

ỦY BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG CAO ĐẲNG LÝ TỰ TRỌNG THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

GIÁO TRÌNH

MÔN HỌC: ROBOT CÔNG NGHIỆP

NGÀNH: CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT CƠ KHÍ

TRÌNH ĐỘ: CAO ĐẲNG

*Ban hành kèm theo Quyết định số: 1676/QĐ-LTT-ĐT ngày 31 tháng 12 năm 2020
của Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng Thành phố Hồ Chí Minh*

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2020

TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

Lời giới thiệu

Cuốn giáo trình “ Robot công nghiệp” được biên soạn nhằm phục vụ công tác giảng dạy, học tập và nghiên cứu lĩnh vực Robot công nghiệp của sinh viên Khoa Cơ khí Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng Thành phố Hồ Chí Minh. Đây là một môn học mới, phục vụ nhu cầu đổi mới sáng tạo và phát triển theo xu hướng tiếp cận công nghệ 4.0 của sinh viên Khoa Cơ khí hiện nay. Cuốn giáo trình bao gồm 3 chương. Chương 1 giới thiệu tổng quan về quá trình hình thành và phát triển của các loại Robot công nghiệp. Chương 2 trình bày về các phép toán học ứng dụng trong mô hình hóa tọa độ của Robot. Chương 3 diễn giải về các phương trình động học cơ bản của Robot công nghiệp.

Tài liệu được trình bày rõ ràng, kèm theo những hình vẽ minh họa cụ thể và những hướng dẫn cần thiết giúp cho sinh viên có thể nắm vững và theo sát các nội dung môn học.

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng Thành phố Hồ Chí Minh, các doanh nghiệp, công ty, xí nghiệp trong ngành cơ khí có mối quan hệ mật thiết với Khoa và Nhà trường đã tạo điều kiện và giúp đỡ cho nhóm tác giả hoàn thành tài liệu này.

Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 07 tháng 03 năm 2020

Tổ CAD/CAM-CNC

MỤC LỤC

	TRANG
Lời giới thiệu	2
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ ROBOT CÔNG NGHIỆP	5
1.1 Quá trình phát triển của Robot công nghiệp	5
1.2 Ứng dụng Robot công nghiệp trong sản xuất	7
1.3 Các khái niệm về robot công nghiệp	8
1.4 Cấu trúc của robot công nghiệp	11
1.5 Phân loại robot công nghiệp	15
CHƯƠNG 2. CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI THUẦN NHẤT	17
2.1 Hệ tọa độ thuần nhất	17
2.2 Các phép toán về vectơ và ma trận	19
2.3 Các phép biến đổi	22
CHƯƠNG 3. PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC CỦA ROBOT	40
3.1 Bộ thông số Denavit Hartenberg	40
3.2 Các hệ phương trình động học của một số robot cơ bản	48
TÀI LIỆU THAM KHẢO	58

GIÁO TRÌNH MÔN HỌC

Tên môn học: ROBOT CÔNG NGHIỆP

Mã môn học: CKC 138

Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học:

- Vị trí: Môn học được giảng dạy vào năm học thứ 2 của ngành học Công nghệ Kỹ thuật cơ khí, sau khi đã học xong các môn cơ sở ngành

- Tính chất: Là môn học tự chọn trong chương trình học ngành Công nghệ Kỹ thuật Cơ khí

- Ý nghĩa và vai trò của môn học: Môn học trang bị cho sinh viên những kiến thức cơ bản về Robot công nghiệp, các hệ thống tự động hóa có trang bị Robot công nghiệp... để giúp sinh viên có cái nhìn tổng quan về các hệ thống sản xuất hiện đại trong dây chuyền sản xuất ngày nay.

Mục tiêu của môn học:

- Về kiến thức: Sinh viên trình bày được lịch sử hình thành và quá trình phát triển của Robot công nghiệp, phạm vi ứng dụng của các loại Robot công nghiệp thông dụng trong sản xuất tự động.

- Về kỹ năng: Sinh viên phân tích được cấu tạo của Robot công nghiệp, phân tích được động học của một số Robot đơn giản

- Về năng lực tự chủ và trách nhiệm: Sinh viên phải có thái độ học tập nghiêm túc, phải hoàn thành nội dung học tập của cá nhân và theo nhóm do Giảng viên hướng dẫn yêu cầu.

Nội dung của môn học:

CHƯƠNG 1

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ ROBOT CÔNG NGHIỆP

Giới thiệu:

Chương này trình bày về lịch sử quá trình hình thành và phát triển, các khái niệm cơ bản về Robot nói chung và Robot công nghiệp nói riêng. Đồng thời nội dung chương 1 cũng cung cấp cái nhìn tổng quan về ứng dụng của Robot công nghiệp, các hệ thống sản xuất tự động có trang bị và sử dụng Robot công nghiệp.

Mục tiêu:

Sau khi học xong bài này sinh viên phải:

- Trình bày được quá trình hình thành và phát triển của Robot công nghiệp
- Trình bày được phạm vi ứng dụng của Robot công nghiệp
- Nêu được không gian làm việc và cấu trúc của Robot công nghiệp
- Phân loại được Robot công nghiệp

Nội dung chính:

1.1 Sơ lược về quá trình phát triển của Robot công nghiệp

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 đáng 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 đi 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 tuệ 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 xung 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, nhầm 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 thăm 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 vận hành 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 ГОСТ 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;

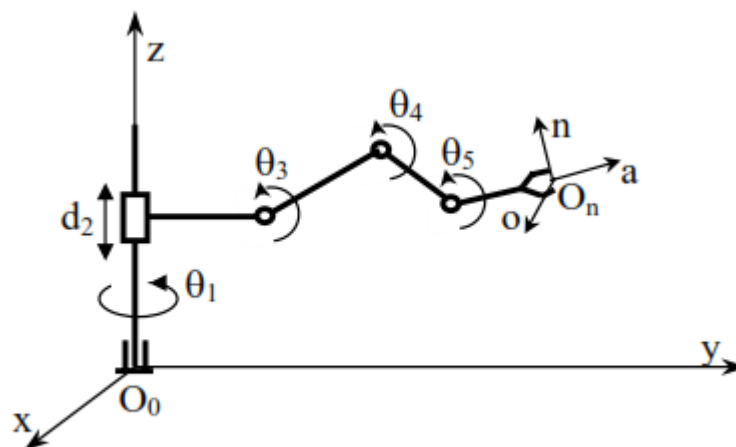
P - Số khớp loại i ($i = 1, 2, \dots, 5$: Số bậc tự do bị hạn chế).

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.

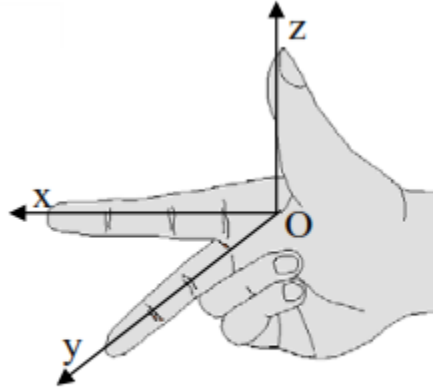
1.3.3. Hệ toạ độ (Coordinate frames):

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 toạ độ gắn với khâu cơ bản gọi là hệ toạ độ cơ bản (hay hệ toạ độ chuẩn). Các hệ toạ độ trung gian khác gắn với các khâu động gọi là hệ toạ 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 toạ độ suy rộng còn được gọi là biến khớp.



Hình 1.1 : Các toạ độ suy rộng của robot.

Các hệ toạ độ gắn trên các khâu của robot phải tuân theo qui 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).

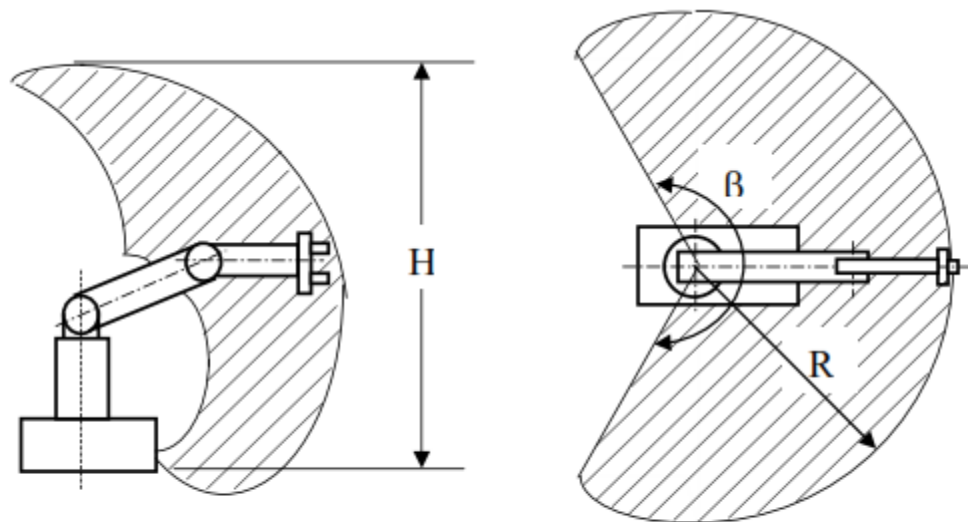


Hình 1.2 : Qui tắc bàn tay phải

Trong robot ta thường dùng chữ O và chỉ số n để chỉ hệ toạ độ gắn trên khâu thứ n. Như vậy hệ toạ độ cơ bản (Hệ toạ độ gắn với khâu cố định) sẽ được ký hiệu là O_0 ; hệ toạ độ gắn trên các khâu trung gian tương ứng sẽ là $O_1, O_2, \dots, O_{n-1}$, Hệ toạ 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

