

TRƯỜNG ĐẠI HỌC
DÂN LẬP HÀI PHÒNG

THƯ VIỆN

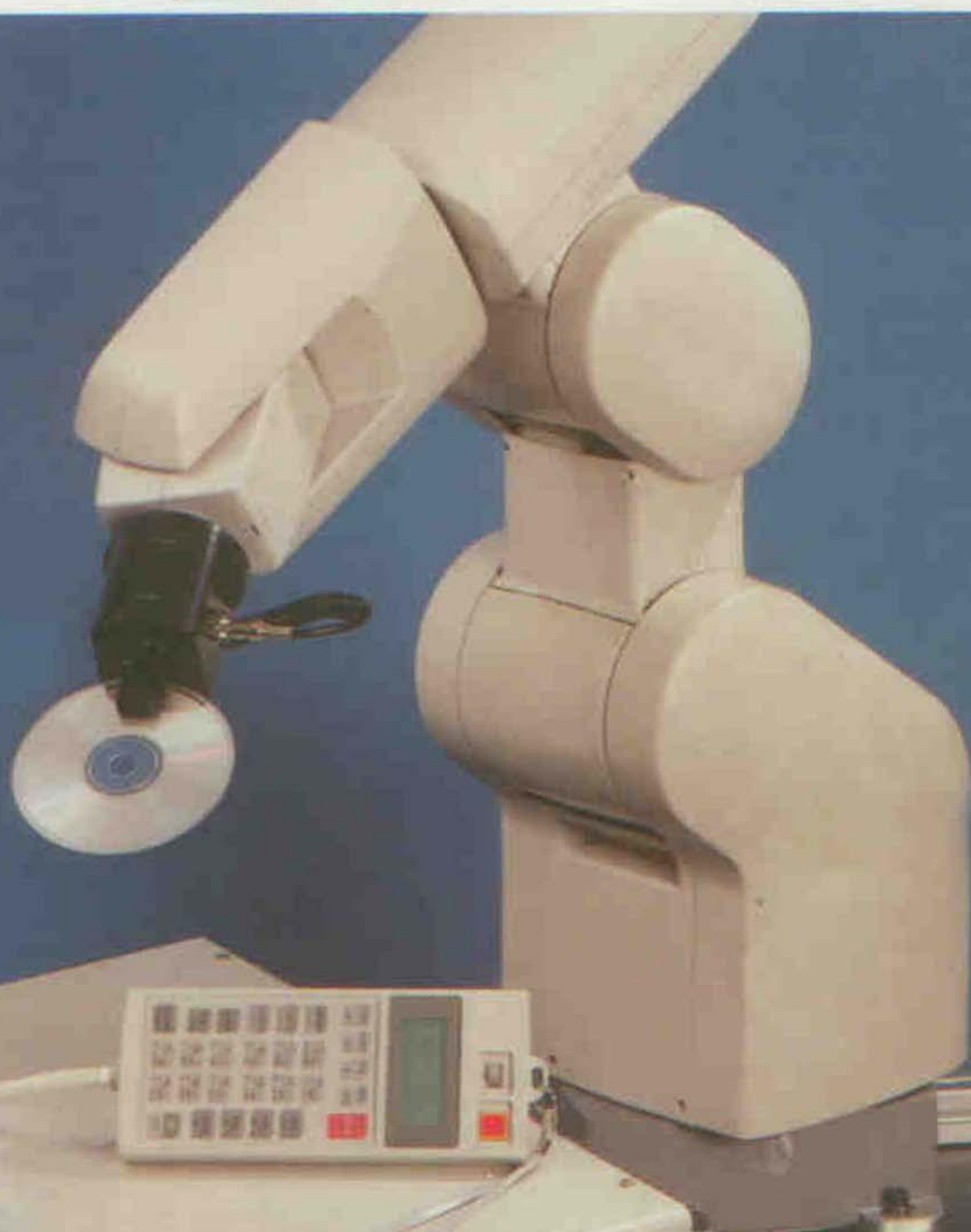
6-08

L 250 H

TS. LÊ HOÀI QUỐC
KS. CHUNG TẤN LÂM

NHẬP MÔN RÔ BỐT CÔNG NGHIỆP

(Tái bản lần thứ 2)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

THU VIỆN
ĐH. DÂN LẬP HP
KÝ HIỆU: *L. Q. K.*
L. 25.211
SỐ: _____

TS. LÊ HOÀI QUỐC
KS. CHUNG TẤN LÂM

Nhập Môn
ROBOT CÔNG NGHIỆP
(*Tái bản lần thứ 2*)

THU VIỆN ĐH. DÂN LẬP HP
PHÒNG ĐỌC
2007.ĐVL.2961

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

THU, MAY 19
1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

1941

LỜI NÓI ĐẦU

Cùng với sự phát triển khoa học và kỹ thuật, ngành điều khiển học và tự động hóa đã có những bước tiến quan trọng. Quá trình đó góp phần không nhỏ vào việc tăng năng suất lao động, giảm giá thành, tăng chất lượng và độ đồng đều về chất lượng, đồng thời tạo điều kiện cải thiện môi trường làm việc của con người, đặc biệt trong một số công việc có độ an toàn lao động thấp hoặc có tính độc hại cao. Ngày nay, các khái niệm “ Dây chuyền sản xuất tự động” hay “Robot” – “Người máy” – “Tay máy” đã trở nên quen thuộc đối với mọi người. Thế nhưng cách đây không lâu, trong những thập niên đầu thế kỷ 20 những khái niệm ấy chỉ mới là những ý tưởng sơ khai trong trí tưởng tượng phong phú của con người.

Năm 1920 lần đầu tiên thuật ngữ robot xuất hiện trong tác phẩm khoa học viễn tưởng của nhà soạn Kapek. Với các mẫu thiết kế ban đầu, càng ngày robot càng được nâng cao về tính năng hoạt động : linh hoạt hơn, chính xác hơn, thông minh hơn và đáp ứng nhanh hơn. Từ robot đầu tiên vào đầu thập niên 60, theo mẫu Versatran của công ty AMF (American Machine Foundry) hoạt động theo chương trình định trước, cho đến các dạng robot tự thích nghi, đủ thông minh để tự giải quyết nhiệm vụ mà con người đặt ra cho nó trong điều kiện thay đổi của môi trường hoạt động xung quanh. Nhờ đó robot ngày càng có vai trò quan trọng trong sản xuất công nghiệp, đặc biệt trong các hệ thống sản xuất linh hoạt (FMS – Flexible Manufacturing Systems) và hệ thống sản xuất tích hợp máy tính (CIM – Computer Integrated Manufacturing).

Hiện nay, ở rất nhiều nước robot phát triển không chỉ theo hướng phục vụ sản xuất công nghiệp mà còn theo hướng phục vụ trong sinh hoạt và giải trí trong gia đình. Robot gia đình hay robot cá nhân được phát triển nhằm thay thế giúp việc nhà. Ngày nay, khi thiết kế các loại robot này, các nhà thiết kế đã thêm vào các cảm biến cảm nhận, các giải thuật điều khiển thích nghi và fuzzy logic với mục đích để robot thực hiện được nhiều nhiệm vụ đa dạng và khác nhau trong gia đình như là giặt quần áo, chùi rửa phòng tắm, đổ rác, cắt cỏ. Đặc biệt là chúng di chuyển rất linh hoạt để phục vụ trong lĩnh vực giải trí.

Kỹ thuật robot là một khoa học liên quan đến nhiều phạm trù kiến thức của nhiều ngành khoa học khác nhau, trong số đó dễ nhận thấy nhất là các ngành cơ học, cơ khí chế tạo chính xác, kỹ thuật điện tử, công nghệ thông tin và điều khiển học. Chính vì vậy mà khó có một tài liệu nào bao gồm thật đầy đủ và hoàn chỉnh về tất cả những vấn đề mà có liên quan đến robot.

Với mong muốn có được một tài liệu tham khảo đề cập tới những vấn đề cốt lõi nhất về robot công nghiệp nhằm đáp ứng yêu cầu học tập và nghiên cứu của sinh viên các ngành cơ khí, tự động hóa và kỹ thuật điều khiển ở các trường đại học kỹ thuật, các tác giả đã phối hợp với Nhà xuất bản Khoa Học và Kỹ Thuật biên soạn tài liệu tham khảo này. Về đề tài này các tác giả sẽ giới thiệu bạn đọc trong hai tập sách :

Tập I - Nhập Môn Robot Công Nghiệp: gồm ba chương đề cập những nội dung tổng quan về robot, cấu tạo chung của robot công nghiệp và những bài toán động học tay máy.

Tập II - Điều Khiển Robot Công Nghiệp: gồm ba chương đề cập bài toán động lực học, những vấn đề robot lập trình được, cảm biến trang bị trên robot và mở đầu về ứng dụng trí tuệ nhân tạo trên robot.

Trước mắt chúng tôi cho ra mắt bạn đọc tập I – Nhập môn robot công nghiệp, còn tập II sẽ được xuất bản sau trong một vài tháng sắp tới.

Mặc dù các tác giả đã có nhiều cố gắng, song chắc chắn tài liệu tham khảo này không tránh những thiếu sót. Các tác giả xin chân thành đón nhận những ý kiến đóng góp của bạn đọc. Mọi chi tiết đóng góp xin gửi về địa chỉ: Bộ Môn Kỹ Thuật Điều Khiển Tự Động – Khoa Cơ Khí – Trường Đại Học Bách Khoa – Đại Học Quốc Gia TP.Hồ Chí Minh, nhà C1, 268 Lý Thường Kiệt, Q.10 Tp.Hồ Chí Minh, ĐT: 8655348. Và địa chỉ Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật, 28 Đồng Khởi, Q1, Tp.Hồ Chí Minh, ĐT: 8225062 – 8296682 – 8290228.

Thành Phố Hồ Chí Minh, tháng 12/2001

Các tác giả : TS. Lê Hoài Quốc

KS. Chung Tấn Lâm

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
Mục lục	5
PHẦN I : NHẬP MÔN ROBOT CÔNG NGHIỆP	
CHƯƠNG 1 : TỔNG QUAN VỀ ROBOT	
1.1 Sơ lược về quá trình phát triển	9
1.2 Những ứng dụng điển hình của robot	14
1.2.1 Ứng dụng trong công nghiệp	14
1.2.2 Ứng dụng robot trong phòng thí nghiệm	21
1.2.3 Ứng dụng robot trong thao tác cần khuếch đại lực	22
1.2.4 Ứng dụng robot trong nông nghiệp	23
1.2.5 Ứng dụng robot trong không gian	24
1.2.6 Ứng dụng robot trong tàu lặn	25
1.2.7 Ứng dụng robot trong giáo dục	27
1.2.8 Ứng dụng robot trong hỗ trợ người tàn tật	28
1.2.9 Ứng dụng robot trong sinh hoạt và giải trí	30
1.3 Một số định nghĩa	32
1.4 Phân loại robot	34
1.4.1 Phân loại robot theo dạng hình học của không gian hoạt động	35
1.4.2 Phân loại robot theo thể hệ	38
1.4.3 Phân loại robot theo bộ điều khiển	41
1.4.4 Phân loại robot theo nguồn dẫn động	43
CHƯƠNG 2 CẤU TẠO CHUNG CỦA ROBOT CÔNG NGHIỆP	
2.1 Tay máy	48
2.1.1 Bậc tự do của tay máy	49
2.1.2 Tay máy tọa độ vuông góc	52
2.1.3 Tay máy tọa độ trụ	53
2.1.4 Tay máy tọa độ cầu	54
2.1.5 Tay máy toàn khớp bản lề và SCADA	55
2.1.6 Cổ tay máy	58
2.1.7 Các chế độ hoạt động tay máy và robot công nghiệp	61
2.2 Bộ điều khiển robot	62
2.2.1 Bộ xử lý trung tâm	68
2.2.2 Bộ nhớ	69
2.2.3 Bộ xuất / nhập	72

2.2.4 Các loại bộ điều khiển	75
2.3 Nguồn dẫn động	80
2.3.1 Truyền động thủy lực	81
2.3.2 Truyền động khí nén	83
2.3.3 Truyền động điện cơ	87
2.3.4 Truyền động hỗn hợp	96
2.4 Các dạng điều khiển tay máy	96
2.4.1 Đường dẫn từng đoạn	97
2.4.2 Đường dẫn theo điểm	97
2.4.3 Đường dẫn liên tục	102
2.4.4 Đường dẫn điều khiển	103
2.5 Tay gấp	106
2.5.1 Phân loại tay gấp	110
(1) Tay gấp dùng động cơ điện	111
(2) Tay gấp dùng nguồn khí nén	112
(3) Tay gấp dùng nguồn dầu ép	114
(4) Tay gấp dùng lực hút chân không	114
(5) Tay gấp sử dụng đệm khí	116
(6) Tay gấp sử dụng nam châm	117
2.5.2 Các dụng cụ công nghệ trang bị trên tay máy	119
(1) Mỏ hàn hồ quang	119
(2) Đầu phun sơn	121
2.5.3 Tải trọng mang	121

CHƯƠNG 3 : ĐỘNG HỌC TAY MÁY

3.1 Các khái niệm ban đầu	125
3.1.1 Hệ tọa độ	125
3.1.2 Quỹ đạo	126
3.1.3 Bài toán động học thuận	127
3.1.4 Bài toán động học ngược	128
3.2 Cơ sở lý thuyết của phép biến đổi hệ tọa độ	129
3.3 Phân tích động học tay máy bằng phương pháp ma trận	133
3.3.1 Phân tích bài toán vị trí	141
3.3.2 Phân tích bài toán vận tốc và gia tốc	147
3.4 Mô tả chuyển động bằng phương pháp tọa độ thuần nhất	151
3.4.1 Giới thiệu phương pháp tọa độ thuần nhất	151
3.4.2 Ma trận Denavit – Hatenberg (DH) tuyệt đối	154
3.4.3 Ma trận DH tương đối	156
3.4.4 Ma trận DH quay	158
3.4.5 Ma trận DH tịnh tiến	159

3.4.6 Ma trận DH tổng hợp tịnh tiến và quay	162
3.4.7 Ví dụ ứng dụng ma trận DH	163
3.4.8 Phương pháp giải bài toán động học thuận	168
3.4.9 Phương pháp giải bài toán động học ngược	168
3.5 Thuật toán giải bài toán động học bằng phương pháp tọa độ thuần nhất	169
3.5.1 Thuật toán giải bài toán thuận	169
3.5.2 Ví dụ về bài toán thuận - vị trí và hướng	171
3.5.3 Xây dựng chương trình tính ${}^rT_N(q)$	176
3.5.4 Thuật toán giải bài toán vị trí trong bài toán thuận động học tay máy	178
3.5.5 Thuật toán giải bài toán ngược	180
3.6 Bài toán động học trong chuyển động vi phân	183
3.6.1 Ma trận Jacobi và định thức Jacobian	183
3.6.2 Chuyển động vi phân	184
3.6.3 Trình tự giải bài toán thuận nghịch trong chuyển động vi phân	190
3.7 Ví dụ áp dụng	190
3.7.1 Đặt vấn đề	190
3.7.2 Bài toán vị trí	192
3.7.3 Bài toán vận tốc thuận	196
3.7.4 Bài toán gia tốc thuận	199
3.7.5 Áp dụng ma trận Jacobi để giải bài toán vận tốc	203
3.8 Không gian làm việc và hệ số phục vụ của tay máy	213
3.8.1 Không gian làm việc	213
3.8.2 Hệ số phục vụ	215
Tài liệu tham khảo	218

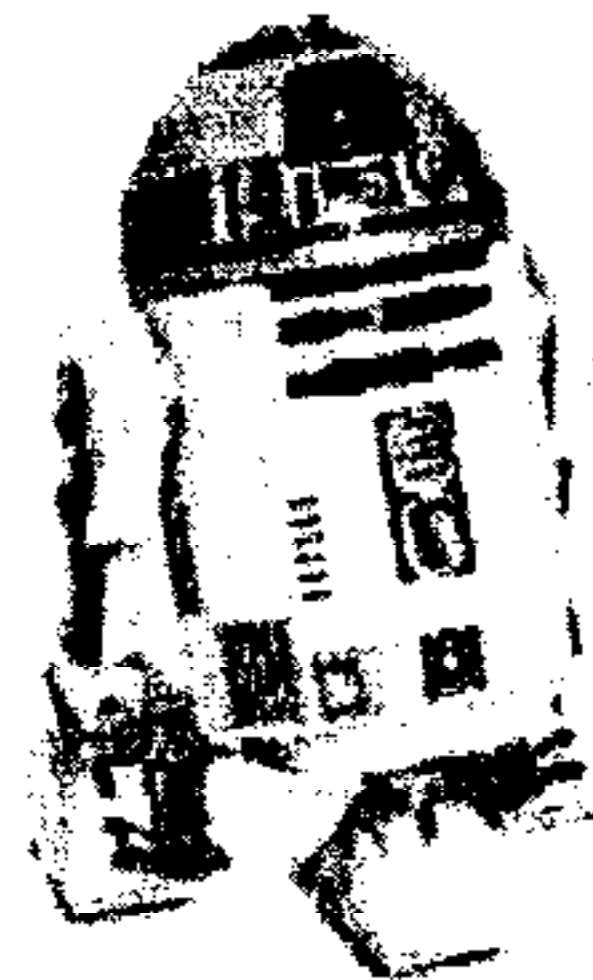
Phần I: Nhập Môn Robot Công Nghiệp

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ ROBOT

1.1 Sơ lược về quá trình phát triển

Khái niệm “robot” theo nghĩa chung thường được hiểu đồng nhất với khái niệm “tự động hóa công nghiệp”. Điều này chỉ đúng một phần. Bởi vì, thứ nhất, robot chỉ là một thành phần trong hệ thống tự động hóa; thứ hai, là tự thân việc trình bày, sự miêu tả robot trong sinh hoạt xã hội ít nhiều được phóng đại.

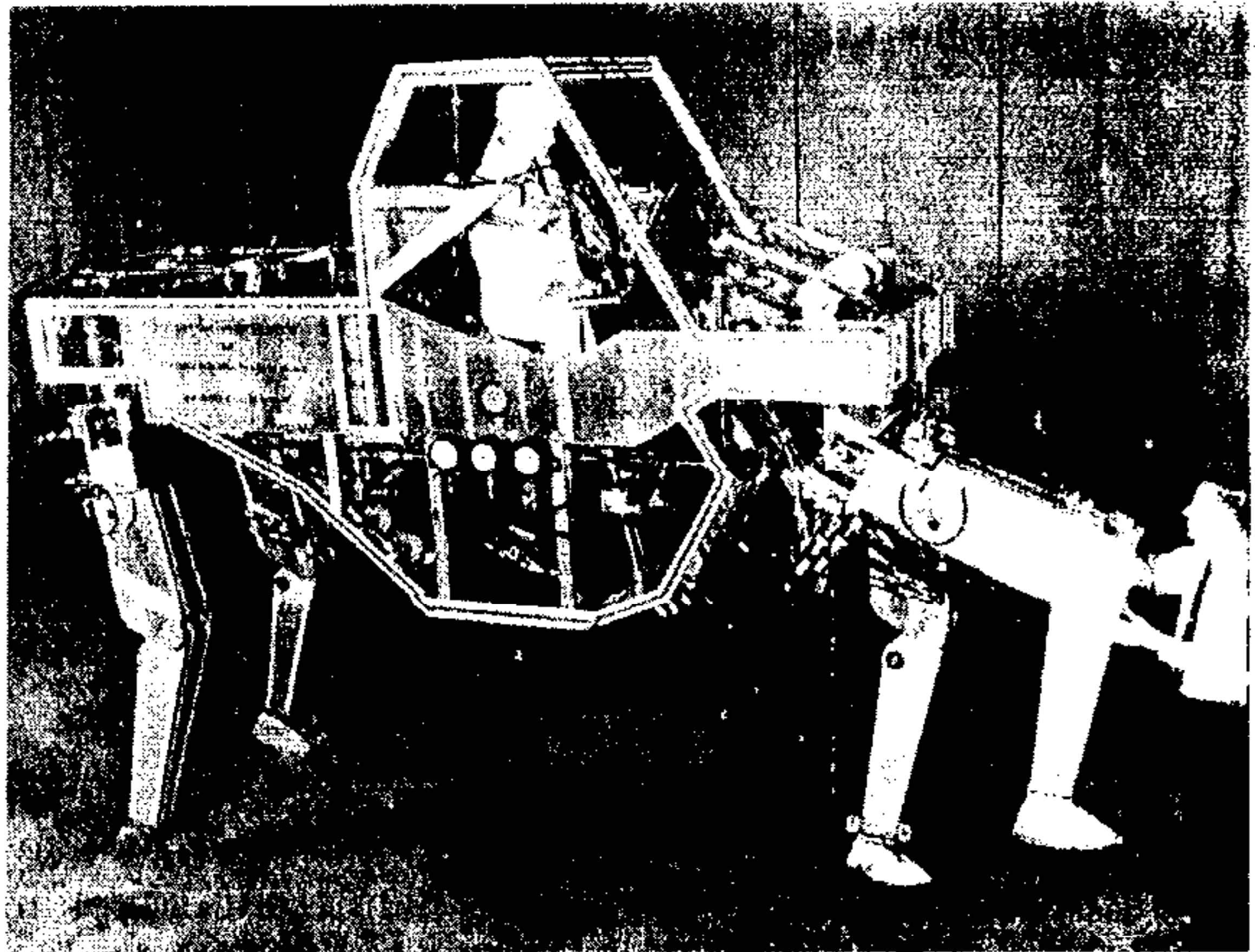


Hình 1.1: Robot R2D2

Thông thường, khi nghe qua từ robot thì người ta thường hình dung kiểu robot R2D2 được giới thiệu trong bộ phim ‘Chiến tranh giữa các vì sao’ (hình 1.1). Điều này cũng thật tự nhiên vì thuật ngữ robot được sinh ra từ trên sân khấu, không phải trong phân xưởng sản xuất. Những robot xuất hiện lần đầu tiên ở

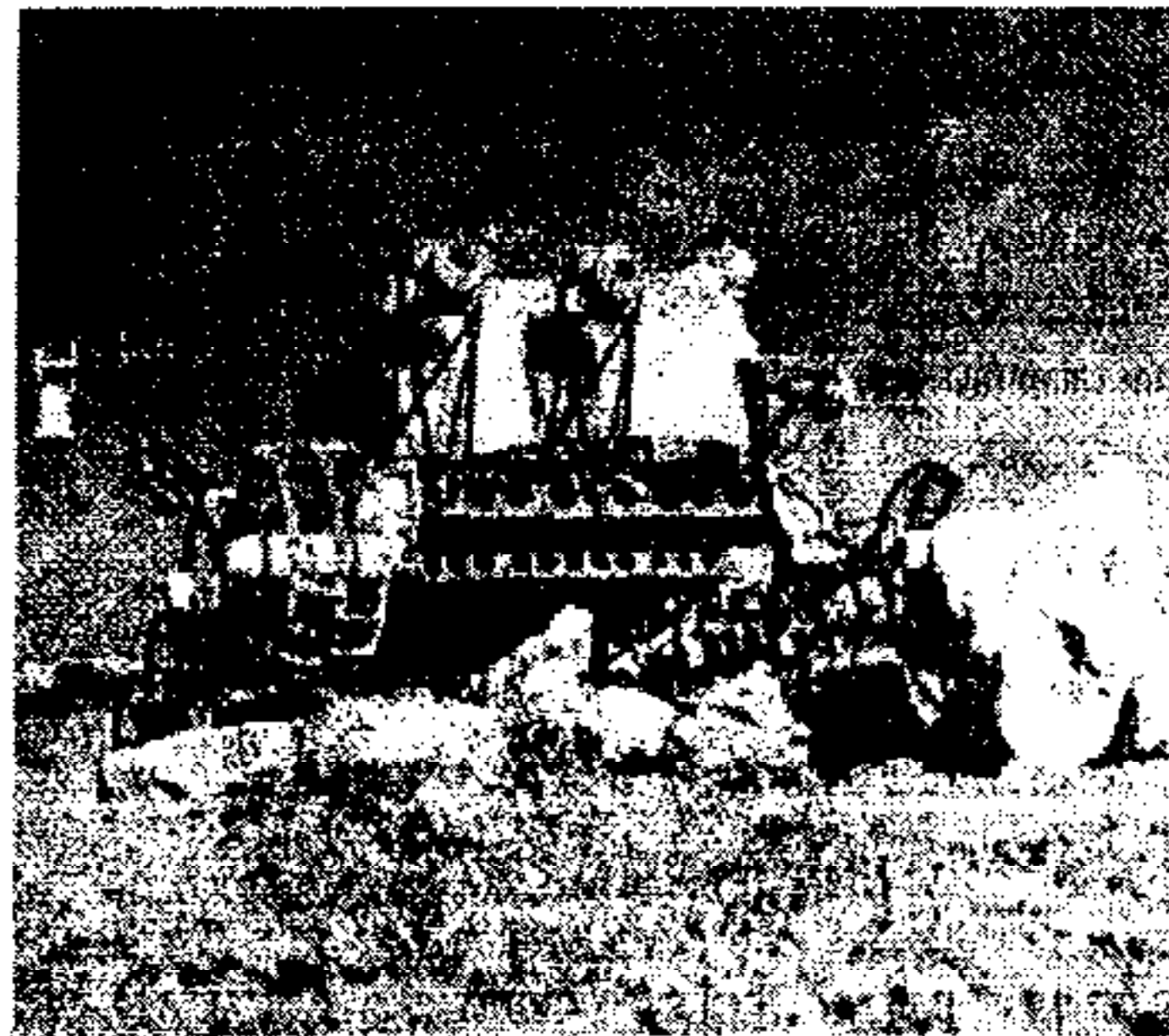
NewYork vào ngày 09/10/1922 trong vở "Rossum's Universal Robot" của nhà soạn kịch người Tiệp Karen Kapek viết năm 1921, còn từ robot là cách gọi tắt của từ *robota* - theo tiếng Tiệp có nghĩa là công việc lao dịch.

Tuy nhiên, những robot thực sự có ích được nghiên cứu để đưa vào những ứng dụng trong công nghiệp thực sự lại là những tay máy. Vào năm 1948, tại Phòng Thí Nghiệm Quốc Gia Argonne, nhà nghiên cứu Goertz đã nghiên cứu chế tạo loại tay máy đôi (master-slave manipulator) điều khiển từ xa đầu tiên, và cùng năm đó hãng General Mills chế tạo tay máy gần tương tự sử dụng cơ cấu tác động là những động cơ điện kết hợp với các cử hành trình. Đến năm 1954, Goertz tiếp tục chế tạo một dạng tay máy đôi sử dụng động cơ servo và có thể nhận biết lực tác động lên khâu cuối. Sử dụng những thành quả đó, vào năm 1956 hãng General Mills cho ra đời tay máy hoạt động trong công việc khảo sát đáy biển.



Hình 1.2: Robot 4 chân của R.S. Mosher hãng General Electric

Năm 1968 R.S. Mosher, thuộc hãng General Electric, đã chế tạo một thiết bị biết đi có 4 chân, có chiều dài hơn 3 m, nặng 1.400 kg, sử dụng động cơ đốt trong có công suất gần 100 mã lực (hình 1.2): mỗi chân của thiết bị được vận hành bởi hệ thống servo dầu ép do người ngồi bên trên điều khiển. Mặc dù thiết bị hoạt động tốt, song điều khiển khá phức tạp làm cho người điều khiển chóng mặt. Cũng trong lĩnh vực này, một thành tựu khoa học công nghệ đáng kể đã đạt được vào năm 1970 là xe tự hành thám hiểm bề mặt của mặt trăng Lunokhod 1 được điều khiển từ trái đất (hình 1.3).

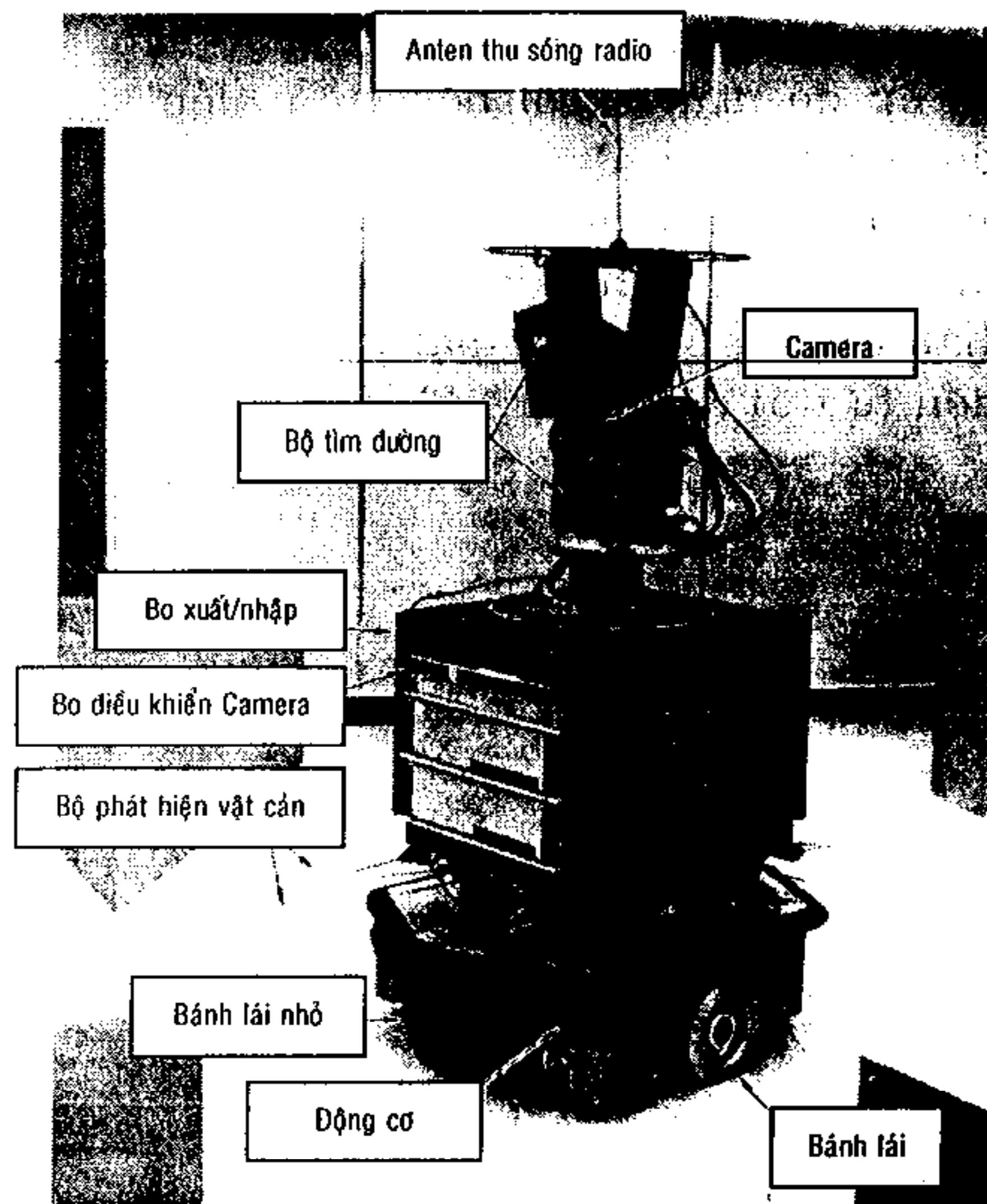


Hình 1.3: Xe tự hành thám hiểm mặt trăng Lunokhod 1

Những robot đầu tiên có thể lập trình để đáp ứng theo những tín hiệu thu nhận được từ các cảm biến phản ánh các thông tin từ môi trường hoạt động mà không có sự can thiệp trực tiếp của con người đã được nghiên cứu vào cuối những năm 1940 ở các phòng thí nghiệm về trí tuệ nhân tạo. Trường hợp con chuột máy tìm đường đi trong mê cung của Claude Shannon hay con rùa máy của Grey Walter (1953) là những ví dụ điển hình.

Viện nghiên cứu thuộc Trường Đại Học Stanford vào năm 1969 đã thiết kế robot Shakey di động tinh vi hơn để thực hiện những thí nghiệm về điều khiển sử dụng hệ thống thu nhận hình ảnh để nhận dạng đối tượng (hình 1.4). Robot này được lập trình

trước để nhận dạng đối tượng bằng camera, xác định đường đi đến đối tượng và thực hiện một số tác động trên đối tượng.

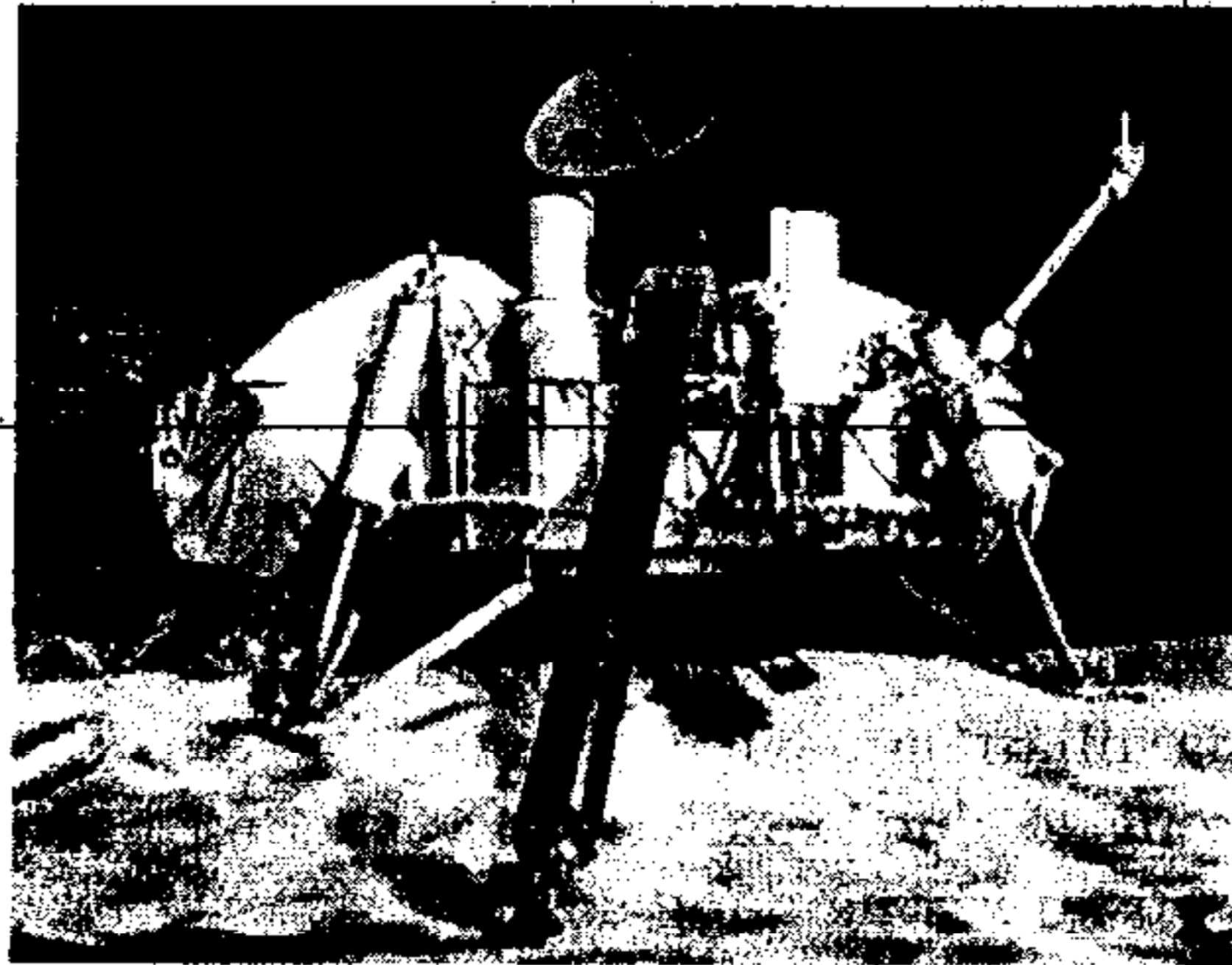


Hình 1.4: Robot Shakey –robot đầu tiên nhận dạng đối tượng bằng camera

Năm 1952 máy điều khiển chương trình số đầu tiên ra đời tại Học Viện Công Nghệ Massachusetts (Hoa Kỳ). Trên cơ sở đó, năm 1954, George Devol đã thiết kế robot lập trình với điều khiển chương trình số đầu tiên nhờ một thiết bị do ông phát minh được gọi là 'thiết bị chuyển khớp được lập trình'. Joseph Engelberger, người mà ngày nay thường được gọi là cha đẻ của robot công nghiệp, đã thành lập hãng Unimation sau khi mua bản quyền thiết bị của Devol và sau đó đã phát triển những thế hệ robot điều khiển theo chương trình. Năm 1962, robot Unimation đầu tiên được đưa vào sử dụng tại hãng General Motors; và năm 1976 cánh tay robot đầu tiên trong không gian đã được sử dụng

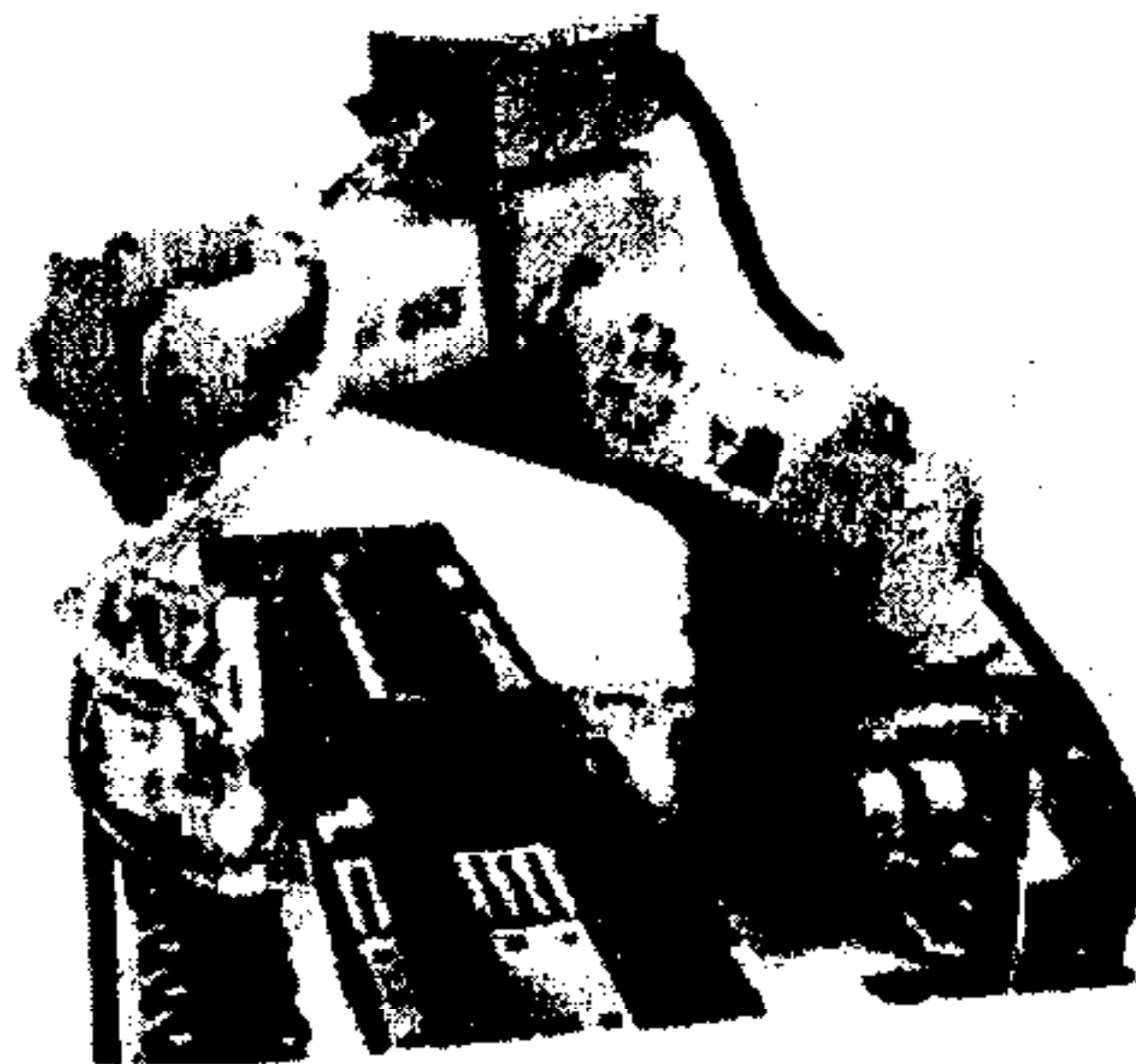
Chương 1: Tổng quan về robot

trên tàu thám hiểm Viking của cơ quan Không Gian NASA của Hoa Kỳ để lấy mẫu đất trên sao Hỏa (hình 1.5)



Hình 1.5: Tay robot trên tàu thám hiểm Viking 1

Trong hoạt động sản xuất, đa số những robot công nghiệp có hình dạng của “cánh tay cơ khí”, cũng chính vì vậy mà đôi khi ta gặp thuật ngữ người máy – tay máy trong những tài liệu tham khảo và giáo trình về robot. Trên hình 1.6 trình bày một robot là một cánh tay cơ khí khác xa với robot R2D2, nhưng đối với sản xuất nó mang lại lợi ích to lớn.



Hình 1.6: Robot lập trình được đầu tiên do George Devol thiết kế 1954

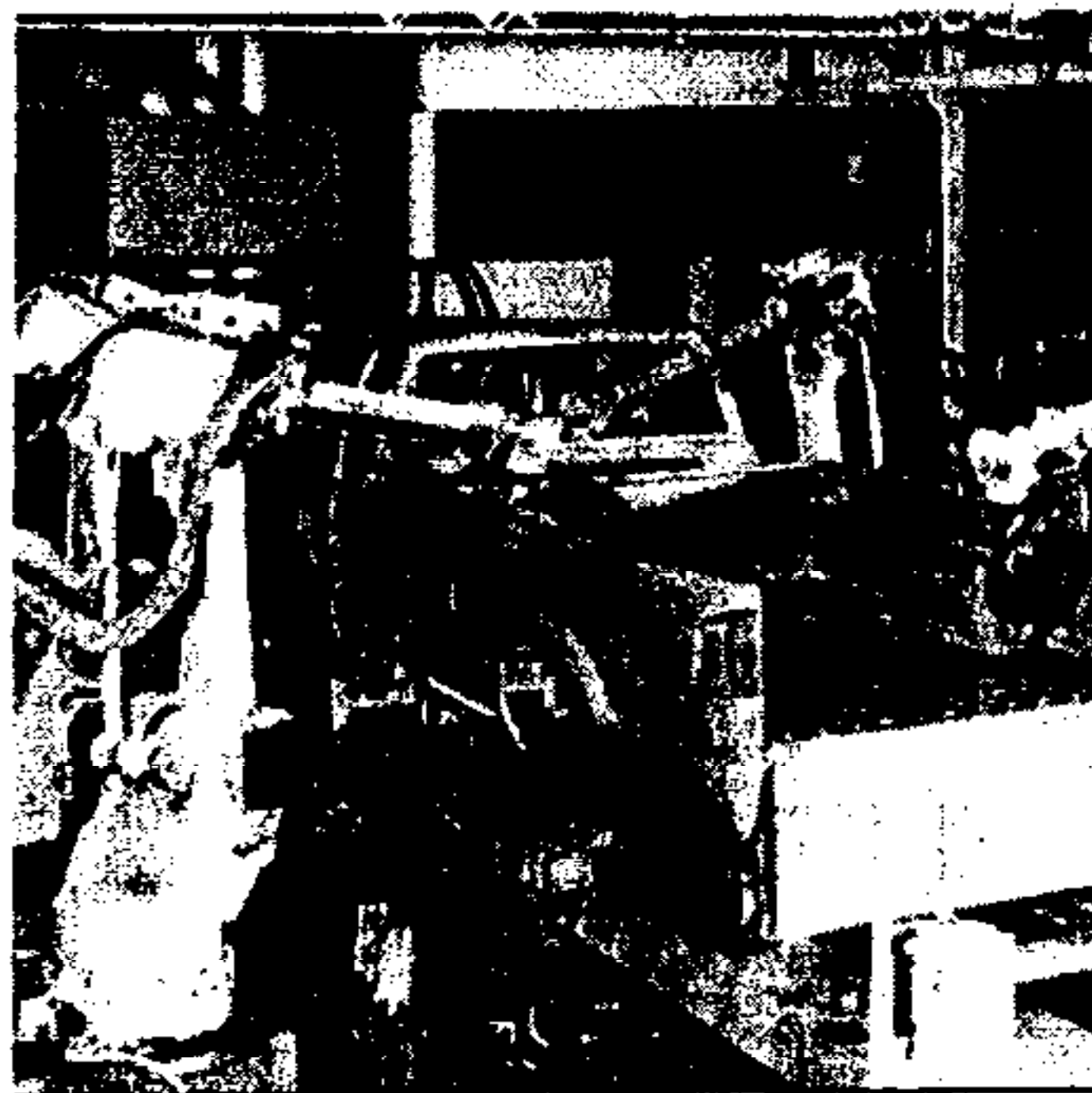
1.2 Những ứng dụng điển hình của robot

1.2.1 Ứng dụng trong công nghiệp

Robot được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp. Những ứng dụng ban đầu bao gồm gấp đặt vật liệu, hàn điểm và phun sơn.

Một trong những công việc kém năng suất nhất của con người là rèn kim loại ở nhiệt độ cao. Các công việc này đòi hỏi công nhân di chuyển phôi có khối lượng lớn với nhiệt độ cao khắp nơi trong xưởng. Việc tuyển dụng công nhân làm việc trong môi trường nhiệt độ cao như vậy là một vấn đề khó khăn đối với ngành công nghiệp này, và robot ban đầu đã được sử dụng để thay thế công nhân làm việc trong điều kiện môi trường ngặt nghèo như trong lò đúc, xưởng rèn, và xưởng hàn. Đối với robot thì nhiệt độ cao lại không đáng sợ.

Trong các nhà máy sản xuất xe hơi thì hàn điểm là công việc sử dụng robot nhiều nhất: khung xe được cố định vào một xe được điều khiển từ xa di chuyển khắp nhà máy. Khi xe đến trạm hàn, kẹp sẽ cố định các chi tiết đúng vào vị trí cần hàn, trong khi đó robot di chuyển dọc theo các điểm hàn được lập trình trước (hình 1.7, fanucrobotics.com)



Hình 1.7: Robot hàn điểm trong nhà máy sản xuất xe hơi

Sơn là một công việc nặng nhọc và độc hại đối với sức khỏe của con người, nhưng lại hoàn toàn không nguy hiểm đối với robot. Ngoài ra, con người phải mất hơn hai năm để nắm được kỹ thuật và kỹ năng trở thành một thợ sơn lành nghề trong khi robot có thể học được tất cả kiến thức đó chỉ trong vài giờ và có khả năng lặp lại một cách chính xác các động tác sơn phức tạp. Điều đó thể hiện một bước tiến đáng kể trong việc kết hợp giữa năng suất và chất lượng cũng như cải thiện chế độ làm việc cho con người trong môi trường độc hại. Tất cả robot phun sơn đều được 'dạy' bởi một thợ sơn chuyên nghiệp giữ đầu phun và dịch chuyển nó đi đúng đường; đường đi đó được ghi lại; và khi robot thực hiện công việc phun sơn thì nó chỉ việc đi theo đường đi đã được định sẵn đó. Như thế, robot phun sơn phải có các khớp sao cho người thợ sơn có thể dễ dàng dẫn hướng cho chúng. Ứng dụng này đưa đến sự phát triển một loại tay robot dạng 'vòi voi' có độ linh hoạt cao.

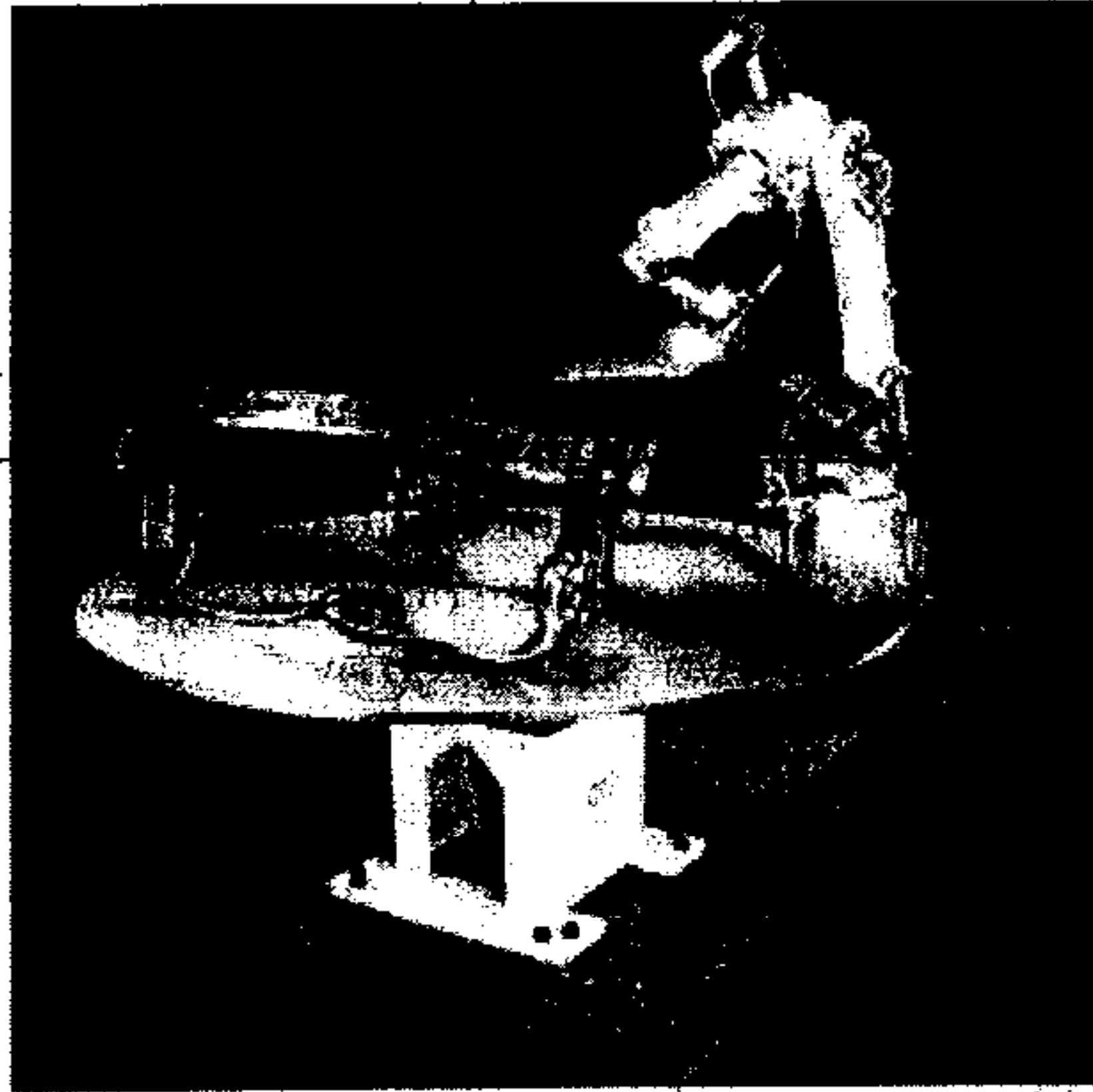


Photo Courtesy of ABB

Hình 1.8: Robot sơn

Robot còn được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nữa như phục vụ cho máy công cụ, làm khuôn trong công nghiệp đồ nhựa, gắn kính xe hơi, gấp hàng ra khỏi băng tải và đặt chúng vào các trạm chuyển trung gian. Ở mục sau, ba ứng dụng của robot trong công nghiệp được khảo sát ở các giai đoạn nghiên cứu khác nhau.

(1) Ứng dụng robot trong công nghệ hàn đường (hàn theo vết hoặc đường dẫn liên tục).



Hình 1.9: Hệ thống robot hàn đường của hãng FANUC

Hàn đường thường được thực hiện bằng tay. Tuy nhiên, năng suất thấp do yêu cầu chất lượng bề mặt mỗi hàn liên quan đến các thao tác của đầu mỏ hàn với môi trường khắc nghiệt do khói và nhiệt độ phát ra trong quá trình hàn.

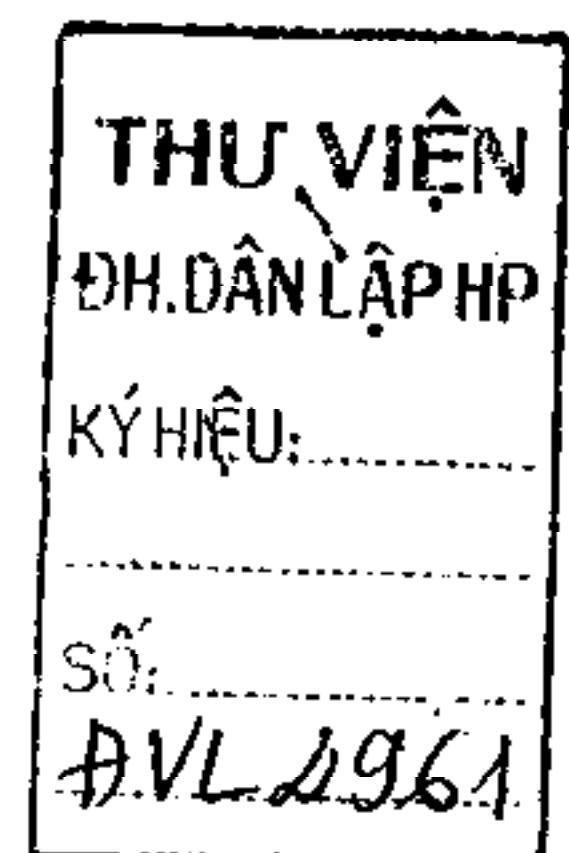
Không giống kỹ thuật hàn điểm, ở đó mỗi hàn có vị trí cố định, mỗi hàn trong kỹ thuật hàn đường nằm dọc theo mối ghép giữa hai tấm kim loại. Những hệ thống hàn đường thực tế (hình 1.9) phụ thuộc vào con người trong việc kẹp chặt chính xác chi tiết được hàn, và sau đó robot di chuyển dọc theo quỹ đạo được lập trình trước. Ưu điểm duy nhất so với hàn bằng tay là chất lượng mỗi hàn được ổn định. Người vận hành chỉ còn thực hiện một việc tẻ nhạt là kẹp chặt các chi tiết. Có thể thực hiện tăng năng suất bằng cách trang bị bàn định vị quay nhờ đó người vận hành có thể kẹp chặt một chi tiết trong khi thực hiện việc hàn chi tiết khác. Tuy nhiên, luôn có vấn đề khó khăn trong việc lắp khít chi tiết do dung sai trong chế tạo, chi tiết bị cong vênh, và

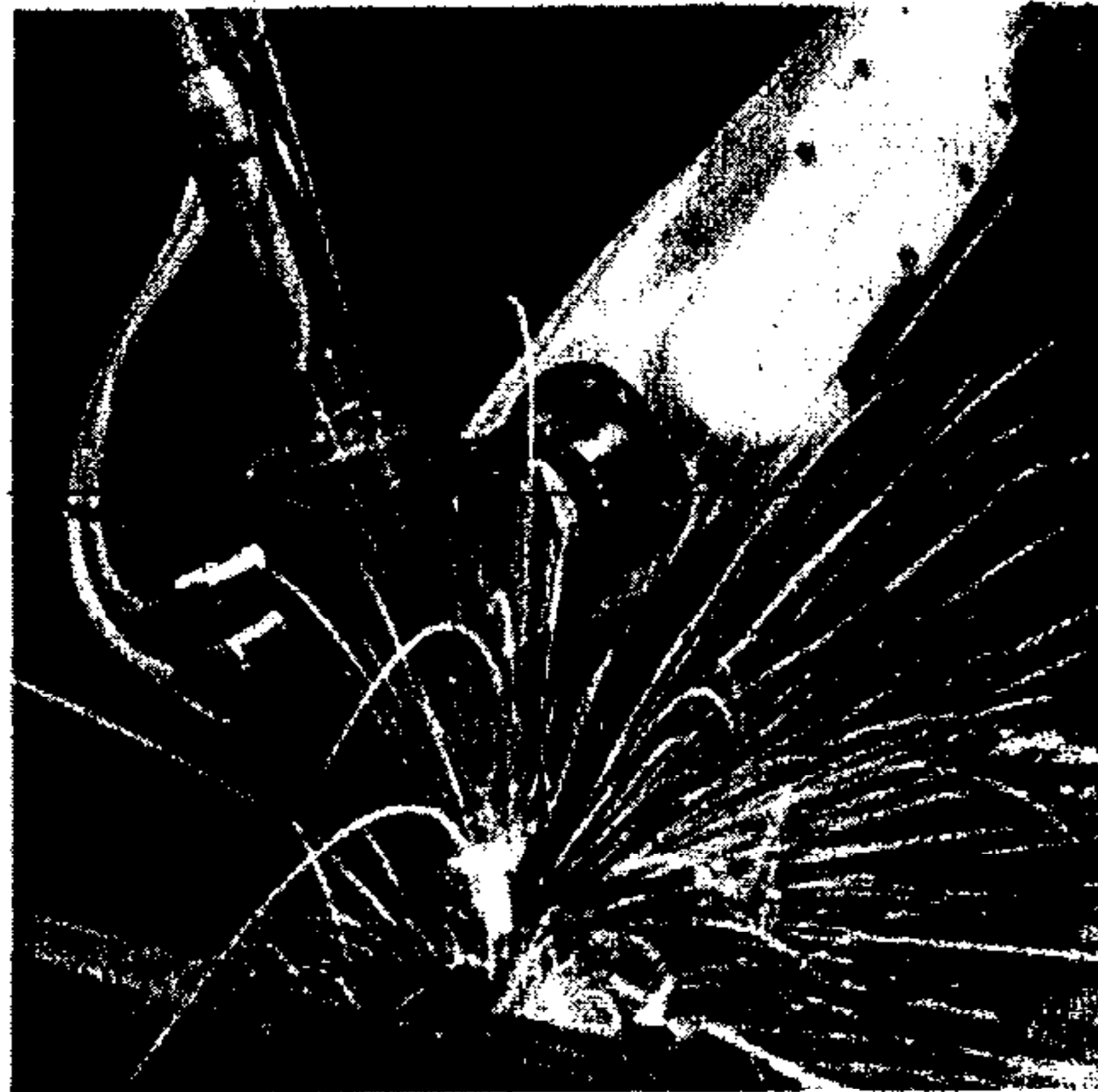
các thiết kế cần lắp ghép theo đường cong không đồng dạng. Các vấn đề đó làm cho việc kẹp chặt chi tiết khó khăn, đặc biệt là đối với các chi tiết lớn và lắp tấm kim loại mỏng. Hơn nữa, đường hàn có thể không xử lý được với mối hàn vì nó bị che khuất bởi chi tiết khác. Thợ hàn tay phải xử lý khó khăn nhiều loại mối nối và vị trí các chi tiết khác nhau. Gần đây các nghiên cứu tập trung vào phương pháp dò vết đường hàn với mục đích giảm bớt yêu cầu định vị chính xác, và do đó giảm chi phí hàn trong khi chất lượng mối hàn lại tăng.

Cảm biến trang bị trên các robot hàn đường phải có khả năng xác định vị trí đúng của đường hàn. Như vậy, để mối hàn được đặt chính xác, đúng yêu cầu về hình dáng và kích thước thì robot phải giữ điện cực theo hướng đúng của đường hàn với khoảng cách đúng từ đường hàn đến đầu mỏ hàn và di chuyển với tốc độ không đổi sao cho lượng vật liệu chảy vào mối nối không đổi. Xác định đường hàn cho các vật thể ba chiều thì phức tạp hơn cho các tấm phẳng vì thường cần phải mô hình hóa hình học để định ra đường di chuyển của robot. Hình 1.10 trình bày một robot có trang bị cảm biến laser để dò đường đi của đầu hàn.

Thông thường để đào tạo một thợ hàn bậc cao phải mất nhiều năm, nhưng việc đưa robot vào sản xuất nhà máy tạo khả năng có thể thu nhận công nhân cả trẻ lẫn lớn tuổi, có kinh nghiệm nghề nghiệp rất khác nhau. Hàn đường, một lãnh vực tiềm năng cho việc ứng dụng robot, được xếp vào lĩnh vực kỹ thuật cao.

(xem tiếp trang bên)





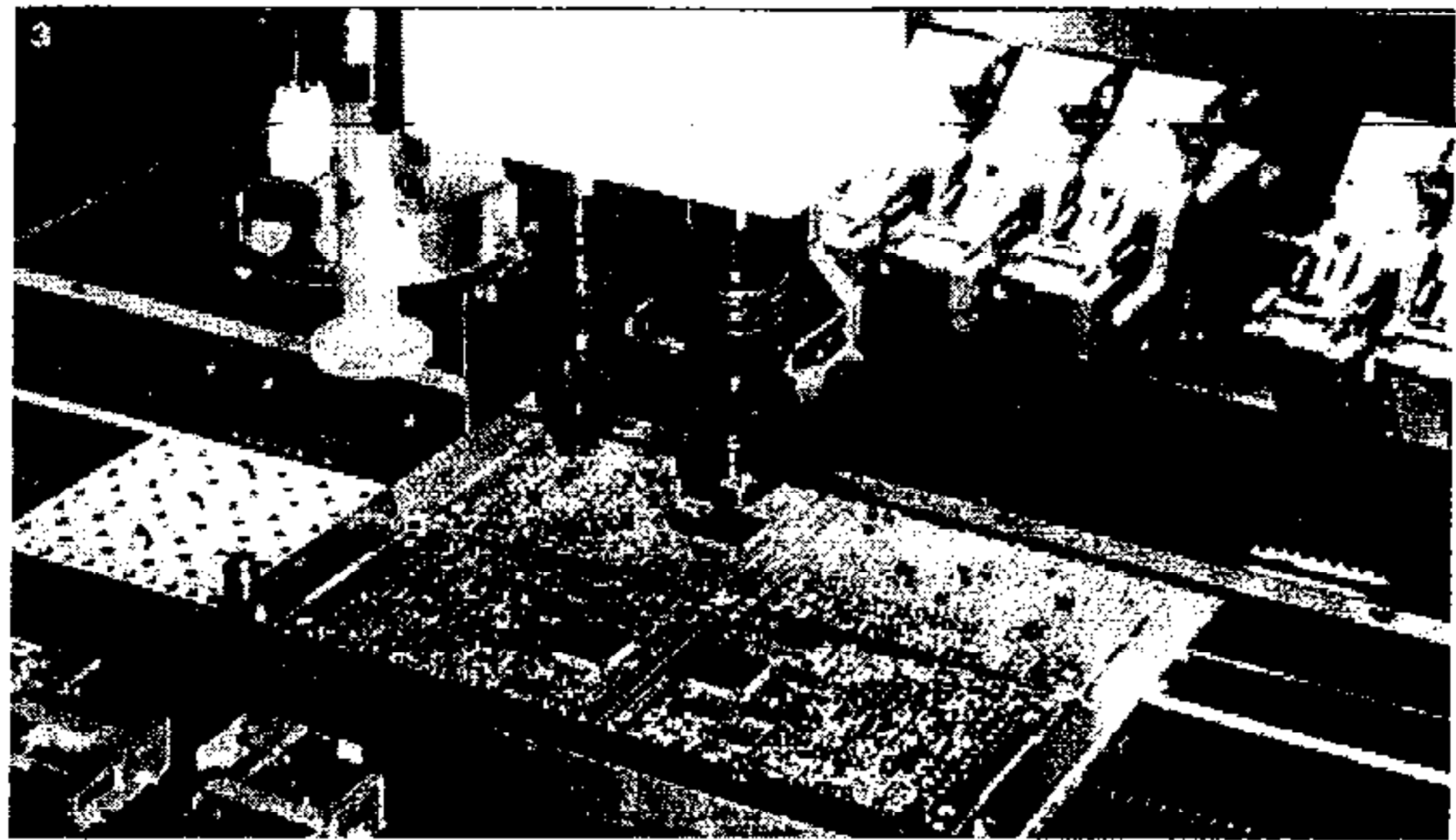
Hình 1.10: Đầu hàn có trang bị cảm biến dò tìm đường đi bằng laser theo không gian ba chiều

(2) Ứng dụng robot trong lắp ráp

Một kỹ thuật sản xuất có mục tiêu lâu dài là nhà máy tự động hoàn toàn, ở đó một bản thiết kế được thể hiện tại một trạm thiết kế bằng máy tính, không có sự can thiệp của con người vào quá trình sản xuất. Hãy thử hình dung một môi trường sản xuất tự động hoàn toàn: từ ý tưởng sản phẩm, gồm các chỉ tiêu kỹ thuật cấp cao, người ta thiết kế ra sản phẩm; sau đó đặt hàng vật liệu, lập ra chương trình gia công, lập ra chiến lược đường đi của chi tiết trong nhà máy; điều khiển cung cấp chi tiết vào máy gia công, lắp ráp và kiểm tra tự động thông qua các máy gia công CNC và các robot tĩnh và robot di động.

Những thành tựu của một môi trường sản xuất như thế đã và đang được đầu tư nghiên cứu và phát triển trong nhiều năm qua. Hiện nay các nhà máy lớn hiện đại đều áp dụng mô hình tự

động hóa hoàn toàn, đặc biệt là phần thiết kế ở cấp cao và phần xử lý chi tiết ở cấp thấp. Một trong những trở ngại chính là liên kết các tầng với nhau. Một khó khăn khác là nhu cầu phương pháp xuất ra các đặc tả thủ tục từ mô hình máy tính của sản phẩm. Ví dụ, việc lập ra một cách tự động trình tự lắp ráp các chi tiết với nhau trong khâu lắp ráp.



Hình 1.11: Robot lắp ráp mạch in có hệ thống camera quan sát được dùng để xác định vị trí chân trên bản mạch in

Robot được sử dụng để tự động hóa quá trình lắp ráp trong những nhà máy như thế. Khâu này tập trung nhiều lao động và khó hơn nhiều so với dự tính. Ví dụ, cầm một cái mỏ hàn tay đơn giản và tháo nó ra từng phần. Có bao nhiêu chi tiết? Có bao nhiêu cách lắp ráp nó? Bạn có thể lắp ráp nó bằng một tay hay không? Bạn có thể nhắm mắt lắp được nó hay không? Bây giờ bạn đang gặp phải sự giới hạn của robot. Sự phát triển của cảm biến và sự ứng dụng nó vào robot là yếu tố quan trọng cơ bản để ứng dụng robot trong lắp ráp. Lấy ví dụ, đầu mỏ hàn là một vật thể nhỏ, nên để lắp ráp nó chúng ta cần tập trung mọi chi tiết lại, tìm vị trí và hướng lắp ráp cho từng chi tiết, lấy chi tiết đầu tiên và đặt nó vào cơ cấu kẹp chặt, lấy một chi tiết nữa theo đúng thứ tự và lắp vào chi tiết đầu tiên.

Việc lắp ráp còn liên quan đến nhiều xử lý khác nhau: đưa một chi tiết vào một chi tiết kia, đặt một chi tiết trên một chi tiết khác, siết chặt đai ốc, siết vít, hay phun keo, v.v... Tuy nhiên, tùy trường hợp cụ thể để quyết định có sử dụng robot trong công đoạn lắp ráp hay không. Trong thực tế, khi sản phẩm được thiết kế khéo léo thì người công nhân có thể lắp ráp sản phẩm đó trong một thời gian rất ngắn.

(3) Ứng dụng robot trong nhà máy sản xuất



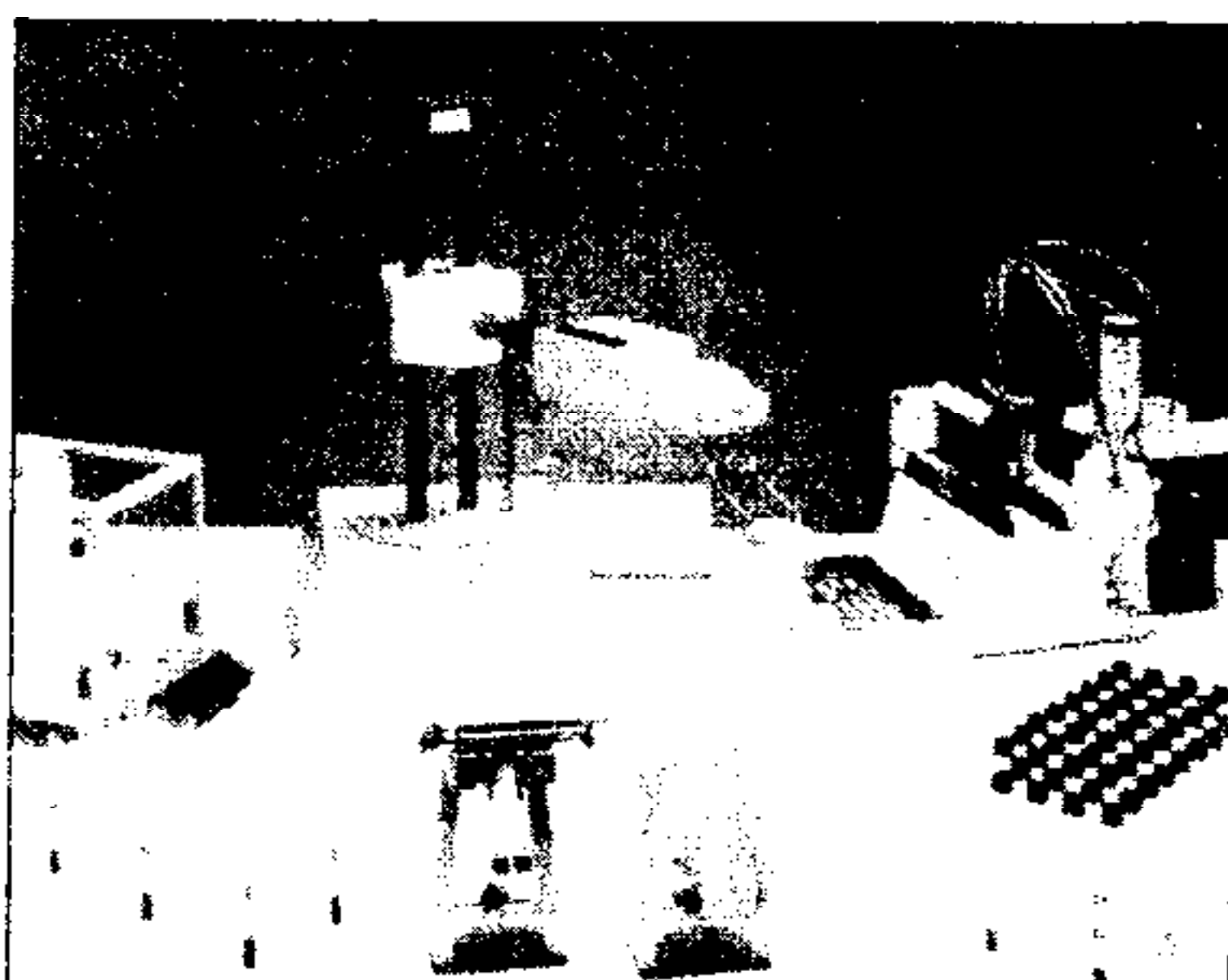
Hình 1.12: Robot được sử dụng trên máy ép nhựa để lấy thành phẩm

Trong sản xuất lớn, những robot này là những hệ thống được tự động hóa hoàn toàn: chúng đo đạc, cắt, khoan các thiết bị chính xác và còn có khả năng hiệu chỉnh các công việc của mình, hầu như ở đây không cần sự giúp đỡ của con người trừ chương trình điều khiển trong máy tính điện tử. Chỉ với vài người giám sát công việc; các máy móc này có thể hoạt động suốt ngày đêm; các robot làm tất cả các công việc như vận chuyển sản phẩm từ công đoạn sản xuất này tới công đoạn sản xuất khác kể cả việc đưa và sắp xếp thành phẩm vào kho.

Các nhà máy lớn thì thường sản xuất một số mặt hàng nhất định trên các dây chuyền hiện đại. Các nhà máy cỡ vừa và

nhỏ, như nhà máy sản xuất phụ tùng xe đạp chẳng hạn, thì thường sản xuất sản phẩm đa dạng với số lượng không lớn. Robot không phải lúc nào cũng thích hợp với những công việc như vậy, nhưng nhà máy loại này có thể giải quyết vấn đề đó bằng cách trang bị nhiều thiết bị đa dạng cho tay gắp của robot nhằm cho phép robot có khả năng điều chỉnh nhanh chóng thiết bị công nghệ đáp ứng linh hoạt với nhiều dạng công việc khác nhau.

1.2.2 Ứng dụng robot trong phòng thí nghiệm



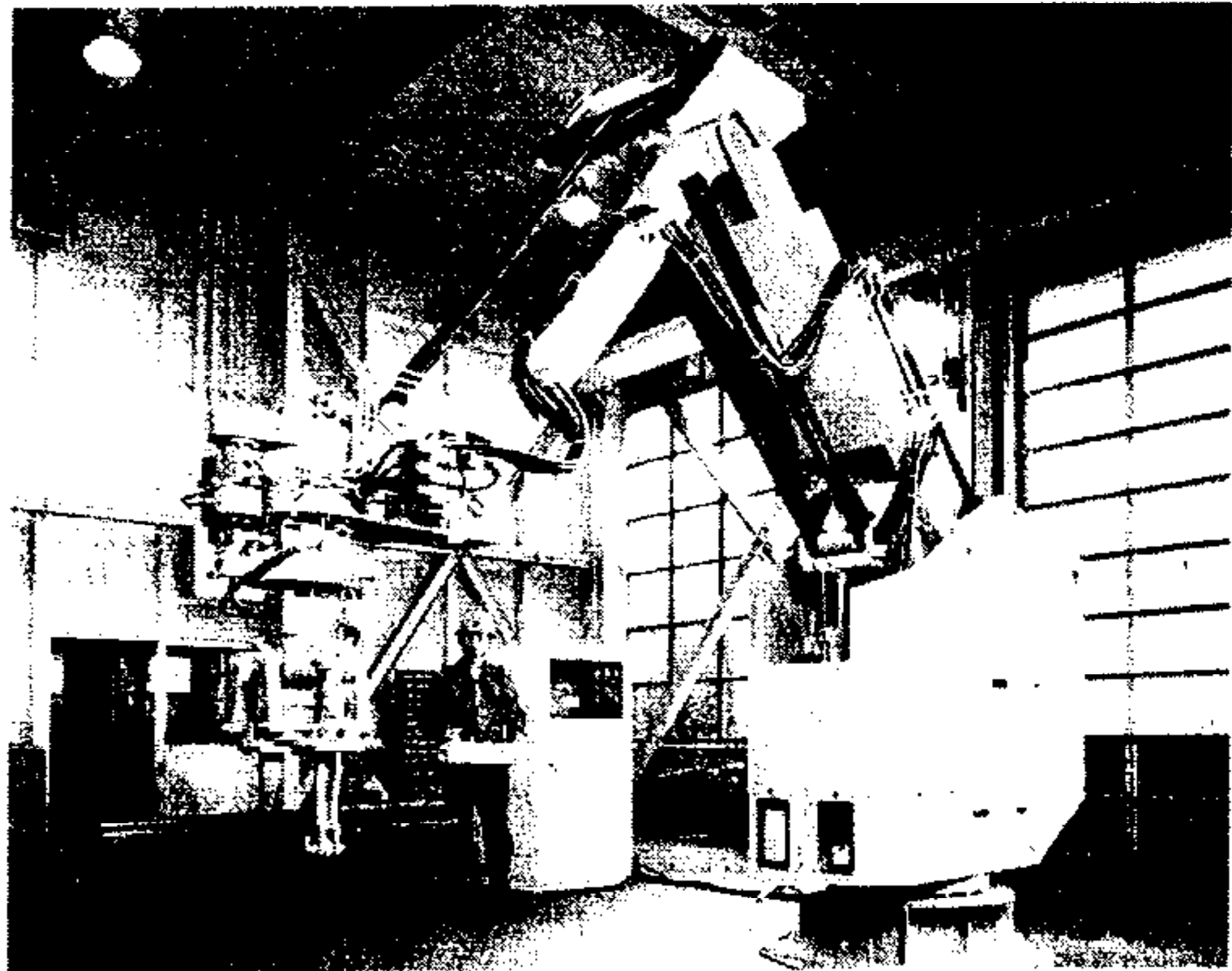
Hình 1.13: Robot được sử dụng để chuẩn bị mẫu thí nghiệm trong phòng thí nghiệm Zymark

Robot ngày càng được sử dụng nhiều trong các phòng thí nghiệm. Chúng được dùng để thực hiện tự động các công việc thủ công. Robot thực hiện rất tốt các thao tác lặp đi lặp lại, như đặt các chi tiết thí nghiệm vào các thiết bị đo, giải phóng các kỹ thuật viên khỏi các công việc nhàm chán đó. Hình 1.13 trình bày một hệ thống thí nghiệm ở khâu chuẩn bị mẫu thử bao gồm một robot và các thiết bị thí nghiệm gồm cân, bộ pha chế, máy ly tâm và dây các ống nghiệm mẫu thử. Các mẫu được đưa từ thiết bị thí nghiệm này sang thiết bị thí nghiệm khác bằng robot được điều khiển theo chương trình.

