1 P \quad (44)$$

Tổn hao năng lượng do tính nén được của chất lỏng tỷ lệ với thể tích tức thời của chất lỏng V và áp suất P hệ số nén γ và biến thức s :

$$Q_c = \gamma, V s P \quad (45)$$

Từ (6.12) thấy rằng hệ số tỷ lệ $k_c = Y.V$ giữa đạo hàm theo thời gian của áp suất P và lưu lượng Q_c phụ thuộc vào thể tích V của chất lỏng. Vì vậy đối với động cơ quay thì k_c là hằng số, còn đối với động cơ tịnh tiến thì V thay đổi nên phản ứng của hệ thống tùy thuộc điểm công tác.

Lưu lượng chất lỏng vào động cơ tỷ lệ với lượng biến thiên trong một đơn vị thời gian của thể tích chất lỏng trong bể chứa. Mặt khác lượng biến thiên này tỷ lệ với vận tốc góc của động cơ. Cuối cùng nhận được:

$$Q_m = k_q \omega \quad (46)$$

Điều kiện cân bằng cơ học của các chi tiết chuyển động được mô tả bằng phương trình tương tự như (3.3)

$$C_m = (sI_m + F_m)\omega + C_r \quad (47)$$

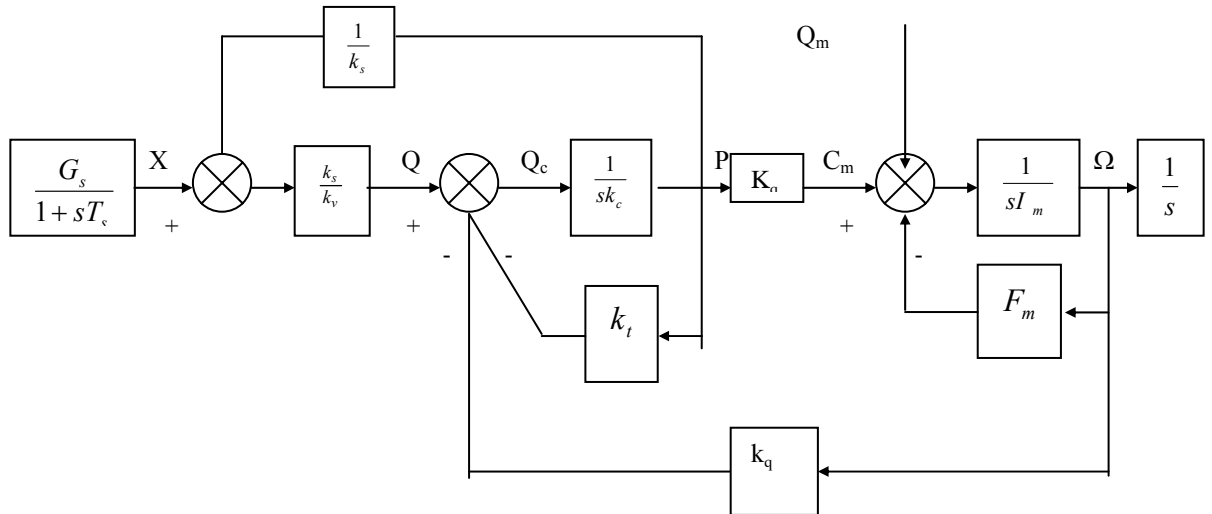
Cuối cùng thì momen của động cơ tỷ lệ với độ chênh lệch áp suất của bơm:

$$C_m = k_t P \quad (48)$$

Đối với van điều khiển, hàm truyền giữa vị trí X của van và điện áp điều khiển V_c được xác định như sau:

$$\frac{x}{V_c} = \frac{G_s}{1 + sT_s} \quad (49)$$

Vì hằng số thời gian T_s rất nhỏ (cỡ mili giây) so với các hằng số thời gian khác của hệ thống, nên G_s được coi là hệ số truyền tương đương của van và quan hệ giữa V_c và X là tuyến tính.



Hình 4 – 7: Sơ đồ khối hệ điều khiển động cơ thủy lực

Trên cơ sở các phương trình đã nêu, có thể xây dựng sơ đồ khối của hệ thống điều khiển của động cơ thủy lực, gồm van, bộ phân phối, động cơ như trong hình 4-7. So sánh hình 4-2 với hình 4-7 có thể nhận ra sự tương tự về hình thức giữa đặc tính động lực học của động cơ thủy lực và động cơ điện. Tuy nhiên điều đó không có nghĩa là có thể dùng động cơ thủy lực để điều khiển vận tốc và điều khiển mômen thay cho động cơ điện. Về hình thức thì mạch phản hồi áp suất của động cơ điện, nhưng không thể thay đổi kết cấu của panel thủy lực một cách dễ dàng như đối với một bảng mạch điện.

CHƯƠNG V

NGÔN NGỮ LẬP TRÌNH CỦA ROBOT

I. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ LẬP TRÌNH CHO ROBOT.

Khi xem xét vấn đề lập trình cho robot, không những cần quan tâm đến chuyển động của bản thân robot mà còn phải lưu ý đến sự hoạt động của cả hệ thống sản xuất, mà robot là một thành viên.

Hệ thống sản xuất gồm nhiều đơn nguyên hoặc môđun thiết bị sản xuất (Workcell). Đó là một cụm thiết bị, bao gồm một hoặc một vài robot, máy công tác hoặc thanh băng chuyển, các cơ cấu cấp thoát phôi hoặc đồ gá phụ trợ khác v.v... Thông thường để lập trình điều khiển robot trước hết phải mô phỏng sự hoạt động của nó “workcell” cụ thể.

Có thể phân tách thành 2 phương pháp lập trình: lập trình trực tuyến (on – line programming) và lập trình ngoại tuyến (off-line programming).

Khi lập trình trực tuyến, người vận hành robot trực tiếp tiến hành lập trình trên bản thân robot hoặc thiết bị phụ trợ kèm theo. Có phương pháp lập trình thủ công (manual input), phương pháp lập trình theo kiểu dây học bằng dẫn dắt (teach by lead through) và phương pháp lập trình theo kiểu dây học bằng thiết bị dạy học gọi là “teach pendant”

Lập trình thủ công là phương pháp đơn giản nhất là thích hợp nhất với các loại robot không được trang bị thiết bị phụ trợ động (non – servo – controlled robots), không có tín hiệu phản hồi. Để lập trình có thể dùng các cỡ tỳ, cơ cấu cam, bảng ổ cắm điện, các công tác hành trình v.v... các loại này tuy đơn giản nhưng lại có nhiều ứng dụng. Thực tiễn sản xuất đã chứng tỏ rằng có thể chế tạo ra những chương trình thao tác không đơn giản bằng cách thức đơn giản đó.

Phương pháp dẫn dắt để “dạy học” cho robot có thể thực hiện được những công việc tinh tế hơn. Người vận hành dẫn dắt robot là các thao tác theo yêu cầu và ở những vị trí cần thiết, các tín hiệu được nhận biết từ các cảm biến (servo) lắp trên robot sẽ được ghi lại. Khi làm việc các thông tin tín hiệu đã ghi nhớ này sẽ tác động vào cơ cấu chấp hành làm cho robot hoàn toàn lặp lại một cách tự động các thao tác đã “học” được.

Có thể “dạy học” cho robot theo phương pháp dùng hộp điều khiển “teach pendant”. Đó là một hộp nhỏ cầm tay có các nút bấm điều khiển. Khi bấm các nút điều khiển này, các khớp động của robot chuyển dịch một đại lượng nào đó theo ý người điều khiển và các giá trị ghi lại để lập trình khi chuyển sang chế độ tự động.

Biểu thị các phương pháp lập trình kể trên như các bước phát triển hiện đại dần. Lập trình ngoại tuyến và một bước phát triển cao hơn về chất.

Lập trình ngoại tuyến (off – line programming) không tiến hành trực tiếp trên thiết bị robot, mà tiến hành gián tiếp trên máy tính. Để thực hiện được việc trao đổi thông tin giữa người và robot phải dùng đến ngôn ngữ mà cả hai đều hiểu được. Các ngôn ngữ chương trình là ngôn ngữ tường minh (explicit languages) cho phép người lập trình tin hiệu cho máy công tác thực hiện các thao tác cần thiết.

Máy tính là một thiết bị vạn năng, tổ hợp các lệnh để máy hoàn thành các công việc rất đa dạng. Ngôn ngữ máy cho phép dùng các ngôn ngữ bậc cao, gọi là ngôn ngữ phát triển. Trong tin học có nhiều loại ngôn ngữ. tuy nhiên trong điều khiển nói chung và điều khiển robot nói riêng cần quan tâm tới sự tiện lợi và nhanh chóng để đảm bảo thời gian thực. Vì thế xuất hiện nhiều loại hình ngôn ngữ chuyên dụng, định hướng cho một loại vấn đề nào đó.

Như vậy, khi lập trình ngoại tuyến để cần dùng ngôn ngữ lập trình. Mức thông thường dùng các ngôn ngữ tường minh (explicit language). Mức cao hơn là dùng ngôn ngữ không tường minh (implicit language). Những ngôn ngữ này cho phép người sử dụng ra lệnh để robot thực hiện các công việc mong muốn một cách trực tiếp mà không cần chỉ ra chi tiết các hoạt động của robot như ngôn ngữ lập trình thông thường. Ví dụ, ngôn ngữ AML của hãng IBM, Karel của hãng General Motor, Fanuc, Rai, của tập đoàn Automatrix, Jas của NASA và RPL của SRI International . Các ngôn ngữ này còn đang ở giai đoạn phát triển .

Vậy phạm vi ứng dụng ngôn ngữ tường minh cũng có 2 mức

- Ngôn ngữ robot chuyên dụng.

Những ngôn ngữ lập trình này được xây dựng như một ngôn ngữ mới cú pháp (syntax) và ngữ nghĩa (semantics) của các ngôn ngữ này cần phải đơn giản vì người lập trình cho các ứng dụng công nghiệp không phải là các chuyên gia lập trình. Ví dụ, ngôn ngữ VAL 2 của Unimation, AI của đại học Standfod.

- Ngôn ngữ phát triển.

Ngôn ngữ này tạo ra các thư viện robot cho ngôn ngữ lập trình bậc cao đã có sẵn. Những ngôn ngữ này được xây dựng bằng cách dựa trên các ngôn ngữ lập trình bậc cao thông dụng (ví dụ như Pascal) và thêm vào một thư viện các thủ tục về hàm đặc biệt dùng cho robot. Khi viết chương trình Pascal để điều khiển robot, người sử dụng gọi các hàm hoặc các thủ tục đã định nghĩa trước trong thư viện để xử lý các nội dung có liên quan đến việc tính toán hoặc điều khiển robot.

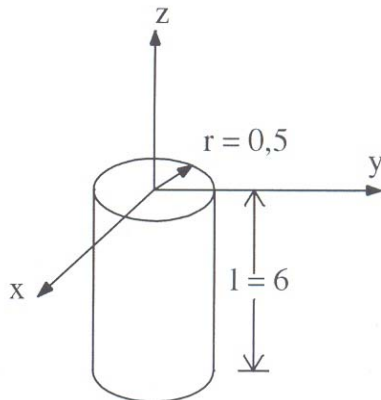
Ví dụ, PASRO (Pascal for robot) là một thư viện dùng cho lập trình robot, cung cấp nhiều thủ tục và hàm đặc biệt để tính toán và điều khiển eb dùng trong môi trường ngôn ngữ Turbo Pascal, hoặc Pasro/ C là phát triển của Pasro, nhưng được biết trên cơ sở ngôn ngữ Turbo C

II. MÔ TẢ CÁC VẬT THỂ VÀ NHIỆM VỤ.

1. Mô tả các vật thể.

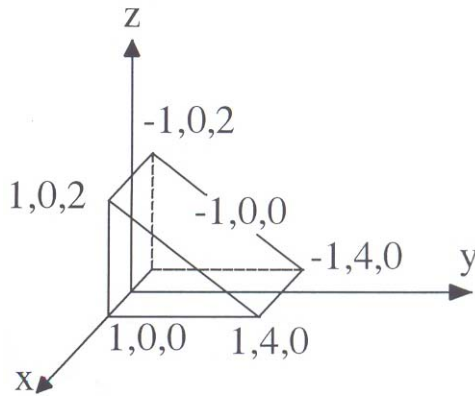
Các vật thể gọi là các đối tác của robot trong công việc và các thiết bị và đồ dùng trong môi trường làm việc, chúng rất đa dạng và phong phú. Tuy nhiên có thể dựa vào các khối cơ bản sau đây để mô tả chúng :

- Khối hình vật thể tròn xoay (rotative)



Hình 5 – 1 :Mô tả chi tiết hình trụ

- Khối hình vật thể lăng trụ (prismatic)



Hình 5 -2 : Mô tả vật thể hình đa diện

Các vật thể có cấu trúc hỗn hợp (combination) có thể mô tả bằng cách ghép nối các khối cơ bản.

Khối hình vật thể xoay tròn được đặc trưng bằng tọa độ tâm và bán kính của hình tròn các tiết diện. Ví dụ, trên hình 5-1 mô tả một chi tiết máy hình trụ bán kính $r = 0,5$; chiều dài $l = 6$; nằm dọc theo trục z .

Khối hình vật thể đa diện được đặc trưng bằng tọa độ các điểm góc cạnh của nó. Khi mô tả các vật thể trong môi trường làm việc, cũng như khi mô tả quá trình thao tác của robot và dịch chuyển các đối tác, có thể dùng các phép biến đổi thuận nhất.

Xét ví dụ sau đây:

Cho một vật thể đa diện trong hệ tọa độ cơ sở xyz như hình 5-2. Có thể lập ma trận mà mỗi cột là một vectơ mở rộng biểu thị một điểm góc của tam trụ. Cụ thể đối với hình 5-2 có 6 điểm góc, ta có :

$$V = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Thực hiện phép biến đổi :

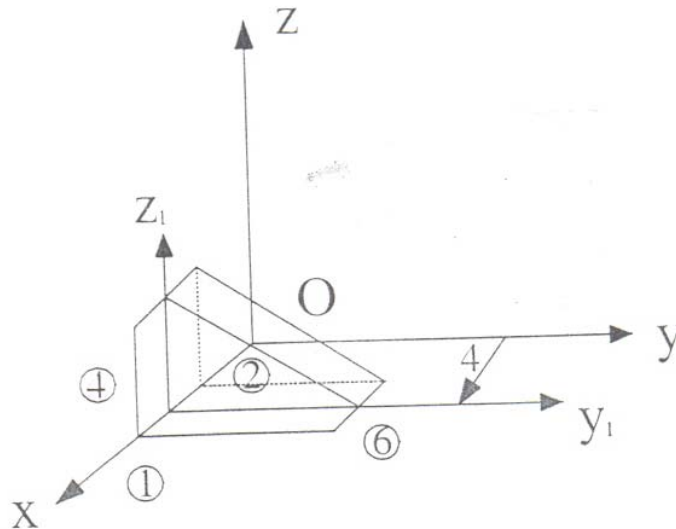
$$H = T_p(4,0,0).R(y,90^0) \quad (5.2)$$

sẽ lần lượt được các kết quả sau :

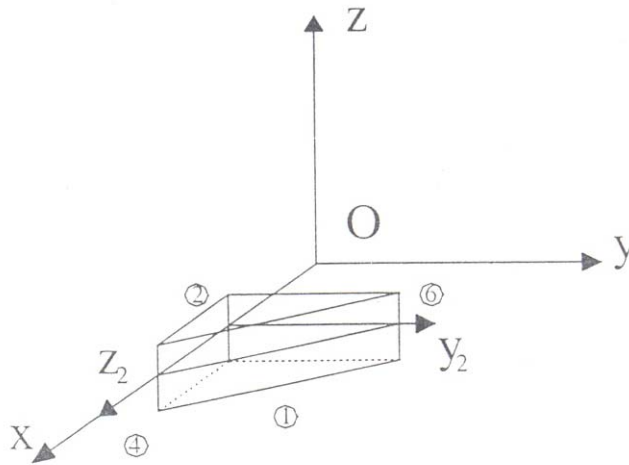
- Tịnh tiến vật thể dọc theo trục x một đoạn ngắn bằng 4 đơn vị tương ứng với phép biến đổi $H_1 = T_p(4,0,0)$, hình 5-4

- Rồi cho vật thể quay quanh trục y góc 90^0 và kết quả của hai phép biến đổi trên $H_2 = T_p(4,0,0). R(y, 90^0)$ hình 5-5

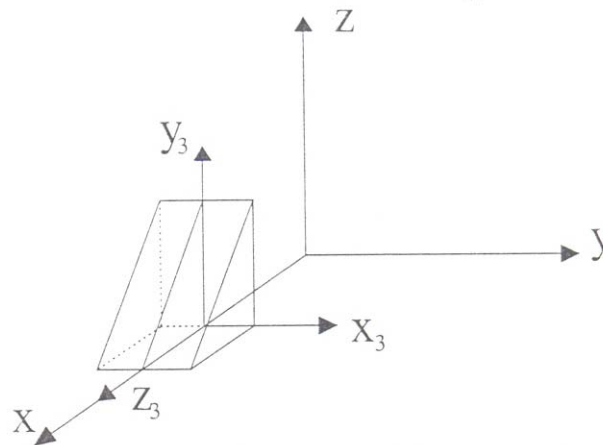
Tiếp tục quay vật thể quanh trục z 90^0 và kết quả của phép biến đổi H theo (5.2), hình 5-3



Hình 5 -4 : Vật thể sau phép biến đổi $H_1 = T_p(4,0,0)$



Hình 5-5 :. Vật thể sau phép biến đổi $H_2 = T_p(4,0,0).R(y,90^0)$



Hình 5 - 6 :. Vật thể sau các phép biến đổi $H = T_p(4,0,0).R(y,90^0).R(x,90^0)$

Ma trận H theo biểu thức (5.2) có thể xác định bằng tích ma trận quen biết đối với các phép biến đổi cơ bản nói trên, ta có :

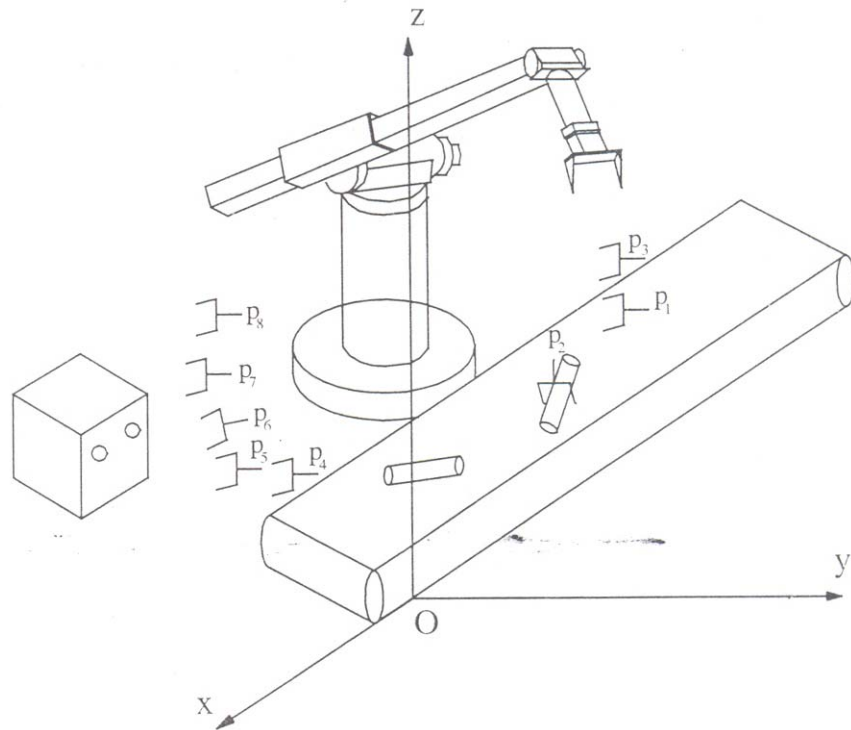
$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Như vậy dễ dàng xác định ma trận V biểu thị vật thể sau các phép biến đổi (5.2)

$$V' = H.V = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

2. Mô tả nhiệm vụ

Nhiệm vụ giao cho robot thực hiện thường được mô tả bằng các thao tác chuyển dịch. Có thể tìm hiểu nội dung này thông qua một ví dụ cụ thể như trình bày trên hình vẽ 5-4 ở đây robot lấy trên băng chuyền các chiếc chốt hình trụ được mô tả trên hình 5-2, để lắp vào các lỗ trên thân máy hình hộp.



Hình 5 – 7 : Mô tả nhiệm vụ

Nhiệm vụ nói trên có thể mô tả bằng một dãy liên tục các vị trí thao tác sau đây.

P_1 : Hướng tới chốt

P_2 : Kẹp vào chốt

Kẹp chặt chốt

P_3 : Nâng cao chốt

P_4 : Hướng tới lỗ với các góc nghiêng nào đó

P_5 : Dừng lại khi chạm lỗ

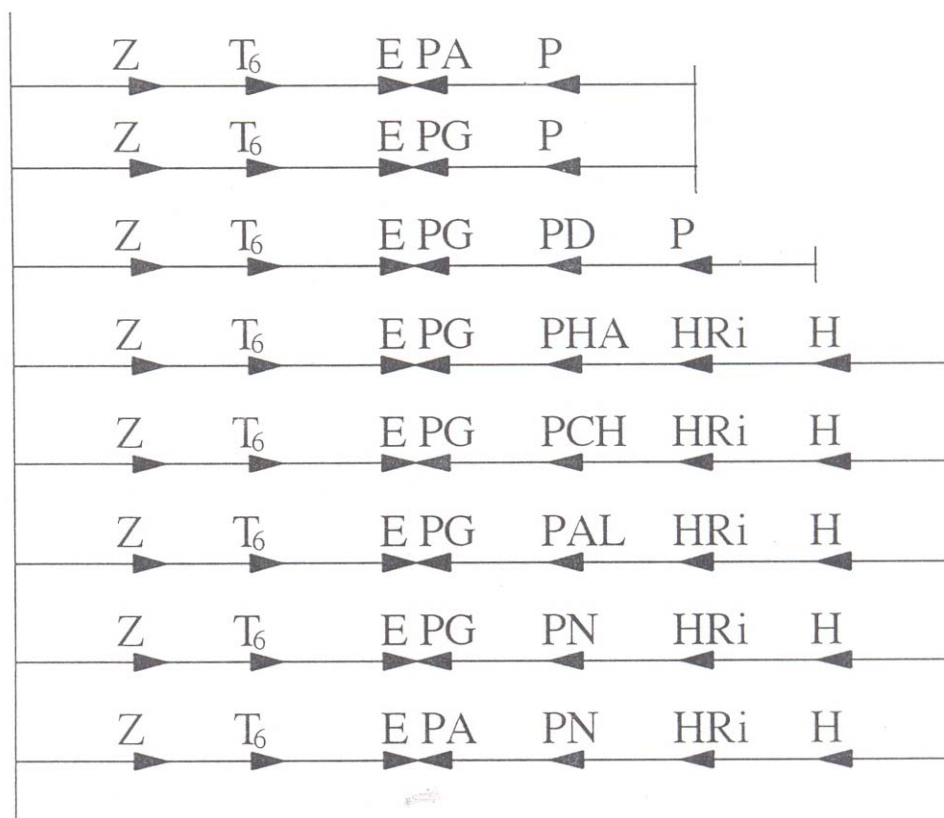
P_6 : Điều chỉnh lại hướng góc nghiêng

P_7 : Lắp chặt vào lỗ

Nhả chốt ra

P_8 : Rời đi.

Dùng phương pháp toán đồ chuyển đổi để mô tả nhiệm vụ tại các vị trí thao tác, như trình bày trên hình 5- 8.



Hình 5 - 8. Toán đồ chuyển đổi mô tả nhiệm vụ tại các vị trí.

Tương ứng:

$$P_1: ZT_6E = P PA \quad (5.5)$$

$$P_2: ZT_6E = P PG \quad (5.6)$$

$$P_3: ZT_6E = P PD PG \quad (5.7)$$

$$P_4: ZT_6E = H HRi PHA PG \quad (5.8)$$

$$P_5: ZT_6E = H HRi PCH PG \quad (5.9)$$

$$P_6: ZT_6E = H HRi PAL PG \quad (5.10)$$

$$P_7: ZT_6E = H HRi PN PG \quad (5.11)$$

$$P_8: ZT_6E = H HRi PN PG \quad (5.12)$$

Trong đó ở mỗi vị trí thao tác được mô tả bằng ZT_6E (xem hình 5-11) với :

Z - Mô tả vị trí trạng thái của robot trong hệ toạ độ gốc nào đó

T_6 - Mô tả vị trí trạng thái của điểm cuối của cánh tay robot trong hệ toạ độ cố định gắn với giá đỡ của robot

E - Mô tả vị trí trạng thái điểm cuối của công cụ kèm theo.

Nói đến vị trí trạng thái là nói đến vị trí và hướng của hệ toạ độ gắn với vị trí đang khảo sát. Với cách mô tả đó, khi mô tả vị trí robot thì chỉ cần thay đổi Z và khi thay đổi công cụ thao tác thì chỉ cần thay đổi E.

Để mô tả cấu trúc về nhiệm vụ, ở đây cũng dùng phép biến đổi tương ứng sau đây:

P- Mô tả vị trí trạng thái của chiều chốt trong hệ toạ độ gốc

PA- Mô tả vị trí trạng thái của bàn kẹp đang hướng tới chốt

PG- Mô tả vị trí trạng thái của bàn kẹp đang kẹp chốt so với chốt

PD- Mô tả vị trí trạng thái của bàn kẹp bắt đầu mang chốt đi

H- Mô tả vị trí trạng thái của hộp thân máy có hai lỗ

HR_i- Mô tả vị trí trạng thái của lỗ thứ i trong hộp thân máy so với hệ toạ độ H.

PHA- Mô tả vị trí trạng thái của chốt đang hướng tới lỗ thứ i

PCH- Mô tả vị trí trạng thái của chốt khi chạm vào lỗ

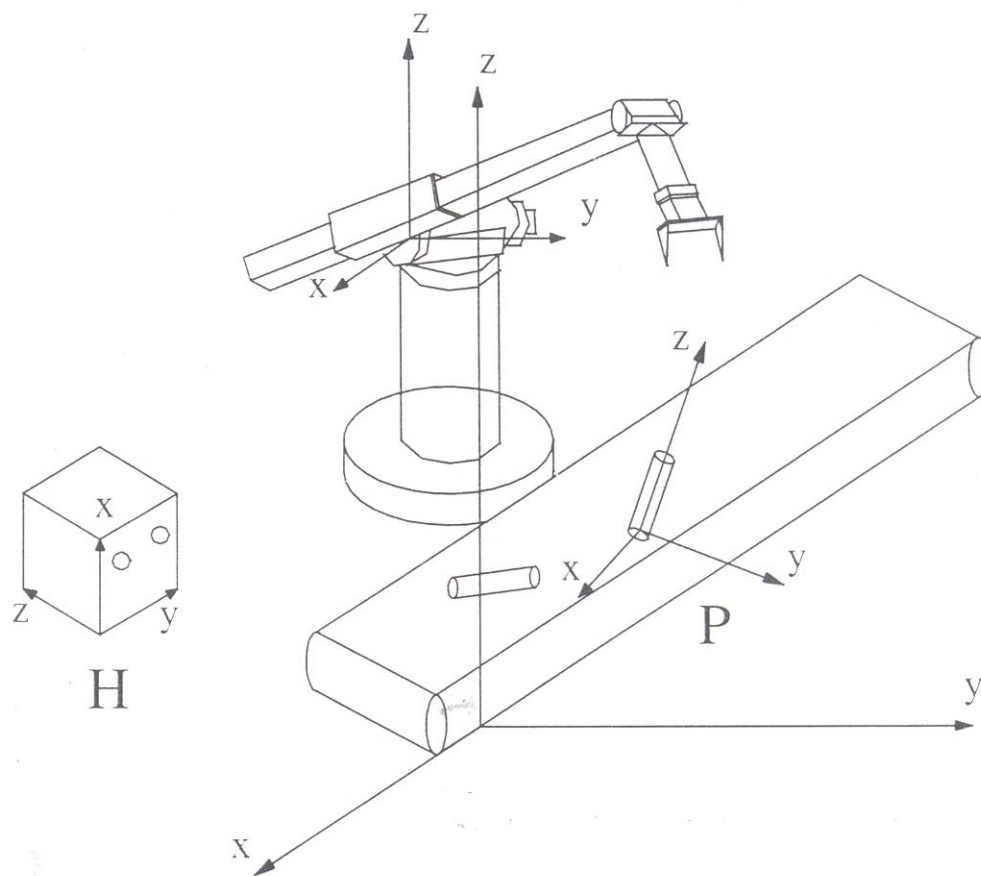
PAL- Mô tả vị trí trạng thái lúc bắt đầu được lắp vào lỗ

PN- Mô tả vị trí trạng thái của chốt khi lắp vào lỗ

Việc thực hiện các nhiệm vụ trên có thể trở nên phức tạp hơn nếu trong đó ngoài những bước đi xác định, ví dụ như HR_i hoàn toàn có thể xác định bản vẽ kỹ thuật, còn có các bước đi khác cần thông tin để điều chỉnh.

Trong trường hợp này thường sử dụng kết hợp với các biện pháp khác, ví dụ, phương pháp dạy học cho robot.

Trên hình 5-9 trình bày 3 hệ tọa độ Z, P và H gắn liền tương ứng với robot, chiếc chốt và thân hộp có hai lỗ.



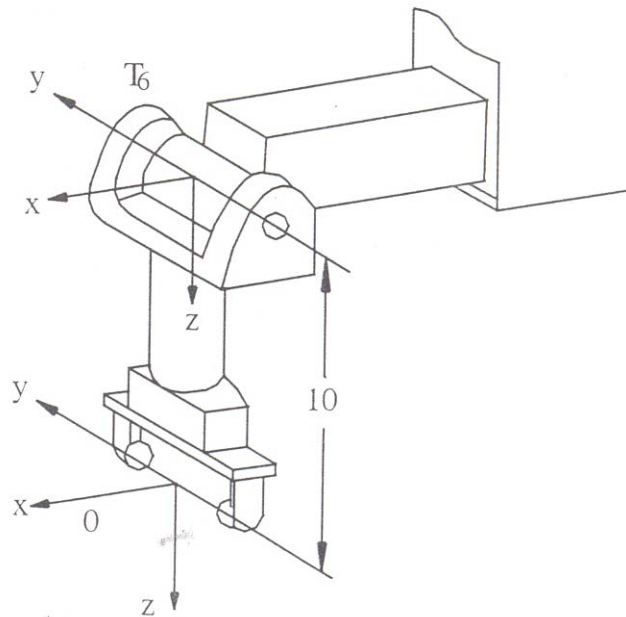
Hình 5 - 9: Các hệ tọa độ Z, P và H

Thiết lập quan hệ của các hệ tọa độ Z, P và H với nhau và với các hệ tọa độ gốc. Ví dụ, trong hệ tọa độ gốc nếu chọn gốc của hệ Z ở tọa độ $x = -30, y = 0, z = 50$ như trên hình 5 - 9, ta có:

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -30 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Trên hình 5-10 có 2 hệ tọa độ: T_6 gắn với điểm cuối của cánh tay robot và E với tâm của bàn kẹp. Điểm gốc của hệ E nằm ở vị trí $(0,0,10)$ trong hệ tọa độ T_6 . Do vậy, ta có:

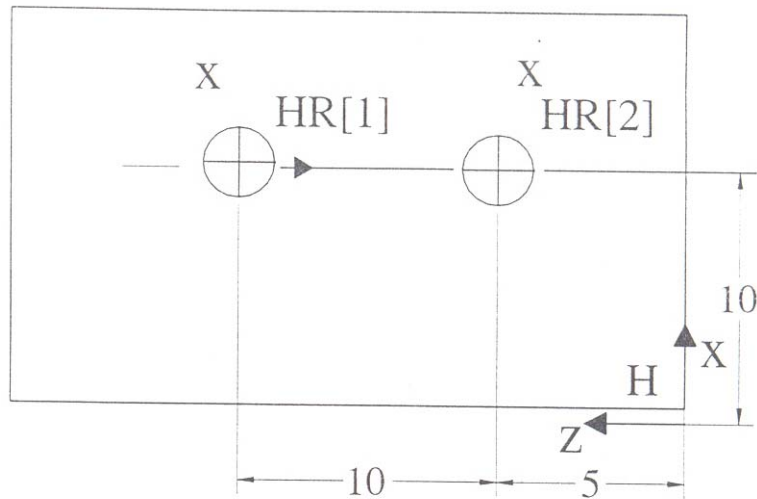
$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.14)$$



Hình5 – 10: Các hệ tọa độ T_6 và E.

Trên hình 5 - 11 trình bày cách bố trí các hệ tọa độ: H gắn với hộp thân máy > HR_1 gắn với các lỗ, theo đó ta có:

$$HR_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; HR_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

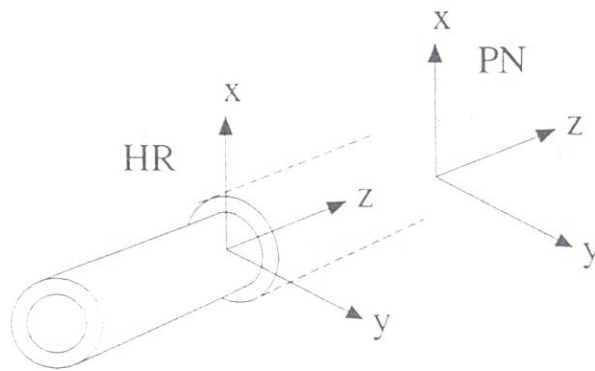


Hình 5 – 11: Hộp thân máy và các hệ tọa độ

Hình 5-12 mô tả vị trí trạng thái khi chốt đã lắp vào lỗ. Khi đó trục Z của chốt phải trùng với đường trục của lỗ. Vì chốt có hình trụ tròn đối xứng nên phương của trục x và y có thể tùy ý. Chọn phương trục xz thẳng đứng tức là giữ nguyên như phương thẳng đứng lúc chốt từ vị trí nằm ở băng tải vừa được nâng lên. Vậy vị trí trạng thái của chốt khi đã lắp vào lỗ có độ sâu là 4 được mô tả bởi ma trận chuyển đổi sau so với HR:

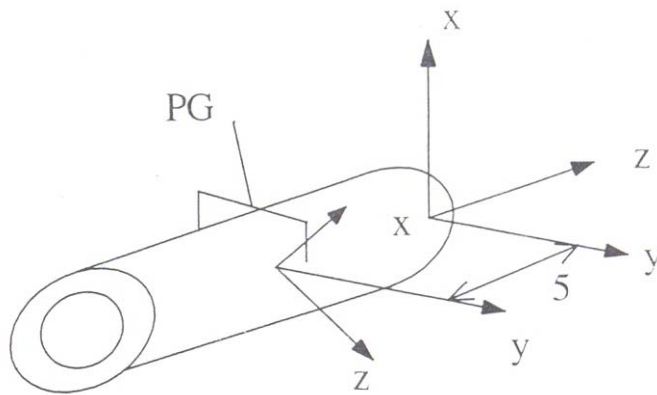
$$HR = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

Hình 4.13 mô tả vị trí bàn kẹp trên chiếc chốt, còn ma trận chuyển đổi sau đây mô tả vị trí trạng thái của bàn kẹp chốt so với chốt.



Hình 5 – 12: Chốt lắp vào lỗ

$$PG = \begin{bmatrix} 7 & 0 & -7 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 7 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.17)$$



Hình 5 – 13: Chốt lắp vào lỗ

Tiếp theo xác định các ma trận chuyển đổi khác các từ quan hệ cấu trúc ở các vị trí thao tác khác nhau của robot như đã được mô tả ở trên.

ứng với vị trí p_1 (5.5) tức là lúc bàn kẹp hướng tới chốt:

$$ZT_6E = P PA$$

Từ đó :

$$PA = P^{-1} ZT_6E \quad (5.18)$$

Ứng với vị trí p_2 (5.6) tức là lúc bàn kẹp chặt chốt :

$$ZT_6E = P PG$$

Từ đó :

$$PD = P^{-1} ZT_6E PG^{-1} \quad (5.19)$$

Ứng với vị trí p_3 (5.4) tức là lúc nâng cao chốt :

$$ZT_6E = P PD PG$$

Từ đó :

$$PD = P^{-1} ZT_6E PG^{-1} \quad (5.20)$$

Ứng với vị trí p_4 (5.6) tức là lúc hướng tới lỗ :

$$ZT_6E = H HR_1 PHA PG$$

Từ đó :

$$PHA = (H HR_1) ZT_6E PG^{-1} \quad (5.21)$$

Ứng với vị trí p_5 (5.9) tức là lúc dừng lại khi chạm vào lỗ :

$$ZT_6E = H HR_1 PAL PG$$

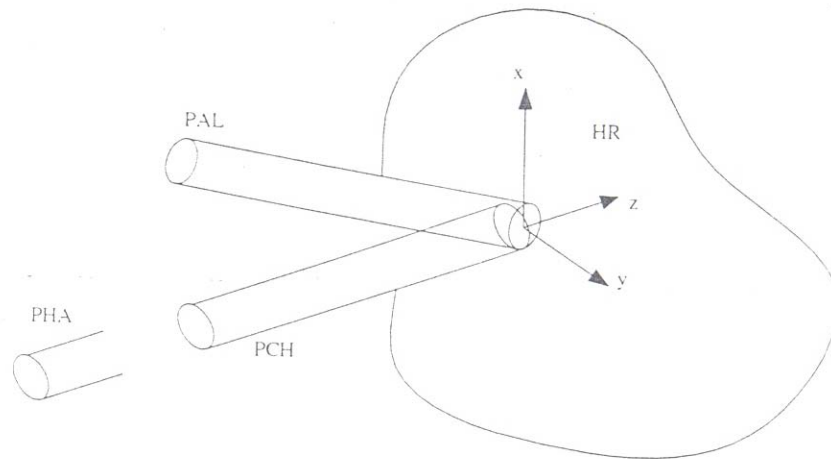
Từ đó:

$$PCH = (H HR_1)^{-1} ZT_6E PG^{-1} \quad (5.22)$$

Ứng với vị trí p_6 (5.10) tức là lúc điều chỉnh hướng góc nghiêng:

$$ZT_6E = H HR_1 PN PG$$

$$\text{Từ đó : } H = ZT_6E(HR_1 PN PG)^{-1}$$



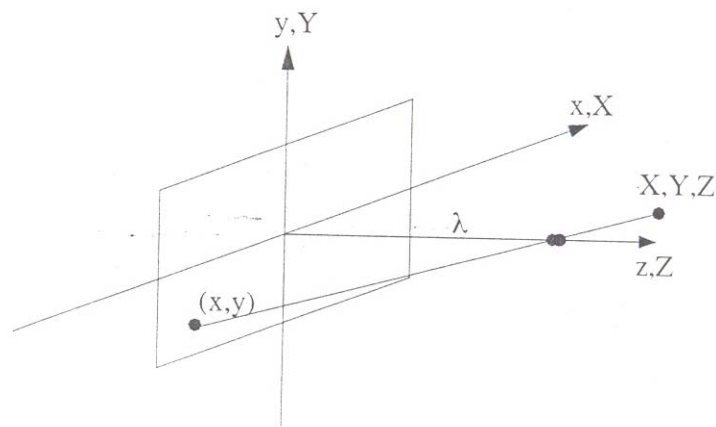
Hình 5 – 14: Các vị trí thao tác p_4 , p_5 và p_6

3. Hệ thống robot làm việc với camera.

3.1 Biến đổi chiếu hình

Biến đổi chiếu hình là phép biến đổi quang học để chiếu các điểm trong không gian 3 chiều lên một mặt phẳng. Phép biến đổi này rất cần thiết khi trao đổi thông tin giữa các vật thể 3 chiều và hình của nó trên các mặt phẳng.

Trên hình 5-15 mô tả sơ đồ phép chiếu quang học



Hình 5 – 15: Sơ đồ hệ thống chiếu hình

Hệ tọa độ x, y, z gắn liền với camera và mặt phẳng xy là mặt phẳng chiếu, trục z trùng với trục chính qua tâm thấu kính. Như vậy gốc của hệ tọa độ xyz qua tâm của mặt phẳng chiếu, còn tâm thấu kính có tọa độ là $(0,0, \lambda)$

Với λ là khoảng cách tiêu cự, ở đây, hệ tọa độ x, y, z trùng với hệ tọa độ cơ bản X, Y, Z .

Giả sử X, Y, Z là tọa độ của một điểm bất kỳ trong không gian 3 chiều. Nếu $Z > \lambda$ tức là trường hợp vật thể đang quan sát nằm trước thấu kính từ các quan hệ giữa các hình tam giác trên hình 5 - 15 ta có:

$$\frac{x}{\lambda} = -\frac{X}{Z - \lambda} = \frac{X}{\lambda - Z} \quad (5.25)$$

$$\frac{y}{\lambda} = -\frac{Y}{Z - \lambda} = \frac{Y}{\lambda - Z} \quad (5.26)$$

Từ đó:

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad (5.24)$$

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \quad (5.28)$$

Lưu ý rằng các phương trình trên là phi tuyến tính vì còn tồn tại phép chia cho Z . ở đây cũng có thể dùng ma trận thuần nhất 4×4 để mô tả sự biến đổi chiếu hình. Tuy nhiên sự khác biệt cơ bản so với khi dùng các phép biến đổi khác trước đây (xem chương III) là sự không tuyến tính nói trên.

Một điểm M bất kỳ có thể xác định bằng vector r trong hệ tọa độ X, Y, Z .

$$R = (X, Y, Z)^T \quad (5.29)$$

Còn ở trong không gian tọa độ thuần nhất (homogeneous coordinate) điểm M có thể xác định bằng một vector mở rộng r :

$$\tilde{r} = (kX, kY, kZ)^T \quad (5.30)$$

Như đã trình bày trong chương III, k là hệ số tỷ lệ có giá trị khác số không và khi $k = 1$ thì các tọa độ biểu diễn bằng tọa độ có thực. Như vậy, để xác định tọa độ thực của điểm M chia 3 thành phần đầu của vectơ mở rộng (5.30) cho thành phần thứ 4:

Ma trận biến đổi chiếu hình có thể xác định như sau:

$$A_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ & & & \lambda \end{bmatrix} \quad (5.31)$$

Vậy tích của $A_c \tilde{r}$ là một vectơ \tilde{r}_c

$$\tilde{r}_c = A_c \tilde{r} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ \frac{kZ}{\lambda} + k \end{bmatrix} \quad (5.32)$$

Các thành phần của vectơ mở rộng \tilde{r}_c là tọa độ của camera trong không gian gắn tọa độ thuận nhất. Để xác định các thành phần thực trong hệ tọa độ gắn liền với camera tức là các thành phần của vectơ $r_c (x,y,z)$ chia 3 thành phần đầu của vectơ mở rộng \tilde{r}_c cho thành phần thứ 4, ta có:

$$r_c = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \\ \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \\ \frac{\lambda Z}{\lambda - Z} \end{bmatrix} \quad (5.33)$$

Đối chiếu với (5.24) và (5.28) nhận thấy hai thành phần đầu của vectơ r_c chính là hình chiếu của điểm $M (X,Y,Z)$ lên mặt phẳng của camera. Thành phần thứ 3 không tồn tại trên mặt phẳng chiếu và là biến số tự do khi biến đổi ngược.

Biến đổi ngược khi chiếu hình là phép biến đổi các điểm từ hình chiếu trên mặt phẳng chiếu thành các điểm tương ứng trong không gian 3 chiều, từ phương trình (5.32) ta có:

$$\tilde{r} = A_c^{-1}\tilde{r} \quad (5.34)$$

Với:

$$A_c^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \quad (5.35)$$

Giả sử rằng $(x_0, y_0, 0)$ là tọa độ của điểm đang xét trên hình chiếu. Giá trị 0 theo tọa độ Z chứng tỏ rằng mặt phẳng chiếu nằm ở tọa độ $Z = 0$. có thể biểu diễn điểm này trong không gian tọa độ thuần nhất

$$\tilde{r}_c = (kx_0, ky_0, 0, k)^T \quad (5.36)$$

Thay vào (5.34) ta có:

$$\tilde{r}_c = (kx_0, ky_0, o, k)^T \quad (5.37)$$

Và trong hệ tọa độ X, Y, Z ta có:

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (5.38)$$

Đây là trường hợp không chỉ là hình chiếu của một điểm mà là của tất cả các điểm trong không gian X, Y, Z nằm trên cùng một đường thẳng-đường thẳng đi qua các điểm $(x_0, y_0, 0)$ và $(0,0,\lambda)$. Như vậy từ (5.24) và (5.25) ta có phương trình của đường thẳng này trong hệ tọa độ X, Y, Z như sau :

$$X = \frac{x_0}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (5.39)$$

$$Y = \frac{Y_0}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (5.40)$$

Rõ ràng là nếu chỉ biết tọa độ hình chiếu của một điểm (x_0, y_0) trên mặt phẳng chiếu thì chưa đủ để xác định vị trí của điểm đó trong không gian 3 chiều, mà cần phải bổ sung thêm thông tin khác, ví dụ, tọa độ Z . Bởi thế thành phần thứ 3 của vector r_c phải là biến số tự do thay vì số 0 tức là :

$$\tilde{r}_c = \begin{bmatrix} kx_0 \\ ky_0 \\ kz \\ k \end{bmatrix} \quad (5.41)$$

Vậy thay vào (5.35) ta có :

$$\tilde{r}_c = \begin{bmatrix} kx_0 \\ ky_0 \\ kz \\ \frac{kz}{\lambda} k \end{bmatrix} \quad (5.42)$$

Sau khi chia thành 3 thành phần đầu của vector mở rộng r cho thành phần thứ 4 để biến đổi về tọa độ X, Y, Z ta có :

$$X = \frac{\lambda x_0}{\lambda + z} \quad (5.43)$$

$$Y = \frac{\lambda y_0}{\lambda + z} \quad (5.44)$$

$$Z = \frac{\lambda z_0}{\lambda + z} \quad (5.45)$$

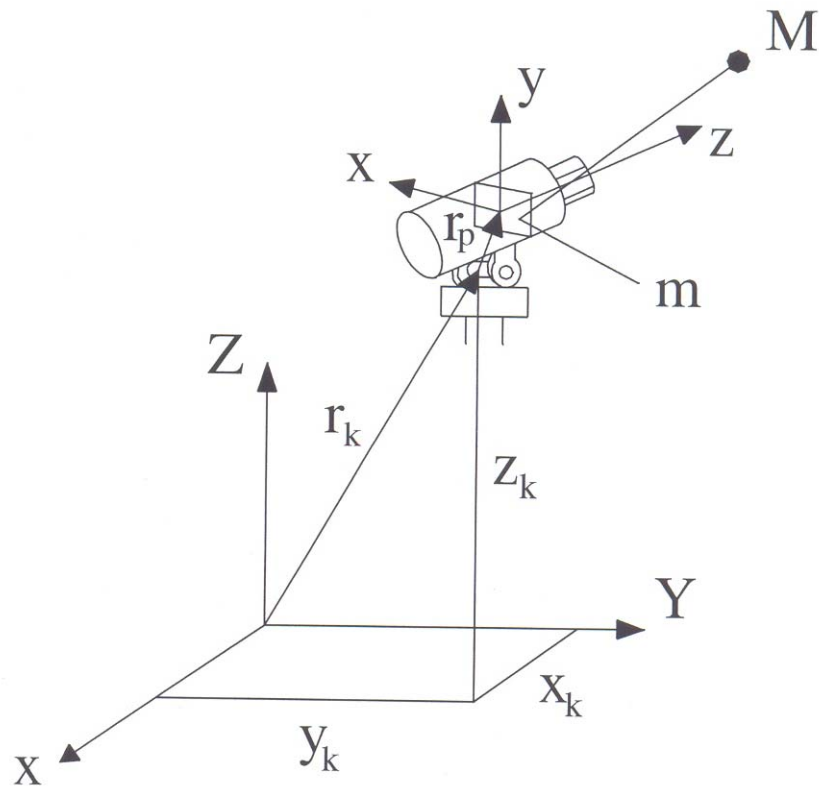
Từ (5.45) rút ra Z và thay vào (5.43) và (5.44) ta có:

$$X = \frac{X_0}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (5.46)$$

$$Y = \frac{Y_0}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (5.47)$$

3.2. Các phương trình cơ bản của hệ thống camera.

Các phương trình (5.32) và (5.33) là các phương trình cơ bản của hệ



Hình 4.6. Sơ đồ bố trí hệ thống camera.

Hình 5 -16 : Sơ đồ bố trí hệ thống camera.

Hệ thống camera. Tuy nhiên khi thành lập các phương trình trên ta đã xem trường hợp đặc biệt là hệ tọa độ camera x, y, z trùng với hệ tọa độ cơ bản X, Y, Z dưới đây xem xét trường hợp chung khi x, y, z không trùng X, Y, Z .

Trên hình 5-16 ký hiệu M là một điểm không gian được xác định trong hệ tọa độ cơ bản X, Y, X và điểm gốc hệ tọa độ x, y, z đặt ở tam mặt phẳng chiếu, cách tâm khớp quay một khoảng các biểu thị bằng $r_p (r_1, r_2, r_3)$.

Vậy điểm gốc của hệ tọa độ x, y, z xác định trong hệ tọa độ X, Y, Z bằng véc tơ r_0

$$r_0 = r_k + r_p \quad (5.48)$$

Khớp quay ở điểm đặt camera đảm bảo góc quay α giữa trục x và X , góc nghiêng θ giữa trục z và Z .

Từ đó ma trận biến đổi hệ tọa độ giữa x, y, z và X, Y, Z như đó trình bày ở chương III, cụ thể xác định như sau:

Trong đó:

$$A_0 = \left(\begin{array}{ccc|c} R(x, \alpha) \cdot R(z, \theta) & & & -(X_k + r_1) \\ & & & -(Y_k + r_2) \\ & & & -(Z_k + r_3) \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \quad (5.49)$$

$$R(x, \alpha) = \left(\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{Cosa} & \text{sina} & 0 \\ 0 & -\text{sina} & \text{cosa} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \quad (5.50)$$

$$R(z, \theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.51)$$

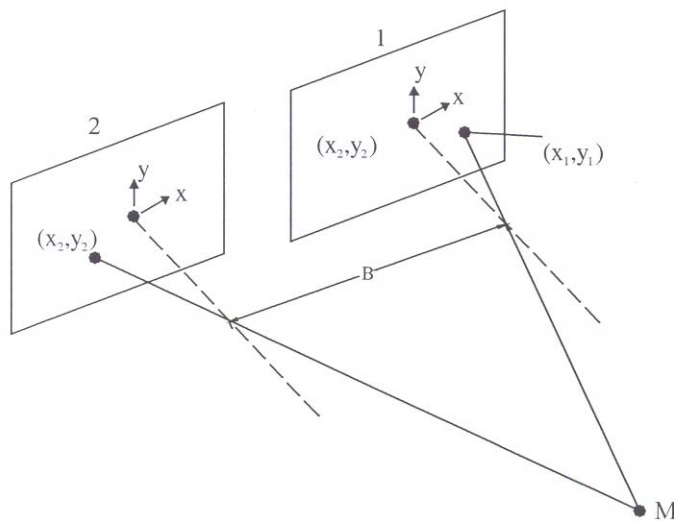
Sau phép biến đổi (4.49) cú thể ộp dụng trường hợp (4.31), (4.32) ta cú:

$$\tilde{r}_c = A_c \cdot A_0 \cdot \tilde{r} \quad (5.52)$$

3.3. Phép chiếu hõnh lập thể (stereo).

Như ở phần tròn đõy đó đề cập tới, một điểm tròn mặt phẳng chiếu cú thể là hõnh chiếu của nhiều điểm trong khụng gian, vỡ thể chưa thể xỏ định được vị trí thực của nú trong khụng gian ba chiều. Để hõnh dung được chiều sõu của hõnh ảnh cần đến phép chiếu lập thể (stereo).

Phép chiếu lập thể cần đến 2 chiều x_1, y_1 và x_2, y_2 của cựng một điểm M trong khụng gian (hõnh 4.17). Khoảng cõch giữa hai tìu cự của 2 thấu kính gọi là khoảng chuẩn B.



Hõnh 5 - 17. Sơ đồ phép chiếu lập thể

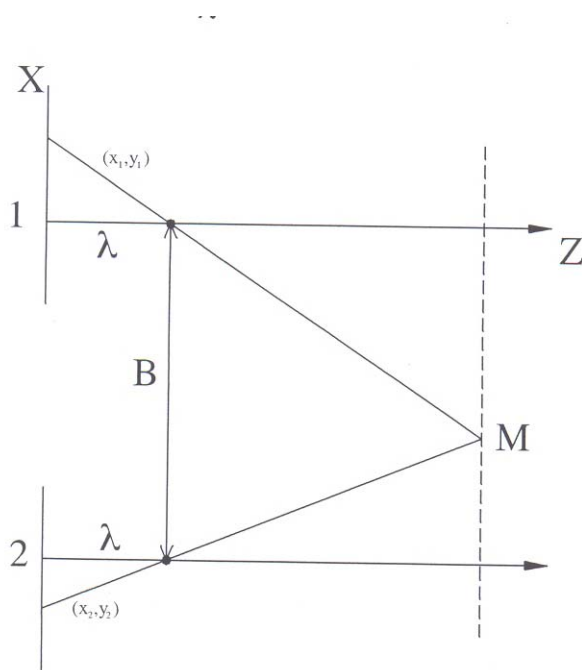
Nhiệm vụ đặt ra là phải xác định được tọa độ X, Y, Z của điểm M thụng qua cộc tọa độ hõnh chiếu x_1, y_1 và x_2, y_2 của nú. Giả sử rằng cộc camera như nhau và cả hai hệ tọa độ gắn liền với camera hoàn toàn trụng khớp nhau, chỉ khỏc vị trớ gốc ban đầu. Cũng như ở phần trờn, khi cho cộc hệ tọa độ gắn liền với cộc camera trụng với hệ tọa độ cơ bản thờ mặt phẳng chiếu xy trụng với mặt phẳng ZY . Khi làm như vậy tọa độ Z của điểm M đợc giữ như nhau đối với cả hai hệ tọa độ camera.

Khi cho hệ tọa độ camera thứ nhất trụng với hệ tọa độ cơ bản X, Y, Z như hõnh 5-18 ta cú:

$$X_1 = \frac{X_1}{\lambda} (\lambda - Z_1) \quad (5.53)$$

Tương tự làm như vậy đối với camera thứ hai ta cú:

$$X_2 = \frac{X_2}{\lambda} (\lambda - Z_2) \quad (5.54)$$



Hõnh 5-18: hõnh5-17 nhõn từ trờn xuống khi cho trụng hệ tọa độ camera

Nhờ cú cở điều kiện, như đó nờ ở trờn

$$(5.55) \quad X_2 = X_1 + B$$

$$Z_2 = Z_1 = Z$$

Từ (5.53) - (5.54) ta cú:

$$(5.56) \quad X_2 = X_1 + B = \frac{X_1}{\lambda} (\lambda - Z_1)$$

Từ (5.55) - (5.56) ta cú:

$$Z = \lambda - \frac{\lambda B}{x_2 - x_1} \quad (5.57)$$

Như vậy cở tọa độ X, Y, Z của điểm M trong khụng gian 3 chiều hoàn toàn đợc xác định bằng (5.39), (5.40), (5.57)

3.4. Mụ tả quan hệ robot và camera.

Phương trờnh (5.34) cho biết tọa độ điểm của vật thể trong khụng gian 3 chiều X, Y, Z (vôctơ \tilde{r}) thụng qua thụng tin về hõnh chiếu của điểm đú (vôctơ \tilde{r}_c) trờn mặt phẳng chiếu của camera. Ma trận (5.35) mụ tả sự chuyển đổi từ hệ tọa độ gắn liền với camera sang hệ tọa độ cơ bản và cú thể biểu thị tổng quát hơn cho cả vật thể là ma trận CAM.

Theo cở ký hiệu đó trờnh bày ở phần vớ dụ trong phần 5.22 thõ P mụ tả vị trí trạng thõi (vị trí và định hướng) của chiếu chõt vật thể trong hệ tọa độ gốc (hệ tọa độ cơ bản X, Y, Z). Vậy ở đõy cú thể biểu thị:

$$P = CAM PC \quad (5.58)$$

với PC mô tả vật thể đang trong vị trí trạng thái của vật thể được xác định theo mỗi quan hệ bố trí không gian của robot, ví dụ (4.19) từ (4.60) có thể xác định ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ gắn liền với camera sang hệ tọa độ cơ bản:

$$\begin{matrix} \text{CAM} \\ (5.59) \end{matrix} = \text{PPC}^1$$

4. Thể hiện chương trình thao tác của robot.

Chương trình thao tác của robot thực hiện các nhiệm vụ được giao. Nhiệm vụ đó được mô tả bằng một dãy liên tiếp các vị trí thao tác. Trong ví dụ là thao tác từ p_1 đến p_8 (hình 5.8). Các thao tác này được thể hiện bằng một chương trình, trong đó từ các phương trình từ (5.5) đến (5.12) tương ứng với các thao tác từ p_1 đến p_8 , cần xác định ra T , ứng với mỗi vị trí trạng thái của điểm cuối của tay robot trong hệ tọa độ cơ bản (hệ tọa độ cố định). Ví dụ, ứng với thao tác p_1 , từ (5.5) ta viết:

$$ZT_6E = PPA \quad (5.60)$$

$$\text{Tácú: } T_6E = Z^{-1}PPA \quad (5.61)$$

Và cứ thế tiếp đến p_2 cho đến p_8

Nhưng trước khi thể hiện chương trình các thao tác đó, cần sử dụng thêm 2 biến:

COORD – Mô tả hệ tọa độ ứng với vị trí đang xét

TOOL – Mô tả dụng cụ đang được sử dụng.

Như vậy tất cả các phương trình (tương tự 5.61) ứng với các vị trí thao tác đều có thể viết dưới dạng sau:

$$\begin{matrix} T_6\text{TOOL} \\ (5.62) \end{matrix} = \text{COORD} \quad \text{POS}$$

Vớ dụ, ứng với thao tởc p_1 ta cú :

COORD := - Z + p

TOOL := E

Và thao tởc là: MOVE PA:

Trong cởch viếc trờn, dụng dấu (+) để chỉ phỏp nhõn ma trận và dấu (-) để chỉ phỏp nhõn ma trận nghợch đấo.

Theo đứ, chừơng trỡnh thể hiện cởc thao tởc của robot từ p_1 đến p_8 cú thể viếc như sau:

TOOL := E	Gắn dụng cụ
FOR I := 1,2 DO	
BEGIN	
READ (CAMERA, PC):	Thụng tin từ camera
P := CAM + PC	Vị trớ của chỏt
COORD := - Z + P	Tọa độ của chỏt
MOVE PA:	Hướng tới chỏt
MOVE PG :	Sắp kẹp chỏt
GRASP :	Kẹp
TOOL := E - PG chỏt.	Dụng cụ bay giờ bao gồn bàn kẹp đó kẹp chỏt.
MOVE PD :	Vị trớ xuất phỏt (bắt đầu mang chỏt đi)
HT := HR [I]	Vị trớ lắp vào lỗ
COORD := - Z + H + HT	Tọa độ của lỗ

MOVE PHA :	Hướng tới lỗ
MOVE PCH :	Chạm vào lỗ
MOVE PAL : lắp)	Đặt đồng tôm với lỗ (lực chuẩn bị)
MOVE PN :	Lắp vào lỗ
RELEASE :	Dời đi
COORD : = - Z + H + HT + PN	Tọa độ của lỗ đó lắp
TOOL : + E	
MOVE PA	
END	

5. Chuyển động giữa các điểm tựa

5.1. Đặt vấn đề.

Khi lập trình quỹ đạo chuyển động robot để thực hiện nhiệm vụ đặt ra, thụng thường cần biết vị trí và định hướng các khâu tốc động cuối của robot ở những điểm khác nhau trong khung gian thao tác. Gọi chýng là các điểm tựa. Các điểm tựa này bao gồm các vị trí bắt buộc phải đi qua để thực hiện nhiệm vụ và cả những vị trí cũng phải đi qua để tránh chướng ngại vật trên đường đi. Tuy theo cụng việc và mục trường làm việc của robot mà quyết định số lượng các điểm tựa.

Khi biết vị trí và định hướng của khâu tốc động cuối theo các phương pháp giải bài toán động học ngược, xác định được các giá trị biến khớp (tọa độ suy rộng) để điều khiển chuyển động của từng khớp động và tổng hợp lại thành chuyển động chung của robot theo một quỹ đạo nhất định. Hay nói chính xác hơn là theo các điểm tựa của quỹ đạo. Ở phần này, khảo sát sự chuyển động giữa các điểm tựa đủ là để chọn ra những quy luật chuyển động hợp lý. Các ràng buộc ở đây có thể là gia tốc và vận tốc chuyển dịch, cũn hạn chế do chướng ngại vật trên đường đi đó được định hướng bằng vị

trở cộc điểm tựa bổ sung. Ở phần cuối sẽ xem xét đến cộc hạn chế về động lực học khi chọn lựa quy luật chuyển động của robot.

Cú 2 cộc tiếp cận vấn đề về chọn lựa quy luật chuyển động hợp lý giữa cộc điểm tựa:

Cộc thứ nhất thường tiến hành trong hệ tọa độ suy rộng, tức là trong khụng gian cộc biến khớp $q_i(t)$. Khi đó, nếu cho trước cộc điều kiện như đảm bảo độ liờn tục và điều hũa ở những điểm chuyển tiếp, cú thể xác định hệ số cú hàm đa thức biểu thị gần đỳng đường cong quỹ đạo.

Cộc thứ hai thường dựng trong hệ tọa độ Đề cộc. Lỳc đó cho trước dạng hàm giải tách, vớ dụ, hàm bậc nhất biểu thị quỹ đạo gồm nhiều đoạn thẳng nối tiếp nhau. Sau đó, thay thế gần đỳng quỹ đạo này bằng quan hệ hàm tương ứng của biến khớp.

Như vậy lập trỡnh quỹ đạo qua cộc điểm tựa cú thể tiến hành trong hệ tọa độ cộc biến khớp hoặc trong hệ tọa độ Đề cộc. Khi lập trỡnh trong hệ tọa độ cộc biến khớp, cần biết quan hệ $q_i(t)$ và cộc đạo hàm bậc nhất và bậc hai của chỳng.

Lập trỡnh quỹ đạo trong hệ tọa độ cộc biến khớp cú cộc ưu điểm sau:

- 1) Cho biết thụng tin về biến khớp là những thụng số điều khiển trực tiếp cộc khớp động.
- 2) Vỡ vậy cú nhiều khả năng đảm bảo thời gian thực trong điều khiển.
- 3) Việc lập trỡnh dễ dàng hơn.

Nhược điểm chính là thụng qua giỏ trị của cộc biến khớp chưa thể hỡnh dung ra ngay vị trí của cơ cấu tay mỷ trong khụng gian, mà vỡ vậy phải tónh toỏn nhiều lần, vớ dụ, để kiểm nghiệm xem cú bị chạm vào cộc vật thể xung quanh khụng.

Thường dựng hơn là cộc thức sau: từ tọa độ cộc điểm tựa giải bài toỏn động học ngược để tỡm giỏ trị cộc biến khớp, rồi dựng phỏp nội suy xấp xỉ

bằng hàm đa thức bậc thấp nhất để xây dựng quy luật thay đổi thích hợp của giá trị biến khớp, tương ứng với quỹ đạo của điểm tựa bắt buộc.

Có nhiều giải pháp giải quyết vấn đề này, ví dụ, mô tả quỹ đạo gồm nhiều đoạn thẳng nối tiếp hoặc dựng Spline bậc 3 . . .

5.2. Mô tả quỹ đạo bằng Spline bậc 3.

Spline bậc 3 là phép nội suy hàm đa thức bậc 3 để đảm bảo sự liên tục của đạo hàm bậc nhất và bậc 2 tại các điểm tựa. Phương pháp này cho phép xây dựng quy luật xấp xỉ với độ biến đổi điều hòa và độ chính xác cần thiết.

Xét dưới đây trường hợp quỹ đạo bắt đầu từ điểm xuất phát và đi qua 5 điểm tựa. Khi dựng Spline bậc 3, mỗi quỹ đạo được mô tả bằng một đa thức bậc 3:

$$h_j(t) = a_{j3}t^3 + a_{j2}t^2 + a_{j1}t + a_{j0} \quad (5.63)$$

Với t - thời gian quy đổi:

$$t = \frac{t - t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} \quad ; \quad t \in [t_{j-1}, t_j], \quad t \in [0,1]$$

t - thời gian thực, tính bằng giây;

t_j - thời gian (thực) ứng với điểm cuối của đoạn quỹ đạo thứ j

t_{j-1} - thời gian (thực) ứng với điểm đầu của đoạn quỹ đạo thứ j ;

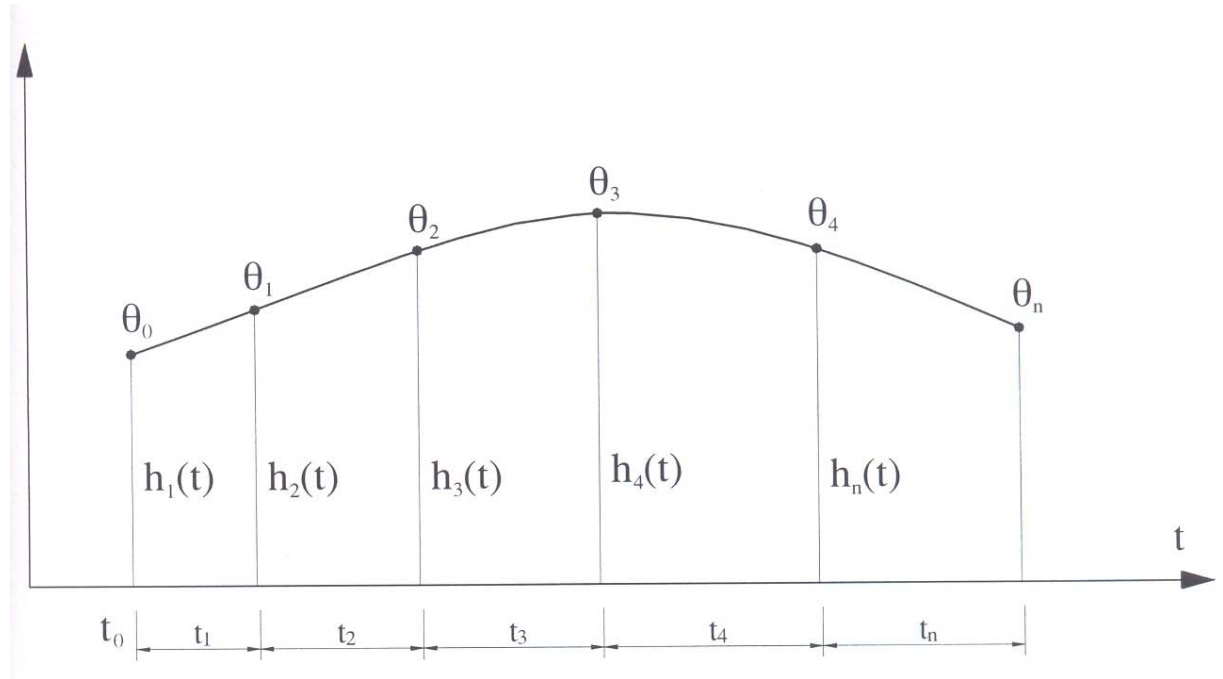
A_{ij} - hệ số thứ i của đa thức ứng với đoạn quỹ đạo thứ j , $j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ (n là đoạn cuối)

Trên hình 5-19 trình bày các đoạn quỹ đạo mô tả bằng Spline bậc 3. Điều kiện biên của các đoạn quỹ đạo cũng ghi trên hình vẽ, bao gồm giá trị q_j ở các điểm tựa, vận tốc v_j và gia tốc a_j

Đạo hàm bậc nhất và bậc 2 của hàm đa thức $h_j(t)$ theo thời gian thực được tính như sau:

$$v(t) = \frac{dh_j(t)}{dt} = \frac{dh_j(t)}{dt} \cdot \frac{dt}{dt} = \frac{1}{t-t_{j-1}} \cdot \frac{dh_j(t)}{dt} = \frac{1}{t_j} \cdot \frac{dh_j(t)}{dt} = \frac{1}{t_j} \cdot h_j(t), \quad i = 1 \dots n$$

$$a(t) = \frac{d^2h_j(t)}{(t-t_{j-1})^2} \cdot \frac{dt}{dt^2} = \frac{1}{t_j^2} \cdot \frac{d^2h_j(t)}{dt^2} = \frac{1}{t_j^2} \cdot h_j(t), \quad i = 1, 2 \dots n$$



Hình 5-19: Mô tả quỹ đạo bằng Spline bậc 3

Các hệ số a_{ij} được xác định từ các điều kiện biên này

Đoạn quỹ đạo thứ nhất mô tả bằng đa thức sau:

$$h_j(t) = a_{13}t^3 + a_{12}t^2 + a_{11}t + a_{10}$$

ở vị trí xuất phát $t = 0$ và q_0 biết trước, ta có:

$$h_1(0) = a_{10} = q_0$$

$$v_0 = \frac{h_1(0)}{t_1} = \frac{a_{11}}{t_1}$$

Từ đó, ta có:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= v_0 t_1 \\ a_{12} &= \frac{a_0 t_1^2}{2} \end{aligned} \right\}$$

Và do đó ta có:

$$a_0 = \frac{h_1(0)}{t_1^2} = \frac{2a_{21}}{t_1^2} \quad (5.64)$$

Ở vị trí $t = 1$ ta có:

$$h_1 = a_{13} + \frac{a_0 t_1^2}{2} + v_0 t_1 + q_0 = q_1 \quad (5.65)$$

Từ đó, ta có:

$$a_{13} = d_1 - v_0 t_1 - \frac{a_0 t_1^2}{2} \quad (5.66)$$

Ở đây cũng như về sau dùng ký hiệu $\delta_1 = q_1 - q_{1+1}$

Như vậy, đoạn quỹ đạo đầu tiên được biểu thị bằng phương trình sau:

$$h_1(t) = (d_1 - v_0 t_1 - \frac{a_0 t_0^2}{2}) t_3 + (\frac{a_0 t_0^2}{2}) t^2 + (v_0 t_1) t + q_0 \quad (5.67)$$

Từ đó, xác định vận tốc và gia tốc tại điểm cuối của đoạn quỹ đạo thứ nhất:

$$h_1(t) = v_1 = 3d_1 - \frac{(a_0 t_0^2)/2 - 2v_0 t_1}{t_3} = \frac{3d_1}{t_1} - 2v_0 - \frac{v_0 t_1}{2} \quad (5.68)$$

$$h_1(t) = a_1 = \frac{(a_0 t_0^2)/2 - 2v_0 t_1}{t_3} = \frac{6d_1}{t_1^2} - \frac{6v_0}{t_1} - 2a_0 \quad (5.69)$$

Đỗy cũng là vận tốc và gia tốc tại điểm đầu của đoạn quỹ đạo thứ hai

Đoạn quỹ đạo cuối được mụ tả bằng đa thức sau:

$$h_n(t) = a_{n3}t^3 + a_{n2}t^2 + a_{n1}t + a_{n0} \quad (5.70)$$

Theo các điều kiện ở điểm đầu ($t = 0$) và điểm cuối ($t = 1$) của đoạn quỹ đạo, xác định:

$$h_n(0) = a_{n0} = q_n \text{ cho biết trước} \quad (5.71)$$

$$h_1(t) = a_{n3} + a_{n2} + a_{n1} + a_{n0} = q_1 \quad (5.72)$$

$$\frac{h_n(1)}{t_n} = v_f = \frac{3a_{n3} + 2a_{n2} + a_{n1}}{t_n} \quad (5.72)$$

$$\frac{h_n(1)}{t_n^2} = a_f = \frac{6a_{n3} + 2a_{n2}}{t_n^2} \quad (5.74)$$

Giải các phương trình này để tìm các hệ số a_{n3} , a_{n2} , a_{n1} cuối cùng ta có:

$$h_1(t) = (d_n - v_f t_n + \frac{a_f t_n^2}{2})t^3 + (-3d_n + 3v_f t_n - a_f t_n^2)t^2 + (3d_n + 3v_f t_n + \frac{a_f t_n^2}{2})t + q_n \quad (5.75)$$

Với $\delta_n = q_f - q_n$

Đoạn quỹ đạo thứ hai được mụ tả bằng đa thức sau:

$$h_2(t) = a_{23}t^3 + a_{22}t^2 + a_{21}t + a_{20} \quad (5.76)$$

Theo các điều kiện biên ở điểm đầu của quỹ đạo này ($t = 0$) ta có:

$$h_2(0) = a_{20} = q_1 \quad (5.77)$$

$$a_1 = \frac{h_2(0)}{t_2} = \frac{a_{21}}{t_2} = \frac{h_1(1)}{t_1} \quad (5.78)$$

Do vậy $a_{21} = v_1 t_2$

$$a_1 = \frac{h_2(0)}{t_2^2} = \frac{2a_{22}}{t_2^2} = \frac{h_1(1)}{t_1^2} \quad (5.79)$$

Từ đó:

$$a_{22} = \frac{a_1 t_2^2}{2}$$

Với các hệ số này đa thức $h_2(t)$ có dạng sau:

$$h_2(t) = a_{23}t^3 + \left(\frac{a_1 t_2^2}{2}\right)t^2 + (v_1 t_2)t + q_1 \quad (5.80)$$

Với

$$v_1 = \frac{3d_1}{t_1} - 2v_0 - \frac{a_0 t_1}{2} \quad (5.81)$$

$$a_1 = \frac{6d_1}{t_1^2} - \frac{6v_0}{t_1} - 2a \quad (5.82)$$

Thay vào (5.80) các điều kiện $t = 1$ ứng với điểm cuối của quỹ đạo thứ hai, cũng tức là điểm đầu của đoạn quỹ đạo tiếp theo:

$$h_2(1) = q_2 = a_{23} + \frac{a_1 t_2^2}{2} + v_1 t_2 + q_1 \quad (5.83)$$

$$\frac{h_2(1)}{t_2} = v_2 = \frac{3a_{n3} + a_1 t_2^2 + v_1 t_2}{t_2} = v_1 + a_1 t_2 + \frac{3a_{23}}{t_2} \quad (5.84)$$

$$\frac{h_2(1)}{t_2^2} = a_2 = \frac{6a_{n3} + a_1 t_2^2}{t_n^2} = a_1 + \frac{6a_{23}}{t_n^2} \quad (5.85)$$

Các vị trí q_2 , v_2 và a_2 đều phụ thuộc vào a_{23}

Đoạn quỹ đạo thứ ba được mô tả bằng đa thức sau:

$$h_3(t) = a_{33}t^3 + a_{32}t^2 + a_{31}t + a_{30} \quad (5.86)$$

Ở điểm đầu $t = 0$, ta có:

$$h_0(0) = a_{30} = q_2 = a_{23} + \frac{a_1 t_2^2}{2} + v_1 t_2 + q_1 \quad (5.87)$$

$$v_f = \frac{h_3(0)}{t_2} = \frac{a_{31}}{t_3} = \frac{h_2(1)}{t_2} \quad (5.88)$$

Từ đó, $a_{31} = v_2 t_3$

Tiếp theo

$$a_2 = \frac{h_3(0)}{t_3^2} = \frac{2a_{31}}{t_3^2} = \frac{h_2(1)}{t_3^2} \quad (5.89)$$

Từ đó ta có:

$$a_{32} = \frac{a_2 t_3^2}{2}$$

Thay các hệ số vừa xác định được vào (5.87) ta có

$$h_3(t) = a_{32}t^3 + \left(\frac{a_2 t_3^2}{2}\right)t^2 + (v_2 t_3)t + q_2 \quad (5.90)$$

Theo điều kiện biên khi $t = 1$ ứng với điểm cuối của đoạn quỹ đạo thứ ba, cũng tức là điểm đầu của đoạn quỹ đạo tiếp theo, ta có:

$$h_3(1) = q_3 = q_2 = a_{33} + \frac{a_2 t_3^2}{2} + v_2 t_3 \quad (5.90)$$

$$\frac{h_3(1)}{t_3} = v_3 = \frac{3a_{33} + a_2 t_3^2 + v_2 t_3}{t_2} = v_2 + a_2 t_3 + \frac{3a_{33}}{t_3} \quad (5.91)$$

$$\frac{h_3(1)}{t_3^2} = a_3 = \frac{6a_{33} + a_3 t_3^2}{t_3^2} = a_2 + \frac{6a_{33}}{t_3^2} \quad (5.92)$$

Các vị trí q_3 , v_3 và a_3 đều phụ thuộc vào a_{23}

Đoạn quỹ đạo thứ ba được mô tả bằng đa thức sau:

$$h_4(t) = a_{43}t^3 + a_{42}t^2 + a_{41}t + a_{40} \quad (5.93)$$

$$v_4 = \frac{h_4(0)}{t_4} = \frac{a_{41}}{t_4} = \frac{h_3(1)}{t_3} \quad (5.94)$$

$$h_4(0) = a_{40} = q_3 = q_2 = a_{33} + \frac{a_2 t_3^2}{2} + v_2 t_3 \quad (5.95)$$

Ứng với các điều kiện biên tại điểm đầu, $t = 0$ ta có:

$$a_{41} = v_3 t_4$$

Tiếp theo

$$a_3 = \frac{h_4(0)}{t_4^2} = \frac{2a_{42}}{t_4^2} = \frac{h_3(1)}{t_2^2} \quad (5.96)$$

Từ đó ta có:

$$a_{42} = \frac{a_3 t_4^2}{2}$$

Thay các hệ số vừa xác định được vào (5.95) ta có

$$h_4(t) = a_{42}t^3 + \left(\frac{a_3 t_4^2}{2}\right)t^2 + (v_3 t_4)t + q_3 \quad (5.97)$$

Theo điều kiện biên tại điểm cuối $t = 1$, ta có

$$h_4(t) = a_{43} + \frac{a_3 t_4^2}{2} + v_3 t_4 + q_3 = q_4 \quad (5.98)$$

$$\frac{h_4(1)}{t_4} = \frac{3a_{43}}{t_4} + a_3 t_4 + v_f = v_4 = \frac{3\delta_n}{t_n} + v_f - \frac{a_f t_n}{2} \quad (5.99)$$

$$\frac{h_4(1)}{t_4^2} = \frac{ba_{42}}{t_4^2} + a_3 = a_4 = \frac{-6d_n}{t_n^2} + \frac{6v_f}{t_n} - 2a_f \quad (5.100)$$

Từ phương trình này có thể xác định các hệ số a_{23} , a_{33} , a_{43} ở phần tròn cũn là ẩn số

Cuối cùng có phương trình các đoạn quỹ đạo như sau:

$$h_1(t) = (\delta_1 - v_0 t_1 - \frac{a_0 t_1^2}{2})t^3 + \left(\frac{a_0 t_1^2}{2}\right)t^2 + (v_0 t_1)t + q_0 \quad (5.101)$$

$$v_1 = \frac{3d_1}{t_1} - 2v_0 - \frac{a_0 t_1}{2} ; a_1 = \frac{6d_1}{t_1^2} - \frac{6v_0}{t_1} - 2a_0 \quad (5.102)$$

$$h_2(t) = a_{23}t^3 + \left(\frac{a_1 t_2^2}{2}\right)t^2 + (v_1 t_2)t + q_1 \quad (5.103)$$

$$q_2 = a_{23} + \frac{a_1 t_2^2}{2} + v_1 t_2 + q_1 \quad (5.104)$$

$$v_2 = v_1 + a_1 t_1 + \frac{3a_{23}}{t_2} ; a_2 = a_1 + \frac{6a_{23}}{t_2^2} \quad (5.105)$$

$$h_3(t) = a_{33} t^3 + \left(\frac{a_2 t_3^2}{2}\right) t^2 + (v_2 t_3) t + q_2 \quad (5.106)$$

$$q_3 = a_{33} + \frac{a_2 t_3^2}{2} + v_2 t_3 + q_2 \quad (5.107)$$

$$v_3 = v_1 + a_2 t_3 + \frac{3a_{33}}{t_3} ; a_3 = a_2 + \frac{6a_{33}}{t_3^2} \quad (5.108)$$

$$h_4(t) = a_{43} t^3 + \left(\frac{a_3 t_4^2}{2}\right) t^2 + (v_3 t_4) t + q_3 \quad (5.109)$$

$$h_n(t) = \left(\delta_n - v_f t_n - \frac{a_f t_n^2}{2}\right) t^3 + \left(-3\delta_n + v_f t_n - a_f t_n^2\right) t^2 + \left(3\delta_n - 2v_f t_n + \frac{a_f t_n^2}{2}\right) t + q_4 \quad (5.110)$$

$$v_4 = \frac{3d_n}{t_n} - 2v_f + \frac{a_f t_n}{2} ; a_4 = \frac{6d_n}{t_n^2} - \frac{6v_f}{t_n} - 2a_{0f} \quad (5.111)$$

$$a_{23} = t_2^2 \frac{X_1}{D} ; a_{33} = t_3^2 \frac{X_2}{D} ; a_{43} = t_4^2 \frac{X_3}{D} \quad (5.112)$$

Trong đó:

$$x_1 = k_1(u - t_2) + k_2(t_4^2 - d) - k_3[(u - t_4)d + t_4^2(t_4 - t_2)] \quad (5.113)$$

$$x_2 = -k_1(u - t_3) + k_2(c - t_4^2) + k_3[(u - t_4)c + t_4^2(t_4 - t_2)] \quad (5.114)$$

$$x_1 = k_1(u - t_4) + k_2(d - c) + k_3[(t_4 - t_4)c - d(u - t_2)] \quad (5.115)$$

$$D = u(u - t_2)(u - t_4) \quad (5.116)$$

$$u = t_4 + t_3 + t_2 \quad (5.117)$$

$$k_1 = q_4 - q_1 v_1 u - a_1 \frac{u^2}{2} \quad (5.118)$$

$$k_2 = \frac{v_4 - v_1 - a_1 u - (a_4 - a_1)u/2}{3} \quad (5.119)$$

$$k_3 = \frac{a_4 - a_1}{6} \quad (5.120)$$

$$c = 3u_2 - 3ut_2 + t_2^2 \quad (5.121)$$

$$d = 3t_4^2 + 3t_3t_4 + t_3^4 \quad (5.122)$$

5.3. Lập trình quỹ đạo trong hệ tọa độ Đề cắc.

Trong phần trước đó xây dựng quỹ đạo trong khung gian cộc biến khớp (tọa độ suy rộng) và nội suy bằng đa thức bậc thấp. Mặc dù theo giá trị cộc biến khớp có thể hoàn toàn xác định vị trí và định hướng của bàn kẹp trong khung gian tọa độ Đề cắc. Tuy nhiên, để dễ hình dung trực quan hơn, người lập trình cần trực tiếp tên hành lập trình quỹ đạo trong hệ tọa độ Đề cắc. Nhiệm vụ lập trình là xây dựng quỹ đạo chuyển động của bàn kẹp, (mặc dầu nú là bàn kẹp nhưng ở đây hiểu chính xác hơn là của điểm tốc động cuối, khi dụng cụ đó gắn vào tay máy hoặc bàn kẹp) đảm bảo vị trí trạng thái (vị trí định hướng) của nú tại cộc điểm tựa và nối liền cộc điểm tựa này với nhau.

Như đó biết tại từng điểm tựa có thể dựng ma trận thuần nhất 4x4 để mô tả quan hệ giữa tọa độ gắn liền với bàn kẹp và hệ tọa độ cơ bản.

Giá trị cộc biến khớp tại cộc điểm tựa này được xác định theo cộc phương pháp giải bảo toàn động học ngược. Như vậy ma trận 4x4 nú tròn cũng hoàn toàn xác định. Từ điểm tựa này sang điểm tựa kia có thể thực hiện bằng cách di chuyển theo đường thẳng nối hai điểm và theo cộc chuyển động quay để đảm bảo định hướng tới của bàn kẹp.

Trong trường hợp này chúng ta viết:

$$T_6 = C_j(t)P_{ij} \quad (5.123)$$

Với T_6 – ma trận thuần nhất 4×4 , mục tả định vị và định hướng của bàn kẹp trong hệ tọa độ cơ bản.

P_{ij} - ma trận thuần nhất 4×4 , mục tả định vị và định hướng của vật thể đối tốc bị kẹp đang ở vị trí thứ i trong hệ tọa độ tham chiếu thứ j của vật thể đối tốc.

$C_j(t)$ - ma trận thuần nhất 4×4 , mục tả quan hệ giữa hệ tọa độ tham chiếu của vật thể đối tốc so với hệ tọa độ cơ bản.

Quan hệ này có thể thay đổi theo thời gian t , hoặc khung đối, thậm chí bằng ma trận đơn vị, nếu hệ tọa độ tham chiếu này trùng với hệ tọa độ cơ bản.

Nếu chọn gốc hệ tọa độ tham chiếu của vật thể đối tốc trùng với điểm thứ $(i + 1)$ khi xét chuyển động của điểm thứ i thì ta có:

$$T_6 = C_{i,i+1}(t)P_{i,i+1} \quad (5.124)$$

Việc mục tả di chuyển từ điểm thứ i tới điểm thứ $(i + 1)$ có thể mục tả bằng ma trận $D(\lambda)$, bổ sung vào (5.124), ta có:

$$T_6(\lambda) = C_j(\lambda)P_{i,i+1}D(\lambda) \quad (5.125)$$

Với

$$\lambda = \frac{t}{T}, \lambda \in [0, 1]$$

t - thời gian thực tính từ đếm đầu của đoạn quỹ đạo đang xét;

T - tổng thời gian di chuyển trên đoạn quỹ đạo này;

Vậy λ là thời gian quy đổi khung thứ nguyên.

Ở điểm đầu của đoạn quỹ đạo, điểm i : $t = 0$; $\lambda = 0$; $D(0)$ bằng ma trận đơn vị và ở điểm cuối đoạn quỹ đạo điểm $i + 1$, thì $t = T$; $\lambda = 1$ và

$$D(1) = \begin{matrix} s_A \cdot n_B & s_A \cdot s_B & s_A \cdot a_B & s_A \cdot (p_B - p_A) \\ a_A \cdot n_B & a_A \cdot s_B & n_A \cdot a & a_A \cdot (p_B - p_A) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (5.130)$$

Dấu (.) giữa hai thừa số (vở dụ, $n_A \cdot n_B$) là ký hiệu phỏp nhõn vự hướng vộc tợ.

Ma trận $D(\lambda)$ cú thể biểu thị bằng một quan hệ hàm sau:

$$D(\lambda) = L(\lambda) R_A(\lambda) R_B(\lambda) \quad (5.131)$$

$$\text{Vớỉ } L(\lambda) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \lambda_x \\ 0 & 1 & 1 & \lambda_y \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.132)$$

$$R_A(\lambda) = \begin{bmatrix} S_\Psi^2(\lambda\theta) & -S_\Psi C_\Psi V(\lambda\theta) & S_\Psi C_\Psi V(\lambda\theta) & C_\Psi S(\lambda\theta) \\ -S_\Psi C_\Psi V(\lambda\theta) & C_\Psi^2 V(\lambda\theta) = C(\lambda\theta) & S_\Psi S(\lambda\theta) & 0 \\ C_\Psi S(\lambda\theta) & S_\Psi S(\lambda\theta) & C(\lambda\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.133)$$

$$R_B = \begin{bmatrix} C(\lambda) & -S(\lambda) & 0 & 0 \\ S(\lambda) & C(\lambda) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.134)$$

Trong đó:

$$V(\lambda\theta) = 1 - \cos(\lambda\theta)$$

$$C(\lambda\theta) = \cos(\lambda\theta), S(\lambda\theta) = \sin(\lambda\theta)$$

$$C(\lambda\varphi) = \cos(\lambda\varphi), S(\lambda\varphi) = \sin(\lambda\varphi)$$

và $\lambda \psi \in [0, 1]$

Ma trận R_A mô tả sự quay ở vị trí tại điểm i , góc θ quay vector hướng tới a_A . Ma trận $R_B(\lambda)$ mô tả sự quay ở vị trí tại điểm $(i+)$, góc quay φ quanh vector hướng tới a_B .

Thay (5.132), (5.133) và (5.134), ta có:

$$D(\lambda) = \begin{bmatrix} dn & dn & da & dp \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.135)$$

Với

$$\delta s = \begin{bmatrix} -S(\lambda\varphi)[S_\psi^2 V(\lambda\theta) + C(\lambda\varphi) - S_\psi C_\psi V(\lambda\theta)] \\ -S(\lambda\varphi)[S_\psi C_\psi V(\lambda\theta) + C(\lambda\theta)[C_\psi^2 V(\lambda\theta) + C(\lambda\theta)]] \\ -S(\lambda\varphi) - C_\psi S(\lambda\theta) + C(\lambda\theta)[-S_\psi S(\lambda\theta)] \end{bmatrix}$$

$$\delta a = \begin{bmatrix} C_\psi S(\lambda\theta) \\ S_\psi S(\lambda\theta) \\ C(\lambda\theta) \end{bmatrix}; \quad dp = \begin{bmatrix} \lambda x \\ \lambda x \\ \lambda x \end{bmatrix}; \quad \delta n = \delta s \times \delta a$$

So sánh các phân tử tương ứng của 2 ma trận (4.138) và (4.143) khi $\lambda = 1$, ta có:

$$\left. \begin{aligned} x &= n_A \cdot (p_B - p_A) \\ y &= s_A \cdot (p_B - p_A) \\ z &= a_A \cdot (p_B - p_A) \end{aligned} \right\} \quad (5.136)$$

ứng với các phân tử thứ 3 ta có:

$$\psi = \arctg \frac{s_A \cdot a_B}{n_A \cdot a_B} \quad -\pi \leq \psi \leq \pi \quad (5.137)$$

$$\theta = \arctg \frac{[(n_A \cdot n_B) + (s_A \cdot a_B)^2]^{1/2}}{a_A \cdot a_B} \quad (0 \leq \theta \leq \pi) \quad (5.138)$$

Cuối cùng tìm biểu thức tính φ :

$$S_\varphi = -S_\psi C_\psi V(\lambda\theta)(n_A \cdot n_B) + [C_\psi^2 V(\lambda\theta) + C(\lambda\theta)](s_A \cdot n_B) - S_\psi S(\lambda\theta)(n_A \cdot n_B) \quad (4.147)$$

$$C_\varphi = -S_\psi C_\psi V(\lambda\theta)(n_A \cdot n_B) + [C_\psi^2 V(\lambda\theta) + C(\lambda\theta)](s_A \cdot n_B) - S_\psi S(\lambda\theta)(n_A \cdot n_B) \quad (4.148)$$

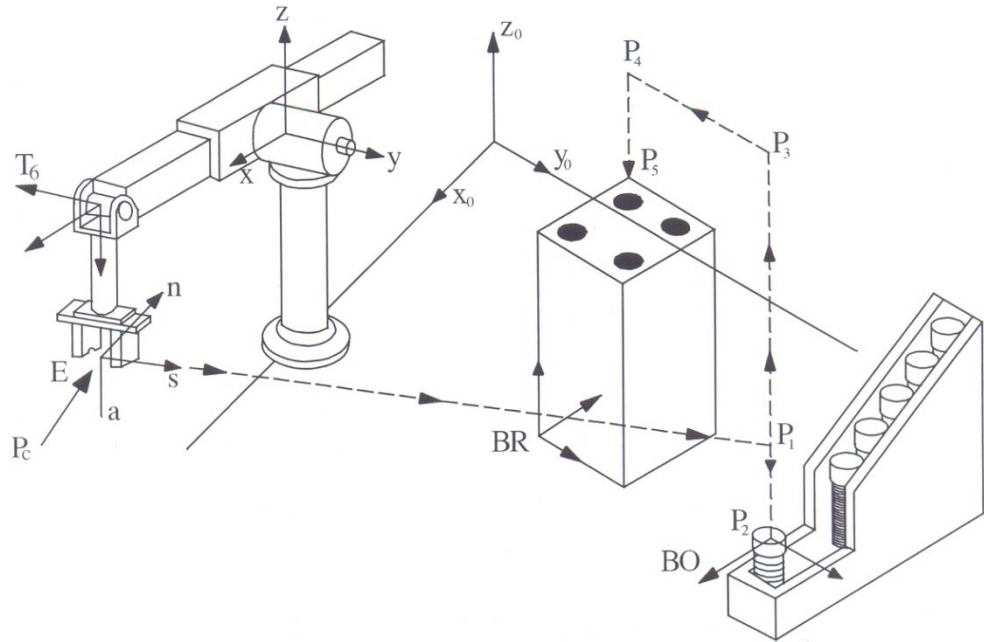
$$\varphi = \arctg \frac{S}{C} \quad \pi \leq \varphi \leq \pi \quad (5.139)$$

$D(\lambda)$ được gọi là hàm dẫn. Tùy theo các yêu cầu định hướng bàn kẹp mà xác định $D(\lambda)$, còn nhiều vị trí tâm bàn kẹp được di chuyển trên đường thẳng nối 2 điểm tựa. Nhiều khi lại còn phải dùng đoạn cong chuyển tiếp giữa 2 đoạn quỹ đạo đường thẳng để tránh sự thay đổi đột ngột về tốc độ di chuyển.

Trên đây đã trình bày trường hợp xây dựng quỹ đạo giữa 2 điểm tựa i và $i + 1$. Theo đó, vị trí tâm bàn kẹp được di chuyển dọc theo đường nối 2 tâm điểm tựa. Trong khi đó bản thân kẹp thực hiện các chuyển động quay (tại vị trí quay phức hợp với góc θ và ψ , còn tại vị trí $(i + 1)$ góc quay φ). Đoạn cong chuyển tiếp tại điểm giao nhau của 2 quỹ đạo thẳng, được xây dựng như phép nội suy bậc 2.

Trong thực tế còn có thể thực hiện quỹ đạo qua các điểm tựa bằng nhiều phương pháp khác nhau và phải xét tới các đặc điểm công nghệ. Tùy theo loại hình công nghệ được robot phục vụ mà xác định các đặc tính động học, động lực học tại một số điểm tựa quan trọng để đưa thêm các điều kiện ràng buộc khi xây dựng quỹ đạo đi qua các điểm tựa này.

Trên hình 4.20 là sơ đồ thao tác của một robot có nhiệm vụ lấy các chiếc đinh ốc trong ổ chứa để lắp vào các lỗ và đi qua các điểm tựa theo quỹ đạo là các đoạn thẳng.



Hình 5 – 20: Sơ đồ thao tác của robot qua các điểm tựa

Theo nhiệm vụ đặt ra đó ta thiết lập các phương trình ma trận tại các vị trí điểm tựa khác nhau:

$$\text{ở điểm } p_0: [\text{BASE}] [\text{T}_6] [\text{E}] = [p_0] \quad (5.140)$$

$$\text{ở điểm } p_1: [\text{BASE}] [\text{T}_6] [\text{E}] = [\text{B0}][p_1] \quad (5.141)$$

$$\text{ở điểm } p_2: [\text{BASE}] [\text{T}_6] [\text{E}] = [\text{B0}] [p_2] \quad (5.142)$$

$$\text{ở điểm } p_3: [\text{BASE}] [\text{T}_6] [\text{E}] = [\text{B0}] [p_3] \quad (5.143)$$

$$\text{ở điểm } p_4: [\text{BASE}] [\text{T}_6] [\text{E}] = [\text{BR}] [p_4] \quad (5.144)$$

$$\text{ở điểm } p_5: [\text{BASE}] [\text{T}_6] [\text{E}] = [\text{BR}] [p_5] \quad (5.145)$$

Trong các phương trình trên đã dùng các ký hiệu sau biểu thị các ma trận thuần nhất 4 x 4 :

[BASE]- ma trận quan hệ giữa hệ tọa độ cơ bản x,y,z gắn liền với robot và hệ tọa độ cố định x_0, y_0, z_0 .

[B0]- ma trận quan hệ giữa hệ tọa độ gắn liền với vị trí của ổ chứa định ốc, so với hệ x_0, y_0, z_0 .

[BR]- ma trận quan hệ giữa các tọa độ gắn liền với các vật thể có các lỗ đỉnh ốc, so với hệ x_0, y_0, z_0 .

[P₀]- ma trận quan hệ giữa các tọa độ gắn liền với vị trí xuất phát, so với hệ x_0, y_0, z_0 .

[P₁, P₂, P₃]- các ma trận quan hệ giữa các tọa độ gắn liền với các điểm tựa P₁, P₂, P₃, so với hệ tọa độ liên quan với [B₀].

[T₆]- ma trận quan hệ giữa tọa độ gắn liền với điểm cuối của tay máy và hệ tọa độ cơ bản x, y, z

[E]- ma trận quan hệ giữa tọa độ gắn liền với bàn kẹp so với hệ tọa độ [T₆]

Để biểu thị sự dịch chuyển từ điểm P_i đến P_{i+1} (i = 0, 1, 2, 3, 4) dùng ma trận P_{i, i+1}. Ví dụ, khi mô tả sự dịch chuyển từ P₀ đến P₁ ta viết lại (5.140) trong hệ tọa độ P₀:

$$[T_6] = [BASE]^{-1}[P_{00}][E]^{-1} \quad (5.146)$$

Và trong hệ tọa độ P₁, ta có:

$$[T_6] = [BASE]^{-1}[B_0][P_{01}][E]^{-1} \quad (5.147)$$

Từ (4.146) và (5.147) ta có :

$$[P_{01}] = [B_0]^{-1}[P_{00}] \quad (5.148)$$

Như vậy, việc chuyển từ vị trí điểm tựa P₀ đến vị trí điểm tựa P₁ dọc theo đoạn thẳng nối chúng với nhau, cấu hình của tay máy thay đổi từ

$$[T_6] = [BASE]^{-1}[B_0][P_{01}][E]^{-1} \quad (5.149)$$

Sang cấu hình sau :

$$[T_6] = [BASE]^{-1}[B_0][P_{11}][E]^{-1} \quad (5.150)$$

5.4 Mô tả quỹ đạo qua các điểm tựa bằng đa thức bậc 3 có xét đến các hạn chế về động lực học

Ký hiệu $Q_{ij}(t)$ là đa thức bậc 3 biểu diễn sự biến thiên của biến khớp (toạ độ suy rộng) thứ j giữa 2 điểm tựa B_i và B_{i+1} trong khoảng thời gian $[t_i, t_{i+1}]$. Vấn đề là “nối ghép” các đa thức Q_{ij} này lại ($i = 1, 2, \dots, n-1$) sao cho quỹ đạo phải đi qua các điểm tựa và đảm bảo tính liên tục về hành trình, vận tốc, gia tốc trong suốt khoảng thời gian $[t_1, t_n]$

Vì $Q_{ij}(t)$ là đa thức bậc 3 nên quỹ đạo hàm bậc 2 của chúng là hàm bậc nhất theo thời gian t :

$$Q_{ij}(t) = \frac{t_{i+1} - t}{u_i} Q_{ij}(t_i) + \frac{(t - t_i)}{u_i} Q_{ij}(t_{i+1}) \quad (5.151)$$

Với $i = 1, 2, \dots, n-1$;

$$J = 1, 2, \dots, N$$

U_i – Thời gian di chuyển trên đoạn đường thứ i , $u_i = t_{i+1} - t_i$

Lấy tích phân 2 lần với các điều kiện biên:

$$Q_{ij}(t_i) = q_{ij}; \quad Q_{ij}(t_{i+1}) = q_{j,i+1};$$

Ta có

$$Q_{ij}(t) = \frac{Q_{ij}(t)}{6u_i} (t_{i+1} - t)^3 + \frac{Q_{ij}(t_{i+1})}{6u_i} (t - t_i)^3 + \left[\frac{q_{j,i+1}}{u_i} - \frac{u_i Q_{ij}(t_i)}{6} \right] (t - t_i) + \left[\frac{q_{j,i}}{u_i} - \frac{u_i Q_{ij}(t_{i+1})}{6} \right] (t_{i+1} - t) \quad (5.152)$$

$$I = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = 1, 2, \dots, N$$

Như vậy đối với các điểm $i = 1, 2, \dots, n-1$ thì $Q_{ij}(t)$ là xác định nếu biết các đạo hàm bậc 2 của chúng tại các thời điểm t_i và t_{i+1} .

Trên cơ sở đó ta có $(n-2)$ phương trình tuyến tính với ẩn số $Q_3(t_i)$, $i = 2, \dots, n-1$:

$$AQ = b$$

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{j_2}(t_2) \\ Q_{j_3}(t_3) \\ \dots \\ Q_{j,n-1}(t_{n-1}) \end{bmatrix} \quad (5.153)$$

$$A = \begin{bmatrix} 3u_1 + 2u_2 + \frac{u_1^2}{u_2} & u_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ u_2 - \frac{u_1^2}{u_2} & 2(u_2 + u_3) & u_3 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & u_3 & 2(u_3 + u_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & u_4 & 2(u_4 + u_{n-3}) & \cdot & u_{n-3} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 2(u_{n-3} + u_{n-2}) & u_{n-2} - \frac{u_{n-2}^2}{u_{n-2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & u_{n-2} & 3u_{n-1} + 2u_{n-2} + \frac{u_{n-1}^2}{u_{n-2}} \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 6 \left[\frac{q_{j3}}{u_2} + \frac{q_{ji}}{u_1} \right] - 6 \left[\frac{1}{u_1} + \frac{1}{u_2} \right] \left[q_{ji} + u_1 v_{ji} + \frac{u_1^2}{3} a_{ji} \right] - u_1 a_{ji} \\ \frac{6}{u_2} \left[q_{ji} + u_1 v_{ji} + \frac{u_1^2}{3} a_{ji} \right] + \frac{6q_{j4}}{u_3} - 6 \left[\frac{1}{u_2} + \frac{1}{u_3} \right] q_{j3} \\ 6 \left[\frac{q_{j5} - q_{j4}}{u_4} - \frac{q_4 - q_{j3}}{u_3} \right] \\ 6 \left[\frac{q_{j5} - q_{j4}}{u_4} - \frac{q_4 - q_{j3}}{u_3} \right] \\ \vdots \\ \vdots \\ \frac{6}{u_{n-2}} \left[q_{jn} v_{jn} u_{n-1} + \frac{u_{n-1}^2}{3} a_{jn} \right] - \\ - 6 \left[\frac{1}{u_{n-2}} + \frac{1}{u_{n-3}} \right] q_{j,n-2} + \frac{6}{u_{n-3}} q_{j,n-3} - \\ - 6 \left[\frac{1}{u_{n-1}} + \frac{1}{u_{n-2}} \right] \left[q_{jn} - v_{jn} u_{n-1} + \frac{u_{n-1}^2}{3} a_{jn} \right] + \\ + \frac{6q_{jn}}{u_{n-1}} + 6 \frac{q_{n-2}}{u_{n-1} u_{n-2}} - u_{n-1} a_{jn} \end{bmatrix}$$

Nếu u_i luôn luôn dương, từ phương trình (5.154) ta có:

$$Q = A^{-1}b \quad (5.155)$$

Và sau khi thay vào (5.152) sẽ được biểu thức xác định $Q_{ji}(t)$. Như vậy $Q_{ji}(t)$ phụ thuộc vào khoảng thời gian u_i , vào các giá trị của biên khớp, của vận tốc và gia tốc các điểm tựa.

Để tăng năng suất thao tác tay, máy phải thực hiện quỹ đạo chuyển dịch với thời gian ngắn nhất. Có thể đặt bài toán tối ưu chọn khoảng thời gian u_i sao cho tổng thời gian T là min trong phạm vi giới hạn về vận tốc, gia tốc và lực suy rộng

Hàm mục tiêu:

$$T = \sum u_i \rightarrow \min$$

Giới hạn về vận tốc

$$|Q_{ji}(t)| \leq V_j \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$I = 1, 2, \dots, n - 1$$

Giới hạn về vận tốc

$$|Q_{ji}(t)| \leq V_j \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$I = 1, 2, \dots, n - 1$$

Giới hạn về lực :

$$[F_{Mj}] \leq F_j \quad j = 1, 2, \dots, N$$

Trong đó V_j , A_j và F_j là các giá trị giới hạn về vận tốc, gia tốc và lực suy rộng đối với khớp động thứ j .

Các điều kiện về giới hạn nói trên có thể viết chi tiết hơn như sau:

Giới hạn về vận tốc

Lấy vi phân biểu thức (5.152) và đặt:

$$Q_{ji}(t_i) = \omega_{ji} \quad (5.156)$$

$$Q(t_{i+1}) = \omega_{ji+1} \quad (5.157)$$

Ta có

$$Q_{ji}(t_i) = \frac{w_{ji}}{2u_i}(t_{i+1} - t)^2 + \left[\frac{q_{j,i+1}}{u_i} - \frac{u_i w_{j,i+1}}{6} \right] - \left[\frac{q_{ji}}{u_i} - \frac{u_i w_{ji}}{6} \right] \quad (5.158)$$

$$Q_{ji}(t) = \frac{w_{j,i+1}}{u_i}(t - t_i) - \frac{w_{ji}}{u_i}(t - t_{i+1}) \quad (5.159)$$

Trong đó ω_{ji} – gia tốc góc tính bằng (5.156) tại điểm tựa B_i ở thời gian T_i . Khoảng thời gian $[t_i, t_{i+1})$ vận tốc có thể đạt cực đại thời điểm t_i nào đó. Tại thời điểm t_i^* này ta có

$$Q_{ji}(t_i^*) = 0 \quad (5.160)$$

Như vậy

$$\max_{t \in [t_i, t_{i+1}]} |Q_{ji}| = \max \left\{ |Q_{ji}(t_i)|, |Q_{ji}(t_{i+1})|, |Q_{ji}(t_i^*)| \right\} < V_i \quad (5.161)$$

$$i = 1, 2, \dots, n = 1; j = 1, 2, \dots, N$$

Trong đó;

$$|Q_{ji}(t_i)| = \left| \frac{\omega_{ji}}{2} u_i + \frac{q_{j,i+1} - q_{ji}}{u_i} + \frac{(\omega_{ji} - \omega_{j,i+1})u_i}{6} \right|$$

$$|Q_{ji}(t_{i+1})| = \left| \frac{\omega_{j,i+1}}{2} u_i + \frac{q_{j,i+1} - q_{ji}}{u_i} + \frac{(\omega_{ji} - \omega_{j,i+1})u_i}{6} \right|$$

$$|Q_{ji}(t_{ii}^*)| = \left| \frac{\omega_{ji}\omega_{j,i}u_i}{2} + \frac{(\omega_{j,i} - \omega_{ji})}{6} + \frac{q_{j,i+1} - q_{j,i}}{u_i} \right|$$

Giới hạn về gia tốc:

với quỹ đạo hành trình đã biểu thị bằng các đa thức bậc 3 thì quan hệ gia tốc theo thời gian là hàm bậc nhất, cho nên trong khoảng thời gian $[t_i, t_{i+1}]$ gia tốc lớn nhất đạt hoặc ở thời điểm t_i hoặc t_{i+1} và bằng giá trị lớn nhất trong 2 giá trị $|\omega_{ji}|$ và $|\omega_{j,i+1}|$

Vậy điều kiện giới hạn về gia tốc có dạng sau:

$$\text{Max} \left\{ |\omega_{j1}|, |\omega_{j2}|, |\omega_{j3}|, \dots, |\omega_{jn}| \right\} \leq A_j \quad (5.162)$$

$$J = 1, 2, 3, \dots, n$$

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP HCM
KHOA CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG

GIÁO TRÌNH MÔN HỌC
KỸ THUẬT ROBOT



Biên soạn : Bùi Thư Cao
Trần Hữu Toàn

TP.HỒ CHÍ MINH, 03/10/2008

MỤC LỤC

Chương 1. Tổng quan về robot.	01
1.1. Lịch sử phát triển Robot.	01
1.2. Các ứng dụng của Robot.	04
1.2.1. Các ưu điểm khi sử dụng Robot.	04
1.2.2. Một số lĩnh vực ứng dụng.	05
1.3. Các khái niệm về robot - robot công nghiệp.	07
1.3.1. Định nghĩa về robot công nghiệp	07
1.3.2. Các thành phần của robot công nghiệp	08
1.3.3. Bậc tự do của robot công nghiệp.	10
1.3.4. Hệ tọa độ trong robot.	11
1.4. Phân loại robot.	13
1.4.1. Robot công nghiệp.	13
1. Robot nối tiếp.	13
2. Robot song song.	14
1.4.2. Robot di động	15
Chương 2. Phân tích hệ cơ cân bằng tĩnh và chuyển động tay máy.	17
2.1. Các khái niệm cơ bản và tiền đề tĩnh học.	17
2.1.1. Trạng thái cân bằng.	17
2.1.2. Lực.	17
2.1.3. Momen của lực đối với tâm.	17
2.1.4. Momen của lực đối với trục.	17
2.1.5. Hệ lực.	18
2.1.6. Các tiền đề tĩnh học.	18
2.1.7. Một số mô hình phản lực liên kết	20
2.1.8. Sức bền vật liệu.	22

2.1.9. Lực ma sát	23
2.2. Thiết kế hệ cơ cân bằng tĩnh.	24
2.2.1. Xác định các yếu tố đầu vào.	24
2.2.2. Thiết kế cơ khí.	24
2.2.3. Tính toán kiểm tra cân bằng lực cho hệ.	25
2.3. Phân tích chuyển động tay máy.	28
2.3.1. Giới thiệu.	28
2.3.2. Hệ toạ độ.	28
2.3.3. Quỹ đạo robot.	28
2.3.4. Phân tích chuyển động tổng quát của tay máy.	28
2.3.5. Phép biến đổi hệ toạ độ.	29
2.4. Phân tích chuyển động của một số tay máy.	29
2.4.1. Phân tích chuyển động của tay máy 2 khớp quay.	30
2.4.2. Phân tích chuyển động của tay máy 3 khớp quay.	32
2.4.3. Phân tích chuyển động của tay máy nhiều khớp nối	34
Chương 3. Các phép biến đổi thuần nhất (homogenous transformation)	34
3.1. Vectơ điểm và hệ toạ độ thuần nhất.	35
3.2. Nhắc lại các phép tính về vectơ và ma trận.	35
3.2.1. Phép nhân vectơ.	36
3.2.2. Các phép tính về ma trận.	36
a. Phép cộng trừ ma trận.	36
b. Tích hai ma trận.	37
c. Ma trận nghịch đảo của ma trận thuần nhất.	37
d. Vết của ma trận.	38
e. Đạo hàm và tích phân của ma trận.	38
3.3. Các phép biến đổi dùng trong động học robot.	38
3.3.1. Phép biến đổi tịnh tiến.	39
3.3.2. Phép quay quanh các trục toạ độ.	40
3.3.3. Phép quay Öle (Euler).	41

3.3.4. Phép quay Roll – Pitch -Yaw.	42
3.4. Biến đổi hệ tọa độ và mối quan hệ giữa các hệ tọa độ.	42
2.4.1. Biến đổi hệ tọa độ.	43
2.4.2. Mối quan hệ giữa các hệ tọa độ.	44
3.5. Mô tả vật thể – Đối tượng làm việc của robot.	47
Chương 4. Phương trình động học của robot (kinematic equations)	47
4.1. Dẫn nhập.	47
4.1.1. Hệ tọa độ và mối quan hệ giữa các khâu trên robot.	47
4.1.2. Khâu chấp hành cuối và điểm tác động cuối.	49
4.2. Bộ thông số DENAVIT – HARTENBERG (DH).	49
4.2.1. Dẫn nhập.	49
4.2.2. Độ dài pháp tuyến chung an và góc xoắn của khâu n an.	50
4.2.3. Khoảng cách giữa hai khâu dn và góc quay của khâu n θn.	50
4.2.4. Bộ thông số DH.	51
4.3. Gắn hệ tọa độ cho robot.	51
a. Chọn gốc của hệ tọa độ.	51
b. Chọn trục zn.	51
c. Chọn trục xn.	51
d. Gắn hệ tọa độ cho robot SCARA.	53
4.4. Đặc trưng của các ma trận A	53
4.3.1. Khái niệm ma trận A.	53
4.3.2. Các phép biến đổi ma trận A.	54
4.5. Xác định các ma trận T theo ma trận A.	55
4.6. Trình tự thiết lập hệ phương trình động học của robot.	55
4.6.1. Các bước thực hiện.	55
a. Chọn hệ tọa độ cơ bản và gắn các hệ tọa độ trung gian.	55
b. Lập bảng thông số DH.	55
c. Xác định các ma trận Ai.	55
d. Tính các ma trận T.	55

e. Viết phương trình động học của robot.	56
4.6.2. Ví dụ thiết lập phương trình động học một số robot.	64
Chương 5. Động lực học Robot và ứng dụng trong điều khiển	64
5.1. Mục đích và phương pháp khảo sát động lực học Robot.	64
5.2. Động lực học robot với phương trình Euler-Lagrange.	65
5.3. Khảo sát bài toán động lực học của tay máy nhiều bậc tự do.	71
5.4. Phương trình động lực học tay máy.	71
5.4.1. Tổng quát.	72
5.4.2. Ma trận quán tính.	74
5.4.3. Vector Coriolis/hướng tâm.	74
5.4.4. Vector trọng lực	75
5.5. Xây dựng Robot với đặc tính phi tuyến - Ứng dụng trong điều khiển	78
Chương 6. Điều khiển Robot	78
6.1. Biến đổi quỹ đạo từ hệ tọa độ Descartes sang không gian khớp.	78
6.1.1 Nội suy đường đa thức.	80
6.1.2. Nội suy quỹ đạo theo thời gian nhỏ nhất.	82
6.2. Điều khiển hệ robot phi tuyến.	82
6.3. Điều khiển trực tiếp hệ robot.	93
6.4. Tính toán và điều khiển theo momen - hồi tiếp tuyến tính hệ robot.	93
6.4.1. Đạo hàm của vòng hồi tiếp trong (Deravition of Inner Feedforward Loop)	93
6.4.2. Thiết kế PD vòng ngoài.	96
6.4.3. Ví dụ minh họa.	98
6.4.4. Thiết kế PID vòng ngoài.	100
6.4.5. Bảng tóm tắt.	102
6.4.6. Áp dụng Matlab để khảo sát các bài toán cụ thể	103

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ ROBOT

1.1. Lịch sử phát triển Robot.

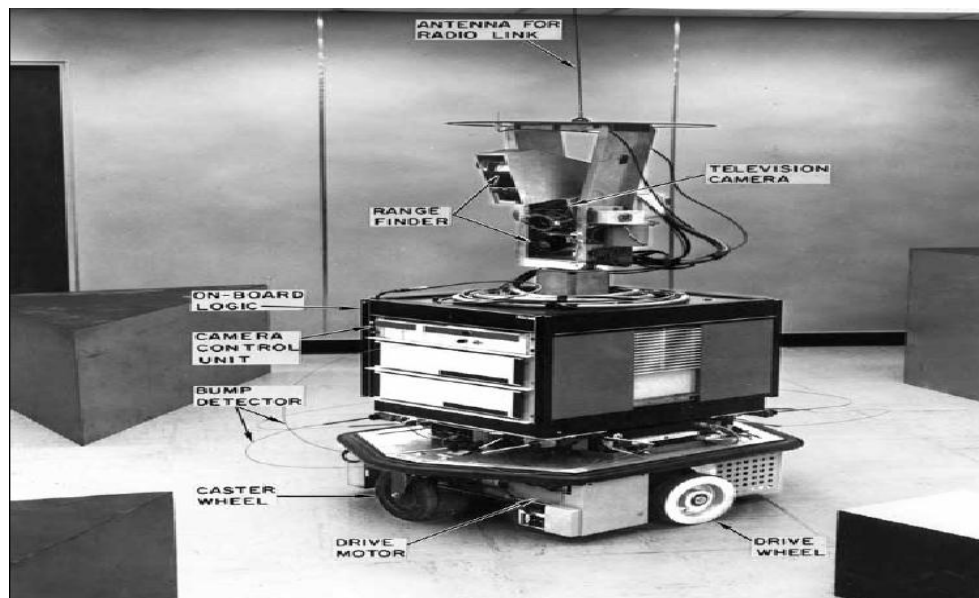
Khái niệm Robot ra đời đầu tiên vào ngày 09/10/1922 tại NewYork, khi nhà soạn kịch người Tiệp Kh Karen Kapek đã tưởng tượng ra một cỗ máy hoạt động một cách tự động, nó là niềm mơ ước của con người lúc đó.

Từ đó ý tưởng thiết kế, chế tạo Robot đã luôn thôi thúc con người. Đến năm 1948, tại phòng thí nghiệm quốc gia Argonne, Goertz đã chế tạo thành công tay máy đôi (master-slave manipulator). Đến năm 1954, Goertz đã chế tạo tay máy đôi sử dụng động cơ servo và có thể nhận biết được lực tác động lên khâu cuối.

Năm 1956 hãng Generall Mills đã chế tạo tay máy hoạt động trong việc thám hiểm đại dương.

Năm 1968 R.S. Mosher, của General Electric đã chế tạo một cỗ máy biết đi bằng 4 chân. Hệ thống vận hành bởi động cơ đốt trong và mỗi chân vận hành bởi một hệ thống servo thủy lực.

Năm 1969, đại học Stanford đã thiết kế được Robot tự hành nhờ nhận dạng hình ảnh.



Hình 1.1 Robot Shakey

Năm 1970 con người đã chế tạo được Robot tự hành Lunokhod, thám hiểm bề mặt của mặt trăng.

Trong giai đoạn này, ở nhiều nước khác cũng tiến hành công tác nghiên cứu tương tự, tạo ra các Robot điều khiển bằng máy tính có lắp đặt các loại cảm biến và thiết bị giao tiếp người và máy.

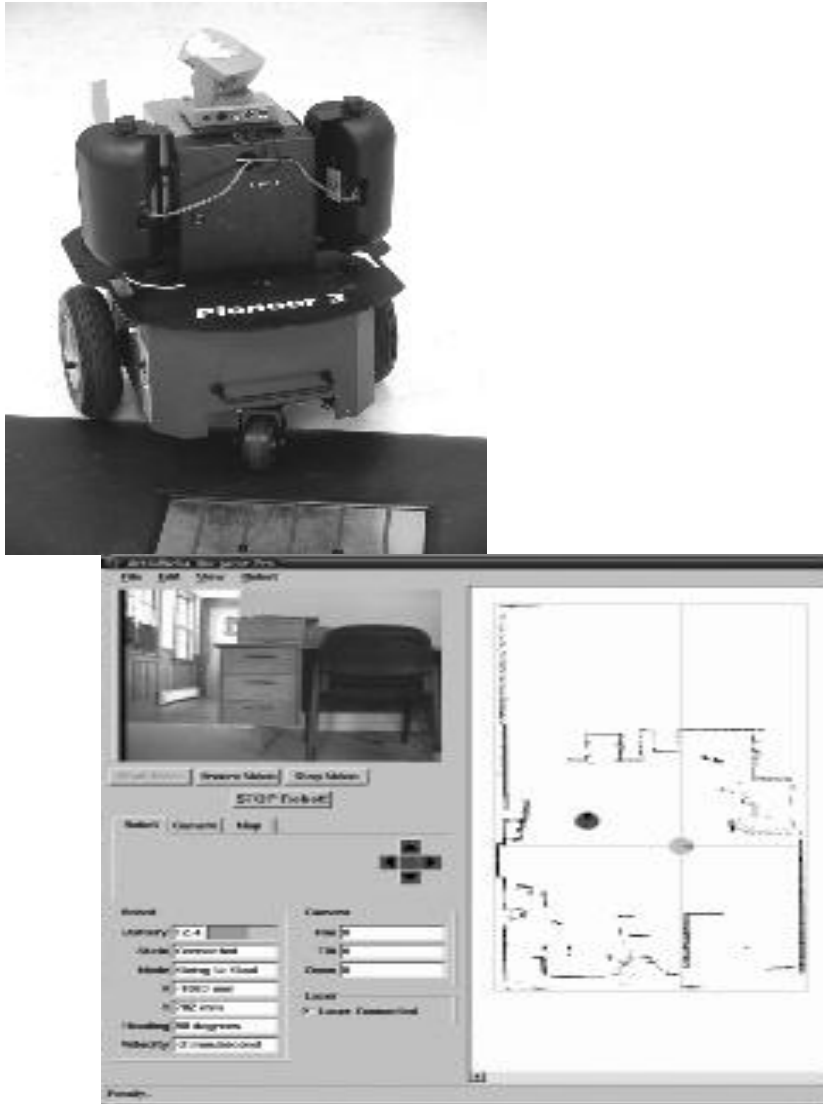


Hình 1.2. Robot hàn điểm
(Nguồn KUKA, Inc)

Hình 1.3. Robot phẫu thuật
(Nguồn Accury, Inc)

Theo sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật, các Robot ngày càng được chế tạo nhỏ gọn hơn, thực được nhiều chức năng hơn, thông minh hơn.

Một lĩnh vực được nhiều nước quan tâm là các Robot tự hành, các chuyển động của chúng ngày càng đa dạng, bắt chước các chuyển động của chân người hay các loài động vật như : bò sát, động vật 4 chân, ... Và các loại xe Robot (robocar) nhanh chóng được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống sản xuất tự động linh hoạt (FMS).



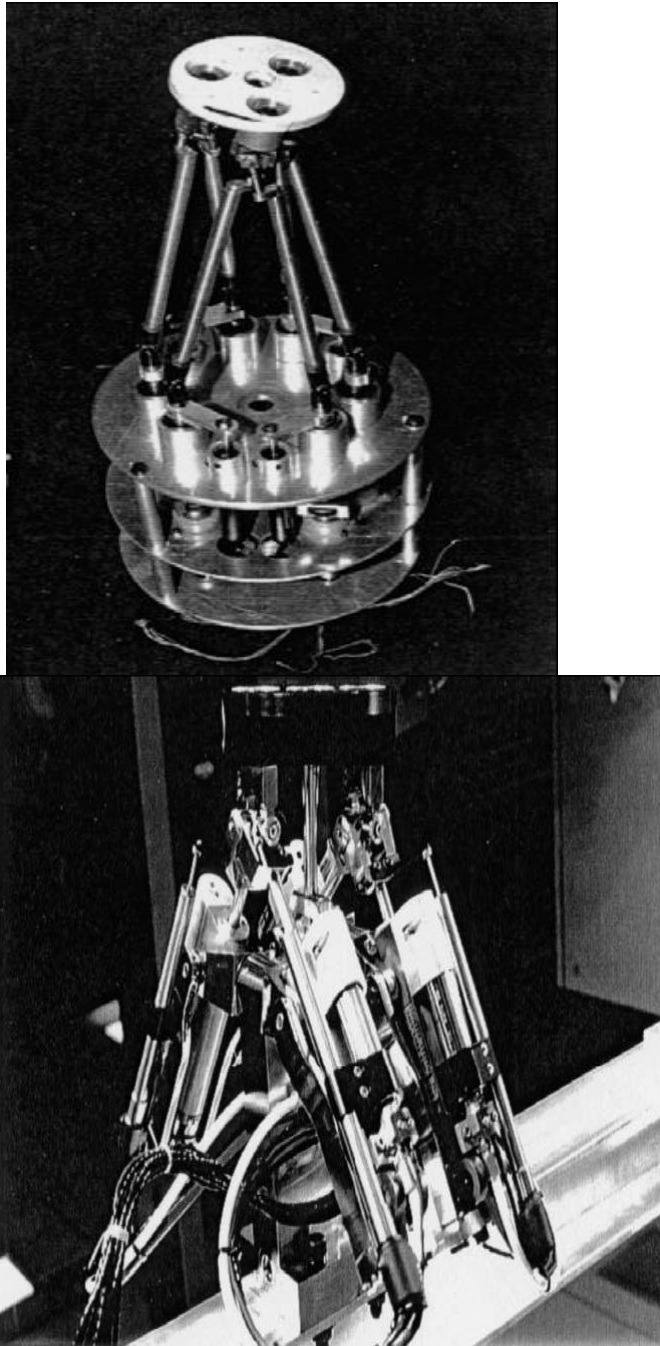
Hình 1.4. Mobile Robot và ứng dụng công nghệ xử lý ảnh (Nguồn SRI, Stanford, CA)

Từ đó trở đi con người liên tục nghiên cứu phát triển Robot để ứng dụng trong quá trình tự động hoá sản xuất để tăng hiệu quả kinh doanh. Ngoài ra Robot còn được sử dụng thay cho con người trong các công việc ở môi trường độc hại, khắc nghiệt, ...

Chuyên ngành khoa học về robot “robotics” đã trở thành một lĩnh vực rộng trong khoa học, bao gồm các vấn đề cấu trúc cơ cấu động học, động lực học, quỹ đạo chuyển động, chất lượng điều khiển... Tùy thuộc vào mục đích và phương thức tiếp cận, chúng ta có thể tìm hiểu lĩnh vực này ở nhiều khía cạnh khác nhau.

