

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	2
1. Tính bức thiết của đề tài.	2
2. Mục đích nghiên cứu đề tài.	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài	2
4. Phương pháp nghiên cứu của đề tài.	3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	3
CHƯƠNG 1: RÔ BỐT CÔNG NGHIỆP VÀ RÔ BỐT HAI BẬC	4
TỰ DO HỆ $\theta - r$	4
1.1 Rô bốt công nghiệp	4
1.1.1 Giới thiệu chung	4
1.1.2 Cấu trúc cơ bản của rô bốt công nghiệp	6
1.1.3 Cơ cấu tay máy	8
1.1.4 Nguyên tắc điều khiển	10
1.1.5 Động học thuận rô bốt.	11
1.2 Rô bốt $\theta - r$	19
1.2.1 Động học thuận của rô bốt $\theta - r$	19
1.2.2 Động lực học rô bốt $\theta - r$	21
CHƯƠNG 2: CÔNG CỤ MÔ PHỎNG MATLAB VÀ ROBOTICS	
TOOLBOX	24
2.1 Giới thiệu chung về Matlab	24
2.2 Robotics Toolbox	26
CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG TRÊN MATLAB	28
3.1 Mô hình tay máy	28
3.2 Luật điều khiển	29
3.2.1 Luật điều khiển thích nghi	29
3.2.2 Luật điều khiển thích nghi bền vững	32
3.3 Các yếu tố tác động khác.	32
3.3.1 Nhiễu	32
3.3.2 Ma sát.	33
3.3.3 Ma sát, nhiễu và phụ tải thay đổi	34
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	40
1. Kết luận	40
2. Kiến nghị	40
TÀI LIỆU THAM KHẢO	42
Tiếng Việt	42
Tiếng Anh	42

MỞ ĐẦU

1. Tính bức thiết của đề tài.

Ngày nay, lĩnh vực về khoa học rô bốt luôn thu hút được sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới. Bằng chứng cho thấy là ngày càng nhiều những sách giáo khoa, chuyên đề và các hội thảo đặc biệt về rô bốt được tổ chức. Mọi quan tâm này còn được thể hiện bằng sự có mặt của rô bốt trong các ứng dụng điều khiển và nó đã trở thành thước đo để đánh giá mức độ tự động hóa trong nhiều nhà máy xí nghiệp.

Rô bốt là một ngành khoa học tổng hợp các nguyên lý của nhiều ngành khoa học khác như: Điều khiển học, cơ khí, phòng sinh học, điện tử, tin học, trí tuệ nhân tạo và kỹ thuật điều khiển tự động. Trong đó kỹ thuật điều khiển tự động là ngành đóng vai trò quan trọng và thúc đẩy sự phát triển mạnh mẽ của khoa học về rô bốt. Tuy nhiên lĩnh vực này vẫn còn khá mới mẻ trong thời điểm hiện nay. Đề tài này nghiên cứu về phương pháp lựa chọn bộ điều khiển và mô phỏng kết quả thiết kế rô bốt cũng nhằm mục đích đóng góp thêm kiến thức về lĩnh vực này.

2. Mục đích nghiên cứu đề tài.

Như ta đã biết việc mô phỏng trước đối tượng để tìm quy luật điều khiển là việc làm rất cần thiết. Công việc này rất quan trọng bởi nó làm giảm chi phí sản xuất rô bốt, nó giúp ta tránh được những lỗi thiết kế không đáng có. Mặc dù bộ điều khiển tìm được từ việc tính toán trên phần mềm mô phỏng có bộ thông số chưa sát với thực tế bên ngoài, tuy nhiên đây cũng là những gợi ý hết sức cần thiết đối với người thiết kế, chỉ cần gia công thêm khi xây dựng đối tượng thực là hoàn toàn có thể đáp ứng được yêu cầu.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

Trong phạm vi đề tài này, tác giả chỉ tính toán, thiết kế bộ điều khiển cho cánh tay rô bốt 2 bậc tự do dạng $\theta - r$. Đề xuất sử dụng 2 luật điều

khien đó là luật điều khiển thích nghi đơn giản và luật điều khiển thích nghi bền vững. Từ đó đưa ra kết luận về tích ưu việt của bộ điều khiển được lựa chọn. Đồng thời tổng quát hóa cho việc thiết kế rô bốt n bậc tự do.

4. Phương pháp nghiên cứu của đề tài.

Ứng dụng phần mềm mô phỏng Matlab để mô phỏng các chuyển động của rô bốt hệ $\theta - r$ từ đó tìm ra phương án điều khiển tối ưu cho hệ. Bên cạnh đó so sánh ưu nhược điểm với các phương pháp điều khiển khác, từ đó đề xuất phương án lựa chọn tham số cho bộ điều khiển cũng như tham số của link.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Trong khoa học rô bốt thì yếu tố quan trọng nhất đó là tìm các phương pháp điều khiển rô bốt tối ưu.

Việc tìm hiểu lý thuyết và mô phỏng điều khiển rô bốt hai bậc tự do là bước tiếp cận để tiến tới nghiên cứu mở rộng thành bài toán điều khiển chuyển động của rô bốt n bậc tự do

CHƯƠNG 1: RÔ BỐT CÔNG NGHIỆP VÀ RÔ BỐT HAI BẬC TỰ DO HỆ $\theta - r$

1.1 Rô bốt công nghiệp

1.1.1 Giới thiệu chung

Cùng với sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật, các máy móc thiết bị trong công nghiệp ngày càng yêu cầu phải đạt năng suất cao, làm việc chính xác. Mặt khác, nhu cầu tự động hóa cho các quá trình rời rạc ngày càng cao. Các quá trình này có thể kể đến như nạp phôi cho máy công cụ, lắp ráp bảng mạch, ô tô,... Chính vì vậy mà rô bốt xuất hiện để thỏa mãn những nhu cầu này. Rô bốt là một thuật ngữ dùng để chỉ những máy móc thiết bị tự động có khả năng thay thế con người thực hiện những nhiệm vụ công việc.

Có rất nhiều định nghĩa về Rô bốt, Theo tiêu chuẩn AFNOR của Pháp thì:

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 tọa 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).

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

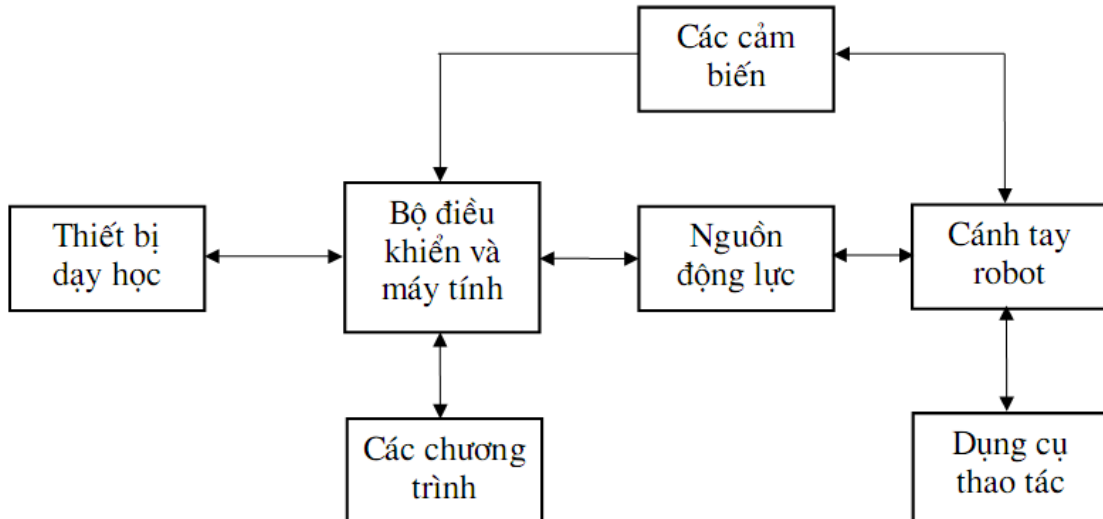
Ngày nay, rô bốt đã trở thành một trong những công cụ không thể thiếu trong các nhà máy xí nghiệp có mức độ tự động hóa cao. Rô bốt đảm nhận những công việc khó khăn như làm việc trong các lò phản ứng hạt nhân, trong các môi trường có độ phóng xạ và nhiệt độ cao hoặc trên những độ cao mà con người không thể thao tác hoặc làm việc an toàn. Ngoài ra rô bốt còn được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực đời sống như y học, sinh học, kỹ thuật địa chất và trong đời sống hàng ngày như rô bốt bán hàng, trông nhà, tiếp tân...

Trong những năm qua, ngành công nghiệp rô bốt đã đạt được những thành tựu to lớn. Nhưng không dừng lại ở đó, hiện nay rô bốt còn đang tiếp tục được nghiên cứu phát triển để đáp ứng nhu cầu tự động hóa ngày càng cao. Rô bốt cần phải trở nên thông minh hơn, độ chính xác cao hơn, thời gian tác động ngắn hơn và do đó cũng cần tìm kiếm các phương pháp điều khiển đa dạng và tốt hơn.