Các nhà chế tạo các hệ thống này cho rằng chúng có ba ưu điểm so với thực hiện bằng tay: tăng năng suất, tăng chất lượng

thí nghiệm và giảm sơ suất của con người làm hư hỏng hóa chất. Các ứng dụng thực tế bao gồm đo độ PH, độ nhớt, và độ cứng trong chất đa phân tử; chuẩn bị mẫu máu xét nghiệm; nung nóng, rót, cân, và hòa tan mẫu cho phân tích quang phổ. Một số phòng thí nghiệm nhận thấy rằng các mẫu thí nghiệm trong các phòng thí nghiệm nghiên cứu dễ thích ứng hơn đối với các sản phẩm không thay đổi nếu robot được sử dụng để chuyển vật liệu giữa các giai đoạn xử lý. Vì thế, việc sử dụng robot giúp nhanh chóng chuyển các nghiên cứu trong phòng thí nghiệm vào sản xuất thực tế.

1.2.3 Ứng dụng robot trong các thao tác cần khuếch đại lực



Hình 1.14: Robot dùng trong thao tác động lực học của hãng Marol (Nhật)

Kỹ thuật robot được ứng dụng đầu tiên trong công nghiệp hạt nhân với sự phát triển của điều khiển qua màn hình để xử lý vật liệu phòng xạ. Gần đây hơn robot được sử dụng để hàn từ xa và kiểm tra đường ống trong vùng nhiễm xạ nặng. Tai nạn nhà máy điện hạt nhân Three Mile Island ở Pennsylvania năm 1979 thúc đẩy sự phát triển và ứng dụng của robot vào công nghiệp

hạt nhân. Lò phản ứng số 2 (TMI-2) mất chất làm nguội, làm cho lò phản ứng chính bị hư hại nặng, đặt một vùng rộng lớn trong tình trạng không can thiệp được bởi con người. Do sự phát xạ nặng, các công việc dọn dẹp chỉ có thể được thực hiện qua điều khiển từ xa thông qua robot. Một ứng dụng phổ biến nữa là dùng robot để bốc dỡ hàng hóa, vật liệu, phôi có trọng lượng lớn, công kênh trong các ngành công nghiệp nặng. Robot loại này có thể nâng tải trọng lên đến tối đa một tấn một cách dễ dàng với độ chính xác vị trí nhỏ hơn 1mm. Hình 1.14 trình bày một robot, được gọi là "Hercules of Today", thể hiện sự kết hợp của kỹ thuật điều khiển chính xác, thủy lực và kỹ thuật điện tử.

1.2.4 Ứng dụng robot trong nông nghiệp



Hình 1.15: Robot cắt lông cừu thiết kế bởi James Trevelyan tại trường Đại học Western Australia

Đối với nhiều người, ý tưởng về một robot gieo hạt hay vun trồng là chuyện khoa học viễn tưởng, thế nhưng sự nghiên cứu nghiêm túc tập trung vào các ứng dụng của robot trong nông nghiệp đã và đang được tiến hành. Một trong số các dự án thành công nhất cho đến nay là sự phát triển robot cắt lông cừu ở Úc (hình 1.15). Đường cắt của kéo được robot điều khiển trên thân con cừu được tính trước bằng cách dùng một cừu mô hình. Để bù trừ các kích thước thay đổi của cừu thật và cừu mô hình, và sự

thay đổi kích thước khi nó thở, người ta sử dụng một cảm biến gắn ở đầu kéo để hiệu chỉnh đường chạy của kéo theo thời gian thực khi cắt lớp lông. Trong một cuộc thí nghiệm, trong số trên 200 con cừu được cắt lông từ phương pháp này thì số cừu bị thương ít hơn so với phương pháp cắt lông bằng tay.

Một loại robot khác cũng được phát triển ở Úc để đáp ứng với sự khan hiếm công nhân trong các nhà máy mổ xẻ thịt heo, Robot thay thế công nhân trong các công đoạn mổ xẻ thịt cần nhiều nhân công, và nhiều công đoạn nguy hiểm mà công nhân phải làm việc trong điều kiện ít được bảo vệ khi tiếp xúc với máy cưa vòng và kéo. Trong lãnh vực này, robot đảm nhiệm ngay cả các công việc mang tính lặp lại, nhiều thao tác đòi hỏi sự phối hợp tay nghề cao và sự lanh lợi của đôi mắt.

1.2.5 Ứng dụng robot trong không gian

(CNN.com/Space) Thám hiểm không gian là một lĩnh vực chuyên dùng ứng dụng robot. Tháng 4 năm 2001 phi thuyền Endeavour được lắp ghép với trạm không gian quốc tế (ISS – International Space Station) Alpha. Các phi hành gia trên phi thuyền này đã thực hiện cuộc đi bộ ngoài không gian để hoàn tất công việc lắp đặt một tay máy robot do Canada chế tạo (hình 1.16). Tay máy được gắn vào trạm không gian Alpha nhằm tăng cường khả năng bốc dỡ hàng hóa tiếp tế, lắp ghép với các trạm không gian khác; và sau khi lắp đặt tay máy robot sẽ thực hiện việc ghép nối buồng áp lực vào trạm Alpha, cho phép các phi hành gia có thể đi bộ ngoài không gian thuận tiện hơn. Tay máy robot này dài 58 feet, nặng khoảng 1,5 tấn và làm bằng thép, nhôm và sợi tổng hợp. Robot có hai cánh tay với bảy khớp, hoạt động như cần trục, cho phép robot trườn từ đầu này đến đầu kia bên ngoài của trạm không gian như con sâu đo, để gắn thêm thiết bị cho trạm không gian này và giúp việc cho phi hành gia khi làm việc ngoài không gian. Vào năm 2002 trạm sẽ lắp thêm cho robot này ray trượt do Canada chế tạo để mở rộng tầm với cho tay máy, và các ngón tay máy sẽ được lắp thêm vào năm 2003 để tăng sự khéo léo của tay máy khi thao tác.

Các ứng dụng trong tương lai của robot trong không gian gồm xe tự hành trang bị tay máy linh hoạt, các robot công dụng chung trong các trạm không gian, các robot bảo trì vệ tinh, tay máy thao tác khi sản xuất trong không gian, các robot xây dựng trong các công trình xây dựng trạm không gian và phi thuyền không gian.



Hình 1.16: Tay máy nhiều khớp do Canada sản xuất được lắp trên trạm không gian quốc tế Alpha

1.2.6 Ứng dụng robot trong tàu lặn

Hai sự kiện xảy ra ở Bắc Bán Cầu năm 1985 đã thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu về các loại robot làm việc dưới biển. Sự kiện thứ nhất là tai nạn máy bay của hãng Hàng Không Ấn Độ rơi xuống Thái Bình Dương ngoài khơi Aixolen; một robot tàu lặn được điều khiển từ xa, loại thường dùng để lắp đặt cáp dưới đáy biển, được dùng để tìm lại chiếc hộp đen của chiếc máy bay bị nạn. Sự kiện thứ hai là sự khám phá con tàu Titanic dưới đáy một hẻm núi ngoài khơi, nơi nó bị chìm khi va phải một tảng băng vào năm 1912, cách mặt biển 4km. Một chiếc tàu lặn được điều khiển từ xa để khám phá và ghi lại những bí mật còn lại của con tàu này.

Ngoài công việc dò tìm dưới đáy biển, tàu lặn không người lái đã và đang được sử dụng để kiểm tra và bảo trì các dàn khoan dầu ngoài khơi, để lắp đặt và kiểm tra cáp truyền xuyên đại dương, và để khảo sát địa chất và địa lý của thềm đại dương. Phần lớn robot tàu lặn được trang bị tay máy và nhiều camera. Một số được trang bị máy cắt công suất lớn, càn, thiết bị đo thử mật độ từ, thiết bị kiểm tra siêu âm, và một số các dụng cụ và cảm biến chuyên dùng khác.



Hình 1.17: Robot tàu lặn MAGELLAN 725 dùng để thám hiểm đáy biển

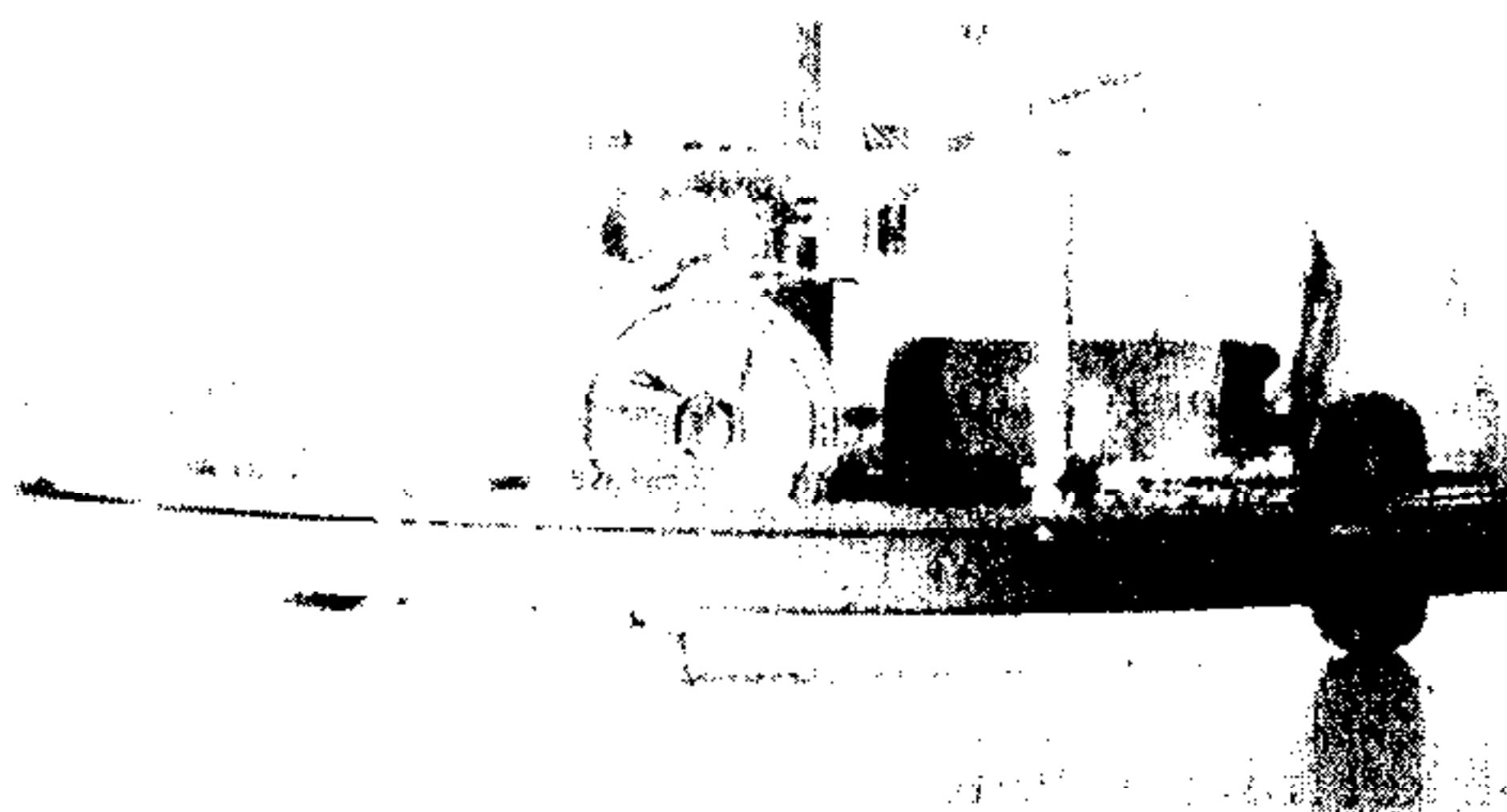
Loại tàu lặn điều khiển từ xa thông qua cáp truyền được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp đòi hỏi phải làm việc ngoài khơi, đặc biệt là ngành công nghiệp dầu hỏa. Trong khi cáp nối giải quyết được vấn đề truyền mệnh lệnh từ người điều khiển đến con tàu, các vấn đề cấp nguồn cho con tàu thì nó lại giới hạn tầm hoạt động của con tàu, thậm chí có thể trở thành một trở ngại chính. Nhiều nhóm nghiên cứu phát triển một loại tàu lặn bơi tự do có thể mang đủ năng lượng cho tàu, có một chút thông minh, có thể lặn tự do mà không bị ràng buộc bởi cáp truyền. Tuy nhiên, nếu xảy ra chuyện không may, các con tàu như vậy dễ bị lạc mất.

Một vấn đề khác, nước biển cản các tín hiệu băng tần cao, như tín hiệu hình từ camera đặt trên tàu lặn lên trạm điều khiển. Một số nhà nghiên cứu đã khám phá ra việc sử dụng tia laser như là một phương tiện truyền thông. Phương pháp này giải quyết

vấn đề truyền thông cho các con tàu lặn hoạt động không cáp. Hệ thống thực tế có thể truyền tín hiệu ở độ sâu từ 600 đến 6000m với tần số 8 đến 40kHz.

1.2.7 Ứng dụng robot trong giáo dục

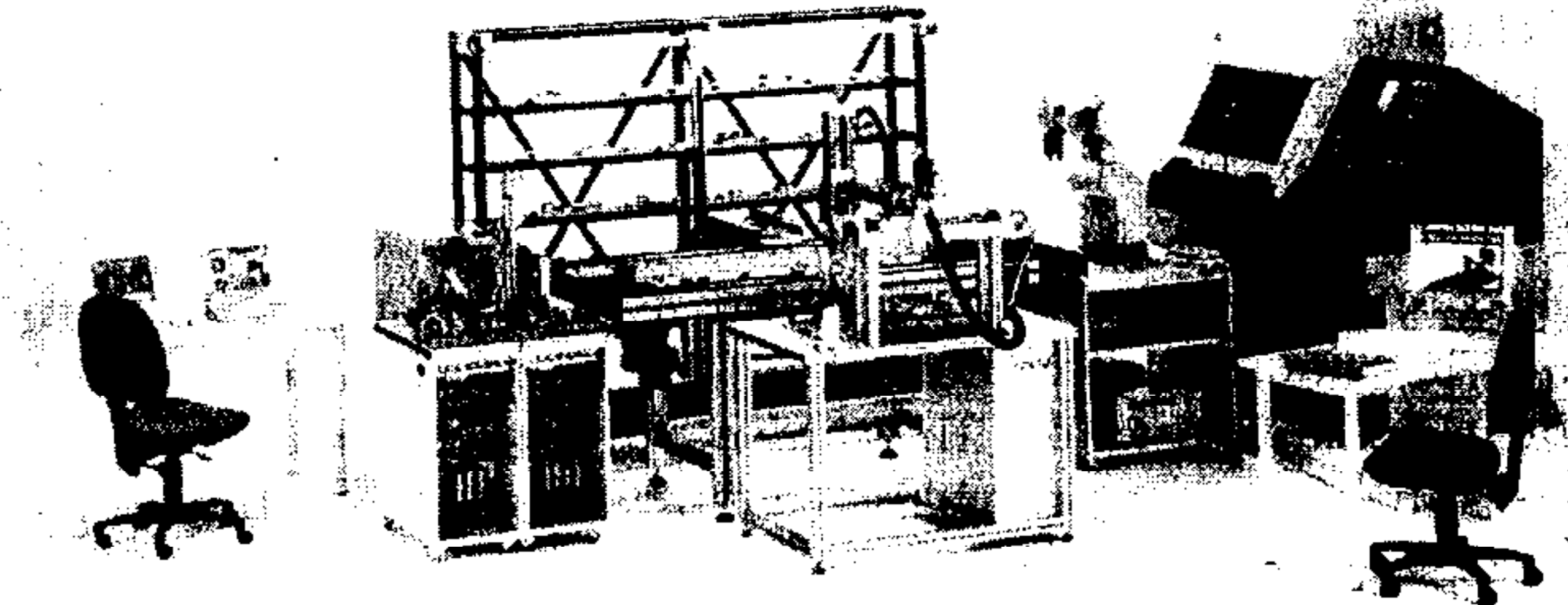
Robot được sử dụng trong phòng học dưới ba dạng riêng biệt: thứ nhất, các chương trình giáo dục sử dụng robot làm phương tiện giảng dạy. Ngôn ngữ lập trình *Karel the Robot*, một dạng của ngôn ngữ Pascal, được dùng để giới thiệu về ngôn ngữ lập trình. Ngôn ngữ Karel có các cấu trúc điều khiển và ngữ pháp của Pascal, nhưng các biến được thay thế bằng robot, các đối tượng cho robot thao tác, và một môi trường dạng ô. Sinh viên viết chương trình định nghĩa môi trường (vị trí tường và vị trí của các beeper, và điều khiển robot dò tìm trong môi trường và nhặt lấy các beeper. Robot Odyssey là một trò chơi phiêu lưu để giảng dạy thiết kế logic. Người chơi phải thoát khỏi các Robotropolis, gọi là các robot thù địch, với sự hỗ trợ của ba robot thân thiện. Bất cứ lúc nào, người chơi cũng có thể hiệu chỉnh hoạt động của robot bằng cách thay đổi thiết kế mạch logic. Mức độ nguy hiểm cần tránh ngày càng tăng theo diễn tiến của trò chơi, cần các thiết kế logic phức tạp hơn.



Hình 1.18: Robot rùa Tasman dùng trong trường học

Thứ hai, robot rùa Tasman (hình 1.18) được sử dụng kết hợp với ngôn ngữ LOGO để giảng dạy về sự nhận thức máy tính. Robot rùa là một đối tượng biết suy nghĩ và có thể vẽ mẫu hình học. Ngôn ngữ này cũng được sử dụng để tạo một môi trường tự nhiên cho trẻ con bước đầu đi vào lĩnh vực lập trình.

Công dụng thứ ba là tạo ra phòng học robot. Trong hình 1.19 trình bày một phòng học hệ thống sản xuất linh hoạt FMS sử dụng robot phối hợp với các mô hình sản xuất khác như băng tải, máy gia công CNC, kho hàng tự động.



Hình 1.19: Mô hình huấn luyện hệ thống FMS của hãng Festo

1.2.8 Ứng dụng robot trong hỗ trợ người tàn tật

Một số nhà nghiên cứu đã nối vào máy điện toán bộ não của khỉ để điều khiển các tay máy – kỳ công đó cho phép một ngày gần đây những người bại liệt và những người mất tay chân có thể di chuyển tay chân giả chỉ bằng cách suy nghĩ.

Việc nối kết nhằm cung cấp các xung điện từ não của khỉ vào một máy tính, và máy tính đó lại được kết nối với các tay máy. Khi khỉ với tay lấy thức ăn hay thao tác với joystick thì các tay máy sẽ bắt chước được những động tác đó.

Theo nhà nghiên cứu Miguel Nicolelis thuộc trường Đại học Duke miền Nam Carolina thì đối với những người bị bại liệt do chấn thương thần kinh cột sống hay bị mắc những chứng bệnh ở hệ thống trung khu thần kinh thì các kết quả nghiên cứu trên cho phép bệnh nhân bất chấp sự tổn thương thần kinh có thể gửi các xung điện trực tiếp đến cơ bắp của họ. Ông cũng nói rằng vào tương lai không xa các tế bào thần kinh bị tổn thương có thể được thay thế bằng các vi mạch silicon.



Hình 1.20: Nhà nghiên cứu Nicolelis với chú khỉ cú thí nghiệm

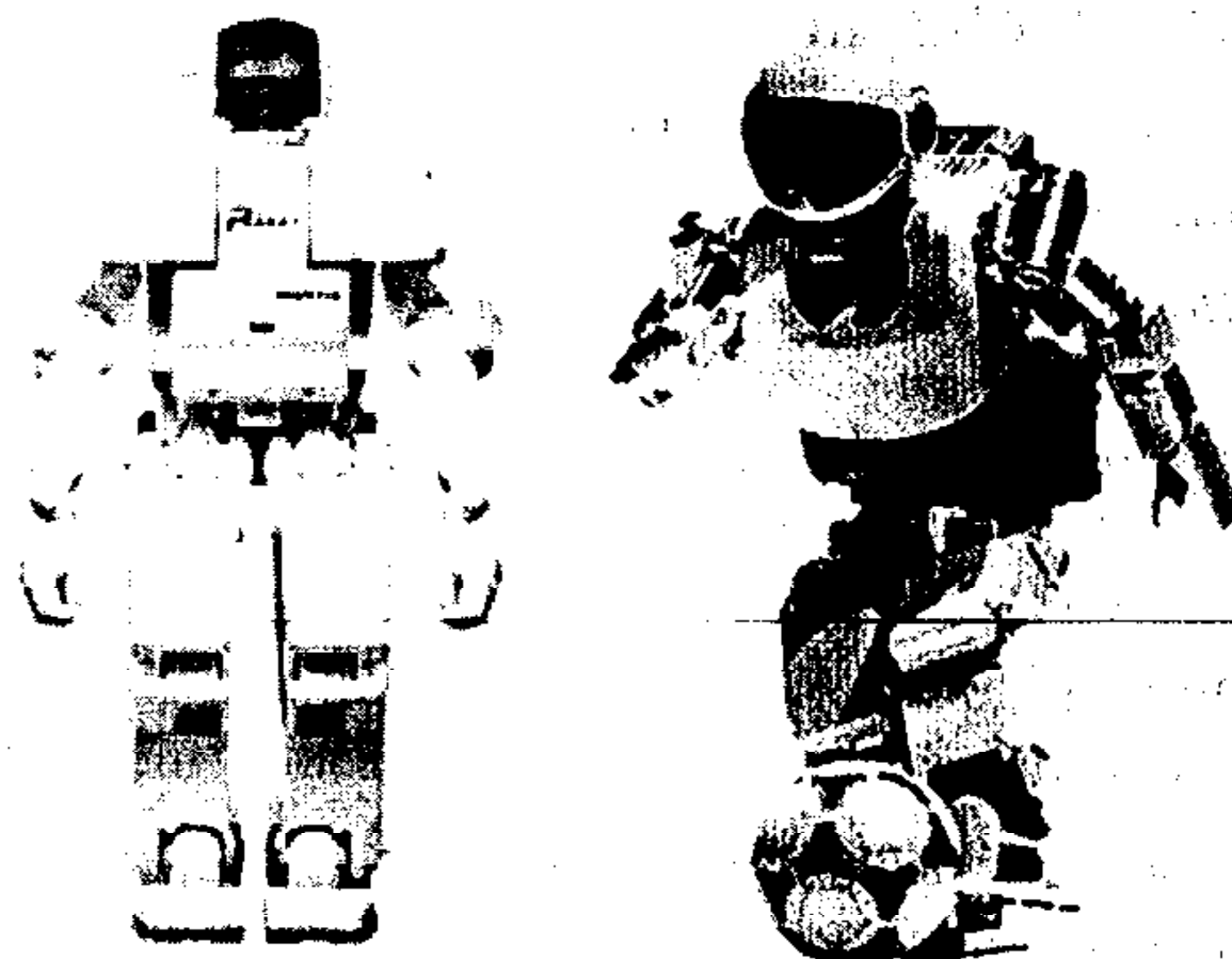
Ngoài ra, các nhà nghiên cứu ở trường Đại học Duke đang cố gắng thực hiện một vi mạch có thể cấy dưới da, thay thế cho máy vi tính đặt bên ngoài. Bác sĩ Roy Bakay thuộc bệnh viện Rush Presbyterian ở Chicago (Mỹ), người đã phối hợp phát triển một hệ thống cho phép người bại liệt điều khiển con trỏ trên màn hình vi tính với vi mạch được ghép, nói rằng các bộ phận hay thiết bị cho phép con người thực hiện các hoạt động thường ngày có thể phát triển khá nhanh chóng; nhưng các bộ phận tay chân giả để thực hiện các hoạt động phức tạp hơn như ném một quả bóng thì phải mất một thời gian khá lâu để nghiên cứu hoàn chỉnh.

Các bộ phận giả hiện nay cho những người bị mất tay chân có thể đọc được các xung điện từ các cơ bắp còn lại và kích hoạt các cánh tay, bàn tay và chân giả bằng cơ khí, nhưng các bộ phận đó vẫn chưa phát triển hoàn chỉnh cho những người bị bại liệt hoàn toàn từ cổ trở xuống. Tuy nhiên, những nhà nghiên cứu ở Bỉ đang thí nghiệm một hệ thống cho phép một người bị bại liệt từ eo trở xuống có thể đi được, bằng các dùng những điện cực gắn vào các cơ chân. Các điện cực đó được nối với một vi mạch có thể giả các tín hiệu được gửi từ não bộ.

1.2.9 Ứng dụng robot trong sinh hoạt và giải trí

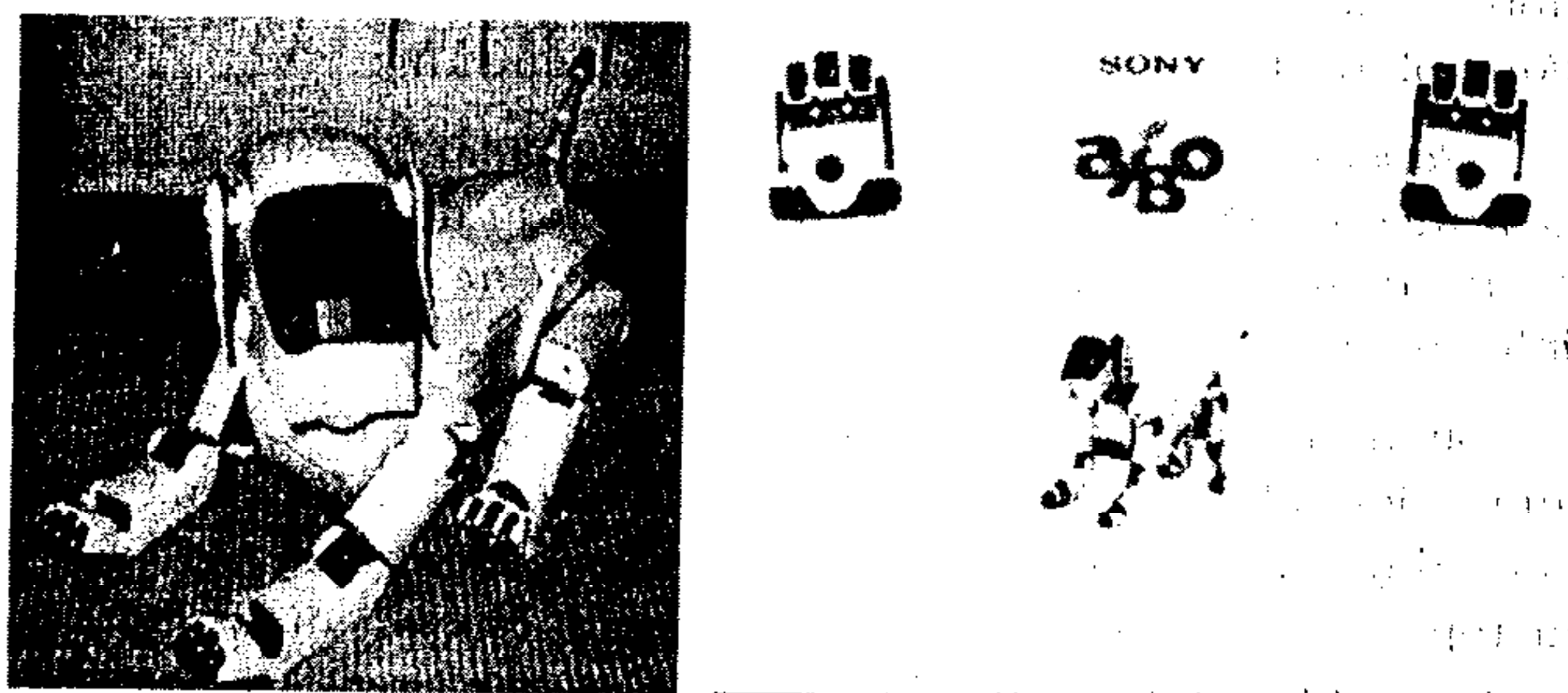
Một loại robot mà trẻ em có thể chơi với chúng, loại robot này chạy được khi ta vỗ tay. Một loại robot khác thì chuyển các cử động của tay người thành các xung điện rồi qua đó điều khiển tay nhân tạo. Các robot này có một tập lệnh được cài sẵn trong bộ nhớ, và nó có thể nhắc và mang các đồ vật theo lệnh từ bộ điều khiển trung tâm. Một số loại robot khác nữa với các bộ cảm biến nhận biết giọng nói người, đo nhiệt độ cơ thể và thực hiện nhiều công việc phức tạp khác nhau, các robot này không chỉ là các đồ chơi hấp dẫn cho trẻ em mà còn là các mô hình của các thiết bị thực tiễn phục vụ trong sinh hoạt hằng ngày.

Một thế hệ robot mới ra đời ở Nhật bản được gọi là kỹ thuật "i-Walk" (hình 1.21). Những robot này thông minh hơn nhiều những robot thuộc thế hệ trước đó đã được sử dụng trong các nhà máy. Thế hệ robot thông minh này được thiết kế để sử dụng trong nhà và trong văn phòng, và làm cho Nhật bản chiếm lĩnh thị trường thế giới mặt hàng điện tử. Robot mới nhất của hãng Honda Motor có thể đi bằng hai chân, vẫy tay, bật công tắc, khiêu vũ, chuẩn bị thuốc, nướng bánh, và giúp tắm cho người lớn tuổi. Sản phẩm robot này tiêu biểu cho một bước tiến lớn trong lĩnh vực robot, vì nó cho phép các nhà kỹ thuật có thể tạo ra những di chuyển nhẹ nhàng, giống như người. Các nhà khoa học của hãng Honda cho biết trong tương lai các robot thế hệ sau sẽ đảm nhiệm được các công việc thường ngày như đẩy xe tới lui trong siêu thị, tăng giảm nhiệt độ trong phòng, v.v...



Hình 1.21: Robot kỹ thuật "i-walk"

Trong lĩnh vực giải trí, hãng Sony vừa cho ra đời một loại robot đáp ứng nhu cầu giải trí ngày càng cao cho các khách hàng cao cấp; đó là chó robot AIBO. Hình 1.22 trình bày một chú chó AIBO có tên là Pez AIBO sinh ngày 9 tháng 3 năm 2000 vào lúc 16:00 tại Anh.



Hình 1.22: Chó robot AIBO và giấy chứng nhận sở hữu của hãng Sony

1.3 Một số định nghĩa

Viện Nghiên Cứu Robot Hoa Kỳ đưa ra một định nghĩa về robot như sau:

“Robot là một tay máy nhiều chức năng, thay đổi được chương trình hoạt động, được dùng để di chuyển vật liệu, chi tiết máy, dụng cụ hoặc dùng cho những công việc đặc biệt thông qua những chuyển động khác nhau đã được lập trình nhằm mục đích hoàn thành những nhiệm vụ đa dạng,” (Schlusser, 1985).

Định nghĩa robot còn được Mikell P. Groover, một nhà nghiên cứu hàng đầu trong lĩnh vực robot, mở rộng hơn như sau:

“Robot công nghiệp là những máy, thiết bị tổng hợp hoạt động theo chương trình có những đặc điểm nhất định tương tự như ở con người.”

Định nghĩa của M. P. Groover về robot không dừng lại ở tay máy mà mở rộng ra cho nhiều đối tượng khác có những đặc tính tương tự như con người như là suy nghĩ, có khả năng đưa ra quyết định và có thể nhìn thấy hoặc cảm nhận được đặc điểm của sự vật hay đối tượng mà nó phải thao tác hoặc xử lý. Theo Artobolevski I. I., Vorobiov M. V. và các nhà nghiên cứu thuộc trường phái khối SEV trước đây thì phát biểu rằng:

“Robot công nghiệp là những máy hoạt động tự động được điều khiển theo chương trình để thực hiện việc thay đổi vị trí của những đối tượng thao tác khác nhau với mục đích tự động hóa các quá trình sản xuất.”

Sự thống nhất trong tất cả các định nghĩa nêu trên ở đặc điểm “điều khiển theo chương trình”. Đặc điểm này của robot được thực hiện nhờ sự ra đời của những bộ vi xử lý (microprocessors) và các vi mạch tích hợp chuyên dùng được gọi là “chip” trong những năm 70.

Không lâu sau khi xuất hiện robot được điều khiển theo chương trình, người ta đã thực hiện được những robot tự hành. Hơn nữa, với những bước phát triển nhanh chóng của kỹ thuật vi điện tử và tin học, hiện nay người ta đã sáng tạo nhiều robot có

cảm xúc và có khả năng xử lý thông tin. Do đó định nghĩa robot cũng có những thay đổi bổ sung.

Nhật Bản hiện nay là nước có số lượng robot dùng trong sản xuất công nghiệp nhiều nhất thế giới, khoảng hơn 70% trong tổng số chừng 300.000 robot công nghiệp trên toàn thế giới. Người Nhật có quan niệm dễ dãi hơn về robot: theo họ *'robot là bất cứ thiết bị nào có thể thay thế cho lao động của con người'*. Trong công nghiệp Nhật Bản, những robot hay tay máy được điều khiển bằng cam cũng được liệt vào hàng ngũ robot. Theo đó, Hiệp Hội Robot Công Nghiệp Nhật Bản (JIRA - Japan Industrial Robot Association) đã phân loại robot thành sáu hạng, từ những tay máy do con người trực tiếp điều khiển từng động tác đến những robot thông minh được trang bị trí tuệ nhân tạo (theo Schlusser, 1985).

Những robot hay tay máy dùng các cơ cấu cam trong hệ thống điều khiển có được thừa nhận hay không là không quan trọng; điều quan trọng là chúng đã đóng vai trò đáng kể trong việc tự động hóa sản xuất ở các nhà máy. Những robot, tay máy nói trên còn được gọi một cách hình tượng là "tự động hóa cứng", ngược lại với "tự động hóa linh hoạt", mà đại diện của chúng là những robot công nghiệp được điều khiển bằng chương trình, thay đổi được nhiệm vụ thao tác đặt ra một cách nhanh chóng.

Một số nhà khoa học hàng đầu trong lĩnh vực robot của Nhật Bản đưa ra những định nghĩa về robot dưới dạng những yêu cầu như sau:

► Theo Giáo sư Sitegu Watanabe (Đại Học Tổng Hợp Tokyo) thì một robot công nghiệp phải thỏa năm yếu tố sau:

- có khả năng thay đổi chuyển động;
- có khả năng cảm nhận được đối tượng thao tác;
- có số bậc chuyển động (bậc tự do) cao;
- có khả năng thích nghi với môi trường hoạt động;
- có khả năng hoạt động tương hỗ với đối tượng bên ngoài;

➤ Theo Giáo sư Masahiro Mori (Viện Công Nghệ Tokyo) thì robot công nghiệp phải có các đặc điểm sau:

- có khả năng thay đổi chuyển động;
- có khả năng xử lý thông tin (biết suy nghĩ);
- có tính vạn năng;
- có những đặc điểm của người và máy.

Từ những khác biệt trong định nghĩa về robot, căn cứ vào tính linh hoạt của những hệ thống sản xuất có áp dụng robot, P.J. McKerrow, một nhà nghiên cứu về robot của Úc đã đưa ra một định nghĩa ở một góc độ khác. Theo ông, robot là một loại máy có thể lập trình để thực hiện những công việc đa dạng tương tự như một máy tính, là một mạch điện tử có thể lập trình để thực hiện những công việc đa dạng.

Các robot đóng góp vào sự phát triển công nghiệp dưới nhiều dạng khác nhau: tiết kiệm sức người, tăng năng suất lao động, nâng cao chất lượng sản phẩm và an toàn lao động và giải phóng con người khỏi những công việc cực nhọc và tẻ nhạt. Tất nhiên, trong tương lai còn nhiều vấn đề nảy sinh khi robot ngày càng thay thế các hoạt động của con người, nhưng trong việc đem lại lợi ích cho con người, khám phá vũ trụ, và khai thác các nguồn lợi đại dương, robot đã thực sự làm cho cuộc sống của chúng ta tốt đẹp hơn.

Trước khi đi vào phân tích những nội dung tiếp theo, để bạn đọc có sự nhận dạng robot một cách thống nhất trong quá trình khảo sát, dưới đây sẽ trình bày một số phương pháp phân loại robot sử dụng trong công nghiệp.

1.4 Phân loại robot

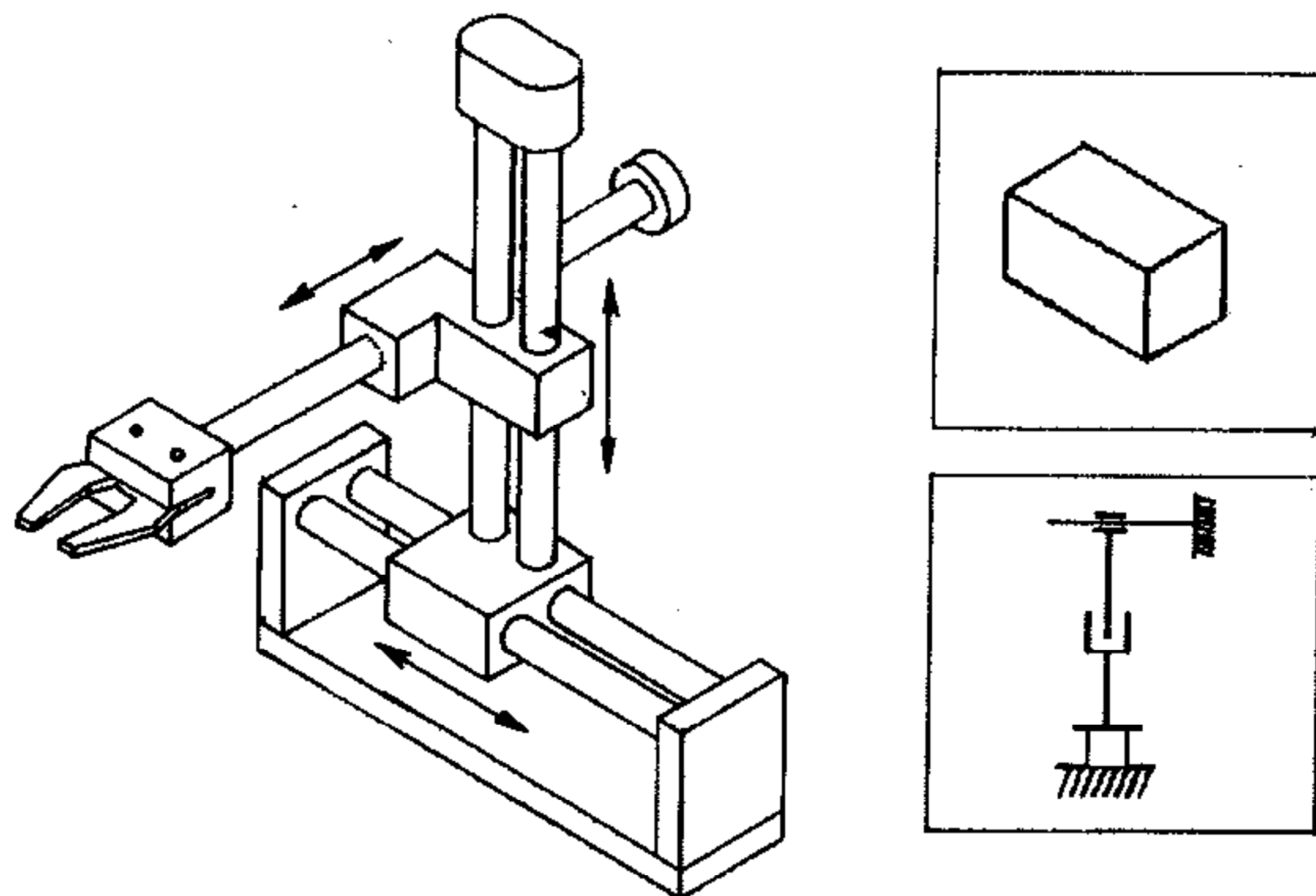
Trong công nghiệp người ta sử dụng những đặc điểm khác nhau cơ bản nhất của robot để giúp cho việc nhận biết được dễ dàng. Có 4 yếu tố chính để phân loại robot như sau: (1) theo dạng hình học của không gian hoạt động, (2) theo thể hệ robot, (3) theo bộ điều khiển, (4) theo nguồn dẫn động.

1.4.1 Phân loại theo dạng hình học của không gian hoạt động

Để dịch chuyển khâu tác động cuối của robot đến vị trí của đối tượng thao tác được cho trước trong không gian làm việc cần phải có ba bậc chuyển động chuyển dời hay chuyển động định vị (thường dùng khớp tịnh tiến và khớp quay loại 5). Những robot công nghiệp thực tế thường không sử dụng quá bốn bậc chuyển động chuyển dời (không kể chuyển động kẹp của tay gắp) và thông thường với ba bậc chuyển động định vị là đủ, rất ít khi sử dụng đến bốn bậc chuyển động định vị. Tại Viện Máy thuộc Viện Hàn Lâm Khoa Học Liên Bang Nga người ta đã tổng kết hàng trăm kết cấu động học của các robot sử dụng bốn bậc chuyển động định vị.

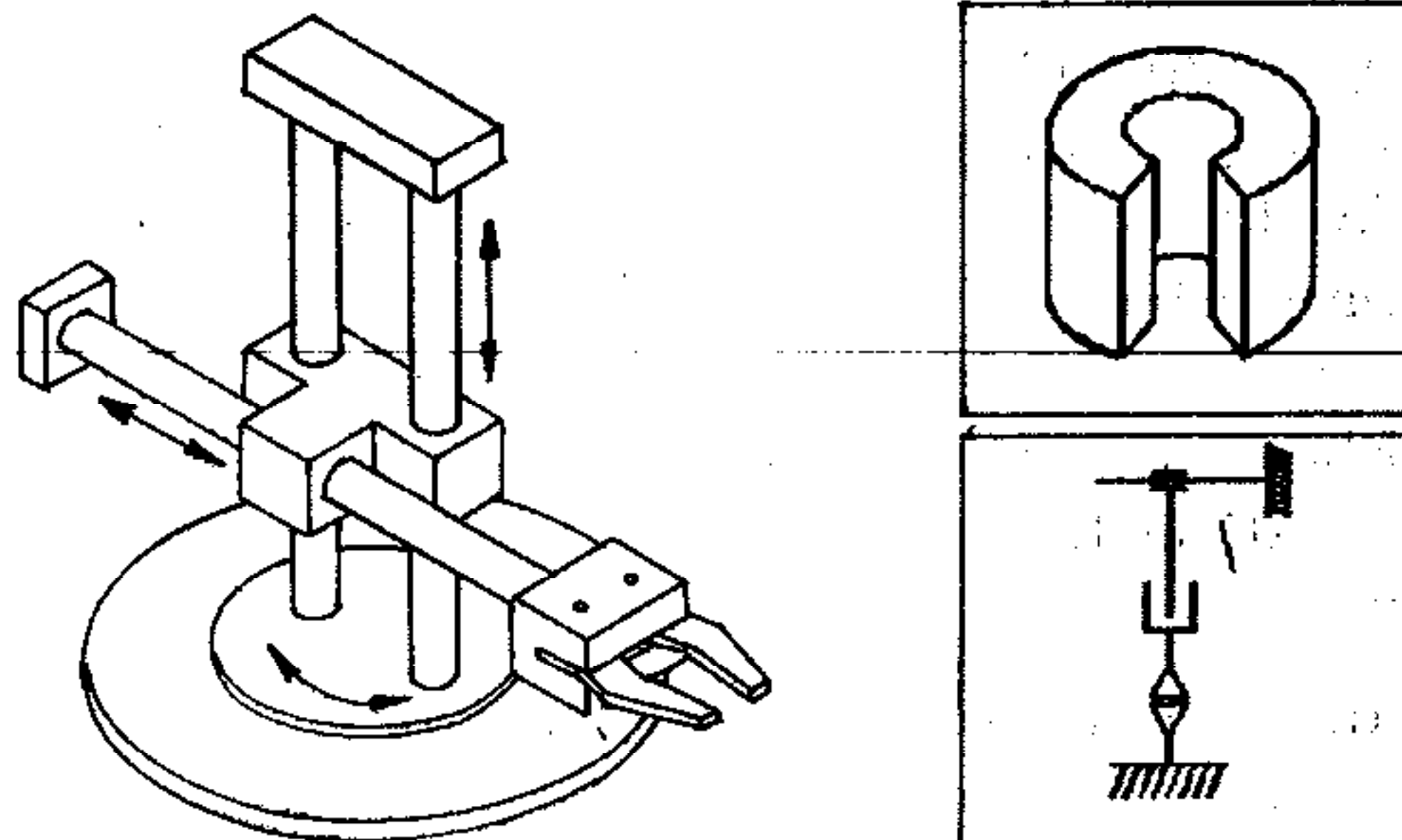
Robot được phân loại theo sự phối hợp giữa ba trục chuyển động cơ bản rồi sau đó được bổ sung để mở rộng thêm bậc chuyển động nhằm tăng thêm độ linh hoạt. Vùng giới hạn tầm hoạt động của robot được gọi là không gian làm việc.

(1) Robot tọa độ vuông góc (cartesian robot): robot loại này có ba bậc chuyển động cơ bản gồm ba chuyển động tịnh tiến dọc theo ba trục vuông góc (hình 1.23).



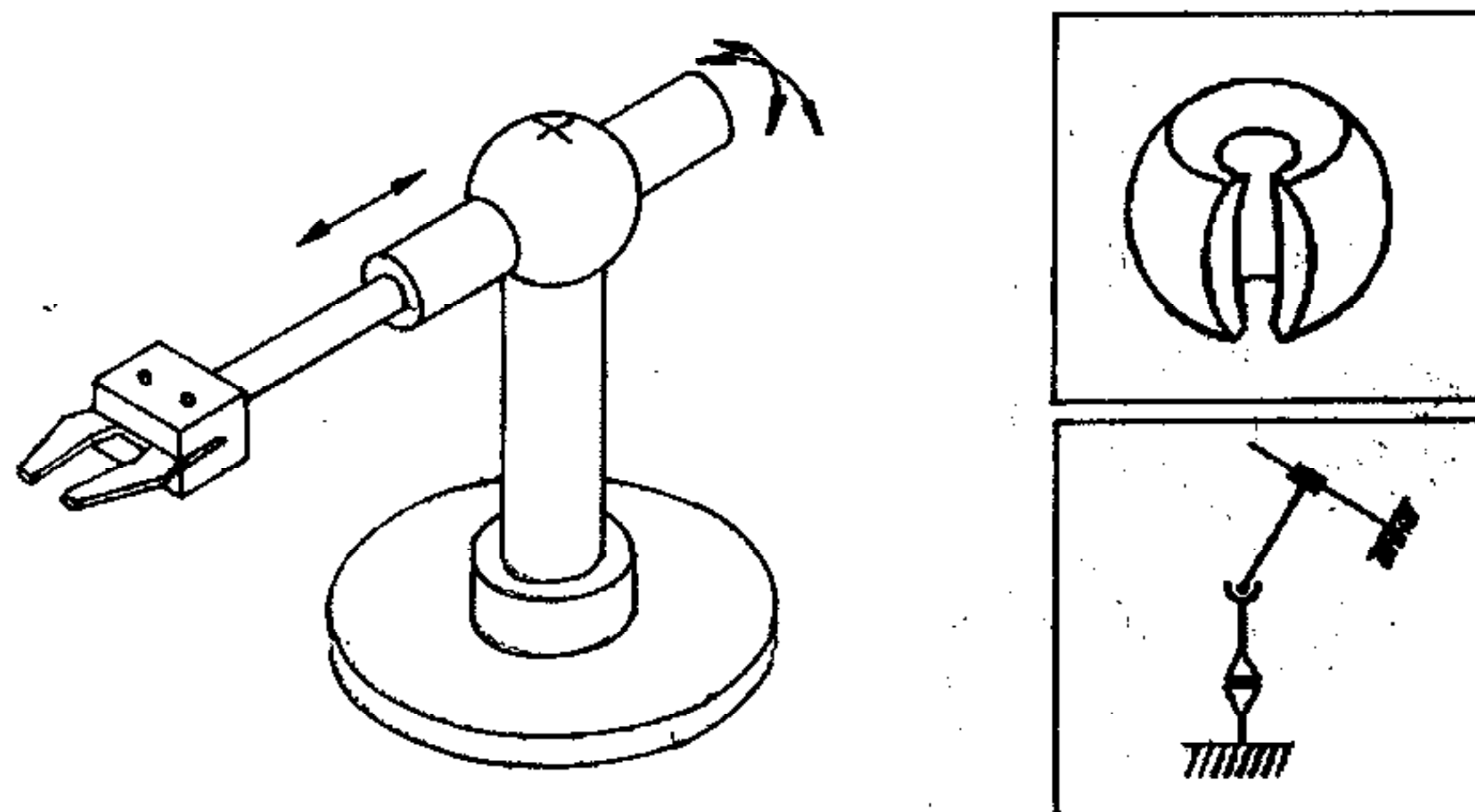
Hình 1.23: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot tọa độ vuông góc

- (2) **Robot tọa độ trụ (cylindrical robot):** ba bậc chuyển động cơ bản gồm hai trục chuyển động tịnh tiến và một trục quay (hình 1.24)



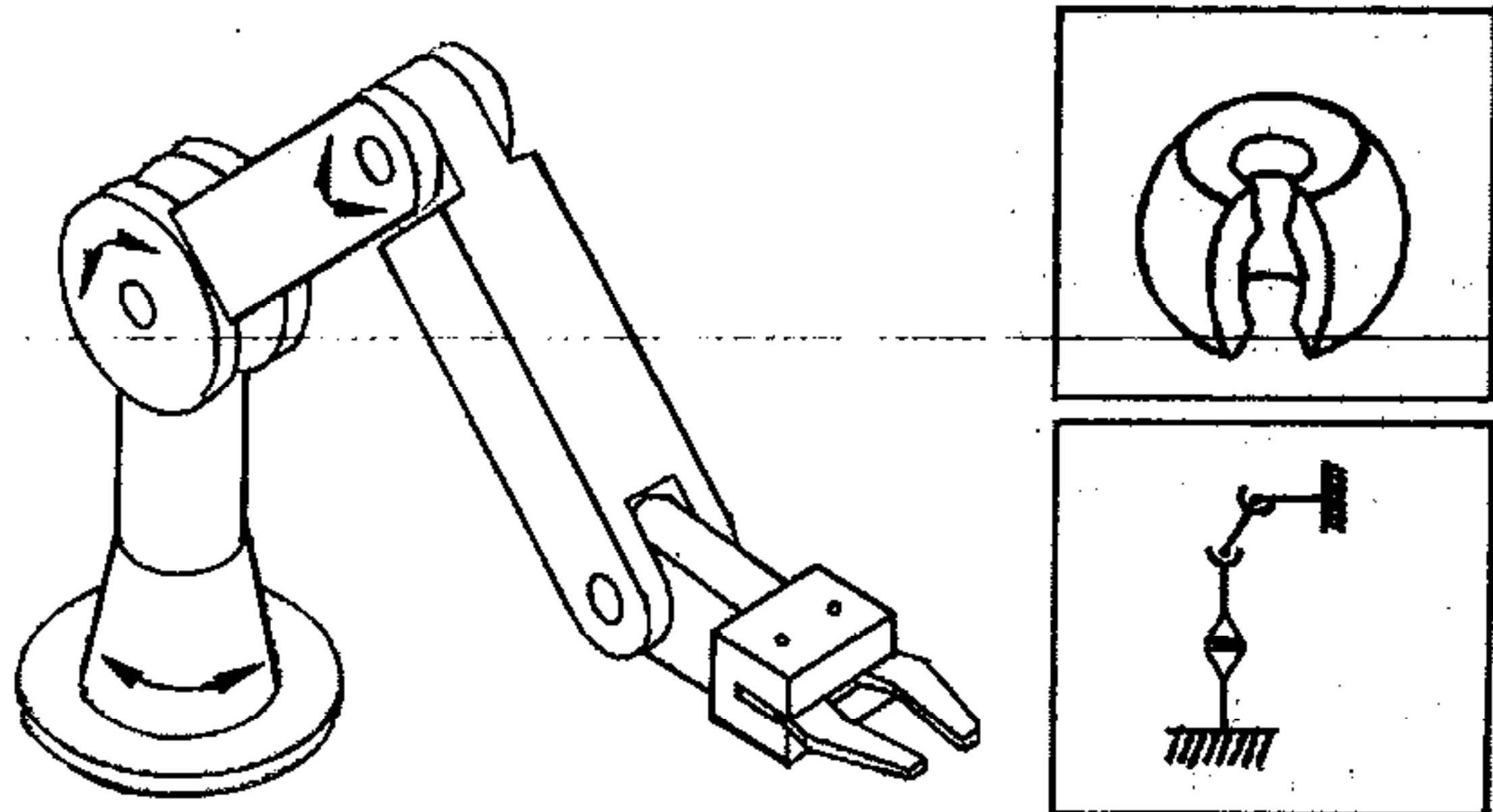
Hình 1.24: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot tọa độ trụ

- (3) **Robot tọa độ cầu (spherical robot):** ba bậc chuyển động cơ bản gồm một trục tịnh tiến và hai trục quay (hình 1.25)

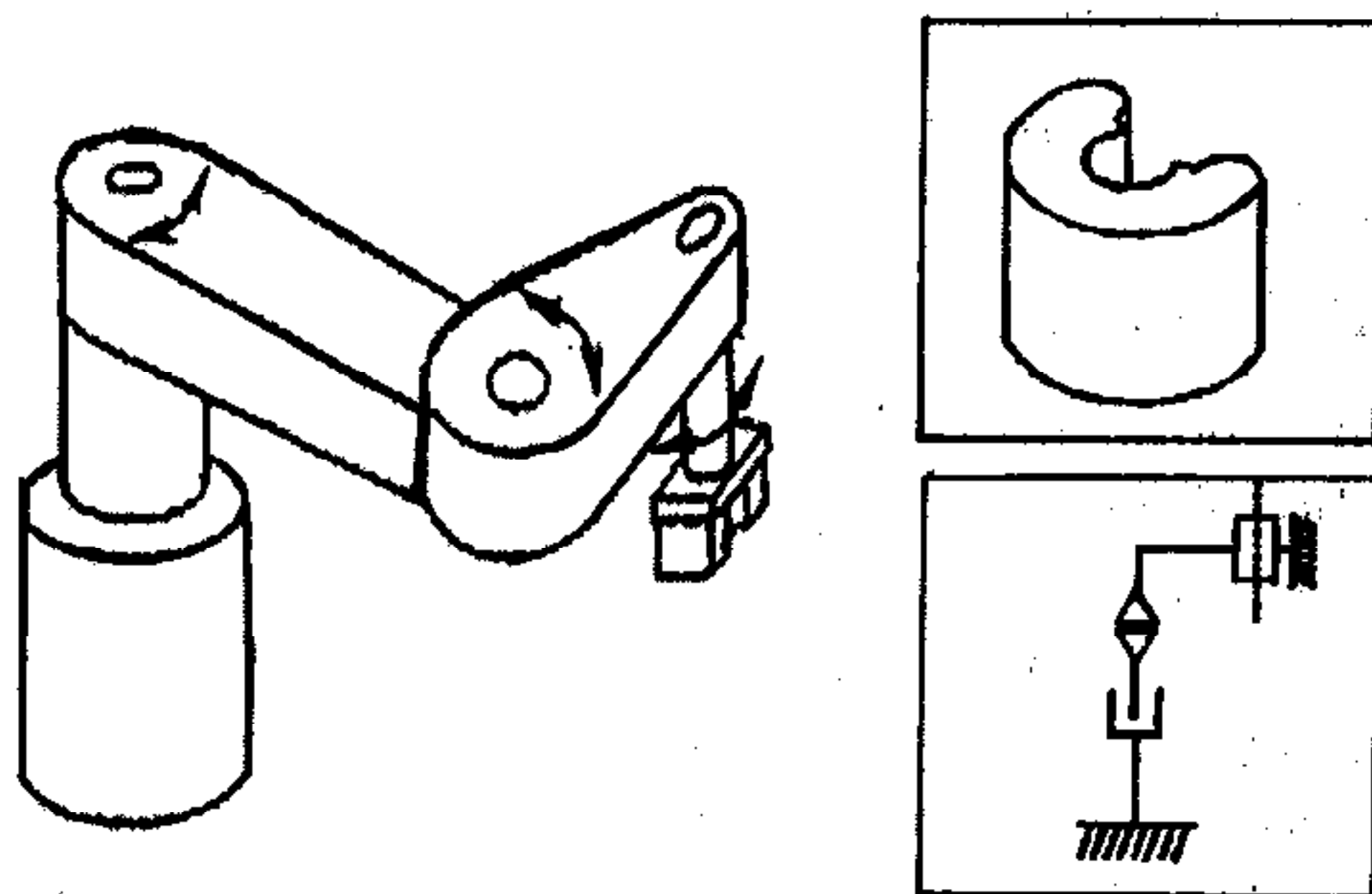


Hình 1.25: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot tọa độ cầu

(4) **Robot khớp bản lề (articular robot):** ba bậc chuyển động cơ bản gồm ba trục quay, bao gồm cả kiểu robot SCARA (hình 1.26)



Hình 1.26: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot liên kết bản lề



Hình 1.27: Nguyên lý hoạt động, không gian làm việc và sơ đồ động học của robot dạng SCARA

1.4.2 Phân loại theo thể hệ

Theo quá trình phát triển của robot, ta có thể chia ra theo các mức độ sau đây:

(1) Robot thể hệ thứ nhất

Bao gồm các dạng robot hoạt động lặp lại theo một chu trình không thay đổi (playback robots), theo chương trình định trước. Chương trình ở đây cũng có hai dạng: chương trình “cứng”; không thay đổi được như điều khiển bằng hệ thống cam và điều khiển với chương trình có thể thay đổi theo yêu cầu công nghệ của môi trường sử dụng nhờ các panel điều khiển hoặc máy tính.

Đặc điểm:

- Sử dụng tổ hợp các cơ cấu cam với công tắc giới hạn hành trình.
- Điều khiển vòng hở.
- Có thể sử dụng băng từ hoặc băng đục lỗ để đưa chương trình vào bộ điều khiển, tuy nhiên loại này không thể thay đổi chương trình được.
- Sử dụng phổ biến trong công việc gấp-đặt (pick and place)

(2) Robot thể hệ thứ hai

Trong trường hợp này robot được trang bị các bộ cảm biến (sensors) cho phép cung cấp tín hiệu phản hồi trở lại hệ thống điều khiển về trạng thái, vị trí không gian của robot cũng như những thông tin về môi trường bên ngoài như trạng thái, vị trí của đối tượng thao tác, của các máy công nghệ mà robot phối hợp, nhiệt độ của môi trường v.v., giúp cho bộ điều khiển có thể lựa chọn những thuật toán thích hợp để điều khiển robot thực hiện những thao tác xử lý phù hợp. Nói cách khác, đây cũng là robot với điều khiển theo chương trình nhưng có thể tự điều chỉnh hoạt động thích ứng với những thay đổi của môi trường thao tác. Dạng robot với trình độ điều khiển này còn được gọi là robot được điều khiển thích nghi cấp thấp.

Robot thế hệ này bao gồm các robot sử dụng cảm biến trong điều khiển (sensor – controlled robots) cho phép tạo được những vòng điều khiển kín kiểu servo.

Đặc điểm:

- Điều khiển vòng kín các chuyển động của tay máy.
- Có thể tự ra quyết định lựa chọn chương trình đáp ứng dựa trên tín hiệu phản hồi từ cảm biến nhờ các chương trình đã được cài đặt từ trước.
- Hoạt động của robot có thể lập trình được nhờ các công cụ như bàn phím, pa-nen điều khiển.

(3) Robot thế hệ thứ ba

Đây là dạng phát triển cao nhất của robot tự cảm nhận. Các robot ở đây được trang bị những thuật toán xử lý các phản xạ logic thích nghi theo những thông tin và tác động của môi trường lên chúng; nhờ đó robot tự biết phải làm gì để hoàn thành được công việc đã được đặt ra cho chúng. Hiện nay cũng đã có nhiều công bố về những thành tựu trong lĩnh vực điều khiển này trong các phòng thí nghiệm và được đưa ra thị trường dưới dạng những robot giải trí có hình dạng của các động vật máy.

Robot thế hệ này bao gồm các robot được trang bị hệ thống thu nhận hình ảnh trong điều khiển (Vision – controlled robots), cho phép nhìn thấy và nhận dạng các đối tượng thao tác.

Đặc điểm:

- Có những đặc điểm như loại trên và điều khiển hoạt động trên cơ sở xử lý thông tin thu nhận được từ hệ thống thu nhận hình ảnh (Vision systems – Camera).
- Có khả năng nhận dạng ở mức độ thấp như phân biệt các đối tượng có hình dạng và kích thước khá khác biệt nhau.

(4) Robot thể hệ thứ tư

Bao gồm các robot sử dụng các thuật toán và cơ chế điều khiển thích nghi (adaptively controlled robot) được trang bị bước đầu khả năng lựa chọn các đáp ứng tuân theo một mô hình tính toán xác định trước nhằm tạo ra những ứng xử phù hợp với điều kiện của môi trường thao tác.

Đặc điểm:

Có những đặc điểm tương tự như thể hệ thứ hai và thứ ba, có khả năng tự động lựa chọn chương trình hoạt động và lập trình lại cho các hoạt động dựa trên các tín hiệu thu nhận được từ cảm biến.

Bộ điều khiển phải có bộ nhớ tương đối lớn để giải các bài toán tối ưu với điều kiện biên không được xác định trước. Kết quả của bài toán sẽ là một tập hợp các tín hiệu điều khiển các đáp ứng của robot.

(5) Robot thể hệ thứ năm

Là tập hợp những robot được trang bị trí tuệ nhân tạo (artificially intelligent robot)

Đặc điểm:

Robot được trang bị các kỹ thuật của trí tuệ nhân tạo như nhận dạng tiếng nói, hình ảnh, xác định khoảng cách, cảm nhận đối tượng qua tiếp xúc, v.v.. để ra quyết định và giải quyết các vấn đề hoặc nhiệm vụ đặt ra cho nó.

Robot được trang bị mạng Neuron có khả năng tự học.

Robot được trang bị các thuật toán dạng Neuron Fuzzy/Fuzzy Logic để tự suy nghĩ và ra quyết định cho các ứng xử tương thích với những tín hiệu nhận được từ môi trường theo những thuật toán tối ưu một hay nhiều mục tiêu đồng thời.

Hiện nay trong lĩnh vực giải trí, nhiều dạng robot thể hệ này đang được phát triển như robot Aibo – chú chó robot của hãng

Sony hay robot đi trên hai chân và khiêu vũ được của hãng Honda.

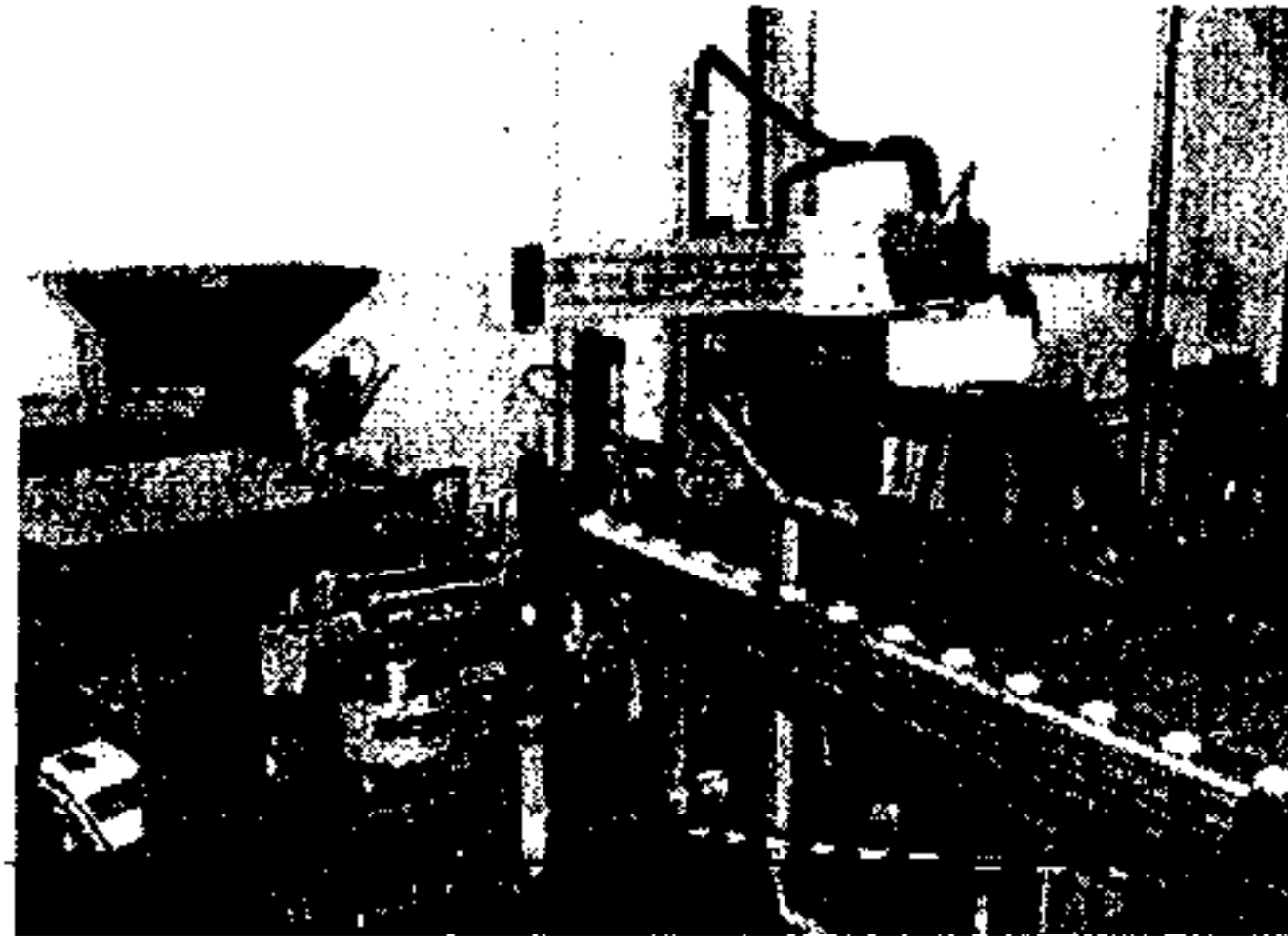
Nhật Bản là đất nước có số lượng robot sử dụng trong công nghiệp nhiều nhất thế giới. Người Nhật có quan niệm khá khác biệt về robot so với các nước công nghiệp phát triển. Theo Hiệp hội robot Nhật - JIRA (Japanese Robot Association), robot được chia thành sáu loại, theo mức độ thông minh như sau:

1. Robot hoạt động nhờ người điều khiển trực tiếp từng động tác, bằng pendant hay pa-nen điều khiển.
2. Robot hoạt động theo chu trình cố định (fixed sequence robots)
3. Robot hoạt động theo chu trình thay đổi được (variable sequence robots): người điều khiển có thể dễ dàng chỉnh sửa trình tự hoạt động.
4. Robot hoạt động theo chương trình và lặp lại chương trình (playback robots): người điều khiển có thể lập trình cho robot trong chế độ huấn luyện (teaching mode).
5. Robot điều khiển theo chương trình số (numerically controlled robots)
6. Robot thông minh (intelligent robots): robot có thể hiểu, nhận biết và tương tác với môi trường xung quanh.

1.4.3 Phân loại theo bộ điều khiển

(1) Robot gấp-đặt

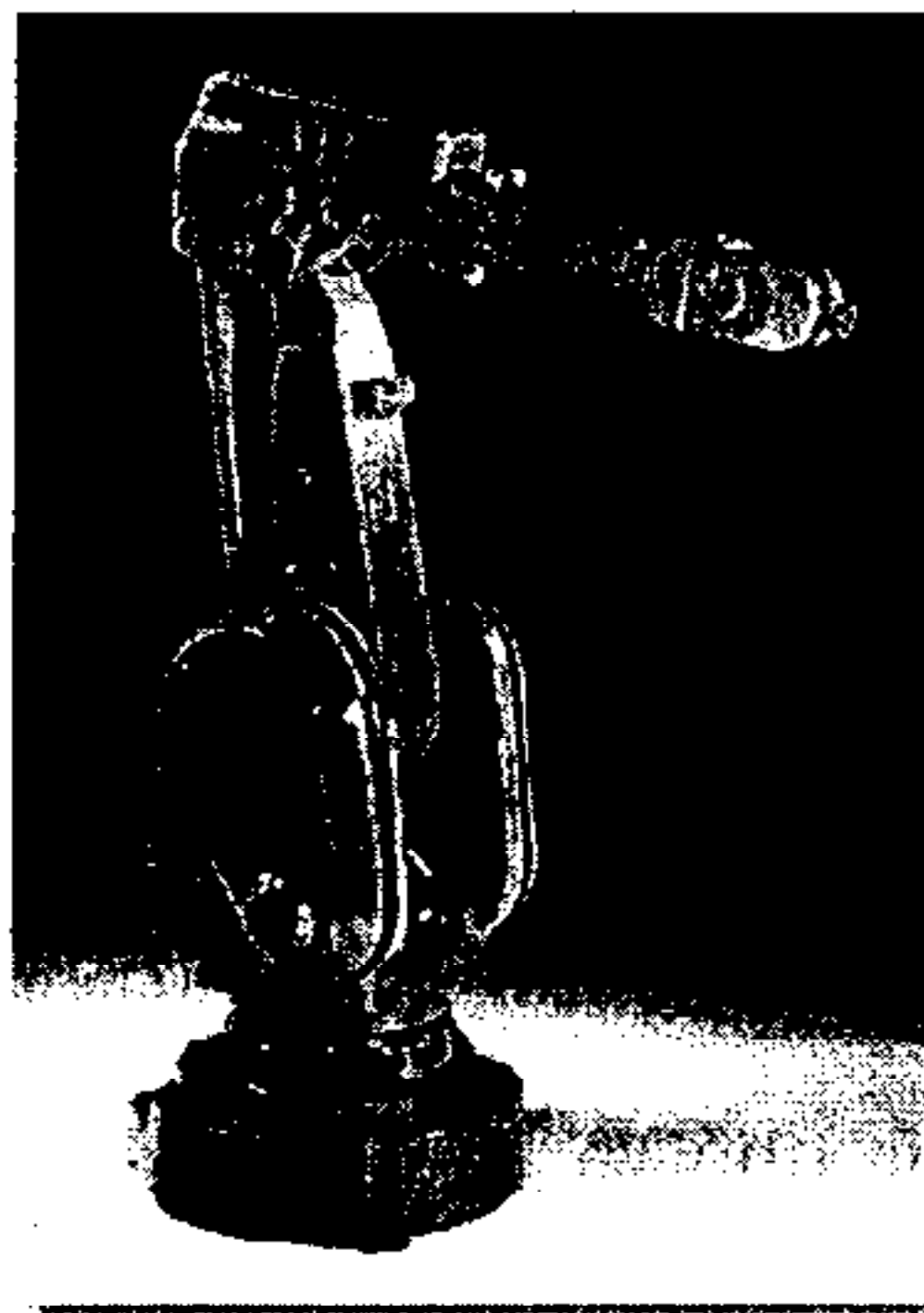
Robot này thường nhỏ và sử dụng nguồn dẫn động khí nén. Bộ điều khiển phổ biến là bộ điều khiển lập trình (PLC) để thực hiện điều khiển vòng hở. Robot hoạt động căn cứ vào các tín hiệu phản hồi từ các tiếp điểm giới hạn hành trình cơ khí đặt trên các trục của tay máy.



Hình 1.28: Một dạng robot gấp đặt

(2) Robot đường dẫn liên tục

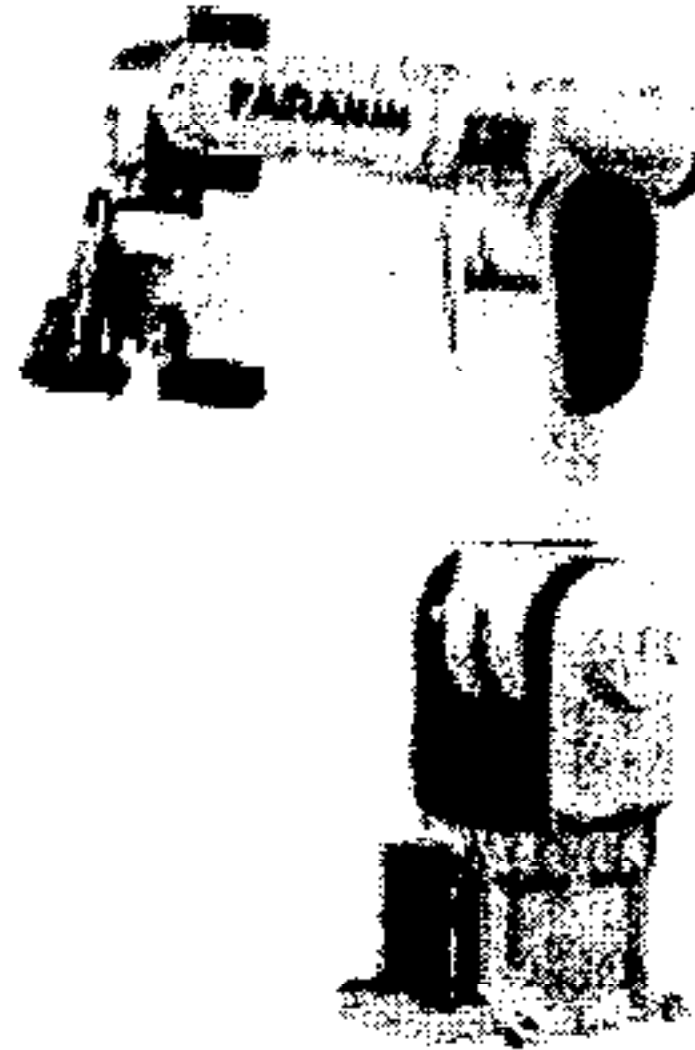
Robot loại này sử dụng bộ điều khiển servo thực hiện điều khiển vòng kín. Hệ thống điều khiển liên tục là hệ thống trong đó robot được lập trình theo một đường chính xác. Trong hệ thống điều khiển này, đường dẫn được biểu diễn bằng một loạt các điểm rời rạc gần nhau và được lưu vào bộ nhớ robot, sau đó robot sẽ thực hiện lại chính xác đường dẫn đó.