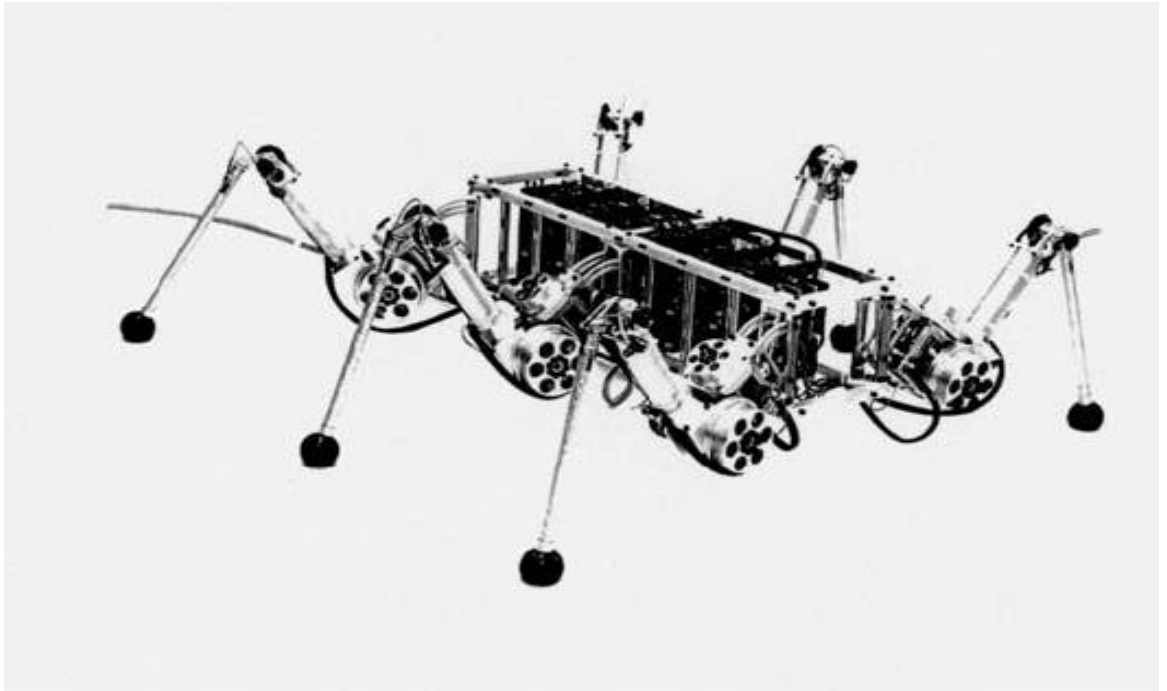
Hiện nay, có thể phân biệt các loại Robot ở hai mảng chính : Các loại robot công nghiệp (cánh tay máy) và các loại robot di động (mobile robot). Mỗi loại có các ứng dụng cũng như đặc tính khác nhau. Ngoài ra, trong các loại

robot công nghiệp còn được phân chia dựa vào cấu tạo động học của nó : Robot nối tiếp (series robot) và robot song song (parallel robot).



Hình 1.5. Robot song song 6 bậc tự do Merlet.(Nguồn : Dr. J. - P. Merlet và Prof. V. Hayward.)

Chính công nghệ tiên tiến ở tất cả các lĩnh vực : cơ khí, vi mạch, điều khiển, công nghệ thông tin ... đã tạo ra nền tảng cũng như những thách thức lớn đối với khoa học nghiên cứu robot. Chính vì vậy, con người đã và đang tiếp tục phát triển và nâng cao mức độ hoàn thiện trong lĩnh vực đầy hấp dẫn này.



Hình 1.6. Nguyên bản của Robot Hexapod TU Munich (Nguồn : Prof. F. Pfeiffer, TSI Enterprises, Inc.)

1.2. Các ứng dụng của Robot.

1.2.1. Các ưu điểm khi sử dụng Robot.

Các loại Robot tham gia vào qui trình sản xuất cũng như trong đời sống sinh hoạt của con người, nhằm nâng cao năng suất lao động của dây chuyền công nghệ, giảm giá thành sản phẩm, nâng cao chất lượng cũng như khả năng cạnh tranh của sản phẩm tạo ra.

Robot có thể thay thế con người làm việc ổn định bằng các thao tác đơn giản và hợp lý, đồng thời có khả năng thay đổi công việc để thích nghi với sự thay đổi của qui trình công nghệ.

Sự thay thế hợp lý của robot còn góp phần giảm giá thành sản phẩm, tiết kiệm nhân công ở những nước mà nguồn nhân công là rất ít hoặc chi phí cao như : Nhật Bản, các nước Tây Âu, Hoa Kỳ...

Tất nhiên nguồn năng lượng từ robot là rất lớn, chính vì vậy nếu có nhu cầu tăng năng suất thì cần có sự hỗ trợ của chúng mới thay thế được sức lao động của con người. Chúng có thể làm những công việc đơn giản nhưng dễ nhầm lẫn, nhầm chán.

Robot có khả năng nghe được siêu âm, cảm nhận được từ trường

Bên cạnh đó, một ưu điểm nổi bật của robot là môi trường làm việc. Chúng có thể thay con người làm việc ở những môi trường độc hại, ẩm ướt, bụi bặm hay nguy hiểm. Ở những nơi như các nhà máy hoá chất, các nhà máy phóng xạ, trong lòng đại dương, hay các hành tinh khác ... thì việc ứng dụng robot để cải thiện điều kiện làm việc là rất hữu dụng.

1.2.2. Một số lĩnh vực ứng dụng.

a. Ứng dụng trong các lĩnh vực sản xuất cơ khí.

Trong lĩnh vực cơ khí, robot được ứng dụng khá phổ biến nhờ khả năng hoạt động chính xác và tính linh hoạt cao.

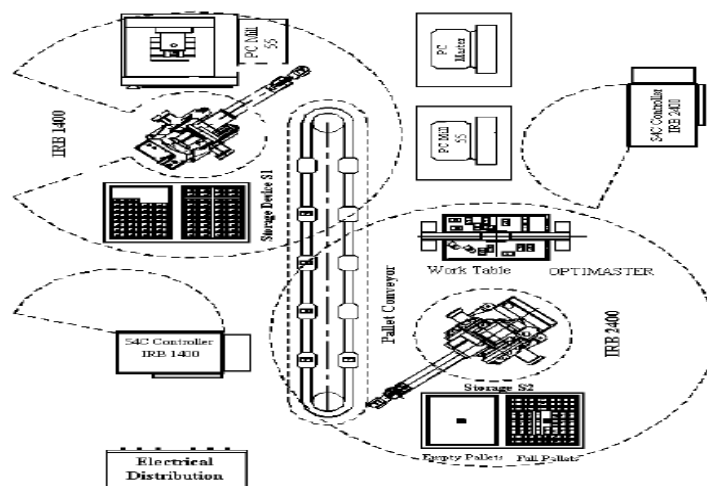
Các loại robot hàn là một ứng dụng quan trọng trong các nhà máy sản xuất ô tô, sản xuất các loại vỏ bọc cơ khí...



Hình 1.7. Robot hàn trong công nghệ sản xuất cơ khí.

Ngoài ra người ta còn sử dụng robot phục vụ cho các công nghệ đúc, một môi trường nóng bức, bụi bặm và các thao tác luôn đòi hỏi độ tin cậy.

Đặc biệt trong các hệ thống sản xuất linh hoạt (FMS), Robot đóng vai trò rất quan trọng trong việc vận chuyển và kết nối các công đoạn sản xuất với nhau.



Hình 1.8. Ứng dụng Robot trong các hệ thống sản xuất linh hoạt.

b. Ứng dụng trong lĩnh vực gia công lắp ráp.

Các thao tác này thường được tự động hoá bởi các robot được gia công chính xác và mức độ tin cậy cao



Hình 1.9. Robot được sử dụng trong công đoạn cấp liệu và lắp ráp.

c. Ứng dụng trong các hệ thống y học, quân sự, khảo sát địa chất.

Ngày nay, việc sử dụng các tiện ích từ Robot đến các lĩnh vực quân sự, y tế, ...rất được quan tâm. Nhờ khả năng hoạt động ổn định và chính xác, Robot đặc biệt là tay máy được dùng trong kỹ thuật dò tìm, bộ phóng, và trong các ca phẫu thuật y khoa với độ tin cậy cao.



Hình 1.10. Các ứng dụng Robot trong các lĩnh vực thám hiểm, quân sự, vệ tinh

Ngoài ra, tùy thuộc vào các ứng dụng cụ thể khác mà Robot được thiết kế để phục vụ cho các mục đích khác nhau, tận dụng được các ưu điểm lớn của chúng đồng thời thể hiện khả năng công nghệ trong quá trình làm việc.

1.3. Các khái niệm về Robot – Robot công nghiệp.

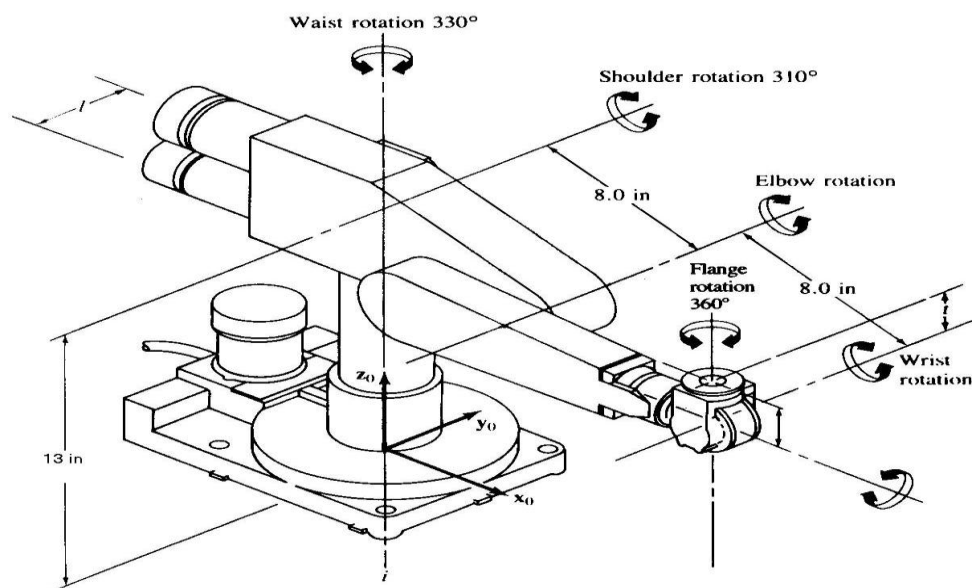
Lĩnh vực nghiên cứu về Robot hiện nay rất đa dạng và phong phú. Trong

tài liệu này, chúng tôi chỉ trình bày các kiến thức chủ yếu trên các loại Robot công nghiệp, tức các cánh tay máy. Các bài toán cân bằng lực, các phương trình động học và động lực học là những nền tảng cơ bản để các bạn học viên có thể tiếp cận với chuyên ngành kỹ thuật Robot.

1.3.1. Định nghĩa về robot công nghiệp (Industrial Robot).

Tùy thuộc mỗi quốc gia, tổ chức và mục đích sử dụng, chúng ta có nhiều định nghĩa về robot công nghiệp. Vì vậy trong nhiều tài liệu khác nhau, định nghĩa về robot công nghiệp cũng khác nhau. Theo từ điển Webster định nghĩa robot là máy tự động thực hiện một số chức năng của con người. Theo ISO (International Standards Organization) thì : Robot công nghiệp là tay máy đa mục tiêu, có một số bậc tự do, dễ dàng lập trình và điều khiển tự động, dùng để tháo lắp phôi, dụng cụ hoặc các vật dụng khác. Do chương trình thao tác có thể thay đổi nên thực hiện nhiều nhiệm vụ đa dạng. Tuy nhiên Robot công nghiệp được định nghĩa như vậy chưa hoàn toàn thoả đáng.

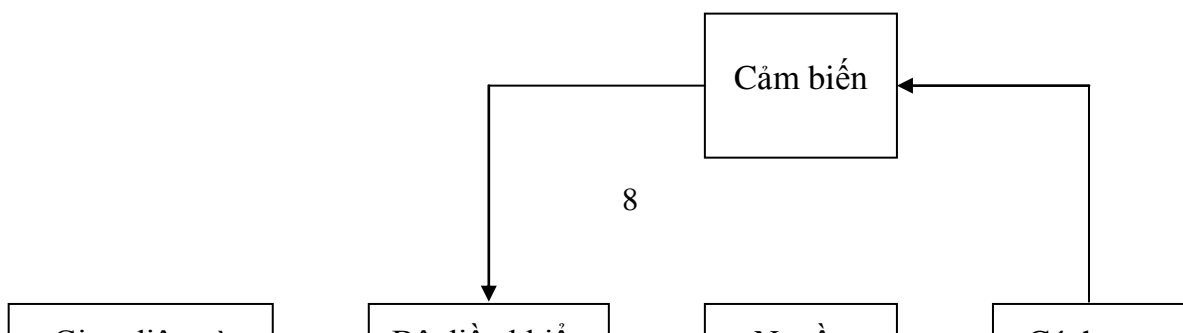
Theo tiêu chuẩn của Mỹ RIA (Robot Institute of America) định nghĩa robot là loại tay máy vạn năng có thể lập lại các chương trình đã được thiết kế để di chuyển vật liệu, chi tiết, dụng cụ hay các thiết bị chuyên dùng, thông qua các chương trình chuyển động có thể thay đổi để hoàn thành các nhiệm vụ khác nhau.

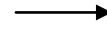


Hình 1.11. Biểu diễn không gian của cánh tay máy

1.3.2. Các thành phần cơ bản của của Robot công nghiệp.

Sơ đồ tổng quan cấu thành một Robot công nghiệp chuyên dùng :





a. Cánh tay Robot (Robot Arm):

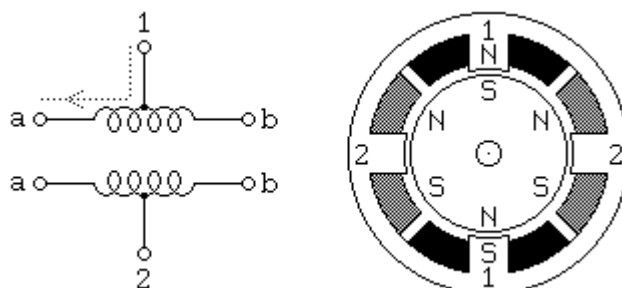
Là bộ phận cơ khí gồm các khâu liên kết với nhau bởi các khớp nối, các bộ truyền động như: Bộ truyền bánh răng, bộ truyền đai, bộ truyền trục vít-bánh vít, vít me- đai ốc...



Hình 1.12. Cánh tay Robot.

b. Nguồn động lực: Các thiết bị tạo chuyển động cho Robot, có thể là các thiết bị khí nén, thủy lực, điện.

Đối với các chuyển động cần độ chính xác cao, yêu cầu gọn nhẹ người ta có thể dùng các loại nguồn truyền động là các motor bước, các motor servo.



Hình 1.13. Cấu tạo của motor một loại motor bước.

c. Bộ điều khiển (Controller):

Là thành phần quan trọng quyết định khả năng hoạt động và độ chính xác của Robot. Bộ phận này thông thường được tích hợp dưới dạng các board mạch điều khiển, có thể có các loại sau:

- IC điều khiển trung tâm (CPU) kết hợp với các card điều khiển phân theo modul.
- Các thiết bị điều khiển Robot sử dụng PLC (Programable Logic Controller).
- Sử dụng các bộ điều khiển PMAC (Programable Multi-Axies Controller).
- Các bộ điều khiển thiết kế theo các dạng điều khiển hiện đại như : Bộ điều khiển mờ, bộ điều khiển theo mạng neuron...

d. Cảm biến (Sensor):

Là thiết bị chuyển các đại lượng vật lý thành các tín hiệu điện cung cấp cho hệ thống nhằm nâng cao khả năng linh hoạt và độ chính xác trong điều khiển. Như vậy Robot chính là một hệ thống điều khiển kín với vòng hồi tiếp (Feedback) được thực hiện từ tín hiệu thu về từ cảm biến. Các loại cảm biến thường gặp như:

- Cảm biến quang
- Cảm biến vị trí và dịch chuyển.
- Cảm biến đo góc.
- Cảm biến vận tốc.
- Cảm biến gia tốc và rung.
- Cảm biến lực và biến dạng.

Các cảm biến trên có thể cho tín hiệu tương tự Analogue hoặc tín hiệu số (Digital), ngoài ra còn sử dụng các bộ mã hoá vị trí, mã hoá góc dịch chuyển Encoder, Resolver...

e. Các chương trình:

Các chương trình luôn tương thích với các bộ điều khiển. Chính vì vậy các loại ngôn ngữ để viết chương trình điều khiển cho Robot cũng khá đa dạng, có thể là ngôn ngữ viết cho vi xử lý (ngôn ngữ máy), ngôn ngữ viết cho PLC (thuộc các hãng khác nhau), hay các ngôn ngữ trên máy tính như: Pascal, C, C++, Visual Basic, Matlab...

Hình 1.15. Bậc tự do của robot

Xác định được số khớp loại 5 là 5 (4 khớp quay và một khớp tịnh tiến), do đó $n=5$ và $P_5=5$ nên số bậc tự do của robot này: $W=6.5 - 5.5 = 5$ bậc.

Lưu ý:

- Hầu hết robot sử dụng khớp loại 5 (không chế 5 bậc tự do, chuyển động quay hoặc tịnh tiến). Vì vậy số bậc tự do của nó cũng chính là số khâu động, robot có bậc tự do càng cao thì càng linh hoạt.
- Thông thường 3 bậc tự do đầu dùng để định vị, các bậc tự do sau để định hướng.

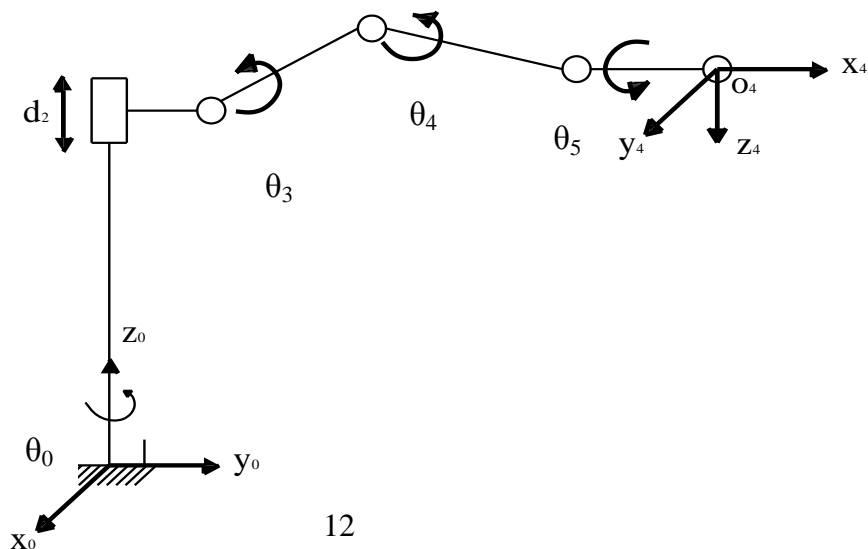
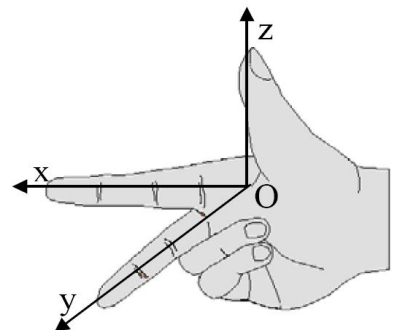
1.3.4. Hệ tọa độ trong robot.

Mỗi robot thường bao gồm nhiều khâu liên kết với nhau (links) thông qua các khớp (joints) tạo thành một xích động học xuất phát từ một khâu cơ bản đứng yên. Hệ tọa độ gắn với khâu cơ bản gọi là hệ tọa độ cơ bản (hay hệ tọa độ chuẩn).

Các hệ tọa độ trung gian khác gắn với các khâu động gọi là hệ tọa độ suy rộng.

Tại từng thời điểm hoạt động các tọa độ suy rộng xác định cấu hình của robot bằng các chuyển dịch dài hoặc các chuyển dịch góc của các khớp tịnh tiến hoặc khớp quay. Các tọa độ suy rộng còn lại là các biến khớp.

Tất cả các hệ tọa độ dùng trong robot phải tuân theo qui tắc bàn tay phải : Dùng bàn tay phải co hai ngón út và áp út, ngón cái trở theo phương diện trục z, ngón trở theo phương diện trục x, ngón giữa hướng trục y.

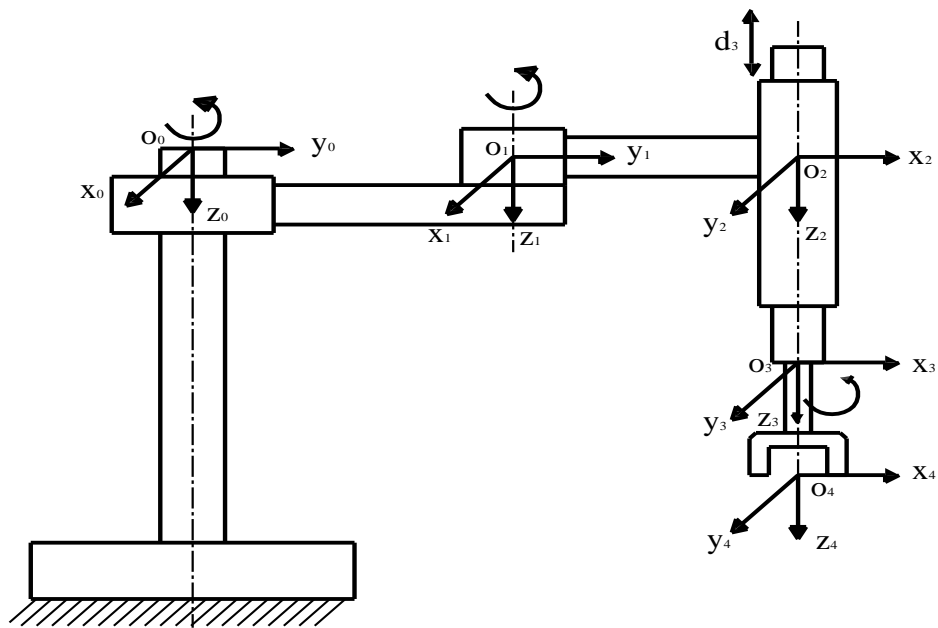


Hình 1.16. . Hệ tọa độ của robot có n khâu.

Các góc quay $\theta_1, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ và độ dịch chuyển dài d_2 là các tọa độ suy rộng (các biến khớp).

Để khảo sát động học robot ta phải gắn trên mỗi khâu của robot một hệ tọa độ. Nguyên tắc chung để gắn hệ tọa độ sẽ được trình bày trong chương III trong khi xét đến phương trình động học của robot và bộ thông số Denavit-Hartenberg.

Ví dụ: Xác định tọa độ cho robot SCARA (Robot có 4 bậc tự do).



Hình 1.17. Xác định tọa độ cho các khâu của Robot Scara.

1.4. Phân loại Robot.

1.4.1. Robot công nghiệp.

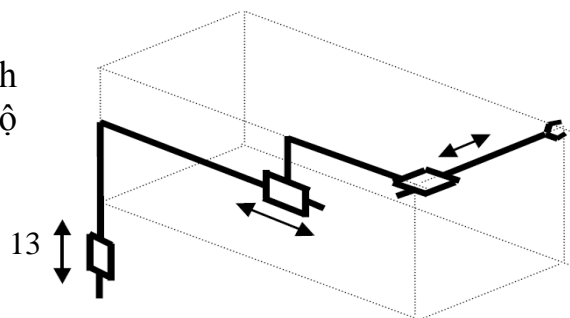
1. Robot nối tiếp (series robot).

Thực chất loại Robot này chính là các loại tay máy, các khâu và khớp nối của chúng được thiết kết liên tiếp nhau để hình thành nên các quỹ đạo chuyển động nhất định. Đối với loại robot này, chúng ta có nhiều cách phân loại khác nhau :

a. Phân loại theo kiểu kết cấu.

- Robot kiểu tọa độ Đècéc.

Tay máy có 3 chuyển động tịnh tiến theo 3 phương của hệ tọa độ Đècéc trong không gian.



T.T.T

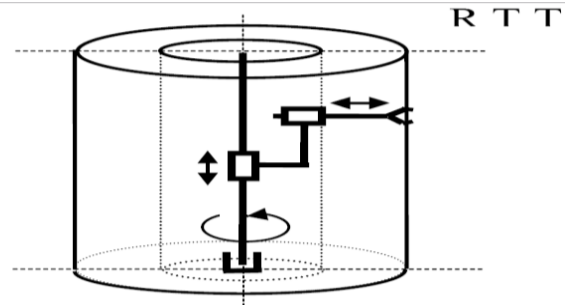
Thường ứng dụng loại robot này trong việc vận chuyển phôi liệu, lắp ráp, hàn trong mặt phẳng...

Hình 1.18. Robot kiểu tọa độ Đề các

- Robot kiểu tọa độ trụ.

Vùng làm việc của robot này có dạng hình trụ rỗng

Robot Versatran (hãng AFM, Hoa Kỳ) là một robot thuộc loại này.

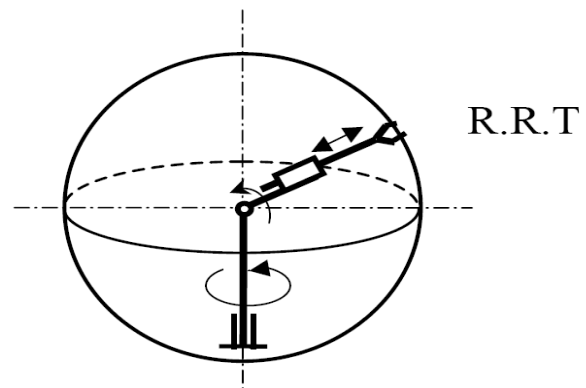


Hình 1.19. Robot kiểu tọa độ trụ

- Robot kiểu tọa độ cầu.

Vùng làm việc của robot có dạng hình cầu.

Có hai loại cấu hình chính thuộc kiểu robot này : 3 khớp quay (RRR) 2 khớp quay, 1 khớp tịnh tiến ở khâu cuối (RRT)

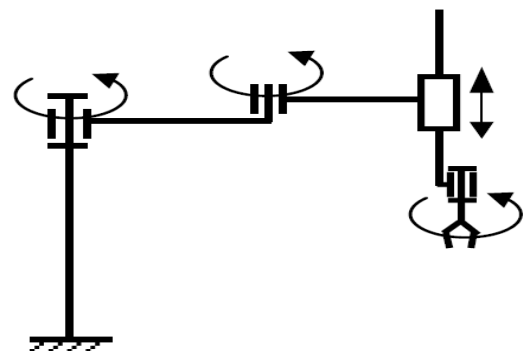


Hình 1.20. Robot kiểu tọa độ cầu

- Robot kiểu Scara.

Robot có cấu trúc theo kiểu Scada ra đời từ năm 1979, tại trường đại học Yamanashi (Nhật Bản).

Robot loại này thường được ứng dụng trong các lĩnh vực lắp ráp, với cấu hình của 3 khâu đầu tiên là : RRT

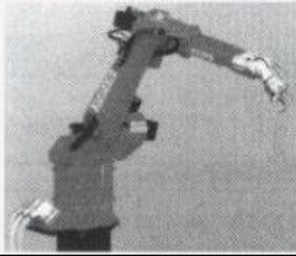
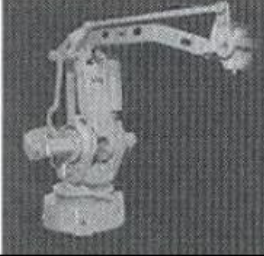
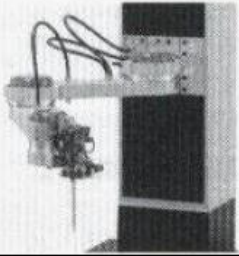



Hình 1.21. Robot kiểu Scara.

b. Phân loại theo nguồn truyền động.

- Hệ truyền động điện.
- Hệ truyền động thủy lực.
- Hệ truyền động khí nén.

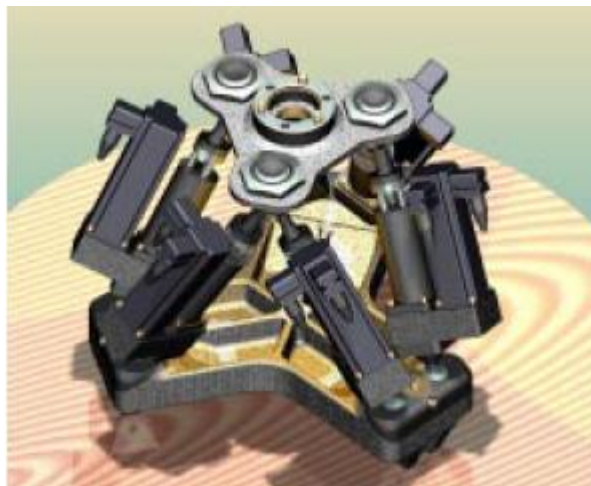
c. Phân loại theo các ứng dụng.

CÁC DẠNG ROBOT CHUYÊN DÙNG			
ROBOT VẬN NẶNG	ROBOT CHUYÊN DÙNG	MÔ ĐUN CHUYÊN DÙNG	ROBOT THIẾT KẾ THEO YÊU CẦU CỦA KHÁCH
			
Robot vận nặng Reis RV6	Robot bốc dỡ ABB	Modular Robot CMB	Robot nạp xăng IPA
<ul style="list-style-type: none"> - Thiết kế cho các áp dụng chuẩn - Sản phẩm thay đổi theo tải trọng nâng, độ linh hoạt, vùng không gian hoạt động. - Sử dụng các linh kiện theo yêu cầu của khách hàng 	<ul style="list-style-type: none"> - Thiết kế theo yêu cầu sử dụng định trước - Có các chức năng điều khiển tích hợp của workcell. Có thể định trước cấu hình của workcell 	<ul style="list-style-type: none"> - Thiết kế cho mục đích sử dụng đặc biệt - Tích hợp từ các mô đun tiêu chuẩn - Phù hợp với công việc bốc xếp vật liệu 	<ul style="list-style-type: none"> - Thiết kế cho nhiệm vụ chuyên biệt - Không sử dụng trong khu vực sản xuất - Cấu trúc động học theo yêu cầu của công việc

Hình 1.22. Phân loại các loại robot chuyên dùng. (Nguồn : Reis Robotics, ABB Flexible Automation, CMB Automation)

2. Robot song song (Parallel Robot).

Các loại Robot thuộc nhóm này có các khâu chuyển động song song tương đối với nhau. Thông thường chúng gồm 1 đế cố định và 1 đế di động.

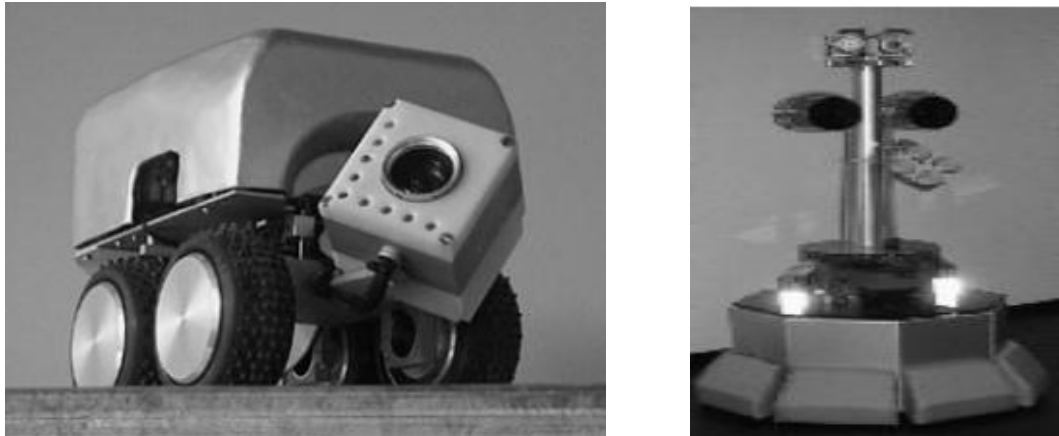


Hình 1.23. Một sản phẩm robot song song (Nguồn : PRSC's)

Tùy thuộc vào số lượng các nhánh của robot song song mà ta có thể phân loại chúng với nhau. Một loại robot song song có 6 nhánh được sử dụng rất phổ biến là Hexapod.

1.4.2. Robot di động (Mobile Robot).

Đây là hệ Robot có nhiều tính năng thông minh và linh hoạt trong quá trình ứng dụng nhờ khả năng di chuyển được theo lập trình.



Hình 1.24. Mobile robot ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau.

Hệ thống mobile robot là lĩnh vực thật sự hấp dẫn đối với các nhà nghiên cứu cũng như những người quan tâm, không chỉ nhờ những ưu điểm nổi bật của nó mà còn ở tính đa dạng trong ứng dụng.

Phân tích động học và động lực học mobile robot là những bài toán có mức độ phức tạp khác nhau, nó tùy thuộc vào kết cấu của robot cũng như yêu cầu về độ chính xác, tính thông minh trong xử lý tình huống...

Chúng ta xem xét một vài chuyển động mà con người mong muốn thiết kế các loại mobile robot

+ Chuyển động theo dạng trườn :



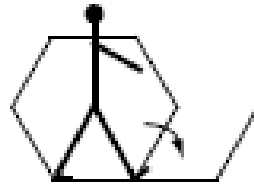
+ Chuyển động “slide” của các loài động vật bò sát.



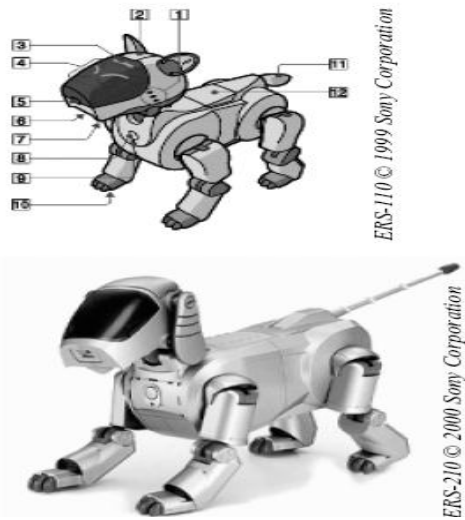
+ Chuyển động chạy của động vật 4 chân.



+ Chuyển động đi bộ của con người.



Ngày nay con người đã hiện thực hoá được các ý tưởng này, mặc dù mức độ chính xác, độ tin cậy của mỗi loại, mỗi hãng sản xuất... là khác nhau.



Hình 1.25. Robot chuyển động bốn chân
(Nguồn : AIBO, SONY, Nhật Bản)



Figure 2.11
The Sony SDR-4X II, © 2003 Sony Corporation

Hình 1.26. Mobile Robot tác vụ
(Nguồn: SDR-4X, SONY, Nhật Bản)

Chương 2

PHÂN TÍCH HỆ CƠ CÂN BẰNG TĨNH VÀ CHUYỂN ĐỘNG CỦA TAY MÁY

2.1. Các khái niệm cơ bản và tiền đề tĩnh học

2.1.1. Trạng thái cân bằng

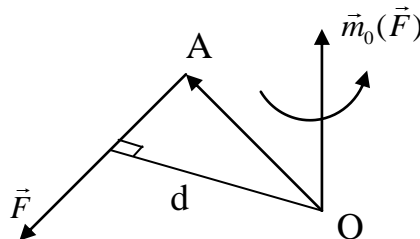
- Hệ vật được xem như ở trạng thái cân bằng khi tổng các ngoại lực tác động lên nó bằng không. Lúc ấy hệ vật hoặc đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều đối với hệ qui chiếu đó.
- Trong thực tế luôn tồn tại lực ma sát nên khi hệ vật đạt trạng thái cân bằng thì nó đứng yên.

2.1.2. Lực

- Lực đặc trưng cho tác dụng cơ học của vật thể này lên vật thể khác
- Lực được biểu diễn bằng một vector {phương, chiều, độ lớn, điểm đặt}
- Trong hệ trục $\{x,y,z\}$ thì lực $\vec{F} = (F_x, F_y, F_z)$

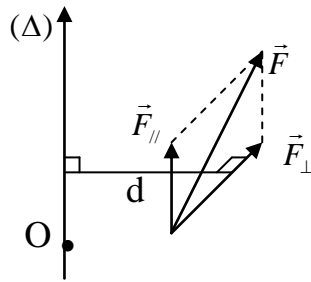
2.1.3. Mômen của lực đối với tâm

- Mômen của lực \vec{F} đặt tại A đối với tâm O là $\vec{m}_0(\vec{F}) = \vec{OA} \times \vec{F} = \vec{d} \times \vec{F}$
- $\vec{m}_0(\vec{F})$ có độ lớn bằng $d.F$, điểm đặt tại O, phương vuông góc với mặt phẳng (\vec{F}, O) , chiều thuận theo chiều xoay của \vec{OA}, \vec{F}



2.1.4. Momen của lực đối với trục (Δ)

- Tách $\vec{F} = \vec{F}_{//} + \vec{F}_{\perp} \Rightarrow \vec{m}_0(\vec{F}) = \pm dF_{\perp}$
- Vậy momen của lực đối với trục bằng tích của thành phần hình chiếu vuông góc của lực (lên mặt phẳng vuông góc với trục) với khoảng cách từ trục hình chiếu đến trục.
- Chiều của momen hường theo chiều xoay của lực quanh trục.

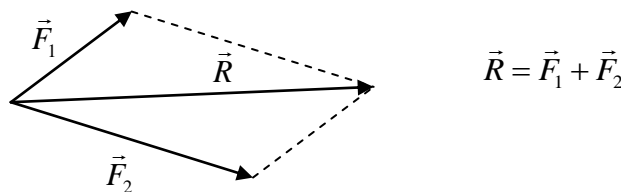


2.1.5. Hệ lực

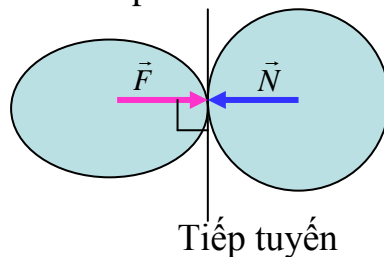
- Hệ lực tác dụng vào một vật đang khảo sát $\varphi(\vec{F}_k) = (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$
- Hai hệ lực $\varphi(\vec{F}_k) \equiv \varphi(\vec{P}_h)$ khi chúng có cùng tác dụng cơ học
- Hợp lực của hệ lực: \vec{R} được gọi là hợp lực của hệ lực $\varphi(\vec{F}_k)$ khi $\vec{R} = \sum \vec{F}_k$
- Hệ lực cân bằng khi $\vec{R} = 0$

2.1.6. Các tiên đề tĩnh học

- Hai lực cân bằng khi chúng cùng phương, ngược hướng, cùng độ lớn.
- Hợp lực của hai lực là vector lực đường chéo của hình bình hành.

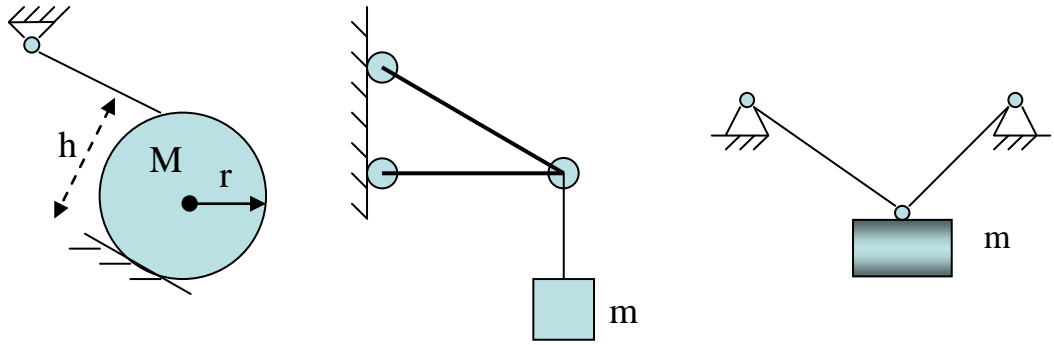


- Khi hai vật tương tác với nhau, chúng tác lên nhau một lực:
- Hai lực tương tác cùng phương, cùng độ lớn, nhưng ngược hướng.
- Điểm đặt của 2 lực nằm ngay tại vị trí tiếp xúc của 2 vật và hướng vuông góc với tiếp tuyến tại điểm tiếp xúc.



- Vật tự do là vật có thể dịch chuyển tùy ý trong lân cận bé từ vị trí đang xét. Ngược lại gọi là vật không tự do
- Vật khảo sát (S) được qui ước gọi là vật chịu liên kết. Các vật khác tương tác cơ học với S được gọi là vật gây liên kết.
- **Vật không tự do có thể xem là tự do nếu ta thay thế các vật gây liên kết bằng các phản lực liên kết.**

Ví dụ :



▪ Điều kiện cân bằng của hệ tĩnh

$$\varphi(\vec{F}_k) \equiv \vec{0} \Leftrightarrow \begin{cases} \vec{R} = 0 \\ \vec{M}_0 = 0 \end{cases}, \text{ trong đó } \vec{R} \text{ là vector hợp lực và } \vec{M}_0 \text{ là mô men}$$

chính với tâm O của hệ $\varphi(\vec{F}_k)$.

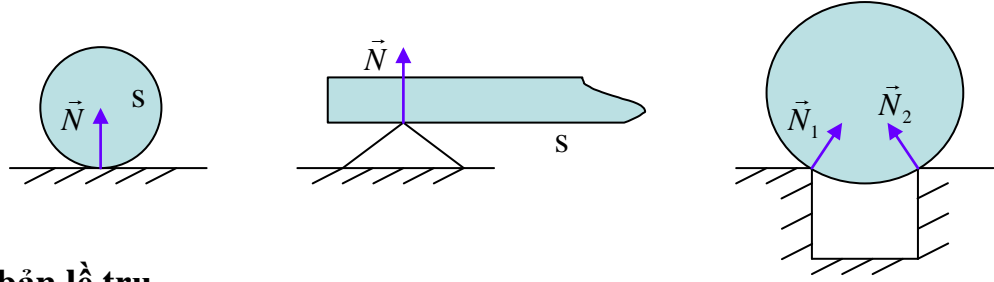
Ta có

$$\vec{R}(R_x, R_y, R_z) \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \sum_k F_{kx} \\ R_y = \sum_k F_{ky} \\ R_z = \sum_k F_{kz} \end{cases}, \text{ và } \vec{M}_0(M_{ox}, M_{oy}, M_{oz}) \Leftrightarrow \begin{cases} M_{ox} = \sum_k \bar{m}_x(\vec{F}_k) \\ M_{oy} = \sum_k \bar{m}_y(\vec{F}_k) \\ M_{oz} = \sum_k \bar{m}_z(\vec{F}_k) \end{cases}$$

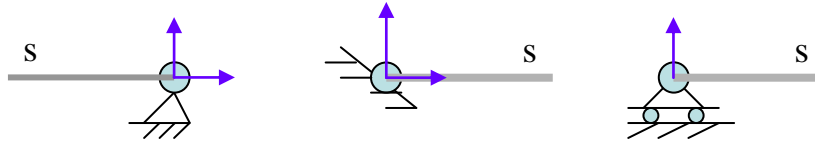
$$\text{Vậy điều kiện để hệ cân bằng tĩnh là } \varphi(\vec{F}) \equiv \vec{0} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_k F_{kx} = 0 \\ \sum_k F_{ky} = 0 \\ \sum_k F_{kz} = 0 \\ \sum_k \bar{m}_x(\vec{F}_k) = 0 \\ \sum_k \bar{m}_y(\vec{F}_k) = 0 \\ \sum_k \bar{m}_z(\vec{F}_k) = 0 \end{cases}$$

2.1.7. Một số mô hình phản lực liên kết

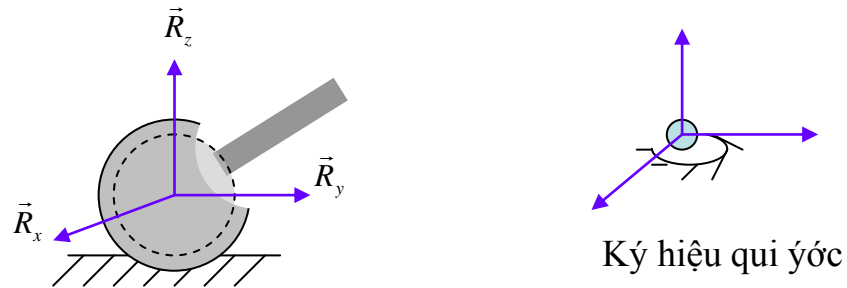
a. Phản lực liên kết một chiều



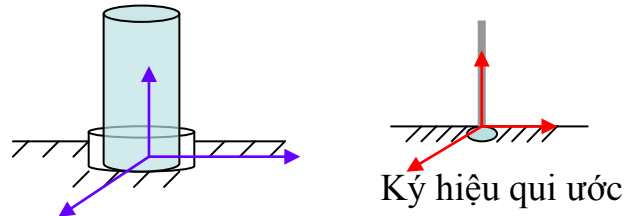
b. Liên kết bản lề trụ



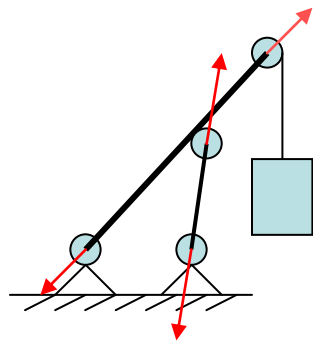
c. Liên kết bản lề cầu



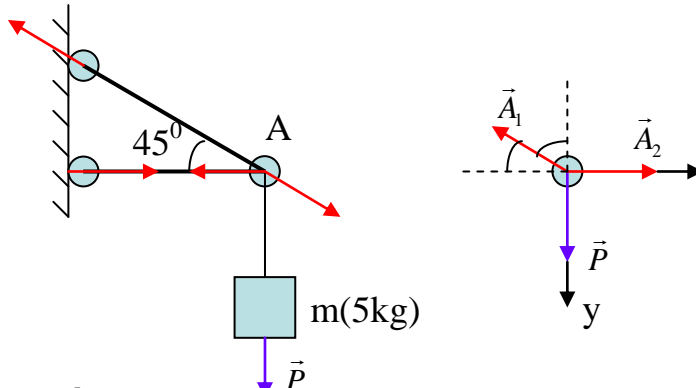
d. Liên kết gối đỡ



e. Liên kết thanh

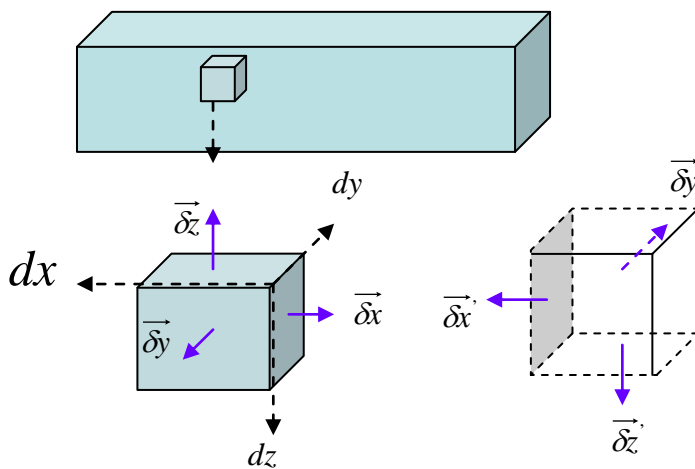


Vi dụ: Xác định các phản lực liên kết của thanh trong hệ sau



2.1.8. Sức bền của vật liệu

Thanh liên kết

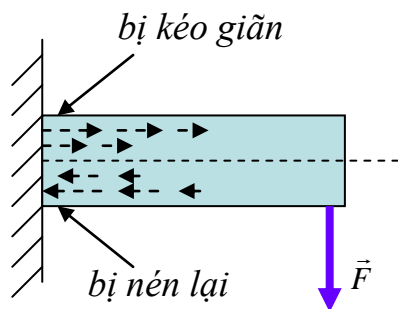


a. Các tác động lực lên thanh bao gồm:

- Lực kéo: làm cho thanh dãn ra theo hai chiều của lực
- Lực nén: làm cho thanh nén lại theo hai chiều của lực
- Lực xoắn: làm cho thanh vặn cong

Dưới tác động của các ngoại lực mỗi phần tử $dv(dx,dy,dz)$ đều chịu tác động của các vector lực, được gọi là các tensor ứng suất. Các vector ứng suất này có được thể hiện như hình vẽ, theo từng cặp vector bằng nhau về độ lớn nhưng ngược chiều nhau, $(\vec{dx}, \vec{dx'}, \vec{dy}, \vec{dy'}, \vec{dz}, \vec{dz'})$.

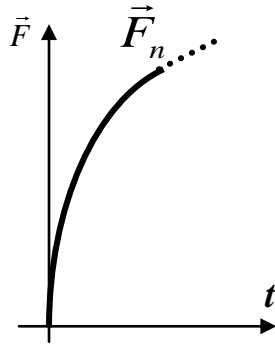
b. Trạng thái vật lý của thanh khi bị xoắn



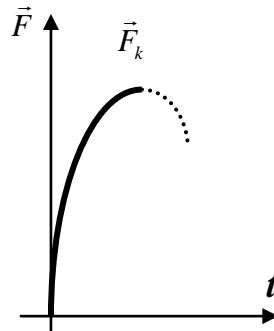
- Nửa trên của thanh có xu hướng bị kéo giãn ra
- Nửa dưới của thanh có xu hướng bị nén lại

c. Khả năng chịu giãn và nén của các khi loại

- Mỗi loại vật liệu có khả năng chịu giãn và nén khác nhau, chúng được gọi là các giá trị tới hạn nén \vec{F}_n và giá trị tới hạn kéo \vec{F}_k . Nhưng nói chung khả năng chịu nén tốt hơn so với chịu giãn.
- Khi bị nén quá mức giới hạn kim loại sẽ bị biến dạng, sau lần biến dạng này chúng sẽ có một giá trị tới hạn \vec{F}_n khác, lớn hơn giá trị ban đầu.

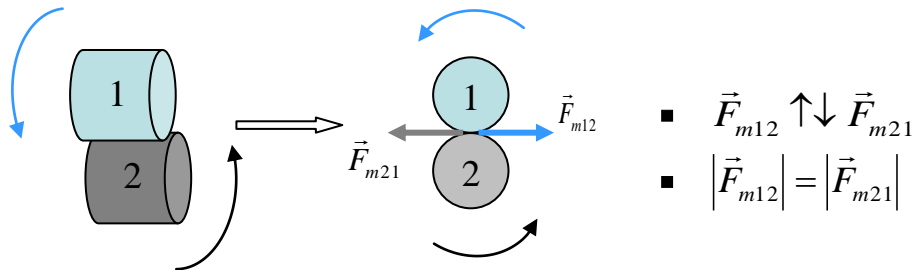


- Khi bị kéo quá mức giới hạn kim loại sẽ bị biến dạng, sau lần biến dạng này chúng sẽ có một giá trị tới hạn \vec{F}_k khác, nhỏ hơn giá trị ban đầu, và cứ như thế cho đến khi đứt rời ra.



2.1.9. Lực ma sát

a. Định nghĩa: Ma sát là lực sinh ra do sự cọ sát giữa hai vật. Vật này cọ sát sinh ra lực ma sát tác động lên vật kia và ngược lại



b. Phân loại: Có hai loại ma sát, là ma sát tĩnh và ma sát động

Ma sát tĩnh là lực ma sát xuất hiện khi hai vật tiếp xúc nhau nhưng chưa chuyển động

Ma sát động là lực ma sát xuất hiện khi hai vật tiếp xúc nhau và có sự chuyển động tương đối giữa vật này với vật kia

c. Tính chất của lực ma sát:

Lực ma sát tỷ lệ với diện tích tiếp xúc và tốc độ cọ sát giữa hai vật

d. Lợi điểm của lực ma sát: dùng để hãm, thắng động cơ, bánh xe

e. Bất lợi của lực ma sát

- Tồn công vô ích
- Lực ma sát sinh ra nhiệt làm nóng hệ thống, nóng các điểm tiếp xúc và qua thời gian gây hư hỏng thiết bị (biến dạng bề mặt tiếp xúc)

f. Phương pháp làm giảm bớt lực ma sát

- Giảm diện tích tiếp xúc (Sử dụng các khe, các bánh xe, bac đạn, con trượt)
- Giảm tốc độ cọ sát (tăng tốc từ từ)
- Sử dụng các chất bôi trơn nơi tiếp xúc (nhớt, mỡ bò)

2.2. Thiết kế hệ cơ cân bằng tĩnh

2.2.1. Bước 1: Xác định các yếu tố đầu vào

- Đối tượng phụ vụ: khối lượng, kích thước hình dạng, độ cứng
- Chu trình phụ vụ: các thao tác, tiến trình thực hiện và các tọa độ, quỹ đạo của chu trình
- Không gian phục vụ
- Nguồn năng lượng cung cấp

2.2.2. Bước 2: Thiết kế khung cơ khí

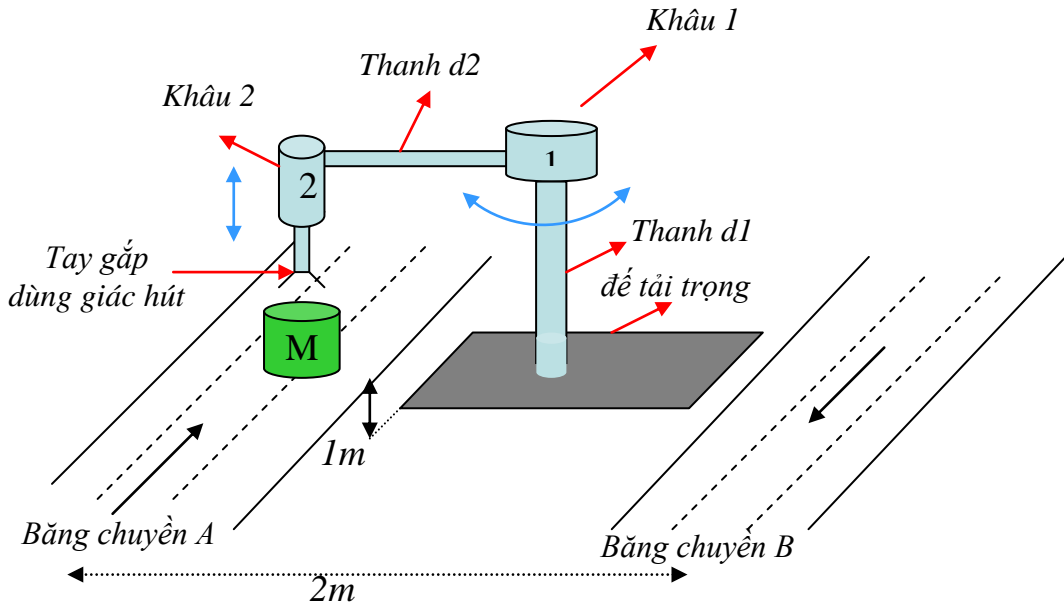
- Vẽ kết cấu hình học, xác định các khớp động
- Xác định các nguồn lực cho các khớp động: motor(DC, AC, servo), khí nén, thủy lực
- Xác định hệ truyền động cho các khớp: trực tiếp hay gián tiếp, vị trí đặt nguồn lực, khối lượng các nguồn lực
- Tối ưu hoá các bước a, b, c để lợi về lực và đơn giản về kết cấu
- Xác định vật liệu cho các thanh, dạng hình học và kích thước

2.2.3. Bước 3: Tính toán cân bằng lực cho hệ

- Xác định các phản lực liên kết của các thanh
- Dựa trên các phản lực liên kết, xác định các nguồn lực: motor(ngẫu lực), khí nén(áp suất nén),..

- Tính toán cân bằng lực cho cả hệ: tính toán cân bằng lực cho các khâu và cho đế tải trọng

Ví dụ: Thiết kế hệ cân bằng tĩnh cho cánh tay Robot trong dây chuyền phân loại sản phẩm dưới đây

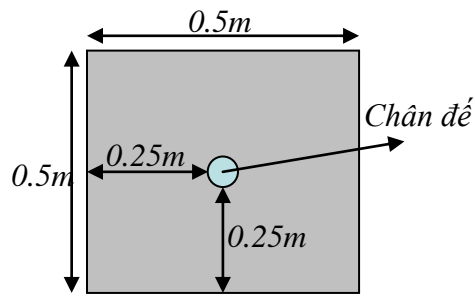


◆ **Bước 1:**

- Vật thể M có khối lượng 0,5kg, kích thước hình trụ cao 10cm, có nhãn mác nên dễ thấy xước
- Nhấc vật M lên, di chuyển từ băng chuyền A sang băng chuyền B, hạ vật B xuống
- Khoảng cách giữa 2 băng chuyền 2m, chiều cao của băng chuyền 1m, chiều cao của vật M là 10cm
- Nguồn năng lượng cung cấp khí nén

◆ **Bước 2:**

- Kết cấu hình học như hình vẽ
 - Khớp 1: xoay quanh trục
 - Khớp 2: khớp trượt lên xuống
 - Tay gắp: dùng giắc hút
 - Thanh 1 có chiều cao: $1\text{m} + 0,1\text{m} + (\text{chiều dài cylinder trượt})$
 - Thanh 2 có chiều dài: 1m
 - Đế tải trọng có hình dạng và kích thước như hình vẽ



b. Nguồn lực

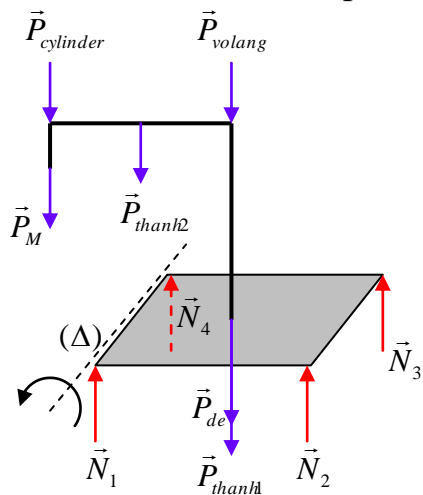
- Khớp 1: dùng vô lăng khí nén để truyền động xoay trực tiếp, khối lượng 1kg
- Khớp 2: dùng cylinder khí nén truyền động trượt trực tiếp, khối lượng 1kg
- Tay gắp: dùng van khí nén để điều khiển giác hút, khối lượng 200g

c. Vật liệu làm cho các thanh là Inox

- Thanh 1: loại thanh tròn, $\Phi 34$, khối lượng 8kg
- Thanh 2: loại thanh tròn, $\Phi 20$, khối lượng 5kg
- Tay gắp: phễu giác hút, $\Phi 8$
- Đế tải trọng: Sắt tấm si Inox, dày 5mm, khối lượng 7kg

◆ **Bước 3:**

a. Hoá rắn toàn hệ, xác định các phản lực liên kết của đế tải trọng, như hình vẽ



➤ Do hệ đối xứng nên:

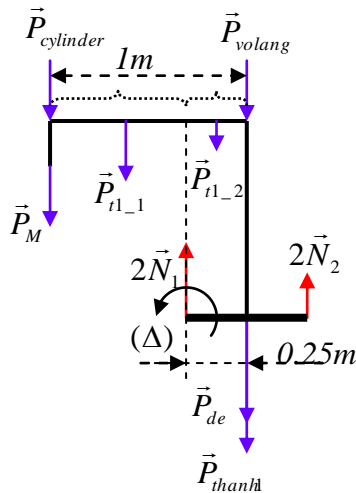
$$\vec{N}_1 = \vec{N}_4 \text{ và } \vec{N}_2 = \vec{N}_3$$

➤ PT cân bằng của hệ lực:

$$\begin{cases} \sum \vec{P}_k + \sum \vec{N}_i = 0 \\ \sum \vec{m}_{(\Delta)}(\vec{P}_k) + \sum \vec{m}_{(\Delta)}(\vec{N}_i) = 0 \end{cases}$$

➤ Tính cân bằng lực:

$$\begin{aligned} \vec{P}_M + \vec{P}_{cylinder} + \vec{P}_{thanh2} + \vec{P}_{volang} + \vec{P}_{thanh1} + \vec{P}_{de} + \\ \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{N}_3 + \vec{N}_4 = 0 \\ \Rightarrow 2\vec{N}_1 + 2\vec{N}_2 = 225(N) \quad (1) \end{aligned}$$



➤ Phương trình cân bằng momen

$$0.75 \times (\vec{P}_M + \vec{P}_{cylinder}) + \frac{0.75}{2} \times \vec{P}_{t1-1} + 0.5 \times 2\vec{N}_2 - \frac{0.25}{2} \times \vec{P}_{t1-2} - 0.25 \times \vec{P}_{volang} - 0.25 \times (\vec{P}_{de} + \vec{P}_{thanh}) = 0$$

$$\Rightarrow 11.25 + 14.0625 + \vec{N}_2 - 1.5625 - 2.5 - 37.5 = 0$$

$$\Rightarrow \vec{N}_2 = 16.25(N) \quad (2)$$

Thay (2) vào (1) ta được

$$\Rightarrow \vec{N}_1 = 96.25(N)$$

➤ **Nhận xét:** ta thấy $\vec{N}_2 > 0$, nên hệ cân bằng và ta không cần thêm đối trọng cho đế

b. Xác định nguồn lực cho các khâu

➤ Tay ghép: dùng van hút chân không có áp suất

$$P \geq \frac{m \cdot g}{s} = \frac{m \cdot g}{\pi \cdot r_M^2} \approx 1K(atm), \text{ ta chọn } P = 1.5K(atm)$$

➤ Khâu 1: Cylinder khí nén có áp suất $P \geq 1K(atm)$, ta cũng chọn $P = 1.5K(atm)$

➤ Khâu 2: Volang khí nén có áp suất $P = 1.5K(atm)$

c. Áp suất nguồn khí nén cung cấp cho toàn hệ: ta chọn $2K(atm)$

2.3. Phân tích chuyển động tay máy.

2.3.1. Giới thiệu về phân tích chuyển động

▪ Với một hệ tay máy đã được thiết kế, vấn đề đặt ra là làm thế nào để xác định quỹ đạo của các khâu trong chu trình hoạt động của Robot

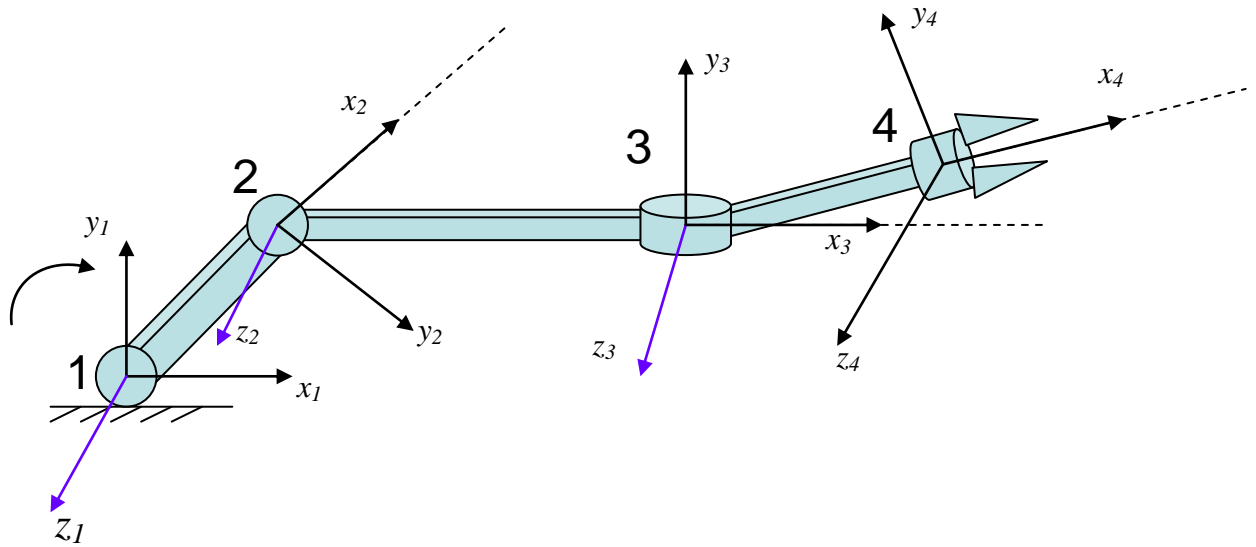
▪ Việc phân tích chuyển động của tay máy nhằm mục đích tìm ra các quỹ đạo này, nhưng việc thực hiện được tiến hành theo hai bước: Xác định tọa độ của các khâu trung gian, rồi từ đó định ra quỹ đạo của các khâu.

▪ Để đơn giản cho việc phân tích chuyển động, thiết kế cơ khí và điều khiển Robot, ta thường đơn giản hoá các khâu ở một trong hai dạng cơ bản là **khớp trượt** và **khớp bản lề**

▪ Khái niệm bậc chuyển động tự do thể hiện cho số khâu có trên Robot

2.3.2. Hệ tọa độ

Để khảo sát cho chuyển động các khâu, ta gắn vào đây một hệ tọa độ (0xyz). Hệ trục này được đặt sao cho đơn giản cho việc khảo sát



2.3.3. Quỹ đạo

Để mô tả quỹ đạo của tay máy ta thể hiện thông qua các tọa độ suy rộng của các hệ tọa độ khâu. Ví dụ để mô tả quỹ đạo của tay máy tại vị trí M của tay gấp (khâu cuối)

$$x_M = x_M(q_{1x}, q_{2x}, \dots, q_{nx})$$

$$y_M = y_M(q_{1y}, q_{2y}, \dots, q_{ny})$$

$$z_M = z_M(q_{1z}, q_{2z}, \dots, q_{nz})$$

Trong đó, q_1, q_2, \dots là các tọa độ suy rộng, ứng với chuyển động của các khâu.

2.3.4. Phân tích chuyển động tổng quát của tay máy.

a. Bài toán động học thuận

Mô hình của bài toán là cho trước cơ cấu và quy luật chuyển động của hệ, thể hiện qua các tọa độ suy rộng. Ta phải xác định quy luật chuyển động của một vị trí xác định nào đó trong hệ.

Bài toán này trong thực tế, nó thường được dùng sau khi giải quyết bài toán động học ngược, để xác định ranh giới chuyển động và kiểm tra cân bằng động của các phần tử trong hệ.

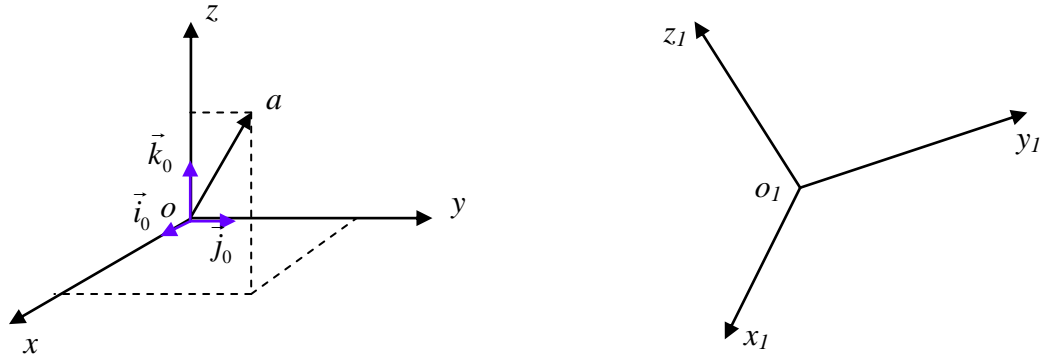
b. Bài toán động học ngược

Mô hình của bài toán là cho trước cơ cấu và quy luật chuyển động của khâu cuối, ta phải xác định quy luật chuyển động của các khâu thành viên, tức là xác định các tọa độ suy rộng.

Bài toán này cho vô số lời giải (vô số nghiệm của các q_i). Trong thực tế khi giải quyết các bài toán này, ta thường thêm vào nó các điều kiện ràng buộc của chuyển động tay máy để cho lời giải tối ưu.

2.3.5. Phép biến đổi hệ tọa độ

Cho hai hệ trục tọa độ $(Oxyz)$ và $(O_1x_1y_1z_1)$ như hình vẽ, $\vec{i}_0, \vec{j}_0, \vec{k}_0$ là các vector chỉ phương đơn vị của hệ $(Oxyz)$



Cho \vec{a} trong hệ $(Oxyz)$ được thể hiện $\vec{a} = a_x \vec{i}_0 + a_y \vec{j}_0 + a_z \vec{k}_0$

Với : $a_x = a \cos(\vec{a}, \vec{i}_0)$ $a_y = a \cos(\vec{a}, \vec{j}_0)$ $a_z = a \cos(\vec{a}, \vec{k}_0)$

Định lý về phép chiếu hình học

Hình chiếu của \vec{a} theo hướng \vec{u} bất kỳ là:

$$a_u = a_x \cos(\vec{u}, \vec{x}) + a_y \cos(\vec{u}, \vec{y}) + a_z \cos(\vec{u}, \vec{z})$$

Vậy chiếu của: \vec{a} lên \vec{x}_1 là $\vec{a}_{x_1} = a_x \cos(\vec{x}_1, \vec{x}) + a_y \cos(\vec{x}_1, \vec{y}) + a_z \cos(\vec{x}_1, \vec{z})$

$$\vec{a} \text{ lên } \vec{y}_1 \text{ là } \vec{a}_{y_1} = a_x \cos(\vec{y}_1, \vec{x}) + a_y \cos(\vec{y}_1, \vec{y}) + a_z \cos(\vec{y}_1, \vec{z})$$

\vec{a} lên \vec{z}_1 là

$$\vec{a}_{z_1} = a_x \cos(\vec{z}_1, \vec{x}) + a_y \cos(\vec{z}_1, \vec{y}) + a_z \cos(\vec{z}_1, \vec{z})$$

Vậy trong hệ tọa độ $(O_1x_1y_1z_1)$, $\vec{a} = a_{x_1} \vec{i}_1 + a_{y_1} \vec{j}_1 + a_{z_1} \vec{k}_1$

Lập bảng Cosin chỉ hướng cho hệ phương trình trên ta được

	x	y	z
x_1	α_1	β_1	γ_1
y_1	α_2	β_2	γ_2
z_1	α_3	β_3	γ_3

$$\alpha_1 = \cos(\vec{x}_1, \vec{x}), \quad \alpha_2 = \cos(\vec{y}_1, \vec{x}),$$

..

Gọi ma trận cosin chỉ hướng từ hệ tọa độ $(Oxyz)$ vào $(O_1x_1y_1z_1)$ là

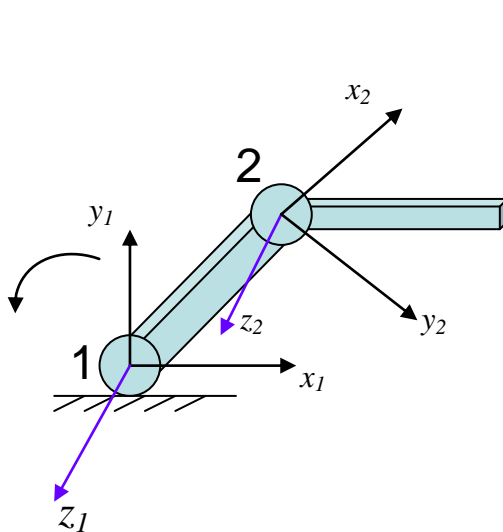
$$MC_{10} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} a_{x_1} \\ a_{y_1} \\ a_{z_1} \end{bmatrix} = MC_{10} \times \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

Tương tự như vậy nếu trong hệ tọa độ $(O_1x_1y_1z_1)$, $\vec{a} = a_{x_1}\vec{i}_1 + a_{y_1}\vec{j}_1 + a_{z_1}\vec{k}_1$
 Thì trong hệ tọa độ (Oxyz), sẽ có ma trận cosin chỉ hướng là:

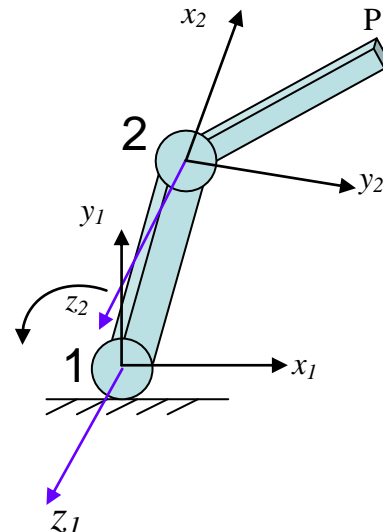
$$MC_{01} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 \end{bmatrix} \Rightarrow MC_{01} = MC_{10}^T \Rightarrow \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = MC_{10}^T \times \begin{bmatrix} a_{x_1} \\ a_{y_1} \\ a_{z_1} \end{bmatrix}$$

2.4. Phân tích chuyển động của một số tay máy.

2.4.1. Phân tích chuyển động của tay máy 2 khớp quay.



Hình 1a)

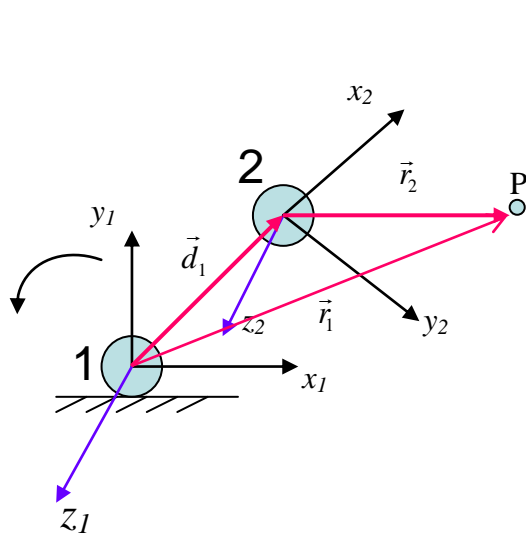


Hình 2a)

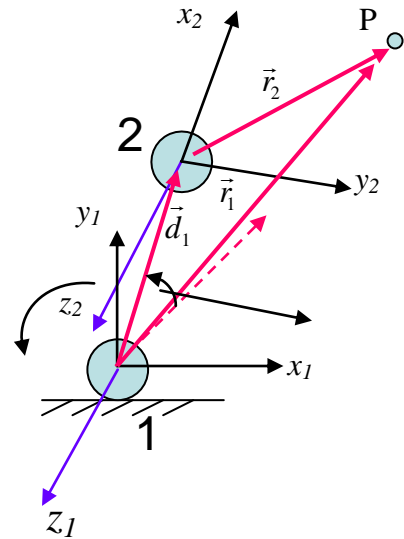
Xét chuyển động của một tay máy hai bậc tự do như hình 1a, hình 2a, giả sử ta hoá rắn khâu 2, cho khâu 1 chuyển động xoay

Ta thấy điểm P trong hệ tọa độ của khâu 2 không chuyển động, nhưng trong hệ tọa độ của khâu 1 thì nó chuyển động.

Tọa độ của P được tính dựa vào hình 1b) và 2b)



Hình 1b)

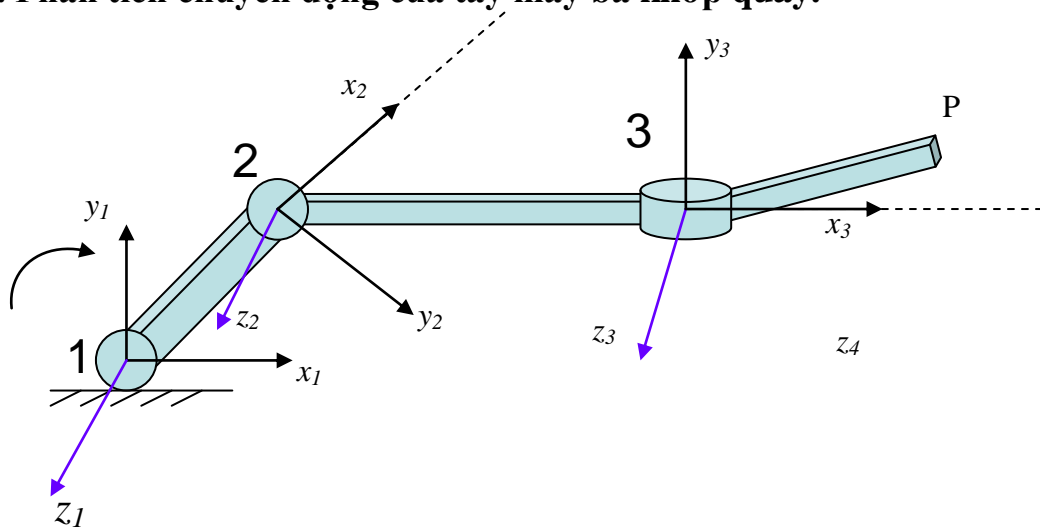


Hình 2b)

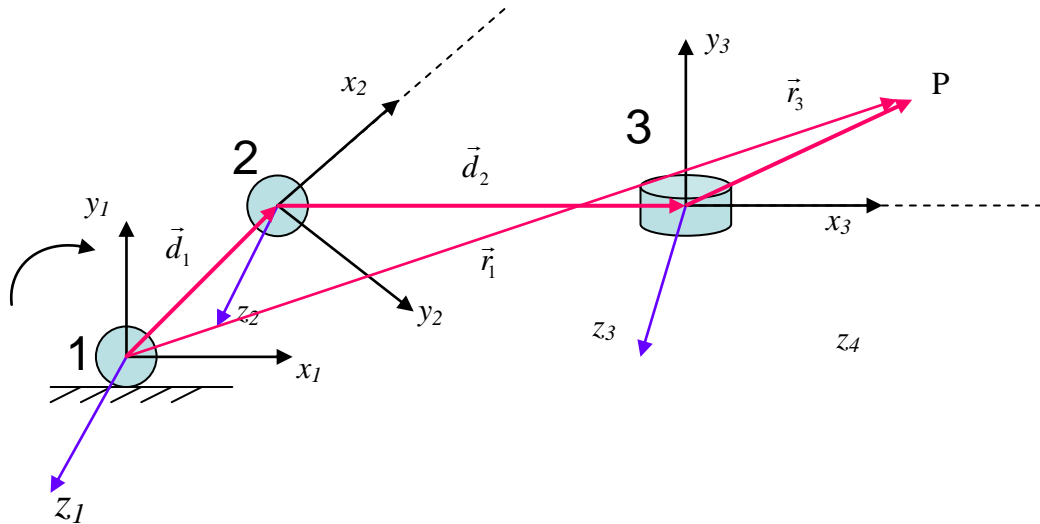
Vậy tọa độ của P trong hệ khâu 1 là

$$(\vec{r}_1)_1 = (\vec{d}_1)_1 + (\vec{r}_2)_1 = MC_{12}(\vec{d}_1 + \vec{r}_2)_2$$

2.4.2. Phân tích chuyển động của tay máy ba khớp quay.



Xem xét mô hình của tay máy ba bậc tự do như hình vẽ trên



Từ mô hình vector ta thấy: $\vec{r}_1 = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{r}_3$

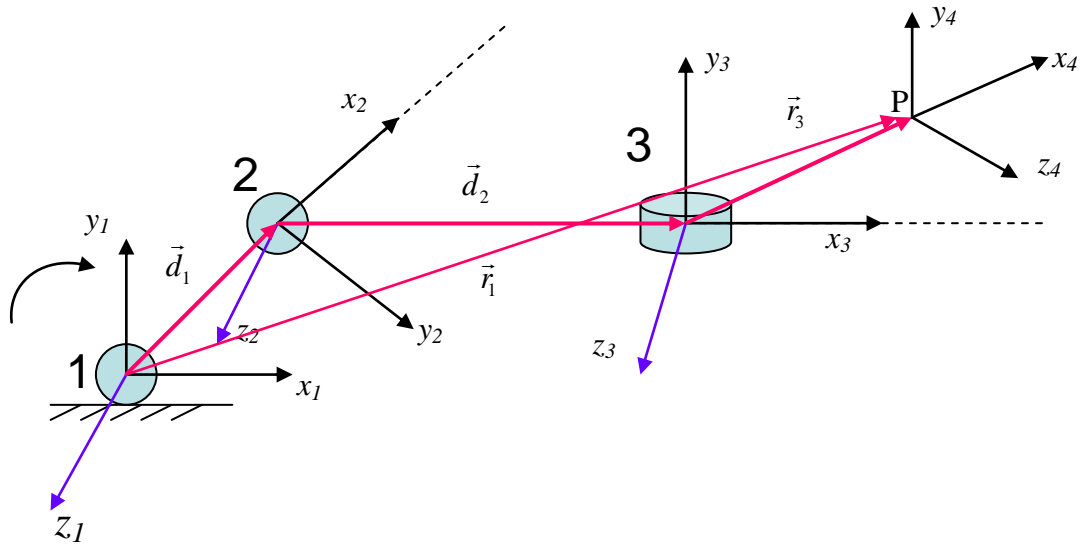
$$(\vec{r}_1)_1 = MC_{12} \times (\vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{r}_3)_2$$

$$= MC_{12} \times (\vec{d}_1)_2 + MC_{12} \times (\vec{d}_2 + \vec{r}_3)_2$$

$$\Rightarrow = MC_{12} \times (\vec{d}_1)_2 + MC_{12} \times [MC_{23} \times (\vec{d}_2 + \vec{r}_3)_3]$$

$$= MC_{12} \times (\vec{d}_1)_2 + MC_{12} \times MC_{23} \times (\vec{d}_2 + \vec{r}_3)_3$$

Nếu xem điểm P cũng là một khâu (khâu 4), ta được



$$\text{Vậy } (\vec{r}_1)_1 = MC_{12} \times (\vec{d}_1)_2 + MC_{12} \times MC_{23} \times (\vec{d}_2 + \vec{d}_3)_3$$

$$= MC_{12} \times (\vec{d}_1)_2 + MC_{12} \times MC_{23} \times (\vec{d}_2)_3 + MC_{12} \times MC_{23} \times MC_{34} \times (\vec{d}_3)_4]$$

2.4.3. Phân tích chuyển động của tay máy nhiều khớp nối.

Mở rộng với hệ đa bậc tự do, ta có tọa độ của khâu cuối trong hệ tọa độ gốc là

$$(\vec{r}_{T(Termin al)})_1 = \sum_{i=1}^n \vec{d}_i = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\prod_{j=1}^i MC_{j(j+1)} (\vec{d}_i)_{i+1} \right]$$

a. Các bước thực hiện cho việc phân tích chuyển động

▪ **Bước 1: Xác định hệ trục tọa độ**

- Xác định đặc tính các khớp: trượt hay bản lề
- Đặt các hệ trục tọa độ sao cho trục quay của khớp trùng với trục z, trục thanh tay máy trùng với trục x
- Xác định các góc quay, chọn chiều dương của góc quay hướng từ **trục thanh**(trục x) tới **thanh quay** (trong không gian 1/4 dương)

▪ **Bước 2: Xác định các ma trận MC**

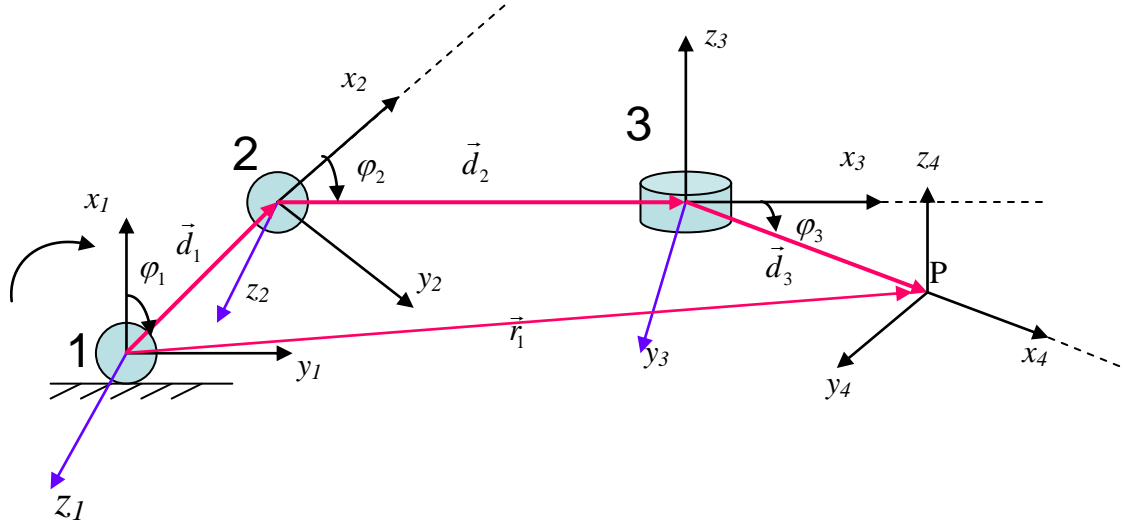
▪ **Bước 3: Viết phương trình xác định tọa độ của khâu cuối.**

▪ **Bước 4: Tính toán vận tốc và gia tốc.**

b. Ví dụ 1: Xác định tọa độ của khâu cuối P trong hệ tay máy như hình dưới.

Cho $d_1 = 20\text{cm}$, $d_2 = 30\text{cm}$, $d_3 = 10\text{cm}$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $\varphi_2 = 60^\circ$, $\varphi_3 = 45^\circ$

Giải



Ta có

$$(\vec{r}_P)_1 = MC_{12} \times (\vec{d}_1)_2 + MC_{12} \times MC_{23} \times (\vec{d}_2)_3 + MC_{12} \times MC_{23} \times MC_{34} \times (\vec{d}_3)_4$$

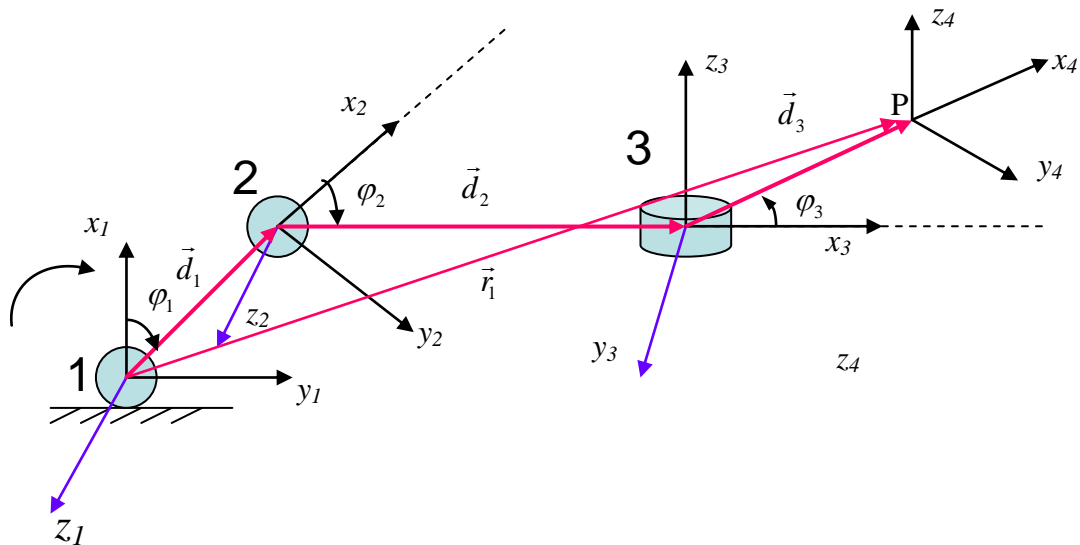
Mà:

$$M_{12} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\vec{x}_2, \vec{x}_1) & \cos(\vec{y}_2, \vec{x}_1) & \cos(\vec{z}_2, \vec{x}_1) \\ \cos(\vec{x}_2, \vec{y}_1) & \cos(\vec{y}_2, \vec{y}_1) & \cos(\vec{z}_2, \vec{y}_1) \\ \cos(\vec{x}_2, \vec{z}_1) & \cos(\vec{y}_2, \vec{z}_1) & \cos(\vec{z}_2, \vec{z}_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{23} = \begin{bmatrix} \cos(\vec{x}_3, \vec{x}_2) & \cos(\vec{y}_3, \vec{x}_2) & \cos(\vec{z}_3, \vec{x}_2) \\ \cos(\vec{x}_3, \vec{y}_2) & \cos(\vec{y}_3, \vec{y}_2) & \cos(\vec{z}_3, \vec{y}_2) \\ \cos(\vec{x}_3, \vec{z}_2) & \cos(\vec{y}_3, \vec{z}_2) & \cos(\vec{z}_3, \vec{z}_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & 0 & \sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_2 & 0 & -\cos \varphi_2 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{34} = \begin{bmatrix} \cos(\vec{x}_4, \vec{x}_3) & \cos(\vec{y}_4, \vec{x}_3) & \cos(\vec{z}_4, \vec{x}_3) \\ \cos(\vec{x}_4, \vec{y}_3) & \cos(\vec{y}_4, \vec{y}_3) & \cos(\vec{z}_4, \vec{y}_3) \\ \cos(\vec{x}_4, \vec{z}_3) & \cos(\vec{y}_4, \vec{z}_3) & \cos(\vec{z}_4, \vec{z}_3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 & 0 \\ \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c. Ví dụ 2: Xác định tọa độ của khâu cuối P trong hệ tay máy như hình dưới.
Cho $d_1 = 20\text{cm}$, $d_2 = 30\text{cm}$, $d_3 = 10\text{cm}$, $\varphi_1 = 60^\circ$, $\varphi_2 = 30^\circ$, $\varphi_3 = 45^\circ$



Chương 3

CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI THUẦN NHẤT

Ở chương 2, chúng ta đã tìm hiểu các kiến thức cơ bản về các hệ cân bằng lực cũng như động học của cánh tay máy. Đối với các robot có kết cấu đơn giản, chúng ta có thể áp dụng các phương thức trực tiếp về lực, momen và các thành phần động học để phân tích động học cho robot công nghiệp. Tuy nhiên, phương pháp này gặp nhiều khó khăn đối với các bài toán của robot có cấu hình phức tạp. Vì vậy, trong chương này chúng ta tìm hiểu cách thức tiếp cận khác trong vấn đề giải quyết bài toán động học robot, đó là các phép biến đổi trong hệ tọa độ thuần nhất (gọi tắt là các phép biến đổi thuần nhất). Phương pháp này là bước phát triển từ các nền tảng toán học, cơ học đã tìm hiểu ở chương trước.

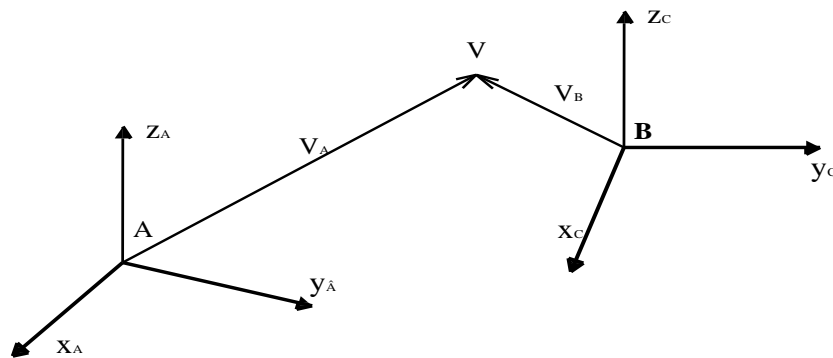
3.1. Hệ tọa độ thuần nhất.

Để biểu diễn 1 điểm trong không gian 3 chiều, người ta dùng vector điểm (Point Vector)

Các vector điểm thường được kí hiệu bằng các chữ viết thường. Ví dụ $\vec{a}, \vec{v}, \vec{p} \dots$

Tùy thuộc hệ qui chiếu được chọn mà 1 điểm trong không gian có thể được biểu diễn bằng các vector điểm khác nhau

Ví dụ :



Nếu gọi $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ là các vector định vị của hệ tọa độ nào đó thì vector điểm \vec{v} :

$$\vec{v} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$$

Với a,b,c là tọa độ vị trí của điểm v.

○ Nếu quan tâm đồng thời vấn đề vị trí và định hướng ta phải biểu diễn vector điểm \vec{v} trong không gian 4 chiều :

$$v = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix}, \text{ với } \frac{x}{w} = a; \quad \frac{y}{w} = b; \quad \frac{z}{w} = c$$

Với w là hằng số thực (hằng số tỉ lệ).

+ Khi $w=1$ thì $x=a; y=b; z=c$: Hệ toạ độ thuần nhất (Lúc này toạ độ không gian 4 chiều trùng với toạ độ không gian 3 chiều)

+ Khi $w=0$ thì $x, y, z \rightarrow \infty$: Thể hiện hướng của các trục toạ độ

→ Sử dụng hệ toạ độ với $w=0$ và $w=1$ thì có thể thể hiện cả vị trí và định hướng vật thể.

+ Khi $w \neq 0$, và $w \neq 0$ thì :

$$\vec{v} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$$

Ví dụ : $\vec{v} = 2\vec{i} - 3\vec{j} + \vec{k}$

○ Các trường hợp đặc biệt :

+ $[0, 0, 0, 0]^T$: Vector không xác định.

+ $[0, 0, 0, n]^T$: Vector 0.

+ $[x, y, z, 0]^T$: Vector chỉ hướng.

+ $[x, y, z, 1]^T$: Vector trong hệ toạ độ thuần nhất.

3.2. Nhắc lại các phép tính về vector và ma trận.

3.2.1) Phép nhân vector :

Cho 2 vector :

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$$

$$\vec{b} = b_x\vec{i} + b_y\vec{j} + b_z\vec{k}$$

a. Tích vô hướng 2 vector :

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

b. Tích có hướng hai vector (Tích hai vector) :

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

3.2.2. Các phép tính về ma trận :

a. Phép cộng trừ hai ma trận :

Điều kiện : Các ma trận phải cùng bậc (cùng kích thước)

Cộng (trừ) hai ma trận A,B cùng bậc ta có ma trận C cùng bậc với các phần tử
 $C_{ij} = A_{ij} \pm B_{ij}$

b. Tích hai ma trận :

Điều kiện : Số cột của ma trận thứ nhất bằng số hàng của ma trận thứ hai.

Tích của hai ma trận A(m,n) với ma trận B(n,p) là ma trận C(m,p).

Ví dụ :

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix} \text{ và } B = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{bmatrix}$$

$$A.B = C = \begin{bmatrix} 22 & 28 \\ 49 & 64 \\ 76 & 100 \end{bmatrix}$$

◆ Chú ý :

- + $A.B \neq B.A$
- + $(k.A).B = k.(A.B) = A.(k.B)$
- + $A.(B.C) = (A.B).C$
- + $(A+B).C = A.C+B.C$
- + $C.(A+B) = C.A+C.B$

c. Ma trận nghịch đảo :

$$A.A^{-1} = I$$

Điều kiện : Ma trận A là khả đảo ($\det(A) \neq 0$)

Có một số cách để tính ma trận nghịch đảo. Một trong số đó :

- + Tính định thức : $\det(A)$
- + Tính ma trận C là ma trận phần phụ đại số của ma trận A :
 $C_{ij} = (-1)^{i+j} D_{ij}$ với $D_{ij} = \det(M_{ij})$

+ Tính ma trận nghịch đảo theo : $A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} C^T$

d. Ma trận nghịch đảo của ma trận thuần nhất :

Cho ma trận thuần nhất A :

$$A = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = [\vec{n} \quad \vec{o} \quad \vec{a} \quad \vec{p}]$$

Tìm ma trận nghịch đảo của ma trận thuần nhất :

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} n_x & n_y & n_z & -\vec{n} \cdot \vec{p} \\ o_x & o_y & o_z & -\vec{o} \cdot \vec{p} \\ a_x & a_y & a_z & -\vec{a} \cdot \vec{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ví dụ : Cho

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kiểm tra :

$$A \cdot A^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = I$$

e. *Vết của ma trận :*

Vết của ma trận vuông bậc n là tổng các phần tử trên đường chéo chính.

$$\text{Kí hiệu : } \text{Trace}(A) = \text{Tr}(A) = \sum_{i=1}^n a_{ii}$$

f. *Đạo hàm và tích phân của ma trận :*

Nếu các phần tử của ma trận A là hàm nhiều biến thì các phần tử của ma trận đạo hàm bằng đạo hàm riêng của các phần tử ma trận A theo biến tương ứng.

$$A = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial t} & \frac{\partial b}{\partial t} & \frac{\partial c}{\partial t} \\ \frac{\partial d}{\partial t} & \frac{\partial e}{\partial t} & \frac{\partial f}{\partial t} \\ \frac{\partial g}{\partial t} & \frac{\partial h}{\partial t} & \frac{\partial k}{\partial t} \end{bmatrix}$$

Tương tự cho phép tích phân ma trận.

3.3. Các phép biến đổi ma trận dùng trong động học robot.

Cho \vec{u} là vector biểu diễn điểm cần biến đổi

\vec{h} là vector dẫn được biểu diễn b ma trận H là ma trận chuyển đổi :

$$\vec{v} = H.\vec{u}$$

Là vector biểu diễn điểm sau khi chuyển đổi.

3.3.1. Phép biến đổi tịnh tiến.

Giả sử cần tịnh tiến 1 điểm hay 1 vật thể theo vector dẫn :

$$\vec{h} = a.\vec{i} + b.\vec{j} + c.\vec{k}$$

Ma trận chuyển đổi tịnh tiến theo vector dẫn :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gọi \vec{u} là vector biểu diễn điểm cần tịnh tiến :

$$u = [x, y, z, 1]^T$$

$$v = H.u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + a \\ y + b \\ z + c \\ 1 \end{bmatrix}$$

Kí hiệu : $v = \text{Trans}(a,b,c).u$

Ví dụ: Cho $\vec{u} = 2.\vec{i} + 3.\vec{j} + 2.\vec{k}$

$$\vec{h} = 4.\vec{i} - 3.\vec{j} + 7.\vec{k}$$

$$v = H.u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \\ 9 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$v = \text{Trans}(4, -3, 7).u$$

3.3.2. Phép quay quanh các trục toạ độ :

Giả sử ta cần quay 1 điểm hay vật thể xung quanh 1 trục nào đó với góc quay θ^0 ta lần lượt có các ma trận chuyển động quay như sau :

$$Rot(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(y, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ví dụ : $\vec{u} = 7.\vec{i} + 3.\vec{j} + 2.\vec{k}$

Quay một góc 90^0 quanh trục z : $Rot(z, 90)$, sau đó tiếp tục cho quay y 1 góc 90^0 : $Rot(y, 90)$

Thực hiện chuyển đổi :

$$\vec{v} = Rot(z, 90^\circ).u$$

$$v = R.u = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Tiếp tục cho quay quanh y 1 góc 90^0 :

$$W = \text{Rot}(y, 90^\circ).v$$

$$v = R.u = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Vậy có thể tính :

$$W = \text{Rot}(y, 90^\circ).\text{Rot}(z, 90^\circ).u$$

◆ **Chú ý :**

+ **Phép quay cần tuân thủ theo đúng thứ tự trước sau .**

Trong ví dụ : quay quanh trục z trước, trục y sau, ta kí hiệu : $\text{Rot}(y, 90^\circ).\text{Rot}(z, 90^\circ).u$

+ **Vì các phép quay cho các ma trận nên :**

$$\text{Rot}(y, 90^\circ).\text{Rot}(z, 90^\circ).u \neq \text{Rot}(z, 90^\circ).\text{Rot}(y, 90^\circ).u$$

3.3.3. Phép quay Ole(Euler)

Trong thực tế việc định hướng khâu chấp hành cuối thường là kết quả của các phép quay quanh trục x, y, z.

Phép quay Ole mô tả khả năng định hướng của các khâu chấp hành cuối thông qua các góc quay ϕ, θ, ψ bởi các phép biến đổi sau :

+ Quay 1 góc ϕ quanh trục z.

+ Quay 1 góc θ quanh trục y mới là y'

+ Quay 1 góc ψ quanh trục z mới là z''

$$\text{Euler}(\phi, \theta, \psi) = \text{Rot}(z, \phi).\text{Rot}(y, \theta).\text{Rot}(z, \psi) = \text{Rot}(z, \psi).\text{Rot}(y, \theta).\text{Rot}(z, \phi)$$

◆ **Chú ý :**

Phép quay phải theo thứ tự trước sau , nhưng đặc biệt với phép quay Ole thì sự thay đổi thứ tự không làm thay đổi kết quả.

Công thức tính :

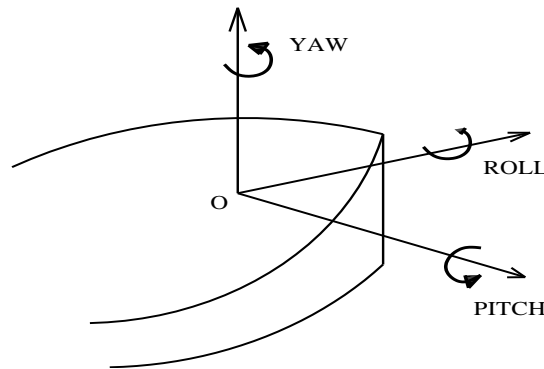
$$\begin{aligned} \text{Euler}(\phi, \theta, \psi) &= \text{Rot}(z, \phi).\text{Rot}(y, \theta).\text{Rot}(z, \psi) \\ &= \text{Rot}(z, \phi) \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta \cos \psi - \sin \phi \sin \psi & -\cos \phi \cos \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta & 0 \\ \sin \phi \cos \theta \cos \psi + \cos \phi \sin \psi & -\sin \phi \cos \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \sin \phi \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta \cos \psi & \sin \theta \sin \psi & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

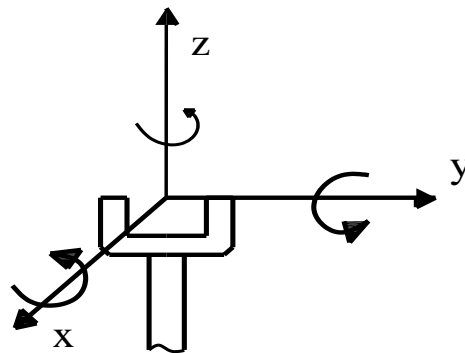
3.3.4. Phép quay roll - pitch - yaw.

Là phép quay dùng để định hướng khâu chấp hành cuối thường được dùng trong thực tế.

Ta tưởng tượng gắn hệ tọa độ xyz lên thân một con tàu



- + Roll- Chuyển động lắc của thân tàu tương ứng với trục z của thân tàu 1 góc ϕ
- + Pitch- Chuyển động nhấp nhô của thân tàu tương ứng với việc quay quanh trục y 1 góc θ
- + Yaw- Chuyển động lệch hướng tương ứng với việc quay quanh trục x 1 góc ψ



Người ta sử dụng phép quay này để biểu diễn chuyển động của Robot. Phương pháp này được sử dụng khá phổ biến.

$$\begin{aligned}
 RPY(\phi, \theta, \psi) &= Rot(z, \phi).Rot(y, \theta).Rot(x, \psi) \\
 &= Rot(z, \phi) \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & 0 \\ \sin \phi \cos \theta & \sin \phi \cos \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Hay có thể viết :

$$RPY(\phi, \theta, \psi) = \begin{vmatrix} C(\phi)C(\theta) & C(\phi)S(\theta)S(\psi) - S(\phi)C(\psi) & C(\phi)S(\theta)C(\psi) + S(\phi)S(\psi) \\ S(\phi)C(\theta) & S(\phi)S(\theta)S(\psi) + C(\phi)C(\psi) & S(\phi)S(\theta)C(\psi) - C(\phi)S(\psi) \\ -S(\theta) & C(\theta)S(\psi) & C(\theta)C(\psi) \end{vmatrix}$$

3.4. Biến đổi hệ tọa độ và mối quan hệ giữa các hệ tọa độ

3.4.1. Biến đổi hệ tọa độ.

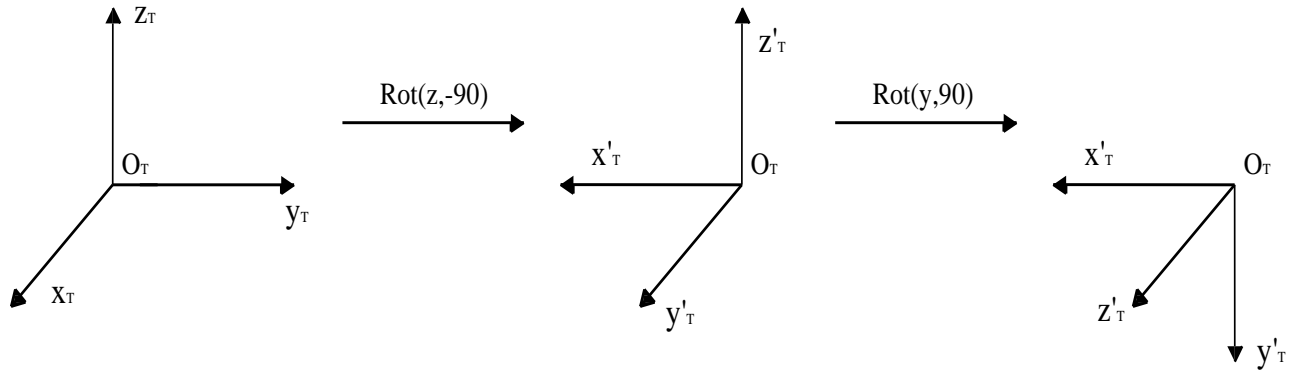
Giả sử cần tịnh tiến gốc tạo độ Đề các $O(0,0,0)$ theo một vector dẫn $\vec{h} = 4.\vec{i} - 3.\vec{j} + 7.\vec{k}$ thì kết quả ta được tọa độ điểm O_T :

$$O_T = H.O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ -3 \\ 7 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Nếu ta tiếp tục thực hiện các phép quay đối với hệ tọa độ O_T thì ta được hệ tọa độ mới :

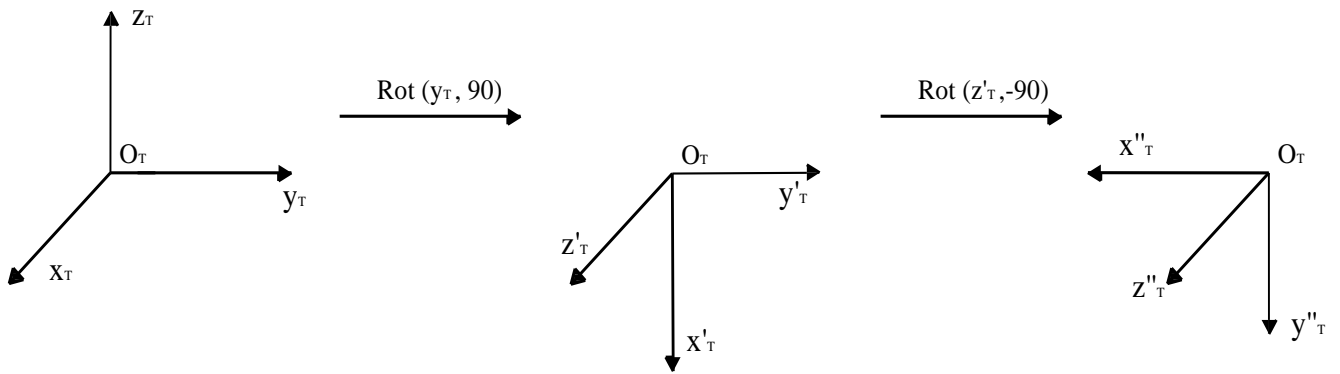
+ Nếu chọn hệ qui chiếu là hệ tọa độ gốc thì ta thực hiện các phép biến đổi từ phải sang trái :

$$A = Rot(y, 90^\circ).Rot(z, -90^\circ)$$



+ Nếu chọn hệ qui chiếu là hệ tọa độ trung gian thì ta thực hiện các phép biến đổi từ trái sang phải :

$$A = \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(z, -90^\circ)$$

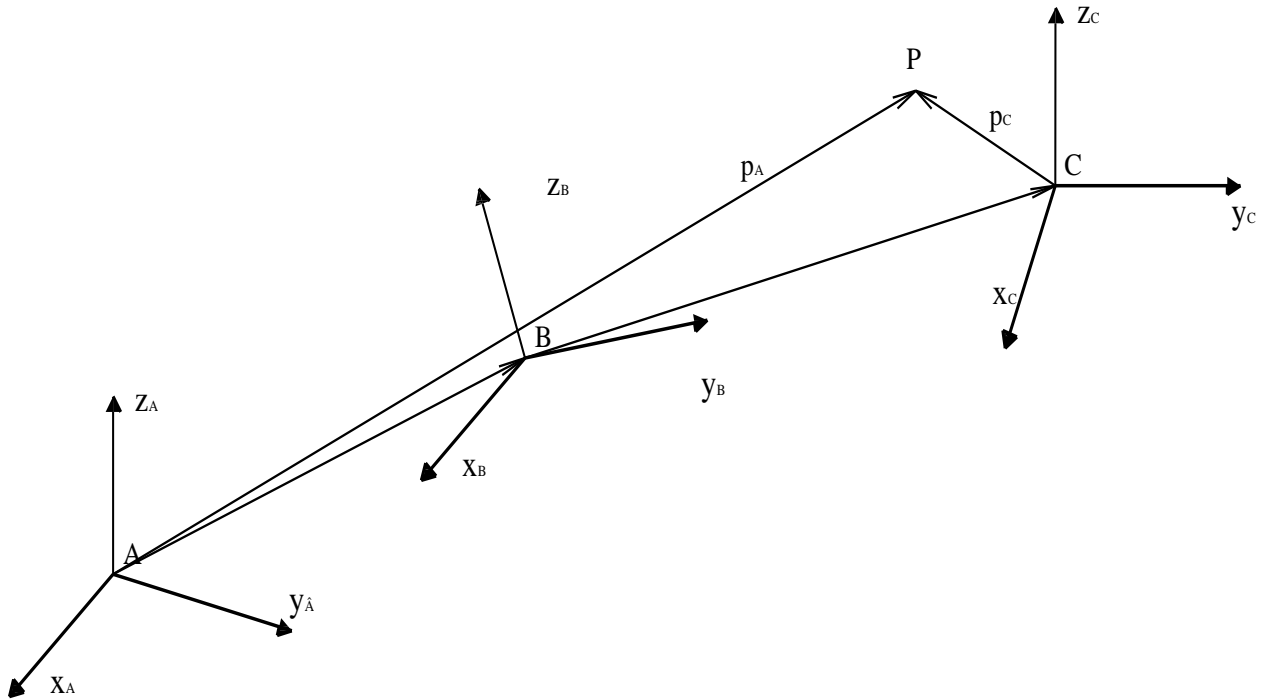


3.4.2. Mối quan hệ giữa các hệ tọa độ.

Giả sử có 3 gốc hệ tọa độ A, B, C thì hệ tọa độ B có mối quan hệ với hệ tọa độ A được biểu diễn :

$$B \rightarrow A \Rightarrow T_B^A$$

$$C \rightarrow B \Rightarrow T_C^B$$



Giả sử có điểm P trong hệ tọa độ C được biểu diễn \vec{p}_C . Xác định mối quan hệ của P trong hệ tọa độ A.

Trước hết cần xác định p_B : $p_B = T_C^B \cdot p_C$

$$p_A = T_B^C \cdot p_B = T_B^A \cdot T_C^B$$

Vậy : $T_C^A = T_B^A \cdot T_C^B$

Tính chất :

$$B \rightarrow A \Rightarrow T_B^A$$

$$A \rightarrow B \Rightarrow T_A^B$$

$$\Rightarrow T_A^B = (T_B^A)^{-1}$$

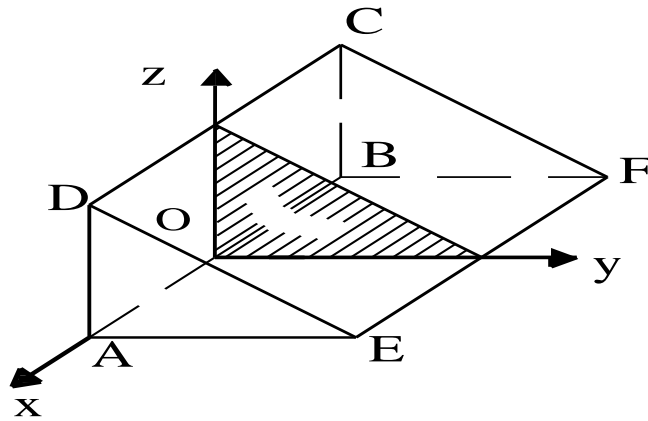
3.5. Mô tả vật thể

Vật thể là các đối tượng làm việc của Robot . Dựa vào đặc điểm hình học của chúng , ta có thể chia chúng thành 3 nhóm sau :

- + Nhóm các vật thể tròn xoay : ngoài giá trị của vị trí và kích thước, ta cần xác định tọa độ tâm và bán kính của đường cong.
- + Nhóm các vật thể có góc cạnh : Giá trị đặc trưng là tọa độ các điểm giới hạn.
- + Nhóm các vật thể có cấu trúc hỗn hợp

Đối với hoạt động cầm nắm đối tượng và quá trình vận động của Robot thì việc mô tả vật thể cần phải gắn liền với các phép biến đổi thuần nhất.

Ví dụ : Cho vật thể hình lăn trụ đặt trong hệ tọa độ oxyz như hình vẽ :



Để mô tả vị trí của vật thể ta dùng ma trận của 6 điểm như sau, phần tử của hàng cuối cùng chính là giá trị $w = 1$.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = A \quad B \quad C \quad D \quad E \quad F$$

Yêu cầu : Thực hiện các phép biến đổi : $H = \text{Trans}(4,0,0) \text{ Rot}(y,90^\circ) \text{ Rot}(z,90^\circ)$.

Thực hiện nhân các ma trận thuần nhất của các phép biến đổi theo đúng thứ tự như trên, ta thu được ma trận H như sau :

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A' = H.A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

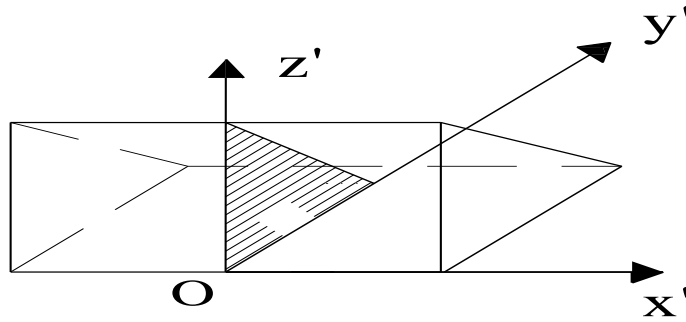
$$A' = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Kiểm tra lại bằng hình vẽ : Dùng hệ qui chiếu là hệ tọa độ gốc.

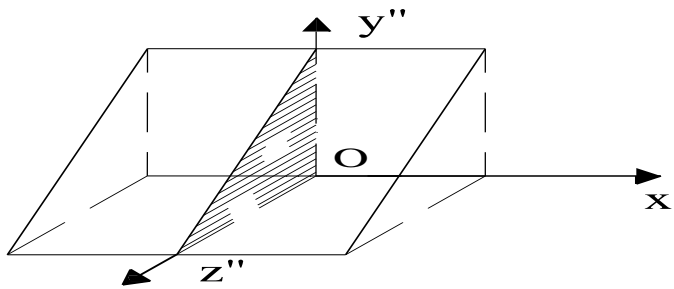
$$H = \text{Trans}(4,0,0) \text{Rot}(y,90^\circ) \text{Rot}(z,90^\circ)$$

Thực hiện lần lượt theo thứ tự : Quay quanh trục z , quay quanh trục y, tịnh tiến so với hệ tọa độ gốc.

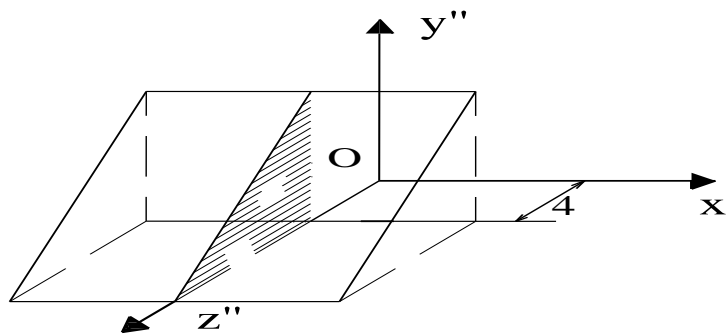
+ Rot(z,90) :



+ Rot(y,90) :



+ Trans(4,0,0) :

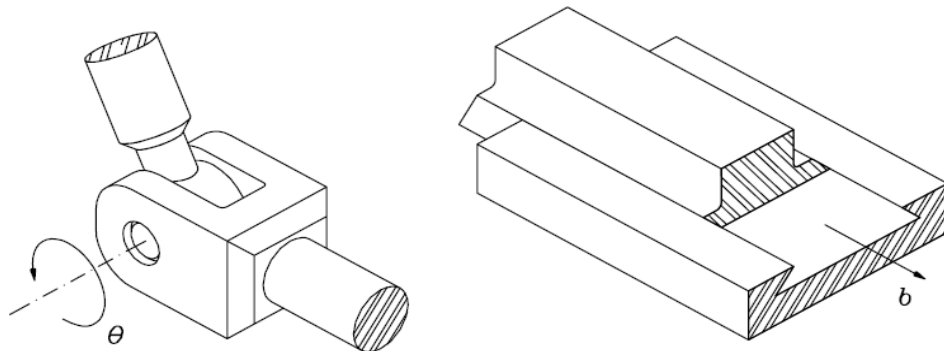


Chương 4

PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC ROBOT

4.1. Dẫn nhập

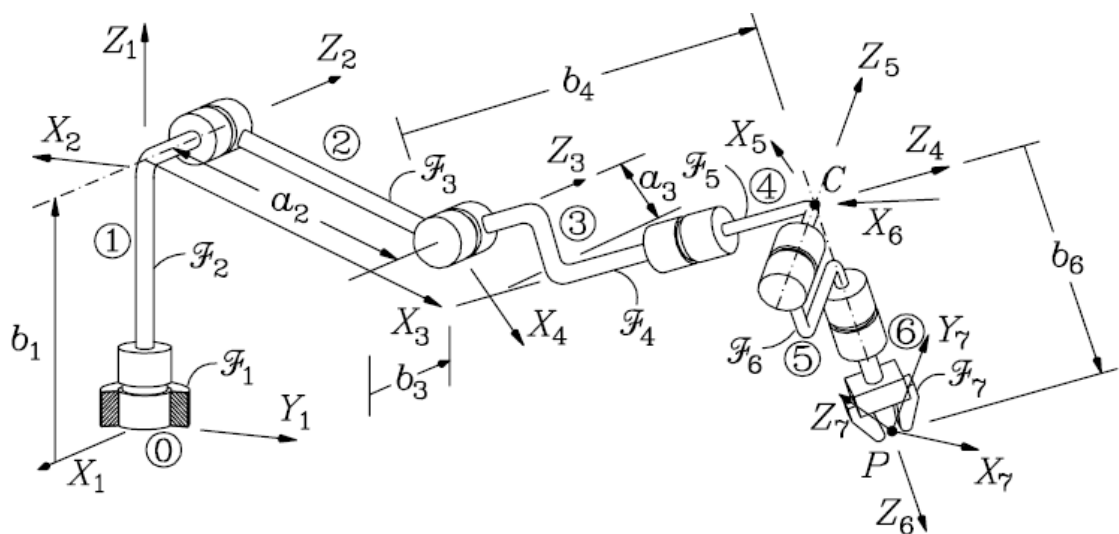
Bất kỳ một Robot nào cũng bao gồm các khâu liên kết với nhau thông qua các khớp. Hai chuyển động cơ bản của các khâu thông qua khớp quay và khớp tịnh tiến.



Hình 4.1. Khớp quay và khớp tịnh tiến trong chuyển động của robot.

Ta đặt trên mỗi khâu của một Robot một hệ trục tọa độ. Sử dụng các phép biến đổi thuần nhất có thể mô tả vị trí tương đối và hướng giữa các hệ tọa độ này.

Theo Denavit, mỗi liên hệ giữa hai khâu liên kế nhau (khâu n so với khâu $(n-1)$) được mô tả bởi ma trận A là ma trận biến đổi thuần nhất gồm có các phép quay và tịnh tiến giữa các hệ tọa độ với nhau.



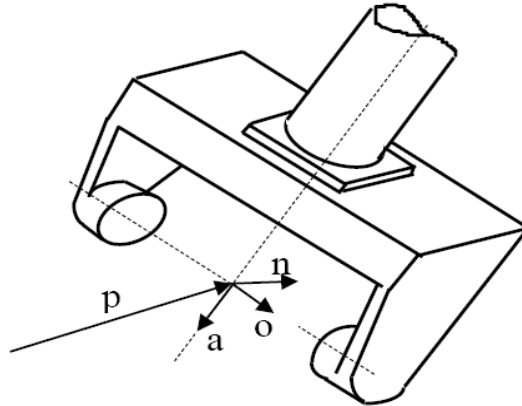
Hình 4.2. Đặt hệ trục tọa độ cho các khâu của robot Puma.

Vậy, A_1 là ma trận mô tả hướng và vị trí của hệ tọa độ gắn trên khâu thứ nhất so với hệ tọa độ gốc.

Tương tự cho A_2 , là ma trận mô tả mối quan hệ về hướng và vị trí của hệ toạ độ thứ hai so với hệ toạ độ gắn trên khâu thứ nhất.

Tích của các ma trận A là ma trận T (Theo Denavit).

Ví dụ : $T_3 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$



Hình 4.3. Các vector định vị và định hướng của tay máy.

◆ *Lưu ý* :

+ Nếu một Robot có 6 khâu thì :

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6.$$

T_6 được gọi là ma trận vector cuối, mô tả hướng và vị trí của hệ toạ độ gắn lên khâu chấp hành cuối so với hệ toạ độ gốc.

+ Nếu một Robot có số bậc tự do $w > 3$ thì 3 bậc tự do đầu tiên dùng để định vị, các bậc tự do còn lại để định hướng.

+ Hệ toạ độ biểu diễn khâu chấp hành cuối (điểm tác động cuối) $[\vec{n} \quad \vec{o} \quad \vec{a}]$:

3 vector chỉ phương của hệ toạ độ gắn trên khâu chấp hành cuối, (điểm tác động cuối) xác định bởi :

\vec{a} : Vector có hướng mà theo đó bàn tay sẽ tiếp cận đến đối tượng.

\vec{o} : Vector có hướng theo đó các ngón tay cầm nắm hay thả đối tượng.

\vec{n} : Vector pháp tuyến của \vec{o} và \vec{a} : $\vec{n} = \vec{o} \times \vec{a}$

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2. Bộ thông số Denavit-Hartenberg (DH)

4.2.1. Các khái niệm :

Một Robot gồm nhiều khâu cấu thành từ những khâu nối tiếp nhau thông qua các khớp động.

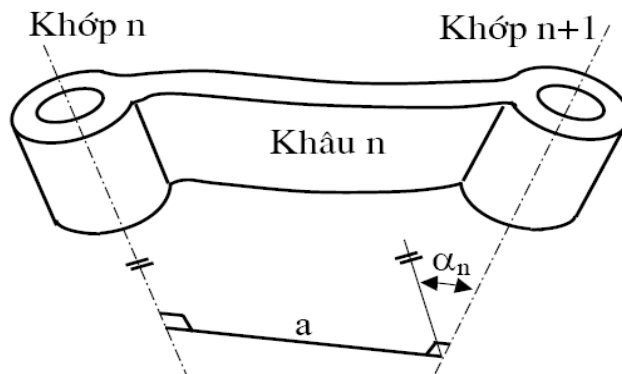
Gốc chuẩn của 1 Robot là khâu số 0 và không tính vào số các khâu. Khâu 1 nối với khâu chuẩn bởi khớp 1, không có khớp ở đầu mút khâu cuối cùng

4.2.2. Độ dài pháp tuyến chung và góc giữa hai trục khớp :

Bất kỳ một khâu nào cũng được đặc trưng bởi hai yếu tố :

+ Độ dài pháp tuyến chung a_n

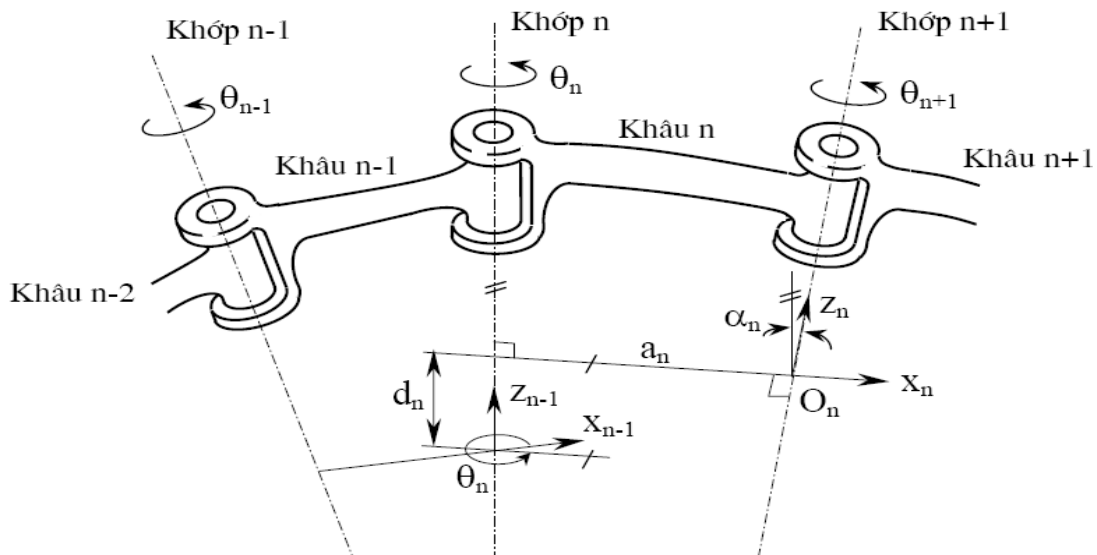
+ Góc giữa các trục khớp đo trong mặt phẳng vuông góc với a_n , ký hiệu là α_n



Hình 4.4. Chiều dài góc xoắn của khâu.