1.1.2 Cấu trúc cơ bản của rô bốt 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. Mỗi quan hệ giữa các thành phần trong robot như hình 1.1.



Hình 1.1 Các thành phần chính của hệ rô bốt

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 để 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

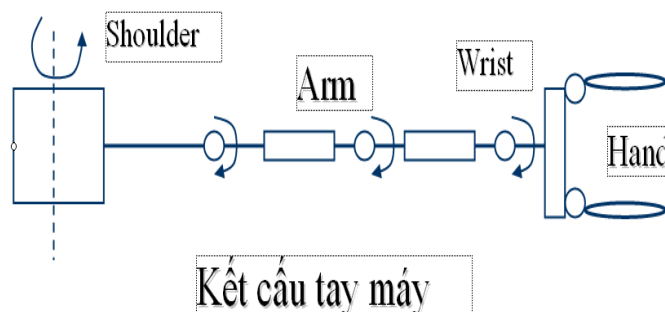
thể còn có các cổng Vào - Ra (I/O port) để làm việc với nhiều thiết bị khác nhau như các cảm biến giúp robot nhận biết trạng thái của bản thân, xác định vị trí của đối tượng làm việc hoặc các dò tìm khác, điều khiển các băng tải hoặc cơ cấu cấp phối hoạt động phối hợp với robot ...

1.1.3 Cơ 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.



Hình 1.2 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 tọa độ Decac (*Cartesian*), tọa độ trụ (*Cylindrical*), tọa 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.

1.1.4 Nguyên tắc điều khiển

Hệ thống điều khiển rô bốt cũng giống như với các hệ điều khiển các quá trình tự động hóa khác. Nguyên tắc điều khiển là cần điều chỉnh hệ thống theo hướng làm cực tiểu hàm sai số

Hàm sai số được xác định bằng công thức: $\varepsilon = \theta_d - \theta$

Trong đó: θ_d là vị trí góc mong muốn đạt được

θ là vị góc thực tế của khớp

Khi $\varepsilon \rightarrow 0$ thì khớp rô bốt được coi là đã đạt đến vị trí mong muốn.

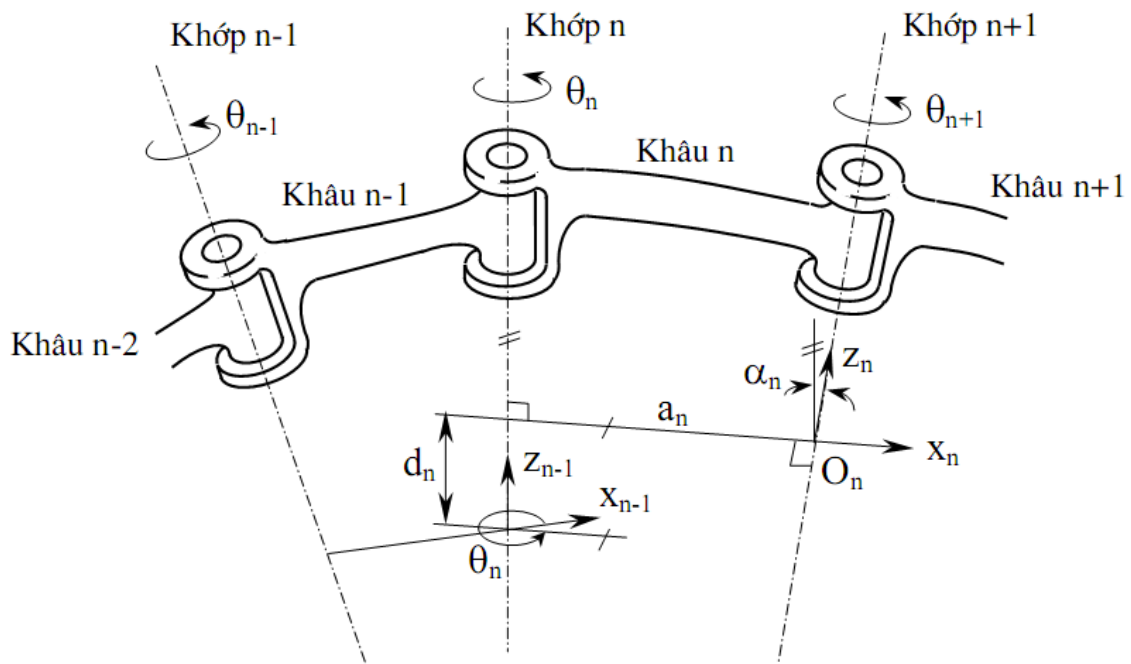
Có rất nhiều phương pháp điều khiển để đạt được điều kiện $\varepsilon \rightarrow 0$, trong đó có việc mô phỏng trên Matlab thông qua hàm điều khiển thì việc quan sát dễ dàng trên đường đặc tính đầu ra cho ta cái nhìn trực quan hơn. Tuy

nhiên, trong thực tế còn nhiều yếu tố khách quan khác tác động đến cơ cấu chuyển động của rô bốt ví dụ như ma sát, điều kiện môi trường, chướng ngại vật... có thể làm cho thông số điều khiển thay đổi. Vì vậy, tùy từng trường hợp cụ thể mà đưa ra hàm điều khiển cho sát với thực tế hơn.

1.1.5 Động học thuận rô bốt.

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 1.3 Các thông số của khâu : θ , d , a và α

Trong đó:

- a_n là độ dài đường vuông góc chung giữa 2 trục quay của khớp động n+1 và n

- α_n là góc chéo giữa 2 trục khớp động $n+1$ và n .
- d_n là khoảng cách đo dọc trục khớp động thứ n từ đường vuông góc chung giữa trục khớp động thứ $n+1$ và trục khớp động n tới đường vuông góc chung giữa khớp động n với trục khớp $n-1$.
- θ_n là góc giữa hai đường vuông góc chung nói trên.

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 i 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 $\bar{Z}_n \times \bar{Z}_{n-1}$.

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.

Phép chuyển đổi ma trận từ hệ tọa độ này đến hệ tọa độ tiếp theo được tạo ra bằng các thông số tương ứng vào ma trận sau:

$$A_n = \text{Rot}(z, \theta) \text{Trans}(z, d) \text{Trans}(x, a) \text{Rot}(x, \alpha)$$

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos\theta_n & -\cos\alpha_n \sin\theta_n & \sin\alpha_n \sin\theta_n & a_n \cos\alpha_n \\ \sin\theta_n & \cos\alpha_n \cos\theta_n & -\sin\alpha_n \cos\theta_n & a_n \sin\alpha_n \\ 0 & \sin\alpha_n & \cos\alpha_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Động học thuận rô bốt là sự kết hợp của các ma trận chuyển đổi giữa các hệ tọa độ thành một ma trận chuyển đổi đồng nhất. Ma trận này mô tả vị trí và hướng của hệ tọa độ n đối với hệ tọa độ cơ sở.

Ma trận chuyển đổi đồng nhất được xác định như sau:

$$T_n = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot \dots \cdot {}^{n-1}A_n \quad (1.2)$$

Ma trận có các thành phần được kí hiệu như sau

$$T_n = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Trong đó n , o , a là các véc tơ đơn vị của hệ tọa độ thứ n, cho phép xác định hướng của hệ tọa độ n với hệ tọa độ cơ sở. Ba véc tơ này biểu diễn tính chất quay của hệ thứ n so với hệ cơ sở.

$${}^0A_n = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Và $P(p_x, p_y, p_z)$ là vị trí của đầu tay nắm rô bốt chiếu lên ba trục x, y, z.

1.1.6 Động học ngược rô bốt.

Bài toán thuận động học nhằm xác định định vị và định hướng của phần công tác khi cho trước các biên 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 biên 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 lý do các yếu tố về kết cấu của cấu trúc không đáp ứng được.

Có rất nhiều phương pháp để tìm được (ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z) , nó tùy thuộc vào các phép quay hoặc các loại rô bốt khác nhau. Việc giải bài toán động học ngược của robot cần thỏa mãn các điều kiện sau:

- 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).

- 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 biên 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.

Phương pháp giải bài toán động học ngược 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 tập 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.

$$\text{Dạng thứ nhất: } -\sin\Phi a_x + \cos\Phi a_y = 0 \quad (1.5)$$

Dạng này cho ta một cặp nghiệm cách nhau 180° , 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.

$$\text{Dạng thứ hai: } -S_1 p_x + C_1 p_y = d_2 \quad (1.6)$$

Dạng này cũng cho ta cặp nghiệm sai khác nhau 180° , 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 .

$$\text{Dạng thứ ba: } C_1 p_x + S_1 p_y = S_2 d_3 \quad (1.7)$$

$$\text{và dạng thứ tư: } -C_2 d_3 = -p_z \quad (1.8)$$

Các phương trình này thường có nghiệm duy nhất. Ngoài các dạng phổ biến, khi robot có hai hay nhiều khớp song song (Ví dụ robot Elbow), các góc của từng khớp phải được xác định bằng cách giải đồng thời nhiều khớp trong mối quan hệ tổng các góc khớp.

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.

1.1.7 Động lực học rô bốt.

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.

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 :

- 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.