Hình 1.29: Một loại robot sơn thực hiện đường dẫn liên tục

1.4.4 Phân loại robot theo nguồn dẫn động

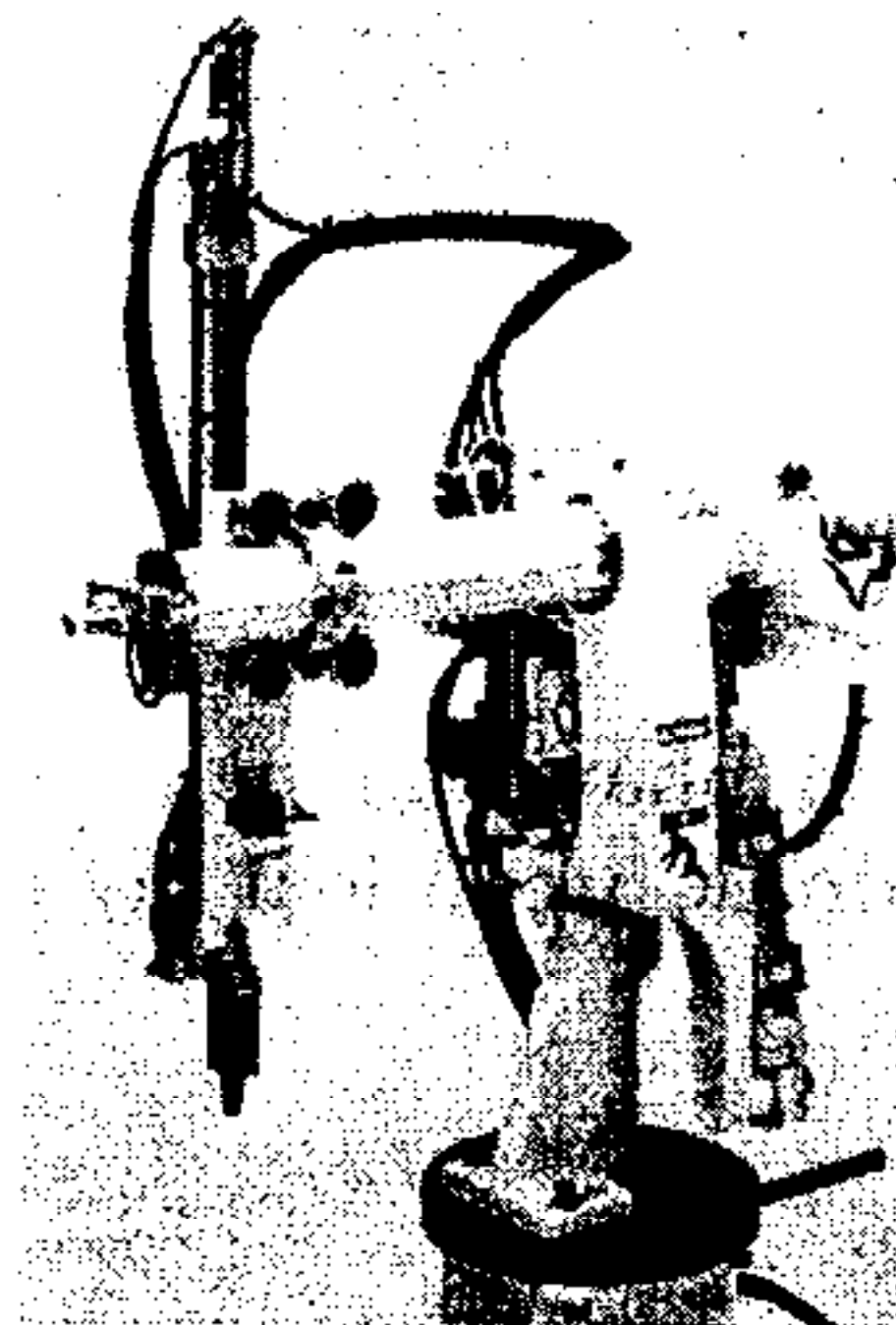
(1) Robot dùng nguồn cấp điện



Hình 1.30 : Một loại robot sử dụng động cơ servo

Nguồn điện cấp cho robot thường là DC để điều khiển động cơ DC. Hệ thống dùng nguồn AC cũng được chuyển đổi sang DC. Các động cơ sử dụng thường là động cơ bước, động cơ DC servo, động cơ AC servo. Robot loại này có thiết kế gọn, chạy êm, định vị rất chính xác. Các ứng dụng phổ biến là robot sơn, hàn.

(2) Robot dùng nguồn khí nén



Hình 1.31 : Một loại robot sử dụng nguồn khí nén

Hệ thống cần được trang bị máy nén, bình chứa khí và động cơ kéo máy nén. Robot loại này thường được sử dụng trong các ứng dụng có tải trọng nhỏ có tay máy là các xy-lanh khí nén thực hiện chuyển động thẳng và chuyển động quay. Do khí nén là lưu chất nén được nên robot loại này thường sử dụng trong các thao tác gấp đặt không cần độ chính xác cao.

(3) Robot dùng nguồn thủy lực

Nguồn thủy lực sử dụng lưu chất không nén được là dầu ép. Hệ thống cần trang bị bơm để tạo áp lực dầu. Tay máy là các xy-lanh thủy lực chuyển động thẳng và quay và động cơ dầu. Robot loại này được sử dụng trong các ứng dụng có tải trọng lớn.



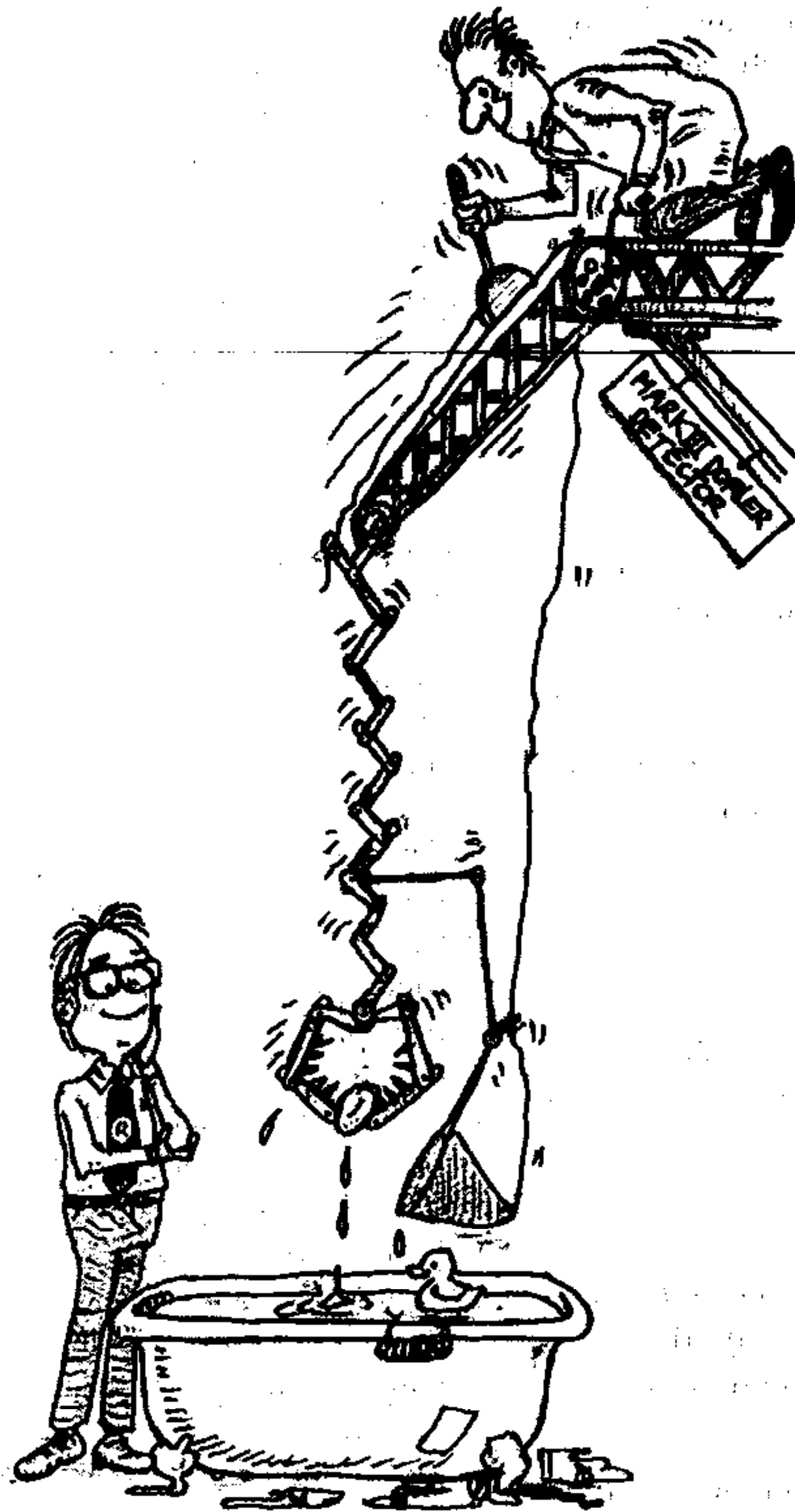
Hình 1.32 : Một loại robot di động sử dụng nguồn thủy lực

Ngoài những cách phân loại nêu trên, bảng 1.3 dưới đây cung cấp thêm thông tin để phân loại tay máy và robot một cách chi tiết hơn.

(Xem trang bên)

Bảng 1.3: Bảng tóm tắt các yếu tố phân loại robot

Dấu hiệu phân loại	Tên gọi của tay máy
Theo số bậc chuyển động (kể cả bậc chuyển động chuyển dời của cả tay máy)	- Có hai, ba hoặc nhiều hơn ở dạng: * Không di chuyển * Tự chuyển dời
Theo số lượng tay máy	Một, hai hoặc nhiều tay máy được điều khiển đồng thời: * Có nguồn dẫn động và điều khiển riêng. * Có nguồn dẫn động riêng và được điều khiển chung. * Có chung nguồn dẫn động * Tự di chuyển.
Theo tải trọng nâng của tay máy	* loại siêu nhẹ. * loại nhẹ * loại trung * loại nặng * loại siêu nặng.
Theo nguồn dẫn động của các cơ cấu chấp hành	* khí nén * thủy lực * cơ điện * hỗn hợp
Theo hệ thống điều khiển theo nguyên lý điều khiển	Với điều khiển chương trình: * theo chu kỳ. * theo vị trí. * theo chu vi. * hỗn hợp. Với điều khiển theo cảm nhận: * điều khiển không thích nghi. * điều khiển thích nghi. Với trí tuệ nhân tạo.
Theo số robot được điều khiển đồng thời	* điều khiển riêng rẽ. * điều khiển theo nhóm.
Theo độ chính xác	* gồm các mức chính xác: 0, 1, 2, 3
Theo kiểu bảo hiểm	* kiểu thông thường. * kiểu phòng bụi. * kiểu phòng nhiệt. * kiểu phòng nổ.



CHƯƠNG 2

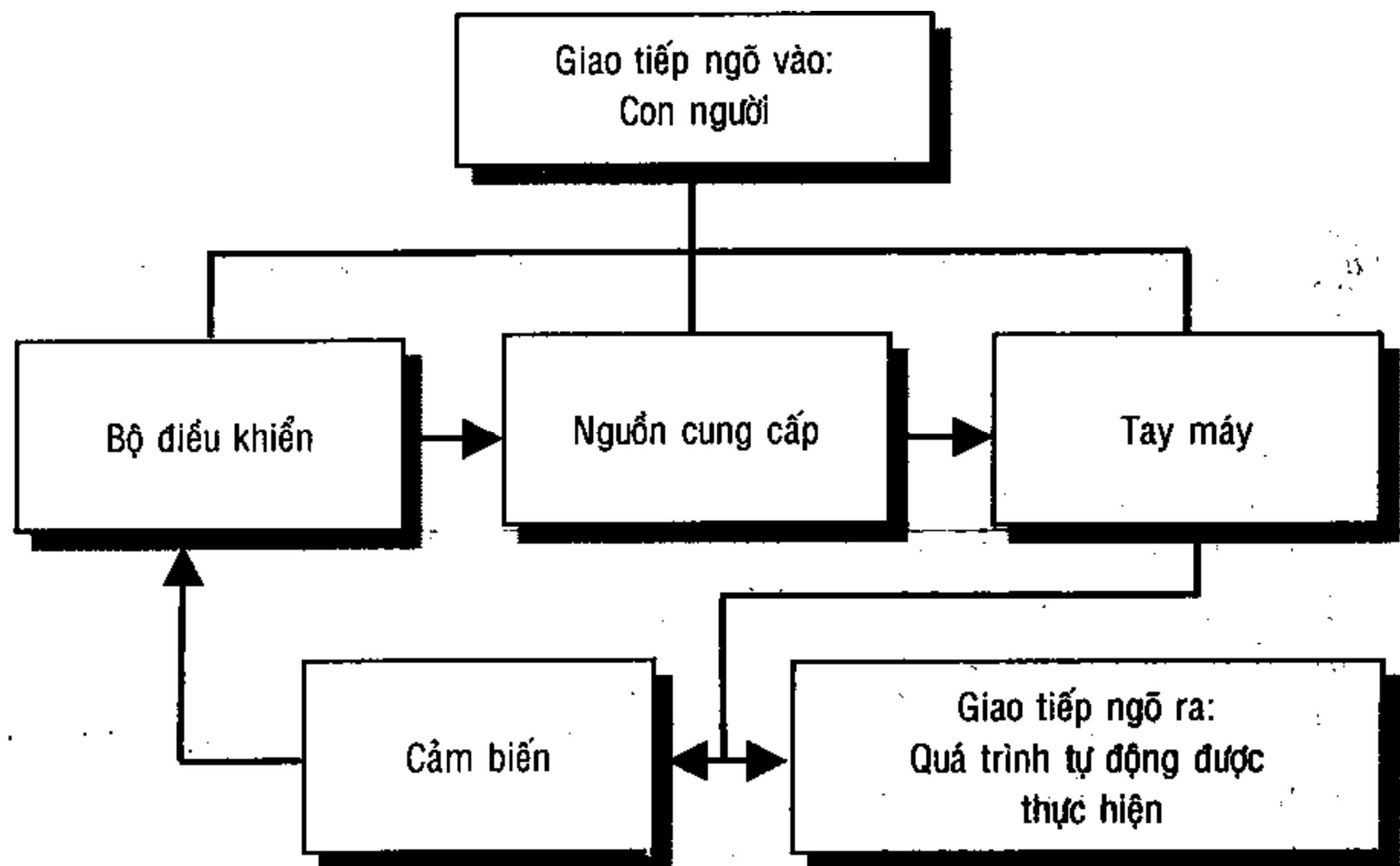
CẤU TẠO CHUNG CỦA ROBOT CÔNG NGHIỆP

Về mặt truyền động và điều khiển, robot được cấu tạo từ những khối cấu trúc cơ khí hoạt động nhờ các cơ cấu tác động. Những cơ cấu tác động này có thể hoạt động phối hợp với nhau để thực hiện những công việc phức tạp dưới sự điều khiển của một bộ phận có cấu tạo như máy tính, còn gọi là những bộ điều khiển PC-based. Với những đặc điểm về cấu tạo và hoạt động thì robot thường được sử dụng trong các hệ thống sản xuất linh hoạt dạng workcell (FMS - Flexible Manufacturing Systems) và các hệ thống sản xuất tích hợp máy tính (CIM - Computer Integrated Manufacturing). Ngày càng các dây chuyền sản xuất tự động có sử dụng robot thay thế dần các dây chuyền sản xuất tự động với chương trình hoạt động 'cứng' trước đây.

Việc ứng dụng robot vào sản xuất gắn liền với sự hiểu biết đầy đủ các vấn đề có liên quan chặt chẽ với nhau như các dạng nguồn dẫn động, các hệ thống và chế độ điều khiển, các cảm biến trang bị trên robot, khả năng của phần mềm và ngôn ngữ lập trình cũng như chọn lựa các bộ giao tiếp và xuất/nhập tín hiệu phù hợp cho các bộ phận chấp hành khác nhau. Trong chương này sẽ đề cập đến những vấn đề cơ bản nhất về các thành phần và cấu hình của một robot công nghiệp.

Về mặt kết cấu, robot được chế tạo rất khác biệt nhau, nhưng chúng được xây dựng từ các thành phần cơ bản như sau (hình 2.1):

- (1) Tay máy
- (2) Nguồn cung cấp
- (3) Bộ điều khiển



Hình 2.1: Các thành phần chính của một robot công nghiệp

2.1 Tay máy (manipulator)

Thuật ngữ 'tay máy' và robot trong quan niệm của nhiều nhà chuyên môn trong lĩnh vực này không có sự khác biệt. Để thuận tiện trong trình bày, ở đây ta hiểu tay máy là một dạng robot có cấu tạo mô phỏng theo những đặc điểm cấu tạo cơ bản của cánh tay người. Cũng có thể hiểu tay máy là tập hợp các bộ phận và cơ cấu cơ khí được thiết kế để hình thành các khối có chuyển động tương đối với nhau, được gọi là các khâu động. Trong đó, phần liên kết giữa các khâu động được gọi là các khớp động hay còn gọi là các trục. Tay máy cũng bao gồm cả các cơ cấu tác động là các phần tử thực sự thực hiện các chuyển động để vận hành tay máy như động cơ điện, xy-lanh dầu ép, xy-lanh khí nén, v.v... Phần quan trọng khác trên các tay máy là bộ phận hay khâu tác động cuối (End – Effector) để thao tác trên đối tượng làm việc – thường là các tay gắp hoặc các đầu công cụ chuyên dùng.

Tay máy hay có thể gọi là cánh tay cơ khí của robot công nghiệp thông thường là một chuỗi động hở được tạo thành từ nhiều khâu được liên kết với nhau nhờ các khớp động. Khâu cuối (hay khâu tác động cuối) của tay máy thường có dạng một tay gắp

hoặc được gắn dụng cụ công tác. Mỗi khâu động trên tay máy có nguồn dẫn động riêng, năng lượng và chuyển động truyền đến cho chúng được điều khiển trên cơ sở tín hiệu nhận được từ bộ phận phản hồi là các cảm biến nhằm thông báo trạng thái hoạt động của các khâu chấp hành, trong đó vấn đề được đặc biệt quan tâm là vị trí và vận tốc dịch chuyển của khâu cuối – khâu thể hiện kết quả tổng hợp các chuyển động của các khâu thành phần.

2.1.1 Bậc tự do của tay máy

Thông thường các tay máy có trên một bậc tự do. Số bậc tự do hay bậc chuyển động của tay máy là số khả năng chuyển động độc lập của nó trong không gian hoạt động. Trong lĩnh vực robot học (robotics) người ta hay gọi mỗi khả năng chuyển động (có thể là chuyển động thẳng; dọc theo hoặc song song với một trục, hoặc chuyển động quay quanh trục) là một trục, tương ứng theo đó là một tọa độ suy rộng dùng để xác định vị trí của trục trong không gian hoạt động. Mỗi trục của tay máy đều có cơ cấu tác động và cảm biến vị trí được điều khiển bởi một bộ xử lý riêng.

Thông qua các khảo sát thực tế, người ta nhận thấy là để nâng cao độ linh hoạt của tay máy sử dụng trong công nghiệp, các tay máy phải có số bậc chuyển động cao. Tuy nhiên, số bậc chuyển động này không nên quá sáu. Lý do chính là với sáu bậc chuyển động, nếu bố trí hợp lý, sẽ đủ để tạo ra khả năng chuyển động linh hoạt của khâu tác động cuối nhằm có thể tiếp cận đối tượng thao tác (nằm trong vùng không gian hoạt động của nó) theo mọi hướng. Ngoài ra, số bậc tự do nhiều hơn sáu sẽ không kinh tế và khó điều khiển hơn. Sáu bậc chuyển động được bố trí gồm:

- Ba bậc chuyển động cơ bản hay chuyển động định vị
- Ba bậc chuyển động bổ sung hay chuyển động định hướng

(1) Bậc chuyển động cơ bản hay chuyển động định vị

Về mặt nguyên lý cấu tạo, tay máy là một tập hợp các khâu được liên kết với nhau thông qua các khớp động để hình

thành một chuỗi động hở. Khớp động được sử dụng trên các tay máy thường là các khớp loại 5 (khớp tịnh tiến hoặc khớp quay loại 5) để dễ chế tạo, dễ dẫn động bằng nguồn độc lập và cũng dễ điều khiển. Tay máy có số chuyển động độc lập thường là từ ba trở lên (dưới đây ta sẽ gọi là *bậc tự do* hay *bậc chuyển động*).

Các chuyển động độc lập có thể là các chuyển động tịnh tiến hoặc chuyển động quay. Mỗi khâu động trên tay máy, về nguyên tắc, có ít nhất là một khả năng chuyển động độc lập và thường là một. Như vậy khái niệm *bậc tự do* hay *bậc chuyển động* cũng chính là số khả năng chuyển động độc lập mà một tay máy có thể thực hiện được.

Trường hợp mỗi khâu động trên tay máy có một khả năng chuyển động độc lập, thì tay máy có bao nhiêu khâu động sẽ có bấy nhiêu bậc chuyển động và cũng có từng ấy khớp động hay trục. Các chuyển động cơ bản, hay chuyển động chính trên một tay máy là những chuyển động có ảnh hưởng quyết định đến dạng hình học của không gian hoạt động của nó như bạn đọc đã xem ở phần phân loại. Các chuyển động này thực hiện việc chuyển dời cổ tay của tay máy đến những vị trí khác nhau trong vùng không gian hoạt động của tay máy vì vậy còn được gọi là các chuyển động định vị.

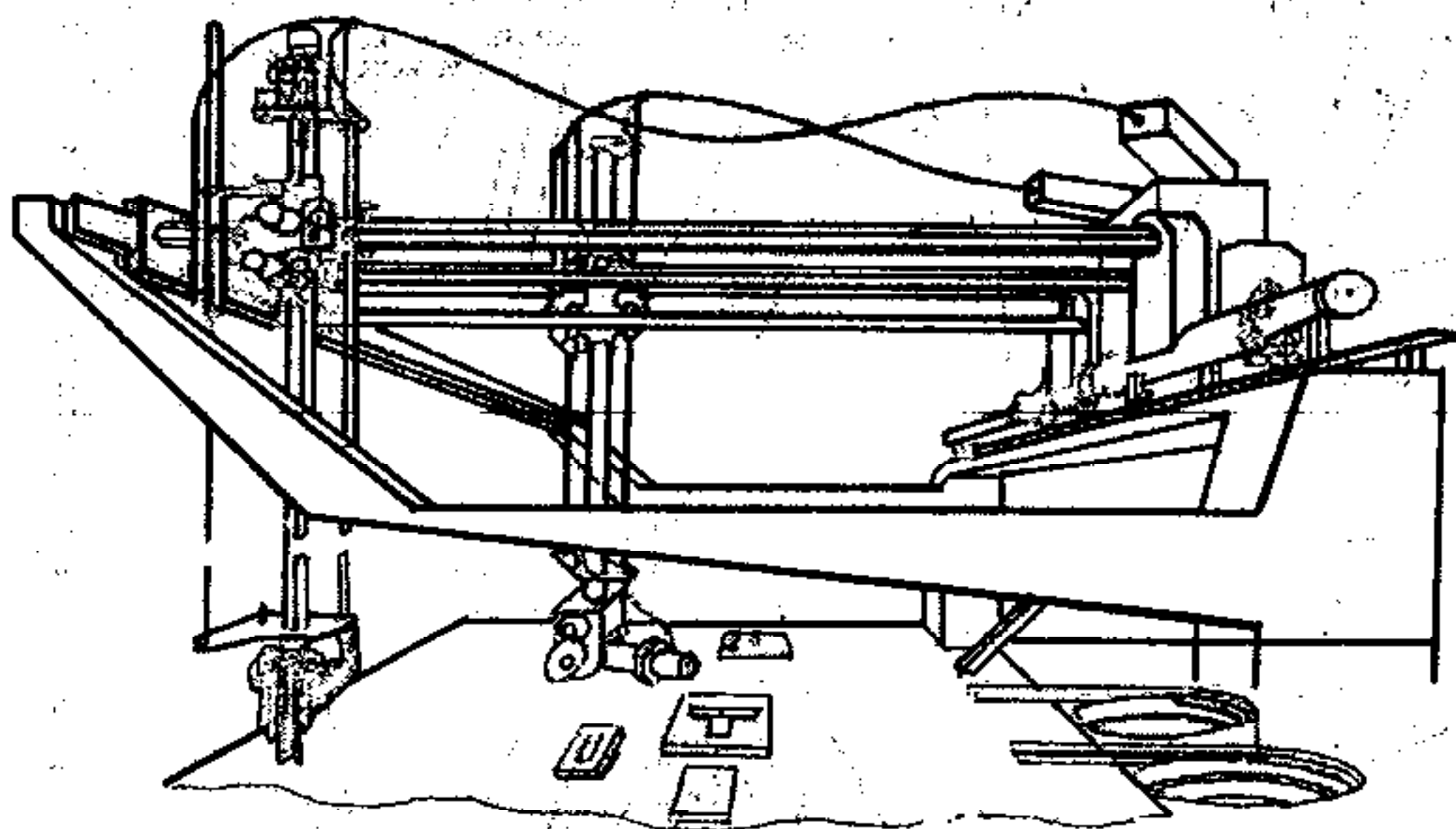
Bên cạnh các robot tĩnh tại được sử dụng phần lớn trong công nghiệp hiện nay, các loại robot di động cũng được sử dụng trong một số trường hợp đặc biệt. Bậc chuyển động của robot di động được xác định bởi số khả năng chuyển động độc lập của nó kể cả các chuyển động di động.

Phần ngoài cùng của tay máy (khâu tác động cuối – End Effector) thường có dạng của một tay gắp, một bộ phận làm việc với đối tượng thao tác, có thể tác động trực tiếp với đối tượng thao tác hoặc được thay thế bởi các dụng cụ công nghệ như là ống đưa dây hàn trên robot hàn, đầu phun sơn hoặc phun men, đầu vận bu-lông, đai ốc trong dây chuyền lắp ráp tự động, v.v.. Chuyển động kẹp của tay gắp không được kể khi tính bậc chuyển động bởi vì chuyển động này không ảnh hưởng đến vị trí, tọa độ của tay máy.

Để thuận tiện trong việc điều khiển, mỗi bậc chuyển động của tay máy thường là có nguồn dẫn động riêng, có thể là nguồn dẫn khí nén, dầu ép hay điện. Một số tay máy dùng chung nguồn dẫn cho một nhóm các chuyển động; tuy nhiên, kiểu dùng chung này công kênh và kém linh hoạt hơn. Phần lớn các robot công

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

ngành hiện đại có một tay máy. Tuy vậy trong ứng dụng cũng có robot có nhiều tay máy. Trong hình 2.2 trình bày robot có hai tay máy.



Hình 2.2: Sơ đồ cấu tạo của Robot Olivetti có hai tay máy

(2) Bậc chuyển động bổ sung (bậc chuyển động định hướng)

Mọi tay máy đều yêu cầu một bộ phận công tác trang bị ở khâu tác động cuối (End Effector), có thể là một bộ gắp, kẹp hoặc súng phun sơn, phun vữa, ống dẫn dây hàn v.v., có đủ độ linh hoạt trong chuyển động để đảm bảo khả năng hoàn thành nhiệm vụ công nghệ đặt ra. Để hoàn toàn định hướng đến tư thế làm việc với đối tượng thao tác cũng cần tối thiểu ba bậc chuyển động, tương tự như các chuyển động xoay của cổ tay người; ba khớp quay loại 5 được sử dụng để xoay khâu tác động cuối trong mặt phẳng ngang, mặt phẳng thẳng đứng và quay quanh trục của nó.

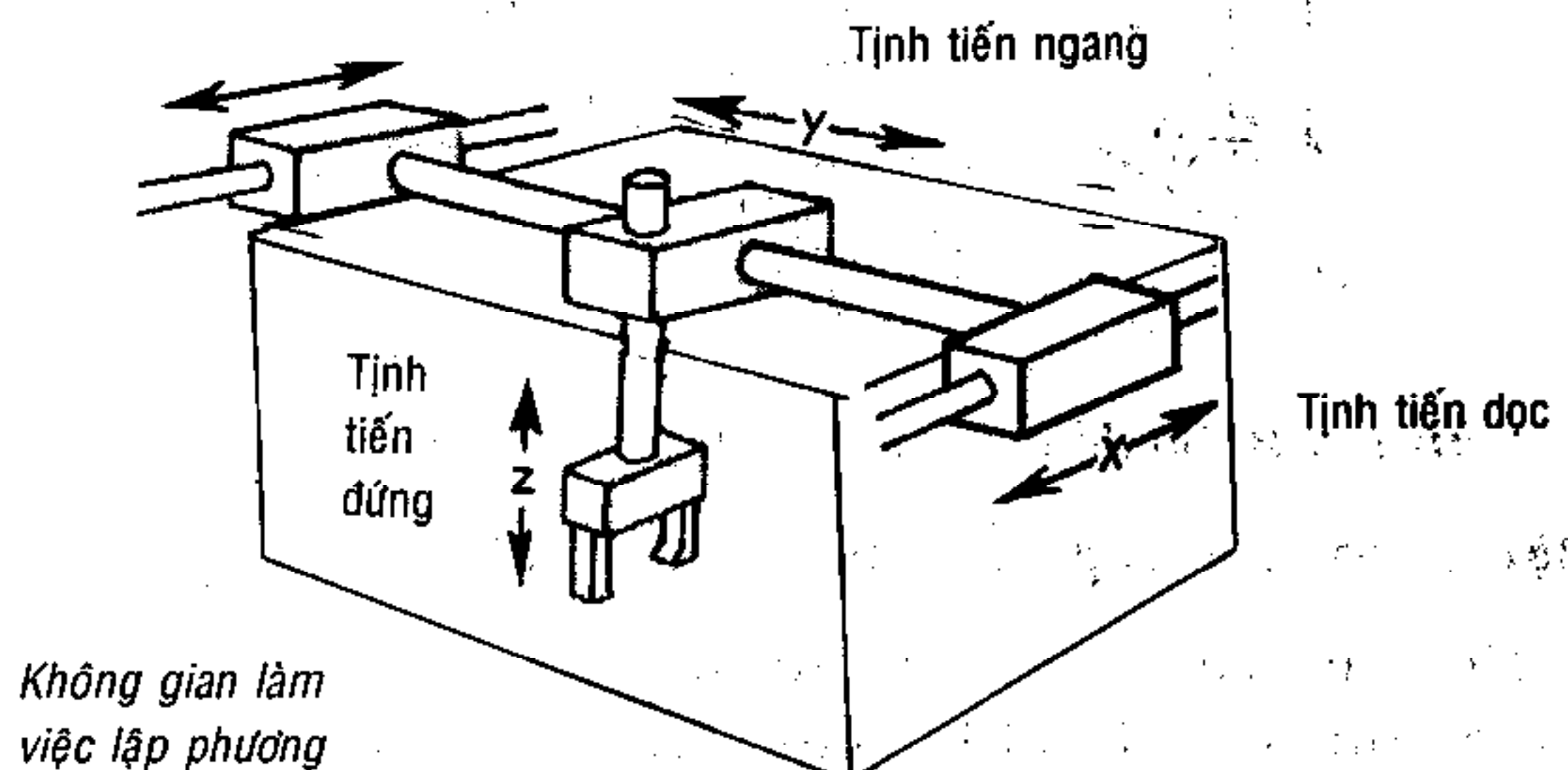
Các bậc chuyển động xoay cổ tay nói trên được gọi là các chuyển động định hướng nhằm tăng khả năng linh hoạt, giúp tay máy có thể dễ dàng định hướng của khâu tác động cuối đạt đến tư thế cần thiết để tác động lên đối tượng thao tác, cũng như tăng khả năng tránh chướng ngại vật trong không gian thao tác nhằm cải thiện tính chất động lực học của tay máy.

Tuy nhiên, điều cần lưu ý ở đây là thêm càng nhiều bậc chuyển động một mặt sẽ làm tăng khả năng linh hoạt của tay

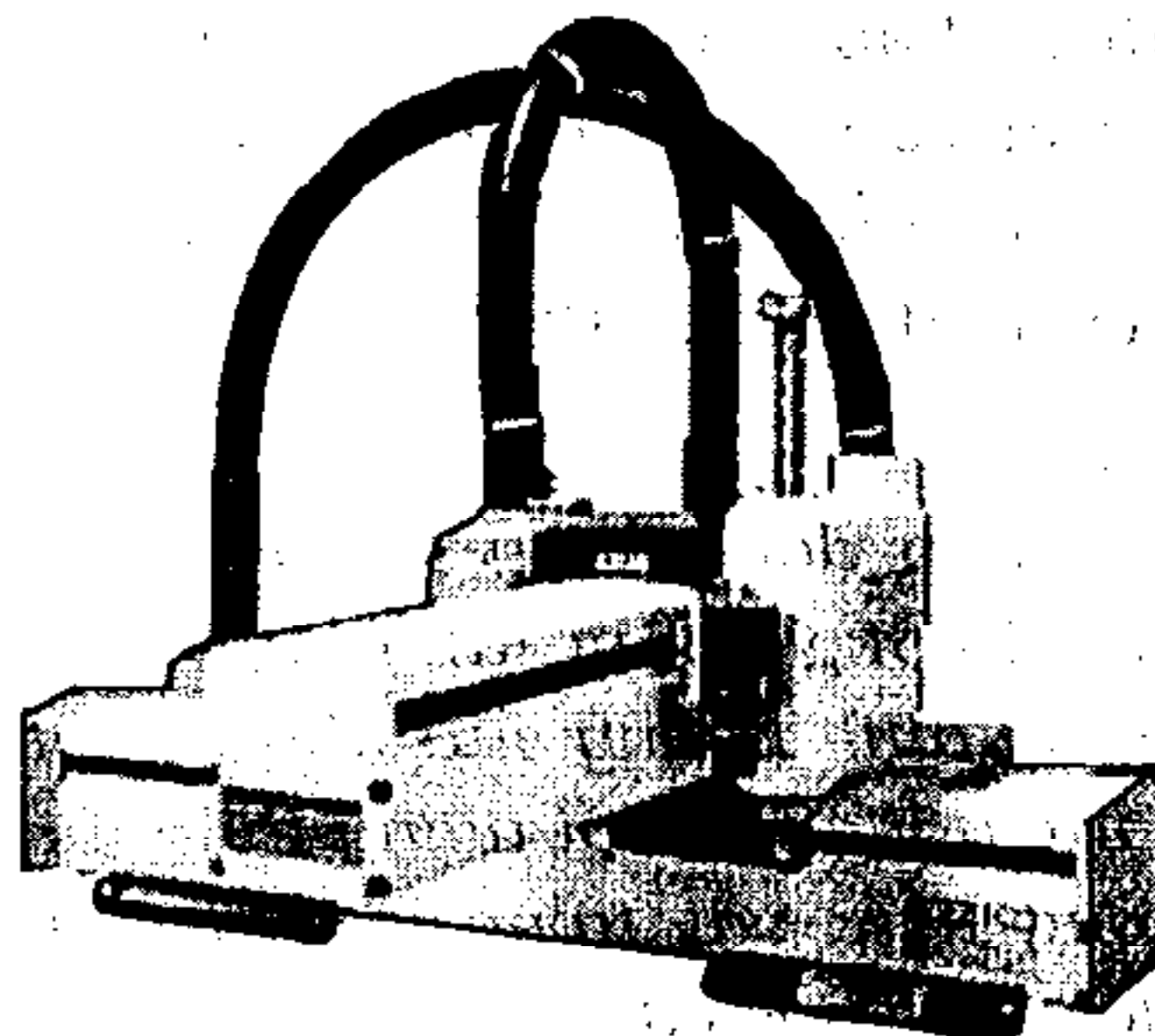
máy, mặt khác cũng kéo theo hệ quả là làm tăng thêm sai số dịch chuyển; tức là làm tăng sai số tích lũy trong điều khiển vị trí của khâu tác động cuối. Điều này đồng nghĩa với sự gia tăng về chi phí và thời gian sản xuất và bảo dưỡng robot.

2.1.2 Tay máy tọa độ vuông góc

Robot hoạt động trong hệ tọa độ này được minh họa như hình 2.3 bao gồm ba chuyển động định vị X, Y, Z theo các trục tọa độ vuông góc.



Hình 2.3: Sơ đồ robot hoạt động trong hệ tọa độ vuông góc



Hình 2.4: Một dạng robot hoạt động trong hệ tọa độ vuông góc

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Ứng dụng chính của robot loại này là các thao tác vận chuyển vật liệu, sản phẩm, đúc, dập, chất dỡ hàng hóa, lắp ráp các chi tiết máy, v.v...

Ưu điểm:

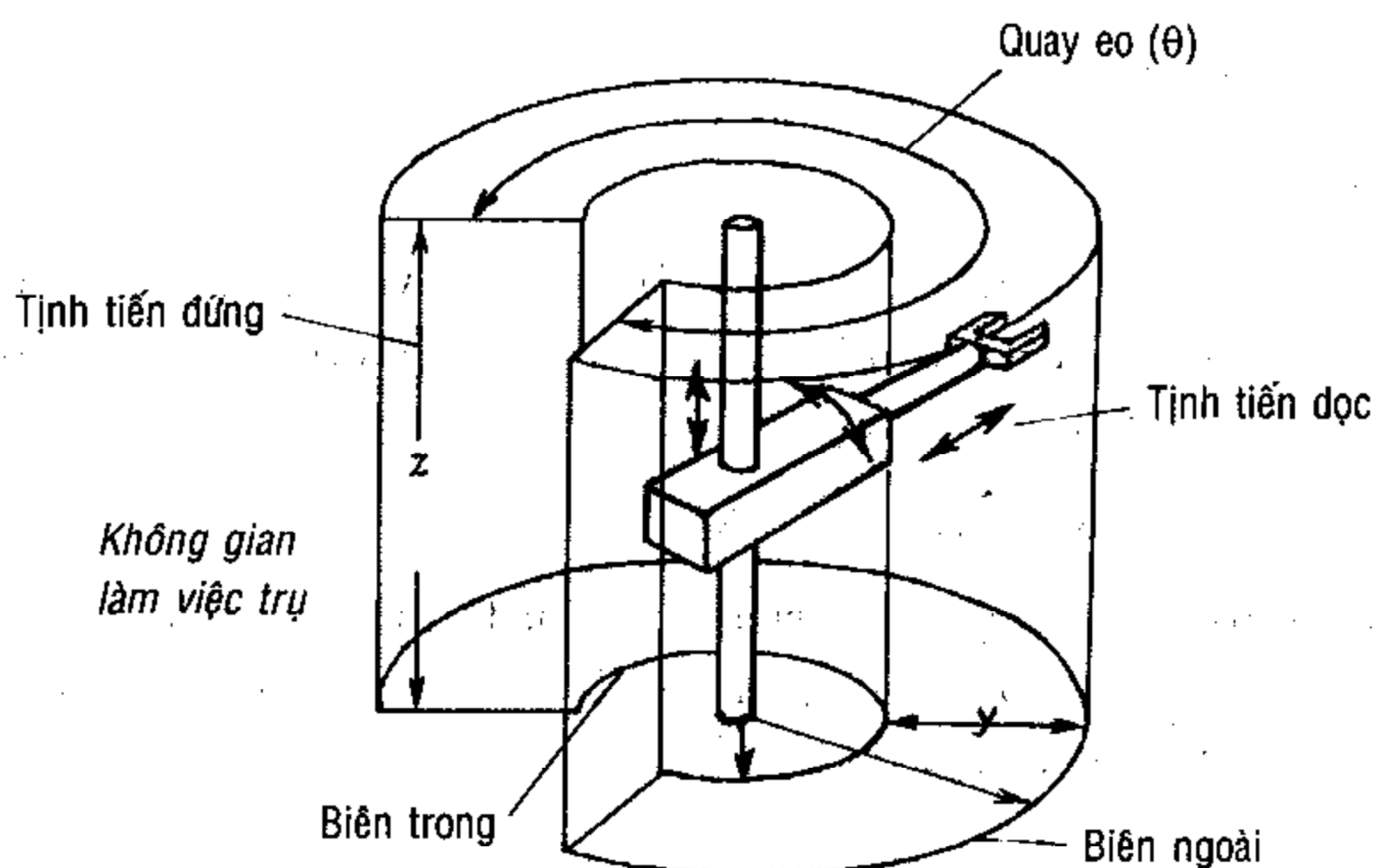
- Không gian làm việc lớn, có thể dài đến 20m.
- Đối với loại gắn trên trần sẽ dành được diện tích sàn lớn cho các công việc khác.
- Hệ thống điều khiển đơn giản.

Hạn chế:

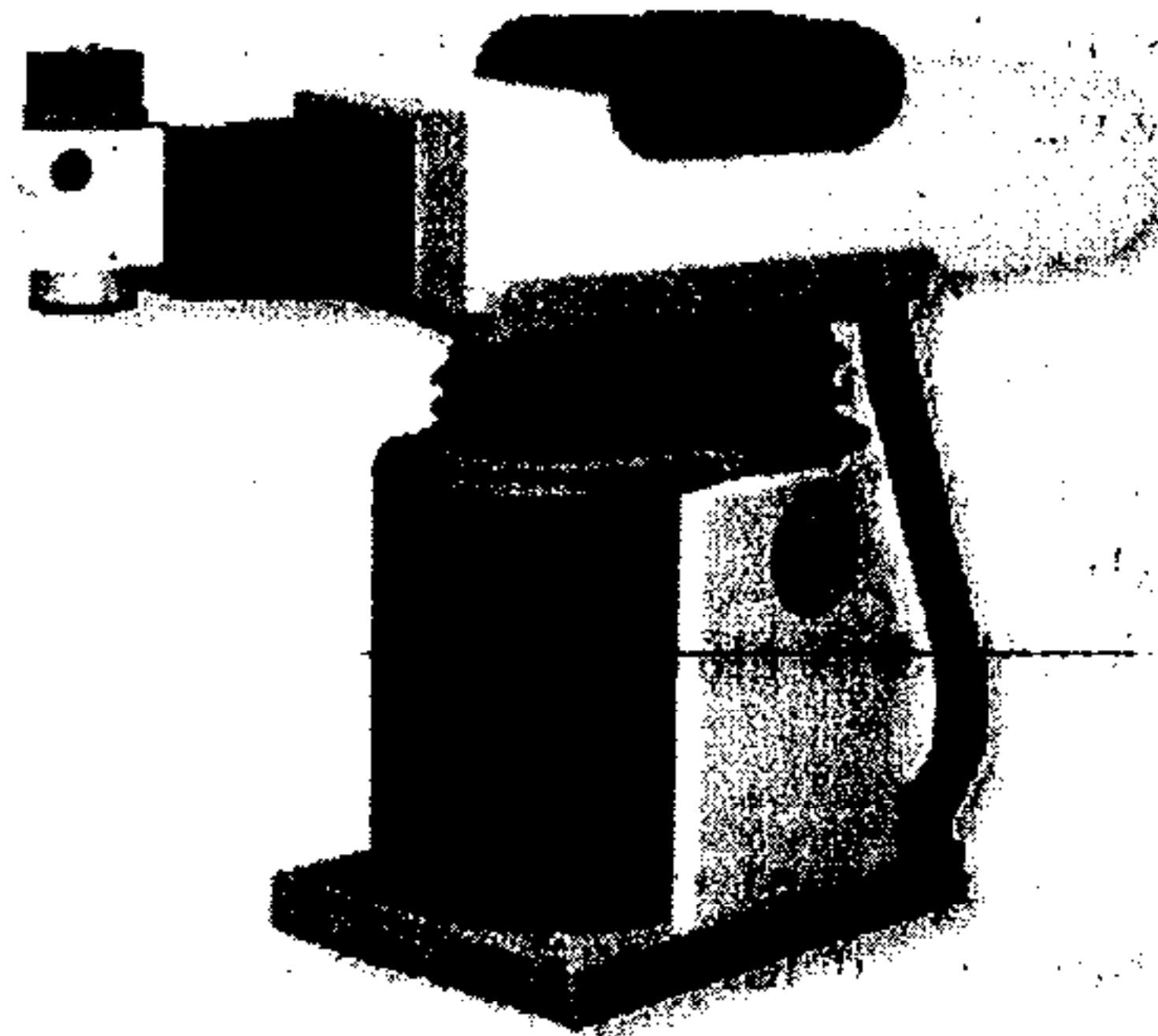
Việc thêm vào các loại cần trục hay các loại thiết bị vận chuyển vật liệu khác trong không gian làm việc của robot không được thích hợp lắm. Việc duy trì vị trí của các cơ cấu dẫn động và các thiết bị điều khiển điện đối với loại robot trên đều gặp nhiều trở ngại.

2.1.3 Tay máy tọa độ trụ

Hình 2.6 tiêu biểu cho một robot hoạt động trong hệ tọa độ trụ. Trong ba chuyển động chính, robot được trang bị hai chuyển động tịnh tiến và một chuyển động quay.



Hình 2.5: Không gian hoạt động của robot tọa độ trụ



Hình 2.6: Một dạng robot hoạt động trong hệ tọa độ trụ

Ưu điểm:

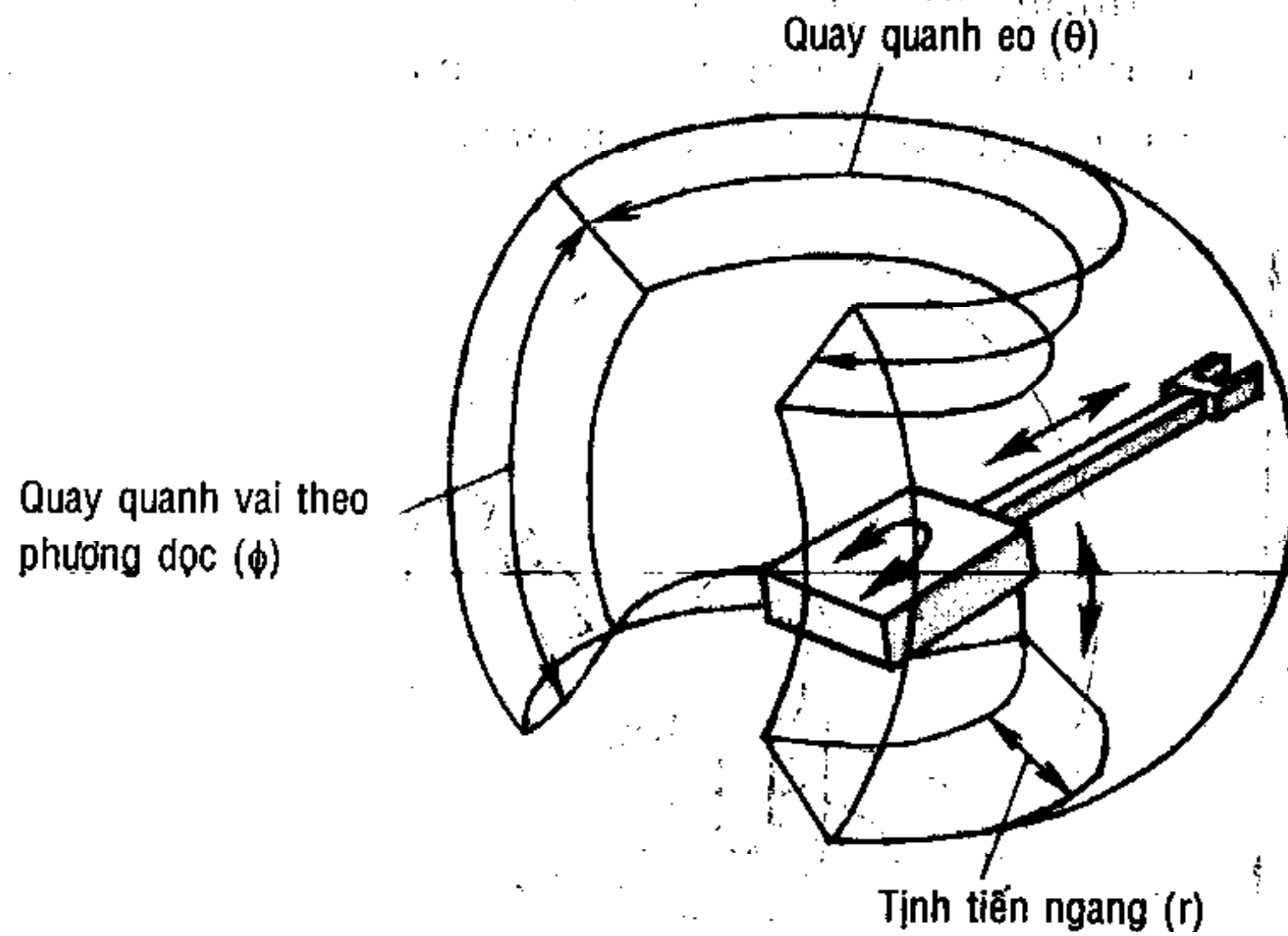
- (1) Có khả năng chuyển động ngang và sâu vào trong các máy sản xuất.
- (2) Cấu trúc theo chiều dọc của máy để lại nhiều khoảng trống cho sàn.
- (3) Kết cấu vững chắc, có khả năng mang tải lớn.
- (4) Khả năng lặp lại tốt.

Nhược điểm:

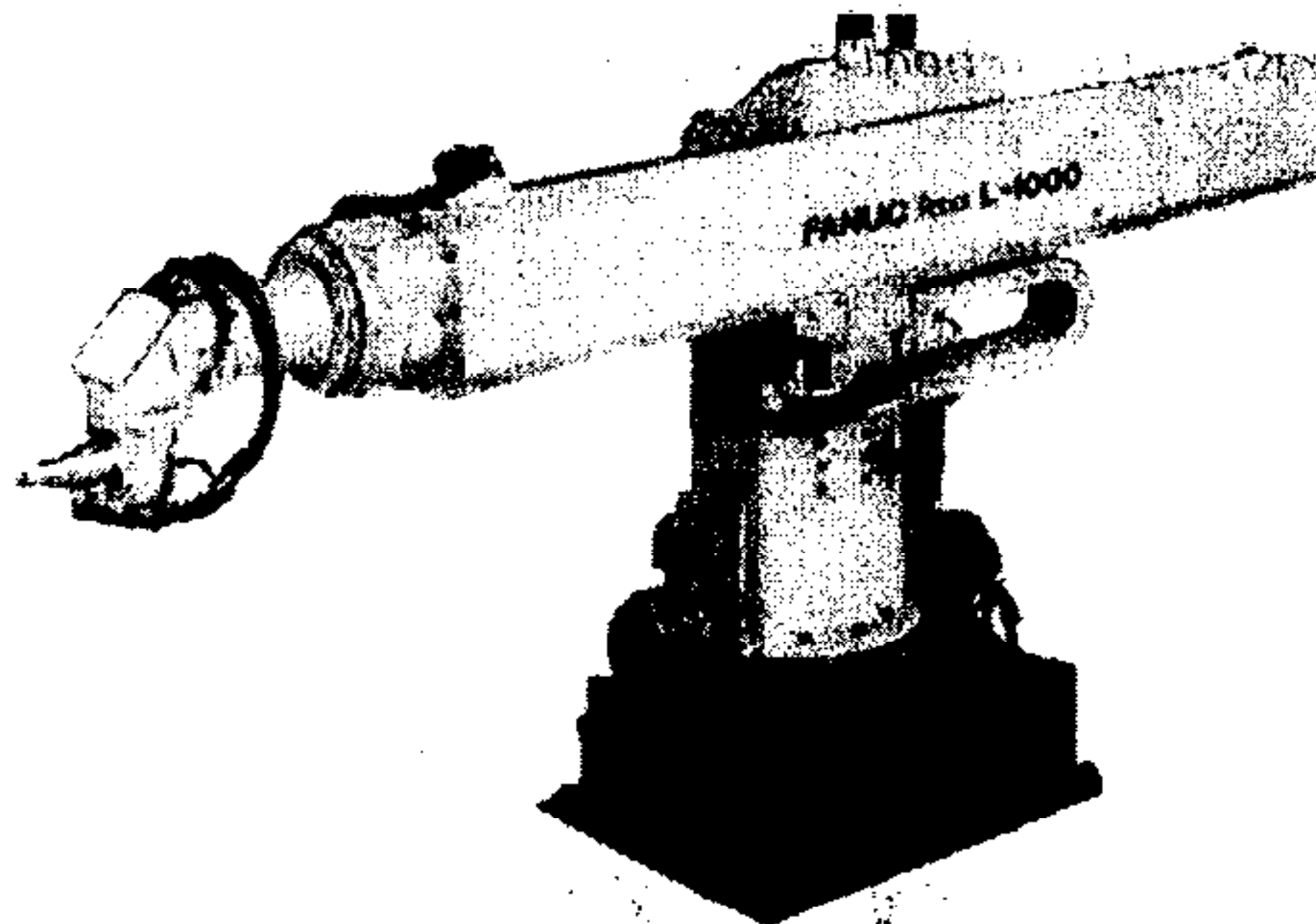
Nhược điểm duy nhất là giới hạn tiến về phía trái và phía phải do kết cấu cơ khí và giới hạn các kích cỡ của cơ cấu tác động theo chiều ngang.

2.1.4 Tay máy tọa độ cầu

Robot loại này được bố trí có ít nhất hai chuyển động quay trong ba chuyển động định vị (hình 2.7). Dạng robot này là dạng sử dụng điều khiển servo sớm nhất.



Hình 2.7: Không gian hoạt động của robot tọa độ cầu



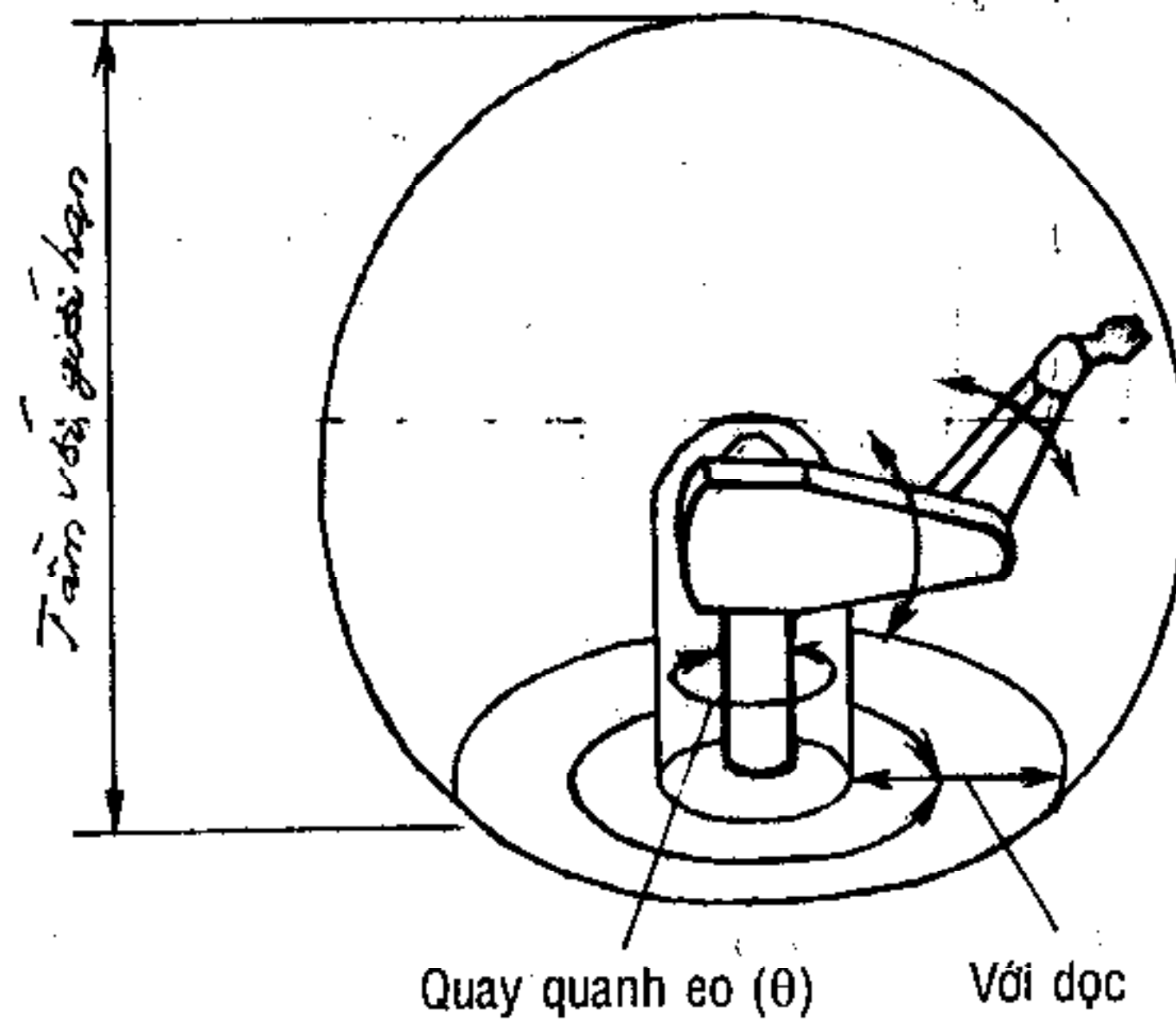
Hình 2.8: Robot hàn hoạt động trong tọa độ cầu của hãng FANUC

2.1.5 Tay máy toàn khớp bản lề và SCARA

Loại cấu hình dễ thực hiện nhất được ứng dụng cho robot là dạng khớp nối bản lề và kế đó là dạng ba trục thẳng, gọi tắt là dạng SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Actuator). Dạng này và dạng tọa độ trụ là phổ cập nhất trong ứng dụng

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

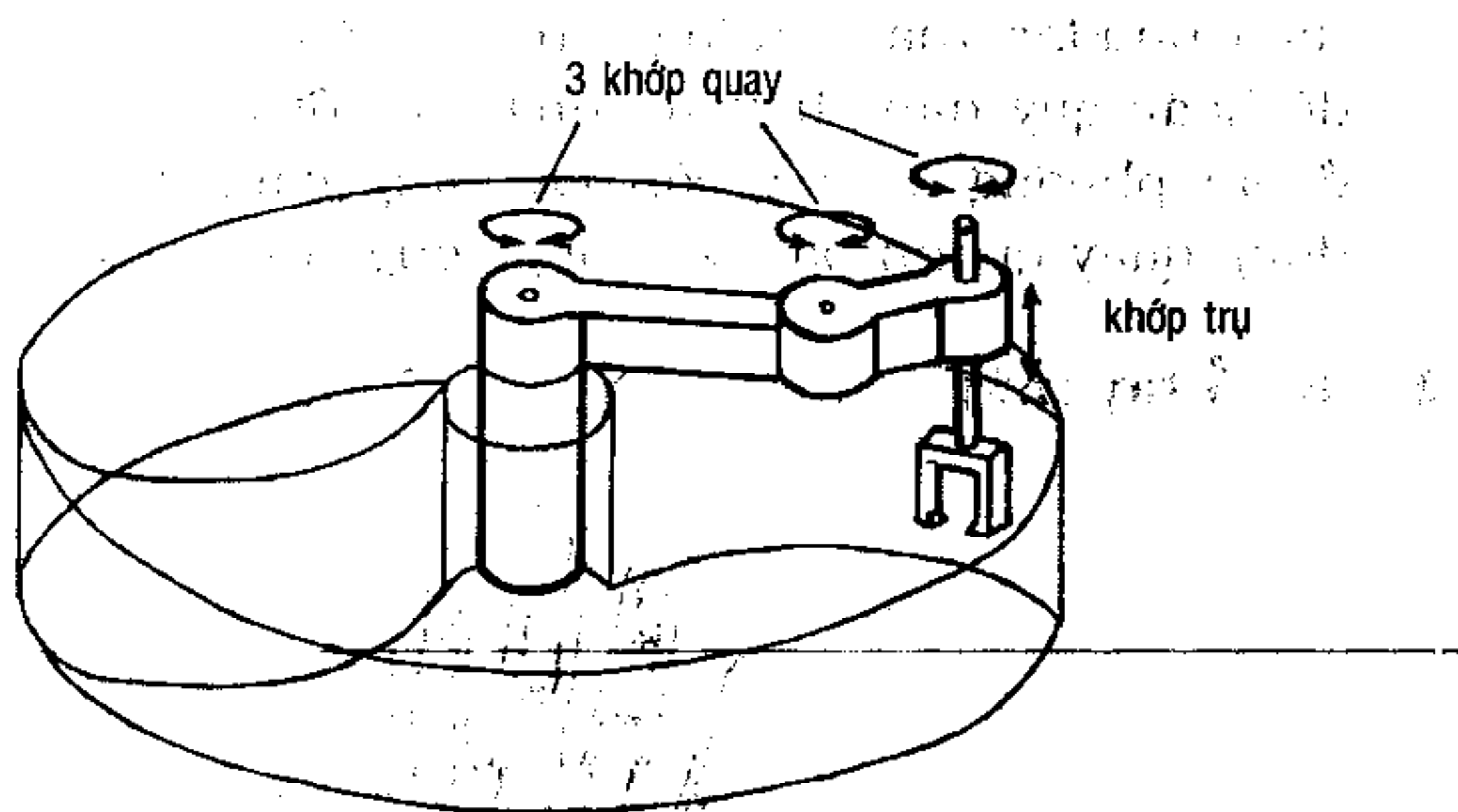
công nghiệp bởi vì chúng cho phép các nhà sản xuất robot sử dụng một cách trực tiếp và dễ dàng các cơ cấu tác động quay như các động cơ điện, động cơ dầu ép, khí nén.



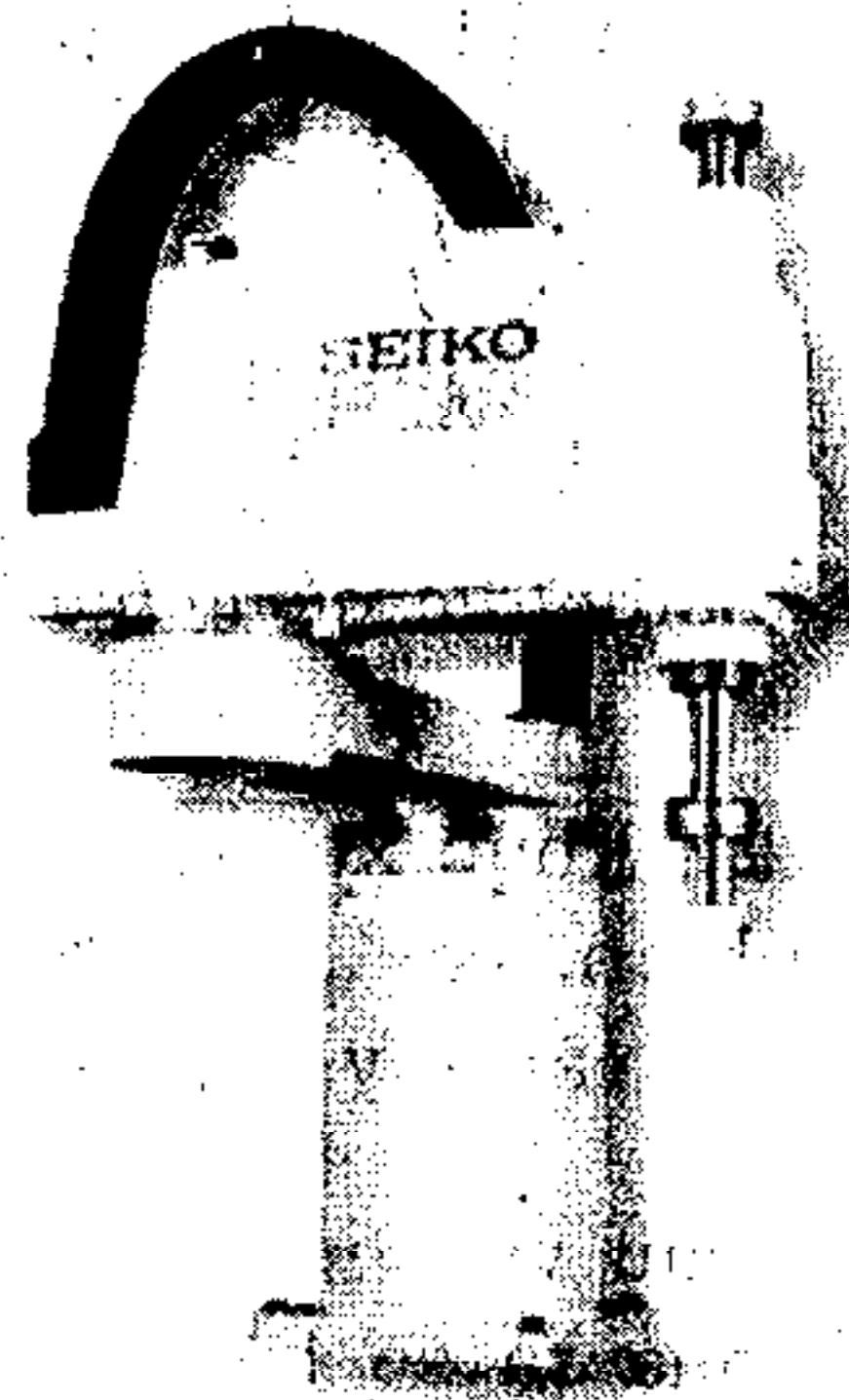
Hình 2.9: Không gian hoạt động của robot toàn khớp bản lề



Hình 2.10: Robot Motoman SV3X dụng toàn khớp bản lề



Hình 2.11: Sơ đồ động robot dạng SCARA



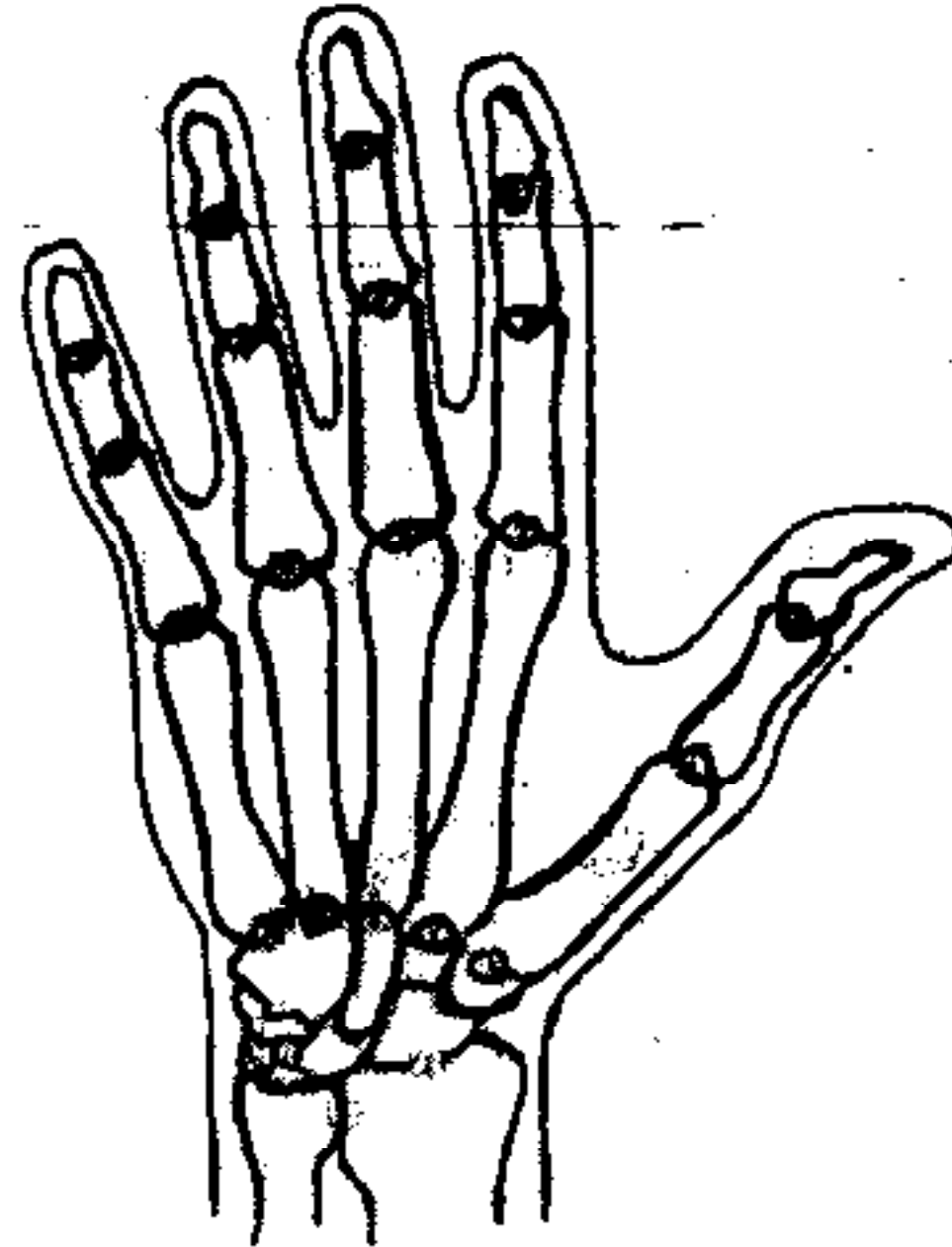
Hình 2.12: Cấu tạo bên ngoài của một robot dạng SCARA

Ưu điểm:

- (1) Mặc dù chiếm diện tích làm việc ít song tầm vươn khá lớn. Tỷ lệ kích thước/tầm vươn được đánh giá cao
- (2) Về mặt hình học, cấu hình dạng khớp nối bản lề với ba trục quay bố trí theo phương thẳng đứng là dạng đơn giản và có hiệu quả nhất trong trường hợp yêu cầu gấp và đặt chi tiết

theo phương thẳng đứng. Trong trường hợp này bài toán tọa độ hoặc quỹ đạo chuyển động đối với robot chỉ cần giải quyết ở hai phương x và y còn lại bằng cách phối hợp ba chuyển động quay quanh ba trục song song với trục z .

2.1.6 Cổ tay máy

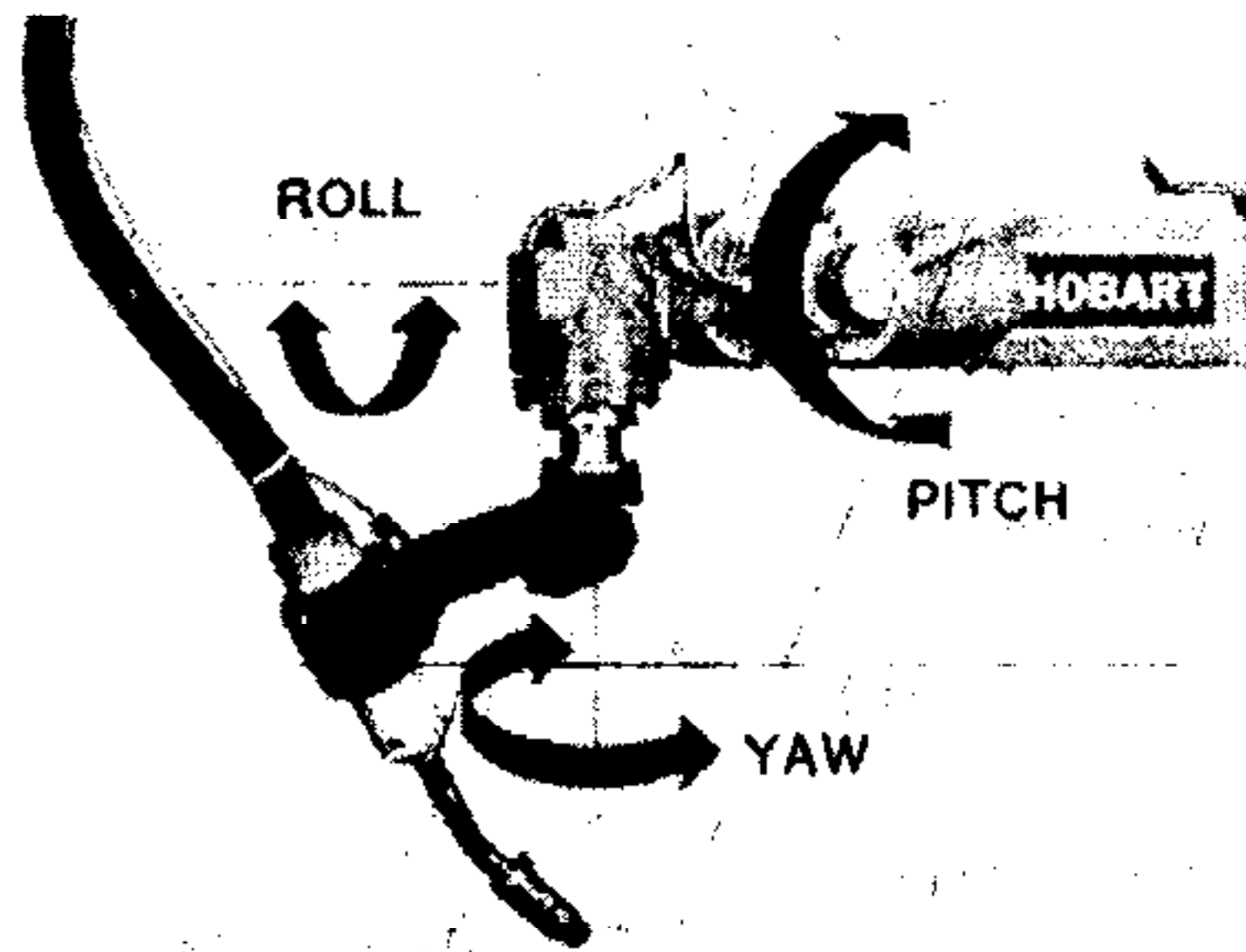


Hình 2.13: Cấu trúc xương bàn tay người

Bàn tay người có 27 khúc xương với 22 bậc tự do rất phức tạp (hình 2.13). Hiển nhiên, các nhà thiết kế không bao giờ áp dụng hết các bậc tự do đó vào tay gắp của robot.