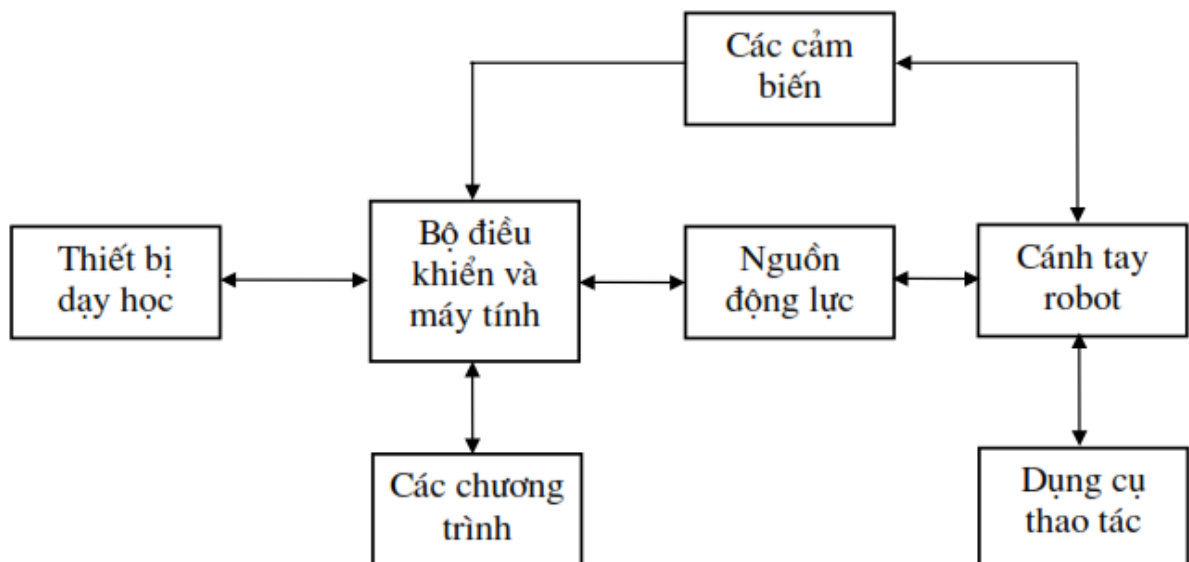
Hình chiếu bằng

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 :

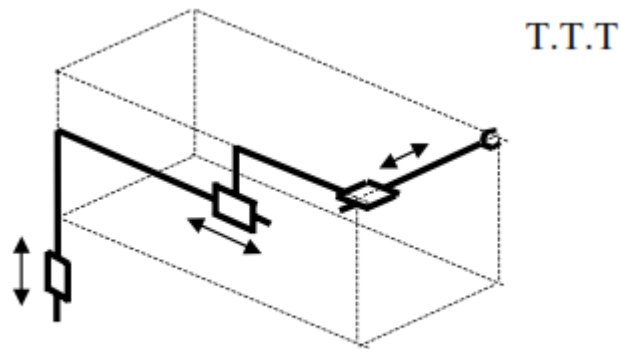
- Chuyển động tịnh tiến theo hướng x, y, z trong không gian Descartes, thông thường tạo nên các hình khối, các chuyển động này thường ký hiệu là T (Translation) hoặc P (Prismatic).

- Chuyển động quay quanh các trục x, y, z ký hiệu là R (Rotation).

Tuỳ 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 Robot là robot kiểu tọa độ Đề các, tọa độ trụ, tọa độ cầu, robot kiểu SCARA, hệ tọa độ góc (phỏng sinh) ...

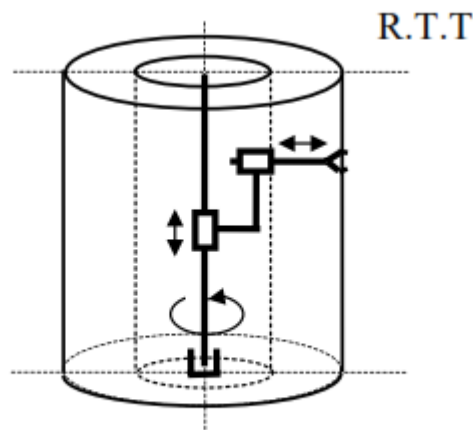
Robot kiểu tọa độ Đề các: là tay máy có 3 chuyển động cơ bản tịnh tiến theo phương của các trục hệ tọa độ gốc (cấu hình T.T.T). Trường công tác có dạng khối chữ nhật. Do kết cấu đơn giản, loại tay máy này có độ cứng vững cao, độ chính xác

cơ khí để đảm bảo vì vậy nó thường dùng để vận chuyển phối liệu, lắp ráp, hàn trong mặt phẳng ...



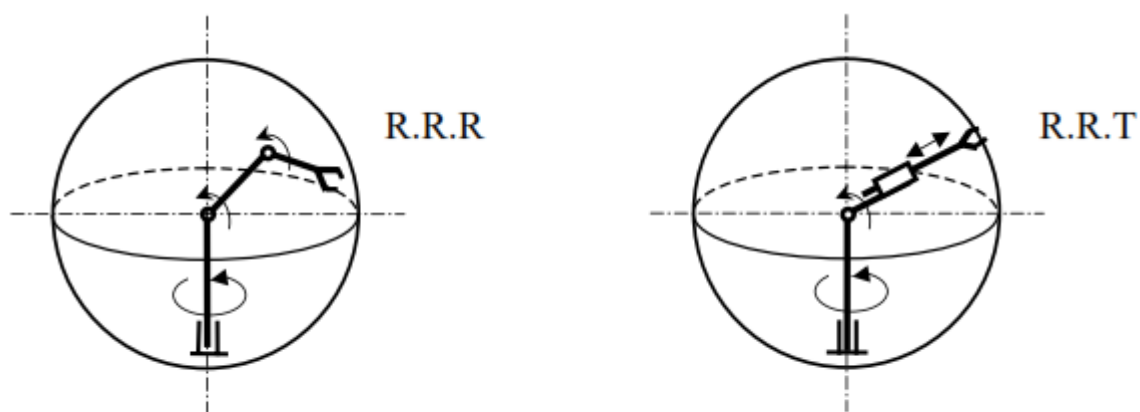
Hình 1.5 : Robot kiểu toạ độ Đề các

Robot kiểu toạ 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 toạ độ trụ như : robot Versatran của hãng | AMF (Hoa Kỳ).



Hình 1.6 : Robot kiểu toạ độ trụ

Robot kiểu toạ 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 toạ độ cầu (hình 1.7).

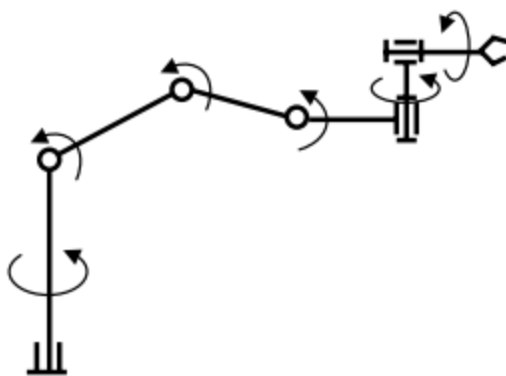


Hình 1.7 : Robot kiểu tọa độ cầu

Robot kiểu tọa độ góc (Hệ tọa độ phòng 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...

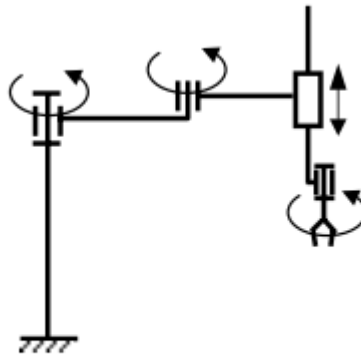
Ví dụ một robot hoạt động theo hệ tọa độ góc (Hệ tọa độ phòng sinh), có cấu hình RRR.RRR:



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:

1.5.1. 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.

1.5.2. 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 nhắc lên - đặt xuống” (Pick and Place or PTP: Point To Point).

1.5.3. 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...

1.5.4. 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

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 1

Câu 1: Trình bày lịch sử hình thành và phát triển của Robot công nghiệp? Cho biết vai trò của Robot công nghiệp trong Cuộc cách mạng 4.0 ngày nay?

Câu 2: Nêu phạm vi ứng dụng trong thực tế của Robot công nghiệp?

Câu 3: Phân loại các loại Robot công nghiệp thường gặp trong các dây chuyền sản xuất tự động hóa?

CHƯƠNG 2

CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI THUẦN NHẤT

Giới thiệu

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 robot.

Mục tiêu

Sau khi học xong bài này sinh viên phải:

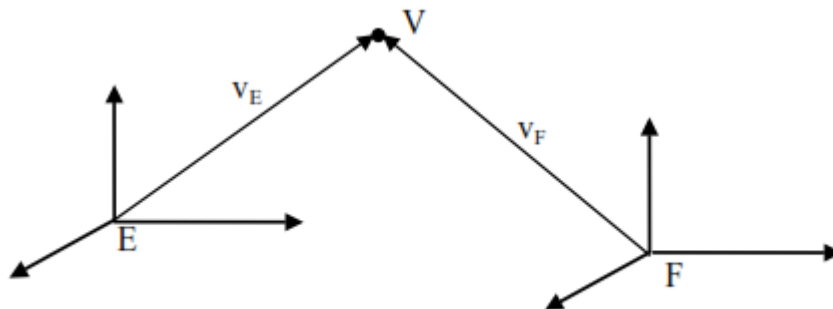
- Trình bày được hệ tọa độ thuần nhất sử dụng trong phép toán liên quan tới robot
- Sử dụng được các phép biến đổi ma trận trong các bài toán cơ bản
- Mô tả được vị trí của một vật thể bất kỳ đặt trong hệ tọa độ không gian 3 chiều

Nội dung chính:

2.1 Hệ tọa độ thuần nhất

Để biểu diễn một điểm trong không gian ba chiều, người ta dùng Vector điểm (Point vector). Vector điểm thường được ký hiệu bằng các chữ viết thường như u , v , x ,... để mô tả vị trí của điểm U , V , X ,...