- 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 hỗ (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.

Hàm Lagrange của một hệ thống năng lượng được định nghĩa :

$$L = K - P \quad (1.9)$$

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

$$\text{có: } K = \sum_{i=1}^n K_i \quad P = \sum_{i=1}^n P_i \quad (1.10)$$

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:

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (1.11)$$

*** Xác định tổng động năng của rô bốt**

Coi rô bốt là một tay máy có n thanh cứng liên kết lại, tổng động năng của rô bốt bằng động năng của các thanh cứng cộng với động năng của các khớp:

$$K = \sum_{i=1}^n (K_{li} + K_{mi}) \quad (1.12)$$

Động năng của thanh cứng i xác định như sau:

$$K_{li} = \frac{1}{2} \int_{V_{li}} \dot{p}_i^{*T} \dot{p}_i^* \rho dV \quad (1.13)$$

Với \dot{p}_i^* là véc tơ vận tốc thẳng và ρ là mật độ các phần tử cơ bản trong thể tích dV , còn V_{li} là thể tích của thanh cứng thứ i . Véc tơ vận tốc trên thanh cứng được tính bằng công thức:

$$\dot{p}_i^* = \dot{p}_{li} + \omega_i r_i \quad (1.14)$$

Động năng của khớp thứ i được xác định như sau:

$$K_{mi} = \frac{1}{2} m_{mi} \dot{p}_{mi}^T \dot{p}_{mi} + \frac{1}{2} \omega_{mi}^T I_{mi} \omega_{mi} \quad (1.15)$$

Trong đó m_{mi} là khối lượng của khớp thứ i , I_{mi} là mô men quán tính của khớp thứ i , ω là vận tốc góc.

* Xác định tổng thế năng của rô bốt

Tổng thế năng của rô bốt cũng được xác định bằng tổng thế năng của các thanh cứng và thế năng của phần rô to mô tơ đặt trong các khớp.

$$P = \sum_{i=1}^n (P_{li} + P_{mi}) \quad (1.16)$$

Thế năng của các thanh cứng là:

$$P_{li} = \frac{1}{2} \int_{V_{li}} g_0^T p_i^* \rho dV = -m_{li} g_0^T p_{li} \quad (1.17)$$

Thế năng của các khớp là:

$$P_{mi} = -m_{mi} g_0^T p_{mi} \quad (1.18)$$

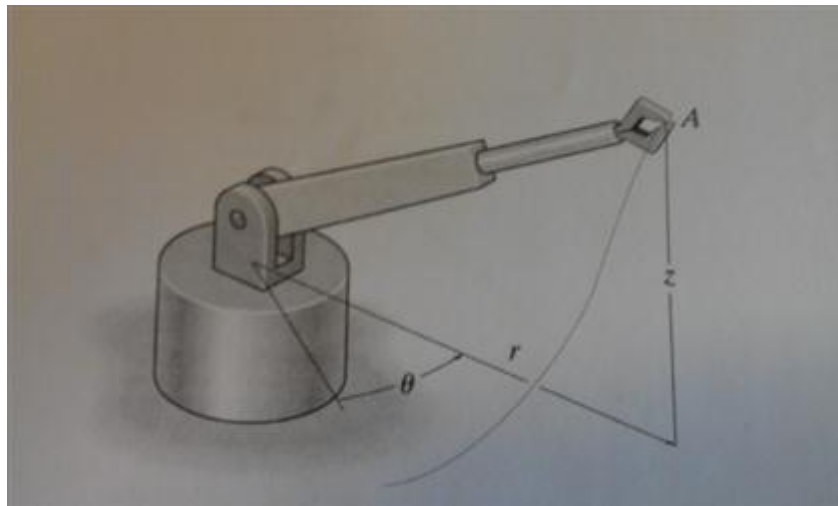
Kết hợp (1.17) và (1.18) ta được công thức tính tổng thế năng như sau:

$$P = -\sum (m_{li} g_0^T p_{li} + m_{mi} g_0^T p_{mi}) \quad (1.19)$$

1.2 Rô bốt $\theta - r$.

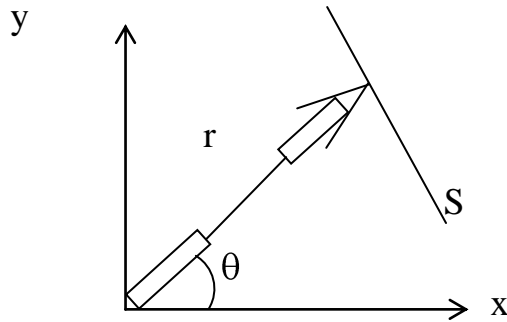
1.2.1 Động học thuận của rô bốt $\theta - r$.

Trong không gian 3 chiều:



Hình 1.4 Rô bốt $\theta - r$ nhìn trên không gian 3 chiều

Nhưng vì góc quay của rô bốt nằm trên trục z nên có thể biểu diễn như sau:



Hình 1.5 Rô bốt $\theta - r$ nhìn trên không gian 2 chiều

Bảng thông số:

	θ_i	d_i	a_i	α_i
0A_1	θ	0	0	0^0
1A_2	0	0	r	0^0

Áp dụng quy tắc Danevit-Hastenberg để tính các ma trận biến đổi đồng nhất giữa các trục tọa độ như sau:

$${}^0A_1 = \text{Rot}(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

$${}^1A_2 = \text{Trans}(x, r) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

Phương trình động học thuận của rô bốt là: ${}^0T_2 = {}^0A_1 {}^1A_2$

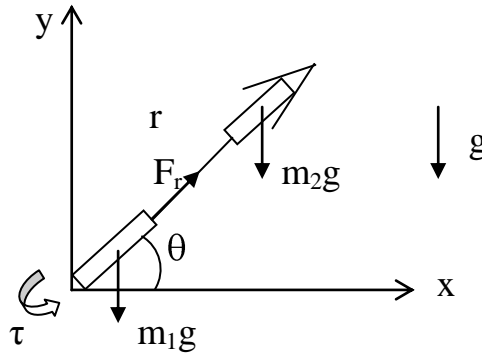
$${}^0T_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & r\cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & r\sin\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

Như vậy tay nắm rô bốt sau khi quay và tịnh tiến sẽ có tọa độ mới là:

$$P = [r\cos\theta \quad r\sin\theta \quad 0]^T$$

1.2.2 Động lực học rô bốt $\theta - r$.

Để xác định động lực học của rô bốt hệ $\theta - r$ ta sẽ phân tích các lực có trên 2 khớp của rô bốt như dưới hình sau:



Hình 1.6 Các lực có trên các khớp của rô bốt

Trong đó: m_1g là trọng lực xuất hiện tại trọng tâm của khớp 1
 r_1 là khoảng cách từ gốc tọa độ đến trọng tâm khớp 1
 m_2g là trọng lực xuất hiện tại trọng tâm khớp 2
 r là khoảng cách từ gốc tọa độ đến trọng tâm khớp 2
 τ là lực mô men, xuất hiện khi khớp 1 quay
 F_r là lực đẩy, xuất hiện khi khớp 2 tịnh tiến

Như vậy xác định phương trình động lực học của hệ chính là xác định mô men (lực τ) và lực F_r gây nên chuyển động của rô bốt.

Đối với khớp quay (biến khớp là θ) ta có động năng và thế năng của khớp được xác định như sau:

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \dot{\theta}^2 \quad (1.23)$$

$$P_1 = m_1 g r_1 \sin \theta \quad (1.24)$$

Đối với khớp tịnh tiến (biến khớp là r) ta có động năng và thế năng của khớp được xác định như sau:

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2) \quad (1.25)$$

$$P_2 = m_2 g r \sin \theta \quad (1.26)$$

Như vậy hàm Lagrăng $L = K_1 + K_2 - (P_1 + P_2)$ với K_1, K_2, P_1, P_2 được xác định bởi 4 công thức (1.23), (1.24), (1.25) và (1.26)

Để xác định các lực có trên rô bốt ta áp dụng công thức (1.11)

- Xét khớp 1 (khớp quay với biến khớp là θ)

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = m_1 r_1^2 \dot{\theta} + m_2 r^2 \dot{\theta} \quad (1.27)$$

Đạo hàm theo thời gian (1.27) ta được:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = m_1 r_1^2 \ddot{\theta} + 2m_2 r \dot{r} \dot{\theta} + m_2 r^2 \ddot{\theta} \quad (1.28)$$

Đạo hàm hàm Lagrăng theo biến khớp θ ta được:

$$\frac{\partial L}{\partial q_1} = \frac{\partial L}{\partial \theta} = -m_1 g r_1 \cos \theta - m_2 g r \cos \theta \quad (1.29)$$

Viết lại hàm (1.11) ta có: $\tau_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$

Thay (1.28) và (1.29) vào ta sẽ được:

$$\tau_1 = \tau = m_1 r_1^2 \ddot{\theta} + 2m_2 r \dot{r} \dot{\theta} + m_2 r^2 \ddot{\theta} + m_1 g r_1 \cos \theta + m_2 g r \cos \theta \quad (1.30)$$

- Xét khớp 2 (khớp tịnh tiến với biến khớp là r)

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2} = \frac{\partial L}{\partial \dot{r}} = m_2 \dot{r} \quad (1.31)$$

Đạo hàm (1.31) theo thời gian sẽ được:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{r}} = m_2 \ddot{r} \quad (1.32)$$

Đạo hàm hàm Lagrăng theo biến khớp r ta được:

$$\frac{\partial L}{\partial q_2} = \frac{\partial L}{\partial r} = m_2 r \dot{\theta}^2 - m_2 g \sin \theta \quad (1.33)$$

Thay (1.32) và (1.33) vào (1.11) ta sẽ được:

$$\tau_2 = F_r = m_2 \ddot{r} + m_2 r \dot{\theta}^2 - m_2 g \sin \theta \quad (1.34)$$

Tổng quát hóa (1.30) và (1.34) ta được hệ phương trình sau:

$$\tau = H(q) \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \dot{q} + g(q) \quad (1.35)$$

Và hệ phương trình động lực học rô bốt này có các tính chất sau:

- Có độ phi tuyến cao
- Có những tác động xuyên chéo giữa các khớp với nhau.
- Ma trận H là xác định dương và đối xứng.