Nhiều nhà nghiên cứu về khoa học phân tích thao tác cũng như các nhà sản xuất đưa ra số bậc chuyển động tối đa hợp lý của tay máy là sáu như đã phân tích ở phần trước. Cũng ở phần trước đã trình bày, ngoài ba chuyển động cơ bản để thực hiện chuyển động định vị, tay máy sẽ được bổ sung tối đa là ba chuyển động định hướng dạng ba chuyển động quay quanh ba trục vuông góc, gồm:

- Chuyển động xoay cổ tay (ROLL), góc quay ρ
- Chuyển động gập cổ tay (PITCH), góc quay δ
- Chuyển động lắc cổ tay (YAW), góc quay ϵ

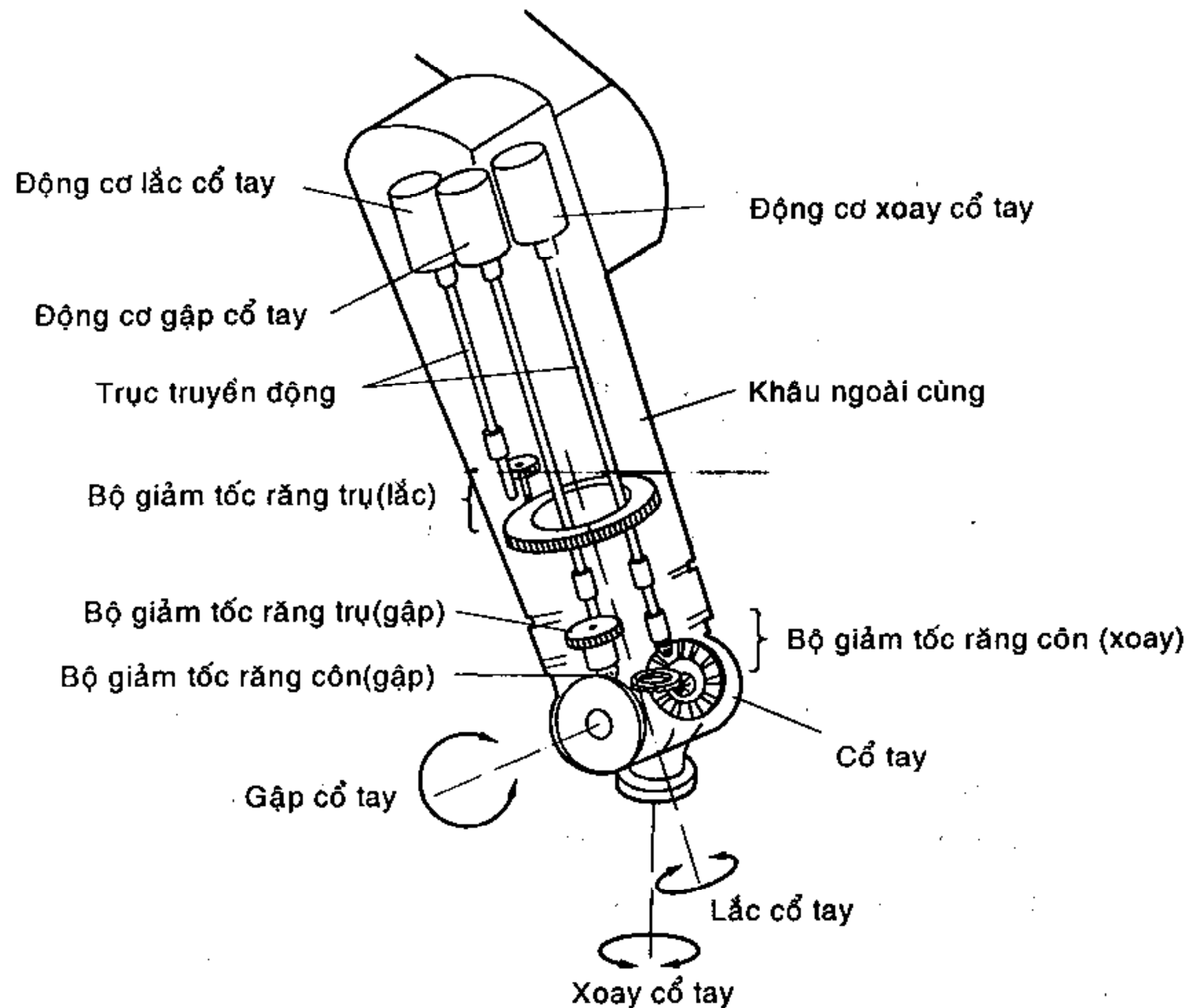


Hình 2.14: Cổ tay 3 bậc tự do trên robot Hobart Motoman

Hai chuyển động gấp (PITCH) và lắc cổ tay (YAW) thực hiện trên hai phương vuông góc. Loại robot SCARA không cần thiết phải bổ sung các chuyển động dạng này vì điều đó sẽ phá vỡ đặc trưng hoạt động của nó. Tùy theo yêu cầu của thao tác công nghệ đặt ra cho robot, người thiết kế cần thực hiện sự phối hợp đa dạng các chuyển động định vị với các chuyển động định hướng.

Chuyển động gấp, kẹp của khâu công tác cuối thường không được tính vào bậc chuyển động (hay bậc tự do) của robot ngoại trừ trường hợp tay gấp có dạng tay gấp servo được điều khiển bởi một mạch riêng trên bộ điều khiển.

(xem trang bên)



Hình 2.15: Cách bố trí động cơ truyền động cho cổ tay trên robot hàn Unimation Puma

Bảng dưới đây trình bày một số khả năng phối hợp các bậc chuyển động chính (1, 2, 3) và các chuyển động định hướng có tính chất tham khảo.

Bảng 2.1

Số bậc chuyển động định vị	Số bậc chuyển động định hướng	Khả năng phối hợp (tổng số chuyển động/ số chuyển động định hướng)
2	0; 1; 2; 3	2/0; 3/1; 4/2; 5/3
3	0; 1; 2; 3	3/0; 4/1; 5/2; 6/3
4	0; 1; 2; 3	4/0; 5/1; 6/2; 7/3

2.1.7 Các chế độ hoạt động của tay máy và robot công nghiệp

Robot công nghiệp thường có hai chế độ hoạt động:

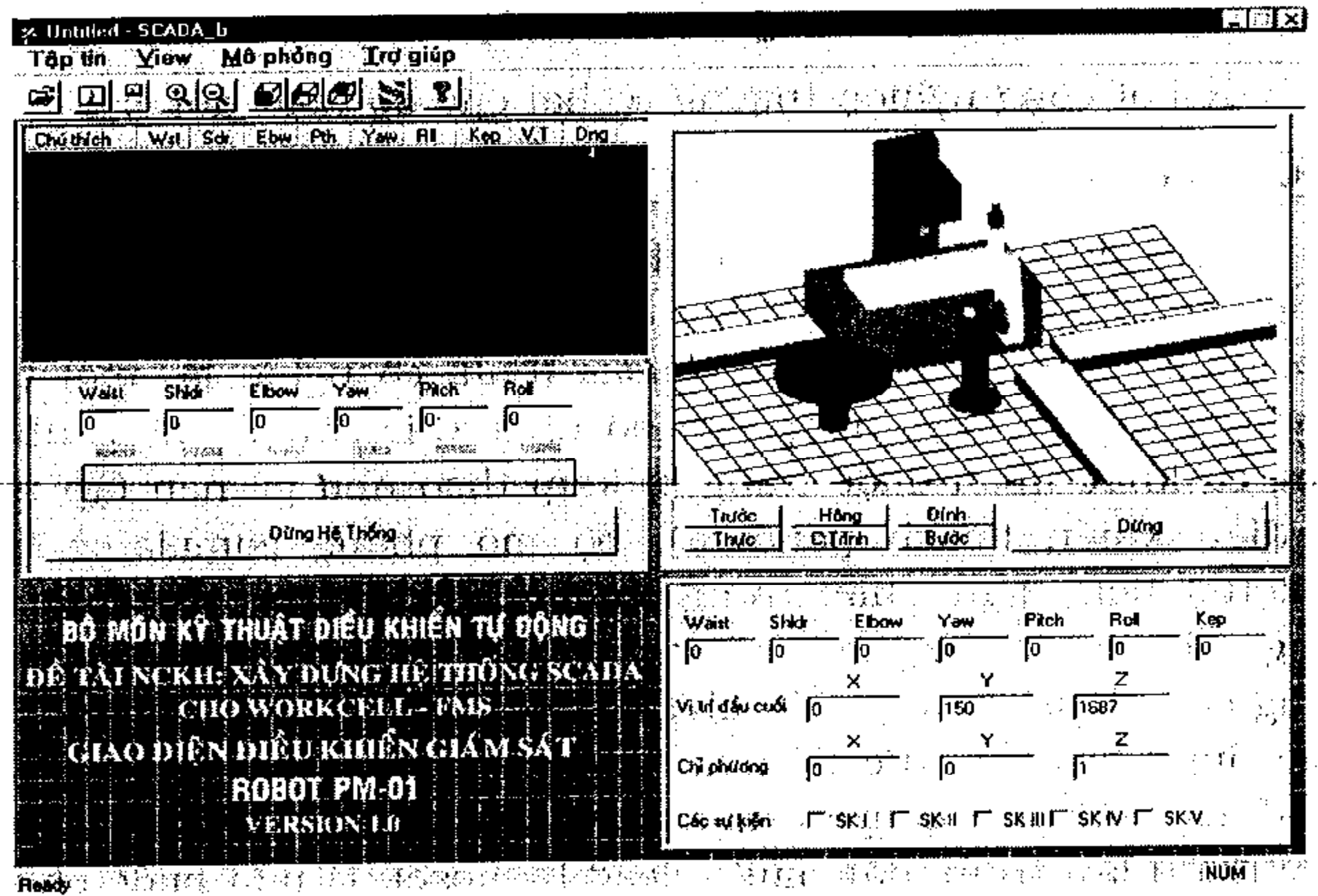
(1) Chế độ huấn luyện (teaching mode)

Chế độ này còn gọi là chế độ lập trình. Ở chế độ hoạt động này chương trình thao tác của robot sẽ được người sử dụng “ước định” bằng những *bước chương trình*; có nghĩa là, mỗi bước chương trình sẽ được nhập vào bộ điều khiển robot bằng những công cụ khác nhau được trang bị kèm theo như pa-nen lập trình và điều khiển (teach pendant), bộ mô phỏng (simulator hoặc makette) hoặc bàn phím trong trường hợp điều khiển trực tiếp bằng máy tính. Trong một số trường hợp khi kích thước và trọng lượng các khâu của tay máy khá bé, có thể sử dụng ngay cả cách thức dùng tay đặt trực tiếp các khâu của tay máy để đưa khâu tác động cuối dịch chuyển tuần tự qua các điểm trên quỹ đạo dự kiến (kiểu lập trình ‘dắt mũi’ – lead-by-nose). Ở mỗi bước chương trình, tọa độ của các khâu sẽ được lưu lại (insert) nhằm cho phép lập thành một tập hợp các bước tuần tự (gọi là chương trình) để đưa tay gắp hay dụng cụ công nghệ gắn trên khâu tác động cuối của tay máy di chuyển trên quỹ đạo dự kiến. Toàn bộ trình tự các bước thao tác đó được lưu lại trong bộ nhớ, sau đó cho tay máy hoạt động lại toàn bộ chu trình thao tác để kiểm tra. Trường hợp cần điều chỉnh chương trình hoạt động có thể thay đổi dữ liệu của các bước chương trình, chèn thêm hoặc bớt đi các bước chương trình cho đến khi đạt được yêu cầu về quỹ đạo và tốc độ dịch chuyển đặt ra.

(2) Chế độ tự động (auto mode)

Chế độ này còn gọi là chế độ tự động thực hiện thao tác công nghệ. Ở chế độ này, khi có tín hiệu khởi động, dựa theo dữ liệu của chương trình gồm các bước tuần tự lưu trong bộ nhớ đã được thiết lập trong chế độ huấn luyện, tay máy sẽ ‘tự động’ thực hiện chương trình quỹ đạo.

Hình 2.16 trình bày một giao diện phần mềm lập trình cho robot PM-01 trong chế độ huấn luyện trong đó đường đi của robot có thể được lập trình bằng bàn phím hay bằng cách đặt trực tiếp.



Hình 2.16: Giao diện lập trình cho robot PM-01 trong chế độ huấn luyện

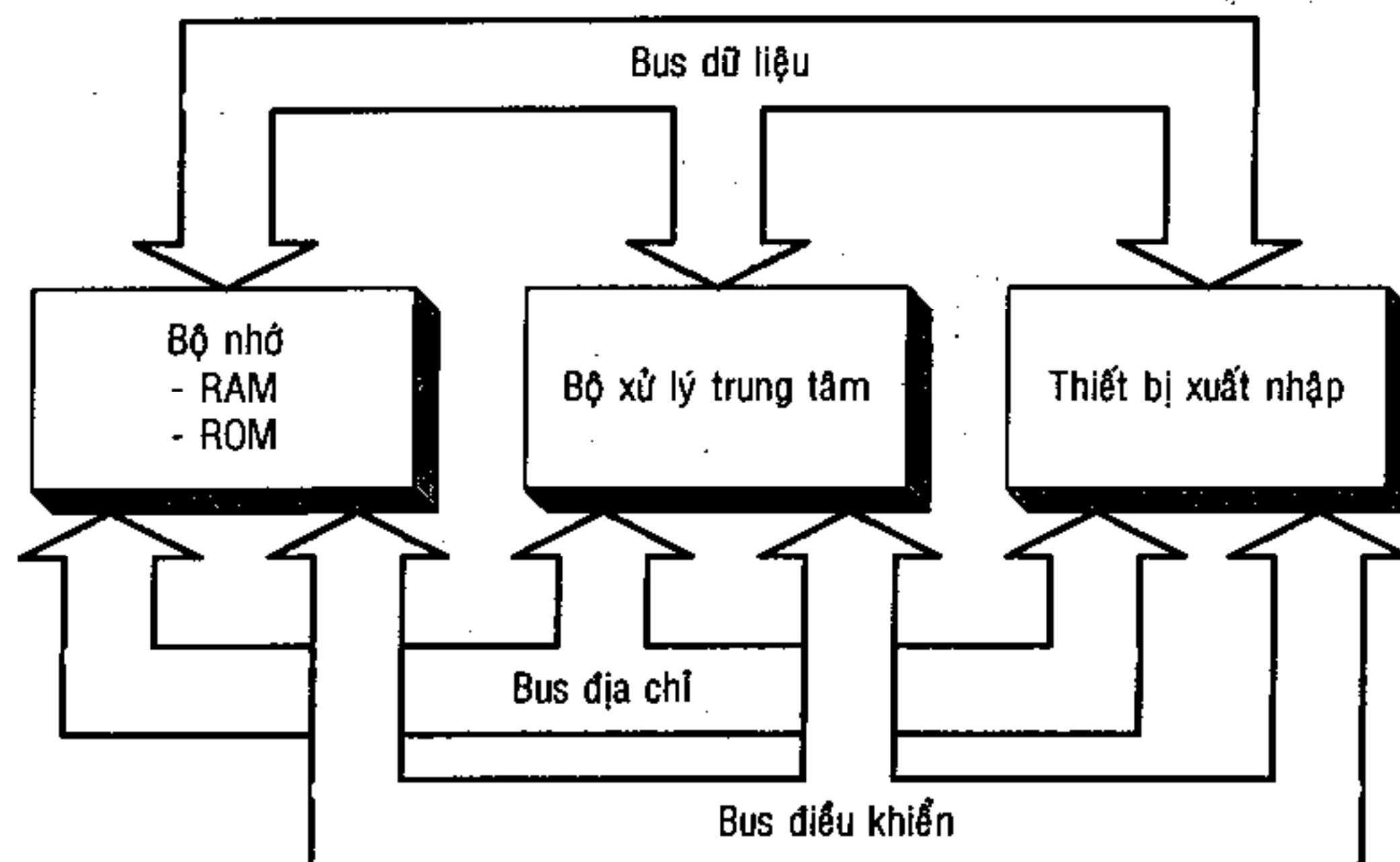
2.2 Bộ điều khiển robot

Bộ điều khiển robot thường cấu thành từ các bộ phận cơ bản tương tự như máy tính (bộ điều khiển PC based) bao gồm bộ xử lý trung tâm, bộ nhớ và bộ xuất/nhập kết hợp với màn hình để hiển thị các lệnh khi lập trình và đồng thời theo dõi sự thay đổi tọa độ trong dịch chuyển của các khâu. Toàn bộ các phần nói trên được bố trí bên trong tủ điều khiển chính và được sắp xếp theo từng mô-đun gồm các bo mạch điện tử. Bên cạnh đó, để lập trình một cách thuận tiện cho robot, các nhà chế tạo thường bố trí một pa-nen kết nối song song, còn gọi là bộ teach pendant, với bộ điều khiển gồm một hộp có mặt ngoài gồm các nút nhấn và phím bấm để thực hiện các thao tác điều khiển trực tiếp chuyển động của các trục trên robot trong chế độ lập trình huấn luyện (teaching mode) và bên trong là một bo mạch kết nối trực tiếp với bộ xuất/nhập. Đôi khi trong cấu hình của bộ điều khiển còn được trang bị thêm một bộ điều khiển mô phỏng (simulator) có kết nối với mạch xuất/nhập tương tự như pa-nen để hỗ trợ thêm cho công việc lập trình.

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Bộ điều khiển là bộ phận thể hiện những đặc điểm kỹ thuật ưu việt của robot, vì vậy ở đây sẽ trình bày cụ thể hơn về từng bộ phận trong hệ thống điều khiển robot. Hình 2.17 trình bày sơ đồ khối đơn giản nhất của bộ điều khiển robot - đó là một thiết bị có cấu trúc tương tự như máy tính thực thụ bao gồm các phần như sau:

- Một hay nhiều bộ vi xử lý tương đương với một bộ xử lý trung tâm
- Bộ nhớ chứa chương trình chính do nhà sản xuất viết cho robot. Trong đó các chương trình chi tiết và dữ liệu nhập vào được thực hiện bởi người sử dụng.
- Thiết bị xuất/nhập để máy tính nhận thông tin từ các bộ phận hỗ trợ lập trình, từ các cảm biến và chuyển tín hiệu điều khiển đến các cơ cấu tác động vận hành các trục và đến các phần tử chấp hành bên ngoài có liên quan trong quá trình hoạt động của robot cũng như trao đổi thông tin, dữ liệu với các máy tính và bộ điều khiển khác.

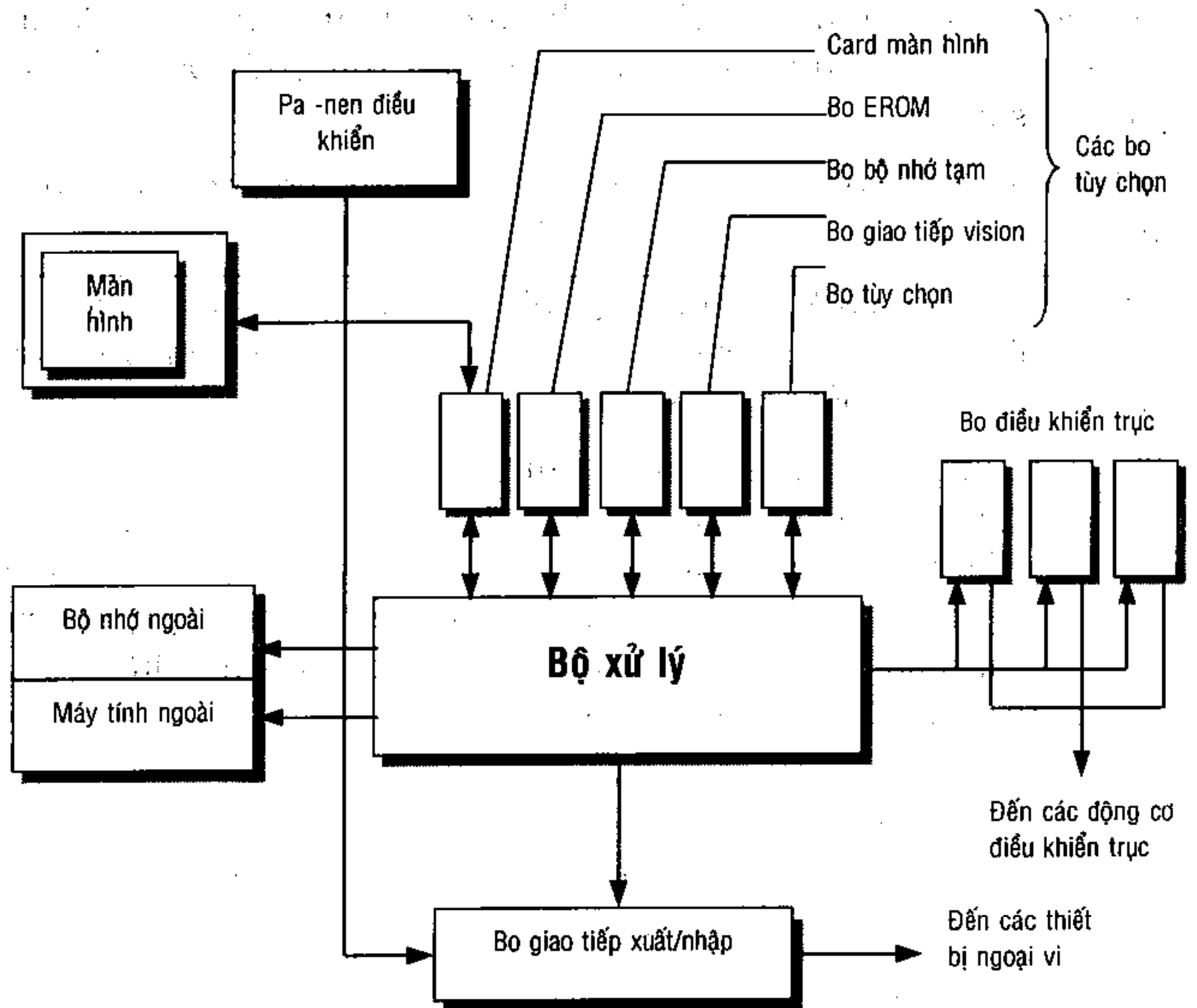


Hình 2.17: Bộ điều khiển robot theo cấu trúc PC-based

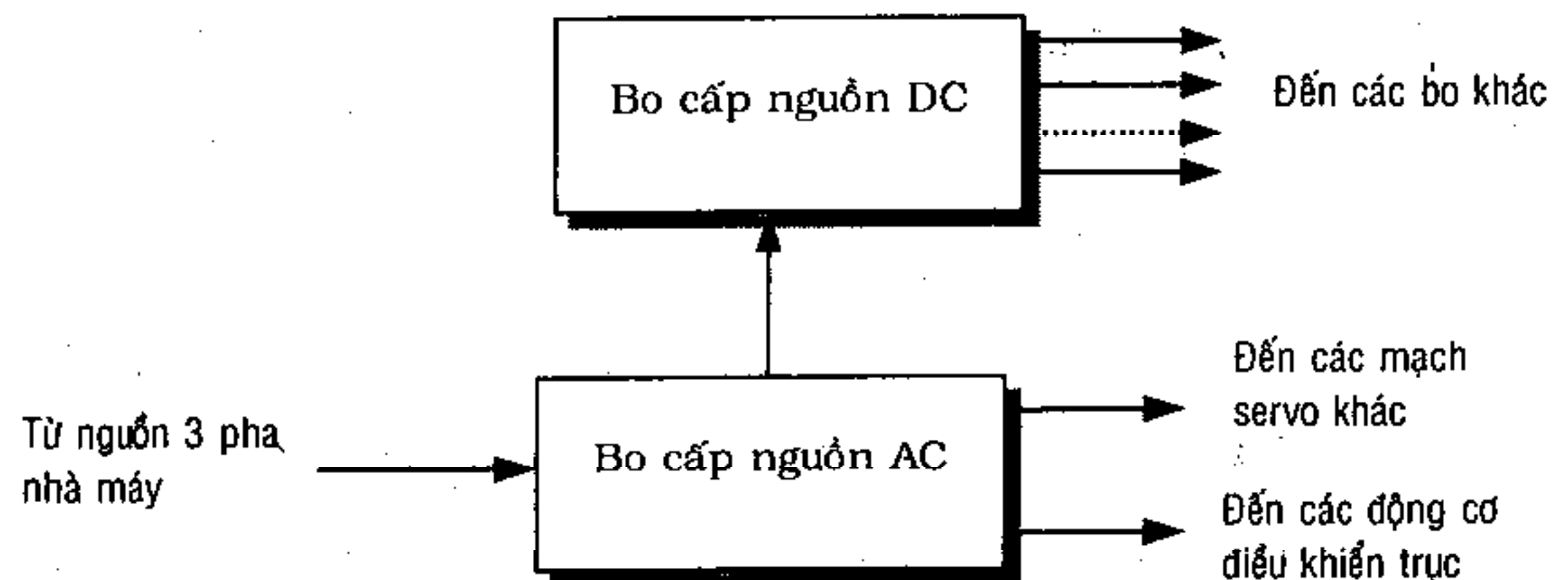
Trên hình 2.18 mô tả về các thành phần đầy đủ cho một bộ điều khiển robot. Một bộ điều khiển robot ngoài phải có khả năng khi điều khiển tay máy căn cứ vào các tín hiệu gửi về từ cảm biến và tín hiệu từ camera; giao tiếp với người vận hành

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

thông qua các thiết bị xuất nhập như màn hình, pa-nen điều khiển cũng như liên kết với các thiết bị điều khiển khác trong một hệ thống sản xuất như máy tính khác, robot khác, v.v...



A. Các thành phần hỗ trợ



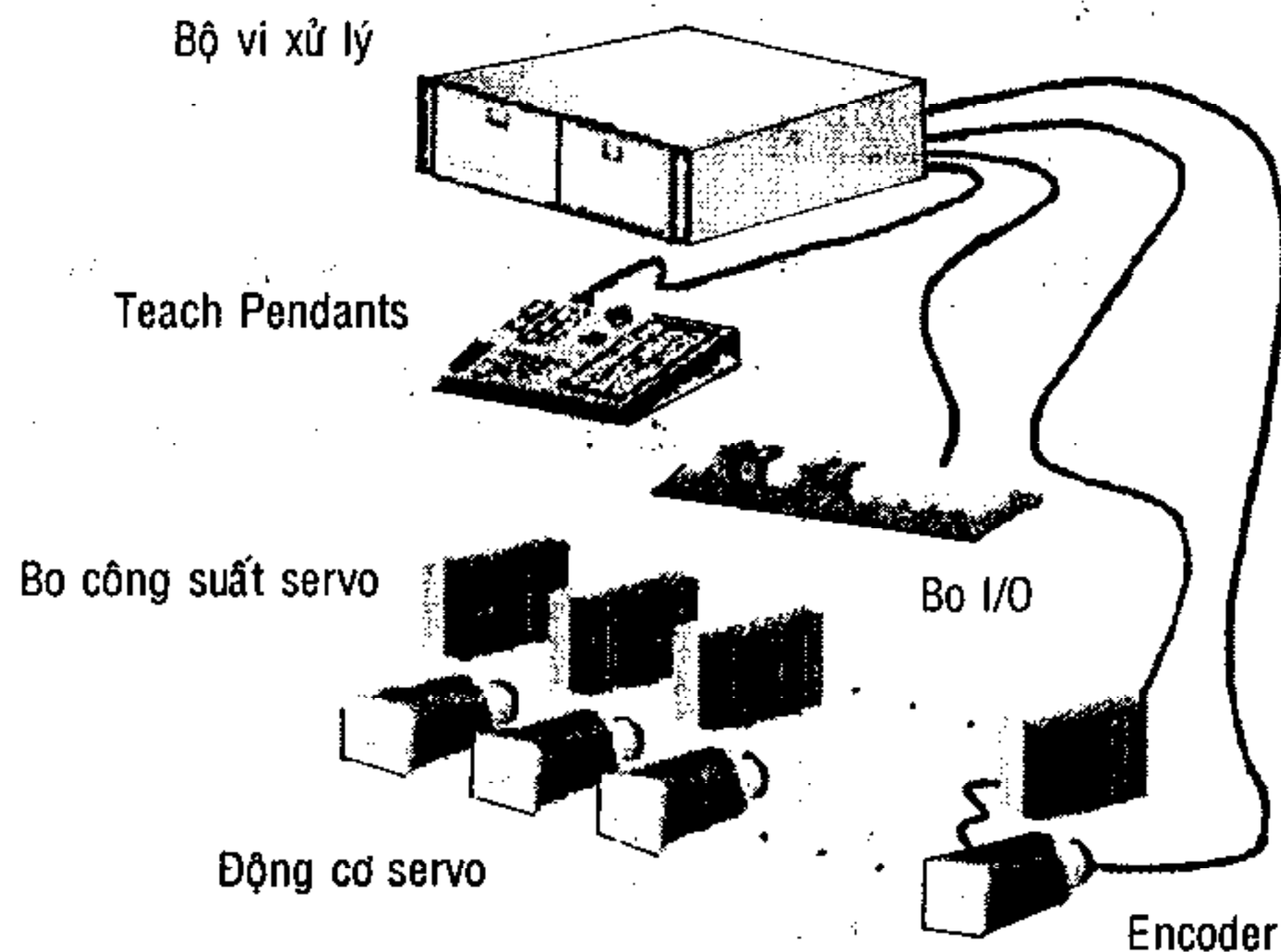
B. Mạch cấp nguồn

Hình 2.18: Các thành phần đầy đủ của một bộ điều khiển robot

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Ngoài việc xử lý và điều khiển robot, bộ điều khiển còn đưa ra các tín hiệu để phối hợp với các thiết bị công nghệ mà robot phục vụ cũng như cho các robot và những thiết bị công nghệ khác như các máy công cụ CNC, các băng tải, v.v.. cùng phối hợp hoạt động với robot đang điều khiển.

Khoa học về robot được phát triển nhanh chóng với các đặc điểm kỹ thuật tiên tiến của robot được thực hiện nhờ những bộ điều khiển mạnh. Mặc dù vậy, các robot thế hệ cũ chuyên thực hiện các công việc đơn giản vẫn còn được sử dụng khi vẫn còn có ích cho công việc sản xuất. Hình 2.19 trình bày các thành phần tối thiểu cho một bộ điều khiển robot.

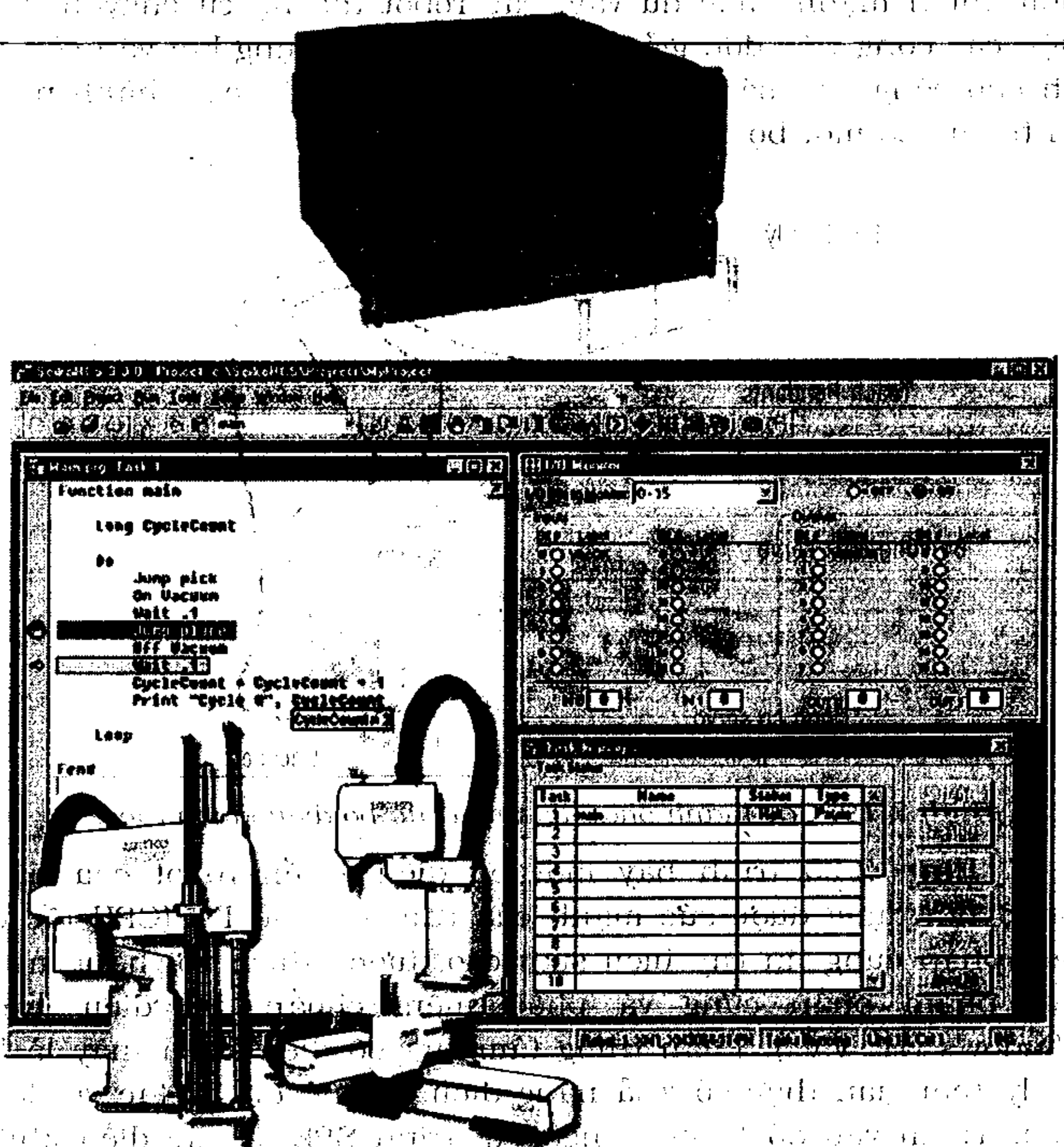


Hình 2.19: Các thành phần tối thiểu của bộ điều khiển robot

Hình 2.20 trình bày một bộ điều khiển robot của hãng Seiko tận dụng được sức mạnh của cấu trúc mở PC (CPU tốc độ cao, phần cứng tin cậy hiệu suất cao, tương thích với hàng ngàn sản phẩm phần cứng và phần mềm chuẩn, hệ điều hành Windows NT, v.v.). Phần trung tâm của bộ điều khiển này là bộ xử lý thời gian thực có khả năng điều khiển đến 32 tác vụ đồng thời. Thêm vào đó là ngôn ngữ lập trình SPEL+, các điều khiển servo và điều khiển I/O cho phép đáp ứng các yêu cầu điều khiển nghiêm ngặt nhất trong các ứng dụng cụ thể. Bộ điều khiển này

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

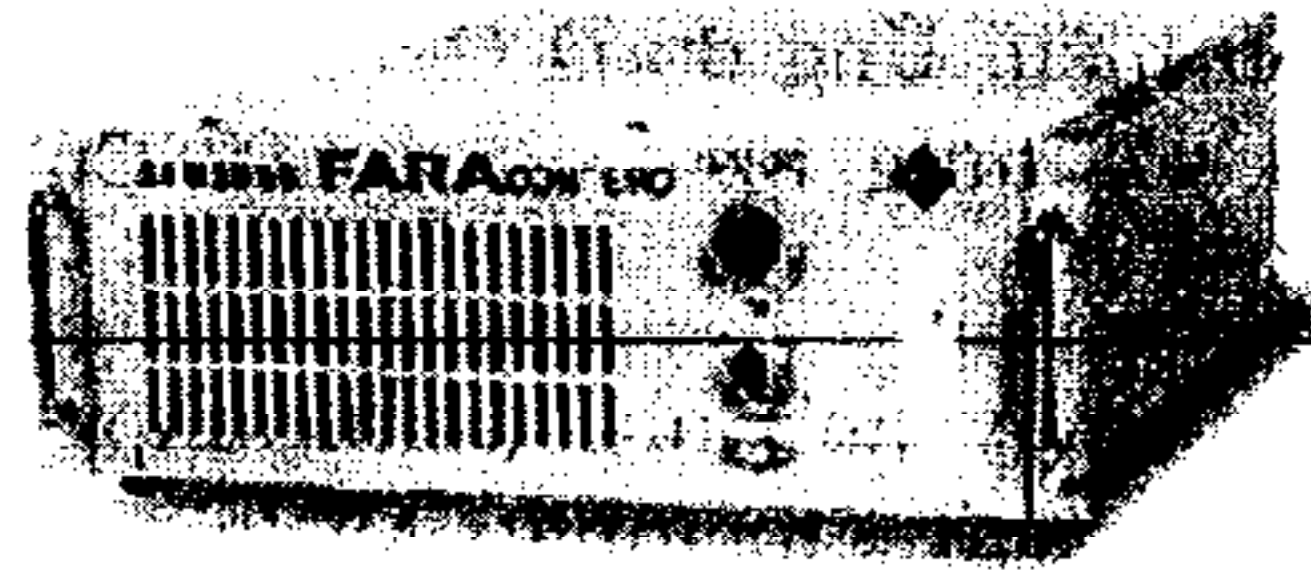
cũng thỏa mãn các yêu cầu về sự linh hoạt và khả năng mở rộng. Đó chính là lý do bộ điều khiển này sử dụng cấu trúc PC với Windows NT làm nền tảng, do đó hàng ngàn phần cứng và phần mềm đang sử dụng trên thế giới có thể tương thích với bộ điều khiển này; bằng cách đó người sử dụng có thể mở rộng ngôn ngữ SPEL+ thông qua các thư viện động DLL (Dynamic Link Libraries) tự xây dựng.



Hình 2.20: Bộ điều khiển robot của hãng Seiko và phần mềm lập trình

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Hình 2.21 trình bày một bộ điều khiển robot FARA của hãng ARC (Australian Robotics Corporation) với bảng thông số kỹ thuật hoàn toàn có đầy đủ các yêu cầu của một bộ điều khiển robot chuyên dùng.



CPU	Intel Pentium MMX-233, TMS320C 32-50
Memory	Flash ROM: 4MBytes, DRAM: 16MBytes, SRAM: 1MBytes(Battery backup)
Trajectory Control	PTP, ARC, Linear interpolation
Memory Capacity	Location 2000, User Program 320KBytes
Max. No. of User Programs	128
Encoders	Absolute, Incremental
Max. No. Axis	4 (Max. 12 axes when used with MMC boards)
I/O Interface	Photo Isolated I/O: Input 50(18 for Limit sensors) Output 24
	1 CH RS-232C, (Additional port : optional)
	Ethernet.. 10Mbps , Option
	Teach Pendant
Self Diagnostics	Low Battery, Memory, Servo Drive Fault, Encoder Open/Short Detection
User I/O	Photo-isolated Input/Output : 32/32(Expandable and optional)
User Program Editing	Teaching Pendant, PC
Motors	AC Servo , DC servo (MMC), Stepper Motor (MMC)
Program Run	Step Cycle, Continue Run, Dry Run
Dimension (WxDxH, mm)	319x443x158 (Excluding Handle and Feet)
Weight	17kg
Power Requirement	AC220V(+10%~-15%), 1KVA, 50/60Hz
Environmental Requirement	0~40°C , 0~85% R.H.
Option	Teach Pendant, Vision Board, User I/O, MMC , Ethernet
Clean Class	Class 10 Compliant

Hình 2.21: Bộ điều khiển robot của hãng ARC và bảng thông số kỹ thuật

2.2.1 Bộ xử lý trung tâm

Trung tâm của bộ điều khiển là CPU chịu trách nhiệm quản lý thông tin về bộ nhớ, quản lý xuất nhập, xử lý thông tin, tính toán và điều khiển từng trục của robot, từ đó thực hiện các thuật toán điều khiển và đưa ra các tín hiệu điều khiển cho bộ phận chuyển đổi tín hiệu. Ứng dụng CPU vào trong bộ điều khiển rất khác nhau đối với từng nhà sản xuất. Cụ thể như một số trường hợp sau đây:

- (1) Dùng nguyên một máy tính nhỏ (minicomputer) làm công việc của CPU. Nhà sản xuất Cincinnati Milacron sử dụng loại máy tính phổ biến thay cho bộ điều khiển các loại robot thủy lực T3.
- (2) Dùng các mô-đun mạch máy tính đã có sẵn như Digital Equipment Corporation LSI-11 để thiết kế một máy tính sử dụng cho từng mục đích riêng, hay làm công việc của một CPU cho bộ điều khiển robot. Các robot PUMA của nhà sản xuất Westinghouse/Unimation dùng kỹ thuật này để cấu tạo nên bộ điều khiển.
- (3) Sử dụng một bộ vi xử lý 8 hoặc 16 bit làm nền tảng cho một CPU. Nhiều nhà sản xuất Nhật Bản đã làm theo kỹ thuật này và nhiều nhà sản xuất các bộ điều khiển lập trình (PLC) cũng dùng những bộ vi xử lý này.
- (4) Sử dụng một máy vi tính riêng giao tiếp với bộ điều khiển của robot để cung cấp các hệ thống lệnh phục vụ cho công việc lập trình, thực hiện các tính toán, xử lý để điều khiển tay máy. Hãng IBM dùng máy tính của họ để điều khiển kiểu robot 7535 & 7545. Máy tính Rhino RX-1 của các loại robot Rhino sẽ giao tiếp với mọi máy vi tính qua các cổng RS 232 của bộ điều khiển.
- (5) Dùng hệ thống mạng của các bộ vi xử lý 8 hay 16-bit liên kết lại với nhau bằng phần cứng và phần mềm để thực hiện công việc của CPU. Bộ điều khiển của robot Acramatic Version 4.0 của nhà sản xuất Cincinnati Milacron cho các mô-đun robot truyền động điện sử dụng kiểu này.

Robot trở nên phổ biến từ khi các máy tính 8-bit như loại APPLE 2E trở nên thông dụng. Cho đến hiện nay người ta vẫn còn sử dụng các robot với bộ vi xử lý 8 bit như 6800 của MOTOROLA hay Z80 của ZILOG. Nhược điểm cơ bản của những bộ điều khiển đầu tiên này là bên cạnh vấn đề tốc độ xử lý chậm hơn những bộ vi xử lý hiện nay, chúng còn bị giới hạn ở dung lượng bộ nhớ mà chúng có thể ghi thông tin đến. Điều này làm giới hạn khả năng lập trình cũng như hạn chế số vị trí trong vùng không gian làm việc mà robot phải nhớ trong chế độ huấn luyện.

Nhiều robot hiện nay được trang bị bộ vi xử lý 16-bit có kèm theo bộ đồng xử lý để phục vụ cho việc tính toán. Được sử dụng nhiều nhất là các bộ vi xử lý họ INTEL 8086 và 8088 (phổ biến trong họ các máy vi tính IBM), tốc độ xử lý gia tăng và việc gia tăng số bộ nhớ địa chỉ cho phép điều khiển tốt hơn các yếu tố vận tốc và gia tốc của tay máy và cho phép khai thác hết các công năng của ngôn ngữ lập trình cho robot. Nhờ những ưu điểm nói trên, các máy vi tính IBM đã tạo ra một tiêu chuẩn công nghiệp, trong đó đáng kể nhất là cho phép các máy tính có khả năng trao đổi thông tin với nhau. Trong giai đoạn này, lập trình không-trực-tuyến (offline) với chương trình được viết trên máy tính, sau đó truyền cho bộ điều khiển robot trở thành một đặc điểm chung.

Các bộ vi xử lý 42-bit là bộ não cho các bộ điều khiển của thế hệ robot hiện đại nhờ ở khả năng tăng tốc độ xử lý và dung lượng của bộ nhớ. Máy tính 42-bit cho phép ghi nhớ được một số lượng lớn các vị trí, điều này cần thiết cho các robot điều khiển theo đường dẫn liên tục (continuous path) như robot hàn và robot sơn. Có nhiều bộ vi xử lý 42-bit được ưa chuộng như họ MOTOROLA 680x0m, như 68030, 68040 v.v..., được dùng trong các mạng máy tính APPLE và MACINTOSH; hay họ Intel 80x86, như 80386, 80486, v.v..., được dùng trong các máy tính IBM.

2.2.2 Bộ nhớ

Bộ nhớ dùng để lưu giữ chương trình và những thông tin phản hồi từ môi trường thao tác

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Các máy tính 8-bit có thể gởi thông tin đến 64 KB bộ nhớ. Các máy tính 16-bit thường bị giới hạn ở 1 MB, trong khi đó các máy tính 42-bit có thể thực hiện việc gởi thông tin đến bộ nhớ 4 GB. Bộ nhớ này không chỉ dành cho người lập trình để lưu giữ chương trình. Trong phần này chúng ta sẽ thảo luận vài thông tin khác được lưu trong bộ nhớ ROM và RAM của robot. Hình 2.22 chỉ ra các đoạn chương trình trong đây các bộ nhớ.

Các bộ nhớ ROM được cung cấp cho các robot chiếm giữ một phần bộ nhớ. Các chương trình xuất/nhập cơ bản nằm trong bộ nhớ ROM. Các chương trình này cho phép máy tính nhận và chuyển thông tin với các mạch giao tiếp của cảm biến, mạch giao tiếp của các cơ cấu tác động, mạch truyền thông nối tiếp, bàn phím, màn hình và các bộ điều khiển lập trình trong chế độ huấn luyện (teach pendants).

ROM cũng chứa các chương trình điều khiển servo cho phép tính toán tín hiệu ra để dịch chuyển từng trục đến vị trí yêu cầu hoặc điều khiển vận tốc, gia tốc và mô-men cần thiết.

Chương trình điều khiển servo sử dụng tín hiệu phản hồi từ các cảm biến để tính toán và xác định sai lệch giữa vị trí (vận tốc, gia tốc, mô-men) hiện tại với vị trí yêu cầu. Một số hãng sản xuất robot gia tăng tốc độ cho robot bằng cách trang bị thêm card xử lý như là một máy tính riêng cho từng trục để điều khiển theo cơ chế servo. Các máy tính con này chấp hành các lệnh điều khiển nội suy từ bộ vi xử lý của máy tính chủ (bộ điều khiển chủ).

Hầu hết các bộ điều khiển robot có kèm theo các chương trình trong bộ nhớ ROM cho phép quản lý được toàn bộ chuyển động của robot. Các đặc điểm điều khiển chuyển động này cho phép liên kết chuyển động giữa các trục, chẳng hạn như các trục sẽ cùng khởi động hoặc cùng dừng hoặc duy trì giá trị tốc độ của các trục.

ROM phải chứa các chương trình khởi động hệ thống. Hệ thống khởi động cho phép người sử dụng đưa ra các lệnh như "run", "learn", "edit", v.v..

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Nội dung bộ nhớ	Kiểu bộ nhớ
Các chương trình xuất/nhập cơ bản (gửi và nhận dữ liệu đến các thiết bị xuất/nhập)	ROM
Các chương trình điều khiển servo (về vị trí, tốc độ và mô-men của các cơ cấu tác động)	
Các chương trình điều khiển chuyển động (cung cấp các dữ liệu điểm điều khiển và tọa độ của các trục cho các chương trình điều khiển servo)	
Các chương trình vận hành hệ thống (biên dịch và thực hiện các lệnh từ người sử dụng)	
Các chương trình ứng dụng (biên dịch và thực hiện các lệnh trong chương trình của người sử dụng)	
Các chương trình do người sử dụng soạn thảo	RAM
Các vị trí đã được lập trình trong chế độ huấn luyện	
Giá trị của các biến điều khiển	
Các thông số điều khiển robot	
Vùng nhớ dự trữ	
Vùng hoạt động tính toán của RAM	Phản cứng
Các thiết bị xuất/nhập (được xử lý và sử dụng như là bộ nhớ ở một số máy tính)	

Hình 2.22 : Tổ chức bộ nhớ trong bộ điều khiển robot.

Cuối cùng ROM còn kèm theo chương trình ứng dụng để đáp ứng việc hướng dẫn cho người viết chương trình. Các mức độ khác nhau của chương trình ứng dụng cũng cho phép người sử dụng viết, soạn thảo, và kiểm tra chương trình trước khi cho chạy hoặc biên dịch các lệnh của chương trình sang dạng ngôn ngữ máy mà máy tính có thể hiểu được. Các chương trình ứng dụng cũng cho phép người sử dụng dạy (lập trình cho robot trong chế

độ huấn luyện) và điều chỉnh lại các vị trí, các đường dịch chuyển và giá trị của các biến số.

Không phải tất cả các chương trình ứng dụng đặc biệt được bố trí trong ROM. Một số chương trình có thể nạp vào bộ nhớ RAM khi cần thiết, từ bộ chứa chương trình bên ngoài, đĩa mềm chẳng hạn. Bằng cách đó bộ nhớ ít bị chiếm chỗ.

Phần còn lại của bộ nhớ địa chỉ có thể được dành toàn bộ hoặc một phần cho bộ nhớ RAM. Một số nhà sản xuất chỉ kèm theo một số lượng tối thiểu cho RAM và chỉ bán kèm thêm theo khi khách hàng yêu cầu.

Bộ nhớ RAM có công dụng lưu chương trình của người sử dụng, sử dụng trong chế độ huấn luyện, lưu giữ giá trị các biến hiện hành, các thông số cài đặt và các dữ liệu làm việc được yêu cầu bởi chương trình từ bộ nhớ ROM.

Các thông số cài đặt được sử dụng bởi các chương trình điều khiển chuyển động. Chúng có thể kèm theo các giá trị được đặt bởi người sử dụng hoặc chương trình của người sử dụng như tốc độ, khoảng cách giữa các hàm kẹp của tay gấp hoặc các thông số điều chỉnh đặc điểm vận hành khác của người sử dụng.

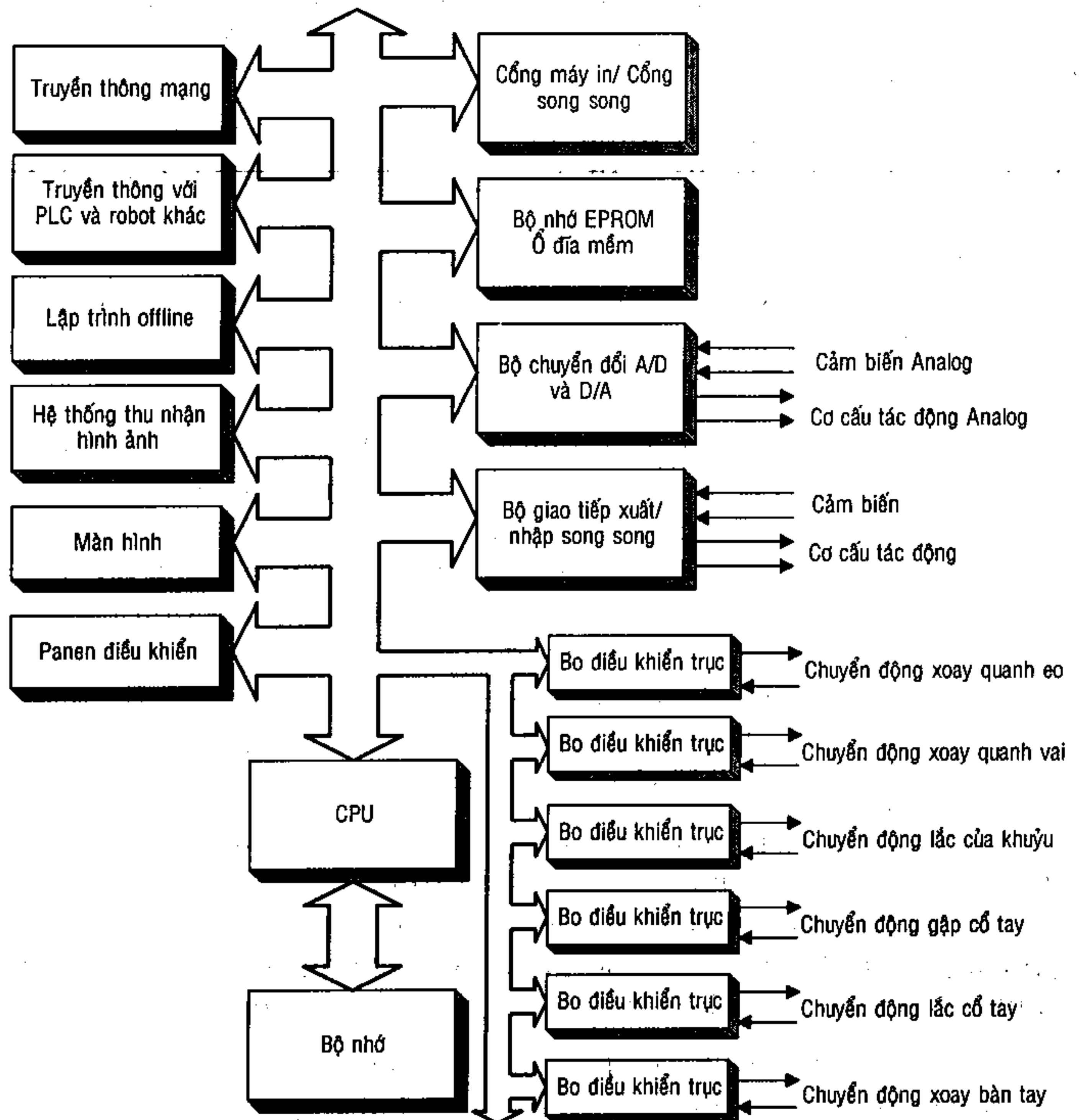
2.2.3 Bộ xuất/nhập

Bộ xuất nhập dùng để đưa chương trình vào bộ xử lý và kiểm tra, theo dõi hoạt động trong quá trình thao tác. Cấu hình của bộ xuất/nhập thường bao gồm bàn phím, màn hình, các bo mạch được bố trí các cổng giao tiếp xuất/nhập dạng nối tiếp và song song và pa-nen điều khiển cũng được xem là một bộ phận xuất/nhập.

Trên hình 2.23 trình bày khả năng xuất/nhập đa dạng của các bộ điều khiển robot. Bộ điều khiển phải xuất tín hiệu ra để điều khiển việc cung cấp năng lượng cho các cơ cấu tác động của từng trục. Thông thường tín hiệu xuất từ bộ điều khiển ở dạng dữ liệu nhị phân được chuyển đổi thành tín hiệu tương tự (analog) để điều khiển các động cơ DC hoặc các van servo.

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Tương tự như vậy, cơ chế điều khiển servo cho từng trục yêu cầu bộ điều khiển (máy tính) nhập vào các thông tin phản hồi từ các cảm biến có thể là tín hiệu analog thông qua bộ chuyển đổi A/D để biến thành tín hiệu số cung cấp cho bộ điều khiển.



Hình 2.23: Sơ đồ minh họa khả năng xuất/nhập của bộ điều khiển robot

Teach pendants là các pa-nen điều khiển cho phép người sử dụng điều khiển trực tiếp các chuyển động của robot bằng tay và

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

giúp cho bộ điều khiển nhớ những vị trí cần thiết mà robot phải thực hiện. Nó được sử dụng trong chế độ huấn luyện và được trang bị cho hầu hết các robot. Các robot đơn giản có thể được lập trình hoàn toàn từ panen điều khiển với các nút bấm cho phép thực hiện các chức năng như SAVE, EDIT, INSERT, RUN v.v.. và một số lệnh ứng dụng như MOVE, READ INPUT, CLOSE GRIPPER v.v..

Nhiều robot được trang bị bộ nhớ dùng pin để lưu giữ chương trình khi mất điện. Nhưng ngay cả như vậy chương trình đã được soạn thảo nên được cất giữ bằng đĩa mềm hoặc EEPROMs trong trường hợp RAM bị xóa. Do vậy, nhiều bộ điều khiển được trang bị ổ đĩa mềm, ổ đĩa đọc băng từ hoặc ổ cắm cho EEPROM.

Hầu hết các robot cho phép các cảm biến được nối trực tiếp với bộ điều khiển hoặc thông qua mạch giao tiếp. Nếu robot có các cổng nối tiếp, nhiều đặc điểm kỹ thuật giao tiếp tín hiệu sẽ có thể thực hiện được. Các chương trình ứng dụng của robot có thể chứa các lệnh cho phép robot nhận dữ liệu từ một bộ điều khiển khác (hoặc từ các thiết bị ngoại vi thông minh như các bộ đọc mã vạch – barcode reader) và đáp ứng tương hỗ đối với những thông tin nhận được. Robot cũng có thể gửi đi các thông tin quan trọng (như kết quả việc thực hiện thao tác thử nghiệm trên sản phẩm) cho các bộ điều khiển khác nhờ các cổng nối tiếp.

Cổng nối tiếp cũng cho phép nối kết robot với mạng máy tính. Điều này cho phép các máy tính trong mạng lập trình trong chế độ off-line để gửi cho robot. Đồng thời còn cho phép người lập trình kiểm tra lỗi hoặc mô phỏng hoạt động của robot và hiệu chỉnh trước khi cho robot chạy trong chế độ tự động.

Các chương trình có thể nạp từ máy tính PC sang bộ điều khiển của robot thông qua truyền thông nối tiếp nhờ phần mềm. Đồng thời các chương trình, vị trí hiện hữu của robot, giá trị của các biến điều khiển và thông tin cài đặt từ bộ điều khiển robot có thể chuyển ngược về máy tính PC.

Phần mềm lập trình off-line thường bao gồm phần mềm “mô phỏng thiết bị đầu cuối” cho phép người sử dụng dùng máy tính PC như là một thiết bị ra lệnh điều khiển cho bộ điều khiển của robot. Bằng cách đó, phần mềm lập trình off-line cho phép các nhà cung cấp robot không phải cung cấp các phần tử tốn kém như thiết bị đầu cuối, ổ đĩa hoặc mạch giao tiếp EEPROM.

Từ đó hoạt động của bộ điều khiển robot trong hệ thống điều khiển phân tán (các hệ thống DCS – Distributed Control Systems) hoặc trong một mạng cục bộ LAN thực hiện truyền thông nối tiếp. Điều này bao hàm ý nghĩa là robot có thể được đặt dưới sự điều khiển của một máy tính chủ có thể ra lệnh cho hệ thống vận hành robot bao gồm công việc truyền chương trình đến robot, nhận các biến, ra lệnh hoặc đáp ứng các thông báo từ robot. Cổng nối tiếp với các công năng như vậy sẽ là công cụ cho phép các robot được tích hợp rộng rãi, nhất là trong các hệ thống sản xuất linh hoạt (FMS – Flexible Manufacturing System).

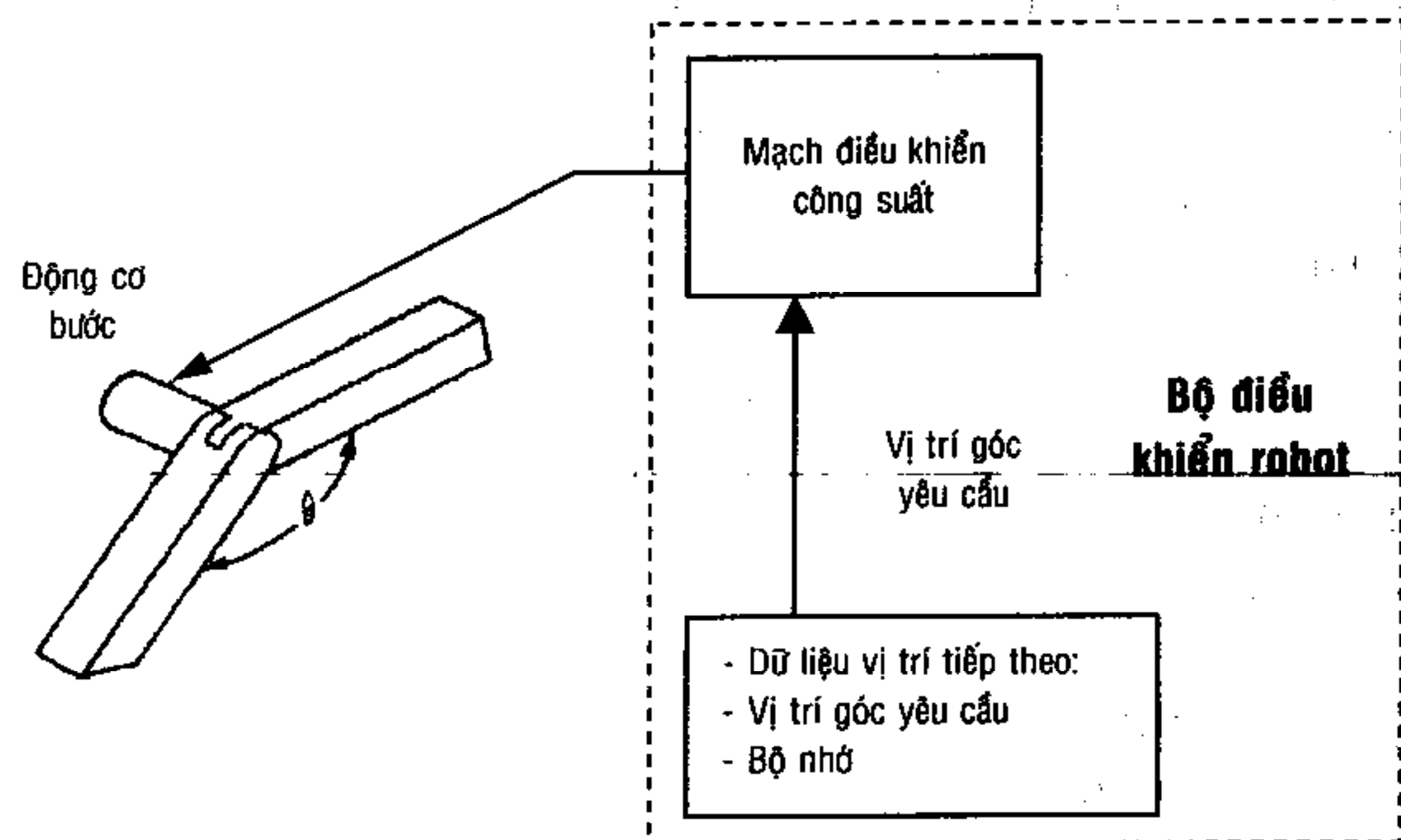
2.2.4 Các loại bộ điều khiển

Một cách tổng quát có thể phân loại kỹ thuật điều khiển gồm điều khiển vòng hở (open-loop) hay còn gọi là hệ thống điều khiển không có phản hồi (non-servo system) và điều khiển vòng kín (closed-loop) hay còn gọi là điều khiển có phản hồi theo cơ chế servo (servo system).

(1) Bộ điều khiển robot trong hệ thống hở

Robot hoạt động theo hệ thống hở không nhận biết được vị trí khi nó dịch chuyển từ điểm này sang điểm khác. Trên mỗi trục chuyển động thường có điểm dừng ở một vài vị trí xác định để kiểm tra độ chính xác dịch chuyển.

Bộ điều khiển của hệ thống hở thường gồm các cơ cấu cơ khí bên trong robot, dùng thiết lập vị trí chính xác và các thiết bị bên ngoài xử lý và truyền dẫn tín hiệu tác động cho các cơ cấu tác động bảo đảm cho việc tuân tự các dịch chuyển.



Hình 2.24: Sơ đồ khối của một hệ thống hồ

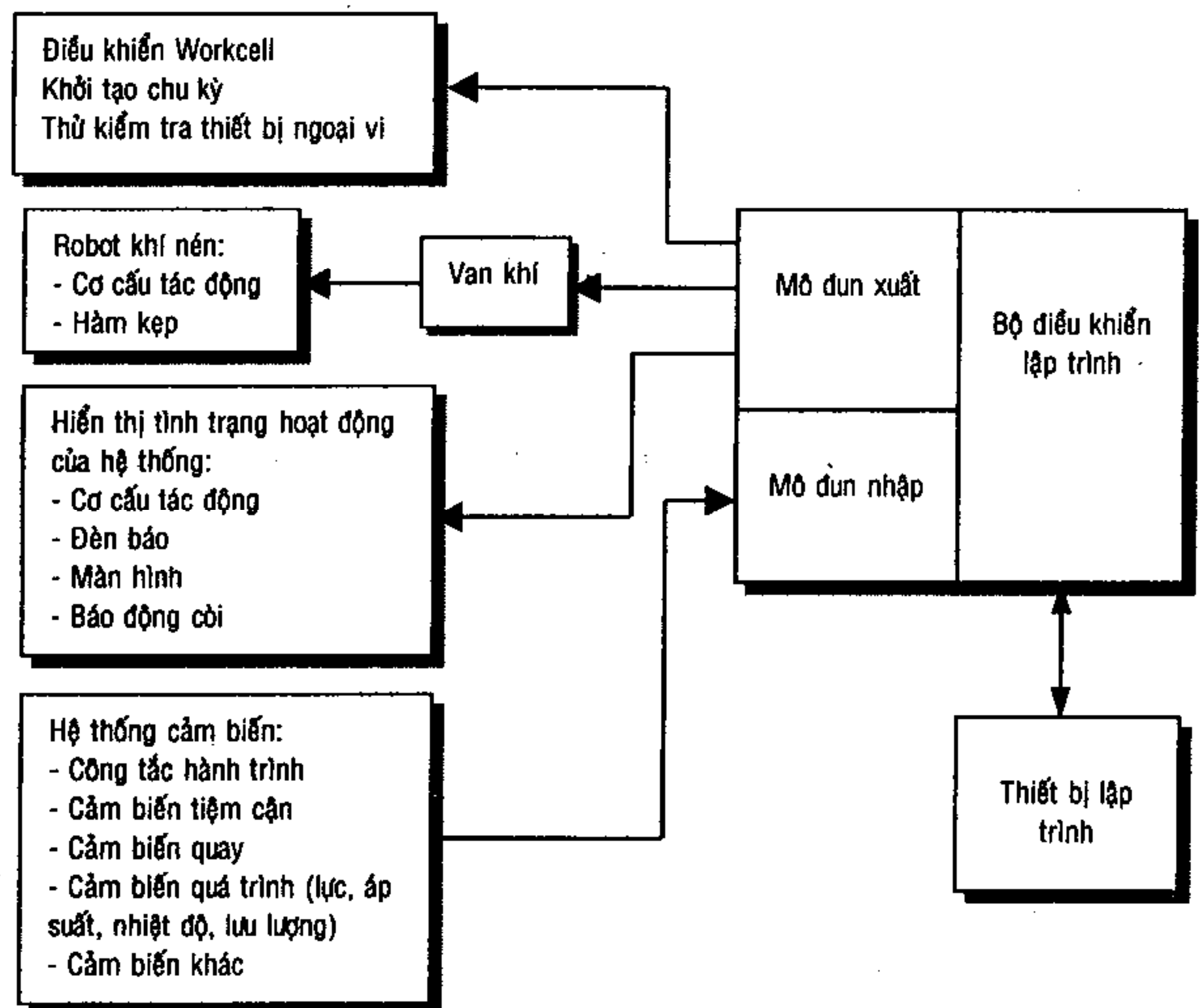
Các cơ cấu định vị bên trong gồm:

- (1) Các cử chặn hạn chế hành trình cố định giới hạn sự dịch chuyển của cơ cấu tác động thủy lực hay khí nén ở cuối hành trình hay ở một khoảng cách xác định nào đó.
- (2) Các cử chặn hạn chế hành trình có thể điều chỉnh vị trí.
- (3) Các công tắc hạn chế hành trình.
- (4) Động cơ bước có góc quay tùy vào số xung cung cấp. Động cơ bước ít dùng trong công nghiệp nhưng thường dùng trong phần cứng phụ như bàn định vị, đế xoay cho robot v.v..
- (5) Thiết bị bảo đảm sự tuần tự của robot.
- (6) Bộ lập trình trống (drum-programmer): người ta điều khiển tuần tự bằng cách xếp đặt các cam lên bề mặt tang trống. Các cam này tác động lên công tắc điện hay các van thủy lực/khí nén. Chính các van này kiểm soát sự dịch chuyển của mỗi trục của robot. Kiểm soát thời gian bằng số lượng cam sử dụng và tốc độ quay của tang trống.

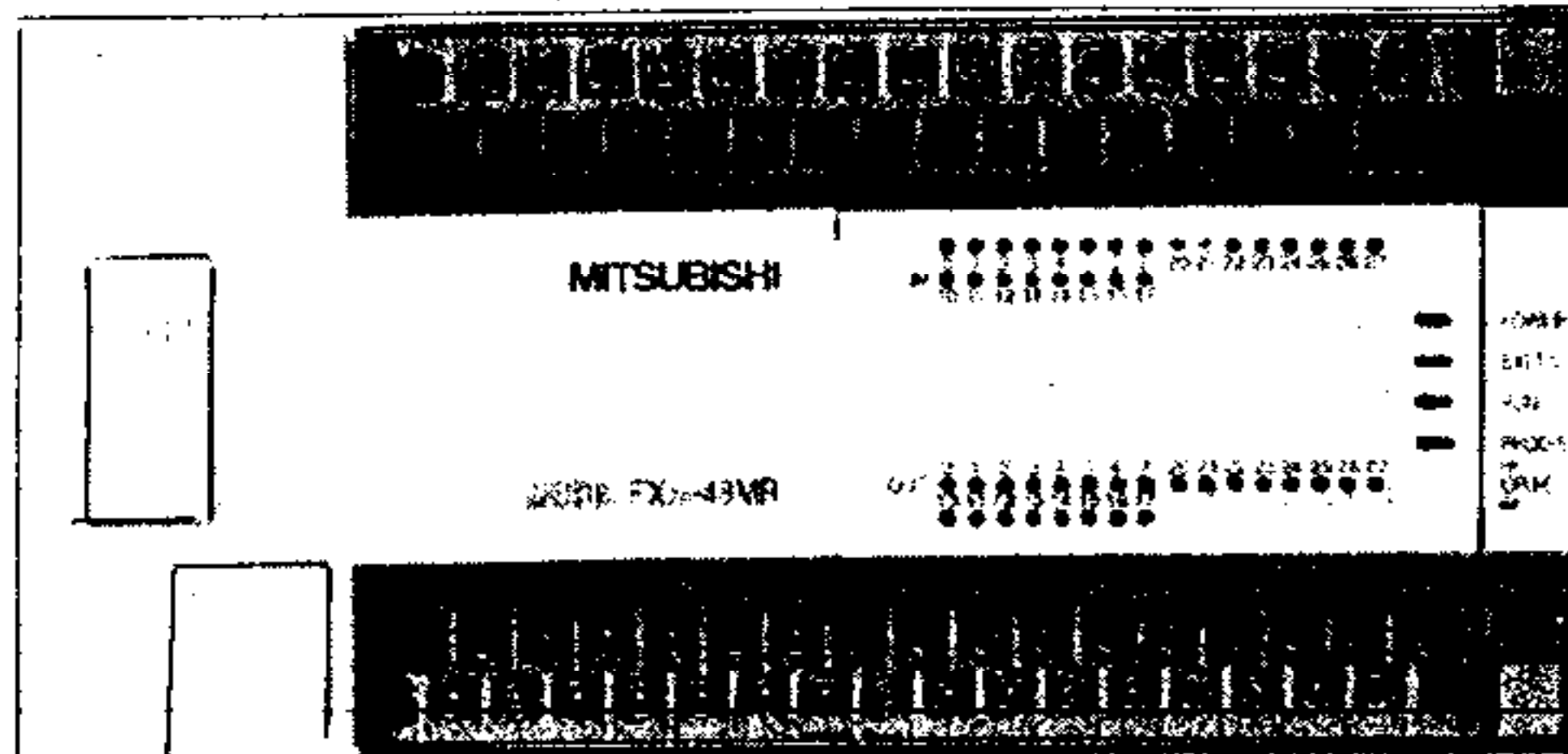
Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

- (7) Logic khí nén và các phần tử logic khí nén: thời gian tuần tự dịch chuyển của robot được xác định bằng cách liên kết hợp lý các phần tử khí nén.

Các bộ điều khiển lập trình (PLC- Programmable Logic Controller) là loại thường dùng nhất để điều khiển robot gấp-và-đặt. Hình 2.25 sơ đồ minh họa cách sử dụng PLC trong một robot có tính công nghệ thấp điển hình. Ở đây PLC không chỉ làm nhiệm vụ điều khiển chuyển động robot mà còn có khả năng giám sát các cảm biến và hiển thị các đèn chỉ thị.



Hình 2.25: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển kiểu vòng hở kết hợp với các công tắc hành trình



Hình 2.26: Bộ điều khiển lập trình FX2N-48MR của hãng Mitsubishi sử dụng lý tưởng như là bộ điều khiển robot gấp đặt

Bộ điều khiển trong hệ thống hở này thường không nhận biết được sự dịch chuyển đã đạt được vị trí mới hay chưa; tuy nhiên, nhờ kết cấu của hệ cơ và sự dịch chuyển xác định trước thời gian thực hiện các thao tác đảm bảo sự phối hợp tương đối chính xác khi hoạt động. Hơn nữa, người ta cũng đã lường trước để rất ít khả năng có trở ngại xảy ra khi sử dụng kiểu điều khiển vòng hở trong các ứng dụng mang tính chuẩn mực, phổ biến. Tuy nhiên, khi cần xác nhận vị trí giới hạn đã đạt được hay chưa người ta dùng bổ sung các cảm biến cuối hành trình, và theo đó phát triển lên thành hệ thống điều khiển vòng hở có nhiều điểm dừng.

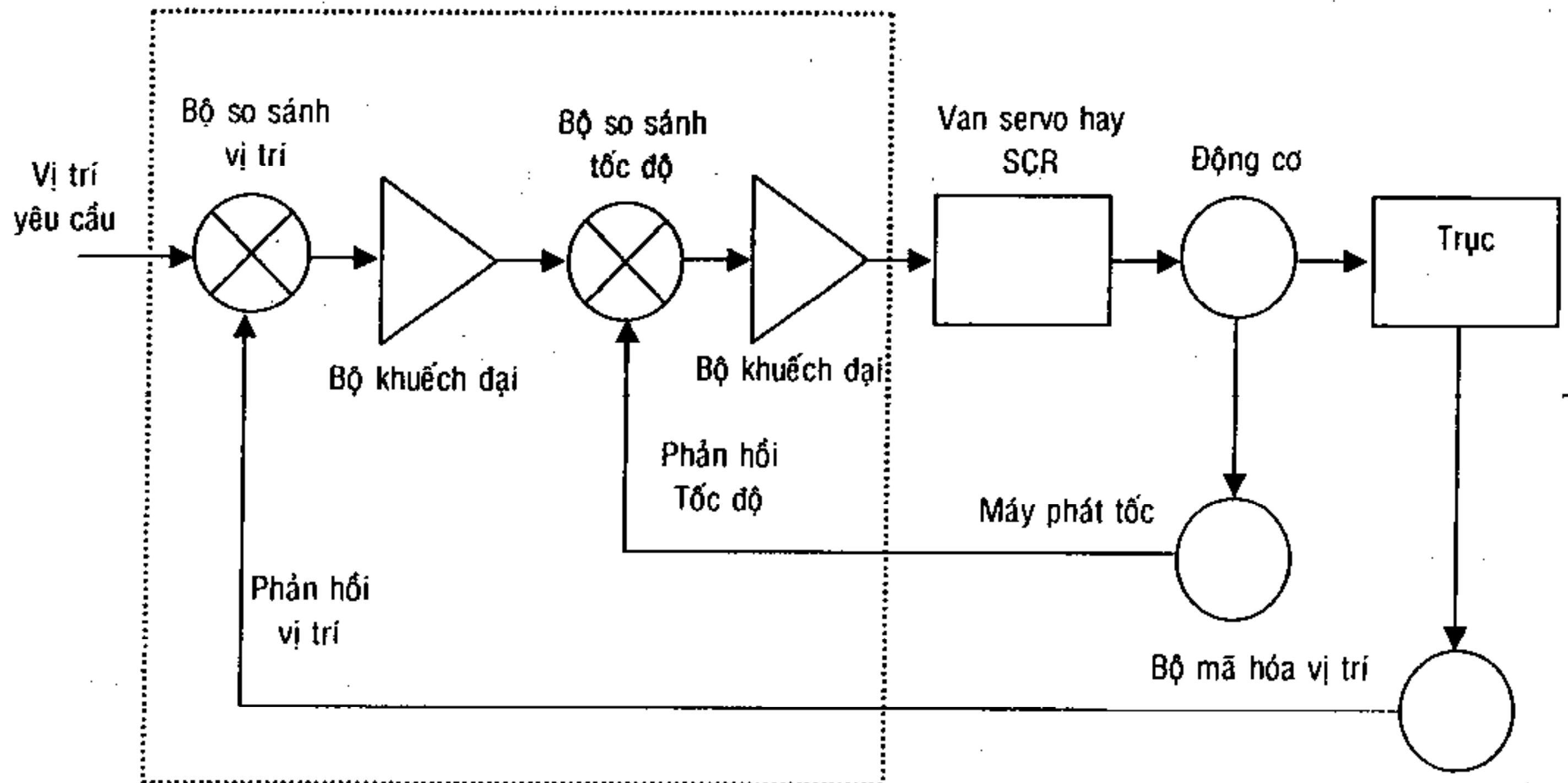
Robot sử dụng hệ thống điều khiển hở thường gặp nhất là loại gấp-và-đặt hay còn gọi là robot hoạt động từng đoạn. Hình 2.24 trình bày sơ đồ một trục của tay máy điều khiển vòng hở. Mặc dù tính thích nghi giảm, song trong công nghiệp robot loại này vẫn được sử dụng nhiều do hiệu quả sử dụng chấp nhận được và chi phí thực hiện thấp; do đó nó phù hợp cho các hệ thống sản xuất cần công việc xếp dỡ vật liệu.