Tùy thuộc vào hệ quy chiếu được chọn, trong không gian 3 chiều, một điểm V có thể được biểu diễn bằng nhiều vector điểm khác nhau:



Hình 2.2 : Biểu diễn 1 điểm trong không gian

v_E và v_F là hai vector khác nhau mặc dù cả hai vector cùng mô tả điểm. Nếu i , j , k là các vector 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 toạ 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 vector v trong không gian bốn chiều với suất vector là một ma trận cột :

$$v = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \quad \text{Trong đó} \quad \begin{aligned} x/w &= a \\ y/w &= b \\ z/w &= c \end{aligned}$$

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 toạ độ biểu diễn bằng với toạ độ vật lý của điểm trong không gian 3 chiều, hệ toạ độ sử dụng w=1 được gọi là hệ toạ độ thuần nhất.

$$\text{Với } w = 0 \quad \text{ta có :} \quad \frac{x}{w} = \frac{y}{w} = \frac{z}{w} = \infty$$

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 thuần 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 vector hàng thành vector cột)

Theo cách biểu diễn trên đây, ta qui ước:

$[0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ là vector không xác định

$[0 \ 0 \ 0 \ n]^T$ với $n \neq 0$ là vector không, trùng với gốc toạ độ

$[x \ y \ z \ 0]^T$ là vector chỉ hướng

$[x \ y \ z \ 1]^T$ là vector điểm trong hệ toạ độ thuần nhất.

2.2 Các phép tính về vectơ và ma trận

2.2.1 Phép nhân vectơ

Cho hai vectơ :

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

$$\vec{b} = b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k}$$

Ta có tích vô hướng

$$a.b = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

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

2.2.2.1 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.

2.2.2.2 Tích của hai ma trận

Tích của ma trận A (kích thước m x n) với ma trận B (kích thước n x p) là ma trận C có kích thước m x 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 : $A . B \neq B . A$

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. $C.(A + B) = C.A + C.B$

2.2.2.3 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} :

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} n_x & n_y & n_z & -p.n \\ O_x & O_y & O_z & -p.O \\ a_x & a_y & a_z & -p.a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó $p.n$ là tích vô hướng của vectơ p và n. nghĩa là :

$$\begin{aligned} p.n &= p_x n_x + p_y n_y + p_z n_z \\ \text{tương tự : } p.O &= p_x O_x + p_y O_y + p_z O_z \\ \text{và } p.a &= p_x a_x + p_y a_y + p_z a_z \end{aligned}$$

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 các 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.

2.2.2.4 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/ $\text{Tr(ABC}^T) = \text{Tr(CB}^T\text{A}^T)$

2.2.2.5 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 vector điểm biểu diễn điểm cần biến đổi, h là vector dẫn được biểu diễn bằng một ma trận H gọi là ma trận chuyển đổi. Ta có :

$$v = H.u$$

v là vector 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 vector 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 vector biểu diễn điểm cần tịnh tiến : $u = [x \ y \ z \ w]^T$

Thì v là vector 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 vector giữa vector biểu diễn điểm cần chuyển đổi và vector dẫn.

Ví dụ :

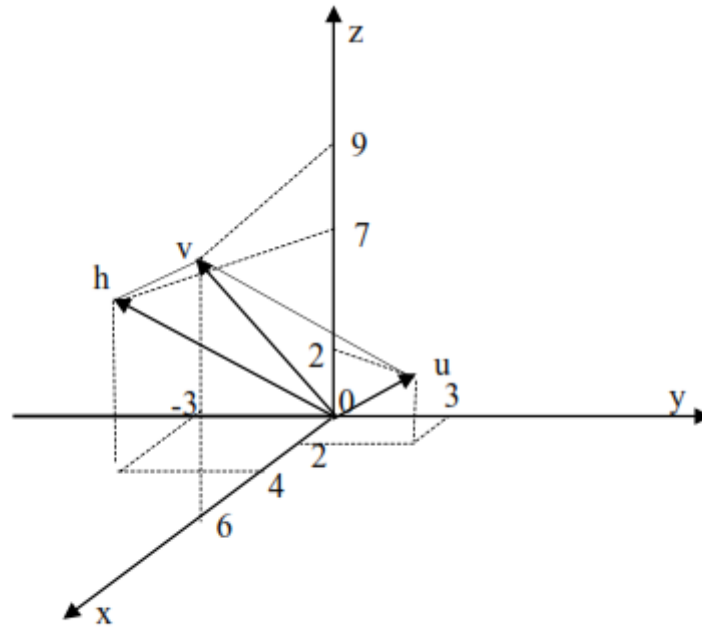
$$\begin{aligned} \vec{u} &= 2\vec{i} + 3\vec{j} + 2\vec{k} \\ \vec{h} &= 4\vec{i} - 3\vec{j} + 7\vec{k} \end{aligned}$$

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 toạ độ

Giả sử ta cần quay một điểm hoặc một vật thể xung quanh trục toạ 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 :

$$w = \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot u = \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

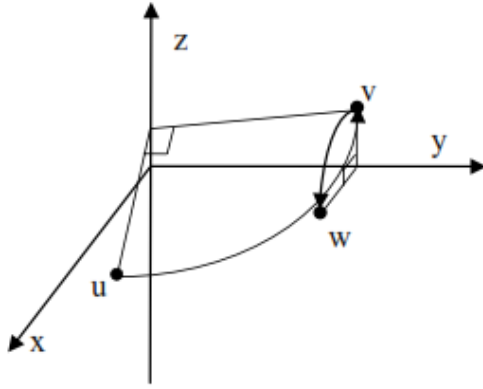
Chú ý : Nếu đổi thứ tự quay ta sẽ được $w' \neq w$ (hình 2.6), cụ thể : cho u quay quanh y trước 1 góc 90° , ta có

$$v' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix} = \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot u$$

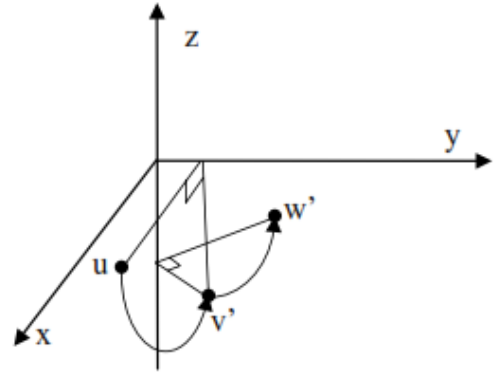
Sau đó cho điểm vừa biến đổi quay quanh z một góc 90° , ta được :

$$w' = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 2 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix} = \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot \text{Rot}(y, 90^\circ)u$$

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
 $w = \text{Rot}(y, 90^\circ). \text{Rot}(z, 90^\circ)u$



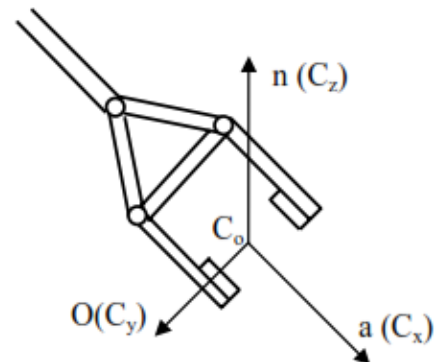
Hình 2.6
 $w' = \text{Rot}(z, 90^\circ). \text{Rot}(y, 90^\circ)u$

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 vector k bất kỳ một góc θ . Ràng buộc duy nhất là vector 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:

$$C = \begin{bmatrix} C_x & C_y & C_z & C_o \\ n_x & O_x & a_z & 0 \\ n_y & O_y & a_y & 0 \\ n_z & O_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



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 vector đơn vị được biểu thị như sau :

a : là vector có hướng tiếp cận với đối tượng (approach);

O: là vector có hướng mà theo đó các ngón tay nắm vào khi cầm nắm đối tượng (Occupation);

n: Vector pháp tuyến với (O,a) (Normal).

Bây giờ ta hãy coi vector bất kỳ k (mà ta cần thực hiện phép quay quanh nó một góc θ) là một trong các vector 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 vector bất kỳ, thì ta có X mô tả trong hệ C với k là một trong các vector đơn vị. Từ điều kiện biến đổi thuận nhất, T và X có liên hệ:

$$T = C.X$$

$$\text{hay } X = C^{-1}.T$$

Lúc đó các phép quay dưới đây là đồng nhất :

$$\text{Rot}(k, \theta) = \text{Rot}(C_z, \theta)$$

$$\text{hay là } \text{Rot}(k, \theta).T = C.\text{Rot}(z, \theta).X = C.\text{Rot}(z, \theta).C^{-1}.T$$

$$\text{Vậy } \text{Rot}(k, \theta) = C.\text{Rot}(z, \theta).C^{-1} \quad (2.6)$$

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

$$\text{Rot}(k, \theta) = \begin{bmatrix} n_x n_x \cos \theta - n_x O_x \sin \theta + n_x O_x \sin \theta + O_x O_x \cos \theta + a_x a_x & n_x n_y \cos \theta - n_x O_y \sin \theta + n_x O_y \sin \theta + O_x O_y \cos \theta + a_x a_y & n_x n_z \cos \theta - n_x O_z \sin \theta + n_x O_z \sin \theta + O_x O_z \cos \theta + a_x a_z & 0 \\ n_x n_y \cos \theta - n_x O_y \sin \theta + n_y O_x \sin \theta + O_x O_y \cos \theta + a_x a_y & n_y n_y \cos \theta - n_y O_y \sin \theta + n_y O_y \sin \theta + O_y O_y \cos \theta + a_y a_y & n_y n_z \cos \theta - n_y O_z \sin \theta + n_y O_z \sin \theta + O_z O_y \cos \theta + a_z a_y & 0 \\ n_x n_z \cos \theta - n_x O_z \sin \theta + n_z O_x \sin \theta + O_x O_z \cos \theta + a_x a_z & n_y n_z \cos \theta - n_y O_z \sin \theta + n_z O_y \sin \theta + O_y O_z \cos \theta + a_y a_z & n_z n_z \cos \theta - n_z O_z \sin \theta + n_z O_z \sin \theta + O_z O_z \cos \theta + a_z a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

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 vector là trực giao
- Tích vô hướng của bất kỳ hàng hay cột nào của C với chính nó đều bằng 1 vì là vector đơn vị

Vector đơn vị z bằng tích vector 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 vector đơn vị của C ta đã chọn :

$$k_x = a_x ; \quad k_y = a_y ; \quad k_z = a_z$$

Ta ký hiệu $\text{Vers} \theta = 1 - \cos \theta$ (Versin θ).