CHƯƠNG 2: CÔNG CỤ MÔ PHỎNG MATLAB VÀ ROBOTICS TOOLBOX

2.1 Giới thiệu chung về Matlab

Matlab là một môi trường tính toán số và lập trình, được thiết kế bởi công ty MathWorks. Matlab cho phép tính toán số với ma trận, vẽ biểu đồ hàm số hoặc biểu đồ thông tin, thực hiện thuật toán, tạo giao diện người dùng và liên kết với các chương trình máy tính viết trên nhiều ngôn ngữ lập trình khác.

Về mặt cấu trúc, Matlab gồm một cửa sổ chính và rất nhiều hàm viết sẵn khác nhau. Các hàm trên cùng lĩnh vực ứng dụng được xếp chung vào một thư viện, điều này giúp ta sử dụng dễ dàng tìm được hàm cần quan tâm. Có thể kể ra một số thư viện của Matlab như sau:

- Control System Toolbox: là nền tảng của họ toolbox thiết kế điều khiển bằng Matlab. Nó chứa các hàm cho việc mô phỏng, phân tích và thiết kế các hệ thống trong tự động điều khiển.
- Frequency Domain System Identification Toolbox: Bao gồm các M-file giúp cho việc mô phỏng các hệ thống tuyến tính trên cơ sở phép đo đáp ứng tần số của hệ thống.
- Fuzzy Logic Toolbox: Cung cấp một tập hợp đầy đủ các công cụ cho việc thiết kế, mô phỏng và phân tích các hệ thống logic mờ (Fuzzy Inferences).
- Higher Order Spectral Analysis Toolbox: cung cấp các công cụ cho việc xử lý tín hiệu dùng phổ bậc cao. Các phương này đặc biệt hữu dụng cho phân tích các tín hiệu có nguồn gốc từ một quá trình phi tuyến hay bị nhiễu phi Gaussian (non-Gaussian noise) xâm nhập.

- Image Processing Toolbox: chứa các công cụ cho việc xử lý ảnh. Nó bao gồm các công cụ cho việc thiết kế các bộ lọc và lưu trữ ảnh, nâng cấp ảnh, phân tích và thống kê.
- Model Predictive Control Toolbox: đặc biệt hữu dụng cho các ứng dụng điều khiển với nhiều biến ngõ vào (input) và ngõ ra (output) mà phần lớn có các giới hạn nhất là trong kỹ thuật hóa chất.
- Mu-Analysis And Synthesis Toolbox: chứa các công cụ chuyên môn hóa cho điều khiển tối ưu hóa ; Đặc biệt trong lĩnh vực robot cao cấp và các hệ thống đa biến tuyến tính.
- Signal Processing Toolbox: chứa các công cụ xử lý tín hiệu. Các ứng dụng bao gồm: Audio (Đĩa compact, băng digital), video (digital HDTV, xử lý và nén ảnh), viễn thông (fax, telephone), y học, địa lý.
- Non-linear Control Design Toolbox: cho phép thiết kế các hệ thống điều khiển tuyến tính và phi tuyến, sử dụng kỹ thuật tối ưu hóa trên cơ sở miền thời gian.
- Optimization Toolbox: Các lệnh dùng cho sự tối ưu hóa các hàm tuyến tính và phi tuyến tổng quát.
- Symbolic Math Toolbox: Bao gồm các công cụ cho việc tính toán trên các biểu thức.
- System Identification Toolbox: Tập hợp các công cụ cho ước lượng và nhận dạng (tìm mô hình toán học cho một hệ thống vật lý).
- Robust Control System: Các công cụ cho phép phân tích và tổng hợp các hệ thống điều khiển bằng robot.

Ngoài ra còn có các toolbox khác như NAG Foundation Toolbox, Quantitative Feedback Workshop, Spline Toolbox, Statics Toolbox.

2.2 Robotics Toolbox

Robotics Toolbox là công cụ rất hữu ích cho việc tính toán với rô bốt như: động học, động lực học, thiết kế quỹ đạo... đặc biệt là tính năng mô phỏng cũng như phân tích kết quả từ các thí nghiệm ảo trên rô bốt.

Công cụ này dựa trên nguyên tắc rất cơ bản của rô bốt như động học (kinematics) và động lực học (dynamics). Các thông số này được đóng gói thành các block trong thư viện của Matlab (inMatlab). Khi thiết kế rô bốt, người dùng có thể thiết kế chúng trên các giao diện chuyên về rô bốt khác như Easy Rob, Solidworks, RobotStudio... sau đó nhúng chúng vào môi trường Matlab để mô phỏng và điều khiển chuyển động theo ý muốn.

Một số lệnh thường dùng trong Matlab trong lĩnh vực rô bốt.

Bảng 2.1 Lệnh trong ma trận biến đổi đồng nhất

Biến đổi đồng nhất	
eul2tr	Chuyển từ phép quay ơle sang biến đổi đồng nhất
oa2tr	Hướng và véctơ pháp tuyến của biến đổi đồng nhất
rot2tr	Chuyển ma trận quay (3x3) sang ma trận biến đổi đồng nhất (4x4)
rotx	Quay xung quanh trục x
roty	Quay xung quanh trục y
rotz	Quay xung quanh trục z
rpy2tr	Chuyển phép quay RPY sang biến đổi đồng nhất
tr2eul	Chuyển từ biến đổi đồng nhất sang phép quay ơle
tr2rot	Chuyển từ biến đổi đồng nhất sang ma trận quay
tr2rpy	Chuyển từ biến đổi đồng nhất sang phép quay RPY
transl	Trích thành phần tịnh tiến trong ma trận biến đổi đồng nhất

Bảng 2.2 Lệnh trong động học rô bốt

Động học rô bốt	
diff2tr	Chuyển từ hệ pt sang biến đổi đồng nhất
fkine	Tính động học thuận rô bốt
ikine	Tính động học ngược rô bốt
ikine560	Tính động học ngược cho robot Puma 560
jacob0	Tìm ma trận Jacobi dựa trên khung tọa độ tương đối
jacobn	Tìm ma trận Jacobi dựa vào hình học
tr2diff	Chuyển từ ma trận biến đổi đồng nhất sang dạng pt vi phân
tr2jac	Chuyển từ ma trận biến đổi đồng nhất sang ma trận Jacobi

Bảng 2.3 Lệnh trong động lực học rô bốt

Động lực học rô bốt	
accel	Tìm hệ phương trình động lực học cho rô bốt
cinertia	
coriolis	Xác định lực mô men coriolis
friction	Bù ma sát
ftrans	Chuyển đổi lực/mômen
gravload	Tính toán trọng lực của khớp
inertial	Tính toán khi có ngoại lực tác động
itorque	Tìm mô men quán tính
nofriction	Lực ma sát khi rô bốt di chuyển
rne	Động lực học ngược tốc độ

CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG TRÊN MATLAB

3.1 Mô hình tay máy

Tay máy được định nghĩa là một mắt xích động năng hờ của các khớp. Mỗi bậc tự do của tay máy được cung cấp mô men độc lập. Sử dụng cách biểu diễn của Lagrange, chúng ta có thể viết phương trình chuyển động của tay máy n bậc tự do dưới dạng sau đây.

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F_r\dot{q} + \tau_d = \tau \quad (3.1)$$

Với $q \in R^n$ là hệ toạ độ của tay máy; $D(q) \in R^{n \times n}$ là ma trận nội xác định dương, bị chặn và đối xứng; $C(q, \dot{q})\dot{q} \in R^n$ là mô men liên kết và hướng tâm; $\tau_d \in R^n$, $G(q) \in R^n$, $F_r(\dot{q}) \in R^n$ và $\tau \in R^n$ là mô men quán tính, ma sát, nhiễu và mô men động năng của hệ.