(2) Bộ điều khiển robot trong hệ thống điều khiển kín

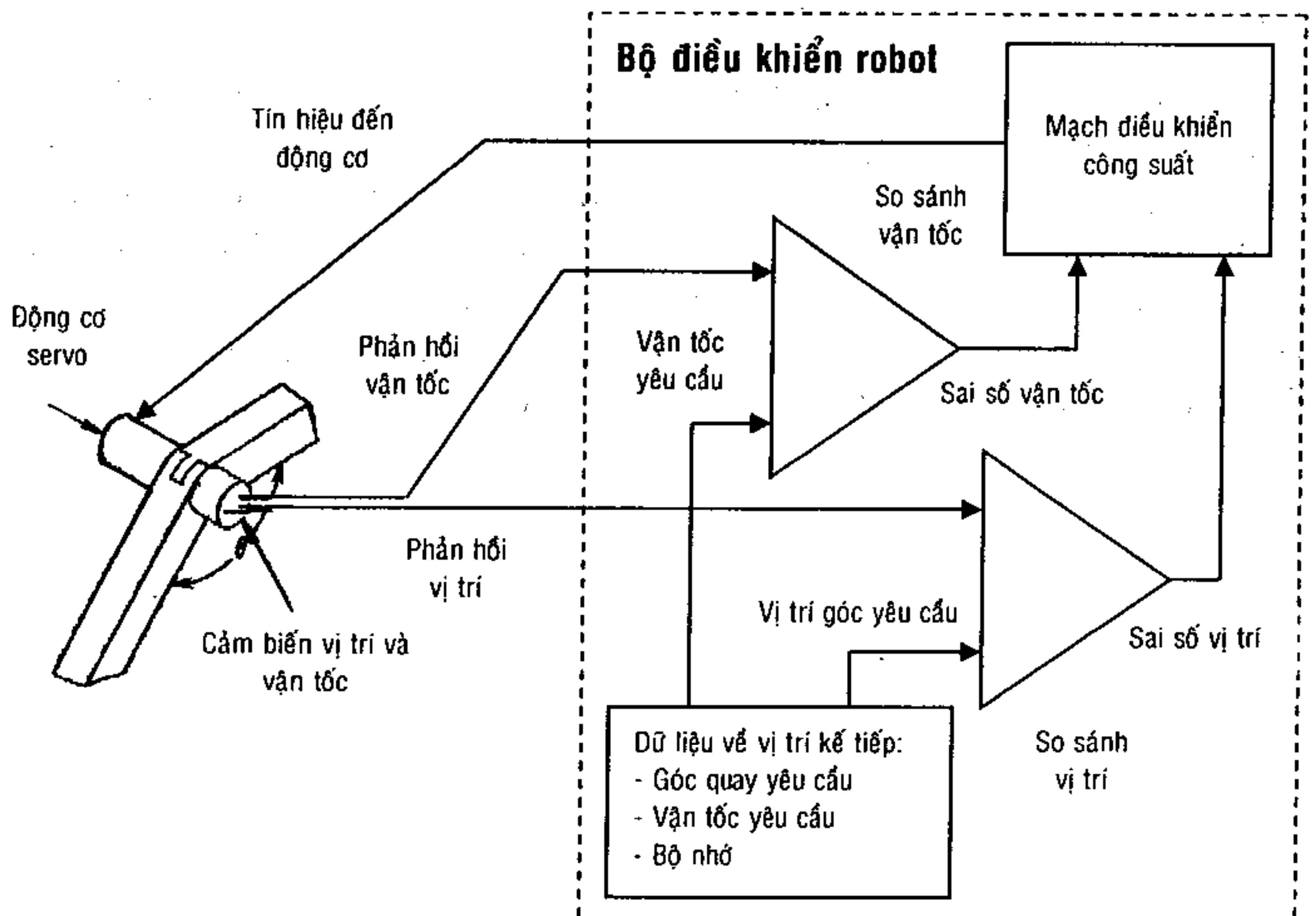
Hình 2.27a,b là sơ đồ khối của một hệ thống điều khiển kín (hệ thống servo) sử dụng trong điều khiển vị trí. Ở đây, mạch điều khiển được trang bị hai loại cảm biến là cảm biến vị trí và

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

cảm biến vận tốc để kiểm soát liên tục sự thay đổi về vị trí và vận tốc trên một trong sáu trục của robot.



Hình 2.27a: Sơ đồ khối của một hệ thống kín



Hình 2.27b: Sơ đồ vòng điều khiển vị trí của một trục trên robot

Ưu điểm của hệ thống servo

- (1) Khả năng định vị tốt của robot nhờ hệ thống điều khiển servo sẽ giảm đi độ phức tạp của tay gắp.
- (2) Robot có khả năng thực hiện nhiều chuyển động có yêu cầu phức tạp đồng thời có khả năng thực thi nhiều chương trình để đáp ứng theo các yêu cầu sản xuất có trình tự thay đổi khác nhau, giúp cho hệ thống sản xuất có tính linh hoạt cao.

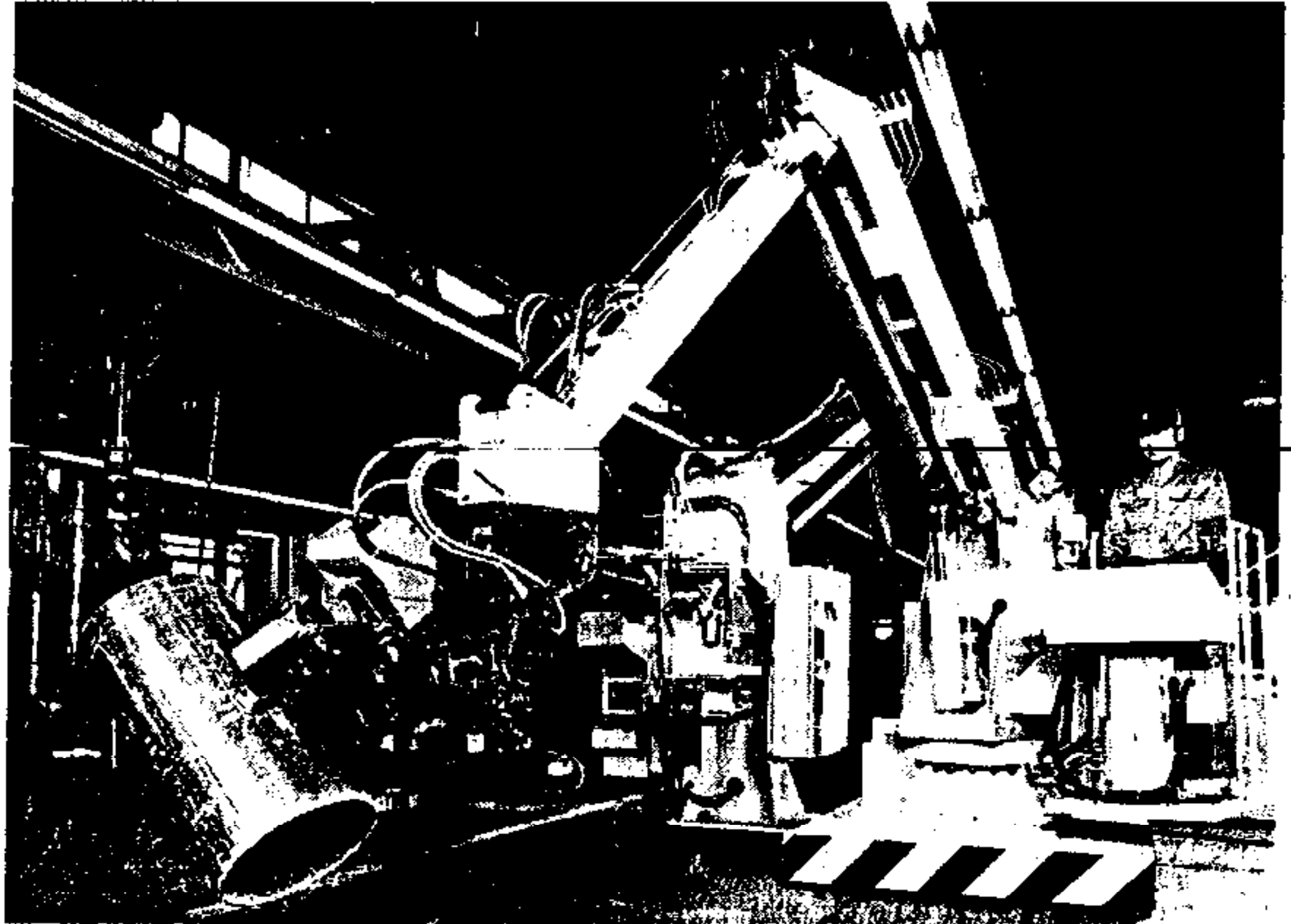
2.3 Nguồn dẫn động

Nguồn dẫn động thường được lắp bên cạnh tủ điều khiển. Trên các robot công nghiệp có thể sử dụng đồng thời nhiều nguồn dẫn động như điện, dầu ép, khí nén. Tùy theo dạng nguồn dẫn động được sử dụng trên robot mà cấu tạo của phần nguồn cung cấp có thể thay đổi rất đa dạng.

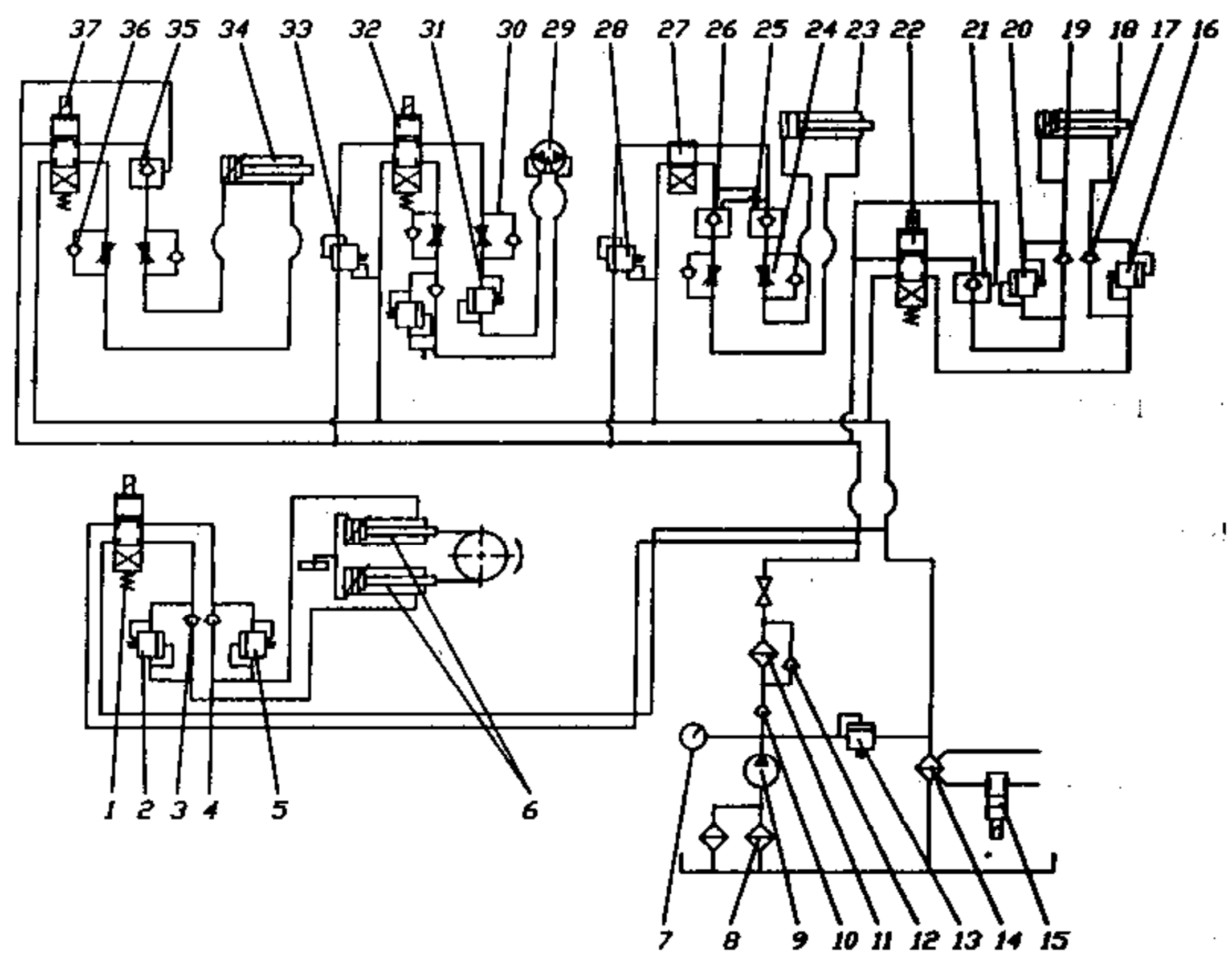
Nguồn dẫn động cũng là một đặc điểm quan trọng khác của robot, nguồn dẫn động trong chừng mực nào đó ảnh hưởng đến không gian làm việc của robot. Ngoài ra việc thay đổi nguồn dẫn động (mà hiện nay được chế tạo theo từng cụm đặc trưng) sẽ giúp nhanh chóng thay đổi kiểu, dạng của robot để phục vụ cho những yêu cầu công việc khác nhau. Ta sẽ khảo sát những mẫu robot sử dụng các nguồn dẫn động đặc trưng này.

(xem trang bên)

2.3.1 Truyền động thủy lực



Hình 2.28: Robot dùng truyền động thủy lực của hãng Marol (Nhật Bản)



Hình 2.29: Minh họa một sơ đồ truyền động thủy lực trên robot

Ưu điểm

- (1) Lực nâng lớn
- (2) Tốc độ chạy êm
- (3) Dầu ép không nén được, nên các khớp robot có thể được khóa cứng ở một vị trí xác định
- (4) Sử dụng cho điều khiển servo rất tốt
- (5) Tự bôi trơn và tự làm nguội
- (6) Hoạt động có thể dừng quá tải không làm hư hỏng hệ thống
- (7) Đáp ứng nhanh
- (8) An toàn ở áp suất cháy nổ
- (9) Tác động êm ở tốc độ thấp

Như vậy, theo những chỉ số vật lý, robot với truyền động thủy lực là loại có công suất và tải trọng mang lớn nhất. Các xy lanh thủy lực với kết cấu gọn có thể được lắp đặt ở các khuỷu, tay gấp và ngay cả ở khâu nối giá để cung cấp các chuyển động chuyển dời và chuyển động định hướng với lực hoạt động lớn. Tuy nhiên bên cạnh ưu điểm nêu trên, giá thành của loại này cao hơn các loại dùng truyền động điện hay khí nén. Ngoài ra truyền động thủy lực còn yêu cầu phải trang bị bơm, đường dẫn lưu chất, hệ thống van và ngay cả máy thủy lực tạo áp suất cao để phụ trợ.

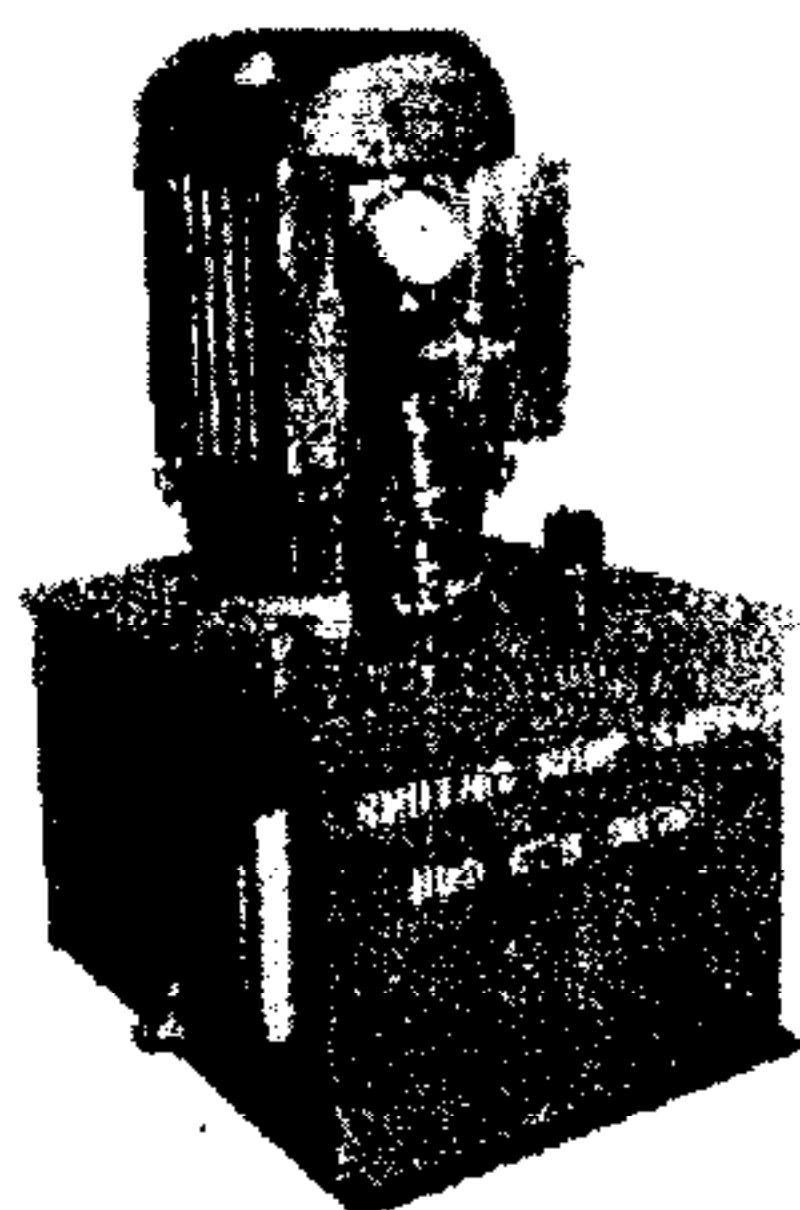
Bên cạnh tay máy và bộ điều khiển bằng máy tính, robot được trang bị thêm bơm, bể chứa dầu, bộ lọc và bộ ổn áp, các van điều khiển servo trong phần nguồn dẫn động.

Robot với nguồn dẫn dầu ép cũng chỉ đạt được một số ưu điểm giới hạn. Khác với nguồn dẫn khí nén, thể tích dầu hầu như không thay đổi (không nén được) dưới áp lực; và dầu có thể được bơm dưới áp lực cao, có thể đạt từ 3000 đến 5000 psi; vì vậy, truyền động dầu ép có thể đạt được lực lớn và tác động nhanh. Truyền động thủy lực cung cấp cho robot khả năng mang tải lớn và chính xác.

Được dẫn động dưới áp lực cao, các robot dầu ép có thể điều chỉnh được sai số vị trí bé một cách nhanh chóng và chính xác nhờ các van điều khiển servo dạng vòi phun lá chắn, truyền động dầu ép còn có ưu điểm là êm.

Hạn chế của nguồn dẫn dầu ép

- (1) Chi phí cho một hệ thống dầu ép thông thường khá cao
- (2) Không thích hợp cho cơ cấu quay với tốc độ nhanh
- (3) Cần có đường xả dầu về bể
- (4) Khó giảm kích thước hệ thống do áp suất và tốc độ dầu cao
- (5) Nguồn dẫn dầu ép không phổ biến trong các nhà máy như các nguồn dẫn khí nén và điện.
- (6) Chiếm chỗ trên mặt bằng nhiều hơn các nguồn dẫn khác.
- (7) Sự rò rỉ dầu sau một thời gian hoạt động và có thể trở thành mối nguy hại gây cháy trong ứng dụng hàn đường. Các thiết bị phụ theo như động cơ điện, bơm cao áp, bồn chứa, các thiết bị điều khiển làm tăng năng lượng tiêu hao, chi phí chế tạo và bảo trì.

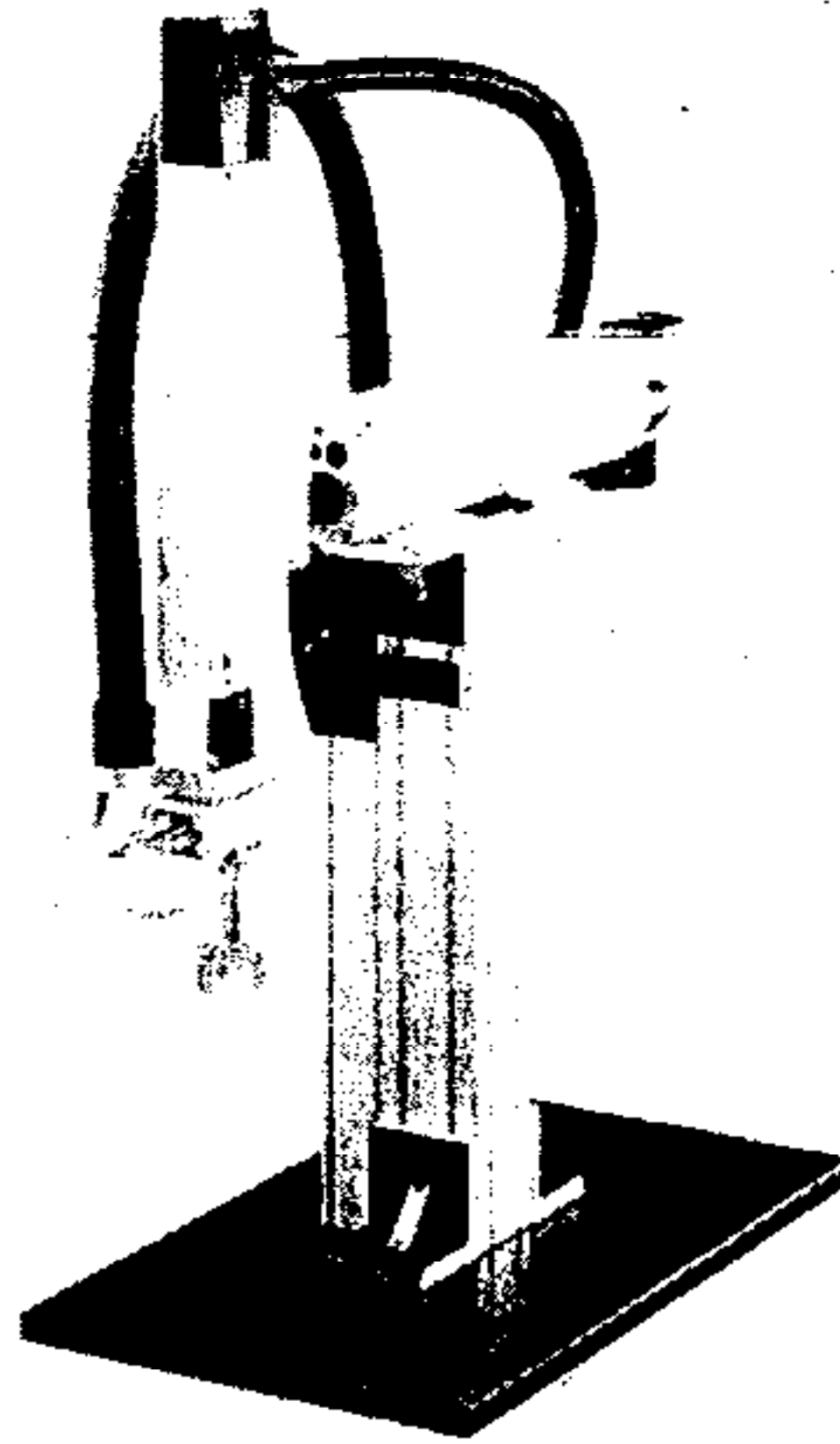


Hình 2.30: Nguồn thủy lực gồm bơm, bể chứa dầu, bộ lọc và bộ ổn áp

2.3.2 Truyền động khí nén

Đây là loại có giá thành thấp nhất, thường dùng cho các thao tác lắp đặt chi tiết trên dây chuyền lắp ráp. Đặc điểm nổi bật của loại này là trang bị đơn giản (máy nén khí có áp lực thường dùng vào khoảng 620 Kpa) và dễ điều khiển. Việc thiết kế và lắp đặt loại robot này khá đơn giản do các chuyển động độc lập được thực hiện bởi các xy lanh riêng rẽ hay bởi các mô-đun khí nén chuyên dùng. Điểm cần lưu ý ở loại này là độ chính xác

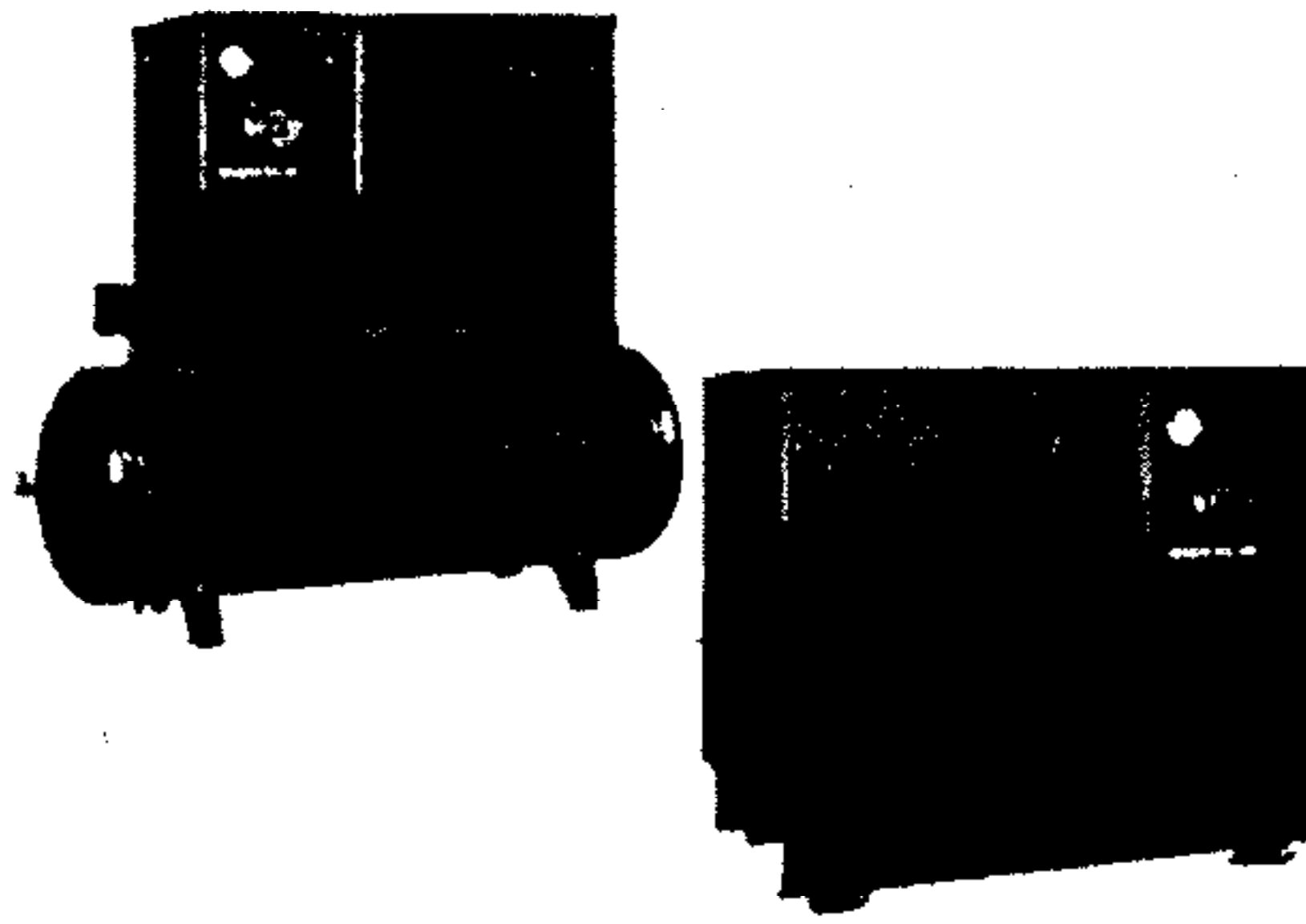
vị trí lặp lại thấp, nên trong hệ thống điều khiển người ta thường phải điều khiển gián tiếp qua bộ xử lý dao động vi sai nhằm dập tắt những dao động gây ra bởi các xung dao động bé tích lũy ở cuối hành trình của các xy lanh khí nén.



Hình 2.31: Tay máy gấp đặt cấu tạo từ những mô-đun tổ hợp khí nén của hãng Festo

Trong hầu hết các ứng dụng cơ cấu tác động khí nén hoạt động với 2 vị trí hơn là sử dụng hồi tiếp để đạt chế độ điều khiển tỉ lệ bởi vì do tính chất của khí nén, khi điều khiển ở cuối hành trình thì độ chính xác vị trí cũng như độ lặp lại khá tốt nhưng ở khoảng giữa hành trình thì rất khó đạt được.

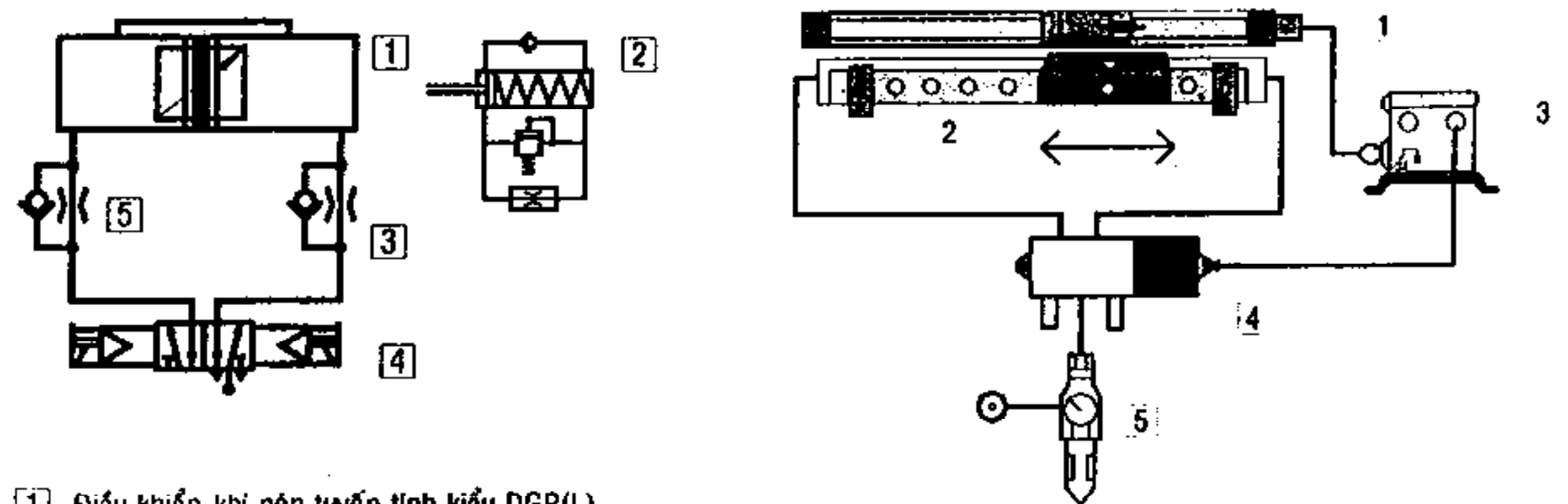
Nhiều nhà máy sản xuất sử dụng khí nén như một nguồn năng lượng rẻ tiền (hình 2.32). Vì lý do này, nhiều robot khí nén xuất hiện rất sớm. Một bộ lọc-ổn áp-bôi trơn được bố trí ở giữa đường cung cấp khí nén với các van điều khiển nhằm bảo đảm một áp lực khí với chất lượng ổn định cung cấp cho các xy lanh khí nén.



Hình 2.32: Nguồn khí nén nhà máy

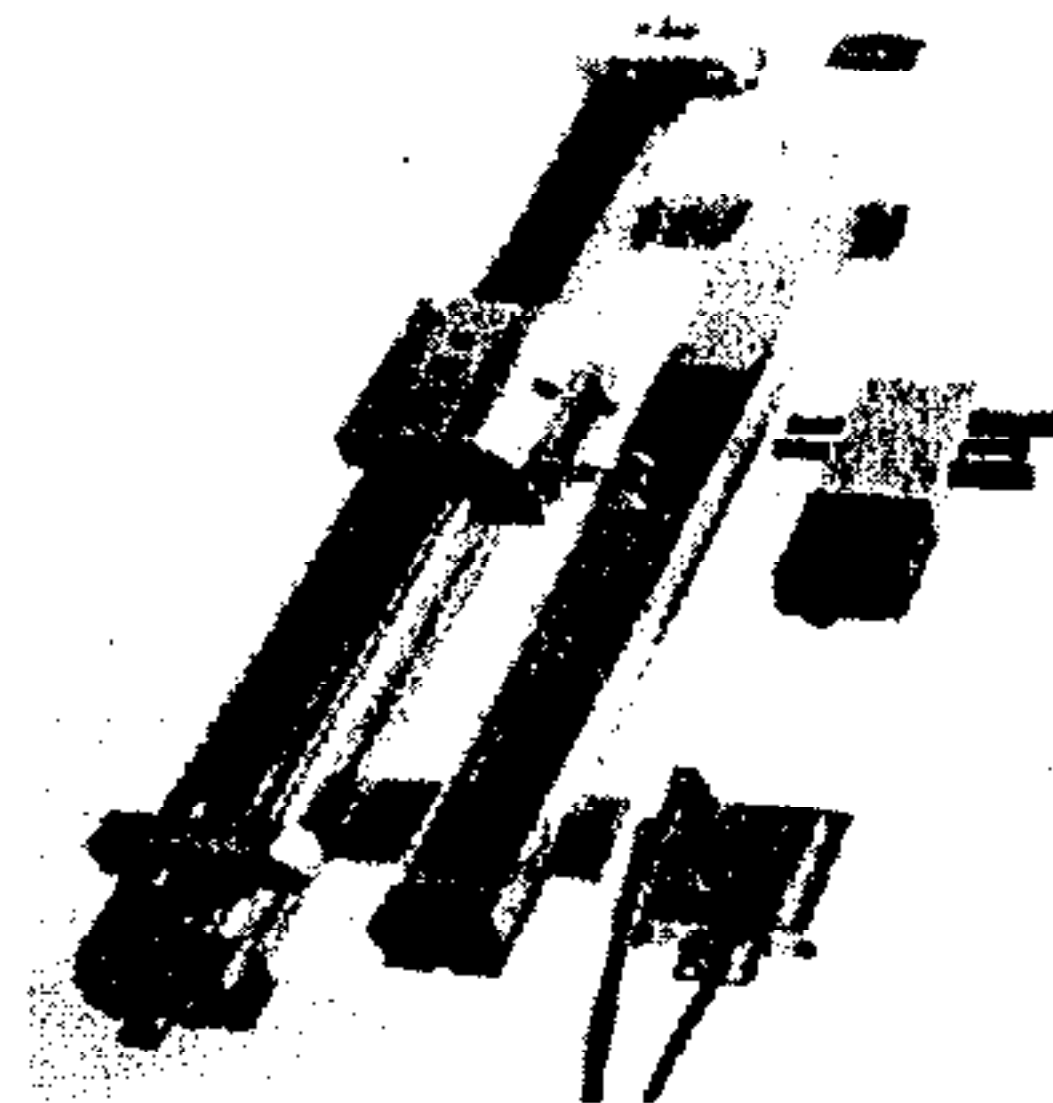
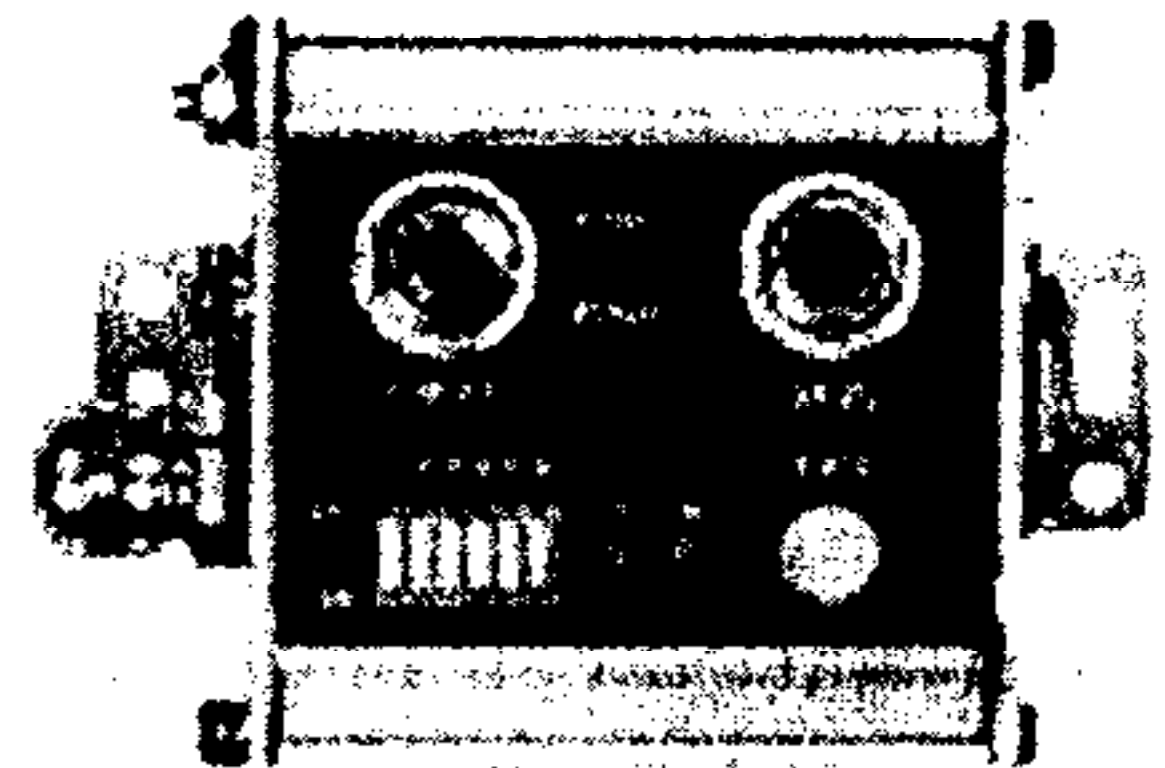
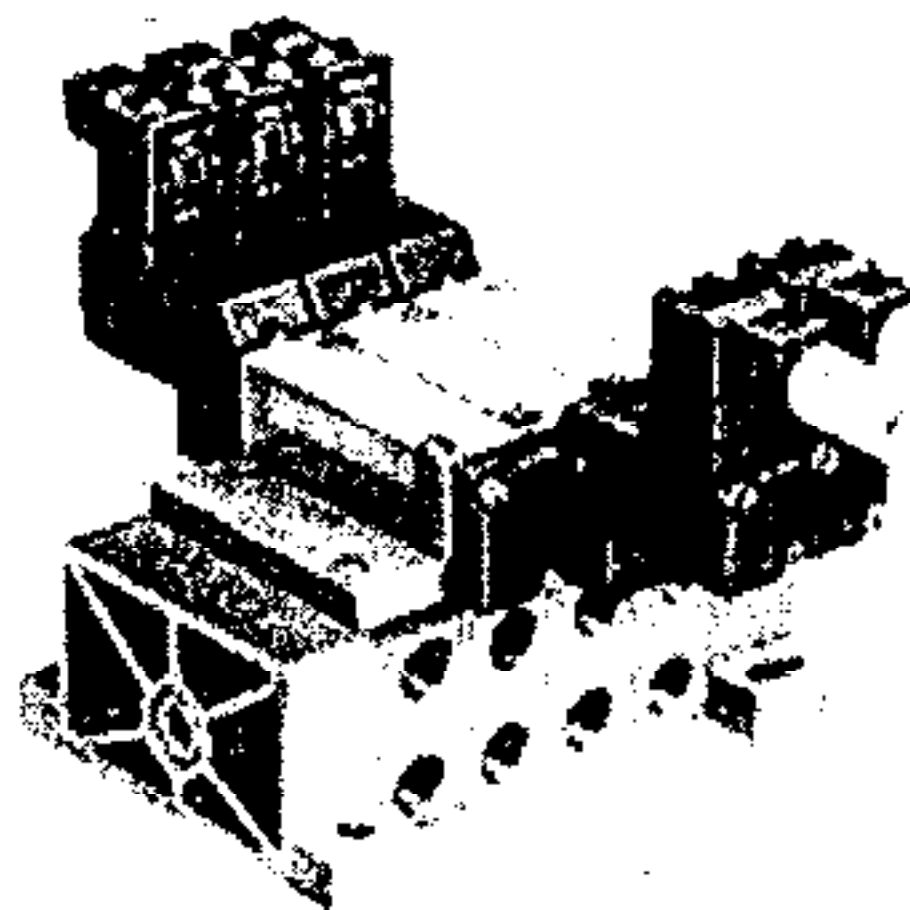
Ta thấy nhược điểm lớn nhất của nguồn dẫn khí nén là không có khả năng tăng tốc hoặc giảm tốc cho các tải trọng lớn so với các nguồn dẫn khác. Việc điều khiển liên tục để đạt độ chính xác về vị trí với nguồn dẫn khí nén cũng không thực hiện được. Trong một hệ thống điều khiển vòng kín (có phản hồi), quán tính của cơ cấu tác động bằng nguồn dẫn khí nén làm cho hệ thống mất ổn định. Cơ cấu tác động với nguồn dẫn khí nén gây ồn do khí được xả ra ở áp suất cao. Một nhược điểm nữa của khí nén là sinh nhiệt và nhiệt lượng này sẽ được truyền ra môi trường khi khí bị xả. Hiện nay hãng Festo có đưa ra hệ thống điều khiển vị trí bằng khí nén dạng servo đạt độ chính xác định vị đến 1/10mm (cũng chính là sai số định vị) (hình 2.33); tuy nhiên, chưa có triển vọng ứng dụng nhiều trong thực tế kỹ thuật. Như đã nêu ở phần trên, nguồn dẫn khí nén thích hợp trong điều khiển gấp đặt và làm nguồn dẫn động cho các tay gấp của robot.

(xem trang bên)

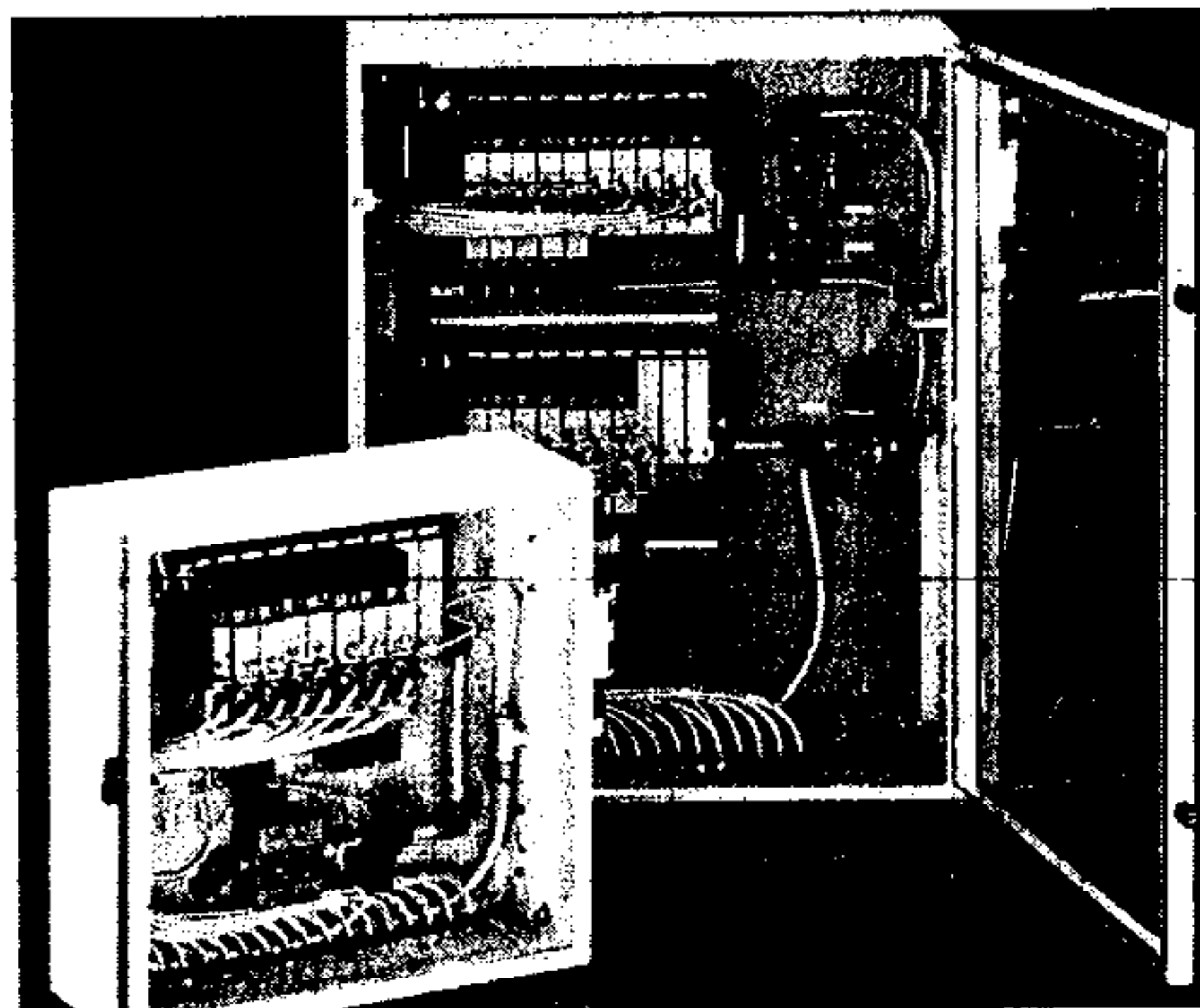


- 1 Điều khiển khí nén tuyến tính kiểu DGP(L)
- 2 Bộ giảm chấn kiểu YSR
- 3 Van điều khiển lưu lượng một chiều loại GRLA
- 4 Van điều khiển kép bằng điện loại IMFH
- 5 Van điều khiển lưu lượng một chiều loại GRLA

- 1 Bộ mã hóa lưu lượng loại MLO-POT-...-TLF
- 2 Điều khiển khí nén tuyến tính kiểu DGP(L)
- 3 Bộ điều khiển vị trí cuối loại SPC-10
- 4 Van điều khiển 5/3 loại MPYE-5...
- 5 Bộ lọc và điều chỉnh áp với 5pm: áp suất cung cấp 5 tới 7 bar



Hình 2.33: So sánh kỹ thuật định vị kiểu gấp đặt và kỹ thuật định vị bằng servo khí nén của hãng Festo



Hình 2.34: Tủ nguồn dẫn động cho truyền động khí nén

Ưu điểm

- (1) Giá thành không cao
- (2) Khí thải không gây ô nhiễm môi trường
- (3) Nguồn khí nén phổ biến trong công nghiệp
- (4) Thích hợp cho thiết kế robot dạng mô-đun
- (5) Cơ cấu tác động có thể dừng mà không hư hỏng.

Nhược điểm

- (1) Áp suất khí nén giới hạn sự điều khiển và độ chính xác
- (2) Khí xả gây ồn
- (3) Khí bị rò rỉ gây trở ngại cho hệ thống
- (4) Cần phải có bộ lọc làm khô nguồn khí nén
- (5) Khó điều khiển tốc độ

2.3.3 Truyền động điện cơ

Với những công việc đòi hỏi chính xác, loại robot với truyền động điện tỏ ra đặc dụng nhất vì chúng cho phép bảo đảm được độ chính xác dịch chuyển cao và khả năng thực hiện những thao tác phức tạp.

Ưu điểm

- (1) Cơ cấu tác động nhanh và chính xác
- (2) Có khả năng áp dụng kỹ thuật điều khiển phức tạp cho các chuyển động
- (3) Giá thành không cao
- (4) Thời gian triển khai hệ thống robot mới nhanh
- (5) Nhiều động cơ có mô-men quay cao, trọng lượng giảm, và thời gian đáp ứng nhanh

Khuyết điểm

- (1) Bản chất đã là tốc độ cao
- (2) Khe hở bộ truyền bánh răng làm giảm độ chính xác
- (3) Gây quá nhiệt khi hệ thống bị dừng hoạt động do quá tải
- (4) Cần phải có thắng để ghim vị trí các khớp

Ta có thể chia loại này làm hai nhóm theo dạng động cơ trang bị cho chúng:

❖ **Nhóm thứ nhất**

Dùng động cơ bước (stepper motor) để thực hiện những chuyển dịch góc chính xác dưới tác dụng của các xung điện áp đơn vị. Dịch chuyển góc của robot của các động cơ bước đạt được độ chính xác cao nếu mômen tải trọng không vượt quá mômen giới hạn của động cơ.

❖ **Nhóm thứ hai**

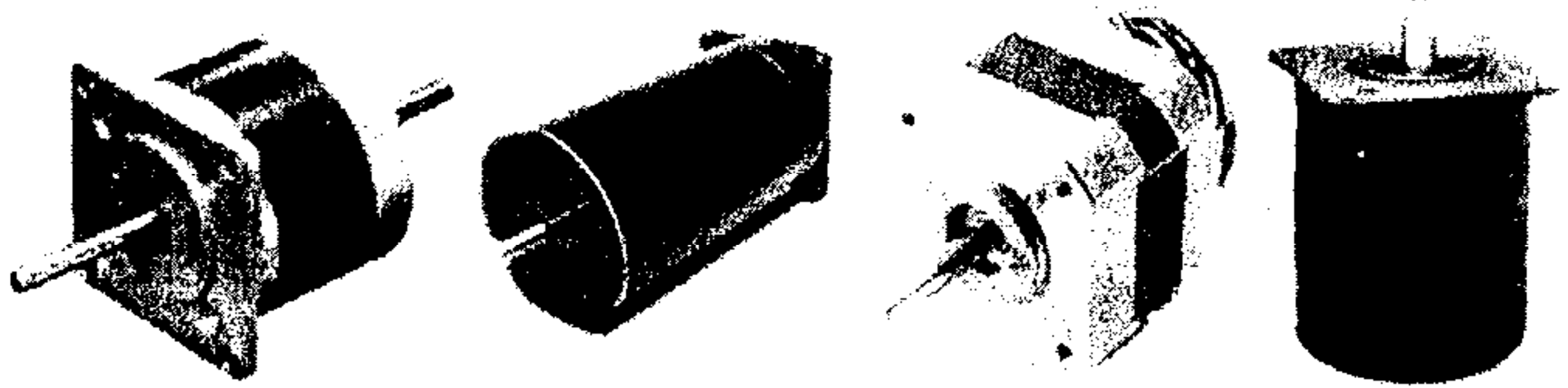
Dùng động cơ phụ trợ với nguồn điện DC. Trong trường hợp này nhất thiết phải có liên hệ ngược giữa nguồn dẫn động (động cơ) với phần dịch chuyển (chấp hành) của robot.

Phần lớn các robot được sử dụng trên thị trường sử dụng nguồn dẫn là các động cơ điện. Nguồn dẫn điện có các đặc điểm là tác động khá nhanh, chính xác, sạch và êm. Động cơ điện cung cấp mômen quay tốt hơn các loại khác. Điểm khó khăn là khả năng tải hay mang tải của hệ thống này thấp hơn so với hệ thống thủy lực.

Các dạng động cơ điện thường được sử dụng trên robot gồm:

(1) Động cơ bước

Là loại động cơ được sử dụng rất sớm trong việc chế tạo các robot thử nghiệm. Động cơ bước được sử dụng trong điều khiển vòng hở (không phản hồi) không cần trang bị cảm biến để phản hồi về vị trí và vận tốc vì mỗi xung tác động đã được thiết kế và kiểm soát để rotor của động cơ bước quay một góc xác định. Trong thực tế, khi sử dụng cần lưu ý là nếu mô-men tác động của động cơ bước không đủ thắng phụ tải hoặc quán tính của phụ tải, động cơ sẽ không làm việc dù đã nhận xung điều khiển. Hiện nay các robot sử dụng trong công nghiệp hầu như không còn sử dụng động cơ bước. Nhưng với những cải thiện sẽ được thực hiện, trong tương lai người ta dự đoán động cơ bước sẽ được trang bị trở lại với điều khiển vòng kín.

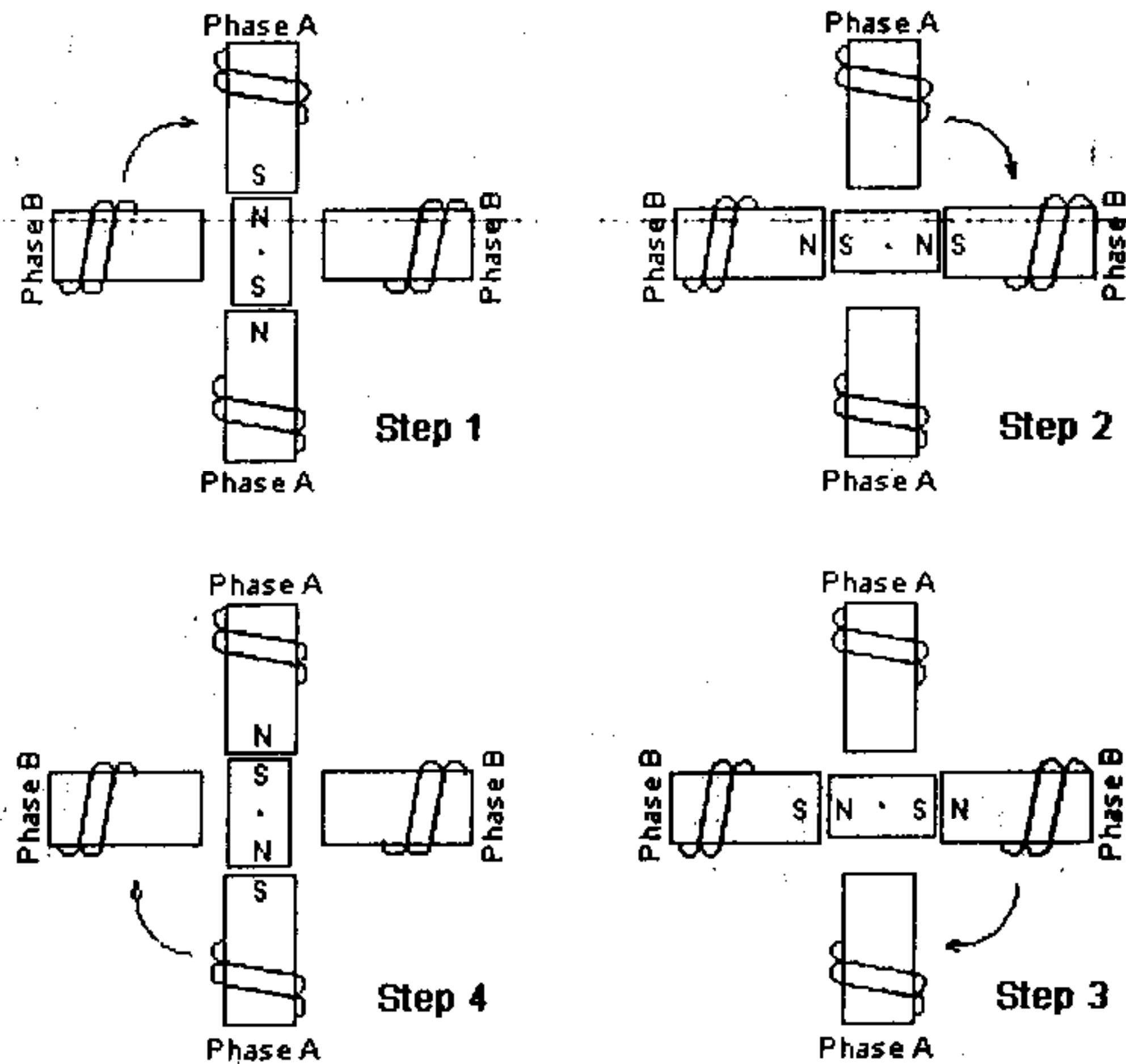


Hình 2.35: Một số dạng động cơ bước

Động cơ bước nam châm vĩnh cửu cấu tạo bởi rôto là một nam châm vĩnh cửu, và stato là các cuộn dây. Cấp điện cho cuộn dây stato sẽ tạo ra một vùng điện từ có các cực Bắc và cực Nam, và stato gây ra vùng từ trường sẽ làm rôto tự quay lệch đi một góc xác định (một bước). Chúng ta có thể thay đổi vùng từ trường bằng cách kích hoạt theo trình tự hay “kích từng bước” cuộn dây stato để tạo ra chuyển động quay của rôto.

Hình 2.36 minh họa trình tự các bước cho một động cơ bước hai pha: bước 1, pha A của stato 2 từ cực được cấp điện, rôto bị khóa ở vị trí như hình vẽ, vì khác cực hút nhau; bước 2, khi pha A bị ngắt điện và pha B được cấp điện thì rôto quay 90° theo chiều kim; bước 3, pha B bị ngắt điện và pha A được cấp

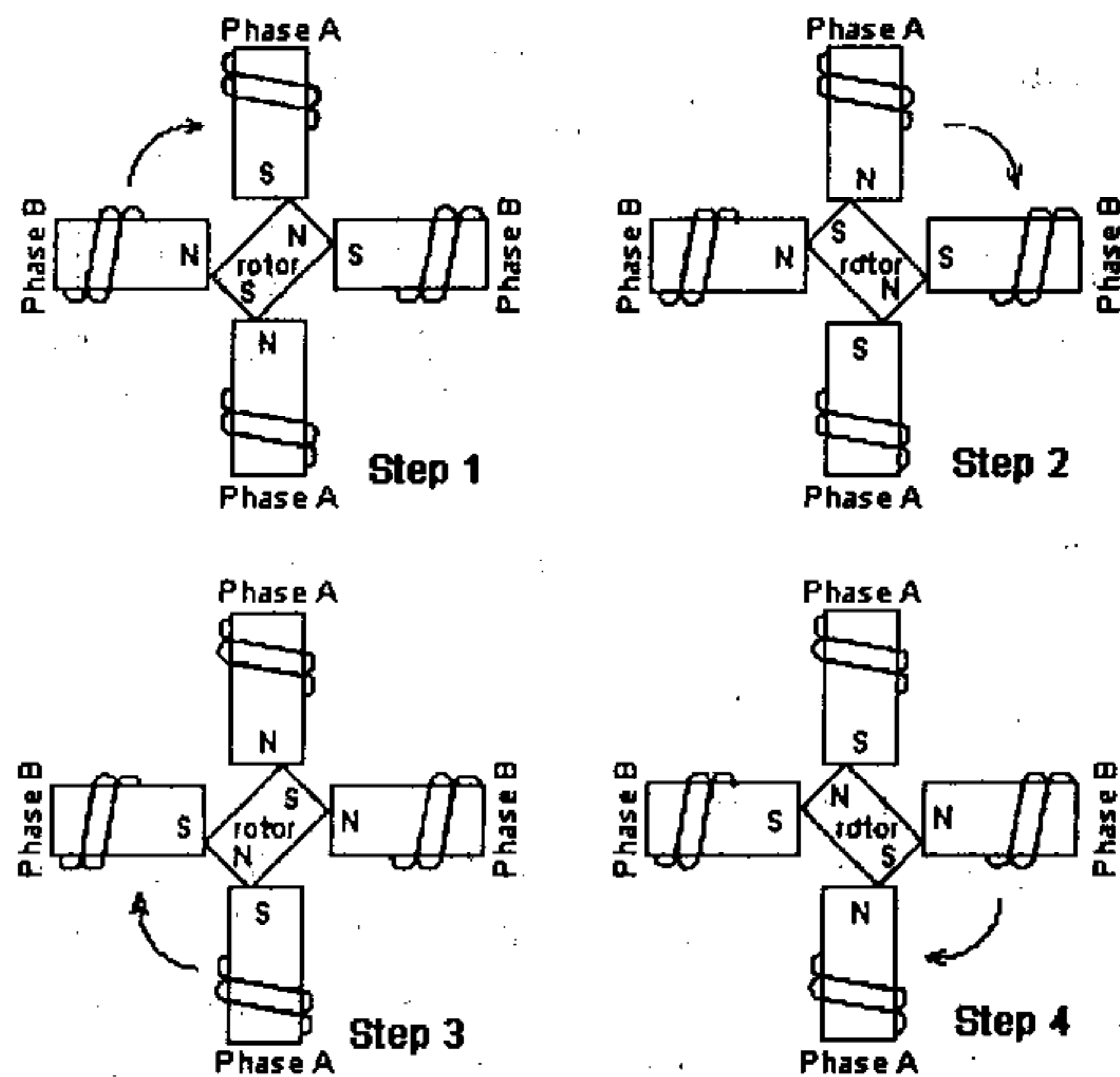
điện trở lại, nhưng ngược chiều với bước 1 thì rôto quay tiếp 90° ; bước 4, pha A bị ngắt điện và pha B được cấp điện, nhưng ngược chiều với bước 2. Lặp lại các bước trình tự trên sẽ làm cho rôto quay từng bước 90° .



Hình 2.36: Trình tự bước kích từng pha trên động cơ bước hai pha

Phương pháp kích từ như trên gọi là phương pháp kích một pha (one phase on). Một phương pháp thường được sử dụng hơn là phương pháp kích hai pha (two phase on): cả hai pha của động cơ luôn luôn được cấp điện; tuy nhiên, tại một thời điểm chỉ có một pha mới bị thay đổi cực tính, tức là thay đổi cực tính tuần tự ở hai pha (hình 2.37)

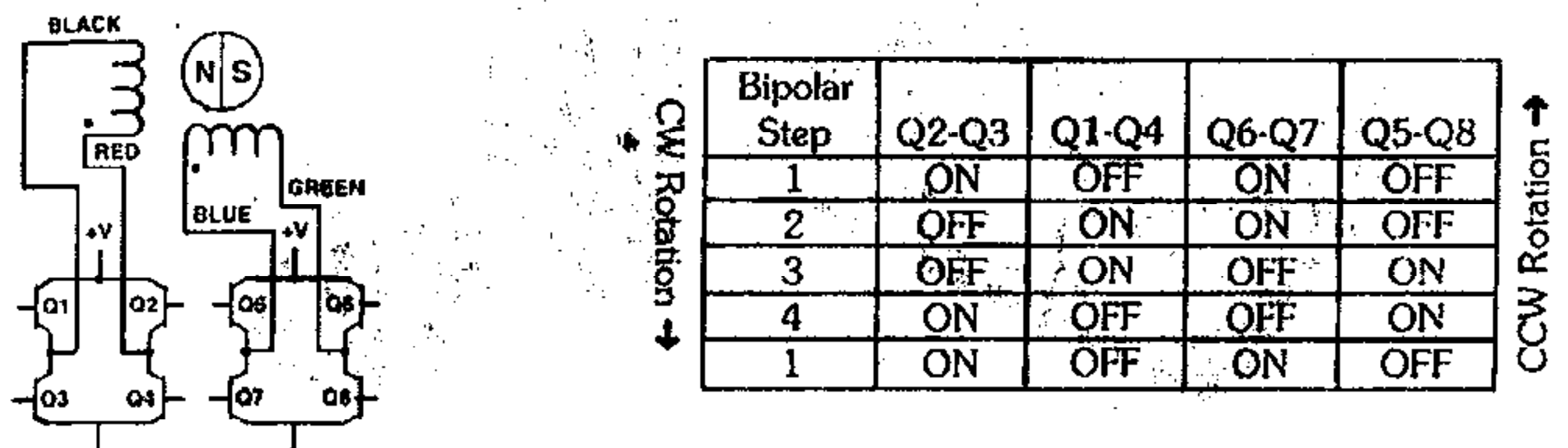
(xem trang bên)



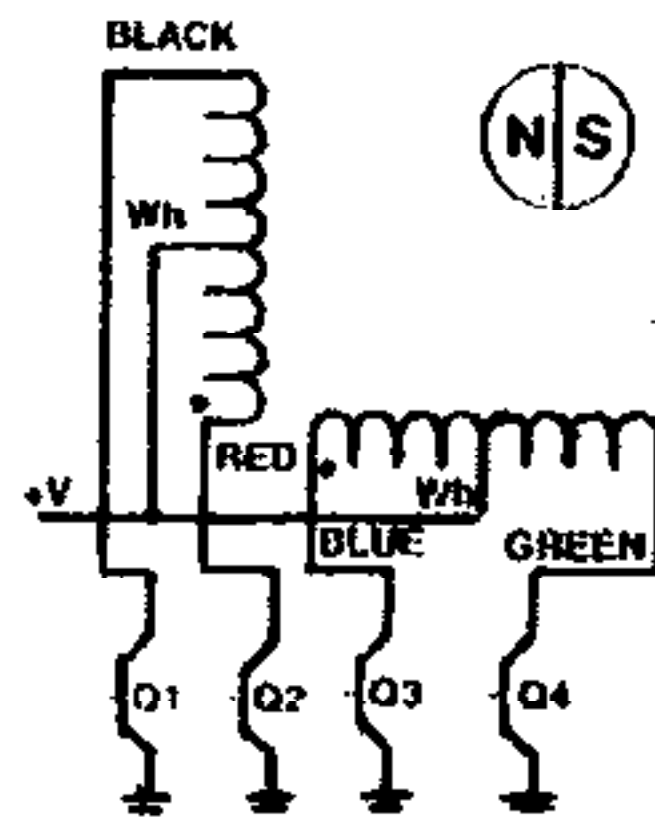
Hình 2.37: Trình tự bước kích hai pha trên động cơ bước hai pha

Để có các góc quay nhỏ hơn cần phải có nhiều cặp cực hơn trên stato và rôto. Số cặp cực trên stato và rôto nên như nhau.

Trình tự bước của động cơ bước hai pha mô tả như trên đưa đến hai cách nối dây cho động cơ bước: Bipolar (hình 2.38) và Unipolar (hình 2.39).



Hình 2.38: Sơ đồ nối dây kiểu Bipolar cho động cơ bước hai pha

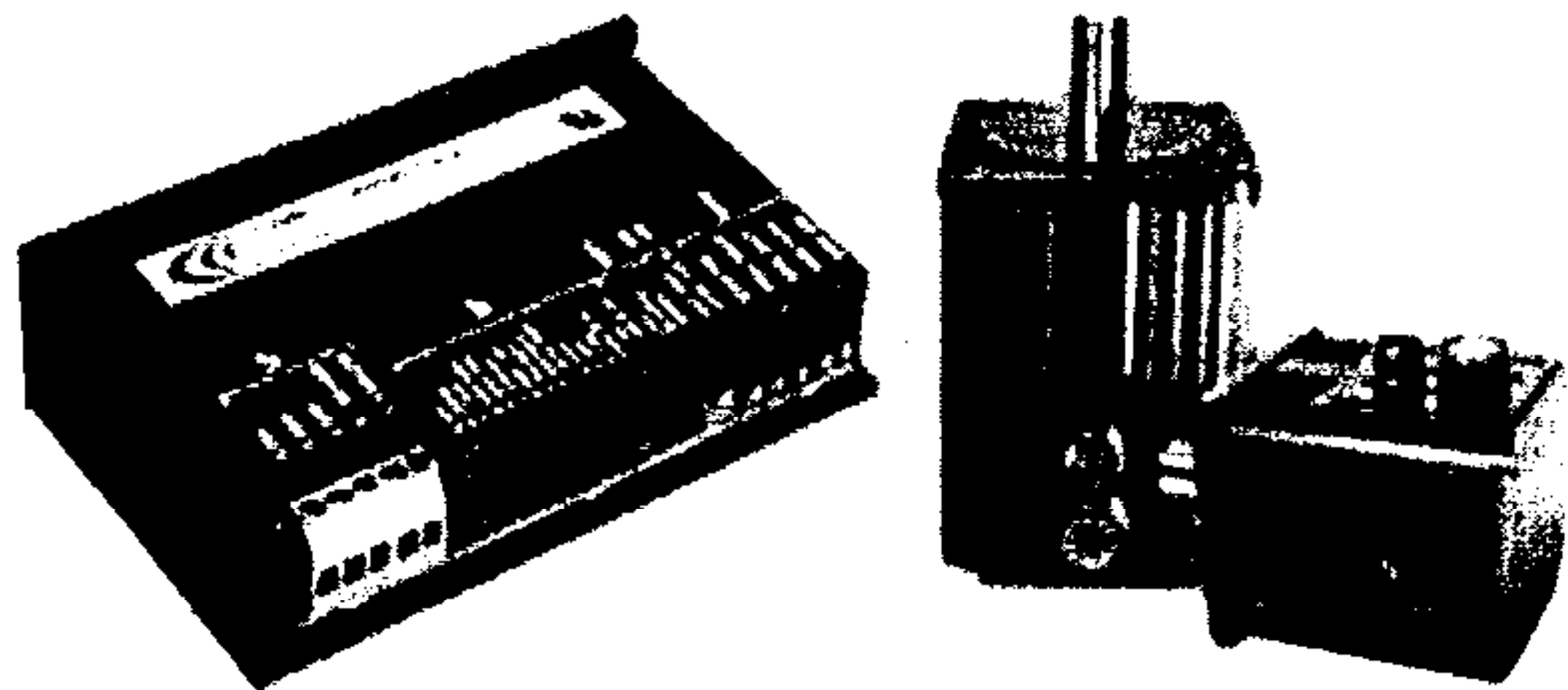


Unipolar Step	Q1	Q2	Q3	Q4
1	ON	OFF	ON	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	ON	OFF	ON
4	ON	OFF	OFF	ON
1	ON	OFF	ON	OFF

Hình 2.39: Sơ đồ nối dây kiểu Unipolar cho động cơ bước hai pha

(2) Động cơ DC

Hầu hết các robot hiện đại với hệ điều khiển vòng kín, có phản hồi từ cảm biến lắp trên mỗi trục, được dẫn động bởi động cơ DC có chổi than (dùng nam châm vĩnh cửu) hoặc không chổi than. Động cơ DC tạo mô-men tỉ lệ với cường độ dòng điện nhận được từ nguồn cấp. Phần lớn các động cơ DC truyền thống được thiết kế có phản ứng (rôto) nhẹ để gia tốc nhanh, nhưng ngược lại rôto nhẹ không đủ sức chịu đựng cường độ dòng cao. Để giải quyết vấn đề này, trên robot người ta sử dụng các động cơ tác động nhanh với phản ứng nhẹ và sử dụng hộp giảm tốc có tỷ số truyền hợp lý để cân bằng tối ưu giữa mô-men và gia tốc.

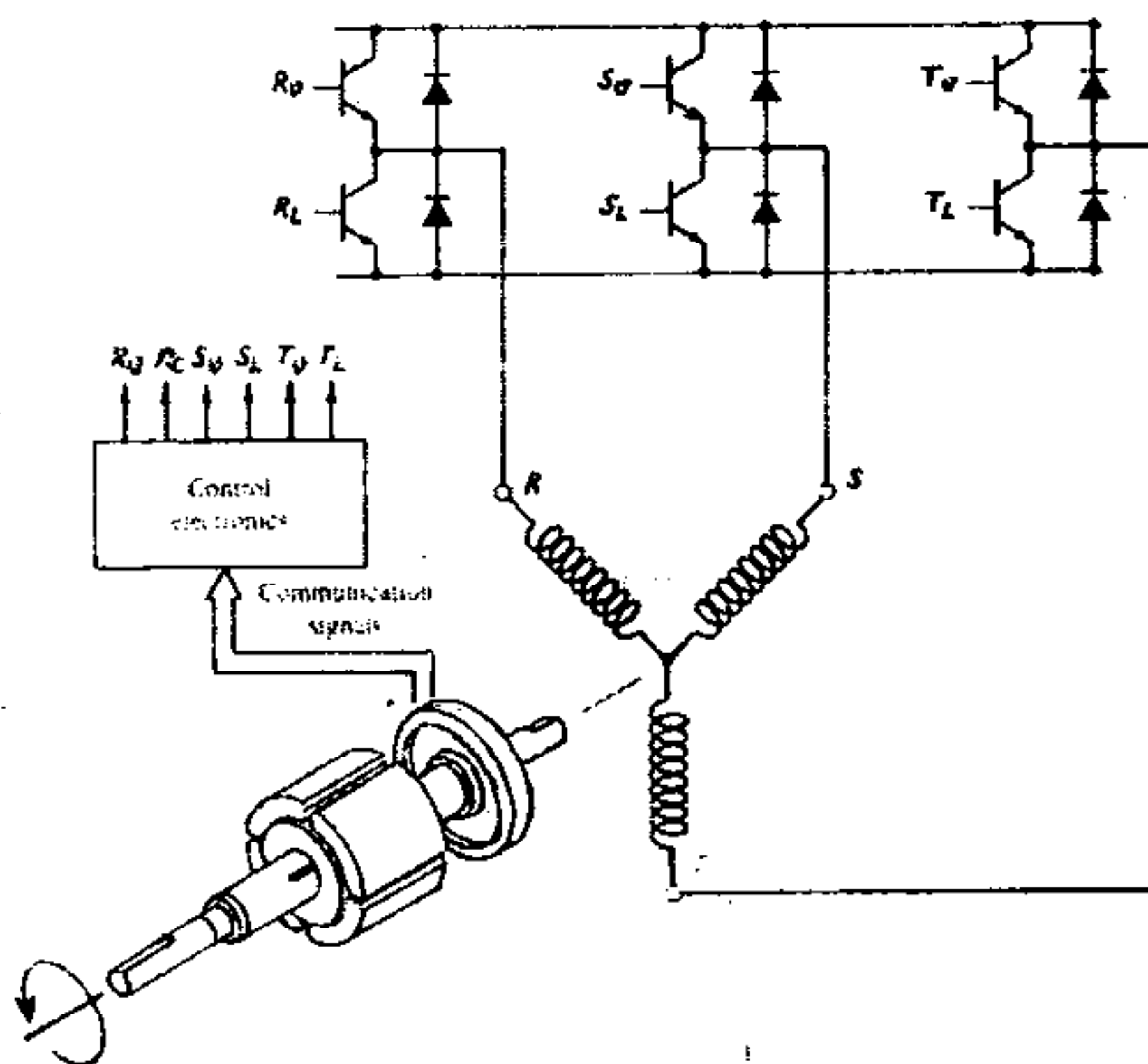


Hình 2.40: Động cơ DC servo có chổi than và bộ điều khiển

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Hạn chế chủ yếu của động cơ DC servo có chổi than là cuộn dây phản ứng cần có chổi than để tạo các tiếp điểm cấp điện cho cuộn dây phản ứng từ bộ điều khiển. Các hạn chế bao gồm chổi than bị mòn do tiếp xúc, phát sinh tia lửa điện, dòng và điện áp cấp bị giới hạn, mômen quán tính của rôto lớn, động cơ thoát nhiệt khó khăn vì phần lớn nhiệt độ xuất phát từ phản ứng. Tất cả các hạn chế trên được khắc phục bằng cách dùng động cơ DC servo không chổi than. Động cơ DC không có chổi than là dạng động cơ DC tiêu chuẩn được cải tiến. Các động cơ này được thiết kế hơi khác với loại động cơ DC truyền thống với nam châm vĩnh cửu. Các cuộn dây trong phản ứng của động cơ có thể khá nặng làm cho động cơ khó gia tốc nhanh nhưng đạt được mô-men lớn.