α_n :Góc xoắn của khâu n (**Khớp n so với khớp (n+1)**)

a_n : Chiều dài của khâu n (**Khớp n so với khớp (n+1)**)



Hình 4.5. Các thông số của khâu : $a_n, \alpha_n, d_n, \theta_n$

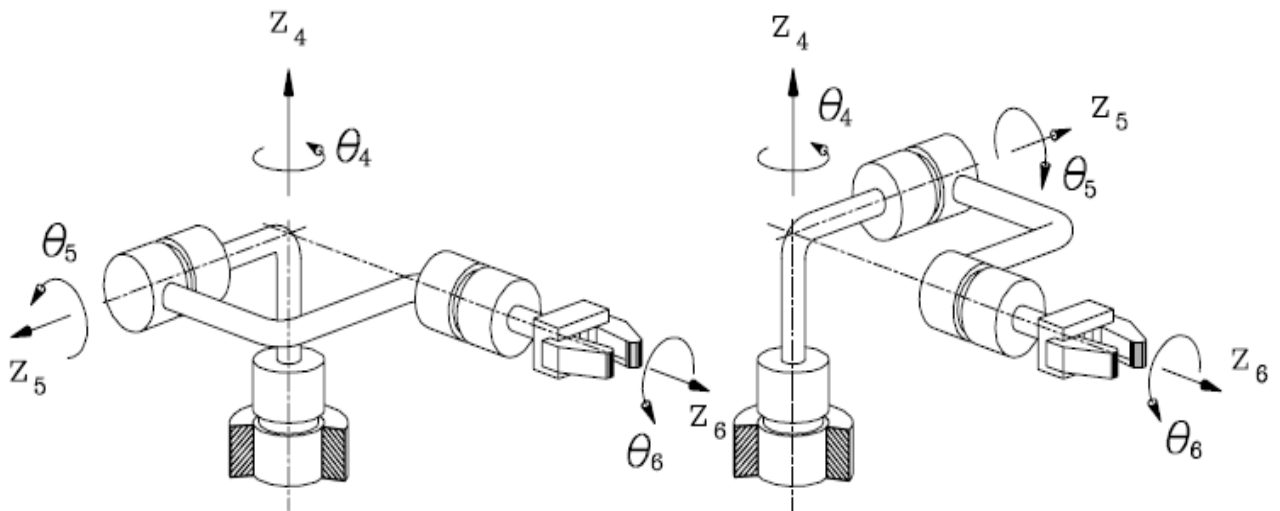
◆ Các trường hợp đặc biệt :

+ $\alpha_n=0, a_n =\text{const}$ (2 trục khớp song song)

+ $\alpha_n \neq 90, a_n =\text{const}$ (2 trục khớp vuông góc)

+ $\alpha_n=0(180), a_n =0$ (2 trục khớp trùng nhau)

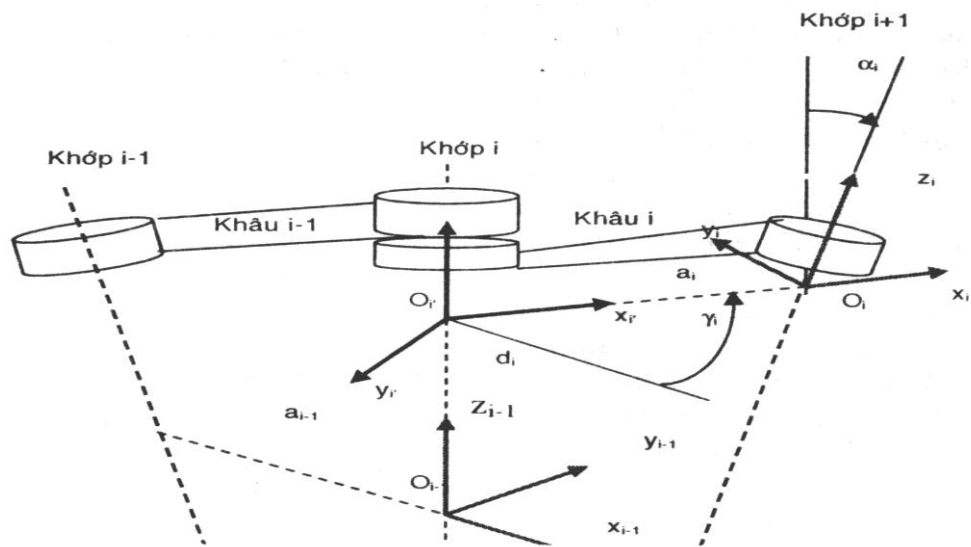
$+ / \alpha_n \neq 90, a_n = 0$ (2 trục khớp cắt nhau và vuông góc nhau)



Hình 4.6. Các trường hợp đặc biệt của phương hai trục khớp

4.2.3. Khoảng cách giữa hai khâu và góc quay giữa hai khâu.

Tiếp tục khảo sát mối quan hệ giữa các khâu liền kề nhau, phổ biến là hai khâu liền kết nhau ở chính trục của khớp :



Hình 4.7. Khoảng cách hai khâu và góc quay giữa hai khâu.

Mỗi trục khớp có hai đường pháp tuyến chung đối với nó, khoảng cách giữa hai đường pháp tuyến chung đo dọc theo trục khớp n gọi là d_n

d_n còn gọi là khoảng cách giữa hai khâu : Khâu n so với khâu thứ (n-1)

Góc giữa hai đường pháp tuyến chung đo trong mặt phẳng vuông góc với trục khớp thứ n là góc θ_n .

θ_n là góc quay của khâu thứ n so với khâu thứ (n-1)

4.2.4. Bộ thông số Denavit-Hertenberg :

Cả 4 thông số xác định ở trên chính là bộ thông số DH : $\alpha_n, a_n, d_n, \theta_n$

Với 4 thông số trên, ta có thể xác định vị trí và hướng của mỗi khâu so với nhau và so với toạ độ góc

Nếu khớp nối hai khâu là khớp quay thì θ_n là biến khớp (3 thông số còn lại là hằng số)

Nếu khớp nối là tịnh tiến thì d_n là biến khớp : ($\theta_n = 0, a_n = 0, \alpha_n = \text{const}$)

4.3. Gắn hệ toạ độ cho Robot .

Để khảo sát động học của Robot ta phải gắn trên mỗi khâu của robot một hệ toạ độ. Nguyên tắc chung để gắn hệ toạ độ như sau :

a. *Gốc của hệ toạ độ :*

Gốc toạ độ của khâu thứ n nằm trên đường tâm của trục khớp thứ (n+1) và nằm tại giao điểm của đường pháp tuyến chung a_n với trục khớp thứ (n+1) (Tổng quát, chéo nhau)

Nếu hai trục khớp cắt nhau thì gốc toạ độ o_n nằm tại chính điểm cắt đó.

Nếu hai trục khớp song song nhau thì o_n nằm trên trục khớp thứ n+1 và tại một vị trí đặc biệt nào đó để quá trình tính toán là thuận lợi nhất.

b. *Chọn trục Z_n :*

Trục Z_n nằm dọc theo trục khớp thứ n+1 và có hướng về phía các khâu.

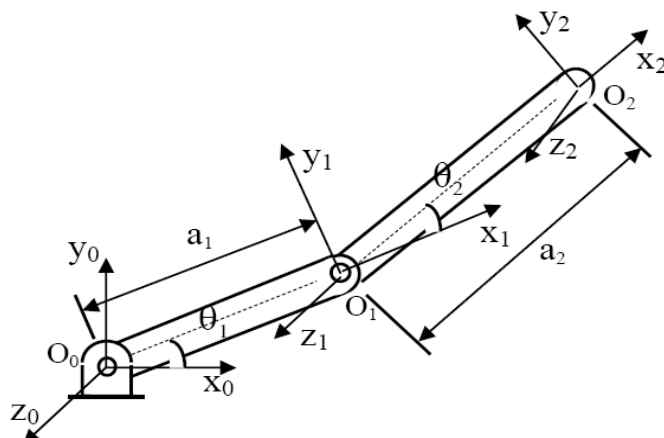
c. *Chọn trục X_n :*

Trục X_n nằm dọc theo đường pháp tuyến chung hướng từ trục khớp thứ n đến trục khớp thứ n+1.

Nếu hai trục khớp cắt nhau thì $\vec{x}_n = \vec{z}_n \cdot \vec{z}_{n+1}$

d. *Chọn trục y_n theo qui tắc bàn tay phải.*

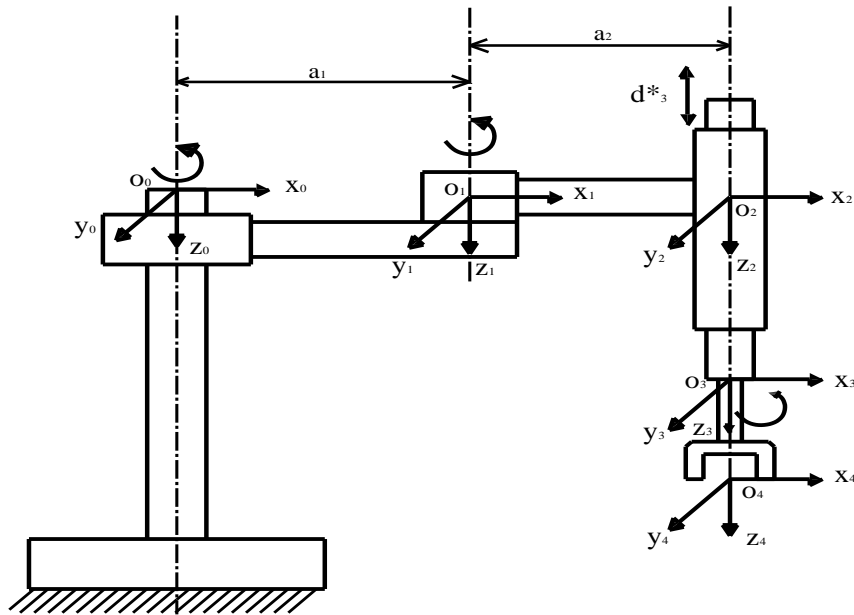
• Ví dụ 1: Gắn hệ toạ độ và xác định các thông số DH cho Robot có hai khâu phẳng :



Hình 4.8. Xác định hệ trục tọa độ và bộ thông số DH robot hai khớp quay phẳng
 Bộ thông số DH của robot được xác định :

Khâu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1^*	0	a_1	0
2	θ_2^*	0	a_2	0

• Ví dụ 2: Gắn hệ tọa độ và xác định bộ thông số DH cho Robot Scara :



Hình 4.9. Xác định hệ trục tọa độ và bộ thông số DH cho robot Scara.

Bộ thông số DH :

1	θ_1^*	0	a_1	0
2	θ_2^*	0	a_2	0
3	0	0	0	d_3^*
4	θ_4^*	0	0	d_4^*

4.4. Đặc trưng của các ma trận A.

Ma trận A là ma trận mô tả mgh hướng và vị trí của hệ tọa độ gắn trên hai khâu liền kề nhau.

Căn cứ vào thông số của bộ DH thì ma trận A được đặc trưng bởi 4 phép biến đổi sau :

- i. Quay quanh trục z_{i-1} một góc θ_i .
- ii. Tịnh tiến dọc trục z_{i-1} một quãng d_i .

iii. Tịnh tiến dọc trục x_{i-1} (đã trùng với x_i) một đoạn a_i

iv. Quay quanh trục x_i một góc α_i

Bốn bước biến đổi này được biểu hiện bằng tích của các ma trận thuần nhất như sau:

$$A_i = R(z, \theta_i) \cdot T_p(0, 0, d_i) \cdot T_p(a_i, 0, 0) \cdot R(x, \alpha_i)$$

$$Rot(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Hay:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ma trận A_i được gọi là ma trận chuyển đổi thuần nhất, nó có dạng $A_i = \left[\begin{array}{c|c} R_i & p_i \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right]$ với R_i là ma trận quay 3×3 và p_i là vectơ tịnh tiến 3×1 .

◆ Lưu ý :

Đối với khớp tịnh tiến thì $\theta_i = a = 0$ nên:

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.5 Xác định các ma trận T theo ma trận A .

Vậy, A_1 là ma trận mô tả hướng và vị trí của hệ tọa độ gắn trên *khâu thứ nhất* so với hệ tọa độ gốc.

Tương tự cho A_2 , là ma trận mô tả mối quan hệ về hướng và vị trí của *hệ tọa độ thứ hai* so với hệ tọa độ gắn trên *khâu thứ nhất*.

Tích của các ma trận A là ma trận T (Theo Denavit).

Ví dụ : $T_3 = A_1.A_2.A_3$

◆ Nếu một Robot có 6 khâu thì :

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6.$$

T_6 được gọi là ma trận vector cuối, mô tả hướng và vị trí của hệ tọa độ gắn lên khâu chấp hành cuối so với hệ tọa độ gốc.

◆ Hệ tọa độ biểu diễn khâu chấp hành cuối (điểm tác động cuối)

$[\vec{n} \quad \vec{o} \quad \vec{a}]$: 3 vector chỉ phương của hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối, (điểm tác động cuối) xác định bởi :

+ \vec{a} : Vector có hướng mà theo đó bàn tay sẽ tiếp cận đến đối tượng.

+ \vec{o} : Vector có hướng theo đó các ngón tay cầm nắm hay thả đối tượng.

+ \vec{n} : Vector pháp tuyến của \vec{o} và \vec{a} : $\vec{n} = \vec{o} \times \vec{a}$

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta có thể xác định ma trận T thông qua hệ tọa độ trung gian :

$${}^{n-1}T_n = \prod_{i=1}^n A_i$$

Với : ${}^2T_3 = A_3$

${}^1T_3 = A_2 A_3$

4.6. Trình tự thiết lập phương trình động học của robot.

4.6.1. Các bước thực hiện

Để thiết lập phương trình động học của robot, ta thực hiện các bước sau :

1. *Bước 1*: Chọn hệ tọa độ cơ bản và gán các hệ tọa độ trung gian khác :

+ Giả định vị trí ban đầu của Robot, là vị trí các biến khớp thường bằng 0

+ Chọn gốc hệ tọa độ $O_0, O_1 \dots$

+ Chọn trục $Z_0, Z_1 \dots$ theo nguyên tắc chung.

Với các robot có $w \leq 3$ thì không thể định hướng cho trục Z_n chọn tùy ý.

+ Chọn các trục $x_0, x_1 \dots$

Vì ma trận $A_i = R(z, \theta_i) \cdot T_p(0, 0, d_i) \cdot T_p(a_i, 0, 0) \cdot R(x, \alpha_i)$

nên trục x_{n-1} chính là trục quay z_{n-1} thành trục Z_n :

Lúc này : $\alpha_n = (Z_{n-1}, Z_n)$

+ Chọn trục y theo nguyên tắc bàn tay phải.

*** Lưu ý:**

Trong quá trình gắn htd thì khi xuất hiện các phép biến đổi : $Trans(0,y,0)$ và $Rot(y,theta)$ thì vị trí giả định ban đầu là không đúng, cần thay đổi vị trí mới.

2. *Bước 2:* Lập bảng thông số DH.

3. *Bước 3:* Xác định các ma trận A_i

4. *Bước 4:* Tính các ma trận T từ ngọn tới gốc. $T_4 = A_1 A_2 A_3 A_4$

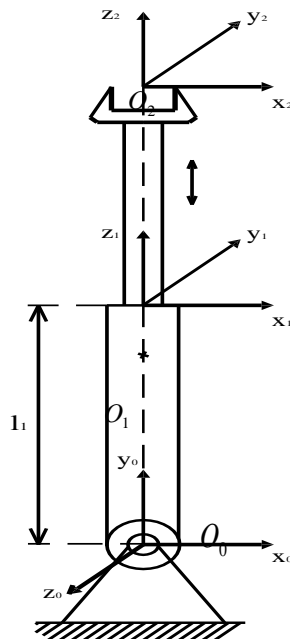
Tính ngược từ sau ra trước (Thông thường)

5. *Bước 5:* Viết phương trình động học Robot

4.6.2. Các ví dụ thiết lập phương trình động học :

1. Ví dụ 1. Xác định phương trình động học của Robot hai bậc tự do RT

◆ Gắn hệ trục tọa độ cho Robot :



Hình 4.10. Gắn hệ tọa độ cơ bản và các hệ tọa độ trung gian cho Robot

Khâu 1 : Quay quanh trục Z_0 , chọn X_0 là pháp tuyến chung của (Z_0, Z_1) .

Khâu 2 : Tịnh tiến dọc theo trục Z_1 , chọn X_1 nằm ngang.

◆ Xác định bộ thông số DH :

Khâu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1^*	-90°	0	l_1
2	0	0°	0	d_2^*

Các biến khớp : θ_1^* , d_2^*

◆ Phương trình động học :

+ Các ma trận đặc trưng A :

$$A_1 = \begin{bmatrix} c1 & 0 & -s1 & 0 \\ s1 & 0 & c1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

+ Ma trận vector cuối :

$$T = A_1 A_2 = \begin{bmatrix} c1 & 0 & -s1 & 0 \\ s1 & 0 & c1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c1 & 0 & -s1 & -d_2 s1 \\ s1 & 0 & c1 & d_2 c1 \\ 0 & -1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

+ Phương trình động học thể hiện mối quan hệ về hướng và vị trí của ma trận vector cuối theo các biến khớp :

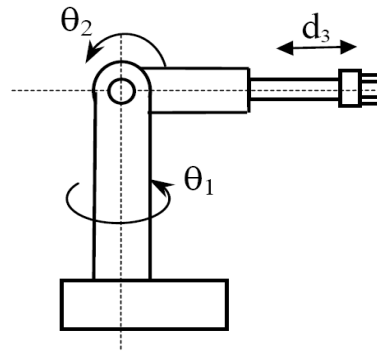
◆ Ba vector chỉ hướng : $\vec{n}, \vec{o}, \vec{a}$

$$\begin{aligned} n_x &= \cos \theta_1 & o_x &= 0 & a_x &= -\sin \theta_1 \\ n_y &= \sin \theta_1 & o_y &= 0 & a_y &= \cos \theta_1 \\ n_z &= 0 & o_z &= -1 & a_z &= 0 \end{aligned}$$

◆ Vector định vị : \vec{p}

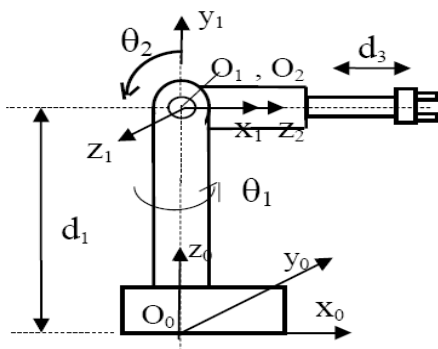
$$\begin{aligned} p_x &= d_2 \sin \theta_1 \\ p_y &= d_2 \cos \theta_1 \\ p_z &= l_1 \end{aligned}$$

1. Ví dụ 2. Xác định phương trình động học Robot có cấu hình RRT



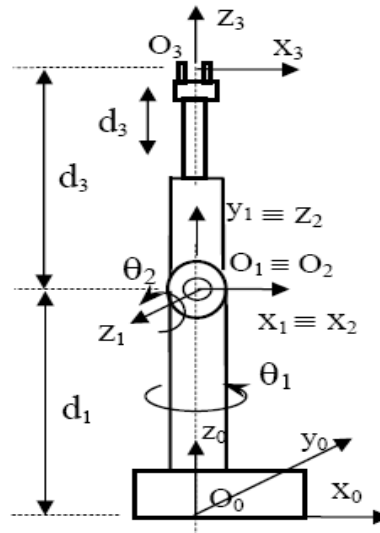
Hình 4.11. Robot hai khâu RT

i. Gắn hệ tọa độ cho Robot :



Hình 4.12. Gắn hệ tọa độ tại vị trí ban đầu đã cho

vị trí ban đầu đã cho.



Hình 4.13. Gắn hệ tọa độ tại vị trí lựa

ii. Bộ thông số DH :

Khâu	θ	α	a_i	d_i
1	θ_1^*	+90	0	d_1
2	θ_2^*	-90	0	0
3	0	0	0	θ_3^*

iii. Xác định các ma trận A :

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Qui ước:

- $\cos \theta_1 = c1$
- $\cos \theta_2 = c2$
- $c1c2 - s1s2 = \cos(\theta_1 + \theta_2) = c12$
- $s3c4 + c3s4 = \sin(\theta_1 + \theta_2) = s34$
- $c1c23 - s1s23 = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) = c123$

$$A_1 = \begin{bmatrix} c1 & 0 & s1 & 0 \\ s1 & 0 & -c1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} c2 & 0 & -s2 & 0 \\ s2 & 0 & c2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

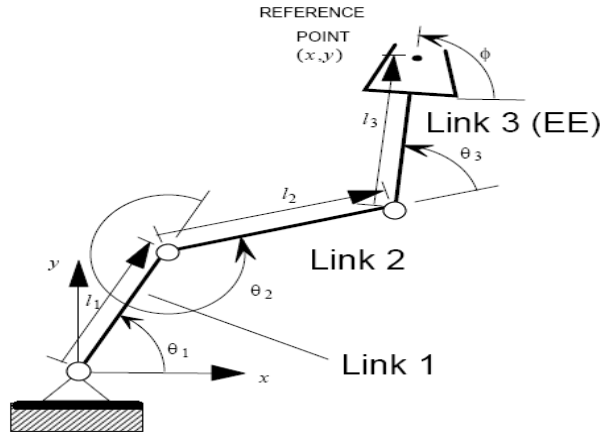
$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & c2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3 = \begin{bmatrix} c1c2 & -s1 & -c1s2 & -c1s2d3 \\ s1c2 & c1 & -s1s2 & -s1s2d3 \\ s2 & 0 & c2 & c2d3 + d1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

iv. Viết phương trình động học :

$$T_3 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Ví dụ 3: Xác định phương trình động học cho Robot 3 khớp quay phẳng



i. Bộ thông số DH :

1	θ_1^*	0	a1	0
2	θ_2^*	0	a2	0
3	θ_3^*	0	a3	0

ii. Xác định các ma trận A

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

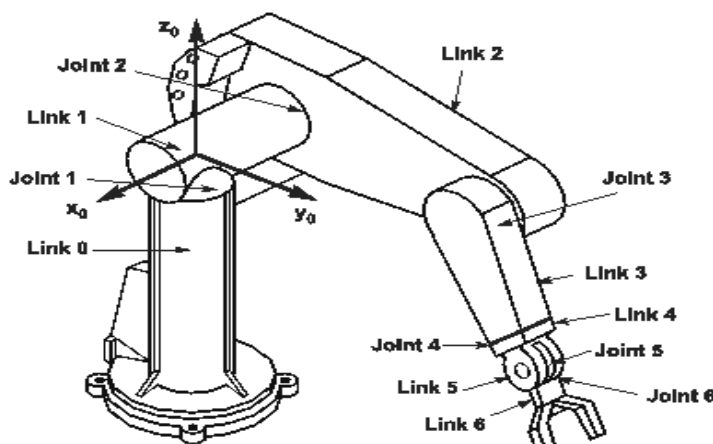
iii. Tìm phương trình động học :

Tương tự, thay vào tính A_1 và T_3 :

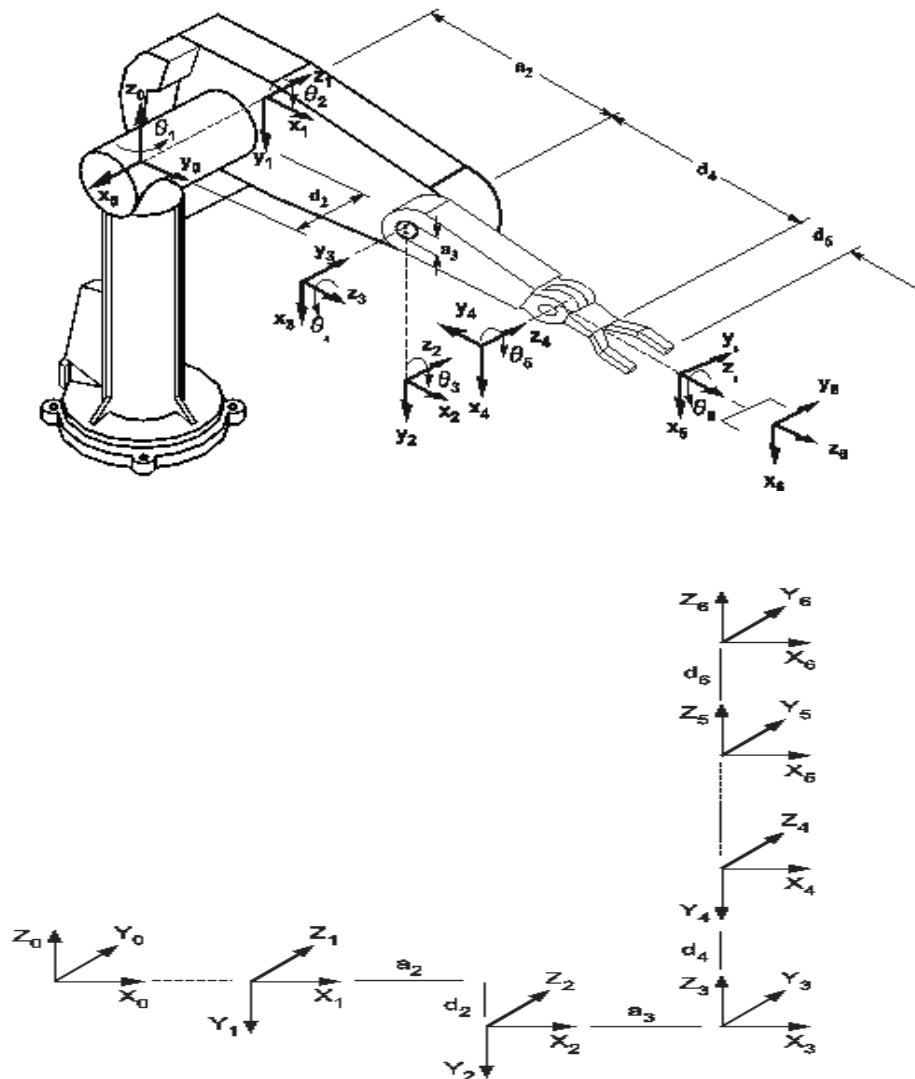
$$T_3 = \begin{bmatrix} c123 & -s123 & 0 & c123a3 + c12a2 + c1a1 \\ s123 & c123 & 0 & s123a3 + s12a2 + s1a1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4. Ví dụ 4. Xác định phương trình động học của robot Puma 6 bậc tự do.

Robot Puma là sản phẩm của công ty Unimate (USA), đó là loại robot có 6 bậc tự do được sử dụng tại nhiều nước trên thế giới.



i. Gắn hệ tọa độ cho robot Puma.



Hình 4. Gắn hệ tọa độ cho robot Puma.

ii. Bộ thông số D-H của robot Puma :

Khẩu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	0^0	0	0
2	θ_2	-90^0	0	0
3	θ_3	0^0	a_2	d_3
4	θ_4	-90^0	a_3	d_4
5	θ_5	90^0	0	0
6	θ_6	-90^0	0	0

iii. Phương trình động học của robot Puma có số khớp $n = 6$

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^1_2T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^3_4T = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & a_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4_5T = \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^5_6T = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta có :

$${}^0_6T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{12} & Px \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & Py \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & Pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} r_{11} &= c_1[c_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_5) - s_{23}s_5c_5] + s_1(s_4c_5c_6 + c_4s_6) \\ r_{21} &= s_1[c_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_6) - s_{23}s_5c_6] - c_1(s_4c_5c_6 + c_4s_6) \\ r_{31} &= -s_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_6) - c_{23}s_5c_6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{12} &= c_1[c_{23}(-c_4c_5s_6 - s_4c_6) + s_{23}s_5s_6] + s_1(c_4c_6 - s_4c_5s_6) \\ r_{22} &= s_1[c_{23}(-c_4c_5s_6 - s_4c_6) + s_{23}s_5s_6] - c_1(c_4c_6 - s_4c_5s_6) \\ r_{32} &= -s_{23}(-c_4c_5s_6 - s_4c_6) + c_{23}s_5s_6 \end{aligned}$$

$$r_{13} = -c_1(c_{23}c_4c_5 + s_{23}c_5) - s_1s_4s_5]$$

$$r_{23} = -s_1(c_{23}c_4c_5 + s_{23}c_5) + c_1s_4s_5)$$

$$r_{33} = s_{23}c_4s_5 - c_{23}c_5$$

$$Px = c_1[a_2c_2 + a_3c_{23} - d_4s_{23}] - d_3s_1$$

$$Py = s_1[a_2c_2 + a_3c_{23} - d_4s_{23}] + d_3c_1$$

$$Pz = -a_3s_{23} - a_2s_2 - d_4c_{23}$$

Chương 5

ĐỘNG LỰC HỌC ROBOT VÀ ỨNG DỤNG TRONG ĐIỀU KHIỂN

5.1. Mục đích và phương pháp khảo sát động lực học robot

Với những mục đích thiết kế và điều khiển, cần thiết phải có một mô hình toán học mô tả động lực học của hệ thống. Vì thế, ở chương này ta sẽ xác lập phương trình chuyển động của tay máy dưới dạng phương trình vi phân. Phương pháp áp dụng ở đây là xây dựng phương trình chuyển động của cơ hệ dựa trên quan hệ năng lượng, xuất phát từ nguyên lý bảo toàn và chuyển hóa năng lượng trên cơ sở xác lập quan hệ giữa động năng và thế năng của cơ hệ tay máy, sau đó sử dụng phương trình vi phân của chuyển động trên cơ hệ với các đại lượng tham gia vào phương trình gồm *lực*, *quán tính* và *năng lượng*.

Việc nghiên cứu động lực học Robot thường giải quyết hai nhiệm vụ sau :

1. Xác định momen và lực động trong quá trình chuyển động. Khi đó qui luật biến đổi của biến khớp $q_i(t)$ xem như đã biết.

Việc tính toán lực cũng như momen trong cơ cấu tay máy là nhiệm vụ tất yếu trong việc lựa chọn công suất động cơ, tính toán kiểm tra độ bền, độ cứng vững, đảm bảo độ tin cậy cho Robot.

2. Xác định các sai số động, tức là sai số xuất hiện so với qui luật chuyển động trong chương trình.

Có nhiều phương pháp nghiên cứu động lực học Robot, nhưng nhiều hơn cả là phương pháp cơ học Lagrange, cụ thể là phương trình Lagrange-Euler.

Trong phạm vi nội dung của môn học này, chúng ta tìm hiểu nhiệm vụ thứ nhất, từ đó tạo cơ sở cho việc lập trình và điều khiển robot.

5.2. Động lực học robot với phương trình Euler-Lagrange.

Hàm Lagrange của một hệ thống năng lượng được định nghĩa :

$$L = K - P$$

Trong đó : K là tổng động năng của cơ hệ

L là tổng thế năng của cơ hệ

K và P đều là những đại lượng vô hướng, nên có thể chọn bất kỳ hệ tọa độ nào để giải bài toán đơn giản.

Xét một Robot có n khâu thì :

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad \text{và} \quad P = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.1)$$

Trong đó, K_i và P_i là động năng và thế năng của khâu thứ i xét trong hệ tọa độ đã chọn. Đó là các đại lượng phụ thuộc vào nhiều biến số :

$$K_i = K(q_i, \dot{q}_i) \quad \text{và} \quad P_i = P(q_i, \dot{q}_i) \quad (2.2)$$

Với q_i là tọa độ suy rộng của khớp thứ i .

Định nghĩa : Lực (hay momen) tổng quát tác dụng lên khâu thứ i được xác định bởi phương trình Lagrange :

$$F = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q}$$

5.3. Khảo sát bài toán động lực học của tay máy nhiều bậc tự do

Phương trình chuyển động *Lagrange* thiết lập cho một cơ hệ được cho bởi:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{q}}} - \frac{\partial L}{\partial \mathbf{q}} = \boldsymbol{\tau} \quad (2.3)$$

Trong đó \mathbf{q} là vectơ biểu diễn các tọa độ suy rộng của các khâu của Tay máy q_i , $\boldsymbol{\tau}$ là vectơ biểu diễn các lực suy rộng của các khâu của tay máy và hàm *Lagrange* là sự chênh lệch giữa động năng và thế năng của cơ hệ :

$$L = K - P \quad (2.4)$$

a. Ví dụ 1.

Ta xét ví dụ xây dựng phương trình chuyển động của tay máy hai khâu phẳng liên kết bằng khớp bản lề.

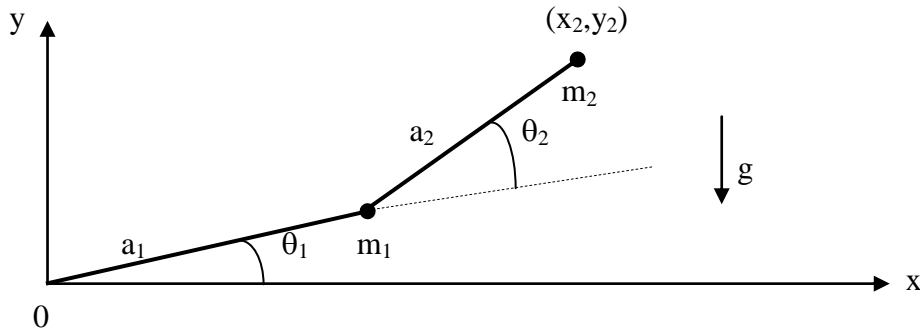
Trong ví dụ này, ta áp dụng các kết quả của bài toán động học đã được khảo sát ở phần trước. Để xây dựng bài toán động lực học, ta khảo sát cơ hệ với giả thiết rằng khối lượng của khâu được tập trung ở các khớp. Ma trận biến khớp là:

$$\mathbf{q} = [\theta_1 \quad \theta_2]^T \quad (2.5)$$

và ma trận biểu diễn của lực suy rộng được thể hiện:

$$\boldsymbol{\tau} = [\tau_1 \quad \tau_2]^T \quad (2.6)$$

với τ_1, τ_2 là các mô men được cho bởi các cơ cấu tác động (chẳng hạn là mô men phát động của các động cơ điện).



Hình 5.1: Tay máy hai khâu bản lề

• Biểu thức động năng và thế năng

Với khâu 1, ta có biểu thức của động năng và thế năng tương ứng là:

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 a_1^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (2.7)$$

$$P_1 = m_1 g a_1 \sin \theta_1 \quad (2.8)$$

Với khâu 2 ta có:

$$x_2 = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.9)$$

$$y_2 = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.10)$$

$$\dot{x}_2 = -a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - a_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.11)$$

$$\dot{y}_2 = a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + a_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.12)$$

Bình phương vận tốc là :

$$v_2^2 = \dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 = a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2a_1 a_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \quad (2.13)$$

Do vậy động năng của khâu 2 là:

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_2 a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + m_2 a_1 a_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \quad (2.14)$$

Thế năng cho khâu 2 là:

$$P_2 = m_2 g y_2 = m_2 g [a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)] \quad (2.15)$$

- *Phương trình Lagrange*

Hàm Lagrange cho Tay máy này là:

$$L = K - P = K_1 + K_2 - P_1 - P_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)a_1^2\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_2a_2^2(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + m_2a_1a_2(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1\dot{\theta}_2)\cos\theta_2 - (m_1 + m_2)ga_1\sin\theta_1 - m_2ga_2\sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.16)$$

)

Ta cần xác định các biểu thức :

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2)a_1^2\dot{\theta}_1 + m_2a_2^2(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + m_2a_1a_2(2\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\cos\theta_2$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2)a_1^2\ddot{\theta}_1 + m_2a_2^2(\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) + m_2a_1a_2(2\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2)\cos\theta_2 - m_2a_1a_2(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2)\cos\theta_2$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -(m_1 + m_2)ga_1\cos\theta_1 - m_2ga_2\cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2a_2^2(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + m_2a_1a_2\dot{\theta}_1\cos\theta_2$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2a_2^2(\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) + m_2a_1a_2\ddot{\theta}_1\cos\theta_2 - m_2a_1a_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2\sin\theta_2$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = -m_2a_1a_2(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1\dot{\theta}_2)\sin\theta_2 - m_2ga_2\cos(\theta_1 + \theta_2)$$

Cuối cùng, phương trình chuyển động của cơ hệ tay máy được cho bởi hệ hai phương trình vi phân:

$$\begin{aligned} \tau_1 = & [(m_1 + m_2)a_1^2 + m_2a_2^2 + 2m_1m_2\cos\theta_2]\ddot{\theta}_1 + \\ & + [m_2a_2^2 + m_2a_1a_2\cos\theta_2]\ddot{\theta}_2 - m_2a_1a_2(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2)\sin\theta_2 + \\ & + (m_1 + m_2)ga_1\cos\theta_1 + m_2ga_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} \tau_2 = & [m_2a_2^2 + m_2a_1a_2\cos\theta_2]\ddot{\theta}_1 + m_2a_2^2\ddot{\theta}_2 + m_2a_1a_2\dot{\theta}_1^2\sin\theta_2 + \\ & + m_2ga_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned}$$

- *Biểu diễn phương trình chuyển động của cơ hệ Tay máy dưới dạng ma trận*

Dưới dạng ma trận, phương trình chuyển động hay phương trình động lực học Tay máy dưới dạng ma trận có thể viết như sau:

$$\begin{bmatrix} (m_1 + m_2)a_1^2 + m_2a_2^2 + 2m_1m_2\cos\theta_2 & m_2a_2^2 + m_2a_1a_2\cos\theta_2 \\ m_2a_2^2 + m_2a_1a_2\cos\theta_2 & m_2a_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -m_2a_1a_2(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2)\sin\theta_2 \\ m_2a_1a_2\dot{\theta}_1^2\sin\theta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)ga_1\cos\theta_1 + m_2ga_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ m_2ga_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Ta tìm được biểu thức động lực học tay máy dưới dạng chuẩn, được biểu diễn chung dưới dạng sau :

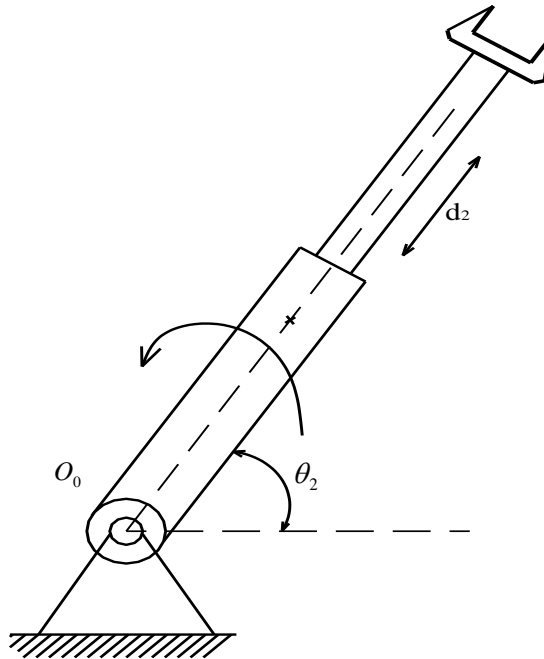
$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) = \tau \quad (2.20)$$

$M(q)$ là ma trận quán tính, $V(q, \dot{q})$ là vectơ lực *Coriolis* hoặc/và lực hướng tâm và $G(q)$ là vectơ trọng lực.

Với biểu thức trên $M(q)$ là ma trận đối xứng.

b. Ví dụ 2.

Xây dựng Phương trình động lực học của robot hai bậc tự do cấu hình RT.



Hình 5.3. Cấu hình của Robot 2 bậc tự do RP

Xuất phát từ phương pháp động lực học cho hệ cơ học tổng quát

Phương trình chuyển động *Lagrange* thiết lập cho một cơ hệ được cho bởi:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau \quad (2.1)$$

Trong đó q là vectơ biểu diễn các tọa độ suy rộng của các khâu của Tay máy q_i , τ là vectơ biểu diễn các lực suy rộng của các khâu của tay máy và hàm *Lagrange* là sự chênh lệch giữa động năng và thế năng của cơ hệ, với:

$$L = K - P \quad (2.2)$$

Tương tự ví dụ 1, ta khảo sát cơ hệ với giả thiết rằng khối lượng của khâu được tập trung ở các khớp. Ma trận biến khớp là:

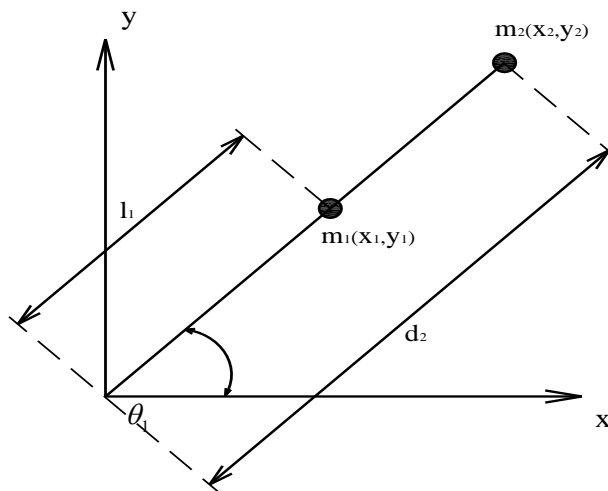
$$q = [\theta_1 \quad d_2]^T \quad (2.3)$$

và ma trận biểu diễn của lực suy rộng được thể hiện:

$$\tau = [\tau_1 \quad \tau_2]^T \quad (2.4)$$

với τ_1, τ_2 là các mô men được cho bởi các cơ cấu tác động (chẳng hạn là mô men phát động của các động cơ điện).

• *Biểu thức động năng và thế năng*



Hình 5.4. Tọa độ của các khâu trên Robot

+ Với khâu 1 chuyển động quay, ta có biểu thức của động năng và thế năng tương ứng là:

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (2.5)$$

$$P_1 = m_1 g l_1 \sin \theta_1 \quad (2.6)$$

+ Với khâu 2 chuyển động tịnh tiến, ta có:

$$x_2 = d_2 \cos \theta_1 \quad (2.7)$$

$$y_2 = d_2 \sin \theta_1 \quad (2.8)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{d}_2 \cos \theta_1 - d_2 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1$$

(2.9)

$$\dot{y}_2 = \dot{d}_2 \sin \theta_1 + d_2 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1$$

(2.10)

Bình phương vận tốc là :

$$v_2^2 = \dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 = d_2^2 \dot{\theta}_1^2 + \dot{d}_2^2$$

(2.11)

Do vậy động năng của khâu 2 là:

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_2 d_2^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{d}_2^2$$

(2.12)

Thế năng cho khâu 2 là:

$$P_2 = m_2 g y_2 = m_2 g d_2 \sin \theta_1$$

(2.13)

- *Phương trình Lagrange*

Hàm Lagrange cho Tay máy này là:

$$L = K - P = K_1 + K_2 - P_1 - P_2 = \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 d_2^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{d}_2^2 - m_1 g l_1 \sin \theta_1 - m_2 g d_2 \sin \theta_1$$

$$\text{Vậy : } L = \frac{1}{2} (m_1 l_1^2 + m_2 d_2^2) \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{d}_2^2 - (m_1 l_1 + m_2 d_2) g \sin \theta_1$$

(2.14)

Những hạng thức cần tính được thể hiện như dưới đây:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} &= (m_1 l_1^2 + m_2 d_2^2) \dot{\theta}_1 \\
 \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} &= m_1 l_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 (2d_2 \dot{d}_2 \dot{\theta}_1 + d_2^2 \ddot{\theta}_1) \\
 \frac{\partial L}{\partial \theta_1} &= -(m_1 l_1 + m_2 d_2) g \cos \theta_1 \\
 \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_2} &= m_2 \dot{d}_2 \\
 \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_2} &= m_2 \ddot{d}_2 \\
 \frac{\partial L}{\partial d_2} &= m_2 d_2 \dot{\theta}_1^2 - m_2 g \sin \theta_1
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

Cuối cùng, phương trình chuyển động của cơ hệ Tay máy được cho bởi hệ hai phương trình vi phân:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau$$

$$\tau_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = m_1 l_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 (2d_2 \dot{d}_2 \dot{\theta}_1 + d_2^2 \ddot{\theta}_1) + (m_1 l_1 + m_2 d_2) g \cos \theta_1$$

$$\text{Vậy: } \tau_1 = (m_1 l_1^2 + m_2 d_2^2) \ddot{\theta}_1 + 2m_2 \dot{\theta}_1 \dot{d}_2 + (m_1 l_1 + m_2 d_2) g \cos \theta_1$$

$$\tau_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_2} - \frac{\partial L}{\partial d_2} = m_2 \ddot{d}_2 - m_2 d_2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 g \sin \theta_1$$

$$\text{Vậy: } \tau_2 = m_2 \ddot{d}_2 - m_2 d_2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 g \sin \theta_1$$

- *Biểu diễn phương trình chuyển động của cơ hệ Tay máy dưới dạng ma trận*

Dưới dạng ma trận, phương trình chuyển động hay phương trình động lực học tay máy có thể viết như sau:

$$\tau_1 = (m_1 l_1^2 + m_2 d_2^2) \ddot{\theta}_1 + 2m_2 \dot{\theta}_1 \dot{d}_2 + (m_1 l_1 + m_2 d_2) g \cos \theta_1$$

$$\tau_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_2} - \frac{\partial L}{\partial d_2} = m_2 \ddot{d}_2 - m_2 d_2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 g \sin \theta_1$$

$$\begin{bmatrix} m_1 l_1^2 + m_2 d_2^2 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{d}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2m_2 \dot{\theta}_1 \dot{d}_2 \\ -m_2 d_2 \dot{\theta}_1^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (m_1 l_1 + m_2 d_2) g \cos \theta_1 \\ m_2 g \sin \theta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix}$$

5.4. Phương trình động lực học tay máy.

5.4.1. Tổng quát.

Chúng ta đã chỉ ra các ví dụ ứng dụng phương trình Lagrange để tính toán những phương trình động lực học của các Tay máy. Trong các ví dụ trên về động lực học ta nhận thấy biểu thức kết quả có dạng:

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) = \tau$$

với q là biến khớp, σ là vectơ lực hoặc mô men suy rộng.

Để nhận được phương trình động lực học của tay máy ta bắt đầu từ việc xác định động năng và thế năng của cơ hệ, xây dựng hàm *Lagrange*, sau đó đưa các hạng thức vào phương trình Lagrange, thu gọn ta sẽ nhận được phương trình chuyển động của cơ hệ Tay máy.

Để xây dựng mô hình động lực học tay máy bằng cách sử dụng phương trình Lagrange loại II, ta cần phải biết các thông số sau đây:

- Khối lượng cũng như tọa độ của khối tâm của các khâu,
- Vận tốc của điểm bất kỳ trên Tay máy thiết kế,
- Các thông số về ma sát động, ma sát tĩnh giữa các khâu, khớp và tác động nhiễu nếu có.

Do trong thực tế, hoạt động của Tay máy luôn bị ảnh hưởng bởi các lực ma sát và nhiễu, nên ta sẽ khái quát mô hình động lực học Tay máy vừa nhận được như sau:

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + F(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = \tau$$

với q và τ đã được định nghĩa ở trên. $M(q)$ là ma trận quán tính, $V(q, \dot{q})$ là vectơ lực *Coriolis*/hướng tâm và $G(q)$ là vectơ trọng lực như đã phân tích ở trên. Ở phương trình khái quát trên, ta cộng thêm lực ma sát vào đó, với:

$$F(\dot{q}) = F_v \dot{q} + F_d$$

trong đó F_v là ma trận hệ số của ma sát tĩnh và F_d là ma sát động. Ta sẽ đưa thêm lượng nhiễu τ_d vào phương trình, đại lượng này giúp mô tả phần bù cho trường hợp mô hình động lực học có sai sót mà ta chưa lường hết trong quá trình xây dựng mô hình toán.

Việc xác định lực ma sát rất khó khăn, cách mô tả như vậy được chấp nhận. Hầu hết những trở lực nào chống lại chuyển động đều được các nhà nghiên cứu mô tả trong mô hình động lực học Tay máy theo cách như trên.

Phương trình động lực học Tay máy cũng được biểu diễn dưới dạng:

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + \tau_d = \tau$$

Ở đó:

$$N(q, \dot{q}) = V(q, \dot{q}) + F(\dot{q}) + G(q)$$

biểu diễn cho cả các đại lượng phi tuyến.

5.4.2. Ma trận quán tính

Ma trận quán tính $M(q)$ $n \times n$ có các thành phần được định nghĩa bởi biểu thức:

$$m_{jk}(q) = \sum_{i=1}^n \text{trace} \left[\frac{\partial T_i}{\partial q_j} I_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \right]$$

- $\partial T_i / \partial q_j$ mô tả sự thay đổi vị trí của điểm thuộc khâu thứ i gây nên bởi sự chuyển dịch của khâu thứ j .

- I_i là ma trận quán tính giả của khâu i và được xác định dưới dạng khai triển như sau:

$$I_i = \int {}^i r_i {}^i r_i^T dm = \begin{bmatrix} \int x^2 dm & \int yx dm & \int zx dm & \int x dm \\ \int xy dm & \int y^2 dm & \int zy dm & \int y dm \\ \int xz dm & \int yz dm & \int z^2 dm & \int z dm \\ \int x dm & \int y dm & \int z dm & \int dm \end{bmatrix}$$

Ở đây các giá trị được tính trên khâu thứ i . Đây là ma trận hằng số và xác định giá trị một lần cho mỗi khâu. Ma trận này phụ thuộc vào dạng hình học và sự phân bố khối lượng của khâu i . Trong đó các thành phần quán tính được phân biệt như sau:

Mô men quán tính:

$$I_{xx} = \int (y^2 + z^2) dm$$

$$I_{yy} = \int (x^2 + z^2) dm$$

$$I_{zz} = \int (x^2 + y^2) dm$$

Mô men quán tính ly tâm:

$$I_{xy} = \int xy dm$$

$$I_{xz} = \int xz dm$$

$$I_{yz} = \int yz dm$$

$$\begin{aligned}
 m\bar{x} &= \int x \, dm \\
 m\bar{y} &= \int y \, dm \\
 m\bar{z} &= \int z \, dm
 \end{aligned}$$

Mô men quán tính bậc nhất:

với m là tổng khối lượng khâu i , và:

$${}^i \bar{r}_i = [\bar{x} \quad \bar{y} \quad \bar{z} \quad 1]^T$$

là bán kính vectơ biểu diễn trọng tâm khâu thứ i trong hệ tọa độ i .

Ta có thể viết :

$$I_i = \begin{bmatrix} \frac{-I_{xx} + I_{yy} + I_{zz}}{2} & I_{xy} & I_{xz} & m\bar{x} \\ I_{xy} & \frac{I_{xx} - I_{yy} + I_{zz}}{2} & I_{yz} & m\bar{y} \\ I_{xz} & I_{yz} & \frac{-I_{xx} + I_{yy} - I_{zz}}{2} & m\bar{z} \\ m\bar{x} & m\bar{y} & m\bar{z} & m \end{bmatrix}$$

Với $\partial T_i / \partial q_j = 0, j > i$ ta có thể viết ngắn gọn hơn :

$$m_{jk}(q) = \sum_{i=\max(j,k)}^n \text{trace} \left[\frac{\partial T}{\partial q_j} I_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \right]$$

Đây là một ma trận đối xứng dương

5.4.3. Vectơ coriolis/hướng tâm

$$V(q, \dot{q}) = \dot{M}(q)\dot{q} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial q} (\dot{q}^T M(q)\dot{q}) = \dot{M}\dot{q} - \frac{\partial K}{\partial q}$$

Các thành phần của vectơ Coriolis/hướng tâm được xác định như sau:

$$V(q, \dot{q}) = \sum_{i,j} v_{ijk} \dot{q}_i \dot{q}_j$$

$$v_{ijk} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial m_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \right]$$

5.4.4. Vectơ trọng lực:

Ta có

$$\begin{aligned} G(q) &= \frac{\partial P(q)}{\partial q} \\ &= -\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial q} (g^T T_i(q)) I_i e_4 \end{aligned}$$

$$e_4 = (0, 0, 0, 1)$$

Từ đó, ta suy ra được:

$$\begin{aligned} G(q) &= -\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial q} (g^T T_i(q)) I_i e_4 \\ G(q) &= -\sum_{i=1}^n (I_n \otimes g^T) \frac{\partial T_i}{\partial q} I_i e_4, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Ở đây thật sự ta có vectơ $G(q)$ là:

$$G(q) = \begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^n g^T \frac{\partial T_i}{\partial q_1} I_i e_4 \\ -\sum_{i=2}^n g^T \frac{\partial T_i}{\partial q_2} I_i e_4 \\ \vdots \\ -\sum_{i=n}^n g^T \frac{\partial T_i}{\partial q_n} I_i e_4 \end{bmatrix}$$

Đến đây ta đã khảo sát bài toán động lực học Tay máy để từ đó thu được các giá trị *lực* hay *mô men* suy rộng trên mỗi khớp trong quá trình hoạt động của robot. Dựa trên những thông số này ta sẽ đưa ra những giải pháp thiết kế kết cấu cũng như điều khiển robot tốt hơn. Bởi bộ điều khiển sẽ đơn giản và có hiệu quả hơn nếu những đặc tính động lực học đã biết của Tay máy được kết hợp chặt chẽ ngay từ trong giai đoạn thiết kế.

5.5. Ứng dụng bài toán động lực học để mô tả đối tượng robot trong điều khiển.

Sau khi thực hiện tính toán bài toán động lực học robot, chúng ta có thể sử dụng trực tiếp các mô hình toán thu được để xây dựng đối tượng trong việc mô phỏng và đưa ra các ý tưởng trong vấn đề điều khiển.

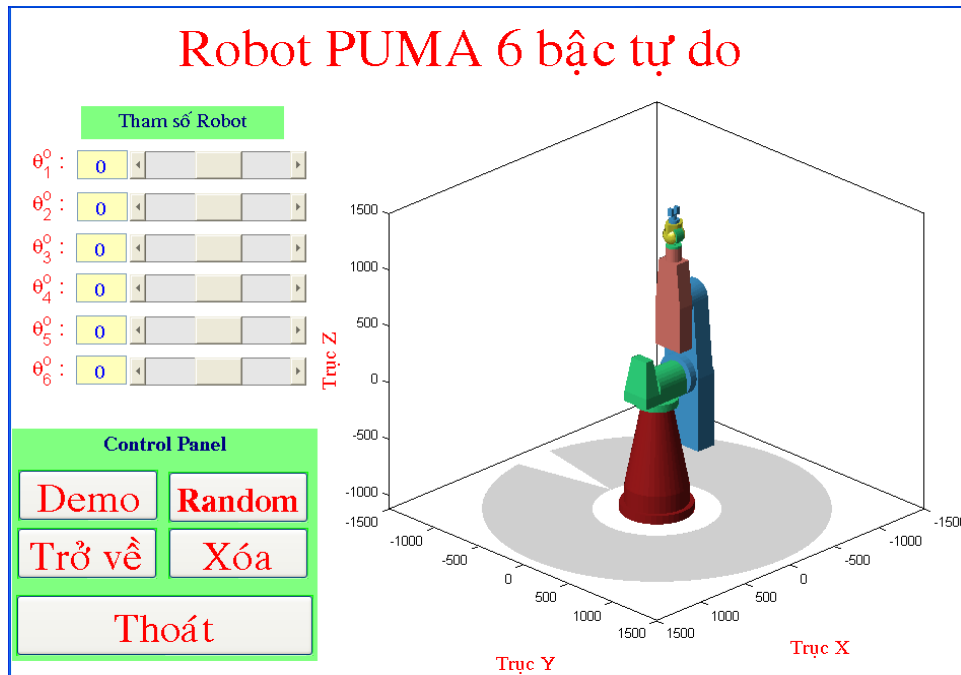
Tất nhiên, việc xác định các thông số của robot là rất khó khăn, vì vậy chúng ta chỉ xây dựng đối tượng robot có tính chất mô phỏng để thực hiện các giải thuật điều khiển. Vì trong thực tế, các thông số của mô hình động lực học tay máy chịu ảnh hưởng của rất nhiều các yếu tố như: độ chính xác trong gia công cơ khí, ảnh hưởng của các tác nhân có tính chất như nhiễu, các sai số mô hình khi thực hiện tính toán...

Trong mục này, bằng các phần mềm hỗ trợ mô phỏng (Visual C, Visual Basic, Matlab, ...) chúng ta thực hiện mô hình hóa các robot từ các phương trình

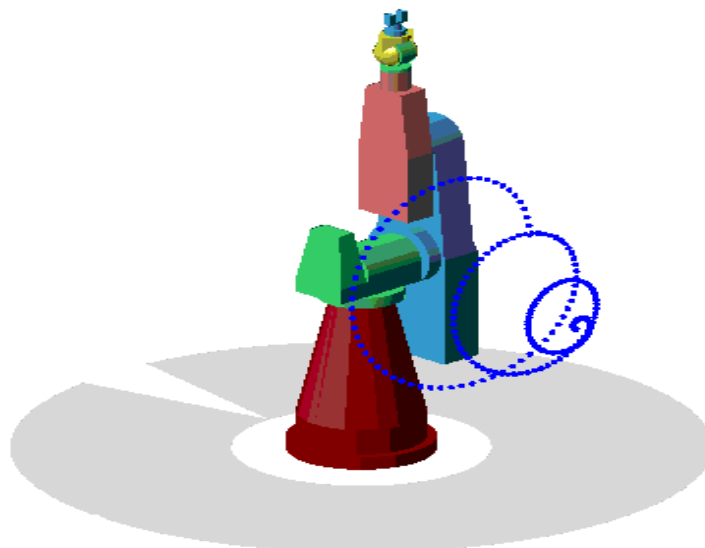
động học và động lực học. Từ cơ sở này có thể thực hiện thiết kế và chế tạo các robot thực thi các mục tiêu đề ra.

Chúng ta sẽ thực hiện việc mô hình hóa các đối tượng robot đã tìm hiểu ở các chương trước :

a. *Xây dựng mô hình mô phỏng điều khiển vị trí của robot Puma, dựa vào các phương trình động học đã tìm được ở chương 4.*



Hình 5.6. Mô phỏng robot Puma theo vị trí



Hình 5.7. Mô phỏng quỹ đạo của robot Puma.

b. *Xây dựng mô hình toán cho robot hai bậc tự do cấu hình RT.*

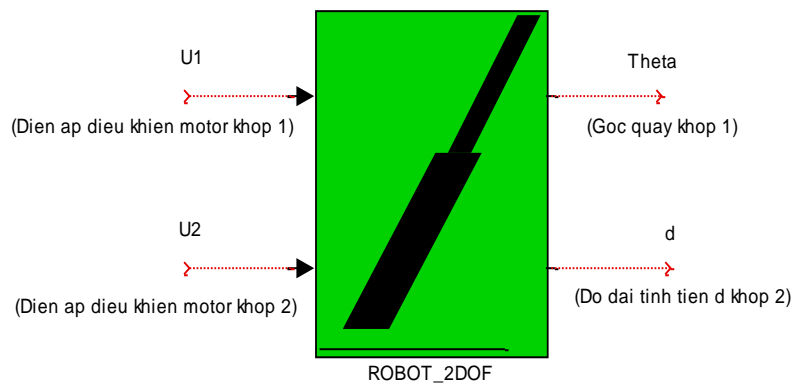
Do tính chất phức tạp trong điều khiển, vấn đề của những nhà nghiên cứu là làm sao có thể tìm giải thuật điều khiển cho robot khi mà tất cả các khâu từ thiết

kế đến thì công việc gặp nhiều khó khăn. Một công cụ rất hữu hiệu được đưa ra là mô hình toán của robot, nền tảng của mô hình toán là bài toán động lực học được xét đến. Mức độ chính xác, độ chênh lệch sai số mô hình... phụ thuộc nhiều vào quá trình tính toán động lực học, trong đó không loại trừ các khả năng ảnh hưởng của nhiễu và các vấn đề khác liên quan đến động lực học cơ hệ.

Chúng ta quay lại ví dụ 5.2, từ bài toán động lực học xây dựng cho robot hai bậc tự do, cấu hình RT thu được mô hình toán của đối tượng robot.

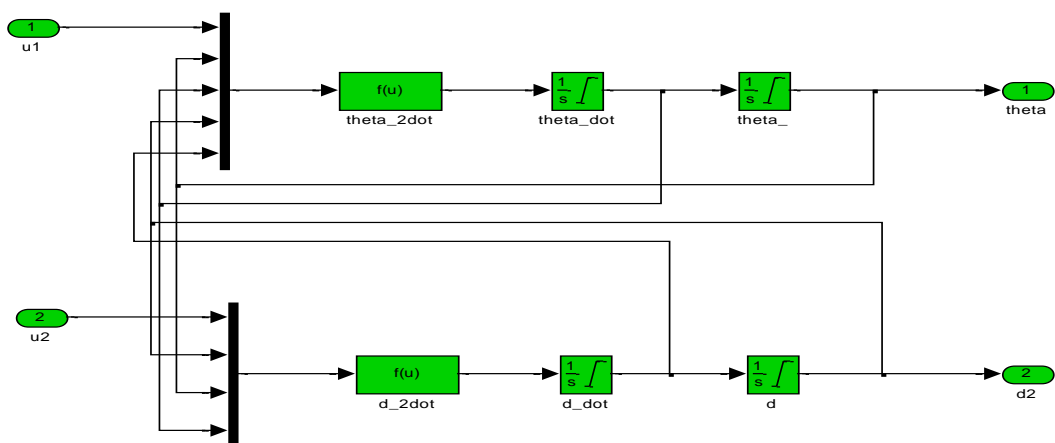
Xét trên lĩnh vực điều khiển, hệ robot là các hệ phi tuyến, chính vì vậy việc điều khiển và sử dụng các giải thuật phải tuân theo các nguyên tắc điều khiển hệ phi tuyến.

Xây dựng mô hình robot RT trong matlab :



Hình 5.8. Mô hình toán robot 2 bậc tự do RT

Để mô phỏng thành công, chúng ta cần chọn các thông số của robot thích hợp. Các thông số này có thể thu thập số liệu hay lựa chọn theo các tài liệu đã được nghiên cứu.



Hình 5.9. Mô hình toán từ phương trình động lực học robot.

Chương 6

ĐIỀU KHIỂN ROBOT

Vấn đề trọng tâm của chúng ta trong lĩnh vực nghiên cứu robot là điều khiển chúng theo các mục tiêu cụ thể. Trong chương này ta cần đưa ra các phương thức điều khiển làm cho tay máy đi theo quỹ đạo yêu cầu được cho trước. Quỹ đạo dự kiến đòi hỏi người lập trình điều khiển phải tìm kiếm đường đi có tính đến những vấn đề liên quan đến môi trường ứng dụng như tránh sự va chạm, các yêu cầu về tốc độ đáp ứng ...

Trong các trường hợp ứng dụng, ta không thể điều khiển để tay máy di chuyển được chính xác tuyệt đối theo quỹ đạo dự kiến. Vì vậy cần thực hiện các thao tác sau để tìm quỹ đạo mong muốn trong quá trình điều khiển. Thứ nhất, ta sẽ chỉ ra cách thức biến đổi một quỹ đạo theo mong muốn từ hệ tọa độ Descartes (*Cartesian coordinates*) qua hệ tọa độ suy rộng (*Joint coordinates* - hay không gian khớp). Sau đó, đưa ra một bảng những *điểm tựa*, là những điểm thuộc quỹ đạo dự kiến đã được rời rạc hóa mà ta mong muốn điểm trên khâu tác động cuối sẽ đi qua và từ đó ta chỉ ra cách để xây dựng lại một quỹ đạo liên tục theo yêu cầu.

6.1. Biến đổi quỹ đạo từ hệ tọa độ Descartes sang không gian khớp

Trong các ứng dụng của robot, một công việc cụ thể, về mặt lý thuyết ta có thể biểu diễn trong không gian Descartes; và ở đó, dịch chuyển của tay máy được mô tả dễ dàng trong mối quan hệ về vị trí của nó với các phần tử khác trong môi trường hoạt động bên ngoài. Tuy nhiên, việc điều khiển chuyển động của các khâu trên tay máy sao cho điểm làm việc trên khâu tác động cuối di chuyển đúng theo quỹ đạo cho trước lại yêu cầu phải sử dụng không gian khớp vì vậy ta cần sử dụng để giải quyết cả bài toán động lực học.

Ở đây ta cũng chú ý một kết quả ở bài toán động học ngược mà ta đã biết ở phần trước, đó là có nhiều lời giải về chuyển động của các khâu thành viên trong không gian khớp $q_d(t)$ để cho điểm trên khâu tác động cuối di chuyển theo quỹ đạo đã cho (bài toán vô định). Vì vậy việc chọn lời giải duy nhất trong số những lời giải có thể có là một vấn đề cần quan tâm.

Ngoài ra cách thực hiện dịch chuyển của điểm trên khâu tác động cuối giữa các điểm tựa (nội suy) ảnh hưởng đến khả năng và phương pháp điều khiển. Ở đây, chúng ta có thể thực hiện giải bài toán động học ngược trực tiếp hay theo phương pháp tách nhóm ba khâu.

6.1.1. Nội suy đường đa thức

Giả định rằng một quỹ đạo yêu cầu đã được xác định và được thể hiện hoặc

trong không gian Descartes hoặc dùng động học ngược, trong không gian khớp. Để thuận tiện, ta dùng biến không gian khớp $q(t)$ cho ký hiệu. Sẽ không thuận tiện cho việc điều khiển khi dữ liệu về quỹ đạo với số lượng vô hạn các điểm được lưu trong bộ nhớ máy tính, cho nên ta thường lưu dưới dạng một số N hữu hạn các điểm tựa và hệ quả là sẽ có những giá trị $q_i(t_k)$ tương ứng cho mỗi biến khớp i để mô tả những giá trị yêu cầu về vị trí của các khâu tại những điểm thời gian rời rạc t_k . Theo cách đó $q(t_k)$ là một điểm trong không gian R^n mà biến khớp sẽ đi qua tại thời điểm t_k . Ta đã gọi chúng là những *điểm tựa*.

Hầu hết các kế hoạch điều khiển robot yêu cầu một quỹ đạo liên tục. Để chuyển thành một bảng các điểm tựa $q_i(t_k)$ cho quỹ đạo mong muốn $q_d(t)$, ta có thể sử dụng các cách thức nội suy tùy chọn. Dưới đây trình bày sơ lược về nội suy đa thức.

Giả định rằng các điểm tựa là không gian đồng dạng trong thời gian và được xác định trên cơ sở lấy mẫu thời gian như sau:

$$T = t_{k+1} - t_k \quad (6.1)$$

Để di chuyển được trơn, trong mỗi khoảng thời gian $[t_{k+1}, t_k]$ ta cần đến vị trí mong muốn $q_d(t)$ và vận tốc mong muốn $\dot{q}_d(t)$ hợp với bảng điểm tựa. Ta có:

$$\begin{aligned} q_{d_i}(t_k) &= q_i(t_k) \\ \dot{q}_{d_i}(t_k) &= \dot{q}_i(t_k) \\ q_{d_i}(t_{k+1}) &= q_i(t_{k+1}) \\ \dot{q}_{d_i}(t_{k+1}) &= \dot{q}_i(t_{k+1}) \end{aligned}$$

(6.2)

Để phù hợp với những điều kiện giới hạn, rất cần thiết dùng khoảng $[t_k, t_{k+1}]$ để nội suy đa thức bậc 3:

$$q_{d_i}(t) = a_i + (t - t_k)b_i + (t - t_k)^2 c_i + (t - t_k)^3 d_i$$

(6.3)

trong đó có 4 biến tự do. Ở đó:

$$\dot{q}_{d_i}(t) = b_i + 2(t - t_k)c_i + 3(t - t_k)^2 d_i$$

(6.4)

$$\ddot{q}_{d_i}(t) = 2c_i + 6(t - t_k)d_i$$

(6.5)

cho nên gia tốc là tuyến tính trong mỗi mẫu thời gian.

Ta dễ dàng giải ra được các hệ số và bảo đảm hợp với điều kiện giới hạn. Thực tế ta nhận thấy:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & T & T^2 & T^3 \\ 0 & 1 & 2T & 3T^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \\ d_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_i(t_k) \\ \dot{q}_i(t_k) \\ q_i(t_{k+1}) \\ \dot{q}_i(t_{k+1}) \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

Ở đây, khi giải ra, ta nhận được các hệ số nội suy cần tính trong mỗi khoảng $[t_k, t_{k+1}]$

$$\begin{aligned} a_i &= q_i(t_k) \\ b_i &= \dot{q}_i(t_k) \\ c_i &= \frac{3[q_i(t_{k+1}) - q_i(t_k)] - T[2\dot{q}_i(t_k) + \dot{q}_i(t_{k+1})]}{T^2} \\ d_i &= \frac{2[q_i(t_k) - q_i(t_{k+1})] - T[\dot{q}_i(t_k) + \dot{q}_i(t_{k+1})]}{T^3} \end{aligned} \quad (6.7)$$

Chú ý rằng với kỹ thuật này những vị trí và vận tốc mong muốn tại mỗi điểm lấy mẫu được yêu cầu lưu trữ dưới dạng bảng. Việc sử dụng nội suy bậc cao nhằm bảo đảm sự liên tục về vị trí, vận tốc và gia tốc tại mỗi thời gian t_k .

Mặc dù ta dùng ký hiệu biến khớp $q(t)$, điều này vẫn làm nổi bật sự nội suy quỹ đạo có thể thực hiện được trong không gian Descartes.

6.1.2. Nội suy quỹ đạo theo thời gian nhỏ nhất

Đây là phần quan trọng đặc biệt trong quỹ đạo LFPD. Giả định rằng gia tốc bị giới hạn bởi giá trị lớn nhất a_M và mong muốn Tay máy đi từ điểm này đến điểm khác trong khoảng thời gian ngắn nhất. Để đơn giản, ta thừa nhận rằng vận tốc đầu và vận tốc cuối có giá trị về 0.

Quỹ đạo thời gian nhỏ nhất được chỉ ra trong hình 6.16. Để cho biến khớp thứ i chạy từ vị trí $q_0 = q_i(t_0)$ tới vị trí mong muốn $q_f = q_i(t_f)$ trong khoảng thời gian nhỏ nhất t_f , gia tốc lớn nhất a_M , sẽ được áp dụng cho đến trước thời gian ngắt t_s , là thời gian bắt đầu giảm tốc $-a_M$ lớn nhất sẽ được áp dụng trong khoảng thời gian t_f . Chú ý rằng cả t_s và t_f đều phụ thuộc vào q_0 và q_f . Ta có thể viết:

$$\begin{aligned} q_i(t_s) &= q_0 + \frac{1}{2}a_M(t_s - t_0)^2 \\ \dot{q}_i(t_s) &= a_M(t_s - t_0) \\ q_i(t_f) &= q_i(t_s) + \dot{q}_i(t_s)(t_f - t_s) - \frac{1}{2}a_M(t_f - t_s)^2 \\ \dot{q}_i(t_f) &= \dot{q}_i(t_s) - a_M(t_f - t_s) \end{aligned}$$

Ở đó ta có phương trình vận tốc:

$$\dot{q}_i(t_f) = a_M(t_s - t_0) - a_M(t_f - t_s) = 0$$

hoặc

$$t_s = (t_f + t_0) / 2$$

(6.8)

Điều này có nghĩa là sự chuyển từ gia tốc lớn nhất đến giảm tốc lớn nhất xảy ra ở điểm giữa chu kỳ. Bây giờ ta có thể thực hiện những thao tác đơn giản trong phương trình vị trí:

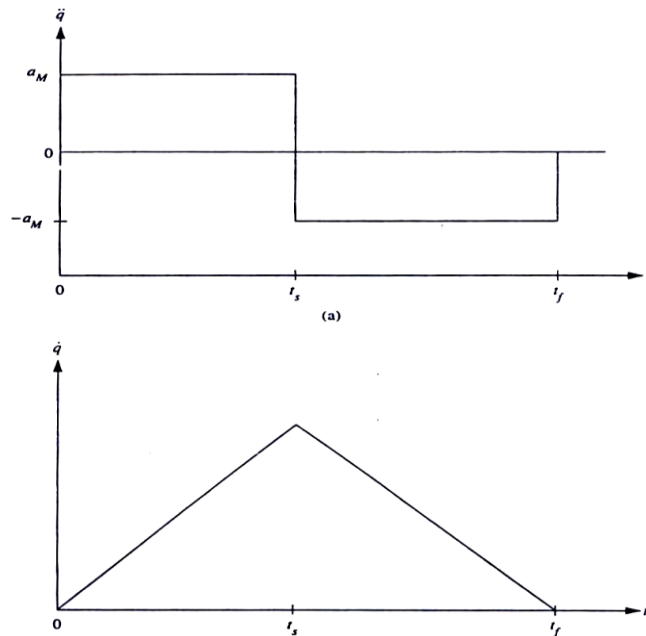
$$q_i(t_f) = q_0 + \frac{1}{2} a_M (t_s - t_0)^2 + a_M (t_s - t_0)(t_f - t_s) - \frac{1}{2} a_M (t_f - t_s)^2 = q_f$$

$$\frac{q_f - q_0}{a_M} = \frac{1}{2} (t_s - t_0)^2 + (t_s - t_0)(t_f - t_s) - \frac{1}{2} (t_f - t_s)^2$$

Ở biểu thức trên :

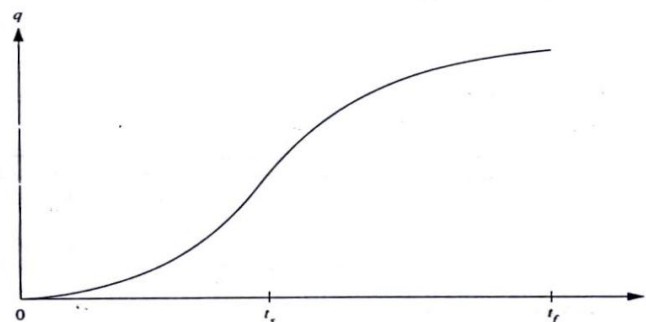
$$t_f = t_0 + \sqrt{(q_f - q_0) / a_M}$$

(6.9)



Hình 6.1: Quỹ đạo thời gian ngắn nhất: (a) gia tốc; (b) vận tốc

Tuy vậy, quỹ đạo dịch chuyển với thời gian nhỏ nhất trên cơ sở sử dụng gia tốc lớn nhất không liên quan trực tiếp trong *robotics* là vì trong thực tế là những tay máy luôn bị giới hạn mô men bảo hòa, τ_M . Từ đặc điểm của phương trình chuyển động của Tay máy đã xây dựng trong phần trước là phi tuyến, do đó mà mô men bảo hòa thường sẽ không tương ứng với giới hạn hằng số trong gia tốc.



Hình 6.2 (c): Quỹ đạo LFPB vị trí

6.2. Điều khiển hệ robot phi tuyến .

Như đã đề cập ở chương trước, hệ robot là hệ phi tuyến, vì vậy trong điều khiển chúng ta phải xét đến các phương pháp điều khiển hệ phi tuyến. Một số phương pháp điều khiển phi tuyến có thể áp dụng cho hệ robot như : điều khiển tuyến tính hoá vào ra, phương pháp điều khiển trượt, phương pháp điều khiển ổn định hoá...

Trong giới hạn của môn học, chúng ta tìm hiểu hai phương thức cơ bản điều khiển một robot, sau khi đã giải quyết các bài toán động học và động lực học robot:

i. Điều khiển trực tiếp robot bằng các giải thuật điều khiển phi tuyến. Các phương pháp điều khiển hiện đại, điều khiển thông minh dùng các công cụ như : tuyến tính hoá, logic mờ , mạng neural ...

Tuy nhiên, một đặc thù rất riêng của robot là hệ phi tuyến nhiều đầu vào và nhiều đầu ra. Ở đây, để đơn giản chúng ta xét điều khiển một motor cho một khớp nối. Với hệ MIMO (Multi Input Multi Output) như robot, một phương thức thường được sử dụng để điều khiển trực tiếp hệ robot (có cấu hình không quá phức tạp) là điều khiển phân ly. Mỗi khớp nối sẽ được điều khiển bởi một nhánh của bộ điều khiển độc lập nhau. Lưu ý, phương pháp này chỉ thật sự hiệu quả khi cấu hình robot không quá phức tạp bởi tính chất phi tuyến của nó.

ii. Điều khiển theo momen, dùng phương pháp hồi tiếp tuyến tính hệ phi tuyến robot.

Phương pháp này thường xuất hiện trong điều khiển thô, điều khiển thích nghi, điều khiển theo hệ tự học...

6.3. Điều khiển trực tiếp hệ robot.

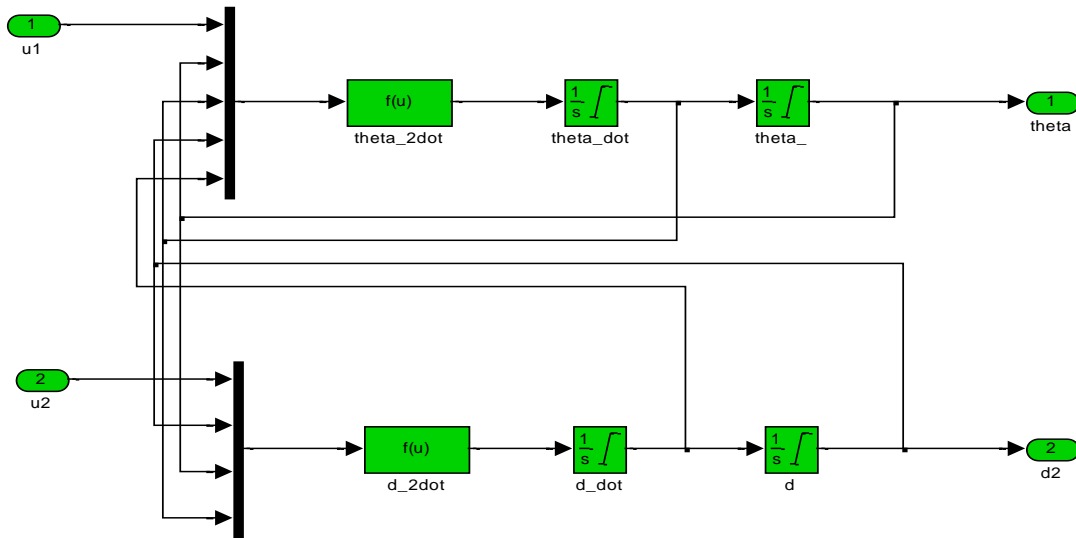
Để xây dựng giải thuật điều khiển phù hợp với robot trong các trường hợp ứng dụng khác nhau, trước tiên chúng ta cần xây dựng mô hình toán của đối tượng cần điều khiển.

Tùy thuộc vào mục đích điều khiển, yêu cầu về chất lượng... khác nhau, chúng ta cần lựa chọn các phương pháp thiết kế bộ điều khiển phù hợp. Đôi khi, quá trình lựa chọn này là quá trình thử sai để tìm phương pháp điều khiển tối ưu.

Trong chương trước, chúng ta đã tìm được mô hình toán của các đối tượng robot từ phương trình động lực học của chúng. Để thuận tiện cho việc theo dõi, ở đây chúng ta khảo sát các bước viết giải thuật điều khiển cho một loại robot đã tìm hiểu trước đó. Phần mềm mô phỏng được sử dụng ở đây là phần mềm Matlab.

Ví dụ : Xây dựng bộ điều khiển cho robot 2 bậc tự do RT bám theo quỹ đạo mong muốn.

1. Xây dựng đối tượng Robot 2 bậc tự do đã thiết lập phương trình động lực học ở trên.



Hình 6.3. Đối tượng Robot 2 bậc tự do xây dựng trên sơ đồ Simulink

Chọn các điều kiện đầu theo đúng sơ đồ phần cứng của Robot :

- + Điều kiện đầu của biến khớp bằng 0.
- + Điều kiện đầu của biến khớp d_2 bằng l_1 (Chọn =1m)

Chọn các thông số cho Robot 2 bậc tự do :

- + Khối lượng khâu 1 : $m_1 = 0.5$ kg.
- + Khối lượng khâu 2 : $m_2 = 0.3$ kg.
- + Chiều dài khâu 1 là : $l_1 = 0.6$ m.
- + Độ dài tịnh tiến tối đa của khâu 2 so với gốc tọa độ là : $d_{2max} = 1$ m.

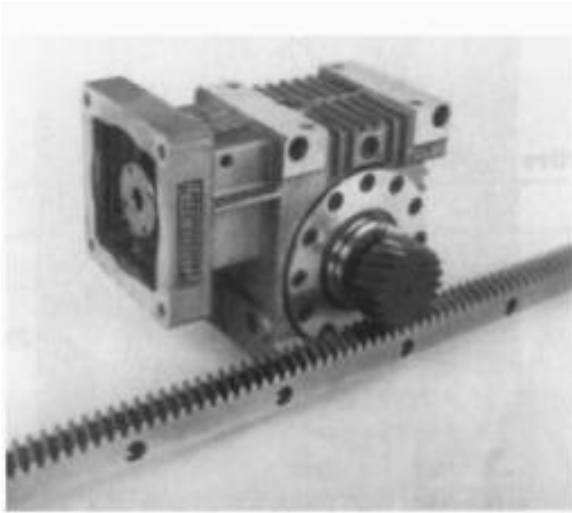
+ Đặt trọng lượng các khâu tại các đầu mút của các khâu hay có thể chọn Tensor quán tính : $I_{zz1}=0.015$ kgm^2 ; $I_{zz2} = 0.008$ kgm^2 .

2. Thiết kế bộ điều khiển cho hệ Robot phi tuyến bám theo quỹ đạo mong muốn.

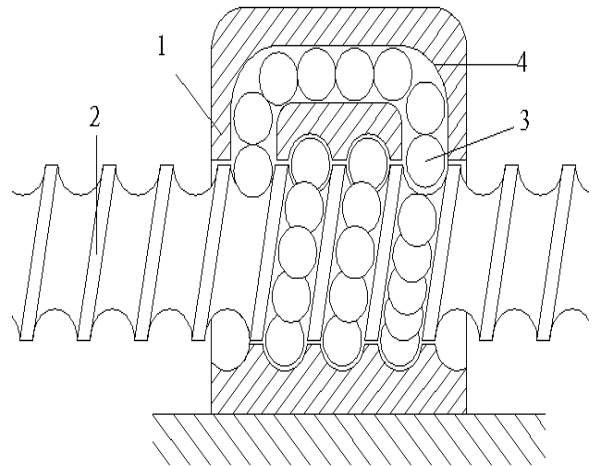
Nhận xét :

+ Hệ tay máy hai bậc tự do là hệ phi tuyến MIMO (dựa vào phương trình động lực học) , có hai tín hiệu vào là điện áp (hay momen) đặt trên mỗi động cơ điều khiển lần lượt hai khớp quay và tịnh tiến, hai tín hiệu ra là góc quay θ_1 và độ dài tịnh tiến d_2 .

+ Chuyển động tịnh tiến của khâu 2 có thể thực hiện được nhờ các bộ truyền cơ khí biến đổi chuyển động quay của trục động cơ thành chuyển động tịnh tiến của cơ cấu : bộ truyền bánh răng-thanh răng, bộ truyền vítme- đai ốc bi ...



Hình 6.4. Bộ truyền bánh răng-thanh răng



Hình 6.5. Kết cấu bộ truyền vítme-đai ốc bi

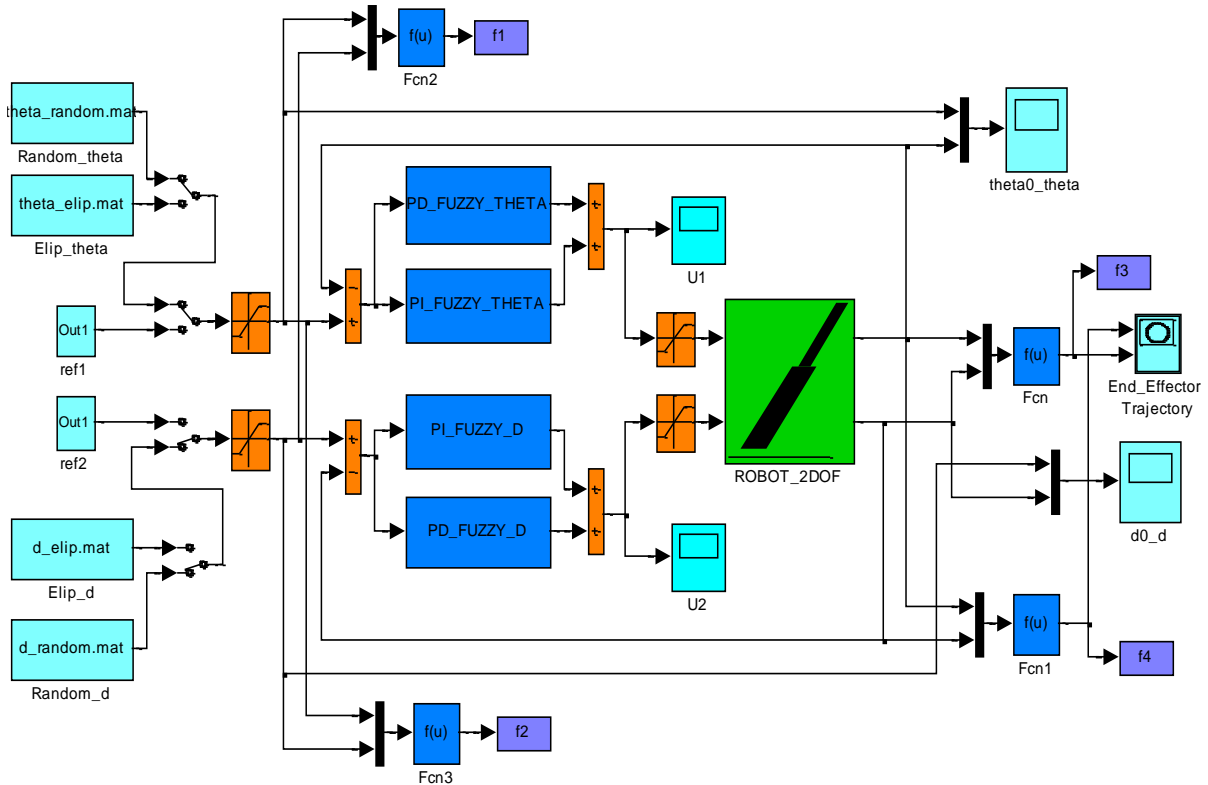
+ Có thể thiết kế các bộ điều khiển SISO điều khiển cánh tay máy theo nguyên lý tách rời, mỗi bộ điều khiển sẽ kiểm soát hoạt động của một khớp liên kết của tay máy.

+ Vì đây là hệ có tính phi tuyến cao nên các bộ điều khiển thông thường không đảm bảo tốt khả năng điều khiển cơ hệ. Ta lựa chọn các bộ điều khiển thông minh để thực thi khả năng điều khiển cho hệ Robot này. Một phương án lựa chọn ở đây là sử dụng các bộ điều khiển mờ điều khiển hệ bám theo quỹ đạo mong muốn.

+ Qua quá trình lựa chọn và thử sai cho các bộ điều khiển ta nhận thấy các bộ điều khiển mờ trực tiếp, hay PI mờ, PD mờ chưa cho đáp ứng mong muốn.

Chọn hai bộ điều khiển mờ PID để điều khiển mỗi khớp động của Robot. Trình tự thiết kế bộ điều khiển như sau :

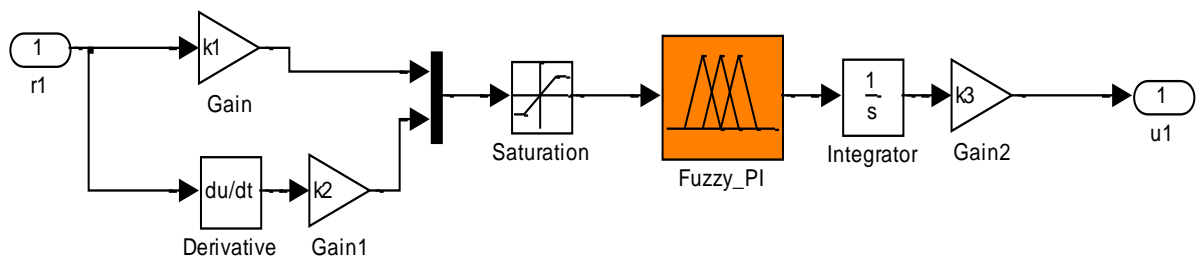
Mỗi bộ điều khiển PID mờ thiết kế cho từng khớp của Robot được chọn theo giải pháp bộ điều khiển PI mờ ghép song song với bộ điều khiển PD mờ. Sơ đồ mô phỏng thực thi các bộ điều khiển này :



Hình 6.6. Xây dựng bộ điều khiển cho robot 2 bậc tự do RT

a. Thiết kế bộ điều khiển mờ PI điều khiển góc quay khớp thứ nhất : Khối *PI_FUZZY_THETA*

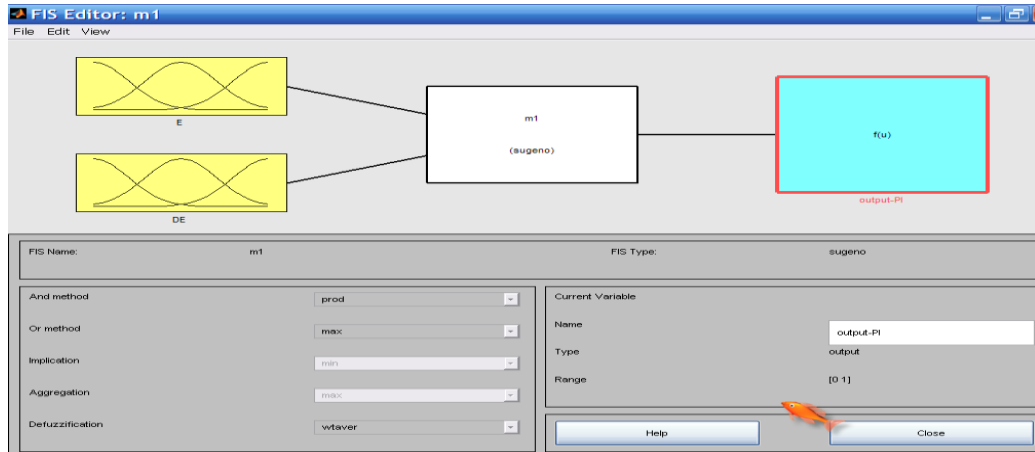
Bộ điều khiển mờ có tín hiệu vào là sai số (E) và vi phân sai số (DE), tín hiệu ra là vi phân điện áp điều khiển (DU).



Hình 6.7. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển PI cho góc quay θ_1 .

Do tay máy hoạt động trong tầm $[0 \text{ pi}]$ nên $-\pi \leq E \leq \pi$. Vì vậy các hệ số chuẩn hoá chọn $K_1=2/\text{pi}$; $K_2=11/\text{pi}$ (K_2 chọn phù hợp với đặc tính của Robot). Hệ số K_3 được lựa chọn trong quá trình thử sai và tinh chỉnh cho bộ điều khiển.

Các tập mờ biểu diễn cho các giá trị ngôn ngữ của biến vào và biến ra được chọn như sau (lưu với tên file m1.fis):



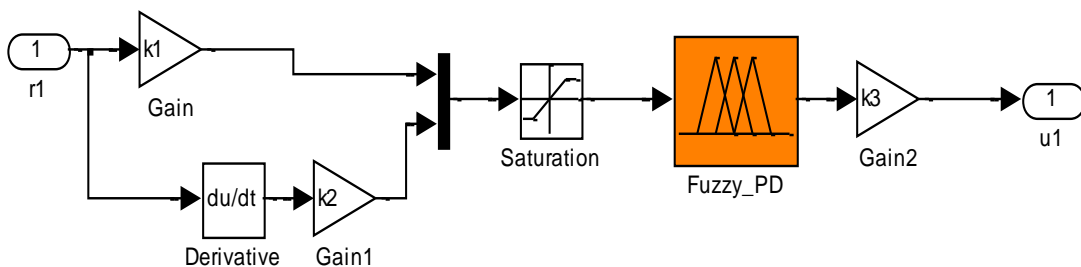
Hình 6.8. Các tập mờ chọn cho bộ điều khiển PI mờ điều khiển góc quay θ_1 .

Bằng kinh nghiệm và phương pháp thử sai, chúng ta có thể chọn hàm liên thuộc của E, hàm liên thuộc của DE, hàm liên thuộc của biến ra output_PI.

Các luật mờ (hệ qui tắc mờ) được chọn : Vì chọn 5 biến ngôn ngữ cho mỗi đầu vào nên có $5^2 = 25$ luật mờ được đưa ra.

b. Thiết kế bộ điều khiển mờ PD điều khiển góc : Khối PD_FUZZY_THETA

Bộ điều khiển mờ có tín hiệu vào là sai số (E) và vi phân sai số (DE), tín hiệu ra là vi phân điện áp điều khiển (DU).



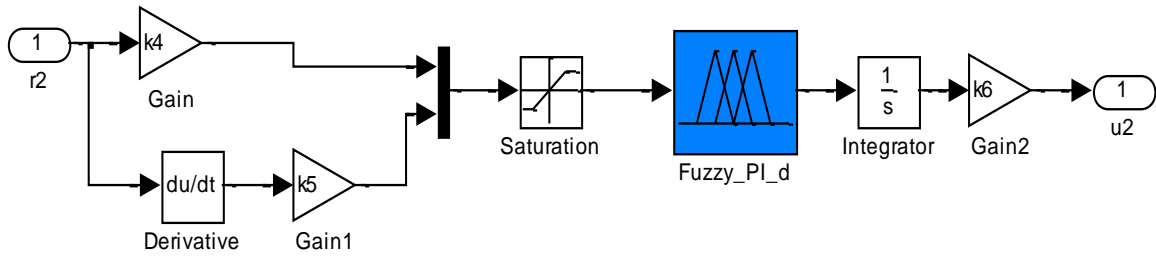
Hình 6.9. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển PD mờ cho góc quay θ_1 .

Vì các qui tắc phát biểu dạng ngôn ngữ của các tập mờ qui định cho các biến vào ra là E, DE ở trường hợp này hoàn toàn giống với trường hợp thiết kế cho bộ PI mờ nên ta có thể sử dụng bộ mờ đã thiết kế cho sơ đồ điều khiển PD này .

Các hệ số K được chọn như sau : $K_1 = 0.2/\pi$; $K_2 = 2/\pi$, $K_3 = 20$. Các hệ số này được chọn thử sai trong quá trình thiết kế và tinh chỉnh bộ điều khiển.

c. Thiết kế bộ điều khiển mờ PI điều khiển độ dài tịnh tiến d_2 : Khối PI_FUZZY_D

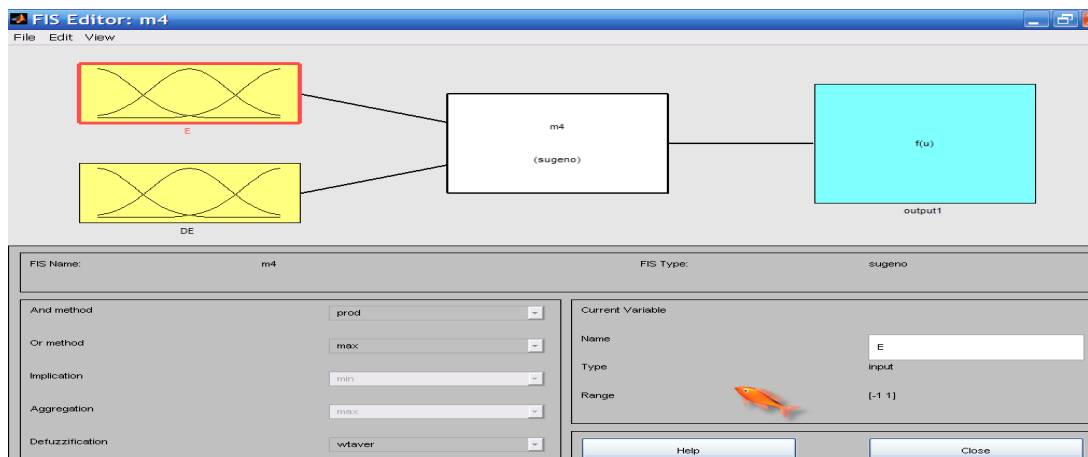
Bộ điều khiển mờ có tín hiệu vào là sai số (E) giữa tín hiệu đặt d_{2m} với tín hiệu ra thực d_2 và vi phân sai số (DE), tín hiệu ra là vi phân điện áp điều khiển (DU).



Hình 6.10. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển PI mờ cho khoảng tịnh tiến d_2

Do tay máy hoạt động trong tâm $[l_1 \ d_{2max}]$ nên $-(d_{2max} - l_1) \leq E \leq (d_{2max} - l_1)$. Vì vậy các hệ số chuẩn hoá chọn $K_4=6/0.4$; $K_5=50/0.4$ (K_2 chọn phù hợp với đặc tính của Robot). Hệ số K_6 được lựa chọn trong quá trình thử sai và tinh chỉnh cho bộ điều khiển.

Các tập mờ biểu diễn cho các giá trị ngôn ngữ của biến vào và biến ra được chọn như sau (lưu với tên file m4.fis):

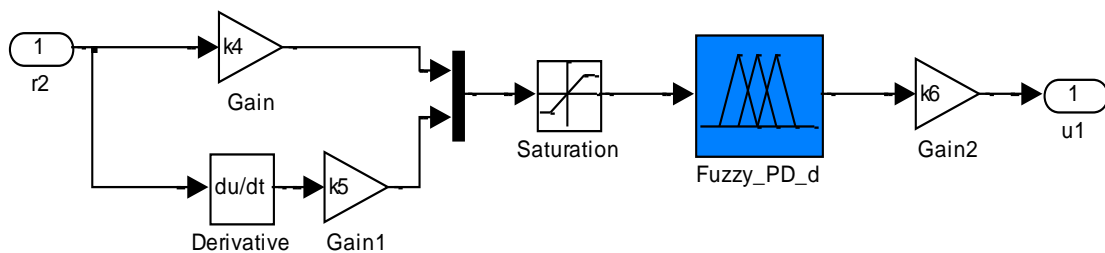


Hình 6.11. Các tập mờ cho bộ điều khiển PI mờ điều khiển độ dịch chuyển d_2

Hàm liên thuộc của E, hàm liên thuộc của DE, hàm liên thuộc của biến ra output_PI, các luật mờ chọn như trường hợp a.

d. Thiết kế bộ điều khiển mờ PD điều khiển góc : Khối PD_FUZZY_THETA

Bộ điều khiển mờ có tín hiệu vào là sai số (E) giữa tín hiệu đặt d_{2m} với tín hiệu ra thực d_2 và vi phân sai số (DE), tín hiệu ra là vi phân điện áp điều khiển (DU).



Hình 6.12. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển PD mờ cho khoảng tịnh tiến d_2 .

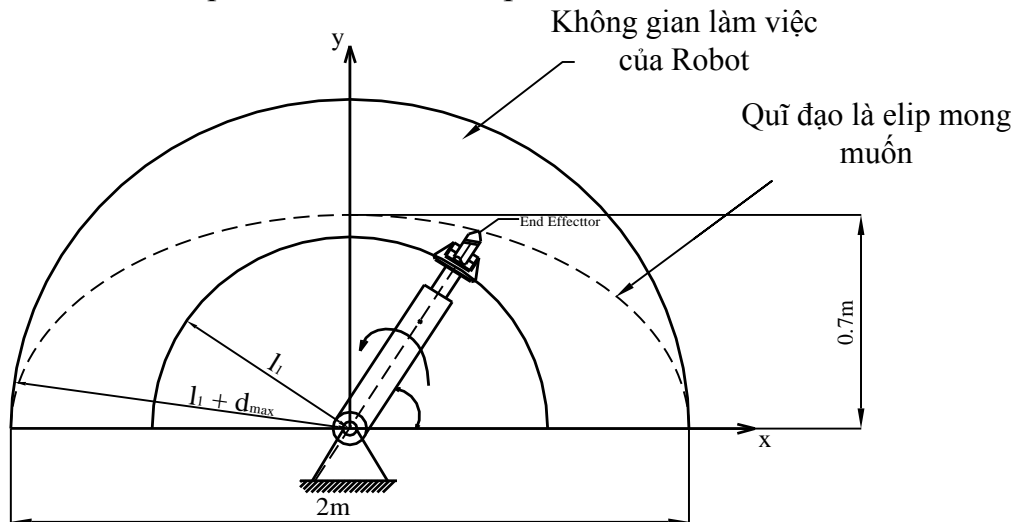
Vì các qui tắc phát biểu dạng ngôn ngữ của các tập mờ qui định cho các biến vào ra là E, DE ở trường hợp này hoàn toàn giống với trường hợp thiết kế cho bộ PI mờ cho d_2 nên ta có thể sử dụng bộ mờ đã thiết kế với sơ đồ điều khiển PD này (file m4.fis).

Các hệ số K được chọn như sau : $K_1 = 2/0.4$; $K_2 = 1/0.4$, $K_3 = 8$. Các hệ số này được chọn thử sai trong quá trình thiết kế và tinh chỉnh bộ điều khiển.

3. Quỹ đạo đặt cho Robot.

Như đã trình bày ở mục nội suy quỹ đạo cho Robot, ở đây chúng ta có thể cho trước một số quỹ đạo đặt mong muốn sao cho quỹ đạo này nằm trong vùng làm việc của Robot (vùng với đến) : Có thể là $\frac{1}{2}$ đường tròn, $\frac{1}{2}$ đường elip, quỹ đạo theo một hàm bất kỳ ... nằm trong $\frac{1}{2}$ hình vành khăn đã xác định trước.

Giả sử như ta chọn quỹ đạo là $\frac{1}{2}$ hình elip như sau :



Hình 6.13. Quỹ đạo là elip với các độ dài trục lớn là 2, độ dài trục bé là 1.4

Elip có phương trình :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad \text{Chọn } a=1, b=0.7 \text{ như hình vẽ}$$

$$\Rightarrow x^2 + \frac{y^2}{0.49} = 1$$

Để tạo tín hiệu đặt là các hàm theo thời gian cho các biến khớp từ không gian Đề các, trước tiên xuất phát từ quỹ đạo mong muốn, chúng ta xác định lần lượt các điểm tựa, ứng với từng điểm tựa này chúng ta thu thập được số liệu dạng bảng các giá trị của các biến khớp.

Ở đây, giả sử chúng ta chọn các điểm tựa lần lượt ứng với hai biến khớp $A_i(d)$ như sau :

$$A_1 (0, 1) ; A_2(\pi/6, 0.8908) ; A_3(\pi/3, 0.7494) ; A_4(\pi/2, 0.7); A_5(2\pi/3, 0.7494); A_6(5\pi/6, 0.8908); A_7(\pi, 1).$$

Thời gian lấy mẫu giữa các điểm tựa chọn là $[t_k \ t_{k+1}] = 5s$. Vậy ta cần đạt được quỹ đạo mong muốn là elip khi khâu tác động cuối di chuyển các góc θ_1 cách đều nhau một góc 30° , d_2 thay đổi từ $[0.6 \ 1]$ trong khoảng thời gian như nhau là 5s.

Chọn thời gian lấy mẫu cho cả hệ thống và dữ liệu nội suy là 0.01s.

Dùng phương pháp nội suy đường đa thức, chúng ta xác định được lần lượt các đa thức nối giữa các điểm tựa, tạo quỹ đạo mong muốn theo các biến khớp.

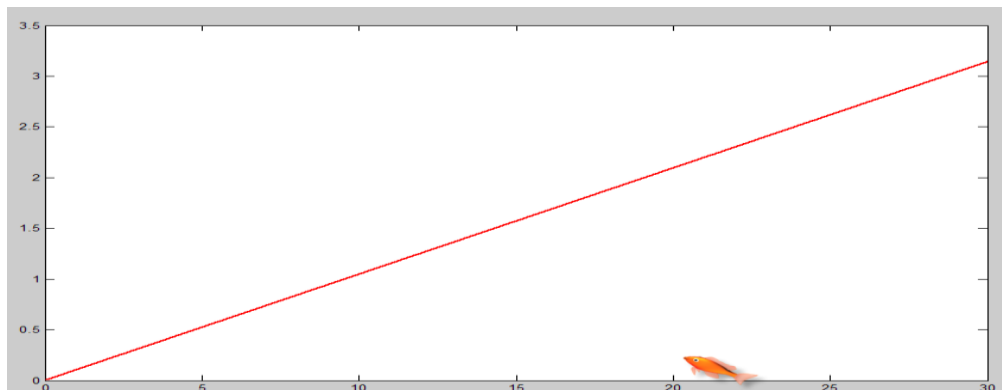
Muốn tăng độ chính xác của quá trình nội suy, chúng ta có thể tăng số lượng các điểm tựa.

Có thể viết m file để thực hiện thao tác nội suy này, sau đó lưu dữ liệu và đưa vào sơ đồ Simulink. Viết chương trình giải trực tiếp hàm nội suy hay dùng các hàm nội suy đa thức có sẵn của Matlab để tạo dữ liệu đặt cho các biến khớp.

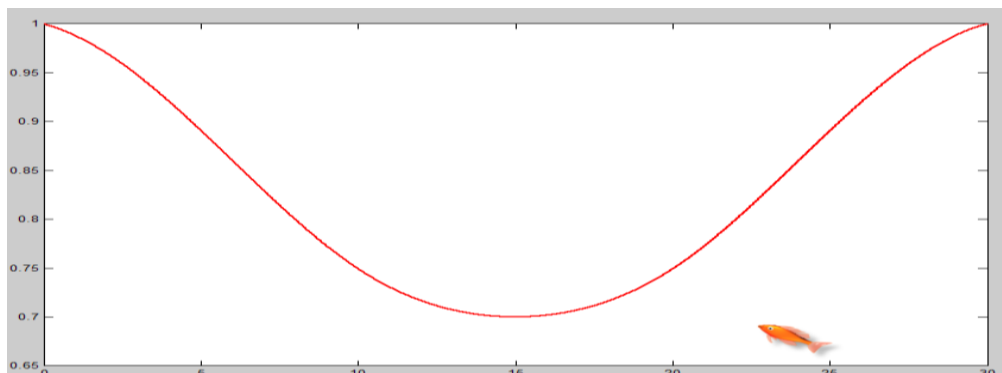
Với cách thức này, chúng ta hoàn toàn có thể xác định được tín hiệu đặt cho các biến khớp khi xác định quỹ đạo của Robot theo một đường cong bất kỳ.

Kết quả nội suy cho biến khớp θ_1 và d_2 theo quỹ đạo là elip trên :

+ Nội suy góc $\theta_1(t)$:



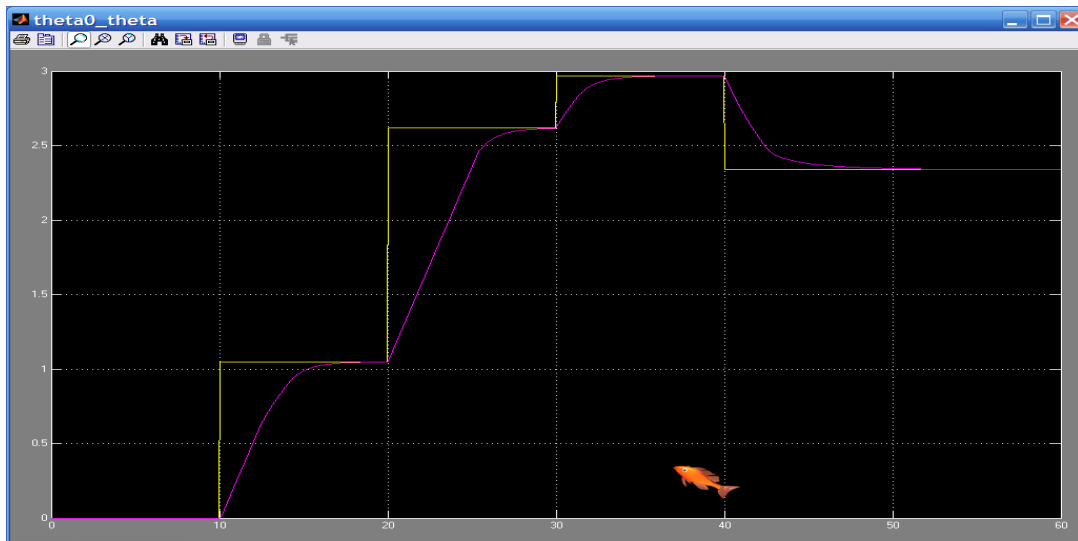
+ Nội suy $d_2(t)$:



4. Kết quả thiết kế bộ điều khiển bám theo quỹ đạo mong muốn.

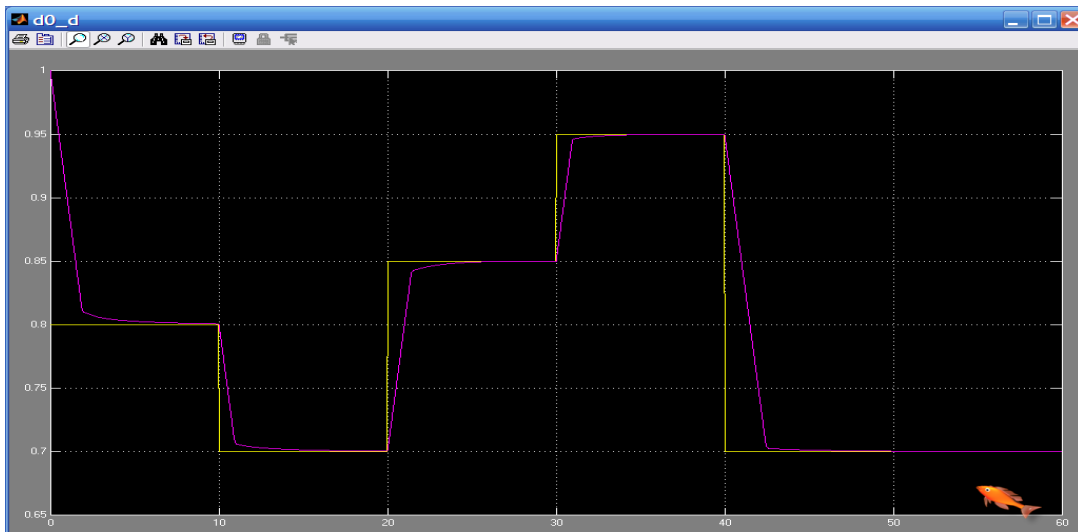
a. Khi cho tín hiệu đặt bất kỳ cho các biến khớp nằm trong vùng làm việc của Robot:

+ Đối với tín hiệu ra là góc :



Hình 6.14. Kết quả điều khiển bám theo quỹ đạo đặt của góc θ_1

+ Đối với tín hiệu ra là độ dài tịnh tiến d_2

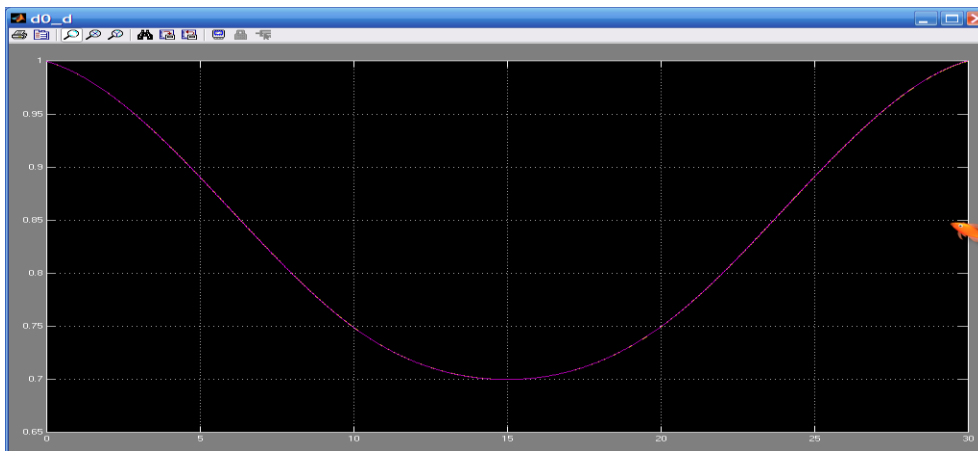
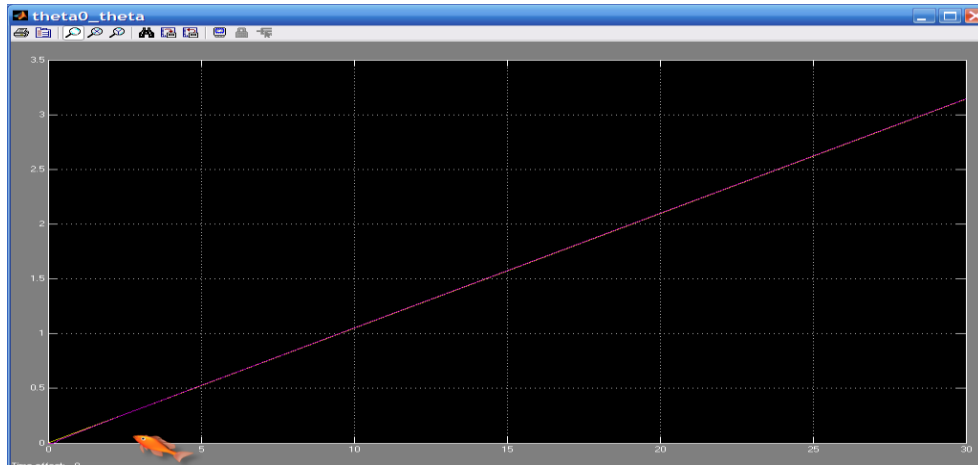


Hình 6.15. Kết quả điều khiển bám theo quỹ đạo đặt của khoảng tịnh tiến d_2

Kết quả thu được từ quá trình điều khiển, chúng ta nhận thấy quỹ đạo của robot bám theo tín hiệu đặt với chất lượng tương đối tốt, không xuất hiện vọt lố, tốc độ đáp ứng chấp nhận được.

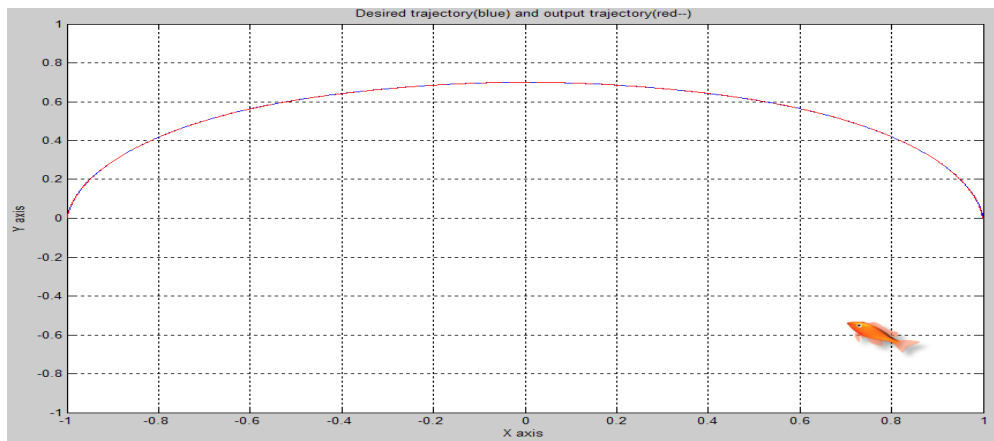
b. Khi cho tín hiệu vào là các dữ liệu nội suy cho góc quay và độ dịch chuyển d_2 từ quỹ đạo $\frac{1}{2}$ elip:

+ Đối với tín hiệu ra là góc và độ dài tịnh tiến :



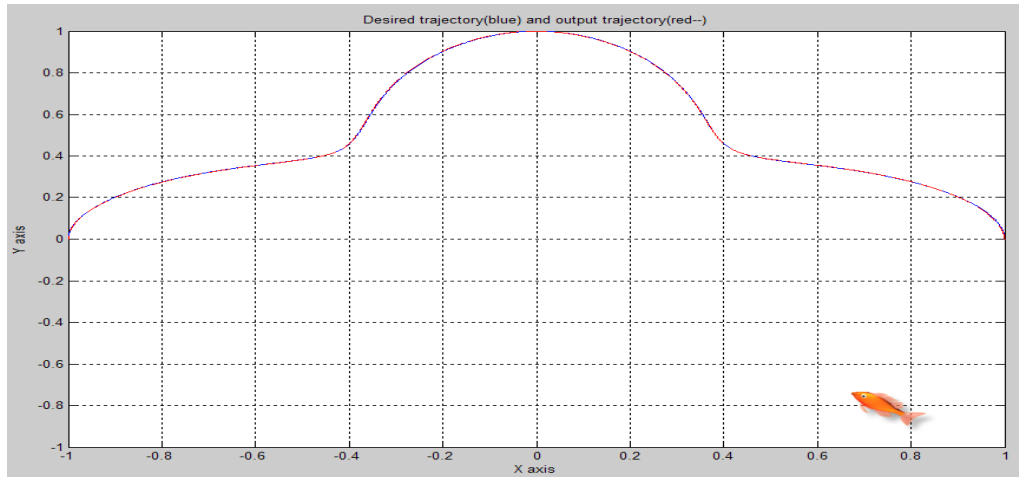
Hình 6.16. Kết quả điều khiển bám theo các quỹ đạo nội suy cho từng biến khớp

+ Quỹ đạo của khâu tác động cuối sau khi điều khiển so với quỹ đạo đặt :



Hình 6.17. Quỹ đạo của điểm tác động cuối bám theo quỹ đạo hình elip

c. Với quỹ đạo đặt là hàm bất kỳ được nội suy, ta cũng có kết quả bám tốt của khâu tác động cuối :

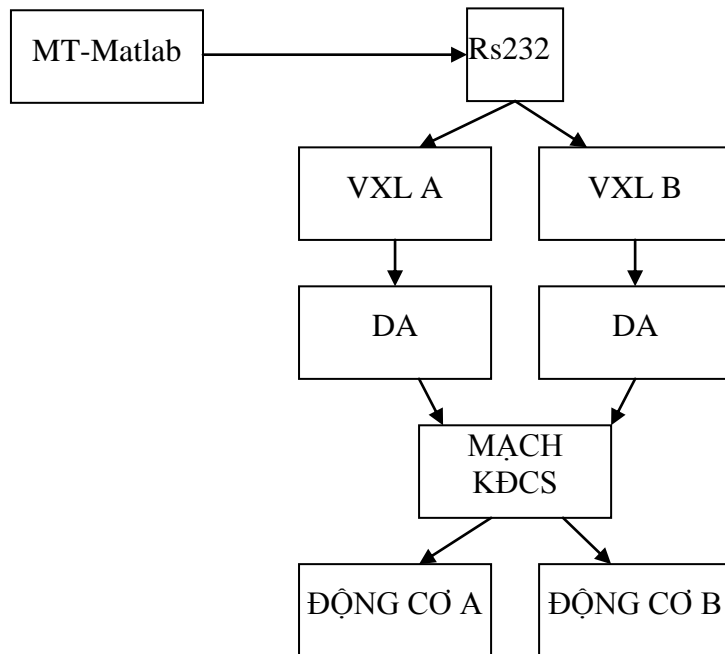


Hình 6.18. Quỹ đạo điểm tác động cuối robot bám theo quỹ đạo đặt bất kỳ.

5. Xuất tín hiệu điều khiển cho hai vi xử lý.

Sau khi thiết kế bộ điều khiển, chúng ta cần xuất các tín hiệu điều khiển U_1 và U_2 cho hai motor điều khiển hai khớp nối của Robot.

Trước hết chúng ta cần xây dựng sơ đồ phần cứng cho hệ thống này, từ cơ sở này viết các chương trình thu nhận dữ liệu và xuất tín hiệu trên mỗi vi xử lý. Ý tưởng thiết kế mạch điều khiển robot giao tiếp với máy tính, khi dựa vào mô phỏng trên matlab :



Hình 6.19. Sơ đồ giao tiếp từ máy tính đến các vi xử lý để điều khiển 2 động cơ trên hai khớp nối động cơ.

6.4. Tính toán và điều khiển theo momen - hồi tiếp tuyến tính hệ phi tuyến robot

Trong mục trên, chúng ta đã tìm hiểu các cách thức và nguyên tắc xây dựng một bài toán điều khiển trực tiếp hệ cánh tay máy, sử dụng các bộ điều khiển kinh điển cũng như các bộ điều khiển hiện đại. Tuy nhiên, phương pháp này chỉ

khả thi đối với các loại cánh tay máy có kết cấu không quá phức tạp. Còn đối với trường hợp tổng quát hơn, chúng ta sử dụng phương pháp điều khiển theo momen, một phương pháp nhằm đơn giản hoá quá trình điều khiển.

Phần lớn các phương pháp hoạch định điều khiển hệ tay máy ngày nay có thể xem như một trường hợp đặc biệt của điều khiển mô men. Tính toán mô men, ở những khoảng thời gian như nhau, là một ứng dụng đặc biệt của hồi tiếp tuyến tính của hệ thống phi tuyến, là một hàm truyền phổ biến trong lý thuyết điều khiển hệ thống hiện đại.

Trong trường hợp tổng quát, mục đích của điều khiển theo momen là biến đổi một bài toán thiết kế điều khiển phi tuyến phức tạp thành bài toán thiết kế đơn giản cho hệ thống tuyến tính gồm có n hệ thống phụ được tách ra, mỗi hệ tuân theo định luật Newton.

Một cách để tối ưu hóa kế hoạch điều khiển mô men là chia chúng ra thành “khoảng điều khiển có tính toán mô men” (*computed torque like*) hoặc “khoảng điều khiển không tính toán mô men” (*noncomputed torque like*). Tính toán điều khiển mô men xuất hiện trong điều khiển thô, điều khiển thích nghi, điều khiển theo hệ tự học.

6.4.1. Đạo hàm của vòng hồi tiếp trong (Derivation of Inner Feedforward Loop)

Phương trình động lực học Tay máy tổng quát có dạng như sau:

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + F_v\dot{q} + F_d(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = \tau \quad (6.10)$$

hoặc

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + \tau_d = \tau \quad (6.11)$$

với biến khớp $q(t)$ thuộc không gian R^n , $\tau(t)$ là mô men điều khiển, $\tau_d(t)$ là đại lượng nhiễu. Nếu trong phương trình này có kể đến động lực học của động cơ dẫn động thì $\tau(t)$ là điện áp ngõ vào.

Giả định rằng một quỹ đạo mong muốn $q_d(t)$ được lựa chọn cho sự di chuyển của Tay máy như trình bày phân trong 7.3. Việc bảo đảm sự hiệu chỉnh quỹ đạo bởi các biến khớp, định nghĩa một đầu ra hay sai số hiệu chỉnh như sau:

$$e(t) = q_d(t) - q(t) \quad (6.12)$$

Để giải thích ảnh hưởng của đầu vào $q_d(t)$ trên sai số hiệu chỉnh, vi phân hai lần ta nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{e} &= \dot{q}_d - \dot{q} \\ \ddot{e} &= \ddot{q}_d - \ddot{q} \end{aligned}$$

Tìm ra lời giải cho \ddot{q} trong (6.11) và thay thế vào trong phương trình trên ta được:

$$\ddot{e} = \ddot{q}_d + M^{-1}(N + \tau_d - \tau)$$

(6.13)

Định nghĩa hàm vào điều khiển:

$$u = \ddot{q}_d + M^{-1}(N - \tau)$$

(6.14)

và hàm nhiễu

$$w = M^{-1}\tau_d$$

(6.15)

Ta định nghĩa biến $x(t)$ thuộc R^{2n} bởi:

$$x = \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix}$$

(6.16)

và ta viết lại sai số hiệu chỉnh động lực học như sau:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} w$$

(6.17)

Đây là hệ thống sai số tuyến tính *Brunovsky* hợp với quy tắc chuẩn gồm có n cặp đôi hợp nhất $1/s^2$. Nó được tạo ra bởi đầu vào điều khiển $u(t)$ và hàm nhiễu $w(t)$.

Chuyển đổi hồi tiếp tuyến tính có thể đảo ngược lại như sau:

$$\tau = M(\ddot{q}_d - u) + N$$

(6.18)

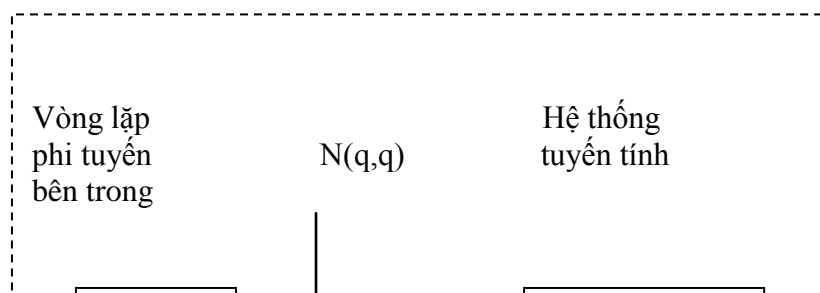
Ta gọi đây là định luật tính toán – điều khiển mô men. Điều quan trọng của những thao tác này là những kế thừa. Không có phép biến đổi biến trạng thái đi từ (6.10) đến (6.17). Vì thế, nếu ta chọn một điều khiển $u(t)$ làm cho (6.17) ổn định với $e(t)$ tiến về 0. Sau đó đầu vào điều khiển phi tuyến $\tau(t)$ cho bởi (6.18) sẽ gây ra quỹ đạo sai lệch cho Tay máy ở (6.12). Trên thực tế, việc thay thế (6.18) vào (6.11) sẽ cho kết quả:

$$M\ddot{q} + N + \tau_d = M(\ddot{q}_d - u) + N$$

$$\ddot{e} = u + M^{-1}\tau_d$$

(6.19)

cho thấy là (6.17) đúng đắn.



Hình 6.20: Sơ đồ kế hoạch điều khiển mô men, biểu diễn vòng trong và ngoài

Sự ổn định của (6.17) là không khó. Trên thực tế, phép biến đổi phi tuyến (6.14) là biến đổi một bài toán thiết kế điều khiển phi tuyến phức tạp thành bài toán thiết kế đơn giản cho hệ thống tuyến tính gồm có n hệ thống phụ được tách ra, mỗi hệ tuân theo định luật Newton.

Kết quả sự phối hợp điều khiển được đưa ra trong bảng tóm tắt ở phần cuối. Cần chú ý rằng kết quả này bao gồm một vòng phi tuyến bên trong cộng với một tín hiệu điều khiển bên ngoài $u(t)$. Ta sẽ thấy một vài cách để chọn lựa $u(t)$, trong đó $u(t)$ sẽ phụ thuộc vào $q(t)$ và $\dot{q}(t)$, vòng bên ngoài sẽ là vòng hồi tiếp. Thông thường, ta có thể chọn cơ cấu bù động lực học $H(s)$ để cho:

$$U(s) = H(s)E(s) \quad (6.20)$$

$H(s)$ có thể được chọn sao cho hoạt động vòng kín đạt hiệu quả tốt nhất. Theo (2.61) sai số hệ thống vòng kín được chuyển thành hàm số:

$$T(s) = s^2 I - H(s) \quad (6.21)$$

Ở (6.21), ta có nhận xét quan trọng là biểu thức tính toán mô men phụ thuộc vào nghịch đảo của động lực học tay máy, và thật vậy, đôi khi ta gọi đó là động lực học điều khiển ngược. Thực tế, (6.18) mô tả rằng $\tau(t)$ được tính bởi việc thay thế $\ddot{q}_d - u$ cho $\ddot{q}(t)$; kết quả cho phép ta tìm ra lời giải cho bài toán động học ngược tay máy. Những dự báo cho biết trước với một hệ thống nghịch đảo, có tính đến những đáp số của bài toán khi mà hệ thống không có pha nhỏ nhất bằng 0, tất cả đều được áp dụng ở khảo sát này.