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 vector bất kỳ k. Từ phép quay tổng quát có thể suy ra các phép quay cơ bản quanh các trục toạ 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, rồi 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 :

$$\left. \begin{aligned} O_z - a_y &= 2k_x \sin\theta \\ a_x - n_z &= 2k_y \sin\theta \\ n_y - O_x &= 2k_z \sin\theta \end{aligned} \right\}$$

(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 $0 \leq \theta \leq 180^\circ$:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{(O_z - a_y)^2 + (a_x - n_z)^2 + (n_y - O_x)^2}}{(n_x + O_y + a_z - 1)}$$

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) :

$$n_x = k_x^2 \operatorname{vers} \theta + \cos \theta$$

$$O_y = k_y^2 \operatorname{vers} \theta + \cos \theta$$

$$a_z = k_z^2 \operatorname{vers} \theta + \cos \theta$$

Từ đây ta suy ra :

$$k_x = \pm \sqrt{\frac{n_x - \cos \theta}{\operatorname{vers} \theta}} = \pm \sqrt{\frac{n_x - \cos \theta}{1 - \cos \theta}}$$

$$k_y = \pm \sqrt{\frac{O_y - \cos \theta}{\operatorname{vers} \theta}} = \pm \sqrt{\frac{O_y - \cos \theta}{1 - \cos \theta}}$$

$$k_z = \pm \sqrt{\frac{a_z - \cos \theta}{\operatorname{vers} \theta}} = \pm \sqrt{\frac{a_z - \cos \theta}{1 - \cos \theta}}$$

Trong khoảng $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ $\sin \theta$ luôn luôn dương

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 phần tử đối xứng qua đường chéo ma trận chuyển đổi (2.9) :

$$\begin{aligned}n_y + O_x &= 2k_x k_y \text{vers}\theta = 2k_x k_y (1 - \cos\theta) \\O_z + a_y &= 2k_y k_z \text{vers}\theta = 2k_y k_z (1 - \cos\theta) \\a_x + n_z &= 2k_z k_x \text{vers}\theta = 2k_z k_x (1 - \cos\theta)\end{aligned}\tag{2.13}$$

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 :

$$\begin{aligned}k_y &= \frac{n_y + O_x}{2k_x (1 - \cos\theta)} \\k_z &= \frac{a_x + n_z}{2k_x (1 - \cos\theta)}\end{aligned}$$

Ví dụ : Cho $R = \text{Rot}[y, 90^0] \text{Rot}[z, 90^0]$. Hãy xác định k và θ để $R = \text{Rot}[k, \theta]$. Ta đã biết :

$$R = \text{Rot}(y, 90^0) \cdot \text{Rot}(z, 90^0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta có $\cos\theta = (n_x + O_y + a_z - 1) / 2 = (0 + 0 + 0 - 1) / 2 = -1 / 2$

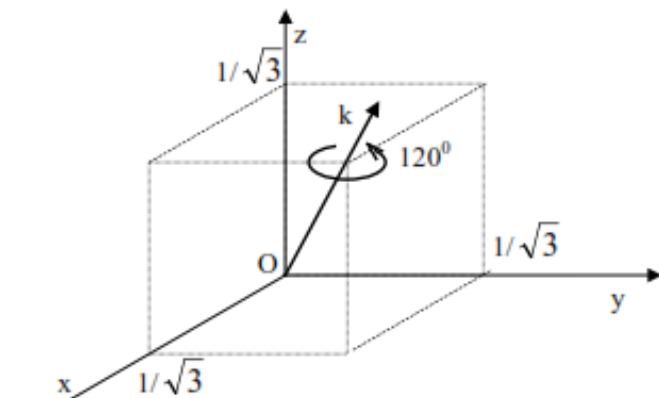
$$\begin{aligned}\sin\theta &= \frac{1}{2}\sqrt{(O_z - a_y)^2 + (a_x - n_z)^2 + (n_y - O_x)^2} \\ &= \frac{1}{2}\sqrt{(1 - 0)^2 + (1 - 0)^2 + (1 - 0)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \Rightarrow \quad \operatorname{tg}\theta &= -\sqrt{3} \quad \text{và} \quad \theta = 120^\circ\end{aligned}$$

Theo (2.12), ta có :

$$k_x = k_y = k_z = +\sqrt{\frac{0+1/2}{1+1/2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Vậy : $R = \operatorname{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \operatorname{Rot}(z, 90^\circ) = \operatorname{Rot}(\vec{k}, 120^\circ)$; với :

$$\vec{k} = \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{j} + \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{k}$$

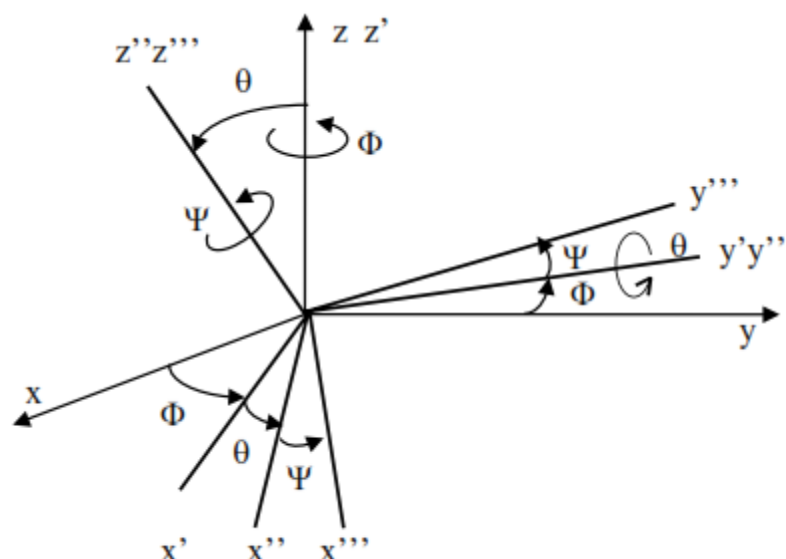


Hình 2.8 : Tìm góc quay và trục quay tương đương

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:

$$\text{Euler}(\Phi, \theta, \psi) = \text{Rot}(z, \Phi) \text{Rot}(y, \theta) \text{Rot}(z, \psi)$$

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 ng-ợc 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 dẫn đến kết quả tương tự (Xét trong cùng hệ qui chiếu)

$$\begin{aligned} \text{Euler}(\Phi, \theta, \psi) &= \text{Rot}(z, \Phi) \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi & 0 & 0 \\ \sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & -\cos\theta\sin\psi & \sin\theta & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ -\sin\theta\cos\psi & \sin\theta\sin\psi & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\Phi\cos\theta\cos\psi - \sin\Phi\sin\psi & -\cos\Phi\cos\theta\sin\psi - \sin\Phi\cos\psi & \cos\Phi\sin\theta & 0 \\ \sin\Phi\cos\theta\cos\psi + \cos\Phi\sin\psi & -\sin\Phi\cos\theta\sin\psi + \cos\Phi\cos\psi & \sin\Phi\sin\theta & 0 \\ -\sin\theta\cos\psi & \sin\theta\sin\psi & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.15)$$

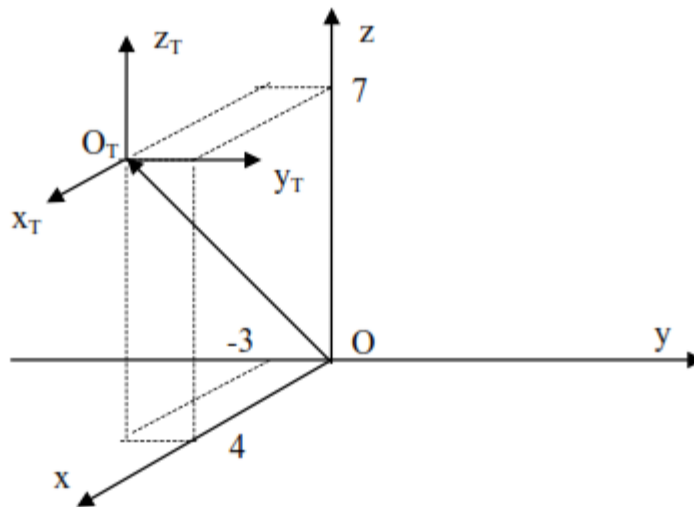
2.4 Biến đổi hệ tọa độ và mối quan hệ giữa các hệ tọa độ biến đổi

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



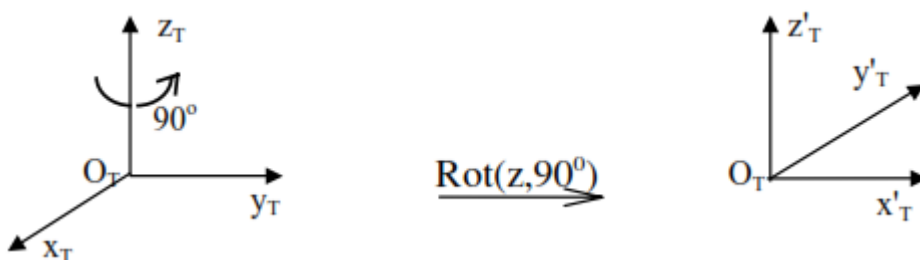
Hình 2.12 : Phép biến đổi tịnh tiến hệ tọa độ

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

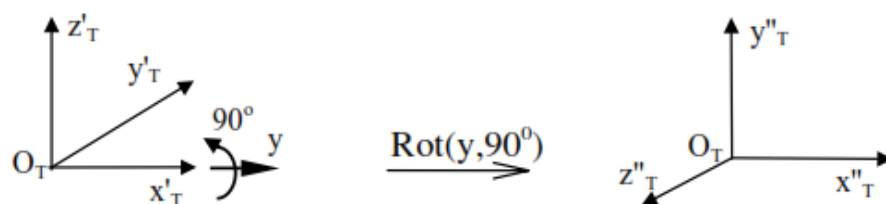
Nếu ta tiếp tục thực hiện các phép biến đổi quay :

$$\text{Rot}(y, 90^\circ) \text{Rot}(z, 90^\circ) \cdot O_T$$

ta sẽ có một hệ tọa độ hoàn toàn mới, cụ thể tại gốc tọa độ mới $(4, -3, 7)$ khi cho hệ O quay quanh z một góc 90° (chiều quay dương qui ước là ngược chiều kim đồng hồ), ta có:

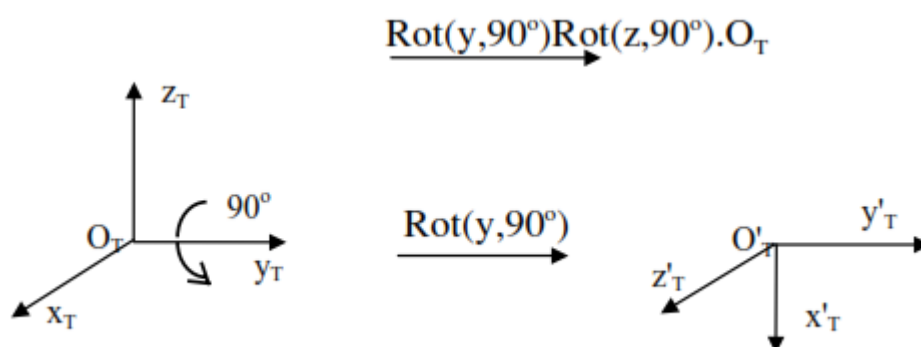


Ta tiếp tục quay hệ O_T quanh trục y (trục y của hệ tọa độ gốc) một góc 90° , Ta có :

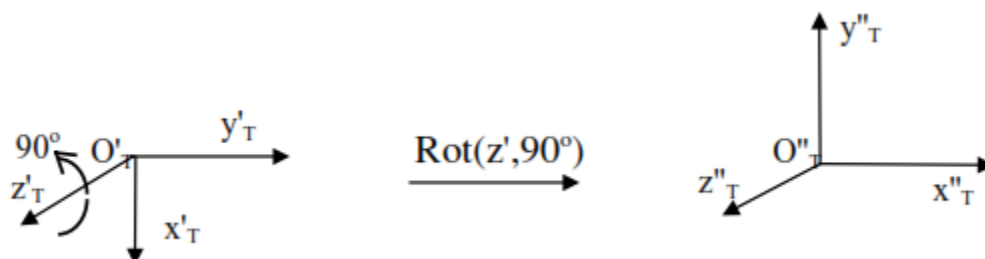


Ví dụ trên đây ta đã chọn Hệ tạo độ cơ sở làm hệ qui chiếu và thứ tự thực hiện các phép biến đổi là từ Phải sang Trái. Nếu thực hiện các phép biến đổi theo thứ tự ngược lại từ Trái sang Phải thì hệ qui chiếu được chọn là các hệ tọa độ trung gian.

Xét lại ví dụ trên:

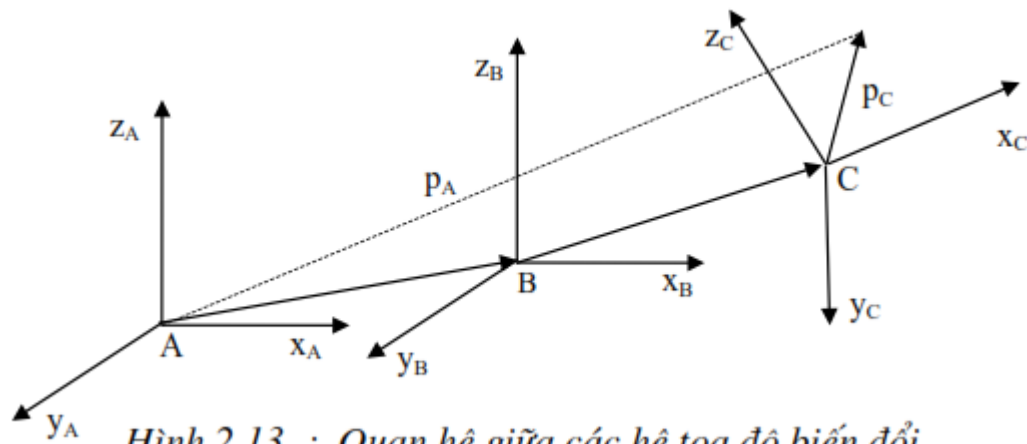


Ta tiếp tục quay quanh O'_T quanh trục z một góc 90°



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



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 :

$$p_B = {}^B T_C p_C, \quad (2.18)$$

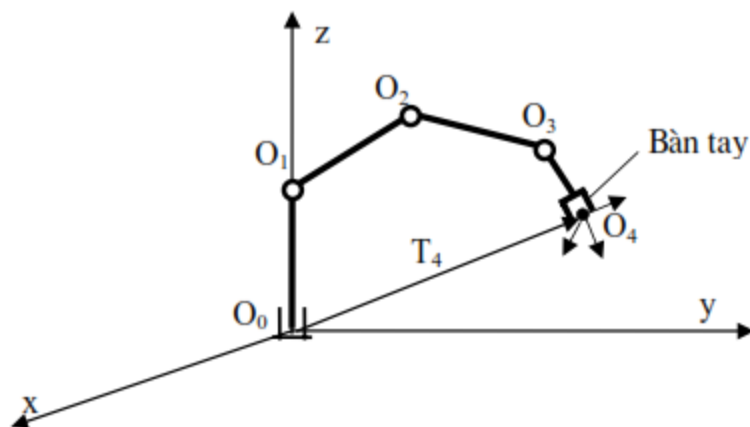
Sau đó biến đổi p_B thành p_A như sau :

$$p_A = {}^A T_B p_B, \quad (2.19)$$

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 (Combination)

Nhóm vật thể tròn xoay có các giá trị đặc trưng là toạ độ tâm và bán kính mặt cong. Nhóm vật thể có góc cạnh đặc trưng bằng toạ độ của các điểm giới hạn. Nhóm còn lại có các giá trị đặc trưng hỗn hợp.

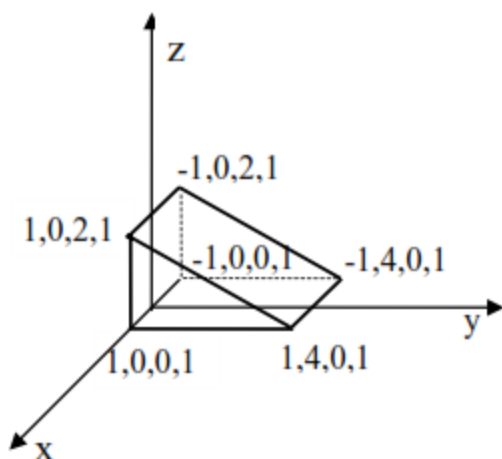
Tuy nhiên, đối với hoạt động cầm nắm đối tượng và quá trình vận động của robot việc mô tả vật thể cần phải gắn liền với các phép biến đổi thuận nhất. Ta xét ví dụ sau đây : Cho một vật hình lăng trụ đặt trong hệ toạ độ chuẩn Oxyz) như hình 2.15.

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 toạ độ của 6 điểm đặc trưng mô tả nó là :

$$\begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} & \textcircled{6} \\ \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$



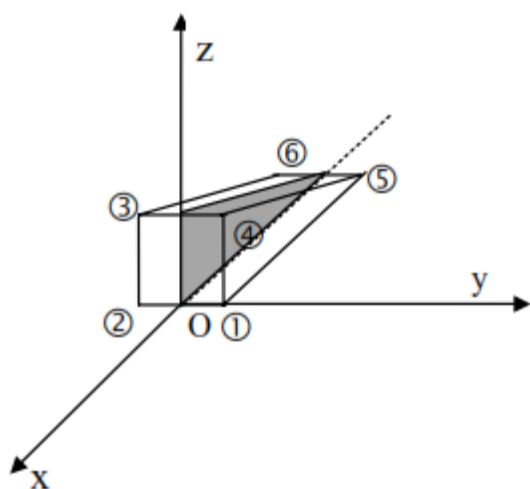
Hình 2.15 : Mô tả vật thể

Sau khi thực hiện các phép biến đổi :

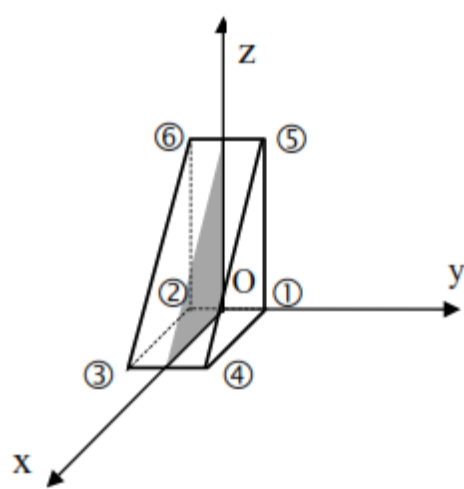
- Quay vật thể quanh trục z một góc 90^0 (Hình 2.16),
- Cho vật thể quay quanh trục y một góc 90^0 (Hình 2.17),
- Tiếp tục tịnh tiến vật thể dọc theo trục x một đoạn bằng 4 đơn vị (hình 2.18) ta xác định được ma trận tọa độ các điểm giới hạn của vật thể ở vị trí đã được biến đổi như sau (các phép quay đã chọn hệ qui chiếu là hệ tọa độ gốc) :

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} & \textcircled{6} \\ \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

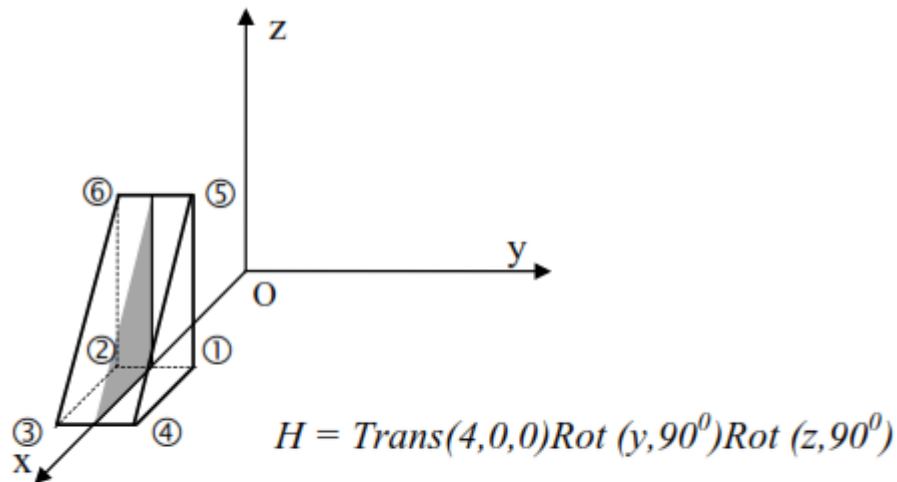
$$= \begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} & \textcircled{6} \\ \begin{bmatrix} 4 & 4 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$



Hình 2.16 : Rot (z, 90^0)



Hình 2.17: Rot (y, 90^0) Rot (z, 90^0)



Hình 2.18: Vị trí vật thể sau khi biến đổi

Các phép biến đổi thuần nhất dùng để miêu tả vị trí và hướng của các hệ toạ độ trong không gian. Nếu một hệ toạ độ được gắn liền với đối tượng thì vị trí và hướng của chính đối tượng cũng được miêu tả. Khi miêu 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 miêu 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.