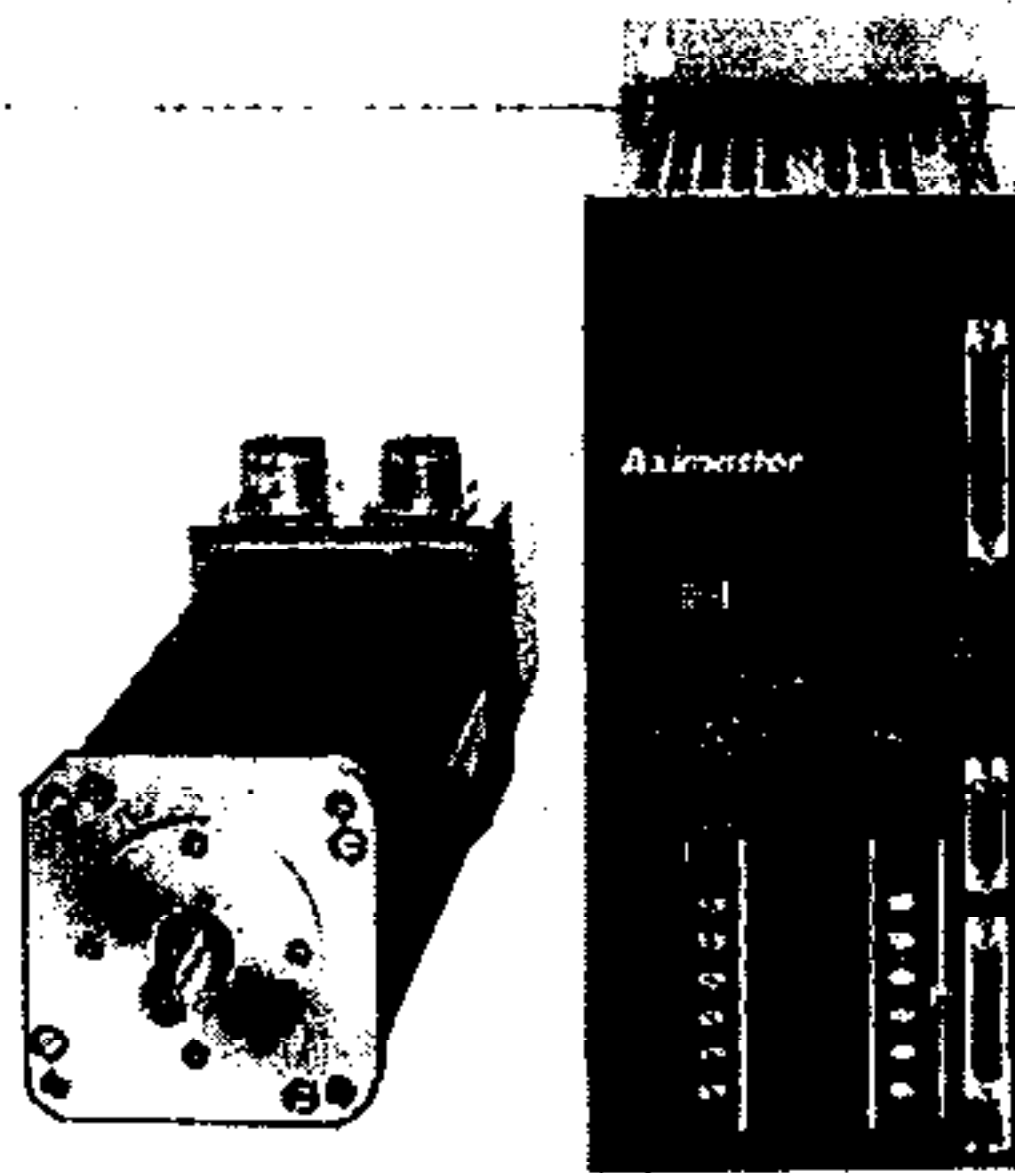
Rôto của động cơ không chổi than là một nam châm vĩnh cửu, cuộn dây là stato, và một mạch điện tử thay thế tác dụng của chổi quét. Sự thoát nhiệt ở stato hầu như toàn bộ thông qua vỏ động cơ. Việc bỏ được cuộn dây và chổi than làm giảm mômen của rôto và cho phép tốc độ động cơ cao hơn. Với mạch điện thay thế chổi than cho phép cấp điện có dòng và điện áp cao hơn vào cuộn dây.



Hình 2.41: Nguyên lý mạch tạo xung lệch pha của động cơ DC servo không chổi than

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Stator thường là ba cuộn dây hay ba pha. Bộ điều khiển động cơ DC servo không chổi than dùng một bộ khuếch đại dòng điều biến độ rộng xung (PWM – Pulse Width Modulation) để tạo ra dòng điện ba pha hình sin trong ba cuộn dây stator. Các bộ điều khiển khác có mạch điều khiển tạo dòng điện sóng vuông ba pha đơn giản hơn loại trên, nhưng động cơ hoạt động không êm như tín hiệu sin ba pha.



Hình 2.42: Động cơ DC servo không chổi than và bộ điều khiển



Hình 2.43: Robot Motoman UP20 dùng động cơ DC servo không chổi than

(3) Động cơ AC

Động cơ AC cảm ứng cũng được sử dụng trên robot nhưng không có những ưu điểm như các động cơ DC. Động cơ AC servo thường sử dụng trên các hệ thống điều khiển có công suất nhỏ. Ưu điểm chính của động cơ AC so với động cơ DC là khả năng dùng ngõ ra đồng bộ AC, các loại cảm biến biến thế vi sai (LVDT – Linear Variable Differential Transformer), và các thiết bị đo AC khác mà không cần giải điều biến tín hiệu sai lệch. Một mạch khuếch đại AC có lợi đối với điều khiển tỉ lệ; tuy nhiên, các điều khiển tinh vi hơn, như điều khiển tích phân và vi phân, thì khó ứng dụng đối với tín hiệu AC. Trong trường hợp này thì tín hiệu AC thường được biến điệu, và các tác động điều khiển áp dụng lên tín hiệu DC, sau đó tín hiệu DC đã hiệu chỉnh được chuyển trở về tín hiệu AC.

Động cơ AC servo là một động cơ AC cảm ứng thuận nghịch hai pha đã được cải tiến để phù hợp với các tác vụ servo. Sơ đồ mạch đơn giản của một động cơ AC servo trình bày trên hình 2.44. Động cơ gồm một rôto cảm ứng và hai cuộn dây tạo từ trường đặt lệch nhau 90° . Một cuộn dây tạo từ trường chuẩn cố định, cuộn dây còn lại tạo từ trường điều khiển. Tín hiệu sai lệch AC đã khuếch đại được áp vào cuộn điều khiển. Tín hiệu này có biên độ thay đổi với góc pha là 0° hay 180° . Một điện áp AC có biên độ không đổi được áp vào cuộn dây tạo từ trường chuẩn thông qua một mạch tạo lệch pha -90° . Hai tín hiệu trên như sau:

$$e_c = V_c \cos \omega t$$

$$e_r = A \cos(\omega t - 90^\circ) = A \sin \omega t$$

Trong đó:

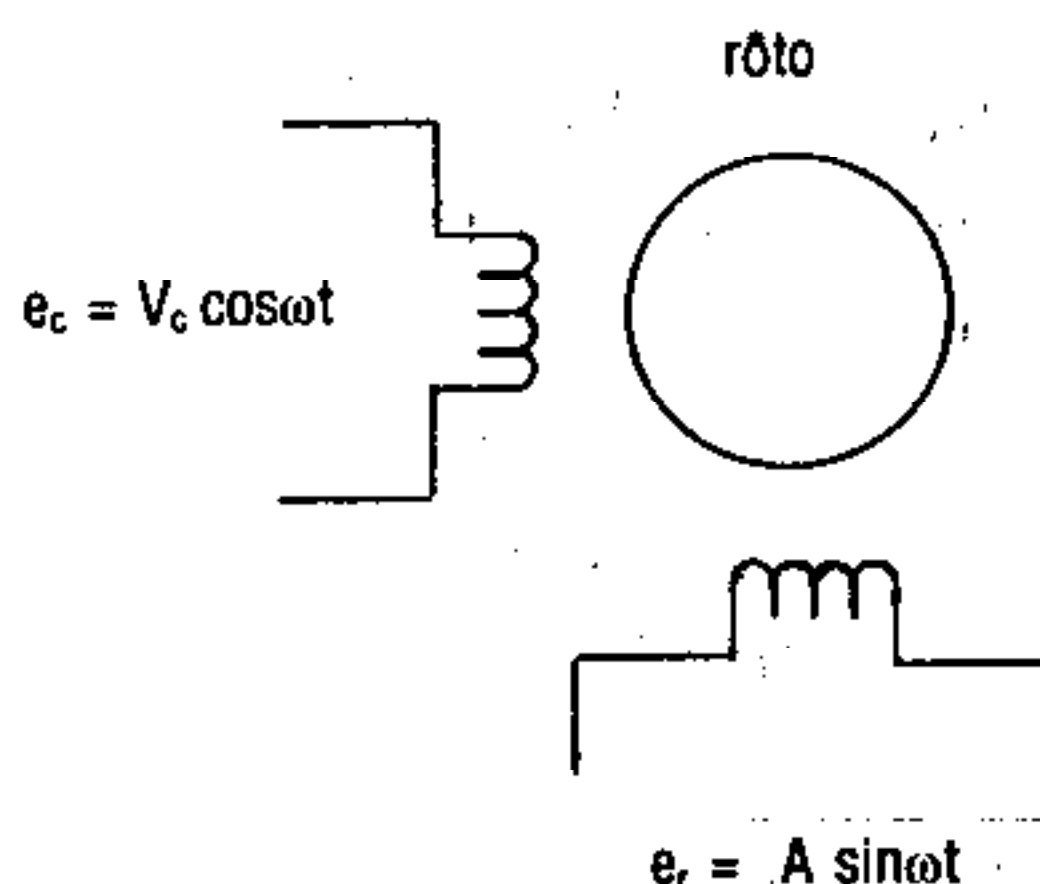
e_c : tín hiệu điện áp đặt vào cuộn điều khiển

e_r : tín hiệu điện áp đặt vào cuộn chuẩn

ω : tần số nguồn điện

V_c : biên độ thay đổi của tín hiệu điều khiển

A : biên độ không đổi của tín hiệu chuẩn



Hình 2.44: Sơ đồ nguyên lý mạch động cơ AC servo

2.3.4 Truyền động hỗn hợp

Trên thực tế người ta thường sử dụng những ưu điểm của từng loại truyền động một cách hợp lý vào từng bậc chuyển động của robot được thiết kế theo yêu cầu của khách hàng. Vì vậy, trên một robot thường gặp đồng thời nhiều dạng truyền động. Đặc biệt là ở tay gắp của robot các truyền dẫn rất đa dạng như khí nén, hút chân không hay điện tử.

2.4 Các dạng điều khiển tay máy

Theo dạng kết hợp chuyển động của các chuyển động độc lập trên tay máy, việc điều khiển tay máy được chia thành các dạng chính sau:

- (1) Hệ điều khiển rời rạc hay còn được gọi là điều khiển theo điểm hoặc điều khiển điểm-tới-điểm (point-to-point).
- (2) Hệ điều khiển theo đường dẫn liên tục (hay điều khiển theo chu vi - Continuous path).

Cách phân loại này tương đối thuận tiện dựa trên cách thức mà bộ điều khiển kiểm soát đường dẫn hay quỹ đạo trong dịch chuyển của các khâu trên tay máy. Bộ điều khiển sẽ thông qua đường dẫn để hướng dụng cụ công nghệ đi qua các điểm lập trình trong quỹ đạo tay máy. Có bốn kiểu đường dẫn từ đơn giản đến phức tạp như sau:

- Đường dẫn từng đoạn (stop-to-stop),
- Đường dẫn từng điểm (point-to-point),
- Đường dẫn liên tục (continuous path),
- Đường dẫn điều khiển (controlled-path).

Trong những hệ điều khiển rời rạc, chuyển động của từng trục được thực hiện dưới dạng dịch chuyển tuần tự để đưa từng khâu của tay máy dịch chuyển sao cho khâu tác động cuối đi đến những tọa độ của một số điểm hữu hạn đã được lập trình. Điều khiển theo các điểm rời rạc bao gồm hai kiểu đường dẫn: từng đoạn và từng điểm

2.4.1 Đường dẫn từng đoạn (hình 2.45a)

Đây là dạng đơn giản nhất của hệ điều khiển rời rạc: kiểu điều khiển không có phản hồi sử dụng các cử chặn hoặc công tắc hành trình và được sử dụng ở các robot thuộc thế hệ đầu có hoạt động theo chu kỳ. Trong trường hợp này, số điểm được lập trình cho mỗi trục thường là hai, tương ứng với điểm đầu và điểm cuối trên hành trình của trục; và chúng được xác định nhờ các cử chặn hoặc các công tắc hành trình. Điển hình cho loại này là các robot gấp-dặt.

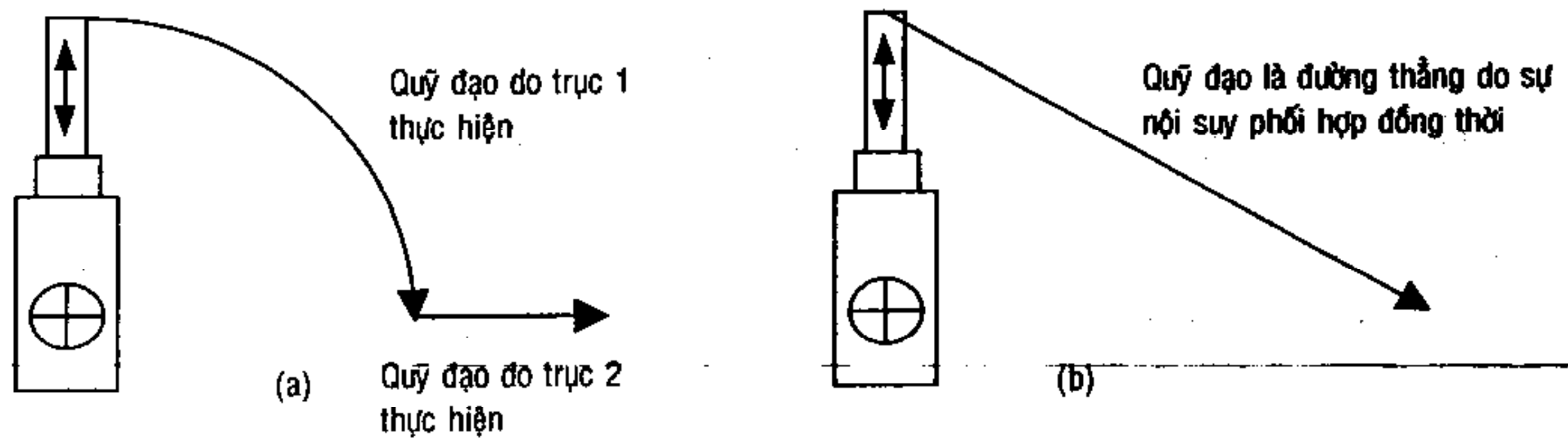
2.4.2 Đường dẫn theo điểm (hình 2.45b)

Là dạng được ưa chuộng trong lập trình cho các robot công nghiệp. Ở chế độ huấn luyện, thiết bị lập trình chính cho robot trong trường hợp này là pa-nen điều khiển, còn được gọi với tên thông dụng là teach-pendant.

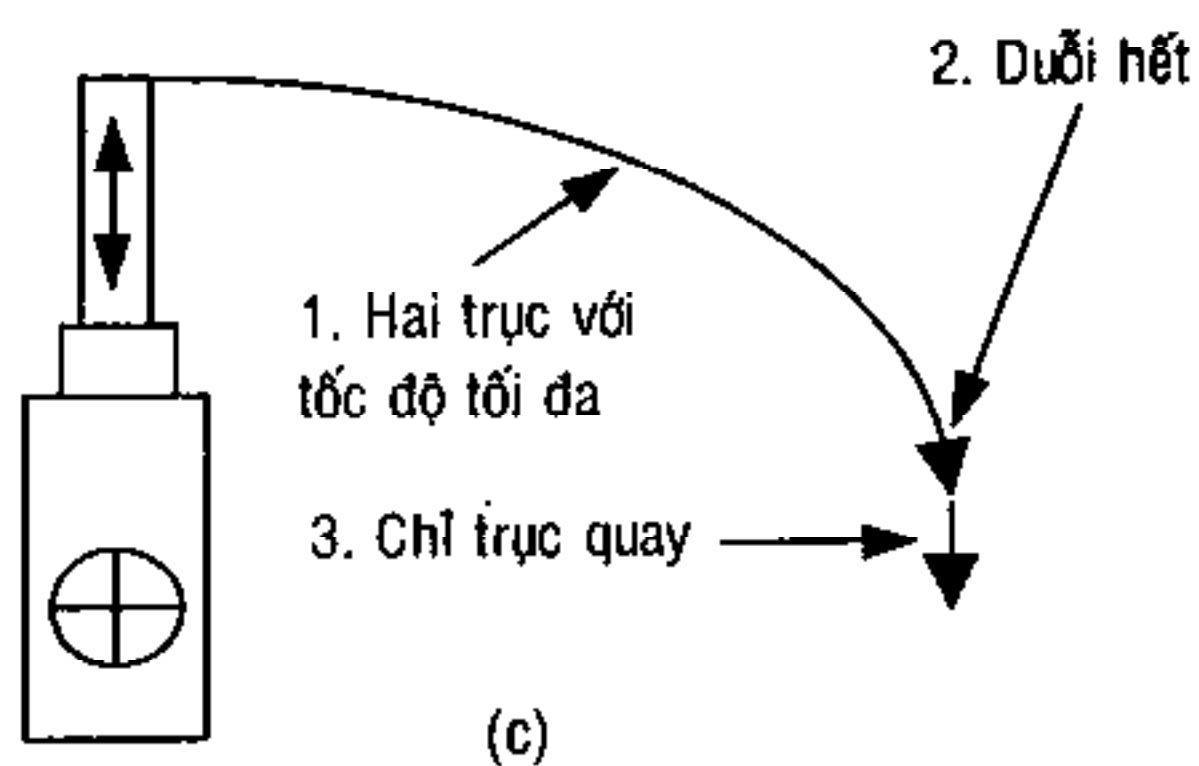
Khi lập trình, người vận hành sẽ sử dụng pa-nen điều khiển để di chuyển độc lập từng trục của tay máy lần lượt đến các điểm phải đi qua trong chương trình công nghệ. Mỗi lần đi qua một điểm trong chương trình, người lập trình phải lưu lại vị trí tọa độ của điểm vào bộ nhớ. Cần lưu ý là khi tất cả các điểm lập trình đã được đưa vào bộ nhớ, bộ điều khiển sẽ xử lý, tính toán vị trí của tay máy với các tọa độ suy rộng – các dịch chuyển góc thể hiện qua các góc quay ϕ_i hoặc các dịch chuyển thẳng thể hiện qua các hành trình s_i của các trục thay cho tọa độ Đề-các

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

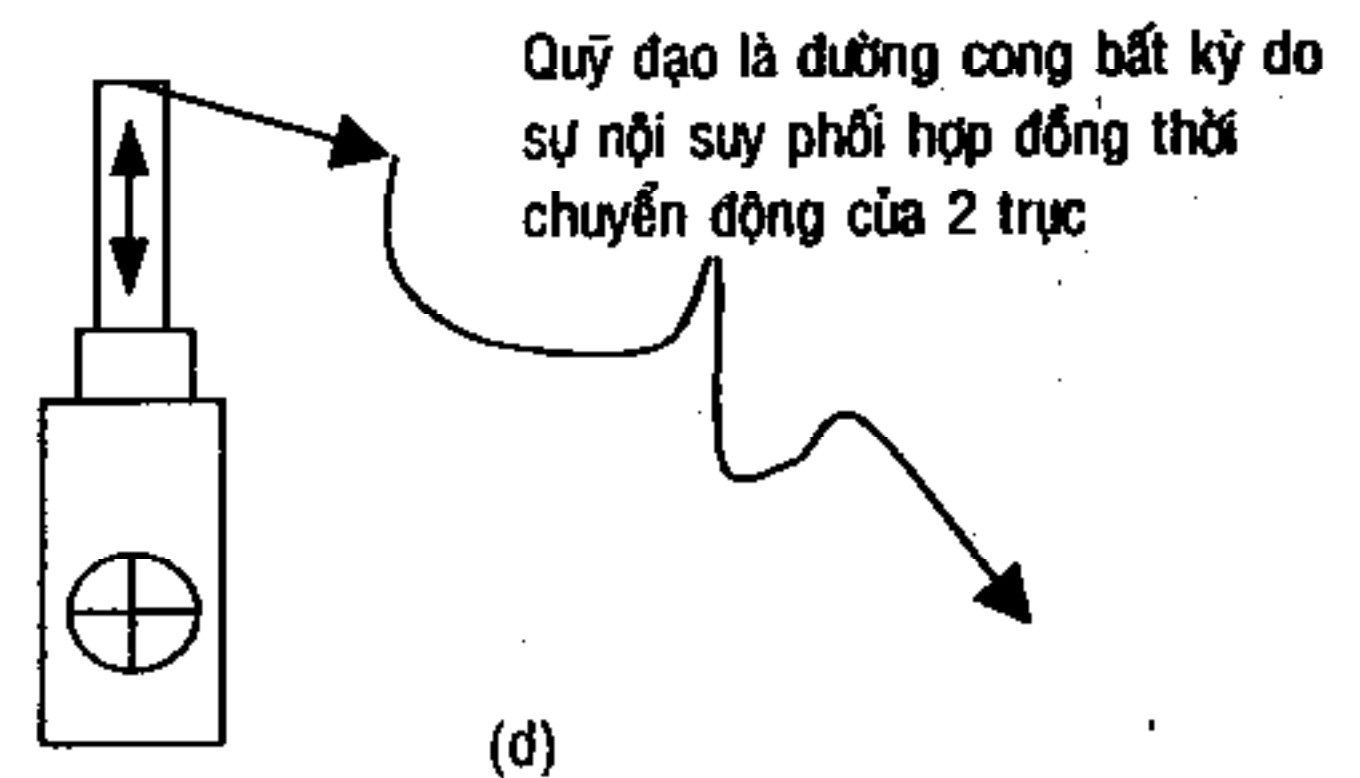
(được thể hiện dưới dạng các giá trị tọa độ định vị X, Y, Z và các giá trị góc định hướng δ , ϵ , ρ).



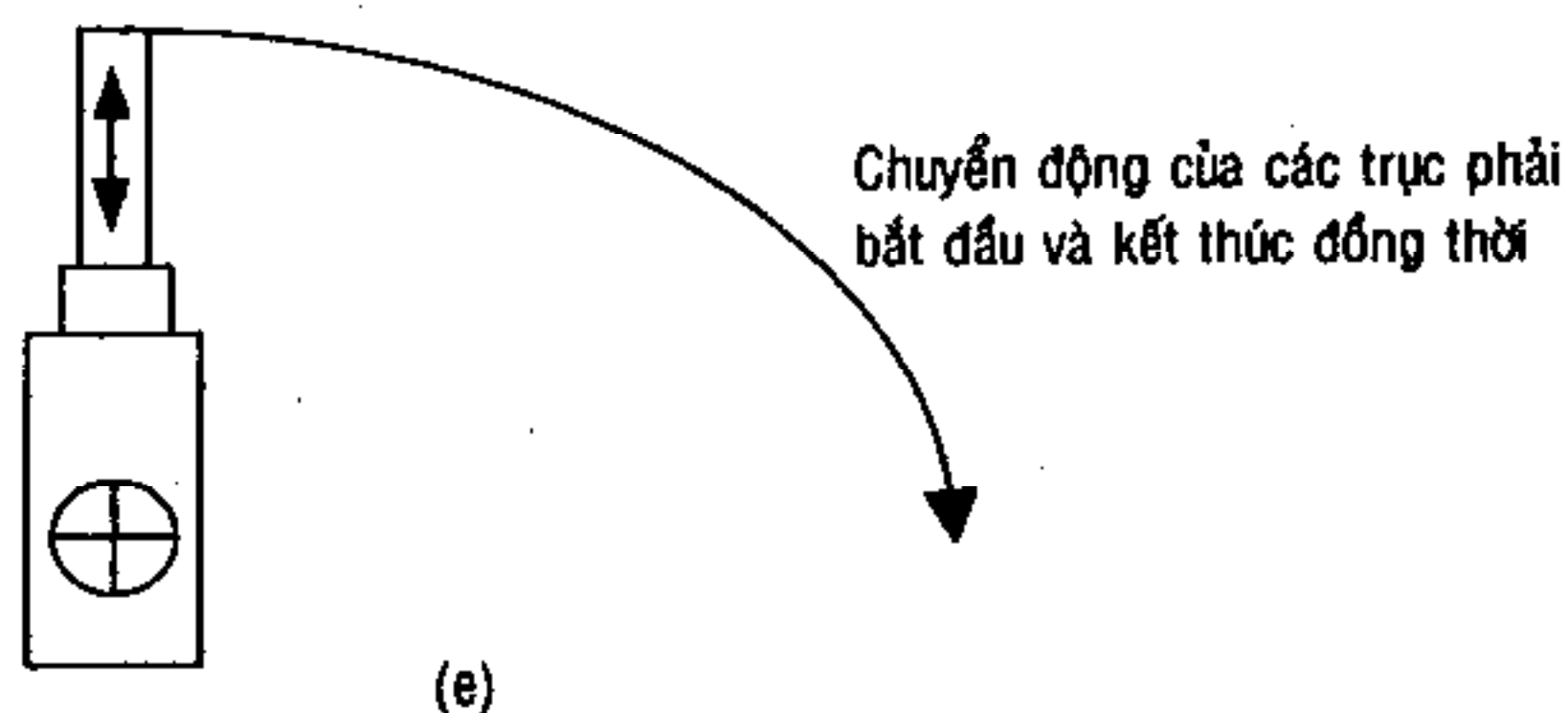
Đường dẫn Điểm-Tới-Điểm không phối hợp chuyển động của các trục (các trục thực hiện tuần tự)



Đường dẫn liên tục



Đường dẫn Điểm-Tới-Điểm phối hợp đồng thời chuyển động của các trục



Hình 2.45: Các dạng điều khiển chuyển động trên các khâu của tay máy

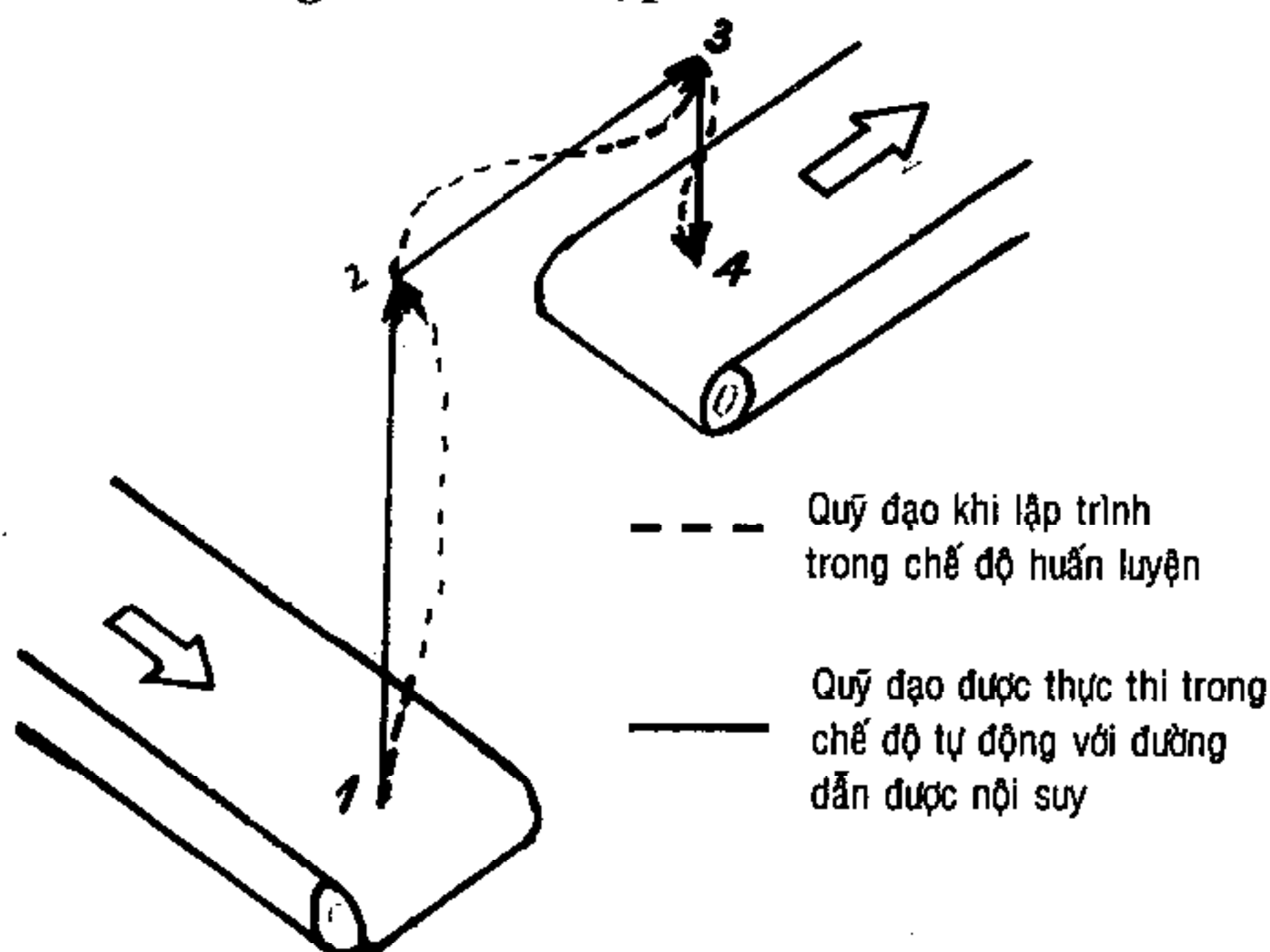
Khi lập trình, người vận hành sẽ sử dụng pa-nen điều khiển để di chuyển độc lập từng trục của tay máy lần lượt đến các điểm

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

phải đi qua trong chương trình công nghệ. Mỗi lần đi qua một điểm trong chương trình, người lập trình phải lưu lại vị trí tọa độ của điểm vào bộ nhớ. Cần lưu ý là khi tất cả các điểm lập trình đã được đưa vào bộ nhớ, bộ điều khiển sẽ xử lý, tính toán vị trí của tay máy với các tọa độ suy rộng – các dịch chuyển góc thể hiện qua các góc quay φ_i hoặc các dịch chuyển thẳng thể hiện qua các hành trình s_i của các trục thay cho tọa độ Đề-các (được thể hiện dưới dạng các giá trị tọa độ định vị X, Y, Z và các giá trị góc định hướng $\delta, \varepsilon, \rho$).

Ở các robot công nghiệp hiện đại, số điểm lập trình cho mỗi bậc chuyển động thường từ vài chục cho đến vài trăm, robot sử dụng trong các dây chuyền sản xuất các khung xe ô-tô là một ví dụ. Ngoài ra, tuy là ở dạng điều khiển từ điểm-tới-điểm, chuyển động của một số khâu trên tay máy có thể được thực hiện đồng thời. Điều cần phân biệt ở đây là ngay cả trong trường hợp này, người sử dụng chỉ quan tâm việc đưa tay gấp hay khâu tác động cuối đi đến những điểm xác định rồi rạc để thực hiện một quá trình thao tác yêu cầu nào đó mà không quan tâm đến quỹ đạo chuyển động giữa các điểm lập trình.

Hình 2.46 minh họa đường dẫn với bốn điểm điều khiển, đường liền nét biểu diễn cho đường dẫn khi chương trình thực thi, đường nét đứt cho đường dẫn khi lập trình.



Hình 2.46: Đường dẫn của robot khi lập trình

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Đa số robot làm việc tốt ở chế độ điều khiển theo điểm. Trong chế độ điều khiển này, chuyển động chỉ yêu cầu đạt tới vị trí mục tiêu, không quan tâm đến quá trình trung gian.

Các robot điều khiển số đầu tiên chỉ có thể xử lý điều khiển từng trục ở từng thời điểm; nghĩa là, các trục được điều khiển tuần tự cho đến khi đạt tới vị trí yêu cầu. Các bộ điều khiển hiện đại cho phép thực hiện điều khiển nhanh hơn và có thể điều khiển đồng thời các trục; nghĩa là khi có một lệnh chuyển động được đưa ra, tất cả các trục vận hành ở vận tốc lớn nhất hướng tới vị trí mới và một số trục sẽ kết thúc vận hành trước các trục khác. Tuy nhiên, kiểu điều khiển theo điểm không liên kết đồng bộ chuyển động của các trục (hình 2.45 c) hiện nay cũng ít dùng.

Kiểu điều khiển liên kết chuyển động đồng thời của các trục yêu cầu sao cho các trục đồng thời dịch chuyển và đồng thời kết thúc (hình 2.45d). Để thực hiện điều này, bộ điều khiển phải tính toán tốc độ vận hành của các trục, đồng thời xác định gia tốc chuyển động sao cho vận tốc các trục đạt giá trị lớn nhất giữa hành trình chuyển động của từng trục, sau đó giảm tốc ở nửa hành trình còn lại để đồng thời dừng cùng lúc. Công việc vừa mô tả trên đây của bộ điều khiển được thực hiện nhờ cơ chế nội suy, tương tự như ở các máy NC và CNC. Theo kiểu điều khiển này, hoạt động của robot tạo cảm giác nhẹ nhàng nhưng không thể tác động nhanh như có thể. Loại này được sử dụng khá phổ biến trong công nghiệp và sẽ được trình bày chi tiết hơn ở mục đường dẫn điều khiển.

Bộ điều khiển theo điểm có thể chứa hàng ngàn điểm lập trình, tùy theo dung lượng của bộ nhớ và có thể chứa nhiều chương trình khác nhau, nhờ đó robot có thể nhanh chóng thay đổi được các chuyển động của nó để đáp ứng các yêu cầu sản xuất thay đổi trong các tế bào sản xuất tự động linh hoạt dạng Workcell.

Lấy ví dụ, bộ điều khiển xuất tín hiệu để điều khiển một tay gấp trong một chương trình kiểm tra sản phẩm. Khi phát hiện sản phẩm không đạt tiêu chuẩn, tay gấp phải chuyển chi tiết

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

sang thùng đựng phế phẩm thay vì sang một băng tải di chuyển đến trạm gia công tiếp theo. Quá trình này đã thực hiện hai đoạn chương trình trong bộ điều khiển. Hình 2.47 trình bày một loại robot có công dụng chung điển hình về kiểu điều khiển theo điểm.



Hình 2.47: Một dạng robot điển hình về kiểu điều khiển theo điểm

Đặc điểm của kiểu điều khiển theo điểm là chương trình điều khiển tương đối lớn nhưng thời gian và công sức bỏ ra cho công việc lập trình không quá lâu theo phương thức như đã mô tả. Điểm hạn chế của nó chính là thiếu sự điều khiển theo đường thẳng. Điều này được lý giải theo nguyên tắc hoạt động của nó: trước tiên, nếu cần dịch chuyển đến một vị trí vào đó thì các trục thực hiện chuyển động định hướng, thực hiện các dịch chuyển lớn nhất có thể có; sau đó các trục chuyển động định vị - các chuyển động chính tốn nhiều năng lượng hơn - dịch chuyển ít hơn. Như vậy có thể thấy kiểu đường dẫn điều khiển này chỉ thích hợp cho việc vận chuyển vật liệu hay lắp ráp chi tiết, còn đối với các trường hợp sử dụng những quỹ đạo liên tục để bảo đảm độ chính xác công nghệ như là hàn theo đường hoặc các ứng dụng cần kiểm soát theo đường thẳng thì bắt buộc các điểm lập trình phải

rất gần nhau. Điều này cũng có thể thực hiện được ở kiểu điều khiển từ – điểm – tới – điểm, nhưng độ chính xác không cao và mất nhiều thời gian lập trình cũng như thời gian hoạt động của robot theo chương trình được lập ra theo kiểu này.

Một đặc điểm đáng lưu ý là việc lựa chọn kiểu điều khiển theo điểm còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kỹ thuật điều khiển tương ứng với nguồn dẫn động, dạng hình học và độ chính xác yêu cầu của quỹ đạo, v.v... Nhưng sử dụng phổ biến nhất kiểu điều khiển này là các robot toàn khớp quay (jointed-spherical) hoặc dạng SCARA với độ chính xác lặp lại vị trí trong khoảng sai lệch $\pm 0,05$ mm.

2.4.3 Đường dẫn liên tục (continuous path)

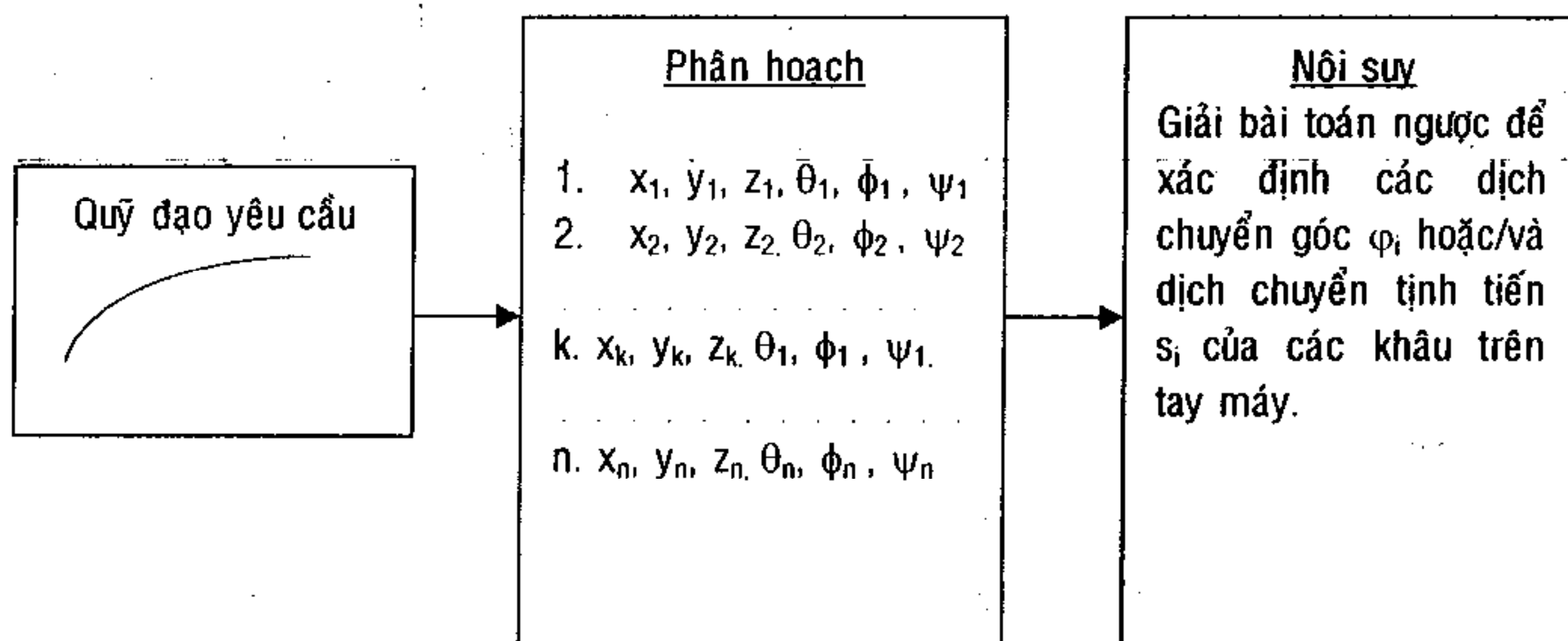
Đường dẫn liên tục là tập hợp của tất cả các điểm nằm kế nhau. Sự khác nhau chính giữa điều khiển từng điểm và điều khiển đường dẫn liên tục là số lượng các điểm lập trình và phương pháp lưu các điểm lập trình vào bộ nhớ. Trong chương trình theo điểm người lập trình đưa robot đến vị trí xác định và nhấn nút ghi chương trình (insert) - từng điểm trong đường dẫn lập trình được ghi nhận như thế và chương trình hoàn thành sau một chuỗi các điểm đó; như vậy, bộ điều khiển theo điểm đưa robot đi từ điểm này sang điểm kia. Trái lại, trong lập trình đường dẫn liên tục, người lập trình chỉ ra đường dẫn bằng cách sử dụng teach-pendant hay bằng các thiết bị như bộ lập trình trên thiết bị mô phỏng (simulator), lập trình theo cách dắt mũi (lead-by-nose), hay bàn phím để kiểm soát vị trí của tay máy.

Như vậy, các robot có đường dẫn liên tục có thể có các điểm, nhận được khi lập trình trong chế độ huấn luyện, trên một đường dịch chuyển được đưa vào bộ nhớ. Sau đó, các điểm nút - các điểm có tọa độ đã được lưu vào bộ nhớ trước đó - sẽ được đưa ra tuần tự bởi bộ điều khiển robot cho các trục của robot khi thực hiện chương trình.

Robot có thể thường xuyên được điều khiển để thực hiện những đoạn dịch chuyển thẳng hoặc theo cung tròn từ nút này tới nút kế tiếp. Khi hoạt động ở chế độ huấn luyện, nút ghi chương

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

trình hoạt động đồng thời với sự di chuyển từ lúc bắt đầu cho đến cuối đường dẫn. Lúc đó bộ điều khiển sẽ ghi vị trí các điểm với tốc độ từ 6 điểm/giây trở lên. Với kiểu điều khiển này để thực hiện một chương trình ngắn có thể phải sử dụng một dung lượng rất lớn của bộ nhớ.



Hình 2.48: Sơ đồ minh họa quá trình phân hoạch và nội suy

Mặc dù việc chạy một chương trình điều khiển liên tục tương tự như trường hợp của các robot thế hệ đầu tiên sử dụng bộ điều khiển analog nhưng điểm khác biệt là với điều khiển số (digital) có thể loại trừ sự nhầm lẫn ở chỗ phải thực hiện xong điểm nút trước mới thực hiện tiếp điểm nút sau. Thách thức lớn mà các robot loại này đã thực hiện được khác với các loại thế hệ đầu là tạo ra chuyển động êm không bị dừng ở mỗi điểm nút đồng thời giảm tối thiểu việc bị lệch hướng khỏi đường dịch chuyển mà robot đã học trong chế độ huấn luyện nhờ vào cơ chế điều khiển servo sẽ được trình bày ở phần sau. Robot có đường dẫn liên tục được sử dụng chủ yếu trong việc sơn và hàn.

2.4.4 Đường dẫn điều khiển (controlled path)

Robot có đường dẫn được điều khiển là hệ thống điều khiển theo điểm được trang bị thêm khả năng kiểm soát vị trí của tay gấp và các vị trí trung gian khi tay gấp dịch chuyển giữa các điểm lập trình. Người ta lập trình cho hệ thống này như cách đã làm

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

đối với robot điều khiển theo điểm; nghĩa là, dùng teach-pendant ghi nhận từng điểm trên đường dẫn. Điểm khác nhau là chương trình quỹ đạo được thực thi khi đó là chuyển động thẳng giữa hai điểm lập trình. Trong trường hợp này, vận tốc góc trong dịch chuyển của các trục được điều khiển sao cho tỉ lệ thuận với giá trị (độ lớn) của góc quay của chúng; nghĩa là trục có góc quay lớn được dẫn động nhanh hơn trục có góc quay bé, bảo đảm sao cho quá trình thực hiện một quỹ đạo nào đó của tay máy – cũng là quá trình thực hiện các góc quay được bắt đầu và kết thúc cùng một lúc. Gọi Δt là thời gian thực hiện dịch chuyển giữa hai điểm lập trình, ta có :

$$\Delta t = \Delta \varphi_i / \omega_i = \Delta s_j / v_j$$

trong đó:

- $\Delta \varphi_i$: là góc quay của trục thứ i
- ω_i : là vận tốc góc của trục thứ i
- Δs_j : là dịch chuyển thẳng của trục thứ j
- v_j : là vận tốc dài của trục thứ j
- $i, j = 1 - n$

Các lệnh điều khiển chuyển động giúp cho bộ điều khiển tính toán một loạt các điểm tạm thời hoặc trung gian giữa vị trí hiện tại với vị trí phải dịch chuyển đến. Các vị trí trung gian sẽ được cung cấp tuần tự cho các bộ điều khiển servo của từng trục nhờ khối nội suy trong bộ điều khiển. Chuyển động kết quả giữa hai điểm lập trình là đường dẫn thẳng mà không cần sự khéo léo của người lập trình.

Hầu hết các robot có đường dẫn điều khiển thực hiện được việc nội suy đường thẳng, cho phép robot dịch chuyển đối tượng thao tác theo quỹ đạo thẳng giữa hai điểm bất kỳ trong vùng không gian hoạt động. Một số robot thực hiện được việc nội suy cung tròn để thực hiện các quỹ đạo cong. Một số ít khác thực hiện được các phép nội suy tinh vi hơn như các quỹ đạo parabol hoặc xoắn ốc, v.v..

Các robot có đường dẫn điều khiển hiện nay còn được trang bị khả năng thực hiện mọi quỹ đạo cong mà hệ thống CAD vẽ

được. Thêm vào đó, vận tốc giữa các điểm trong chương trình có thể được tính riêng dọc theo di chuyển của dụng cụ công nghệ chẳng hạn như trong kiểu hàn đường đu đưa.

Với các bộ điều khiển hiện nay, việc tính toán thời gian phối hợp để thực hiện chuyển động nội suy (Δt) cho phép trì hoãn các chuyển động để phối hợp theo đúng quỹ đạo nội suy với một sai số tích lũy không đáng kể sau một hành trình dịch chuyển dài.

Một lợi điểm của robot có đường dẫn điều khiển là chúng có thể tự tính toán dịch chuyển tuần tự mà trước đó chúng không được "học" trong chế độ huấn luyện. Các robot dạng này hiện nay còn được trang bị khả năng có thể sử dụng thông tin từ các hệ thống vision, chẳng hạn như để tìm và gấp các chi tiết có hướng nằm ngẫu nhiên trên băng tải. Tất cả các khả năng này là thành quả của sự phát triển của bộ điều khiển thông minh kết hợp với các tiện ích trong soạn thảo, lập trình như sửa lỗi chương trình, dự đoán sự cố, sử dụng bộ nhớ phụ khi cần thiết và tăng cường việc kiểm soát bộ phận công tác trên đầu cánh tay robot.

Trên cùng một robot có thể sử dụng đồng thời các điều khiển đã trình bày. Ngoài ra, trên các hệ thống sản xuất, người ta còn phân biệt hệ điều khiển riêng cho từng robot hoặc hệ điều khiển chung một nhóm robot.

Những điểm nói thêm về điều khiển đường dẫn theo cơ chế servo

Sự cải tiến về chất lượng của các bộ điều khiển servo (máy tính tương tự) được thực hiện trên những robot công nghiệp đầu tiên trong những năm 40-50. Các cảm biến vị trí đã được kết nối cho phép các thợ máy lập trình điều khiển tinh xảo hơn và các chuyển động của robot được ghi vào băng từ. Sau đó các băng từ sẽ báo lại các tín hiệu điều khiển vị trí cho các động cơ thực hiện những chuyển động đã lập trình. Nhược điểm của các robot đầu tiên này là sau một thời gian hoạt động các đặc điểm về ma sát và quán tính của cơ hệ bị thay đổi nên không còn đáp ứng đúng với tín hiệu điều khiển, dẫn đến việc phải điều chỉnh tín hiệu điều khiển.

Các robot thế hệ mới giải quyết được các vấn đề này nhờ cơ chế điều khiển servo để không bị ảnh hưởng của ma sát và quán tính nhờ bộ điều khiển dạng máy tính số kết hợp với cơ chế điều khiển tự thích nghi. Tuy nhiên, ta có thể đưa ra lệnh thay đổi vị trí và chờ đến khi các cảm biến đáp ứng hoàn toàn hoặc hầu như xong một lệnh điều khiển mới xuất lệnh điều khiển tiếp theo. Quá trình thực hiện một dịch chuyển bao gồm các giai đoạn:

- (1) Đoạn đầu gia tốc được điều khiển để chạy êm, tăng dần đến vận tốc cực đại của chuyển động. Vận tốc lớn nhất được duy trì cho đến khi cảm biến vị trí báo tín hiệu sắp tới vị trí mục tiêu. Khi đó quá trình giảm tốc được thực hiện như khi tăng tốc. Trong trường hợp dịch chuyển ngắn, việc giảm tốc có thể được thực hiện trước khi đạt tới vận tốc ổn định (v_{max}).
- (2) Một cách lý tưởng là vận tốc giảm dần tới không khi đạt đến vị trí yêu cầu. Trong thực tế, đa số các bộ điều khiển robot cho phép có một khoảng vượt quá (overshoot) và hiệu chỉnh lại ngay sau đó nhằm đạt được thời gian chuyển động tối ưu.
- (3) Một số ngôn ngữ robot kèm theo các lệnh cho phép người lập trình có thể qui định vận tốc và gia tốc lớn nhất.

2.5 Tay gấp

Tùy theo công dụng của robot được sử dụng trong quá trình công nghệ, phần tận cùng của các tay máy được trang bị những bộ phận công tác khác nhau, có thể là những thiết bị gấp, kẹp để thực hiện việc gấp và giữ đối tượng thao tác, cũng có thể là những dụng cụ công nghệ dùng để thực hiện một thao tác công nghệ hoàn chỉnh trong quá trình công nghệ mà robot đảm nhận như đầu hàn hồ quang tự động, đầu phun sơn, phun men v.v...

Quá trình nghiên cứu cho thấy dùng cảm biến xúc giác trong quá trình lắp ráp hai chi tiết với nhau mang tính kỹ thuật cao hơn cảm biến thị giác. Sự ưu việt này của cơ quan cảm giác nhấn mạnh tầm quan trọng của cánh tay con người trong các quá trình chế tạo và lắp ráp sản phẩm. Nó cũng nhấn mạnh yêu cầu cần áp dụng vào bộ phận công tác các loại cảm biến này trên các tay máy.

Nếu như robot được sử dụng ngày càng nhiều trong các công việc thay thế cho con người thì việc giả lập kiểu bàn tay con người với khả năng cầm, nắm, cảm nhận và thao tác vật thể vẫn còn là những khó khăn đối với người thiết kế bộ phận công tác. Những nhà thiết kế Mỹ và Nhật đang tiến hành nghiên cứu bộ phận công tác với 3 ngón có thể kẹp vật thể với hình dạng bất kỳ và lực kẹp thay đổi tùy theo tính chất của vật liệu kẹp. Phần này sẽ khảo sát các loại dụng cụ đang được sử dụng. Việc sử dụng thuật ngữ bộ phận công tác ở đây mà không dùng thuật ngữ tay gấp nhằm lưu ý bạn đọc là không phải bao giờ robot cũng được dùng để cầm giữ, nắm, bắt, kẹp đối tượng thao tác mà nói chung có rất nhiều công việc khác nhau dành cho robot trong sản xuất như hàn, sơn, phun phủ men cho các đồ dùng sành sứ, lắp bu-lông vào lỗ ren, v.v..

Nhìn chung bộ phận công tác hoặc tay gấp được gắn trên đầu cuối cánh tay máy. Chức năng của tay máy là hoặc giữ chi tiết cho các máy công cụ khác xử lý, gia công trên chi tiết hoặc mang dụng cụ tác động lên chi tiết. Trong trường hợp này chi tiết là đối tượng thao tác của robot. Ví dụ như robot giữ lấy chi tiết và định vị dưới máy khoan NC hoặc chính bộ phận công tác của robot là một máy khoan, di chuyển theo cánh tay robot để gia công ra những lỗ khoan giống như cách con người cầm máy khoan để khoan lên chi tiết.

Bộ phận công tác sử dụng trong các tế bào sản xuất (workcell) sẽ phải đáp ứng năm tính chất sau đây:

- (1) Bộ phận công tác phải có khả năng kẹp, nâng và thả chi tiết hay một nhóm chi tiết cần gia công, xử lý trong quá trình sản xuất.
- (2) Phải cảm nhận được sự hiện diện của chi tiết trong tay gấp, hoặc dùng cảm biến gắn vào cánh tay máy hoặc một nơi nào đó trong workcell (như nhận biết sự hiện diện của chi tiết trên băng tải bằng tế bào quang điện phát tia hồng ngoại).
- (3) Trọng lượng bộ phận công tác phải giữ ở mức nhỏ nhất để tính vào với trọng lượng chi tiết để quyết định trọng tải tối đa.

- (4) Chi tiết trong tay gấp phải bảo đảm chịu được vận tốc tối đa và trường hợp mất năng lượng cung cấp cho tay gấp chi tiết vẫn được giữ trên tay gấp.
- (5) Tay gấp cần có cấu tạo đơn giản và nên là một dụng cụ đã được thử nghiệm đạt độ tin cậy cao trước khi sử dụng.

Sự bảo toàn Job IQ

Có một định luật bảo toàn tồn tại trong tất cả các hệ vật lý. Định luật này phát biểu rằng: 'Trong một hệ cô lập tổng năng lượng ở các dạng là một hằng số. Nếu năng lượng ở dạng này tăng lên thì năng lượng ở dạng kia giảm xuống để tổng năng lượng trong hệ là không đổi'. Người ta vận dụng khái niệm này vào việc lựa chọn hệ thống có sử dụng robot để thiết kế và lựa chọn bộ phận công tác. Khi áp dụng điều nói trên vào các ứng dụng robot trong các hệ thống sản xuất cụ thể; thường là trên các tế bào sản xuất tự động – workcell, ta gọi đó là sự bảo toàn Job IQ (sự bảo toàn chỉ số thông minh của công việc).

Mỗi một trình tự công việc do robot thực hiện nhằm hoàn thành một yêu cầu sản xuất riêng biệt sẽ có một mức độ thông minh cần thiết nào đó, quyết định mức độ thông minh mà toàn bộ hệ thống sản xuất phải có để tạo ra quá trình phối hợp hoạt động trên tế bào sản xuất. Ví dụ như công việc của robot là lấy chi tiết từ một nơi đã định vị trí trước, ta cần lựa chọn một tay máy ít thông minh hơn trường hợp chọn tay máy để thực hiện công việc lấy chi tiết từ một băng tải di động chứa các chi tiết được sắp xếp ngẫu nhiên. Do đó hệ thống bao gồm tay máy và bộ phận vận chuyển chi tiết đã được định vị trước sẽ cần mức độ thông minh ít hơn hệ thống bao gồm tay máy và băng tải vận chuyển chi tiết được sắp xếp ngẫu nhiên.

Mặt khác, yêu cầu sản xuất có chỉ số thông minh càng lớn thì giá thành thực hiện hệ thống tự động càng lớn. Trong ví dụ ở trên, một robot có tính công nghệ thấp và bộ phận công tác đơn giản cùng nhau tạo thành một hệ thống có mức thông minh khá thấp. Ngược lại với các chi tiết sắp xếp không trật tự trên băng tải di động sẽ cần một hệ thống robot mang tính công nghệ cao

với tay gắp đơn giản, hoặc một robot gắp và đặt có tính công nghệ thấp nhưng phải cần một hệ thống camera theo dõi và nhận dạng chi tiết cần gắp ra khỏi băng tải di động để tìm và báo cho robot biết vị trí của chi tiết đó.

Trong ví dụ phân tích sau, công việc với chỉ số thông minh cao hơn ví dụ trước, vì vậy mà hệ thống sẽ cần phần cứng với giá thành cao hơn. Như vậy vấn đề đặt ra là làm thế nào để điều đã phân tích ở trên có thể áp dụng vào việc lựa chọn dụng cụ và thiết kế? Để thực hiện điều đó, khi thiết kế hệ thống cần phải áp dụng một số tiêu chuẩn trong việc lựa chọn thiết bị.

Khi các robot được xem xét để trang bị trong việc linh hoạt hóa các hệ thống tự động, việc phân tích chỉ số thông minh của từng công việc thao tác sẽ được liệt kê ra. Sau đó, việc phân tích tính thông minh cần đạt được của hệ thống kể cả bộ phận công tác phải được đánh giá bằng chỉ số thông minh cần thiết để thực hiện công việc. Trong đó phải lưu ý đến độ phức tạp của công việc, yêu cầu về thời gian và yêu cầu phối hợp hoạt động thao tác của cả hệ thống bao gồm robot và các thiết bị phối hợp trong suốt quá trình. Bằng cách này, ta sẽ cân nhắc để xác định mức độ thông minh cần thiết của robot được thiết kế để đạt được mức độ tự động. Qua quá trình xem xét và đánh giá như vậy, ta sẽ có cơ sở để lựa chọn mức độ tinh vi và thông minh của robot được thiết kế phù hợp nhất với yêu cầu sản xuất mà không lãng phí khi sử dụng robot có trình độ công nghệ và điều khiển vượt quá mức độ yêu cầu.

Một ưu điểm nữa trong việc phân tích như trên, ta sẽ xem xét sự cần thiết của mỗi bước trong trình tự hoạt động của hệ thống sản xuất, thường gặp nhất là một bước công việc nào đó có yêu cầu chỉ số thông minh cao, còn lại các công việc khác không cần độ thông minh cao. Việc tăng mức độ tinh vi hoặc thông minh trong quá trình xử lý và điều khiển của hệ thống sản xuất sẽ tăng chi phí cho hệ thống. Cuối cùng bước công việc với chỉ số thông minh cao có thể được nhận diện và có thể thay đổi để đem lại hiệu quả kinh tế hơn.

Sở dĩ vấn đề Job IQ được nêu ra ở đây là bởi vì độ tinh vi và thông minh của robot hay tay máy có liên quan chặt chẽ với các cảm biến thông minh sẽ được trang bị trên các tay gấp hoặc trên khâu tác động cuối mang các dụng cụ công nghệ được lắp đặt trên robot hay tay máy. Dưới đây ta sẽ xem xét các dạng tay gấp và dụng cụ công nghệ trang bị trên khâu tác động cuối của tay máy hay robot.

Tay gấp chuẩn

Tay gấp chuẩn là bộ phận công tác phổ biến nhất, thường được chia ra thành hai loại dựa theo hai chuyển động kẹp khác nhau; song song và xoay một góc. Trong nhiều trường hợp người ta mua các tay gấp chuẩn này sau đó gắn thêm những đĩa hoặc những bộ điều chỉnh thích hợp cho công việc riêng.

Khi robot làm việc, tay gấp sẽ thực hiện các động tác kẹp, di chuyển và nhả đối tượng thao tác ra ở một vị trí nào đó. Các tay gấp được điều khiển nhờ các lệnh trong chương trình từ bộ điều khiển. Theo chương trình được lập từ trước, bộ điều khiển sẽ cung cấp tín hiệu tác động vào các nguồn dẫn động để tạo ra các tác động kẹp, nhả.

Tay gấp thường kẹp, sẽ mở ra khi nguồn dẫn động tác động và tự phục hồi nhờ lò xo khi ngắt nguồn.

Tay gấp thường mở, sẽ kẹp giữ sản phẩm khi nguồn dẫn động tác động và tự phục hồi nhờ lò xo khi ngắt nguồn.

Tay gấp có nguồn dẫn động tác động hai chiều: mở ra và kẹp lại chỉ khi có tín hiệu tác động. Với kiểu này, cần lưu ý là tay gấp phải được thiết kế sao cho vẫn giữ được chi tiết khi mất nguồn năng lượng.

2.5.1 Phân loại tay gấp

Tay gấp hoặc bộ phận công tác được trang bị trên khâu tác động cuối của tay máy có thể phân loại theo các yếu tố dưới đây:

- Theo nguồn dẫn động cho tay gấp, có các loại:

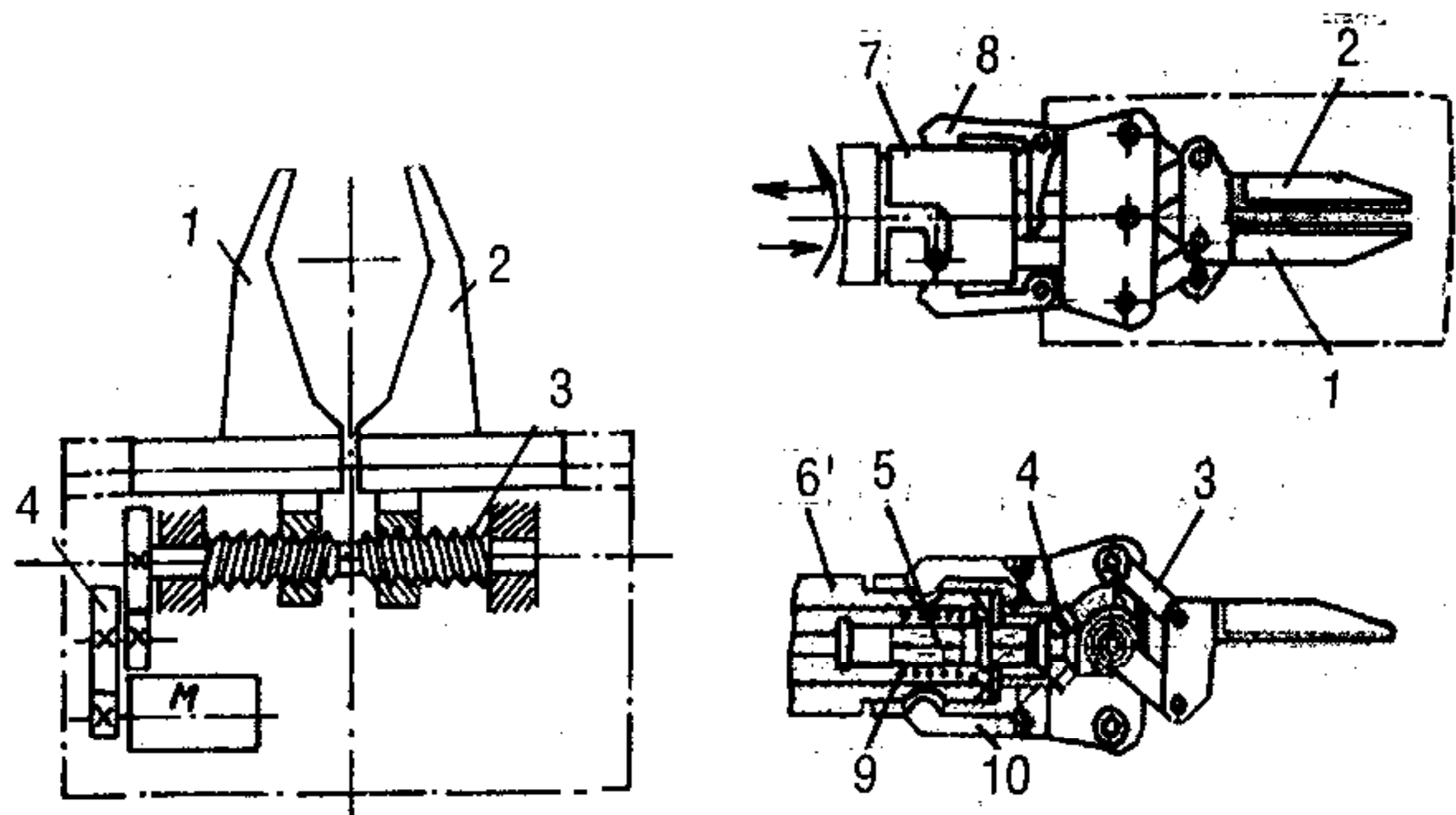
- ❖ Tay gắp sử dụng động cơ điện
- ❖ Tay gắp sử dụng khí nén
- ❖ Tay gắp sử dụng thủy lực
- ❖ Tay gắp sử dụng chân không
- ❖ Tay gắp sử dụng nam châm.

- Theo dụng cụ công nghệ lắp đặt trên khâu tác động cuối để thực hiện các công việc như khoan, hàn, mang camera, sơn, phun men, mang dụng cụ mài, v.v..

(1) Tay gắp dùng động cơ điện

Trên hình 2.49a trình bày sơ đồ cấu tạo dạng tay gắp cơ – điện; chuyển động của hàm kẹp 1 và 2 được thực hiện nhờ động cơ M, bộ truyền bánh răng 4 và truyền động vít – đai ốc 3.

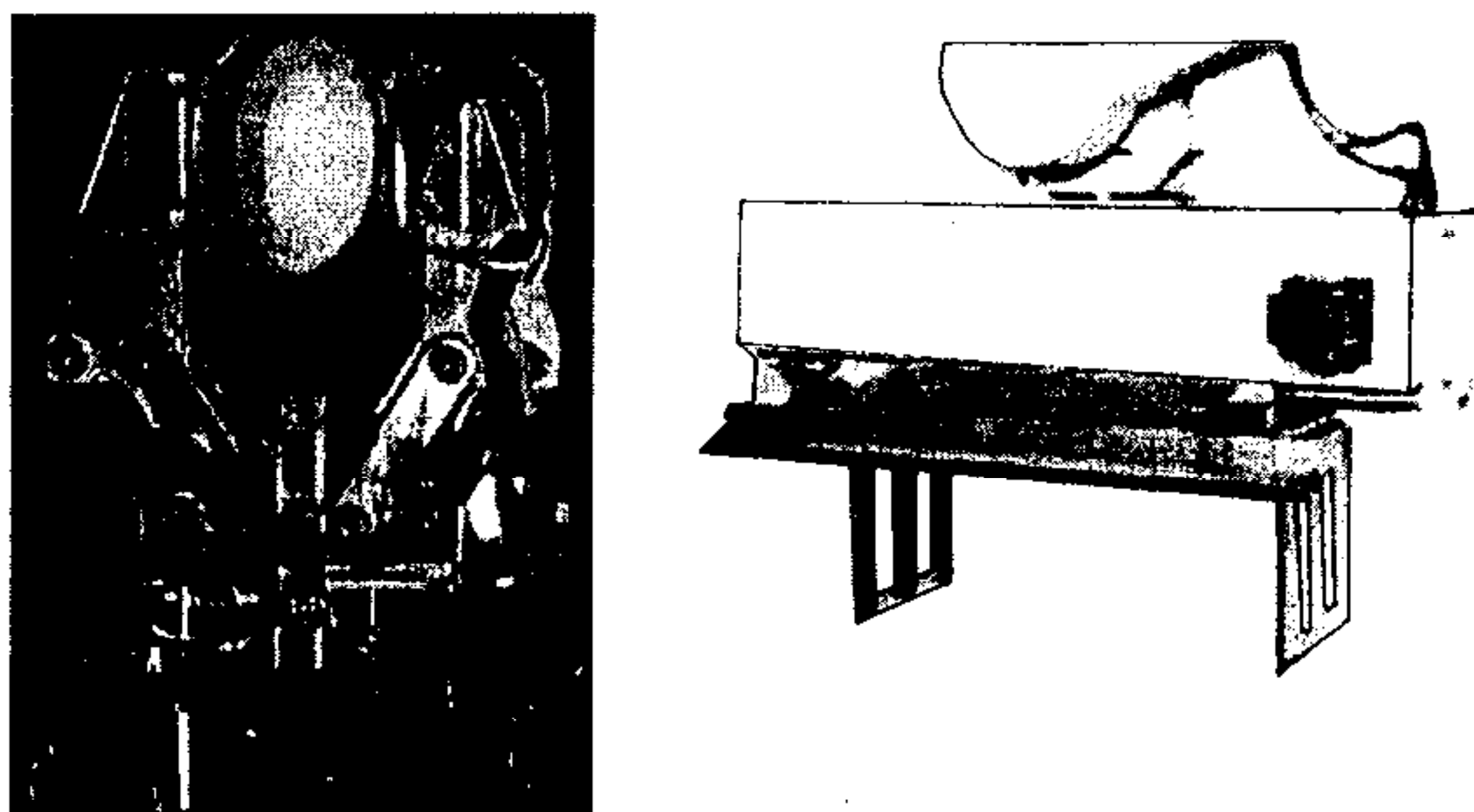
Trên hình 2.49b trình bày kiểu tay gắp cơ khí với các hàm kẹp 1 và 2 có chuyển động song phẳng nhờ cơ cấu bình hành 3 được dẫn động bởi trục truyền 5 thông qua cơ cấu bánh răng nón 4. Để nhanh chóng tháo lắp vào khâu cuối (cổ tay) 6 của tay máy, tay gắp được thiết kế một ống định vị 7 và được giữ bởi hai vấu 8 và các chốt an toàn 10.



Hình 2.49: Dạng tay gắp kiểu cơ – điện

Tay gấp dùng hệ tác động servo

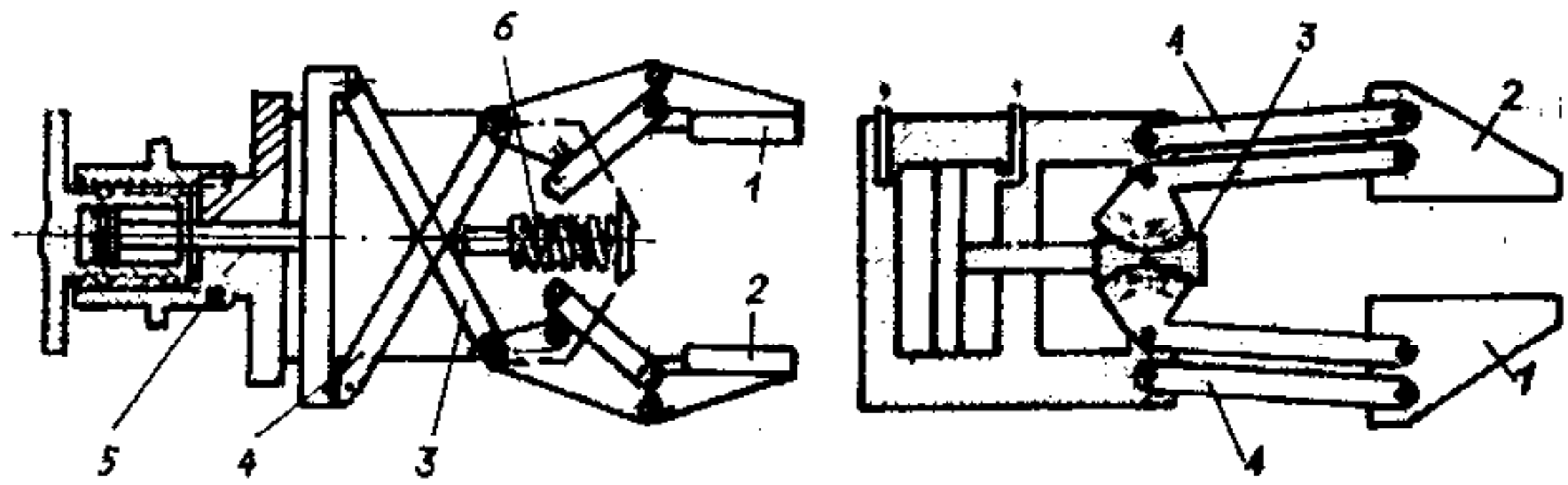
Loại này được sử dụng khi người ta phát triển tay gấp có thể thay đổi áp suất kẹp lên đối tượng. Điều này cho phép tay gấp có thể kẹp một viên bi thép hay kẹp một quả trứng mà không để viên bi rơi hay làm vỡ quả trứng (hình 2.50). Tuy nhiên ta cũng nhận thấy rằng cần phải phát triển kỹ thuật cảm biến để cảm nhận được đối tượng qua tiếp xúc, nghĩa là sử dụng các cảm biến xúc giác để nhận biết một lực kẹp cần thiết, phù hợp để cung cấp vừa đủ lực ma sát nhằm giữ được đối tượng mới là giải pháp hữu hiệu nhất cho ví dụ nêu trên. Kỹ thuật có liên quan đến lĩnh vực trí tuệ nhân tạo cho phép thực hiện điều này và sẽ được đề cập trong phần III của giáo trình này.



Hình 2.50: Tay gấp tác động servo

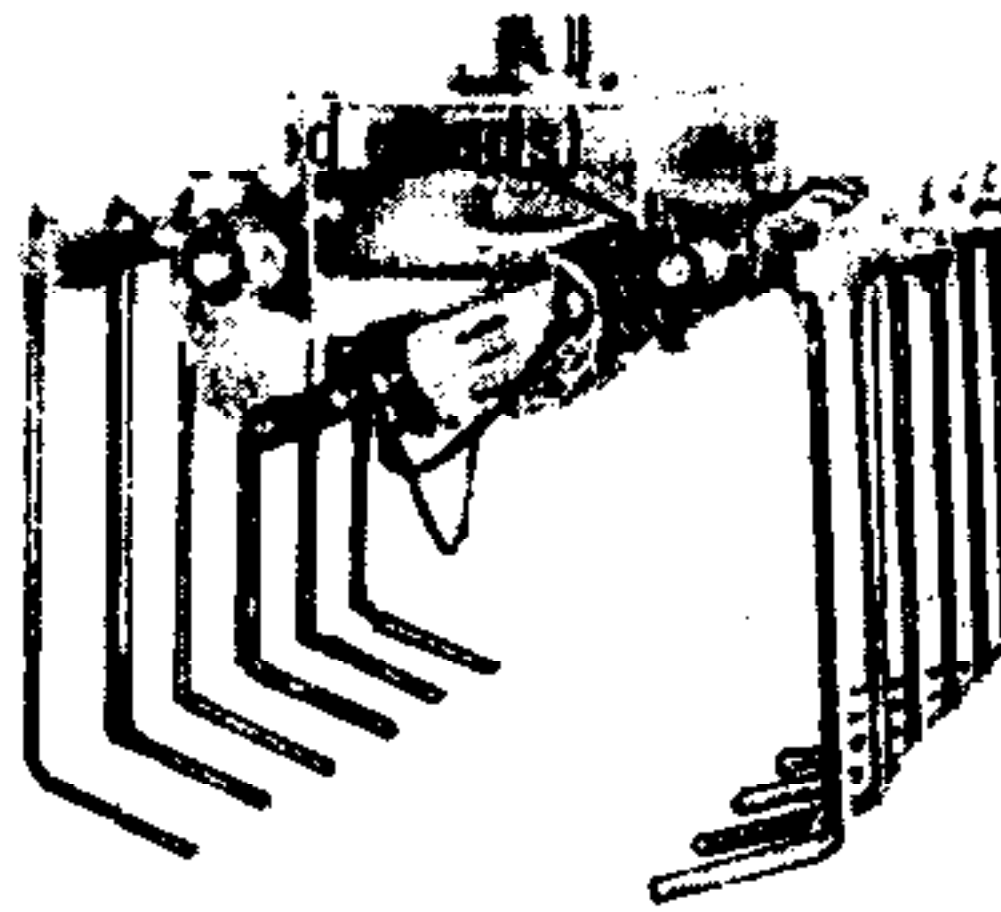
(2) Tay gấp dùng nguồn khí nén

Trên hình 2.51a trình bày tay gấp với hàm kẹp 1 và 2 nhận chuyển động từ xy lanh khí nén 5 thông qua hai thanh truyền 3 và 4 và lò xo 6. Hình 2.51b trình bày tay gấp với truyền động khí nén, hàm kẹp 1 và 2 nhận chuyển động song phẳng thông qua cơ cấu thanh răng – quạt răng 3 và các cơ cấu bình hành 4.