Có một vài cách để tính (6.18) để tránh cho các ma trận chuẩn nhân với nhau tại mỗi khoảng thời gian lấy mẫu. Trong một số trường hợp biểu thức trên

có thể tính toán theo phép giải tích. Một cách tốt nhất để tính mô men $\tau(t)$ là sử dụng chuyển đổi động lực học ngược *Newton-Euler* với $\ddot{q}_d - u$ thay vào chỗ của $\ddot{q}(t)$.

Tín hiệu vòng ngoài $u(t)$ có thể được chọn dùng cho những phép tính gần đúng, kể cả kỹ thuật điều khiển thô và điều khiển thích nghi. Trong phần còn lại của chương này ta cũng sẽ khảo sát một vài cách thiết kế cho $u(t)$ và những sự biến thiên trong tính toán và điều khiển mô men .

6.4.2. Thiết kế PD vòng ngoài

Ở đây, chúng ta tìm hiểu việc thiết kế bộ điều khiển tỉ lệ – vi phân PD với tín hiệu điều khiển u được xác định :

$$u = -K_v \dot{e} - K_p e$$

(6.22)

Ở đây đầu vào của Tay máy nói chung sẽ trở thành biểu thức:

$$\tau = M(q)(\ddot{q}_d + K_v \dot{e} + K_p e) + N(q, \dot{q})$$

(6.23)

Sai số động lực học của vòng kín là:

$$\ddot{e} + K_v \dot{e} + K_p e = w$$

(6.24)

hoặc dạng không gian trạng thái :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -K_p & -K_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} w$$

(6.25)

Phương trình đặc trưng của vòng kín là :

$$\Delta_c(s) = \left| s^2 I + K_v s + K_p \right|$$

(6.26)

Lựa chọn độ lợi đảm bảo tính ổn định của hệ thống. Các độ lợi thường dùng để lấy ma trận hàm truyền đường chéo $n \times n$ như sau:

$$K_v = \text{diag} \{k_{v_i}\}; \quad K_p = \text{diag} \{k_{p_i}\}$$

(6.27)

Ở đó

$$\Delta_c(s) = \prod_{i=1}^n (s^2 + k_{v_i} s + k_{p_i})$$

(6.28)

và hệ thống sai số là ổn định tiệm cận với điều kiện là k_{v_i} và k_{p_i} đều dương. Vì

vậy, điều kiện là hàm nhiễu $w(t)$ bị giới hạn trong kết quả tính sai số $e(t)$.

Ta chú ý rằng, mặc dù việc chọn ma trận đường chéo hàm truyền PD đưa đến việc tách điều khiển ở cấp vòng ngoài, nhưng nó không đưa đến tách riêng điều khiển chuyển động của khớp trong kế hoạch điều khiển. Điều này có được là bởi vì phép nhân bởi $M(q)$ và phép cộng của những thông số phi tuyến $N(q, \dot{q})$ được cho trước ở vòng trong.

Việc thu nhận không chính xác các tín hiệu phản hồi về vị trí và vận tốc để tính toán các tín hiệu $u(t)$ của các khớp có thể nhầm lẫn. Vì thế, thông tin vị trí $q(t)$ và vận tốc $\dot{q}(t)$ là cần rõ ràng để việc tính toán chính xác mô men điều khiển $\tau(t)$ cho từng khớp.

Cân bằng biểu thức với dạng chuẩn của phương trình bậc 2 :

$$p(s) = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$$

(6.29)

với ζ và ω_n là hệ số giảm chấn và tần số riêng của hệ dao động. Cho nên, hiệu suất mong muốn của mỗi sai số $e(t)$ hợp thành có thể đạt được bằng cách chọn độ lợi như sau:

$$k_{p_i} = \omega_n^2; \quad k_{v_i} = 2\zeta\omega_n$$

(6.30)

với ζ và ω_n là hệ số giảm chấn mong muốn và tần số riêng cho sai số của khớp thứ i . Nó có thể hữu ích khi lựa chọn độ lợi phản hồi tại trạng thái mà Tay máy vươn hết tầm với lớn hơn so với độ lợi phản hồi ở trạng thái các khâu của Tay máy co về gần giá cố định, nơi mà khối lượng tập trung của Tay máy gần gốc nhất.

Điều không mong muốn cho Tay máy là mức độ vượt quá giảm chấn, điều này có thể là nguyên nhân gây ảnh hưởng đến độ chính xác của quỹ đạo mong muốn khi muốn dừng chính xác tại bề mặt của đối tượng công tác. Cho nên, độ lợi PD thường được chọn với giảm chấn tới hạn $\zeta=1$. Trong trường hợp này thì:

$$k_{v_i} = 2\sqrt{k_{p_i}}; \quad k_{p_i} = k_{v_i}^2 / 4$$

(6.31)

Tần số riêng ω_n ảnh hưởng đến tốc độ đáp ứng của mỗi sai số hợp thành. Khi giá trị của nó lớn sẽ cho đáp ứng nhanh và sự chọn lựa phụ thuộc vào đặc tính của đối tượng. Theo đó, quỹ đạo mong muốn sẽ được đưa vào chỉ tiêu chọn lựa ω_n . Ta sẽ thảo luận về những hệ số đưa vào trong sự chọn lựa này.

$$\omega_r = \sqrt{k_r / J}$$

(6.32)

với J là mô men quán tính khâu i và k_r là độ cứng của khâu. Kế đó, để tránh hiện

tượng cộng hưởng, ta sẽ chọn $\omega_n < \omega_r / 2$. Dĩ nhiên, mô men quán tính J sẽ thay đổi theo hình dạng của Tay máy, cho nên giá trị lớn nhất có thể được dùng trong tính toán ω_r .

Giới hạn trên khác của ω_n được quy định bởi sự xem xét đến mức bão hòa mô men. Nếu độ lợi PD quá lớn, mô men $\tau(t)$ có thể đạt tới giới hạn trên. Hàm truyền của sai số hệ thống vòng kín trong (2.66) là:

$$e(s) = (s^2 I + K_v s + K_p)^{-1} w(s)$$

(6.33)

hoặc nếu K_v và K_p là đường chéo, thì

$$e_i(s) = \frac{1}{s^2 + k_{v_i} s + k_{p_i}} w(s) \equiv H(s) w(s)$$

(6.34)

$$\dot{e}_i(s) = \frac{s}{s^2 + k_{v_i} s + k_{p_i}} w(s) \equiv sH(s) w(s)$$

(6.35)

với $w(s)$ là nhiễu.

6.4.3. Ví dụ :

a. Luật điều khiển tính toán mô men

Trong ví dụ dưới đây của cơ cấu hai khâu phẳng liên kết bằng khớp bản lề (hình 6.7), ta nhận được kết quả vận tốc của các khâu từ bài toán động học như sau:

$$\begin{aligned} x_2 &= a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 &= a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{x}_2 &= -a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - a_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{y}_2 &= a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + a_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned}$$

Ta có kết quả sau khi khảo sát bài toán động lực học tay máy hai khâu với hai khớp bản lề như sau:

$$\begin{aligned} &\begin{bmatrix} (m_1 + m_2)a_1^2 + m_2 a_2^2 + 2m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2 & m_2 a_2^2 + m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2 \\ m_2 a_2^2 + m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2 & m_2 a_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -m_2 a_1 a_2 (2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) \sin \theta_2 \\ m_2 a_1 a_2 \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_2 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} (m_1 + m_2) g a_1 \cos \theta_1 + m_2 g a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ m_2 g a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

Nó có dạng chuẩn:

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) = \tau \quad (2)$$

lấy khối lượng của mỗi khâu là 1kg và chiều dài là 1m.

Ta có luật điều khiển PD là:

$$\tau = M(q)(\ddot{q}_d + K_v \dot{e} + K_p e) + V(q, \dot{q}) + G(q) \quad (3)$$

với sai số được định nghĩa như sau:

$$e = q_d - q \quad (4)$$

b. Quỹ đạo yêu cầu:

Ta giả sử quỹ đạo mong muốn của $q_d(t)$ gồm các thành phần:

$$\theta_{1d} = g_1 \sin(2\pi/T) \quad (5)$$

$$\theta_{2d} = g_2 \cos(2\pi/T)$$

với mẫu $T=2s$ và $g_i = 0.1$ rad. Chọn hằng số thời gian cho hệ thống là 0.1s. Lúc đó ta có:

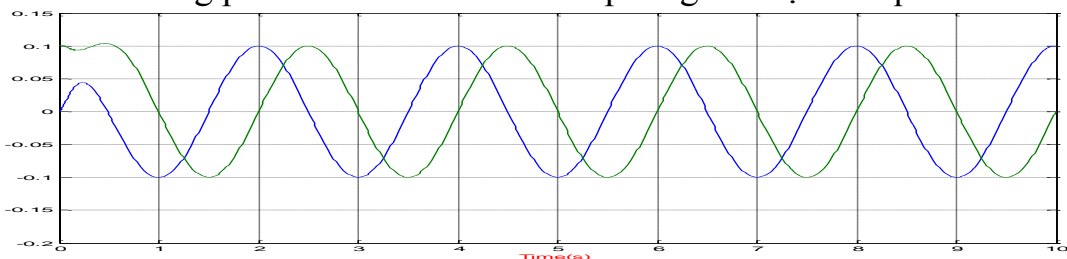
$$\omega_n = 1/0.1 = 10$$

$$k_p = \omega_n^2 = 100$$

$$k_v = 2\omega_n = 20$$

c. Kết quả mô phỏng

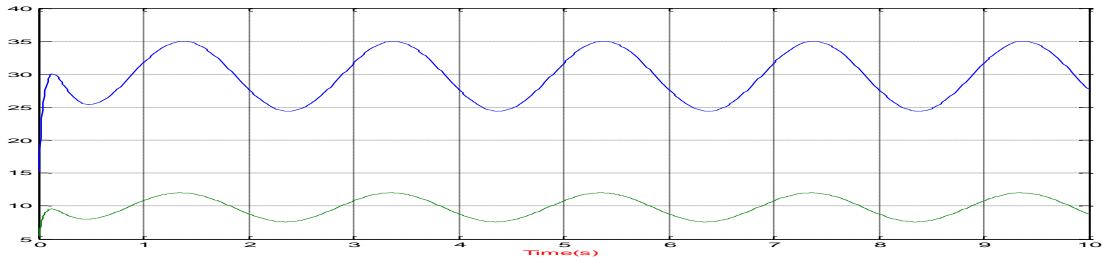
Sau khi dùng phần mềm Matlab để mô phỏng ta được kết quả như sau:



Hình 6.4: Đồ thị góc quay của các khớp theo t

Ta nhận thấy ở thời điểm đầu sai số rất lớn, đó là do bộ điều khiển chưa đáp ứng kịp. Sau một khoảng thời gian đáp ứng, sai số hiệu chỉnh mới gần bằng 0, lúc đó Tay máy mới chuyển động gần với quỹ đạo mong muốn. Sai số lớn hay nhỏ tùy thuộc vào giá trị ta đặt ban đầu và đặc điểm của bộ điều khiển cũng như luật điều khiển mà ta lựa chọn.

Ở đồ thị biểu diễn sự biến thiên của các khâu, ta nhận thấy, đối với khâu 2 giá trị của mô men có những thời điểm xuống dưới 0, đó là do ảnh hưởng của trọng lượng bản thân của tay máy trong quá trình chuyển động.



Hình 6.6 : Biểu đồ mô men của hai khâu

6.4.4. Thiết kế PID vòng ngoài

Tương tự như cách thiết kế bộ điều khiển PD, chúng ta tìm bộ điều khiển vòng ngoài cho chất lượng tốt hơn. Thông thường, biện pháp sử dụng là thêm cả mạch tích tích phân trong vòng cho trước – điều này có thể đạt được khi dùng tích toán – điều khiển mô men với điều chỉnh PID :

$$\dot{\varepsilon} = e$$

(6.43)

$$u = -K_v \dot{e} - K_p e - K_i \varepsilon$$

(6.44)

ở đây đầu vào điều khiển Tay máy, ta có:

$$\tau = M(q)(\ddot{q}_d + K_v \dot{e} + K_p e + K_i \varepsilon) + N(q, \dot{q})$$

(6.45)

với $\varepsilon(t)$ là phần nguyên của sai số hiệu chỉnh $e(t)$. Chính là phần cộng thêm vào hiệu chỉnh động lực học.

Định luật điều khiển này là được mô tả thuận lợi bởi định nghĩa trạng thái là $x = [\varepsilon^T \ e^T \ \dot{e}^T]^T$ thuộc R^{3n} và làm tăng thêm sai số động học (6.17) với một mạch tích phân:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ e \\ \dot{e} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} w$$

(6.46)

Một sơ đồ khối của bộ tính toán – điều khiển mô men được đưa ra trong bảng tóm tắt.

Ở đây hệ thống vòng kín có dạng:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \\ -K_i & -K_p & -K_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ e \\ \dot{e} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} w$$

(6.47)

Đa thức đặc trưng của vòng kín là:

$$\Delta c(s) = |s^3 I + K_v s^2 + K_p s + K_i|$$

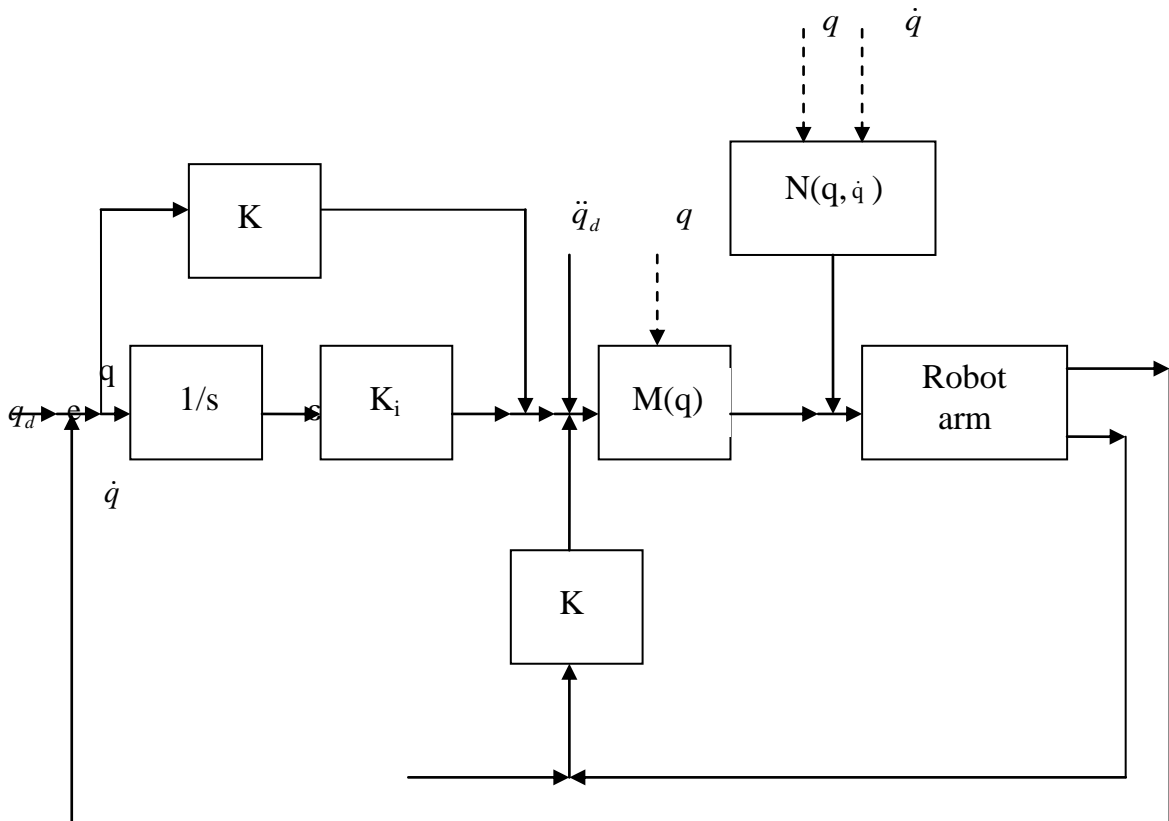
(6.48)

Tương tự như trường hợp tính toán bộ PD, ta cũng lựa chọn độ lợi để đảm bảo tính ổn định hệ thống trong điều khiển.

Chọn tỉ số độ lợi

$$K_v = \text{diag}\{k_{v_i}\}; \quad K_p = \text{diag}\{k_{p_i}\}; \quad K_i = \text{diag}\{k_{i_i}\}$$

(6.49)



Hình 2.14: Bộ điều khiển moment PID

Cho:(2.92)

Bằng cách dùng kiểm tra Routh, nó có thể được tìm thấy cho tính ổn định vòng kín mà chúng ta yêu cầu:

$$k_i < k_{v_i} k_{p_i} \quad (6.50)$$

Sự bảo hòa của cơ cấu tác động và mạch giới hạn khuếch đại tích phân (Actuator Saturation and Integrator Windup)

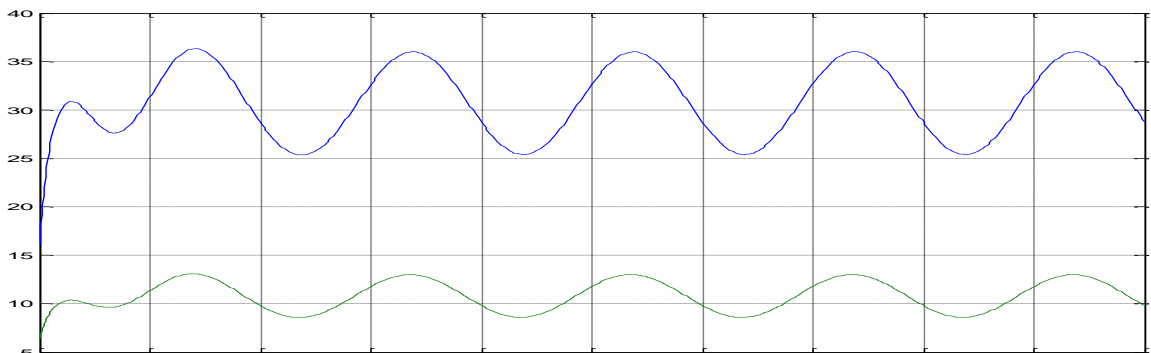
Cần lưu ý về hiệu quả và những vấn đề kéo theo trong khi sử dụng công cụ điều khiển PID cho các Tay máy. Vài Tay máy thật sẽ có những giới hạn về điện áp và mô men để bảo vệ mạch điều khiển công suất của động cơ kích hoạt.

Những giới hạn này có thể hoặc không thể gây ra những vấn đề với điều khiển PD, nhưng nó gần như luôn gây ra vấn đề với bộ điều khiển PID vì một hiện tượng được biết đến như là giới hạn bão hòa trong khuếch đại tích phân (*Integrator Windup*).

Ta thừa nhận rằng trong trường hợp $\tau = k_i \varepsilon(t)$ với $\varepsilon(t)$ là đầu ra. Mô men vào $\tau(t)$ bị giới hạn bởi giá trị lớn nhất τ_{\max} và nhỏ nhất τ_{\min} của nó. Nếu $k_i \varepsilon(t)$ đạt tới τ_{\max} , có thể có hoặc không có vấn đề gì. Vấn đề phát sinh là khi nếu đầu vào mạch tích phân vẫn dương, mạch tích phân tiếp tục cộng dồn (*integrate*) hướng lên để thành âm và $k_i \varepsilon(t)$ có thể giảm xuống, nó có thể tăng vượt ra ngoài giới hạn τ_{\max} . Khi đầu vào mạch tích phân trở thành âm, nó có thể mất thời gian đáng kể cho $k_i \varepsilon(t)$ giảm xuống dưới τ_{\max} . Trong lúc ấy τ được giữ tại τ_{\max} , hệ quả là đầu vào điều khiển không đúng cho thiết bị chấp hành.

Để đánh giá sự khác biệt của điều khiển vòng ngoài theo PD và PID ta xem đồ thị biểu diễn sai số hiệu chỉnh cũng như sự thay đổi mô men của của từng khâu

Ta nhận thấy với τ_d là hằng số nhiễu (giả sử giá trị nhiễu là 1N-m) cho mỗi khâu. Ta thấy điều khiển theo luật PID thì thực tế hơn luật điều khiển PD vì nó có cộng vào đó tác động bù nhiễu và hệ quả là hệ thống ổn định hơn.



Hình 6.9 : Đồ thị mô men của hai khâu

6.4.5. Bảng tóm tắt :

a. Phương trình động lực học tay máy :

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + F_v \dot{q} + F_d(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = \tau$$

hoặc:

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + \tau_d = \tau$$

ở đó

$$N(q, \dot{q}) = V(q, \dot{q}) + F_v \dot{q} + F_d(\dot{q}) + G(q)$$

b. Sai số hiệu chỉnh

$$e(t) = q_d(t) - q(t)$$

c. Tính toán mô men theo PD

$$\tau = M(q)(\ddot{q}_d + K_v\dot{e} + K_p e) + N(q, \dot{q})$$

d. Tính toán mô men theo PID

$$\dot{\varepsilon} = e$$

$$\tau = M(q)(\ddot{q}_d + K_v\dot{e} + K_p e + K_i \varepsilon) + N(q, \dot{q})$$

g. Điều khiển PD truyền thống

$$\tau_c = K_v\dot{e} + K_p e$$

h. Điều khiển PID truyền thống

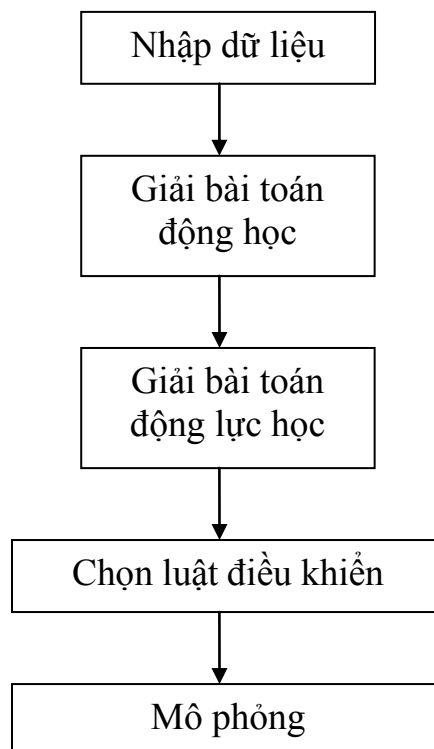
$$\dot{\varepsilon} = e$$

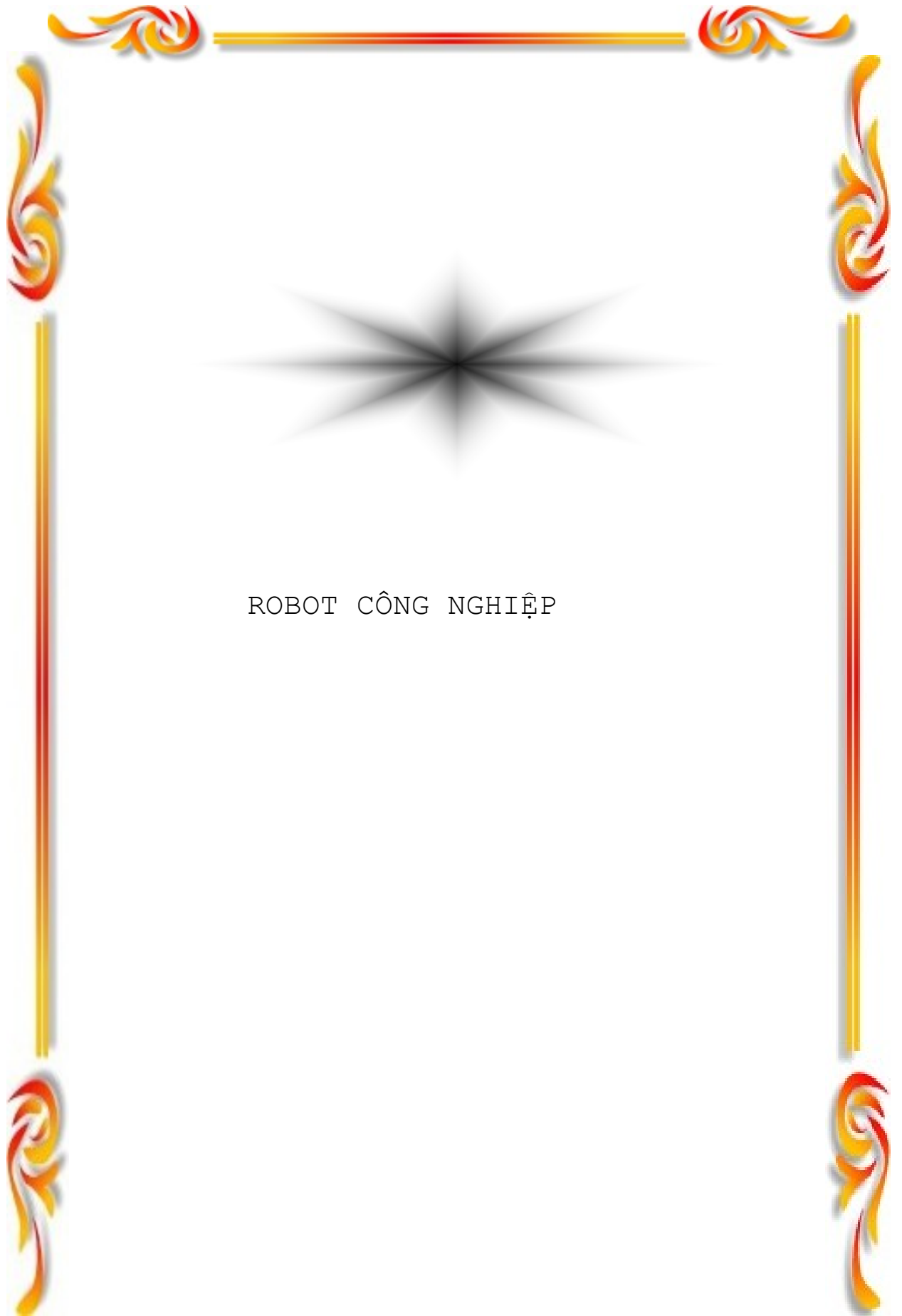
$$\tau_c = K_v\dot{e} + K_p e + K_i \varepsilon$$

6.2.6. Áp dụng Matlab để khảo sát các bài toán cụ thể.

Phần tính toán trên MATLAB được xây dựng dựa trên cơ sở khảo sát lần lượt bài toán động học và động lực học của tay máy cho trước, sau đó lựa chọn các quy luật điều khiển tuyến tính để đưa ra kết quả cuối cùng về sự thay đổi mô men tại các khớp. Để từ đó đưa ra kế hoạch thiết kế và điều khiển tay máy một cách hợp lý.

Sơ đồ thiết kế:





ROBOT CÔNG NGHIỆP

1. TỔNG QUAN VỀ ROBOT.

1.1. Sơ lược về quá trình phát triển robot.

- Nhu cầu nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm ngày càng đòi hỏi ứng dụng rộng rãi các phương tiện tự động hoá sản xuất. Xu hướng tạo ra các dây chuyền về thiết bị tự động có tính linh hoạt cao đang hình thành. Các thiết bị này đang thay thế dần các máy tự động ‘cứng’ chỉ đáp ứng một việc nhất định trong khi thị trường luôn đòi hỏi thay đổi mặt hàng về chủng loại, về kích cỡ và về tính năng vv... Vì thế ngày càng tăng nhanh nhu cầu ứng dụng rôbốt để tạo ra các hệ thống sản xuất tự động linh hoạt.
- Thuật ngữ ‘rôbốt’ lần đầu tiên xuất hiện năm 1922 trong tác phẩm ‘Rossum’s Universal Robot’ của Karel Capek. Theo tiếng Séc thì robot là người làm tạp dịch. Trong tác phẩm này nhân vật Rossum và con trai của ông đã tạo ra những chiếc máy gần giống như con người để hầu hạ con người.
- Hơn 20 năm sau, ước mơ viễn tưởng của Karel Capek bắt đầu hiện thực. Ngay sau chiến tranh thế giới lần thứ 2, ở Hoa Kỳ đã xuất hiện những tay máy chép hình điều khiển từ xa trong các phòng thí nghiệm về vậth liệu phóng xạ.
- Vào cuối những năm 50 bên cạnh những tay máy chép hình cơ khí đó, đã xuất hiện các loại tay máy chép hình thuỷ lực và điện từ, như tay máy Minitaur I hoặc tay máy Handyman của General Electric. Năm 1954 George C. Devol đã thiết kế một thiết bị có tên là ‘Cơ cấu bản lề dùng để chuyển hàng theo chương trình’. Đến năm 1956 Devol cùng với Joseph F. Engelber, một kĩ sư trẻ của công nghiệp hàng không, đã tạo ra loại robot công nghiệp đầu tiên năm 1959 ở công ty Unimation. Chỉ đến năm 1975 công ty Unimation mới bắt đầu có lợi nhuận từ sản phẩm robot đầu tiên này.
- Chiếc robot công nghiệp được đưa ra vào ứng dụng đầu tiên, năm 1961, ở một nhà máy ô tô của General Motors tại Trenton, New Jersey Hoa Kỳ.
- Năm 1967 Nhật Bản mới nhập chiếc robot công nghiệp đầu tiên từ công ty AMF của Hoa Kỳ. Đến năm 1990 có hơn 40 công ty Nhật Bản, trong đó có những công ty khổng lồ như Công ty Hitachi và công ty Mitsubishi, đã đưa ra thị trường quốc tế nhiều loại robot nổi tiếng.
- Từ những năm 70 việc nghiên cứu nâng cao tính năng của robot đã chú ý nhiều đến sự lắp đặt thêm các cảm biến ngoại tín hiệu để nhận biết môi trường làm việc. Tại trường đại học tổng hợp Stanford người ta đã tạo ra loại robot lắp ráp tự động điều khiển bằng máy tính trên cơ sở xử lí thông tin từ các cảm biến lực và thị giác. Vào thời gian này Công ty IBM đã chế tạo loại robot có các cảm biến xúc giác và cảm biến lực, điều khiển bằng máy tính để lắp ráp các máy in gồm 20 cụm chi tiết.
- Vào giai đoạn này ở nhiều nước khác cũng tiến hành các công trình nghiên cứu tương tự, tạo ra các loại robot điều khiển bằng máy vi tính, có lắp đặt các thiết bị cảm biến và thiết bị giao tiếp người - máy.
- Một lĩnh vực mà nhiều phòng thí nghiệm quan tâm là việc chế tạo robot tự hành. Các công trình nghiên cứu tạo ra robot tự hành theo hướng bắt chước chân người và súc vật. Các robot này còn chưa có nhiều ứng dụng trong công nghiệp. Tuy nhiên các loại xe robot (robocar) lại nhanh chóng được đưa vào hoạt động trong các hệ thống sản xuất tự động linh hoạt.
- Từ những năm 80, nhất là vào những năm 90, do áp dụng rộng rãi các tiến bộ kỹ thuật về vi xử lý và công nghệ thông tin, số lượng robot công nghiệp đã gia tăng, giá thành giảm đi rõ rệt, tính năng đã có nhiều bước tiến vượt bậc. Nhờ vậy robot công nghiệp đã có vị trí quan trọng trong các dây truyền sản xuất hiện đại.

- Ngày nay chuyên ngành khoa học về robot ‘robotics’ đã trở thành một lĩnh vực rộng trong khoa học, bao gồm các vấn đề cấu trúc cơ bản động học, lập trình quỹ đạo, cảm biến tín hiệu, điều khiển chuyển động vv...
- Robot công nghiệp được hiểu là những thiết bị tự động linh hoạt, bắt chước được các chức năng lao động công nghiệp của con người. Nói đến thiết bị tự động linh hoạt là nói đến khả năng thao tác với nhiều bậc tự do, được điều khiển trợ động và lập trình thay đổi được. Còn nói đến sự bắt chước các chức năng lao động công nghiệp của con người là có ý nói đến sự không hạn chế từ các chức năng lao động chân tay đơn giản đến trí khôn nhân tạo, tùy theo loại hình công việc lao động cần đến chức năng đó hay không. Đồng thời cũng nói đến mức độ cần thiết bắt chước được như con người hay không.

1.2. Những ứng dụng điển hình của robot.

1.2.1. Ứng dụng trong công nghiệp.

- Gấp đặt vật liệu, hàn điểm và phun sơn.
- Phục vụ máy công cụ, làm khuôn trong công nghiệp đồ nhựa, gắn kính xe hơi, gấp hàng ra khỏi băng tải và đặt chúng vào các trạm chuyển trung gian
- Ứng dụng robot trong công nghệ hàn đường (hàn theo vết hoặc đường dẫn liên tục):
Con người kẹp chặt chính xác chi tiết. Robot di chuyển dọc theo quỹ đạo được lập trình trước.

Ưu điểm: chất lượng mối hàn ổn định.

Nhược điểm: gấp khó khăn trong vấn đề lắp khít chi tiết.

Vì vậy phương pháp dò vết hàn được nghiên cứu và phát triển để giảm bớt yêu cầu định vị chính xác.

Các cảm biến trang bị nhằm xác định chính xác vị trí của đường hàn

- Ứng dụng trong lắp ráp:
Robot được sử dụng để tự động hóa quá trình lắp ráp trong nhà máy
- Ứng dụng trong nhà máy sản xuất:
Trong sản xuất lớn những robot được tự động hóa hoàn toàn.
Robot có thể được trang bị nhiều thiết bị đa dạng cho tay gấp nhằm cho phép robot có khả năng điều chỉnh nhanh chóng thiết bị công nghệ đáp ứng linh hoạt nhiều dạng công nghệ khác nhau.



1.2.2. Ứng dụng robot trong phòng thí nghiệm.

- Dùng để thực hiện các công việc thủ công, thực hiện các công việc lặp đi lặp lại
- Ưu điểm: tăng năng suất, tăng chất lượng thí nghiệm, giảm sơ suất của con người làm hư hỏng hóa chất

- Ứng dụng thực tế: đo độ PH, độ nhớt, độ cứng trong chất đa phân tử, chuẩn bị mẫu xét nghiệm...



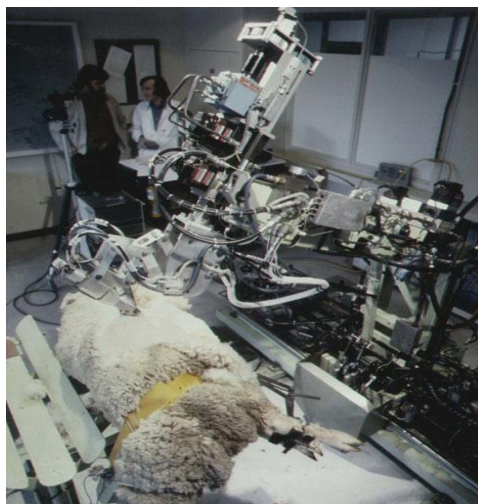
Robot cho phép tiến hành nhiều thí nghiệm

1.2.3. Ứng dụng robot trong thao tác cần khuếch đại lực.

- Dùng trong những khu vực nguy hiểm (nhiễm xạ...)
- Dùng bốc dỡ hàng hóa, vật liệu, phi có trọng lượng lớn công kênh trong các ngành công nghiệp nặng...

1.2.4. Ứng dụng robot trong nông nghiệp.

- Robot cắt nông cừ, mổ xẻ thịt heo... Trong lĩnh vực này robot đảm nhiệm cả ngay cả các công việc mang tính lặp lại, nhiều thao tác đòi hỏi sự phối hợp tay nghề cao và sự lanh lợi của đôi mắt.



1.2.5. Ứng dụng robot trong không gian.

- Tay máy được chế tạo nhằm tăng cường khả năng bốc dỡ hàng hóa tiếp tế , lắp ghép với các trạm không gian khác
- Các xe tự hành trang bị tay máy linh hoạt, các robot công dụng chung trong các trạm không gian , bảo trì vệ tinh, xây dựng trong không gian...



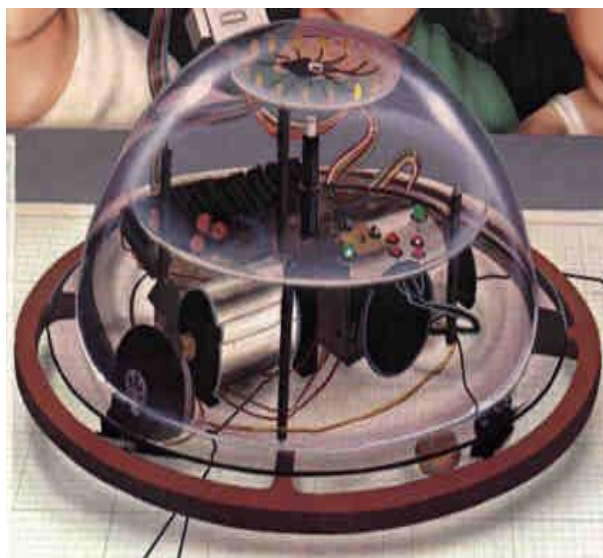
1.2.6. Ứng dụng robot trong tàu lặn.

- Phát triển các tàu lặn không người lái trong công tác kiểm tra, dò tìm, bảo trì, thám hiểm dưới đáy đại dương



1.2.7. Ứng dụng robot trong giáo dục

- Robot được sử dụng làm phương tiện giảng dạy trong các chương trình giáo dục
- Robot được sử dụng kết hợp với ngôn ngữ LOGO để giảng dạy về nhận thức máy tính, lập trình
- Tạo ra phòng học robot: mô phỏng một hệ thống sản xuất linh hoạt sử dụng robot phối hợp với các mô hình sản xuất khác



1.2.8. Ứng dụng robot trong hỗ trợ người tàn tật.

- Thông qua xung não để điều khiển các tay máy làm những thao tác mong muốn, những bộ phận thay thế trên cơ thể...



1.2.9. Ứng dụng robot trong sinh hoạt và giải trí.

- Các loại đồ chơi trẻ em, robot thông minh sử dụng trong nhà và văn phòng...



1.3. Một số định nghĩa.


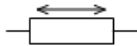

- Viện nghiên cứu Mỹ: *Rôbốt là một tay máy nhiều chức năng, thay đổi được chương trình hoạt động, được dùng để di chuyển vật liệu, chi tiết máy dụng cụ hoặc dùng cho những công việc đặc biệt thông qua những chuyển động khác nhau đã được lập trình nhằm mục đích hoàn thành những nhiệm vụ đa dạng*
- Theo Groover: *Rôbốt công nghiệp là những, thiết bị tổng hợp hoạt động theo chương trình có những đặc điểm nhất định tương tự như ở con người*
- Theo các nhà nghiên cứu thuộc trường phái khối SEV trước đây: *Rôbốt công nghiệp là những máy hoạt động tự động được điều khiển theo chương trình để thực hiện việc thay đổi vị trí của những đối tượng thao tác khác nhau với mục đích tự động hóa các quá trình sản xuất*
- Theo tiêu chuẩn AFNOR của pháp: *Robot là một cơ cấu chuyển đổi tự động có thể chương trình hoá, lập lại các chương trình, tổng hợp các chương trình đặt ra trên các trục toạ độ; có khả năng định vị, di chuyển các đối tượng vật chất; chi tiết, dao cụ, gá lắp ... theo những hành trình thay đổi đã chương trình hoá nhằm thực hiện các nhiệm vụ công nghệ khác nhau.*

- Theo tiêu chuẩn VDI 2860/BRD:
Robot là một thiết bị có nhiều trục, thực hiện các chuyển động có thể chương trình hóa và nối ghép các chuyển động của chúng trong những khoảng cách tuyến tính hay phi tuyến của động trình. Chúng được điều khiển bởi các bộ phận hợp nhất ghép kết nối với nhau, có khả năng học và nhớ các chương trình; chúng được trang bị dụng cụ hoặc các phương tiện công nghệ khác để thực hiện các nhiệm vụ sản xuất trực tiếp hay gián tiếp.
- Theo tiêu chuẩn GHOST 1980:
Robot là máy tự động liên kết giữa một tay máy và một cụm điều khiển chương trình hoá, thực hiện một chu trình công nghệ một cách chủ động với sự điều khiển có thể thay thế những chức năng tương tự của con người.
- Bên cạnh khái niệm robot còn có khái niệm robotic, khái niệm này có thể hiểu như sau:
Robotics là một ngành khoa học có nhiệm vụ nghiên cứu về thiết kế, chế tạo các robot và ứng dụng chúng trong các lĩnh vực hoạt động khác nhau của xã hội loài người như nghiên cứu khoa học - kỹ thuật, kinh tế, quốc phòng và dân sinh.
Robotics là một khoa học liên ngành gồm cơ khí, điện tử, kỹ thuật điều khiển và công nghệ thông tin. Nó là sản phẩm đặc thù của ngành cơ điện tử (mechatronics).
- V.v..
- Rôbốt CN thỏa mãn năm yếu tố sau:
 - ❖ Có khả năng thay đổi chuyển động
 - ❖ Có khả năng cảm nhận được đối tượng thao tác
 - ❖ Có số bậc chuyển động cao
 - ❖ Có khả năng thích nghi với môi trường hoạt động
 - ❖ Có khả năng hoạt động tương hỗ với đối tượng bên ngoài
- Đặc điểm:
 - ❖ Có khả năng thay đổi chuyển động
 - ❖ Có khả năng xử lý thông tin (biết suy nghĩ)
 - ❖ Có tính vạn năng
 - ❖ Có những đặc điểm của người và máy

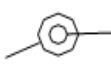




1.4. Phân loại robot.

1.4.1. Phân loại robot theo dạng hình học của không gian hoạt động.

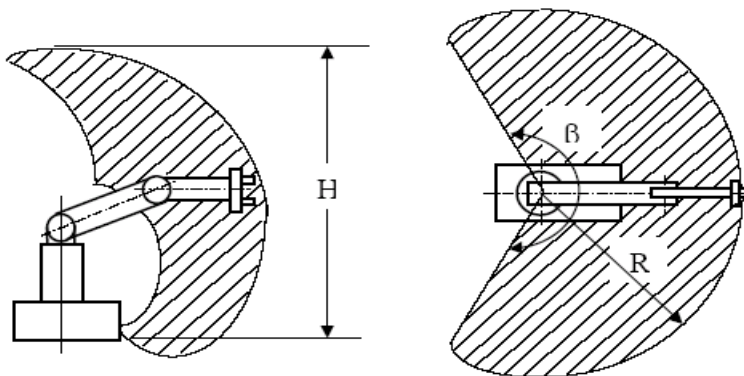
- Các khớp cơ bản được sử dụng:

ST	Tên Khớp	Kí Hiệu	Lược Đồ	Kết Cấu	Bậc tự do tương đối
T					
1	Khớp cầu	S			3
2	Khớp trượt	T			1

ROBOT CÔNG NGHIỆP

3	Khớp quay	R			1
4	Khớp trụ	C			2
5	Khớp ren	H			2

- Miền làm việc: là toàn bộ thể tích được quét bởi khâu chấp hành cuối khi robot thực hiện tất cả các chuyển động có thể.

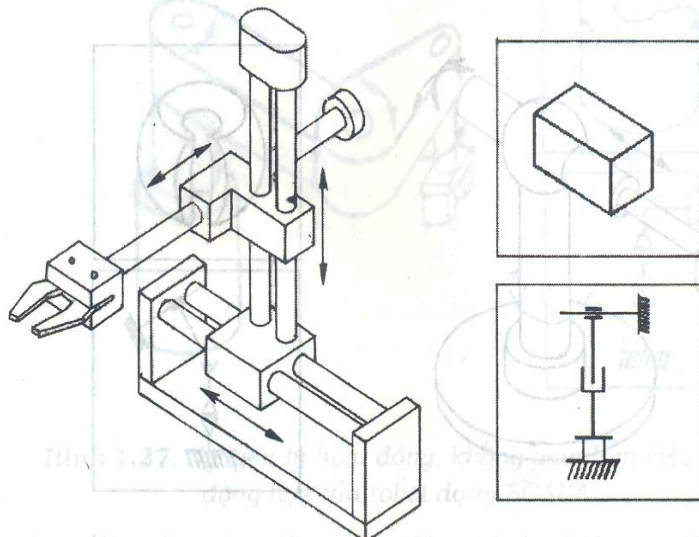


Hình chiếu đứng

Hình chiếu bằng

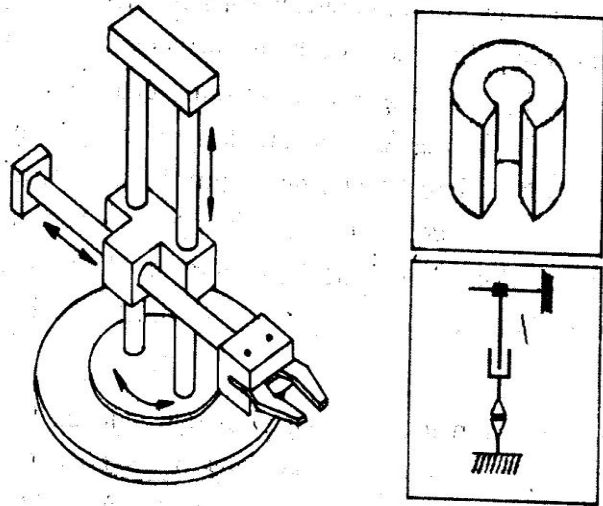
Hình 1.3 : Biểu diễn trường công tác của robot.

- Robot tọa độ vuông góc:
Có 3 bậc chuyển động tịnh tiến dọc theo ba trục vuông góc



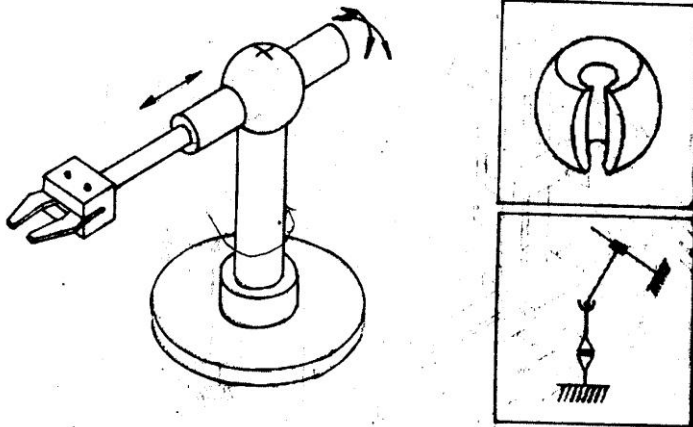
Hình 1.23: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot tọa độ vuông góc

- Robot tọa độ trụ:
Có 3 bậc chuyển động cơ bản gồm 2 CĐ tịnh tiến và 1 trục quay



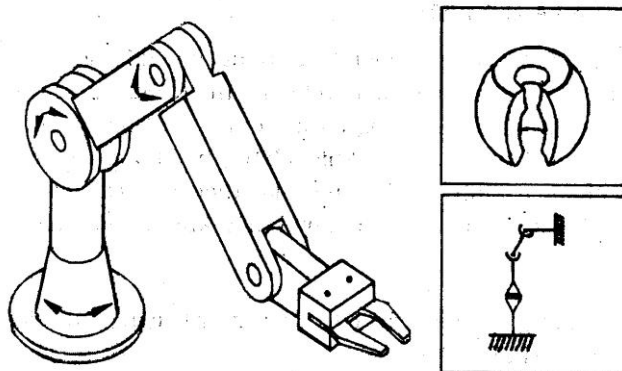
Hình 1.24: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot tọa độ trụ

- Robot tọa độ cầu:
Có 1 trục tịnh tiến và hai trục quay



Hình 1.25: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot tọa độ cầu

- Robot khớp bản lề:
Có 3 trục quay



Hình 1.26: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot liên kết bản lề

1.4.2. Phân loại robot theo thể hệ.

- Rôbốt thế hệ thứ nhất: bao gồm các dạng robot hoạt động lặp lại theo một chu trình không thay đổi, theo chương trình định trước (2 loại: không thể thay đổi hoặc có thể thay đổi).

Đặc điểm:

- ❖ Sử dụng tổ hợp cơ cấu cam với công tác hành trình
- ❖ Điều khiển vòng hở
- ❖ Có thể sử dụng băng từ hoặc băng đục lỗ để đưa chương trình vào bộ điều khiển, tuy nhiên không thay đổi chương trình được
- ❖ Sử dụng phổ biến trong công việc gấp – đặt
- Robot thế hệ thứ 2: robot với điều khiển theo chương trình nhưng có thể tự điều chỉnh hoạt động thích ứng với những thay đổi của môi trường thao tác (được trang bị cảm biến cho phép cung cấp tín hiệu phản hồi lại hệ thống điều khiển). Dạng robot với trình độ điều khiển này còn gọi là robot được điều khiển thích nghi cấp thấp

Đặc điểm:

- ❖ Điều khiển vòng kín các chuyển động của tay máy
- ❖ Có thể lựa chọn CT dựa trên tín hiệu phản hồi từ cảm biến
- ❖ Hoạt động của Rôbốt có thể lập trình được
- Robot thế hệ thứ 3: robot được trang bị những thuật toán xử lý các phản xạ logic thích nghi theo những thông tin và tác động của môi trường lên chúng, được trang bị hệ thống thu nhận hình ảnh trong điều khiển. Robot tự biết làm gì để hoàn thành công việc đã đặt ra cho chúng

Đặc điểm:

- ❖ Có đặc điểm như loại trên, được trang bị hệ thống thu nhận hình ảnh
- ❖ Có khả năng nhận dạng ở mức độ thấp
- Robot thế hệ thứ tư: robot sử dụng các thuật toán và cơ chế điều khiển thích nghi được trang bị bước đầu khả năng lựa chọn các đáp ứng tuân theo một mô hình tính toán xác định trước có ứng xử phù hợp với điều kiện của môi trường thao tác.

Đặc điểm:

- ❖ Có đặc điểm tương tự 2 loại trên, có khả năng tự động lựa chọn chương trình hoạt động và lập trình lại các hoạt động dựa trên các tín hiệu thu nhận từ cảm biến.
- ❖ Bộ điều khiển phải có bộ nhớ tương đối lớn
- Robot thế hệ thứ 5: là tập hợp các robot trí tuệ nhân tạo

Đặc điểm:

- ❖ Được trang bị các kỹ thuật của trí tuệ nhân tạo để ra quyết định và giải quyết các vấn đề và nhiệm vụ đặt ra cho nó.
- ❖ Được trang bị mạng Neuron có khả năng tự học.
- ❖ Được trang bị các thuật toán dạng Neuron Fuzzy/ Fuzzy Logic để tự suy nghĩ và ra quyết định cho các ứng xử

1.4.3. Phân loại robot theo hệ điều khiển.

- Robot gấp đặt: thường sử dụng nguồn dẫn động khí nén, bộ điều khiển phổ biến là bộ điều khiển lập trình (PLC) thực hiện điều khiển vòng hở. Robot hoạt động dựa vào các tín hiệu phản hồi từ các tiếp điểm giới hạn hành trình cơ khí đặt trên các trục máy
- Robot dẫn đường liên tục: sử dụng bộ điều khiển servo thực hiện điều khiển vòng kín. Hệ thống điều khiển liên tục là hệ thống trong đó robot được lập trình theo một đường chính xác. Đường dẫn được biểu diễn bằng một loạt các điểm rời rạc gần nhau và lưu vào trong bộ nhớ robot, sau đó robot thực hiện chính xác đường dẫn đó

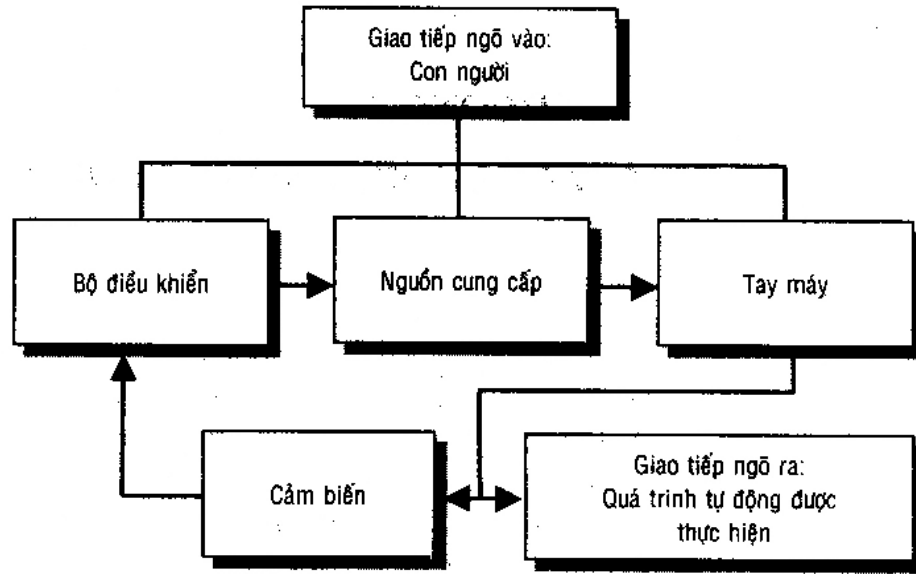
1.4.4. Phân loại robot theo nguồn dẫn động.

- Robot dùng nguồn cấp điện: nguồn DC, AC chuyển sang DC. Động cơ sử dụng là động cơ bước, động cơ DC, AC servo. Robot loại này có thiết kế gọn, chạy êm, định vị rất chính xác.
- Robot dùng nguồn khí nén: hệ thống cần được trang bị máy nén, bình chứa khí và động cơ kéo máy nén. Các xylanh khí nén thực hiện chuyển động quay và chuyển động thẳng được sử dụng. Robot loại này dùng trong các thao tác gắp đặt không cần độ chính xác cao.
- Robot dùng nguồn thủy lực: sử dụng dầu ép. Hệ thống cần trang bị bơm để tạo áp lực dầu. Các xy lanh thủy lực chuyển động thẳng và quay và động cơ dầu. Robot loại này dùng trong ứng dụng có tải trọng lớn.
- **Bảng phân loại Rôbốt:**

<u>Dấu hiệu phân loại</u>	<u>Tên gọi của tay máy</u>
<u>Theo số bậc chuyển động</u>	<u>Có hai, ba hoặc nhiều hơn ở dạng: Không di chuyển, Tự di chuyển</u>
<u>Theo số lượng tay máy</u>	<u>Một, hai hoặc nhiều tay máy</u>
<u>Theo tải trọng nâng của tay máy</u>	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Siêu nhẹ</u> - <u>Loại nhẹ</u> - <u>Loại trung</u> - <u>Loại nặng</u> - <u>Loại siêu nặng</u>
<u>Theo nguồn dẫn động của cơ cấu chấp hành</u>	<ul style="list-style-type: none"> - <u>khí nén</u> - <u>thủy lực</u> - <u>cơ điện</u> - <u>hỗn hợp</u>
<u>Theo hệ thống điều khiển, theo nguyên lý điều khiển</u>	<u>Với ĐK chương trình:</u> <ul style="list-style-type: none"> - <u>theo chu kỳ</u> - <u>theo vị trí</u> - <u>theo chu vi</u> - <u>hỗn hợp</u> <u>Với ĐK theo cảm nhận:</u> <ul style="list-style-type: none"> - <u>ĐK không thích nghi</u> - <u>ĐK thích nghi</u>
<u>Theo số Rôbốt được ĐK đồng thời</u>	<ul style="list-style-type: none"> - <u>ĐK riêng rẽ</u> - <u>ĐK theo nhóm</u>
<u>Theo độ chính xác</u>	<u>Các mức chính xác: 0,1,2,3</u>
<u>Theo kiểu bảo hiểm</u>	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Kiểu thông thường</u> - <u>Kiểu phòng bụi</u> - <u>Kiểu phòng nhiệt</u> - <u>Kiểu phòng nổ</u>

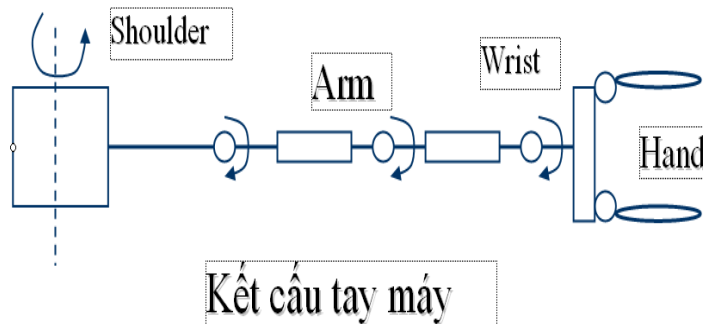
2. CẤU TẠO CHUNG CỦA ROBOT CÔNG NGHIỆP.(6 tiết)

- Các thành phần cơ bản: **Tay máy + Nguồn cung cấp + Bộ điều khiển**



2.1. Tay máy

- Tay Máy: (Manipulator) là cơ cấu cơ khí gồm các khâu, khớp. Chúng hình thành cánh tay(arm) để tạo các chuyển động cơ bản, Cổ tay (Wrist) tạo nên sự khéo léo, linh hoạt và bàn tay (Hand) hoặc phần công tác (End Effector) để trực tiếp hoàn thành các thao tác trên đối tượng.



2.1.1. Bậc tự do của tay máy

- Bậc tự do của tay máy là số khả năng chuyển động độc lập của nó trong không gian hoạt động

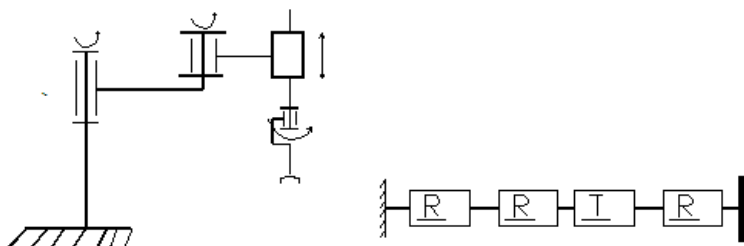
$$w = 6n - \sum_i^5 i.p_i$$

- Để nâng cao độ linh hoạt các tay máy phải có số bậc chuyển động cao, tuy nhiên không nên quá 6. Các bậc chuyển động được phân ra bậc chuyển động cơ bản(chuyển động định vị) và bậc chuyển động bổ xung (chuyển động định hướng).

Chuyển động cơ bản thường là chuyển động tịnh tiến hoặc chuyển động quay, Mỗi bậc chuyển động có nguồn dẫn động riêng

Chuyển động bổ xung: thường là các chuyển động quay nhằm tăng khả năng linh hoạt, đảm bảo cho khâu chấp hành cuối hoàn thành nhiệm vụ.

- ví dụ: $w = 6.4 - (3.5 + 1.5) = 4$



2.1.2. Tay máy tọa độ vuông góc

- Ưu điểm:
 - ❖ Không gian làm việc lớn
 - ❖ HT điều khiển đơn giản
 - ❖ Dành diện tích sàn lớn cho công việc khác
- Nhược điểm:
 - ❖ Việc thay đổi không thích hợp về không gian
 - ❖ Duy trì cơ cấu dẫn động và thiết bị điều khiển gặp nhiều khó khăn

2.1.3. Tay máy tọa độ trụ.

- Ưu điểm:
 - ❖ Có khả năng CD ngang và sâu vào các máy sản xuất
 - ❖ Cấu trúc theo chiều dọc để lại nhiều khoảng trống cho sàn
 - ❖ Kết cấu vững chắc, có khả năng mang tải lớn
 - ❖ Khả năng lặp lại tốt
- Nhược điểm:
 - Giới hạn tiến phía trái và phía phải

2.1.4. Tay máy tọa độ cầu.

- Độ cứng vững của loại tay máy này thấp hơn hai loại trên và độ chính xác định vị phụ thuộc vào tầm với .

2.1.5. Tay máy toàn khớp bản lề và SCARA

- Tay máy toàn khớp bản lề có cả ba khớp đều là khớp quay, trong đó trục thứ nhất vuông góc với hai trục kia. Do sự tương tự với tay người, khớp thứ hai được gọi là khớp vai, khớp thứ ba gọi là khớp khuỷu nối cẳng tay với khuỷu tay. Với kết cấu này không có sự tương ứng giữa khả năng chuyển động của các khâu và số bậc tự do. Tay máy làm việc rất khéo léo, nhưng độ chính xác định vị phụ thuộc vị trí của phần công tác trong vùng làm việc.
- Tay máy Scara được đề xuất dùng cho công việc lắp ráp. Đó là một kiểu tay máy có cấu tạo đặc biệt, gồm hai khớp quay và một khớp trượt, nhưng cả ba khớp đều có trục song song với nhau. Kết cấu này làm tay máy cứng vững hơn theo phương thẳng đứng nhưng kém cứng vững theo phương được chọn là phương ngang. Loại này chuyên dùng cho công việc lắp ráp với tải trọng nhỏ theo phương đứng. Từ Scara là viết tắt của “selective

compliance assembly robot arm” để mô tả các đặc điểm trên. Vùng làm việc của Scara là một phần của hình trụ rỗng.

2.1.6. Cổ tay máy

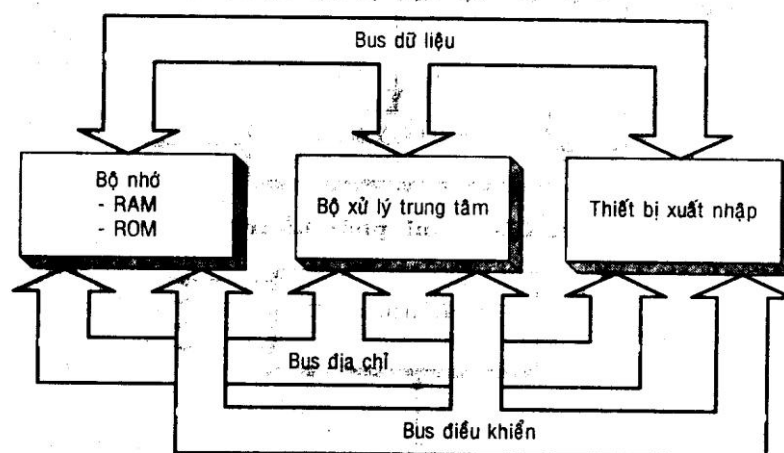
- Cổ tay máy thường có ba bậc tự do là 3 chuyển động định hướng dạng 3 chuyển động quay quanh 3 trục vuông góc gồm:
 - ❖ Chuyển động xoay cổ tay(Roll)
 - ❖ Chuyển động gập cổ tay (Pitch)
 - ❖ Chuyển động lắc cổ tay (Yaw)

2.1.7. Chế độ hoạt động của Robot

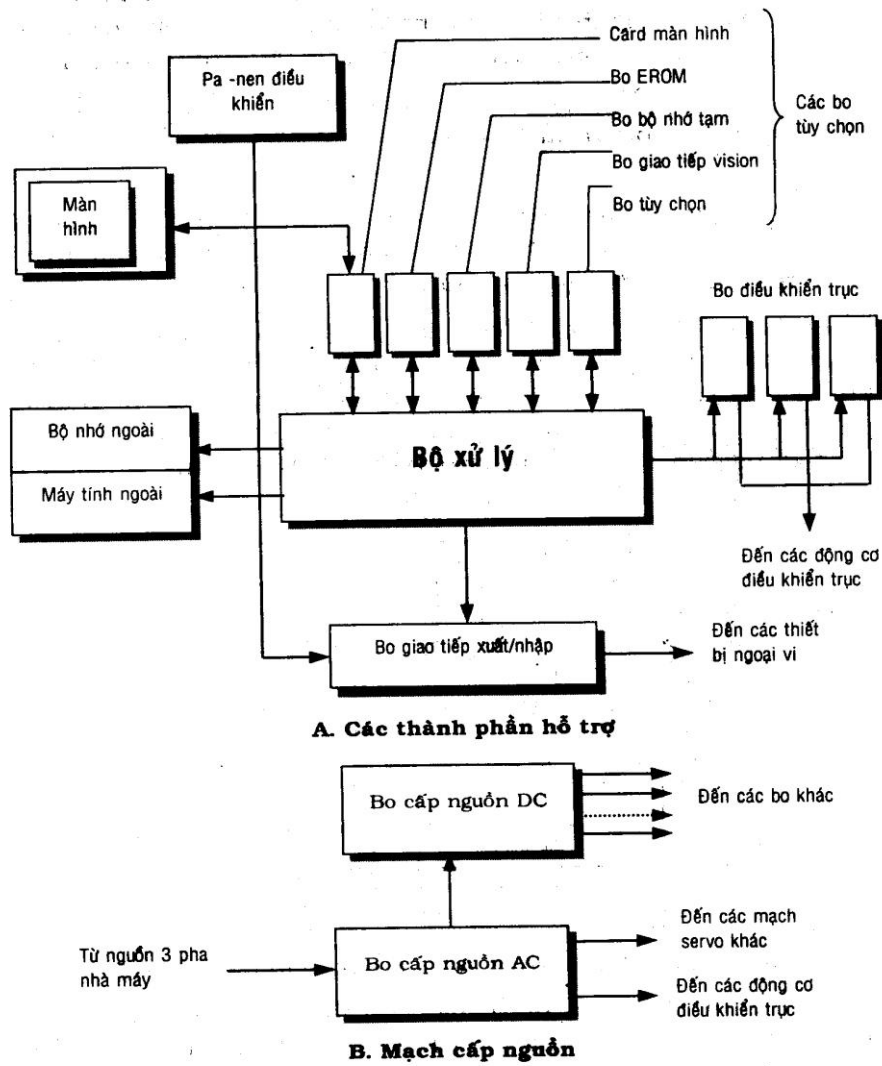
- Chế độ huấn luyện: còn gọi là chế độ lập trình. Các bước lập trình được nhập vào bộ điều khiển robot bằng những công cụ khác nhau. Mỗi bước chương trình, tọa độ các khâu sẽ được lưu lại nhằm cho phép tạo thành một chuỗi các bước tuần tự để khâu tác động cuối di chuyển trên quỹ đạo dự kiến. Toàn bộ các bước thao tác được ghi vào bộ nhớ , sau đó tay máy hoạt động lại toàn bộ chu trình thao tác để kiểm tra.
- Chế độ tự động: khi có tín hiệu khởi động, dựa theo dữ liệu của chương trình gồm các bước tuần tự lưu trong bộ nhớ đã thiết lập trong chế độ huấn luyện, tay máy sẽ tự động thực hiện chương trình quỹ đạo.

2.2. Bộ điều khiển Robot

- Bộ điều khiển robot bao gồm bộ xử lý trung tâm, bộ nhớ và bộ xuất nhập kết hợp với màn hình hiển thị các lệnh và đồng thời theo dõi sự thay đổi tọa độ trong dịch chuyển của khâu. Toàn bộ các phần trên bố trí trong tủ điều khiển chính và sắp xếp theo từng môđun gồm các bo mạch điện tử. Ngoài ra còn có thể có bộ teach pendant điều khiển trực tiếp robot trong chế độ huấn luyện và bộ điều khiển mô phỏng hỗ trợ cho công việc lập trình



Hình 2.17: Bộ điều khiển robot theo cấu trúc PC-based



Hình 2.18: Các thành phần đầy đủ của một bộ điều khiển robot

2.2.1. Bộ xử lý trung tâm

- Trung tâm của bộ điều khiển là CPU chịu trách nhiệm quản lý thông tin về bộ nhớ, quản lý xuất nhập, xử lý thông tin tính toán và điều khiển từng trục của robot từ đó thực hiện các thuật toán điều khiển và đưa ra các tín hiệu điều khiển cho bộ phận chuyển đổi tín hiệu.
- Các trường hợp cụ thể:
 - ❖ Dùng nguyên một máy tính nhỏ
 - ❖ Dùng các môđun mạch máy tính đã có sẵn
 - ❖ Sử dụng bộ vi xử lý 8 hoặc 16 bit làm nền tảng cho một CPU
 - ❖ Sử dụng một máy tính riêng giao tiếp với bộ điều khiển của robot
 - ❖ Dùng hệ thống mạng của các bộ vi xử lý 8 hay 16 bit liên kết lại với nhau bằng phần cứng và phần mềm để thực hiện công việc của CPU.

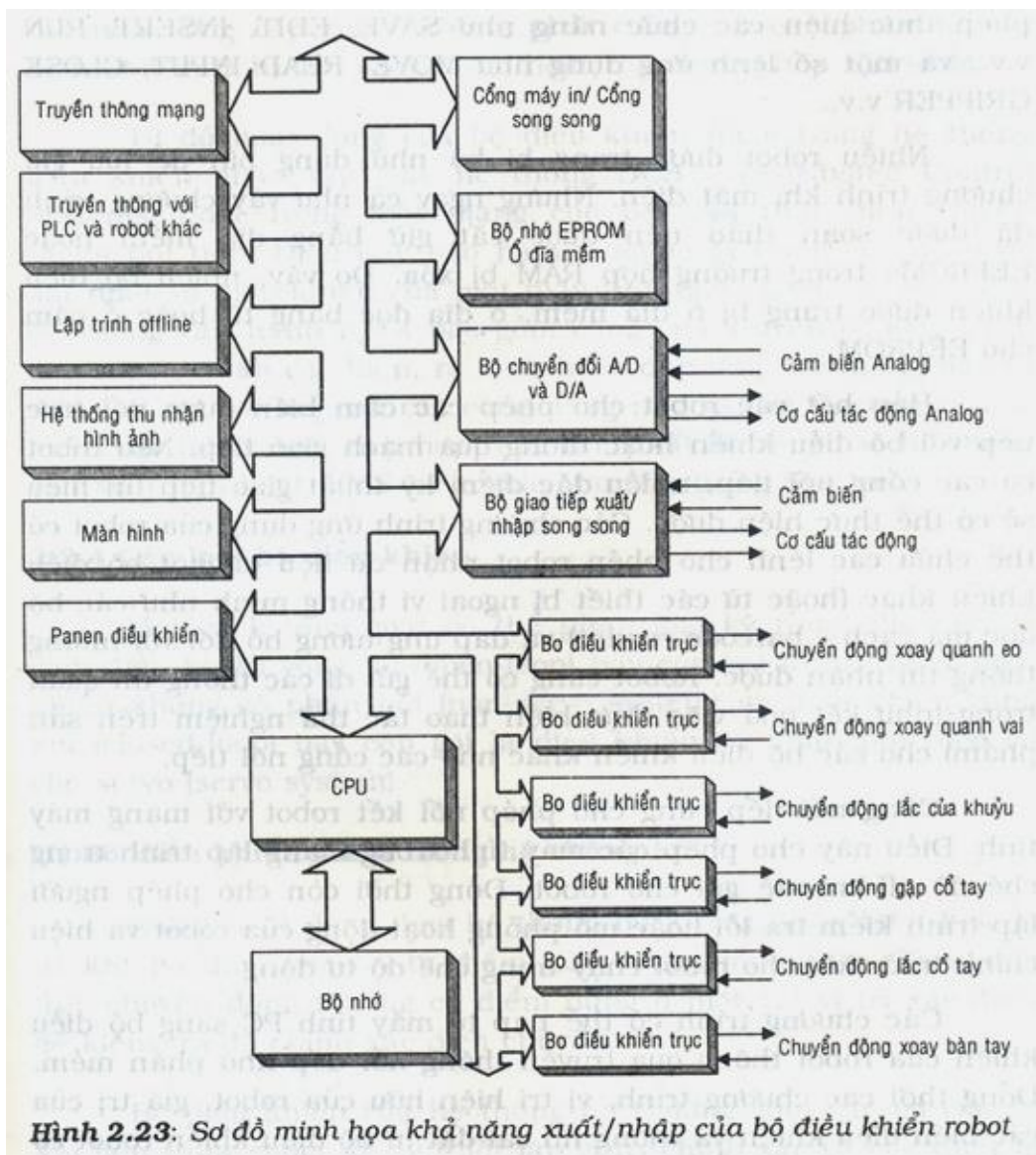
2.2.2. Bộ nhớ

- Bộ nhớ dùng để lưu giữ những chương trình và thông tin phản hồi từ môi trường thao tác.

Địa chỉ	Nội dung bộ nhớ	Loại bộ nhớ
\$FFFFF	Chương trình quản lý vào/ra (trao đổi dữ liệu với thiết bị vào/ra)	ROM
	Chương trình điều khiển servo (xác định vị trí, vận tốc, momen của phần chấp hành)	
	Chương trình quản lý chuyển động (cung cấp setpoints cho các chương trình điều khiển, tọa độ cho các trục để điều khiển theo quỹ đạo liên tục)	
	Chương trình điều hành hệ thống (dịch và thi hành chương trình của người dùng)	
\$00000	Các chương trình ứng dụng (dịch và thi hành chương trình của người dùng)	RAM
	Các chương trình của người dùng	
	Quỹ đạo được dạy theo kiểu Teach-in	
	Giá trị các biên hiện thời	
	Các thông số điều khiển được thiết đặt	
	
	Dành riêng cho computer	
\$00000	Thiết bị vào / ra (dùng cho một số máy tính như bộ nhớ)	Phần cứng

2.2.3. Bộ xuất nhập

- Bộ xuất nhập dùng để đưa chương trình vào bộ xử lý và kiểm tra , theo dõi hoạt động trong quá trình thao tác.
- Cấu hình bộ xuất nhập thường bao gồm bàn phím, màn hình, các bo mạch được bố trí các cổng giao tiếp xuất nhập dạng nối tiếp hoặc song song và pa-nen điều khiển cũng được xem là một phần của bộ xuất nhập.

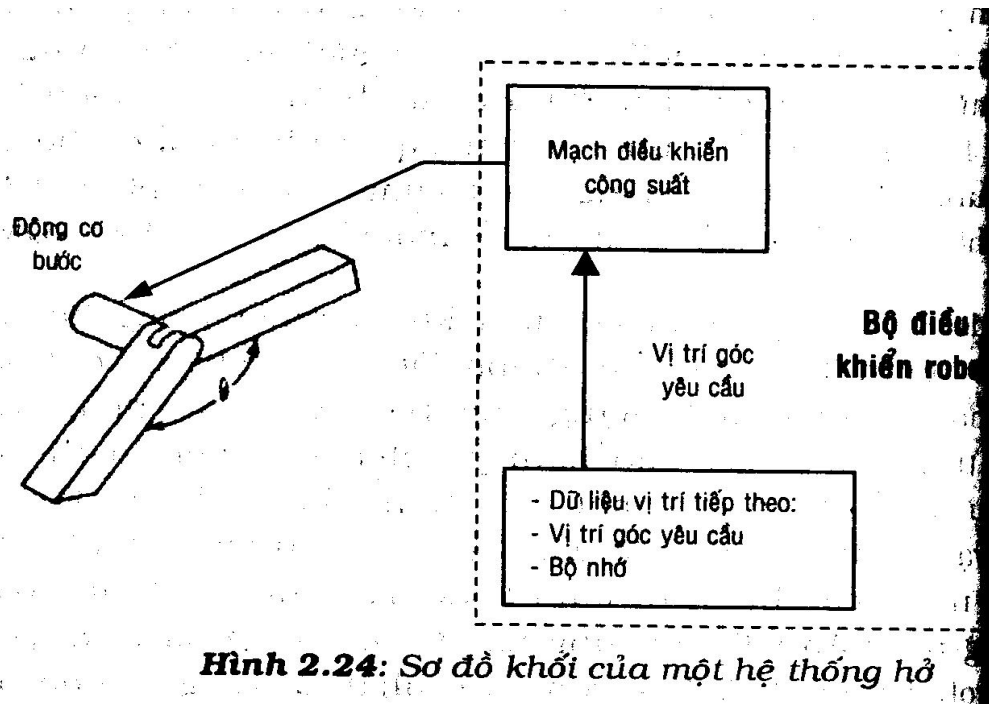


2.2.4. Các loại bộ điều khiển

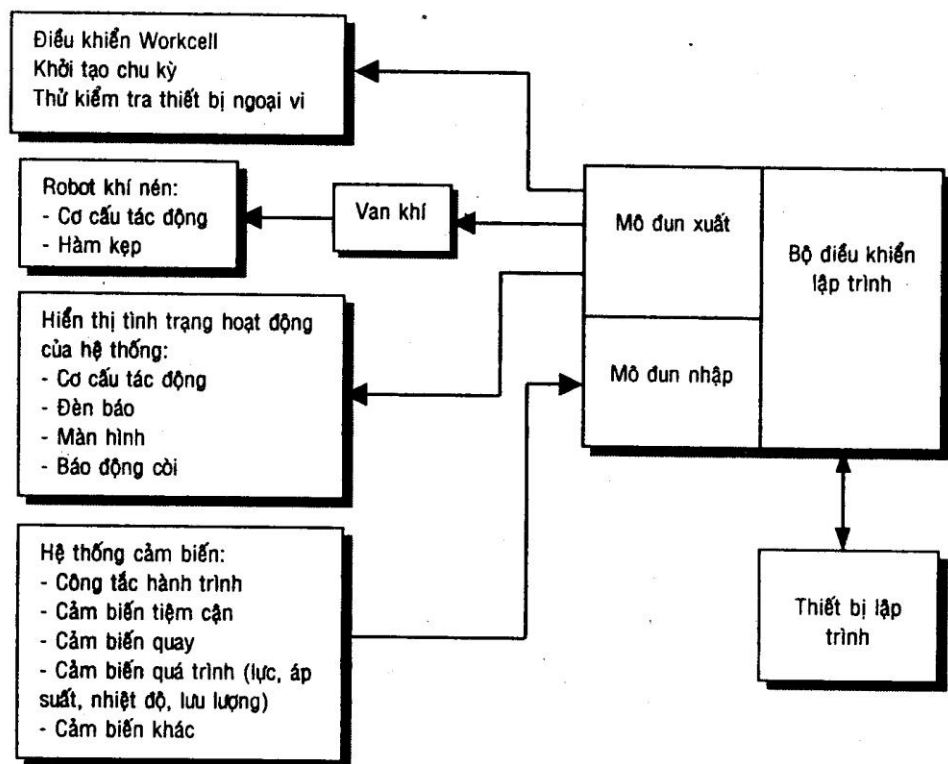
2.2.4.1. Bộ điều khiển robot trong hệ thống hở.

- Điều khiển vòng hở (open-loop) hay còn gọi là hệ thống điều khiển không có phản hồi (non-servo system). Điều khiển hở, dùng truyền động bước (động cơ điện hoặc động cơ thủy lực, khí nén,..) mà quãng đường hoặc góc dịch chuyển tỷ lệ với số xung điều khiển. Kiểu này đơn giản, nhưng đạt độ chính xác thấp.
- Robot hoạt động theo hệ thống hở không nhận biết được vị trí khi nó dịch chuyển từ điểm này sang điểm khác. Trên mỗi trục chuyển động thường có điểm dừng ở một vài vị trí xác định để kiểm tra độ chính xác dịch chuyển.
- Bộ điều khiển thường gồm các cơ cấu cơ khí dùng thiết lập vị trí chính xác và các thiết bị bên ngoài xử lý và truyền dẫn tín hiệu cho các cơ cấu tác động đảm bảo cho việc tuần tự các dịch chuyển. Bao gồm:
 - ❖ Cữ chặn hạn chế hành trình cố định.
 - ❖ Cữ chặn hạn chế hành trình có thể điều chỉnh vị trí.
 - ❖ Công tắc hạn chế hành trình.
 - ❖ Động cơ bước có góc quay tùy vào số xung cấp.
 - ❖ Thiết bị đảm bảo sự tuần tự của robot

- ❖ Bộ lập trình trong.
- ❖ Logic khí nén và các phần tử logic khí nén.



Hình 2.24: Sơ đồ khối của một hệ thống hồ



Hình 2.25: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển kiểu vòng hở kết hợp với các công tắc hành trình

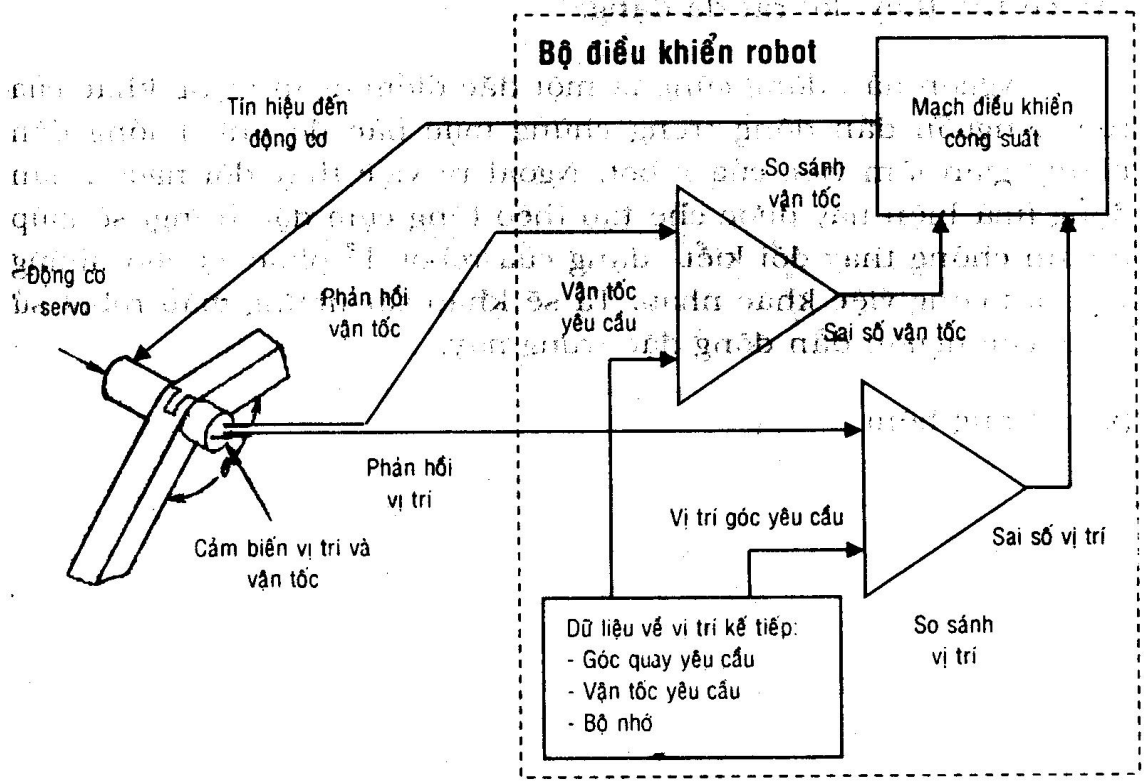
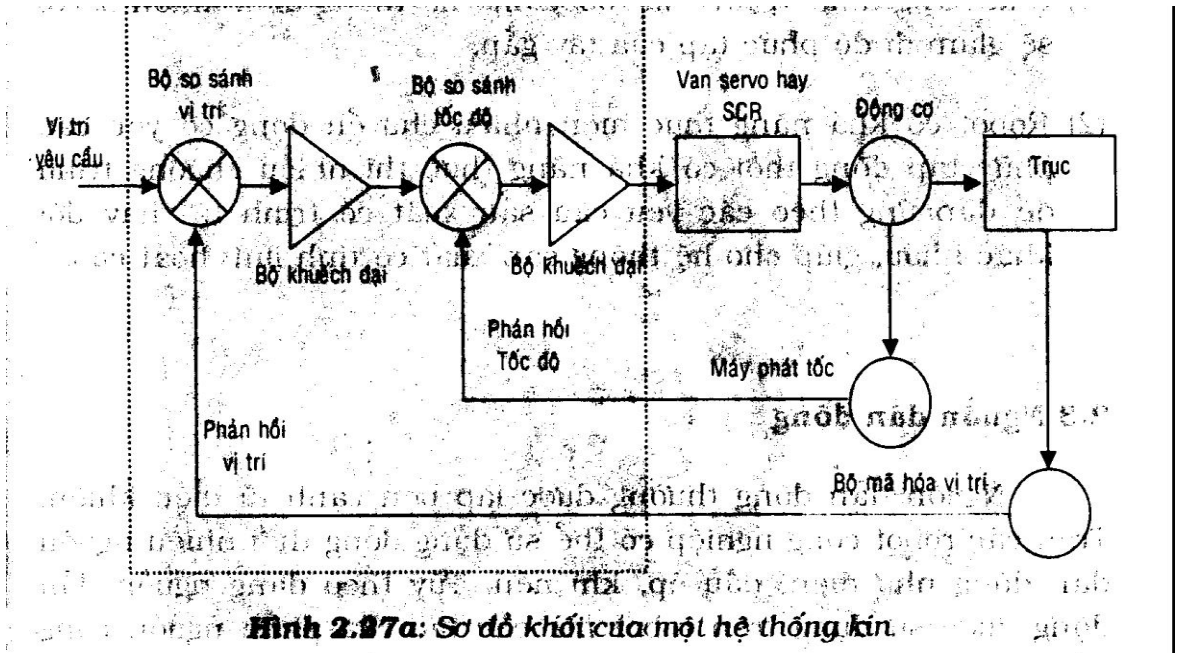
2.2.4.2. Bộ điều khiển robot trong hệ thống điều khiển kín.

- Điều khiển vòng kín (closed-loop) hay còn gọi là điều khiển có phản hồi theo cơ chế servo (servo system). Điều khiển kín (điều khiển kiểu servo), sử dụng tín hiệu phản hồi

ROBOT CÔNG NGHIỆP

vị trí để tăng độ chính xác điều khiển. Có 2 kiểu điều khiển servo: điều khiển điểm - điểm và điều khiển theo đường (contour).

- Với kiểu điều khiển điểm - điểm, phân công tác dịch chuyển từ điểm này đến điểm kia theo đường thẳng với tốc độ không cao (không làm việc). Nó chỉ làm việc tại các điểm dừng. Kiểu điều khiển này được dùng trên các robot hàn điểm, vận chuyển, tán đinh, bắn đinh,...
- Điều khiển contour đảm bảo cho phân công tác dịch chuyển theo quỹ đạo bất kỳ, với tốc độ có thể điều khiển được. Có thể gặp kiểu điều khiển này trên các robot hàn hồ quang, phun sơn.



2.3. Nguồn dẫn động

2.3.1. Truyền động thủy lực

- Ưu điểm:
 - ❖ Lực nâng lớn
 - ❖ Tốc độ chạy êm
 - ❖ Có thể khóa cứng khớp tại vị trí xác định (không nén được)
 - ❖ Sử dụng cho ĐK Servo rất tốt
 - ❖ Tự bôi trơn và làm mát
 - ❖ Hoạt động có thể dừng quá tải không làm hư hỏng HT
 - ❖ Đáp ứng nhanh
 - ❖ An toàn ở áp suất cháy nổ
 - ❖ Tác động êm ở tốc độ thấp
- Hạn chế:
 - ❖ Chi phí cao
 - ❖ Không thích hợp cho cơ cấu quay với tốc độ nhanh
 - ❖ Cần có đường hồi dầu
 - ❖ Kích thước lớn do áp suất và tốc độ dầu cao
 - ❖ Nguồn dẫn không phổ biến
 - ❖ Chi phí chế tạo và bảo trì cao (rò rỉ...)

2.3.2. Truyền động khí nén.

- Ưu điểm:
 - ❖ Giá thành không cao
 - ❖ Khí thải không gây nhiễm môi trường
 - ❖ Nguồn dẫn khí nén phổ biến trong công nghiệp
 - ❖ Phù hợp dạng Modul
 - ❖ Cơ cấu tác động có thể dừng mà không hư hỏng
- Nhược điểm:
 - ❖ Giới hạn sự điều khiển và độ chính xác
 - ❖ Gây ồn
 - ❖ Gây trở ngại cho HT khi bị rò rỉ
 - ❖ Khó điều chỉnh tốc độ
 - ❖ Phải sử dụng bộ lọc

2.3.3. Truyền động điện cơ.

- Ưu điểm:
 - ❖ Tác động nhanh và chính xác
 - ❖ Áp dụng được KTĐK phức tạp
 - ❖ Giá thành không cao
 - ❖ Thời gian triển khai HT mới nhanh
 - ❖ Mô men quay cao, trọng lượng giảm và đáp ứng nhanh
- Nhược điểm:
 - ❖ Bản chất đã là tốc độ cao
 - ❖ Khe hở bánh răng làm giảm độ chính xác
 - ❖ Gây quá nhiệt khi quá tải

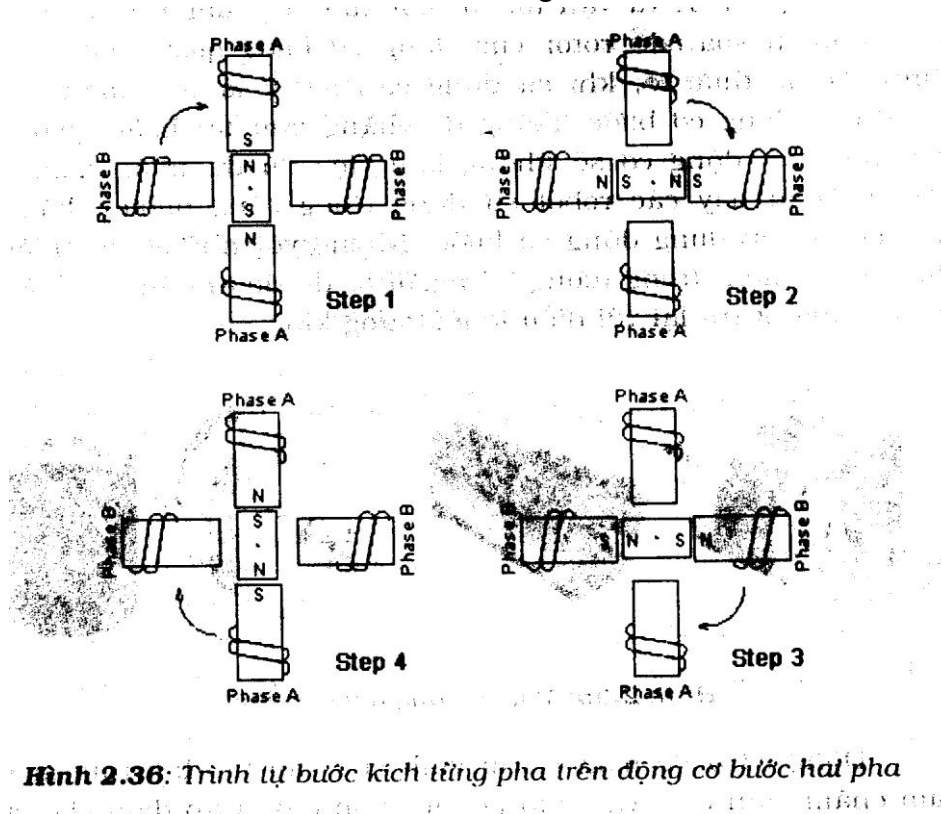
- ❖ Cần sử dụng phanh để ghim vị trí và khớp
- Các loại động cơ:

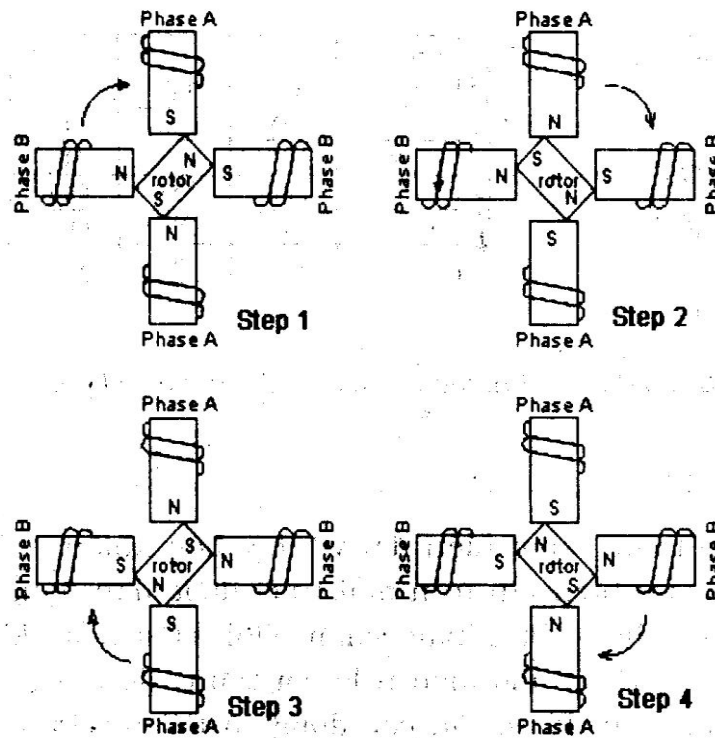
- ❖ **Động cơ bước**

Động cơ bước sử dụng trong điều khiển vòng hở, không cần trang bị cảm biến để phản hồi về vị trí và vận tốc vì mỗi xung tác động đã được thiết kế và kiểm soát để rotor của động cơ bước quay một góc xác định.

Nếu mô men của động cơ bước không đủ thắng phụ tải hoặc quán tính của phụ tải, động cơ sẽ không làm việc dù đã nhận được xung điều khiển.

Động cơ bước nam châm vĩnh cửu: rotor là nam châm vĩnh cửu, stato là cuộn dây. Vùng từ trường được tạo ra bằng cách cấp điện cho cuộn stato, từ trường thay đổi được bằng cách kích hoạt theo trình tự hoặc kích từng bước cuộn stato





Hình 2.37: Trình tự bước kích hai pha trên động cơ bước hai pha

❖ **Động cơ DC**

Động cơ DC tạo mômen tỷ lệ với cường độ dòng điện nhận được từ nguồn cấp. Các động cơ DC truyền thống có roto nhẹ để gia tốc nhanh nhưng hạn chế là không chịu được dòng cao. Để giải quyết vấn đề này người ta sử dụng các động cơ tác động nhanh với phản ứng nhẹ và sử dụng hộp giảm tốc có tỉ số truyền hợp lý để cân bằng tối ưu giữa mômen và gia tốc.

Có 2 loại động cơ DC: có chổi than và không có chổi than.

Hạn chế của động cơ DC servo có chổi than là cuộn dây phần ứng cần có chổi than để tạo các tiếp điểm cấp điện từ bộ điều khiển. Chổi than có thể bị mòn do tiếp xúc, phát sinh tia lửa điện, dòng và điện áp cấp bị giới hạn, momen quán tính của roto lớn, động cơ thoát nhiệt khó khăn vì phần lớn nhiệt độ xuất phát từ phần ứng.

Những hạn chế này được khắc phục ở động cơ DC không có chổi than. Roto của động cơ không có chổi than là một nam châm vĩnh cửu, cuộn dây là stato, và một mạch điện tử thay thế chổi quét. Sự thoát nhiệt ở stato hầu như toàn bộ thông qua vỏ động cơ. Việc bỏ cuộn dây và chổi than làm giảm momen của roto và cho phép tốc độ động cơ cao hơn. Với mạch điện thay thế chổi than cho phép cấp điện có dòng và điện áp cao hơn vào cuộn dây. Stato là cuộn dây 2 pha hoặc 3 pha. Bộ điều khiển động cơ DC servo không chổi than dùng một bộ khuếch đại dòng điều biến độ rộng xung để tạo ra dòng điện ba pha hình sin trong cuộn stato

❖ **Động cơ AC**

Được sử dụng trên HT có công suất nhỏ.

Ưu điểm chính của động cơ AC so với động cơ DC là khả năng dùng ngõ ra đồng bộ AC, loại cảm biến biến thế vi sai và các thiết bị đo AC khác mà không cần giải điều biến tín hiệu sai lệch

Là động cơ AC cảm ứng thuận nghịch hai pha đã được cải tiến để phù hợp với các tác vụ servo.

Gồm Rôto cảm ứng và 2 cuộn dây tạo từ trường đặt lệch 90 độ. Một cuộn tạo từ trường chuẩn cố định. Một cuộn tạo từ trường điều khiển

2.3.4. Truyền động hỗn hợp

- Kết hợp những ưu điểm của các truyền động khác để tạo ra Rôbot có độ chính xác cao.

2.4. Các dạng điều khiển tay máy

2.4.1. Đường dẫn từng đoạn.

- Đây là kiểu điều khiển không có phản hồi sử dụng các cỡ chặn hoặc các công tắc hành trình, số điểm lập trình cho mỗi trục thường là 2 (điểm đầu và điểm cuối). Các robot thế hệ đầu hay sử dụng kiểu điều khiển này

2.4.2. Đường dẫn theo điểm.

- Sử dụng pa-nen điều khiển cho chế độ huấn luyện.
- Từng trục được điều khiển độc lập đến các điểm trong chương trình công nghệ, người lập trình sẽ lưu lại tọa độ các điểm này vào bộ nhớ. Bộ điều khiển sẽ tính toán, xử lý vị trí của tay máy với các tọa độ suy rộng- các dịch chuyển góc thể hiện qua các góc quay φ_i hoặc thẳng thể hiện qua các hành trình s_i của các trục thay cho tọa độ đề-các.
- Số điểm lập trình cho mỗi bậc tự do thường từ vài chục đến vài trăm. Ngoài ra tuy là dạng điều khiển từ điểm tới điểm nhưng chuyển động của một số khâu trên tay máy có thể được thực hiện đồng thời. Đa số robot làm việc tốt ở chế độ điều khiển theo điểm. Trong chế độ điều khiển này, chuyển động chỉ yêu cầu đạt tới vị trí mục tiêu, không quan tâm đến quá trình trung gian.
- Kiểu điều khiển liên kết chuyển động đồng thời các trục yêu cầu sao cho các trục đồng thời dịch chuyển và đồng thời kết thúc. Bộ điều khiển phải tính toán tốc độ vận hành của các trục, đồng thời xác định gia tốc chuyển động sao cho vận tốc các trục đạt giá trị lớn nhất ở giữa hành trình chuyển động của từng trục, sau đó giảm tốc ở nửa hành trình còn lại để đồng thời dừng cùng lúc. Công việc trên đây được thực hiện nhờ cơ chế nội suy.
- Tùy theo dung lượng bộ nhớ và có thể chứa nhiều chương trình khác nhau, nhờ đó robot có thể nhanh chóng thay đổi được các chuyển động của nó.
- Đặc điểm : chương trình tương đối lớn nhưng thời gian và công sức bỏ ra cho việc lập trình không quá lâu theo phương thức đã mô tả. Điểm hạn chế chính là thiếu sự điều khiển theo đường thẳng

2.4.3. Đường dẫn liên tục.

- Đường dẫn liên tục là tập hợp những điểm nằm kế nhau.
- Sử dụng bộ lập trình trên thiết bị mô phỏng (simulator) lập trình theo cách dặt mũi (lead-by-nose) hay bàn phím để kiểm soát vị trí của tay máy.
- Các robot có đường dẫn liên tục có thể có các điểm nhận được khi lập trình trong chế độ huấn luyện, trên một đường dịch chuyển được đưa vào bộ nhớ. Sau đó các điểm nút- các điểm có tọa độ đã được lưu vào bộ nhớ sẽ được đưa ra tuần tự bởi bộ điều khiển robot cho các trục của robot khi thực hiện chương trình.
- Robot có thể thường xuyên được điều khiển để thực hiện những đoạn dịch chuyển thẳng hoặc theo cung tròn từ nút này sang nút khác. Trong chế độ huấn luyện, nút ghi chương trình hoạt

động đồng thời với sự dịch chuyển, tốc độ ghi của bộ điều khiển từ 6 điểm/giây trở lên, điều này đòi hỏi dung lượng bộ nhớ lớn.

- Loại này tạo ra chuyển động êm không bị dừng ở mỗi điểm nút đồng thời giảm tối thiểu việc bị lệch hướng khỏi đường dịch chuyển mà robot đã học trong chế độ huấn luyện

2.4.4. Đường dẫn điều khiển.

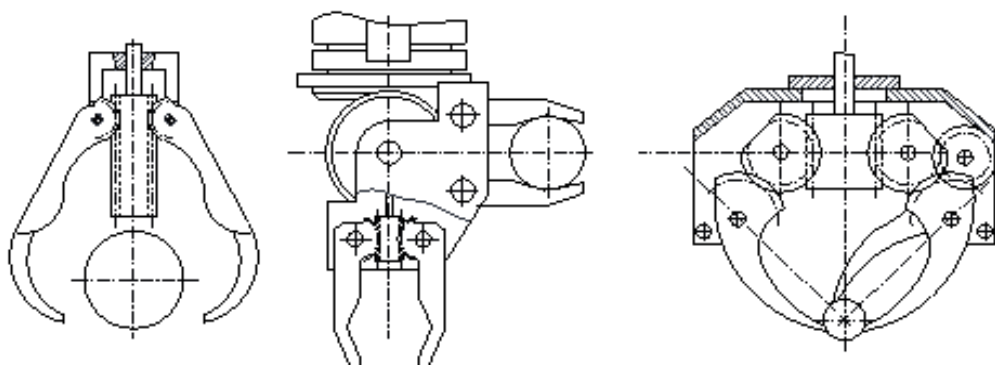
- Là hệ thống điều khiển theo điểm được trang bị thêm khả năng kiểm soát vị trí của tay gấp và các vị trí trung gian khi tay gấp dịch chuyển giữa các điểm lập trình. Người ta lập trình cho hệ thống này như đối với robot điều khiển theo điểm. Điểm khác nhau là chương trình quỹ đạo được thực thi khi đó là chuyển động thẳng giữa 2 điểm lập trình. Vận tốc góc trong dịch chuyển của các trục được điều khiển sao cho tỉ lệ thuận với giá trị của góc quay.
- Các lệnh điều khiển chuyển động giúp cho bộ điều khiển tính toán một loạt các điểm tạm thời hoặc trung gian giữa các vị trí hiện tại với vị trí phải dịch chuyển đến. Các vị trí trung gian sẽ được cung cấp tuần tự cho các bộ điều khiển servo của từng trục.
- Hầu hết các robot có đường dẫn điều khiển thực hiện được việc nội suy đường thẳng (ngoài ra còn có một số thực hiện kiểu nội suy tinh vi hơn như nội suy cung tròn, parabol, xoắn ốc...)

2.5. Tay gấp

- Chức năng: giữ chi tiết hoặc mang dụng cụ tác động lên chi tiết. Chức năng phụ thuộc vào công dụng của Rôbốt: gấp, kẹp, sơn, hàn...
- Tính chất:
 - ❖ Có khả năng kẹp, nâng và thả chi tiết
 - ❖ Cảm nhận được chi tiết trong tay gấp
 - ❖ Trọng lượng phải nhỏ nhất
 - ❖ Giữ được chi tiết trong mọi trường hợp: V tối đa, mất năng lượng cung cấp
 - ❖ Đơn giản nhưng có độ tin cậy cao
- **Sự bảo toàn chỉ số thông minh của công việc (Job IQ):**
Định luật bảo toàn tồn tại trong các hệ vật lý: “Trong một hệ cô lập, tổng năng lượng ở các dạng là hằng số. Nếu năng lượng ở dạng này tăng lên thì năng lượng ở dạng kia giảm xuống để tổng năng lượng trong hệ không đổi”. Người ta vận dụng khái niệm này vào việc lựa chọn hệ thống có sử dụng robot để thiết kế và lựa chọn bộ phận công tác.
Chỉ số thông minh của robot phải phù hợp với tính chất công việc cũng như phù hợp với giá thành sản phẩm.
- **Tay gấp chuẩn:** là bộ phận công tác phổ biến nhất, thường được chia làm hai loại dựa theo chuyển động kẹp khác nhau: song song và xoay một góc.
Theo chương trình lập trình trước bộ điều khiển sẽ cung cấp tín hiệu tác động vào các nguồn dẫn động để tạo ra các tác động kẹp, nhả.
Phân loại: tay gấp thường mở, tay gấp thường kẹp, tay gấp có nguồn tác động hai chiều.

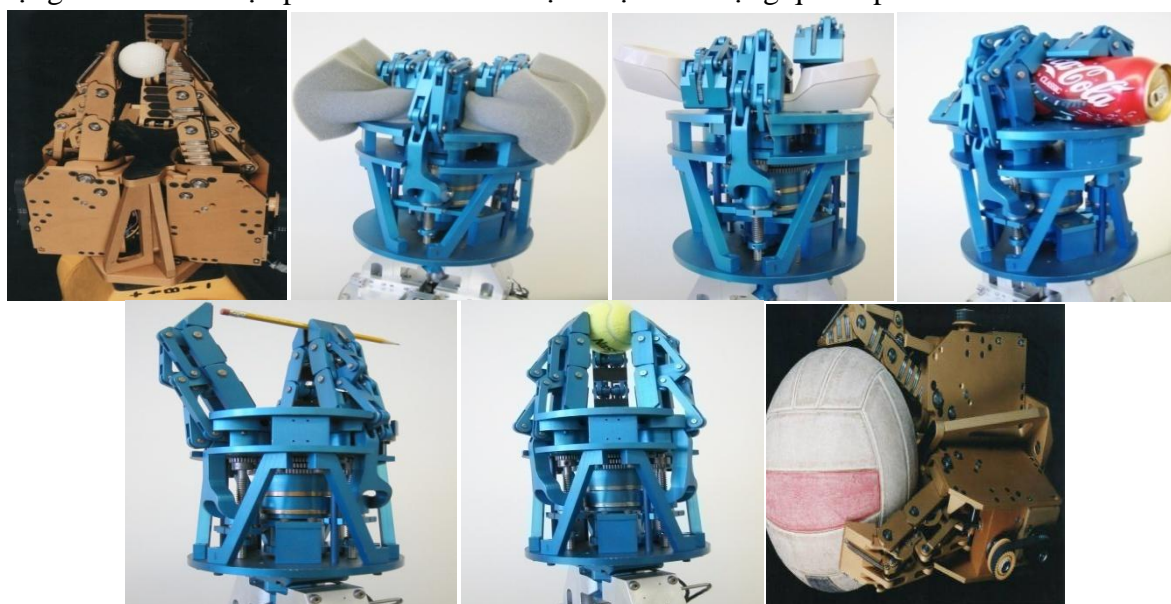
2.5.1. Phân loại tay gấp theo nguồn dẫn động

- **Tay gấp sử dụng động cơ điện**



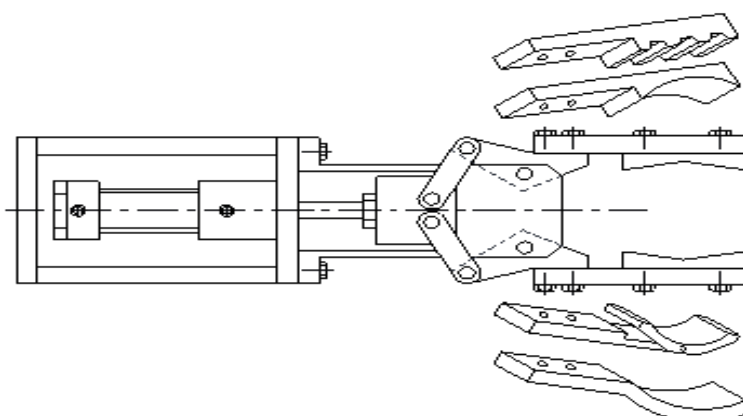
- **Tay gắp dùng hệ tác động servo**

Loại này được sử dụng khi người ta phát triển tay gắp có thể thay đổi áp suất kẹp lên đối tượng. Cảm biến được phát triển để cảm nhận được đối tượng qua tiếp xúc.



- **Tay gắp sử dụng khí nén**

Tay gắp dùng nguồn khí nén thường được sử dụng trong các ứng dụng nhả và kẹp nhanh, lực kẹp không lớn.



- **Tay gắp sử dụng thủy lực**

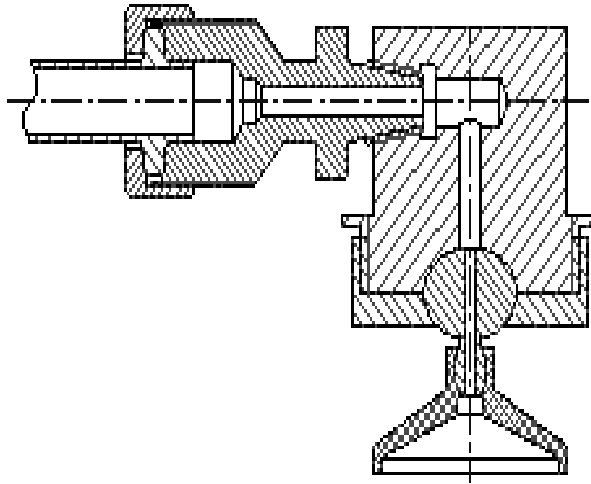
Tay gắp dùng nguồn thủy lực dùng khi cần lực kẹp lớn, tải nặng.

- **Tay gắp sử dụng chân không**

Dạng này được sử dụng khá phổ biến trong ngành công nghiệp nhẹ.

Các dạng hút chân không thông dụng: phễu hút, bề mặt hút, ống giác hút chân không.

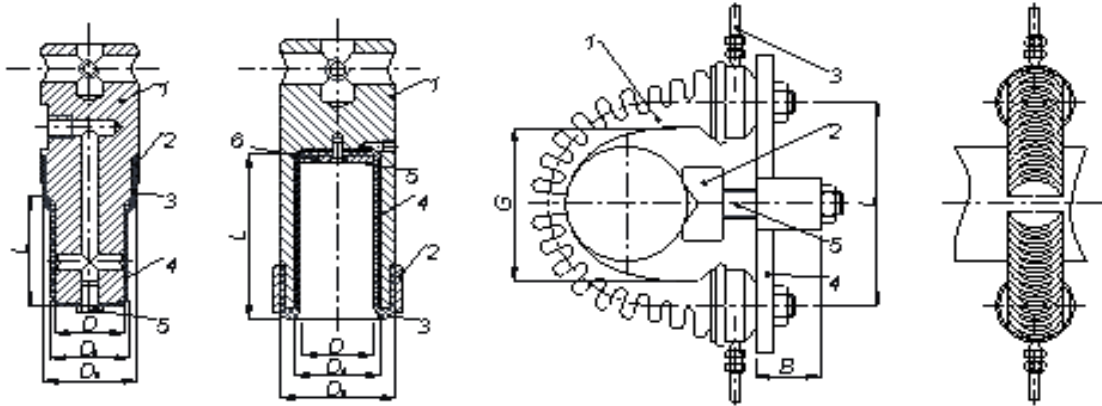
Để tăng lực nâng có thể sử dụng phương pháp tăng diện tích tiếp xúc.



- **Tay gấp sử dụng đệm khí**

Nệm khí chỉ tác động sau khi ngón định vị vào lỗ trên đối tượng thao tác để tạo lực ma sát đủ để giữ và vận chuyển đối tượng.

Dùng với những đối tượng thao tác tròn, dễ vỡ.

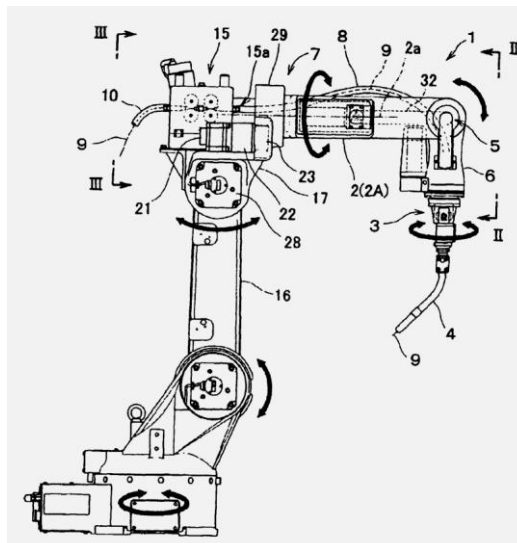


- **Tay gấp sử dụng nam châm**

Đối với các đối tượng thao tác là vật liệu có từ tính, có dạng tấm hoặc phiến mỏng, kích thước không quá lớn và không yêu cầu định vị cao, có thể sử dụng nam châm điện lắp trên khâu tác động cuối của tay máy để thao tác nhanh trong việc gấp- đặt và di chuyển đối tượng.

2.5.2. Phân loại theo dụng cụ trang bị trên máy.

- Mỏ hàn hồ quang:



- Đầu phun sơn
- ...

2.5.3. Tải trọng mang.

- Tải trọng mang phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kết cấu và tình trạng bề mặt của tay gắp, hình dạng của đối tượng thao tác, tầm với của tay máy
- Bảng phân loại tải trọng mang:

Tên gọi theo tải trọng	Tải trọng, kg	Ngành ứng dụng
Loại siêu nhẹ	0.1; 0.16; 0.25; 0.4; 0.63; 1.0	Chế tạo dụng cụ, điện tử, công nghệ vô tuyến
Loại nhẹ	1.6; 2.5; 4.0; 6.3; 10	Chế tạo máy
Loại trung	16; 25; 40; 63; 100	Chế tạo máy
Loại nặng	160; 250; 400; 630; 1000	Chế tạo máy, công nghiệp chế tạo thiết bị điện cỡ lớn
Loại siêu nặng	Trên 1000	Chế tạo máy, công nghiệp chế tạo thiết bị cỡ lớn

3. ĐỘNG HỌC TAY MÁY.

3.1. Các khái niệm ban đầu.

3.1.1. Hệ tọa độ.

- Phương pháp sử dụng: phương pháp hệ tọa độ tham chiếu.
- Hệ tọa độ thuận: hệ tọa độ tuân theo quy tắc bàn tay phải
- Hệ tọa độ tuyệt đối: hệ trục tọa độ vuông góc gắn cứng với giá cố định $(Oxyz)_O$
- Hệ tọa độ tương đối: hệ trục tọa độ vuông góc gắn cứng lên mỗi khâu động thứ k $(Oxyz)_k$

3.1.2. Quỹ đạo

- Tọa độ suy rộng: có thể là chuyển vị góc ở các khớp quay hoặc chuyển vị dài ở các khớp tịnh tiến của các khâu thành viên : q_1, q_2, \dots, q_n

$$q = q(t)$$

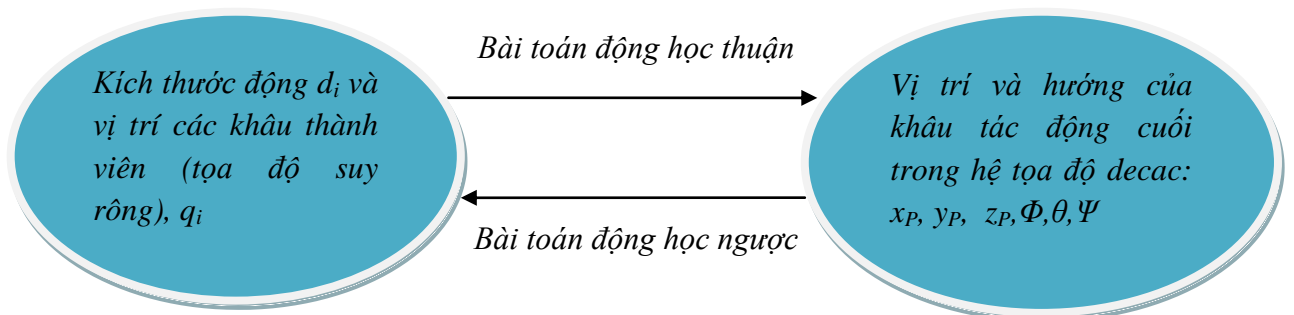
- Quỹ đạo điểm M:
$$\begin{cases} x_M = x_M(q_1, q_2, \dots, q_n) = x_M(t) \\ y_M = y_M(q_1, q_2, \dots, q_n) = y_M(t) \\ z_M = z_M(q_1, q_2, \dots, q_n) = z_M(t) \end{cases}$$

3.1.3. Bài toán động học thuận

- Cho trước cơ cấu và quy luật của các yếu tố chuyển động thể hiện bằng các tọa độ suy rộng q_i ta phải xác định quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối nói riêng hoặc của điểm bất kỳ trên một khâu nào đó của tay máy nói chung trong hệ trục tọa độ vuông góc.

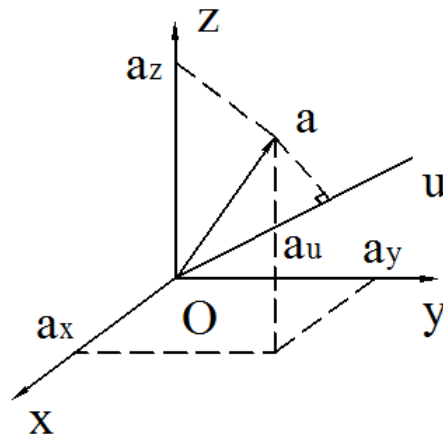
3.1.4. Bài toán động học ngược

- Cho trước cơ cấu và quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối (hoặc quy luật chuyển động của khâu cuối bao gồm vị trí và hướng của nó) được biểu diễn trong hệ trục tọa độ vuông góc, ta phải xác định quy luật chuyển động của các khâu thành viên thể hiện thông qua các hệ tọa độ suy rộng q_i



3.2. Cơ sở phép của biến đổi hệ tọa độ.

- Phép biến đổi tọa độ được sử dụng để biến đổi các thành phần của vectơ khi chuyển từ hệ tọa độ này sang hệ tọa độ khác.
- Trong hệ tọa độ Oxyz:



Vector $a = a_x i + a_y j + a_z k$

$$\begin{cases} a_x = a \cos(a, \bar{x}) \\ a_y = a \cos(a, \bar{y}) \\ a_z = a \cos(a, \bar{z}) \end{cases}$$

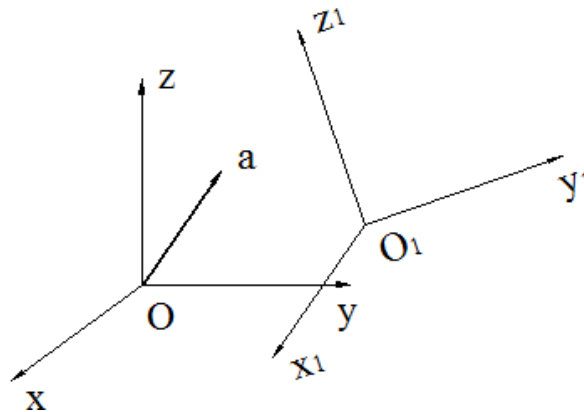
Hình chiếu của vector a lên vector u :

$$a_u = a_x \cos(u, \bar{x}) + a_y \cos(u, \bar{y}) + a_z \cos(u, \bar{z})$$

Góc giữa 2 vector a và u là φ :

$$\cos \varphi = \cos(a, u) = \cos(a, \bar{x}) \cos(u, \bar{x}) + \cos(a, \bar{y}) \cos(u, \bar{y}) + \cos(a, \bar{z}) \cos(u, \bar{z})$$

- Mối quan hệ của vector a trong 2 hệ tọa độ Oxyz và $O_1x_1y_1z_1$



$$\begin{cases} a_{x1} = a_x \cos(x_1, x) + a_y \cos(x_1, y) + a_z \cos(x_1, z) \\ a_{y1} = a_x \cos(y_1, x) + a_y \cos(y_1, y) + a_z \cos(y_1, z) \\ a_{z1} = a_x \cos(z_1, x) + a_y \cos(z_1, y) + a_z \cos(z_1, z) \end{cases}$$

$$\alpha_1 = \cos(x_1, x), \beta_1 = \cos(x_1, y), \gamma_1 = \cos(x_1, z) \dots$$

Mối quan hệ giữa các vector đơn vị của hệ O_1 trong hệ O:

$$\begin{aligned} i \cdot i_1 &= \alpha_1 & i \cdot j_1 &= \alpha_2 & i \cdot k_1 &= \alpha_3 \\ j \cdot i_1 &= \beta_1 & j \cdot j_1 &= \beta_2 & j \cdot k_1 &= \beta_3 \\ k \cdot i_1 &= \gamma_1 & k \cdot j_1 &= \gamma_2 & k \cdot k_1 &= \gamma_3 \end{aligned}$$

Suy ra:

$$\begin{aligned} \alpha_1^2 + \beta_1^2 + \gamma_1^2 &= 1 & \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_3 + \gamma_2 \gamma_3 &= 0 \\ \alpha_2^2 + \beta_2^2 + \gamma_2^2 &= 1 & \alpha_3 \alpha_1 + \beta_3 \beta_1 + \gamma_3 \gamma_1 &= 0 \\ \alpha_3^2 + \beta_3^2 + \gamma_3^2 &= 1 & \alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2 + \gamma_1 \gamma_2 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} a_{x1} = a_x \alpha_1 + a_y \beta_1 + a_z \gamma_1 \\ a_{y1} = a_x \alpha_2 + a_y \beta_2 + a_z \gamma_2 \text{ hay } a^{O1} = M \cdot a^O \\ a_{z1} = a_x \alpha_3 + a_y \gamma_2 + a_z \gamma_3 \end{cases}$$

Với:

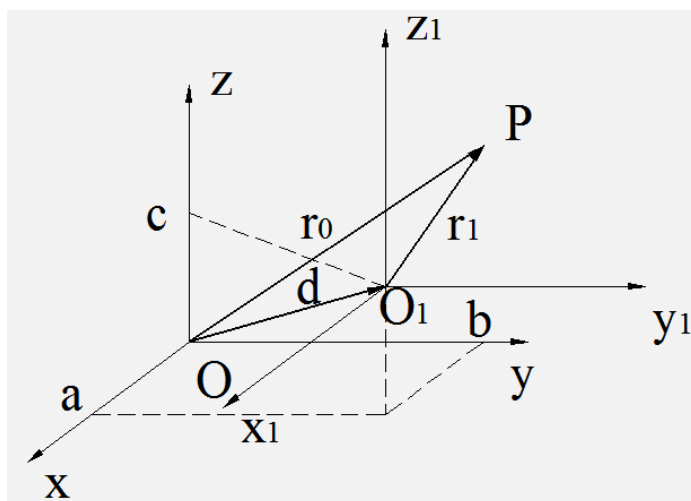
$$a^{O_1} = \begin{bmatrix} a_{x1} \\ a_{y1} \\ a_{z1} \end{bmatrix}, a^O = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 \end{bmatrix}$$

Tương tự :

$$a^O = M^T \cdot a^{O_1} \text{ với } M^T = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 \end{bmatrix}$$

3.3. Phân tích động học tay máy bằng phương pháp ma trận

- Trường hợp hệ O_1 chuyển động tịnh tiến với O.



Xét điểm P. Trong hệ O biểu diễn bởi vector $r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$.

Trong hệ O_1 biểu diễn bởi vector $r_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$

Trong hệ O: $OO_1 = d = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$

Trong hệ O: $r_1^O = r - d = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - a \\ y - b \\ z - c \end{bmatrix}$

Dễ thấy:

$$\begin{matrix} \alpha_1 = 1 & \beta_1 = 0 & \gamma_1 = 0 \\ \alpha_2 = 0 & \beta_2 = 1 & \gamma_2 = 0 \\ \alpha_3 = 0 & \beta_3 = 0 & \gamma_3 = 1 \end{matrix} \Rightarrow M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong hệ O_1 : $r_1^{O_1} = M \cdot r_1^O = \begin{bmatrix} x - a \\ y - b \\ z - c \end{bmatrix}$

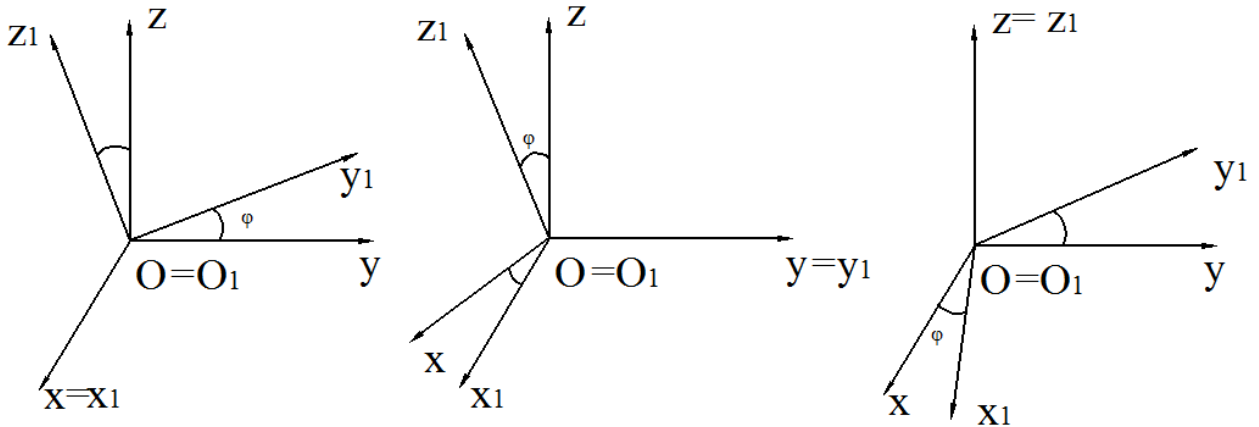
- Trường hợp hệ O_1 quay quanh O, O_1 trùng O.

$$d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Trong hệ O: $r_1^O = r - d = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$

Trong hệ O₁: $r_1^{O_1} = M \cdot r_1^O = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$

- Một số trường hợp đặc biệt:



O₁ quay quanh trục x của O một góc φ : $M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\varphi & s\varphi \\ 0 & -s\varphi & c\varphi \end{bmatrix}$

O₁ quay quanh trục y của O một góc φ : $M = \begin{bmatrix} c\varphi & 0 & -s\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ s\varphi & 0 & c\varphi \end{bmatrix}$

O₁ quay quanh trục z của O một góc φ : $M = \begin{bmatrix} c\varphi & s\varphi & 0 \\ -s\varphi & c\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Trong bài toán động học không gian, ta thường gặp yêu cầu phải xác định các thành phần của một vectơ nào đó trong hệ trục tọa độ O₁ gắn với giá cố định khi biết các thành phần của nó trong hệ trục tọa độ O_n gắn với khâu n. Khi đó ta phải thực hiện liên tiếp các chuyển đổi. Ta có:

$$r_1^{O_1} = M_{nn-1} \cdot M_{n-1n-2} \dots M_{21} \cdot r_1^{O_n}$$

$$M = M_{nn-1} \cdot M_{n-1n-2} \dots M_{21}$$

- Trường hợp O₁ vừa quay vừa tịnh tiến so với O thì việc mô tả chuyển động tương đối giữa các khâu bằng phương pháp nêu trên sẽ gặp trở ngại, nó chỉ phù hợp với cơ cấu tay máy liên kết toàn bằng khớp bản lề.