Mô hình động của rô bốt có những đặc tính đặc trưng sau đây:

Đặc tính 1: Tồn tại một véc tơ $\alpha \in R^m$ với các phần tử phụ thuộc vào tham số của tay máy như trọng lượng, những mô men nội, ... để có:

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F_r\dot{q} + \tau_d = \psi(q, \dot{q}, \ddot{q})\alpha \quad (3.2)$$

Với $\psi \in R^{n \times m}$ là ma trận hồi qui.

Tính chất này chỉ ra khả năng tuyến tính hoá mô hình động học của tay máy nếu chọn được tập tham số phù hợp của tay máy.

Đặc tính 2: Sử dụng định nghĩa hợp thức của ma trận $C(q, \dot{q})$, khi cả hai ma trận $C(q, \dot{q})$ và ma trận $D(q)$ phụ thuộc và thoả mãn

$$x^T (\dot{D} - 2C)x = 0, \quad \forall x \in R^n \quad (3.3)$$

Ma trận $(\dot{D} - 2C)$ là ma trận đối xứng. Đặc tính này đảm bảo các lực được định nghĩa bởi $C(q, \dot{q})\dot{q}$ không ảnh hưởng đến hệ thống. Đặc tính này được sử dụng khi phân tích ổn định của hệ.

Đặc tính 3: Ma sát trong phương trình động học (3.1) được biểu diễn thông qua hai thành phần

$$F_r(\dot{q}) = F_v \dot{q} + F_d(\dot{q}) \quad (3.4)$$

Với F_v là ma trận hệ số ma sát và $F_d(\dot{q})$ là biểu thức ma sát động. Vì ma sát lỗi cục bộ không liên kết giữa các khớp nên nó chỉ phụ thuộc vào vận tốc góc \dot{q} .

3.2 Luật điều khiển

3.2.1 Luật điều khiển thích nghi

Bài toán điều khiển bám được thiết lập như sau: Cho trước quỹ đạo chuyển động mẫu $q_d \in R^n$ và vận tốc chuyển động mẫu $\dot{q}_d \in R^n$ và một vài hoặc tất cả các tham số của tay máy không rõ, xác định luật điều khiển τ và một mặt trượt $s = 0$ đảm bảo quỹ đạo của hệ bám trên mặt trượt với sai lệch bám $\tilde{q} = q - q_d$ xác định trước và tiến đến không khi $t \rightarrow \infty$.

Để giải quyết bài toán, một mặt trượt $s = 0$ được chọn như sau:

$$s = \dot{\tilde{q}} + \Lambda \tilde{q} \quad (3.5)$$

Với Λ là ma trận xác định dương và đảm bảo các giá trị riêng của nó nằm bên trái mặt phẳng phức và \tilde{q} là véc tơ sai lệch bám.

Nếu chế độ trượt tồn tại trên mặt trượt $s = 0$ thì theo lý thuyết ổn định VSS, chế độ trượt được đảm bảo trên cơ sở thiết kế ma trận Λ :

$$\dot{\tilde{q}} = -\Lambda \tilde{q} \quad (3.6)$$

Quan sát (3.6) cho thấy sai lệch bám phụ thuộc vào giá trị riêng của ma trận Λ . Nếu luật điều khiển được thiết kế đảm bảo chế độ trượt trên mặt trượt $s = 0$ thì đáp ứng sai lệch bám là nghiệm của phương trình động học tuyến tính (3.6).

Trên cơ sở của luật điều khiển trượt, luật điều khiển tác động đến sai lệch bám dọc theo mặt trượt $s = 0$, một véc tơ các biến mẫu được chọn để có:

$$\dot{q}_r(t) = \dot{q}_d(t) - \Lambda \tilde{q}(t) \quad (3.7)$$

Phương trình động học (4.1) của tay máy có thể được biểu diễn lại dưới dạng sau:

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(q, \dot{q}, t) = \tau \quad (3.8)$$

Với $F(q, \dot{q}, t) = F_r(\dot{q}) + \tau_d$. Tuy nhiên trong bài này, véc tơ hàm bất định được thay thế bởi $F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) = F_r(\dot{q}) + \tau_d$ bởi vì nó không chỉ bao gồm nhiễu, ma sát mà còn bao gồm cả nhiễu phụ tải. Vì vậy phải biểu diễn lại (3.8) bằng phương trình sau đây:

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) = \tau \quad (3.9)$$

Với giả thiết $D(q), C(q, \dot{q}), G(q)$ biết trước và các biến trạng thái của hệ đều đo được.

Để thiết kế luật điều khiển với cơ chế thích nghi, ta định nghĩa một hàm Liapunov

$$V(t) = \frac{1}{2}(s^T Ds + \sum_{i=1}^n \tilde{\Theta}_i^T \Gamma_i \tilde{\Theta}_i) \quad (3.10)$$

với $\tilde{\Theta}_i = \Theta_i^* - \Theta_i$, Θ_i^* là véc tơ cột thứ i của ma trận tham số tối ưu Θ^* và Γ_i là hằng số thực dương. Đạo hàm của $V(t)$ theo thời gian có dạng:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= s^T D\dot{s} + \frac{1}{2}s^T \dot{D}s + \sum_{i=1}^n \Theta_i^T \Gamma_i \dot{\Theta}_i \\ &= -s^T (D\ddot{q}_r + C\dot{q}_r + G + F - \tau) + \sum_{i=1}^n \tilde{\Theta}_i^T \Gamma_i \dot{\tilde{\Theta}}_i \end{aligned} \quad (3.11)$$

Với $F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t)$ là một véc tơ hàm phi tuyến không rõ. Chúng ta thay thế $F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t)$ bằng một hàm $\hat{N}(q, \dot{q}, \ddot{q} | \Theta)$. Bây giờ, chúng ta định nghĩa một luật điều khiển

$$\tau = D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}(q, \dot{q}, \ddot{q} | \Theta) - K_D s \quad (3.12)$$

Với $K_D = \text{diag}K_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ và

$$\hat{N}(q, \dot{q}, \ddot{q} | \Theta) = \begin{bmatrix} \Theta_1^T \zeta(q, \dot{q}, \ddot{q}) \\ \Theta_2^T \zeta(q, \dot{q}, \ddot{q}) \\ \cdot \\ \cdot \\ \Theta_n^T \zeta(q, \dot{q}, \ddot{q}) \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Giả sử xác định được ma trận tham số tối ưu Θ^* , véc tơ sai lệch xấp xỉ nhỏ nhất bằng

$$w = F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) - \hat{N}(q, \dot{q}, \ddot{q} | \Theta) \quad (3.14)$$

Từ đó ta có:

$$\dot{V} = -s^T K_D s - s^T w + \sum_{l=1}^m (\tilde{\Theta}_l^T \Gamma_l \dot{\tilde{\Theta}}_l - s_l \tilde{\Theta}_l^T \zeta(q, \dot{q}, \ddot{q})) \quad (3.15)$$

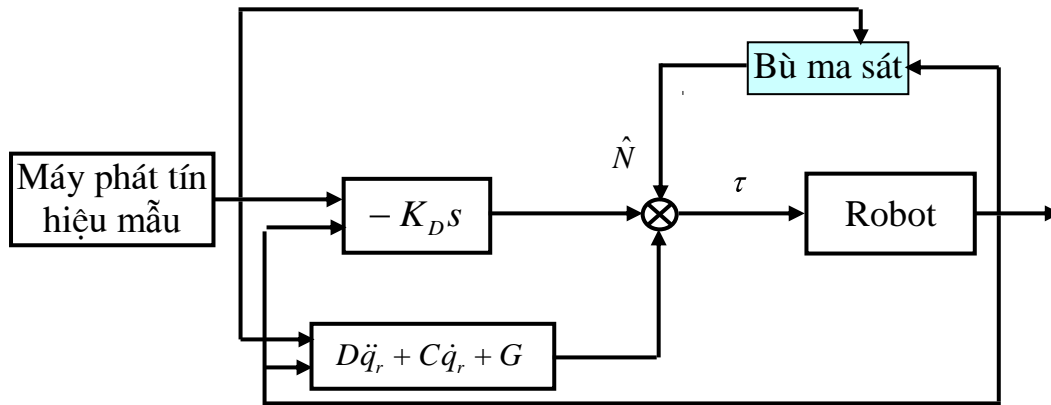
Với $\tilde{\Theta}_i = \Theta_i^* - \Theta_i$ và $\zeta(q, \dot{q}, \ddot{q})$ là véc tơ các hàm.

$$\text{Để có: } \dot{V}(t) = -s^T K_D s - s^T w \quad (3.16)$$

Ta chọn luật chỉnh định thích nghi

$$\dot{\Theta}_i = -\Gamma_i^{-1} s_i \zeta(q, \dot{q}, \ddot{q}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.17)$$

Nếu $w = 0$, có nghĩa là không gian của \hat{N} bao cả F , và như vậy $\dot{V}(t) \leq 0$ khi và chỉ khi $s = 0$. Khi sử dụng định lý của Lasalle, sai lệch bám \tilde{q} sẽ hội tụ về mặt trượt và bám theo mặt trượt với mọi $t \geq 0$. Bởi vì $s^T w$ là biểu thức thể hiện sai lệch của \hat{N} so với F và theo lý thuyết xấp xỉ đa năng thì sai lệch này rất nhỏ $w \leq \varepsilon$, trong luật thích nghi thì nó không bằng không. Sơ đồ hệ thống điều khiển theo phương pháp này được minh họa ở hình 3.1.