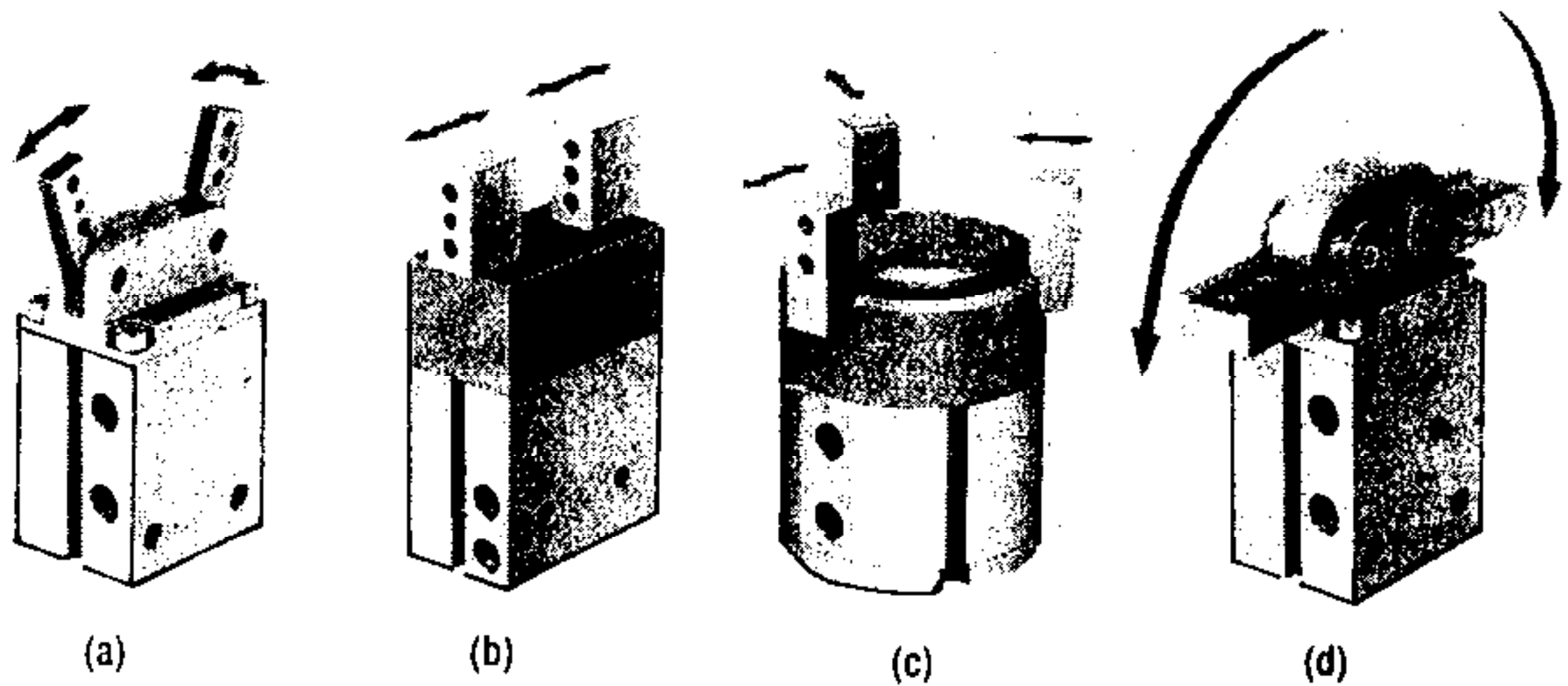


Hình 2.51a,b: Tay gấp sử dụng nguồn tác động khí nén

Tay gấp dùng nguồn khí nén thường được sử dụng trong các ứng dụng nhả và kẹp nhanh, lực kẹp không lớn.



Hình 2.52: Một kiểu tay gấp dùng nguồn tác động khí nén

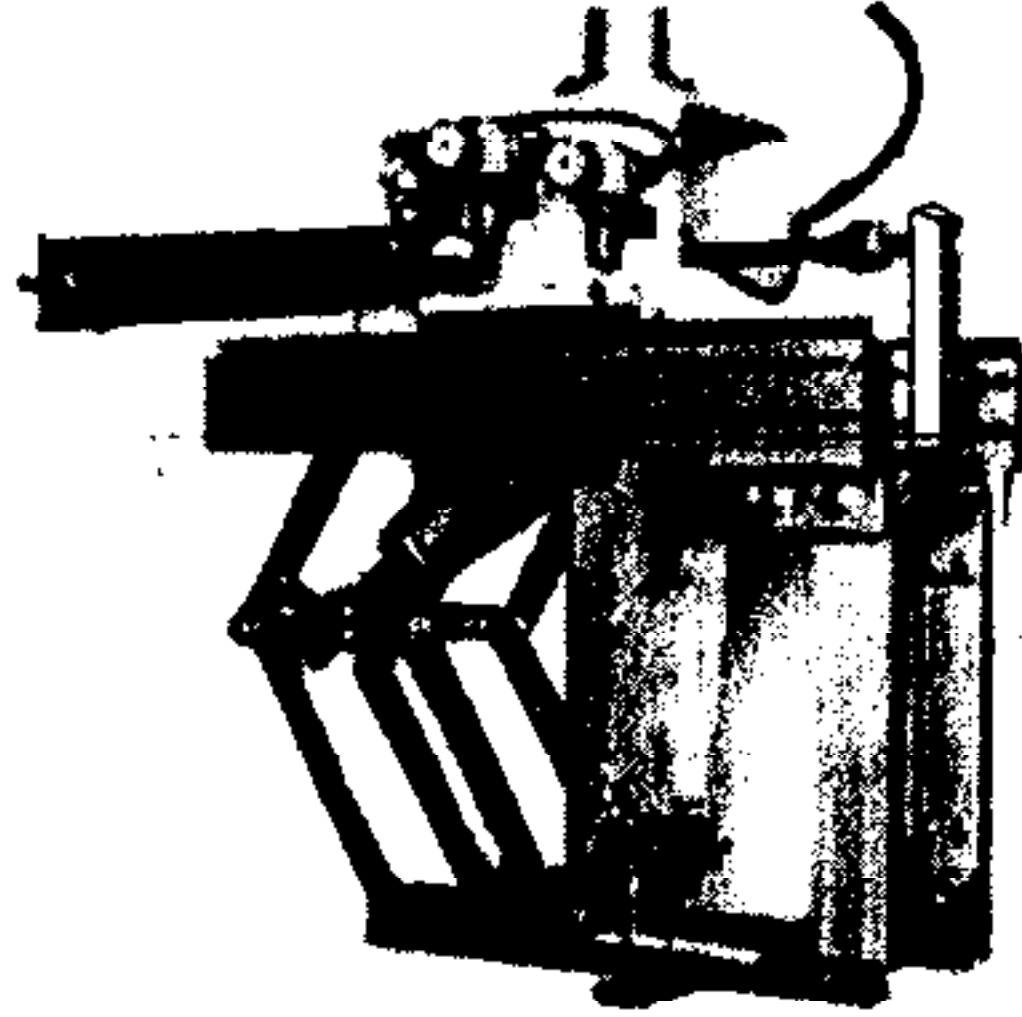


Hình 2.53: Các loại tay gấp khí nén chuẩn của hãng Festo:

(a). Dạng kẹp góc (b). Dạng song song
(c) Dạng 3 chấu (d). Dạng kẹp góc lớn

(3) Tay gấp dùng nguồn dầu ép

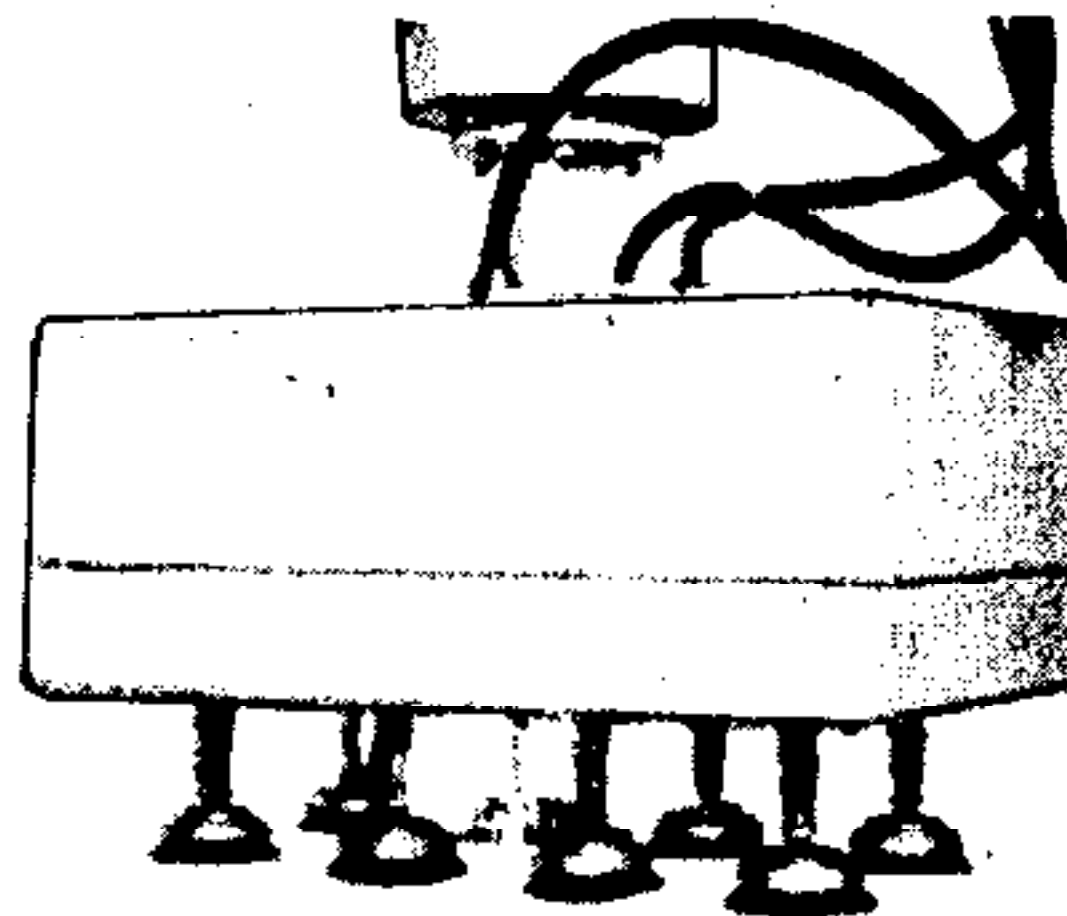
Được dùng khi tay gấp cần lực kẹp lớn, tải nặng. Thông thường, trong trường hợp sử dụng nguồn dẫn khí nén hoặc dầu ép, các hàm kẹp được điều khiển bằng các van solenoide.



Hình 2.54: Một kiểu tay gấp dùng nguồn tác động dầu ép

(4) Tay gấp dùng lực hút chân không

Trong thời gian gần đây, loại này được sử dụng khá phổ biến trong một số công việc thuộc lĩnh vực công nghiệp nhẹ. Có các dạng hút chân không thông dụng: phễu hút, bể mặt hút, ống giác hút chân không gắn vào vị trí của bộ phận công tác. Lực nâng là một hàm của độ chân không và diện tích bề mặt tiếp xúc. Do khó đạt được độ chân không cao, để tăng lực nâng người ta tìm cách tăng diện tích tiếp xúc

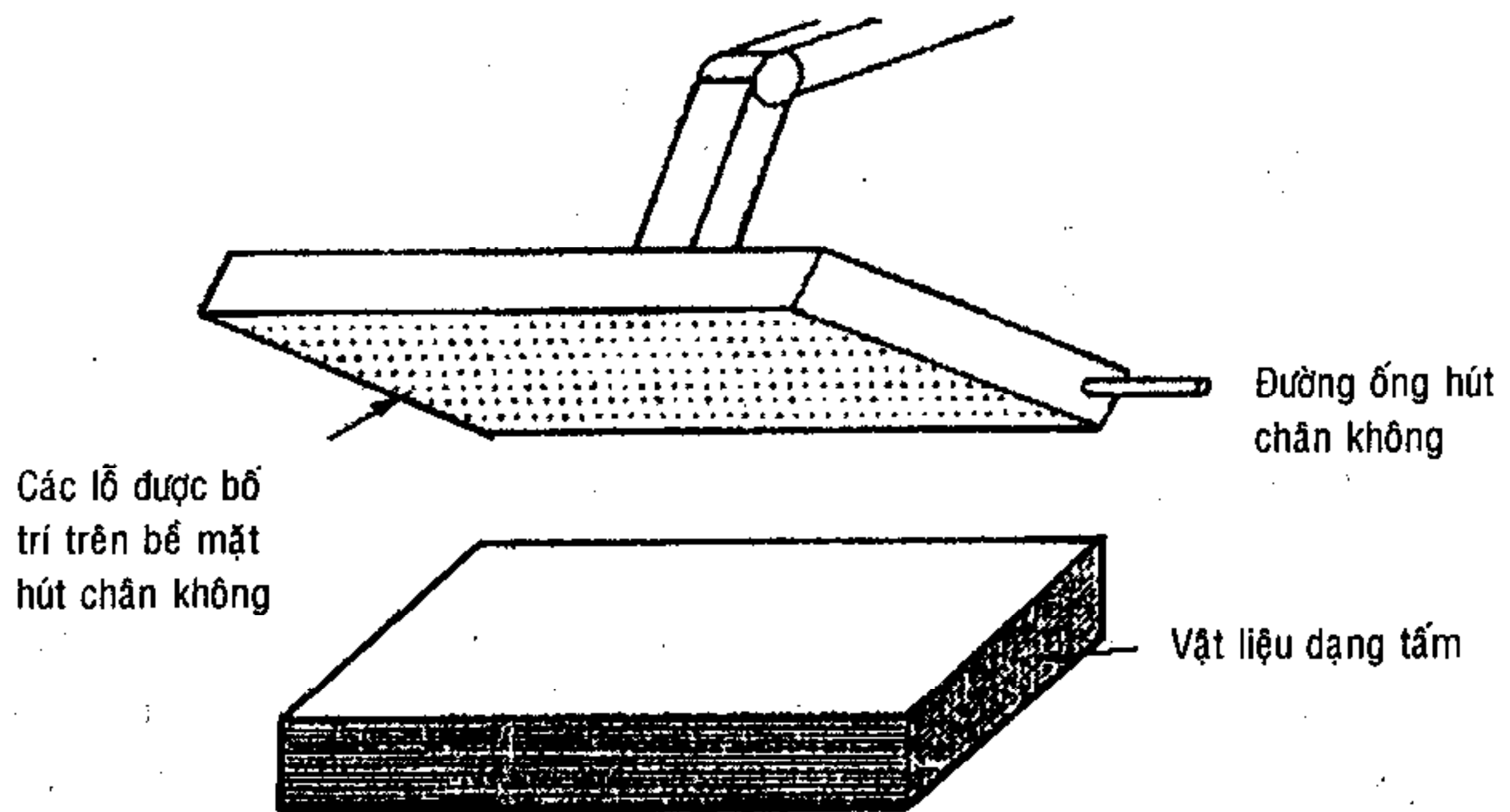


Hình 2.55: Tay gấp sử dụng lực hút chân không nhờ các phễu hút

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Tay gấp chân không thường dùng nhất để giữ chi tiết là phễu hút (hình 2.55), có thể là một hay nhiều phễu hút gắn cùng với một cảm biến đo trạng thái tiếp xúc dùng xác nhận phễu đã chạm vật thể hay chưa. Dạng tay gấp này có thể dùng để nâng và vận chuyển các đối tượng thao tác dạng tấm như tấm kim loại, tấm nhựa, gỗ hoặc các hộp giấy lớn. Nếu như từng phễu hút được điều khiển riêng biệt, tay gấp có thể nâng các tấm với kích cỡ khác nhau bằng việc chỉ tác động vào những phễu hút cần thiết. Tính thích nghi như thế của robot làm nó trở nên rất phù hợp cho việc tự động ở các nhà máy.

Các bề mặt hút chân không (hình 2.56) là trường hợp mở rộng của phễu hút chân không. Trong một số ứng dụng thao tác vận chuyển vật liệu người ta không thể dùng phễu chân không để nâng những vật quá linh động, không có độ cứng. Ví dụ như robot mang vật liệu là các tờ giấy, vải hoặc các lớp sợi và nhựa để ép tạo thành vật liệu composit.



Hình 2.56: Một dạng bề mặt hút chân không

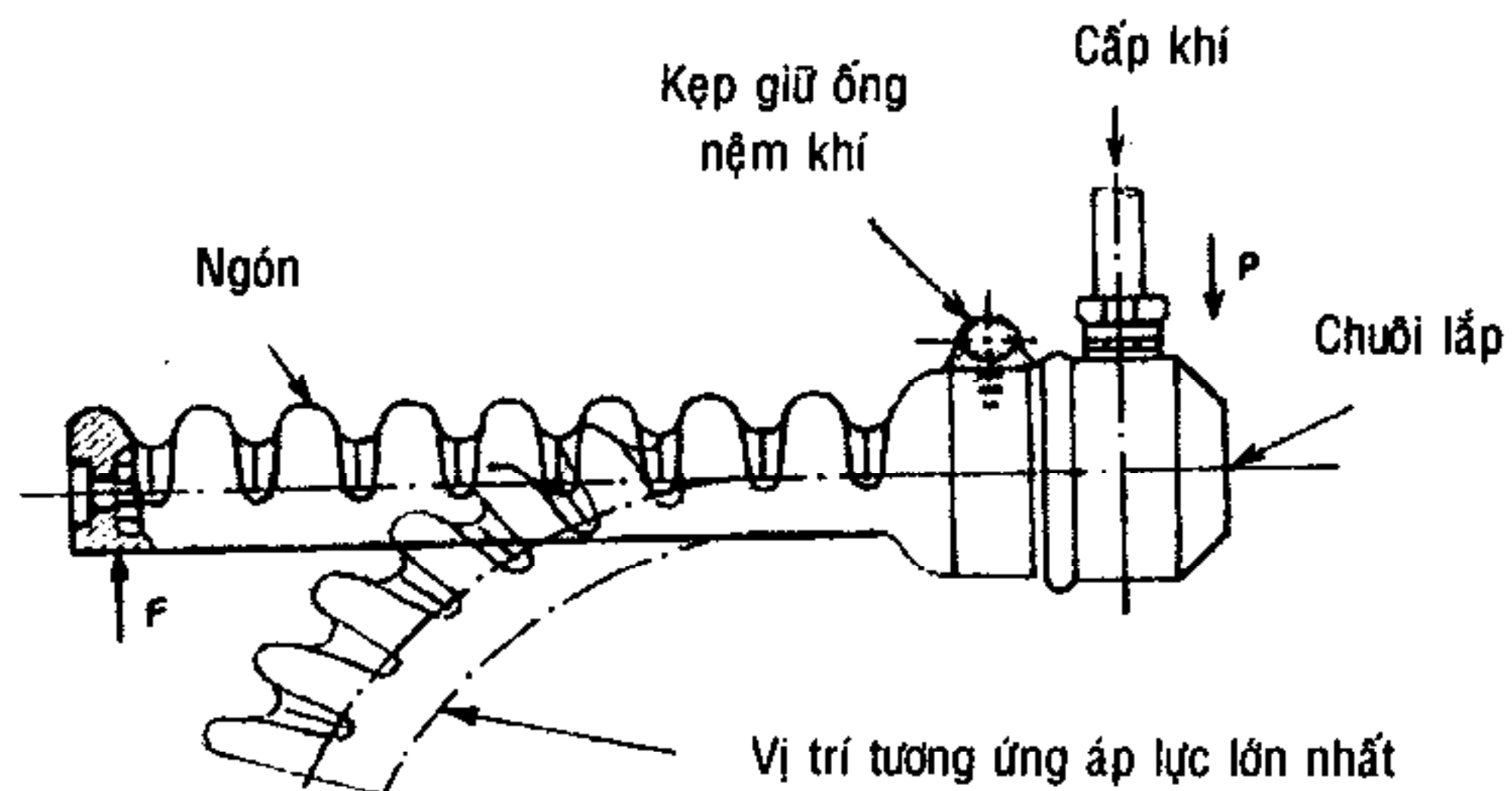
Các ống hút chân không thường được sử dụng trong công nghiệp dệt. Bộ phận công tác thường là một que có khả năng hút được vào đầu sợi nylon hoặc sợi chỉ. Kiểu bộ phận công tác này

rất có ích cho các ứng dụng ở nơi robot cần thao tác với vật liệu dưới dạng sợi, dây hoặc dây kim loại nhỏ.

(5) Tay gấp sử dụng đệm khí

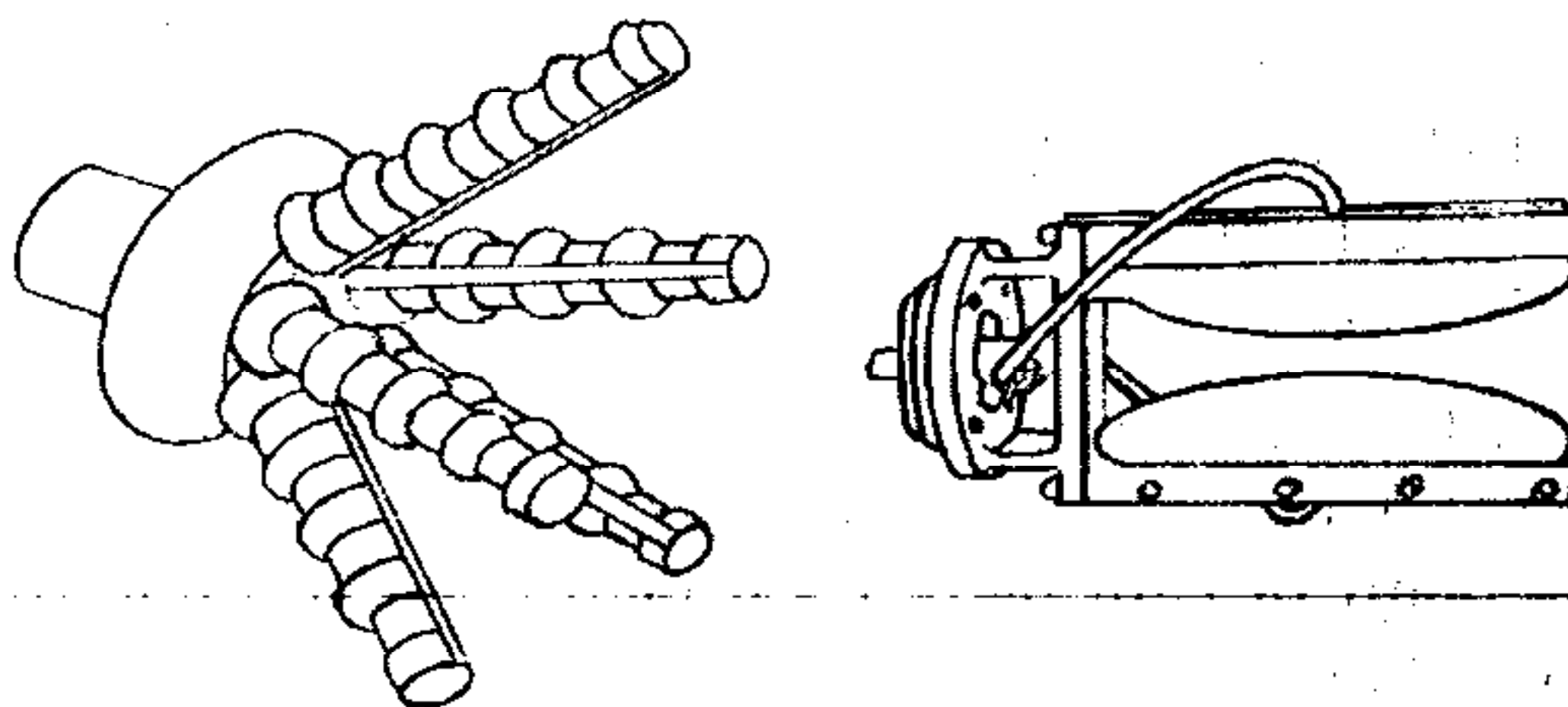
Hàm kẹp trên tay gấp còn phải thỏa yêu cầu dễ dàng lắp đặt cũng như thay thế, hình dạng và kích thước cũng phải thay đổi đa dạng cho phù hợp với những đối tượng thao tác khác nhau.

Trên hình 2.57 là dạng ngón tay khí nén sử dụng nệm khí để thao tác với những đối tượng có dạng ống hoặc có lỗ mà không làm hư hỏng đối tượng. Nệm khí chỉ tác động sau khi ngón định vị vào lỗ trên đối tượng thao tác để tạo ra lực ma sát đủ để giữ và vận chuyển đối tượng.



Hình 2.57: Tay gấp khí nén dạng ngón dùng nệm khí

Đối với những đối tượng thao tác tròn, dễ vỡ, người ta thường dùng loại hàm kẹp bằng chất dẻo được bơm căng. Trên hình 2.58 trình bày sơ đồ hàm kẹp dạng đệm và dạng ngón bằng chất dẻo được bơm căng. Trong trường hợp này hàm kẹp tiếp cận với vật cần gấp ở trạng thái chưa được bơm căng, sau đó khí được bơm vào các đệm hoặc các ngón làm cho chúng căng ra để tạo áp lực kẹp.

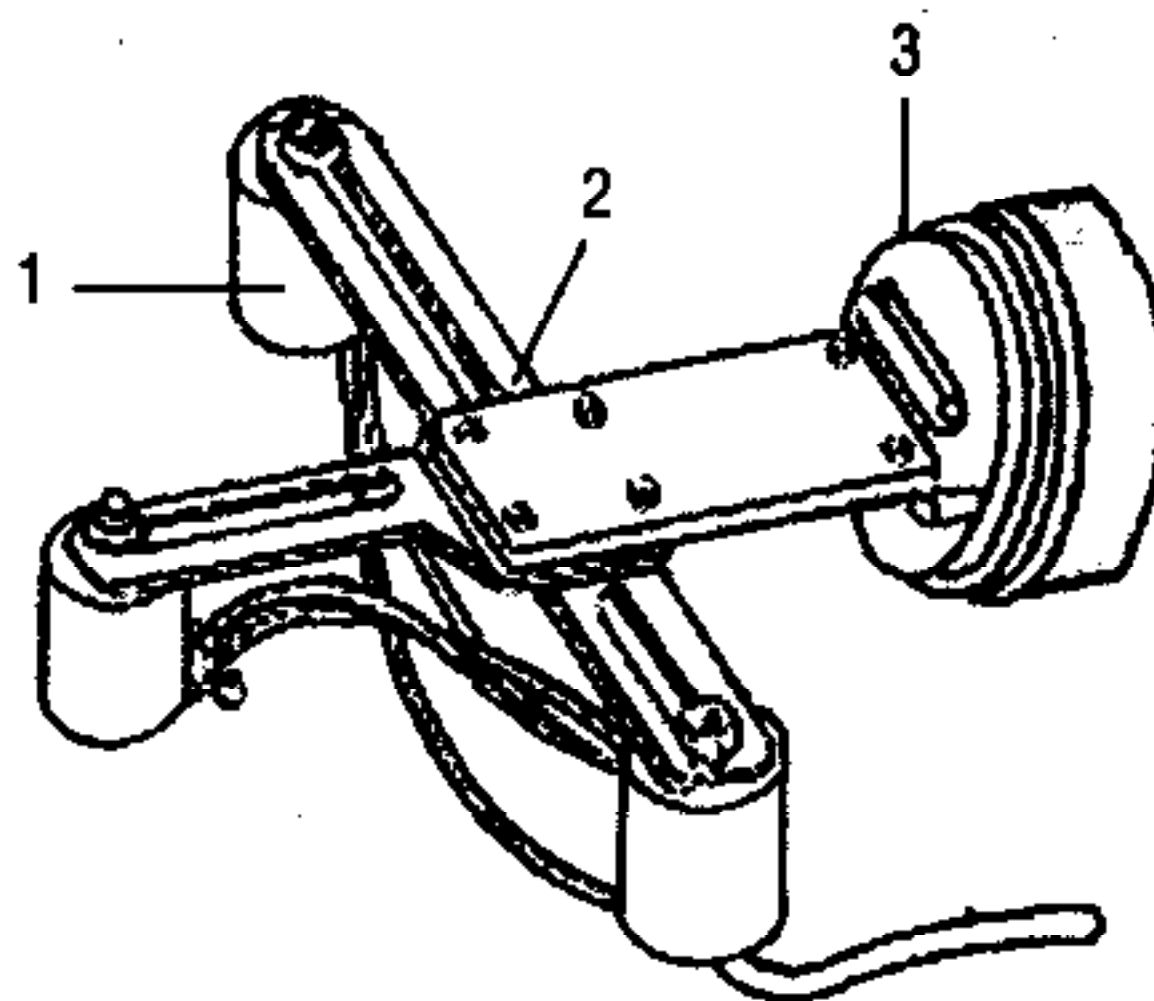


Hình 2.58: Hàm kẹp sử dụng đệm khí

(6) Tay gấp sử dụng nam châm

Đối với các đối tượng thao tác là vật liệu có từ tính, có dạng tấm hoặc phiến mỏng, kích thước không quá lớn và không yêu cầu định vị cao, có thể sử dụng nam châm điện lắp trên khâu tác động cuối của tay máy để thao tác nhanh trong công việc gấp - đặt và di chuyển đối tượng. Tuy nhiên cần lưu ý đến tải trọng mang lớn nhất (kể cả trọng lượng của phần nam châm điện) mà tay máy có thể vận chuyển được ở tốc độ cho phép.

Hình 2.59 trình bày một dạng tay gấp điện từ gồm ba nam châm điện (1) được bố trí trên các càng (2), càng này được nối cứng với đầu khuỷu (3). Các nam châm có thể thay đổi được vị trí sao cho phù hợp với kích cỡ của chi tiết nhờ các rãnh trên càng.



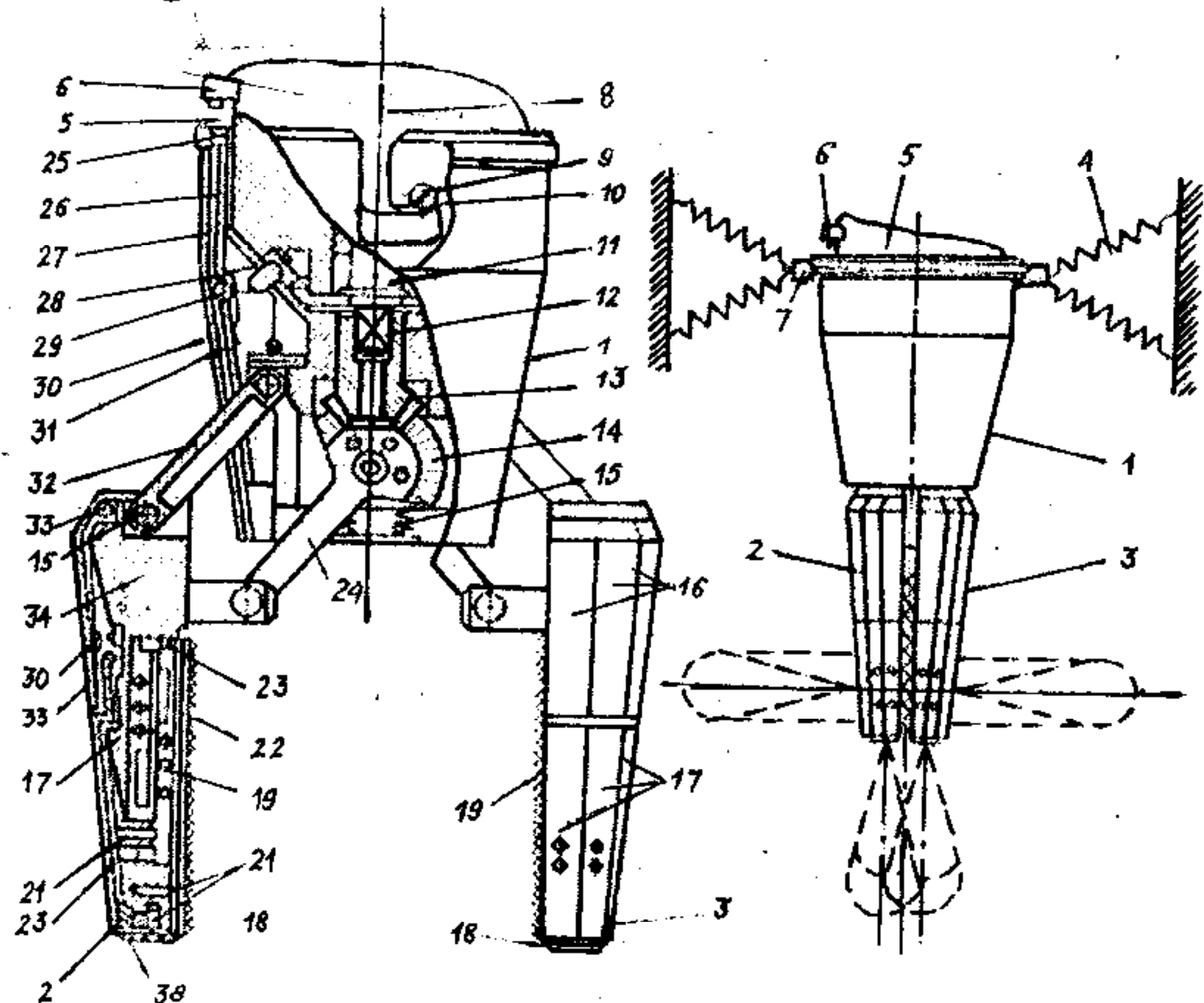
Hình 2.59: Tay gấp sử dụng 3 nam châm điện

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Trong các quá trình công nghệ đa dạng của thực tế sản xuất, ngay cả các tay gấp vạn năng cũng chỉ có thể thao tác được với một số đối tượng có hạn. Vì vậy, trong thiết kế người ta thường tiêu chuẩn hóa một số kích thước và kết cấu cơ bản của cổ tay và tay gấp cũng như các bộ kết nối giữa cổ tay và tay gấp để tăng cường khả năng lắp lẫn giữa chúng.

Trong trường hợp cần thông tin phản hồi về tình trạng của đối tượng và của môi trường thao tác, người ta trang bị cho tay gấp những phần tử cảm biến. Cảm biến được sử dụng trong lĩnh vực robot công nghiệp cũng rất đa dạng.

Trên hình 2.60 trình bày một dạng tay gấp dùng ma trận cảm biến dạng quang điện trên bề mặt của các hàm kẹp cũng như trên các mặt đầu của chúng nhằm xác định khoảng cách từ hàm kẹp đến đối tượng thao tác cũng như hình dạng và tình trạng của đối tượng. Kiểu trang bị cảm biến này còn được gọi là cảm biến xúc giác.



Hình 2.60: Một dạng tay gấp có bố trí ma trận các phần tử cảm biến dùng để nhận dạng đối tượng qua tiếp xúc

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

Ngoài ra người ta còn dùng thiết bị cảm biến siêu âm để trang bị cho tay gấp khả năng đo khoảng cách từ hàm kẹp đến đối tượng thao tác hoặc giúp cho tay máy khả năng tránh chướng ngại vật trong quá trình thao tác

Đa số trường hợp ứng dụng trong công nghiệp, các robot đảm trách công việc lắp đặt và nhặt chi tiết từ các thiết bị công nghệ hoặc từ các phễu, máng, bàn cấp phôi. Để bảo đảm độ chính xác cần thiết cho quá trình này, ngoài việc trang bị các cảm biến, trong nhiều trường hợp người ta sử dụng các tay gấp có kết cấu tùy động (tự lựa) sao cho sai số định vị tuyệt đối giữa tay gấp và đối tượng thao tác nằm trong phạm vi dịch chuyển của cơ cấu tùy động.

2.5.2 Các dụng cụ công nghệ trang bị trên tay máy

Trong sản xuất tự động hóa hiện nay, các tay máy không chỉ tham gia vào quá trình như các thiết bị hỗ trợ (như thay, lắp dụng cụ, cấp phôi) hoặc kết nối các mô-đun công nghệ như nhận và chuyển bán thành phẩm hoặc chi tiết giữa các thiết bị gia công mà chúng còn tự hoàn thành những bước công nghệ hoàn chỉnh như: hàn bằng phương pháp hàn tiếp xúc hoặc hàn hồ quang, phun, phủ bề mặt hoặc sơn hoàn chỉnh chi tiết, lắp ráp hoàn chỉnh các cụm thiết bị và hàng loạt các công việc trong kỹ nghệ đúc v.v...

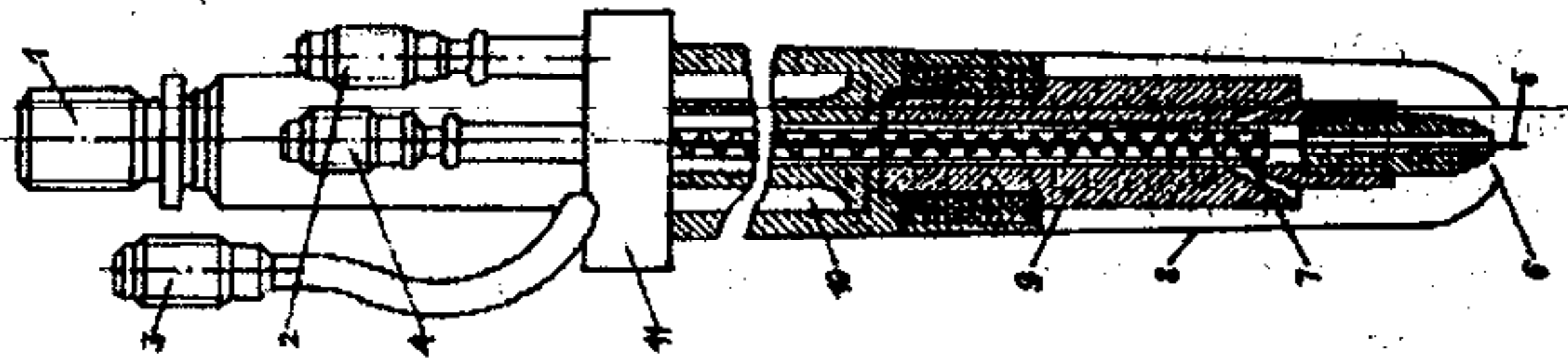
Các dụng cụ công nghệ trang bị trên khâu cuối của tay máy có liên hệ ngược đồng thời với bộ phận điều khiển của robot và đối tượng thao tác cho phép chúng thực hiện hoàn chỉnh bước công nghệ xác định nào đó. Các dụng cụ công nghệ thường đa dạng và phụ thuộc hoàn toàn vào công nghệ của qui trình sản xuất, do đó sau đây chỉ trình bày một số dụng cụ công nghệ điển hình:

(1) Mỏ hàn hồ quang

Trên hình 2.61 trình bày một mỏ hàn hồ quang với dây hàn (hàn liên tục) dùng hàn các chi tiết bằng thép trong môi trường khí cacbonic và hàn các chi tiết bằng hợp kim nhôm trong môi trường khí argon.

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

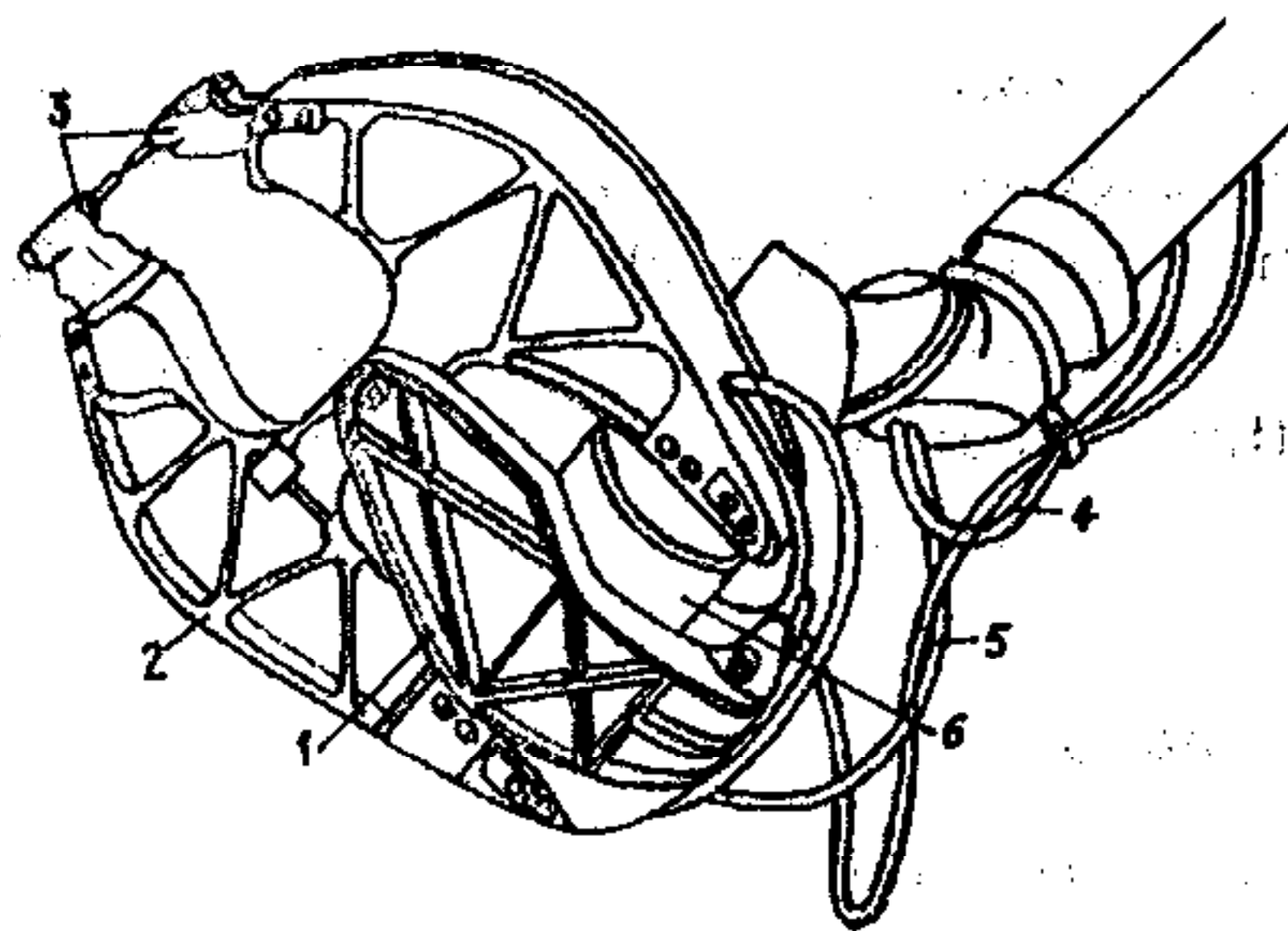
Mỏ hàn được làm nguội bằng dòng nước đối lưu nhờ các ngõ 1 và 2, dây hàn 5 được cấp tự động từ một hệ truyền dẫn bên ngoài, nhận lệnh từ hệ thống điều khiển, qua một ống mềm vào ngõ 4, khí được đưa qua ngõ 3. Thân mỏ hàn được lắp trên khâu cuối của tay máy thông qua một khớp cầu để dễ điều chỉnh góc hàn.



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1, 2 : ống dẫn nước vào, ra (làm nguội) | 7 : lò xo |
| 3 : ống dẫn khí | 8 : vỏ bọc |
| 4 : ống dẫn dây hàn | 9 : đầu dẫn khí |
| 5 : dây hàn | 10 : Phần dẫn khí làm nguội |
| 6 : mỏ hàn | 11 : thân chính |

Hình 2.61: Đầu đưa dây hàn tự động được trang bị trên robot hàn hồ quang

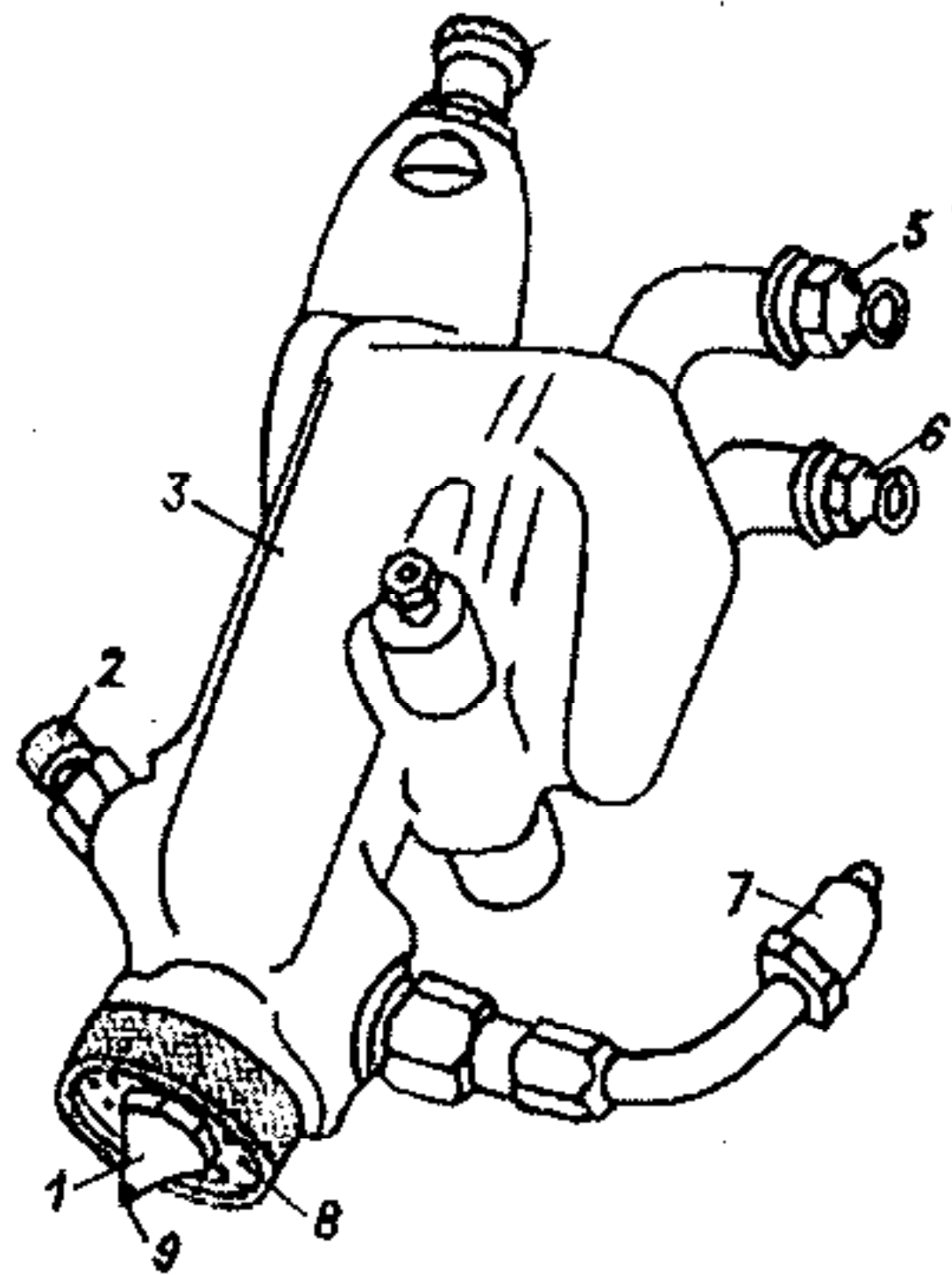
Trong trường hợp hàn điểm, người ta dùng các kim hàn. Trên hình 2.62 trình bày một dạng kim hàn.



Hình 2.62: Một dạng kèm hàn điểm trang bị trên tay máy trong dây chuyền lắp ráp khung xe ô-tô

(2) Đầu phun sơn

Hình 2.63 cho thấy một kiểu đầu phun sơn trang bị trên robot. Việc đóng, mở cũng như giữ kim chặn ở lỗ phun sơn được điều chỉnh bằng khí nén thông qua lệnh từ hệ thống điều khiển. Khi kết thúc công việc sơn, dòng khí nén ngừng tác động, kim được đẩy về vị trí bít kín lỗ phun nhờ một lò xo đặt bên trong. Khí nén và sơn trong đầu phun này luôn ở trạng thái chịu áp lực, liều lượng sơn và khí điều chỉnh được.



Hình 2.63: Đầu phun sơn trang bị trên robot

Người ta thiết kế bộ phận công tác để giữ các dụng cụ hoạt động bằng nguồn năng lượng cung cấp từ bên ngoài, để làm công việc thay thế cho con người và đúng như cách con người làm. Nói chung thường là những nơi bẩn, nguy hiểm và nhàm chán người ta cố gắng sử dụng robot để thay thế con người, bởi vì đối với con người, nếu làm việc trong môi trường này, thì cần phải mang đồ bảo hộ lao động.

2.5.3 Tải trọng mang

Tải trọng mang là một đặc điểm quan trọng của robot, nhưng việc xác định nó không đơn giản. Tải trọng mang phụ

Chương 2: Cấu tạo chung của robot công nghiệp

thuộc vào nhiều yếu tố như kết cấu và tình trạng bề mặt của tay gấp, hình dạng của đối tượng thao tác, tầm với của tay máy v.v...

Trong lĩnh vực robot, các nhà chế tạo phân biệt các loại tải trọng mang, bao gồm thường và cực đại, tĩnh và thường, tĩnh và động. Khi chế tạo xong, các nhà chế tạo thường thực hiện thí nghiệm để xây dựng những đồ thị về tải trọng mang theo tầm với trong các chế độ tĩnh và động và ở các tốc độ thử nghiệm khác nhau để cung cấp cho người sử dụng thông tin quan trọng này. Tuy vậy ở tốc độ thao tác trung bình, ứng với tầm với xa nhất có thể tham khảo bảng phân loại tải trọng mang dưới đây:

Bảng 2.1: Bảng phân loại tải trọng mang

Tên gọi theo tải trọng	Tải trọng, Kg	Ngành ứng dụng
Loại siêu nhẹ	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0	Chế tạo dụng cụ, điện tử, công nghiệp vô tuyến.
Loại nhẹ	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10	Chế tạo máy
Loại trung	16; 25; 40; 63; 100	Chế tạo máy
Loại nặng	160; 250; 400; 630; 1000	Chế tạo máy, công nghiệp chế tạo thiết bị điện cỡ lớn
Loại siêu nặng	Trên 1000	Chế tạo máy, công nghiệp chế tạo thiết bị điện cỡ lớn

Độ chính xác lặp lại vị trí hay độ chính xác phục hồi quỹ đạo

Một trong những thông số quan trọng nhất, xác định khả năng làm việc của robot trong quá trình công nghệ là độ chính xác lặp lại vị trí của tay gấp hoặc của dụng cụ công tác mà tay gấp mang trong thời gian làm việc, còn được hiểu rộng hơn là độ chính xác khôi phục quỹ đạo.

Thông thường ở các robot công nghiệp, trong phần trình bày đặc điểm kỹ thuật, thường ghi độ chính xác tuyệt đối về vị trí của

tay gắp. Chỉ tiêu này không phải là điều ta quan tâm ở đây vì nó không thể hiện được cũng như không có liên hệ gì với các thông số hình học của không gian làm việc. Điều chúng ta quan tâm ở đây là sai số vị trí của tay gắp bằng bao nhiêu so với vị trí mà người ta mong muốn nó phải đạt đến theo chương trình điều khiển đã xác định trước. Bảng dưới đây cho phép chúng ta một mức đánh giá tham khảo (bảng 2.2)

Bảng 2.2: Xếp loại độ chính xác của robot công nghiệp

Mức chính xác	Sai số tương đối về vị trí hay mức độ phục hồi quỹ đạo, %
0	Đến 0,01
1	Từ 0,01 đến 0,05
2	Từ 0,05 đến 0,1
3	Trên 0,1

Sai số tương đối về vị trí của tay gắp là đại lượng đặc trưng cho độ chính xác của robot với hệ điều khiển theo vị trí và có giá trị bằng tỉ số giữa trị tuyệt đối của hiệu số giữa tọa độ lập trình với tọa độ thật mà tay gắp đạt được sau khi nhận điều khiển với bán kính bé nhất của vùng không gian làm việc.

Sai số tương đối về độ phục hồi quỹ đạo là đại lượng đặc trưng cho độ chính xác của robot với hệ điều khiển theo chu vi và có giá trị bằng tỉ số giữa sai số tuyệt đối lớn nhất trong dịch chuyển của tay gắp theo quỹ đạo với bán kính lớn nhất của vùng làm việc.

Chương 3

ĐỘNG HỌC TAY MÁY

3.1 Các khái niệm ban đầu

Về mặt động học, có thể xem tay máy loại tình tại như là một chuỗi động hử với một khâu cố định, gọi là giá, và các khâu động. Mỗi khâu động là một vật rắn được liên kết hoặc nối động với nhau nhờ các khớp động. Để dễ dàng thực hiện việc điều khiển độc lập các khớp động, người ta thường sử dụng những loại khớp chỉ cho phép thực hiện một chuyển động tương đối giữa hai khâu được liên kết. Do đó, các khớp động thường được sử dụng là các khớp loại 5 (ps) ở hai dạng là **khớp tịnh tiến** (khớp trượt) và **khớp bản lề** (khớp quay). Vì vậy, thông thường thì cơ cấu tay máy có bao nhiêu khâu động thì sẽ có bấy nhiêu **bậc tự do** hay **bậc chuyển động**.

3.1.1 Hệ tọa độ

Để khảo sát chuyển động của các khâu, ta thường dùng phương pháp **hệ tọa độ tham chiếu** (reference frame) hay hệ tọa độ cơ sở như cơ học lý thuyết đã trình bày. Bằng cách “gắn cứng” lên mỗi khâu động thứ k một hệ trục tọa độ vuông góc $(Oxyz)_k$ – còn gọi là các *hệ tọa độ tương đối* và gắn cứng với giá cố định hệ trục tọa độ vuông góc $(Oxyz)_0$ – còn gọi là **hệ tọa độ tuyệt đối**, **hệ tọa độ tham chiếu** hay **hệ tọa độ cơ sở**, ta có thể khảo sát chuyển động của một khâu bất kỳ trên tay máy hoặc chuyển động của một điểm bất kỳ thuộc khâu.

Theo đó, tọa độ của điểm M thuộc một khâu bất kỳ, được xác định bởi bán kính vectơ $r_M^{(0)}$, với các thành phần (hình chiếu) của nó trong hệ tọa độ cơ sở $(Oxyz)_0$ lần lượt là $x_M^{(0)}$, $y_M^{(0)}$, $z_M^{(0)}$ được gọi là **tọa độ tuyệt đối** của điểm M .

Tọa độ của điểm M thuộc khâu thứ k được xác định bởi bán kính vectơ $\overline{O_k M}$ với các thành phần tương ứng của nó trong hệ tọa độ $(Oxyz)_k$ gắn cứng với khâu lần lượt là $x_M^{(k)}$, $y_M^{(k)}$, $z_M^{(k)}$ được gọi là **tọa độ tương đối** của điểm. Nếu M là điểm cố định trên khâu thì tọa độ tương đối của M sẽ không thay đổi khi khâu chuyển động.

Dưới dạng ma trận ta có thể biểu diễn:

$$r_M^{(0)} = \begin{bmatrix} x_M^{(0)} \\ y_M^{(0)} \\ z_M^{(0)} \end{bmatrix} = \left(x_M^{(0)}, y_M^{(0)}, z_M^{(0)} \right)^T; R_M^{(k)} = \begin{bmatrix} x_M^{(k)} \\ y_M^{(k)} \\ z_M^{(k)} \end{bmatrix} = \left(x_M^{(k)}, y_M^{(k)}, z_M^{(k)} \right)^T \quad (3.1)$$

Bằng cách mô tả như trên, ta có thể coi tay máy như là một chuỗi các hệ tọa độ liên tiếp có chuyển động tương đối với nhau.

Chuyển động của một tay máy thường là nhằm làm thay đổi vị trí và hướng của khâu tác động cuối hay khâu cuối (end-effector) bằng cách tuần tự cho khâu cuối đi qua các điểm xác định nào đó để tạo ra các hoạt động có ích đã được hoạch định trước. Vì vậy, khi khảo sát chuyển động của tay máy, người ta thường quan tâm đến chuyển động của khâu cuối bao gồm **quỹ đạo** hoặc các **vị trí** phải đi qua (hay tổng quát là một đường cong trong không gian ba chiều), **vận tốc** và **gia tốc** chuyển động, v.v..., mà không quan tâm nhiều đến chuyển động của các khâu trung gian (gọi là các khâu thành viên). Thật ra, vì là một chuỗi động, những phân tích dưới đây sẽ giúp nhận định rõ hơn vai trò của các khâu thành viên.

3.1.2 Quỹ đạo

Do tay máy là một chuỗi động hở của nhiều khâu, ta dễ nhận thấy rằng có nhiều cách phối hợp chuyển động của các khâu thành viên để làm thay đổi vị trí của khâu cuối bên trong vùng không gian hoạt động của nó. Nói cách khác, tùy thuộc vào

tập hợp các yếu tố chuyển động, gọi là các **tọa độ suy rộng**, có thể là chuyển vị góc ở các khớp quay hoặc chuyển vị dài ở các khớp tịnh tiến của các khâu thành viên mà ta có những cách khác nhau để đưa khâu tác động cuối đạt tới vị trí và hướng mong muốn.

Gọi q_1, q_2, \dots, q_n là các **tọa độ suy rộng** tương ứng với các yếu tố chuyển động tương đối giữa các khâu, ta có thể biểu diễn:

$$\begin{aligned}x_M &= x_M(q_1, q_2, \dots, q_n) \\y_M &= y_M(q_1, q_2, \dots, q_n) \\z_M &= z_M(q_1, q_2, \dots, q_n)\end{aligned}\tag{3.2}$$

Một khi đề cập tới chuyển động, biến độc lập thực sự của các tọa độ suy rộng là thời gian t . Bằng cách thiết lập các hàm tọa độ trong (3.2) với các biến vị trí là hàm của thời gian $q_i = q_i(t)$, ta sẽ được phương trình chuyển động của điểm M thể hiện dưới dạng các hàm tọa độ $x_M = x_M(t)$, $y_M = y_M(t)$, $z_M = z_M(t)$. Sự thay đổi vị trí của điểm M theo thời gian trong không gian hoạt động của tay máy cho ta khái niệm **quỹ đạo** (trajectory) của điểm.

(Bạn đọc có thể tự liên hệ việc xây dựng hàm vectơ $r_M = r_M(t)$ trên cơ sở các hàm tọa độ đã thiết lập)

Từ những khái niệm nêu trên, ở nội dung động học có hai bài toán thường được đặt ra như sau: bài toán động học thuận và bài toán động học ngược.

3.1.3 Bài toán động học thuận

Cho trước cơ cấu và quy luật của các yếu tố chuyển động thể hiện bằng các tọa độ suy rộng q_i ta phải xác định quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối nói riêng hoặc của điểm bất kỳ trên một khâu nào đó của tay máy nói chung trong hệ trục tọa độ vuông góc (hệ trục tọa độ Descartes).

Bài toán động học thuận ở tay máy có nội dung gần giống như bài toán **phân tích động học** cơ cấu.

3.1.4 Bài toán động học ngược

Cho trước cơ cấu và quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối (hoặc quy luật chuyển động của khâu cuối bao gồm vị trí và hướng của nó) được biểu diễn trong hệ trục tọa độ vuông góc, ta phải xác định quy luật chuyển động của các khâu thành viên thể hiện thông qua các tọa độ suy rộng q_i .

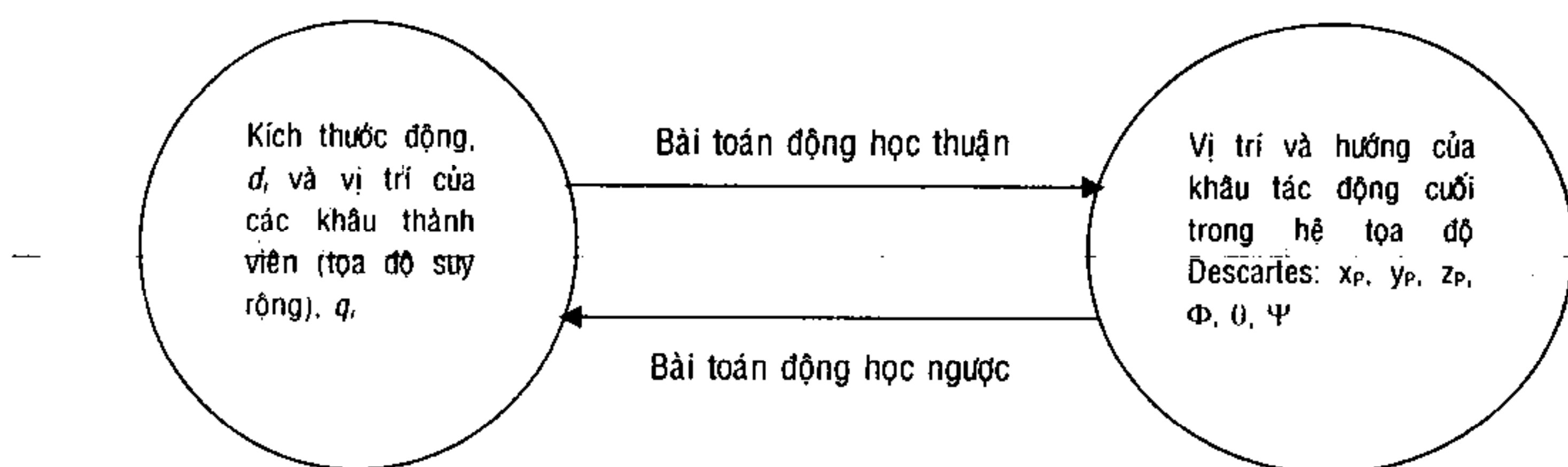
Đôi khi, bài toán trong thực tế được đặt ra gần như một bài toán tổng hợp động học cơ cấu: nghĩa là, bài toán chỉ cho trước yêu cầu hoặc quy luật chuyển động của khâu cuối; ta phải xác định cấu tạo cơ cấu tay máy và quy luật chuyển động q_i của các khâu thành viên.

Thông thường bài toán thuận có lời giải duy nhất, trong khi đó bài toán ngược có vô số lời giải (bài toán vô định) khi cho trước quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối bên trong vùng không gian hoạt động của tay máy. Riêng đối với các vị trí trên biên của vùng không gian hoạt động, trong một số trường hợp ta mới có lời giải duy nhất. Nguyên nhân của vấn đề là ở chỗ quan hệ giữa tọa độ một điểm P nào đó trên khâu tác động cuối (x_P, y_P, z_P trong hệ tọa độ vuông góc) với các tọa độ suy rộng q_i (với $i = 1, n$ khâu động); nghĩa là, sự mô tả vị trí tương đối giữa các khâu thành viên chỉ là ánh xạ theo chiều thuận mà không có theo chiều nghịch.

Ngoài ra, ở cả hai bài toán động học, ta không chỉ quan tâm đến tọa độ của một điểm thuộc khâu tác động cuối mà còn quan tâm đến cả vị trí và hướng của nó trong hệ tọa độ vuông góc; do đó, ngoài các thông số tọa độ của một điểm P nào đó thuộc khâu tác động cuối ta còn phải bổ sung ba góc quay Euler quanh ba trục tọa độ ($\phi/z, \theta/y$ và ψ/x) để xác định hướng của nó (hình 3.1). Để không làm phức tạp vấn đề khảo sát, trong giáo trình này các bài toán động học sẽ được nhắc lại nội dung ở từng phương pháp khảo sát cụ thể.

Khi giải quyết vấn đề có nhiều lời giải của bài toán ngược, người ta đưa ra các ràng buộc về mặt động học đối với các tay

máy hoạt động bên trong của vùng không gian làm việc của nó (gọi là không gian có bậc tự do thừa - *redundancy*) hoặc đặt ra vấn đề phải tối ưu hóa hoạt động của tay máy theo một hàm mục tiêu nào đó để chọn lời giải phù hợp nhất.



Hình 3.1: Sơ đồ mô tả khái niệm của các bài toán động học tay máy

3.2 Cơ sở lý thuyết của phép biến đổi hệ tọa độ

Phép biến đổi hệ tọa độ được sử dụng để biến đổi các thành phần của vectơ khi chuyển từ hệ tọa độ này sang hệ tọa độ khác.

Ví dụ, trong hệ trục tọa độ vuông góc ($Oxyz$) có các vectơ đơn vị lần lượt tương ứng là i, j, k . Ta gọi hình chiếu của vectơ \mathbf{a} theo các hướng i, j, k , (cũng theo các trục x, y, z) lần lượt tương ứng là a_x, a_y, a_z . Khi đó, khai triển vectơ \mathbf{a} ta nhận được:

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \quad (3.3)$$

Trong đó, a_x là hệ số của \mathbf{i} xác định được bằng cách chiếu cả hai vế (3.3) lên trục x , sau đó sử dụng định lý về hình chiếu của tổng hình học và chú ý rằng các hình chiếu của \mathbf{j} và \mathbf{k} lên trục x đều bằng không.

Các hình chiếu a_x, a_y, a_z được gọi là các tọa độ vuông góc hay các thành phần của vectơ \mathbf{a} , với:

$$a_x = a \cos(a, \bar{x}), \quad a_y = a \cos(a, \bar{y}), \quad a_z = a \cos(a, \bar{z}) \quad (3.4)$$

Khi biết các thành phần của vectơ \mathbf{a} theo các trục x, y, z , ta có thể tính thành phần của nó theo hướng u bất kỳ. Để làm việc

này, ta lấy hình chiếu cả hai vế của phương trình (3.1) trên hướng u và sử dụng định lý về hình chiếu của tổng hình học, ta nhận được kết quả:

$$a_u = a_x \cos(u, \bar{x}) + a_y \cos(u, \bar{y}) + a_z \cos(u, \bar{z}) \quad (3.5)$$

Như vậy thành phần của vectơ a theo một phương bất kỳ có thể biểu diễn qua các thành phần của nó trên các trục của một hệ tọa độ vuông góc, và ta cũng nhận thấy rằng phép biểu diễn đó là tuyến tính. Tính chất này đặc trưng cho các vectơ và là cơ sở để xác định một vectơ.

Trong công thức (3.5) ta thay a_u , a_x , a_y , a_z , bằng các biểu thức của nó ở công thức (3.4) và giản ước a ; đồng thời, gọi φ là góc giữa hướng của các vectơ a và u , ta tìm được:

$$\cos \varphi = \cos(a, u) = \cos(a, \bar{x}) \cos(u, \bar{x}) + \cos(a, \bar{y}) \cos(u, \bar{y}) + \cos(a, \bar{z}) \cos(u, \bar{z}) \quad (3.6)$$

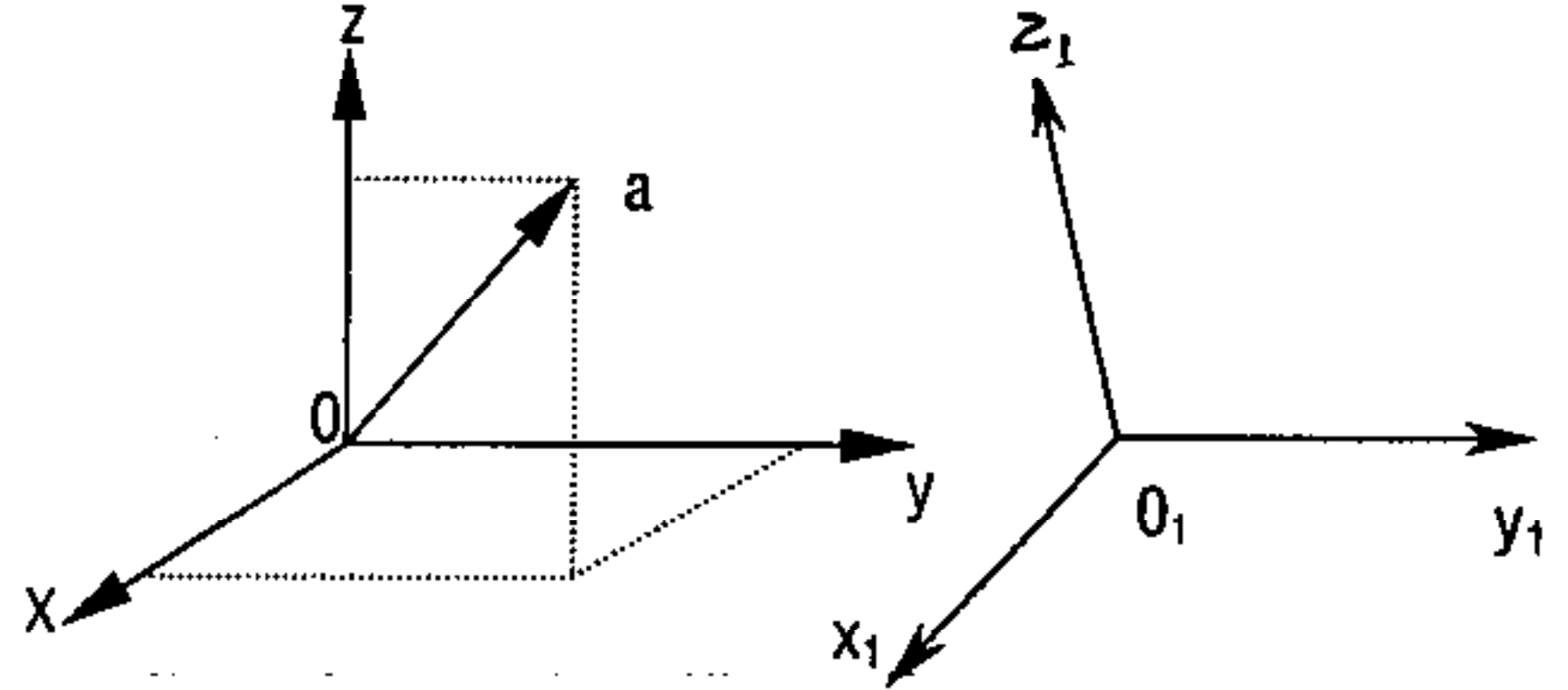
Ta nhận được công thức của hình học giải tích cho cosin của góc φ giữa hướng a và u . Giả sử ta biết các thành phần của vectơ a trong hệ trục tọa độ $(Oxyz)$ (hình 3.2) là a_x , a_y và a_z . Bây giờ có một hệ trục tọa độ mới $(Oxyz)_1$ xác định bởi ba vectơ đơn vị i_1 , j_1 , k_1 trục giao nhau. Các thành phần của vectơ a ở hệ trục tọa độ mới lần lượt là a_{x1} , a_{y1} , a_{z1} . Hãy thử tìm mối quan hệ giữa các thành phần của vectơ a trong hai hệ trục tọa độ $(Oxyz)$ và $(Oxyz)_1$.

Hãy xem các hướng x_1 , y_1 và z_1 như hướng u đã xét ở trên, ta có thể tìm thấy lời giải ở công thức (3.5) như sau:

$$\begin{aligned} a_{x1} &= a_x \cos(x_1, x) + a_y \cos(x_1, y) + a_z \cos(x_1, z) \\ a_{y1} &= a_x \cos(y_1, x) + a_y \cos(y_1, y) + a_z \cos(y_1, z) \\ a_{z1} &= a_x \cos(z_1, x) + a_y \cos(z_1, y) + a_z \cos(z_1, z) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Để đơn giản cách viết các công thức, ta có thể đưa ra bảng cosin của chín góc lập nên bởi các trục tọa độ cũ và mới như sau:

	x_1	y_1	z_1
x	α_1	α_2	α_3
y	β_1	β_2	β_3
z	γ_1	γ_2	γ_3



Hình 3.2 : Quan hệ về vị trí tương đối giữa hai trục tọa độ O và O_1

$$\alpha_1 = \cos(\bar{x}_1, \bar{x}) \quad \alpha_2 = \cos(\bar{y}_1, \bar{x}) \quad \beta_1 = \cos(\bar{x}_1, \bar{y}), v.v..$$

Trong đó, các cosin đó xác định tọa độ của các vectơ đơn vị

$$\begin{aligned} i_{x1} &= 1 \cdot \cos(x_1, x) = \alpha_1, & j_{x1} &= \alpha_2 & k_{x1} &= \alpha_3 \\ i_{y1} &= 1 \cdot \cos(x_1, y) = \beta_1, & j_{y1} &= \beta_2 & k_{y1} &= \beta_3 \\ i_{z1} &= 1 \cdot \cos(x_1, z) = \gamma_1, & j_{z1} &= \gamma_2 & k_{z1} &= \gamma_3 \end{aligned} \quad (3.8)$$

mới theo các trục cũ; thật vậy:

Chú ý rằng giữa chín cosin của bảng trên hình 3.2 tồn tại sáu hệ thức, như vậy chỉ có ba cosin độc lập với nhau (do ta có thể định hướng một tam diện tọa độ theo một tam diện tọa độ khác bằng ba tham số, như bằng ba góc Euler chẳng hạn). Thực vậy, theo công thức (3.6) và (3.8) ta có thể viết sáu hệ thức sau:

$$\begin{aligned} 1 &= \cos(x_1, x_1) = \cos^2(x_1, x) + \cos^2(x_1, y) + \cos^2(x_1, z) = \\ &= \alpha_1^2 + \beta_1^2 + \gamma_1^2 = 1 \\ \text{tương tự} \quad \alpha_2^2 + \beta_2^2 + \gamma_2^2 &= 1 \\ \alpha_3^2 + \beta_3^2 + \gamma_3^2 &= 1 \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$0 = \cos(y_1, z_1) = \cos(y_1, x) \cdot \cos(z_1, x) + \cos(y_1, y) \cos(z_1, y) + \cos(y_1, z) \cos(z_1, z) =$$

$$\alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_3 + \gamma_2 \gamma_3 = 0$$

tương tự

$$\alpha_3 \alpha_1 + \beta_3 \beta_1 + \gamma_3 \gamma_1 = 0$$

$$\alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2 + \gamma_1 \gamma_2 = 0$$

Tương tự, nếu coi $O_1x_1y_1z_1$ như hệ tọa độ cũ và $Oxyz$ là hệ tọa độ mới thì ta nhận được sáu hệ thức sau:

$$\begin{aligned} \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 &= 1, & \beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2 + \beta_3\gamma_3 &= 0 \\ \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 &= 1, & \gamma_1\alpha_1 + \gamma_2\alpha_2 + \gamma_3\alpha_3 &= 0 \\ \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_3^2 &= 1, & \alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2 + \alpha_3\beta_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Trở lại kết quả các tọa độ mới của vectơ \mathbf{a} nhận được từ biểu thức (3.7), ta có thể biểu diễn dưới dạng sau:

$$\begin{aligned} a_{x1} &= a_x\alpha_1 + a_y\beta_1 + a_z\gamma_1 \\ a_{y1} &= a_x\alpha_2 + a_y\beta_2 + a_z\gamma_2 \\ a_{z1} &= a_x\alpha_3 + a_y\beta_3 + a_z\gamma_3 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Ngược lại, a_x, a_y, a_z được biểu diễn qua a_{x1}, a_{y1}, a_{z1} theo các công thức sau:

$$\begin{aligned} a_x &= a_{x1}\alpha_1 + a_{y1}\alpha_2 + a_{z1}\alpha_3 \\ a_y &= a_{x1}\beta_1 + a_{y1}\beta_2 + a_{z1}\beta_3 \\ a_z &= a_{x1}\gamma_1 + a_{y1}\gamma_2 + a_{z1}\gamma_3 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Từ đó, xem như một trường hợp riêng của phép biến đổi tọa độ, ta có thể nhận được phép biến đổi các tọa độ khi chuyển từ một hệ tọa độ này sang một hệ tọa độ khác có chung gốc.