CÂU HỎI ÔN TẬP

Câu 1:

Cho điểm A biểu diễn bởi vector điểm $v = [2 \ 4 \ 1 \ 1]^T$. Tịnh tiến điểm A theo vector dẫn $h = [1 \ 2 \ 1 \ 1]^T$, sau đó tiếp tục quay điểm đã biến đổi quanh trục x một góc 90° . Xác định vector biểu diễn điểm A sau hai phép biến đổi?

Câu 2:

Viết ma trận biến đổi thuần nhất biểu diễn các phép biến đổi sau

$$H = \text{Trans}(3, 7, 9) \text{Rot}(x, -90^\circ) \text{Rot}(z, 90^\circ)$$

Câu 3:

Cho ma trận biến đổi thuần nhất A, tìm ma trận nghịch đảo A^{-1} và kiểm chứng

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Câu 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 trục y_A 3 đơn vị.

(a) Mô tả mối quan hệ của {B} đối với {A}: ${}^A T_B$?

(b) Tìm mối quan hệ ngược lại ${}^B T_A$?

Câu 5:

Cho $k = \frac{1}{\sqrt{3}}(1, 1, 1)^T$, $\theta = 90^\circ$. Tìm ma trận $R = \text{Rot}(k, \theta)$.

Câu 6:

Xác định các góc quay Euler, khi biết ma trận T_6

$$T_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & -1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CHƯƠNG 3

PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC CỦA ROBOT

Giới thiệu

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 thuần nhất để có thể mô tả vị trí tương đối và hướng giữa các hệ tọa độ này.

Mục tiêu

Sau khi học xong bài này sinh viên phải:

- Trình bày được các thông số trong phương trình Denavit - Hartenberg
- Lập được bảng thông số theo DH của một số Robot thông dụng
- Viết được phương trình động học của một số Robot thông dụng

Nội dung chính

3.1 Bộ thông số Denavit Hartenberg

3.1.1 Giới thiệu

Denavit. J. đã gọi biến đổi thuần 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 thuần nhất bởi phép quay và phép tịnh tiến tương đối giữa hệ tọa độ của hai khâu liền nhau. A₁ mô tả vị trí và hướng của khâu đầu tiên; A₂ 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, A₃ mô tả khâu thứ ba so với khâu thứ hai và

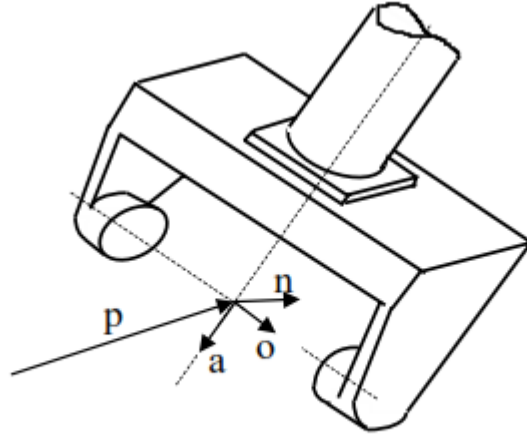
$$T_3 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 ; \quad v.v...$$

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:

$$T_6 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \quad (3.1)$$

T₆ 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 toạ độ của hệ mô tả tại điểm giữa của các ngón tay. Gốc toạ độ này được mô tả bởi vector p (xác định vị trí của bàn tay). Ba vector 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

- * Vector có hướng mà theo đó bàn tay sẽ tiếp cận đến đối tượng, gọi là vector a (approach).
- * Vector có hướng mà theo đó các ngón tay của bàn tay nắm vào nhau khi cầm nắm đối tượng, gọi là vector o (Occupation).
- * Vector cuối cùng là vector 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 :

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Tổng quát, ma trận T_6 có thể biểu diễn gọn hơn như sau :

$$T_6 = \left[\begin{array}{ccc|c} \text{Ma trận định hướng R} & & & \text{Vectơ vị trí p} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (3.3)$$

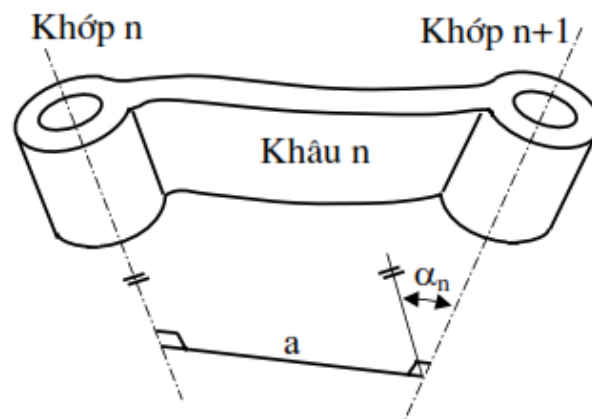
Ma trận R có kích thước 3×3 , là ma trận trực giao biểu diễn hướng của bàn kẹp (khâu chấp hành cuối) đối với hệ tọa độ cơ bản. Vector điểm p có kích thước 3×1 , biểu diễn mối quan hệ tọa độ vị trí của của gốc hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối đối với hệ tọa độ cơ bản.

3.1.2 Bộ thông số Denavit-Hartenberg (DH)

Một robot nhiều khâu cấu thành từ các khâu nối tiếp nhau thông qua các khớp động. Gốc 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:

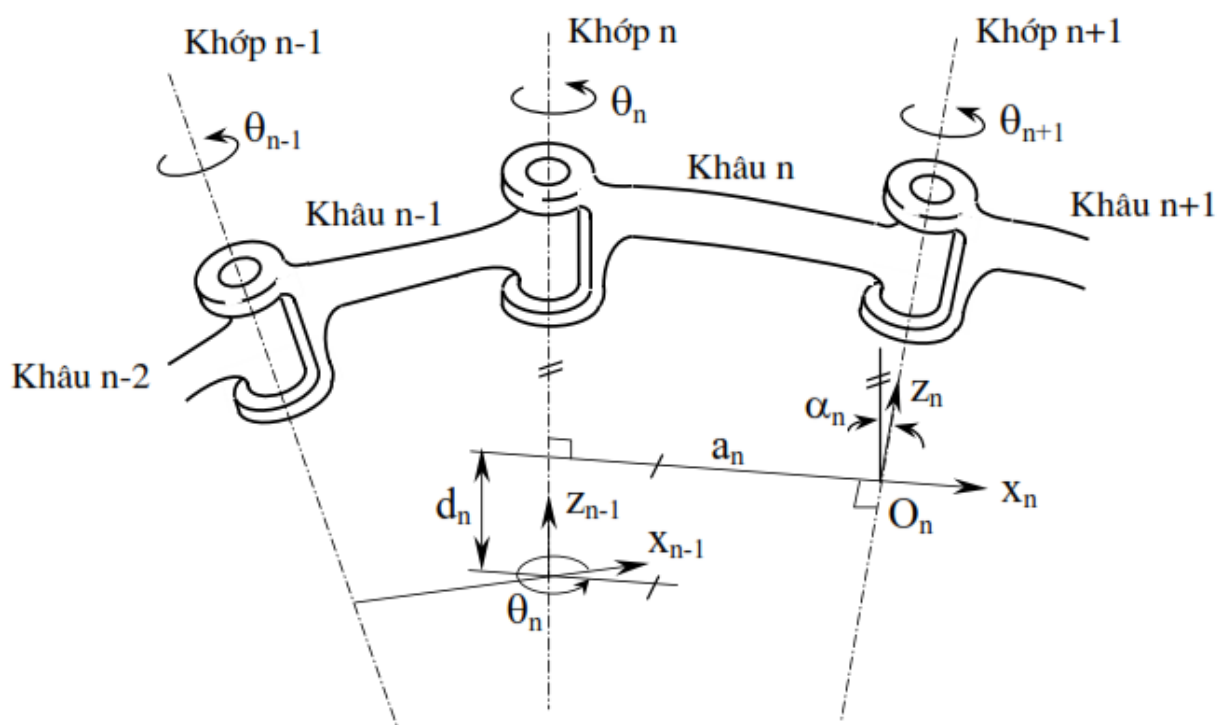
Độ dài pháp tuyến chung : a_n .

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 , với trục khớp thứ $n+1$. Trường hợp hai trục khớp cắt nhau, gốc tọa độ sẽ đặt tại chính điểm cắt đó. Nếu các trục khớp song song với nhau, gốc 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 $n+1$.

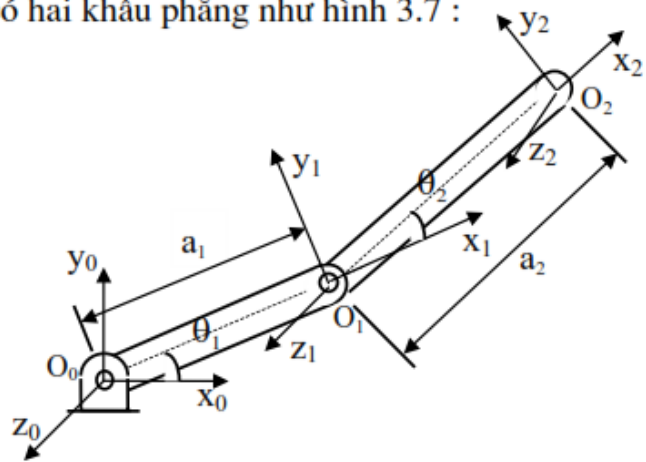
- + Trục x thường được đặt dọc theo pháp tuyến chung và hướng từ khớp n đến $n+1$. Trong trường hợp các trục khớp cắt nhau thì trục x chọn theo tích vector

$Z_n \times Z_{n-1}$:

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).