Hình 3.1 Sơ đồ hệ thống điều khiển thích nghi

3.2.2 Luật điều khiển thích nghi bền vững

Trong phương trình (3.16) có biểu thức $s^T w$, để khử ảnh hưởng sai lệch của bộ xấp xỉ chúng ta chọn luật điều khiển thích nghi bền vững có dạng sau:

$$\tau = D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + \hat{N}(q, \dot{q}, \ddot{q} | \Theta) - K_D s - W \text{sign}(s) \quad (3.18)$$

với $W = \text{diag}[a_{M1}, a_{M2}, \dots, a_{Mn}]$

Bây giờ hàm Liapunov (3.10) với luật chỉnh định (3.17) sẽ có đạo hàm theo thời gian

$$\dot{V}(t) = -s^T D s_i \leq 0 \quad (3.19)$$

3.3 Các yếu tố tác động khác.

3.3.1 Nhiễu

Từ phương trình (3.1), ta chỉ quan tâm đến nhiễu $F(q, \dot{q}, t) = \tau_d(t)$, vì vậy luật điều khiển và luật chỉnh định thích nghi có dạng:

Luật điều khiển đơn giản:

$$\tau = D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}(q, \dot{q} | \theta) - K_D s \quad (3.20)$$

Luật điều khiển bền vững:

$$\tau = D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}(q, \dot{q} | \theta) - K_D s - W \text{sign}(s) \quad (3.21)$$

Luật chỉnh định thích nghi:

$$\dot{\Theta}_i = -\Gamma_i^{-1} s_i \zeta^i(q, \dot{q}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.22)$$

3.3.2 Ma sát.

Trong phần trên, chúng ta đã khẳng định ma sát chỉ phụ thuộc vào tốc độ góc \dot{q} và độc lập với từng khớp quay của tay máy. Chính vì vậy chúng ta có thể sử dụng một bộ bù cho từng khớp của tay máy. Trong trường hợp này, chúng ta có thể biểu diễn lại (3.4) dưới dạng sau:

$$y = \sum_{l=1}^p w_l \zeta_l(x) = \theta^T \zeta(x)$$
$$\zeta(x) = (\zeta_1(x), \zeta_2(x), \dots, \zeta_p(x))^T$$
$$\theta = (w_1, w_2, \dots, w_p)^T$$

Đây chính là bộ bù để bù ma sát cho mỗi một khớp của tay máy. Như vậy luật điều khiển và luật chỉnh định thích nghi có dạng như sau.

Luật điều khiển đơn giản:

$$\tau = D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}(\dot{q} | \theta) - K_D s \quad (3.23)$$

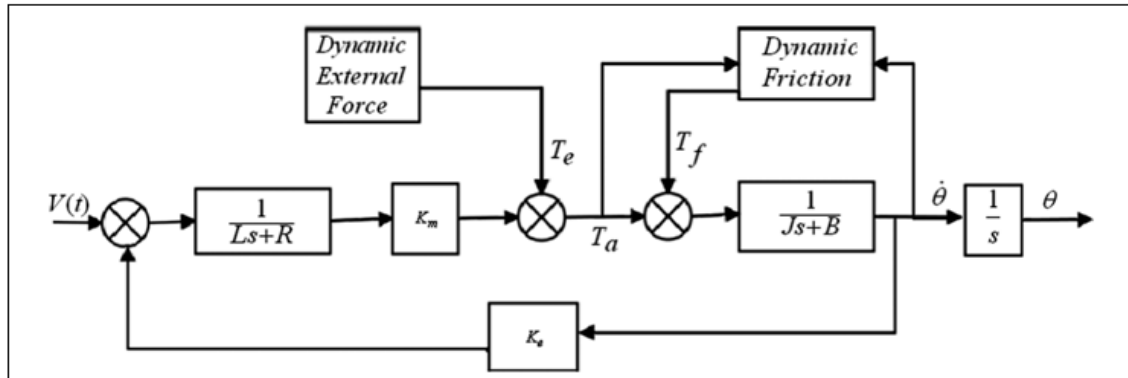
Luật điều khiển bền vững:

$$\tau = D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}(\dot{q} | \theta) - K_D s - W \text{sign}(s) \quad (3.24)$$

Luật chỉnh định thích nghi:

$$\dot{\theta}_i = -\Gamma_i^{-1} s_i \zeta^i(\dot{q}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.25)$$

Dưới đây là mô hình điều khiển góc quay θ khi có tham gia của lực ma sát



Hình 3.2 Điều khiển góc quay rô bốt khi có lực ma sát

3.3.3 Ma sát, nhiễu và phụ tải thay đổi

Ở phần trước chúng ta đã biểu diễn ma sát và nhiễu bằng các hàm không rõ $F(\dot{q}, t)$ và $F(q, \dot{q}, t)$. Nhưng những tham số không rõ khi phụ tải thay đổi thì phụ thuộc cả quỹ đường, vận tốc góc, gia tốc và thời gian có nghĩa là hàm không rõ có dạng $F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t)$. Theo sự thay đổi của phụ tải, chúng ta biểu diễn lại phương trình (3.1) dưới dạng :

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + c(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) + F_r\dot{q} + \tau_d = \tau$$

Với $c(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) = c_D(D\ddot{q} + c_C(C\dot{q}) + c_G(G))$

$$\begin{aligned} c_D &= D(m_{nc}, q)\ddot{q} - D(m_n, q)\ddot{q} \\ c_C &= C(m_{nc}, q, \dot{q})\dot{q} - C(m_n, q, \dot{q})\dot{q} \\ c_G &= G(m_{nc}, q) - G(m_n, q) \end{aligned} \quad (3.26)$$

Với m_n là giá trị phụ tải tính toán và m_{nc} giá trị phụ tải thực không rõ.

Như vậy hàm không rõ cần được bù bằng một hàm có dạng như sau:

$$F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) = c(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) + F_r(\dot{q}) + \tau_d \quad (3.27)$$

Ta có thể biểu diễn (3.27) là tổng của hai hàm sau đây:

$$F(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) = F^1(q, \dot{q}, t) + F^2(q, \ddot{q}, t) \quad (3.28)$$

Với

$$F^1(q, \dot{q}, t) = c_C[C(q, \dot{q}), \dot{q}] + c_G[G(q)] + F_r(\dot{q}) + \tau_d$$

$$F^2(q, \ddot{q}, t) = c_D[D(q)\ddot{q}] \quad (3.29)$$

Bây giờ, bộ bù cho tất cả các tham số bất định được thiết kế bằng cách sử dụng hàm riêng biệt, một cho $F^1(q, \dot{q}, t)$ và một cho $F^2(q, \ddot{q}, t)$. Luật điều khiển và luật thích nghi có dạng:

$$\begin{aligned} \tau &= D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}^1(q, \dot{q} | \Theta^1) + \hat{N}^2(q, \ddot{q} | \Theta^2) - K_D s \\ \dot{\Theta}_i^1 &= -\Gamma_i^{-1} s_i \zeta^i(q, \dot{q}), \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \dot{\Theta}_i^2 &= -\Gamma_i^{-1} s_i \zeta^i(q, \ddot{q}), \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3.30)$$

Chúng ta định nghĩa một hàm Liapunov có dạng sau:

$$V(t) = \frac{1}{2} (s^T D s + \sum_{i=1}^n \tilde{\Theta}_i^{1T} \Gamma_i \tilde{\Theta}_i^1 + \sum_{i=1}^n \tilde{\Theta}_i^{2T} \Gamma_i \tilde{\Theta}_i^2).$$

Thì

$$\dot{V}(t) = -s^T (D\ddot{q}_r + C\dot{q}_r + G + F - \tau) + \sum_{l=1}^n \tilde{\Theta}_l^{1T} \Gamma_l \dot{\tilde{\Theta}}_l^1 + \sum_{l=1}^n \tilde{\Theta}_l^{2T} \Gamma_l \dot{\tilde{\Theta}}_l^2 \quad (3.31)$$

và ta có sai lệch nhỏ nhất của bộ xấp xỉ có dạng

$$\begin{aligned} w^1 &= F^1(q, \dot{q}, t) - \hat{N}^1(q, \dot{q} | \Theta^{1*}) \\ w^2 &= F^2(q, \dot{q}, t) - \hat{N}^2(q, \dot{q} | \Theta^{2*}) \end{aligned} \quad (3.32)$$

Thế (3.30) và (3.32) vào (3.31), cuối cùng ta nhận được đạo hàm của hàm Liapunov theo thời gian có dạng sau:

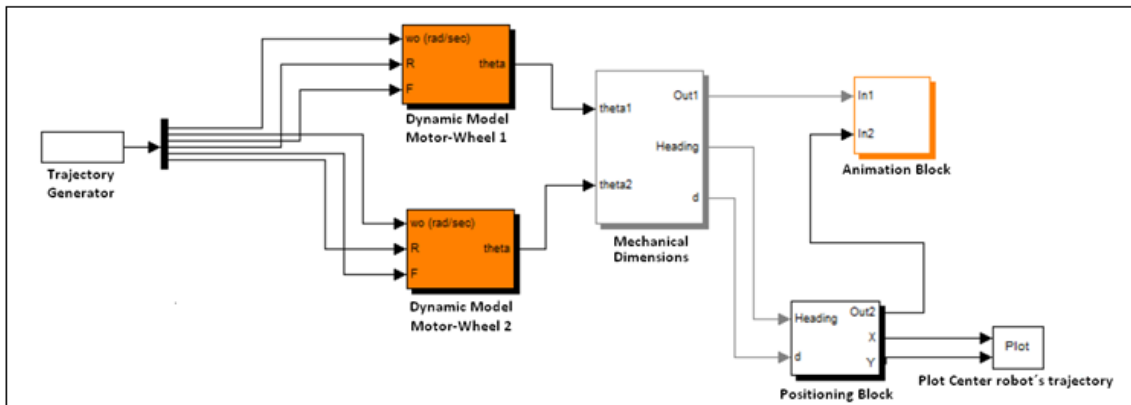
$$\dot{V}(t) = -s^T K_D s - s^T (w^1 + w^2) \quad (3.33)$$

Điều đó đảm bảo hệ thống kín ổn định. Luật điều khiển bền vững có dạng như sau:

$$\tau = D(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + G(q) + \hat{N}^1(q, \dot{q} | \Theta^1) + \hat{N}^2(q, \ddot{q} | \Theta^2) - K_D s - W \text{sign}(s)$$

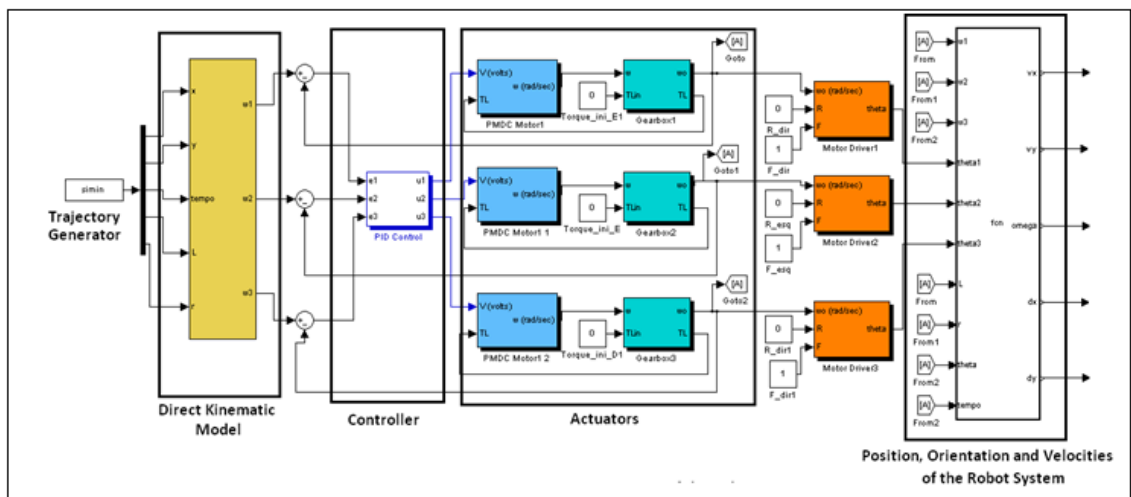
3.3 Các kết quả mô phỏng và nhận xét

Mô hình tính toán động học rô bốt $\theta - r$

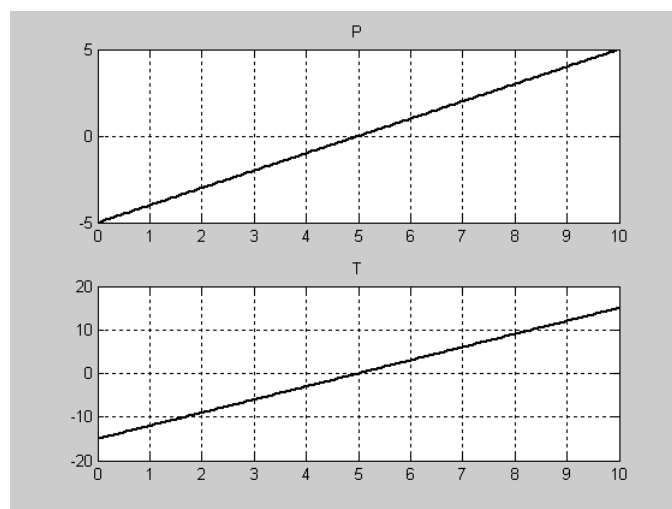


Hình 3.3 Mô hình tính động học thuần rô bốt

Mô hình tính vị trí, hướng và vận tốc di chuyển của tay nắm rô bốt

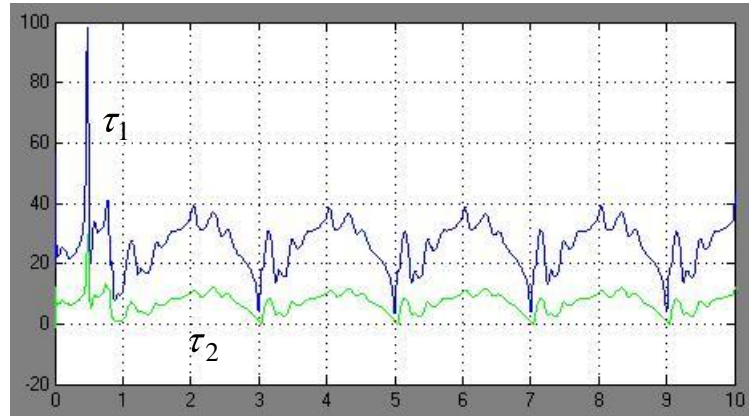


Hình 3.4 Vị trí, hướng và vận tốc của Rô bốt

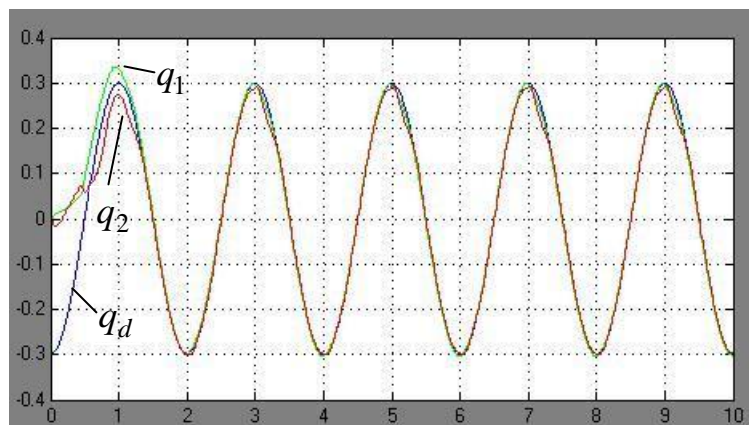


Hình 3.5 Tín hiệu vào và ra mẫu

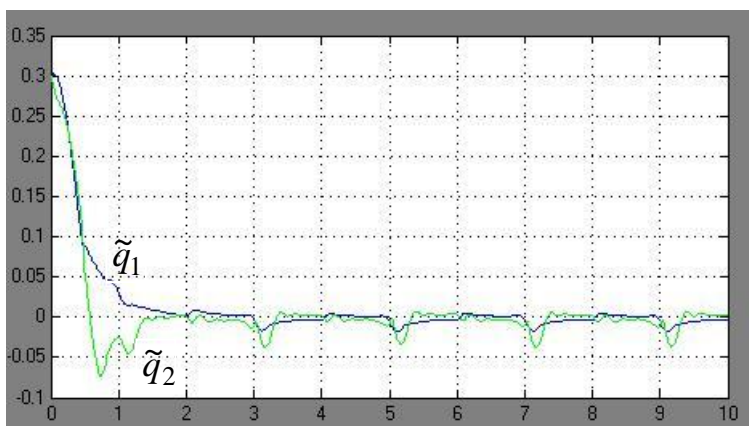
Kết quả mô phỏng luật điều khiển thích nghi đơn giản và luật thích nghi bền vững được biểu diễn trong các hình 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 và 3.11.