Để thuận lợi hơn cho trường hợp này ta dùng phương pháp tọa độ thuần nhất cho phép biểu diễn đồng thời cả chuyển động tịnh tiến lẫn chuyển động quay trong việc mô tả chuyển động tương đối giữa 2 khâu

3.3.1. Phân tích bài toán vị trí.

- **Bước 1: Xác định các tham biến phản ánh chuyển động tương đối giữa các khâu.**

Chọn các biến là các tọa độ suy rộng q_1, q_2, \dots, q_n để xác định vị trí tương đối giữa các khâu cũng như vị trí của cả cơ cấu. Ta sử dụng các đại lượng thẳng và góc để xác định vị trí cơ cấu.

Cần cứ vào cấu tạo và tính chất của các liên kết trên cơ cấu, bố trí sao cho :

- ❖ Góc các hệ trục tọa độ trùng với các giao điểm tại các khớp quay.
- ❖ Chọn một trục tọa độ trùng với trục quay của khớp.
- ❖ Hai hệ trục tọa độ tương đối kề nhau sẽ có ít nhất một trục tọa độ trùng nhau hoặc song song với nhau.
- ❖ Chọn một trục tọa độ sao cho trùng với đoạn thẳng thể hiện kích thước động của khâu.

- **Bước 2: xác định các ma trận quay**
- **Bước 3: xác định tọa độ một điểm thuộc một khâu bất kỳ.**
- **Bước 4: xác định thành phần (hình chiếu) của các vectơ đơn vị trên trục của các khớp bản lề: $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$.**

3.3.2. Phân tích bài toán vận tốc và gia tốc.

- Giả định chuyển động của khâu k so với khâu k-1 là đã biết.
- Chuyển vị góc là $\varphi_{k,k-1}$
- Vận tốc và gia tốc góc trong chuyển động tương đối lần lượt là :

$$\omega_{k,k-1} = e_k \cdot \dot{\varphi}_{k,k-1}$$

$$\varepsilon_{k,k-1} = e_k \cdot \ddot{\varphi}_{k,k-1}$$

- Chuyển động tuyệt đối của khâu thứ k (φ_k) gồm 2 chuyển động :
Chuyển động theo khâu thứ k-1 : φ_{k-1}
Chuyển động tương đối của khâu thứ k với khâu thứ k-1 : $\varphi_{k,k-1}$

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \varphi_{k,k-1}$$

$$\varepsilon_k = \varepsilon_{k-1} + \varepsilon_{k,k-1} + \omega_{k-1} \times \omega_{k,k-1}$$

- Vận tốc dài và gia tốc dài của điểm M bất kỳ được xác định theo vận tốc và gia tốc đã biết của điểm cực O

$$v_M = v_O + v_{MO}$$

$$a_M = a_O + a_{MO}$$

$$v_{MO} = \omega \times \rho$$

$$a_{MO} = \omega \times (\omega \times \rho) + \varepsilon \times \rho$$

3.4. Mô tả chuyển động bằng phương pháp tọa độ thuần nhất

3.4.1. Giới thiệu về phương pháp tọa độ thuần nhất.

- Phương pháp tọa độ thuần nhất dùng để khắc phục một số vấn đề phức tạp khi tính toán các ma trận. Trong đó một không gian n chiều sẽ được trình bày trong n+1 chiều.
- Khi quan tâm đồng thời cả định vị và định hướng vectơ điểm sẽ được bổ xung thành phần thứ tư, thành vectơ mở rộng được biểu diễn là:

$$r = (\omega r_x, \omega r_y, \omega r_z, \omega)^T - \text{cách biểu diễn vectơ điểm trong không gian tọa độ thuần nhất.}$$

ω : hệ số tỉ lệ ngầm định cho chiều thứ tư.

$\omega=1$: các tọa độ biểu diễn bằng tọa độ thực, $r = (r_x, r_y, r_z, 1)^T$

- Tọa độ thực của vectơ mở rộng : $r_x = \frac{\omega r_x}{\omega}$ $r_y = \frac{\omega r_y}{\omega}$ $r_z = \frac{\omega r_z}{\omega}$.

- Ma trận mô tả đồng thời phép chuyển đổi quay và phép chuyển đổi tịnh tiến giữa các trục tọa độ được thể hiện dưới dạng

$$T = \left(\begin{array}{c|c} \text{Chuyển động quay} & \text{Chuyển đổi tịnh tiến} \\ \hline \text{Chuyển đổi trục chuẩn} & \text{Tỷ lệ} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c|c} 3*3 & 3*1 \\ \hline 1*3 & 1*1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c|c} \text{(quay)}3*3 & \text{(t.tiến)}3*1 \\ \hline \mathbf{0 \ 0 \ 0} & \mathbf{1} \end{array} \right)$$

3.4.2. Ma trận DH tuyệt đối

- Xét chuyển động của một khâu trên tay máy, giả sử là khâu 1. Ta đã biết chuyển động tổng quát của khâu 1 được mô tả như sau:

$$r_0(t) = c_1(t) + A_1^0(t).r_1$$

$r_0(t) = \begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ z_0(t) \end{pmatrix}$: tọa độ của một điểm trên khâu so với hệ tọa độ tham chiếu hay hệ tọa độ cơ sở (Oxyz)₀

$c_1(t) = \begin{pmatrix} a_1(t) \\ b_1(t) \\ c_1(t) \end{pmatrix}$: chuyển vị tịnh tiến gốc O₁ so với hệ tọa độ cơ sở (Oxyz)₀

$A_1^0(t) = \begin{pmatrix} a_{x1}(t) & b_{x1}(t) & c_{x1}(t) \\ a_{y1}(t) & b_{y1}(t) & c_{y1}(t) \\ a_{z1}(t) & b_{z1}(t) & c_{z1}(t) \end{pmatrix}$: ma trận quay của khâu 1 xung quanh gốc O₁

$r_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$: tọa độ của điểm đang xét so với hệ tọa độ (Oxyz)₁ gắn chặt trên khâu 1, tọa độ này là hằng số vì khâu 1 là một vật rắn tuyệt đối.

Như vậy ta có:

$$\begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ z_0(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1(t) \\ b_1(t) \\ c_1(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{x1}(t) & b_{x1}(t) & c_{x1}(t) \\ a_{y1}(t) & b_{y1}(t) & c_{y1}(t) \\ a_{z1}(t) & b_{z1}(t) & c_{z1}(t) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{cases} x_0(t) = a_{x1}(t).x_1 + b_{x1}(t).y_1 + c_{x1}(t).z_1 + a_1(t).1 \\ y_0(t) = a_{y1}(t).x_1 + b_{y1}(t).y_1 + c_{y1}(t).z_1 + b_1(t).1 \\ z_0(t) = a_{z1}(t).x_1 + b_{z1}(t).y_1 + c_{z1}(t).z_1 + c_1(t).1 \\ 1 = 0.x_1 + 0.(t).y_1 + 0.z_1 + a_1(t).1 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ z_0(t) \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{x1}(t) & b_{x1}(t) & c_{x1}(t) & a_1(t) \\ a_{y1}(t) & b_{y1}(t) & c_{y1}(t) & b_1(t) \\ a_{z1}(t) & b_{z1}(t) & c_{z1}(t) & c_1(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Nếu gọi ${}^0T_1 = A_1^0 = \begin{pmatrix} a_{x1}(t) & b_{x1}(t) & c_{x1}(t) & a_1(t) \\ a_{y1}(t) & b_{y1}(t) & c_{y1}(t) & b_1(t) \\ a_{z1}(t) & b_{z1}(t) & c_{z1}(t) & c_1(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Thì trong không gian thuần nhất R^4 ta có thể mô tả chuyển động của một điểm về khâu 1 như sau:

$$r_0(t) = {}^0T_1 \cdot r_1$$

Ma trận 0T_1 là ma trận DH tuyệt đối của khâu 1 đang xét cho phép mô tả đồng thời chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay. Ta có thể xem:

$${}^0q = {}^0T_{tịnh\ tiến} \cdot {}^0T_{quay}$$

Trường hợp mô tả tổng quát chuyển động tuyệt đối, ta có thể viết:

$${}^0q = {}^0T_N \cdot {}^Nq$$

Nq : vị trí của một điểm trong hệ tọa độ mới

0q : vị trí của cùng một điểm nói trên trong hệ tọa độ cơ sở.

3.4.3. Ma trận DH tương đối

- Quy ước :

0T_i là ma trận DH tuyệt đối của khâu thứ i (mô tả chuyển động tuyệt đối của khâu thứ i với hệ cơ sở)

A_j^i là ma trận mô tả chuyển động tương đối giữa 2 khâu i và j, dễ thấy ${}^i T_j = A_j^i$.

Ta có :

$$\begin{cases} {}^0T_{i+1} = {}^0T_i \cdot A_{i+1}^i \\ {}^0T_i = \prod_{k=0}^{i-1} A_{k+1}^k \\ \dots \\ {}^0T_n = \prod_{k=0}^{n-1} A_{k+1}^k \end{cases}$$

- Công thức xác định vị trí và vận tốc của một điểm P thuộc khâu n :

$$r_0(t) = {}^0T_n(t) \cdot r_n = \left[\prod_{k=0}^{n-1} A_{k+1}^k(t) \right] \cdot r_n$$

$$v_0(t) = \dot{r}_0(t) = \dot{{}^0T}_n(t) \cdot r_n = \sum_{i=0}^{n-1} \left[\left(\prod_{k=0}^{i-1} A_{k+1}^k(t) \right) \cdot \dot{A}_{i+1}^i(t) \cdot \left(\prod_{k=i+1}^{n-1} A_{k+1}^k(t) \right) \right] \cdot r_n$$

3.4.4. Ma trận DH quay

- Trường hợp quay quanh trục x một góc α

$$Rot(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Trường hợp quay quanh trục y một góc φ

$$Rot(y, \varphi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Trường hợp quay quanh trục z một góc θ

$$Rot(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.4.5. Ma trận DH tịnh tiến

$$Trans(p_x, p_y, p_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.4.6. Ma trận DH tổng hợp tịnh tiến và quay

- Ma trận DH tổng hợp chuyển động tịnh tiến và quay có thể dễ dàng xác định bằng cách nhân hai ma trận tương đương ứng với các chuyển động này, bởi vì chuyển động tịnh tiến giữa hai vật thể không ảnh hưởng đến chuyển động tương đối giữa chúng
- Ví dụ:

$$\begin{aligned} Trans(p_x, p_y, p_z) \cdot Rot(z, \theta) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & p_x \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

3.4.7. Ví dụ ứng dụng ma trận DH

- Cho một điểm nằm trùng với gốc tọa độ, lần lượt thực hiện các chuyển động: $trans(y, a) \rightarrow rot(x, 90^\circ) \rightarrow trans(z, a) \rightarrow rot(y, 90^\circ)$

$$\begin{aligned} {}^R T_N &= Rot(y, 90^\circ) \cdot Trans(z, a) \cdot Rot(x, 90^\circ) \cdot Trans(y, a) \\ &= \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ & 0 \\ 0 & \sin 90^\circ & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 2a \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

- Dạng tổng quát của ma trận chuyển đổi từ một khâu thành viên bất kỳ về hệ tọa độ cơ sở được mô tả theo cách như sau:

$${}^R T_N = \begin{bmatrix} x_x & y_x & z_x & p_x \\ x_y & y_y & z_y & p_y \\ x_z & y_z & z_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$p = p_x i + p_y j + p_z k$: mô tả vị trí của gốc tọa độ của hệ tọa độ mới trong hệ tọa độ cơ sở

$x = x_x i + x_y j + x_z k$: mô tả hướng của trục x của hệ tọa độ mới trong hệ tọa độ cơ sở

$y = y_x i + y_y j + y_z k$: mô tả hướng của trục y của hệ tọa độ mới trong hệ tọa độ cơ sở

$z = z_x i + z_y j + z_z k$: mô tả hướng của trục z của hệ tọa độ mới trong hệ tọa độ cơ sở

- **Phép quay quanh trục bất kì**

Trục quay được đặc trưng bởi vectơ đơn vị chỉ phương : $r = (r_x, r_y, r_z)^T$

Các bước thực hiện:

Quay góc α quanh OX để trục r nằm xuống mặt XZ

Quay góc $-\beta$ quanh OY để trục r trùng với trục OZ

Quay góc φ quanh trục OZ

Quay góc β quanh OY

Quay góc $-\alpha$ quanh OX để đưa r về vị trí xuất phát.

$$R(r, \varphi) = R(x, -\alpha)R(y, \beta)R(z, \varphi)R(y, -\beta)R(x, \alpha)$$

$$R(r, \varphi) = \begin{bmatrix} r_x^2 V_\varphi + C_\varphi & r_x r_y V_\varphi - r_z S_\varphi & r_x r_z V_\varphi + r_y S_\varphi & 0 \\ r_x r_y V_\varphi + r_z S_\varphi & r_y^2 V_\varphi + C_\varphi & r_y r_z V_\varphi - r_x S_\varphi & 0 \\ r_x r_z V_\varphi - r_y S_\varphi & r_x r_y V_\varphi + r_z S_\varphi & r_z^2 V_\varphi + C_\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$V_\varphi = \text{vers}\varphi = 1 - \cos\varphi$

$$\sin \alpha = \frac{r_y}{(r_y^2 + r_z^2)^{\frac{1}{2}}}, \cos \alpha = \frac{r_z}{(r_y^2 + r_z^2)^{\frac{1}{2}}}, \sin \beta = r_x, \cos \beta = (r_y^2 + r_z^2)^{\frac{1}{2}}$$

- **Phép quay theo 3 góc Euler.**

$$R(\phi, \theta, \psi) = R(z, \phi)R(y, \theta)R(x, \psi)$$

$$= \begin{bmatrix} C_\phi C_\theta C_\psi - S_\phi S_\psi & -C_\phi C_\theta S_\psi - S_\phi C_\psi & C_\theta S_\psi & 0 \\ S_\phi C_\theta C_\psi + C_\phi S_\psi & -S_\phi C_\theta S_\psi + C_\phi C_\psi & S_\theta S_\psi & 0 \\ -S_\phi C_\psi & S_\theta S_\psi & C_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Phép quay Roll-Pitch-Yaw (RPY)**

$$RPY(\phi, \theta, \psi) = R(z, \phi)R(y, \theta)R(x, \psi)$$

$$= \begin{bmatrix} C_\phi C_\theta & C_\phi C_\theta S_\psi - S_\phi C_\psi & C_\phi S_\theta C_\psi + S_\phi S_\psi & 0 \\ S_\phi C_\theta & S_\phi S_\theta S_\psi + C_\phi C_\psi & S_\phi S_\theta C_\psi - C_\phi S_\psi & 0 \\ -S_\phi & C_\theta S_\psi & C_\theta C_\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Mô tả và phát biểu lại nội dung của bài toán động học**

Ta quy ước gọi các chuyển vị tương đối giữa các khâu là các biến dịch chuyển và các tọa độ cần xác định là các biến vị trí. Các biến dịch chuyển và các biến vị trí có liên quan đến nhau. Từ đó ta có thể phát biểu một cách khác các bài toán động học như sau:

Phát biểu bài toán động học thuận:

Cho trước quy luật các biến di chuyển theo tọa độ suy rộng, xác định quy luật các biến vị trí theo tọa độ Đêcác. Bài toán thuận liên quan đến phương trình chuyển đổi thuận để tìm vị trí và hướng của khâu đầu cuối trong hệ tọa độ Đêcác khi cho trước các tọa độ suy rộng.

Phát biểu bài toán động học ngược:

Cho trước quy luật các biến vị trí (cụ thể là quy luật tọa độ vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối trong hệ tọa độ Đêcác), ta phải xác định quy luật các biến di chuyển phù hợp cho khâu thành viên thể hiện ở các tọa độ suy rộng của chúng. Bài toán ngược liên quan với phương trình chuyển đổi ngược để tìm mối liên hệ giữa các khâu thành viên của tay máy khi cho trước vị trí và hướng của khâu đầu cuối.

3.4.8. Phương pháp giải bài toán động học thuận.

- Thiết lập ma trận quan hệ tương đối giữa các khâu.
- Thiết lập ma trận tuyệt đối cho từng khâu và khâu chấp hành cuối cùng.
- Thiết lập vị trí các ma trận đạo hàm bậc 1 và bậc 2 cho các khâu.

- Tính toán vị trí, vận tốc và gia tốc của các điểm cơ bản thuộc các khâu cũng như các khâu chấp hành cuối cùng.

3.4.9. Phương pháp giải bài toán động học ngược.

- Xuất phát từ phương trình động học cơ bản:

$$T_n = A_1 A_2 \dots A_n = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Các ma trận A_i là các hàm của biến khớp q_i . Ma trận A_i mô tả vị trí và hướng của khâu thứ i so với khâu thứ $i-1$.

- Có thể viết lại về trái của phương trình trên:

$$T_n = T_i {}^i T_n$$

Nhân 2 vế với T_i^{-1} ta có:

$$T_i^{-1} T_n = {}^i T_n \text{ và vì } T_i^{-1} = (A_1 A_2 \dots A_i)^{-1} = A_i^{-1} \dots A_2^{-1} A_1^{-1}$$

$$\Rightarrow A_i^{-1} \dots A_2^{-1} A_1^{-1} T_n = {}^i T_n$$

$${}^i T_n = A_i^{-1} \dots A_2^{-1} A_1^{-1} \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ứng với mỗi giá trị của i khi so sánh các phần tử tương ứng của 2 ma trận ở 2 vế của biểu thức ta có 6 phương trình tồn tại độc lập để xác định các biến khớp q_i . Như thế, bằng cách đó có nhiều khả năng để lựa chọn các bộ lời giải q_i đa trị này.

3.5. Thuật toán giải bài toán động học bằng phương pháp tọa độ thuận nhất.

3.5.1. Thuật giải bài toán thuận

Việc giải bài toán động học thuận bao gồm các bước sau:

- Đưa tay máy về vị trí gốc là vị trí mà dịch chuyển các khâu được tính từ đó.
- Gắn trên mỗi khâu động một hệ trục tọa độ (hệ tọa độ tương đối)
- Mô tả chuyển động tương đối giữa các khâu liên tiếp bằng các tọa độ suy rộng
- Định nghĩa các ma trận A_j^i cho từng khâu tương ứng
- Nhân các ma trận A_j^i để tính ma trận chuyển đổi ${}^R T_N$
- Lập phương trình chuyển đổi của tay máy và ma trận tổng quát thể hiện mối liên hệ về hướng thông qua các góc Euler xác định hướng của khâu đầu cuối với tọa độ suy rộng của các khâu thành phần

3.5.2. Ví dụ minh họa bài toán thuận – vị trí và hướng.

- Mục đích của phần này là tìm mối liên hệ giữa tọa độ của các khâu, được xác định trong các hệ trục tọa độ địa phương và thể hiện qua các tọa độ suy rộng q_i của chúng, với tọa độ được thể hiện trong hệ tọa độ cơ sở. Trên cơ sở đó, ta sẽ xây dựng thuật giải và viết phương trình giải bài toán động học thuận tay máy.
- Ta có:

$$q^0 = {}^0 T_i \cdot q^i$$

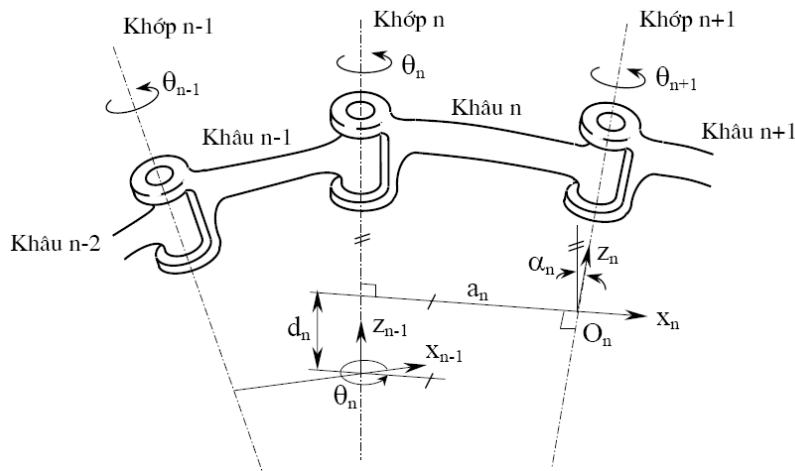
$${}^0 T_i = A_1^0 \cdot A_2^1 \dots A_i^{i-1}$$

Để thấy nếu tính được A_i^{i-1} ($i=1 \dots n$) và cho trước q^i thì hoàn toàn xác định được tọa độ của khâu cuối cùng, tọa độ và hướng của khâu bất kỳ cũng như tọa độ của điểm bất kỳ.

- Quy ước Denavit- Hartenberg để biến đổi thuận nhất tọa độ trong các hệ tọa độ địa phương về hệ tọa độ cơ sở dựa vào ma trận DH tương đối A_i^{i-1} :

Xét 2 khâu $i-1$ và i giữa các khớp $i-1$, i , và $i+1$, ta sử dụng những quy ước sau:

- ❖ Chọn trục z_i dọc theo đường tâm khớp $i+1$.
- ❖ Chọn gốc tọa độ O_i là giao điểm của trục tọa độ z_i với đường vuông góc chung của z_{i-1} và z_i . Trường hợp 2 trục giao nhau thì gốc hệ tọa độ lấy trùng với giao điểm đó. Nếu 2 trục song song thì chọn gốc hệ tọa độ là điểm bất kì trên trục khớp động $i+1$.
- ❖ Chọn trục x_i dọc theo đường vuông góc chung của z_{i-1} và z_i và có chiều từ nút (i) sang nút ($i+1$).
- ❖ Trục y_i được xác định theo quy tắc bàn tay phải.
- ❖ Đối với hệ trục cơ sở $(Oxyz)_0$ chỉ có z_0 là xác định thì chọn các trục còn lại tùy ý.
- ❖ Đối với hệ trục n , chỉ có trục x_n xác định: x_n phải vuông góc với trục z_{n-1} . Không có khớp $n+1$ nên trục z_n là không xác định, vì vậy ta có thể không chọn hoặc chọn z_n tùy ý.



Ký hiệu:

- ❖ a_i là độ dài đường vuông góc chung giữa 2 trục khớp động $i+1$ và i .
 - ❖ α_i là góc chéo giữa 2 trục khớp động $i+1$ và i .
 - ❖ d_i là khoảng cách dọc trục khớp động i từ đường vuông góc chung giữa trục khớp động $i+1$ và trục khớp động i và trục khớp động i tới đường vuông góc chung giữa trục khớp động i và trục khớp động $i-1$.
 - ❖ θ_i là góc giữa 2 đường vuông góc chung nói trên.
- Các bước:
 - ❖ Quay quanh trục z_{i-1} một góc θ_i .
 - ❖ Tịnh tiến dọc trục z_{i-1} một đoạn a_i .
 - ❖ Tịnh tiến dọc trục x_{i-1} (đã trùng với x_i) một đoạn d_i .
 - ❖ Quay quanh trục x_{i-1} một góc α_i .

$$A_i = R(z, \theta_i) \cdot T_p(0, 0, d_i) \cdot T_p(a_i, 0, 0) \cdot R(x, \alpha_i)$$

$$A_i = \begin{bmatrix} C_{\theta i} & -S_{\theta i} C_{\alpha i} & S_{\theta i} S_{\alpha i} & a_i C_{\theta i} \\ S_{\theta i} & C_{\theta i} C_{\alpha i} & -C_{\theta i} S_{\alpha i} & a_i S_{\theta i} \\ 0 & S_{\alpha i} & C_{\alpha i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Phương trình động học:

$$T_n = A_1 A_2 \dots A_n = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.5.3. Xây dựng chương trình tính (tham khảo tài liệu Nhập môn Robot Công nghiệp)

3.5.4. Thuật giải bài toán vị trí trong bài toán thuận động học tay máy (tham khảo tài liệu Nhập môn Robot Công nghiệp)

Các bước cần thực hiện khi giải bài toán thuận

- Xác định các hệ tọa độ.
- Lập bảng thông số DH.
- Xác định các ma trận A_i theo các thông số DH.
- Tính các ma trận T_i
- Lập phương trình động học cơ bản.

3.5.5. Thuật giải bài toán ngược (tham khảo tài liệu Nhập môn Robot Công nghiệp)

3.6. Bài toán động học trong chuyển động vi phân.

3.6.1. Ma trận Jacobi và định thức Jacobian.

- Xét hàm $f(\cdot): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$

$$\text{Với } f(\mathbf{z}) = \begin{pmatrix} u_1(\mathbf{z}) \\ u_2(\mathbf{z}) \\ \vdots \\ u_m(\mathbf{z}) \end{pmatrix}, \mathbf{z} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

- Giả thiết $f(\cdot)$ khả vi tại mọi điểm của miền xác định D . Ma trận Jacobi là :

$$J(\mathbf{z}) = \frac{\partial(u_1, u_2, \dots, u_m)}{\partial(x_1, x_2, \dots, x_n)}(\mathbf{z}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & \frac{\partial u_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial u_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & \frac{\partial u_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial u_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial u_m}{\partial x_1} & \frac{\partial u_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial u_m}{\partial x_n} \end{pmatrix}$$

- Khi $m=n$ thì ma trận $J(\cdot)$ là ma trận vuông và định thức của nó gọi là Jacobian của hàm $f(\cdot)$ tại điểm \mathbf{z}

Khi Jacobian=0 tại \mathbf{z}_0 thì \mathbf{z}_0 gọi là điểm kỳ dị.

- Xét trường hợp $m=n$ và nếu hàm $f(\cdot)$ là đơn trị và nghịch đảo thì tồn tại hàm ngược $f^{-1}(\cdot)$ và Jacobian của hàm ngược $f^{-1}(\cdot)$ là $j(\mathbf{w})$ với :

$$J(\mathbf{w}) = \frac{\partial(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial(u_1, u_2, \dots, u_m)}(\mathbf{w}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial u_1} & \frac{\partial x_1}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial u_n} \\ \frac{\partial x_2}{\partial u_1} & \frac{\partial x_2}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial x_2}{\partial u_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial x_m}{\partial u_1} & \frac{\partial x_m}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial x_m}{\partial u_n} \end{pmatrix}$$

Với $\mathbf{w}=f(\mathbf{z})$

3.6.2. Chuyển động vi phân.

- Ma trận mô tả chuyển động của một khâu: $H=H_n(p)$

$$\text{Suy ra } dH = \frac{dH_n}{dp}(p) * dp$$

Xét tay máy có r trục và e_i là các vectơ cơ sở của không gian R^r

Khi đó $dp = \sum_1^r dp_i \cdot e_i, \frac{\partial h_{ij}^n}{\partial p} = \sum_1^r \frac{\partial h_{ij}^n}{\partial p_i} \cdot e_i$

$$\rightarrow dH = \begin{pmatrix} dh_{11} & \dots & dh_{14} \\ \vdots & & \vdots \\ dh_{41} & \dots & dh_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial h_{11}^n}{\partial p} & \dots & \frac{\partial h_{14}^n}{\partial p} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial h_{41}^n}{\partial p} & \dots & \frac{\partial h_{44}^n}{\partial p} \end{pmatrix} = \frac{dH_n}{dp}(p) * dp$$

- Chuyển động vi phân tổng quát:
Bao gồm cả chuyển động quay lẫn tịnh tiến

Xét $r_0 = \begin{pmatrix} A_i & c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} r_1$

Suy ra : $r_1 = \begin{pmatrix} A_i & c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} r_0 = \begin{pmatrix} A_i^T & -A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} r_0$

$$\begin{aligned} \rightarrow dr_0 &= \begin{pmatrix} dA_i & dc_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} r_1 = \begin{pmatrix} dA_i & dc_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_i^T & -A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} r_0 \\ &= \begin{pmatrix} dA_i \times A_i^T & dc_i - dA_i \times A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} r_1 \end{aligned}$$

$$\text{Hay } \begin{pmatrix} dx_0 \\ dy_0 \\ dz_0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -ds_i & dq_i & da_i - b_i \times dq_i + c_i \times ds_i \\ ds_i & 0 & -dp_i & db_i - a_i \times dq_i - c_i \times dp_i \\ -dq_i & dp_i & 0 & dc_i - a_i \times ds_i + b_i \times dp_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Trong đó $dp_i, dq_i, ds_i, da_i, db_i, dc_i$ là các thành phần quay vi phân và tịnh tiến vi phân theo các trục O_x, O_y, O_z . Chúng đánh giá sự thay đổi nhỏ của vị trí khâu thứ i

- Ta quan tâm đến 2 vi phân:
 $dD=(da,db,dc,dp,dq,ds)^T$: vi phân của 6 biến vị trí (quay và tịnh tiến theo 3 trục) của khâu tác động cuối.

$dx=(dx_1,dx_2,\dots,dx_r)^T$: vi phân của các biến di chuyển có liên quan.

- Ma trận Jacobi của tay máy r trục là : $J(x) = \frac{dD}{dx}(x)$

Phương trình có được ở trên cho thấy mối quan hệ giữa các vi phân của biến vị trí dD và các vi phân của biến di chuyển dx . Từ đó ta có 2 bài toán trong chuyển động vi phân như sau :

Bài toán thuận :

Cho biết các thay đổi bé của các biến di chuyển, ta có thể xác định được độ thay đổi vị trí của các khâu hay điểm tác động cuối.

Bài toán nghịch :

Khi cần thực hiện các thay đổi bé về vị trí các khâu hay của điểm tác động cuối, nhờ mối liên hệ trên ta sẽ biết được cần phải cho các biến di chuyển thay đổi một lượng nhỏ bằng bao nhiêu để cắt được yêu cầu trên.

3.6.3. Trình tự giải các bài toán thuận nghịch trong chuyển động vi phân

Giải bài toán thuận :

- Bước 1 : lập ma trận DH tuyệt đối cho điểm trên khâu tác động cuối
- Bước 2 : xác định ma trận DH và xác định ma trận $\begin{pmatrix} dA_i \times A_i^T & dc_i - dA_i \times A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} r_1$
- Bước 3 : Xác định các mối liên hệ giữa sự thay đổi nhỏ của vị trí theo tọa độ Decac của điểm tác động cuối và các vi phân của các biến vị trí.

- Bước 4 : xác định quan hệ vi phân giữa các biến vị trí và vi phân các biến di chuyển $dD=J(x).dx$. Từ đây có thể giải bài toán thuận

Giải bài toán nghịch

Khi giải bài toán nghịch có thể xác định vi phân các biến di chuyển dựa vào phương trình : $dx=J^{-1}(x)dD$

3.6.4. Áp dụng Jacobi để giải bài toán vận tốc.

- Gọi $\dot{X} = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \dot{\phi}_x \ \dot{\phi}_y \ \dot{\phi}_z]^T$ là vectơ tuyệt đối của khâu tác động cuối với các thành phần là các vận tốc dài dọc theo các trục tọa độ x, y, z và các vận tốc góc trong chuyển động quay quanh 3 trục nói trên.
- Gọi $\dot{\theta} = [\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dots \ \dot{\theta}_n]^T$ là vectơ vận tốc với các thành phần là vận tốc của các biến di chuyển của các khớp.
- Ta có : $\dot{X} = J . \dot{\theta}$

$$\text{Với } J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & \dots & J_{1n} \\ J_{21} & J_{22} & \dots & J_{2n} \\ J_{31} & J_{32} & \dots & J_{3n} \\ J_{41} & J_{42} & \dots & J_{4n} \\ J_{51} & J_{52} & \dots & J_{5n} \\ J_{61} & J_{62} & \dots & J_{6n} \end{bmatrix} \text{ là ma trận Jacobi}$$

- Trong đó

$$J_{1i} = \frac{\partial px}{\partial \theta_i}; J_{2i} = \frac{\partial py}{\partial \theta_i}; J_{3i} = \frac{\partial pz}{\partial \theta_i};$$

$$J_{4i} = \frac{\partial(n_x+s_x+a_x)}{\partial \theta_i}; J_{5i} = \frac{\partial(n_y+s_y+a_y)}{\partial \theta_i}; J_{6i} = \frac{\partial(n_z+s_z+a_z)}{\partial \theta_i}$$

$$T_n = A_1 A_2 \dots A_n = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.7. Bài tập

4. KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN ROBOT.

4.1. Cơ sở điều khiển robot.

4.1.1. Thiết kế quỹ đạo.

- Quỹ đạo chuyển động của phần công tác là vấn đề chung trong điều khiển robot, đó là yếu tố cơ bản để mô tả hoạt động của robot. Thiết kế quỹ đạo cung cấp dữ liệu đầu vào cho hệ điều khiển nên cũng là cơ sở trực tiếp cho việc điều khiển.
- Lưu ý 2 thuật ngữ:
Đường dịch chuyển (Path) là quỹ tích của các điểm trong không gian .
Quỹ đạo chuyển động (Trajectory) bao hàm cả yếu tố hình học của đường dịch chuyển lẫn yếu tố thời gian, như vận tốc, gia tốc.
- Bài toán thiết kế quỹ đạo liên kết các vấn đề động học và động lực học. Các yếu tố đầu vào của bài toán thiết kế quỹ đạo gồm: đường dịch chuyển và các điều kiện ràng buộc về động học và động lực học. Đầu ra của bài toán là quỹ đạo của phần công tác.
- Bài toán thiết kế quỹ đạo được đặt ra cả trong không gian khớp lẫn vùng hoạt động.

4.1.1.1. Quỹ đạo trong không gian khớp.

- Chuyển động tay máy được mô tả trong vùng làm việc bằng các điểm nút và thời gian chuyển động → để thiết kế quỹ đạo phải giải bài toán động học ngược để xác định các biến khớp tại các điểm nút → thiết lập các hàm nội suy $q(t)$ để mô tả quỹ đạo vừa nhận được.
- Điều kiện của thuật toán thiết kế quỹ đạo trong không gian khớp:
Không đòi hỏi tính toán quá nhiều.
Vị trí, vận tốc, có thể cả gia tốc được biểu diễn bằng các hàm liên tục.
Giảm thiểu các hiệu ứng bất lợi.

a. Chuyển động điểm-điểm.

- Ứng dụng cho một số loại robot: hàn điểm, tán đinh, xếp dỡ vật liệu...
- Chỉ quan tâm đến tọa độ điểm đầu và điểm cuối của đường dịch chuyển và thời gian chuyển động giữa chúng.
- Nhiệm vụ: xác định quỹ đạo chuyển động thỏa mãn các yêu cầu chung, có thể thêm cả việc cải thiện một số thông số quỹ đạo.

Gọi I là mômen quán tính của một vật rắn quay quanh trục của nó, cần xác định quy luật thay đổi của góc q , giữa giá trị đầu q_i và giá trị cuối q_f trong khoảng thời gian t_f . Lực phát động là mômen τ từ một động cơ. Tiêu chuẩn tối ưu đặt ra là năng lượng tiêu thụ trên động cơ là nhỏ nhất.

Vận tốc góc: $\dot{q} = \omega$ là lời giải của phương trình vi phân: $I\dot{\omega} = \tau$ thỏa mãn điều kiện:

$$\int_0^{t_f} \omega(t) dt = q_f - q_i \text{ sao cho: } \int_0^{t_f} \tau^2(t) dt \rightarrow \min$$

Lời giải tổng quát là một đa thức bậc hai đối với thời gian t : $\omega(t) = at^2 + bt + c$

Quỹ đạo chuyển động có dạng một đa thức bậc ba: $q(t) = a_3t^3 + a_2t^2 + a_1t + a_0$

Vận tốc có dạng một đa thức bậc hai: $q'(t) = 3a_3t^2 + 2a_2t + a_1$

Gia tốc thay đổi theo quy luật bậc nhất: $q''(t) = 6a_3t + 2a_2$

Để xác định được 4 hệ số giả định thường cần có 4 điều kiện đầu, thường là vị trí đầu q_i và vị trí cuối q_f , vận tốc đầu q'_i vận tốc cuối q'_f . Thường chọn vận tốc đầu và vận tốc cuối bằng không $q_i = q_f = 0$. Các hệ số giả định được xác định từ hệ phương trình:

$$\begin{cases} a_0 = q_i \\ a_1 = q'_i \\ a_3 t_f^3 + a_2 t_f^2 + a_1 t_f + a_0 = q_f \\ 3a_3 t_f^2 + 2a_2 t_f + a_1 = q'_f \end{cases}$$

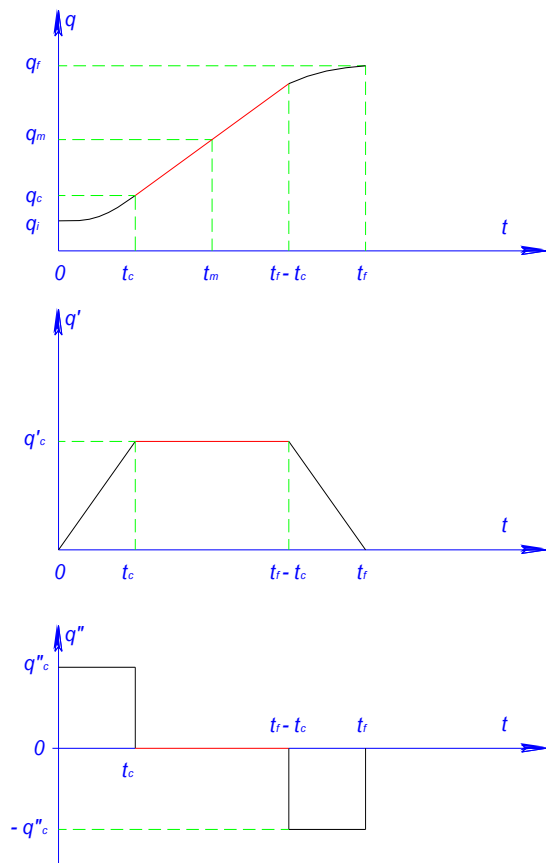
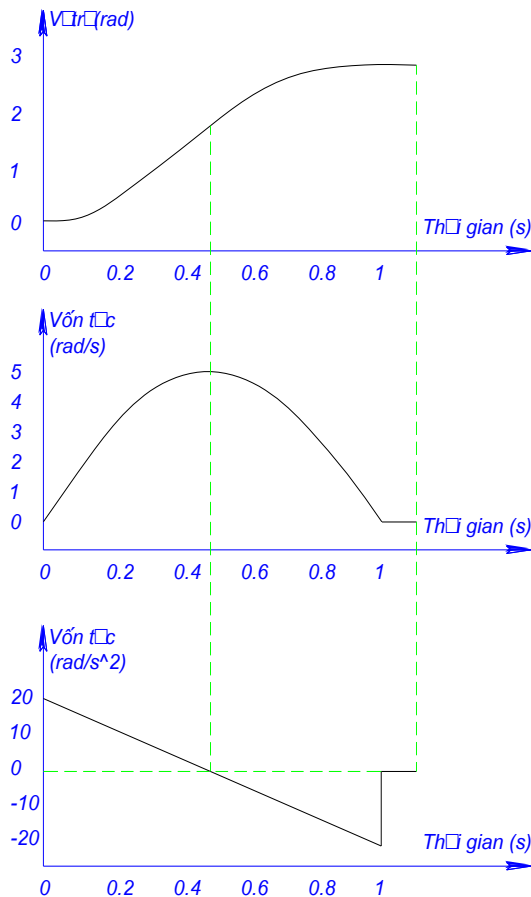
- **Ví dụ 1:** Cho trước quy luật chuyển động một bậc tự do của tay máy như sau: Góc xuất phát $q_i = 0$, góc cuối cùng $q_f = \pi$. Thời gian chuyển động $t_i = 0$, thời gian cuối $t_f = 1$. Vận tốc đầu và vận tốc cuối bằng không: $t_i = t_f = 0$. Thay các thông số này vào hệ phương trình giả định ở trên xác định được các ẩn số như sau: $a_0 = a_1 = 0; a_2 = 3\pi; a_3 = -2\pi$

Có dạng đầy đủ của tất cả các đường cong giả định, vẽ lại các quan hệ chuyển vị, vận tốc và gia tốc nói trên theo kết quả vừa tìm được và tiến hành khảo sát sơ bộ các đặc điểm của chúng có các giới hạn chính như sau:

Vận tốc có quy luật bậc 2 với giá trị cực đại: $q'_{\max} = 3\pi/2$ khi $t = 1/2$.

Gia tốc biến thiên theo quy luật bậc nhất với: $q''_{\max} = 6\pi$ khi $t = 0$ và $t = 1$

Nhược điểm của quy luật này là gia tốc tại điểm đầu và điểm cuối lớn, sinh lực va đập do quán tính.



- Một dạng quỹ đạo thường sử dụng trong công nghiệp là dạng đa thức hỗn hợp, dạng quỹ đạo này chọn quy luật vận tốc hình thang.

Quỹ đạo chia ra làm ba phần rõ rệt, khởi động với gia tốc không đổi, chuyển động tiếp với vận tốc không đổi, về đích với gia tốc không đổi. Quỹ đạo thực tế là hai đoạn parabol (màu đen) nối với nhau bằng một đoạn thẳng (màu đỏ).

Giả thiết $q'_i = q'_f = 0$, giả thiết thời gian tăng tốc và thời gian giảm tốc bằng nhau (q'' có giá trị bằng nhau ở điểm đầu và điểm cuối). Các điều kiện trên dẫn đến quỹ đạo đối xứng nhau qua điểm giữa: $q_m = (q_f - q_i)/2$ tại $t_m = t_f/2$.

Để đảm bảo quỹ đạo là hàm liên tục, vận tốc tại các điểm tiếp giáp đoạn parabol và đoạn thẳng không được nhảy bậc, nghĩa là trên đồ thị chuyển vị đoạn thẳng phải trở thành tiếp tuyến của đoạn parabol, hay hệ số góc của đoạn thẳng phải bằng hệ số góc của đoạn parabol tại điểm t_c . (hệ số góc của đường thẳng)

$$q_c'' t_c = tg\alpha = \frac{q_m - q_c}{t_m - t_c}$$

$$q_c = q_i + \frac{1}{2} q_c'' t_c^2$$

Trong đó q_c là giá trị biến khớp q đạt tới tại thời điểm kết thúc đoạn parabol t_c dưới dạng nhanh dần đều, với gia tốc q_c'' , vì $q'(0) = 0$.

Kết hợp với ràng buộc liên tục nói trên được phương trình:

$$q_c'' t_c^2 - q_c'' t_f t_c + q_f - q_i = 0$$

Nếu cho trước $q_c''; t_f; q_i; q_f$ đây là phương trình bậc hai một ẩn với t_c , giải phương trình

này trong khoảng $t_c \leq \frac{t_f}{2}$ nhận được nghiệm như sau:
$$t_c = \frac{t_f}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{t_f^2 q_c'' - 4(q_f - q_i)}{q_c''}}$$

Để biểu thức dưới dấu căn dương, cần phải có: $|q_c''| \geq \frac{4|q_f - q_i|}{t_f^2}$

Nếu biểu thức trên nhận dấu bằng thì không có đoạn nằm ngang của vận tốc, biểu đồ vận tốc có dạng tam giác.

Như vậy, với các giá trị cho trước của $q_i; q_f$ và t_f từ biểu thức này cho phép tính được gia tốc q_c'' , sau đó tính được t_c , cuối cùng xác định được quỹ đạo từ ba đoạn:

$$q(t) = \begin{cases} q_i + \frac{1}{2} q_c'' t^2; 0 \leq t \leq t_c \\ q_i + q_c'' t_c (t - \frac{t_c}{2}); t_c \leq t \leq t_f - t_c \\ q_f - \frac{1}{2} q_c'' (t_f - t)^2; t_f - t_c \leq t \leq t_f \end{cases}$$

Chú ý rằng quy luật vận tốc hình thang không đảm bảo tối ưu về năng lượng như đạt được với quỹ đạo là đa thức bậc ba, nó tăng khoảng 12,5% so với giá trị tối ưu .

b. Chuyển động theo đường.

- Ứng dụng trong hàn hồ quang, sơn, xếp dỡ vật liệu trong không gian có nhiều chướng ngại vật...
- Số lượng điểm của mỗi đường lớn hơn hai. Đó có thể không chỉ là điểm phải đi qua đơn thuần mà tại đó có thể phải khống chế cả vận tốc và gia tốc để đáp ứng yêu cầu công nghệ. Các điểm như vậy gọi là các điểm chốt, số lượng điểm này nhiều hay ít tùy thuộc yêu cầu độ chính xác của quỹ đạo.
- Bài toán đặt ra là xác định quỹ đạo qua N điểm chốt. Như vậy mỗi biến khớp phải thỏa mãn N điều kiện ràng buộc. Để thực hiện điều đó, có thể nghĩ đến quỹ đạo dạng đa thức bậc (N-1). Tuy nhiên giải pháp này có các nhược điểm:
 Không thể khống chế được vận tốc tại điểm đầu và điểm cuối.
 Bậc đa thức càng cao thì khả năng dao động càng lớn, ảnh hưởng xấu đến trạng thái làm việc của robot.
 Độ chính xác tính toán các hệ số của đa thức giảm khi bậc của đa thức tăng.

Hệ phương trình ràng buộc phức tạp và khó giải.

Các hệ số của đa thức phụ thuộc tất cả các điểm, vì vậy khi cần sắp xếp lại một điểm thì cũng phải tính toán lại toàn bộ

Có thể khắc phục các nhược điểm trên bằng cách sử dụng một quỹ đạo lai, trong đó một số đoạn đa thức bậc cao được thay thế bằng các đoạn đa thức có bậc thấp hơn. Các đa thức thay thế gọi là đa thức nội suy.

Để đảm bảo tính liên tục của vận tốc tại các điểm chốt, bậc của đa thức nội suy không thể nhỏ hơn bậc ba, xét quy luật biến thiên theo thời gian của một biến khớp $q(t)$. Đường cong biến thiên của nó gồm $N - 1$ đoạn đa thức nội suy bậc ba $\prod_k(t)$ với $k = 1..(N-1)$. Hàm $q(t)$ nhận giá trị q_k tại điểm t_k ($k = 1..N$). Tại điểm đầu $t_1 = 0$, giá trị $q_1 = q_i$ (i : initial), tại điểm cuối $t_N = t_f$ (f : finish) có $q_N = q_f$. Các giá trị q_k chính là đại diện cho các điểm chốt của quỹ đạo.

Quỹ đạo được thiết kế cần phải thỏa mãn những điều kiện ràng buộc, nhất định có thể xem xét các trường hợp sau:

Giá trị vận tốc tại các điểm $q'(t)$ tại các điểm chốt là xác định.

Giá trị $q'(t)$ tại các điểm chốt được tính theo các chỉ tiêu xác định.

Đảm bảo tính liên tục của gia tốc $q''(t)$ tại các điểm chốt.

Đa thức nội suy với giá trị cho trước của vận tốc tại các điểm chốt:

Có hai điều kiện chính cần phải đảm bảo:

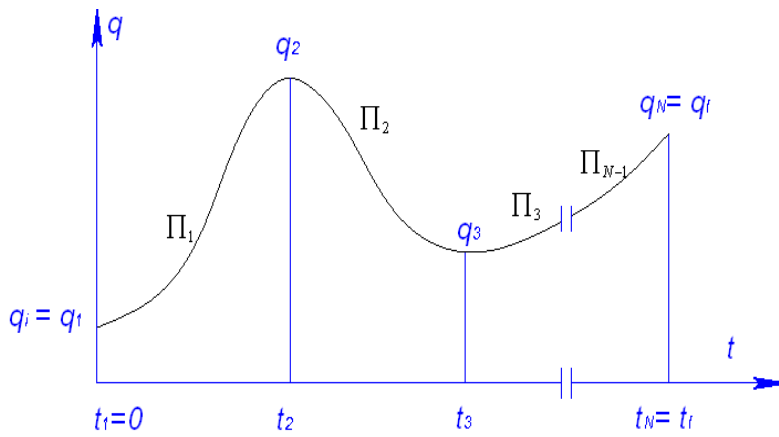
Các đa thức nội suy phải đi qua các điểm chốt (điều kiện với hàm chuyển vị).

Vận tốc tại các điểm chốt phải bằng giá trị định trước (điều kiện với đạo hàm bậc nhất của chuyển vị).

Nếu trên quỹ đạo có N điểm chốt thì số đa thức bậc ba nội suy kí hiệu $\prod_k(t)$ nối các điểm q_k và q_{k+1} là $(N - 1)$. Trong đó mỗi đa thức phải thỏa mãn các ràng buộc sau:

$$\begin{cases} \prod_k(t_k) = q_k \\ \prod_k(t_{k+1}) = q_{k+1} \\ \prod'_k(t_k) = q'_k \\ \prod'_k(t_{k+1}) = q'_{k+1} \end{cases}$$

Mỗi đa thức nội suy bậc ba có 4 hệ số giả định. Chúng được xác định bằng cách giải các hệ phương trình có dạng như trên, cần phải giải $(N - 1)$ hệ để xác định $(N - 1)$ bộ hệ số đã giả định, thường giá trị vận tốc tại điểm đầu và tại điểm cuối được lấy bằng 0. Điều kiện liên tục của vận tốc tại các điểm chốt được đảm bảo bởi điều kiện: $\prod'_k(t_{k+1}) = \prod'_{k+1}(t_{k+1})$.



Đa thức nội suy với giá trị vận tốc tính toán tại các điểm chốt:

Trong trường hợp này giá trị của vận tốc tại các điểm chốt được tính toán từ những điều kiện nhất định. Bằng cách nối các điểm chốt bằng các đoạn thẳng, vận tốc tại các điểm chốt được tính theo quy tắc sau:

$$\begin{aligned}
 q_1' &= 0 \\
 q_k' &= \begin{cases} 0 & \text{Khi đoạn } (v_k) \text{ khác đoạn } (v_{k+1}) \\ \frac{1}{2}(v_k + v_{k+1}) & \text{Khi đoạn } (v_k) \text{ trùng đoạn } (v_{k+1}) \end{cases} \\
 q_N' &= 0
 \end{aligned}$$

Trong đó $v_k = \frac{q_k - q_{k-1}}{t_k - t_{k-1}}$ là hệ số góc, tương trưng cho độ dốc của đoạn thẳng trong khoảng thời gian $(t_k - t_{k-1})$.

Đa thức nội suy với gia tốc liên tục tại các điểm chốt:

Cả hai trường hợp nói trên đều không đảm bảo được tính liên tục của gia tốc tại các điểm chốt. Muốn đảm bảo tính liên tục của cả chuyển vị, vận tốc và gia tốc thì đa thức nội suy giữa hai điểm chốt liền nhau phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc:

$$\begin{cases}
 \Pi_{k-1}(t_k) = q_k \\
 \Pi_{k-1}(t_k) = \Pi_k(t_k) \\
 \Pi'_{k-1}(t_k) = \Pi'_k(t_k) \\
 \Pi''_{k-1}(t_k) = \Pi''_k(t_k)
 \end{cases}$$

Trong đó về ý nghĩa các ràng buộc diễn đạt các điểm chính như sau:

- Ràng buộc thứ nhất chỉ điều kiện đi qua;
- Ràng buộc thứ hai chỉ điều kiện đi qua cùng một điểm;
- Ràng buộc thứ ba chỉ hệ số góc tiếp tuyến bằng nhau tại điểm chuyển tiếp trên biểu đồ chuyển vị (hoặc vận tốc chuyển tiếp bằng nhau trên biểu đồ vận tốc);
- Ràng buộc thứ ba chỉ bán kính cong tức thời tại điểm chuyển tiếp bằng nhau trên biểu đồ chuyển vị (hoặc gia tốc bằng nhau tại điểm chuyển tiếp trên biểu đồ gia tốc).

Nội suy đường bậc nhất bằng các đoạn parabol:

Một trong những dạng đơn giản nhất của quỹ đạo tay máy gồm các đoạn thẳng, nối với nhau bằng các đoạn parabol tại các điểm chốt.

Giả sử trên quỹ đạo có N điểm chốt, ứng với thời điểm t_k , tại đó biến khớp đạt giá trị q_k với $k = 1 \dots N$. Quỹ đạo nguyên thủy gồm các đoạn thẳng nối với nhau tại các điểm chốt. Để đảm bảo tính liên tục tại các điểm chốt, đường chuyển động được nối bằng các đoạn parabol.

Vận tốc và gia tốc tại các điểm chốt được tính như sau:

$$q'_{k-1,k} = \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta t_{k-1}}$$

$$q''_k = \frac{q'_{k,k+1} - q'_{k-1,k}}{\Delta t'_k}$$

Trong đó, vận tốc bằng quãng đường di chuyển chia cho thời gian, gia tốc bằng số gia vận tốc chia cho số gia thời gian (*đạo hàm của vận tốc theo thời gian*). Các đại lượng sau đây đòi hỏi biết trước.

$\Delta t_{k,k+1} = t_{k+1} - t_k$ là vận tốc không đổi ứng với khoảng thời gian

$q'_{k,k+1}$ là khoảng thời gian giữa hai vị trí q_k và q_{k+1}

q''_k là gia tốc tương ứng với đoạn nối parabol và khoảng thời gian.

4.1.1.2. Quỹ đạo trong không gian công tác

- Quỹ đạo trong không gian khớp mô tả diễn tiến theo thời gian của các biến khớp $q(t)$, sao cho phần công tác di chuyển thẳng từ điểm đầu đến điểm cuối của quỹ đạo hoặc đi qua các điểm trung gian. Thực tế khi thiết kế quỹ đạo trong không gian khớp khó có thể đảm bảo chuyển động chính xác của phần công tác do ảnh hưởng phi tuyến của việc chuyển đổi các quan hệ động học từ không gian khớp sang không gian công tác. Muốn cho phần công tác di chuyển theo đúng lộ trình đã định trong không gian công tác cần thiết kế quỹ đạo trực tiếp trong chính không gian này. Quỹ đạo có thể xác lập bằng cách nội suy đường dịch chuyển qua các điểm chốt hoặc xác lập bằng giải tích hàm chuyển động.
- Nhiệm vụ của việc xây dựng quỹ đạo trong *không gian công tác* là quy luật biến thiên của biến khớp trong *không gian thực* phải được chuyển đổi về quy luật biến thiên của biến khớp trong *không gian khớp* để điều khiển động cơ làm việc. Quỹ đạo của robot trong không gian công tác xây dựng thông qua việc giải bài toán ngược động học. Đây chính là chuẩn đầu vào của hệ điều khiển, người ta dùng phép *vi nội suy đường thẳng* tăng tần số cập nhật chuẩn đầu vào để cải thiện đặc tính động lực học của hệ thống.
- **Các nguyên tố của đường dịch chuyển:**

Một đường dịch chuyển trong không gian có thể tham số hóa theo một số biến chọn trước. Giả sử p là một véc tơ (3x1) và $f(\sigma)$ là một hàm véc tơ liên tục trong khoảng $[\sigma_i; \sigma_f]$, xét phương trình:

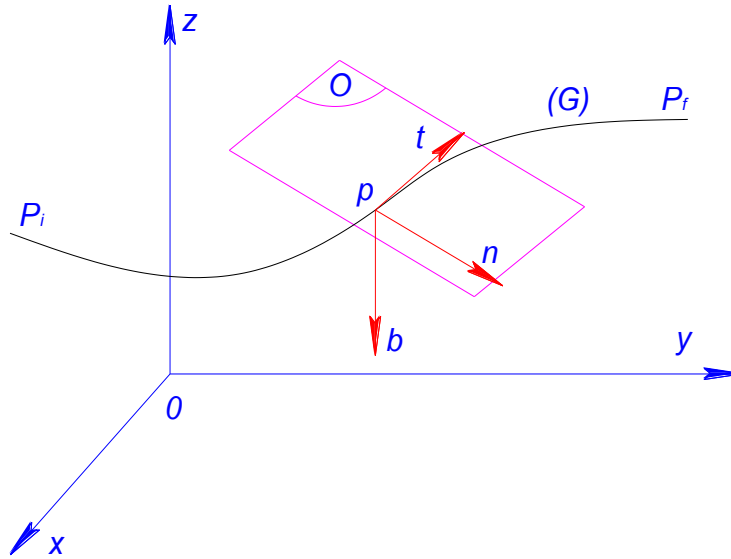
$$p = f(\sigma)$$

Khi thay đổi σ trong khoảng $[\sigma_i; \sigma_f]$ thì tập hợp các giá trị tương ứng của p hình thành một đường trong không gian, phương trình nói trên chính là phương trình tham số của đường cong biểu diễn quỹ đạo chuyển động trong không gian công tác, trong đó đại lượng σ là tham số vô hướng. Khi σ tăng điểm p di chuyển trên quỹ đạo theo một hướng nhất định.

Giả sử gọi điểm p_i cố định làm gốc, gọi s là độ dài cung tính từ p_i tới p . Mỗi điểm p trên quỹ đạo ứng với một tọa độ s , vì vậy s có thể dùng như một tham số của đường dịch chuyển:

$$p = f(s)$$

Xét một đường G biểu diễn theo tham số (s) như hình vẽ:



Hãy tưởng tượng rằng đường (G) có mặt cắt ngang vuông góc với đường tâm của nó tại p là một mặt phẳng, pháp tuyến của mặt phẳng đó tại p là tiếp tuyến t , chiều của t là chiều tăng của tham số s để đi từ p_i đến p_f , mặt phẳng mặt tiếp (O) là mặt chứa t và lân cận của (G) ở phía pháp tuyến t .

Phương của véc tơ pháp tuyến chính n là giao tuyến của mặt phẳng nhận t là pháp tuyến, với mặt phẳng mặt tiếp, chiều của n sao cho t, n lân cận của (G) phía sau t , và n cùng phía. Véc tơ b , trục thứ ba của hệ quy chiếu xác định theo quy tắc bàn tay phải.

Theo định nghĩa về tọa độ s của điểm p trên đường (G), ta có các quan hệ sau:

$$\begin{cases} t = \frac{dp}{ds} \\ n = \frac{1}{\left\| \frac{d^2p}{ds^2} \right\|} \frac{d^2p}{ds^2} \\ b = t.n \end{cases}$$

Sau đây là hai phân tố hình học điển hình thường sử dụng trong xây dựng quỹ đạo.

Đoạn thẳng trong không gian công tác:

Xét đoạn thẳng nối hai điểm p_i và p_f . Nó được biểu diễn dưới dạng tham số bởi phương trình sau:

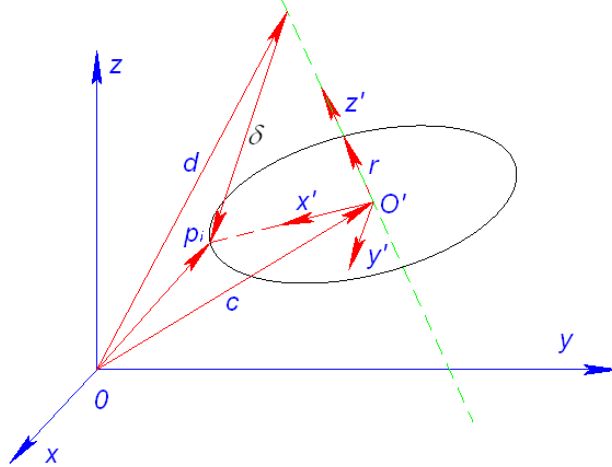
$$p(s) = p_i + \frac{s}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i)$$

(dạng tổng quát của phương trình tham số đường thẳng $x = x_0 + a.t$ ở đây p_i đóng vai trò một điểm đầu của đường thẳng, s là tham số như t , $\frac{p_f - p_i}{\|p_f - p_i\|}$ là cosin chỉ phương của đường thẳng, hay quen gọi tắt là véc tơ chỉ phương).

Chú ý rằng: $p(0) = p_i$ và $p(\|p_f - p_i\|) = p_f$. Vì vậy hướng của đường thẳng là đi từ p_i đến p_f . Hệ số góc của đường thẳng xác định bởi: $\frac{dp}{ds} = \frac{p_f - p_i}{\|p_f - p_i\|}$. Bán kính cong của

đường thẳng xác định bởi: $\frac{d^2p}{ds^2} = 0$. Điều đó có nghĩa là tồn tại vô số mặt phẳng mặt tiếp, vậy không thể xác định hệ tọa độ (t, n, b) một cách duy nhất.

Đường tròn trong không gian công tác:



Trong đó véc tơ đơn vị r nằm theo trục đường tròn. Véc tơ vị trí d mô tả một điểm nằm trên trục của đường tròn. Véc tơ p_i mô tả vị trí của một điểm nằm trên đường tròn.

Kí hiệu $\delta = p_i - d$, nếu p_i không nằm trên trục, nghĩa là đường tròn không suy biến thành một điểm thì điều kiện sau đây phải được thỏa mãn: $|\delta^T r| = \|\delta^T\| \|r\| \cos(\delta; r) \leq \|\delta\|$

Khi đó có thể xác định tâm của đường tròn thông qua véc tơ sau: $c = d + (\delta^T r)r$

Cần biểu diễn đường tròn dưới dạng tọa độ của s . Để cho hàm này đơn giản, cần chọn một hệ tọa độ thích hợp $O'x'y'z'$. Trong đó O' trùng với tâm đường tròn; trục x' hướng theo chiều véc tơ $(p_i - c)$, trục z' hướng theo r , còn y' được xác định theo quy tắc bàn tay phải. tọa độ của p trong hệ này tương tự như xác định phương trình tham số đường tròn trong tọa độ cực:

$$p'(s) = \begin{bmatrix} \rho \cos(\frac{s}{\rho}) \\ \rho \sin(\frac{s}{\rho}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\rho = \|p_i - c\|$ là bán kính đường tròn và điểm p_i là góc tọa độ. Khi thay đổi hệ quy chiếu phương trình biểu diễn đường tròn trở thành: $p(s) = c + Rp'(s)$

Trong đó R là ma trận quay của hệ tọa độ O' so với hệ tọa độ O .

Biểu thức của vận tốc và gia tốc dưới dạng hàm số của tọa độ s như sau:

$$\frac{dp}{ds} = R \begin{bmatrix} -\sin(\frac{s}{\rho}) \\ \cos(\frac{s}{\rho}) \\ 0 \end{bmatrix}; \frac{d^2p}{ds^2} = R \begin{bmatrix} -\frac{1}{\rho} \cos(\frac{s}{\rho}) \\ -\frac{1}{\rho} \sin(\frac{s}{\rho}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

- **Vị trí và hướng trên quỹ đạo:**

Quỹ đạo trong không gian công tác mô tả bằng hai yếu tố là định vị và định hướng, có thể mô tả cả hai yếu tố tại mỗi một vị trí thông qua véc tơ: $x = \begin{bmatrix} p \\ \varphi \end{bmatrix}$

Vị trí của phần công tác:

Gọi $p = f(s)$ là véc tơ (3x1) biểu diễn đường dịch chuyển (G) dưới dạng hàm của tọa độ (s). Góc tọa độ của phần công tác di chuyển từ điểm p_i đến điểm p_f trong khoảng thời gian t_f . Để đơn giản đặt gốc tọa độ tại điểm p_i hướng của (G) đi từ p_i đến p_f . Tọa độ của điểm p bất kì trên (G) chính là độ dài cung (s) tính từ $p_{initial}$ đến p. Tọa độ này là một hàm biểu diễn theo thời gian t, hay còn có thể viết được $s = s(t)$. Vì $p = f(s)$ nên tính được vận tốc di chuyển trên đường (G) bằng cách tính đạo hàm bậc nhất của p theo (s):

$$p' = s' \frac{dp}{ds} = s' t$$

Trong đó t là véc tơ tiếp tuyến của đường cong tại p. Như vậy, s' biểu diễn độ lớn của véc tơ vận tốc tại p. Giá trị của p' biến thiên từ 0 (thời điểm đầu $t = 0$) biến thiên theo quy luật hình thang, tùy theo chúng ta sử dụng phép nội suy bậc ba hay bậc nhất và trở lại bằng 0 khi $t = t_f$.

Đối với các quỹ đạo thường sử dụng là đường thẳng và đường tròn thì cách tính vận tốc và gia tốc cụ thể như sau:

Nếu quỹ đạo có dạng đường thẳng:

$$p(s) = p_i + \frac{s}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i)$$

$$p' = \frac{s'}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i) = s' t$$

$$p'' = \frac{s''}{\|p_f - p_i\|} (p_f - p_i) = s'' t$$

Nếu đường dịch chuyển là đường tròn biểu diễn bởi phương trình đã nói ở mục trước, lần lượt lấy đạo hàm theo thời gian, chú ý rằng $s = s(t)$ ta được:

$$p' = R \begin{bmatrix} -s' \sin(\frac{s}{\rho}) \\ s' \cos(\frac{s}{\rho}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$p'' = R \begin{bmatrix} (-s'^2 \cos(\frac{s}{\rho})) \frac{1}{\rho} - s'' \sin(\frac{s}{\rho}) \\ (-s'^2 \sin(\frac{s}{\rho})) \frac{1}{\rho} + s'' \cos(\frac{s}{\rho}) \end{bmatrix}$$

Chú ý rằng vận tốc có hướng tiếp tuyến với quỹ đạo tại điểm đang xét. Còn gia tốc có hai thành phần là tiếp tuyến và hướng tâm.

Hướng của phần công tác:

Hướng của phần công tác như đã nghiên cứu trong chương 2, được mô tả thông qua định vị và định hướng ma trận quay của hệ quy chiếu địa phương gắn với khâu chấp hành so với hệ quy chiếu cơ sở gắn với giá.

Hướng của phần công tác có thể mô tả thông qua các ma trận quay, trong đó chú ý rằng ba cột của ma trận quay có 3x3 : 9 thành phần của cosin chỉ phương, chúng không độc lập tuyến tính nên xác định đủ 9 thành phần này là không cần thiết. Việc mô tả định hướng ở đây dựa trên các phép mô tả hướng tối thiểu (MRO) như phép quay RPY hoặc EULER.

Định hướng của phần công tác được mô tả tại vị trí đầu và vị trí cuối của quỹ đạo, tại các điểm trung gian được tiến hành nội suy bình thường như nội suy các thông số định vị. Hàm nội suy cũng là các hàm bậc ba hoặc hàm bậc nhất như đã thực hiện đối với vị trí. Như đã chỉ ra ở các phần trước vận tốc góc có quan hệ tuyến tính với đạo hàm bậc nhất thông số mô tả góc quay, là một hàm liên tục theo thời gian. Có nghĩa là nếu gọi $\varphi_i; \varphi_f$ là góc mô tả hướng tối thiểu tại điểm đầu và điểm cuối của quỹ đạo theo thứ tự đó, công thức nội suy sự thay đổi định hướng của khâu, vận tốc thay đổi, gia tốc thay đổi từ điểm đầu cho trước, đến điểm cuối cho trước định hướng như sau:

$$\varphi = \varphi_i + \frac{s}{\|\varphi_f - \varphi_i\|} (\varphi_f - \varphi_i)$$

$$\varphi' = \frac{s'}{\|\varphi_f - \varphi_i\|} (\varphi_f - \varphi_i)$$

$$\varphi'' = \frac{s''}{\|\varphi_f - \varphi_i\|} (\varphi_f - \varphi_i)$$

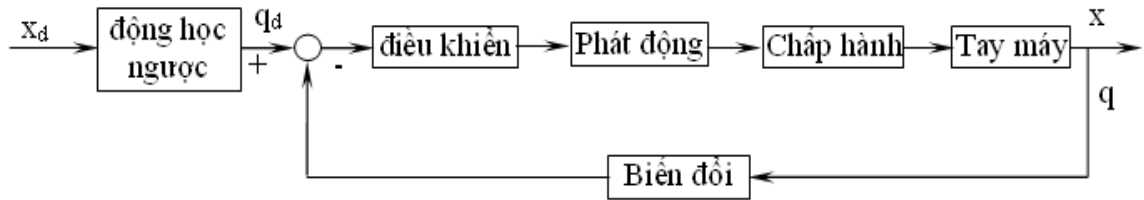
Một phương pháp nữa mô tả sự thay đổi liên tục của các thông số trong bộ thông số định hướng tối thiểu, là vận dụng ma trận biến đổi quay quanh một trục bất kì. Ý tưởng của phương pháp là nếu cho trước định hướng ban đầu trong ma trận R_i , và cho trước định hướng khi kết thúc làm việc là R_f , ta tưởng tượng khâu chấp hành biến đổi vị trí liên tục từ R_i đến R_f thì tồn tại một ma trận chuyển tổng quát R_T có giá trị thay đổi tại từng điểm trên quỹ đạo, sao cho hệ thức sau luôn được thỏa mãn: $R_f = R^T R_i$

Việc xác định ma trận R^T thực hiện bằng các thuật toán ngược động học.

4.1.2. Điều khiển chuyển động.

- **Điều khiển quỹ đạo trong gian khớp:**

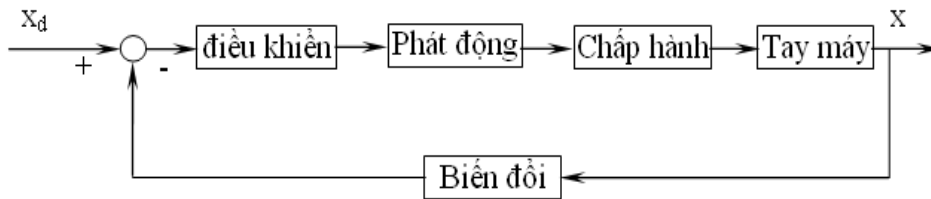
Ở đây bài toán động học ngược được giải trước để chuyển các thông số từ không gian công tác sang không gian khớp. Xem lược đồ sau:



Mạch điều khiển nhận giá trị đặt của các biến khớp (có thể qua hệ số chuyển đổi nào đó) và điều khiển khớp theo sát diễn tiến thời gian của biến khớp. Mạch điều khiển này đơn giản song độ chính xác bị hạn chế do đối tượng bị giám sát trực tiếp là phần công tác lại nằm ngoài mạch điều khiển.

- **Điều khiển trong không gian công tác:**

Nhận trực tiếp thông số của không gian khớp làm số liệu đầu vào, bài toán ngược được giải trong mạch phản hồi. Sơ đồ này có hai nhược điểm cơ bản là hệ điều khiển phức tạp hơn. Thứ hai hệ thống đo thường gắn lên các khớp, giám sát trực tiếp các thông số của khớp. Muốn chuyển chúng sang không gian công tác thì phải thực hiện các phép tính động học thuận, đó cũng là nguyên nhân phát sinh sai số.



4.1.2.1. Điều khiển trong không gian khớp.

4.1.2.2. Điều khiển độc lập

- a. Điều khiển có liên hệ ngược.
- b. Điều khiển có bù.

4.1.2.3. Điều khiển tập trung

- a. Điều khiển PD có bù trọng lực
- b. Điều khiển dùng động lực học.

4.1.2.4. Điều khiển trong không gian công tác.

- a. Các dạng sơ đồ chung.
- b. Điều khiển PD có bù trọng lực
- c. Điều khiển dùng động lực học ngược.

4.2. Cơ sở thiết kế và lựa chọn robot.

4.2.1. Các thông số kỹ thuật của robot công nghiệp.

4.2.1.1. Sức nâng của tay máy.

- Đó là khối lượng (kg) mà robot có thể nâng được (không kể tự trọng bản thân của các khâu thuộc cánh tay) trong những điều kiện nhất định, ví dụ khi tốc độ dịch chuyển cao nhất hoặc khi tầm với lớn nhất. Nếu robot có nhiều tay thì đó là tổng sức nâng của các tay phối hợp với nhau, thông số này quan trọng với các thông số vận chuyển lắp ráp... Các robot có sức nâng lớn thường dùng hệ truyền động điện hoặc thủy lực, khuynh hướng sử dụng động cơ điện ngày càng tăng, truyền động khí nén thường chỉ áp dụng với các tay máy đòi hỏi sức nâng dưới 40(kg). Đối với một số kiểu robot người ta còn quan tâm đến lực hoặc mô men lớn nhất mà cánh tay hoặc bàn tay có thể tạo ra.

4.2.1.2. Số bậc tự do của phần công tác.

- Đó là tổng số các tọa độ mà phần công tác có thể dịch chuyển so với thân robot. Số bậc tự do càng lớn thì hoạt động của robot càng linh hoạt nhưng điều khiển nó càng phức tạp, thống kê thực tế cho thấy phần lớn robot có 4 – 5 bậc tự do. Vì phần kẹp không được tính vào bậc tự do, trên thực tế bậc tự do được tạo ra bởi hai phần chính là cánh tay và cổ tay.
- Công thức tổng quát để tính số bậc tự do của một cấu trúc là:

$$DOF = 6n - i.k_i$$

- Trong đó n là số khâu chuyển động được của cấu trúc, k_i là số khớp loại i.

4.2.1.3. Vùng công tác.

- Vùng công tác hay vùng làm việc diễn đạt không gian quanh robot, đó là tập hợp những điểm mà bàn kẹp hay dụng cụ trong bàn kẹp có thể thỏa mãn đồng thời cả định vị và định hướng tại điểm bất kỳ thuộc vùng đó. Đôi khi người ta cũng hiểu là chỉ cần đạt được định vị. Khi nói đến vùng làm việc người ta nói đến hai yếu tố, là hình dạng của nó và các kích thước đặc trưng để mô tả vùng đó. Kích thước của vùng làm việc không chỉ phụ thuộc vào kích thước các khâu mà cả thứ tự chuyển động của các khâu.
- Một thông số khác liên quan đến vùng làm việc là tầm với của cánh tay, tầm với tăng, mức độ mất ổn định cũng gia tăng, đồng thời độ chính xác giảm.
- Vùng làm việc là một miền liên tục song trong đó lại chứa những điểm mà khâu tác động sau cùng không thể vươn tới do các giới hạn về kết cấu, thuật ngữ chuyên môn gọi các điểm này là lỗ trống.

4.2.1.4. Độ chính xác định vị.

- Độ chính xác định vị thể hiện khả năng đối tượng đạt được chính xác tới điểm đích. Đó là một thông số quan trọng, ảnh hưởng đến sự thao tác chính xác của phần công tác và khả năng bám quỹ đạo của nó. Đối với thiết bị điều khiển số, độ chính xác định vị liên quan đến hai vấn đề, độ phân giải điều khiển và độ chính xác lặp lại.

4.2.1.5. Tốc độ dịch chuyển.

- Xét về yếu tố năng suất người ta mong muốn tốc độ dịch chuyển nói chung càng cao càng tốt. Tuy nhiên về mặt cơ học, tốc độ cao sẽ dẫn đến những vấn đề như giảm tính ổn định, lực quán tính lớn, các cơ cấu ma sát mòn nhanh hơn.
- Xét về mặt điều khiển với độ phân giải sẵn có của bộ điều khiển, khi tăng tốc độ dịch chuyển có thể làm giảm độ chính xác định vị. Vì vậy vấn đề chọn tốc độ dịch chuyển hợp lý cũng đặt ra khi thiết kế và lựa chọn robot.

4.2.1.6. Đặc tính của bộ điều khiển.

- Robot là sản phẩm cơ điện tử nên ngoài khâu khớp còn có bộ não của robot là các thiết bị điều khiển.
- *Kiểu điều khiển:* có hai kiểu điều khiển hay dùng nhất cho RBCN là điều khiển điểm - điểm và điều khiển contour. Điều khiển điểm - điểm thường dùng cho các robot hàn điểm, tán đinh, vận chuyển. Điều khiển contour dùng cho các robot hàn đường, phun sơn, tạo mẫu...
- *Dung lượng bộ nhớ:* Bộ nhớ trên robot hiện đại chia làm hai phần:
Bộ nhớ hệ thống lưu trữ các phần mềm hệ thống, phần mềm công dụng chung như hệ điều hành, dữ liệu máy, các mô đun chương trình tính toán động học, động lực học.
Bộ nhớ chương trình dùng lưu trữ các chương trình ứng dụng do người dùng tạo ra. Thường bộ nhớ chương trình là RAM, dung lượng của nó là một thông số đáng quan tâm.
- *Giao diện với các thiết bị ngoại vi:* Các thiết bị ngoại vi là các thiết bị mà robot phải phục vụ hay phối hợp làm việc. Chẳng hạn máy công cụ, phương tiện vận chuyển như băng tải, máng tải, thiết bị đo lường, hoặc các thiết bị hiển thị, in ấn nhập dữ liệu... Hầu hết các robot phục vụ trong dây chuyền có khả năng ghép nối trong hệ CIM thông qua giao diện truyền thông chuẩn. Điều này có thể giúp mở rộng khả năng công nghệ vốn có của robot ra ngoài đặc tính chuẩn của nó, thông qua việc xây dựng dữ liệu bằng ngôn ngữ chuẩn của nhà sản xuất sau đó kết nối vào từ bên ngoài.
- *Các tiện ích:* Tiện ích của robot bao gồm lập trình có trợ giúp đồ họa, hệ thống dạy - học, mô phỏng gia công. Những tiện ích này làm cho robot thân thiện hơn với người sử dụng.

4.2.2. Thiết kế và tổ hợp robot.

4.2.2.1. Các nguyên tắc chung.

- *Thiết kế robot gồm hai mảng công việc chính, thiết kế cấu trúc cơ khí và thiết kế phần điều khiển.* Thiết kế cấu trúc cơ khí cũng tuân thủ các nguyên tắc chung của thiết kế máy. Nhìn chung các bậc tự do dẫn động độc lập, sử dụng các nguồn dẫn động tiêu chuẩn. Những điều này là điều kiện thuận lợi để xây dựng các mô đun cơ khí chuẩn. Các mô đun quay thân, mô đun cổ tay, mô đun nâng hạ cánh tay... trên cơ sở đó các robot có chức năng và hình dạng vùng làm việc được tạo ra bằng cách ghép các mô đun có chức năng và công suất tương ứng với nhau.
- *Xuất phát từ yêu cầu công nghệ:* Robot có tính vạn năng song mỗi robot được thiết kế và chế tạo để trực tiếp thực hiện, hoặc phục vụ cho một quá trình sản xuất cụ thể. Vì vậy các thông số kỹ thuật của robot phải đáp ứng được các yêu cầu công nghệ của quá trình sản xuất cụ thể đó. Mỗi một quá trình công nghệ có đặc điểm riêng, cần nghiên cứu kỹ trước khi bắt tay vào thiết kế.
- *Đảm bảo sự đồng bộ với hệ thống:* Robot phải làm việc trong hệ thống công nghệ cùng với các đối tượng khác, nên chúng phải làm việc theo đúng nhịp độ để có thể phối hợp theo đúng ý đồ. Vì vậy trạng thái của robot cũng như các đối tượng khác phải được giám sát thường xuyên, thực chất đây là nội dung nằm trong thiết kế phần điều khiển.
- *Chọn kết cấu điển hình:* Tương tự như thiết kế máy, quá trình thiết kế robot cũng có tính kế thừa, căn cứ trên mẫu các thiết kế đã có, các kết cấu điển hình, đã làm việc ổn định mà không cần cải tiến sửa đổi gì hơn nữa sẽ được giữ lại. Sự phát triển cao của kỹ thuật này là tạo ra các mô đun tiêu chuẩn. Khi cần có một robot mới, sẽ tổ hợp các mô đun có chức năng và công suất phù hợp với nhau để đáp ứng tốc độ xây dựng thiết bị.
- *Đảm bảo sự hòa hợp giữa robot và môi trường:* Để robot bền lâu, hiệu quả an toàn và tin cậy thì cần phải làm cho giữa các đối tượng này có sự hài hòa. Hoặc cải tạo môi trường như lọc bụi, điều hòa không khí và độ ẩm, thông gió, hoặc bảo vệ robot làm kín, cách li, làm

mát cục bộ cho robot khỏi các tác động bất lợi của môi trường. Các thiết bị điện tử công nghiệp ngày nay được thiết kế chuyên dụng nên có độ thích nghi rất cao với môi trường.

- *Sự hòa hợp giữa robot với người dùng:* Đáp ứng tiêu chí dễ sử dụng, thẩm mỹ công nghiệp.
- *Thiết kế có định hướng sản xuất:* Nói về tính công nghệ trong chế tạo, hay cụ thể là tính công nghệ trong kết cấu.

4.2.2.2. Các bước cần thực hiện khi thiết kế.

Robot là một máy tự động khả trình, là sản phẩm điển hình của cơ điện tử. Về nguyên tắc thiết kế giống như thiết kế máy về cơ bản.

1. Phân tích quá trình công nghệ để xác định khâu nào cần phải sử dụng robot, chú ý các công đoạn có điều kiện lao động khắc nghiệt, các công đoạn lặp đi lặp lại đơn điệu. Sơ bộ đánh giá hiệu quả sử dụng robot vào khâu đó.
2. Nghiên cứu các thông số kết cấu của đối tượng dự định sẽ xử lý bằng robot, như hình dạng, khối lượng, trạng thái vật lý, sự phân bố khối lượng của vật thể.
3. Nghiên cứu điều kiện môi trường sử dụng robot như nhiệt độ, bụi, rung động, khả năng gây cháy nổ.
4. Xác định các thông số kỹ thuật chính của robot theo yêu cầu công nghệ, từ đó tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật, lựa chọn các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật phù hợp.
5. Phân chia kết cấu thành các cụm cơ cấu chính. Xác định cụm nào có khả năng trùng với các mô đun có sẵn, cụm nào có thể sử dụng các thiết kế tương tự, cụm nào phải thiết kế chế tạo mới hoàn toàn. Phân chia nhiệm vụ cho các cụm chuyên ngành phù hợp.
6. Tổ hợp hệ thống, thử nghiệm trên mô hình. Trong giai đoạn này nên sử dụng các kỹ thuật mô phỏng, mô hình hóa trên máy tính để giảm chi phí và thời gian thử nghiệm.
7. Chế thử, thử nghiệm robot trong phòng thiết kế và trong sản xuất.
8. Đánh giá kết cấu về tính năng kỹ thuật, công nghệ chế tạo và tính kinh tế. Từ đó đề xuất các biện pháp hoàn thiện kết cấu và công nghệ chế tạo.

4.2.2.3. Thiết kế theo phương pháp tổ hợp mô đun.

- *Mục đích* của phương pháp tổ hợp mô đun, là *làm giảm thời gian chuẩn bị sản xuất khi có yêu cầu thay đổi thiết bị công nghệ. Dựa trên nguyên tắc tiêu chuẩn hóa kết cấu các cụm có công dụng chung, có nguồn dẫn động độc lập, có mặt lắp ghép tiêu chuẩn.* Trong từng kiểu mô đun lại có nhiều gam ứng với công suất khác nhau để ứng dụng cho các mục tiêu khác nhau. Về cơ bản có thể chế tạo thêm các chi tiết phụ khác nên có thể hoàn thiện thiết bị với tính năng mới trong thời gian ngắn nhất.
- Thiết kế theo phương pháp tổ hợp mô đun có các ưu điểm chính như sau:
 - ❖ Giảm thời gian thiết kế và chế tạo, vì sử dụng các bản thiết kế có sẵn hoặc các cụm chế tạo có sẵn trên thị trường. Nhiệm vụ của người thiết kế mới chỉ là tổ hợp các cụm được chọn theo yêu cầu thực tế và chế tạo bổ xung các chi tiết phụ.
 - ❖ Thỏa mãn các điều kiện làm việc tiêu chuẩn với kết cấu đơn giản, sử dụng được các giải pháp kết cấu tối ưu, ít phạm phải các kết cấu và chức năng thừa. Khi thay đổi yêu cầu công nghệ.
 - ❖ Nâng cao chất lượng và độ tin cậy của thiết bị, vì các cụm tiêu chuẩn được chế tạo với chất lượng cao, được thử nghiệm tại các cơ sở chuyên môn hóa có kinh nghiệm, được đầu tư đầy đủ các thiết bị gia công và thử nghiệm chuyên dùng.
 - ❖ Giảm giá thành thiết bị vì các cụm được sản xuất với tính loạt cao.
 - ❖ Vì các mô đun được tiêu chuẩn hóa cao nên nhiều robot sẽ cùng sử dụng chung một số mô đun nào đấy, điều này tạo sự thuận lợi khi bảo trì bảo dưỡng, sửa chữa, thay thế về sau.

- Nhược điểm cơ bản của phương pháp tổ hợp mô đun là khó thỏa mãn các yêu cầu cá biệt. Có một số trường hợp làm cho thiết bị cồng kềnh, nặng nề, tính năng kỹ thuật không hợp lí. Mặt khác phải tốn kém rất nhiều cho sự thống nhất hóa tiêu chuẩn hóa kết cấu.
- Sự tiêu chuẩn hóa kết cấu nhằm giảm số lượng chủng loại sản phẩm nên luôn luôn mâu thuẫn với yêu cầu đa dạng và yêu cầu sử dụng chúng. Mặt khác sự phát triển không ngừng trong kỹ thuật vật liệu, trình độ thiết kế, công nghệ chế tạo luôn luôn có xu hướng phá vỡ tiêu chuẩn đã xây dựng. Lựa chọn chỉ tiêu để tiêu chuẩn hóa và thống nhất hóa là điều khá khó khăn, đối với robot người ta dựa trên các chỉ tiêu sau:
- **Theo tính năng:** Robot trong các gam khác nhau có thể khác nhau về sức nâng khi cùng kết cấu, có thể khác nhau về tốc độ dịch chuyển, có thể khác nhau về độ chính xác định vị... tương tự người ta cũng phân chia robot theo kiểu điều khiển, ví dụ điều khiển điểm - điểm, điều khiển contour.
- **Theo chức năng:** Thống nhất hóa và tiêu chuẩn hóa các cụm có chức năng cơ bản như cụm tạo ra chuyển động thẳng, tạo ra chuyển động quay, cụm bàn kẹp, cụm có chức năng đo lường...
- **Theo công nghệ:** Thống nhất hóa và tiêu chuẩn hóa theo điều kiện sử dụng, ví dụ robot phun sơn, robot hàn, robot lắp ráp...

4.2.3. Một số kết cấu điển hình của robot.

- Để minh họa các quan điểm trên trong mục này sẽ giới thiệu một số kết cấu điển hình của các tay máy công nghiệp, do các nước tiên tiến trên thế giới thiết kế và chế tạo. Các kết cấu này có thể kế thừa trong các thiết kế về sau nếu thấy không có vấn đề gì cần cải tiến sửa đổi.

4.2.3.1. Robot cố định trên nền dùng hệ tọa độ đề các và tọa độ trụ.

1. Set up the SCORBOT-ER 4u on a sturdy surface with a minimum 700mm of free space all around the robot.

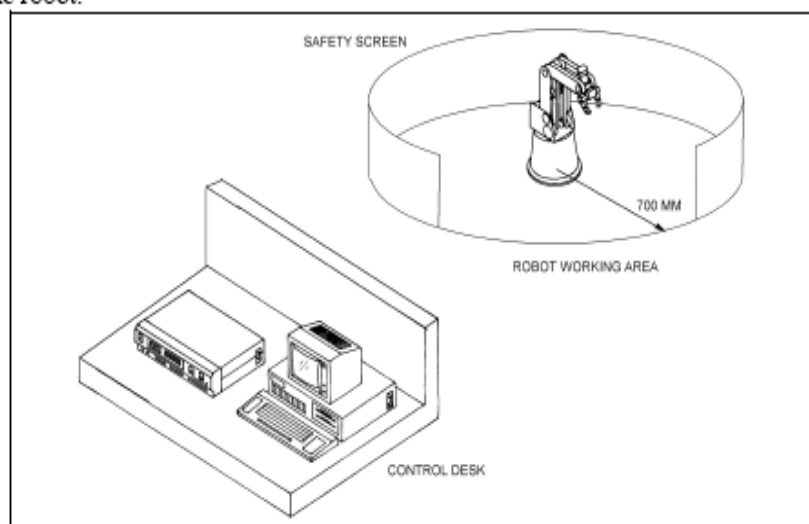
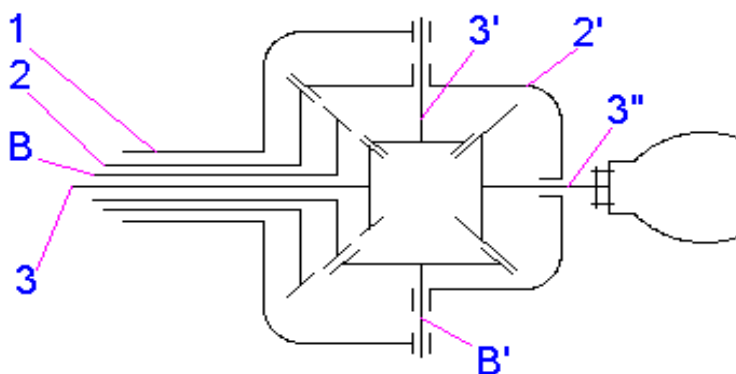


Figure 12: SCORBOT-ER 4u Installation

- Đặc trưng của phần tạo ra tọa độ trụ là kết cấu dẫn hướng theo phương thẳng đứng, để phần cánh tay có tâm với thay đổi trong một phạm vi hẹp vừa có khả năng thay đổi cao độ của mặt phẳng làm việc, nếu không kể các bậc tự do khác vùng làm việc tạo ra bởi kết cấu này chỉ là một hình chữ nhật hướng tâm trong mặt phẳng thẳng đứng. Mặt trụ được tạo ra toàn bộ hoặc một phần tùy theo kết cấu cơ khí cụ thể nhờ chuyển động quay toàn bộ phần dẫn hướng thẳng đứng.

4.2.3.2. Robot cố định trên nền dùng hệ tọa độ cầu.

- Khớp cầu được tạo thành từ ba khớp quay có đường tâm giao nhau, điển hình cho kết cấu này là cổ tay robot kiểu cầu:



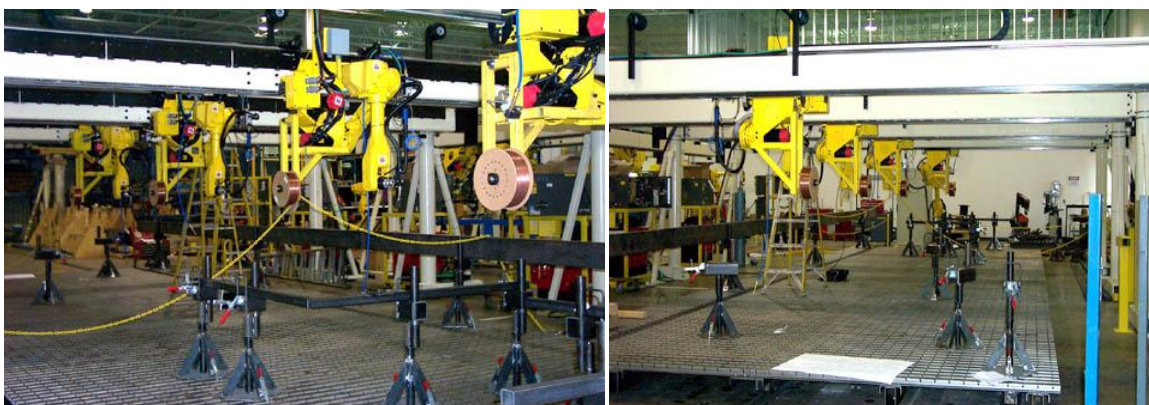
- Cơ cấu có ba bậc tự do với truyền động vi sai khứ khe hở bộ truyền, mỗi một chuyển động chấp hành là hệ quả của việc tổng hợp chuyển động từ hai nguồn cùng quy luật truyền tới có tác dụng tạo ra chuyển động vận ngược nhau hai khâu đồng trục. Ba chuyển động có bốn khâu nên (1, 2, 3, B). Tâm của khớp cầu là giao điểm của 8 bánh răng côn như lược đồ. Để kết cấu này làm việc cần có phần đóng mạch mang các cơ cấu vi sai nữa.



Phương pháp tạo ra tọa độ cầu thứ hai, là kết hợp hai chuyển động quay trùng tâm và một chuyển động tịnh tiến hướng kính qua tâm quay đó.

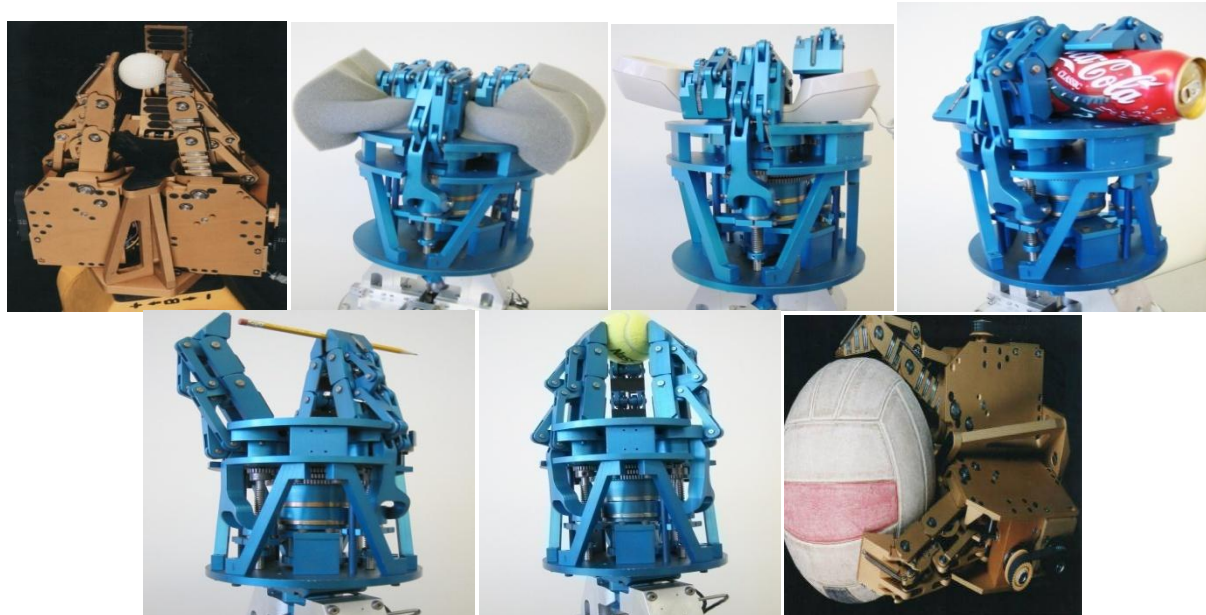
4.2.3.3. Robot treo.

- Robot treo được lắp và chuyển động trên các đường ray trên không, ưu điểm của chúng là không chiếm diện tích sản xuất, ít cản trở hoạt động của các thiết bị khác và có vùng làm việc rộng. Các robot treo có thể vận chuyển nguyên vật liệu, thiết bị trong từng phân xưởng hoặc giữa các phân xưởng. Chúng có thể phục vụ nhiều thiết bị khác nhau trong dây chuyền, có thể sử dụng chúng vào việc lắp ráp, phun sơn hoặc hàn... Các robot treo có thể phân ra hai loại, chuyển động theo một phương (kiểu palăng), hoặc chuyển động theo hai phương (kiểu cầu trục).



4.2.3.4. Robot có điều khiển thích nghi.

- Robot thích nghi là robot có khả năng tự phản ứng có lợi trước những diễn biến bất lợi của môi trường mà người lập trình không lường trước được, hệ điều khiển của robot thường được xây dựng trên cơ sở điều khiển mờ. Sự phản ứng của robot dựa vào các thông số đo được của môi trường, ví dụ vị trí, tính chất vật lí của đối tượng, hoặc dựa vào trạng thái các cơ cấu trong robot. Trong trường hợp này chương trình điều khiển chỉ định hướng sơ bộ các hoạt động của robot, chính nó sẽ phải tìm hiểu và chính xác hóa các hoạt động của mình trên cơ sở phân tích các thông tin thu nhận được từ môi trường. Nhờ khả năng thích nghi mà robot kiểu này có thể làm được những việc mà robot thông thường không làm được, chẳng hạn tìm kiếm, lắp ráp, thay đổi lực kẹp phù hợp ... Phần lớn các robot thông thường đều có thể trở thành robot thích nghi nếu trang bị các sensor để thu nhận các thông tin về môi trường, chương trình phân tích thông tin thu được và ra quyết định với thông tin thu được.
- Các robot sau đây có thể cầm nắm được những vật khác nhau về hình dáng và kích thước là do cảm biến lực gắn với ngón tay điều khiển.

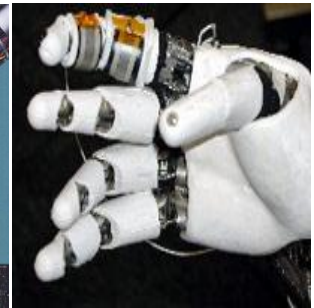
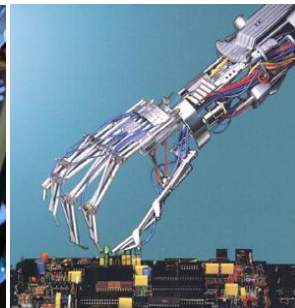
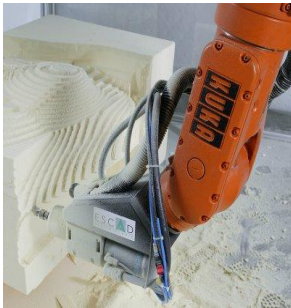


4.3. Cơ cấu tay kẹp.

- Phần công tác của robot rất đa dạng, trên các robot chuyên dùng thì phần công tác cũng là thiết bị chuyên dùng. Ví dụ mỏ hàn, mỏ cắt, súng phun sơn, chìa vặn vít, bàn kẹp.
- Trên các loại robot vạn năng thường là robot lắp ráp, vận chuyển, xếp dỡ thì phần công tác có chức năng nắm giữ và thực hiện các thao tác khác nhau với đối tượng (xoay, nhấc, lật,

ROBOT CÔNG NGHIỆP

thả.), nếu không đề cập đến sự khác biệt về kết cấu mà căn cứ vào chức năng chính của chúng, ta gọi chung là tay kẹp. Các hình ảnh sau minh họa các kết cấu từ đơn giản đến phức tạp của bộ phận này.



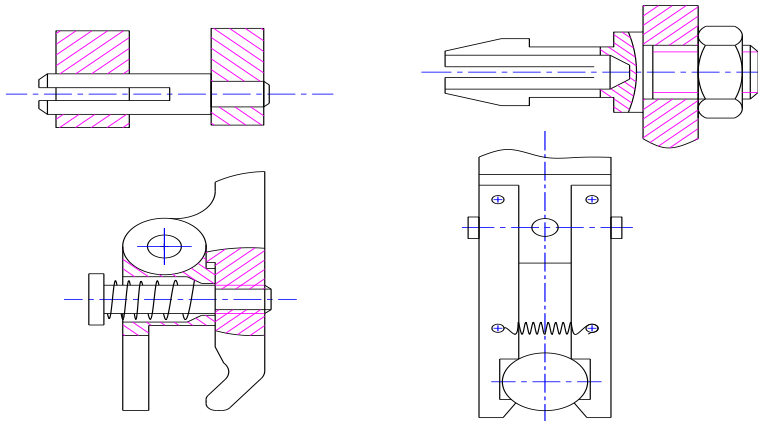
4.3.1. Khái niệm và phân loại tay kẹp.

- Tay kẹp của robot là phần tương ứng với bàn tay trên cánh tay người, có chức năng thao tác trực tiếp với đối tượng công nghệ, cụ thể là tác động lên đối tượng để thay đổi vị trí, định hướng của đối tượng để đạt những mục đích công nghệ xác định.
- Tay kẹp được phân loại theo nhiều đặc trưng khác nhau như theo công dụng, theo phương pháp giữ vật, theo tính vạn năng. Chúng ta quan tâm đến các đặc trưng liên quan trực tiếp đến kết cấu như sau:
 - ❖ Theo nguyên lý tác động có tay kẹp cơ khí, chân không, từ trường, tĩnh điện...
 - ❖ Theo khả năng điều khiển, có tay kẹp không điều khiển, điều khiển cứng, điều khiển thích nghi.
 - ❖ Theo nguồn năng lượng có các loại tay kẹp có dẫn động và không có dẫn động.

4.3.2. Kết cấu của tay kẹp.

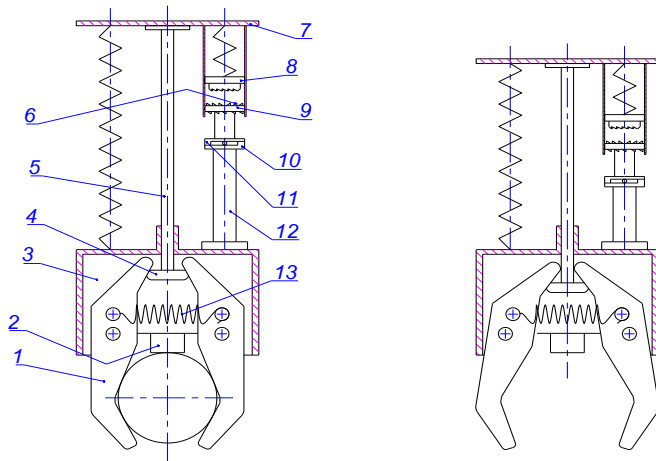
4.3.2.1. Tay kẹp cơ khí.

- Đó là loại tay kẹp để giữ, di chuyển đối tượng bằng các mỏ kẹp, móc, càng, tấm đỡ (xem các minh họa phần trên).
- Tay kẹp không có điều khiển dùng các loại mỏ, nhíp, chấu ... để kẹp vật nhờ tác dụng của lò xo hoặc nhờ lực đàn hồi của chính các chi tiết trong hệ thống. Kết cấu của các loại kẹp này rất đơn giản, chúng không có nguồn dẫn động riêng, không có cơ cấu hãm nên lực kẹp dao động theo kích thước của đối tượng. Vì vậy chúng thuộc loại tay kẹp chuyên dùng, được thiết kế cho từng loại đối tượng cụ thể, với phạm vi thay đổi kích thước hẹp. Do các đặc điểm nêu trên, chúng được dùng chủ yếu trong sản xuất hàng khối. Xem minh họa cơ cấu này như sau:

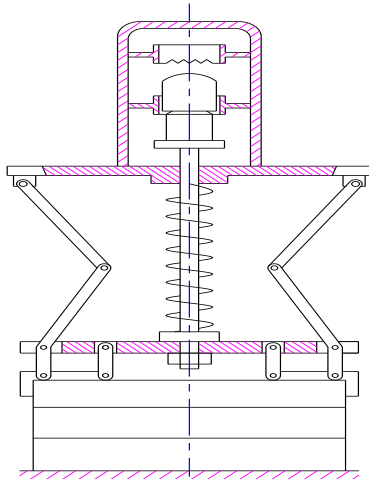


Để đảm bảo làm việc tin cậy và ổn định ngay cả khi có biến động kích thước của đối tượng, tay kẹp được bổ xung cơ cấu hãm, ví dụ như cơ cấu minh họa dưới đây. Nhờ có cơ cấu hãm mà tay kẹp làm việc với hành trình kẹp và nhả rãnh mạch hơn dù vẫn không có nguồn dẫn động riêng. Các tay kẹp dùng với vật tròn xoay như hình vẽ (), lực kẹp được tạo ra dưới tác dụng của trọng lực, tấm nêm 4 tác động lên đuôi của các mỏ kẹp 1. Khi đặt vật xuống, nêm 4 tiến gần đến vật, hai mỏ kẹp được giải phóng, vật được nhả ra dưới tác dụng của lực kéo từ lò xo 13. Chú ý tới cơ cấu hãm, nó gồm thân 7 gắn liền với cần 5. Chốt hãm 10 gắn trên cần 12 nhưng có thể quay tự do trên đó. Trong lỗ của thân 7 có lồng 2 bạc không quay được 8 và 9. Bạc 8 có các vấu phía dưới, bạc 9 có cả vấu trên và dưới. Các vấu này khi ăn khớp và trượt tương đối với các vấu trên chốt 10 sẽ làm quay chốt đó 450. Trong hành trình nhả, thân 7 tiến gần đến đầu 3, chốt 10 tiếp xúc với bạc 8, quay 450, khi đi xuống tiếp xúc với mặt trên của bạc 9 lại quay tiếp 450 và bị mắc trong lỗ. Hai mỏ kẹp bị giữ ở trạng thái nhả. Trong hành trình kẹp, sau khi chốt 2 tiếp xúc với vật, đầu 3 và thân 7 tiến gần đến nhau. Chốt 10 tiếp xúc với bạc 8, bị quay 450. Khi đi xuống chốt 10 lại tiếp xúc với bạc 9, bị

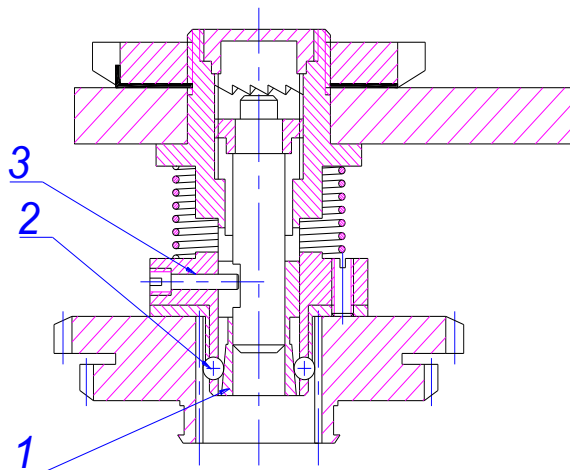
quay tiếp 450 nữa. Kết quả là chốt lọt qua được rãnh và lọt ra khỏi lỗ. Các mỏ 1 được khóa ở trạng thái kẹp.



Để kẹp các chi tiết có dạng bánh răng, bạc, đĩa ở tư thế thẳng đứng thường sử dụng loại tay kẹp có nguyên lý hoạt động tương tự với kết cấu như sau:

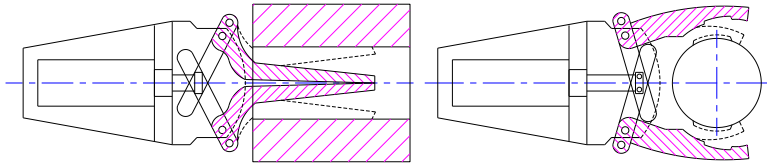


- Hai loại tay kẹp trên được dùng trong sản xuất loạt lớn hàng khối, để nhấc các vật tròn xoay khối lượng không quá 30(kg), kích thước không được dao động quá 0,5 (mm). Chúng được coi là tay kẹp có phạm vi công tác cứng.
- Loại tay kẹp có phạm vi công tác hẹp cho phép sai số của mặt được kẹp tới 1,5 – 2 (mm), trong kết cấu minh họa dưới đây, nó kẹp vào mặt trụ trong của lỗ bánh răng nhờ vào dây bi 2, xếp theo vòng tròn. Mặt côn 1 có góc ma sát nhỏ hơn góc ma sát giữa các viên bi và vật liệu chi tiết (thường từ 50 – 60), tạo ra chuyển động khi nhấc vật (chuyển động lên) và thả vật (chuyển động xuống).

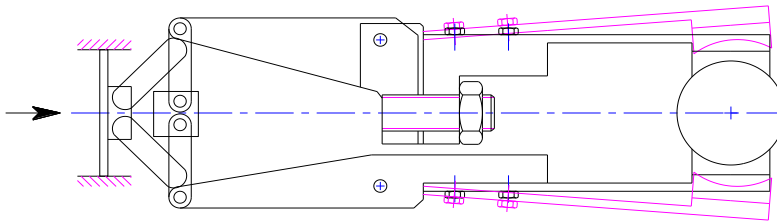


ROBOT CÔNG NGHIỆP

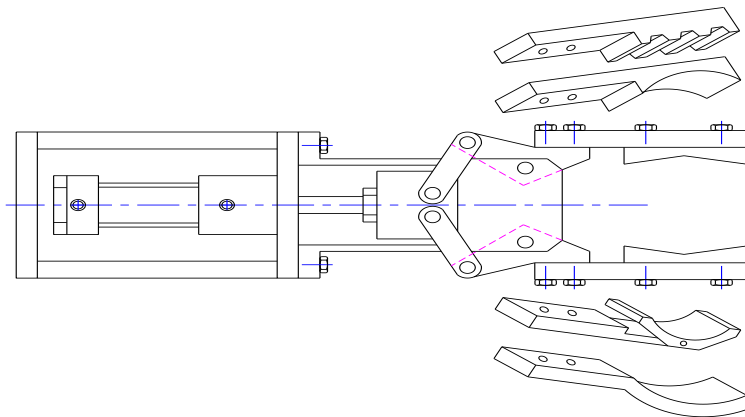
- Để tăng độ tin cậy khi kẹp và nhả, có lực kẹp lớn, phạm vi công tác lớn, người ta dùng tay kẹp có dẫn động. Nguồn động lực là động cơ thủy lực hoặc khí nén. Dưới đây là hình minh họa cơ cấu tay kẹp có truyền động thủy lực, sử dụng hai càng kẹp. Mỏ kẹp có thể thay thế được vì vậy có thể kẹp vào mặt trong hoặc mặt ngoài của đối tượng.



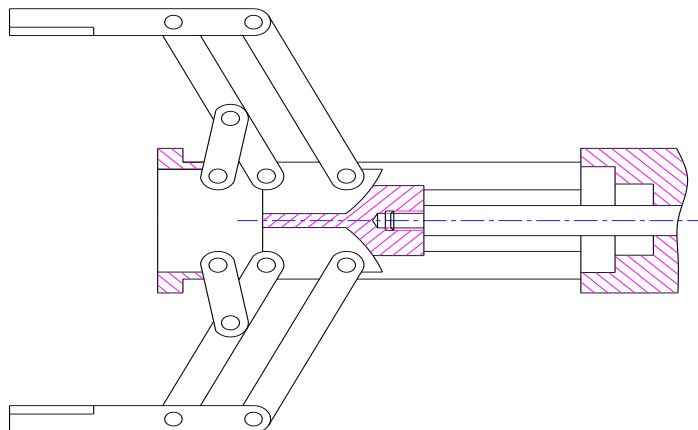
- Để điều chỉnh khoảng cách giữa hai mỏ kẹp trong phạm vi không lớn lắm, có thể sử dụng kết cấu càng kẹp quay quanh tâm nhờ vít điều chỉnh như sơ đồ dưới đây:



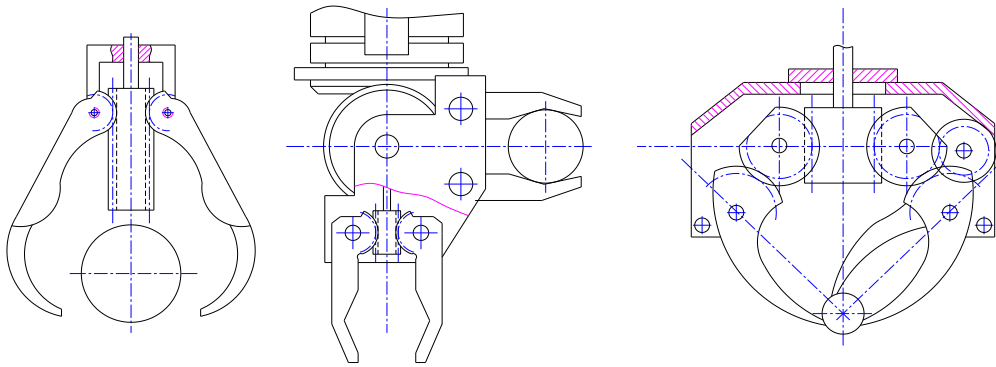
- Sau đây là các cơ cấu tay kẹp với truyền động khí nén. Các tay kẹp có mỏ kẹp thay đổi được để dùng với các bề mặt khác nhau về hình dáng và kích thước.



- Cơ cấu hình bình hành được sử dụng để duy trì độ song song hai má kẹp, khi kích thước vật kẹp thay đổi trong một phạm vi lớn.



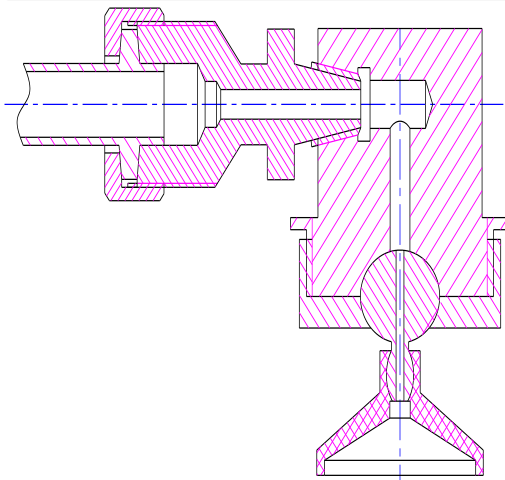
- Thay cho dùng cơ cấu tay đòn, càng kẹp, trên nhiều tay kẹp người ta dùng cơ cấu thanh răng, trong đó các đuôi mỏ kẹp có dạng quạt răng. Ưu điểm của cơ cấu này là gọn, làm việc tin cậy. Các sơ đồ trên hình vẽ cũng biểu diễn các dạng mỏ kẹp tự định tâm. Chúng có thể làm việc ở hai vị trí, ví dụ vị trí kẹp phôi và vị trí đưa phôi vào mâm cặp máy tiện:



4.3.2.2. Tay kẹp chân không và điện từ:

- Kết cấu của hai kiểu tay kẹp này được thể hiện như hình vẽ dưới đây. Các kiểu tay kẹp này dùng lực hút chân không (hoặc lực từ) để nhấc và di chuyển đối tượng. Trong một vài trường hợp, người ta còn dùng cả lực hút tĩnh điện. Ưu điểm chính của loại tay kẹp này là có kết cấu đơn giản, có thể dùng với các loại bề mặt hay các loại vật liệu mà tay kẹp cơ khí khó đáp ứng, ví dụ chi tiết phẳng, mỏng nhưng rộng như tấm tôn, hoặc giấy mỏng, hình dạng chi tiết phức tạp, vị trí của chi tiết thay đổi ngẫu nhiên. Tuy có nhiều điểm giống nhau song cơ cấu kẹp điện từ và kẹp khí nén có những đặc điểm khác nhau về sử dụng thống kê trong bảng sau:

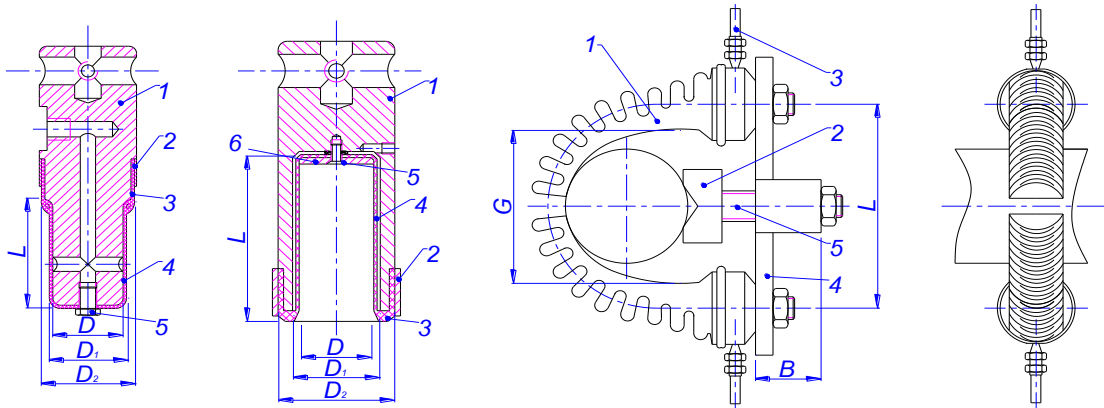
Tính chất	Kiểu điện - từ	Kiểu khí nén
Vật liệu vật kẹp	Phải có từ tính	Bất kì
Hình dạng vật kẹp	Bất kì	Mặt phẳng
Trạng thái bề mặt	Không cần nhẵn	Phải nhẵn, sạch
Lực kẹp	Lớn, ít phụ thuộc diện tích tiếp xúc	Hạn chế, phụ thuộc diện tích tiếp xúc
Thời gian kẹp	Nhanh	Chậm, phải đủ đạt độ chân không
Kết cấu	Đơn giản	Phức tạp, cần đường ống, đầu nối...
Thời gian sử dụng	Bền lâu	Hạn chế
Ảnh hưởng đến vật kẹp	Để lại từ dư, phải khử từ	Không gây hại vật kẹp
Ảnh hưởng môi trường	Không	Gây tiếng ồn



4.3.2.3. Tay kẹp dùng buồng đàn hồi.

- Buồng đàn hồi thường được làm bằng cao su, chất dẻo. Lực kẹp sinh ra do sự biến dạng của buồng đàn hồi dưới tác dụng của khí nén hoặc thủy lực. Hình vẽ dưới đây minh họa cho kết cấu và nguyên lý làm việc của tay kẹp kiểu này. Các chi tiết có thể được định vị và kẹp chặt

mặt trụ trong hoặc mặt trụ ngoài nhờ bu lông đàn hồi hình trụ, cũng có thể định vị bằng khối V và kẹp chặt bằng vòng ôm đàn hồi.



4.3.2.4. Tay kẹp thích nghi:

- Trên các tay kẹp kiểu này người ta lắp đặt các sensor để thu nhận thông tin về sự tồn tại, vị trí, hình dáng, kích thước khối lượng, trạng thái bề mặt, màu sắc... của đối tượng để robot tự động tìm cách xử lý thích hợp. Chẳng hạn nhận hay không nhận, thay đổi nơi chuyển đến, thay đổi vị trí và lực kẹp. Trên hình vẽ minh họa tay kẹp kiểu *Anthropomorphic* (tay người) có 4 ngón kẹp, các đối nối với bàn tay bằng chốt, các ngón có thể co duỗi như tay người.



- Trên các ngón tay, lớp màu tối là cảm biến được gắn vào ngón tay là điểm trực tiếp tiếp xúc với đối tượng thao tác của robot. Các cảm biến có dây truyền tín hiệu về cụm điều khiển trung tâm xử lý. Robot từ chỗ có cơ bắp, phát triển đến chỗ có thần kinh như con người gọi là robot phỏng sinh.

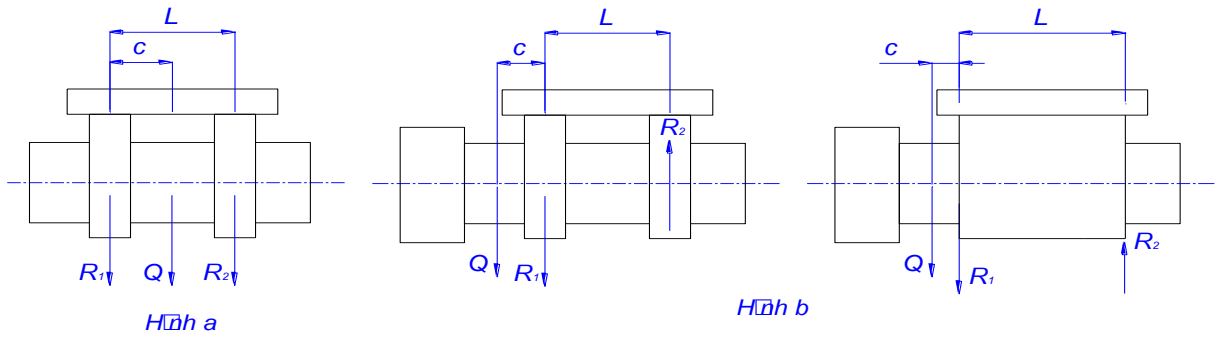
4.3.3. Phương pháp tính toán tay kẹp.

4.3.3.1. Tính toán tay kẹp cơ khí:

Tính lực tiếp xúc:

Lực tác dụng tại điểm tiếp xúc giữa mỏ kẹp và đối tượng được xác định với hai mục đích: Đủ lực kẹp đồng thời không làm hỏng bề mặt được kẹp. Trong phần này sử dụng các kí hiệu sau:

- ❖ Q - tải trọng tính toán.
 - ❖ C - Khoảng cách từ điểm đặt tải đến mỏ kẹp đang xét;
 - ❖ L - Kích thước tay kẹp;
 - ❖ R_n - Phản lực trên mỏ kẹp thứ n ;
 - ❖ θ - Góc giữa trục phôi và lực R_n ;
 - ❖ N_i - Lực tiếp xúc giữa mỏ kẹp và vật;
 - ❖ φ_i - Góc giữa hình chiếu của lực R_n lên mặt phẳng và lực N_i ;
 - ❖ μ - Góc ma sát giữa vật liệu mỏ kẹp và vật liệu vật kẹp.
- Các tính toán dựa trên các nguyên tắc đã nêu trên, kết quả cho một số dạng tay kẹp điển hình thể hiện như sau:

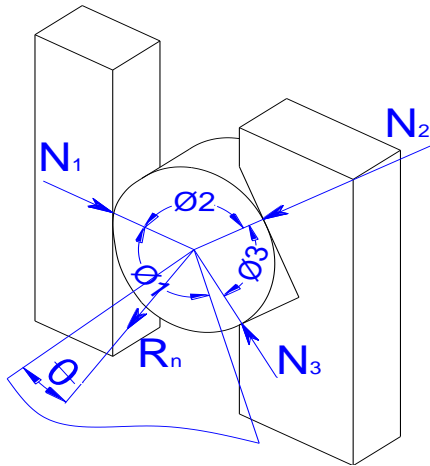


Trường hợp a, chịu lực đối xứng: $R_1 = \frac{l-c}{l} Q, R_2 = \frac{c}{l} Q$

Trường hợp b, chịu lực không đối xứng: $R_1 = \frac{l+c}{l} Q, R_2 = \frac{c}{l} Q$

Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu kẹp nên lực ma sát ảnh hưởng rất ít đến lực kẹp.

- Với khối V thẳng đứng tạo lực ép từ hai bên, vừa định tâm, vừa kẹp chặt như hình vẽ:



Liên hệ toán học giữa các đại lượng có mặt trong mô hình:

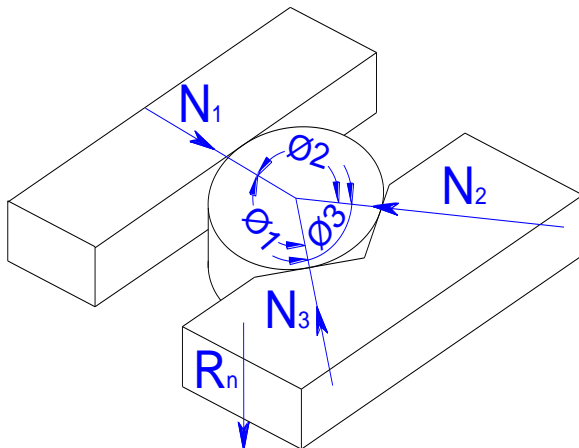
$$\sin\theta(\sin\varphi_j - \sin\varphi_k - \mu(\cos\varphi_j - \cos\varphi_k)) - \frac{\cos\theta}{\mu} N_1 = R_n \frac{(1 - \mu^2) \sin(\varphi_j - \varphi_k)}{(1 - \mu^2)[\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + \sin(\varphi_3 - \varphi_1)]}$$

Trong đó $i, j, k = 1, 2, 3$

Với i, j, k không trùng nhau.

Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu hãm nên lực ma sát ảnh hưởng nhất định đến lực kẹp

- Với khối V nằm ngang vừa định vị vừa kẹp chặt, trọng lực theo phương thẳng đứng:



Trong trường hợp này

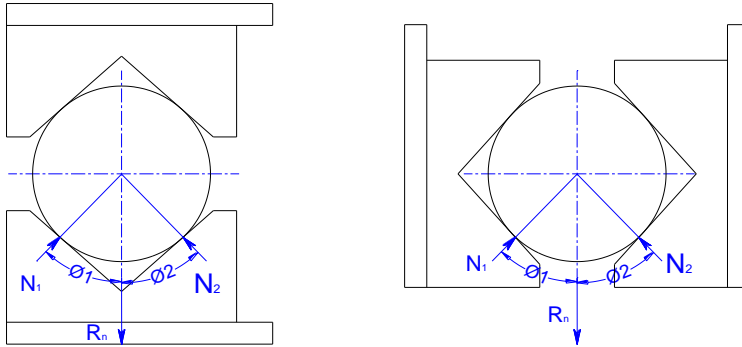
$$\theta = 0^0; N_i = -\frac{R_n}{\mu} - \frac{\sin(\varphi_j - \varphi_k)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + \sin(\varphi_3 - \varphi_1)}$$

Trong đó $i, j, k = 1, 2, 3$

Với i, j, k không trùng nhau.

Đặc điểm: đối tượng được giữ bởi lực ma sát, ảnh hưởng của lực ma sát đến lực kẹp rất lớn.

- Trong trường hợp sử dụng cả hai khối V như hình vẽ:



Công thức xác định các phản lực:

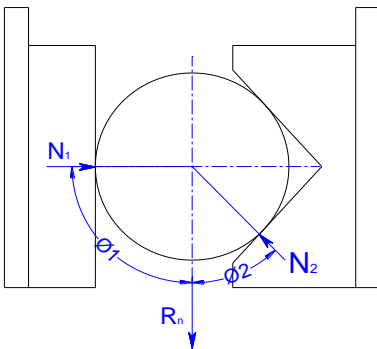
$$N_i = R_n \frac{\sin \varphi_j - \mu \cos \varphi_j}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) - 2\mu \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

Với i, j không trùng nhau.

Trong đó $i, j, k = 1, 2$

Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu kẹp nên lực ma sát ảnh hưởng rất ít đến lực kẹp.

- Khi vật kẹp được định vị bằng khối V , giữ bằng cơ cấu hãm:



Công thức xác định phản lực:

$$\varphi_1 = 90^0;$$

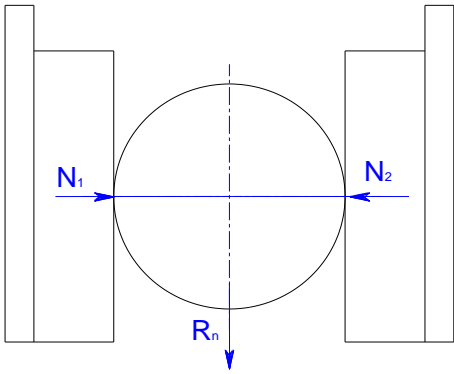
$$\varphi_2 = \varphi;$$

$$N_1 = R_n \frac{\sin \varphi - \mu \cos \varphi}{\cos \varphi + 2 \sin \varphi};$$

$$N_2 = R_n \frac{1}{\cos \varphi + 2\mu \sin \varphi};$$

Đặc điểm: đối tượng được đỡ bởi cơ cấu hãm nên lực ma sát ảnh hưởng nhất định đến lực kẹp

- Khi vật kẹp được giữ bằng hai tấm phẳng dựa vào ma sát:



Công thức xác định lực kẹp:

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0;$$

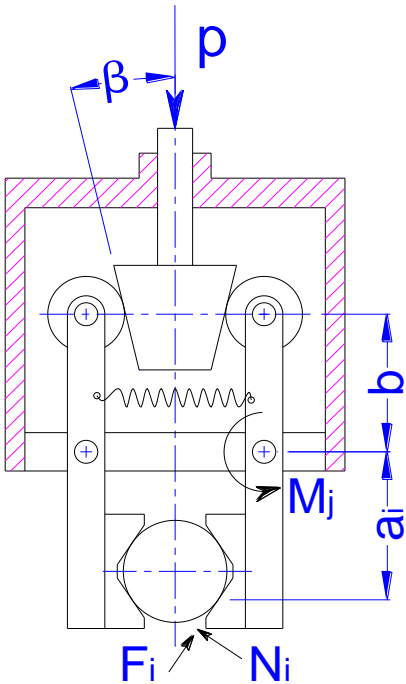
$$N_1 = N_2 = \frac{R_n}{2\mu}$$

Đặc điểm: đôi tượng được giữ bởi lực ma sát, ảnh hưởng của lực ma sát đến lực kẹp rất lớn.