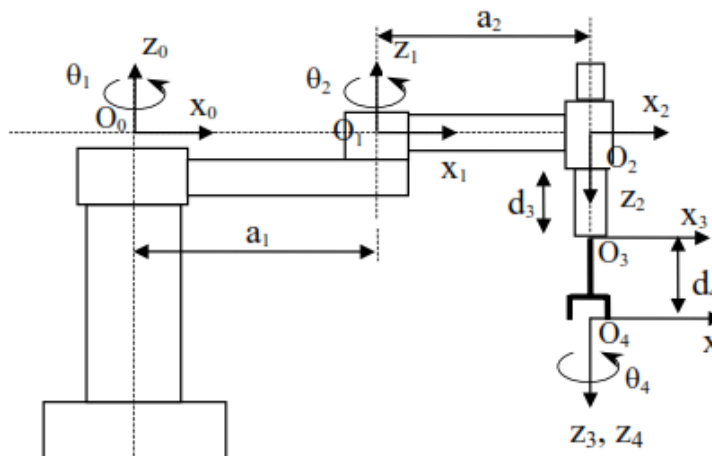
Ta gán các hệ toạ độ lên các khâu như hình vẽ : trục z_0 , z_1 và z_2 vuông góc với tờ giấy. Hệ toạ độ cơ sở là $O_0x_0y_0z_0$, chiều của x_0 hướng từ O_0 đến O_1 . Sau khi thiết lập hệ toạ độ cơ sở, Hệ toạ độ $o_1x_1y_1z_1$ có hướng như hình vẽ, O_1 đặt tại tâm trục khớp 2. Hệ toạ độ $O_2x_2y_2z_2$ 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 toạ độ gán lên các khâu như hình vẽ.



Hình 3.8 : Robot SCARA và các hệ toạ độ (vị trí ban đầu).

Đối với tay máy này các trục khớp đều song song nhau, để tiện lợi tất cả các gốc 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.

3.1.3 Đặc trưng của 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 thuận 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 α , a 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.

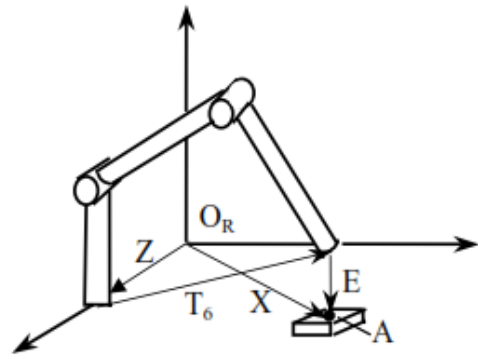
3.1.4 Xác định T_6 theo các ma trận A_n

$$\text{Ta đã biết :} \quad T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$$

Trong đó T_6 được miêu tả trong hệ toạ độ gốc (hệ toạ độ gắn với khâu cơ bản cố định của robot). Nếu mô tả T_6 theo các hệ toạ 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

3.1.5 Trình tự thiết lập 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. đó là bốn phép biến đổi : $A = \text{Rot}(z, \theta) \text{Trans}(0,0,d) \text{Trans}(a,0,0) \text{Rot}(x, \alpha)$. 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.

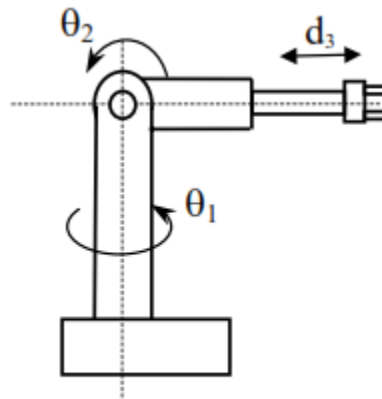
2. Lập bảng thông số Denavit- Hartenberg
3. Dựa vào các thông số DH xác định các ma trận A_n
4. Tính các ma trận T và viết các phương trình động học của robot

3.2 Các hệ phương trình động học của một số Robot cơ bản

3.2.1 Robot RRT

Ví dụ sau đây trình bày chi tiết của các bước khi thiết lập hệ phương trình động học của robot RRT :

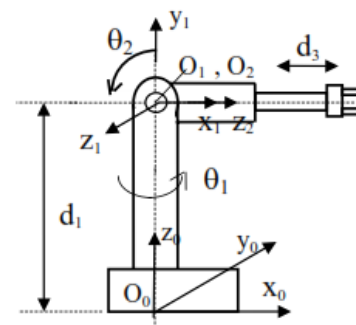
Cho một robot có ba khâu, cấu hình RRT như hình 3.11. Hãy thiết lập hệ phương trình động học của robot



Hình 3.11 : Robot RRT

1. Gắn hệ toạ độ lên các khâu: Ta giả định vị trí ban đầu và chọn gốc toạ 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° 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 $\alpha_1 = 90^\circ$ (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) .

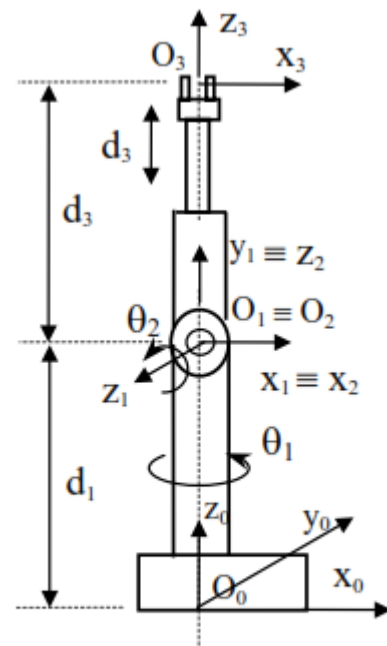


Hình 3.12 : Gắn các hệ toạ độ O_0 và O_1

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° 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° (tức $\alpha_2 = -90^\circ$).

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 $\text{Trans}(0,0,d_3)$), vì đây là khâu tịnh tiến nên d_3 là biến.



Hình 3.13 : Hệ tọa độ gắn lên các khâu

Như vậy việc gắn các hệ tọa 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^*

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 ${}^1T_3 = A_2 \cdot {}^2T_3$

$${}^1T_3 = \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & C_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & -S_2*d_3 \\ S_2 & 0 & C_2 & C_2*d_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

+ Ma trận $T_3 = A_1 \cdot {}^1T_3$

$$T_3 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & -S_2*d_3 \\ S_2 & 0 & C_2 & C_2*d_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

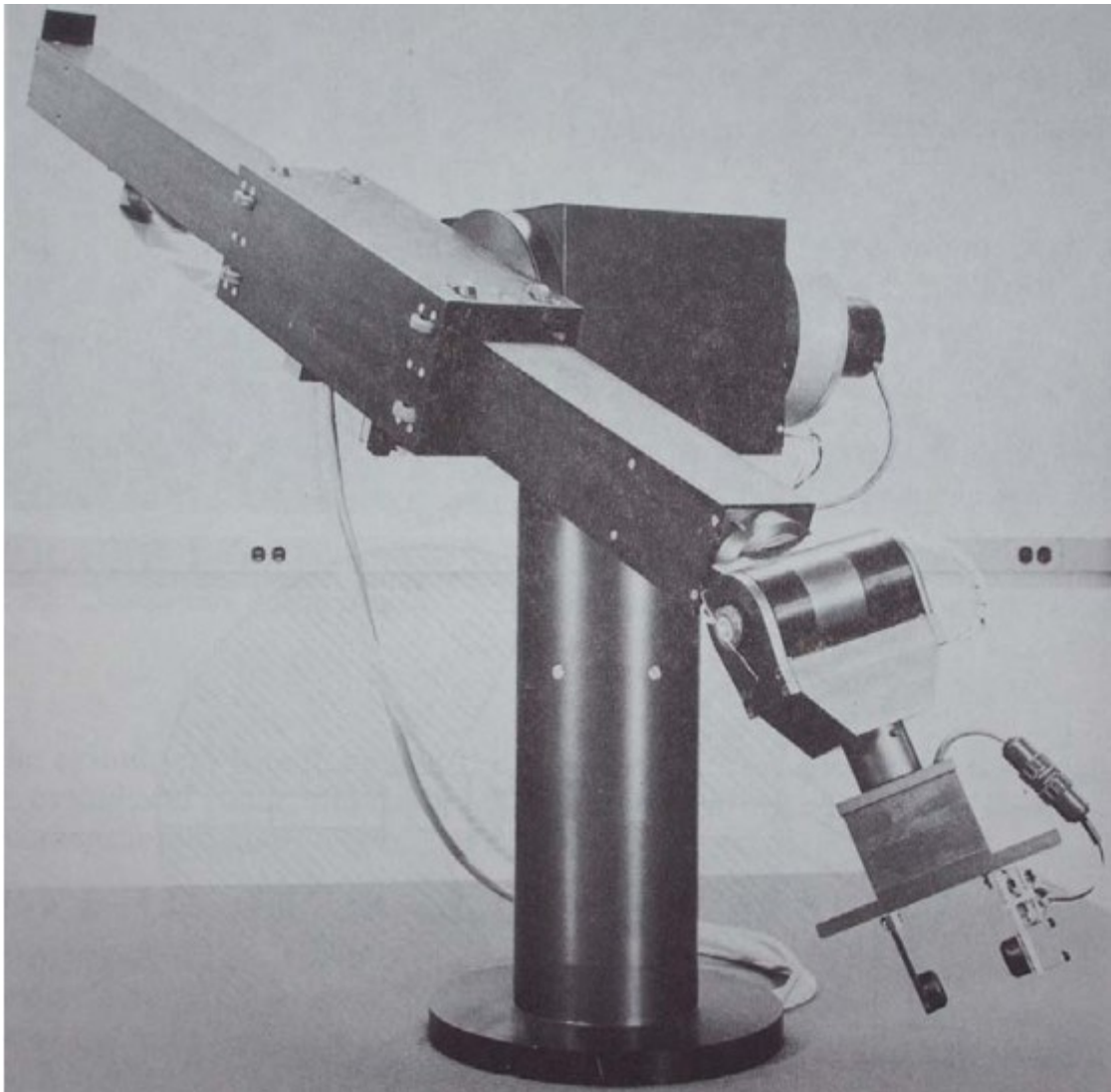
$$= \begin{pmatrix} C_1 C_2 & -S_1 & -C_1 S_2 & -C_1 S_2 d_3 \\ S_1 C_2 & C_1 & -S_1 S_2 & -S_1 S_2 d_3 \\ S_2 & 0 & C_2 & C_2 d_3 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ta có hệ phương trình động học của robot như sau :

$$\begin{array}{lll} n_x = C_1 C_2; & n_y = S_1 C_2; & n_z = S_2 \\ O_x = -S_1; & O_y = C_1; & O_z = 0; \\ a_x = -C_1 S_2; & a_y = -S_1 S_2; & a_z = C_2; \\ p_x = -C_1 S_2 d_3 & p_y = -S_1 S_2 d_3 & p_z = C_2 d_3 + d_1; \end{array}$$