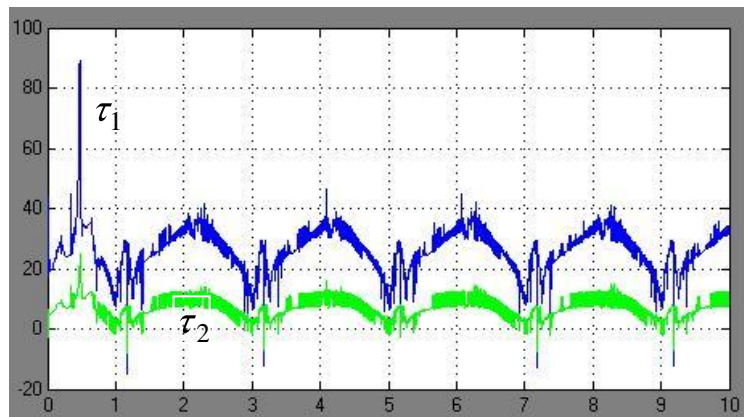
Hình 3.6 Luật điều khiển thích nghi đơn giản



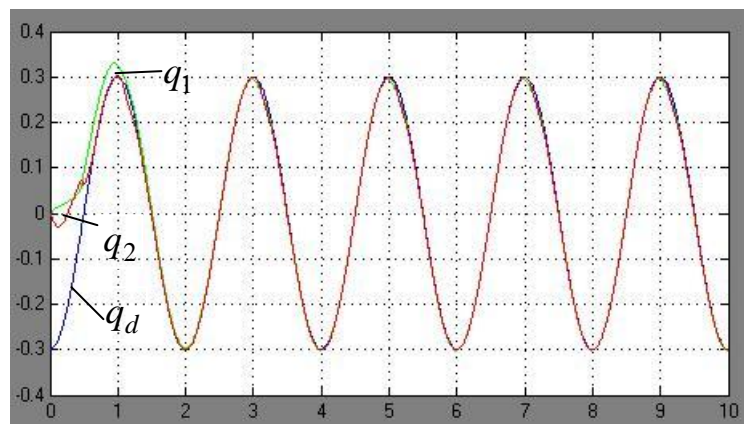
Hình 3.7 Khớp 1, 2 và quỹ đạo mẫu theo luật thích nghi đơn giản



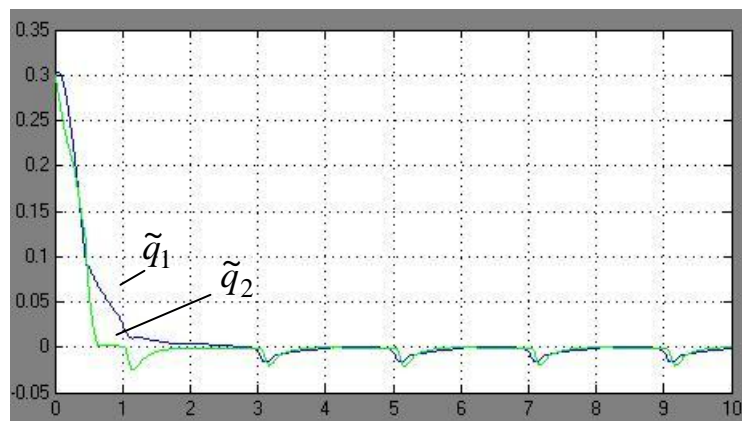
Hình 3.8 Sai lệch bám của các khớp theo luật thích nghi đơn giản



Hình 3.9 Luật điều khiển thích nghi bền vững

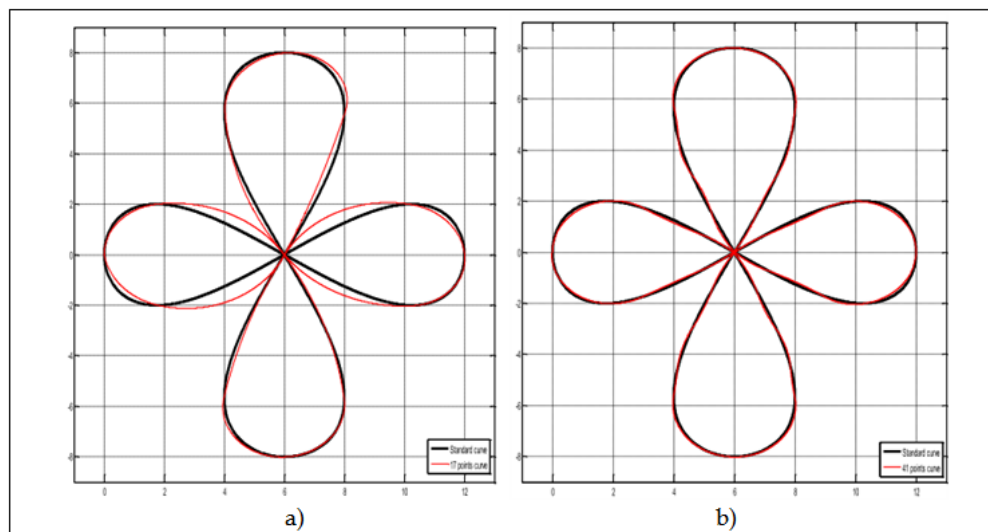


Hình 3.10 Khớp 1, 2 và quỹ đạo mẫu theo luật thích nghi bền vững



Hình 3.11 Sai lệch bám của các khớp theo luật thích nghi bền vững

Kết quả bám mục tiêu của tay nắm rô bốt khi sử dụng luật điều khiển thích nghi đơn giản (3.12a) và luật điều khiển thích nghi bền vững (3.12b)



Hình 3.12 Quỹ đạo tay nắm rô bốt chạy theo quỹ đạo mẫu

Nhận xét

Kết quả mô phỏng cho thấy chất lượng của hệ thống điều khiển theo luật điều khiển thích nghi bền vững tốt hơn so với luật điều khiển thích nghi đơn giản. Cả hai luật điều khiển, điều khiển thích nghi đơn giản và điều khiển thích nghi bền vững, có thể ứng dụng cho tay máy với số bậc tự do lớn hơn hai.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Đề tài đã nghiên cứu về Robốt công nghiệp nói chung và đi sâu nghiên cứu robốt hệ $\theta - r$ để từ đó đề xuất phương án mô phỏng và điều khiển hệ bằng cách sử dụng phần mềm Matlab.

Giới thiệu đôi nét về Matlab và về Robotics Matlab

Mô hình hóa động học, động lực học của robốt. Tính toán bù khi robốt có tác động từ các yếu tố bên ngoài như ma sát, nhiễu hoặc khi tải thay đổi.

Đề tài đã đạt được những kết quả sau:

Xác định được động học, động lực học của đối tượng từ việc tính toán trên phần mềm.

Lựa chọn luật điều khiển từ hai đề xuất là luật điều khiển thích nghi đơn giản và luật điều khiển thích nghi bền vững.

Tìm đặc tính đầu ra và đặc tính về vị trí, hướng, lực và tốc độ của tay nắm robốt dựa vào hai luật điều khiển trên.

Mô phỏng được kết quả bám mục tiêu của tay nắm robốt tương ứng với hai luật điều khiển nêu trên.

So sánh kết quả dựa trên đường đặc tính từ đó kết luận về luật điều khiển nào có kết quả tốt hơn. Kết quả cho thấy, luật điều khiển thích nghi bền vững cho kết quả tốt hơn luật điều khiển thích nghi đơn giản, ngoài ra ta có thể áp dụng luật điều khiển này cho robốt có số bậc cao hơn.

2. Kiến nghị

Qua quá trình nghiên cứu và ứng dụng Matlab để mô phỏng đặc tính của robốt còn một số vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu như sau:

Nghiên cứu luật điều khiển khi có đặc tính động học và phi tuyến với trễ đầu vào và trễ phản hồi.

Nghiên cứu các phương pháp xác định các giá trị ban đầu của bộ điều khiển thích nghi bền vững trong bài toán điều khiển trượt.

Khi số bậc của rô bốt cao hơn, thì các yếu tố bên ngoài tác động lên từng khớp là khác nhau nên việc tính bù trong luật điều khiển trên phải tính toán lại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh (2001), *Nhận dạng hệ thống điều khiển*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
2. Nguyễn Phùng Quang (2004), *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
3. Nguyễn Thiện Phúc (2002), *Robot công nghiệp*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
4. Nguyễn Thiện Phúc, *Người máy công nghiệp và sản xuất tự động linh hoạt*, NXB Khoa học và Kỹ thuật
5. Lê Hoài Quốc (2002), *Nhập môn Rô-bốt công nghiệp*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
6. Vũ Sĩ Thắng, Phan Minh Tân, Phạm Ngọc Minh, Phạm Thượng Cát. *Phát triển hệ thống nhận dạng và định vị vật thể sử dụng camera cho hệ thống phân loại sản phẩm dùng rô bốt*. Tuyển tập hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ nhất, 9-2002.

Tiếng Anh

7. Armel Cretual, Francois Chaumette, *Image – based visual servoing by integration of dynamic measurements*.
8. J.A Piepmeier, G.V McMurray, H.Lipkin. *Tracking moving target with Model Independent Visual Servoing*. Proceeding of the 1998 IEEE, Int. Conf. On intelligent robot and system, Leuven, Begium, 1998.
9. Paul. Y. Oh, Peter K. Allen, *Design of a partitioned visual feedback Control*.

10. Minoro Asada, Takamaro Tanaka, Koh Hosoda. *Visual tracking of Unknown moving object by Adaptive Binocular Visual Servoing.*
11. Won Hong. *Adaptive Control of a Two axis Camera Gimbal.*
12. Kyu Bum Han, Yoon Su Back. *Visual servo tracking strategy using time-varying kalman filter estimation.*
13. Wesley E. Snyder. *Industrial Robot: Computer Interfacing and Control.* Prentice-Hall Inc press.
14. Wolfram Stadler. *Analytical robotics and mechantronics.* McGraw-Hill, Inc press, 1995.