Tính lực dẫn động:

Lực dẫn động do cơ cấu dẫn động sinh ra, đặt lên đầu vào của tay kẹp. Yêu cầu lực kẹp đủ lớn giữ vật trong tư thế làm việc, thông qua các quan hệ cơ bản của cơ cấu, các cơ cấu thông dụng như nêm, đòn, thanh răng được tính lực kẹp như sau:

- Với cơ cấu nêm:



Trường hợp chung (dùng nêm một bên) lực kẹp tối thiểu tính như sau:

$$P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_p}$$

Trường hợp hai nêm đối xứng, lực kẹp nhân đôi:

$$P \geq \frac{2M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_p}$$

m: Số càng kẹp dẫn động bằng chêm;

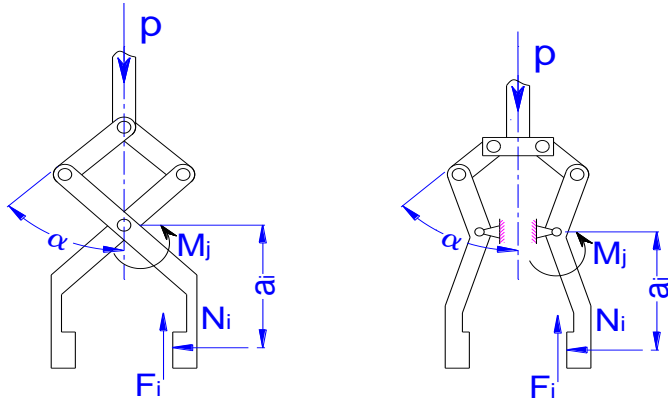
$$\eta_p = 0,9$$

$\beta = 4-8^\circ$ là góc nêm;

$\rho = 1^\circ 10'$ khi dùng ổ trượt, khi dùng ổ lăn;

- Trường hợp dùng đòn kẹp:

Đòn kẹp có thể có một trong hai kết cấu điển hình sau:

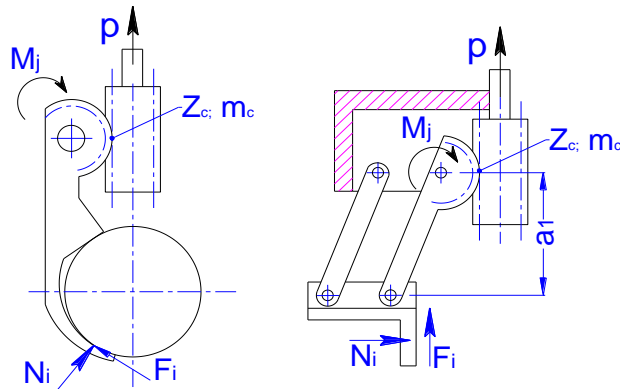


Trường hợp chung, có m đòn kẹp tác động lên đối tượng đồng thời:

$$P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cos \alpha}{b \eta_p}$$

Trường hợp có hai đòn kẹp, kết cấu đối xứng: $P \geq \frac{2M_j \cos \alpha}{b \eta_p}$ với $\eta = 0,9-0,95$

- Trường hợp dùng cơ cấu thanh răng:



Trường hợp có hai cơ cấu giống nhau, bố trí đối xứng:

$$P \geq \frac{2 \sum_{j=1}^m M_j}{m_c z_c \eta_p}$$

Trường hợp chung có m đòn kẹp dẫn động bằng quạt răng – thanh răng:

$$P \geq \frac{4M_j}{m_c z_c \eta_p}, \eta = 0,94$$

- Các kí hiệu dùng trong mục này:

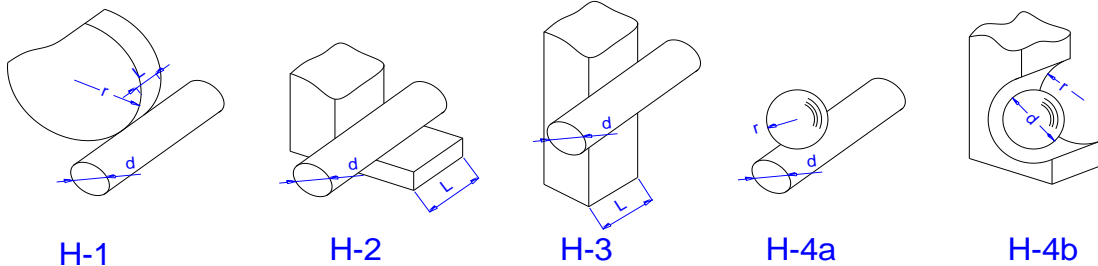
- ❖ m: Số lượng mỏ kẹp;
- ❖ Ni: Lực tiếp xúc giữa mỏ kẹp và vật (N), tra bảng kế tiếp;
- ❖ Mj: Mô men kẹp (N.m) của mỏ kẹp thứ j tính theo công thức:

$$M_j = \sum_{i=1}^k N_i \cos \varphi_i [a_i \operatorname{tg} \varphi_i \pm c_i - \mu (a_i \mp c_i \operatorname{tg} \varphi_i)]$$

- ❖ k : Số điểm tiếp xúc;
- ❖ ρ : Góc ma sát quy đổi có tính đến lực cản trên các chốt của đòn;
- ❖ β : Góc nê;
- ❖ η_p : Hiệu suất của cơ cấu;
- ❖ α : Góc nghiêng của đòn;
- ❖ $m_c ; z_c$: Mô đun và số răng của quạt răng;

Tính ứng suất tiếp xúc:

Tính ứng suất tiếp xúc là để không chế ứng suất tiếp xúc lớn nhất, nhỏ hơn giá trị phá hỏng chi tiết tại điểm tiếp xúc. Trong một số trường hợp, nhất là khi kẹp nhờ lực ma sát thì ứng suất tiếp xúc khá lớn. Điều đó có thể dẫn đến phá hỏng chi tiết hoặc mỏ kẹp, nhất là các chi tiết đũa gia công tinh. Công thức tính ứng suất xây dựng trên cơ sở dạng tiếp xúc, diện tích tiếp xúc giữa chi tiết và mỏ kẹp.



- Ở hình 1, chi tiết và mỏ kẹp tiếp xúc đường, ứng suất phát sinh tính theo công thức:

$$\sigma = 0.418 \sqrt{\frac{NE_q}{l} \left(\frac{2}{d} + \frac{l}{r} \right)}$$

- Ở hình 2, chi tiết và mỏ kẹp tiếp xúc 2 đường, ứng suất phát sinh tính theo công thức:

$$\sigma = 0.418 \sqrt{\frac{NE_q}{l} \left(\frac{2}{d} - \frac{l}{r} \right)}$$

- Ở hình 3, chi tiết và mỏ kẹp tiếp xúc đường, ứng suất phát sinh tính theo công thức:

$$\sigma = m \sqrt[3]{\frac{NE_q^2}{r^2}}, \frac{d}{2} < r$$

- hình số 4, tiếp xúc điểm và tiếp xúc đường cong, ứng suất phát sinh tính chung như sau:

$$\sigma = 0.418 \sqrt{\frac{2NE_q}{ld}}$$

- Trong đó:

- ❖ N : lực tiếp xúc giữa mỏ kẹp và vật (N);
- ❖ E_q : mô đun đàn hồi quy đổi của vật liệu mỏ kẹp và vật;
- ❖ l : Bề rộng của mỏ kẹp (cm);
- ❖ d : Đường kính của vật (cm);
- ❖ r : Bán kính của đầu mỏ kẹp (cm);
- ❖ m : Hệ số phụ thuộc vào tỉ số $2r/d$ (tra bảng);
- ❖ Mô đun đàn hồi của vật liệu đối tượng E_r và của mỏ kẹp E_m theo công thức:

$$E_q = \frac{2E_v E_m}{E_v + E_m}$$

Bảng giá trị hệ số m , theo tỉ số $2r/d$:

2r/d	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05
m	0.388	0.4	0.42	0.44	0.468	0.49	0.536	0.6	0.716	0.97	1.98

4.3.3.2. Tính toán tay kẹp chân không và điện từ:

- **Tính lực kẹp chân không:**

Lực kẹp được tính theo công thức:

$$P = k_p F_{tx} (P_a - P_b)$$

Trong đó:

- ❖ k_p : là hệ số tính đến sự thay đổi áp suất khí quyển và tình trạng kín khít của mặt tiếp xúc, lấy bằng 0,85
- ❖ F_{tx} : Diện tích giữa đầu kẹp và vật, thường lấy bằng 0,6 – 0,7 diện tích tiếp xúc thực tế;
- ❖ P_a : Áp suất khí quyển;
- ❖ P_b : Áp suất dư trong buồng hút.
- ❖ Với hệ thống nối giữa buồng hút với bơm có gioăng kín khít thì áp suất dư lấy bằng áp suất chân không của bơm. Nếu không đạt được yêu cầu trên thì có thể lấy:

$$p_a - p_b = (3,0 - 3,5) \quad (\text{N/cm}^2)$$

- **Tính lực kẹp điện từ:**

Lực kẹp được tính theo công thức:

$$P = \frac{I_n^2}{25F(R_k + R_l)}$$

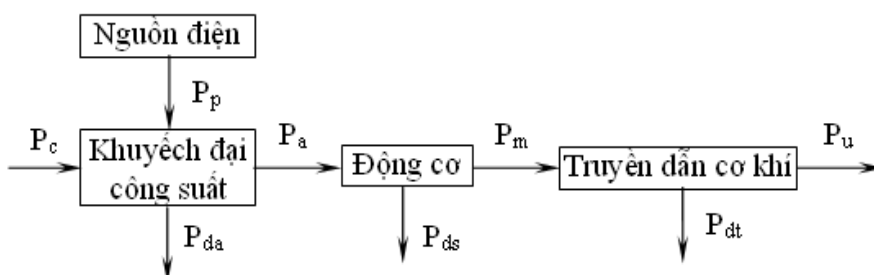
Trong đó:

- ❖ I_n : Số ampe – vòng của cuộn dây nam châm;
- ❖ F : Diện tích tiếp xúc giữa cực nam châm và vật;
- ❖ R_k, R_l : từ trở của không khí và của lõi thép trong mạch từ;
- ❖ Nếu trong vật liệu sắt từ có các tạp chất P, S, Mn, Ni thì từ trở tăng, lực kẹp sẽ bị giảm.

4.4. Hệ thống điều khiển rôbôt.

4.4.1. Hệ thống chấp hành.

- Chuyển động của các khớp trong tay máy được thực hiện bởi hệ thống chấp hành, nó gồm các bộ phận sau:
 - ❖ Nguồn điện (nguồn năng lượng nói chung).
 - ❖ Bộ khuếch đại công suất.
 - ❖ Động cơ.
 - ❖ Truyền động cơ khí.
- Dưới đây là sơ đồ ghép nối hệ thống chấp hành, trong đó có thể hiện sự chuyển đổi năng lượng:



- Để thể hiện quan hệ chung, kí hiệu P_c là tín hiệu điều khiển (thường là tín hiệu điện); P_u là công suất cơ học cần thiết để làm chuyển động khớp. Các đại lượng trung gian gồm:
 - ❖ Công suất điện cung cấp cho động cơ (thủy lực, hoặc khí nén) P_a
 - ❖ Công suất nguồn P_p (thường có cùng bản chất vật lí với P_a)
 - ❖ Công suất cơ học do động cơ phát ra P_m
 - ❖ Ngoài ra còn có các loại công suất tổn hao trên các khâu trung gian như:
 - ❖ Khuyết đại công suất động cơ và truyền dẫn P_{da} ; P_{ds} ; P_{dt} .
 - ❖ Xuất phát điểm để chọn các khâu trong hệ thống chấp hành là công suất cơ khí P_n để đảm bảo lực và vận tốc chuyển động của các khớp. Sau đây trình bày khái quát chức năng của các cụm chính trong hệ thống.

4.4.1.1. Truyền dẫn cơ khí:

- Chuyển động tại các khớp của tay máy thường có vận tốc thấp và đòi hỏi mômen xoắn lớn trong khi các động cơ thường làm việc với tốc độ vòng quay lớn và mô men xoắn nhỏ. Vì vậy giữa động cơ và khớp thường có bộ phận biến tốc để sử dụng vùng làm việc có lợi nhất của động cơ. Thông qua bộ phận truyền dẫn này, công suất p_m trở thành p_u và bị tổn hao một lượng p_{dt} do ma sát. Khi chọn hình thức truyền dẫn cần căn cứ vào công suất cần thiết, loại chuyển động của khớp và vị trí đặt động cơ so với khớp, vì bộ phận truyền dẫn không chỉ biến đổi công suất mà cả dạng chuyển động, chẳng hạn chuyển biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến trong khớp. Nếu khéo bố trí động cơ và truyền dẫn có thể giảm tiêu hao năng lượng. Trong robot thường sử dụng các loại cơ cấu sau:
 - ❖ Cơ cấu trục vít bánh vít, cho phép đổi phương trục và tạo tính tự hãm cho cấu trúc.
 - ❖ Cơ cấu vít me đai ốc, cho phép biến chuyển động quay tròn của trục động cơ thành chuyển động tịnh tiến của khớp trượt, cơ cấu này cũng tạo được tính tự hãm trong các dịch chuyển thẳng đứng. Để giảm ma sát có thể sử dụng cơ cấu vít me đai ốc bi, cơ cấu này thường được lắp có độ dôi để điều chỉnh sức căng ban đầu và tăng độ cứng vững.
 - ❖ Truyền động đai răng và truyền động xích cho phép đặt động cơ xa trục khớp. Lực căng đai gây tải trọng hướng kính lên trục và gối đỡ nên chỉ dùng khi lực nhỏ và vận tốc chuyển động lớn. Ngược lại xích hay bị dao động nên thường dùng khi vận tốc nhỏ.
 - ❖ Cơ cấu khâu khớp như cơ cấu bốn khâu bản lề, cơ cấu con trượt, đòn bẩy..., cũng là những cơ cấu rất thường sử dụng trong robot.
 - ❖ Với giả thiết chuyển động không có khe hở và không có trượt, tỉ số truyền của các bộ truyền cơ khí là không đổi.
 - ❖ Ngày nay người ta thường gắn trực tiếp rotor của động cơ tuyến tính lên trục của khớp mà không qua truyền dẫn cơ khí trung gian, điều đó loại trừ được ảnh hưởng của khe hở và biến dạng do truyền dẫn cơ khí sinh ra. Tuy nhiên nó đòi hỏi các giải pháp kỹ thuật điều khiển để duy trì quan hệ tuyến tính truyền động trong dải rộng. Truyền động trực tiếp còn chưa phổ biến trong robot vì lí do kết cấu

4.4.1.2. Động cơ:

- Động cơ là nguồn tạo động lực chuyển động cho các khớp. Tùy thuộc dạng năng lượng sử dụng, người ta thường sử dụng các loại động cơ khí nén, động cơ thủy lực và động cơ điện. Trong kỹ thuật robot người ta sử dụng các động cơ công suất từ vài chục wat đến hàng chục

kilowat. Do đặc điểm sử dụng trong robot, chẳng hạn yêu cầu bám sát quỹ đạo thiết kế, định vị chính xác nên các động cơ được sử dụng phải đáp ứng các tính chất sau:

- ❖ Quán tính nhỏ và tỉ số tiêu hao / trọng lượng cao.
 - ❖ Có khả năng chịu quá tải là xung lực.
 - ❖ Có khả năng gia tốc tốt.
 - ❖ Dải tốc độ làm việc rộng từ 1 – 10.000 (v/p).
 - ❖ Độ chính xác định vị cao (ít nhất 1/1000 vòng tròn).
 - ❖ Có thể làm việc trơn tru ở vận tốc thấp.
- Động cơ khí nén khó đáp ứng được các yêu cầu trên, vì không thể khắc phục được tính nén được của môi chất thể khí. Chúng chỉ được dùng cho các chuyển động đóng mở, ví dụ dùng cho tay kẹp hoặc chuyển động điềm - điềm.
 - Động cơ điện gồm các loại một chiều, xoay chiều thông dụng, động cơ servo, trong đó động cơ servo được dùng thông dụng hơn cả. Động cơ servo khác với động cơ thường ở chỗ nó được điều khiển phản hồi bằng một hệ thống điều khiển điện tử có phản hồi, tín hiệu phản hồi lấy từ các sensor vận tốc, hoặc các sensor vị trí giám sát liên tục vị trí tương đối giữa rotor và stator, trên cơ sở đó sinh ra tín hiệu điều khiển vận tốc và chiều quay của rotor. Động cơ servo có đặc tính động lực học tốt, kết cấu đơn giản làm việc tin cậy nên ngày càng được ưa dùng. Động cơ điện một chiều cổ điển không được ưa chuộng vì có bộ góp điện gây nhiều phiền phức khi sử dụng, có thể thay thế loại này bằng động cơ điện một chiều không cổ góp.
 - Động cơ bước do có công suất nhỏ, độ chính xác thấp do không có mạch phản hồi vị trí, do đặc tính động lực học phụ thuộc tải trọng, có hiện tượng bỏ bước khi tải lớn. loại động cơ này rẻ tiền hơn động cơ servo nên thường được dùng cho những nơi không đòi hỏi độ chính xác cao.
 - Động cơ thủy lực có các đặc tính tương đương với động cơ điện, có thể trực tiếp sinh ra chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay. Mặc dù về căn bản động cơ điện và động cơ thủy lực tương đương nhau song chúng khác nhau về đặc điểm sử dụng:
 - Động cơ điện có các ưu điểm sau:
 - ❖ Dễ cung cấp năng lượng vì hệ thống điện có ở khắp nơi;
 - ❖ Giá rẻ, chủng loại phong phú và dải công suất rộng;
 - ❖ Hiệu suất biến đổi năng lượng cao;
 - ❖ Dễ sử dụng và chăm sóc;
 - ❖ Không gây ô nhiễm môi trường;
 - Bên cạnh đó chúng có các nhược điểm sau:
 - ❖ Phát nhiệt ở trạng thái tĩnh hoặc khi tốc độ thấp do đó phải dùng phanh.
 - ❖ Cần bảo vệ đặc biệt nếu làm việc trong môi trường dễ cháy.
 - Ngược lại động cơ thủy lực có ưu điểm:
 - ❖ Làm việc tốt ở trạng thái tĩnh và tốc độ thấp mà không phát nhiệt.
 - ❖ Tự bôi trơn và làm mát tốt nhờ sự lưu thông của chất lỏng khi làm việc.
 - ❖ An toàn trong mọi môi trường.
 - ❖ Có công suất riêng theo trọng lượng cao.

- Bên cạnh đó chúng có các nhược điểm sau:
 - ❖ Cần trạm cung cấp thủy lực riêng.
 - ❖ Đắt tiền, ít chủng loại, khó lắp đặt chăm sóc và bảo trì.
 - ❖ Hiệu suất biến đổi năng lượng thấp.
 - ❖ Dễ gây ô nhiễm môi trường do dầu trong hệ thống dò rỉ khi vận hành, hoặc có dầu thải khi sửa chữa bảo dưỡng.
- Xét về khía cạnh điều khiển và vận hành động cơ điện dễ điều khiển và có thể thay đổi chế độ làm việc một cách linh hoạt. Đặc tính động lực của động cơ thủy lực còn phụ thuộc vào nhiệt độ dầu. Động cơ điện làm việc tốt ở tốc độ cao và tải trọng nhỏ nên thường phải dùng truyền động cơ khí trung gian. Ngược lại động cơ thủy lực làm việc tốt khi tốc độ thấp và tải trọng lớn nên thường truyền động trực tiếp.

Khuyếch đại công suất:

- Khuyếch đại công suất có chức năng biến đổi trạng thái năng lượng của nguồn cung cấp sao cho phù hợp với yêu cầu của động cơ. Công suất cung cấp tỉ lệ với tín hiệu điều khiển pc và thường lớn hơn công suất điều khiển nên bộ biến đổi này có tên là bộ khuếch đại công suất. Một bộ phận công suất vào, gồm p_c và p_p , sau khi biến đổi được cung cấp cho động cơ (p_a). Phần khác (p_{da}) bị tổn thất trên bản thân bộ biến đổi.
- Đối với động cơ điện, bộ biến đổi thường phải biến đổi điện năng dưới dạng xoay chiều thông dụng, thí dụ 230/380 V – 50 Hz thành điện một chiều (cho động cơ điện một chiều) hoặc thành điện xoay chiều với điện áp và tần số thích hợp (cho động cơ xoay chiều). Các bộ biến đổi dùng cho động cơ điện một chiều được gọi là AC to DC converter hay là chopper.
- Động cơ thủy lực thường được điều khiển bằng cách thay đổi lưu lượng chất lỏng cung cấp cho nó. Cơ cấu điều khiển thường là các van tiết lưu, cho phép thay đổi lưu lượng theo tín hiệu điện.

Nguồn cung cấp chính:

- Nhiệm vụ của nguồn cung cấp chính là cung cấp năng lượng tới đầu vào của bộ biến đổi. Nếu là điện năng thì nguồn cung cấp thường là biến áp. Nếu dùng dòng điện một chiều thì phải có chỉnh lưu.
- Nguồn cung cấp cho động cơ thủy lực là trạm bơm các loại, như bơm bánh răng, bơm cánh gạt, bơm piston... Truyền động cho chúng là các động cơ sơ cấp, thường là các động cơ điện xoay chiều không đồng bộ. Ngoài ra trong hệ thống cung cấp còn có bể chứa, bộ lọc, van an toàn, van tràn... giúp cho hệ thống làm việc được ổn định, an toàn. Vai trò của chúng giống như tụ điện là phẳng và các kiểu bộ lọc khác trong hệ thống.

4.4.2. Điều khiển động cơ sevô.

Vì động cơ điện và động cơ thủy lực được dùng nhiều nhất trong kỹ thuật robot, trong phần này giới thiệu sâu hơn về mô hình toán học và sơ đồ điều khiển của chúng.

4.4.2.1. Điều khiển động cơ điện:

- Các loại động cơ điện phổ biến bao gồm động cơ điện xoay chiều có cổ góp, động cơ điện xoay chiều đồng bộ và không đồng bộ. Các động cơ điện dùng trong điều khiển tự động cần

ó những tính chất đặc biệt, như dễ điều khiển, quán tính nhỏ, có thể làm việc ổn định ở tốc độ thấp hoặc trong trạng thái tĩnh.

- Tuy có sự khác nhau về kết cấu và nguyên lí làm việc, động cơ điện một chiều và động cơ servo có thể được mô hình hóa giống nhau. Thông qua biến phức s , sự cân bằng điện của phần ứng được mô tả bởi phương trình:

$$V_a = (R_a + sL_a)I_a + V_g$$

- Trong đó:

- ❖ V_a, R_a, L_a, I_a lần lượt là điện áp, điện trở, điện kháng và dòng điện phần ứng.

- ❖ V_g là sức điện động phần ứng, tỷ lệ với vận tốc góc của rotor: $V_g = k_v \omega$

- ❖ Hệ số k_v thể hiện quan hệ giữa vận tốc góc của rotor với sức điện động. Nó phụ thuộc kết cấu của động cơ và tính chất điện từ của phần cảm.

- ❖ Tương tự phương trình cân bằng cơ học của động cơ có dạng:

$$C_m = (sI_m + F_m)\omega + C$$

$$C_m = k_t I_a$$

- ❖ Trong đó: C_m và C_r là momen chủ động và momen phản lực, I_m và F_m là momen quán tính và hệ số cản nhớt trên trục động cơ. Hệ số tỷ lệ k_t biểu diễn quan hệ giữa momen của động cơ và dòng điện phần ứng. Trong hệ đơn vị SI, giá trị của nó bằng k_v .

- Đối với bộ phận khuếch đại công suất, quan hệ giữa điện áp vào V_c và điện áp phần ứng V_a chính là hàm truyền

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{G_v}{1 + sT_v}$$

- Trong đó: G_v là hệ số điện áp

- T_v là hằng số thời gian. Giá trị của T_v nhỏ so với hằng số thời gian khác của hệ thống nên có thể bỏ qua. Ví dụ nếu dùng bộ biến tần trong khoảng () kHz thì giá trị của T_v nằm trong khoảng () giây.

- Bên cạnh các khối thể hiện các quan hệ nói trên, còn có các yếu tố sau:

- ❖ Vòng phản hồi dòng điện phần ứng thông qua bộ biến đổi ki giữa cuộn dây phần ứng và khuếch đại công suất.

- ❖ Khối hiệu chỉnh dòng điện $C_i(s)$ có đặc tính phi tuyến ở trạng thái bão hòa.

- Vòng phản hồi được dùng với 2 mục đích. Một mặt, điện áp V_c đóng vai trò điện áp chuẩn. Nếu chọn $C_i(s)$ thích hợp thì độ trễ của I_a so với V_c sẽ nhỏ hơn độ trễ giữa I_a và V_g . Mặt khác, tính phi tuyến ở trạng thái bão hòa cho phép hạn chế sự tăng của V_c . Nó có tác dụng như bộ hạn chế dòng điện, bảo vệ khối khuếch đại công suất.

- Từ sơ đồ trên, bằng cách chọn $C_i(s)$, có thể nhận được hệ điều khiển vận tốc hoặc hệ điều khiển momen.

- Nếu $k_i = 0$, và nếu hệ số cản nhớt rất nhỏ so với hệ số hãm điện năng, nghĩa là ($F_m \ll kvkl/Ra$), đồng thời đặt $K = C_i(0)G_v$ và giả thiết $C_r = 0$ thì dẫn tới trạng thái *điều khiển vận*

$$\text{tốc: } \omega \approx \frac{K}{k_v} v_c'$$

- nếu $k_i \neq 0$ và chọn hàm truyền dòng điện rất lớn ($Kk_i \gg Ra$) sẽ dẫn tới trạng thái *điều khiển*

$$\text{momen: } C_m \approx \frac{k_l}{k_i} (v_c' - \frac{k_v}{K} \omega)$$

- Mỗi quan hệ giữa các đại lượng vào (điện áp điều khiển V_c , momen phản ứng C_r) với các đại lượng ra, là vận tốc góc Đối với điều khiển vận tốc:

$$\omega = \frac{\frac{K}{k_v}}{1 + s \frac{R_a I_m}{k_v k_l}} V_c' - \frac{\frac{R_a}{k_v k_l}}{1 + s \frac{R_a I_m}{k_v k_l}} C_r$$

- Đối với điều khiển momen:

$$\omega = \frac{\frac{k_l}{k_i F_m}}{1 + s \frac{I_m}{F_m}} V_c' - \frac{\frac{1}{F_m}}{1 + s \frac{I_m}{F_m}} C_r$$

4.4.2.2. Điều khiển động cơ thủy lực.

- Các động cơ thủy lực đều được điều khiển bằng cách thay đổi lưu lượng dầu qua bơm. Bất kể sự khác nhau về cấu trúc vật lý, các mối quan hệ cơ bản giữa lưu lượng và áp suất, chuyển động của chất lỏng và chuyển động của các chi tiết, sự cân bằng cơ học của các chi tiết đều xuất phát từ đạo hàm quan hệ vào/ra.
- Giả sử Q là lưu lượng cung cấp, Q_m là lưu lượng vào động cơ, Q_l là lưu lượng tổn hao do lọt dầu trên bơm, Q_c là lưu lượng tổn hao do tính nén được của dầu, ta nhận được phương trình cân bằng lưu lượng như sau

$$Q = Q_m + Q_l + Q_c$$

- Các đại lượng tổn hao Q_l và Q_c được tính đến khi hệ thống làm việc dưới áp suất cao, cỡ hàng trăm atmosphe.
- Gọi P là chênh lệch áp suất giữa đầu ra và đầu vào của bơm do tải, ta có quan hệ

$$Q_l = k_l P$$

- Tổn hao lưu lượng do tính nén được của chất lỏng tỷ lệ với thể tích tức thời của chất lỏng V và áp suất P thông qua hệ số nén γ và biến phức s : $Q_c = \gamma V s P$
- Từ đó ta thấy rằng hệ số tỷ lệ $k_c = \gamma V$ giữa đạo hàm theo thời gian của áp suất P và lưu lượng Q_c phụ thuộc vào thể tích V của chất lỏng. Vì vậy, đối với động cơ quay thì k_c là hằng số, còn đối với động cơ tịnh tiến thì V thay đổi nên phản ứng của hệ thống tùy thuộc điểm công tác.
- Lưu lượng chất lỏng vào động cơ tỷ lệ với lượng biến thiên trong một đơn vị thời gian của thể tích chất lỏng trong bể chứa. Mặt khác lượng biến thiên này lại tỷ lệ với vận tốc góc của động cơ. Cuối cùng nhận được: $Q_m = k_q \omega$
- Cuối cùng thì momen của động cơ tỷ lệ với độ chênh lệch áp suất của bơm:

$$C_m = (s I_m + F_m) \omega + C_r$$

- Điều kiện cân bằng cơ học của các chi tiết chuyển động được mô tả bằng phương trình :

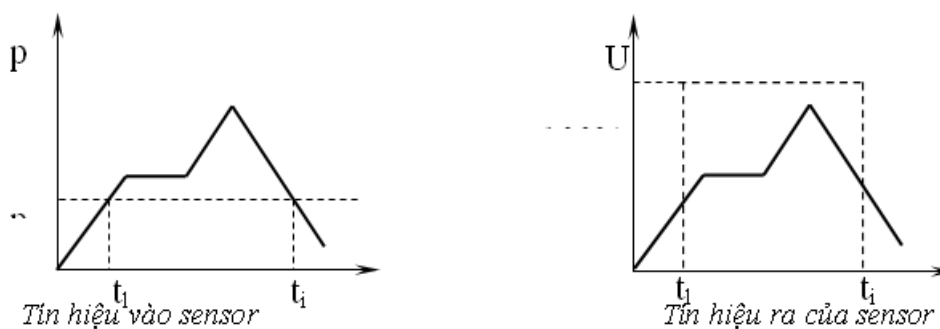
$$C_m = k_l P$$

- Đối với van điều khiển, hàm truyền giữa vị trí X của van và điện áp điều khiển V_c được xác định như sau:
$$\frac{X}{V_c} = \frac{G_s}{1 + sT_s}$$

4.4.3. Hệ thống cảm biến.

4.4.3.1. Khái niệm và phân loại cảm biến.

- Các khái niệm:
Cảm biến là thiết bị dùng để nhận giá trị của đại lượng vật lý cần đo và biến đổi nó thành tín hiệu mà thiết bị đo hay điều khiển có thể xử lý được.
Nhu vậy, cảm biến có hai chức năng: “*cảm*”, nghĩa là nhận tín hiệu cần đo và “*biến*”, nghĩa là chuyển đổi dạng và giá trị của tín hiệu để sẵn sàng cung cấp cho thiết bị hiển thị hay xử lý tiếp theo. Có nhiều đại lượng vật lý, như lực, rung động, thành phần hóa học,... rất khó đo trực tiếp một môi cách chính xác và rẻ tiền. Người ta phải chuyển chúng sang đại lượng tương đương khác, thường là đại lượng điện như điện áp, dòng điện, điện trở để dễ sử dụng các thiết bị hiện thị và xử lý chuẩn, thông dụng và rẻ tiền. Dạng và giá trị tín hiệu xuất ra của các cảm biến thường được chuẩn hóa để dễ ghép nối vào các mạch xử lý tiếp theo.
- Cảm biến còn có tên khác, như *đầu đo*, *sensor*,... Từ có gốc Anh *sensor* đã được phổ cập rộng rãi trên thế giới, kể cả trong các tài liệu xuất bản ở Việt Nam.
- **Sensor** là tên gọi chung của **Switch** và **Transducer**. Switch là thiết bị đóng mở, thường gọi là công tắc, chỉ có hai trạng thái tín hiệu ra là đóng và mở. Transducer là thiết bị biến đổi. Tín hiệu ra và tín hiệu vào của nó có thể khác nhau về giá trị bản chất vật lý và giá trị, nhưng không khác nhau về quy luật biến thiên theo thời gian. Ví dụ với cùng tín hiệu vào là áp suất không khí, Switch có trạng thái đóng nếu áp suất ppo, có trạng thái mở nếu ppo còn Transducer thì cho tín hiệu ra là điện áp nhưng không thay đổi quy luật biến thiên theo thời gian vốn có của tín hiệu vào.



Hình 6.6: Sự khác nhau giữa switch và transducer

- Phân loại sensor:
 - ❖ Theo chức năng người ta phân biệt 2 nhóm sensor. Một nhóm dùng để giám sát trạng thái công tác của bản thân robot, được gọi là sensor trong (proprioceptive sensor). Nhóm thứ hai, được gọi là sensor ngoài (heteroceptive sensor), dùng để đo các thông số của môi trường và sự tương tác của robot với môi trường.
 - ❖ Các loại sensor trong chủ yếu là: sensor vị trí, sensor vận tốc và sensor gia tốc hay sensor lực.

- ❖ Sensor ngoài có rất nhiều loại tùy thuộc thông số môi trường cần đo, ví dụ sensor nhiệt độ để đo nhiệt độ của môi trường mà robot hoạt động, sensor lực để đo lực nắm (kẹp) của tay hoặc để định vị đối tượng (ví dụ để lồng trục vào bạc khi lắp ráp), thiết bị quan sát (vision system) để nhận dạng đối tượng...
- Ngoài cách phân loại sensor theo chức năng còn có nhiều cách phân loại khác như:
 - ❖ Theo đại lượng cần đo, có sensor nhiệt độ, áp suất, vận tốc, gia tốc, lưu lượng...
 - ❖ Theo kết cấu và nguyên lý làm việc, có sensor điện trở, điện dung, điện cảm, áp điện, quang điện, điện động...
 - ❖ Theo phương thức cảm nhận, có sensor tiếp xúc (tactile sensor), không tiếp xúc (proximity sensor).

4.4.3.2. Nguyên lý làm việc của một số loại sensor

- Cảm biến vị trí
 - ❖ Các cảm biến vị trí được dùng để giám sát vị trí tức thời của các cơ cấu. Tùy theo dạng chuyển động cần quan tâm mà vị trí có thể được tính bằng đơn vị dài hay đơn vị góc. Nhờ các chuyển đổi cơ khí cần thiết mà có thể dùng sensor đo góc để đo chiều dài và ngược lại. Các sensor đo chiều dài có thể là biến trở, biến thế vi sai, encoder thẳng. Để đo góc quay có các loại sensor đo góc, như biến trở quay, encoder góc, resolver,... Sau đây nói về hai loại sensor thường gặp nhất là encoder và resolver.
 - ❖ Encoder là thước đo vị trí theo nguyên tắc số, trong đó tọa độ được mã hoá theo hệ nhị phân. Tùy theo đơn vị đo, chúng ta dùng encoder thẳng (linear encoder) hay encoder góc (rotary encoder). Hai loại này giống nhau về nguyên lý làm việc, chỉ khác nhau ở chỗ các vạch được khắc theo đường thẳng hay theo vòng tròn. Theo phương pháp mã hóa, có hai loại encoder là tuyệt đối (absolute) và gia số (incremental).
- Cảm biến vị trí
 - ❖ Các cảm biến vị trí được dùng để giám sát vị trí tức thời của các cơ cấu. Tùy theo dạng chuyển động cần quan tâm mà vị trí có thể được tính bằng đơn vị dài hay đơn vị góc. Nhờ các chuyển đổi cơ khí cần thiết mà có thể dùng sensor đo góc để đo chiều dài và ngược lại. Các sensor đo chiều dài có thể là biến trở, biến thế vi sai, encoder thẳng. Để đo góc quay có các loại sensor đo góc, như biến trở quay, encoder góc, resolver,... Sau đây nói về hai loại sensor thường gặp nhất là encoder và resolver.
 - ❖ Encoder là thước đo vị trí theo nguyên tắc số, trong đó tọa độ được mã hoá theo hệ nhị phân. Tùy theo đơn vị đo, chúng ta dùng encoder thẳng (linear encoder) hay encoder góc (rotary encoder). Hai loại này giống nhau về nguyên lý làm việc, chỉ khác nhau ở chỗ các vạch được khắc theo đường thẳng hay theo vòng tròn. Theo phương pháp mã hóa, có hai loại encoder là tuyệt đối (absolute) và gia số (incremental).
 - ❖ Thước đo vị trí theo gia số có 1 hoặc 2 đĩa quang, được khắc các vùng trong và đục xen kẽ nhau. Nếu dùng một đĩa thì nó được gắn với trục quay. Nếu dùng 2 đĩa thì một đĩa gắn với trục quay, còn đĩa kia cố định. Một phía của đĩa đặt nguồn sáng, phía đối diện đặt “3 con mắt điện” để thu tín hiệu của từng vòng tròn. Tại một vị trí nhất định của đĩa, vùng nào cho tia sáng đi qua sẽ được mã hóa là 1, vùng nào ngăn tia sáng sẽ được mã hóa là 0. Số vùng sáng, tối trên đĩa quyết định độ phân giải của encoder.

Tại thời điểm bắt đầu làm việc, hệ thống phải được quy không bằng cách quay lỗ sất vòng tròn thứ hai tới vị trí đối diện nguồn sáng để con mắt thứ ba nhìn thấy tia sáng. Khi hệ thống bắt đầu làm việc, một bộ xử lý sẽ đếm số lần con mắt ngoài cùng nhìn thấy tia sáng, từ đó tính ra góc mà đĩa đã quay. Chiều quay của đĩa được nhận biết nhờ sự phối hợp tín hiệu của hai vòng: nếu đĩa quay theo chiều kim đồng hồ thì mắt ngoài cùng nhìn thấy tia sáng trước mắt thứ hai và ngược lại. Căn cứ vào chiều quay mà gia số sẽ được cộng hoặc trừ vào tổng số.

Thước đo vị trí tuyệt đối (Absolute Encoder) có một đĩa quang, trên đó có nhiều vòng tròn đồng tâm. Mỗi vòng chứa các vùng trong và đục xen kẽ nhau. Số vòng tròn quyết định độ phân giải của encoder. Nếu số vòng tròn là n thì số phần mà một vòng tròn có thể được chia ra bằng $2n$, góc nhỏ nhất mà encoder phân biệt được là $360^\circ/2n$. Ví dụ nếu số vòng là $n = 4$ thì số phần chia của vòng tròn là $24 = 16$, encoder sẽ phân biệt được góc quay $360^\circ/16 = 22,5^\circ$. Nếu $n = 8$ thì góc đó là $360^\circ/4096 = 0,088^\circ$.

Resolver không phát ra tín hiệu số như encoder mà phát ra tín hiệu tương tự đại diện cho vị trí của đối tượng đo. Nhìn về bề ngoài nó giống động cơ điện nhưng nguyên lý làm việc của nó giống biến thế nhiều hơn. Cuộn dây rotor được cấp điện áp xoay chiều thông qua các vành dẫn điện.

Điện áp cung cấp cho rotor có dạng hình sin, dạng $V \sin \omega t \cdot \cos \vartheta$, còn trên cuộn kia có điện áp. Rõ ràng giá trị điện áp ra phụ thuộc góc ϑ giữa rotor và stator. Tín hiệu phản hồi của góc quay được cung cấp cho 2 cuộn dây qua hàm $\sin \alpha$ và $\cos \alpha$, sau khi nhân với tín hiệu đầu vào và cộng đại số được tín hiệu ra là $V \sin \omega t \cdot \sin(\vartheta - \alpha)$. Tín hiệu này được khuếch đại và gửi tới khối đồng bộ, đảm bảo giá trị của nó phải tỷ lệ với $\sin(\vartheta - \alpha)$ nếu có sai lệch, tín hiệu được bù bởi thiết bị bù. Sau đó, tín hiệu được tích phân. Mạch phản hồi có bộ tạo dao động, chuyển đổi điện áp thành tần số (*voltage-to-frequency converter - VCO*), và khối đếm xung. Giá trị số α đại diện cho góc quay ϑ .

- Cảm biến vận tốc

- ❖ Mặc dù có thể xác định vận tốc từ kết quả đo vị trí, người ta vẫn thường đo trực tiếp nó bằng cảm biến độc lập. Các cảm biến vận tốc thường dùng có tên là *tachometer*. Có 2 loại *tachometer* là *DC tachometer* và *AC tachometer*.
- ❖ *DC tachometer* là một máy phát điện một chiều, dùng nam châm vĩnh cửu. Yêu cầu đặc biệt đối với chúng là quan hệ tuyến tính giữa tín hiệu vào (tốc độ quay) và tín hiệu ra (điện áp); giảm hiệu ứng từ trễ và ảnh hưởng của nhiệt độ. Nhược điểm của *DC tachometer* là dùng cổ góp điện và không thể loại trừ được hiện tượng mạch đập bằng phương pháp lọc, vì tần số tín hiệu ra thay đổi thường xuyên. Độ tuyến tính của *DC tachometer* có thể đạt trong khoảng 0,1 - 1%, hệ số đập mạch bằng khoảng 2 - 5% giá trị danh định của tín hiệu ra.
- ❖ *AC tachometer* khắc phục được hiện tượng mạch đập. Nó gồm stator, có 2 cuộn dây và rotor kiểu cóc. Cuộn dây thứ nhất (cuộn kích từ) được cấp điện áp xoay chiều hình sin với tần số khoảng 400 Hz. Khi rotor quay, trên cuộn dây thứ hai sẽ xuất hiện điện áp xoay chiều tỷ lệ thuận với tốc độ quay của rotor. Hiện tượng mạch đập vẫn có nhưng có thể loại trừ bằng bộ lọc thích hợp, vì tần số tín hiệu ra không đổi. Ngoài ra, *AC*

tachometer còn có các ưu điểm khác, như không gặp các phiền phức do cổ góp, rotor không có cuộn dây nên nhẹ, momen quán tính nhỏ, dễ cân bằng và chắc chắn. Nhược điểm của nó là có điện áp dư ở đầu ra ngay cả khi rotor không quay do hồ cảm ký sinh giữa các cuộn dây.

- Cảm biến đo lực

- ❖ Một vật chịu tác dụng của lực và momen bao giờ cũng bị biến dạng, nghĩa là có sự chuyển vị tương đối giữa các phần của nó. Vì vậy các phép đo lực và momen thường được quy về đo chuyển vị. Thông số của các linh kiện điện, như điện trở, điện dung, điện cảm, thường thay đổi khi bị biến dạng. Dựa vào đó người ta chế tạo các đầu đo kiểu điện trở, điện dung, điện cảm để đo lực. Trong một số tinh thể vật chất, như thạch anh, khi bị biến dạng sẽ có chênh lệch điện áp giữa các vùng. Dựa vào đó, người ta chế tạo ra các đầu đo lực kiểu áp điện (piezoelectric).
- ❖ Trong số các loại sensor lực kể trên, người ta hay dùng kiểu điện trở, gọi là tensiometer. Đó là điện trở làm bằng dây dẫn mảnh, được dán nên phần tử biến dạng. Nếu phần tử bị kéo thì tiết diện dây bị giảm, do đó điện trở của nó tăng. Ngoài yêu cầu về độ tuyến tính, điện trở suất của vật liệu làm tensiometer phải ít thay đổi theo nhiệt độ. Để tăng vùng làm việc tuyến tính, người ta dùng cầu cân bằng, trong đó tensiometer là một nhánh (R_s). Khi chưa tác dụng lực, cầu cân bằng, nghĩa là $V_o = 0$. Khi có lực R_s thay đổi, làm cầu mất cân bằng. Tín hiệu ra được tính theo công thức:

$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_s}{R_3 + R_s} \right) V_i$$

- ❖ Để bù sự ảnh hưởng của nhiệt độ, người ta dùng R_3 như điện trở bù, gắn lên vùng không chịu lực. Nếu gắn R_3 lên phía đối diện của phần tử biến dạng, sao cho R_s chịu kéo còn R_3 chịu nén thì sẽ tăng được độ nhạy của sensor.
- ❖ Quan hệ giữa lực tác dụng và tín hiệu ra phụ thuộc rất nhiều vào cách gắn sensor lên phần tử biến dạng. Sau đây là ví dụ minh họa về ứng dụng tensiometer vào đo lực tác dụng lên cổ tay khi nâng vật. Trong trường hợp này phần tử biến dạng có dạng chữ thập (kiểu Maltese), đóng vai trò truyền lực giữa kẹp và cổ tay. Các tensiometer được dán lên các nhánh chữ thập, sao cho sensor nhận được tín hiệu lực tác dụng theo bất cứ phương nào. Mỗi nhánh chữ thập được dán 2 tensiometer, nên tổng số giá trị đo được là 8, từ ω_1 đến ω_8 . Lực tổng quát tác dụng lên cổ tay có 6 thành phần: 3 thành phần lực hướng theo 3 trục tọa độ (f_x, f_y, f_z) và 3 thành phần momen quanh 3 trục đó (μ_x, μ_y, μ_z). Quan hệ giữa các thành phần lực và momen với các giá trị đo được biểu diễn qua một ma trận, gọi là ma trận chuẩn định (calibration matrix):

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \\ \mu_x \\ \mu_y \\ \mu_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & c_{13} & 0 & 0 & 0 & c_{17} & 0 \\ c_{21} & 0 & 0 & 0 & c_{25} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{32} & 0 & c_{34} & 0 & c_{36} & 0 & c_{38} \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 & 0 & c_{48} \\ 0 & c_{52} & 0 & 0 & 0 & c_{56} & 0 & 0 \\ c_{61} & 0 & c_{63} & 0 & c_{65} & 0 & c_{67} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \\ \omega_7 \\ \omega_8 \end{bmatrix}$$

Các sensor thông dụng kiểu này có đường kính khoảng 10 cm, cao khoảng 5 cm; có giới hạn đo lực (50 – 500) N và momen (5 - 70) Nm; độ phân giải đo lực khoảng 0,1% và momen 0,05% giá trị cực đại; tốc độ lấy mẫu của mạch xử lý khoảng 1 Hz.

- Thiết bị quan sát (Visual System)
 - ❖ Thiết bị quan sát là một sensor đặc biệt, có khả năng nhận biết và xử lý hình ảnh của đối tượng. Thiết bị quan sát được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp nói chung, song ứng dụng trong robot là ứng dụng đặc trưng nhất. Mặt khác xử lý ảnh cũng là một trong những lĩnh vực phát triển mạnh nhất của công nghệ thông tin hiện đại, nên thiết bị quan sát trên robot gắn liền với máy tính.
 - ❖ Trên hình 6.12 là một hệ thống quan sát đơn giản của robot, để nhận biết 2 vật: một vật cao và một vật thấp. Hệ thống có một nguồn sáng và 2 sensor thu ánh sáng. Nếu có vật cao trước nguồn sáng thì cả 2 sensor đều nhận được ánh sáng phản xạ. Nếu chỉ có vật thấp thì chỉ riêng sensor thấp nhận được. Nếu không có vật nào thì không sensor nào nhận được tín hiệu. “Hình ảnh” của đối tượng chỉ gồm có 2 điểm ảnh (trong kỹ thuật xử lý ảnh, điểm ảnh được gọi là pixel).
 - ❖ Tín hiệu về đối tượng, tuy chỉ có 2 pixel nhưng cũng cần bộ phân tích, ví dụ một PLC. Nó được lập trình để:
 - ❖ Báo hiệu cho robot nếu có vật cao trước mặt. Vì vậy robot chỉ phải phản ứng khi gặp vật cao.
 - ❖ Nổi hiệu lệnh cho người nếu chỉ có vật thấp trước mặt. Như vậy người chỉ phải phản ứng nếu gặp vật thấp.
 - ❖ Gọi hệ thống trên là “thiết bị quan sát” có thể là hơi lạm dụng từ này và hệ thống như vậy có lẽ không tồn tại trên thực tế, nhưng nó cho một hình dung ban đầu về thiết bị quan sát.
 - ❖ Thiết bị quan sát thật sự cũng có các bộ phận cơ bản như hệ thống ví dụ ở trên. Đó là hệ thống đơn giản để nhận dạng chi tiết. Nó có khả năng phân biệt các chi tiết trong trường quan sát của mình.
- Hệ thống nhận dạng nói trên gồm có:
 - ❖ Nguồn sáng, tia sáng do nó phát ra sẽ bị phản xạ bởi vật và được thu bởi...
 - ❖ Camera, biến đổi quang năng thành điện năng, cung cấp cho...
 - ❖ Bộ thu ảnh (Framegrabber), gồm mạch điện tử và phần mềm để phân tích tín hiệu thành các pixel và biểu diễn chúng dưới dạng mã nhị phân. Sơ đồ phân bố các điểm ảnh gọi là bitmap. Sơ đồ này sẽ được chuyển tới...

- ❖ Máy tính để lưu trữ và xử lý tiếp. máy tính sẽ so sánh sơ đồ điểm ảnh của vật với sơ đồ điểm ảnh chuẩn (gọi là template) trong thư viện để xem vật thuộc loại nào. Máy tính sẽ chỉ cho robot biết chi tiết nó đang nhìn thấy là chi tiết nào, thông qua...
- ❖ Giao diện đầu ra. Nó chuyển tín hiệu từ hệ thống nhận dạng cho bộ điều khiển robot. Ví dụ, một mã “H” (nếu chi tiết là hộp), mã “C” (nếu chi tiết là cờ lê) sẽ được truyền theo giao diện chuẩn RS 232.
- Thiết bị nhận dạng càng chính xác nếu có số điểm ảnh trên một đơn vị diện tích ảnh (nghĩa là phân giải) càng lớn. Đơn vị chuẩn của độ phân giải là *dpi* (*dots per inch*). Màn hình máy tính có độ phân giải cỡ 100 dpi, còn máy in laser thường có độ phân giải cao hơn (cỡ 300 dpi trở lên). Độ phân giải của ảnh càng lớn thì tốc độ xử lý và dung lượng bộ nhớ của máy tính càng phải cao. Khả năng nhận dạng chính xác của thiết bị quan sát cần cho những trường hợp sau:
 - ❖ Phân biệt các chi tiết khá giống nhau
 - ❖ Phân biệt các sản phẩm tốt và phế phẩm
 - ❖ Sử dụng màu sắc để nhận dạng đối tượng
 - ❖ Đo kích thước của chi tiết
 - ❖ Nhận biết vật cản để tránh va chạm
 - ❖ Nhận biết khoảng cách và hướng của chi tiết
 - ❖ Nhận biết tốc độ và hướng chuyển động của đối tượng
 - ❖ Nhận biết đối tượng 3 chiều

Các thiết bị nhận dạng mục tiêu của máy ném bom, nhận dạng đường cho các ô tô tự lái,... là những ví dụ về các thiết bị quan sát hiện đại

4.4.4. Hệ thống điều khiển.

- Các phần trên đã trình bày về hệ thống cơ khí (xương cốt) và hệ thần kinh ngoại vi. Muốn điều khiển được robot cần một hệ thống thần kinh trung ương, tức là não bộ. Đó là hệ thống điều khiển.

4.4.4.1. Kiến trúc chức năng

- Hệ thống điều khiển robot cần có các khả năng sau:
- Điều khiển chuyển động của các cơ cấu cơ khí (*manipulation ability*);
- Thu nhận thông tin về trạng thái của hệ thống và về môi trường công tác (*sensory ability*);
- Phân tích thông tin và phản ứng trước điều kiện thực tế trong phạm vi xác định (*intelligent behavior ability*);
- Lưu trữ, xử lý và cung cấp thông tin về hệ thống (*data processing ability*).
- Muốn vậy, bộ điều khiển cần có các khối (*modul*) cơ bản:

Modul cảm biến thu nhận, biến đổi, hiệu chỉnh, tổng hợp thông tin về trạng thái của hệ thống và về môi trường.

Modul tổng hợp, thiết lập mô hình tổng hợp về hệ thống và môi trường trên cơ sở thông tin do modul cảm biến cung cấp.

Modul ra quyết định, đưa ra phương thức hành động. Từ chiến lược hành động, lập kế hoạch, điều khiển hoạt động của cơ cấu để thực hiện nhiệm vụ theo tình huống cụ thể.

Các modul trên tự động liên kết với nhau theo nhiệm vụ được quy định trong chương trình, có tính đến khả năng thích ứng của hệ thống trong quá tình huống cụ thể. Tuy vậy, vẫn cần

có giao diện với người vận hành khi cần con người có thể kiểm tra, giám sát, can thiệp vào hệ thống.

- Tính đến cường độ trao đổi thông tin giữa các modul với nhau và giữa hệ thống với người vận hành, cần có bộ nhớ chung để lưu trữ các thông tin ban đầu và thông tin cập nhật của hệ thống và môi trường.
- Cấu trúc chức năng trên được phân cấp theo thứ bậc. Cấu trúc bậc thấp liên quan đến các dịch chuyển vật lý. Cấu trúc bậc cao gắn với chức năng phân tích logic. Các bậc liên hệ với nhau thông qua dòng dữ liệu. Sơ đồ trên hình 6.14 cho phép nhìn nhận tổng quan về cấu trúc chức năng và cấu trúc thứ bậc của hệ điều khiển robot.
- Tùy theo yêu cầu đối với hoạt động của robot, các chức năng được phân cấp với mức độ khác nhau. Nói chung có thể phân thành 4 cấp chính:
Cấp nhiệm vụ (task level), giải quyết các vấn đề chung về nhiệm vụ. So sánh yêu cầu đặt ra với khả năng chấp nhận của hệ thống, tình trạng hiện tại của hệ thống với môi trường...
Cấp chiến lược (action level), giải quyết phương thức hành động chung, ví dụ hệ tọa độ, vị trí của phần công tác, các điểm phải đi qua, hàm nội suy sẽ sử dụng...
Cấp kế hoạch (primitive level), thiết lập quỹ đạo, tính toán động học và động học ngược, phân tích tình trạng hệ chấp hành, ...
Cấp thừa hành (servo level), liên quan đến các hoạt động cụ thể, như giải mã lệnh, nội suy, xử lý lỗi, giao diện với cơ cấu chấp hành.

4.4.4.2. Môi trường lập trình

- Đặc điểm quan trọng của robot là làm việc theo chương trình và tái lập trình được. Chương trình là phương tiện để người sử dụng truyền đạt cho robot các nhiệm vụ mà nó phải thực hiện và hướng dẫn cho robot làm việc đó thế nào. Vì vậy robot cần có một môi trường lập trình với ngôn ngữ lập trình nhất định. Môi trường lập trình, ngoài hệ thống lệnh và hàm như các ngôn ngữ lập trình khác, còn phải có khả năng giám sát quá trình làm việc của robot và có phản ứng thích hợp. Nói cách khác, dù hệ thống được thiết kế chính xác và tỷ mỉ đến đâu thì cũng không lường hết được mọi yếu tố bất trắc. Chương trình phải cho phép robot phản ứng hợp lý trong mỗi tình huống. Nói tóm lại, môi trường lập trình robot cần có các yếu tố sau:
Hệ thống điều hành trong thời gian thực.
Mô hình hóa không gian công tác
Điều khiển chuyển động
Đọc và xử lý thông tin từ hệ thống sensor
Giao diện với hệ thống vật lý
Phát hiện và xử lý lỗi
Phục hồi các chức năng làm việc đúng
Cấu trúc ngôn ngữ xác định
- Như vậy, môi trường lập trình bắt nguồn từ cấu trúc hệ điều khiển, nghĩa là có kết cấu chức năng và thứ bậc.
Sự phát triển của môi trường lập trình phụ thuộc vào khoa học máy tính. Theo định hướng chức năng có thể nhận thấy 3 thế hệ của môi trường lập trình: lập trình kiểu làm mẫu (teach-in programming), lập trình định hướng robot (robot oriented programming), lập trình định hướng đối tượng (object oriented programming). Thế hệ sau thường bao cả chức năng của thế hệ trước.
- Lập trình làm kiểu mẫu

Đây là phương pháp lập trình đơn giản nhất. Người vận hành dùng một thiết bị đặc biệt, gọi là teach pendant hay trực tiếp dẫn dắt tay máy thực hiện các thao tác. Mọi thao tác sẽ được ghi nhớ để sau đó tay máy có thể lặp lại. Dù ngày nay ngôn ngữ lập trình đã phát triển, phương pháp lập trình hiện nay vẫn còn được sử dụng, ví dụ người ta mới học lập trình hoặc để lập trình các thao tác phức tạp, khó diễn đạt trực tiếp bằng ngôn ngữ lập trình bậc cao.

- Lập trình định hướng robot

Phương pháp này phát triển trên cơ sở kỹ thuật máy tính hiện đại. Đặc điểm cơ bản của nó là dùng ngôn ngữ lập trình bậc cao, có cấu trúc để mô tả các thao tác. Các yếu tố chính của môi trường gồm:

Bộ soạn thảo chương trình dưới dạng text editor

Cấu trúc biểu thị dữ liệu phức tạp

Sử dụng các biến trạng thái

Thực hiện các phép toán ma trận

Sử dụng ký hiệu để biểu diễn hệ tọa độ.

Có khả năng chuyển đổi tọa độ vật trên các khâu, khớp của tay máy

Dùng kỹ thuật chương trình con, thủ tục, vòng lặp

Có khả năng tính toán song song

Các chức năng điều khiển logic khả trình (PLC).

Sử dụng môi trường lập trình định hướng robot có thể tạo ra các giao diện với các thiết bị khác trong hệ thống sản xuất. Mặt khác, không nhất thiết phải lập trình trực tiếp trên thiết bị mà trên một lập trình độc lập (offline programming). Một công cụ lập trình rất có hiệu quả là CAD/CAM, cho phép mô tả hệ thống và môi trường làm việc dưới dạng đồ họa.

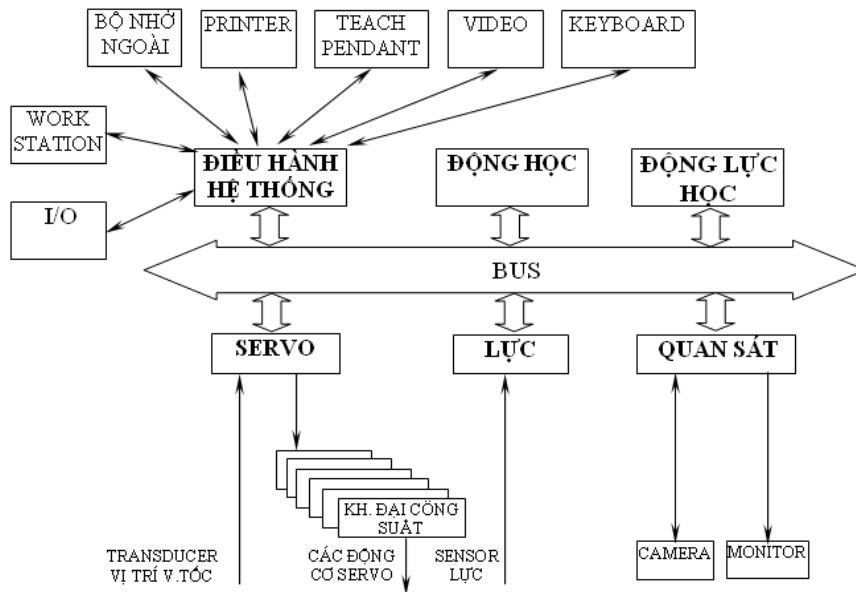
- Lập trình định hướng đối tượng:

Lập trình hướng đối tượng cho phép thâm nhập vào cấp điều khiển cao nhất: mô hình hóa môi trường làm việc của robot như trong hệ thống sản xuất thực. Trong hệ thống đó robot chỉ là một trong những thiết bị, làm việc đồng bộ với các thiết bị khác. Đối tượng lập trình và mô tả là nhiệm vụ sản xuất của cả hệ thống chứ không phải chỉ riêng robot. Môi trường lập trình này dần dần mang các đặc tính của hệ chuyên gia và trí tuệ nhân tạo.

4.4.4.3. Cấu trúc phần cứng

- Thống nhất với cấu trúc chung của hệ thống điều khiển, phần cứng cũng có cấu trúc chức năng theo thứ bậc. Sơ đồ cấu trúc phần cứng như trong hình

ROBOT CÔNG NGHIỆP



Sơ đồ cấu trúc phân cứng của hệ điều khiển RBCN

- Trong hệ thống này, tùy chức năng được hình thành nhờ bảng mạch riêng. Các bảng mạch được liên kết với nhau qua đường truyền (BUS) dữ liệu. Độ rộng của BUS phải đủ cho phép xử lý thời gian thực.

Bản mạch (Board) hệ thống, thực chất là CPU, gồm:

Một bộ vi xử lý với đồng xử lý toán học,

Một EPROM cho cấu hình hệ thống,

Một RAM riêng (local),

Một RAM chia sẻ với các bảng mạch khác thông qua BUS

Một số cổng nối tiếp và song song để ghép với BUS hoặc các thiết bị bên ngoài.

Các bộ đếm, thanh ghi và đồng hồ

Hệ thống ngắt

Board hệ thống thực hiện các chức năng sau:

Giao diện với các teach pendant, bàn phím, video, máy in,

Giao diện với bộ nhớ ngoài (ổ cứng) để lưu dữ liệu và chương trình

Giao diện với các trạm hoặc hệ điều khiển khác trong mạng cục bộ (LAN),

Giao diện vào ra (I/O) với các thiết bị ngoại vi, như băng tải, nâng hạ, đo lường, ON/OFF sensor,

Bộ dịch chương trình,

Bộ điều khiển BUS.

- Board động học thực hiện các chức năng:

Tính toán động học của cấu trúc

Giải các bài toán thuận, nghịch, Jacobian của động học tay máy

Test quỹ đạo

Giải quyết vấn đề liên kết động học thừa.

Board động lực học giải quyết bài toán ngược của động lực học tay máy.

- Servo board có các chức năng:

Nội suy quỹ đạo

Thực hiện các thuật toán điều khiển

Chuyển đổi số - tương tự và giao diện với các bộ khuếch đại công suất

Xử lý các thông tin về vị trí và vận tốc

Ngắt chuyển động khi có sự cố.

- Các board khác có chức năng xử lý thông tin từ các servo tương ứng.
- Mặc dù các board đều truyền dữ liệu qua BUS, tốc độ trao đổi dữ liệu của chúng không cần giống nhau. Các thông tin hệ thống cung cấp cho các servo board cần cập nhật nhanh nhất có thể được, nên tốc độ trao đổi của chúng rất cao (100 – 1000) Hz. Board động học và động lực học chỉ thực hiện các phép tính không trực tiếp tham gia điều khiển hệ thống nên trao đổi thông tin ở tần số thấp hơn (10 - 100) Hz. Vision board còn trao đổi dữ liệu với tần số thấp hơn nữa (1 - 10) Hz. Việc các board trao đổi dữ liệu với tốc độ khác nhau giúp phòng ngừa tình trạng nghẽn kênh dữ liệu.
- Sự phát triển của kỹ thuật điều khiển robot không thể tách rời sự phát triển của công nghệ thông tin. Bản thân bộ điều khiển robot là một máy tính chuyên dùng, bên cạnh những nguyên tắc chung có những đặc điểm riêng trong cấu tạo và hoạt động.

- Bộ xử lý trung tâm

Máy tính đã gây nên sự phát triển đáng kể của kỹ thuật điều khiển robot. Các bộ vi xử lý (VXL) 8 bit như Motorola 6800 hoặc Zilog Z-80 đã từng được sử dụng phổ biến trong điều khiển robot. Ngày nay, phần lớn robot đã dùng VXL 16 bit, với co-processor để tăng khả năng tính toán. Thông dụng nhất là các bộ VXL Intel 8086, 8088. Ngoài tăng đáng kể tốc độ xử lý, chúng còn có khả năng mở rộng bộ nhớ địa chỉ, cho phép điều khiển tốt hơn vận tốc và gia tốc của phần công tác và mở rộng tiện ích lập trình. Một số robot hiện đại đã dùng bộ VXL 32 bit. Chúng rất thích hợp với điều khiển quỹ đạo liên tục.

- Thiết bị vào/ra

Thiết bị vào/ra của robot (hình 6.19) phục vụ cho nhiệm vụ điều khiển, nghĩa là giao diện giữa máy tính với các thiết bị bên ngoài:

Thiết bị điều khiển các trục, điều khiển nguồn động lực cung cấp cho các trục để thi hành các nhiệm vụ của robot. Máy tính điều khiển hệ thống chấp hành thông qua các thiết bị này. Chúng có thể là các servo drive, inverter,... Chúng có thể bao gồm cả bộ chuyển đổi số - tương tự, cho phép máy tính điều khiển động cơ một chiều. Nếu dùng hệ điều khiển servo thì cần thu nhận tín hiệu từ các sensor.

Thiết bị dạy (Teach Pendants) có trên hầu hết robot. Loại đơn giản chỉ cho phép nhớ các tọa độ mà robot được dẫn qua để sau đó lặp lại. Loại phức tạp hơn có thể có các phím điều khiển chức năng, như chuyển động các trục, mở và đóng kẹp,... và các lệnh xử lý chương trình, như ghi, đọc, chạy chương trình,...

Các thiết bị ngoại vi, như máy in, thiết bị lưu trữ ngoài, màn hình,...

Giao diện với hệ thống sensor, có thể là số hay tương tự tùy theo loại sensor và thiết bị xử lý.

Giao diện với các thiết bị điều khiển khác, như PLC, máy CNC, robot và các thiết bị sản xuất khác,...

Mạng truyền thông cục bộ hay diện rộng.

CHƯƠNG I

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ ROBOT CÔNG NGHIỆP

1.1. Sơ lược quá trình phát triển của robot công nghiệp (IR : Industrial Robot) :

Thuật ngữ “Robot” xuất phát từ tiếng Sec (Czech) “Robota” có nghĩa là công việc tạp dịch trong vở kịch *Rossum’s Universal Robots* của Karel Capek, vào năm 1921. Trong vở kịch này, Rossum và con trai của ông ta đã chế tạo ra những chiếc máy gần giống với con người để phục vụ con người. Có lẽ đó là một gợi ý ban đầu cho các nhà sáng chế kỹ thuật về những cơ cấu, máy móc bắt chước các hoạt động cơ bắp của con người.

Đầu thập kỷ 60, công ty Mỹ AMF (American Machine and Foundry Company) quảng cáo một loại máy tự động vạn năng và gọi là “Người máy công nghiệp” (Industrial Robot). Ngày nay người ta đặt tên người máy công nghiệp (hay robot công nghiệp) cho những loại thiết bị có dáng dấp và một vài chức năng như tay người được điều khiển tự động để thực hiện một số thao tác sản xuất.

Về mặt kỹ thuật, những robot công nghiệp ngày nay, có nguồn gốc từ hai lĩnh vực kỹ thuật ra đời sớm hơn đó là các cơ cấu điều khiển từ xa (Teleoperators) và các máy công cụ điều khiển số (NC - Numerically Controlled machine tool).

Các cơ cấu điều khiển từ xa (hay các thiết bị kiểu chủ-tớ) đã phát triển mạnh trong chiến tranh thế giới lần thứ hai nhằm nghiên cứu các vật liệu phóng xạ. Người thao tác được tách biệt khỏi khu vực phóng xạ bởi một bức tường có một hoặc vài cửa quan sát để có thể nhìn thấy được công việc bên trong. Các cơ cấu điều khiển từ xa thay thế cho cánh tay của người thao tác; nó gồm có một bộ kẹp ở bên trong (tớ) và hai tay cầm ở bên ngoài (chủ). Cả hai, tay cầm và bộ kẹp, được nối với nhau bằng một cơ cấu sáu bậc tự do để tạo ra các vị trí và hướng tùy ý của tay cầm và bộ kẹp. Cơ cấu dùng để điều khiển bộ kẹp theo chuyển động của tay cầm.

Vào khoảng năm 1949, các máy công cụ điều khiển số ra đời, nhằm đáp ứng yêu cầu gia công các chi tiết trong ngành chế tạo máy bay. *Những robot đầu tiên thực chất là sự nối kết giữa các khâu cơ khí của cơ cấu điều khiển từ xa với khả năng lập trình của máy công cụ điều khiển số.*

Dưới đây chúng ta sẽ điểm qua một số thời điểm lịch sử phát triển của người máy công nghiệp. Một trong những robot công nghiệp đầu tiên được chế tạo là robot Versatran của công ty AMF, Mỹ. Cũng vào khoảng thời gian này ở Mỹ xuất hiện loại robot Unimate -1900 được dùng đầu tiên trong kỹ nghệ ô tô.

Tiếp theo Mỹ, các nước khác bắt đầu sản xuất robot công nghiệp : Anh -1967, Thụy Điển và Nhật -1968 theo bản quyền của Mỹ; CHLB Đức -1971; Pháp - 1972; ở Ý - 1973. . .

Tính năng làm việc của robot ngày càng được nâng cao, nhất là khả năng nhận biết và xử lý. Năm 1967 ở trường Đại học tổng hợp Stanford (Mỹ) đã chế tạo ra mẫu robot hoạt động theo mô hình “mắt-tay”, có khả năng nhận biết và định hướng bàn kẹp theo vị trí vật kẹp nhờ các cảm biến. Năm 1974 Công ty Mỹ Cincinnati đưa ra loại robot được điều khiển bằng máy vi tính, gọi là robot T3 (The Tomorrow Tool : Công cụ của tương lai). Robot này có thể nâng được vật có khối lượng đến 40 KG.

Có thể nói, Robot là sự tổ hợp khả năng hoạt động linh hoạt của các cơ cấu điều khiển từ xa với mức độ “tri thức” ngày càng phong phú của hệ thống điều khiển theo chương trình số cũng như kỹ thuật chế tạo các bộ cảm biến, công nghệ lập trình và các phát triển của trí khôn nhân tạo, hệ chuyên gia ...

Trong những năm sau này, việc nâng cao tính năng hoạt động của robot không ngừng phát triển. Các robot được trang bị thêm các loại cảm biến khác nhau để nhận biết môi trường

chung quanh, cùng với những thành tựu to lớn trong lĩnh vực Tin học - Điện tử đã tạo ra các thế hệ robot với nhiều tính năng đặc biệt, Số lượng robot ngày càng gia tăng, giá thành ngày càng giảm. Nhờ vậy, robot công nghiệp đã có vị trí quan trọng trong các dây chuyền sản xuất hiện đại.

Một vài số liệu về số lượng robot được sản xuất ở một vài nước công nghiệp phát triển như sau :

(Bảng I.1)

Nước SX	Năm 1990	Năm 1994	Năm 1998 (Dự tính)
Nhật	60.118	29.756	67.000
Mỹ	4.327	7.634	11.100
Đức	5.845	5.125	8.600
Ý	2.500	2.408	4.000
Pháp	1.488	1.197	2.000
Anh	510	1.086	1.500
Hàn quốc	1.000	1.200	

Mỹ là nước đầu tiên phát minh ra robot, nhưng nước phát triển cao nhất trong lĩnh vực nghiên cứu chế tạo và sử dụng robot lại là Nhật.

1.2. Ứng dụng robot công nghiệp trong sản xuất :

Từ khi mới ra đời robot công nghiệp được áp dụng trong nhiều lĩnh vực dưới góc độ thay thế sức người. Nhờ vậy các dây chuyền sản xuất được tổ chức lại, năng suất và hiệu quả sản xuất tăng lên rõ rệt.

Mục tiêu ứng dụng robot công nghiệp nhằm góp phần nâng cao năng suất dây chuyền công nghệ, giảm giá thành, nâng cao chất lượng và khả năng cạnh tranh của sản phẩm đồng thời cải thiện điều kiện lao động. Đạt được các mục tiêu trên là nhờ vào những khả năng to lớn của robot như : làm việc không biết mệt mỏi, rất dễ dàng chuyển nghề một cách thành thạo, chịu được phóng xạ và các môi trường làm việc độc hại, nhiệt độ cao, “cảm thấy” được cả từ trường và “nghe” được cả siêu âm ... Robot được dùng thay thế con người trong các trường hợp trên hoặc thực hiện các công việc tuy không nặng nhọc nhưng đơn điệu, dễ gây mệt mỏi, nhàm lẫn.

Trong ngành cơ khí, robot được sử dụng nhiều trong công nghệ đúc, công nghệ hàn, cắt kim loại, sơn, phun phủ kim loại, tháo lắp vận chuyển phôi, lắp ráp sản phẩm . . .

Ngày nay đã xuất hiện nhiều dây chuyền sản xuất tự động gồm các máy CNC với Robot công nghiệp, các dây chuyền đó đạt mức tự động hoá cao, mức độ linh hoạt cao . . . ở đây các máy và robot được điều khiển bằng cùng một hệ thống chương trình.

Ngoài các phân xưởng, nhà máy, kỹ thuật robot cũng được sử dụng trong việc khai thác thêm lục địa và đại dương, trong y học, sử dụng trong quốc phòng, trong chinh phục vũ trụ, trong công nghiệp nguyên tử, trong các lĩnh vực xã hội . . .

Rõ ràng là khả năng làm việc của robot trong một số điều kiện vượt hơn khả năng của con người; do đó nó là phương tiện hữu hiệu để tự động hoá, nâng cao năng suất lao động, giảm nhẹ cho con người những công việc nặng nhọc và độc hại. Nhược điểm lớn nhất của robot là chưa linh hoạt như con người, trong dây chuyền tự động, nếu có một robot bị hỏng có thể làm ngừng hoạt động của cả dây chuyền, cho nên robot vẫn luôn hoạt động dưới sự giám sát của con người.

1.3. Các khái niệm và định nghĩa về robot công nghiệp :

1.3.1. Định nghĩa robot công nghiệp :

Hiện nay có nhiều định nghĩa về Robot, có thể điểm qua một số định nghĩa như sau :

Định nghĩa theo tiêu chuẩn AFNOR (Pháp) :

Robot công nghiệp là một cơ cấu chuyển động tự động có thể lập trình, lặp lại các chương trình, tổng hợp các chương trình đặt ra trên các trục tọa độ; có khả năng định vị, định hướng, di chuyển các đối tượng vật chất : chi tiết, dao cụ, gá lắp . . . theo những hành trình thay đổi đã chương trình hoá nhằm thực hiện các nhiệm vụ công nghệ khác nhau.

Định nghĩa theo RIA (Robot institute of America) :

Robot là một tay máy vạn năng có thể lập lại các chương trình được thiết kế để di chuyển vật liệu, chi tiết, dụng cụ hoặc các thiết bị chuyên dùng thông qua các chương trình chuyển động có thể thay đổi để hoàn thành các nhiệm vụ khác nhau.

Định nghĩa theo IOCT 25686-85 (Nga) :

Robot công nghiệp là một máy tự động, được đặt cố định hoặc di động được, liên kết giữa một tay máy và một hệ thống điều khiển theo chương trình, có thể lập trình lại để hoàn thành các chức năng vận động và điều khiển trong quá trình sản xuất.

Có thể nói Robot công nghiệp là một máy tự động linh hoạt thay thế từng phần hoặc toàn bộ các hoạt động cơ bắp và hoạt động trí tuệ của con người trong nhiều khả năng thích nghi khác nhau.

Robot công nghiệp có khả năng chương trình hoá linh hoạt trên nhiều trục chuyển động, biểu thị cho số bậc tự do của chúng. Robot công nghiệp được trang bị những bàn tay máy hoặc các cơ cấu chấp hành, giải quyết những nhiệm vụ xác định trong các quá trình công nghệ : hoặc trực tiếp tham gia thực hiện các nguyên công (sơn, hàn, phun phủ, rót kim loại vào khuôn đúc, lắp ráp máy . . .) hoặc phục vụ các quá trình công nghệ (tháo lắp chi tiết gia công, dao cụ, đồ gá . . .) với những thao tác cầm nắm, vận chuyển và trao đổi các đối tượng với các trạm công nghệ, trong một hệ thống máy tự động linh hoạt, được gọi là “Hệ thống tự động linh hoạt robot hoá” cho phép thích ứng nhanh và thao tác đơn giản khi nhiệm vụ sản xuất thay đổi.

1.3.2. Bậc tự do của robot (DOF : Degrees Of Freedom) :

Bậc tự do là số khả năng chuyển động của một cơ cấu (chuyển động quay hoặc tịnh tiến). Để dịch chuyển được một vật thể trong không gian, cơ cấu chấp hành của robot phải đạt được một số bậc tự do. Nói chung cơ hệ của robot là một cơ cấu hở, do đó bậc tự do của nó có thể tính theo công thức :

$$w = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i \quad (1.1)$$

ở đây : n - Số khâu động;

p_i - Số khớp loại i (i = 1,2,..,5 : Số bậc tự do bị hạn chế).

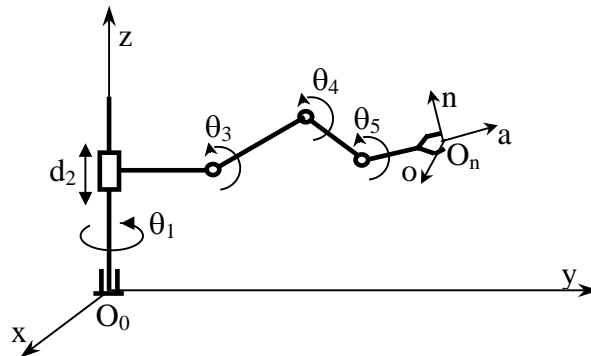
Đối với các cơ cấu có các khâu được nối với nhau bằng khớp quay hoặc tịnh tiến (khớp động loại 5) thì số bậc tự do bằng với số khâu động . Đối với cơ cấu hở, số bậc tự do bằng tổng số bậc tự do của các khớp động.

Để định vị và định hướng khâu chấp hành cuối một cách tùy ý trong không gian 3 chiều robot cần có 6 bậc tự do, trong đó 3 bậc tự do để định vị và 3 bậc tự do để định hướng. Một số công việc đơn giản nâng hạ, sắp xếp... có thể yêu cầu số bậc tự do ít hơn. Các robot hàn, sơn... thường yêu cầu 6 bậc tự do. Trong một số trường hợp cần sự khéo léo, linh hoạt hoặc khi cần phải tối ưu hoá quỹ đạo,... người ta dùng robot với số bậc tự do lớn hơn 6.

1.3.3. Hệ tọa độ (Coordinate frames) :

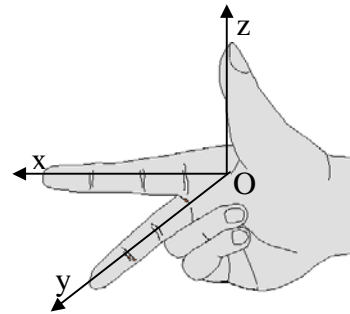
Mỗi robot thường bao gồm nhiều khâu (links) liên kết với nhau qua các khớp (joints), tạo thành một xích động học xuất phát từ một khâu cơ bản (base) đứng yên. Hệ tọa độ gắn với

khâu cơ bản gọi là hệ tọa độ cơ bản (hay hệ tọa độ chuẩn). Các hệ tọa độ trung gian khác gắn với các khâu động gọi là hệ tọa độ suy rộng. Trong từng thời điểm hoạt động, các *toạ độ suy rộng* xác định cấu hình của robot bằng các chuyển dịch dài hoặc các chuyển dịch góc của các khớp tịnh tiến hoặc khớp quay (hình 1.1). Các tọa độ suy rộng còn được gọi là biến khớp.



Hình 1.1 : Các tọa độ suy rộng của robot.

Các hệ tọa độ gắn trên các khâu của robot phải tuân theo quy tắc bàn tay phải : Dùng tay phải : nắm hai ngón tay út và áp út vào lòng bàn tay, xoè 3 ngón : cái, trỏ và giữa theo 3 phương vuông góc nhau, nếu chọn ngón cái là phương và chiều của trục z, thì ngón trỏ chỉ phương, chiều của trục x và ngón giữa sẽ biểu thị phương, chiều của trục y (hình 1.2).

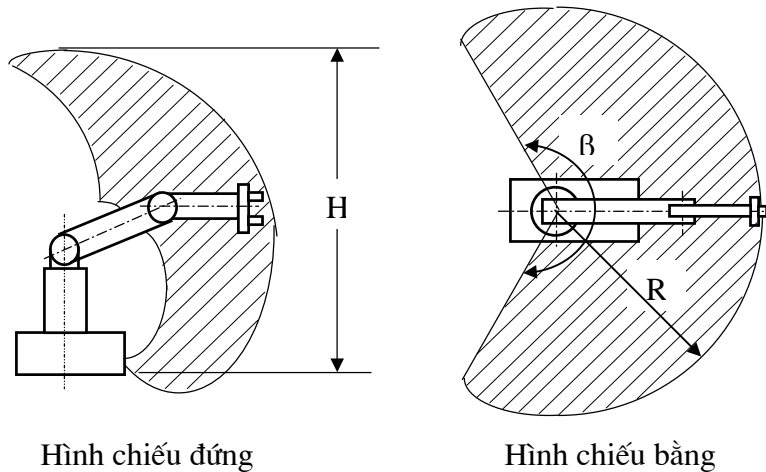


Hình 1.2 : Quy tắc bàn tay phải

Trong robot ta thường dùng chữ O và chỉ số n để chỉ hệ tọa độ gắn trên khâu thứ n. Như vậy hệ tọa độ cơ bản (Hệ tọa độ gắn với khâu cố định) sẽ được ký hiệu là O_0 ; hệ tọa độ gắn trên các khâu trung gian tương ứng sẽ là O_1, O_2, \dots, O_{n-1} , Hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối ký hiệu là O_n .

1.3.4. Trường công tác của robot (Workspace or Range of motion):

Trường công tác (hay vùng làm việc, không gian công tác) của robot là toàn bộ thể tích được quét bởi khâu chấp hành cuối khi robot thực hiện tất cả các chuyển động có thể. Trường công tác bị ràng buộc bởi các thông số hình học của robot cũng như các ràng buộc cơ học của các khớp; ví dụ, một khớp quay có chuyển động nhỏ hơn một góc 360° . Người ta thường dùng hai hình chiếu để mô tả trường công tác của một robot (hình 1.3).



Hình chiếu đứng

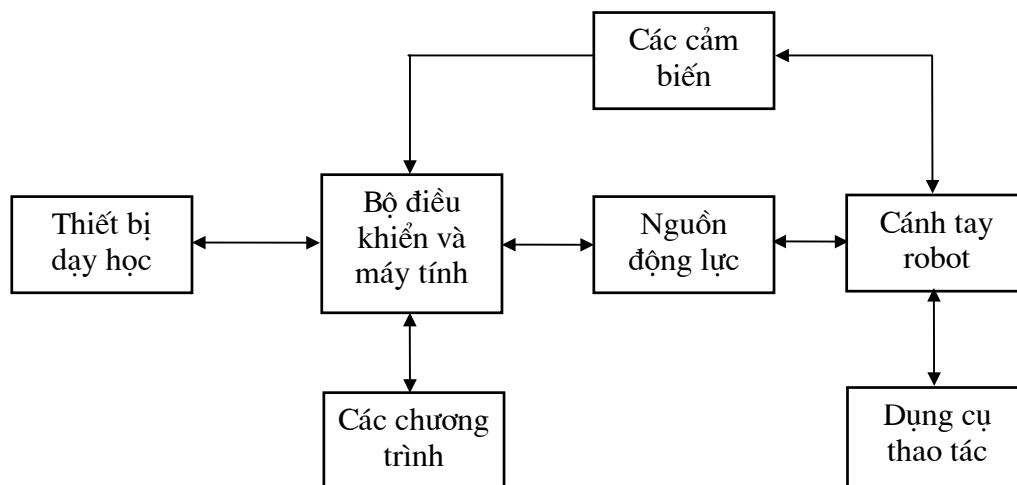
Hình chiếu bằng

Hình 1.3 : Biểu diễn trường công tác của robot.

1.4. Cấu trúc cơ bản của robot công nghiệp :

1.4.1. Các thành phần chính của robot công nghiệp :

Một robot công nghiệp thường bao gồm các thành phần chính như : cánh tay robot, nguồn động lực, dụng cụ gắn lên khâu chấp hành cuối, các cảm biến, bộ điều khiển , thiết bị dạy học, máy tính ... các phần mềm lập trình cũng nên được coi là một thành phần của hệ thống robot. Mối quan hệ giữa các thành phần trong robot như hình 1.4.



Hình 1.4 : Các thành phần chính của hệ thống robot.

Cánh tay robot (tay máy) là kết cấu cơ khí gồm các khâu liên kết với nhau bằng các khớp động để có thể tạo nên những chuyển động cơ bản của robot.

Nguồn động lực là các động cơ điện (một chiều hoặc động cơ bước), các hệ thống xy lanh khí nén, thủy lực để tạo động lực cho tay máy hoạt động.

Dụng cụ thao tác được gắn trên khâu cuối của robot, dụng cụ của robot có thể có nhiều kiểu khác nhau như : dạng bàn tay để nắm bắt đối tượng hoặc các công cụ làm việc như mỏ hàn, đá mài, đầu phun sơn ...

Thiết bị dạy-học (Teach-Pendant) dùng để dạy cho robot các thao tác cần thiết theo yêu cầu của quá trình làm việc, sau đó robot tự lặp lại các động tác đã được dạy để làm việc (phương pháp lập trình kiểu dạy học).

Các phần mềm để lập trình và các chương trình điều khiển robot được cài đặt trên máy tính, dùng điều khiển robot thông qua bộ điều khiển (Controller). Bộ điều khiển còn được gọi là Modul điều khiển (hay Unit, Driver), nó thường được kết nối với máy tính. Một modul điều khiển có thể còn có các cổng Vào - Ra (I/O port) để làm việc với nhiều thiết bị khác nhau như các cảm biến giúp robot nhận biết trạng thái của bản thân, xác định vị trí của đối tượng làm việc hoặc các dò tìm khác; điều khiển các băng tải hoặc cơ cấu cấp phôi hoạt động phối hợp với robot ...

1.4.2. Kết cấu của tay máy :

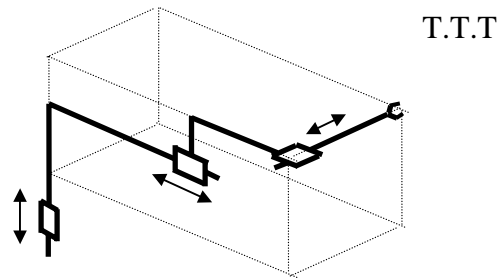
Như đã nói trên, tay máy là thành phần quan trọng, nó quyết định khả năng làm việc của robot. Các kết cấu của nhiều tay máy được phỏng theo cấu tạo và chức năng của tay người; tuy nhiên ngày nay, tay máy được thiết kế rất đa dạng, nhiều cánh tay robot có hình dáng rất khác xa cánh tay người. Trong thiết kế và sử dụng tay máy, chúng ta cần quan tâm đến các thông số hình - động học, là những thông số liên quan đến khả năng làm việc của robot như : tầm với (hay trường công tác), số bậc tự do (thể hiện sự khéo léo linh hoạt của robot), độ cứng vững, tải trọng vật nâng, lực kẹp ...

Các khâu của robot thường thực hiện hai chuyển động cơ bản :

- Chuyển động tịnh tiến theo hướng x,y,z trong không gian Descarte, thông thường tạo nên các hình khối, các chuyển động này thường ký hiệu là T (Translation) hoặc P (Prismatic).
- Chuyển động quay quanh các trục x,y,z ký hiệu là R (Roatation).

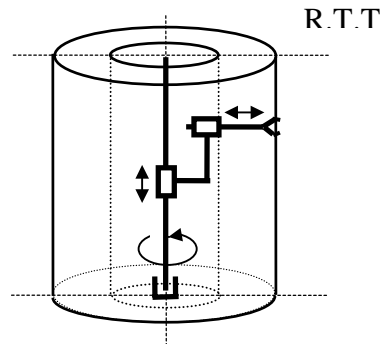
Tùy thuộc vào số khâu và sự tổ hợp các chuyển động (R và T) mà tay máy có các kết cấu khác nhau với vùng làm việc khác nhau. Các kết cấu thường gặp của là Robot là robot kiểu tọa độ Đề các, tọa độ trụ, tọa độ cầu, robot kiểu SCARA, hệ tọa độ góc (phồng sinh) ...

Robot kiểu tọa độ Đề các : là tay máy có 3 chuyển động cơ bản tịnh tiến theo phương của các trục hệ tọa độ góc (cấu hình T.T.T). Trường công tác có dạng khối chữ nhật. Do kết cấu đơn giản, loại tay máy này có độ cứng vững cao, độ chính xác cơ khí để đảm bảo vì vậy nó thường dùng để vận chuyển phôi liệu, lắp ráp, hàn trong mặt phẳng ...



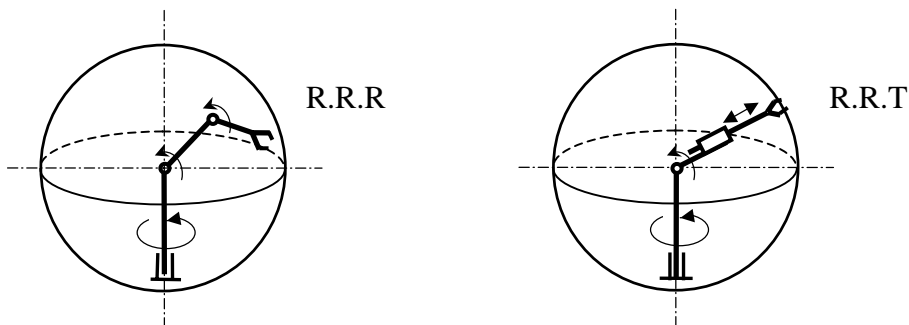
Hình 1.5 : Robot kiểu tọa độ Đề các

Robot kiểu tọa độ trụ : Vùng làm việc của robot có dạng hình trụ rỗng. Thường khớp thứ nhất chuyển động quay. Ví dụ robot 3 bậc tự do, cấu hình R.T.T như hình vẽ 1.6. Có nhiều robot kiểu tọa độ trụ như : robot Versatran của hãng AMF (Hoa Kỳ).



Hình 1.6 : Robot kiểu tọa độ trụ

Robot kiểu tọa độ cầu : Vùng làm việc của robot có dạng hình cầu. thường độ cứng vững của loại robot này thấp hơn so với hai loại trên. Ví dụ robot 3 bậc tự do, cấu hình R.R.R hoặc R.R.T làm việc theo kiểu tọa độ cầu (hình 1.7).



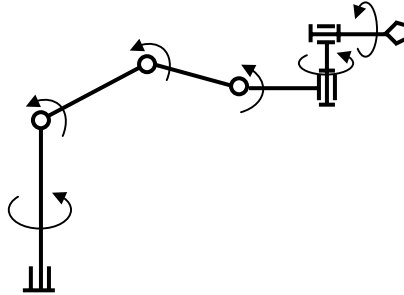
Hình 1.7 : Robot kiểu tọa độ cầu

Robot kiểu tọa độ góc (Hệ tọa độ phồng sinh) : Đây là kiểu robot được dùng nhiều hơn cả. Ba chuyển động đầu tiên là các chuyển động quay, trục quay thứ nhất vuông góc với hai trục kia. Các chuyển động định hướng khác cũng là các chuyển động quay. Vùng làm việc của tay máy này gần giống một phần khối cầu. Tất cả các khâu đều nằm trong mặt phẳng thẳng đứng nên các tính toán cơ bản là bài toán phẳng. Ưu điểm nổi bật của các loại robot hoạt

động theo hệ tọa độ góc là gọn nhẹ, tức là có vùng làm việc tương đối lớn so với kích cỡ của bản thân robot, độ linh hoạt cao.

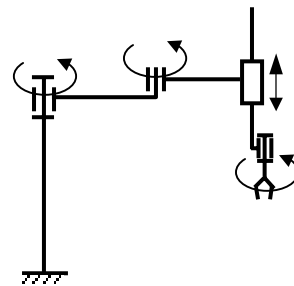
Các robot hoạt động theo hệ tọa độ góc như : Robot PUMA của hãng Unimation - Nokia (Hoa Kỳ - Phần Lan), IRb-6, IRb-60 (Thụy Điển), Toshiba, Mitsubishi, Mazak (Nhật Bản) .V.V...

Ví dụ một robot hoạt động theo hệ tọa độ góc (Hệ tọa độ phỏng sinh), có cấu hình RRR.RRR :



Hình 1.8 : Robot hoạt động theo hệ tọa độ góc.

Robot kiểu SCARA : Robot SCARA ra đời vào năm 1979 tại trường đại học Yamanashi (Nhật Bản) là một kiểu robot mới nhằm đáp ứng sự đa dạng của các quá trình sản xuất. Tên gọi SCARA là viết tắt của "Selective Compliant Articulated Robot Arm" : Tay máy mềm dẻo tùy ý. Loại robot này thường dùng trong công việc lắp ráp nên SCARA đôi khi được giải thích là từ viết tắt của "Selective Compliance Assembly Robot Arm". Ba khớp đầu tiên của kiểu Robot này có cấu hình R.R.T, các trục khớp đều theo phương thẳng đứng. Sơ đồ của robot SCARA như hình 1.9.



Hình 1.9 : Robot kiểu SCARA

1.5. Phân loại Robot công nghiệp :

Robot công nghiệp rất phong phú đa dạng, có thể được phân loại theo các cách sau :

1.4.1. Phân loại theo kết cấu :

Theo kết cấu của tay máy người ta phân thành robot kiểu tọa độ Đề các, Kiểu tọa độ trụ, kiểu tọa độ cầu, kiểu tọa độ góc, robot kiểu SCARA như đã trình bày ở trên.

1.4.2. Phân loại theo hệ thống truyền động :

Có các dạng truyền động phổ biến là :

Hệ truyền động điện : Thường dùng các động cơ điện 1 chiều (DC : Direct Current) hoặc các động cơ bước (step motor). Loại truyền động này dễ điều khiển, kết cấu gọn.

Hệ truyền động thủy lực : có thể đạt được công suất cao, đáp ứng những điều kiện làm việc nặng. Tuy nhiên hệ thống thủy lực thường có kết cấu cồng kềnh, tồn tại độ phi tuyến lớn khó xử lý khi điều khiển.

Hệ truyền động khí nén : có kết cấu gọn nhẹ hơn do không cần dẫn ngược nhưng lại phải gắn liền với trung tâm tạo ra khí nén. Hệ này làm việc với công suất trung bình và nhỏ, kém chính xác, thường chỉ thích hợp với các robot hoạt động theo chương trình định sẵn với các thao tác đơn giản “nhấc lên - đặt xuống” (Pick and Place or PTP : Point To Point).

1.4.3. Phân loại theo ứng dụng :

Dựa vào ứng dụng của robot trong sản xuất có Robot sơn, robot hàn, robot lắp ráp, robot chuyển phôi .v.v...

1.4.4. Phân loại theo cách thức và đặc trưng của phương pháp điều khiển :

Có robot điều khiển hở (mạch điều khiển không có các quan hệ phản hồi), Robot điều khiển kín (hay điều khiển servo) : sử dụng cảm biến, mạch phản hồi để tăng độ chính xác và mức độ linh hoạt khi điều khiển.

Ngoài ra còn có thể có các cách phân loại khác tùy theo quan điểm và mục đích nghiên cứu

CHƯƠNG II

CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI THUẦN NHẤT (Homogeneous Transformation)

Khi xem xét, nghiên cứu mối quan hệ giữa robot và vật thể ta không những cần quan tâm đến *vị trí* (Position) tuyệt đối của điểm, đường, mặt của vật thể so với điểm tác động cuối (End effector) của robot mà còn cần quan tâm đến vấn đề *định hướng* (Orientation) của khâu chấp hành cuối khi vận động hoặc định vị tại một vị trí.

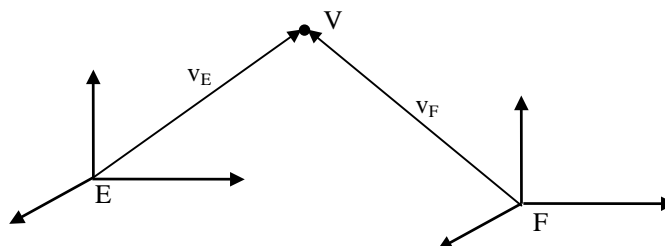
Để mô tả quan hệ về vị trí và hướng giữa robot và vật thể ta phải dùng đến các phép biến đổi thuần nhất.

Chương này cung cấp những hiểu biết cần thiết trước khi đi vào giải quyết các vấn đề liên quan tới động học và động lực học robot.

2.1. Hệ tọa độ thuần nhất :

Để biểu diễn một điểm trong không gian ba chiều, người ta dùng Vectơ điểm (Point vector). Vectơ điểm thường được ký hiệu bằng các chữ viết thường như u, v, x_1, \dots để mô tả vị trí của điểm U, V, X_1, \dots

Tùy thuộc vào hệ qui chiếu được chọn, trong không gian 3 chiều, một điểm V có thể được biểu diễn bằng nhiều vectơ điểm khác nhau :



Hình 2.2 : Biểu diễn 1 điểm trong không gian

v_E và v_F là hai vectơ khác nhau mặc dù cả hai vectơ cùng mô tả điểm V . Nếu i, j, k là các vectơ đơn vị của một hệ tọa độ nào đó, chẳng hạn trong E , ta có :

$$\vec{v} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$$

với a, b, c là tọa độ vị trí của điểm V trong hệ đó.

Nếu quan tâm đồng thời vấn đề định vị và định hướng, **ta phải biểu diễn vectơ v trong không gian bốn chiều** với suất vectơ là một ma trận cột :

$$v = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} \quad \text{Trong đó} \quad \begin{aligned} x/w &= a \\ y/w &= b \\ z/w &= c \end{aligned}$$

với w là một hằng số thực nào đó.

w còn được gọi là *hệ số tỉ lệ*, biểu thị cho chiều thứ tư ngầm định, Nếu $w = 1$ dễ thấy :

$$\frac{x}{w} = \frac{x}{1} = x = a; \quad \frac{y}{w} = \frac{y}{1} = y = b; \quad \frac{z}{w} = \frac{z}{1} = z = a$$

Trong trường hợp này thì các tọa độ biểu diễn bằng với tọa độ vật lý của điểm trong không gian 3 chiều, hệ tọa độ sử dụng $w=1$ được gọi là **hệ tọa độ thuận nhất**.

$$\text{Với } w = 0 \quad \text{ta có :} \quad \frac{x}{w} = \frac{y}{w} = \frac{z}{w} = \infty$$

Giới hạn ∞ thể hiện **hướng** của các trục tọa độ.

Nếu w là một hằng số nào đó $\neq 0$ và 1 thì việc biểu diễn điểm trong không gian tương ứng với hệ số tỉ lệ w :

$$\text{Ví dụ :} \quad \vec{v} = 3\vec{i} + 4\vec{j} + 5\vec{k}$$

với $w = 1$ (trường hợp thuận nhất) :

$$v = [3 \ 4 \ 5 \ 1]^T$$

với $w=-10$ biểu diễn tương ứng sẽ là :

$$v = [-30 \ -40 \ -50 \ -10]^T$$

Ký hiệu $[\dots]^T$ (Chữ T viết cao lên trên để chỉ phép chuyển đổi vectơ hàng thành vectơ cột).

Theo cách biểu diễn trên đây, ta qui ước :

$[0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ là vectơ không xác định

$[0 \ 0 \ 0 \ n]^T$ với $n \neq 0$ là vectơ không, trùng với gốc tọa độ

$[x \ y \ z \ 0]^T$ là vectơ chỉ hướng

$[x \ y \ z \ 1]^T$ là vectơ điểm trong hệ tọa độ thuận nhất.

2.2. Nhắc lại các phép tính về vectơ và ma trận :

2.2.1. Phép nhân vectơ :

$$\text{Cho hai vectơ :} \quad \vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

$$\vec{b} = b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k}$$

$$\text{Ta có tích vô hướng} \quad a \cdot b = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

Và tích vectơ :

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_y b_z - a_z b_y) \vec{i} + (a_z b_x - a_x b_z) \vec{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \vec{k}$$

2.2.2. Các phép tính về ma trận :

a/ Phép cộng, trừ ma trận :

Cộng (trừ) các ma trận A và B cùng bậc sẽ có ma trận C cùng bậc, với các phần tử c_{ij} bằng tổng (hiệu) của các phần tử a_{ij} và b_{ij} (với mọi i, j).

$$A + B = C \quad \text{Với } c_{ij} = a_{ij} + b_{ij}.$$

$$A - B = C \quad \text{Với } c_{ij} = a_{ij} - b_{ij}.$$

Phép cộng, trừ ma trận có các tính chất giống phép cộng số thực.

b/ *Tích của hai ma trận* : Tích của ma trận A (kích thước $m \times n$) với ma trận B (kích thước $n \times p$) là ma trận C có kích thước $m \times p$.

Ví dụ : cho hai ma trận :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix} \quad \text{và} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{bmatrix}$$

Ta có :

$$C = A.B = \begin{bmatrix} 1.1+2.3+3.5 & 1.2+2.4+3.6 \\ 4.1+5.3+6.5 & 4.2+5.4+6.6 \\ 7.1+8.3+9.5 & 7.2+8.4+9.6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 22 & 28 \\ 49 & 64 \\ 76 & 100 \end{bmatrix}$$

Phép nhân hai ma trận không có tính giao hoán, nghĩa là : $A \cdot B \neq B \cdot A$

Ma trận đơn vị I (Identity Matrix) giao hoán được với bất kỳ ma trận nào : $I.A = A.I$

Phép nhân ma trận tuân theo các qui tắc sau :

1. $(k.A).B = k.(A.B) = A.(k.B)$
2. $A.(B.C) = (A.B).C$
3. $(A + B).C = A.C + B.C$
4. $C.(A + B) = C.A + C.B$

c/ Ma trận nghịch đảo của ma trận thuần nhất :

Một ma trận thuần nhất là ma trận 4×4 có dạng :

$$T = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ma trận nghịch đảo của T ký hiệu là T^{-1} :

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} n_x & n_y & n_z & -p.n \\ O_x & O_y & O_z & -p.O \\ a_x & a_y & a_z & -p.a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

Trong đó $p.n$ là tích vô hướng của vectơ p và n. nghĩa là :

$$p.n = p_x.n_x + p_y.n_y + p_z.n_z$$

$$\text{tương tự : } p.O = p_x.O_x + p_y.O_y + p_z.O_z$$

$$\text{và } p.a = p_x.a_x + p_y.a_y + p_z.a_z$$

Ví dụ : tìm ma trận nghịch đảo của ma trận biến đổi thuần nhất :

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Giải : áp dụng công thức (2-1), ta có :

$$H^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Chúng ta kiểm chứng rằng đây chính là ma trận nghịch đảo bằng cách nhân ma trận H với H^{-1} :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Phương pháp tính ma trận nghịch đảo này nhanh hơn nhiều so với phương pháp chung; tuy nhiên nó không áp dụng được cho ma trận 4x4 bất kỳ mà kết quả chỉ đúng với ma trận thuận nhất.

d/ *Vết của ma trận :*

Vết của ma trận vuông bậc n là tổng các phần tử trên đường chéo :

$$\text{Trace}(A) \text{ hay } \text{Tr}(A) = \sum_{i=1}^n a_{ii}$$

Một số tính chất quan trọng của vết ma trận :

- 1/ $\text{Tr}(A) = \text{Tr}(A^T)$
- 2/ $\text{Tr}(A+B) = \text{Tr}(A) + \text{Tr}(B)$
- 3/ $\text{Tr}(A.B) = \text{Tr}(B.A)$
- 4/ $\text{Tr}(ABC^T) = \text{Tr}(CB^T A^T)$

e/ *Đạo hàm và tích phân ma trận :*

Nếu các phần tử của ma trận A là hàm nhiều biến, thì các phần tử của ma trận đạo hàm bằng đạo hàm riêng của các phần tử ma trận A theo biến tương ứng.

Ví dụ : cho

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

thì :

$$dA = \begin{bmatrix} \frac{\partial a_{11}}{\partial t} & \frac{\partial a_{12}}{\partial t} & \frac{\partial a_{13}}{\partial t} & \frac{\partial a_{14}}{\partial t} \\ \frac{\partial a_{21}}{\partial t} & \frac{\partial a_{22}}{\partial t} & \frac{\partial a_{23}}{\partial t} & \frac{\partial a_{24}}{\partial t} \\ \frac{\partial a_{31}}{\partial t} & \frac{\partial a_{32}}{\partial t} & \frac{\partial a_{33}}{\partial t} & \frac{\partial a_{34}}{\partial t} \\ \frac{\partial a_{41}}{\partial t} & \frac{\partial a_{42}}{\partial t} & \frac{\partial a_{43}}{\partial t} & \frac{\partial a_{44}}{\partial t} \end{bmatrix} dt$$

Tương tự, phép tích phân của ma trận A là một ma trận, có :

$$\int A(t)dt = \{ \int a_{ij}(t)dt \}$$

2.3. Các phép biến đổi

Cho u là vectơ điểm biểu diễn điểm cần biến đổi, h là vectơ dẫn được biểu diễn bằng một ma trận H gọi là ma trận chuyển đổi. Ta có :

$$v = H.u$$

v là vectơ biểu diễn điểm sau khi đã biến đổi.

2.3.1. Phép biến đổi tịnh tiến (Translation) :

Giả sử cần tịnh tiến một điểm hoặc một vật thể theo vectơ dẫn $\vec{h} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$. Trước hết ta có định nghĩa của ma trận chuyển đổi H :

$$H = \text{Trans}(a,b,c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Gọi u là vectơ biểu diễn điểm cần tịnh tiến : $u = [x \ y \ z \ w]^T$
 Thì v là vectơ biểu diễn điểm đã biến đổi tịnh tiến được xác định bởi :

$$v = H.u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x+aw \\ y+bw \\ z+cw \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x/w+a \\ y/w+b \\ z/w+c \\ 1 \end{bmatrix}$$

Như vậy bản chất của phép biến đổi tịnh tiến là phép cộng vectơ giữa vectơ biểu diễn điểm cần chuyển đổi và vectơ dẫn.

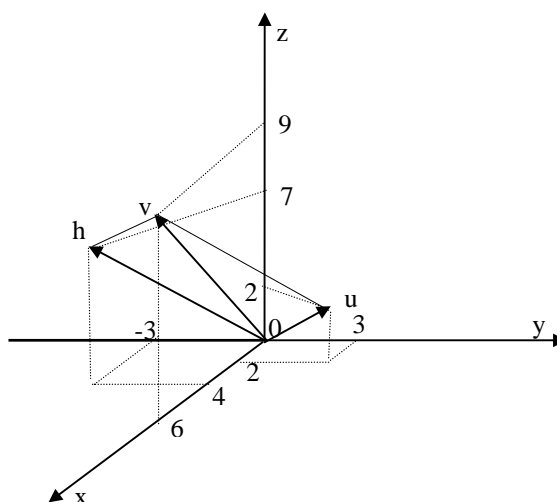
Ví dụ : $\vec{u} = 2\vec{i} + 3\vec{j} + 2\vec{k}$
 $\vec{h} = 4\vec{i} - 3\vec{j} + 7\vec{k}$

Thì

$$v = Hu = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2+4 \\ 3-3 \\ 2+7 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \\ 9 \\ 1 \end{bmatrix}$$

và viết là :

$$v = \text{Trans}(a,b,c) u$$



Hình 2.4: Phép biến đổi tịnh tiến trong không gian

2.3.2. Phép quay (Rotation) quanh các trục tọa độ :

Giả sử ta cần quay một điểm hoặc một vật thể xung quanh trục tọa độ nào đó với góc quay θ° , ta lần lượt có các ma trận chuyển đổi như sau :

$$\text{Rot}(x, \theta^\circ) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$\text{Rot}(y, \theta^\circ) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\text{Rot}(z, \theta^\circ) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Ví dụ : Cho điểm U biểu diễn bởi $\vec{u} = 7\vec{i} + 3\vec{j} + 2\vec{k}$ quay xung quanh z một góc $\theta = 90^\circ$ (hình 2.5). Ta có

$$v = \text{Rot}(z, 90^\circ)u = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Nếu cho điểm đã biến đổi tiếp tục quay xung quanh y một góc 90° ta có :

$$w = \text{Rot}(y, 90^\circ)v = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Và có thể biểu diễn :

$$w = \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot u = \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

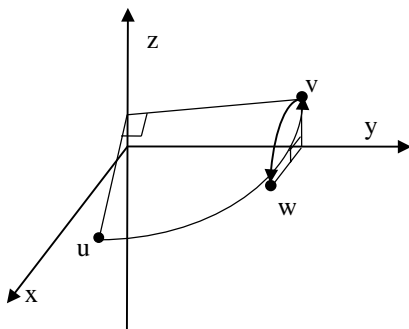
Chú ý : Nếu đổi thứ tự quay ta sẽ được $w' \neq w$ (hình 2.6), cụ thể : cho U quay quanh y trước 1 góc 90° , ta có :

$$v' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix} = \text{Rot}(y, 90^\circ)u$$

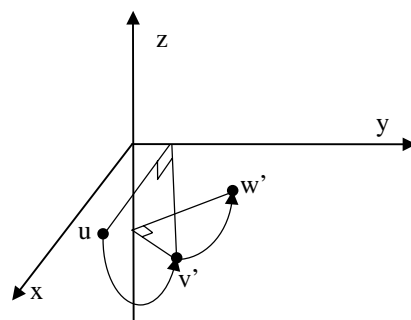
Sau đó cho điểm vừa biến đổi quay quanh z một góc 90° , ta được :

$$w' = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 2 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix} = \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(y, 90^\circ)u$$

Rõ ràng : $\text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(z, 90^\circ)u \neq \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(y, 90^\circ)u$



Hình 2.5
 $w = \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(z, 90^\circ)u$



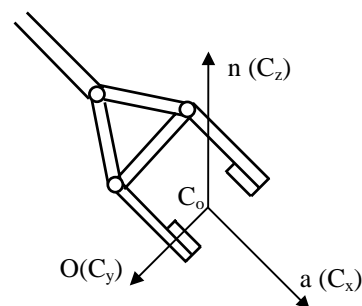
Hình 2.6
 $w' = \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(y, 90^\circ)u$

2.3.3. Phép quay tổng quát :

Trong mục trên, ta vừa nghiên cứu các phép quay cơ bản xung quanh các trục tọa độ x, y, z của hệ tọa độ chuẩn $O(x, y, z)$. Trong phần này, ta nghiên cứu phép quay quanh một vectơ k bất kỳ một góc θ . Ràng buộc duy nhất là vectơ k phải trùng với gốc của một hệ tọa độ xác định trước.

Ta hãy khảo sát một hệ tọa độ C , gắn lên điểm tác động cuối (bàn tay) của robot, hệ C được biểu diễn bởi :

$$C = \begin{bmatrix} C_x & C_y & C_z & C_o \\ n_x & O_x & a_x & 0 \\ n_y & O_y & a_y & 0 \\ n_z & O_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Hình 2.7 : Hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối (bàn tay)

Khi gắn hệ tọa độ này lên bàn tay robot (hình 2.7), các vectơ đơn vị được biểu thị như sau :

a : là vectơ có hướng tiếp cận với đối tượng (approach);

O : là vectơ có hướng mà theo đó các ngón tay nắm vào khi cầm nắm đối tượng (Occupation);

n : Vectơ pháp tuyến với (O, a) (Normal).

Bây giờ ta hãy coi vectơ bất kỳ k (mà ta cần thực hiện phép quay quanh nó một góc θ) là một trong các vectơ đơn vị của hệ C .

Chẳng hạn :
$$\vec{k} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

Lúc đó, phép quay $\text{Rot}(k, \theta)$ sẽ trở thành phép quay $\text{Rot}(C_z, \theta)$.

Nếu ta có T mô tả trong hệ gốc trong đó k là vectơ bất kỳ, thì ta có X mô tả trong hệ C với k là một trong các vectơ đơn vị. Từ điều kiện biến đổi thuận nhất, T và X có liên hệ :

$$T = C.X$$

hay
$$X = C^{-1}.T$$

Lúc đó các phép quay dưới đây là đồng nhất :

$$\text{Rot}(k, \theta) = \text{Rot}(C_z, \theta)$$

hay là
$$\text{Rot}(k, \theta).T = C.\text{Rot}(z, \theta).X = C.\text{Rot}(z, \theta).C^{-1}.T$$

Vậy
$$\text{Rot}(k, \theta) = C.\text{Rot}(z, \theta).C^{-1} \quad (2.6)$$

Trong đó $\text{Rot}(z, \theta)$ là phép quay cơ bản quanh trục z một góc θ , có thể sử dụng công thức (2.5) như đã trình bày.

C^{-1} là ma trận nghịch đảo của ma trận C . Ta có :

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} n_x & n_y & n_z & 0 \\ O_x & O_y & O_z & 0 \\ a_x & a_y & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Thay các ma trận vào vế phải của phương trình (2.6) :

$$\text{Rot}(k,\theta) = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & 0 \\ n_y & O_y & a_y & 0 \\ n_z & O_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x & n_y & n_z & 0 \\ O_x & O_y & O_z & 0 \\ a_x & a_y & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nhân 3 ma trận này với nhau ta được :

$$\text{Rot}(k,\theta) = \begin{bmatrix} n_x n_x \cos\theta - n_x O_x \sin\theta + n_x O_x \sin\theta + O_x O_x \cos\theta + a_x a_x & n_x n_y \cos\theta - n_x O_y \sin\theta + n_x O_y \sin\theta + O_x O_y \cos\theta + a_y a_x & n_x n_z \cos\theta - n_x O_z \sin\theta + n_x O_z \sin\theta + O_x O_z \cos\theta + a_z a_x & 0 \\ n_x n_y \cos\theta - n_x O_y \sin\theta + n_y O_x \sin\theta + O_x O_y \cos\theta + a_x a_y & n_y n_y \cos\theta - n_y O_y \sin\theta + n_y O_y \sin\theta + O_y O_y \cos\theta + a_y a_y & n_y n_z \cos\theta - n_y O_z \sin\theta + n_y O_z \sin\theta + O_z O_y \cos\theta + a_z a_y & 0 \\ n_x n_z \cos\theta - n_x O_z \sin\theta + n_z O_x \sin\theta + O_x O_z \cos\theta + a_x a_z & n_y n_z \cos\theta - n_y O_z \sin\theta + n_z O_y \sin\theta + O_y O_z \cos\theta + a_y a_z & n_z n_z \cos\theta - n_z O_z \sin\theta + n_z O_z \sin\theta + O_z O_z \cos\theta + a_z a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Để đơn giản cách biểu thị ma trận, ta xét các mối quan hệ sau :

- Tích vô hướng của bất kỳ hàng hay cột nào của C với bất kỳ hàng hay cột nào khác đều bằng 0 vì các vectơ là trực giao.

- Tích vô hướng của bất kỳ hàng hay cột nào của C với chính nó đều bằng 1 vì là vectơ đơn vị.

- Vectơ đơn vị z bằng tích vectơ của x và y, hay là : $\vec{a} = \vec{n} \times \vec{O}$

Trong đó :

$$\begin{aligned} a_x &= n_y O_z - n_z O_y \\ a_y &= n_x O_z - n_z O_x \\ a_z &= n_x O_y - n_y O_x \end{aligned}$$

Khi cho k trùng với một trong số các vectơ đơn vị của C ta đã chọn :

$$k_x = a_x ; k_y = a_y ; k_z = a_z$$

Ta ký hiệu $\text{Vers}\theta = 1 - \cos\theta$ ($\text{Versin } \theta$).

Biểu thức (2.6) được rút gọn thành :

$$\text{Rot}(k,\theta) = \begin{bmatrix} k_x k_x \text{vers}\theta + \cos\theta & k_y k_x \text{vers}\theta - k_z \sin\theta & k_z k_x \text{vers}\theta + k_y \sin\theta & 0 \\ k_x k_y \text{vers}\theta + k_z \sin\theta & k_y k_y \text{vers}\theta + \cos\theta & k_z k_y \text{vers}\theta - k_x \sin\theta & 0 \\ k_x k_z \text{vers}\theta + k_y \sin\theta & k_y k_z \text{vers}\theta + k_x \sin\theta & k_z k_z \text{vers}\theta + \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Đây là biểu thức của phép quay tổng quát quanh một vectơ bất kỳ k. Từ phép quay tổng quát có thể suy ra các phép quay cơ bản quanh các trục tọa độ.

2.3.4. Bài toán ngược : tìm góc quay và trục quay tương đương :

Trên đây ta đã nghiên cứu các bài toán thuận, nghĩa là chỉ định trục quay và góc quay trước- xem xét kết quả biến đổi theo các phép quay đã chỉ định.

Ngược lại với bài toán trên, giả sử ta đã biết kết quả của một phép biến đổi nào đó, ta phải đi tìm trục quay k và góc quay θ tương ứng. Giả sử kết quả của phép biến đổi thuận nhất $R = \text{Rot}(k, \theta)$, xác định bởi :

$$R = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & 0 \\ n_y & O_y & a_y & 0 \\ n_z & O_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta cần xác định trục quay k và góc quay θ . Ta đã biết $\text{Rot}(k, \theta)$ được định nghĩa bởi ma trận (2.6), nên :

$$\begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & 0 \\ n_y & O_y & a_y & 0 \\ n_z & O_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x k_x \text{vers}\theta + \cos\theta & k_y k_x \text{vers}\theta - k_z \sin\theta & k_z k_x \text{vers}\theta + k_y \sin\theta & 0 \\ k_x k_y \text{vers}\theta + k_z \sin\theta & k_y k_y \text{vers}\theta + \cos\theta & k_z k_y \text{vers}\theta - k_x \sin\theta & 0 \\ k_x k_z \text{vers}\theta + k_y \sin\theta & k_y k_z \text{vers}\theta + k_x \sin\theta & k_z k_z \text{vers}\theta + \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Bước 1 : Xác định góc quay θ .

* Cộng đường chéo của hai ma trận ở hai vế ta có :

$$\begin{aligned} n_x + O_y + a_z + 1 &= k_x^2 \text{vers}\theta + \cos\theta + k_y^2 \text{vers}\theta + \cos\theta + k_z^2 \text{vers}\theta + \cos\theta + 1 \\ &= (1 - \cos\theta)(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2) + 3\cos\theta + 1 \\ &= 1 - \cos\theta + 3\cos\theta + 1 \\ &= 2(1 + \cos\theta) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \cos\theta = (n_x + O_y + a_z - 1)/2$$

* Tính hiệu các phần tử tương đương của hai ma trận, chẳng hạn :

$$\left. \begin{aligned} O_z - a_y &= 2k_x \sin\theta \\ a_x - n_z &= 2k_y \sin\theta \\ n_y - O_x &= 2k_z \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Bình phương hai vế của các phương trình trên rồi cộng lại ta có :

$$(O_z - a_y)^2 + (a_x - n_z)^2 + (n_y - O_x)^2 = 4 \sin^2\theta$$

$$\Rightarrow \sin\theta = \pm \frac{1}{2} \sqrt{(O_z - a_y)^2 + (a_x - n_z)^2 + (n_y - O_x)^2}$$

Với $0 \leq \theta \leq 180^\circ$:

$$\text{tg}\theta = \frac{\sqrt{(O_z - a_y)^2 + (a_x - n_z)^2 + (n_y - O_x)^2}}{(n_x + O_y + a_z - 1)}$$

Và trục k được định nghĩa bởi :

$$k_x = \frac{O_z - a_y}{2\sin\theta}; \quad k_y = \frac{a_x - n_z}{2\sin\theta}; \quad k_z = \frac{n_y - O_x}{2\sin\theta} \quad (2.11)$$

Để ý rằng với các công thức (2.8) :

- Nếu $\theta = 0^\circ$ thì k_x, k_y, k_z có dạng $\frac{0}{0}$. Lúc này phải chuẩn hoá k sao cho $|k| = 1$

- Nếu $\theta = 180^\circ$ thì k_x, k_y, k_z có dạng $\frac{a \neq 0}{0}$. Lúc này k không xác định được, ta phải dùng cách tính khác cho trường hợp này :

Xét các phân tử tương đương của hai ma trận (2.9) :

$$n_x = k_x^2 \text{vers}\theta + \cos\theta$$

$$O_y = k_y^2 \text{vers}\theta + \cos\theta$$

$$a_z = k_z^2 \text{vers}\theta + \cos\theta$$

Từ đây ta suy ra :

$$k_x = \pm \sqrt{\frac{n_x - \cos\theta}{\text{vers}\theta}} = \pm \sqrt{\frac{n_x - \cos\theta}{1 - \cos\theta}}$$

$$k_y = \pm \sqrt{\frac{O_y - \cos\theta}{\text{vers}\theta}} = \pm \sqrt{\frac{O_y - \cos\theta}{1 - \cos\theta}}$$

$$k_z = \pm \sqrt{\frac{a_z - \cos\theta}{\text{vers}\theta}} = \pm \sqrt{\frac{a_z - \cos\theta}{1 - \cos\theta}}$$

Trong khoảng $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ $\sin\theta$ luôn luôn dương

Dựa vào hệ phương trình (2.10) ta thấy k_x, k_y, k_z luôn có cùng dấu với vế trái. Ta dùng hàm $\text{Sgn}(x)$ để biểu diễn quan hệ “cùng dấu với x”, như vậy :

$$\left. \begin{aligned} k_x &= \text{Sgn}(O_z - a_y) \sqrt{\frac{n_x - \cos\theta}{1 - \cos\theta}} \\ k_y &= \text{Sgn}(a_x - n_z) \sqrt{\frac{O_y - \cos\theta}{1 - \cos\theta}} \\ k_z &= \text{Sgn}(n_y - O_x) \sqrt{\frac{a_z - \cos\theta}{1 - \cos\theta}} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Hệ phương trình (2.12) chỉ dùng để xác định xem trong các k_x, k_y, k_z thành phần nào có giá trị lớn nhất. Các thành phần còn lại nên tính theo thành phần có giá trị lớn nhất để xác định k được thuận tiện. Lúc đó dùng phương pháp cộng các cặp còn lại của các phân tử đối xứng qua đường chéo ma trận chuyển đổi (2.9) :

$$n_y + O_x = 2k_x k_y \text{vers}\theta = 2k_x k_y (1 - \cos\theta)$$

$$O_z + a_y = 2k_y k_z \text{vers}\theta = 2k_y k_z (1 - \cos\theta) \quad (2.13)$$

$$a_x + n_z = 2k_z k_x \text{vers}\theta = 2k_z k_x (1 - \cos\theta)$$

Giả sử theo hệ (2.12) ta có k_x là lớn nhất, lúc đó k_y, k_z sẽ tính theo k_x bằng hệ (2.13); cụ thể là :

$$k_y = \frac{n_y + O_x}{2k_x (1 - \cos\theta)}$$

$$k_z = \frac{a_x + n_z}{2k_x (1 - \cos\theta)}$$

Ví dụ : Cho $R = \text{Rot}[y, 90^\circ] \text{Rot}[z, 90^\circ]$. Hãy xác định k và θ để $R = \text{Rot}[k, \theta]$. Ta đã biết :

$$R = \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(z, 90^\circ) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Ta có } \cos\theta = (n_x + O_y + a_z - 1) / 2 = (0 + 0 + 0 - 1) / 2 = -1 / 2$$

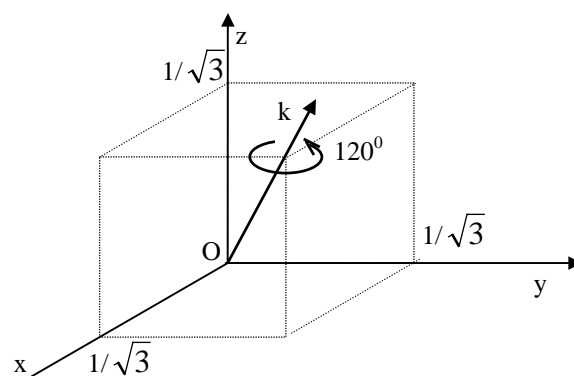
$$\begin{aligned}\sin\theta &= \frac{1}{2}\sqrt{(O_z - a_y)^2 + (a_x - n_z)^2 + (n_y - O_x)^2} \\ &= \frac{1}{2}\sqrt{(1 - 0)^2 + (1 - 0)^2 + (1 - 0)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \Rightarrow \operatorname{tg}\theta &= -\sqrt{3} \quad \text{và} \quad \theta = 120^\circ\end{aligned}$$

Theo (2.12), ta có :

$$k_x = k_y = k_z = +\sqrt{\frac{0+1/2}{1+1/2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Vậy : $R = \operatorname{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \operatorname{Rot}(z, 90^\circ) = \operatorname{Rot}(k, 120^\circ)$; với :

$$\vec{k} = \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{j} + \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{k}$$

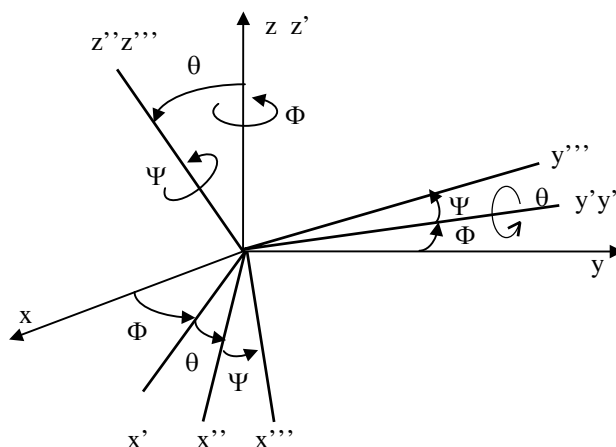


Hình 2.8 : Tìm góc quay và trục quay tương đương

2.3.5. Phép quay Euler :

Trên thực tế, việc định hướng thường là kết quả của phép quay xung quanh các trục x , y , z . Phép quay Euler mô tả khả năng định hướng bằng cách :

- ♦ Quay một góc Φ xung quanh trục z ,
- ♦ Quay tiếp một góc θ xung quanh trục y mới, đó là y' ,
- ♦ cuối cùng quay một góc ψ quanh trục z mới, đó là z'' (Hình 2.9).