3.2.2 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 :

$$C_1 = \cos\theta_1;$$

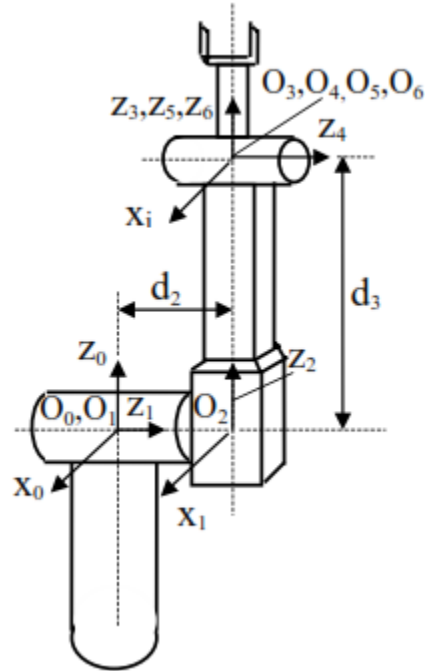
$$S_1 = \sin\theta_1;$$

$$C_{12} = \cos(\theta_1+\theta_2);$$

$$S_{12} = \sin(\theta_1+\theta_2)$$

$$S_{234} = \sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \dots$$

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 :

$$A_1 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_2 = \begin{pmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_4 = \begin{pmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_5 = \begin{pmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_6 = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

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:

$$T_6^5 = \begin{pmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^4 = A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_5 C_6 & -C_5 S_6 & S_5 & 0 \\ S_5 C_6 & -S_5 S_6 & -C_5 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^3 = A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & 0 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & 0 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^2 = A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & 0 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & 0 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^{-1} = A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{pmatrix} C_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) - S_2S_5C_6 & -C_2(C_4C_5S_6 - S_4C_6) + S_2S_5S_6 \\ S_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) + C_2S_5C_6 & -S_2(C_4C_5S_6 + S_4C_6) - C_2S_5S_6 \\ S_4C_5C_6 + C_4S_6 & -S_4C_5S_6 + C_4C_6 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_2C_4S_5 + S_2C_5 & S_2d_3 \\ S_2C_4S_5 - C_2C_5 & -C_2d_3 \\ S_4S_5 & d_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

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:

$$\begin{aligned} n_x &= C_1[C_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) - S_2S_5C_6] - S_1(S_4C_5C_6 + C_4S_6) \\ n_y &= S_1[C_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) - S_2S_5C_6] + C_1(S_4C_5C_6 + C_4S_6) \\ n_z &= -S_2(C_4C_5C_6 - S_4S_6) + C_2S_5C_6 \\ O_x &= C_1[-C_2(C_4C_5S_6 + S_4C_6) + S_2S_5S_6] - S_1(-S_4C_5S_6 + C_4C_6) \\ O_y &= S_1[-C_2(C_4C_5S_6 + S_4C_6) + S_2S_5S_6] + C_1(-S_4C_5S_6 + C_4C_6) \\ O_z &= S_2(C_4C_5S_6 + S_4C_6) + C_2S_5S_6 \\ a_x &= C_1(C_2C_4S_5 + S_2C_5) - S_1S_4S_5 \\ a_y &= S_1(C_2C_4S_5 + S_2C_5) + C_1S_4S_5 \\ a_z &= -S_2C_4S_5 + C_2C_5 \\ p_x &= C_1S_2d_3 - S_1d_2 \\ p_y &= S_1S_2d_3 + C_1d_2 \\ p_z &= C_2d_3 \end{aligned}$$

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

Trong chương này chúng ta đã nghiên cứu việc dùng các phép biến đổi thuần nhất để mô tả vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối của robot thông qua việc xác lập các hệ toạ 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 toạ 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 , 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.

CÂU HỎI ÔN TẬP

Câu 1:

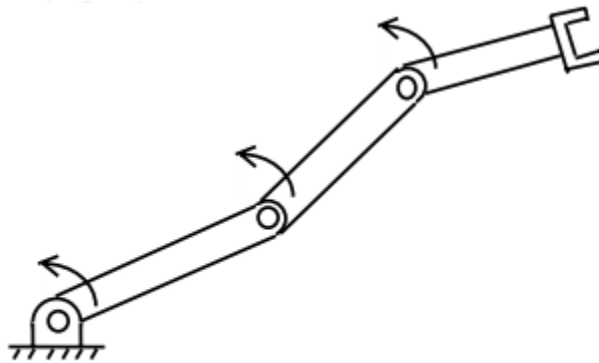
Cho ma trận :

$$T_6 = \begin{pmatrix} ? & 0 & -1 & 0 \\ ? & 0 & 0 & 1 \\ ? & -1 & 0 & 2 \\ ? & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

là ma trận biểu diễn hướng và vị trí của khâu chấp hành cuối. Tìm các phần tử được đánh dấu "?"

Câu 2:

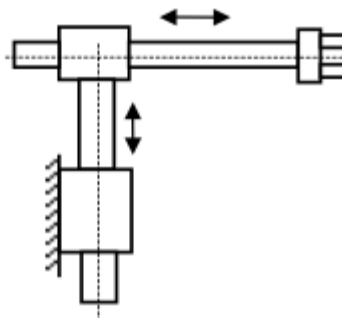
Cho một robot có 3 khâu phẳng như hình dưới, cấu hình RRR. Thiết lập hệ phương trình động học của robot



Hình 3.18 : Robot cấu hình RRR

Câu 3:

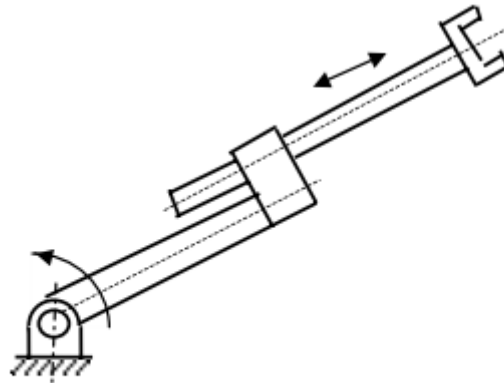
Cho một robot có 2 khâu tịnh tiến như hình 3.19, cấu hình TT. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.



Hình 3.19 : Robot cấu hình TT

Câu 4:

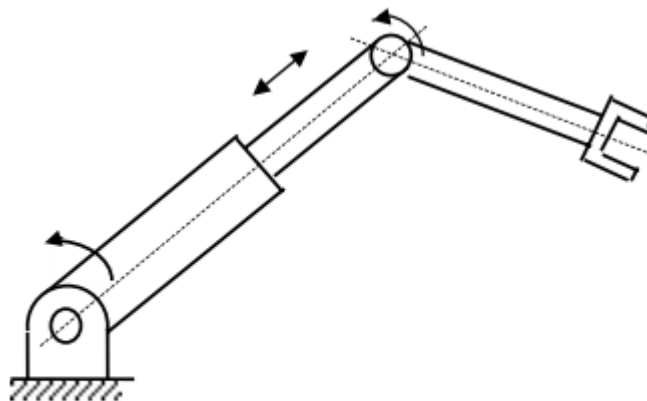
Cho một robot có 2 khâu phẳng như hình dưới, cấu hình RT. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.



Hình 3.20 : Robot cấu hình RT

Câu 5:

Cho một robot có 3 khâu phẳng như hình dưới, cấu hình RTR. Thiết lập hệ phương trình động học của robot.



Hình 3.21 : Robot cấu hình RTR

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. GS.TSKH NGUYỄN THIÊN PHÚC, *ROBOT CÔNG NGHIỆP*, Nhà Xuất Bản KhoaHọc và Kỹ Thuật - HÀ NỘI - 2002
- [2]. PGS. TS LÊ HOÀI QUỐC, *KỸ THUẬT NGƯỜI MÁY*, Nhà Xuất Bản Đại Học Quốc Gia - Tp Hồ Chí Minh - 2005
- [3]. PGS. TS ĐÀO VĂN HIỆP, *KỸ THUẬT ROBOT*, Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật - HÀ NỘI - 2003
- [4]. TS NGUYỄN MẠNH TIẾN, *ĐIỀU KHIỂN ROBOT CÔNG NGHIỆP*, Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật - HÀ NỘI - 2007
- [5]. PHILLIP J. MCKERROW, *INTRODUCTION TO ROBOTICS*, Addisonwesley publishing company, British library cataloging in publication data, 1993, England.
- [6]. SHIMON Y. N, *HANDBOOK OF INDUSTRIAL ROBOTICS*, 2nd edition, library of congress cataloging in publication data, John Wiley & Son, Inc, 1999, USA
- [7]. R. M. MURRAY, ZEXIANG LI, S. S. SASTRY, *A MATHEMATICAL INTRODUCTON TO ROBOTIC MANIPULATION*, CRC press, 1994, USA
- [8]. LEWIS F.L., ABDALLAH C.T., DAWSON D.M, *CONTROL OF ROBOT MANIPULATOR*, Macmillian Publishing Company, 1993.