Hình 2.9 : Phép quay Euler

Ta biểu diễn phép quay Euler bằng cách nhân ba ma trận quay với nhau :

$$\operatorname{Euler}(\Phi, \theta, \psi) = \operatorname{Rot}(z, \Phi) \operatorname{Rot}(y, \theta) \operatorname{Rot}(z, \psi) \quad (2.14)$$

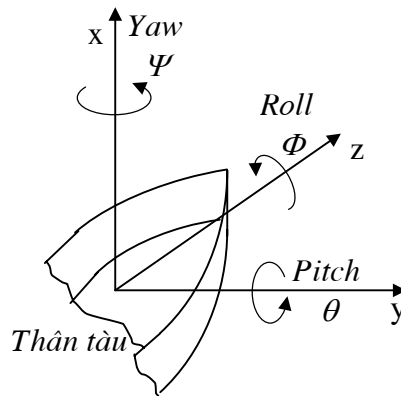
Nói chung, kết quả của phép quay phụ thuộc chặt chẽ vào thứ tự quay, tuy nhiên, ở phép quay Euler, nếu thực hiện theo thứ tự ngược lại, nghĩa là quay góc ψ quanh z rồi tiếp đến quay góc θ quanh y và cuối cùng quay góc Φ quanh z cũng đưa đến kết quả tương tự (Xét trong cùng hệ qui chiếu).

$$\begin{aligned}
 \text{Euler}(\Phi, \theta, \psi) &= \text{Rot}(z, \Phi) \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi & 0 & 0 \\ \sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & -\cos\theta\sin\psi & \sin\theta & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ -\sin\theta\cos\psi & \sin\theta\sin\psi & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos\Phi\cos\theta\cos\psi - \sin\Phi\sin\psi & -\cos\Phi\cos\theta\sin\psi - \sin\Phi\cos\psi & \cos\Phi\sin\theta & 0 \\ \sin\Phi\cos\theta\cos\psi + \cos\Phi\sin\psi & -\sin\Phi\cos\theta\sin\psi + \cos\Phi\cos\psi & \sin\Phi\sin\theta & 0 \\ -\sin\theta\cos\psi & \sin\theta\sin\psi & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.15}
 \end{aligned}$$

2.3.6. Phép quay Roll-Pitch-Yaw :

Một phép quay định hướng khác cũng thường được sử dụng là phép quay Roll-Pitch và Yaw.

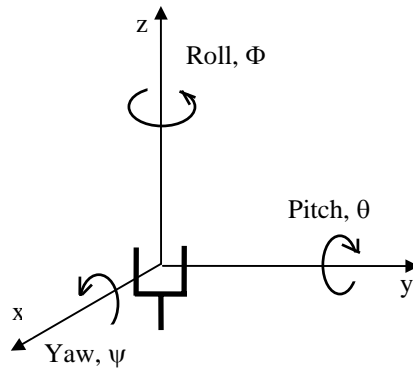
Ta tưởng tượng, gắn hệ tọa độ xyz lên thân một con tàu. Dọc theo thân tàu là trục z, Roll là chuyển động lắc của thân tàu, tương đương với việc quay thân tàu một góc Φ quanh trục z. Pitch là sự bồng bềnh, tương đương với quay một góc θ xung quanh trục y và Yaw là sự lệch hướng, tương đương với phép quay một góc ψ xung quanh trục x (Hình 2.10)



Hình 2.10: Phép quay Roll-Pitch-Yaw

Các phép quay áp dụng cho khâu chấp hành cuối của robot như hình 2.11. Ta xác định thứ tự quay và biểu diễn phép quay như sau :

$$\text{RPY}(\Phi, \theta, \psi) = \text{Rot}(z, \Phi)\text{Rot}(y, \theta)\text{Rot}(x, \psi) \tag{2.16}$$



Hình 2.11 : Các góc quay Roll-Pitch và Yaw của bàn tay Robot.

nghĩa là, quay một góc ψ quanh trục x, tiếp theo là quay một góc θ quanh trục y và sau đó quay một góc Φ quanh trục z.

Thực hiện phép nhân các ma trận quay, các chuyển vị Roll, Pitch và Yaw được biểu thị như sau :

$$\begin{aligned}
 \text{RPY}(\Phi, \theta, \psi) &= \text{Rot}(z, \Phi) \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi & 0 & 0 \\ \sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta\sin\psi & \sin\theta\cos\psi & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\psi & \cos\theta\cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos\Phi\cos\theta & \cos\Phi\sin\theta\sin\psi - \sin\Phi\cos\psi & \cos\Phi\sin\theta\cos\psi + \sin\Phi\sin\psi & 0 \\ \sin\Phi\cos\theta & \sin\Phi\sin\theta\sin\psi + \cos\Phi\cos\psi & \sin\Phi\sin\theta\cos\psi - \cos\Phi\sin\psi & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\psi & \cos\theta\cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

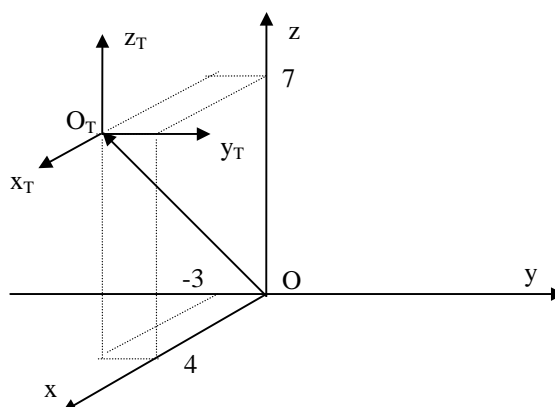
2.4. Biến đổi hệ tọa độ và mối quan hệ giữa các hệ tọa độ biến đổi :

2.4.1 Biến đổi hệ tọa độ :

Giả sử cần tịnh tiến gốc tọa độ Đề cát $O(0, 0, 0)$ theo một vectơ dẫn $\vec{h} = 4\vec{i} - 3\vec{j} + 7\vec{k}$ (hình 2.12). Kết quả của phép biến đổi là :

$$O_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ -3 \\ 7 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Nghĩa là gốc ban đầu có tọa độ $O(0, 0, 0)$ đã chuyển đổi đến gốc mới O_T có tọa độ $(4, -3, 7)$ so với hệ tọa độ cũ.



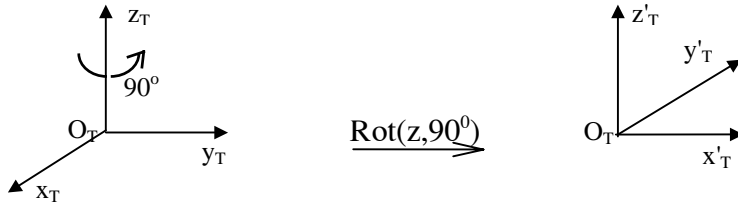
Hình 2.12 : Phép biến đổi tịnh tiến hệ tọa độ

Tuy nhiên trong phép biến đổi này các trục tọa độ của O_T vẫn song song và đồng hướng với các trục tọa độ của O .

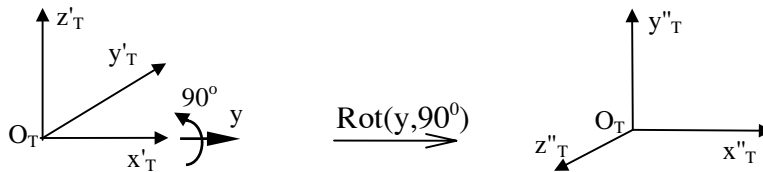
Nếu ta tiếp tục thực hiện các phép biến đổi quay :

$$\text{Rot}(y,90^\circ)\text{Rot}(z,90^\circ).O_T$$

ta sẽ có một hệ tọa độ hoàn toàn mới, cụ thể tại gốc tọa độ mới (4,-3,7) khi cho hệ O_T quay quanh z một góc 90° (chiều quay dương qui ước là ngược chiều kim đồng hồ), ta có :

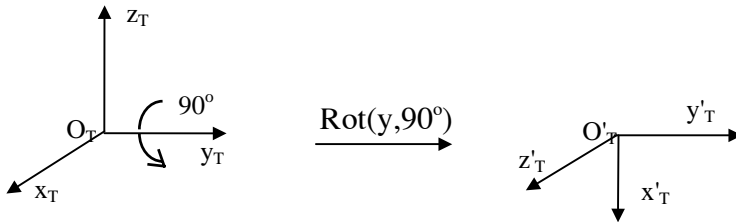


Ta tiếp tục quay hệ O_T quanh trục y (trục y của hệ tọa độ gốc) một góc 90° , Ta có :

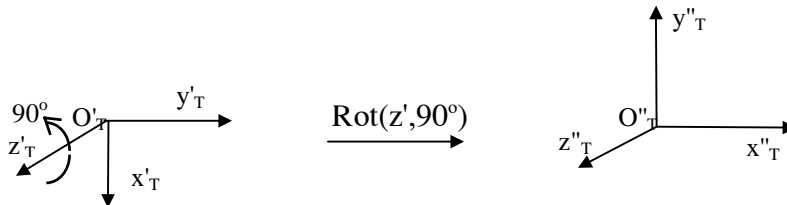


Ví dụ trên đây ta đã chọn **Hệ tạo độ cơ sở làm hệ qui chiếu** và thứ tự thực hiện các phép biến đổi là từ **Phải sang Trái**. Nếu thực hiện các phép biến đổi theo thứ tự ngược lại từ **Trái sang Phải** thì **hệ qui chiếu được chọn là các hệ tọa độ trung gian**. Xét lại ví dụ trên :

$$\text{Rot}(y,90^\circ)\text{Rot}(z,90^\circ).O_T$$



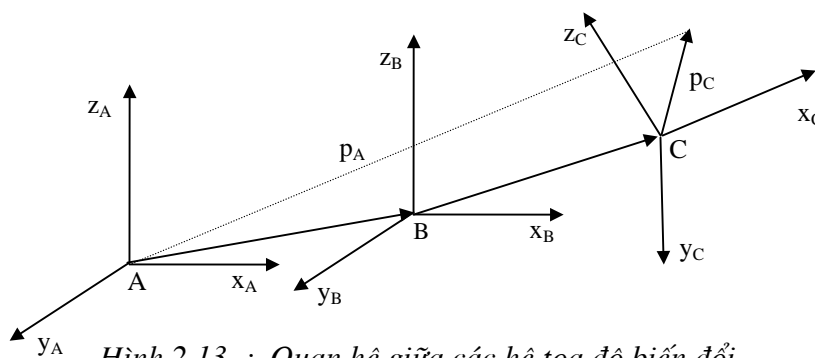
Ta tiếp tục quay hệ O'_T quanh trục z (Bây giờ là trục z'_T của hệ tọa độ mới) một góc 90° :



Như vậy kết quả của hai phương pháp quay là giống nhau, nhưng về ý nghĩa vật lý thì khác nhau.

2.4.2. Quan hệ giữa các hệ tọa độ biến đổi :

Giả sử ta có 3 hệ tọa độ A, B, C; Hệ B có quan hệ với hệ A qua phép biến đổi ${}^A T_B$ và hệ C có quan hệ với hệ B qua phép biến đổi ${}^B T_C$. Ta có điểm P trong hệ C ký hiệu P_C , ta tìm mối quan hệ của điểm P trong hệ A, tức là tìm P_A (Hình 2.13) :



Hình 2.13 : Quan hệ giữa các hệ tọa độ biến đổi.

Chúng ta có thể biến đổi p_C thành p_B như sau :

$$p_B = {}^B T_C p_C, \quad (2.18)$$

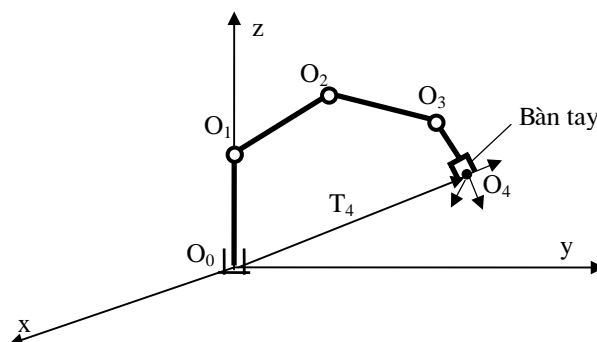
Sau đó biến đổi p_B thành p_A như sau :

$$p_A = {}^A T_B p_B, \quad (2.19)$$

Kết hợp (2.18) và (2.19) ta có :

$$p_A = {}^A T_B {}^B T_C p_C \quad (2.20)$$

Qua ví dụ trên ta thấy có thể mô tả mối quan hệ giữa hệ tọa độ gắn trên điểm tác động cuối với hệ tọa độ cơ bản, thông qua mối quan hệ của các hệ tọa độ trung gian gắn trên các khâu của robot, bằng ma trận T như hình 2.14.



Hình 2.14 : Hệ tọa độ cơ bản (base) và các hệ tọa độ trung gian của Robot.

2.5. Mô tả một vật thể :

Các vật thể là đối tượng làm việc của robot rất đa dạng và phong phú, tuy nhiên có thể dựa vào những đặc điểm hình học để mô tả chúng. Ta có thể chia hình dáng vật thể thành 3 nhóm chính sau :

- Nhóm vật thể tròn xoay (Rotative)
- Nhóm vật thể có góc cạnh (Prismatic)
- Nhóm vật thể có cấu trúc hỗn hợp (Kombination)

Nhóm vật thể tròn xoay có các giá trị đặc trưng là tọa độ tâm và bán kính mặt cong.

Nhóm vật thể có góc cạnh đặc trưng bằng tọa độ của các điểm giới hạn.

Nhóm còn lại có các giá trị đặc trưng hỗn hợp.

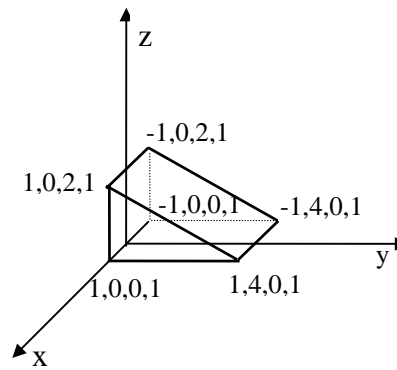
Tuy nhiên, đối với hoạt động cầm nắm đối tượng và quá trình vận động của robot việc mô tả vật thể cần phải gắn liền với các phép biến đổi thuận nhất. Ta xét ví dụ sau đây : Cho một vật hình lăng trụ đặt trong hệ tọa độ chuẩn $O(xyz)$ như hình 2.15.

Ta thực hiện các phép biến đổi sau :

$$H = \text{Trans}(4,0,0)\text{Rot}(y,90^0)\text{Rot}(z,90^0)$$

Với vị trí của vật thể, ta có ma trận tọa độ của 6 điểm đặc trưng mô tả nó là :

①	②	③	④	⑤	⑥
1	-1	-1	1	1	-1
0	0	0	0	4	4
0	0	2	2	0	0
1	1	1	1	1	1



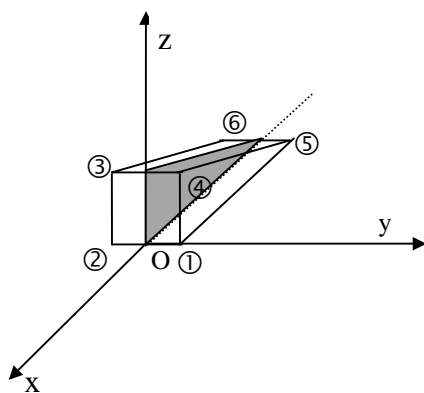
Hình 2.15 : Mô tả vật thể

Sau khi thực hiện các phép biến đổi :

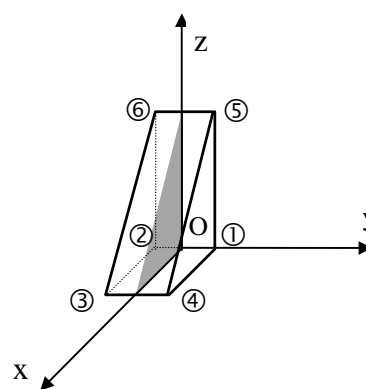
- Quay vật thể quanh trục z một góc 90° (Hình 2.16),
- Cho vật thể quay quanh trục y một góc 90° (Hình 2.17),
- Tiếp tục tịnh tiến vật thể dọc theo trục x một đoạn bằng 4 đơn vị (hình 2.18) ta xác định được ma trận tọa độ các điểm giới hạn của vật thể ở vị trí đã được biến đổi như sau (các phép quay đã chọn hệ qui chiếu là hệ tọa độ gốc) :

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ① & ② & ③ & ④ & ⑤ & ⑥ \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

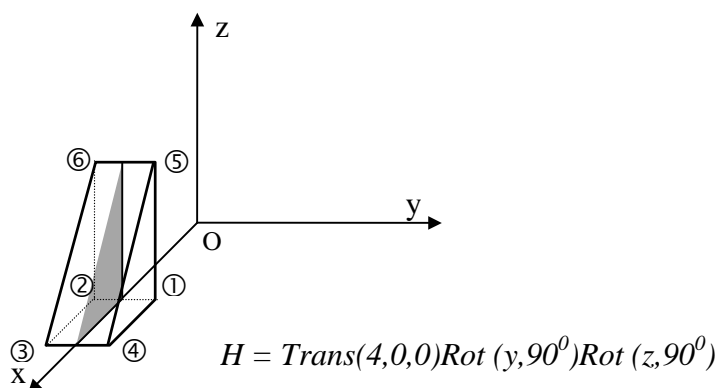
$$= \begin{bmatrix} ① & ② & ③ & ④ & ⑤ & ⑥ \\ 4 & 4 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



Hình 2.16 : Rot (z,90°)



Hình 2.17: Rot (y,90°) Rot (z,90°)



Hình 2.18: Vị trí vật thể sau khi biến đổi

2.6. Kết luận :

Các phép biến đổi thuần nhất dùng để miêu tả vị trí và hướng của các hệ tọa độ trong không gian. Nếu một hệ tọa độ được gắn liền với đối tượng thì vị trí và hướng của chính đối tượng cũng được mô tả. Khi mô tả đối tượng A trong mối quan hệ với đối tượng B bằng các phép biến đổi thuần nhất thì ta cũng có thể dựa vào đó mô tả ngược lại mối quan hệ của B đối với đối tượng A.

Một chuyển vị có thể là kết quả liên tiếp của nhiều phép biến đổi quay và tịnh tiến. Tuy nhiên ta cần lưu ý đến thứ tự của các phép biến đổi, nếu thay đổi thứ tự thực hiện có thể dẫn đến các kết quả khác nhau.

BÀI TẬP CHƯƠNG II :

Bài 1 : Cho điểm A biểu diễn bởi vectơ điểm $v = [2 \ 4 \ 1 \ 1]^T$. Tịnh tiến điểm A theo vectơ dẫn $h = [1 \ 2 \ 1 \ 1]^T$, sau đó tiếp tục quay điểm đã biến đổi quanh trục x một góc 90° . Xác định vectơ biểu diễn điểm A sau hai phép biến đổi.

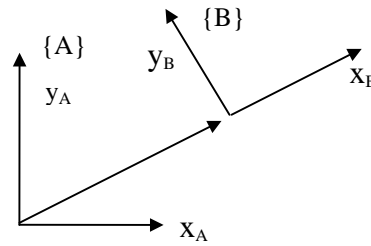
Bài 2 : Viết ma trận biến đổi thuần nhất biểu diễn các phép biến đổi sau :
 $H = \text{Trans}(3,7,9)\text{Rot}(x,-90^\circ)\text{Rot}(z,90^\circ)$

Bài 3 : Cho ma trận biến đổi thuần nhất A, tìm ma trận nghịch đảo A^{-1} và kiểm chứng.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bài 4 : Hình vẽ 2-19 mô tả hệ tọa độ {B} đã được quay đi một góc 30° xung quanh trục z_A , tịnh tiến dọc theo trục x_A 4 đơn vị và tịnh tiến dọc theo y_A 3 đơn vị.

- (a) Mô tả mối qua hệ của {B} đối với {A} : ${}^A T_B$?
 (b) Tìm mối quan hệ ngược lại ${}^B T_A$?



Hình 2.19 : Quan hệ {A} và {B}

Bài 5 : Cho $k = \frac{1}{\sqrt{3}}(1, 1, 1)^T$, $\theta = 90^\circ$. Tìm ma trận $R = \text{Rot}(k, \theta)$.

Bài 6 : Xác định các góc quay Euler, và các góc quay RPY khi biết ma trận T_6 :

$$T_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & -1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bài 7 : Một vật thể đặt trong một hệ tọa độ tham chiếu được xác định bởi phép biến đổi :

$${}^U T_P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Một robot mà hệ tọa độ chuẩn có liên hệ với hệ tọa độ tham chiếu bởi phép biến đổi

$${}^U T_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Chúng ta muốn đặt bàn tay của robot lên vật thể, đó là làm cho hệ tọa độ gắn trên bàn tay trùng với hệ tọa độ của vật thể. Tìm phép biến đổi ${}^R T_H$ (biểu diễn mối quan hệ giữa bàn tay và hệ tọa độ gốc của robot) để thực hiện điều nói trên.

CHƯƠNG III

PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC CỦA ROBOT (Kinematic Equations)

3.1. Dẫn nhập :

Bất kỳ một robot nào cũng có thể coi là một tập hợp các khâu (links) gắn liền với các khớp (joints). Ta hãy đặt trên mỗi khâu của robot một hệ tọa độ. Sử dụng các phép biến đổi thuận nhất có thể mô tả vị trí tương đối và hướng giữa các hệ tọa độ này. Denavit, J. đã gọi biến đổi thuận nhất mô tả quan hệ giữa một khâu và một khâu kế tiếp là một ma trận A. Nói đơn giản hơn, một ma trận A là một mô tả biến đổi thuận nhất bởi phép quay và phép tịnh tiến tương đối giữa hệ tọa độ của hai khâu liên nhau. A_1 mô tả vị trí và hướng của khâu đầu tiên; A_2 mô tả vị trí và hướng của khâu thứ hai so với khâu thứ nhất. Như vậy vị trí và hướng của khâu thứ hai so với hệ tọa độ gốc được biểu diễn bởi ma trận :

$$T_2 = A_1 \cdot A_2$$

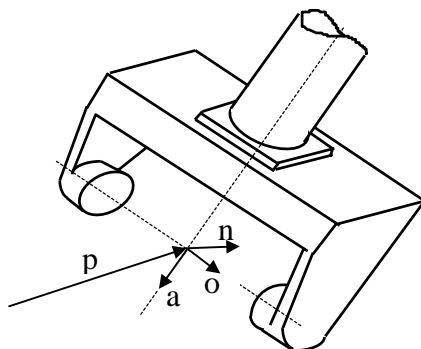
Cũng như vậy, A_3 mô tả khâu thứ ba so với khâu thứ hai và :

$$T_3 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 ; \quad \text{v.v...}$$

Cũng theo Denavit, tích của các ma trận A được gọi là ma trận T, thường có hai chỉ số: trên và dưới. Chỉ số trên chỉ hệ tọa độ tham chiếu tới, bỏ qua chỉ số trên nếu chỉ số đó bằng 0. Chỉ số dưới thường dùng để chỉ khâu chấp hành cuối. Nếu một robot có 6 khâu ta có :

$$T_6 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \quad (3.1)$$

T_6 mô tả mối quan hệ về hướng và vị trí của khâu chấp hành cuối đối với hệ tọa độ gốc. Một robot 6 khâu có thể có 6 bậc tự do và có thể được định vị trí và định hướng trong trường vận động của nó (range of motion). Ba bậc tự do xác định vị trí thuần túy và ba bậc tự do khác xác định hướng mong muốn. T_6 sẽ là ma trận trình bày cả hướng và vị trí của robot. Hình 3.1 mô tả quan hệ đó với bàn tay máy. Ta đặt gốc tọa độ của hệ mô tả tại điểm giữa của các ngón tay. Gốc tọa độ này được mô tả bởi vectơ p (xác định vị trí của bàn tay). Ba vectơ đơn vị mô tả hướng của bàn tay được xác định như sau :



Hình 3.1 : Các vectơ định vị trí và định hướng của bàn tay máy

- * Vectơ có hướng mà theo đó bàn tay sẽ tiếp cận đến đối tượng, gọi là vectơ a (approach).
- * Vectơ có hướng mà theo đó các ngón tay của bàn tay nắm vào nhau khi cầm nắm đối tượng, gọi là vectơ o (Occupation).
- * Vectơ cuối cùng là vectơ pháp tuyến n (normal), do vậy ta có :

$$\vec{n} = \vec{o} \times \vec{a}$$

Chuyển vị T_6 như vậy sẽ bao gồm các phần tử :

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Tổng quát, ma trận T_6 có thể biểu diễn gọn hơn như sau :

$$T_6 = \left[\begin{array}{ccc|c} \text{Ma trận định hướng R} & & & \text{Vectơ vị trí p} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (3.3)$$

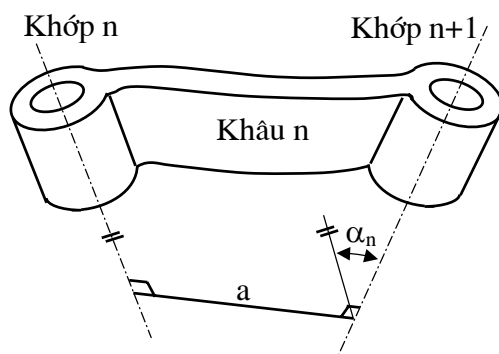
Ma trận R có kích thước 3x3, là ma trận trực giao biểu diễn hướng của bàn kẹp (khâu chấp hành cuối) đối với hệ tọa độ cơ bản. Việc xác định hướng của khâu chấp hành cuối còn có thể thực hiện theo phép quay Euler hay phép quay Roll, Pitch, Yaw.

Vectơ điểm \vec{p} có kích thước 3x1, biểu diễn mối quan hệ tọa độ vị trí của của gốc hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối đối với hệ tọa độ cơ bản.

3.2. Bộ thông số Denavit-Hartenberg (DH) :

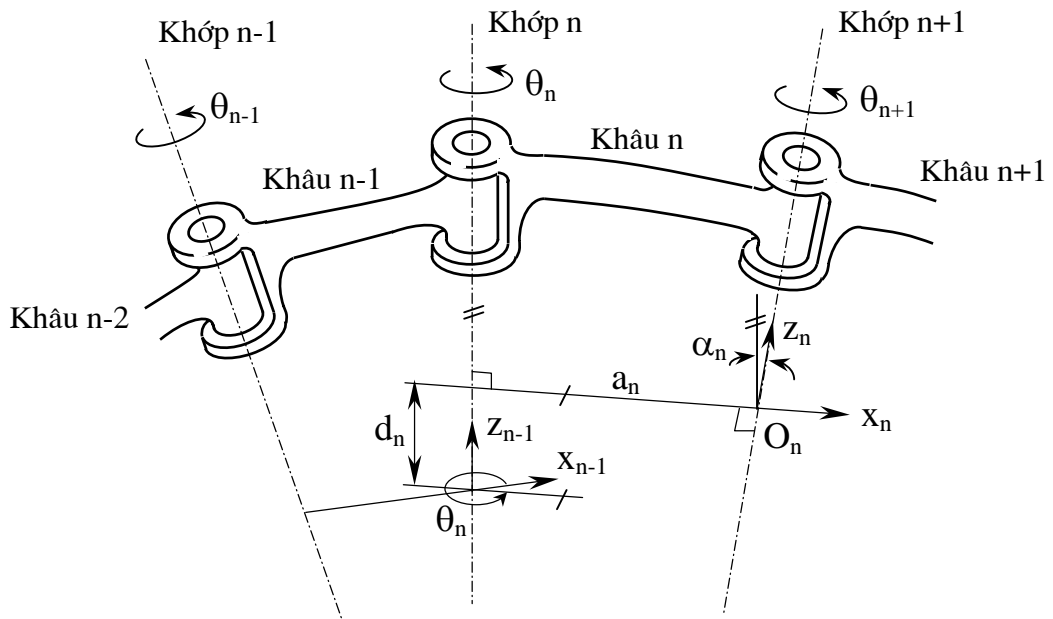
Một robot nhiều khâu cấu thành từ các khâu nối tiếp nhau thông qua các khớp động. Góc chuẩn (Base) của một robot là khâu số 0 và không tính vào số các khâu. Khâu 1 nối với khâu chuẩn bởi khớp 1 và không có khớp ở đầu mút của khâu cuối cùng. Bất kỳ khâu nào cũng được đặc trưng bởi hai kích thước :

- ♦ Độ dài pháp tuyến chung : a_n .
- ♦ Góc giữa các trục trong mặt phẳng vuông góc với a_n : α_n .



Hình 3.5 : Chiều dài và góc xoắn của 1 khâu.

Thông thường, người ta gọi a_n là chiều dài và α_n là góc xoắn của khâu (Hình 3.5). Phổ biến là hai khâu liên kết với nhau ở chính trục của khớp (Hình 3.6).



Hình 3.6 : Các thông số của khâu : θ , d , a và α .

Mỗi trục sẽ có hai pháp tuyến với nó, mỗi pháp tuyến dùng cho mỗi khâu (trước và sau một khớp). Vị trí tương đối của hai khâu liên kết như thế được xác định bởi d_n là khoảng cách giữa các pháp tuyến đo dọc theo trục khớp n và θ_n là góc giữa các pháp tuyến đo trong mặt phẳng vuông góc với trục.

d_n và θ_n thường được gọi là khoảng cách và góc giữa các khâu.

Để mô tả mối quan hệ giữa các khâu ta gắn vào mỗi khâu một hệ tọa độ. Nguyên tắc chung để gắn hệ tọa độ lên các khâu như sau :

+ Góc của hệ tọa độ gắn lên khâu thứ n đặt tại giao điểm của pháp tuyến a_n với trục khớp thứ $n+1$. Trường hợp hai trục khớp cắt nhau, góc tọa độ sẽ đặt tại chính điểm cắt đó. Nếu các trục khớp song song với nhau, góc tọa độ được chọn trên trục khớp của khâu kế tiếp, tại điểm thích hợp.

+ Trục z của hệ tọa độ gắn lên khâu thứ n đặt dọc theo trục khớp thứ $n+1$.

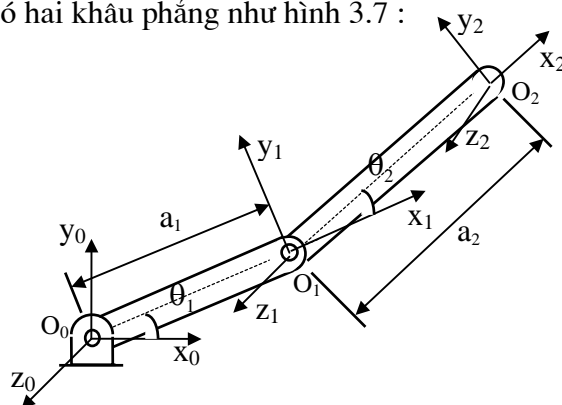
+ Trục x thường được đặt dọc theo pháp tuyến chung và hướng từ khớp n đến $n+1$.

Trong trường hợp các trục khớp cắt nhau thì trục x chọn theo tích vectơ $\vec{Z}_n \times \vec{Z}_{n-1}$.

Trường hợp khớp quay thì θ_n là các biến khớp, trong trường hợp khớp tịnh tiến thì d_n là biến khớp và a_n bằng 0.

Các thông số a_n , α_n , d_n và θ_n được gọi là bộ thông số DH.

Ví dụ 1 : Xét một tay máy có hai khâu phẳng như hình 3.7 :



Hình 3.7 : Tay máy có hai khâu phẳng (vị trí bất kỳ).

Ta gán các hệ tọa độ lên các khâu như hình vẽ : trục z_0, z_1 và z_2 vuông góc với tờ giấy. Hệ tọa độ cơ sở là $O_0x_0y_0z_0$, chiều của x_0 hướng từ O_0 đến O_1 . Sau khi thiết lập hệ tọa độ cơ sở, Hệ tọa độ $o_1x_1y_1z_1$ có hướng như hình vẽ, O_1 đặt tại tâm trục khớp 2. Hệ tọa độ $O_2x_2y_2z_2$ có gốc O_2 đặt ở điểm cuối của khâu 2.

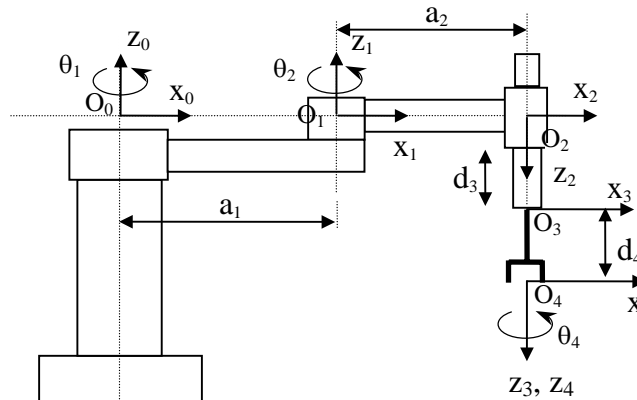
Bảng thông số Denavit-Hartenbert của tay máy này như sau :

Khâu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1^*	0	a_1	0
2	θ_2^*	0	a_2	0

Trong đó θ_i là các biến khớp (dùng dấu * để ký hiệu các biến khớp).

Ví dụ 2 : Xem sơ đồ robot SCARA có 4 khâu như hình 3.8 :

Đây là robot có cấu hình kiểu RRTR, bàn tay có chuyển động xoay xung quanh trục đứng. Hệ tọa độ gán lên các khâu như hình vẽ.



Hình 3.8 : Robot SCARA và các hệ tọa độ (vị trí ban đầu).

Đối với tay máy này các trục khớp đều song song nhau, để tiện lợi tất cả các góc tọa độ đặt tại tâm các trục khớp. Trục x_0 nằm trong mặt phẳng tờ giấy. Các hệ tọa độ khác như hình vẽ. Bảng thông số DH của robot SCARA như sau :

Khâu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1^*	0	a_1	0
2	θ_2^*	180^0	a_2	0
3	0	0	0	d_3^*
4	θ_4^*	0	0	d_4

* : Các biến khớp.

3.3. Đặc trưng của các ma trận A :

Trên cơ sở các hệ tọa độ đã ấn định cho tất cả các khâu liên kết của robot, ta có thể thiết lập mối quan hệ giữa các hệ tọa độ nối tiếp nhau $(n-1), (n)$ bởi các phép quay và tịnh tiến sau đây :

- Quay quanh z_{n-1} một góc θ_n
- Tịnh tiến dọc theo z_{n-1} một khoảng d_n
- Tịnh tiến dọc theo $x_{n-1} = x_n$ một đoạn a_n
- Quay quanh x_n một góc xoắn α_n

Bốn phép biến đổi thuần nhất này thể hiện quan hệ của hệ tọa độ thuộc khâu thứ n so với hệ tọa độ thuộc khâu thứ $n-1$ và tích của chúng được gọi là ma trận A :

$$A_n = \text{Rot}(z,\theta) \text{Trans}(0,0,d) \text{Trans}(a,0,0) \text{Rot}(x,\alpha) \quad (3.4)$$

$$A_n = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_n = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \cos\alpha & \sin\theta \sin\alpha & a \cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \cos\alpha & -\cos\theta \sin\alpha & a \sin\theta \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Đối với khớp tịnh tiến ($a = 0$ và $\theta_i = 0$) thì ma trận A có dạng :

$$A_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Đối với một khâu đi theo một khớp quay thì d , a và α là hằng số. Như vậy ma trận A của khớp quay là một hàm số của biến khớp θ .

Đối với một khâu đi theo một khớp tịnh tiến thì θ , α là hằng số. Ma trận A của khớp tịnh tiến là một hàm số của biến số d .

Nếu các biến số được xác định thì giá trị của các ma trận A theo đó cũng được xác định.

3.4. Xác định T_6 theo các ma trận A_n :

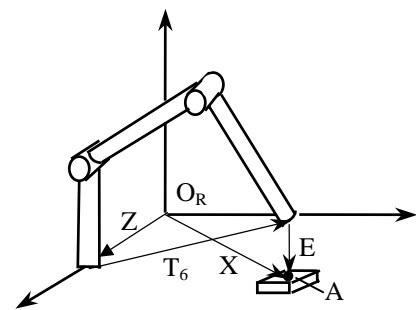
Ta đã biết : $T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$

Trong đó T_6 được miêu tả trong hệ tọa độ gốc (hệ tọa độ gắn với khâu cơ bản cố định của robot). Nếu mô tả T_6 theo các hệ tọa độ trung gian thứ $n-1$ thì :

$${}^{n-1}T_6 = \prod_{i=n}^6 A_i$$

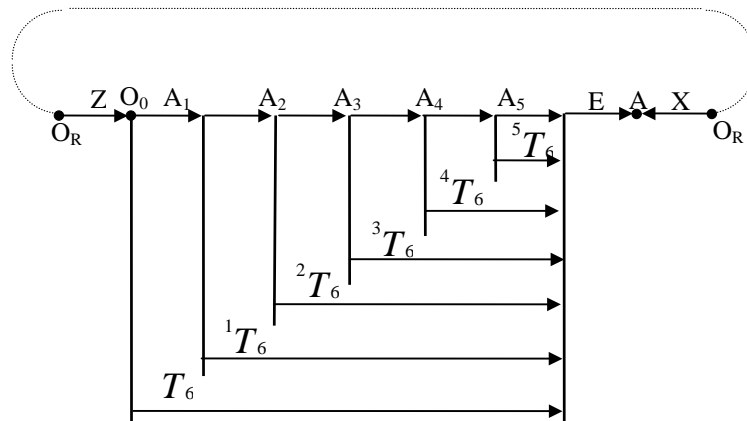
Trong trường hợp tổng quát, khi xét quan hệ của robot với các thiết bị khác, nếu hệ tọa độ cơ bản của robot có liên hệ với một hệ tọa độ nào đó bởi phép biến đổi Z , Khâu chấp hành cuối lại có gắn một công cụ, có quan hệ với vật thể bởi phép biến đổi E (hình 3.9) thì vị trí và hướng của điểm cuối của công cụ, khảo sát ở hệ tọa độ tham chiếu mô tả bởi X sẽ được xác định bởi :

$$X = Z T_6 E$$



Hình 3.9 : Vật thể và Robot

Quan hệ này được thể hiện trên toán đồ sau :



Hình 3.10 : Toán đồ chuyển vị của robot.

Từ toán đồ này ta có thể rút ra : $T_6 = Z^{-1} X E^{-1}$
(Z^{-1} và E^{-1} là các ma trận nghịch đảo).

3.5. Trình tự thiết lập hệ phương trình động học của robot :

Để thiết lập hệ phương trình động học của robot, ta tiến hành theo các bước sau :

1. Chọn hệ tọa độ cơ sở, gắn các hệ tọa độ mở rộng lên các khâu.

Việc gắn hệ tọa độ lên các khâu đóng vai trò rất quan trọng khi xác lập hệ phương trình động học của robot, thông thường đây cũng là bước khó nhất. Nguyên tắc gắn hệ tọa độ lên các khâu đã được trình bày một cách tổng quát trong phần 3.5. Trong thực tế, các trục khớp của robot thường song song hoặc vuông góc với nhau, đồng thời thông qua các phép biến đổi của ma trận A ta có thể xác định các hệ tọa độ gắn trên các khâu của robot theo trình tự sau :

- + Giả định một vị trí ban đầu^(*) (Home Position) của robot.
- + Chọn gốc tọa độ O_0, O_1, \dots
- + Các trục z_n phải chọn cùng phương với trục khớp thứ $n+1$.
- + Chọn trục x_n là trục quay của z_n thành z_{n+1} và góc của z_n với z_{n+1} chính là α_{n+1} . Nếu z_n và z_{n+1} song song hoặc trùng nhau thì ta có thể căn cứ nguyên tắc chung hay chọn x_n theo x_{n+1} .
- + Các hệ tọa độ Oxyz phải tuân theo quy tắc bàn tay phải.
- + Khi gắn hệ tọa độ lên các khâu, phải tuân theo các phép biến đổi của ma trận A_n . đó là bốn phép biến đổi : $A_n = \text{Rot}(z, \theta) \text{Trans}(0, 0, d) \text{Trans}(a, 0, 0) \text{Rot}(x, \alpha)$. Nghĩa là ta coi hệ tọa độ thứ $n+1$ là biến đổi của hệ tọa độ thứ n ; các phép quay và tịnh tiến của biến đổi này phải là một trong các phép biến đổi của A_n , các thông số DH cũng được xác định dựa vào các phép biến đổi này. Trong quá trình gắn hệ tọa độ lên các khâu, nếu xuất hiện phép quay của trục z_n đối với z_{n-1} quanh trục y_{n-1} thì vị trí ban đầu của robot đã giả định là không đúng, ta cần chọn lại vị trí ban đầu khác cho robot.

2. Lập bảng thông số DH (Denavit Hartenberg).

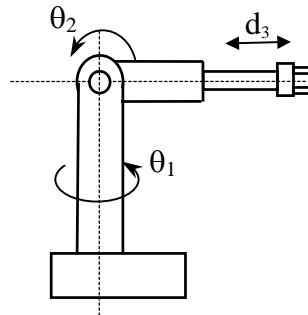
3. Dựa vào các thông số DH xác định các ma trận A_n .

4. Tính các ma trận T và viết các phương trình động học của robot.

(*) Vị trí ban đầu là vị trí mà các biến nhận giá trị ban đầu, thường bằng 0.

Ví dụ sau đây trình bày chi tiết của các bước khi thiết lập hệ phương trình động học của robot :

Cho một robot có ba khâu, cấu hình RRT như hình 3.11. Hãy thiết lập hệ phương trình động học của robot.

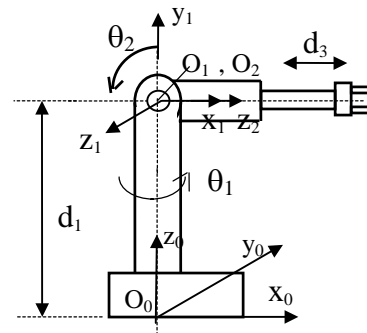


Hình 3.11 : Robot RRT

1. Gắn hệ tọa độ lên các khâu :

Ta giả định vị trí ban đầu và chọn gốc tọa độ O_0 của robot như hình 3.12. Các trục z đặt cùng phương với các trục khớp.

Ta thấy trục z_1 đã quay tương đối một góc 90^0 so với trục z_0 , đây chính là phép quay quanh trục x_0 một góc α_1 (phép biến đổi $Rot(x_0, \alpha_1)$ trong biểu thức tính A_n). Nghĩa là trục x_0 vuông góc với z_0 và z_1 . Ta chọn chiều của x_0 từ trái sang phải thì góc quay $\alpha_1=90^0$ (chiều dương ngược chiều kim đồng hồ). Đồng thời ta cũng thấy gốc O_1 đã tịnh tiến một đoạn dọc theo z_0 , so với O_0 , đó chính là phép biến đổi $Trans(0,0,d_1)$ (tịnh tiến dọc theo z_0 một đoạn d_1) ; các trục y_0 và y_1 xác định theo quy tắc bàn tay phải (Hình 3.12) .

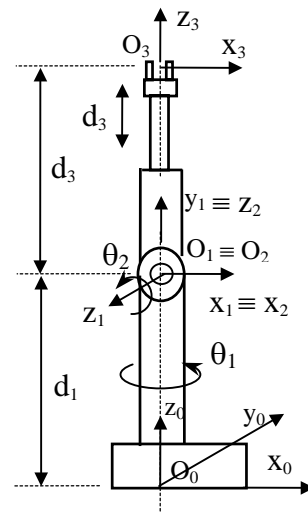


Hình 3.12 : Gắn các hệ tọa độ O_0 và O_1

Tiếp tục chọn gốc tọa độ O_2 đặt trùng với O_1 vì trục khớp thứ ba và trục khớp thứ hai cắt nhau tại O_1 (như hình 3.12). Trục z_2 cùng phương với trục khớp thứ ba, tức là đã quay đi một góc 90^0 so với z_1 quanh trục y_1 ; phép biến đổi này không có trong biểu thức tính A_n nên không dùng được, ta cần chọn lại vị trí ban đầu của robot (thay đổi vị trí của khâu thứ 3) như hình 3.13.

Theo hình 3.13, O_2 vẫn được đặt trùng với O_1 , trục z_2 có phương thẳng đứng, nghĩa là ta đã quay trục z_1 thành z_2 quanh trục x_1 một góc -90^0 (tức $\alpha_2 = -90^0$).

Đầu cuối của khâu thứ 3 không có khớp, ta đặt O_3 tại điểm giữa của các ngón tay, và trục z_3, x_3 chọn như hình vẽ, như vậy ta đã tịnh tiến gốc tọa độ dọc theo z_2 một đoạn d_3 (Phép biến đổi $Trans(0,0,d_3)$), vì đây là khâu tịnh tiến nên d_3 là biến .



Hình 3.13 : Hệ tọa độ gắn lên các khâu

Như vậy việc gán các hệ toạ độ lên các khâu của robot đã hoàn thành. Thông qua các phân tích trên đây, ta có thể xác định được các thông số DH của robot.

2. Lập bảng thông số DH :

Khâu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1^*	90	0	d_1
2	θ_2^*	-90	0	0
3	0	0	0	d_3^*

3. Xác định các ma trận A :

Ma trận A_n có dạng :

$$A_n = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \cos\alpha & \sin\theta \sin\alpha & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta \cos\alpha & -\cos\theta \sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Với qui ước viết tắt : $C_1 = \cos\theta_1$; $S_1 = \sin\theta_1$; $C_2 = \cos\theta_2 \dots$

$$A_1 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & C_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

4. Tính các ma trận biến đổi thuận nhất T :

+ Ma trận ${}^2T_3 = A_3$

+ Ma trận ${}^1T_3 = A_2 \cdot {}^2T_3$

$${}^1T_3 = \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & C_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & -S_2 \cdot d_3 \\ S_2 & 0 & C_2 & C_2 \cdot d_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

+ Ma trận $T_3 = A_1 \cdot {}^1T_3$

$$T_3 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & -S_2 \cdot d_3 \\ S_2 & 0 & C_2 & C_2 \cdot d_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} C_1 C_2 & -S_1 & -C_1 S_2 & -C_1 S_2 d_3 \\ S_1 d_2 & C_1 & -S_1 S_2 & -S_1 S_2 d_3 \\ S_2 & 0 & C_2 & C_2 d_3 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

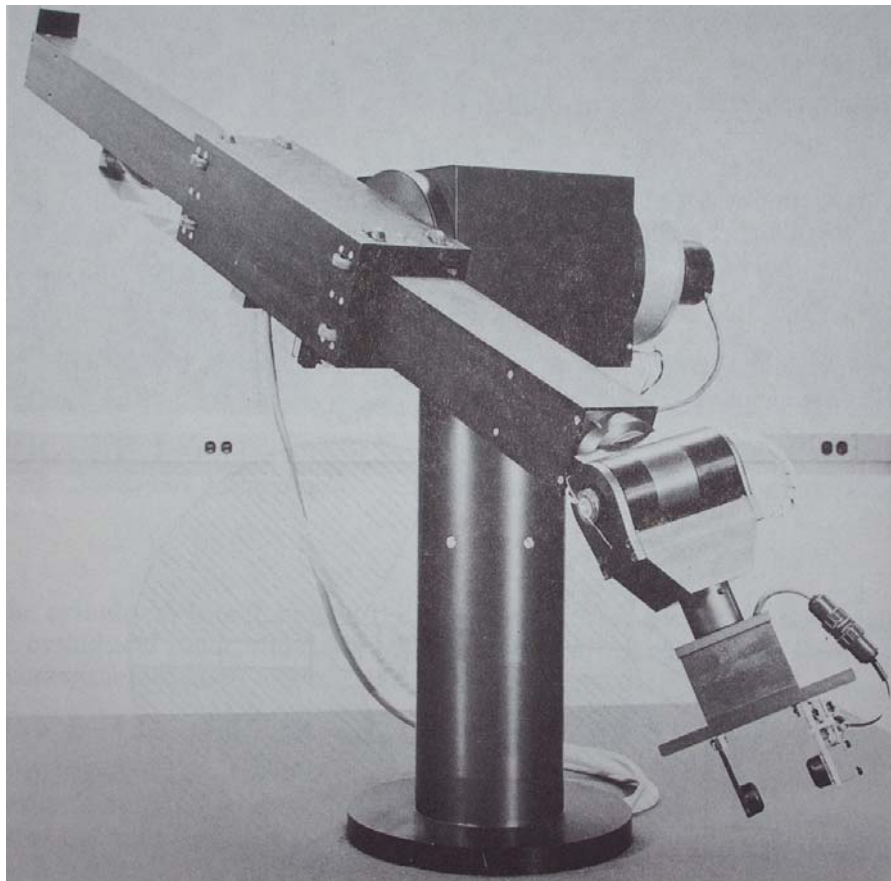
Ta có hệ phương trình động học của robot như sau :

$$\begin{array}{lll} n_x = C_1 C_2; & n_y = S_1 C_2; & n_z = S_2 \\ O_x = -S_1; & O_y = C_1; & O_z = 0; \\ a_x = -C_1 S_2; & a_y = -S_1 S_2; & a_z = C_2; \\ p_x = -C_1 S_2 d_3 & p_y = -S_1 S_2 d_3 & p_z = C_2 d_3 + d_1; \end{array}$$

(Ta có thể sơ bộ kiểm tra kết quả tính toán bằng cách dựa vào tọa độ vị trí p_x, p_y, p_z đã tính so với cách tính hình học trên hình vẽ).

3.9. Hệ phương trình động học của robot STANFORD :

Stanford là một robot có 6 khâu với cấu hình RRT.RRR (Khâu thứ 3 chuyển động tịnh tiến, năm khâu còn lại chuyển động quay). Kết cấu của robot Stanford như hình 3.14 :

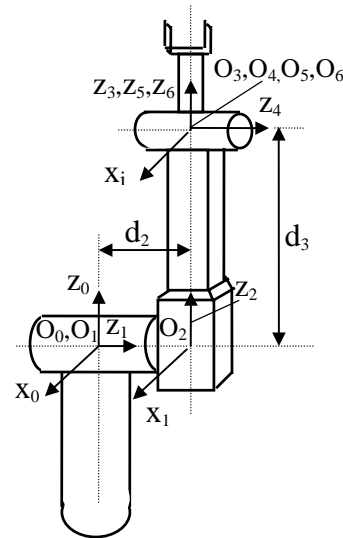


Hình 3.14 : Robot Stanford

Trên hình 3.15 trình bày mô hình của robot Stanford với việc gắn các hệ tọa độ lên từng khâu. Để đơn giản trong khi viết các phương trình động học của robot, ta qui ước cách viết tắt các hàm lượng giác như sau :

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \cos\theta_1; \\
 S_1 &= \sin\theta_1; \\
 C_{12} &= \cos(\theta_1+\theta_2); \\
 S_{12} &= \sin(\theta_1+\theta_2) \\
 S_{234} &= \sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \dots
 \end{aligned}$$

Hệ tọa độ gắn lên các khâu của robot như hình 3.15. (Khâu cuối có chiều dài và khoảng cách bằng không, để có thể gắn các loại công cụ khác nhau nên chọn $O_6 \equiv O_5$).



Hình 3.15 : Hệ tọa độ của Robot Stanford

Bảng thông số DH (Denavit-Hartenberg) của robot Stanford như sau :

Khâu	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1^*	-90^0	0	0
2	θ_2^*	90^0	0	d_2
3	0	0	0	d_3^*
4	θ_4^*	-90^0	0	0
5	θ_5^*	90^0	0	0
6	θ_6^*	0	0	0

(* : Các biến khớp).

Các ma trận A của robot Stanford được xác định như sau :

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \begin{pmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & A_2 &= \begin{pmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 A_3 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & A_4 &= \begin{pmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 A_5 &= \begin{pmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & A_6 &= \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Tích của các ma trận chuyển vị A đối với robot Stanford được bắt đầu ở khâu 6 và chuyển dần về gốc; theo thứ tự này ta có :

$$T_6^5 = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^4 = A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_5 C_6 & -C_5 S_6 & S_5 & 0 \\ S_5 C_6 & -S_5 S_6 & -C_5 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^3 = A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & 0 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & 0 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^2 = A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & 0 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & 0 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^1 = A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_2(C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_2 S_5 C_6 & -C_2(C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6) + S_2 S_5 S_6 \\ S_2(C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) + C_2 S_5 C_6 & -S_2(C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) - C_2 S_5 S_6 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 \\ 0 & 0 \\ C_2 C_4 S_5 + S_2 C_5 & S_2 d_3 \\ S_2 C_4 S_5 - C_2 C_5 & -C_2 d_3 \\ S_4 S_5 & d_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Cuối cùng :

$$T_6 = \begin{pmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = A_1 T_6^1$$

Để tính T_6 , ta phải nhân A_1 với T_6^1 sau đó cân bằng các phần tử của ma trận T_6 ở hai vế ta được một hệ thống các phương trình sau :

$$n_x = C_1[C_2(C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_2 S_5 C_6] - S_1(S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6)$$

$$n_y = S_1[C_2(C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_2 S_5 C_6] + C_1(S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6)$$

$$n_z = -S_2(C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) + C_2 S_5 C_6$$

$$O_x = C_1[-C_2(C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + S_2 S_5 S_6] - S_1(-S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6)$$

$$O_y = S_1[-C_2(C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + S_2 S_5 S_6] + C_1(-S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6)$$

$$O_z = S_2(C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + C_2 S_5 S_6$$

$$a_x = C_1(C_2 C_4 S_5 + S_2 C_5) - S_1 S_4 S_5$$

$$a_y = S_1(C_2 C_4 S_5 + S_2 C_5) + C_1 S_4 S_5$$

$$a_z = -S_2 C_4 S_5 + C_2 C_5$$

$$p_x = C_1 S_2 d_3 - S_1 d_2$$

$$p_y = S_1 S_2 d_3 + C_1 d_2$$

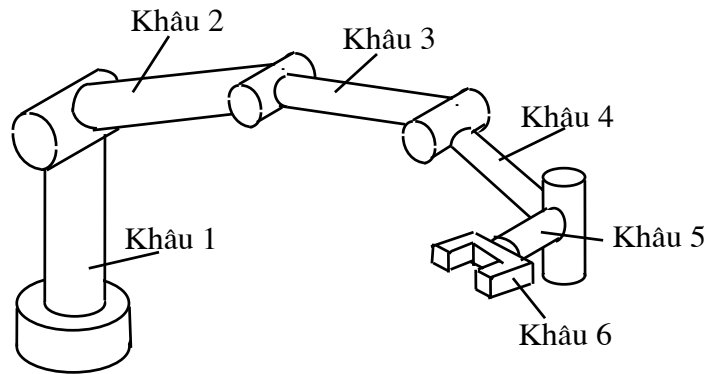
$$p_z = C_2 d_3$$

Nếu ta biết được các giá trị của biến khớp, thì vị trí và hướng của bàn tay robot sẽ tìm được bằng cách xác định các giá trị các phần tử của T_6 theo các phương trình trên.

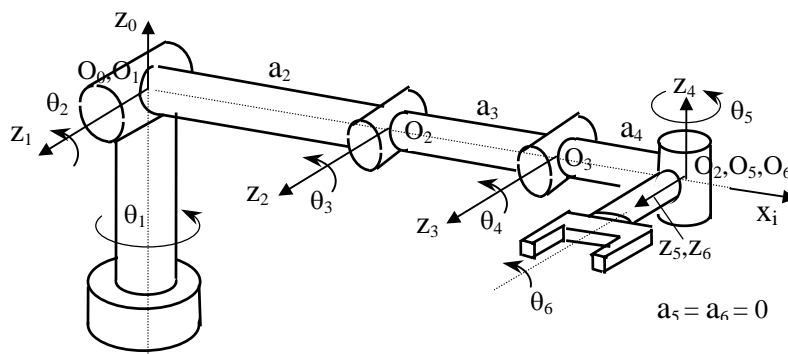
Các phương trình trên gọi là hệ phương trình động học thuận của robot Stanford.

3.10. Hệ phương trình động học của robot ELBOW :

Để hiểu rõ hơn về cách thiết lập hệ phương trình động học của robot, ta xét thêm trường hợp robot Elbow.



Hình 1.16 : Robot Elbow



Hình 1.17 : Vị trí ban đầu của robot Elbow và các hệ tọa độ

Bộ thông số DH của robot Elbow

Khâu	θ_i^*	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	90^0	0	0
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	a_3	0
4	θ_4	-90^0	a_4	0
5	θ_5	90^0	0	0
6	θ_6	0	0	0

(* : các biến khớp)

Các ma trận A của robot Elbow được xác định như sau :

$$A_1 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_2 = \begin{pmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & C_2 a_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & S_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & C_3 a_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & S_3 a_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_4 = \begin{pmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & C_4 a_4 \\ S_4 & 0 & C_4 & S_4 a_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_5 = \begin{pmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_6 = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ta xác định các ma trận T theo các hệ tọa độ lần lượt từ khâu cuối trở về gốc :

$$T_6^5 = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^4 = A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_5 C_6 & -C_5 S_6 & S_5 & 0 \\ S_5 C_6 & -S_5 S_6 & -C_5 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^3 = A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & C_4 a_4 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & S_4 a_4 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^2 = A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_{34} C_5 C_6 - S_{34} S_6 & -C_{34} C_5 S_6 - S_{34} C_6 & C_{34} S_5 & C_{34} a_4 + C_3 a_3 \\ S_{34} C_5 C_6 + C_{34} S_6 & -S_{34} C_5 S_6 + C_{34} C_6 & S_{34} S_5 & S_{34} a_4 + S_3 a_3 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^1 = A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 =$$

$$\begin{pmatrix} C_{234} C_5 C_6 - S_{234} S_6 & -C_{234} C_5 S_6 - S_{234} C_6 & C_{234} S_5 & C_{234} a_4 + C_{23} a_3 + C_2 a_2 \\ S_{234} C_5 C_6 + C_{234} S_6 & -S_{234} C_5 S_6 + C_{234} C_6 & S_{234} S_5 & S_{234} a_4 + S_{23} a_3 + S_2 a_2 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Cuối cùng :

$$T_6 = \begin{pmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = A_1 T_6^1$$

Để tính T_6 , ta phải nhân A_1 với T_6^1 sau đó cân bằng các phần tử của ma trận T_6 ta được một hệ thống các phương trình sau :

$$\begin{aligned}
n_x &= C_1(C_{234}C_5C_6 - S_{234}S_6) - S_1S_5C_6 \\
n_y &= S_1(C_{234}C_5C_6 - S_{234}S_6) + C_1S_5C_6 \\
n_z &= S_{234}C_5C_6 + C_{234}S_6 \\
O_x &= -C_1(C_{234}C_5S_6 + S_{234}C_6) + S_1S_5S_6 \\
O_y &= -S_1(C_{234}C_5S_6 + S_{234}C_6) - C_1S_5S_6 \\
O_z &= -S_{234}C_5S_6 + C_{234}C_6 \\
a_x &= C_1C_{234}S_5 + S_1C_5 \\
a_y &= S_1C_{234}S_5 - C_1C_5 \\
a_z &= S_{234}S_5 \\
p_x &= C_1(C_{234}a_4 + C_{23}a_3 + C_2a_2) \\
p_y &= S_1(C_{234}a_4 + C_{23}a_3 + C_2a_2) \\
p_z &= S_{234}a_4 + S_{23}a_3 + S_2a_2
\end{aligned}$$

Cột đầu tiên của ma trận T_6 có thể được xác định bởi tích vector : $\vec{n} = \vec{O} \times \vec{a}$.

3.11. Kết luận :

Trong chương này chúng ta đã nghiên cứu việc dùng các phép biến đổi thuận nhất để mô tả vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối của robot thông qua việc xác lập các hệ tọa độ gắn lên các khâu và các thông số DH. Phương pháp này có thể dùng cho bất cứ robot nào với số khâu (khớp) tùy ý. Trong quá trình xác lập các hệ tọa độ mở rộng ta cũng xác định được vị trí dùng của mỗi robot. Tùy thuộc kết cấu của robot cũng như công cụ gắn lên khâu chấp hành cuối mà ta có thể đưa các thông số của khâu chấp hành cuối vào phương trình động học hay không. Việc tính toán các ma trận T để thiết lập hệ phương trình động học của robot thường tốn nhiều thời gian và dễ nhầm lẫn, ta có thể lập trình trên máy tính để tính toán (ở dạng ký hiệu) nhằm nhanh chóng xác định các ma trận A_n và thiết lập hệ phương trình động học của robot.

Thiết lập hệ phương trình động học của robot là bước rất quan trọng để có thể dựa vào đó lập trình điều khiển robot. **Bài toán này thường được gọi là bài toán động học thuận robot.** Việc giải hệ phương trình động học của robot được gọi là bài toán động học ngược, nhằm xác định giá trị của các biến khớp theo các thông số đã biết của khâu chấp hành cuối; vấn đề này ta sẽ nghiên cứu trong chương tiếp theo.

BÀI TẬP CHƯƠNG III :

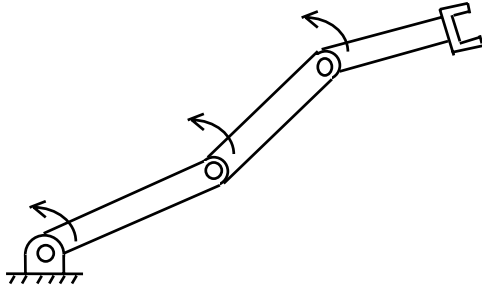
Bài 1 : Cho ma trận :

$$T_6 = \begin{pmatrix} ? & 0 & -1 & 0 \\ ? & 0 & 0 & 1 \\ ? & -1 & 0 & 2 \\ ? & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

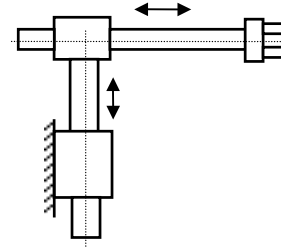
là ma trận biểu diễn hướng và vị trí của khâu chấp hành cuối. Tìm các phần tử được đánh dấu ?

Bài 2 : Cho một robot có 3 khâu phẳng như hình 3.18, cấu hình RRR. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.

Bài 3 : Cho một robot có 2 khâu tịnh tiến như hình 3.19, cấu hình TT. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.



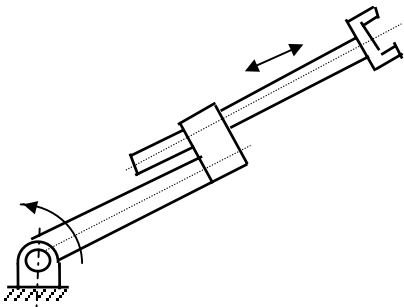
Hình 3.18 : Robot cấu hình RRR



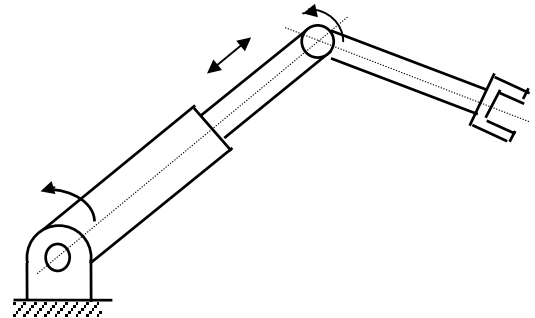
Hình 3.19 : Robot cấu hình TT

Bài 4 : Cho một robot có 2 khâu phẳng như hình 3.20, cấu hình RT. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.

Bài 5 : Cho một robot có 3 khâu như hình 3.21, cấu hình RTR. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.

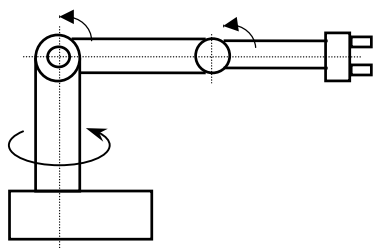


Hình 3.20 : Robot cấu hình RT

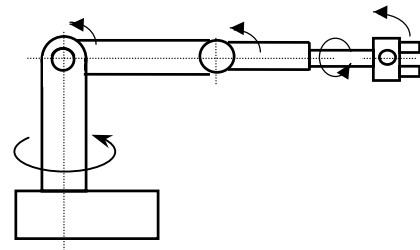


Hình 3.21 : Robot cấu hình RTR

Bài 6 : Cho một robot có 3 khâu như hình 3.22, cấu hình RRR. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.



Hình 3.22 : Robot cấu hình RRR



Hình 3.23 : Robot cấu hình RRRRR

Bài 7 : Cho một robot có 5 khâu như hình 3.23, cấu hình RRRRR. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.

CHƯƠNG IV

GIẢI PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC ROBOT HAY PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC NGƯỢC (Invers Kinematic Equations)

Trong chương 3, ta đã nghiên cứu việc thiết lập hệ phương trình động học của robot thông qua ma trận T_6 bằng phương pháp gắn các hệ tọa độ lên các khâu và xác định các thông số DH. Ta cũng đã xét tới các phương pháp khác nhau để mô tả hướng của khâu chấp hành cuối như các phép quay Euler, phép quay Roll-Pitch và Yaw .v.v... Trong chương này chúng ta sẽ tiến hành giải hệ phương trình động học đã thiết lập ở chương trước nhằm xác định các biến trong bộ thông số Denavit - Hartenberg khi đã biết ma trận vectơ cuối T_6 . Kết quả của việc giải hệ phương trình động học đóng vai trò hết sức quan trọng trong việc điều khiển robot. Thông thường, điều ta biết là các vị trí và hướng mà ta muốn robot phải dịch chuyển tới và điều ta cần biết là mối quan hệ giữa các hệ tọa độ trung gian để phối hợp tạo ra chuyển động của robot, hay nói cách khác đó chính là giá trị của các biến khớp ứng với mỗi tọa độ và hướng của khâu chấp hành cuối hoặc công cụ gắn lên khâu chấp hành cuối, muốn vậy ta phải giải hệ phương trình động học của robot. Việc nhận được lời giải của bài toán động học ngược là vấn đề khó mà ta sẽ nghiên cứu trong chương này. Nhiệm vụ của bài toán là xác định tập nghiệm $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6, d_i^*)$ khi đã biết hình thể của robot thông qua vectơ cuối T_6 (khái niệm “hình thể” của robot bao gồm khái niệm về vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối : Configuration = Position + Orientation).

Cũng cần lưu ý rằng, đa số các robot có bộ Teach pendant là thiết bị dạy học, có nhiệm vụ điều khiển robot đến các vị trí mong muốn trong động trình đầu tiên (điều khiển điểm : Point to point), các chuyển động này sẽ được ghi lại vào bộ nhớ trung tâm (CPU) của robot hoặc máy tính điều khiển robot, sau đó robot có thể thực hiện lại đúng các động tác đã được học. Trong quá trình hoạt động của robot, nếu dạng quỹ đạo đường đi không quan trọng thì không cần lời giải của bài toán động học ngược.

4.1. Các điều kiện của bài toán động học ngược :

Việc giải bài toán động học ngược của robot cần thỏa mãn các điều kiện sau :

4.1.1. Điều kiện tồn tại nghiệm :

Điều kiện này nhằm khẳng định : Có ít nhất một tập nghiệm $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6, d_i^*)$ sao cho robot có hình thể cho trước.

(“Hình thể” là khái niệm mô tả tường minh của vectơ cuối T_6 cả về vị trí và hướng).

4.1.2. Điều kiện duy nhất của tập nghiệm :

Trong khi xác định các tập nghiệm cần phân biệt rõ hai loại nghiệm :

+ Nghiệm toán (Mathematical Solution) : Các nghiệm này thỏa mãn các phương trình cho trước của T_6 .

+ Nghiệm vật lý (Physical Solution) : là các tập con của nghiệm toán, phụ thuộc vào các giới hạn vật lý (giới hạn về góc quay, kích thước ...) nhằm xác định tập nghiệm duy nhất.

Việc giải hệ phương trình động học có thể được tiến hành theo hai phương pháp cơ bản sau :

+ Phương pháp giải tích (Analytical Method) : tìm ra các công thức hay các phương trình toán giải tích biểu thị quan hệ giữa các giá trị của không gian biến trục và các thông số khác của bộ thông số DH.

+ Phương pháp số (Numerical Method) : Tìm ra các giá trị của tập nghiệm bằng kết quả của một quá trình lặp.

4.2. Lời giải của phép biến đổi Euler :

Trong chương 3 ta đã nghiên cứu về phép biến đổi Euler để mô tả hướng của khâu chấp hành cuối :

$$\text{Euler}(\Phi, \theta, \psi) = \text{Rot}(z, \Phi) \text{Rot}(y, \theta) \text{Rot}(z, \psi)$$

Tập nghiệm muốn tìm là các góc Φ, θ, ψ khi đã biết ma trận biến đổi đồng nhất T_6 (còn gọi là ma trận vectơ cuối), Nếu ta có các giá trị số của các phần tử trong ma trận T_6 thì có thể xác định được các góc Euler Φ, θ, ψ thích hợp. Như vậy ta có :

$$\text{Euler}(\Phi, \theta, \psi) = T_6 \quad (4-1)$$

Vế trái của phương trình (4-1) đã được biểu diễn bằng công thức (3-4) , nên ta có :

$$\begin{pmatrix} \cos\Phi \cos\theta \cos\psi - \sin\Phi \sin\psi & -\cos\Phi \cos\theta \sin\psi - \sin\Phi \cos\psi & \cos\Phi \sin\theta & 0 \\ \sin\Phi \cos\theta \cos\psi + \cos\Phi \sin\psi & -\sin\Phi \cos\theta \sin\psi + \cos\Phi \cos\psi & \sin\Phi \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta \cos\psi & \sin\theta \sin\psi & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-2)$$

Lần lượt cho cân bằng các phần tử tương ứng của hai ma trận trong phương trình (4-2) ta có các phương trình sau :

$$n_x = \cos\Phi \cos\theta \cos\psi - \sin\Phi \sin\psi \quad (4.3)$$

$$n_y = \sin\Phi \cos\theta \cos\psi + \cos\Phi \sin\psi \quad (4-4)$$

$$n_z = -\sin\theta \cos\psi \quad (4-5)$$

$$O_x = -\cos\Phi \cos\theta \sin\psi - \sin\Phi \cos\psi \quad (4-6)$$

$$O_y = -\sin\Phi \cos\theta \sin\psi + \cos\Phi \cos\psi \quad (4-7)$$

$$O_z = \sin\theta \sin\psi \quad (4-8)$$

$$a_x = \cos\Phi \sin\theta \quad (4-9)$$

$$a_y = \sin\Phi \sin\theta \quad (4-10)$$

$$a_z = \cos\theta \quad (4-11)$$

Ta thử giải hệ phương trình này để tìm Φ , θ , ψ như sau :

$$\text{Từ (4-11) ta có} \quad \theta = \cos^{-1}(a_z) \quad (4-12)$$

$$\text{Từ (4-9) ta có} \quad \Phi = \cos^{-1}(a_x / \sin\theta) \quad (4-13)$$

$$\text{Từ (4-5) và (4-12) ta có} \quad \psi = \cos^{-1}(-n_z / \sin\theta) \quad (4-14)$$

Trong đó ta đã dùng ký hiệu \cos^{-1} thay cho hàm arccos.

Nhưng các kết quả đã giải ở trên chưa dùng được vì các lý do dưới đây :

+ Hàm arccos không chỉ biểu hiện cho một góc chưa xác định mà về độ chính xác nó lại phụ thuộc vào chính góc đó, nghĩa là :

$$\cos\theta = \cos(-\theta) : \quad \theta \text{ chưa được xác định duy nhất.}$$

$$\left. \frac{d\cos\theta}{d\theta} \right|_{0,180} = 0 : \quad \theta \text{ xác định không chính xác.}$$

+ Trong lời giải đối với Φ và ψ một lần nữa chúng ta lại dùng hàm arccos và chia cho $\sin\theta$, điều này dẫn tới sự mất chính xác khi θ có giá trị lân cận 0.

+ Các phương trình (4-13) và (4-14) không xác định khi $\theta = 0$ hoặc $\theta = \pm 180^\circ$.

Do vậy chúng ta cần phải cẩn thận hơn khi chọn lời giải. Để xác định các góc khi giải bài toán ngược của robot ta phải dùng hàm $\text{arctg2}(y,x)$ (hàm arctang hai biến). Hàm arctg2 nhằm mục đích xác định được góc thực - duy nhất khi xét dấu của hai biến y và x . Hàm số trả về giá trị góc trong khoảng $-\pi \leq \theta < \pi$.

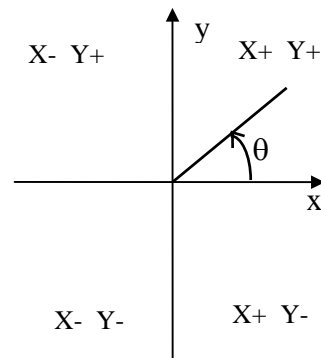
Ví dụ :

$$\text{arctg2}(-1/-1) = -135^\circ,$$

$$\text{trong khi} \quad \text{arctg2}(1/1) = 45^\circ$$

Hàm này xác định ngay cả khi x hoặc y bằng 0 và cho kết quả đúng.

(Trong một số ngôn ngữ lập trình như Matlab, turbo C++, Maple hàm $\text{arctg2}(y,x)$ đã có sẵn trong thư viện)



Hình 4.1 : Hàm $\text{arctg2}(y,x)$

Để có thể nhận được những kết quả chính xác của bài toán Euler, ta thực hiện thủ thuật toán học sau : Nhân T_6 với ma trận quay nghịch đảo $\text{Rot}(z, \Phi)^{-1}$, ta có:

$$\text{Rot}(z, \Phi)^{-1} T_6 = \text{Rot}(y, \theta) \text{Rot}(z, \psi) \quad (4-15)$$

Vế trái của phương trình (4-15) là một hàm số của ma trận T và góc quay Φ . Ta thực hiện phép nhân ma trận ở vế phải của (4-15), tìm ra các phần tử của ma trận có giá trị bằng 0 hoặc bằng hằng số, cho các phần tử này cân bằng với những phần tử tương ứng của ma trận ở vế trái, cụ thể từ (4-15) ta có :

$$\begin{pmatrix} \cos\Phi & \sin\Phi & 0 & 0 \\ -\sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Cos}\theta\text{cos}\psi & -\text{Cos}\theta \sin\psi & \sin\theta & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ -\sin\theta \cos\psi & \sin\theta \sin\psi & \text{Cos}\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-16)$$

Tích hai ma trận ở vế trái của phương trình (4-16) là một ma trận mà có thể được viết gọn lại bằng các ký hiệu sau :

$$\begin{pmatrix} f_{11}(n) & f_{11}(O) & f_{11}(a) & f_{11}(p) \\ f_{12}(n) & f_{12}(O) & f_{12}(a) & f_{12}(p) \\ f_{13}(n) & f_{13}(O) & f_{13}(a) & f_{13}(p) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Trong đó :} \quad f_{11} = \cos\Phi x + \sin\Phi y \quad (4-17)$$

$$f_{12} = -\sin\Phi x + \cos\Phi y \quad (4-18)$$

$$f_{13} = z \quad (4-19)$$

và x, y, z là các phần tử của vectơ xác định bởi các dữ kiện f_{11} , f_{12} , f_{13} , ví dụ :

$$f_{11}(n) = \cos\Phi n_x + \sin\Phi n_y$$

$$f_{12}(O) = -\sin\Phi O_x + \cos\Phi O_y$$

$$f_{13}(a) = a_z$$

Như vậy phương trình (4-16) có thể được viết thành :

$$\begin{pmatrix} f_{11}(n) & f_{11}(O) & f_{11}(a) & 0 \\ f_{12}(n) & f_{12}(O) & f_{12}(a) & 0 \\ f_{13}(n) & f_{13}(O) & f_{13}(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Cos}\theta\text{cos}\psi & -\text{Cos}\theta \sin\psi & \sin\theta & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ -\sin\theta \cos\psi & \sin\theta \sin\psi & \text{Cos}\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-20)$$

Trong đó f_{11} , f_{12} , f_{13} đã được định nghĩa ở (4-17), (4-18) và (4-19).

Khi tính toán vế trái, ta chú ý rằng p_x , p_y , p_z bằng 0 vì phép biến đổi Euler chỉ toàn phép quay không chứa một phép biến đổi tịnh tiến nào, nên $f_{11}(p) = f_{12}(p) = f_{13}(p) = 0$. Từ phương trình (4-20), cho cân bằng phần tử ở hàng 2 cột 3 ta có :

$$f_{12}(a) = -\sin\Phi a_x + \cos\Phi a_y = 0. \quad (4-21)$$

Cộng hai vế với $\sin\Phi a_x$ và chia cho $\cos\Phi a_x$ ta có :

$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{\sin\Phi}{\cos\Phi} = \frac{a_y}{a_x}$$

Góc Φ có thể xác định bằng hàm arctg hai biến :

$$\Phi = \operatorname{arctg}2(a_y, a_x).$$

Ta cũng có thể giải phương trình (4-21) bằng cách cộng hai vế với $-\cos\Phi a_y$ rồi chia hai vế cho $-\cos\Phi a_x$, triệt tiêu $-a_x$ ở vế trái và $\cos\Phi$ ở vế phải, ta có :

$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{\sin\Phi}{\cos\Phi} = \frac{-a_y}{-a_x}$$

Trong trường hợp này góc Φ tìm được là :

$$\Phi = \operatorname{arctg}2(-a_y, -a_x).$$

Như vậy phương trình (4-21) có một cặp nghiệm cách nhau 180° (đây là nghiệm toán) và ta có thể viết :

$$\Phi = \operatorname{arctg}2(a_y, a_x) \vee \Phi = \Phi + 180^\circ.$$

(Hiểu theo cách viết khi lập trình trên máy tính).

Nếu cả a_x và a_y đều bằng 0 thì góc Φ không xác định được. Điều đó xảy ra khi bàn tay chỉ thẳng lên trên hoặc xuống dưới và cả hai góc Φ và ψ tương ứng với cùng một phép quay. Điều này được coi là một phép suy biến (degeneracy), trong trường hợp này ta cho $\Phi = 0$.

Với giá trị của Φ nhận được, các phân tử ma trận ở vế bên trái của phương trình (4-20) sẽ được xác định. Tiếp tục so sánh các phân tử của hai ma trận ta có :

$$f_{11}(a) = \cos\Phi a_x + \sin\Phi a_y = \sin\theta.$$

Và
$$f_{13}(a) = a_z = \cos\theta.$$

Vậy
$$\theta = \operatorname{arctg}2(\cos\Phi a_x + \sin\Phi a_y, a_z)$$

Khi cả hai hàm \sin và \cos đều được xác định như trường hợp trên, thì góc thường được xác định duy nhất và không xảy ra trường hợp suy biến như góc Φ trước đây. Cũng từ phương trình (4-20) ta có :

$$f_{12}(n) = -\sin\Phi n_x + \cos\Phi n_y = \sin\psi$$

$$f_{12}(O) = -\sin\Phi O_x + \cos\Phi O_y = \cos\psi$$

Vậy : $\psi = \arctg2(-\sin\Phi n_x + \cos\Phi n_y, -\sin\Phi O_x + \cos\Phi O_y)$

Tóm lại, nếu cho trước một phép biến đổi đồng nhất dưới dạng các phép quay, ta có thể xác định các góc Euler tương ứng là :

$$\begin{aligned}\Phi &= \arctg2(a_y, a_x) \quad \forall \mu \quad \Phi = \Phi + 180^0 \\ \theta &= \arctg2(\cos\Phi a_x + \sin\Phi a_y, a_z) \\ \psi &= \arctg2(-\sin\Phi n_x + \cos\Phi n_y, -\sin\Phi O_x + \cos\Phi O_y)\end{aligned}$$

4.3. Lời giải của phép biến đổi Roll, Pitch và Yaw :

Phép biến đổi Roll, Pitch và Yaw đã được định nghĩa :

$$RPY(\Phi, \theta, \psi) = \text{Rot}(z, \Phi) \text{Rot}(y, \theta) \text{Rot}(x, \psi)$$

Việc giải phương trình : $T_6 = RPY(\Phi, \theta, \psi)$ sẽ xác định được các góc Φ, θ và ψ .

Cách giải được tiến hành tương tự như khi thực hiện lời giải cho phép quay Euler. Nhân T_6 với ma trận nghịch đảo $\text{Rot}(z, \Phi)^{-1}$, ta có :

$$\text{Rot}(z, \Phi)^{-1} T_6 = \text{Rot}(y, \theta) \text{Rot}(x, \psi)$$

Hay là :

$$\begin{pmatrix} f_{11}(n) & f_{11}(O) & f_{11}(a) & 0 \\ f_{12}(n) & f_{12}(O) & f_{12}(a) & 0 \\ f_{13}(n) & f_{13}(O) & f_{13}(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \sin\psi & \sin\theta \cos\psi & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta \sin\psi & \cos\theta \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-22)$$

Trong đó :

$$\begin{aligned}f_{11} &= \cos\Phi x + \sin\Phi y \\ f_{12} &= -\sin\Phi x + \cos\Phi y \\ f_{13} &= z\end{aligned}$$

Cân bằng phần tử ở hàng 2 cột 1 : $f_{12}(n) = 0$, ta có :

$$-\sin\Phi x + \cos\Phi y = 0$$

Phương trình này cho ta hai nghiệm như đã biết :

$$\begin{aligned}\Phi &= \arctg2(n_x, n_y) \\ \text{và} \quad \Phi &= \Phi + 180^0\end{aligned}$$

Tiếp tục cân bằng các phần tử tương ứng của hai ma trận ta có :

$$\begin{aligned}-\sin\theta &= n_z \\ \cos\theta &= \cos\Phi n_x + \sin\Phi n_y\end{aligned}$$

do vậy :

$$\theta = \arctg2(-n_z, \cos\Phi n_x + \sin\Phi n_y)$$

Ngoài ra ta còn có :

$$\begin{aligned} -\sin\psi &= -\sin\Phi a_x + \cos\Phi a_y \\ \cos\psi &= -\sin\Phi O_x + \cos\Phi O_y \end{aligned}$$

$$\text{Nên :} \quad \psi = \arctg2(\sin\Phi a_x - \cos\Phi a_y, -\sin\Phi O_x + \cos\Phi O_y)$$

Như vậy ta đã xác định được các góc quay Roll, Pitch và Yaw theo các phần tử của ma trận T_6 .

4.4. Giải bài toán động học ngược của robot Stanford :

Hệ phương trình động học của robot Stanford đã được thiết lập trong chương III, Ta có :

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \quad (4-23)$$

Liên tục nhân (4-23) với các ma trận A nghịch đảo, ta được :

$$A_1^{-1} T_6 = {}^1T_6 \quad (4-24)$$

$$A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 = {}^2T_6 \quad (4-25)$$

$$A_3^{-1} A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 = {}^3T_6 \quad (4-26)$$

$$A_4^{-1} A_3^{-1} A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 = {}^4T_6 \quad (4-27)$$

$$A_5^{-1} A_4^{-1} A_3^{-1} A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 = {}^5T_6 \quad (4-28)$$

Các phần tử ở vế trái của các phương trình này là hàm số của các phần tử T_6 và các biến khớp của (n-1) khớp đầu tiên. Trong khi đó các phần tử của ma trận vế bên phải hoặc bằng 0, bằng hằng số hoặc là hàm số của các biến khớp thứ n đến khớp thứ 6. Từ mỗi phương trình ma trận, cho cân bằng các phần tử tương ứng chúng ta nhận được 12 phương trình. Mỗi phương trình có các phần tử của 4 vectơ n, O, a, p.

Từ phương trình (4-24), ta có :

$$A_1^{-1} T_6 = \begin{pmatrix} C_1 & S_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} f_{11}(n) & f_{11}(O) & f_{11}(a) & f_{11}(p) \\ f_{12}(n) & f_{12}(O) & f_{12}(a) & f_{12}(p) \\ f_{13}(n) & f_{13}(O) & f_{13}(a) & f_{13}(p) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Trong đó : } f_{11} &= C_1 x + S_1 y \\ f_{12} &= -z \\ f_{13} &= -S_1 x + C_1 y \end{aligned}$$

Vế bên phải của (4-24) là :

$${}^1T_6 = \begin{pmatrix} C_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) - S_2S_5C_6 & -C_2(C_4C_5S_6 - S_4C_6) + S_2S_5S_6 & C_2C_4S_5 + S_2C_5 & S_2d_3 \\ S_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) + C_2S_5C_6 & -S_2(C_4C_5S_6 + S_4C_6) - C_2S_5S_6 & S_2C_4S_5 - C_2C_5 & -C_2d_3 \\ S_4C_5C_6 + C_4S_6 & -S_4C_5S_6 + C_4C_6 & S_4S_5 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Các phần tử của ma trận vế phải đều là hàm số của $\theta_2, d_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$ ngoại trừ phần tử ở hàng 3 cột 4, đó là :

$$f_{13}(p) = d_2$$

hay :

$$-S_1p_x + C_1p_y = d_2$$

Để giải phương trình ở dạng này ta có thể thay thế bởi các hàm lượng giác sau đây :

$$p_x = r \cos\Phi$$

$$p_y = r \sin\Phi$$

$$\begin{aligned} \text{Trong đó : } r &= +\sqrt{p_x^2 + p_y^2} \\ \Phi &= \arctg2(p_y, p_x) \end{aligned}$$

Thế p_x và p_y vào phương trình $-S_1p_x + C_1p_y = d_2$ ta có :

$$\sin\Phi \cos\theta_1 - \cos\Phi \sin\theta_1 = d_2 / r \quad \text{Với } 0 < d_2 / r \leq 1$$

$$\text{Hay là : } \sin(\Phi - \theta_1) = d_2 / r \quad \text{Với } 0 < \Phi - \theta_1 < \pi$$

Từ đó ta có :

$$\cos(\Phi - \theta_1) = \pm\sqrt{1 - (d_2 / r)^2}$$

Trong đó dấu trừ phù hợp với hình thể vai trái của robot và dấu cộng phù hợp với hình thể vai phải của robot. Cuối cùng :

$$\theta_1 = \arctg2(p_y, p_x) - \arctg2(d_2, \pm\sqrt{1 - (d_2 / r)^2}) \quad (4-29)$$

Nếu tính được θ_1 thì vế trái của phương trình (4-24) được xác định.

Cho cân bằng các phần tử ở hàng 1 cột 4 và hàng 2 cột 4, ta có :

$$S_2d_3 = C_1p_x + S_1p_y$$

$$-C_2d_3 = -p_z$$

d_3 là dịch chuyển dài của khớp tịnh tiến, $d_3 > 0$, nên ta có :

$$\theta_2 = \arctg2(C_1p_x + S_1p_y, p_z) \quad (4-30)$$

Từ phương trình (4-25) : $A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 = A_2^{-1} T_6 = {}^2T_6$, ta có :

$$\begin{pmatrix} f_{21}(n) & f_{21}(O) & f_{21}(a) & 0 \\ f_{22}(n) & f_{22}(O) & f_{22}(a) & 0 \\ f_{23}(n) & f_{23}(O) & f_{23}(a) & f_{23}(p) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & 0 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & 0 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-31)$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} f_{21} &= C_2(C_1 x + S_1 y) - S_2 z \\ f_{22} &= -S_1 x + C_1 y \\ f_{23} &= S_2(C_1 x + S_1 y) + C_2 z \end{aligned}$$

Từ cân bằng phân tử ở hàng 3 cột 4 ta có :

$$d_3 = S_2(C_1 p_x + S_1 p_y) + C_2 p_z \quad (4-32)$$

- Từ phương trình (4-27) ta có : $A_4^{-1} A_3^{-1} {}^2T_6 = {}^4T_6$

Thực hiện phép nhân các ma trận ở vế trái, và biểu diễn ở dạng rút gọn như sau

:

$$\begin{pmatrix} f_{41}(n) & f_{41}(O) & f_{41}(a) & 0 \\ f_{42}(n) & f_{42}(O) & f_{42}(a) & 0 \\ f_{43}(n) & f_{43}(O) & f_{43}(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_5 C_6 & -C_5 S_6 & S_5 & 0 \\ S_5 C_6 & -S_5 S_6 & C_5 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} f_{41} &= C_4[C_2(C_1 x + S_1 y) - S_2 z] + S_4(-S_1 x + C_1 y) \\ f_{42} &= -S_2(-S_1 x + C_1 y) - C_2 z \\ f_{43} &= -S_4[C_2(C_1 x + S_1 y) + S_2 z] + C_4(-S_1 x + C_1 y) \end{aligned}$$

Cân bằng phân tử hàng 3, cột 3 ta được một hàm số của θ_4 , đó là : $f_{43}(a) = 0$.

Hay :

$$-S_4[C_2(C_1 a_x + S_1 a_y) + S_2 a_z] + C_4(-S_1 a_x + C_1 a_y) = 0$$

Đây là phương trình lượng giác có dạng : $-\sin\Phi a_x + \cos\Phi a_y = 0$. Như đã giải trong các phần trước đây, phương trình này có hai nghiệm :

$$\left. \begin{aligned} \theta_4 &= \arctg 2(-S_1 a_x + C_1 a_y, C_2(C_1 a_x + S_1 a_y) + S_2 a_z) \\ \text{và} \quad \theta_4 &= \theta_4 + 180^\circ \end{aligned} \right\} \quad (4-33)$$

Nếu các yếu tố tử số và mẫu số của (4-33) tiến tới 0 thì robot rơi vào tình trạng suy biến như trường hợp đã nói ở mục 4.2.

Ta cũng có thể tìm giá trị của góc quay θ_4 bằng cách cân bằng các phân tử hàng 1 cột 3 và hàng 2 cột 3 của phương trình ma trận (4-31), ta có :

$$C_4 S_5 = C_2(C_1 a_x + S_1 a_y) - S_2 a_z$$

$$S_4 S_5 = -S_1 a_x + C_1 a_y$$

Với $\theta_5 > 0$ ta được $\theta_4 = \arctg(-S_1 a_x + C_1 a_y, C_2(C_1 a_x + S_1 a_y) + S_2 a_z)$

Với $\theta_5 < 0$ ta được $\theta_4 = \theta_4 + 180^\circ$

đúng như kết quả đã tìm (4-33).

Khi $S_5 = 0, \theta_5 = 0$. Robot có suy biến do cả hai trục của khớp 4 và 6 nằm thẳng hàng ($z_3 \equiv z_5$). ở vị trí này chỉ có tổng $\theta_4 + \theta_6$ là có ý nghĩa.

Khi $\theta_5 = 0$, ta có thể tự do chọn một giá trị của θ_4 . Thường giá trị hiện hành được sử dụng.

Từ vế phải của phương trình $A_4^{-1} A_3^{-1} {}^2T_6 = {}^4T_6 = A_5 A_6$ ta có thể có các phương trình của S_5, C_5, S_6 và C_6 bằng cách cân bằng các phần tử thích hợp. Chẳng hạn khi cân bằng các phần tử của ma trận hàng 1 cột 3 và hàng 2 cột 3 ta có :

$$S_5 = C_4 [C_2(C_1 a_x + S_1 a_y) - S_2 a_z] + S_4(-S_1 a_x + C_1 a_y)$$

$$C_5 = S_2 (C_1 a_x + S_1 a_y) + C_2 a_z$$

Từ đó suy ra :

$$\theta_5 = \arctg2(C_4 [C_2(C_1 a_x + S_1 a_y) - S_2 a_z] + S_4(-S_1 a_x + C_1 a_y), S_2 (C_1 a_x + S_1 a_y) + C_2 a_z) \quad (4-34)$$

Các phương trình có liên quan đến θ_6 nằm ở cột 1 của phương trình ma trận, đó là các thành phần của vectơ n của T_6 . Vectơ này thường không có ý nghĩa trong tính toán, ví nó luôn có thể được xác định bằng tích vectơ của hai vectơ O và a như đã nói trước đây ($\vec{n} = \vec{O} \times \vec{a}$). Do đó ta phải tìm cách khác để xác định θ_6 .

Thực hiện phép nhân các ma trận ở vế trái của phương trình (4-28) : $A_5^{-1} {}^4T_6 = {}^5T_6 = A_6$, biểu diễn ở dạng ký hiệu ta có :

$$\begin{pmatrix} f_{51}(n) & f_{51}(O) & 0 & 0 \\ f_{52}(n) & f_{52}(O) & 0 & 0 \\ f_{53}(n) & f_{53}(O) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-35)$$

Trong đó :

$$f_{51} = C_5 \{ C_4 [C_2(C_1 x + S_1 y) - S_2 z] + S_4(-S_1 x + C_1 y) \} + S_5[-S_2(C_1 x + S_1 y) - C_2 z]$$

$$f_{52} = -S_4 [C_2(C_1 x + S_1 y) - S_2 z] + C_4[-S_1 x + C_1 y]$$

$$f_{53} = S_5 \{ C_4 [C_2(C_1 x + S_1 y) - S_2 z] + S_4(-S_1 x + C_1 y) \} + C_5[S_2(C_1 x + S_1 y) - C_2 z]$$

Cho cân bằng các phần tử ở hàng 1 cột 2 và hàng 2 cột 2 ta nhận được các giá trị của S_6 và C_6 :

$$S_6 = -C_5 \{ C_4 [C_2(C_1 O_x + S_1 O_y) - S_2 O_z] + S_4(-S_1 O_x + C_1 O_y) \} + S_5[S_2(C_1 O_x + S_1 O_y) + C_2 O_z]$$

$$C_6 = -S_4 [C_2(C_1 O_x + S_1 O_y) - S_2 O_z] + C_4[-S_1 O_x + C_1 O_y]$$

$$\text{Từ đó ta xác định được : } \theta_6 = \arctg2(S_6, C_6) \quad (4-36)$$

Các biểu thức (4-29), (4-30), (4-32), (4-33), (4-34) và (4-36) xác định tệp nghiệm khi giải bài toán ngược của robot Stanford.

4.5. Giải bài toán động học ngược của robot ELBOW :

Để tiếp tục làm quen với việc giải hệ phương trình động học, chúng ta nghiên cứu phép giải bài toán động học ngược của robot Elbow. Hệ phương trình động học thuận của robot Elbow đã được xác định trong chương III.

Trước hết ta khảo sát phương trình :

$$A_1^{-1} T_6 = {}^1T_6 = A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$$

Tương tự như đã làm, ta xác định các phần tử ma trận của hai vế như sau :

$$\begin{pmatrix} f_{11}(n) & f_{11}(O) & f_{11}(a) & f_{11}(p) \\ f_{12}(n) & f_{12}(O) & f_{12}(a) & f_{12}(p) \\ f_{13}(n) & f_{13}(O) & f_{13}(a) & f_{13}(p) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{234}C_5C_6 - S_{234}S_6 & -C_{234}C_5S_6 - S_{234}C_6 & C_{234}S_5 & C_{234}a_4 + C_{23}a_3 + C_2a_2 \\ S_{234}C_5C_6 + C_{234}S_6 & -S_{234}C_5S_6 + C_{234}C_6 & S_{234}S_5 & S_{234}a_4 + S_{23}a_3 + S_2a_2 \\ -S_5C_6 & S_5S_6 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-37)$$

Trong đó : $f_{11} = C_1 x + S_1 y$

$$f_{12} = z$$

$$f_{13} = S_1 x + C_1 y$$

Ta đã ký hiệu : $C_{234} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$

$$S_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

Cho cân bằng phần tử ở hàng 3 cột 4, ta có :

$$S_1 p_x + C_1 p_y = 0$$

Suy ra :

$$\theta_1 = \arctg_2(p_y, p_x)$$

và

$$\theta_1 = \theta_1 + 180^0 \quad (4-38)$$

Trong trường hợp robot Elbow, ba khớp kế tiếp đều song song và không có kết quả nào nhận được từ phép nhân với những ma trận nghịch đảo A_i^{-1} . Cho đến khâu thứ 4 thì phép nhân với ma trận nghịch đảo mới có ý nghĩa.

$$A_4^{-1} A_3^{-1} A_2^{-1} T_6 = {}^4T_6 = A_5 A_6$$

Khi xác định các phần tử ma trận của hai vế ta được :

$$\begin{pmatrix} f_{41}(n) & f_{41}(O) & f_{41}(a) & f_{41}(p)-C_{34}a_2-C_4a_3-a_4 \\ f_{42}(n) & f_{42}(O) & f_{42}(a) & 0 \\ f_{43}(n) & f_{43}(O) & f_{43}(a) & f_{43}(p)+S_{34}a_2+S_4a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_5C_6 & -C_5S_6 & S_5 & 0 \\ S_5C_6 & -S_5S_6 & -C_5 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4-39)$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} f_{41} &= C_{234}(C_1 x + S_1 y) + S_{234} z \\ f_{42} &= -S_1 x + C_1 y \\ f_{43} &= -S_{234}(C_1 x + S_1 y) + C_{234} z \end{aligned}$$

Cân bằng phần tử hàng 3 cột 3 ta được một phương trình cho θ_{234} :

$$-S_{234}(C_1 a_x + S_1 a_y) + C_{234} a_z = 0$$

Suy ra :

$$\theta_{234} = \arctg2(a_z, C_1 a_x + S_1 a_y)$$

và $\theta_{234} = \theta_{234} + 180^0$ (4-40)

Bây giờ ta trở lại phương trình (4-37). Cân bằng các phần tử ma trận ở hàng 1 cột 4 và hàng 2 cột 4, ta có :

$$C_1 p_x + S_1 p_y = C_{234}a_4 + C_{23}a_3 + C_2a_2 \quad (a)$$

$$p_z = S_{234}a_4 + S_{23}a_3 + S_2a_2 \quad (b)$$

Ta gọi : $p'_x = C_1 p_x + S_1 p_y - C_{234}a_4$ (c)

$$p'_y = p_z - S_{234}a_4 \quad (d)$$

Đem (a) + (c) và (b) + (d) ta được ;

$$p'_x = C_{23} a_3 + C_2 a_2 \quad (e)$$

$$p'_y = S_{23} a_3 + S_2 a_2 \quad (g)$$

Bình phương hai vế và cộng hai phương trình (e) và (g), ta có :

$$p'^2_x = (C_{23} a_3 + C_2 a_2)^2$$

$$p'^2_y = (S_{23} a_3 + S_2 a_2)^2$$

$$p'^2_x + p'^2_y = (S^2_{23} + C^2_{23})a^2_3 + (S^2_2 + C^2_2)a^2_2 + 2 a_2 a_3 (C_{23}C_2 + S_{23}S_2)$$

Ta có $C_{23}C_2 + S_{23}S_2 = \cos(\theta_2 + \theta_3 - \theta_2) = \cos\theta_3 = C_3$. Nên suy ra :

$$+ C_3 = (p'^2_x + p'^2_y - a^2_3 - a^2_2) / 2a_2 a_3$$

Trong khi cố thể tìm θ_3 từ hàm arccos, ta vẫn nên tìm một giá trị S_3 và dùng hàm arctg2 như thường lệ :

Ta có : $S_3 = \pm\sqrt{1-C^2_3}$

Cặp nghiệm ứng với hai dấu +, - phù hợp với hình thể của robot lúc nâng vai lên và hạ vai xuống :

$$\theta_3 = \arctg2(S_3, C_3) \quad (4-41)$$

Để tìm S_2 và C_2 ta giải hệ phương trình (e),(g).

$$\text{Từ (e)} \Rightarrow (C_2C_3 - S_2S_3)a_3 + C_2a_2 = p'_x$$

$$\text{Từ (g)} \Rightarrow (S_2C_3 - C_2S_3)a_3 + S_2a_2 = p'_y$$

Khai triển và rút gọn :

$$\text{Từ (g)} \Rightarrow (C_3a_3 + a_2)C_2 - S_3a_3.S_2 = p'_x$$

$$\text{Từ (e)} \Rightarrow S_3a_3.C_2 + (C_3a_3 + a_2)S_2 = p'_y$$

Ta có :

$$\Delta = \begin{vmatrix} C_3a_3 + a_2 & -S_3a_3 \\ S_3a_3 & C_3a_3 + a_2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_c = \begin{vmatrix} p'_x & -S_3a_3 \\ p'_y & C_3a_3 + a_2 \end{vmatrix} \quad \Delta_s = \begin{vmatrix} C_3a_3 + a_2 & p'_x \\ S_3a_3 & p'_y \end{vmatrix}$$

$$C_2 = \frac{\Delta_c}{\Delta} = \frac{(C_3a_3 + a_2)p'_y - S_3a_3p'_x}{(C_3a_3 + a_2)^2 + (S_3a_3)^2}$$

$$S_2 = \frac{\Delta_s}{\Delta} = \frac{(C_3a_3 + a_2)p'_x + S_3a_3p'_y}{(C_3a_3 + a_2)^2 + (S_3a_3)^2}$$

Do mẫu số dương và bằng nhau, nên ta có :

$$\theta_2 = \arctg2(S_2, C_2)$$

$$\theta_2 = \arctg2((C_3a_3 + a_2)p'_y - S_3a_3p'_x, (C_3a_3 + a_2)p'_x + S_3a_3p'_y) \quad (4-42)$$

Đến đây θ_4 được xác định bởi :

$$\theta_4 = \theta_{234} - \theta_3 - \theta_2 \quad (4-43)$$

Các phương trình dùng để tính θ_5 được thiết lập từ sự cân bằng các phần tử ma trận hàng 1 cột 3 và hàng 2 cột 3 của phương trình 4T_6 (4-39) :

$$S_5 = C_{234}(C_1a_x + S_1a_y) + S_{234}a_z$$

$$C_5 = S_1a_x - C_1a_y$$

Suy ra :

$$\theta_5 = \arctg2(C_{234}(C_1a_x + S_1a_y) + S_{234}a_z, S_1a_x - C_1a_y) \quad (4-44)$$

Để tìm θ_6 , ta tiếp tục nhân A^{-1}_5 với 4T_6 , ta được : $A^{-1}_5 \cdot {}^4T_6 = A_6$.

Viết tích ma trận về trái ở dạng ký hiệu :

$$\begin{pmatrix} f_{51}(n) & f_{51}(0) & 0 & 0 \\ f_{52}(n) & f_{52}(0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} f_{51} &= C_5[C_{234}(C_1 x + S_1 y) + S_{234} z] - S_5(S_1 x + C_1 y) \\ f_{52} &= -S_{234}(C_1 x + S_1 y) + C_{234} z \end{aligned}$$

Cho cân bằng các phần tử ma trận tương ứng, ta có :

$$\begin{aligned} S_6 &= -C_5[C_{234}(C_1 O_x + S_1 O_y) + S_{234} O_z] - S_5(S_1 O_x + C_1 O_y) \\ C_6 &= -S_{234}(C_1 O_x + S_1 O_y) + C_{234} O_z \end{aligned}$$

Vậy :

$$\theta_6 = \arctg2(S_6, C_6) \quad (4-45)$$

Các phương trình (4-38), (4-41), (4-42), (4-43), (4-44) và (4-45) xác định tệp nghiệm khi giải bài toán động học ngược của robot Elbow.

4.6. Kết luận :

Phương pháp giải bài toán động học ngược đưa ra trong chương này sử dụng các hàm lượng giác tự nhiên. Các góc thường được xác định thông qua hàm arctang hai biến. Phương pháp này được đưa ra bởi Pieper và áp dụng tốt với những robot đơn giản, Thường ta nhận được nghiệm ở dạng công thức đơn giản.

Khi giải bài toán động học ngược có thể xảy ra hiện tượng “suy biến” . Khi có nhiều hơn một tệp nghiệm đối với bài toán ngược để xác định vị trí và hướng của bàn tay, thì cánh tay được gọi là suy biến.

Dùng phương pháp Pieper, các nghiệm nhận được thường có 4 dạng công thức, mỗi dạng có một ý nghĩa động học riêng. Dạng thứ nhất :

$$- \sin\Phi a_x + \cos\Phi a_y = 0$$

Dạng này cho ta một cặp nghiệm cách nhau 180^0 , nó mô tả hai hình thể tương ứng của robot. Nếu các tử số và mẫu số đều bằng không, robot bị suy biến, lúc đó robot mất đi một bậc tự do.

Dạng thứ hai : $-S_1 p_x + C_1 p_y = d_2$

Dạng này cũng cho ta cặp nghiệm sai khác nhau 180^0 , một lần nữa lại tồn tại khả năng suy biến khi tử số và mẫu số bằng 0. Robot ở trường hợp này thường có một khớp tịnh tiến và độ dài tịnh tiến được coi là > 0 .

Dạng thứ ba : $C_1 p_x + S_1 p_y = S_2 d_3$
và dạng thứ tư : $- C_2 d_3 = - p_z$

Các phương trình này thường có nghiệm duy nhất. Ngoài các dạng phổ biến, khi t có θ_2 hay nhiều khớp song song (Ví dụ robot Elbow), các góc của từng khớp phải được định bằng cách giải đồng thời nhiều khớp trong mỗi hệ tọa độ các góc khớp.

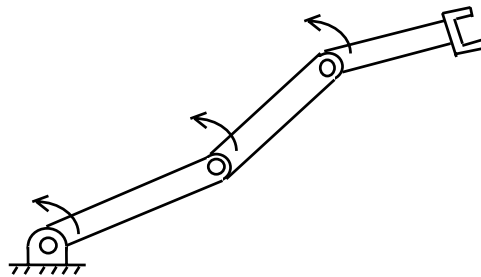
Tìm ra các nghiệm phù hợp với vị trí và hướng của robot (vị trí và hướng) là một trong những vấn đề khó khăn nhất của robot. Tuy nhiên phương pháp đưa ra trong chương này đã thiết lập được các nghiệm số ở dạng tường minh, trực tiếp.

Hình 4.3 : Hệ tọa độ và các thông số của robot 2 khâu phẳng

Khi lập trình điều khiển robot ta phải dựa vào các giới hạn vật lý để chọn các nghiệm vật lý, nghĩa là loại trừ các nghiệm toán không thích hợp để xác định một cấu hình duy nhất của robot.

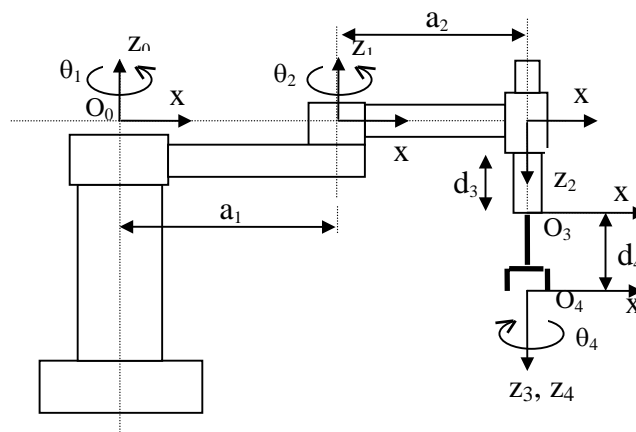
BÀI TẬP CHƯƠNG IV :

Bài 1 : Cho một vị trí mong muốn của khâu chấp hành cuối của robot có 3 khâu phẳng như hình 4.2, Dùng phương pháp hình học để xác định có bao nhiêu lời giải của bài toán động học ngược ? Nếu hướng của khâu chấp hành cuối cũng được xác định, thì có bao nhiêu lời giải ?



Bài 2 : Dùng phương pháp hình học để giải bài toán động học ngược (xác định các góc θ_1, θ_2) của robot có hai khâu như Hình 4.2 : Robot cấu hình RRR

Bài 3 : Thiết lập hệ phương trình động học của robot SCARA (hình 4.4) và giải bài toán động học ngược của nó.



Hình 4.4 : Robot SCARA

CHƯƠNG V

NGÔN NGỮ LẬP TRÌNH ROBOT (*Robot Programming Languages*)

5.1. Giới thiệu chung về lập trình điều khiển robot :

Lập trình điều khiển robot thể hiện mối quan hệ giữa người điều khiển và robot công nghiệp. Tính phức tạp của việc lập trình càng tăng khi các ứng dụng công nghiệp đòi hỏi sử dụng đồng thời nhiều robot với các máy tự động khả lập trình khác tạo nên hệ thống sản xuất tự động linh hoạt.

Robot khác với các máy tự động cố định ở tính “linh hoạt”, nghĩa là có thể lập trình được (Programmable : khả lập trình). Không những chỉ có các chuyển động của robot mà ngay cả việc sử dụng các cảm biến cũng như những thông tin quan hệ với máy tự động khác trong phân xưởng cũng có thể lập trình. Robot có thể dễ dàng thích nghi với sự thay đổi của nhiệm vụ sản xuất bằng cách thay đổi chương trình điều khiển nó.

Khi xem xét vấn đề lập trình cho robot, chúng ta nên nhớ rằng robot là một thành phần của một quá trình được tự động hoá. Thuật ngữ, **workcell** được dùng để mô tả một tập hợp các thiết bị mà nó bao gồm một hoặc nhiều robot, hệ thống băng chuyền, các cơ cấu cấp phôi và đồ gá. Ở mức cao hơn, Workcell có thể được liên kết trong mạng lưới các phân xưởng vì thế máy tính điều khiển trung tâm có thể điều khiển toàn bộ các hoạt động của phân xưởng. Vì vậy, việc lập trình điều khiển robot trong thực tế sản xuất cần phải được xem xét trong mối quan hệ rộng hơn.

Để bước đầu làm quen với việc lập trình điều khiển robot, chương này cũng giới thiệu tóm tắt phương pháp lập trình điều khiển robot TERGAN-45 thông qua ngôn ngữ ASPECT của phần mềm Procomm Plus for Window

5.2. Các mức lập trình điều khiển robot :

Người sử dụng có thể có nhiều kiểu giao diện lập trình điều khiển robot. Trước sự phát triển nhanh chóng của các loại máy vi tính dùng trong công nghiệp và các ngôn ngữ lập trình ngày càng có nhiều tiện ích cao, việc lập trình điều khiển robot ngày càng dễ dàng và thuận tiện hơn.

5.2.1. Lập trình kiểu “Dạy - Học” :

Các robot thế hệ đầu tiên đã được lập trình bằng một phương pháp mà chúng ta gọi là : dạy bằng chỉ dẫn (Teach by showing), robot được điều khiển để di chuyển đến các điểm mong muốn và các vị trí đó được ghi lại trong bộ nhớ của máy tính, sau đó các dữ liệu sẽ được đọc tuần tự và robot thực hiện lại các động tác đã được học. Để dạy robot, người sử dụng có thể hướng dẫn robot bằng tay hoặc thông qua một thiết bị dạy học gọi là Teach pendant. Thiết bị dạy học gồm một hộp nhỏ cầm tay (teaching box) có các nút bấm và card điều khiển mà nó cho phép điều khiển các khớp của robot đạt được các giá trị mong muốn.

5.2.2. Dùng các ngôn ngữ lập trình :

Cùng với quá trình phát triển ngày càng rõ hơn và mạnh hơn của máy tính,, chương trình điều khiển robot được phát triển theo hướng viết các chương trình bằng các ngôn ngữ lập trình của máy tính. Thường các ngôn ngữ lập trình này có những đặc điểm mà chúng ta có thể ứng dụng để viết các phần mềm hay chương trình điều khiển robot, và chúng được gọi là “ngôn ngữ lập trình robot”. Hầu hết các hệ thống điều khiển dùng ngôn ngữ lập trình robot vẫn duy trì kiểu giao diện Teach pendant (dạy- học).

Ngôn ngữ lập trình robot có nhiều dạng khác nhau. Chúng ta phân chúng thành ba loại như sau :

a) Ngôn ngữ robot chuyên dùng : những ngôn ngữ lập trình robot này được xây dựng bằng cách tạo ra một ngôn ngữ mới hoàn toàn. Cú pháp (Syntax) và ngữ nghĩa (Semantics) của các ngôn ngữ này cần phải rất đơn giản vì người lập trình cho các ứng dụng công nghiệp không phải là một chuyên gia về lập trình. Ví dụ như ngôn ngữ VAL (VAL 2) được dùng để điều khiển các robot công nghiệp của hãng Unimation (Hoa kỳ); hoặc một ngôn ngữ robot chuyên dùng khác gọi là AL được xây dựng ở Đại học Stanford (hoa kỳ)...

b) Tạo ra các thư viện robot cho một ngôn ngữ lập trình cấp cao đã có sẵn : Những ngôn ngữ lập trình robot này được xây dựng bằng cách dựa trên các ngôn ngữ lập trình cấp cao thông dụng (ví dụ như Pascal) và thêm vào một thư viện các thủ tục và hàm đặc biệt dùng cho robot. Khi viết các chương trình Pascal để điều khiển robot, người sử dụng sẽ gọi các hàm hoặc thủ tục đã định nghĩa trước trong thư viện để xử lý các nội dung có liên quan đến việc tính toán hoặc điều khiển robot.

Ví dụ PASRO (Pascal for Robot) là một thư viện dùng cho lập trình robot, cung cấp nhiều thủ tục và hàm đặc biệt để tính toán và điều khiển robot dùng trong môi trường ngôn ngữ Turbo Pascal, hoặc PASRO/C là phát triển của PASRO, nhưng được viết trên cơ sở của ngôn ngữ Turbo C.

c) Tạo ra các thư viện robot cho một ngôn ngữ hoặc phần mềm đa dụng (Robot library for a new general - purpose language) : Những ngôn ngữ lập trình robot này được xây dựng bằng cách sử dụng các ngôn ngữ hoặc phần mềm dùng

chung cho nhiều mục đích như là một chương trình cơ bản, sau đó cung cấp thêm một thư viện chứa các thủ tục đặc biệt dùng cho robot. Ví dụ như ngôn ngữ lập trình robot AML của hãng IBM và RISE của hãng Silma, ngôn ngữ Aspect của phần mềm Procomm Plus ...

5.2.3. Ngôn ngữ lập trình theo nhiệm vụ (Task-level programming language)

Mức thứ ba của phương pháp lập trình robot là tạo ra các ngôn ngữ lập trình theo nhiệm vụ. Những ngôn ngữ này cho phép người sử dụng ra các lệnh để robot thực hiện một công việc mong muốn một cách trực tiếp mà không cần xác định một cách chi tiết các hoạt động của robot như các ngôn ngữ lập trình thông thường. Một hệ thống lập trình robot theo nhiệm vụ phải có khả năng thể hiện nhiều công việc một cách tự động. Chẳng hạn, nếu một chỉ thị "Grasp the bolt" (cầm lấy bulong) được tạo ra, hệ thống phải vạch ra được một quỹ đạo của tay máy mà nó tránh được sự va chạm với bất kỳ chướng ngại vật nào chung quanh, chọn được vị trí tốt nhất để cầm lấy bulong một cách tự động. Ngược lại, trong ngôn ngữ lập trình robot thông thường tất cả những sự lựa chọn này phải được thực hiện bởi người lập trình. Trong thực tế, ngôn ngữ lập trình theo nhiệm vụ chưa được dùng trong sản xuất, nó còn là một lĩnh vực đang được nghiên cứu.

Sau đây ta sẽ nghiên cứu một phần mềm đa dụng dùng truyền dữ liệu và điều khiển thiết bị có thể dùng để điều khiển robot.

5.3. Giới thiệu tóm tắt phần mềm Procomm Plus For Windows :

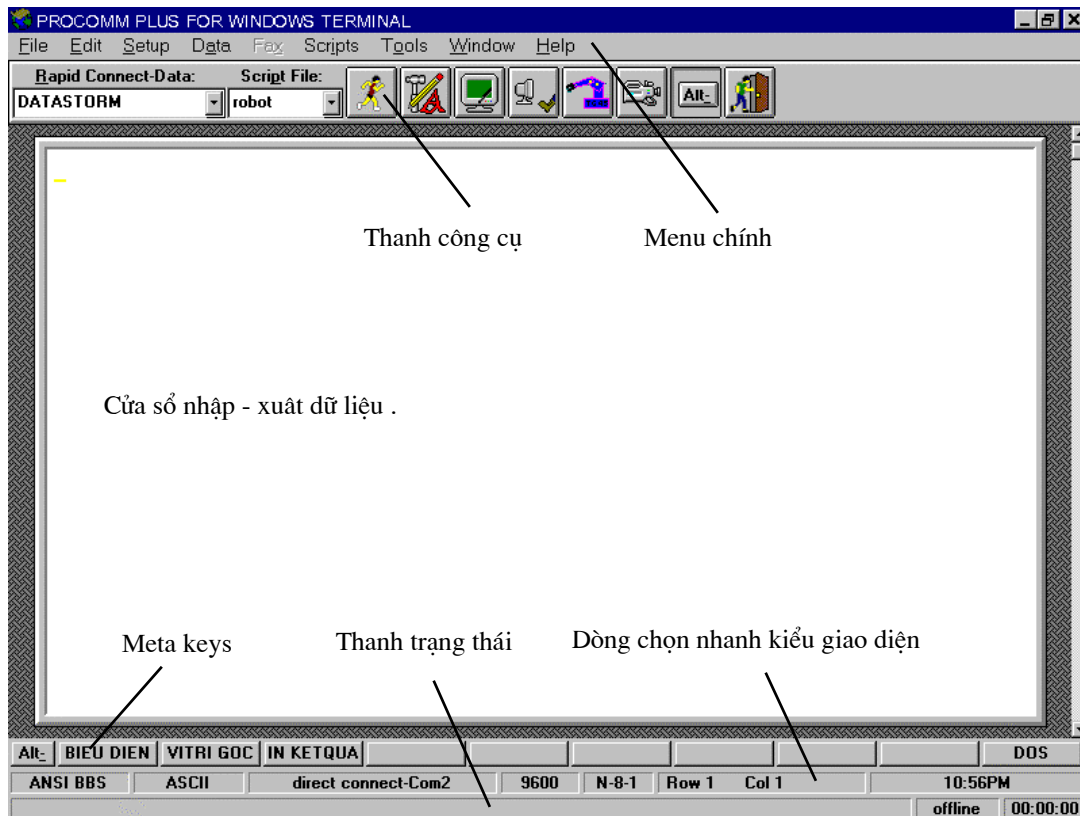
Procomm Plus là phần mềm dùng để truyền dữ liệu và điều khiển trực tiếp các thiết bị qua cổng COM của máy tính cá nhân. Với Procomm Plus ta có thể sử dụng máy tính như một Terminal hoặc thực hiện các Scrip files viết bằng ngôn ngữ lập trình Aspect.

Để chạy phần mềm Procomm Plus ở chế độ Terminal ta có thể dùng một số cách sau :

- a) Sử dụng Desktop Windows : Ấn đúp chuột trên biểu tượng của Procomm Plus terminal Windows.
- b) Từ mục **Run...** trong Start của Windows, gõ lệnh : **pw3** , chọn **OK**.
- c) Vào **Start** của Windows, chọn **Programs**, chọn **Procomm Plus 3**, chọn **Data Terminal...**

Menu chính của Procomm Plus có nhiều tiện ích, rất thuận tiện khi điều khiển các thiết bị giao diện với máy tính kiểu RS 232.

Cửa sổ chính của phần mềm Procomm plus ở chế độ Terminal như hình 5.1.



Hình 5.1 : Cửa sổ chính của Procomm Plus for Windows, Version 3.0

Menu chính : Cung cấp các tiện ích cần thiết trong quá trình sử dụng, menu chính có các menu kéo xuống (Pull-down) tương tự như nhiều phần mềm thông dụng khác. Nội dung của Menu chính có thể thay đổi được theo mục đích sử dụng.

Một số nội dung của menu chính có thể dùng trong quá trình điều khiển robot như sau :

Menu **Setup** : Dùng để xác định cấu hình của Terminal Windows và chế độ giao diện giữa máy tính với thiết bị. Trong menu này còn có thể sử dụng mục con *Action Bars* để chọn file chứa nội dung của thanh công cụ và cho thể hiện trên màn hình.

Menu **Data** : Trong menu này ta có thể dùng các menu con sau :


- + *Clear screen* (Alt+C): Xoá màn hình nhập xuất dữ liệu;
- + *Reset terminal* (Alt+U): Xoá màn hình và bộ đệm (buffer) của Procomm.

Procomm.

Menu **Scripts** : Trong menu này ta có thể dùng các menu con sau :

- + *Start scrips* (Alt+.) : Thực hiện một Aspect scrips file, có tên được thể hiện trên thanh công cụ.
- + *Run...* (Alt+F5) : Mở hộp hội thoại **Run ASPECT file** , chúng ta có thể chọn tên file, thực hiện việc dịch các file nguồn trước khi chạy chương trình.
- + *Compile / Edit...* (Alt+F3) : Mở hộp hội thoại soạn thảo và dịch các file nguồn.

+ *Start recorder...* : bắt đầu tự động tạo ra một scripts file bằng các ghi lại tất cả các lệnh thể hiện trên màn hình (nhập từ bàn phím). Khi chọn mục này sẽ xuất hiện mục *Stop recorder*, dùng khi muốn kết thúc việc ghi tự động scripts file.

Có thể chọn mục này trên thanh công cụ bằng cách ấn chuột vào biểu tượng .

Menu **Tools** : Trong menu này ta có thể dùng các menu con sau :

+ *Action bar Edition* : Dùng để soạn thảo hay thay đổi nội dung thanh công cụ cho phù hợp với mục đích sử dụng.

+ *Aspect Editor* : Mở cửa sổ để soạn thảo script files bằng ngôn ngữ Aspect, chúng ta có thể tạo mới, xem hoặc sửa đổi nội dung của một file (dạng Text).

+ *Dialog Editor* : Mở cửa sổ soạn thảo hộp hội thoại, cho phép ta tạo ra các hộp hội thoại bằng phương pháp trực quan (Visual).

Thanh công cụ (Tool bar) : có nhiều Icon (biểu tượng) giúp người sử dụng có thể thực hiện nhanh một công việc bằng cách bấm chuột trên biểu tượng tương ứng, thay vì phải vào Menu chính. Nội dung của thanh công cụ cũng có thể thay đổi dễ dàng để phù hợp với mục đích sử dụng (mục *Action bar Edition*).

Cửa sổ nhập - xuất dữ liệu : là phần màn hình để người sử dụng nhập vào các dữ liệu, các lệnh điều khiển và các thể hiện thông báo trả về từ các thiết bị được điều khiển.

Meta Keys : Dùng để cài đặt sẵn các ứng dụng thường hay thực hiện. Nội dung của các Meta Keys có thể thay đổi được để phù hợp với từng mục đích sử dụng. Khi muốn thực hiện một công việc đã gán cho Meta Key chỉ cần ấn chuột vào Meta key đó. Muốn soạn thảo hay thay đổi nhiệm vụ của Meta Keys ta thực hiện như sau :

Cách 1 : Ấn phím ALT+M .

Cách 2 : Chọn mục *Meta Keys Editor* từ **Tool** menu .

Dòng chọn nhanh kiểu giao diện : Cho phép người sử dụng chọn nhanh kiểu thông số giao diện giữa thiết bị điều khiển và máy tính như : cổng giao diện, tốc độ truyền thông tin, kiểu xử lý dữ liệu ... bằng cách ấn nút chuột trái lên các mục.

5.4. Ngôn ngữ lập trình ASPECT trong Procomm :


5.4.1. Giới thiệu :

Một ASPECT script file là một file dạng text được tạo ra để chứa các lệnh được thực hiện bởi Procomm Plus.

Giống như nhiều ngôn ngữ lập trình khác, ASPECT yêu cầu phải dịch chương trình soạn thảo. Một script file chưa dịch, hay còn gọi là file nguồn, có đuôi là **.was** (Windows Aspect Source); còn một script file đã dịch có đuôi là **.wax** (Windows Aspect eXecutable). Khi một script đã được dịch, thì các dữ liệu và các câu lệnh chứa trong file nguồn sẽ được chuyển sang mã mà Procomm có thể đọc và xử lý một cách nhanh chóng. Sau khi dịch thì file dịch (.wax) có kích thước nhỏ hơn so với file nguồn.

Tóm lại : một script file phải được dịch trước khi có thể thực hiện. Một file đã được dịch không thể dịch ngược trở lại thành file nguồn.

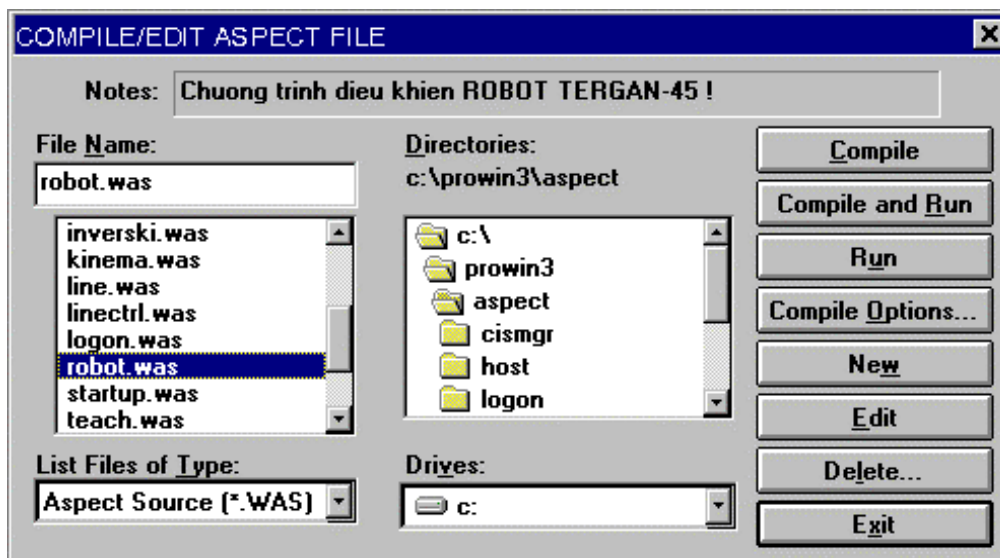
Chúng ta có thể tạo mới và soạn thảo file nguồn (.was) bằng trình ASPECT Editor hay bất kỳ một trình soạn thảo dạng text nào khác, nhưng phải đặt tên tệp có đuôi là . was.

Để tạo mới một file nguồn hoặc thay đổi bổ sung nội dung của một file đã có, từ menu chính của Procomm, chọn **Scripts | Compile/Edit...** hoặc ấn chuột vào biểu tượng  trên thanh công cụ. Hộp hội thoại dùng để soạn thảo và dịch các script files như hình 5.3.

Muốn tạo một file mới ta chọn nút lệnh **New**; muốn sửa đổi nội dung một file đã có (tên file đã chọn trước trong mục *File name*) ta chọn nút lệnh **Edit**; muốn thoát khỏi của sổ soạn thảo ta chọn nút lệnh **Exit**.

Khi chọn nút lệnh New hoặc Edit, trên màn hình sẽ xuất hiện của sổ soạn thảo để ta viết hoặc sử dụng chương trình.

Sau khi soạn thảo xong, muốn ghi vào đĩa ta chọn **File | Save** hoặc **File | Save as ...** Ta cũng có thể chọn biểu tượng “Ghi và dịch” (Save and Compile) trên thanh công cụ để ghi vào đĩa đồng thời dịch thành file .wax.




Hình 5.3 : Cửa sổ soạn thảo và dịch các script file

Để chạy một Aspect script file có thể thực hiện bằng nhiều cách :

+ Chọn mục **Script** trên Menu chính, tiếp theo chọn mục **Run...** Lúc này sẽ xuất hiện hộp hội thoại để chọn file muốn thực hiện.

+ Ấn chuột trên mục **Script file** của thanh công cụ, sau đó chọn tên file muốn thực hiện.

Nếu một file đã chạy, tên vẫn còn trong mục Script file, muốn chạy lại thì ấn chuột vào biểu tượng  trên thanh công cụ.

+ Có thể chạy một script file từ của sổ Compile/Edit ASPECT file (Chọn mục RUN) (hình 5.3).

5.4.2. Kiểu dữ liệu và khai báo biến trong ASPECT :

a) Kiểu dữ liệu : ASPECT cung cấp các kiểu dữ liệu như sau :

integer (kiểu nguyên) : Có giá trị từ -32768 đến 32767.

float (kiểu số thực) : Có giá trị từ 2.22507385072014e-308 đến
1.797693134862315e+308.

long (kiểu nguyên dài) : Có giá trị từ -2147483648 đến 2147483647.

String (kiểu chuỗi) : Có thể chứa từ 0 đến 256 ký tự.

Tất cả tên của các phân tử trong ASPECT, như tên từ lệnh, tên hàm và thủ tục, tên nhãn (label) và biến ... có chiều dài không quá 30 ký tự.

b) Các loại biến : Trong ASPECT có các loại biến sau :

+ *Biến hệ thống* : Biến hệ thống là các biến “chỉ đọc” (read-only) mà ASPECT và Procomm Plus có thể ấn định các giá trị đặc biệt.

Ví dụ : chúng ta không thể thay đổi giá trị của biến hệ thống \$ROW mà nó luôn luôn bằng vị trí dòng hiện tại của con trỏ trên màn hình, ta chỉ có thể đọc giá trị của nó bất kỳ nơi nào trong chương trình và xử lý khi cần thiết. Biến hệ thống luôn có dấu \$ ở đầu.

+ *Biến do người dùng định nghĩa* , có hai loại :

- *Biến toàn cục (Global variables)* : Biến toàn cục có thể được định nghĩa ở bất kỳ nơi nào trong chương trình nhưng phải ở bên ngoài các khối Thủ tục và Hàm. Phổ biến , các biến toàn cục thường được khai báo ở đầu chương trình. Biến toàn cục có thể được tham chiếu đến từ bất cứ hàm hay thủ tục nào của chương trình, Nếu một thủ tục hoặc hàm làm thay đổi giá trị của một biến toàn cục thì giá trị đó vẫn được duy trì cho đến khi nào có một lệnh khác làm thay đổi giá trị của nó.

- *Biến địa phương (Local variables)* : Không giống như biến toàn cục, biến địa phương chỉ được tham khảo đến trong phạm vi của thủ tục và hàm mà nó được định nghĩa. Giá trị của nó sẽ bị xoá khi ra khỏi thủ tục và hàm đó. Ta có thể đặt tên các biến địa phương giống nhau trong các thủ tục và hàm khác nhau của chương trình, nhưng điều đó không có nghĩa là giá trị của biến được ghi nhớ giữa các thủ tục hoặc hàm khác nhau.

+ *Tham biến (Parameter variables)*:

Bất cứ thủ tục nào, ngoại trừ chương trình chính (Proc main) đều có thể khai báo (định nghĩa) đến 12 tham biến. Các tham biến tương tự như các biến địa phương, nghĩa là nó chỉ được tham chiếu đến trong phạm vi thủ tục hoặc hàm mà nó được định nghĩa, tuy nhiên khác với biến địa phương, các tham biến nhận các giá trị ban đầu một cách tự động khi các thủ tục hoặc hàm được gọi, các giá trị sử dụng được cung cấp bởi câu lệnh gọi. Các tham biến phải được khai báo ở đầu mỗi thủ tục hoặc hàm, trước bất cứ lệnh nào hoặc các biến địa phương. Một tham biến được khai báo

giống như biến địa phương. Thứ tự mà các tham biến được định nghĩa xác định thứ tự mà chúng sẽ được gọi bởi các thủ tục hoặc hàm.

c) Khai báo (định nghĩa) các biến : Tất cả các loại biến dùng trong chương trình phải được khai báo (định nghĩa) trước. Nếu các biến có cùng kiểu dữ liệu, ta có thể khai báo trên một dòng cách nhau bởi dấu phẩy (,).

Ví dụ :

Integer sokhop, Tong, i = 1

Float Goc

Integer A[4][4]

Trong ví dụ trên ta khai báo các biến : sokhop, Tong, i là các biến nguyên, trong đó biến i được gán giá trị ban đầu là 1. Goc là biến thực. A là biến mảng (array) có kích thước 4x4 , các phần tử của mảng kiểu nguyên.

Cách khai báo tham biến trong thủ tục và hàm như sau :

param (kiểu dữ liệu) (tên) [, tên] . . .

Ví dụ : param Integer X, Y, Z

Chương trình ví dụ :

; Vi du ve khai bao bien.

Proc main

integer A,B,C

integer Tong

A=2, B=4, C=8

Tong = Sum(A,B,C)

Usermsg " Tong = %d." Tong

Endproc

; Chương trình chính.

; Khai báo 3 biến nguyên.

; Tổng của 3 số (biến nguyên).

; Gán giá trị cho các biến.

; Gọi hàm Sum để cộng các số.

; Cho hiện tổng của các số lên màn hình

; Hết chương trình chính.

Func Sum : Integer

Param integer X, Y, Z

integer Tong

Tong= X+Y+Z

return Tong

Endfunc

; Định nghĩa hàm Sum để tính tổng.

; Khai báo các tham biến kiểu nguyên.

; Khai báo biến Tong (biến địa phương).

; Tổng của 3 số.

; Trả về giá trị của tổng của 3 số.

; hết phần định nghĩa hàm

(Ghi chú : dấu ";" dùng để ghi chú trong chương trình, các nội dung sau dấu ";" " không được dịch).

5.4.3. Cấu trúc của chương trình :

Cấu trúc chương trình của một ASPECT script file gần giống như một file viết bằng ngôn ngữ Pascal, nghĩa là có một chương trình chính và các thủ tục hoặc hàm khác. Chỗ khác nhau cơ bản là chương trình chính được viết trước, chương trình chính có thể gọi đến các hàm hoặc thủ tục được định nghĩa sau đó.

Trong chương trình chính không được khai báo các tham biến. Khi thực hiện chương trình, nó sẽ lần lượt thực hiện các lệnh từ dòng đầu tiên đến hết chương trình.

Khi kết thúc một hàm hoặc thủ tục được gọi, nó tự động trả về dòng lệnh tiếp theo. Cấu trúc chung của một chương trình như sau :

; Dòng đầu tiên dùng ghi chú về nội dung chương trình, dòng này sẽ thể hiện trong
; hộp hội thoại Compile/Edit để người sử dụng để nhận biết về nội dung của chương
; trình.

Proc main ; bắt đầu chương trình chính
(Khai báo biến)
(các câu lệnh thể hiện nội dung chương trình)

.....

Endproc ; hết chương trình chính.

Proc (tên thủ tục) ; Bắt đầu một thủ tục
(khai báo các tham biến nếu có)
(khai báo các biến địa phương)
(các câu lệnh thể hiện nội dung thủ tục)

.....

Endproc ; hết một thủ tục

Func (tên hàm) ; Bắt đầu một hàm
(khai báo các tham biến nếu có)
(khai báo các biến địa phương)
(các câu lệnh thể hiện nội dung của hàm)

.....

return (biến) ; trả giá trị của biến về thủ tục gọi

Endproc ; kết thúc hàm

5.4.4. Một số phép tính dùng trong ASPECT :

ASPECT sử dụng nhiều phép tính số học và logic khác nhau, dưới đây giới thiệu một số phép tính hay dùng :

+, -, *, /	Phép toán cộng, trừ, nhân, chia.
>, <, >=, <=	Lớn hơn, nhỏ hơn, lớn hơn hoặc bằng, nhỏ hơn hoặc bằng.
!=	Khác với
!	NOT
&&	AND
	OR
++, --	Tăng hoặc giảm một đơn vị.
?:	Thực hiện một điều kiện
.v.v...	

Ví dụ 1 : Cho A=2, B=4

A+B-- = 6 : A được cộng với B trước, và rồi B giảm đi 1 (B=3).

A+ --B = 5 : Trước tiên B giảm đi 1, sau đó cộng A với B.

Ví dụ 2 :

```

Proc main
    integer A,B,C,D
    integer Tong
    A=2, B=4
    C=A+B
    Tong = A+ --B
    D=(tong < C) ? tong : C ; nếu Tong < C thì D=Tong, nếu sai D=C
    Usermsg " D = %d , C = %d" D,C
Endproc

```

Kết quả D = 5 và C = 6.

5.4.5. Một số từ lệnh trong ASPECT hay dùng khi điều khiển robot:

Ngôn ngữ ASPECT có hơn 600 từ lệnh, dùng với nhiều mục đích khác nhau. Phần này chỉ giới thiệu sơ lược một số lệnh hay dùng khi lập trình điều khiển robot.

Người đọc có thể sử dụng mục Help trên menu cửa sổ soạn thảo để biết thêm chi tiết.

* Các lệnh căn bản :

call :

Gọi một thủ tục hoặc hàm từ chương trình chính hoặc từ một thủ tục khác.

Cú pháp :

Khi gọi một hàm :

call <tên> [WITH <danh sách tham biến>] [INTO <biến>]

Khi gọi một thủ tục :

call <tên> [WITH <danh sách tham biến>]

tên : tên thủ tục hoặc hàm được gọi.

Danh sách tham biến : Tên các tham biến trong thủ tục hoặc hàm.

INTO <biến> : Chỉ dùng khi gọi một hàm, biến sẽ chứa giá trị trả lại của hàm.

case/endcase :

Câu lệnh lựa chọn, dùng với từ lệnh **Switch**.

Cú pháp :

switch <biến> (string | integer | long)

case <giá trị so sánh> (string | integer | long)

...

[exitswitch] ; thoát khỏi khối lệnh switch không điều kiện.

...

[endcase]

[default]

; thực hiện khi các trường hợp so sánh

...

endcase

đều không đúng.

```

                                endswitch
Ví dụ :
proc main
integer Alpha = 2                ; gán giá trị ban đầu cho biến Alpha=2.

switch Alpha                    ; tìm giá trị của biến số
case 0                          ; Trường hợp biến có giá trị bằng 0.
  usermsg "Alpha = 0"           ; Xuất kết quả trên cửa sổ màn hình.
Endcase                        ; Hết trường hợp so sánh thứ nhất.
case 1                          ; tương tự như trên . . .
  usermsg "Alpha = 1"
endcase
case 2
  usermsg "Alpha = 2"
endcase
endswitch                      ; luôn đi kèm với switch để kết thúc khối lệnh switch.
endproc

```

if / endif : Câu lệnh điều kiện.

Cú pháp :

if <điều kiện 1>

...

[elseif <điều kiện 2>

...

[else]

...

endif ; kết thúc khối lệnh if.

(Lệnh này gần giống như lệnh if trong Pascal, không có từ then).

while/ endwhile :

Lặp lại một số câu lệnh cho đến khi điều kiện kiểm tra là sai.

Ví dụ :

```

proc main
integer SoLanLap = 0            ; Biến nguyên dùng để đếm số lần lặp

while (SoLanLap++) < 3        ; Mỗi lần lặp biến tăng giá trị thêm một
endwhile                      ; Kết thúc khối lệnh while.
usermsg "Toi da lap %d lan" SoLanLap
endproc

```

for/ endfor : Câu lệnh lặp theo một số lần nhất định

Cú pháp :

for <biến đếm>=<giá trị ban đầu> UPTO | DOWNTO <giá trị cuối>

[BY <bước>]

.

[exitfor]

.

; Chuyển điều khiển thoát khỏi câu lệnh lặp for

; đến dòng lệnh sau endfor

endfor

Return :

Thoát khỏi thủ tục hoặc hàm hiện tại, tiếp tục ở câu lệnh tiếp theo của thủ tục đã gọi.

* Các lệnh khác :

transmit : Gửi một dòng ký tự (lệnh) đến cổng đang hoạt động.

Ví dụ :

```
proc main
  transmit "B-250~C-200~F-240~~P+200" ; Chuyển lệnh điều khiển robot TG-45
endproc
```

Pause : Tạm dừng thực hiện chương trình trong một số giây qui định.

Cú pháp :

pause <số giây | FOREVER>

Ví dụ :

Pause 5 : tạm dừng thực hiện chương trình 5 giây

Pause Forever : Dừng với thời gian không xác định. Lệnh Pause có thể được huỷ bỏ khi ấn Ctl-Break.

Ký tự ~ thay cho lệnh pause với giá trị dừng bằng 0,5 giây.

Ví dụ : Transmit "B+200~~E-100"

Sau khi truyền lệnh B+200 sẽ tạm dừng 1 giây (2 ký tự ~) mới truyền tiếp lệnh E-100.

chdir : Thay đổi đường dẫn đến một ổ đĩa hoặc thư mục khác.

Cú pháp : chdir <"Tên đường dẫn">

Ví dụ :

Chdir "C:\procom3\Robot"

copyfile : Copy một file theo đường dẫn hoặc với một tên khác.

Cú pháp : copyfile <"file nguồn"> <"file đích">

Ví dụ :

copy "C:\Procom3\aspect\robot.was" "C:\tam\robot1.txt"

delfile : Xoá một file theo chỉ định.

Cú pháp : delfile <"tên file">

mkdir : Tạo một thư mục mới.

Cú pháp : mkdir <"tên thư mục">

rmdir : Xoá một thư mục (trống)

Cú pháp : `rmdir <"tên thư mục">`

rename : Đổi tên một file.

Cú pháp : `rename <"tên file cũ"> <"tên file mới">`

Fopen : Mở một file để đọc hoặc ghi.

Cú pháp : `fopen <số hiệu file> <"tên file"> READ | WRITE |
READWRITE | CREATE | APPEND | READAPPEND`

Các tùy chọn : READ : chỉ đọc; READWRITE : có thể đọc và ghi;

CREATE : Tạo mới; APPEND : Ghi tiếp vào cuối file;

READAPPEND : Có thể đọc và ghi tiếp vào cuối file.

Fclose : Đóng một file đã mở.

Cú pháp : `Fclose <số hiệu file>`

fputs : Ghi một chuỗi ký tự lên file.

Cú pháp : `fputs <số hiệu file> <"chuỗi ký tự">`

Ví dụ :

```
proc main
```

```
string Fname = "Vidu.txt" ; Tên file được mở.
```

```
if fopen 0 Fname CREATE ; Tạo mới và mở một file có tên "Vidu.txt"
```

```
fputs 0 "Day la file moi duoc mo !" ; Ghi một chuỗi lên file.
```

```
fclose 0 ; Đóng file đã được tạo mới và mở.
```

```
else
```

```
errmsg "Couldn't open file ``%s``." Fname
```

```
endif
```

```
endproc
```

feof : Kiểm tra điều kiện đã ở cuối một file.

Cú pháp : `feof <số hiệu file> [biến nguyên]`

[biến nguyên] : có giá trị 0 nếu chưa kết thúc file, bằng 1 nếu đã kết thúc file.

Fgets : Đọc một dòng ký tự từ một tệp đã mở ghi vào một biến.

Cú pháp : `fgets <số hiệu file> <tên biến kiểu string>`

Ví dụ :

```
proc main
```

```
string Fname = "Vidu.txt" ; Tên file cần đọc
```

```
string chuoi ; Biến chuoi nhận giá trị đọc từ file.
```

```
if fopen 0 Fname READ ; Mở file chỉ để đọc (số hiệu file id=0).
```

```
while not feof 0 ; Lặp lại khi chưa kết thúc file.
```

```
fgets 0 FInput ; Đọc một dòng từ file
```

```

    usermsg FInput          ; Thể hiện dòng đã đọc
endwhile
fclose 0                  ; Đóng file
else
    errormsg "Can't open \"%s\" for input." Fname ; báo lỗi nếu file không tồn tại.
endif
endproc

```

usesmsg : thể hiện một dòng thông báo hay kết quả trên cửa sổ.

Cú pháp : usermsg <:dòng thông báo"> [biến1, ...]

Xem các ví dụ trên.

termwrites : Viết một dòng ký tự lên của sổ nhập xuất dữ liệu.

Cú pháp : termwrites <biến hoặc "dòng ký tự">

Run : Thực hiện một chương trình bên ngoài (đuôi COM, EXE hoặc BAT).

Cú pháp : run <"tên chương trình">

Ví dụ :

```

proc main
    string Prog = "C:\windows\pbrush.exe"          ; Chương trình cần thực hiện.
    run Prog                                       ; Thực hiện chương trình PaintBrush của Windows.
endproc

```

Ngoài các từ lệnh đã giới thiệu trên, còn có rất nhiều lệnh khác..., người sử dụng có thể tham khảo trực tiếp trong mục HELP của cửa sổ soạn thảo khi cần thiết.

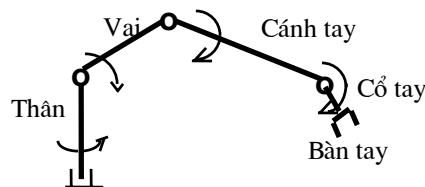
Ngôn ngữ ASPECT không có sẵn các hàm toán học như sin, cos, ... nên khi muốn thực hiện các tính toán phức tạp ta phải dùng các phần mềm khác.

5.5. Lập trình điều khiển robot TERGAN - 45 :

Như đã nói trên, để điều khiển robot TERGAN-45 ta có thể dùng phần mềm Procomm Plus for Windows điều khiển trực tiếp hoặc viết các chương trình bằng ngôn ngữ ASPECT.

5.5.1. Giới thiệu robot TERGAN 45 (TG-45):

TERGAN 45 là một loại robot dùng để dạy học do Pháp sản xuất. Đây là loại robot toàn khớp quay, có 4 bậc tự do. Đi kèm với robot gồm có một bộ nguồn và một môđun điều khiển. Môđun điều khiển cho phép điều khiển robot trên các Terminal hoặc máy tính có giao diện kiểu RS-232. Cấu hình của robot như hình 5.2 :



Hình 5.3 : Sơ đồ động Robot TG-45

Các khớp quay của robot được dẫn động bằng các động cơ điện một chiều có gắn các potentiometer, ngoài ra để đóng mở bàn tay của robot người ta dùng truyền động vít-me có gắn cử hành trình, vận tốc đóng mở các ngón tay có thể điều chỉnh được.

Các góc quay giới hạn của các khâu trên robot là :

- + Chuyển động của thân 261⁰.
- + Chuyển động của vai 85⁰.
- + Chuyển động của cánh tay 249⁰.
- + Chuyển động của cổ tay 180⁰.

Tốc độ truyền thông tin qua modul điều khiển từ 50 đến 9600 bauds với bộ vi xử lý 8 bits, Stop bit là 1 hoặc 2. Điện áp nguồn cung cấp là 110V/220V, 50HZ. Điện áp điều khiển ±12V.

Trên modul điều khiển có thêm các đầu vào và ra để giao diện với các thiết bị khác (như các cảm biến, điều khiển băng tải nhỏ, ...). Modul điều khiển robot TG-45 được thiết kế giao diện với máy tính bằng các lệnh cơ bản sau :

- B±XXX : Điều khiển thân (Base),
- E±XXX : Điều khiển vai (Epaule),
- C±XXX: Điều khiển cánh tay (Coude),
- F±XXX : Điều khiển cổ tay (Poignet),
- P±XXX : Đóng mở bàn tay (Pince),
- S±XXX : Điều khiển các tín hiệu ra,
- I±XXX : Điều khiển các tín hiệu vào.

Chiều dài của các lệnh điều khiển là 5 ký tự mã ASCII. Ký hiệu XXX biểu diễn các chữ số từ 000 đến 511.

Ví dụ :

Lệnh B-200 sẽ điều khiển thân robot quay sang phải một góc :

$$\theta_1 = (261^\circ/2) \times 200 / 511 \approx 51^\circ 04'$$

Lệnh C+200 sẽ điều khiển cánh tay robot quay lên phía trên một góc :

$$\theta_3 = (249^\circ/2) \times 200 / 511 \approx 48^\circ 43' \text{ (so với vai).}$$

Lệnh P+200 sẽ đóng bàn tay (dùng khi muốn nắm một vật) , vận tốc đóng mở thay đổi được theo giá trị từ 001 đến 511. Ví dụ P+100 sẽ đóng chậm hơn P+200.

Các lệnh được chuyển đến từ máy tính sẽ được modul điều khiển xử lý sau đó trả lại các thông báo thực hiện (message) trên màn hình.

5.5.2. Điều khiển trực tiếp robot TG-45 nhờ phần mềm Procomm :

Ở chế độ TERMINAL của Procomm Plus ta có thể điều khiển trực tiếp robot Tergan 45 bằng cách gõ trực tiếp các lệnh làm quay các khớp của robot, ví dụ :

B+200
C-250
E-100
F-250
P+200

Ta có thể ghi lại các lệnh vừa nhập vào một file để thực hiện lại sau này, nếu trước khi nhập các lệnh ta chọn mục START RECORDER trên menu hoặc Icon tương ứng.

5.5.3. Viết chương trình điều khiển robot TERGAN-45 :

Ta có thể điều khiển robot Tergan-45 bằng cách viết các chương trình bằng ngôn ngữ ASPECT. Một chương trình ví dụ đơn giản như sau :

```
proc main
transmit "E-100~B-250~F-180~C-200~B-300~~~P+150~~~"
transmit "E+000~C-150~B+300~~C-180~~~~P-200~~~"
transmit "E+200~B-400~~~E-000~~~C-300~~~F-080~~~B-450~~~P+150~~~"
transmit "C-260~~E+100~~B+300~~~~~P-200~~~"
transmit "F+200~C-130~B-350~F-300~~E-180~~B-400~~~P+100~~~"
transmit "E+200~~B+300~~~~E-100~~~F-230~~~~P-200~~~~"
transmit "C-000~F-000~E-000~B-000~P-200~"
pause 50
clear
termwrites "Da thuc hien xong, xin cho lenh !"
endproc
```

Khi soạn thảo xong chương trình ta phải đặt tên và ghi vào đĩa, ví dụ tên chương trình là DEMO.WAS. Sau đó ta phải dịch chương trình để tạo ra file DEMO.WAX lúc đó mới có thể chạy được trong Procomm Plus.

Tuy nhiên, như đã giới thiệu ở trên, môđun điều khiển robot TG-45 chỉ có các lệnh đơn giản để điều khiển các mô tơ dẫn động các khớp quay. Nếu chỉ điều khiển robot bằng các lệnh đơn thì không thể mở rộng khả năng làm việc của robot được, hơn nữa việc lập trình cũng mất nhiều công sức vì khó xác định được các tọa độ mà ta yêu cầu bàn tay robot phải đạt tới. Do đó việc lập trình điều khiển robot phải tạo ra các chức năng khác khi điều khiển robot như :

1) Chương trình có thể giúp người sử dụng dạy robot học mà robot có thể lặp lại các chuyển động đã được dạy-học một cách chính xác.

2) Thiết kế điều khiển động học thuận : nghĩa là chương trình cho phép người sử dụng điều khiển robot theo giá trị các góc quay của khớp (tính bằng độ) khi xác định trước một cấu hình nào đó của robot.

3) Thiết kế điều khiển động học ngược : nghĩa là người sử dụng chương trình có thể điều khiển robot theo các tọa độ vị trí và hướng của bàn tay đã được xác định trước. Khi ta nhập các giá trị về tọa độ và hướng của bàn tay thì chương trình tự động tính toán các góc quay của các khớp để robot chuyển động đến vị trí yêu cầu với hướng đã được xác định.

4) Thiết kế các tiện ích khác như : điều khiển theo đường, tạo các meta keys, tạo ra các trợ giúp cho người sử dụng...

Các nội dung 2 và 3 cần phải thiết lập hệ phương trình động học của robot TERGAN-45 và giải hệ phương trình động học đó. Phần tính toán có thể viết bằng ngôn ngữ Pascal hoặc C++ mà nó được gọi từ chương trình điều khiển (dùng lệnh RUN), chương trình điều khiển xử lý kết quả tính toán qua các file trung gian dạng text.

Phần mềm Procomm cung cấp nhiều tiện ích để ta có thể thiết kế chương trình kiểu trực quan (Visual), giúp cho việc viết chương trình và thao tác trong quá trình sử dụng được dễ dàng, thuận tiện hơn.

5.8. Kết luận :

Trong chương này chỉ giới thiệu một cách tổng quát về các phương pháp lập trình điều khiển robot. Khó có thể đi sâu, cụ thể vào một ngôn ngữ nào vì nó phụ thuộc rất nhiều vào loại robot được sử dụng. Phần ngôn ngữ ASPECT trong phần mềm Procomm được nghiên cứu ở trên là một ví dụ về ứng dụng các phần mềm dùng cho nhiều mục đích để điều khiển robot. Trong thực tế, tùy nhiệm vụ cụ thể của mỗi robot, phối hợp với hoạt động chung của các máy móc thiết bị khác mà ta thiết kế các chương trình cụ thể để robot hoạt động theo những mục đích mong muốn.

BÀI TẬP CHƯƠNG V :

Bài 1 : Hãy viết một Function của hàm $\arctg_2(y,x)$ bằng ngôn ngữ Turbo Pascal.

Bài 2 : Viết một chương trình (ngôn ngữ tùy ý) để nhập các thông số DH và tự động xác lập các ma trận A_n (Biểu hiện kết quả trên màn hình và ghi vào một file dạng text).

Bài 3 : Viết một chương trình bằng Turbo Pascal để tính toán động học ngược (Xác định các góc quay) của robot TERGAN-45. Dữ liệu nhập từ bàn phím. Ghi kết quả vào một file dạng text.

Bài 4 : Viết một chương trình điều khiển robot TERGAN-45 bằng ngôn ngữ ASPECT để robot có cấu hình như sau :

$$\theta_1 = +30^0; \theta_2 = -10^0; \theta_3 = -30^0; \theta_4 = -25^0.$$

Bàn tay robot nắm lại sau khi di chuyển đến vị trí yêu cầu.

Bài 5 : Viết một chương trình bằng ngôn ngữ ASPECT, gọi chương trình tính động học ngược viết bằng Turbo Pascal (như bài 3), xử lý kết quả tính toán để điều khiển robot TERGAN-45 theo tọa độ vị trí và hướng của bàn tay.

CHƯƠNG VI

MÔ PHÒNG ROBOT TRÊN MÁY TÍNH

(Robot Simulation)

(Phần thực hành trên máy tính)

6.1. Kỹ thuật mô phỏng robot :

Mô phỏng là một kỹ thuật hiện đại, được áp dụng trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu và sản xuất.

Khi nghiên cứu về điều khiển robot, ta có thể thực hiện điều khiển trực tiếp robot hoặc điều khiển mô phỏng. Điều khiển mô phỏng là dùng các mô hình tính toán động học và động lực học của robot kết hợp với các phương pháp đồ họa trên máy vi tính để mô tả về kết cấu và hoạt động của cánh tay robot.

Nghiên cứu về mô phỏng hoạt động của robot trên máy tính giúp cho các nhà thiết kế nhanh chóng lựa chọn được phương án hình - động học của robot, có thể kiểm tra khả năng hoạt động của robot trên màn hình, kiểm tra sự phối hợp của robot với các thiết bị khác trong dây chuyền. Điều này rất có ý nghĩa trong quá trình thiết kế chế tạo robot mới hoặc bố trí dây chuyền sản xuất.

Qua mô phỏng người thiết kế có thể đánh giá tương đối đầy đủ khả năng làm việc của phương án thiết kế mà không cần chế thử. Nó cũng được xem là phương tiện đối thoại, hiệu chỉnh thiết kế theo yêu cầu đa dạng của người sử dụng.

Phương pháp lập trình mô phỏng cũng giúp người thiết kế chọn được quỹ đạo công nghệ hợp lý của robot trong quá trình làm việc với một đối tượng cụ thể hay phối hợp với các thiết bị khác trong một công đoạn sản xuất được tự động hoá.

Hiện nay có nhiều phần mềm công nghiệp và các phần mềm nghiên cứu khác nhau để mô phỏng robot, phạm vi ứng dụng và giá thành của chúng cũng khác nhau. Ở đây chúng ta nghiên cứu phương pháp mô phỏng robot dùng phần mềm EASY-ROB.

6.2. Giới thiệu phần mềm EASY-ROB :

EASY-ROB là công cụ mô phỏng robot sử dụng đồ họa trong không gian 3 chiều (3D) và các hình ảnh có thể hoạt động được. Một hệ thống 3D-CAD đơn giản cho phép tạo ra các khối hình học cơ bản như khối trụ, khối cầu, khối chữ nhật, khối tam giác ... để vẽ kết cấu của robot. Trong EASY-ROB chúng ta có thể dùng chuột để quay hoặc tịnh tiến robot đến một tọa độ tùy ý. EASY-ROB cũng có các chức năng phóng to, thu nhỏ đối tượng vẽ như nhiều phần mềm thiết kế khác... Chương trình cho phép thiết kế các robot đến 12 bậc tự do. Chuyển động của Robot có thể được điều khiển theo các biến khớp hoặc các tọa độ Đề-cát. Chúng ta cũng có thể mô tả động học của robot theo kiểu DH hoặc trong hệ tọa độ toàn cục (Universal

Coordinates). Easy-Rob đã có sẵn các trình điều khiển động học thuận và ngược của các cấu hình robot thông dụng, khi thiết kế ta chỉ cần khai báo kiểu động học thích hợp. Trong trường hợp robot có kết cấu đặc biệt hoặc có các khâu bị động gắn với các chuyển động của các khớp thì cần phải giải bài toán động học ngược hoặc xác định hàm toán học mô tả sự phụ thuộc của khâu bị động đối với khớp quay, viết chương trình xác định sự phụ thuộc đó bằng ngôn ngữ C và sau đó dùng tập tin MAKE.EXE trong C để dịch thành tập tin thư viện liên kết động er_kin.dll (Easy-Rob kinematic Dynamic link library), khi chạy chương trình, EASY-ROB sẽ liên kết với tập tin này và thực hiện kiểu động học đã được khai báo trong chương trình điều khiển.

Easy-ROB có một số các lệnh điều khiển riêng, Chương trình được viết theo kiểu xử lý tuần tự, tập tin dạng Text, có thể soạn thảo chương trình trong bất kỳ trình soạn thảo nào. Các công cụ gắn trên khâu chấp hành cuối có thể thay đổi được. Chúng ta có thể viết một chương trình chuyển động cho một robot theo một quỹ đạo mong muốn, có thể kiểm tra khả năng vươn tới của cánh tay, xác định vùng làm việc của robot . . . Robot mô phỏng có thể cầm nắm hoặc thả các đối tượng làm việc. Các chuyển động của robot có thể ghi vào một tập tin và có thể thực hiện lại.

Phần mềm cho phép ta xem được các hệ tọa độ đã gắn trên các khâu của robot, xem được quỹ đạo chuyển động của điểm cuối công cụ gắn trên khâu chấp hành cuối. Phần mềm còn có nhiều tiện ích khác như : cho phép ta lập trình điều khiển robot bằng phương pháp dạy học, thiết kế các đối tượng làm việc của robot, có các cửa sổ về tọa độ và giá trị góc quay của các khớp tại từng thời điểm khi robot hoạt động...

Việc sử dụng phần mềm EASY-ROB để mô phỏng robot giúp chúng ta hai khả năng nghiên cứu :

a/ Mô phỏng lại một robot đã có và các đối tượng làm việc của nó. Đánh giá khả năng làm việc và mức độ linh hoạt của robot, xác định các thông số điều khiển, quỹ đạo chuyển động để dùng trong điều khiển thực.

b/ Nghiên cứu thiết kế động học, các kích thước và kết cấu của robot trên máy tính để có thể chọn được phương án động học tốt nhất, đảm bảo cho robot hoàn thành các nhiệm vụ yêu cầu.

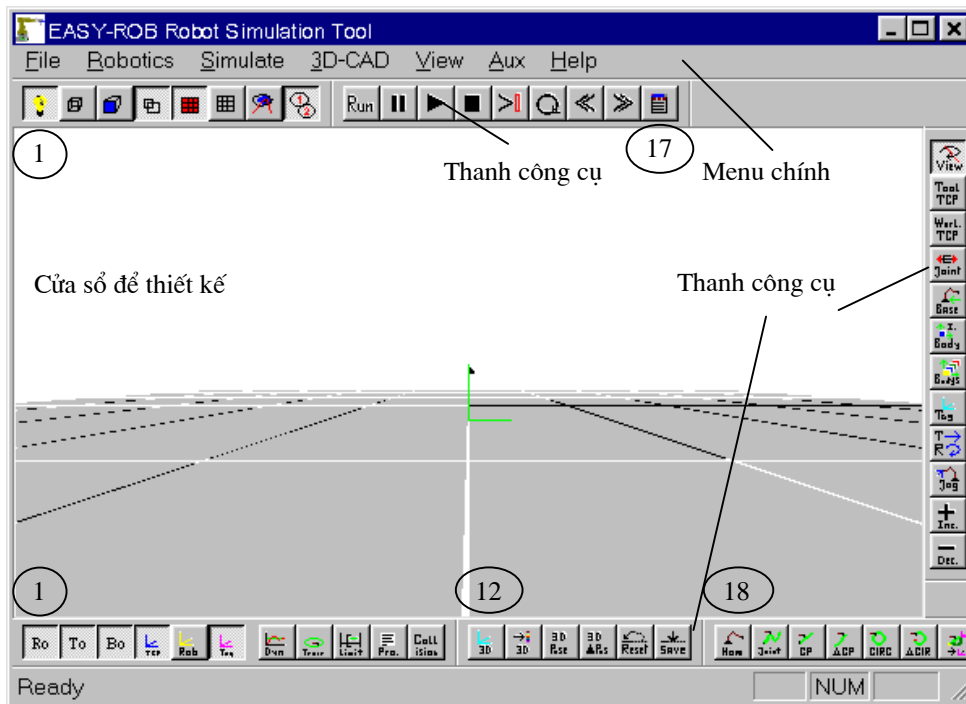
6.3. Tìm hiểu màn hình EASYiROB :

a- Menu chính :

Menu chính của phần mềm EASY-ROB cung cấp các nội dung hoạt động khác nhau của phần mềm. Bước đầu làm quen, ta cần quan tâm các Menu sau :

Menu FILE : Xử lý các tác vụ trên File. Trong Easy-Rob có nhiều loại file được qui định bởi phần mở rộng (đuôi của File), ví dụ :

File có dạng *.Cel : (*Cellfile*) để mô tả kết cấu Robot, công cụ làm việc và đối tượng làm việc của robot. Đây là một File tổng hợp, bao gồm cả chương trình dùng để điều khiển robot.



Hình 6.1 : Màn hình EASY-ROB.

File có dạng *.Rob : (Robotfile) để mô tả riêng kết cấu của một robot.

File có dạng *.Bod : (Bodyfile) để mô tả các đối tượng làm việc của robot.

File có dạng *.Tol : (Toolfile) để mô tả công cụ gắn trên khâu chấp hành cuối của robot.

File có dạng *.Vie : (Viewfile) để xác định góc nhìn trong không gian.

File có dạng *.igp : (Igrip Partfile) lưu trữ một bộ phận kết cấu.

File có dạng *.Prg : (Programm) Chương trình điều khiển.

v.v....

Menu Robotics : Dùng để nhập các thông số DH, xác định vị trí của dụng cụ, xác định vị trí robot và các thông số khác.

Menu 3D-CAD : Cung cấp các công cụ để vẽ kết cấu robot trong không gian 3 chiều (3D) cũng như để thiết kế các công cụ, các đối tượng làm việc. Để vẽ được kết cấu của robot, dựa vào các khối hình học đơn giản ta có thể lắp ghép chúng lại để tạo nên các hình dáng khác nhau của robot.

b- Các thanh công cụ :

Các nút trên thanh công cụ dùng để thực hiện các thao tác như của menu chính (mà không cần vào menu). Sử dụng các nút trên thanh công cụ cho phép ta thao tác nhanh hơn là phải vào menu chính. Chức năng của các nút chính trên thanh công cụ như sau :

Thanh công cụ nằm ngang phía trên, tính từ trái sang phải :

1. Bật tắt chế độ chiếu sáng các đối tượng vẽ.

2. Chuyển tất cả các đối tượng sang dạng lưới.
3. Chuyển đối tượng dạng trụ / khối phức tạp.
5. Thể hiện/không thể hiện sàn.
6. Thể hiện sàn ở dạng lưới.
7. Reset vị trí robot trên màn hình.
8. Chuyển đổi cửa sổ khi mở Cellfile hoặc igip partfile (kết hợp với nút 7).
9. Chạy chương trình.
10. Tạm dừng chương trình.
11. Tiếp tục chạy chương trình.
12. Kết thúc chương trình.
13. Chạy chương trình theo từng bước.
14. Lặp lại chương trình sau khi kết thúc.
15. 16. Giảm và tăng tốc độ điều khiển.
17. Đánh giá sai số và xem các giá trị động học.

Thanh công cụ nằm ngang phía dưới, tính từ trái sang phải :

1. Thấy hoặc không thấy kết cấu robot.
2. Thấy hoặc không thấy dụng cụ.
3. Thấy hoặc không thấy các đối tượng làm việc.
4. Thể hiện/không thể hiện hệ tọa độ gắn với dụng cụ .
5. Thể hiện/không thể hiện hệ tọa độ gắn trên các khâu của robot.
6. Thể hiện vị trí điều khiển.
7. Mô phỏng động lực học.
8. Thể hiện quỹ đạo chuyển động.
9. Sử dụng các giới hạn của khớp.
10. Soạn thảo chương trình và dạy học.
12. Thể hiện hoặc không thể hiện Hệ tọa độ gắn trên đối tượng hiện thời.
13. Chuyển đến đối tượng tiếp theo (khi thiết kế).
14. Xác định vị trí tuyệt đối của đối tượng hiện tại.
15. Xác định vị trí tương đối của đối tượng hiện tại.
16. Reset vị trí của đối tượng hiện tại.
17. Ghi lại vị trí của đối tượng sau khi điều chỉnh.
18. Đưa robot về vị trí dừng (Home position).
19. Điều khiển robot theo khớp quay.

Thanh công cụ thẳng đứng (Thao tác bằng chuột) , tính từ trên xuống :

1. Dùng chuột để view, zoom và Pan.
- 2.3. Điều khiển hướng của khâu chấp hành cuối bằng chuột.
4. Điều khiển các khớp 1,2,3 (Dùng các phím chuột).
5. Di chuyển thân robot. (hệ tọa độ cơ sở)
6. Di chuyển các đối tượng (body) bằng chuột.
7. Di chuyển tất cả các đối tượng bằng chuột.
9. Chuyển đổi chuyển động là quay hoặc tịnh tiến (Dùng khi hiệu chỉnh đối tượng vẽ).
- 11.12. Tăng giảm tốc độ điều khiển bằng chuột.

6.4. Thao tác chuột :

Easy-Rob cho phép dùng chuột với nhiều chức năng như :

Khi nút lệnh số 1 của thanh công cụ thẳng đứng được chọn :

zoom (Phóng to, thu nhỏ) : ấn nút chuột phải, rê chuột lên xuống theo phương thẳng đứng của màn hình.

Pan (thay đổi vị trí của đối tượng so với khung màn hình) : ấn đồng thời hai nút chuột phải và trái, rê chuột trên màn hình.

Rotate (quay robot để nhìn ở các góc độ khác nhau) : ấn chuột trái, rê chuột.

Khi nút lệnh số 4 của thanh công cụ thẳng đứng được chọn :

Quay khớp 1: ấn nút chuột phải, rê chuột (nếu là khớp tịnh tiến sẽ làm khâu chuyển động tịnh tiến).

Quay khớp 2: ấn đồng thời 2 nút chuột phải và trái, rê chuột.

Quay khớp 3: ấn nút chuột trái, rê chuột.

6.5. Gắn hệ tọa độ :

Muốn xác định hệ tọa độ của robot trước hết phải thực hiện bằng tay các công việc sau:

Vẽ sơ đồ động robot ở vị trí dừng, gắn hệ tọa độ của các khâu lên hình vẽ trên giấy, xác định các thông số DH.

Các bước tiếp theo :

1- Bật nút lệnh số 5 trên menu ngang, dưới.

2- Vào menu chính : FILE -> LOAD -> ROBOTFILE chọn DHtempl -> OPEN.

3- Vào menu chính : ROBOTICS -> ROBOTMOTION + KINEMATICS -> KINEMATICS DATA.

4- Chọn Active Joint -> Ok -> Activ Joint (1) RZ (hoặc chọn TZ nếu là khớp tịnh tiến) -> Ok -> Nhập các thông số DH của khâu thứ nhất.

5- Chọn Quit -> Ok.

Vào lại bước 4 -> Number Active Joint(1) -> Ok -> ấn đúp chuột vào vệt xanh hoặc đưa con trỏ vào phần nhập dữ liệu (text box) ấn 2 (Bây giờ số khâu động là 2), nhập các thông số DH cho khâu số 2 ...

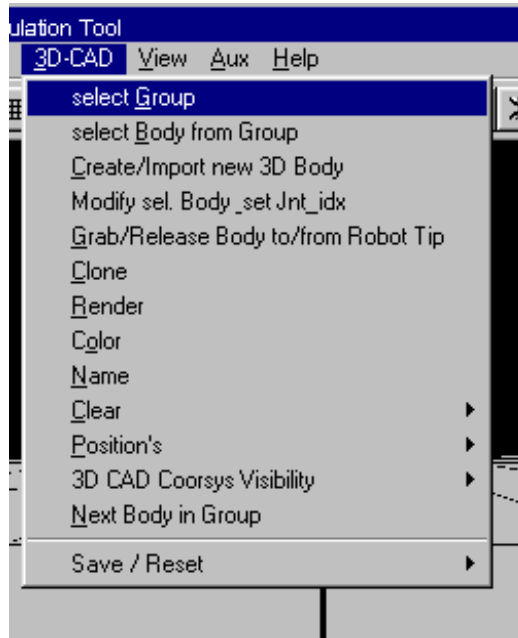
Làm tương tự cho đến khi đủ số khớp yêu cầu.

Ta có thể kiểm tra các số liệu đã nhập bằng cách kích chuột vào menu : ROBOTICS -> ROBOTMOTION + KINEMATICS -> KINEMATICS DATA-> KINEMATIC INFORMATION để xem lại số khâu, khớp và các thông số DH. Nếu vào dữ liệu sai ta có thể hiệu chỉnh lại.

Để thể hiện hệ tọa độ của robot trên màn hình (Hệ tọa độ màu vàng), nhớ kích chuột vào nút số 5 của thanh công cụ nằm ngang phía dưới.

6.6. Vẽ hình dáng robot :

Sau khi hoàn thành việc gán hệ tọa độ của robot, bước tiếp theo là vẽ hình dáng của nó. Hình dáng của robot có thể được mô phỏng giống như robot thực nhờ công cụ 3D CAD của EasyRob. Menu 3D-CAD cho phép tạo ra các khối hình học cơ bản như khối trụ, khối cầu, khối chữ nhật, khối tam giác ... Sự phối hợp hợp lý về kích thước và vị trí của các khối hình học này cho phép thể hiện được các kết cấu khác nhau của robot.



Hình 6.2 : Menu 3D-CAD

Các menu kéo xuống của Menu 3D-CAD như hình 6.2, một số các chức năng chính như sau :

- + Select group : Chọn nhóm đối tượng để thiết kế : 1/Robot group, 2/Tool group hay 3/ Body group.
- + Select body from group : Chọn các bộ phận của robot đã vẽ (theo tên đặt trước) của nhóm chọn hiện hành.
- + Create/Import new 3D body : Tạo mới hoặc nhập một bộ phận đã có sẵn. Cần nhập các thông số cần thiết để tạo ra đối tượng mong muốn.
- + Modify sel. Body_set Jnt_idx : Hiệu chỉnh các thuộc tính của bộ phận hiện hành.
- + Clone : Copy bộ phận đang vẽ thành nhiều hình.
- + Render : Biểu hiện đối tượng ở dạng lưới, dạng hộp, . . .
- + Color : Thay đổi màu sắc.
- + Name : Thay đổi tên bộ phận đang vẽ.
- + Clear : Xoá đối tượng (bộ phận) hiện hành.
- + Position's : Thay đổi vị trí của đối tượng (bộ phận) hiện hành.
- + 3D CAD Coorsys Visibility : Cho hiện hoặc ẩn hệ tọa độ của đối tượng vẽ.
- + Next Body in group : Chọn đối tượng vẽ tiếp theo.

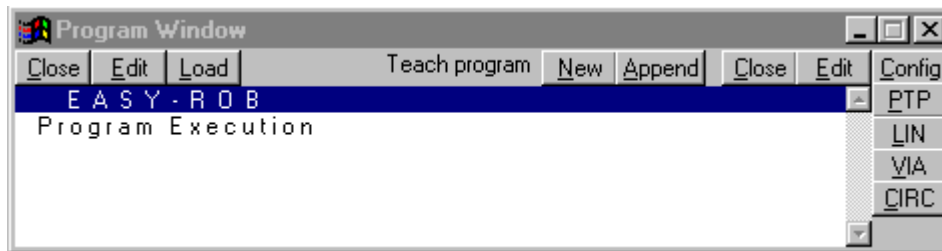
Dùng menu 3D CAD ta lần lượt vẽ tất cả các khâu của robot, có thể dùng các màu sắc khác nhau để thể hiện hình dáng của robot. Lưu ý trong quá trình vẽ, nếu vẽ sai phải dùng mục CLEAR để xóa đi hoặc dùng mục MODIFY CEL để hiệu chỉnh. Mỗi đối tượng vẽ phải gán với một khâu nhất định, được khai báo trong mục SET JOINT INDEX.

Có thể dùng thanh công cụ thẳng đứng phía phải để thay đổi vị trí của các đối tượng vẽ cho thích hợp.

6.7. Lập trình điều khiển robot mô phỏng :

Để lập trình điều khiển robot đã mô phỏng ta dùng phương pháp lập trình kiểu dạy học. Sau khi đã thiết kế hình dáng robot, công cụ gắn trên khâu chấp hành cuối, các đối tượng làm việc khác . . . ta có thể lập trình để điều khiển robot đã mô phỏng. Việc lập trình thực hiện theo trình tự sau đây :

Nhấp chuột vào nút lệnh số 10 (Show program window) để kích hoạt cửa sổ lập trình như hình 6.3 :



Hình 6.3 : Cửa sổ lập trình.

Chọn **New** để đặt tên cho File chương trình.

Chọn **Append** nếu muốn bổ sung một chương trình đã có trên đĩa.

Xác định vị trí các điểm mà dụng cụ phải đi qua (dùng chuột để điều khiển các khớp, dùng menu đúng). Cứ sau mỗi lần xác định được một vị trí thì ấn nút PTP (điều khiển điểm) hoặc LIN (điều khiển đường) hoặc VIA (điểm trung gian dẫn hướng khi điều khiển đường cong), CIRC (điều khiển theo đường cong). Làm liên tục cho tất cả các điểm để có một chương trình hoàn thiện.

Sau khi kết thúc việc dạy robot học, ấn nút Close trên Program Window để kết thúc. Để hiệu chỉnh và bổ sung các lệnh điều khiển khác vào chương trình, ấn chuột vào nút EDIT, Dùng các lệnh của EasyRob như dưới đây để hoàn thiện chương trình.

ERPL - EASY-ROB-Program Language

Ghi chú :

- Đơn vị chiều dài là Mét [m], Góc là độ [deg] hoặc [%]
 - Đơn vị của tốc độ là [m/s]
 - Vị trí và hướng của hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối được xác định gồm : X, Y và Z : chỉ tọa độ vị trí, A, B và C chỉ góc hướng.
- Hướng của khâu chấp hành cuối xác định theo các góc ABC là:
 $Rot(A,B,C) = Rot(X,A) * Rot(Y,B) * Rot(Z,C)$

Cấu trúc chung của chương trình, Mô tả cú pháp một số lệnh hay dùng :

PROGRAMFILE : Bắt đầu chương trình

ENDPROGRAMFILE or END : Kết thúc chương trình.
 CALL fct_name : Gọi một hàm có tên fct_name(), đã được định nghĩa trong chương trình.
 CALL FILE filename : Gọi một File chương trình có tên filename, File phải có cùng cấu trúc như chương trình chính.
 FCT fct_name() : Bắt đầu Định nghĩa một hàm có tên fct_name().
 ENDFCT : Kết thúc định nghĩa một function.
 ! Các ghi chú trong chương trình.

TOOL X Y Z A B C [m,deg] : Định tọa độ điểm cuối của dụng cụ so với khâu chấp hành cuối.

PTP X Y Z A B C [m,deg] : Di chuyển robot đến điểm mới (tọa độ tuyệt đối). Điều khiển điểm.

PTP_REL dX dY dZ dA dB dC [m,deg] : Di chuyển robot đến điểm mới (tọa độ tương đối). Điều khiển điểm.

LIN X Y Z A B C [m,deg] : Di chuyển robot đến điểm mới (tọa độ tuyệt đối). Điều khiển đường.

LIN_REL dX dY dZ dA dB dC [m,deg] : Di chuyển robot đến điểm mới (tọa độ tương đối). Điều khiển đường.

CIRC X Y Z A B C [X2 Y2 Z2] [m,deg] : Di chuyển robot đến điểm mới (tọa độ tuyệt đối). Điều khiển đường cong.

[X2 Y2 Z2] - Điểm trung gian (3 điểm để xác định một cung tròn).

CIRC_REL dX dY dZ dA dB dC [dX2 dY2 dZ2] [m,deg] : Di chuyển robot đến điểm mới (tọa độ tương đối). Điều khiển đường cong.

WAIT x [sec] : Robot dừng hoạt động trong x giây.

ERC TRACK ON,OFF : Thể hiện hoặc không thể hiện quỹ đạo chuyển động.

ERC LOAD TOOL filename : Gọi một Tool file (*.tol)

ERC LOAD VIEW filename : Gọi một View file (*.vie)

ERC LOAD ROBOT filename Loads a Robot file (*.rob)

ERC LOAD BODY filename Loads a Body file (*.bod)

ERC LOAD TAGS filename Loads a Tag file (*.tag)

ERC GRAB BODY 'bodyname' : Dụng cụ cầm lấy một vật thể (body) có tên Bodyname.

ERC GRAB BODY_GRP : Dụng cụ cầm lấy một nhóm vật thể (Body_Grp).

ERC RELEASE BODY 'bodyname' : Dụng cụ thả (buông) một vật thể (body) có tên Bodyname.

ERC RELEASE BODY_GRP Dụng cụ thả (buông) một nhóm vật thể (Body_Grp).

ERC ROBOT_BASE XYZ ABC [m,deg] : Di chuyển gốc tọa độ cơ bản của robot đến vị trí mới.

v.v...

Còn rất nhiều các lệnh khác của Easy-Rob, có thể tham khảo trên Website:
<http://www.easy-rob.com>.

=====

CHƯƠNG VII

ĐỘNG LỰC HỌC ROBOT

(Dynamic of Robot)

7.1. Nhiệm vụ và phương pháp phân tích động lực học robot

Nghiên cứu động lực học robot là công việc cần thiết khi phân tích cũng như tổng hợp quá trình điều khiển chuyển động. Việc nghiên cứu động lực học robot thường giải quyết hai nhiệm vụ sau đây :

1/ Xác định momen và lực động xuất hiện trong quá trình chuyển động. Khi đó qui luật biến đổi của biến khớp $q_i(t)$ coi như đã biết.

Việc tính toán lực trong cơ cấu tay máy là rất cần thiết để chọn công suất động cơ, kiểm tra độ bền, độ cứng vững, đảm bảo độ tin cậy của robot.

2/ Xác định các sai số động tức là sai lệch so với qui luật chuyển động theo chương trình. Lúc này cần khảo sát *Phương trình chuyển động* của robot có tính đến đặc tính động lực của động cơ và các khâu.

Có nhiều phương pháp nghiên cứu động lực học robot, nhưng thường gặp hơn cả là phương pháp cơ học Lagrange, cụ thể là dùng phương trình Lagrange - Euler. Đối với các khâu khớp của robot, với các nguồn động lực và kênh điều khiển riêng biệt, không thể bỏ qua các hiệu ứng trọng trường (gravity effect), quán tính (initial), tương hổ (Coriolis), ly tâm (centripetal)... mà những khía cạnh này chưa được xét đầy đủ trong cơ học cổ điển; Cơ học Lagrange nghiên cứu các vấn đề nêu trên như một hệ thống khép kín nên đây là nguyên lý cơ học thích hợp đối với các bài toán động lực học robot.

7.2. Cơ học Lagrange với các vấn đề động lực của robot.

Hàm Lagrange của một hệ thống năng lượng được định nghĩa :

$$L = K - P \quad (7.1)$$

Trong đó : K là tổng động năng của hệ thống
 P là tổng thế năng

K và P đều là những đại lượng vô hướng nên có thể chọn bất cứ hệ tọa độ thích hợp nào để bài toán được đơn giản. Đối với một robot có n khâu, ta có :

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad \text{và} \quad P = \sum_{i=1}^n P_i$$

Ở đây, K_i và P_i là động năng và thế năng của khâu thứ i xét trong hệ tọa độ chọn. Ta biết mỗi đại lượng K_i và P_i là một hàm số phụ thuộc nhiều biến số:

$$K_i = K(q_i, \dot{q}_i) \quad \text{và} \quad P_i = P(q_i, \dot{q}_i)$$

Với q_i là tọa độ suy rộng của khớp thứ i . Nếu khớp thứ i là khớp quay thì q_i là góc quay θ_i , nếu là khớp tịnh tiến thì q_i là độ dài tịnh tiến d_i .

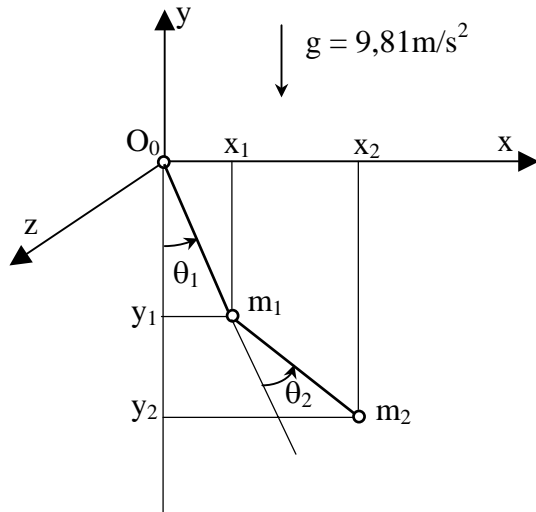
Ta định nghĩa : Lực tác dụng lên khâu thứ i ($i=1, 2, \dots, n$) với quan niệm là lực tổng quát (Generalized forces), nó có thể là một lực hoặc một momen (phụ thuộc vào biến khớp q_i là tịnh tiến hoặc quay), được xác định bởi:

$$F_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (7.2)$$

Phương trình này được gọi là phương trình Lagrange-Euler, hay thường được gọi tắt là phương trình Lagrange.

7.3. Ví dụ áp dụng :

Xét một robot có hai khâu như hình vẽ, Các khâu có chiều dài là d_1 và d_2 với các khối lượng tương ứng m_1 và m_2 qui đổi về đầu mút của khâu. Robot được đặt thẳng đứng chịu gia tốc trọng trường g . Các khớp chuyển động quay với các biến khớp θ_1 và θ_2 . Tính lực tổng quát.



Qua ví dụ này, chỉ với một mối liên kết hai khâu, các vấn đề đặt ra đều đã có mặt trong quá trình nghiên cứu động lực học, và do đó, ví dụ nêu trên có thể mở rộng để áp dụng trong những trường hợp phức tạp hơn. Đối với khâu 1 :

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 d_1^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (7.3)$$

$$P_1 = -m_1 g d_1 \cos \theta_1 \quad (7.4)$$

Đối với khâu 2 :

Về tọa độ :

$$x_2 = d_1 \sin \theta_1 + d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$y_2 = -d_1 \cos \theta_1 - d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

Chiều cao thế năng :

$$h = d_1 \cos \theta_1 + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

Về mặt vận tốc : $v_2^2 = \dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2$

Với $\dot{x}_2 = \frac{d}{dt} x_2 = d_1 \cos(\theta_1) \dot{\theta}_1 + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)$

$$\dot{y}_2 = \frac{d}{dt} y_2 = d_1 \sin(\theta_1) \dot{\theta}_1 + d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)$$

$$v_2^2 = [d_1^2 \dot{\theta}_1^2 + d_2^2 (\dot{\theta}_1^2 + 2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) + 2d_1 d_2 \cos(\theta_2) (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2)]$$

Động năng và thế năng sẽ là :

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_2 [d_1^2 \dot{\theta}_1^2 + d_2^2 (\dot{\theta}_1^2 + 2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) + 2d_1 d_2 \cos(\theta_2) (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2)] \quad (7.5)$$

$$P_2 = -m_2 g [d_1 \cos(\theta_1) + d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)] \quad (7.6)$$

7.4. Hàm Lagrange và lực tổng quát :

Áp dụng hàm Lagrange cho ví dụ trên, ta có :

$$L = (K_1 + K_2) - (P_1 + P_2)$$

$$L = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) d_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 d_2^2 (\dot{\theta}_1^2 + 2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) + (m_1 + m_2) g d_1 \cos \theta_1 + m_2 g d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (7.7)$$

Khi tính lực tổng quát, các biến của hệ : $q_1 = \theta_1$ và $q_2 = \theta_2$.

Đối với khâu 1 :

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2) d_1^2 \dot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + 2m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2)d_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 (\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) - 2m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1 + 2m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \ddot{\theta}_1 -$$

$$- m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \ddot{\theta}_2$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_1} = \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -(m_1 + m_2)gd_1 \sin \theta_1 - m_2 gd_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

Vậy :

$$F_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = [(m_1 + m_2)d_1^2 + m_2 d_2^2 + 2m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2] \ddot{\theta}_1 +$$

$$+ [m_2 d_2^2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2] \ddot{\theta}_2 - 2m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1 - m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + \quad (7.8)$$

$$+ (m_1 + m_2)gd_1 \sin \theta_1 + m_2 gd_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

Muốn cho khâu 1 quay được một góc θ_1 thì động cơ phải tạo ra một lực tổng quát $\geq F_1$. Lực tổng quát này có đặc tính phi tuyến, là hợp tác dụng của nhiều yếu tố (non linear and coupling).

Tương tự, để tính lực tổng quát của khâu thứ hai, ta có :

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2 d_2^2 \dot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 \dot{\theta}_2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2 d_2^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 \ddot{\theta}_2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 \ddot{\theta}_1 - m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2$$

và $\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = -m_2 d_1 d_2 \sin(\theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 - -m_2 d_1 d_2 \sin(\theta_2) \dot{\theta}_1^2 - m_2 gd_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$

Vậy :

$$F_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} = [m_2 d_2^2 + m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2] \ddot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 \ddot{\theta}_2$$

$$- m_2 d_1 d_2 \sin(\theta_2) \dot{\theta}_1^2 + m_2 gd_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (7.9)$$

Để phân tích ý nghĩa các thành phần trong biểu thức tính lực tổng quát, ta viết lại các biểu thức F_1, F_2 như sau :

$$F_1 = D_{11} \ddot{\theta}_1 + D_{12} \ddot{\theta}_2 + D_{111} \dot{\theta}_1^2 + D_{122} \dot{\theta}_2^2 + D_{112} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + D_{121} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + D_1$$

$$F_2 = D_{12} \ddot{\theta}_1 + D_{22} \ddot{\theta}_2 + D_{211} \dot{\theta}_1^2 + D_{222} \dot{\theta}_2^2 + D_{212} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + D_{221} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + D_2$$

Hiệu ứng	Hiệu ứng	Hiệu ứng	Hiệu ứng
quán tính	ly tâm	tương hỗ	trọng trường
Effective inertias	Centripetal effect	Coriolis effect	Gravity

(Trong đó : $D_{111} = 0$; $D_{222} = 0$; $D_{112} = D_{121} = D_{212} = D_{221} = -m_2 d_1 d_2 \sin \theta_2 \dots$)

Trong các biểu thức trên, các hệ số dạng D_{ii} hoặc D_{ij} thể hiện hiệu ứng quán tính tại khớp i hoặc j gây ra bởi gia tốc tại khớp i hoặc j . Các số hạng có dạng $D_{ijj} \dot{\theta}_j^2$ là lực ly tâm tác động lên khớp i gây ra bởi vận tốc tại khớp j . Số hạng dạng $D_{ijk} \dot{\theta}_j \dot{\theta}_k + D_{ikj} \dot{\theta}_k \dot{\theta}_j$ là lực Coriolis tác động lên khớp thứ i gây ra do vận tốc tại khớp j và k . Số hạng có dạng D_i là lực trọng trường tác động lên khớp i .

7.5. Phương trình động lực học robot :

Xét khâu thứ i của một robot có n khâu. Tính lực tổng quát F_i của khâu thứ i với khối lượng vi phân của nó là dm . Lực tổng quát F_i đóng vai trò rất quan trọng khi xây dựng sơ đồ khối để thiết lập hàm điều khiển cho robot có n bậc tự do.

7.5.1. Vận tốc của một điểm trên robot :

Một điểm trên khâu thứ i được mô tả trong hệ tọa độ cơ bản là :

$$r = T_i \cdot {}^i r \quad (7.10)$$

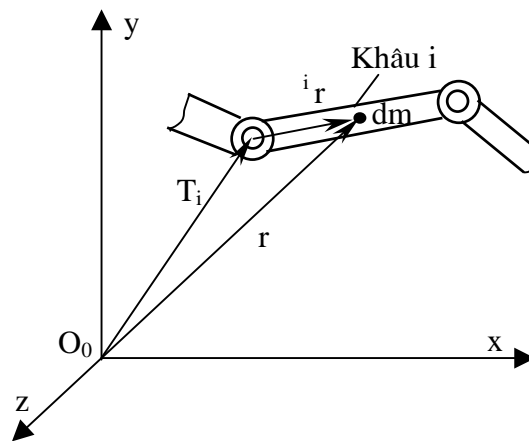
Trong đó ${}^i r$ là tọa độ của điểm xét đối với khâu thứ i , ${}^i r$ không thay đổi theo thời gian. T_i là ma trận chuyển đổi từ khâu thứ i về hệ tọa độ gốc : $T_i = A_1 A_2 \dots A_i$. Như vậy r là một hàm của thời gian t .

Tốc độ của vi khối lượng dm được tính bởi công thức :

$$\dot{r} = \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt} T_i \cdot {}^i r = \left(\sum_{j=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial q_j} \dot{q}_j \right) \cdot {}^i r \quad (7.11)$$

Khi tính bình phương của vận tốc này ta có :

$$\dot{r} \cdot \dot{r} = \sum r^2 (\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0) = \text{Tr}(\dot{r} \dot{r}^T) \quad (7.12)$$



Hình 7.1. Khảo sát tốc độ của vi khối lượng dm .

Với r^T là chuyển vị vectơ và Tr là viết tắt của Trace (vết của ma trận) :

$$\text{Trace} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n1} & a_{nn} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n a_{ii}$$

Hay :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \cdot [x \ y \ z] = \begin{bmatrix} x^2 & & \\ & y^2 & \\ & & z^2 \end{bmatrix}$$

Do vậy

$$\dot{r}^2 = \text{Tr}(\dot{r} \cdot \dot{r}^T) = \text{Tr}\left(\frac{d}{dt} T_i \cdot {}^i r \cdot \frac{d}{dt} T_i^T \cdot {}^i r^T\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Tr} \left[\sum_{j=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial \dot{q}_j} \dot{q}_j \cdot {}^i r \cdot \sum_{k=1}^i \frac{\partial T_i^T}{\partial \dot{q}_k} \dot{q}_k \cdot {}^i r^T \right] \\
 &= \text{Tr} \left[\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial \dot{q}_j} {}^i r \cdot {}^i r^T \cdot \frac{\partial T_i^T}{\partial \dot{q}_k} \dot{q}_j \dot{q}_k \right] \tag{7.13}
 \end{aligned}$$

7. 5. 2. Tính động năng của vi khối lượng dm.

Ký hiệu K_i là động năng của khâu thứ i. dK_i là động năng của vi khối lượng dm đặt tại vị trí ${}^i r$ trên khâu thứ i.

$$\begin{aligned}
 dK_i &= \frac{1}{2} \text{Tr} \left[\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial \dot{q}_j} {}^i r \cdot {}^i r^T \cdot \frac{\partial T_i^T}{\partial \dot{q}_k} \dot{q}_j \dot{q}_k \right] dm \\
 &= \frac{1}{2} \text{Tr} \left[\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial \dot{q}_j} ({}^i r \cdot dm \cdot {}^i r^T) \cdot \frac{\partial T_i^T}{\partial \dot{q}_k} \dot{q}_j \dot{q}_k \right] \tag{7.14}
 \end{aligned}$$

Và do đó động năng của khâu thứ i sẽ là :

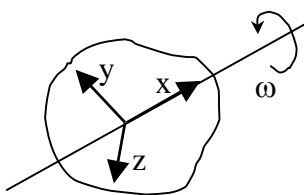
$$K_i = \int_{\text{Khâu } i} dK = \frac{1}{2} \text{Tr} \left[\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial \dot{q}_j} \left(\int_{\text{Khâu } i} {}^i r \cdot {}^i r^T dm \right) \cdot \frac{\partial T_i^T}{\partial \dot{q}_k} \dot{q}_j \dot{q}_k \right] \tag{7.15}$$

Đặt $J_i = \int_{\text{Khâu } i} {}^i r \cdot {}^i r^T dm$ gọi là ma trận giả quán tính (Pseudo inertia matrix).

Ý nghĩa "giả quán tính" được sử dụng vì khi thiết lập đầy đủ các phần tử của ma trận J_i ta có thể liên hệ với các khái niệm "mômen quán tính độc cực" và trình bày các phần tử của J_i giống như các phần tử của mômen quán tính độc cực. Ta xét mối quan hệ này như sau :

Theo định nghĩa ta có :

$$J_i = \int_{\text{Khâu } i} {}^i r \cdot {}^i r^T dm = J_i = \begin{bmatrix} \int {}^i x^2 dm & \int {}^i x^i y dm & \int {}^i x^i z dm & \int {}^i x dm \\ \int {}^i x^i y dm & \int {}^i y^2 dm & \int {}^i y^i z dm & \int {}^i y dm \\ \int {}^i x^i z dm & \int {}^i y^i z dm & \int {}^i z^2 dm & \int {}^i z dm \\ \int {}^i x dm & \int {}^i y dm & \int {}^i z dm & \int dm \end{bmatrix} \tag{7.16}$$



Hình 7.2 : Mômen quán tính độc cực

Bây giờ ta nhắc lại mômen quán tính độc cực của một vật thể bất kỳ như hình vẽ.

Theo định nghĩa ta có :

$$I_{xx} = \int (y^2 + z^2) dm$$

$$I_{yy} = \int (x^2 + z^2) dm$$

$$I_{zz} = \int (x^2 + y^2) dm$$

Và vì : $x^2 = -\frac{1}{2}(y^2 + z^2) + \frac{1}{2}(x^2 + z^2) + \frac{1}{2}(x^2 + y^2)$

Vậy : $\int x^2 dm = (-I_{xx} + I_{yy} + I_{zz}) / 2 ; .v.v\dots$

Ngoài ra ta còn có :

$$I_{xy} = \int xy dm ; I_{yz} = \int yz dm ; I_{xz} = \int xz dm$$

$$m_x = \int x dm ; m_y = \int y dm ; m_z = \int z dm$$

Đối chiếu với ma trận giả quán tính J_i , ta có thể trình bày J_i như sau :

$$J_i = \begin{bmatrix} \frac{-I_{xx} + I_{yy} + I_{zz}}{2} & I_{yx} & I_{zx} & mx \\ I_{xy} & \frac{I_{xx} - I_{yy} + I_{zz}}{2} & I_{zy} & my \\ I_{yz} & I_{yz} & \frac{I_{xx} + I_{yy} - I_{zz}}{2} & mz \\ mx & my & mz & m \end{bmatrix} \quad (7.17)$$

Như vậy ý nghĩa biểu trưng của J_i đã rõ.

$$\text{Vậy ta có : } K_i = \frac{1}{2} Tr \left[\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial T_i}{\partial q_j} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \dot{q}_j \dot{q}_k \right] \quad (7.18)$$

Cuối cùng, Động năng của một robot có n khâu được tính :

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad (7.19)$$

7. 5. 3. Tính thế năng của robot :

Thế năng của khâu i có khối lượng m_i , trọng tâm được xác định bởi vectơ r_i (vectơ biểu diễn trọng tâm của khâu i trong hệ tọa độ cơ bản) là :

$$P_i = -m_i \cdot g \cdot r_i = -m_i \cdot g \cdot T_i^i r_i \quad (7.20)$$

Trong đó, vectơ gia tốc trọng trường g được biểu diễn dưới dạng một ma trận cột :

$$g = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,8 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Thế năng của toàn cơ cấu robot n khâu động sẽ là :

$$P = - \sum_{i=1}^n m_i g T_i^i r_i \quad (7.21)$$

7. 5. 4. Hàm Lagrange :

Sau khi xác định động năng và thế năng của toàn cơ cấu, ta có hàm Lagrange của robot có n bậc tự do :

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i Trace \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_j} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \right) \dot{q}_j \dot{q}_k + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i g T_i^i r_i \quad (7.22)$$

Chúng ta chú ý rằng, trong hàm Lagrange vẫn chưa đề cập đến ảnh hưởng của nguồn truyền động (gồm các phần tĩnh (stator) và phần động (Rotor) của động cơ điện).

7. 5. 5. Phương trình động lực học robot :

Ta đã biết lực tổng quát đặt lên khâu thứ i của robot có n khâu (Phương trình Lagrange - Euler) :

$$F_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (7.23)$$

Sau khi thiết lập hàm Lagrange, với $p = 1 \dots n$, ta tính được :

(p là chỉ số lần lượt lấy theo j và k)

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_p} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_p} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \right) \dot{q}_k + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_j} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right) \dot{q}_j \quad (7.24)$$

Thay đổi chỉ số giả j thành k trong số hạng thứ hai, và để ý rằng :

$$Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_j} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right) = Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_j} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right)^T = Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_p} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_j} \right) \quad (7.25)$$

$$\text{ta có : } \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_p} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_k} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right) \dot{q}_k \quad (7.26)$$

Cũng để ý rằng : trong $T_i(q_1, q_2, \dots, q_i)$, với q_i là các biến khớp của i khớp đầu tiên. Do vậy, nếu $i < p$ thì $\frac{\partial T_i}{\partial q_p} = 0$.

$$\text{Cuối cùng ta có : } \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_p} = \sum_{i=p}^n \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_k} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right) \dot{q}_k \quad (7.27)$$

Lấy vi phân theo thời gian t của phương trình trên :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_p} &= \frac{d}{dt} \sum_{i=p}^n \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_k} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right) \dot{q}_k \\ &= \sum_{i=p}^n \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial T_i}{\partial q_k} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right) \ddot{q}_k + \sum_{i=p}^n \sum_{k=1}^i \sum_{m=1}^i Tr \left[\frac{\partial^2 T_i}{\partial q_k \partial q_m} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_p} \right] \dot{q}_k \dot{q}_m + \\ &\quad + \sum_{i=p}^n \sum_{k=1}^i \sum_{m=1}^i Tr \left[\frac{\partial^2 T_i}{\partial q_p \partial q_m} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \right] \dot{q}_k \dot{q}_m \end{aligned} \quad (7.28)$$

(Biến đổi theo chú ý (7.25))

Số hạng cuối của phương trình Lagrange Euler là :

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial q_p} &= \frac{1}{2} \sum_{i=p}^n \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial q_j \partial q_p} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_k} \right) \dot{q}_j \dot{q}_k + \\ &\quad + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^i Tr \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial q_k \partial q_p} J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial q_j} \right) \dot{q}_j \dot{q}_k + \sum_{i=p}^n m_i g \frac{\partial T_i}{\partial q_p} r_i \end{aligned} \quad (7.29)$$

$$\text{Cuối cùng ta có lực tổng quát của khâu } p : \quad F_p = \frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_p} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_p}$$

Thay thế các chỉ số p và i thành i và j , ta sẽ có :

$$F_i = \sum_{j=i}^n \sum_{k=1}^j Tr \left(\frac{\partial T_j}{\partial q_k} J_j \frac{\partial T_j^T}{\partial q_i} \right) \ddot{q}_k + \sum_{j=i}^n \sum_{k=1}^j \sum_{m=1}^j Tr \left[\frac{\partial^2 T_j}{\partial q_k \partial q_m} J_j \frac{\partial T_j^T}{\partial q_i} \right] \dot{q}_k \dot{q}_m - \sum_{j=i}^n m_j g \frac{\partial T_j}{\partial q_i} r_j \quad (7.30)$$

Với một robot có n bậc tự do thì :

$$\begin{aligned} q &= [q_1, q_2, \dots, q_n]^T \\ \dot{q} &= [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T \\ \text{và } F &= F[F_1, F_2, \dots, F_n]^T \end{aligned}$$

Để cho gọn, ta biểu diễn :

$$F = J(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (7.31)$$

Trong đó :

J thể hiện tác dụng của quán tính, là một ma trận đối xứng ($n \times n$);
 C thể hiện tác dụng của lực ly tâm và Coriolis, là một vectơ ($n \times 1$);
 G thể hiện tác dụng của lực trọng trường, cũng là một vectơ ($n \times 1$).
 Đây là phương trình động lực học của robot.

Nếu thêm vào phương trình trên các tác dụng khác như : F_{EX} đặc trưng cho các ngoại lực tác dụng lên trục, V đặc trưng cho hiệu ứng ma sát, ta có :

$$F = J(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + V(\dot{q}) + F_{EX} \quad (7.32)$$

CHƯƠNG VIII

THIẾT KẾ QUỹ ĐẠO ROBOT. (TRAJECTORY PLANING)

Trong các ứng dụng công nghiệp của robot, ta thường gặp hai trường hợp sau :

Trường hợp 1 : Khâu chấp hành cuối của robot chỉ cần đạt được vị trí và hướng tại các điểm nút (điểm tựa : Knot point). Đây chính là phương pháp điều khiển điểm (PTP). Tại đó, bàn tay robot thực hiện các thao tác cầm nắm đối tượng hoặc buông thả đối tượng. Đây là trường hợp của các robot thực hiện công việc vận chuyển và trao đổi phôi liệu trong một hệ thống tự động linh hoạt robot hoá. Bàn tay robot không trực tiếp tham gia vào các nguyên công công nghệ như hàn, cắt kim loại ... Các điểm nút là mục tiêu quan trọng nhất, còn dạng đường đi tới các điểm nút là vấn đề thứ yếu. Trong trường hợp này Robot thường được lập trình bằng phương pháp dạy học (Teach and playback mode). Trong trường hợp này không cần tính toán phương trình động học hoặc động học ngược robot, chuyển động mong muốn được ghi lại như một tập hợp các góc khớp (thực tế là tập hợp các giá trị mã hoá của biến khớp) để robot thực hiện lại (Playback) khi làm việc.

Trường hợp 2 : Khâu chấp hành cuối của robot phải xác định đường đi qua các điểm nút theo thời gian thực. Đó là trường hợp các tay máy trực tiếp thực hiện các nguyên công công nghệ như sơn, hàn, cắt kim loại ... Vấn đề thiết kế quỹ đạo cho các robot trong trường hợp này là rất quan trọng. Nó quyết định trực tiếp chất lượng thực hiện các nguyên công công nghệ mà robot đảm nhận. Trong chương này, chúng ta đề cập đến bài toán thiết kế quỹ đạo với một số quỹ đạo điển hình. Các quỹ đạo này không chỉ có ý nghĩa trong trường hợp ứng dụng thứ hai mà nó bao hàm một ý nghĩa chung cho mọi robot, vì ngay cả trường hợp đơn giản như các robot thuộc ứng dụng thứ nhất cũng thực hiện những chuyển động quỹ đạo cơ bản mà chúng ta sẽ nghiên cứu dưới đây.

8.1. Các khái niệm về quỹ đạo robot :

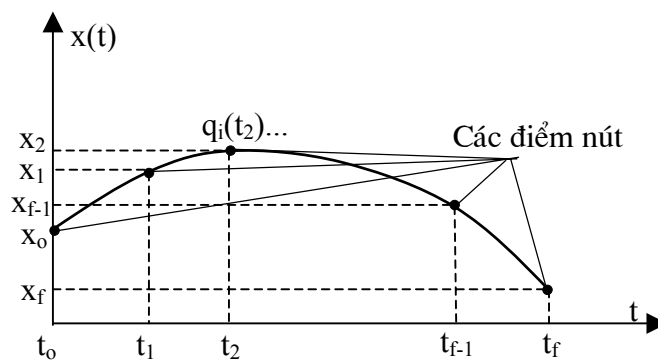
Để xác định được đường đi mong muốn của robot theo thời gian, quỹ đạo có thể được tính toán thiết kế trong một hệ tọa độ truyền thống Oxyz (Cartesian Space) hoặc thiết kế trong không gian biến khớp (không gian trường vectơ các tọa độ suy rộng của robot), chẳng hạn với robot 6 bậc tự do thì $X = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]^T$. Thiết kế quỹ đạo ở đây được hiểu là xác định qui luật chuyển động của các biến khớp để điều khiển chuyển động của từng khớp và tổng hợp thành chuyển động chung của robot theo một quỹ đạo đã được xác định.

Quỹ đạo cần thiết kế nhất thiết phải đi qua một số điểm nút cho trước (ít nhất là điểm đầu và điểm cuối). Ngoài các điểm nút chính, ta còn có thể chọn thêm các điểm nút phụ gọi là điểm dẫn hướng (via point) để tránh các chướng ngại vật.

Khi thiết kế quỹ đạo trong không gian biến khớp, tại mỗi điểm nút phải xác định giá trị của các biến khớp bằng phương pháp tính toán động học ngược. Thời gian yêu cầu của mỗi đoạn quỹ đạo (giữa 2 điểm nút) là giống nhau cho tất cả các khớp vì vậy yêu cầu tất cả các khớp phải đạt đến điểm nút đồng thời. Ngoài việc yêu cầu thời gian phải giống nhau cho các khớp, việc xác định các hàm quỹ đạo của mỗi biến khớp không phụ thuộc vào các hàm của các khớp khác. Vì vậy việc thiết kế quỹ đạo trong không gian biến khớp đơn giản và dễ tính toán hơn khi mô tả trong hệ tọa độ Đề-các.

Quỹ đạo thiết kế phải đảm bảo các điều kiện liên tục (continuous conditions) bao gồm :

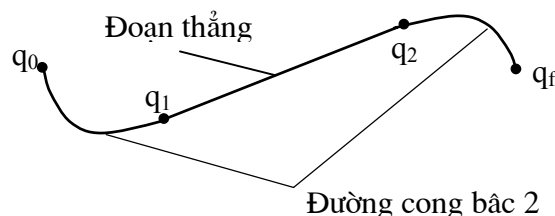
- + Liên tục về vị trí (Position)
- + Liên tục về tốc độ (Velocity)
- + Liên tục về gia tốc (Acceleration).



Hình 8.1. Tính liên tục của quỹ đạo robot.

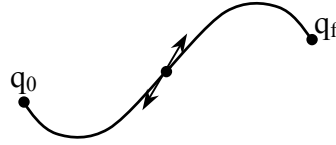
Để thiết kế quỹ đạo robot, người ta thường dùng phương pháp xấp xỉ các đa thức bậc n, các quỹ đạo thường gặp là :

- + Quỹ đạo CS (Cubic Segment) : Tương đương đa thức bậc 3;
- + Quỹ đạo LS (linear Segment) : Tương đương đa thức bậc 1;
- + Quỹ đạo LSPB (Linear Segment with Parabolic Blend) : Phối hợp đa thức bậc 2 với đa thức bậc 1.



Hình 8.2 : Quỹ đạo LSPB

+ Quỹ đạo BBPB (Bang Bang Parabolic Blend) : là trường hợp đặc biệt của quỹ đạo LSPB khi đoạn tuyến tính thu về bằng 0 và xuất hiện điểm uốn.



Hình 8.2 : Quỹ đạo BBPB

Nếu cho trước nhiều điểm nút, ta có thể áp dụng nhiều dạng quỹ đạo cơ bản khác nhau cho một biến khớp.

8.2. Quỹ đạo đa thức bậc 3 :

Khi thiết kế quỹ đạo robot theo đa thức bậc 3 qua các điểm nút, mỗi đoạn quỹ đạo giữa hai điểm nút sẽ được biểu diễn bằng một phương trình bậc 3 riêng biệt. Quỹ đạo đa thức bậc 3 đảm bảo sự liên tục của đạo hàm bậc nhất và bậc hai tại các điểm nút.

Tại thời điểm $t_k \leq t \leq t_{k+1}$, quỹ đạo xấp xỉ đa thức bậc 3 của biến khớp thứ i là $q_i(t)$ có dạng :

$$q_i(t) = a_i + b_i(t - t_k) + c_i(t - t_k)^2 + d_i(t - t_k)^3 \quad (8.1)$$

Với các ràng buộc :

$$\begin{aligned} q_i(t_k) &= q_k & \text{và} & \quad \dot{q}_i(t_k) = \dot{q}_k \\ q_i(t_{k+1}) &= q_{k+1} & \text{và} & \quad \dot{q}_i(t_{k+1}) = \dot{q}_{k+1} \end{aligned}$$

Từ (8.1) ta thấy : $t = t_k \rightarrow a_i = q_k$

Lấy đạo hàm của (8.1) theo t , ta có :

$$\dot{q}_i(t) = b_i + 2c_i(t - t_k) + 3d_i(t - t_k)^2$$

$$\text{Tại : } t = t_k \rightarrow b_i = \dot{q}_k \quad (8.3)$$

Tại $t = t_{k+1}$ ta có hai tham số :

$$c_i = \frac{3(q_{k+1} - q_k) - (2\dot{q}_k + \dot{q}_{k+1})\delta t_k}{\delta t_k^2} \quad (8.4)$$

$$d_i = \frac{(\dot{q}_{k+1} + \dot{q}_k)\delta t_k - 2(q_{k+1} - q_k)}{\delta t_k^3} \quad (8.5)$$

Trong đó : $\delta t_k = t_{k+1} - t_k$

Các phương trình (8.4) và (8.5) nhận được khi giải (8.1) ... (8.3).

Tính liên tục của vận tốc là sự đảm bảo cho quỹ đạo không gấp khúc, giật cục, gây sốc trong quá trình hoạt động của robot. Vận tốc và gia tốc tại điểm cuối của một đoạn đường cong bậc 3 chính bằng vận tốc và gia tốc của đoạn cong bậc 3 tiếp theo.

Cần chú ý rằng khi thiết kế quỹ đạo trong không gian Đề cát, để điều khiển được robot, ở mỗi thời điểm đều phải tìm được nghiệm của bài toán động học ngược. Vì vậy yêu cầu "não bộ" của robot (máy tính) phải thực hiện

một khối lượng các phép tính không lồ trong một khoảng thời gian rất ngắn (vài chục microgiây) để đảm bảo thời gian thực khi robot hoạt động. Nếu ta không tìm cách cải biến thiết kế quỹ đạo thì rất khó đảm bảo yêu cầu này.

* Ví dụ về thiết kế quỹ đạo CS:

Thiết kế quỹ đạo CS (Path with Cubic segment) của khớp thứ i đi qua hai điểm nút có giá trị q_0 và q_f . Với các ràng buộc $\dot{q}_0 = 0$; $\dot{q}_f = 0$.

Từ các công thức (8.2) . . . (8.5) ta xác định các hệ số của đa thức bậc 3 như sau :

$$a_i = q_0 ; b_i = 0;$$

$$c_i = \frac{3(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^2} \quad \text{và} \quad d_i = \frac{-2(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^3}$$

Do vậy quỹ đạo $q_i(t)$ có dạng như sau :

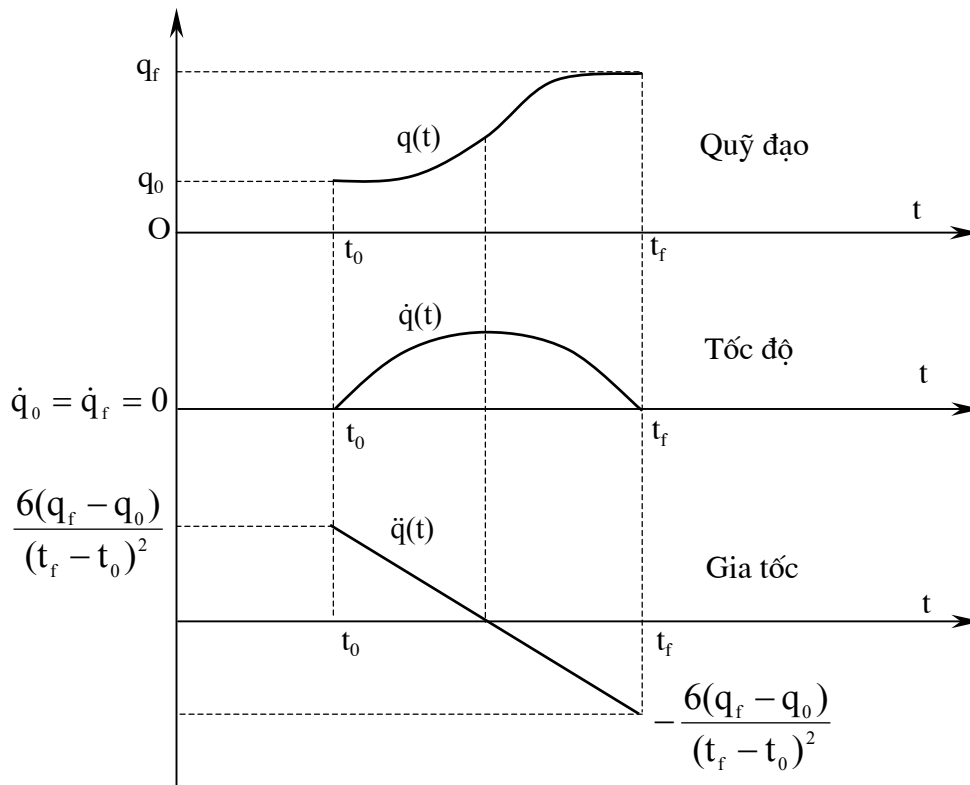
$$q_i(t) = q_0 + \frac{3(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^2} (t - t_0)^2 - \frac{2(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^3} (t - t_0)^3$$

$$\text{Vận tốc là : } \dot{q}_i(t) = \frac{6(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^2} (t - t_0) - \frac{6(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^3} (t - t_0)^2$$

$$\text{Và gia tốc là : } \ddot{q}_i(t) = \frac{6(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^2} - \frac{12(q_f - q_0)}{(t_f - t_0)^3} (t - t_0)$$

Trong ví dụ trên, giả sử thời gian $t_0 = 0$ và $t_f = 1$ giây, thì :

$$q_i(t) = q_0 + 3(q_f - q_0) t^2 - 2(q_f - q_0) t^3$$

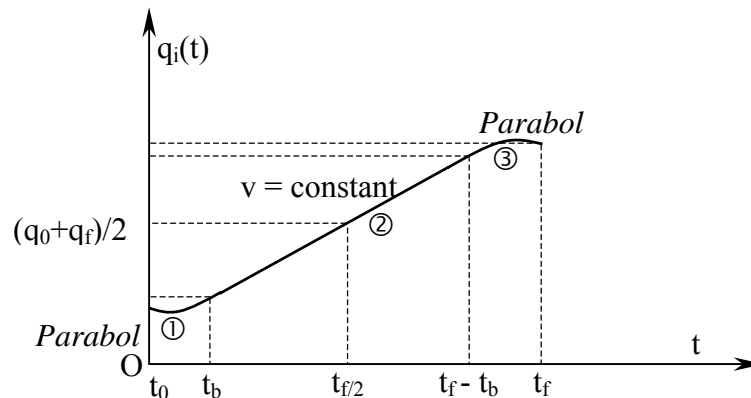


Hình 8.3. Thiết kế quỹ đạo CS

Từ các phương trình quỹ đạo, phương trình vận tốc và phương trình gia tốc ta xây dựng được các biểu đồ đặc tính chuyển động của khớp thứ i trên đoạn quỹ đạo thiết kế.

8.3. Quỹ đạo tuyến tính với cung ở hai đầu là parabol (LSPB) :

Khi yêu cầu công cụ gắn trên khâu chấp hành cuối của robot chuyển động với vận tốc đều đặn, ta dùng quỹ đạo LSPB.



Hình 8.3. Quỹ đạo LSPB.

Các điều kiện liên tục của quỹ đạo này thể hiện ở :

$$q(t_0) = q_0 ; q(t_f) = q_f ; \text{ và } \dot{q}(t_0) = \dot{q}(t_f) = 0$$

và điều kiện công nghệ là $v = \text{constant}$.

Quỹ đạo được chia làm 3 đoạn :

a/ Trong đoạn 1 : $0 \leq t \leq t_b$ quỹ đạo Parabol có dạng :

$$q_i(t) = \alpha + \beta t + \gamma t^2 \quad (8.6)$$

$$\text{Khi } t = 0 \text{ thì } \alpha = q(t_0) = q_0 \quad (8.7)$$

$$\text{Lấy đạo hàm (8.6) : } \dot{q}(t) = \beta + 2\gamma t \quad (8.8)$$

$$\text{Khi } t = 0 \text{ thì } \beta = \dot{q}(t_0) = 0$$

Tại thời điểm t_b ta cần có vận tốc bằng hằng số vận tốc cho trước v :

$$\text{Nên khi } t = t_b \quad \gamma = v/2t_b$$

Đặt $v/t_b = a \Rightarrow \gamma = a/2$ và quỹ đạo có dạng :

$$q_i(t) = q_0 + at^2/2 \quad (0 \leq t \leq t_b) \quad (8.9)$$

b/ Trong đoạn 2 : $[t_b, (t_f - t_b)]$ quỹ đạo tuyến tính có dạng :

$$q_i(t) = \alpha_0 + vt$$

$$\text{Do tính đối xứng : } q\left(\frac{t_f}{2}\right) = \frac{(q_0 + q_f)}{2}$$

$$\text{Suy ra } \frac{(q_0 + q_f)}{2} = \alpha_0 + v \frac{t_f}{2}$$

$$\text{Vậy } \alpha_0 = \frac{(q_0 + q_f - vt_f)}{2}$$

Phương trình quỹ đạo tuyến tính sẽ là :

$$q_i(t) = \frac{q_f + q_0 - vt_f}{2} + vt \tag{8.10}$$

Từ điều kiện liên tục về vị trí, tại thời điểm t_b ta có :

$$q_0 + \frac{at_b^2}{2} = \frac{q_f + q_0 - vt_f}{2} + vt_b$$

Rút ra :

$$t_b = \frac{q_0 - q_f + vt_f}{v}$$

Với điều kiện tồn tại : $0 < t_b \leq t_f/2$, dẫn đến :

$$\frac{q_f - q_0}{v} < t_f \leq \frac{2(q_f - q_0)}{v}$$

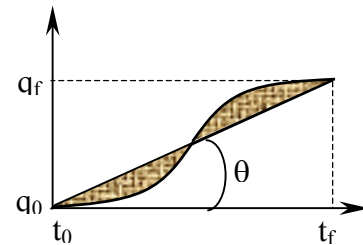
Điều này xác định vận tốc phải nằm giữa các giới hạn trên, nếu không chuyển động sẽ không thực hiện được.

Về mặt vật lý :

Nếu $t_f > (q_f - q_0) / v$ và $t_f \leq 2(q_f - q_0) / v$

thì : $v > (q_f - q_0) / t_f$ và $v \leq 2(q_f - q_0) / t_f$.

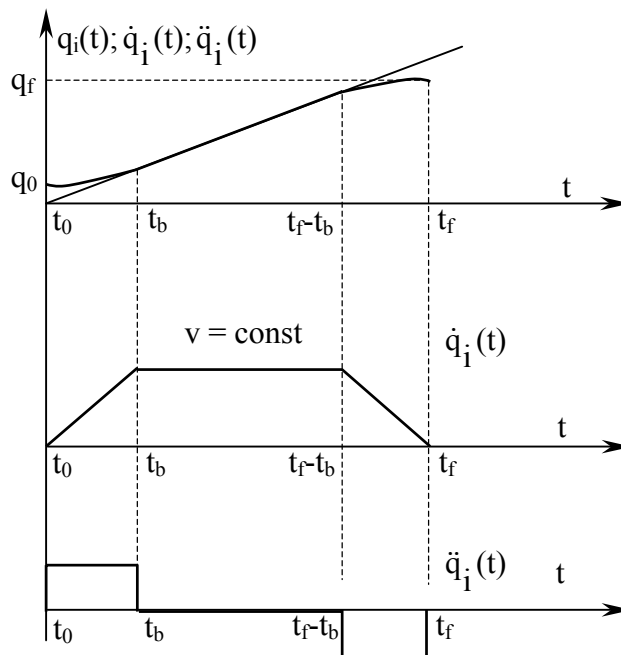
Nghĩa là $tg\theta < v \leq tg2\theta$.



c/ Trong đoạn 3 : $(t_f - t_b) \leq t \leq t_f$ quỹ đạo Parabol có dạng :

$$q_i(t) = q_f - \frac{at_f^2}{2} + at_f t - \frac{a}{2} t^2 \tag{8.11}$$

Từ các phương trình (8.9)...(8.11) ta xây dựng đặc tính chuyển động theo quỹ đạo LSPB của khớp q_i như sau :



Hình 8.4 : Đặc tính quỹ đạo LSPB

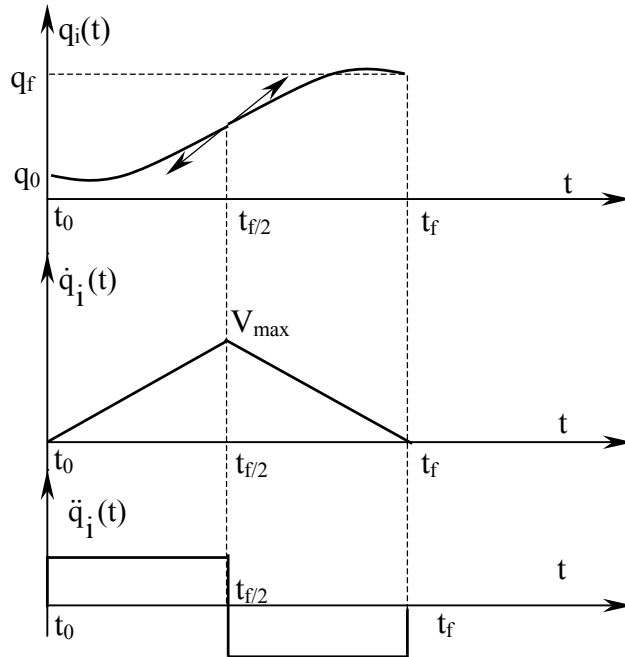
8.4. Quỹ đạo Bang Bang Parabolic blend (BBPB) :

Như đã trình bày ở trên, đây là trường hợp đặc biệt của quỹ đạo LSPB khi đoạn tuyến tính thu về 0.

Với : $0 \leq t \leq \frac{t_f}{2}$ $q_i(t) = q_0 + \frac{at^2}{2}$

và với $\frac{t_f}{2} \leq t \leq t_f$ $q_i(t) = 2q_0 - q_f + 2a\sqrt{\frac{q_f - q_0}{a}}t - \frac{at^2}{2}$

Đồ thị đặc tính của quỹ đạo này như sau :



Hình 8.5. Đặc tính quỹ đạo BBPB

=====

CHƯƠNG 9

TRUYỀN ĐỘNG VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT.

9.1. Truyền động điện trong robot:

Truyền động điện được dùng khá nhiều trong kỹ thuật robot, vì có nhiều ưu điểm như là điều khiển đơn giản không phải dùng các bộ biến đổi phụ, không gây bẩn môi trường, các loại động cơ điện hiện đại có thể lắp trực tiếp trên các khớp quay...

Tuy nhiên so với truyền động thủy lực hoặc thủy khí thì truyền động điện có công suất thấp và thông thường phải cần thêm hộp giảm tốc vì thường các khâu của robot chuyển động với tốc độ thấp.

Trong kỹ thuật robot, về nguyên tắc có thể dùng động cơ điện các loại khác nhau, nhưng trong thực tế chỉ có hai loại được dùng nhiều hơn cả. Đó là động cơ điện một chiều và động cơ bước.

Ngày nay, do những thành tựu mới trong nghiên cứu điều khiển động cơ điện xoay chiều, nên cũng có xu hướng chuyển sang sử dụng động cơ điện xoay chiều để tránh phải trang bị thêm bộ nguồn điện một chiều. Ngoài ra, loại động cơ điện một chiều không chổi góp (DC brushless motor) cũng bắt đầu được ứng dụng vào kỹ thuật robot.

9.1.1. Động cơ điện một chiều :

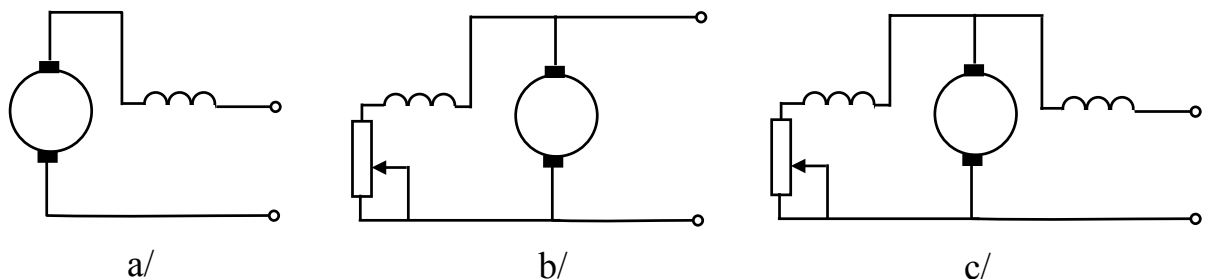
Động cơ điện một chiều gồm có hai phần :

+ Stato cố định với các cuộn dây có dòng điện cảm hoặc dùng nam châm vĩnh cửu. Phần này còn được gọi là *phần cảm*. Phần cảm tạo nên từ thông trong khe hở không khí.

+ Roto với các thanh dẫn. Khi có dòng điện một chiều chạy qua và với dòng từ thông xác định, roto sẽ quay. Phần này gọi là *phần ứng*.

Tuỳ cách đấu dây giữa phần cảm so với phần ứng, ta có những loại động cơ điện một chiều khác nhau :

- + Động cơ kích từ nối tiếp (Hình 9.1.a);
- + Động cơ kích từ song song (Hình 9.1.b);
- + Động cơ kích từ hỗn hợp (Hình 9.1.c).



Hình 9.1. Các loại động cơ điện một chiều.

Các thông số chủ yếu quyết định tính năng làm việc của động cơ điện một chiều là :

- U : Điện áp cung cấp cho phân ứng;
- I : Cường độ dòng điện của phân ứng;
- r : Điện trở trong của phân ứng;
- Φ : Từ thông;
- E : Sức phản điện động phân ứng.

Các quan hệ cơ bản của động cơ điện một chiều là :

$$E = U - rI = k n \Phi$$

k là hệ số phụ thuộc vào đặc tính của dây cuốn và số thanh dẫn của phân ứng.

$$\text{Số vòng quay của động cơ điện một chiều : } n = \frac{U - Ir}{k \Phi}$$

Mômen động C xác định từ phương trình cân bằng công suất :

$$EI = 2\pi n C$$

$$\text{Hay : } C = 2 \frac{k\Phi I}{\pi}$$

Muốn điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều có thể thực hiện bằng cách :

- Thay đổi từ thông Φ , thông qua việc điều chỉnh điện áp dòng kích từ. Trong trường hợp giữ nguyên điện áp phân ứng U, tăng tốc độ từ 0 đến tốc độ định mức, thì công suất không đổi còn momen giảm theo tốc độ.

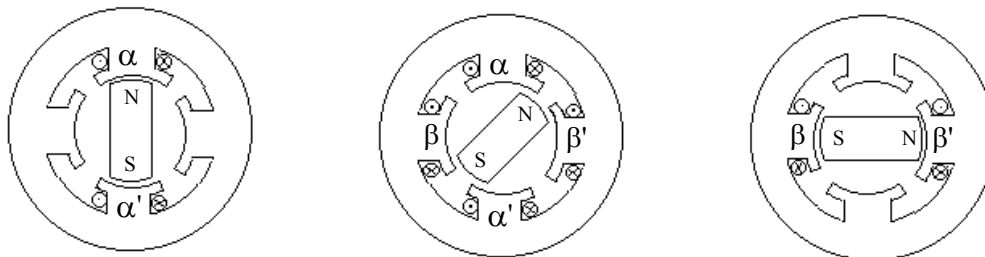
- Điều chỉnh điện áp phân ứng. Trong trường hợp từ thông không đổi, khi tăng tốc độ từ 0 đến tốc độ định mức thì momen sẽ không đổi, còn công suất tăng theo tốc độ.

Muốn đảo chiều quay của động cơ điện một chiều cần thay đổi hoặc chiều của từ thông (tức chiều của dòng điện kích từ) hoặc thay đổi chiều dòng điện phân ứng.

9.1.2. Động cơ bước :

Nguyên tắc hoạt động :

Trên hình 9.2 là sơ đồ động cơ bước loại đơn giản nhất dùng nam châm vĩnh cửu gồm stato có 4 cực và roto có 2 cực.



Hình 9.2 : Sơ đồ nguyên lý hoạt động của động cơ bước.

Nếu cấp điện cho cuộn dây $\alpha\alpha'$ thì roto sẽ dừng ở vị trí mà dòng từ qua cuộn dây là lớn nhất. Nếu cấp điện cho cuộn dây $\beta\beta'$ thì roto sẽ quay đi $\pm 90^\circ$ (Phụ thuộc chiều dòng điện cấp vào). Khi đồng thời cấp điện cho cả 2 cuộn dây α và β thì roto sẽ dừng ở vị trí giữa 0° và 90° , và nếu dòng điện vào 2 cuộn dây hoàn toàn như nhau thì roto sẽ dừng ở vị trí 45° .

Như vậy vị trí của roto phụ thuộc vào số cực được cấp điện trên stato và chiều của dòng điện cấp vào.

Trên đây là sơ đồ nguyên lý của động cơ bước loại có ít cực và dùng nam châm vĩnh cửu. Trên cơ sở đó ta có thể tìm hiểu các loại động cơ có nhiều cực và dùng nam châm điện có từ tính thay đổi.

Như vậy tùy theo cách cấp điện cho các cuộn dây trên stato ta có thể điều khiển các vị trí dừng của roto. Việc cấp điện cho các cuộn dây có thể số hoá, cho nên có thể nói động cơ bước là loại động cơ điện chuyển các tín hiệu số đầu vào thành chuyển động cơ học từng nấc ở đầu ra.

Ưu nhược điểm :

+ Khi dùng động cơ bước không cần mạch phản hồi cho cả điều khiển vị trí và vận tốc.

+ Thích hợp với các thiết bị điều khiển số. Với khả năng điều khiển số trực tiếp, động cơ bước trở thành thông dụng trong các thiết bị cơ điện tử hiện đại.

Tuy nhiên phạm vi ứng dụng động cơ bước là ở vùng công suất nhỏ và trung bình. Việc nghiên cứu nâng cao công suất động cơ bước đang là vấn đề rất được quan tâm hiện nay. Ngoài ra, nói chung hiệu suất của động cơ bước thấp hơn các loại động cơ khác.

Các thông số chủ yếu của động cơ bước :

Góc quay :

Động cơ bước quay một góc xác định ứng với mỗi xung kích thích. Góc bước θ càng nhỏ thì độ phân giải vị trí càng cao. Số bước s là một thông số quan trọng :

$$s = \frac{360^\circ}{\theta}$$

Tốc độ quay và tần số xung :

Tốc độ quay của động cơ bước phụ thuộc vào số bước trong một giây. Đối với hầu hết các động cơ bước, số xung cấp cho động cơ bằng số bước (tính theo phút) nên tốc độ có thể tính theo tần số xung f . Tốc độ quay của động cơ bước tính theo công thức sau :

$$n = \frac{60f}{s} \quad (f : \text{bước/phút}) / (s : \text{bước /vòng})$$

Tong đó : n - tốc độ quay (vòng/phút)

f - tần số xung (Hz)

s - Số bước trong một vòng quay.

Ngoài ra còn các thông số quan trọng khác như độ chính xác vị trí, momen và quán tính của động cơ...

Các loại động cơ bước :

Tùy theo kiểu của roto, động cơ bước được chia thành các loại sau :

- + Động cơ bước kiểu từ trở biến đổi (VR : Variable Resistance)
- + Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (PM : Permanent Magnet)
- + Động cơ bước kiểu lai (Hybrid)

Tùy theo số cuộn dây độc lập trên stato động cơ bước được chia thành các loại : 2 pha, 3 pha hoặc 4 pha.

Roto động cơ bước có nhiều cực (còn gọi là răng). Số cực của roto phối hợp với số cực của stato xác định giá trị góc bước θ . Góc bước lớn nhất là 90° ứng với động cơ có số bước $s = 4$ bước/vòng. Phần lớn những động cơ bước hiện nay có số bước $s = 200$, nên $\theta = 1,8^\circ$.

Số bước càng lớn độ phân giải càng cao và định vị càng chính xác. Nhưng trong thực tế, không thể tăng số bước lên quá cao. Tuy nhiên có thể dùng công nghệ tạo bước nhỏ để chia bước thành 2 nửa bước (như hình b/ 9.2) hoặc từ 10 đến 125 bước nhỏ. Công nghệ tạo bước nhỏ còn gọi là tạo vi bước, chỉ đơn giản là mở rộng phương pháp nói trên cho nhiều vị trí trung gian bằng cách cung cấp những giá trị dòng khác nhau cho mỗi cuộn dây. Động cơ được tạo bước nhỏ có độ phân giải tinh hơn nhiều. Ví dụ, nếu phân 125 bước nhỏ trong một bước đầy, với 200 bước/vòng thì độ phân giải của động cơ là $125 \times 200 = 25.000$ bước nhỏ/vòng.

9.2. Truyền động khí nén và thủy lực :

Ngoài truyền động điện, trong kỹ thuật robot còn thường dùng các loại truyền động khí nén hoặc thủy lực.

9.2.1. Truyền dẫn động khí nén :

Dùng khí nén trong hệ truyền động robot nhiều thuận lợi như : Do các phân xưởng công nghiệp thường có mạng lưới khí nén chung, nên đơn giản hoá được phần thiết bị nguồn động lực cho robot. Hệ truyền dẫn khí nén gọn nhẹ, dễ sử dụng, dễ đảo chiều, ... Tuy nhiên hệ truyền dẫn khí nén cũng có nhiều nhược điểm như : do tính nén được của chất khí nên chuyển động thường kèm theo dao động, dùng không chính xác, ngoài ra còn cần trang bị thêm các thiết bị phun dầu bôi trơn, lọc bụi, giảm tiếng ồn ...

9.2.2. Truyền dẫn động thủy lực :

Hệ truyền dẫn thủy lực có những ưu điểm như : Tải trọng lớn, quán tính bé, dễ thay đổi chuyển động, dễ điều khiển tự động.

Tuy nhiên chúng cũng có những nhược điểm như : Hệ thủy lực luôn đòi hỏi bộ nguồn, bao gồm thùng dầu, bơm thủy lực, thiết bị lọc, bình tích dầu, các

loại van điều chỉnh, đường ống ... làm hệ truyền động cho robot khá công kênh so với truyền động khí nén và truyền động điện.

Nhìn chung, hệ truyền dẫn thuỷ lực vẫn được sử dụng khá phổ biến trong robot, nhất là trong trường hợp tải nặng.

Các phần tử trong hệ truyền động bằng khí nén và thuỷ lực đã được tiêu chuẩn hoá.

Các tính toán thiết kế hệ truyền dẫn khí nén và thuỷ lực đã được nghiên cứu trong các giáo trình riêng.

9.3. Các phương pháp điều khiển Robot :

Nhiệm vụ quan trọng đầu tiên của việc điều khiển robot là bảo đảm cho điểm tác động cuối E (End-effector) của tay máy dịch chuyển bám theo một quỹ đạo định trước. Không những thế, hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối còn phải đảm bảo hướng trong quá trình di chuyển. Giải bài toán ngược phương trình động học ta có thể giải quyết về mặt động học yêu cầu trên. Đó cũng là nội dung cơ bản để xây dựng chương trình điều khiển vị trí cho robot.

Tuy nhiên việc giải bài toán này chưa xét tới điều kiện thực tế khi robot làm việc, như là các tác động của momen lực, ma sát ... Tùy theo yêu cầu nâng cao chất lượng điều khiển (độ chính xác) mà ta cần tính đến ảnh hưởng của các yếu tố trên, và theo đó, phương pháp điều khiển cũng trở nên đa dạng và phong phú hơn.

9.3.1. Điều khiển tỉ lệ sai lệch (PE : Proportional Error):

Nguyên tắc cơ bản của phương pháp này rất dễ hiểu; đó là làm cho hệ thống thay đổi theo chiều hướng có sai lệch nhỏ nhất. Hàm sai lệch có thể là $\varepsilon = \theta_d - \theta(t)$, ở đây θ_d là góc quay mong muốn và $\theta(t)$ là giá trị quay thực tế của biến khớp, ta sẽ gọi θ_d là "góc đặt". Khi $\varepsilon = 0$ thì khớp đạt được vị trí mong muốn. Nếu $\varepsilon < 0$, thì khớp đã di chuyển quá mức và cần chuyển động ngược lại. Như vậy, kiểu điều khiển chuyển động này là luôn có chiều hướng làm cho sai lệch ε xấp xỉ zero.

Bên cạnh đó, chúng ta cũng cần quan tâm đến phần độ lớn, nghĩa là, chúng ta không những cần biết "làm cho động cơ chuyển động bằng cách nào?" mà còn cần biết "cần cung cấp cho động cơ một năng lượng (mômen động) là bao nhiêu?". Để trả lời câu hỏi này một lần nữa, chúng ta có thể dùng tín hiệu sai số $\varepsilon = \theta_d - \theta$. Chúng ta hãy áp dụng một tín hiệu điều khiển mà nó tỉ lệ với ε :

$$F = K_p(\theta_d - \theta(t)) \quad (9.1)$$

Qui luật này xác định một hệ điều khiển phản hồi và được gọi là hệ điều khiển tỉ lệ sai lệch.

9.3.2. Điều khiển tỉ lệ - đạo hàm (PD : *Propotional Derivative*):

Phương pháp điều khiển tỉ lệ sai lệch còn nhiều nhược điểm như : Hệ dao động lớn khi ma sát nhỏ (tình trạng vượt quá) và ở trạng thái tĩnh, khi $\varepsilon \rightarrow 0$ thì momen cũng gần bằng không, nên không giữ được vị trí dưới tác dụng của tải.

Để khắc phục điều trên, có thể chọn phương pháp điều khiển tỉ lệ - đạo hàm (PD), với lực tổng quát :

$$F = K_p \varepsilon + K_d \dot{\theta}(t) \quad (9.2)$$

Trong đó : ε - sai số vị trí của khớp động. $\varepsilon = \theta_d - \theta(t)$.

$\dot{\theta}(t)$ - Thành phần đạo hàm - vận tốc góc.

K_e - Hệ số tỉ lệ sai lệch vị trí.

K_d - Hệ số tỉ lệ vận tốc.

9.3.3. Điều khiển tỉ lệ - tích phân - đạo hàm

(PID : *Propotional Integral Derivative*):

Hệ thống với cấu trúc luật điều khiển PD vẫn còn một số nhược điểm, không phù hợp với một số loại robot. Một hệ thống điều khiển khác có bổ sung thêm tín hiệu tốc độ đặt $\dot{\theta}_d$ và sai lệch tốc độ $\dot{\varepsilon} = \dot{\theta}_d - \dot{\theta}(t)$ tác động vào khâu khuếch đại K_d . Phương trình lực tác động lên khớp động có dạng :

$$F = K_e \varepsilon + K_d \dot{\varepsilon} + K_i \int_0^t \varepsilon(t) dt \quad (9.3)$$

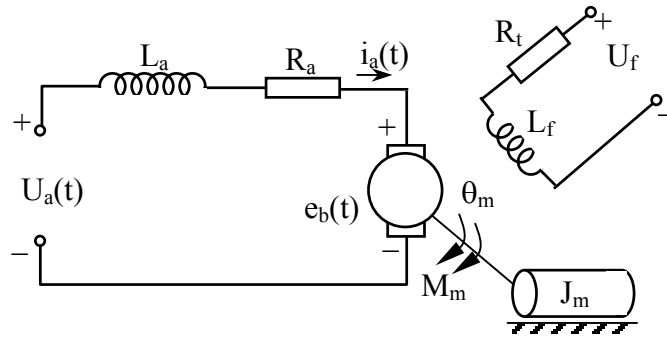
Với $\dot{\varepsilon}$ - sai số tốc độ. $\dot{\varepsilon} = \dot{\theta}_d - \dot{\theta}(t)$.

Như vậy, tùy theo cấu trúc đã lựa chọn của bộ điều khiển, ta đem đối chiếu các phương trình(9.1), (9.2) hoặc (9.3) với phương trình Lagrange - Euler, Từ đó nhận được các phương trình của hệ điều khiển tương ứng. Từ các phương trình này của hệ điều khiển, cần xác định các hệ số tỉ lệ K_e , K_d , K_i để hệ hoạt động ổn định.

9.3.4. Hàm truyền chuyển động của mỗi khớp động :

Nội dung phần này trình bày phương pháp xây dựng hàm truyền đối với trường hợp chuyển động một bậc tự do, mỗi khớp thường được điều khiển bằng một hệ truyền động riêng. Phổ biến hơn cả là động cơ điện một chiều.

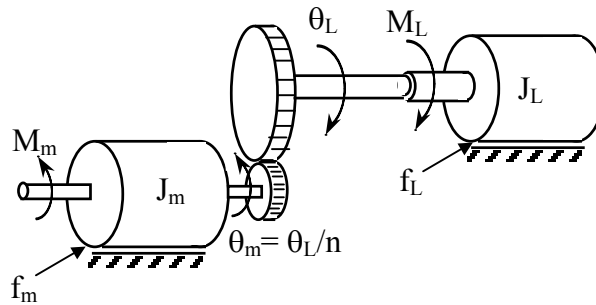
Xét sơ đồ truyền động của động cơ điện một chiều với tín hiệu vào là điện áp U_a đặt vào phần ứng, tín hiệu ra là góc quay θ_m của trục động cơ; động cơ kiểu kích từ độc lập.



Hình 9.3. Sơ đồ động cơ điện một chiều.

Trong thực tế, trục động cơ được nối với hộp giảm tốc rồi tới trục phụ tải như hình 9.4. Gọi n là tỉ số truyền, θ_L là góc quay của trục phụ tải, ta có :

$$\begin{aligned} \theta_L(t) &= n \theta_m(t) \\ \dot{\theta}_L(t) &= n \dot{\theta}_m(t) \\ \ddot{\theta}_L(t) &= n \ddot{\theta}_m(t) \end{aligned} \tag{9.4}$$



Hình 9.4. Sơ đồ động cơ điện cùng phụ tải.

Mômen trên trục động cơ bằng tổng momen cần để động cơ quay, cộng với mômen phụ tải quy về trục động cơ.

$$M(t) = M_m(t) + M_L^*(t) \tag{9.5}$$

Ký hiệu : J_m : Mômen quán tính của động cơ.

J_L : Momen quán tính phụ tải.

Ta có :

$$M_m(t) = J_m \ddot{\theta}_m(t) + f_m \dot{\theta}_m(t) \tag{9.6}$$

$$M_L(t) = J_L \ddot{\theta}_L(t) + f_L \dot{\theta}_L(t) \tag{9.7}$$

Trong đó f_m và f_L là hệ số cản của động cơ và của phụ tải.

Theo định luật bảo tồn năng lượng, công do phụ tải sinh ra, tính trên trục phụ tải là $M_L \theta_L$ phải bằng công quy về trục động cơ $M_L^* \theta_m$. Từ đó ta có :

$$M_L^*(t) = \frac{M_L(t)\theta_L(t)}{\theta_m(t)} = nM_L(t) \quad (9.8)$$

Thay (9.1) và (9.4) vào công thức trên :

$$M_L^*(t) = n^2 [J_L \ddot{\theta}_m(t) + f_L \dot{\theta}_m(t)] \quad (9.9)$$

Thay (9.3) và (9.6) vào (9.2) ta có :

$$M(t) = (J_m + n^2 J_L) \ddot{\theta}_m(t) + f_m n^2 f_L \dot{\theta}_m(t)$$

Hay : $M(t) = J \ddot{\theta}_m(t) + f \dot{\theta}_m(t) \quad (9.10)$

Với :

$$\begin{aligned} J &= J_m + n^2 J_L && : \text{Mômen quán tính tổng hiệu dụng.} \\ f &= f_m + n^2 f_L && : \text{Hệ số ma sát tổng hiệu dụng.} \end{aligned}$$

Mômen trên trục động cơ phụ thuộc tuyến tính với cường độ dòng điện phân ứng và không phụ thuộc vào góc quay và vận tốc góc, ta có :

$$M(t) = K_a i_a(t) \quad (9.11)$$

Với i_a : Cường độ dòng điện phân ứng.
 K_a : Hệ số tỉ lệ mômen.

Áp dụng định luật Kirchhoff cho mạch điện phân ứng :

$$U_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (9.12)$$

Với R_a, L_a : điện trở và điện cảm phân ứng.
 e_b : sức phản điện động của động cơ.

$$e_b(t) = K_b \dot{\theta}_m(t) \quad (9.13)$$

K_b : hệ số tỉ lệ của sức phản điện động.

Sử dụng phép biến đổi Laplace, từ (9.12) ta có :

$$I_a(s) = \frac{U_a(s) - sK_b \theta_m(s)}{R_a + sL_a} \quad (9.14)$$

Từ (9.10) và (9.11) ta có :

$$\begin{aligned} M(s) &= s^2 J \theta_m(s) + s f \theta_m(s) = K_a I_a(s) \\ \Rightarrow \theta_m(s) &= \frac{K_a I_a(s)}{s^2 J + s f} \end{aligned} \quad (9.15)$$

Thay (9.14) vào (9.15) :

$$\begin{aligned} \theta_m(s) &= K_a \left[\frac{U_a(s) - sK_b \theta_m(s)}{(s^2 J + s f)(R_a + sL_a)} \right] \\ \Rightarrow \frac{U_a(s) - sK_b \theta_m(s)}{\theta_m(s)} &= \frac{(s^2 J + s f)(R_a + sL_a)}{K_a} \end{aligned}$$

$$\frac{U_a(s)}{\theta_m(s)} = \frac{(s^2J + sf)(R_a + sL_a) + sK_a K_b}{K_a}$$

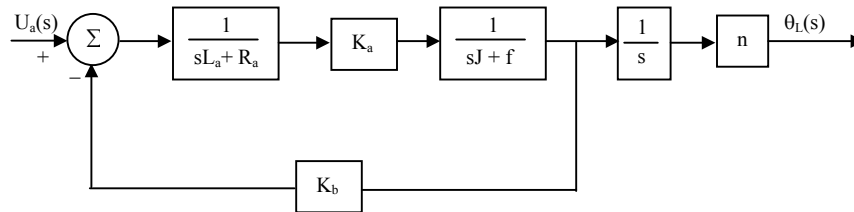
Hay :

$$\frac{\theta_m(s)}{U_a(s)} = \frac{K_a}{s[(sJ + f)(R_a + sL_a) + K_a K_b]} \quad (9.16)$$

Đây là hàm truyền cần xác định, nó là tỉ số giữa tín hiệu ra (góc quay θ_m) và tín hiệu vào của hệ thống (điện áp U_a). Vì hệ thống gồm có động cơ và phụ tải nên tín hiệu ra thực tế là góc quay của trục phụ tải θ_L , do đó hàm truyền chuyển động 1 bậc tự do của tay máy là :

$$\frac{\theta_L(s)}{U_a(s)} = \frac{nK_a}{s[(R_a + sL_a)(sJ + f) + K_a K_b]} \quad (9.17)$$

và ta có sơ đồ khối tương ứng với hàm truyền trên là :



Hình 9.5 : Sơ đồ khối hàm truyền chuyển động một bậc tự do.

Trong công thức (9.17) có thể bỏ qua thành phần điện cảm phần ứng L_a , vì nó thường quá nhỏ so với các nhân tố ảnh hưởng cơ khí khác. Nên :

$$\frac{\theta_L(s)}{U_a(s)} = \frac{nK_a}{s(sR_a J + R_a f + K_a K_b)} \quad (9.18)$$

9.3.6. Điều khiển vị trí mỗi khớp động :

Mục đích của điều khiển vị trí là làm sao cho động cơ chuyển dịch khớp động đi một góc bằng góc quay đã tính toán để đảm bảo quỹ đạo đã chọn trước (chương 8). Việc điều khiển được thực hiện như sau : Theo tín hiệu sai lệch giữa giá trị thực tế và giá trị tính toán của vị trí góc mà điều chỉnh điện áp $U_a(t)$ đặt vào động cơ. Nói cách khác, để điều khiển động cơ theo quỹ đạo mong muốn phải đặt vào động cơ một điện áp tỉ lệ thuận với độ sai lệch góc quay của khớp động.

$$U_a(t) = \frac{K_p e(t)}{n} = \frac{K_p (\tilde{\theta}_L(t) - \theta_L(t))}{n} \quad (9.19)$$

Trong đó K_p : hệ số truyền tín hiệu phản hồi vị trí.

$$e(t) = \tilde{\theta}_L(t) - \theta_L(t) : \text{độ sai lệch góc quay.}$$

Giá trị góc quay tức thời : $\tilde{\theta}_L(t)$ được đo bằng cảm biến quang học hoặc chiết áp. Biến đổi Laplace phương trình (9.18) :

$$U_a(s) = \frac{K_p(\tilde{\theta}_L(s) - \theta_L(s))}{n} = \frac{K_p E(s)}{n} \tag{9.20}$$

Thay (9.20) vào phương trình (9.18) :

$$\frac{\theta_L(s)}{E(s)} = \frac{K_a K_p}{s(sR_a J + R_a f + K_a K_b)} = G(s) \tag{9.21}$$

Sau khi biến đổi đại số ta có hàm truyền :

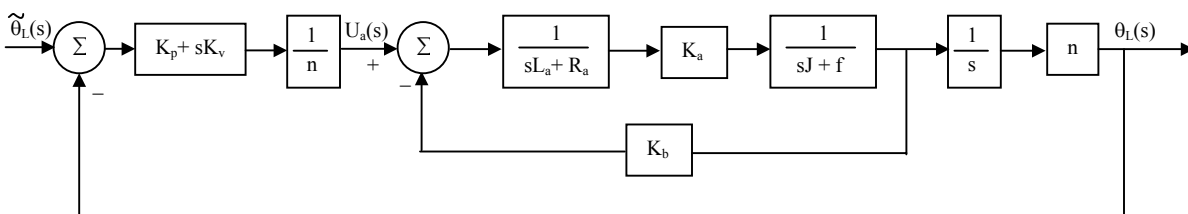
$$\frac{\theta_L(s)}{\tilde{\theta}_L(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{K_a K_p}{s^2 R_a J + s(R_a f + K_a K_b) + K_a K_b} = \frac{K_a K_p / R_a J}{s^2 + \frac{(R_a f + K_a K_b)}{R_a J} s + \frac{K_a K_b}{R_a J}} \tag{9.22}$$

Phương trình (9.22) cho thấy rằng hệ điều khiển tỉ lệ của một khớp động là một hệ bậc hai, nó sẽ luôn ổn định nếu các hệ số của của phương trình bậc hai là những số dương. Để nâng cao đặc tính động lực học và giảm sai số trạng thái ổn định của hệ người ta có thể tăng hệ số phản hồi vị trí K_p và kết hợp làm giảm dao động trong hệ bằng cách thêm vào thành phần đạo hàm của sai số vị trí. Với việc thêm phản hồi này, điện áp đặt lên động cơ sẽ tỉ lệ tuyến tính với sai số vị trí và đạo hàm của nó :

$$U_a(t) = \frac{K_p(\tilde{\theta}_L(t) - \theta_L(t)) + K_v(\dot{\tilde{\theta}}_L(t) - \dot{\theta}_L(t))}{n} = \frac{K_p e(t) + K_v \dot{e}(t)}{n} \tag{9.23}$$

Trong đó K_v là hệ số phản hồi của sai số về vận tốc.

Với phản hồi nêu trên, hệ thống trở thành khép kín và có hàm truyền như thể hiện trên sơ đồ khối hình (9.6). Đây là phương pháp điều khiển tỉ lệ - Đạo hàm.



Hình 9.6 : Sơ đồ khối điều khiển chuyển dịch một khớp động có liên hệ phản hồi.
TS. Phạm Đăng Phước

Biến đổi Laplace phương trình (9.23) và thay $U_a(s)$ vào (9.21) ta có :

$$\frac{\theta_L(s)}{E(s)} = \frac{K_a(K_p + sK_v)}{s(sR_a J + R_a f + K_a K_b)} = \frac{K_a K_v s + K_a K_p}{s(sR_a J + R_a f + K_a K_b)} = G(s) \quad (9.24)$$

Từ đó ta có :

$$\frac{\theta_L(s)}{\tilde{\theta}_L(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{K_a(K_v s + K_p)}{s^2 R_a J + s(R_a f + K_a K_b + K_a K_v) + K_a K_p} \quad (9.25)$$