Chọn một điểm M và nối M với gốc chung O của cả hai tam diện tọa độ. Bán kính vectơ r của điểm M có các tọa độ x, y, z trong hệ tọa độ cũ và x_1, y_1, z_1 trong hệ tọa độ mới. Theo các công thức (3.11) và (3.12) ta sẽ có:

$$\begin{aligned} x_1 &= \alpha_1x + \beta_1y + \gamma_1z & x &= \alpha_1x_1 + \alpha_2y_1 + \alpha_3z_1 \\ y_1 &= \alpha_2x + \beta_2y + \gamma_2z & y &= \beta_1x_1 + \beta_2y_1 + \beta_3z_1 \\ z_1 &= \alpha_3x + \beta_3y + \gamma_3z & z &= \gamma_1x_1 + \gamma_2y_1 + \gamma_3z_1 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Khi cho biết một vectơ bằng các thành phần của nó trong một hệ tọa độ nào đó, ta ngầm hiểu rằng các thành phần của nó trong một hệ tọa độ mới bất kỳ sẽ được xác định theo công thức (3.7) hoặc (3.11) của phép biến đổi các tọa độ vectơ. Tuy nhiên, cũng có thể cho một vectơ bằng phương pháp khác mà ta cần phải tính các thành phần của nó trong một hệ tọa độ bất kỳ. Trong trường hợp này, ta còn cần phải kiểm tra xem công thức

(3.11) có được thỏa mãn hay không khi thực hiện việc chuyển đổi từ hệ tọa độ này sang hệ tọa độ khác.

Để minh họa, giả sử các tọa độ x, y, z của bán kính vectơ r là các hàm của tham số t . Ta thử xác định các thành phần của vectơ v mới theo các công thức:

$$v_x = dx/dt, \quad v_y = dy/dt, \quad v_z = dz/dt \quad (3.14)$$

Đối với mọi hệ tọa độ, ta cần chứng minh rằng v quả là một vectơ. Ta có:

$$\begin{aligned} v_{x1} &= dx_1/dt \\ &= d(\alpha_1 x + \beta_1 y + \gamma_1 z)/dt \\ &= \alpha_1 dx/dt + \beta_1 dy/dt + \gamma_1 dz/dt \\ &= \alpha_1 v_x + \beta_1 v_y + \gamma_1 v_z \end{aligned} \quad (3.15)$$

($\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ không cần lấy đạo hàm vì đó là các cosin không đổi của các góc giữa trục x_1 bất động và các trục x, y, z bất động).

Đối với các thành phần khác ta cũng nhận được các công thức tương tự. Nói cách khác, v quả thực là một vectơ.

Ngoài ra, bạn đọc cần chú ý thêm một hệ quả của các công thức đã trình bày. Trong đại số vectơ ta đã biết công thức tính độ dài (gọi là suất hoặc cường độ) của một vectơ qua các thành phần của nó:

$$a^2 = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 \quad (3.16)$$

Ở đây, vế trái của biểu thức không phụ thuộc vào hệ tọa độ mà ta đã tính a_x, a_y, a_z , vì vậy biểu thức $a_x^2 + a_y^2 + a_z^2$ luôn giữ nguyên giá trị của nó khi biến đổi từ bất kỳ một hệ tọa độ vuông góc này sang bất kỳ một hệ tọa độ vuông góc khác. Trong trường hợp này, ta nói $a_x^2 + a_y^2 + a_z^2$ bất biến đối với mọi phép biến đổi tọa độ.

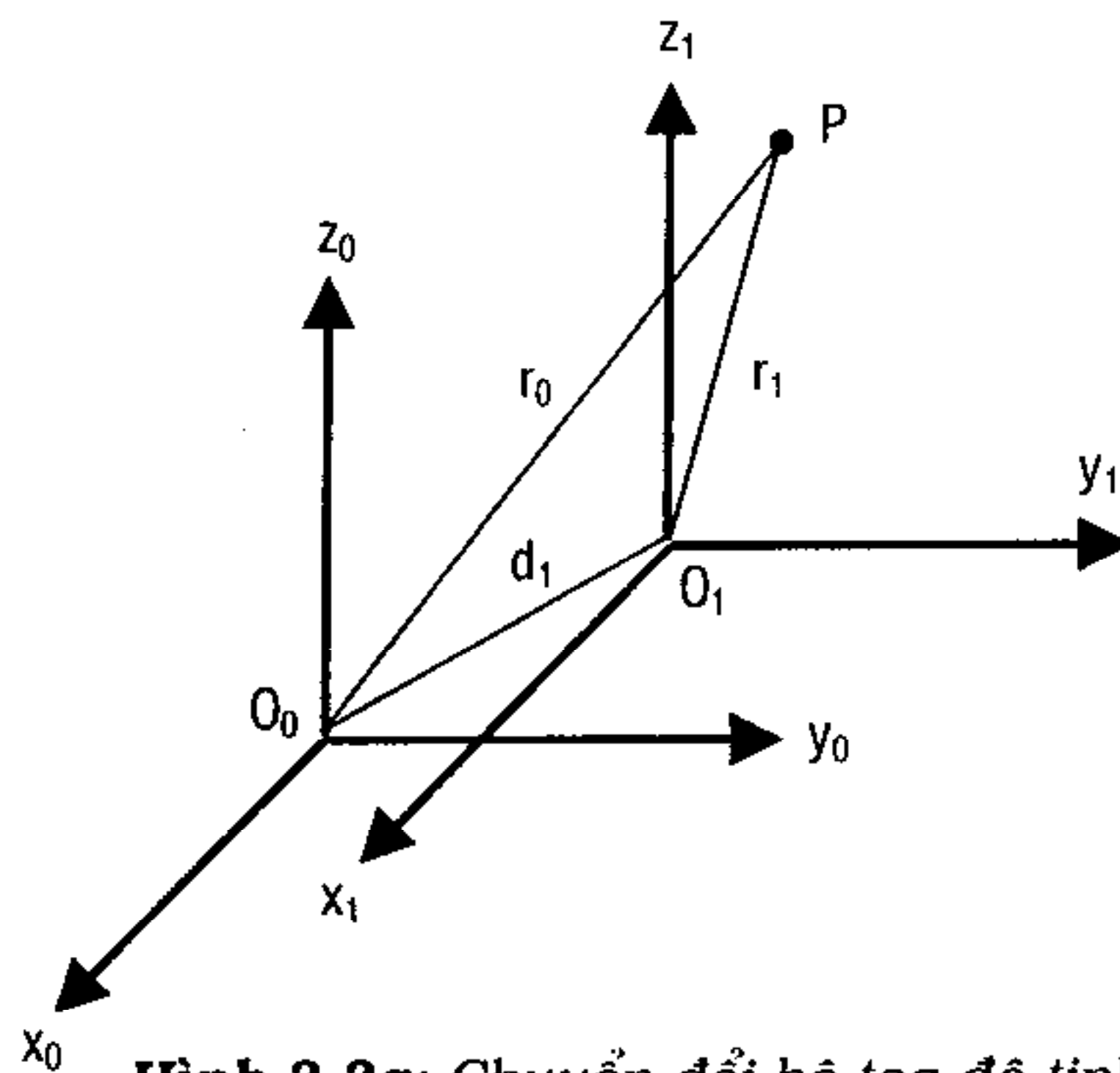
3.3 Phân tích động học tay máy bằng phương pháp ma trận

Trên cơ sở những kiến thức về phép chuyển đổi hệ tọa độ ở trên, phần tiếp theo dưới đây sẽ khảo sát cách thực hành để

áp dụng phương pháp ma trận trong việc khảo sát động học các cơ cấu tay máy.

(a) Trường hợp hai hệ tọa độ $(Oxyz)_1$ và $(Oxyz)_0$ có chuyển động tương đối là chuyển động tịnh tiến

Trong hình 3.3a một điểm P xác định trong hệ tọa độ $(Oxyz)_1$ bởi vectơ r_1 . Vị trí của hệ $(Oxyz)_1$ được xác định trong hệ tọa độ cố định $(Oxyz)_0$ bởi vec-tơ d_1 có các thành phần hình chiếu trên hệ trục $(Oxyz)_0$ là a_1 , b_1 và c_1 .



Hình 3.3a: Chuyển đổi hệ tọa độ tịnh tiến

Vị trí của điểm P xác định trong hệ tọa độ cố định $(Oxyz)_0$ bởi vectơ r_0 , với:

$$r_0 = r_1 + d_1$$

hay $r_1 = r_0 - d_1$

$$x_1 i_1 + y_1 j_1 + z_1 k_1 = x_0 i_0 + y_0 j_0 + z_0 k_0 - (a_1 i_0 + b_1 j_0 + c_1 k_0) \quad (*)$$

Do hai hệ tọa độ có chuyển động tịnh tiến tương đối, ta có:

$$i_1 = i_0 \quad j_1 = j_0 \quad k_1 = k_0$$

Từ (*), ta có thể viết: $x_1 = x_0 - a_1$ $y_1 = y_0 - b_1$ $z_1 = z_0 - c_1$

dưới dạng ma trận, ta có:
$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{pmatrix} \quad \text{hoặc} \quad r_1 = r_0 - d_1$$

Một cách tổng quát, khi mô tả tọa độ của điểm P , một điểm cố định trong hệ tọa độ $(Oxyz)_1$ trong chuyển động tịnh tiến tương đối giữa hai hệ tọa độ $(Oxyz)_1$ và $(Oxyz)_0$, ta viết:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ z_0(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_1(t) \\ b_1(t) \\ c_1(t) \end{pmatrix}$$

Lấy đạo hàm theo thời gian hai vế của phương trình trên, ta được:

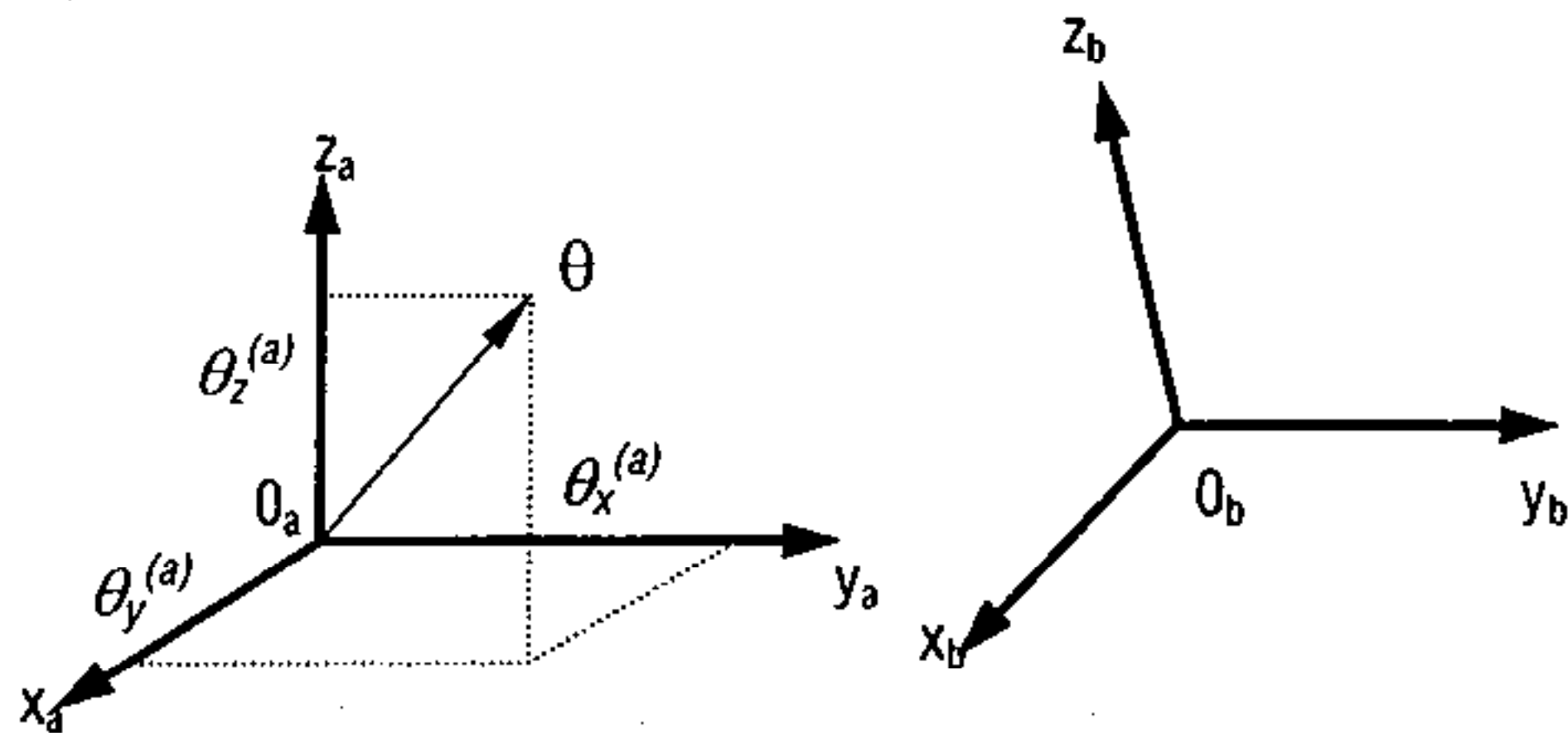
$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{x}_0(t) \\ \dot{y}_0(t) \\ \dot{z}_0(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{a}_1(t) \\ \dot{b}_1(t) \\ \dot{c}_1(t) \end{pmatrix}$$

hay $0 = \dot{r}_0(t) + \dot{d}_1(t)$

suy ra $V_0(t) = \dot{r}_0(t) = -\dot{d}_1(t)$

là vận tốc của điểm P khi người quan sát đứng trên hệ tọa độ cố định $(Oxyz)_0$

(b) Trường hợp hai hệ tọa độ $(Oxyz)_a$ và $(Oxyz)_b$ có chuyển động tương đối là chuyển động quay



Hình 3.3b: Chuyển đổi hệ tọa độ quay

Giả sử ta có hai hệ trục tọa độ vuông góc $O_a x_a y_a z_a$ và $O_b x_b y_b z_b$ (hình 3.3b). Một vectơ θ được xác định trong hệ tọa độ $O_a x_a y_a z_a$ bởi các thành phần là $\theta_x^{(a)}$, $\theta_y^{(a)}$, $\theta_z^{(a)}$. Ta hãy tìm các thành phần $\theta_x^{(b)}$,

$\theta_y^{(b)}$, $\theta_z^{(b)}$ của vectơ θ trong hệ tọa độ $O_b x_b y_b z_b$. Khoảng cách giữa gốc của hai hệ tọa độ là $\ell_{O_a O_b} = \ell$.

Để tìm lời giải cho vấn đề nêu trên ở góc độ xây dựng phương pháp nghiên cứu, ta sẽ chia ra làm hai trường hợp: trường hợp $\ell = 0$ và trường hợp $\ell \neq 0$.

(1) Trường hợp $\ell = 0$

Tương ứng với một dịch chuyển tịnh tiến một trong hai hệ trục tọa độ nhằm cố ý đưa hai gốc tọa độ O_a và O_b trùng nhau ($O_a \equiv O_b$). Điều này không ảnh hưởng đến kết quả tính toán bởi vì hình chiếu của vectơ θ lên các trục tọa độ không thay đổi trong phép dịch chuyển tịnh tiến hay chuyển dời song song.

Trong hệ tọa độ $O_a x_a y_a z_a$, ta có thể viết:

$$\theta = i_a \theta_x^{(a)} + j_a \theta_y^{(a)} + k_a \theta_z^{(a)} \quad (3.17)$$

i_a , j_a , k_a là các vectơ đơn vị trên các trục tương ứng x_a , y_a , z_a

Hình chiếu của vectơ θ trên các trục x_b , y_b , z_b chính là tích vô hướng giữa vectơ θ với các vectơ đơn vị i_b , j_b , k_b trên các trục tương ứng x_b , y_b , z_b :

$$\begin{aligned} \theta_x^{(b)} &= i_b \cdot \theta = i_b \cdot i_a \theta_x^{(a)} + i_b \cdot j_a \theta_y^{(a)} + i_b \cdot k_a \theta_z^{(a)}, \\ \theta_y^{(b)} &= j_b \cdot \theta = j_b \cdot i_a \theta_x^{(a)} + j_b \cdot j_a \theta_y^{(a)} + j_b \cdot k_a \theta_z^{(a)}, \\ \theta_z^{(b)} &= k_b \cdot \theta = k_b \cdot i_a \theta_x^{(a)} + k_b \cdot j_a \theta_y^{(a)} + k_b \cdot k_a \theta_z^{(a)} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Trong đó các đại lượng $\theta_x^{(b)}$, $\theta_y^{(b)}$, $\theta_z^{(b)}$ tìm được có quan hệ tuyến tính với các thành phần hình chiếu $\theta_x^{(a)}$, $\theta_y^{(a)}$, $\theta_z^{(a)}$. Ngoài ra, các hệ số ảnh hưởng của các đại lượng này là tích vô hướng giữa các vectơ đơn vị trên các hệ trục tọa độ $O_a x_a y_a z_a$ và $O_b x_b y_b z_b$ và cũng chính là cosin của các góc tạo bởi các trục tọa độ tương ứng. Theo đó, ta nhận thấy ở hàng thứ nhất của biểu thức (3.18):

$$\begin{aligned} i_b \cdot i_a &= \cos(\bar{x}_b, \bar{x}_a) \\ i_b \cdot j_a &= \cos(\bar{x}_b, \bar{y}_a) \\ i_b \cdot k_a &= \cos(\bar{x}_b, \bar{z}_a) \end{aligned} \quad (3.19)$$

Biểu diễn hình chiếu của vectơ đơn vị i_b trên các trục tọa độ x_a, y_a, z_a hay cũng chính là cosin chỉ hướng của trục x_b trong hệ trục tọa độ $O_a x_a y_a z_a$.

Để thuận tiện khảo sát bài toán động học tay máy bằng phương pháp ma trận, ta sẽ biểu diễn các biểu thức (3.18) dưới dạng ma trận:

Ta đặt:

$$M_{ba} = \begin{bmatrix} i_b \cdot i_a & i_b \cdot j_a & i_b \cdot k_a \\ j_b \cdot i_a & j_b \cdot j_a & j_b \cdot k_a \\ k_b \cdot i_a & k_b \cdot j_a & k_b \cdot k_a \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

hoặc có thể viết cách khác:

$$M_{ba} = \begin{bmatrix} \cos(\bar{x}_b, \bar{x}_a) & \cos(\bar{x}_b, \bar{y}_a) & \cos(\bar{x}_b, \bar{z}_a) \\ \cos(\bar{y}_b, \bar{x}_a) & \cos(\bar{y}_b, \bar{y}_a) & \cos(\bar{y}_b, \bar{z}_a) \\ \cos(\bar{z}_b, \bar{x}_a) & \cos(\bar{z}_b, \bar{y}_a) & \cos(\bar{z}_b, \bar{z}_a) \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Ta gọi M_{ba} là ma trận cosin chỉ hướng vì nó bao gồm các phần tử mà theo thứ tự các hàng lần lượt là cosin chỉ hướng của các trục x_b, y_b, z_b trong hệ trục tọa độ $O_a x_a y_a z_a$.

Gọi $\theta^{(b)}$ và $\theta^{(a)}$ là các ma trận cột với các phần tử là các hình chiếu của vectơ θ trên các hệ trục tọa độ $O_b x_b y_b z_b$ và $O_a x_a y_a z_a$, ta viết:

$$\theta^{(a)} = \begin{bmatrix} \theta_x^{(a)} \\ \theta_y^{(a)} \\ \theta_z^{(a)} \end{bmatrix}, \quad \theta^{(b)} = \begin{bmatrix} \theta_x^{(b)} \\ \theta_y^{(b)} \\ \theta_z^{(b)} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Công thức (3.18) có thể viết lại dưới dạng ma trận là:

$$\theta^{(b)} = M_{ba} \theta^{(a)} \quad (3.23)$$

Trong đó, ma trận cột $\theta^{(b)}$ là kết quả nhận được bằng cách nhân hai ma trận M_{ba} và $\theta^{(a)}$.

Phương pháp ma trận cho phép ta thể hiện một cách ngắn gọn việc chuyển các hình chiếu của vectơ θ trong hệ trục tọa độ $O_a x_a y_a z_a$ sang hệ trục tọa độ $O_b x_b y_b z_b$.

Ma trận cosin chỉ hướng M_{ba} được gọi là ma trận quay trong phép chuyển đổi các thành phần của vectơ θ từ hệ tọa độ O_a sang hệ tọa độ O_b .

Tương tự, ta hãy thử xác định ma trận cosin chỉ hướng M_{ab} - ma trận quay trong phép chuyển đổi từ hệ tọa độ O_b sang hệ tọa độ O_a . Một cách hiểu khác, ta hãy xác định cosin chỉ hướng của các trục x_a, y_a, z_a trong hệ trục tọa độ $O_b x_b y_b z_b$.

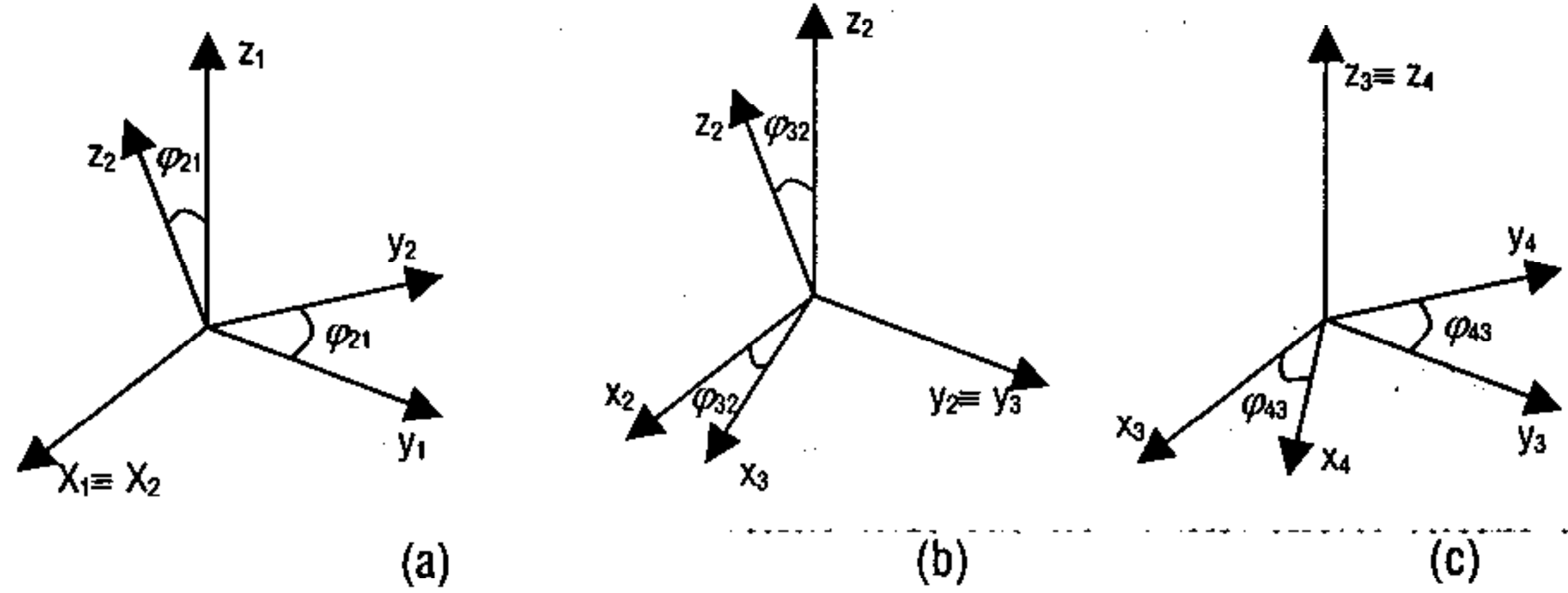
Chú ý các công thức (3.11) và (3.12), ta có thể viết:

$$M_{ab} = M_{ba}^T = \begin{bmatrix} i_a i_b & i_a j_b & i_a k_b \\ j_a i_b & j_a j_b & j_a k_b \\ k_a i_b & k_a j_b & k_a k_b \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Do tính chất của tích vô hướng của hai vectơ: $i_a \cdot i_b = i_b \cdot i_a$, ma trận M_{ab} nhận được chính là ma trận chuyển vị của ma trận M_{ba} ($M_{ab} = M_{ba}^T$); trong đó các phần tử thuộc hàng, theo thứ tự, của ma trận M_{ba} chính là các phần tử thuộc cột, theo thứ tự tương ứng, của ma trận M_{ab} .

Khi giải bài toán động học của cơ cấu không gian nhiều bậc tự do, trong đó bao gồm các cơ cấu tay máy, ta sẽ căn cứ vào tính chất động học của từng loại khớp để bố trí sao cho các hệ trục tọa độ tương đối (được gắn cứng với các khâu của cơ cấu) của hai khâu kế tiếp nhau có một trục trùng nhau hoặc song song với nhau ở mọi vị trí trong không gian hoạt động của cơ cấu nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán.

Một số trường hợp thường gặp được trình bày dưới đây (hình 3.4):



Hình 3.4: Một số trường hợp hệ trục tọa độ tương đối trùng nhau

Trên hình 3.4a, hai hệ trục tọa độ O_1 và O_2 có các trục $x_1 \equiv x_2$. Vị trí tương đối giữa hai hệ trục tọa độ được xác định bởi góc φ_{21} . Côsin chỉ hướng của các trục x_2, y_2, z_2 được thể hiện trên các hàng của ma trận M_{21} , với:

$$M_{21}^{x_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_{21} & \sin \varphi_{21} \\ 0 & -\sin \varphi_{21} & \cos \varphi_{21} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Chỉ số x_1 thể hiện ma trận M_{21} thực hiện phép chuyển đổi quay quanh trục $x_1 \equiv x_2$. Trên hình 3.4b và 3.4c, các hệ trục tọa độ O_2, O_3 và O_3, O_4 có các trục tương ứng trùng nhau là $y_2 \equiv y_3$ và $z_3 \equiv z_4$. Ma trận quay thực hiện phép chuyển đổi tương ứng quanh các trục này là:

$$M_{32}^{y_2} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{32} & 0 & -\sin \varphi_{32} \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi_{32} & 0 & \cos \varphi_{32} \end{bmatrix} \quad (3.26a)$$

$$M_{43}^{z_3} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{43} & \sin \varphi_{43} & 0 \\ -\sin \varphi_{43} & \cos \varphi_{43} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.26b)$$

Trong bài toán động học cơ cấu không gian, ta thường gặp yêu cầu phải xác định các thành phần của một vectơ nào đó trong hệ trục tọa độ O_{a1} gắn với giá cố định khi biết các thành

phần của nó trong hệ trục tọa độ O_{an} gắn với khâu thứ n . Khi đó ta phải thực hiện một chuỗi liên tiếp các chuyển đổi. Theo phân tích ở trên, ta có thể viết:

$$\theta^{(a_2)} = M_{a_2 a_1} \theta^{(a_1)} \quad (3.27)$$

$$\theta^{(a_3)} = M_{a_3 a_2} \theta^{(a_2)} = M_{a_3 a_2} M_{a_2 a_1} \theta^{(a_1)}$$

$$\theta^{(a_n)} = M_{a_n a_{n-1}} \theta^{(a_{n-1})} = M_{a_n a_{n-1}} M_{a_{n-1} a_{n-2}} \dots M_{a_3 a_2} M_{a_2 a_1} \theta^{(a_1)}$$

Một cách tổng quát, ta có thể viết:

$$M_{a_n a_1} = M_{a_n a_{n-1}} M_{a_{n-1} a_{n-2}} \dots M_{a_3 a_2} M_{a_2 a_1} \quad (3.28)$$

Tương tự, trong phép chuyển đổi ngược lại, ta có:

$$M_{a_1 a_n} = M_{a_1 a_2} M_{a_2 a_3} \dots M_{a_{n-2} a_{n-1}} M_{a_{n-1} a_n} \quad (3.29)$$

Theo đó, ta nhận thấy:

- (1) Việc chuyển đổi từ hệ trục tọa độ O_{an} sang hệ trục tọa độ O_{a1} được thực hiện thông qua các hệ trục tọa độ trung gian O_{an-1} , O_{an-2} , v.v..
- (2) Dễ dàng xác định các ma trận chuyển vị để thực hiện các chuyển đổi thuận nghịch khi cần thiết; chẳng hạn, $M_{a1a2} = M_{a2a1}^T$, $M_{a2a3} = M_{a3a2}^T$, v.v... Giả sử ta có một cơ cấu không gian gồm giá - được gắn hệ trục tọa độ cố định O_0 và 4 khâu động được gắn cứng với 4 hệ trục tọa độ tương ứng là O_1 , O_2 , O_3 , O_4 . Ta có thể viết:

$$M_{40} = M_{43} M_{32} M_{21} M_{10},$$

$$M_{04} = M_{01} M_{12} M_{23} M_{34},$$

$$\text{Ở đây: } M_{01} = M_{10}^T, \quad M_{12} = M_{21}^T, \dots$$

Để minh họa rõ hơn các vấn đề đã trình bày, dưới đây ta hãy xét một ví dụ.

Cho một cơ cấu tay máy dạng cơ cấu không gian hở như trên hình 3.5. Cơ cấu bao gồm 6 khâu động được liên kết với nhau bằng 6 khớp bản lề (khớp động loại 5; $p_5 = 6$) ở A , B , C , D , E ,

F theo thứ tự từng cặp có phương trục quay của khớp bản lề vuông góc với nhau là A và B , C và D , E và F . Các điểm B , C và E nằm trong cùng một mặt phẳng (P) chứa trục quay A , trong đó các trục quay B và C vuông góc với mặt phẳng (P). Công việc phải thực hiện là phân tích động học cơ cấu tay máy hay còn gọi là giải bài toán động học thuận.

Như đã biết ở cơ học lý thuyết, bài toán động học bao gồm ba nội dung: bài toán vị trí, bài toán vận tốc và bài toán gia tốc.

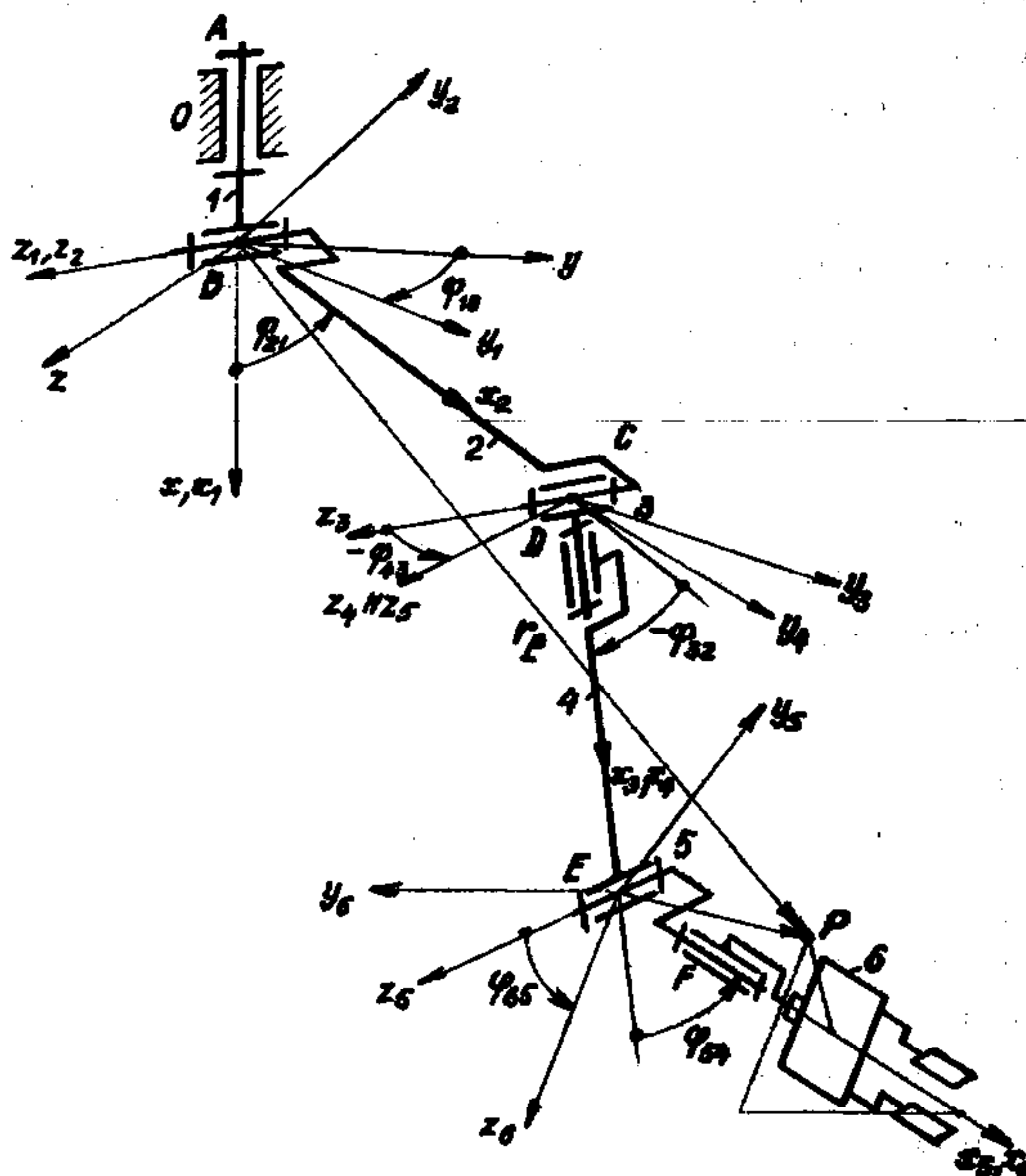
Ở bài toán vị trí, nhiệm vụ phải thực hiện bao gồm việc xác định mối quan hệ về vị trí của tất cả các khâu trên cơ cấu với mọi chuyển động trong không gian làm việc của nó, xác định phương trình chuyển động theo thời gian của một điểm bất kỳ trên một khâu bất kỳ; nói cách khác, ta phải xác định tọa độ của một điểm trên một khâu bất kỳ ở một thời điểm bất kỳ và quỹ đạo chuyển động của nó. Ngoài ra, với các tay máy, bài toán vị trí còn phải xác định thêm vùng không gian làm việc của nó.

Dưới đây, sẽ trình bày một số nội dung chính của bài toán vị trí bằng phương pháp ma trận. Các nội dung về vùng không gian làm việc, quỹ đạo chuyển động của các khâu trên cơ cấu, hệ số làm việc bạn đọc có thể xem thêm ở cuối chương này.

3.3.1 Phân tích bài toán vị trí

Bước 1: Xác định các tham biến phản ánh chuyển động tương đối giữa các khâu

Trước hết, ta sẽ chọn các tham biến là các tọa độ suy rộng q_1, q_2, \dots, q_n để xác định vị trí tương đối giữa các khâu cũng như vị trí của cả cơ cấu. Cần lưu ý là tùy theo cấu tạo của cơ cấu (hoặc chuỗi động), ta sẽ sử dụng các tọa độ suy rộng là các đại lượng thẳng và đại lượng góc để xác định vị trí của cơ cấu. Với các khớp tịnh tiến; cho phép thực hiện các chuyển vị thẳng, thì đại lượng xác định vị trí tương đối (hoặc chuyển động tương đối) giữa hai khâu liên kết là tham biến chiều dài l được xác định từ một gốc nào đó (thường là điểm tại khớp thuộc khâu đứng trước).



Hình 3.5: Sơ đồ động tay máy 6 bậc chuyển động trong ví dụ

Với các khớp quay, đại lượng xác định vị trí tương đối (hoặc chuyển động tương đối) là góc $\varphi_{k, k-1}$ trong chuyển động tương đối giữa hai khâu k và $k-1$. Như ở ví dụ trên hình 2.3, sẽ rất thuận tiện khi ta chọn các tọa độ suy rộng q_1, q_2, \dots, q_n là sáu góc quay trong chuyển động tương đối giữa hai khâu kế tiếp nhau là $\varphi_{10}, \varphi_{21}, \dots, \varphi_{65}$.

Tiếp theo, để khảo sát thuận tiện, ta sẽ đặt vào mỗi khâu động thứ k ($k=1..6$) của chuỗi động một hệ trục tọa độ vuông góc $O_k X_k Y_k Z_k$ – gọi là các hệ tọa độ tương đối hay hệ tọa độ địa phương. Bằng cách đó, ta thực hiện các việc sau:

- Viết các ma trận quay để chuyển các thành phần (hình chiếu) của vectơ trong hệ tọa độ tương đối sang hệ tọa độ tuyệt đối hoặc ngược lại.
- Thống nhất một quy tắc thể hiện các góc quay và đạo hàm theo thời gian của chúng (các vận tốc góc và gia tốc góc) trong chuyển động tương đối giữa các khâu.

Ngoài ra, một chi tiết nhằm giúp đơn giản hóa quá trình giải bài toán động học, xin được nhắc lại với bạn đọc một lần nữa, là căn cứ vào cấu tạo và tính chất của các liên kết (các khớp) trên cơ cấu, ta sẽ bố trí sao cho:

- Gốc của các hệ trục tọa độ trùng với các giao điểm tại các khớp quay; ở ví dụ trên hình 3.5 là các điểm B, C, E .
- Chọn một trục tọa độ trùng với trục quay của khớp; ở ví dụ này là các trục Z_1, Z_3, Z_5 thuộc các khâu 1, 3, 5 trùng với trục quay của các khớp quay B, C, E và các trục X_1, X_3, X_5 trùng với trục quay của các khớp A, D, F .
- Hai hệ trục tọa độ tương đối kế tiếp nhau sẽ có ít nhất là một trục tọa độ trùng nhau hoặc song song với nhau. Ở ví dụ này là trục X trùng với X_1 và các trục Z_1, X_3, X_5 của các khâu 1, 3, 5 trùng với các trục Z_2, X_4, X_6 của các khâu 2, 4 và 6. Ngoài ra, để xác lập mối quan hệ cho phép phản ánh được chuyển động tương đối giữa hai khâu 4 và 5, ta chọn trục Z_4 song song với trục Z_5 với chuyển động tương đối thể hiện bởi góc quay φ_{54} .
- Cuối cùng, chọn một trục tọa độ sao cho trùng với đoạn thẳng thể hiện kích thước động của khâu. Ở ví dụ này là trục X_2 trùng với BC , X_4 trùng với CE . Hoặc chọn trục tọa độ phản ánh được chuyển động của khâu, ví dụ ở đây ta chọn trục Z_6 nằm trong (hoặc song song với) mặt phẳng của khâu 6 là tay gấp trên tay máy.

Theo cách bố trí như vậy, hệ trục tọa độ cố định ở ví dụ này sẽ là $O_0 (B_{xyz})$, các góc quay trong chuyển động tương đối lần lượt là:

$$\begin{aligned}\varphi_{10} &= (\bar{y}_1, \bar{y}) = (\bar{z}_1, \bar{z}) & \varphi_{21} &= (\bar{x}_2, \bar{x}_1) & \varphi_{32} &= (\bar{x}_3, \bar{x}_2) \\ \varphi_{43} &= (\bar{z}_4, \bar{z}_3) & \varphi_{54} &= (\bar{x}_5, \bar{x}_4) & \varphi_{65} &= (\bar{z}_6, \bar{z}_5)\end{aligned}$$

Chiều dương quy ước cho các góc quay trong chuyển động tương đối được xác định như sau: từ đỉnh của trục trùng nhau (hoặc song song nhau) nhìn xuống mặt phẳng chuyển động tương đối, góc quay $\varphi_{k, k-1}$ mang giá trị dương khi chuyển động tương đối giữa khâu k so với $k-1$ theo chiều dương lượng giác.

Bước 2: Xác định các ma trận quay

Các ma trận quay cần xác định bao gồm:

$$\begin{aligned}M_{01}, \\ M_{02} &= M_{01}M_{12}, \\ M_{03} &= M_{01}M_{12}M_{23}, \\ &\dots \\ M_{06} &= M_{01}M_{12}\dots M_{56} = M_{05}M_{56}\end{aligned}\tag{3.30}$$

Các ma trận quay ở biểu thức (3.30) được xác định theo các công thức (3.28) khi ta thiết lập được các ma trận quay M_{01} , M_{12} , M_{23} , M_{34} , M_{45} , M_{56} . Do các cặp hệ trục tọa độ kế tiếp có một trục tọa độ trùng nhau hoặc song song với nhau, ta có thể nhanh chóng xác định các ma trận quay nói trên:

$$M_{12} = M'_{21} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{21} & -\sin \varphi_{21} & 0 \\ \sin \varphi_{21} & \cos \varphi_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\tag{3.31}$$

Các ma trận M_{34} (có trục $x_3 \equiv x_4$), M_{56} (có trục $x_5 \equiv x_6$) được xác định với kết quả hoàn toàn tương tự như ở biểu thức (3.30) bằng cách thay các góc tương ứng φ_{43} và φ_{65} .

Các ma trận M_{23} (có trục z_2/z_3) và M_{45} (có trục z_4/z_5) được xác định với kết quả hoàn toàn tương tự như biểu thức (3.30) bằng cách thay các góc tương ứng φ_{32} và φ_{54} .

Với các ma trận quay $M_{k, k+1} = M_{k+1, k}^T$ đã xác định, ta sẽ xác định được các ma trận M_{0k} (với $k = 1, 2, \dots, 6$) bằng cách nhân liên tiếp các ma trận theo công thức (3.29).

Đối với một chuỗi động nhiều khâu (trên 4 khâu động) nên thực hiện việc tính toán nhờ phần mềm Matlab để đỡ nhầm lẫn.

Bước 3: Xác định tọa độ của một điểm thuộc một khâu bất kỳ

Bây giờ ta chuyển sang công việc xác định tọa độ của một điểm bất kỳ thuộc một khâu bất kỳ của cơ cấu trong hệ trục tọa độ tuyệt đối gắn liền với giá cố định 0.

Chọn trên khâu 6 một điểm P có các tọa độ tương đối lần lượt là:

$$x_p^{(6)}, y_p^{(6)}, z_p^{(6)}$$

Điểm P cũng được xác định bởi vectơ $\overline{EP} = c$ trong hệ trục tọa độ $E_{x_6y_6z_6}$.

Tọa độ tuyệt đối của điểm P được xác định bởi vectơ $r_p = BP$ dưới dạng một tổng các vectơ:

$$r_p = i_2 l_{BC} + i_4 l_{CE} + c = a + b + c \quad (3.32)$$

Ở đẳng thức (3.32), tổng của hai vectơ đầu $i_2 l_{BC} = a$ và $i_4 l_{CE} = b$ xác định vị trí của điểm E bởi bán kính vectơ \overline{BE} , trong đó vectơ a xác định trong hệ trục tọa độ O_2 và vectơ b xác định trong hệ trục tọa độ O_4 còn vectơ c xác định trong hệ trục tọa độ O_6 , thể hiện bởi các ma trận cột:

$$a = \begin{bmatrix} l_{BC} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} l_{CE} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} x_p^{(6)} \\ y_p^{(6)} \\ z_p^{(6)} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Theo quan hệ chuyển đổi ở công thức (3.20), ta có thể viết:

$$r_p = M_{02} a^{(2)} + M_{04} b^{(4)} + M_{06} c^{(6)} \quad (3.34)$$

Ở đây:

$$r_p = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix}$$

r_p là ma trận cột với các phần tử là các thành phần hình chiếu của điểm P trong hệ tọa độ tuyệt đối. Các thành phần này xác định được từ kết quả của biểu thức (3.33). Việc xác định vị trí của các điểm bất kỳ khác được thực hiện theo cách hoàn toàn tương tự.

Trường hợp các chuyển vị góc $\varphi_{k,k+1}$ được xác định là các hàm theo thời gian $\varphi_{k,k+1} = \varphi_{k,k+1}(t)$, ta sẽ xác định được các hàm vectơ $r_p(t)$ tương ứng theo thời gian. Nói cách khác, ta sẽ xác định được quy luật chuyển động của một điểm trên một khâu bất kỳ và biểu diễn được quỹ đạo chuyển động của nó theo thời gian trong vùng không gian hoạt động của cơ cấu.

Bước 4: Xác định thành phần (hình chiếu) của các vectơ đơn vị trên trục của các khớp bản lề

Bài toán vị trí của cơ cấu là một chuỗi động không gian hở còn phải xác định vị trí hay hình chiếu của các vectơ đơn vị trên các trục của các khớp bản lề A, B, C, D, E, F trong hệ tọa độ tuyệt đối nhằm chuẩn bị cho việc xác định bài toán vận tốc và gia tốc ở các bước tiếp theo. Để tạm thời phân biệt với các vectơ đơn vị trên các trục tọa độ địa phương, ta ký hiệu lần lượt các vectơ đơn vị trên các trục của khớp bản lề là $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6$.

Thật ra, do trục x_1 trùng với trục của khớp quay A , nên $e_1 = i_1$. Tương tự, bạn đọc có thể tự kiểm tra các vectơ đơn vị trên các trục khớp quay còn lại $e_2 \equiv k_1 \equiv k_2, e_3 \equiv k_3, e_4 \equiv i_3 \equiv i_4, e_5 \equiv k_5, e_6 \equiv i_5 \equiv i_6$. Ngoài ra, hình chiếu của các vectơ đơn vị e_1, e_2, \dots, e_6 trong hệ tọa độ tuyệt đối đã được thể hiện trong các ma trận quay M_{0k} đã xác định ở trên. Hãy thử lấy một ma trận M_{05} :

$$M_{05} = M_{01} M_{12} M_{23} M_{34} M_{45} = \begin{bmatrix} m_{11}^{(05)} & m_{12}^{(05)} & m_{13}^{(05)} \\ m_{21}^{(05)} & m_{22}^{(05)} & m_{23}^{(05)} \\ m_{31}^{(05)} & m_{32}^{(05)} & m_{33}^{(05)} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Ta dễ dàng nhận ra các thành phần hình chiếu của các vectơ đơn vị $e_5 \equiv k_5$ và $e_6 \equiv i_5$ là các phần tử tương ứng thuộc cột thứ ba và cột thứ nhất của ma trận M_{05} :

$$\mathbf{e}_5 = \begin{bmatrix} e_{5x} \\ e_{5y} \\ e_{5z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{13}^{(05)} \\ m_{23}^{(05)} \\ m_{33}^{(05)} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{e}_6 = \begin{bmatrix} e_{6x} \\ e_{6y} \\ e_{6z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}^{(05)} \\ m_{21}^{(05)} \\ m_{31}^{(05)} \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Tương tự, ta sẽ xác định được các thành phần của các vectơ đơn vị $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_6$ trong hệ tọa độ tuyệt đối thể hiện ở các phần tử thuộc các cột trên các ma trận quay M_{01}, M_{03} và M_{05} .

3.3.2 Phân tích bài toán vận tốc và gia tốc

Ở bài toán này, như đã biết trong cơ học, ta giả định rằng chuyển động của khâu thứ k so với khâu thứ $k-1$ là đã biết. Với cơ cấu tay máy ở ví dụ trên, vận tốc góc và gia tốc góc trong chuyển động tương đối có giá trị lần lượt là $\dot{\varphi}_{k,k-1}$ và $\ddot{\varphi}_{k,k-1}$ và chính là các đạo hàm bậc nhất và đạo hàm bậc hai theo thời gian của chuyển vị góc $\varphi_{k,k-1}$. Dưới dạng vectơ, ta có thể biểu diễn:

$$\boldsymbol{\omega}_{k,k-1} = \mathbf{e}_k \dot{\varphi}_{k,k-1} \quad (3.37)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{k,k-1} = \mathbf{e}_k \ddot{\varphi}_{k,k-1} \quad (3.38)$$

Đó là các vectơ đồng tuyến tính có phương nằm trên các trục quay liên kết các khớp k và $k-1$; \mathbf{e}_k là vectơ đơn vị trên trục quay của các khớp này và đã được xác định ở phần trên.

Chuyển động tuyệt đối của khâu thứ k bao gồm hai chuyển động: chuyển động theo (hay kéo theo) khâu thứ $k-1$, được thể hiện bởi vectơ $\boldsymbol{\omega}_{k-1}$; và chuyển động tương đối của khâu thứ k so với khâu thứ $k-1$, được biểu diễn dưới dạng vectơ là $\boldsymbol{\omega}_{k,k-1}$.

Gọi $\boldsymbol{\omega}_k$ là vectơ vận tốc góc tuyệt đối trong chuyển động phức hợp của cơ cấu, theo định lý hợp vận tốc ta có thể viết:

$$\boldsymbol{\omega}_k = \boldsymbol{\omega}_{k-1} + \boldsymbol{\omega}_{k,k-1} \quad (3.39)$$

Cụ thể hơn, ta có:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\omega}_1 &= \boldsymbol{\omega}_0 + \boldsymbol{\omega}_{10} = \mathbf{e}_1 \dot{\varphi}_{10}, \\ \boldsymbol{\omega}_2 &= \boldsymbol{\omega}_1 + \boldsymbol{\omega}_{21} = \mathbf{e}_1 \dot{\varphi}_{10} + \mathbf{e}_2 \dot{\varphi}_{21}, \end{aligned} \quad (3.40)$$

...

Một cách tổng quát, ta có thể biểu diễn vectơ vận tốc góc tuyệt đối ω_k :

$$\omega_k = \sum_{i=1}^k \omega_{i,i-1} = \sum_{i=1}^k e_i \dot{\phi}_{i,i-1} \quad (3.41)$$

chính là tổng của vận tốc góc trong chuyển động tương đối của tất cả các khâu đứng trước khâu thứ k với vận tốc góc trong chuyển động tương đối của chính khâu thứ k với khâu thứ $k-1$.

Dưới dạng ma trận cũng biểu diễn tương tự:

$$\omega_k = \omega_{k-1} + \omega_{k,k-1} \quad (3.42)$$

trong đó, ω_k , ω_{k-1} và $\omega_{k,k-1}$ là các ma trận cột gồm các phần tử là các thành phần (hình chiếu) của các vectơ cùng tên trên các trục tọa độ tuyệt đối x, y, z .

Với gia tốc góc, diễn tiến xác định cũng theo cách tương tự. Tuy nhiên, cần lưu ý mối liên hệ gia tốc góc giữa các khâu trong chuyển động phức hợp, theo định lý hợp gia tốc, ta có:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_{k-1} + \varepsilon_{k,k-1} + \varepsilon_{k-1} \times \varepsilon_{k,k-1} \quad (3.43)$$

Biểu thức trên là kết quả lấy đạo hàm biểu thức (3.37) theo thời gian. Trong đó $\varepsilon_{k-1} = d\omega_{k-1}/dt$ là gia tốc góc trong chuyển động theo khâu $k-1$. Gia tốc trong chuyển động tương đối gồm có $\varepsilon_{k,k-1} = d\omega_{k,k-1}/dt$ là thành phần gia tốc góc thứ nhất do ảnh hưởng của chuyển động tương đối giữa khâu thứ k so với khâu thứ $k-1$ và thành phần gia tốc góc thứ hai $\omega_{k-1} \times \omega_{k,k-1}$ do ảnh hưởng của chuyển động quay của khâu thứ $k-1$.

Với các vectơ vận tốc góc và gia tốc góc xác định được từ (3.40) và (3.41), ta dễ dàng chuyển sang xác định vận tốc dài của điểm thuộc khâu bất kỳ trên cơ cấu đã cho. Từ cơ học lý thuyết ta đã biết trong chuyển động tổng quát của vật rắn, vận tốc hoặc gia tốc của một điểm M bất kỳ được xác định theo vận tốc hoặc gia tốc đã biết của điểm cực O nào đó:

$$V_M = V_O + V_{MO} \quad (3.44)$$

$$a_M = a_O + a_{MO} \quad (3.45)$$

trong đó:

- V_O, a_O lần lượt là vận tốc và gia tốc của điểm cực O
- V_{MO} và a_{MO} lần lượt là vận tốc và gia tốc trong chuyển động tương đối giữa điểm M so với điểm cực O , được xác định bởi các công thức:

$$V_{MO} = \omega \times \rho, \quad (3.46)$$

$$a_{MO} = \omega \times (\omega \times \rho) + \varepsilon \times \rho \quad (3.47)$$

Ở đây ω và ε là vận tốc góc và gia tốc góc của vật thể, $\rho = OM$ là bán kính vectơ xác định vị trí tương đối của điểm M so với điểm cực O .

Nhờ các công thức trên, ta có thể xác định vận tốc và gia tốc của mọi điểm trên cơ cấu tay máy đã cho. Giả sử ta cần xác định vận tốc và gia tốc của điểm P thuộc khâu 6 như ở bài toán vị trí. Chọn điểm E là điểm cực, ta có thể viết:

$$V_P = V_E + V_{PE} = V_E + \omega_6 \times \overline{EP} \quad (3.48)$$

Bằng cách thay thế biểu thức của vectơ V_E theo mối quan hệ vận tốc hoàn toàn tương tự như trên, ta có thể viết :

$$V_E = V_C + V_{EC} = V_B + V_{CB} + V_{EC} = \omega_2 \times \overline{BC} + \omega_4 \times \overline{CE}$$

do điểm B cố định nên $V_B = 0$, ta có thể viết lại biểu thức (3.46) trở thành:

$$V_P = V_{CB} + V_{EC} + V_{PE} = \omega_2 \times \overline{BC} + \omega_4 \times \overline{CE} + \omega_6 \times \overline{EP} \quad (3.49)$$

Trong công thức (3.48), các vectơ $\overline{BC} = M_{02}a$, $\overline{CE} = M_{04}b$, $\overline{EP} = M_{06}c$ đã được xác định từ biểu thức (3.34) của bài toán vị trí và các vectơ vận tốc góc $\omega_2, \omega_4, \omega_6$ được xác định theo công thức (3.40) đều được xác định trong hệ tọa độ tuyệt đối. Vận tốc của điểm P dưới dạng ma trận sẽ là một ma trận cột với các phần tử của ma trận lần lượt là các thành phần (hình chiếu) của vectơ vận tốc tuyệt đối của điểm P trong hệ tọa độ cố định $Bxyz$.

Với bài toán gia tốc, ta cũng xác định tương tự, bằng cách viết:

$$\mathbf{a}_P = \mathbf{a}_E + \mathbf{a}_{PE}$$

trong đó:

$$\mathbf{a}_E = \mathbf{a}_C + \mathbf{a}_{EC} = \mathbf{a}_B + \mathbf{a}_{CB} + \mathbf{a}_{EC} \quad (3.50)$$

do $\mathbf{a}_B = 0$,

$$\mathbf{a}_P = \mathbf{a}_{CB} + \mathbf{a}_{EC} + \mathbf{a}_{PE}$$

với

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{CB} &= \omega_2 \times (\omega_2 \times \overline{BC}) + \varepsilon_2 \times \overline{BC}, \\ \mathbf{a}_{EC} &= \omega_4 \times (\omega_4 \times \overline{CE}) + \varepsilon_4 \times \overline{CE}, \\ \mathbf{a}_{PE} &= \omega_6 \times (\omega_6 \times \overline{EP}) + \varepsilon_6 \times \overline{EP}. \end{aligned} \quad (3.51)$$

các vectơ $\overline{BC}, \overline{CE}, \overline{EP}$, ω_i ($i = 2, 4, 6$) được xác định như ở bài toán vận tốc, các vectơ ε_i được xác định theo công thức (3.42). Dưới dạng ma trận ta viết:

$$\mathbf{a}_P = \begin{bmatrix} a_{x_p} \\ a_{y_p} \\ a_{z_p} \end{bmatrix} = \omega_2 \times (\omega_2 \times \mathbf{M}_{02} \cdot \mathbf{a}) + \varepsilon_4 \times (\omega_4 \times \mathbf{M}_{04} \cdot \mathbf{b}) + \varepsilon_4 \times \mathbf{b} + \omega_6 \times (\omega_6 \times \mathbf{M}_{06} \cdot \mathbf{c}) + \varepsilon_6 \times \mathbf{c} \quad (3.52)$$

Trong đó: ω_i , ε_i ($i = 2, 4, 6$), \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} là các ma trận cột (3,1), \mathbf{M}_{0i} ($i = 2, 4, 6$) là các ma trận (3,3).

Ở ví dụ nêu trên, ta để ý rằng tất cả các khâu trên cơ cấu tay máy được liên kết với nhau toàn bằng khớp bản lề và trong quá trình giải bài toán này ta đã sử dụng phương pháp ma trận có kết hợp với phương pháp vectơ.

(2) Trường hợp $\ell \neq 0$

Với trường hợp tổng quát hơn, khi liên kết giữa các khâu trên cơ cấu tay máy gồm các khớp bản lề và các khớp tịnh tiến (khớp trượt) thì việc mô tả chuyển động tương đối giữa các khâu bằng phương pháp nêu trên sẽ gặp trở ngại. Vấn đề xuất hiện ở chỗ là với ma trận (3x3) ta không thể mô tả chuyển tịnh tiến giữa hai khâu liên kết bằng khớp trượt loại 5, tương ứng với $\ell \neq 0$. Nói

cách khác phương pháp đã trình bày ở trên chỉ phù hợp với cơ cấu tay máy liên kết toàn bằng khớp bản lề.

Sẽ thuận lợi hơn và tổng quát hơn nếu ta sử dụng phương pháp tọa độ thuần nhất, cho phép biểu diễn đồng thời các chuyển động quay và chuyển động tịnh tiến trong việc mô tả chuyển động tương đối giữa hai khâu. Phần trình bày tiếp theo dưới đây sẽ khảo sát phương pháp này.

3.4 Mô tả chuyển động bằng phương pháp tọa độ thuần nhất

3.4.1 Giới thiệu phương pháp tọa độ thuần nhất

Phương pháp tọa độ thuần nhất (Forest, 1969) được đưa vào áp dụng trong đồ họa điện toán nhằm khắc phục một số vấn đề phức tạp khi tính toán các ma trận. Theo đó, một không gian n chiều (hay n tọa độ) được trình bày trong $n+1$ chiều. Ví dụ, ta biểu diễn tọa độ của một điểm P xác định bởi vectơ r_p trong không gian ba chiều là (x_p, y_p, z_p) trở thành $(h_{xp}, h_{yp}, h_{zp}, h)$, với h là một số tùy ý. Trong việc khảo sát động học robot, h thường được đặt là 1 thể hiện sự không thay đổi về kích thước (giá trị) của từng phần tử trong phép chiếu từ không gian n sang không gian $n+1$, hoặc ngược lại.

Tọa độ được thêm vào h được dùng như là một hệ số tỷ lệ (giống như tỷ lệ phóng thay thu nhỏ một hình phối cảnh trong đồ họa trên máy tính) nhằm khắc phục mức giới hạn của kích cỡ của word trong một số máy tính bằng cách chuyển đổi tỷ lệ để làm giảm một số có giá trị lớn cho phù hợp với khoảng giá trị mà máy tính có thể chấp nhận.

Thuật ngữ *homogeneous* (tạm dịch là thuần nhất) được áp dụng do việc trình bày một lớp đối tượng kéo theo những hằng số không rõ ràng. Ví dụ, phương trình của một đường thẳng $y=ax+b$ trong không gian 2 chiều trở thành phương trình thuần nhất $ax-y+b=0$, là phương trình của đường thẳng trong không gian 3 chiều.

Các tọa độ thuần nhất có thể được xem như tọa độ thêm vào của mỗi vectơ sao cho vectơ sẽ không thay đổi bằng cách cho

các phần tử (bao gồm cả hệ số tỷ lệ) được nhân với một hằng số. Chẳng hạn, ta có một vectơ $v = ai + bj + ck$, với i, j, k lần lượt là các vectơ đơn vị trên các trục tọa độ x, y, z được trình bày dưới dạng ma trận cột với các thành phần trong hệ tọa độ thuận nhất là:

$$\text{Với } w = 1 \quad v = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aw \\ bw \\ cw \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

Một vấn đề nữa trong đồ họa điện toán là giả sử ta có một ma trận (3x3) được dùng để mô tả phép quay giữa các hệ tọa độ (như ma trận quay M_{ab} đã trình bày ở phần trên) trong chuyển đổi hệ tọa độ, dùng trong phép biến đổi tỷ lệ, hoặc dùng trong phép cắt, xen một đối tượng 3D với khái niệm đã có từ phương pháp chuyển đổi thông thường không đủ để đồng thời mô tả chuyển dời tịnh tiến của đối tượng. Đây là vấn đề rất được quan tâm khi khảo sát động học tay máy cũng được giải quyết bằng phương pháp tọa độ thuận nhất.

Để mô tả chuyển dời tịnh tiến của khâu, ta có thể thêm vào ma trận (3x3) một vectơ cột để trở thành ma trận (3x4). Tuy nhiên, ma trận hình thành khi đó không phải là một ma trận vuông, nên không có ma trận nghịch đảo của ma trận này và việc tính toán trong bài toán động học sẽ gặp trở ngại. Khó khăn này được khắc phục bằng cách định nghĩa một ma trận chuyển đổi (4x4) mô tả đồng thời các chuyển động quay và chuyển động tịnh tiến giữa các hệ tọa độ. Ta viết ma trận đó dưới dạng như sau:

$$T = \left(\begin{array}{c|c} \text{Chuyển đổi quay} & \text{Chuyển đổi tịnh tiến} \\ \hline \text{Chuyển đổi trục chuẩn} & \text{Tỷ lệ} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c|c} 3 \times 3 & 3 \times 1 \\ \hline 1 \times 3 & 1 \times 1 \end{array} \right)$$

Trong phần khảo sát động cơ cấu tay máy này ta chỉ quan tâm đến việc mô tả đồng thời các chuyển đổi quay và chuyển đổi tịnh tiến giữa các hệ tọa độ mà chuyển động tịnh tiến không làm thay đổi hướng của các vectơ, do đó các phần tử trong chuyển đổi trục chuẩn sẽ là $(0, 0, 0)$ với tỷ lệ là 1. Như vậy, ma trận (4×4) mô tả đồng thời phép chuyển đổi quay và chuyển đổi tịnh tiến giữa các trục tọa độ sẽ được thể hiện dưới dạng:

$$T = \left(\begin{array}{c|c} \begin{array}{c} \text{Quay} \\ (3 \times 3) \end{array} & \begin{array}{c} \text{Tịnh tiến} \\ (3 \times 1) \end{array} \\ \hline \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \end{array} & \begin{array}{c} 1 \end{array} \end{array} \right)$$

Từ những khái niệm nêu trên, về mặt toán học, ta có thể tiếp cận với một số định nghĩa dưới đây:

(1) Hàm thuần nhất

Hàm $f(.) : (D \subset R^n) \rightarrow R$ của n biến x_i được gọi là thuần nhất bậc r trong miền xác định D nếu và chỉ nếu với mọi $a > 0$ thì:

$$(ax_1, ax_2, ax_n) = ar \cdot f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

(2) Phương trình thuần nhất

Xét hàm $f(.) : (D \subset R^n) \rightarrow R$ là hàm n biến xác định trong miền D , thì phương trình $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ được gọi là thuần nhất bậc r nếu và chỉ nếu: hàm $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ là thuần nhất bậc r trong miền xác định D .

(3) Tọa độ thuần nhất (Homogeneous coordinates)

Gọi $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ là tọa độ trong hệ tọa độ vuông góc của một điểm trong không gian R^n

Ta gọi: $(y_1, y_2, \dots, y_n, y_{n+1})$ với:
$$\begin{cases} y_{n+1} \neq 0 \\ \forall i = 1 \dots n \Rightarrow \frac{y_i}{y_{n+1}} = x_i \end{cases}$$

là tọa độ thuần nhất của điểm đã xét ở trên.

Ta có nhận xét rằng với định nghĩa như trên thì mỗi phương trình đại số với biến $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ khi được chuyển sang tọa độ thuần nhất thì đều trở thành phương trình thuần nhất.

Như đã phân tích ở trên, khi dùng tọa độ thuần nhất để mô tả ta quy ước yếu tố thứ $(n+1)$ bằng 1. Lúc này một điểm P trong không gian ba chiều (R^3) có tọa độ $[x \ y \ z]^T$ sẽ được diễn tả bởi tọa độ thuần nhất là $[x \ y \ z \ 1]^T$ trong không gian (R^4) .

Trên cơ sở lý thuyết hình thành bởi Forest, những người đầu tiên đưa ra ý tưởng sử dụng tọa độ thuần nhất đã được định nghĩa để mô tả cách chuyển đổi hệ tọa độ khi khảo sát chuỗi động hở là Denavit và Hartenberg. Vì vậy, các ma trận chuyển đổi này có tên gọi là ma trận **Denavit - Hartenberg**, viết tắt là ma trận *DH*.

3.4.2 Ma trận DH tuyệt đối

Xét chuyển động của một khâu trên tay máy, giả sử là khâu 1. Ta đã biết chuyển động tổng quát của khâu 1 được mô tả như sau:

$$r_o(t) = c_1(t) + A_1^0(t) \cdot r_1 \quad (3.54)$$

Với:

$$r_o(t) = \begin{pmatrix} x_o(t) \\ y_o(t) \\ z_o(t) \end{pmatrix} : \text{tọa độ của một điểm trên khâu 1 so với hệ tọa độ tham chiếu hay hệ tọa độ cơ sở } (Oxyz)_0$$

$$c_1(t) = \begin{pmatrix} a_1(t) \\ b_1(t) \\ c_1(t) \end{pmatrix} : \text{chuyển vị tịnh tiến gốc } O_1 \text{ so với hệ tọa độ cơ sở.}$$

$$A_1^0(t) = \begin{pmatrix} a_{x_1}(t) & b_{x_1}(t) & c_{x_1}(t) \\ a_{y_1}(t) & b_{y_1}(t) & c_{y_1}(t) \\ a_{z_1}(t) & b_{z_1}(t) & c_{z_1}(t) \end{pmatrix} : \text{ma trận quay của khâu 1 xung quanh gốc } O_1$$

$r_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$: tọa độ của điểm đang xét so với hệ tọa độ $(Oxyz)_1$ gắn chặt trên khâu 1, tọa độ này là hằng số vì khâu 1 là một vật rắn tuyệt đối.

Như vậy ta có:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ z_0(t) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a_1(t) \\ b_1(t) \\ c_1(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{x_1}(t) & b_{x_1}(t) & c_{x_1}(t) \\ a_{y_1}(t) & b_{y_1}(t) & c_{y_1}(t) \\ a_{z_1}(t) & b_{z_1}(t) & c_{z_1}(t) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \\ \Rightarrow \begin{pmatrix} x_0(t) = a_1(t) + a_{x_1}(t) \cdot x_1 + b_{x_1}(t) \cdot y_1 + c_{x_1}(t) \cdot z_1 \\ y_0(t) = b_1(t) + a_{y_1}(t) \cdot x_1 + b_{y_1}(t) \cdot y_1 + c_{y_1}(t) \cdot z_1 \\ z_0(t) = c_1(t) + a_{z_1}(t) \cdot x_1 + b_{z_1}(t) \cdot y_1 + c_{z_1}(t) \cdot z_1 \end{pmatrix} \\ \Rightarrow \begin{pmatrix} x_0(t) = a_{x_1}(t) \cdot x_1 + b_{x_1}(t) \cdot y_1 + c_{x_1}(t) \cdot z_1 + a_1(t) \cdot 1 \\ y_0(t) = a_{y_1}(t) \cdot x_1 + b_{y_1}(t) \cdot y_1 + c_{y_1}(t) \cdot z_1 + b_1(t) \cdot 1 \\ z_0(t) = a_{z_1}(t) \cdot x_1 + b_{z_1}(t) \cdot y_1 + c_{z_1}(t) \cdot z_1 + c_1(t) \cdot 1 \\ 1 = 0 \cdot x_1 + 0 \cdot y_1 + 0 \cdot z_1 + 1 \cdot 1 \end{pmatrix} \\ \Rightarrow \begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ z_0(t) \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a_{x_1}(t) & b_{x_1}(t) & c_{x_1}(t) & a_1(t) \\ a_{y_1}(t) & b_{y_1}(t) & c_{y_1}(t) & b_1(t) \\ a_{z_1}(t) & b_{z_1}(t) & c_{z_1}(t) & c_1(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.55) \end{aligned}$$

Nếu gọi :

$${}^0T_1 = A_1^0 = \begin{pmatrix} a_{x_1}(t) & b_{x_1}(t) & c_{x_1}(t) & a_1(t) \\ a_{y_1}(t) & b_{y_1}(t) & c_{y_1}(t) & b_1(t) \\ a_{z_1}(t) & b_{z_1}(t) & c_{z_1}(t) & c_1(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.56)$$

thì trong không gian thuần nhất R^4 ta có thể mô tả chuyển động của một điểm thuộc về khâu 1 như sau:

$$r_0(t) = {}^0T_1(t) \cdot r_1 \quad (3.57)$$

Ma trận 0T_1 được nêu ở trên là ma trận DH tuyệt đối của khâu 1 đang xét cho phép mô tả đồng thời chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay. Ta có thể xem ${}^0T = {}^0T_{\text{tịnh tiến}} \cdot {}^0T_{\text{quay}}$.

Để dễ phân biệt và thuận tiện mô tả các ma trận DH , ta sử dụng các ký hiệu cho từng dạng chuyển động như sau:

- ❖ **$Trans(z, a)$** : mô tả ma trận DH trong chuyển dời tịnh tiến (tên trực thực hiện dịch chuyển: trục z , lượng dịch chuyển: a), thay cho ký hiệu $T_{\text{tịnh tiến}}$ trên một trục.
- ❖ **$Trans(p_x, p_y, p_z)$** : mô tả ma trận DH trong chuyển dời tịnh tiến trên 3 trục tọa độ với các lượng dịch chuyển tương ứng là p_x , p_y và p_z , thay cho ký hiệu $T_{\text{tịnh tiến}}$ trên ba trục đồng thời.
- ❖ **$Rot(x, 90^\circ)$** : mô tả ma trận DH trong chuyển động quay tương đối (trục quay: x ; giá trị góc quay: 90°), thay cho ký hiệu T_{quay} .

Trường hợp mô tả một cách tổng quát chuyển động tuyệt đối, ta sử dụng ký hiệu 0T_N thể hiện phép chuyển đổi tổng quát từ hệ trục tọa độ mới sang hệ trục tọa độ cơ sở (hay tham chiếu). Ngoài ra, ký hiệu này cũng được dùng để biểu diễn ma trận DH tuyệt đối trong phép chuyển đổi từ hệ tọa độ thứ n về hệ tọa độ cơ sở. Ta có thể viết:

$${}^0T_N {}^Nq = {}^0q \quad (3.58)$$

Trong đó:

Nq : vị trí của một điểm trong hệ tọa độ mới.

0q : vị trí của cùng điểm nói trên trong hệ tọa độ cơ sở.

3.4.3 Ma trận DH tương đối

Ta quy ước 0T_i là ma trận DH tuyệt đối của khâu thứ i , ma trận này giúp mô tả chuyển động tuyệt đối của khâu thứ i (so với hệ cơ sở). Để mô tả chuyển động tương đối giữa hai khâu i và j , ta dùng ma trận DH tương đối A_j^i . Thực ra, ma trận tương đối A_j^i có thể được xem chính là ma trận tuyệt đối của khâu j khi xem khâu i là “giá” hay nói khác đi khi xem hệ $(Oxyz)_i$ là hệ cơ sở cố định.

Nếu coi tay máy như một chuỗi động hở, chuỗi động này gồm n khâu nối kết liên tiếp nhau nhờ các khớp mà chủ yếu là các khớp bản lề và khớp trượt loại 5. Ta gọi 0T_i là ma trận DH tuyệt đối của khâu thứ i , ${}^iT_j = A_j^i$ là ma trận DH tương đối của khâu thứ j so với khâu thứ i , hoặc cũng có thể sử dụng ký hiệu ${}^{i-1}T_i = A^{i-1}_i$, thể hiện ma trận trong chuyển đổi thuận nhất tổng quát bao gồm cả chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay từ khâu thứ i về khâu thứ $i-1$. Từ đây ta có:

$$\begin{cases} {}^0T_{i+1} = {}^0T_i \cdot A^{i+1}_i & \forall i = 1..n \\ {}^0T_i = \prod_{k=0}^{i-1} A^{k+1}_k & \forall i = 1..n \\ \dots \\ {}^0T_N = \prod_{k=0}^{n-1} A^{k+1}_k \end{cases}$$

Theo định nghĩa về ma trận DH và các tính chất của nó đã được nêu ở phần trên, ta xác định vị trí và vận tốc của một điểm P thuộc khâu thứ n như sau:

$$\begin{aligned} r_o(t) &= {}^0T_n(t) \cdot r_n = \left[\prod_{k=0}^{n-1} A^{k+1}_k(t) \right] \cdot r_n \\ \Rightarrow v_o(t) &= \sum_0^{n-1} \left\{ \left(\prod_{k=0}^{i-1} A^{k+1}_k(t) \right) \cdot \left(\prod_{k=i+1}^{n-1} A^{k+1}_k(t) \right) \times \dot{A}^{i+1}_i(t) \right\} \cdot r_n \end{aligned} \quad (3.59)$$

với:

$r_o(t)$: tọa độ tuyệt đối của điểm P so với hệ tọa độ cơ sở $(Oxyz)_0$.

r_n : tọa độ của điểm P so với hệ tọa độ $(Oxyz)_n$

$v_o(t)$: vận tốc của điểm P so với hệ tọa độ cơ sở $(Oxyz)_0$.

${}^0T_n(t)$: ma trận DH tuyệt đối của khâu thứ n .

A^{k+1}_k : ma trận DH tương đối của khâu $k+1$ so với khâu k .

Tương tự, ta có thể lập biểu thức giải bài toán gia tốc.

3.4.4 Ma trận DH quay

Đây là trường hợp đơn giản thứ nhất: hai khâu $i-1$ và i nằm trong một mặt phẳng và liên kết với nhau bởi khớp bản lề (khớp quay loại 5).

Cách thể hiện ma trận DH trong trường hợp chuyển động tương đối là chuyển động quay quanh một trục bất kỳ là kết quả tổng hợp của chuyển động quay đồng thời quanh ba trục tọa độ x , y và z một góc φ nào đó.

(a) Trường hợp quay quanh trục x một góc φ , ma trận DH có dạng:

$$Rot(x, \varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

(b) Trường hợp quay quanh trục y một góc φ , ma trận DH có dạng:

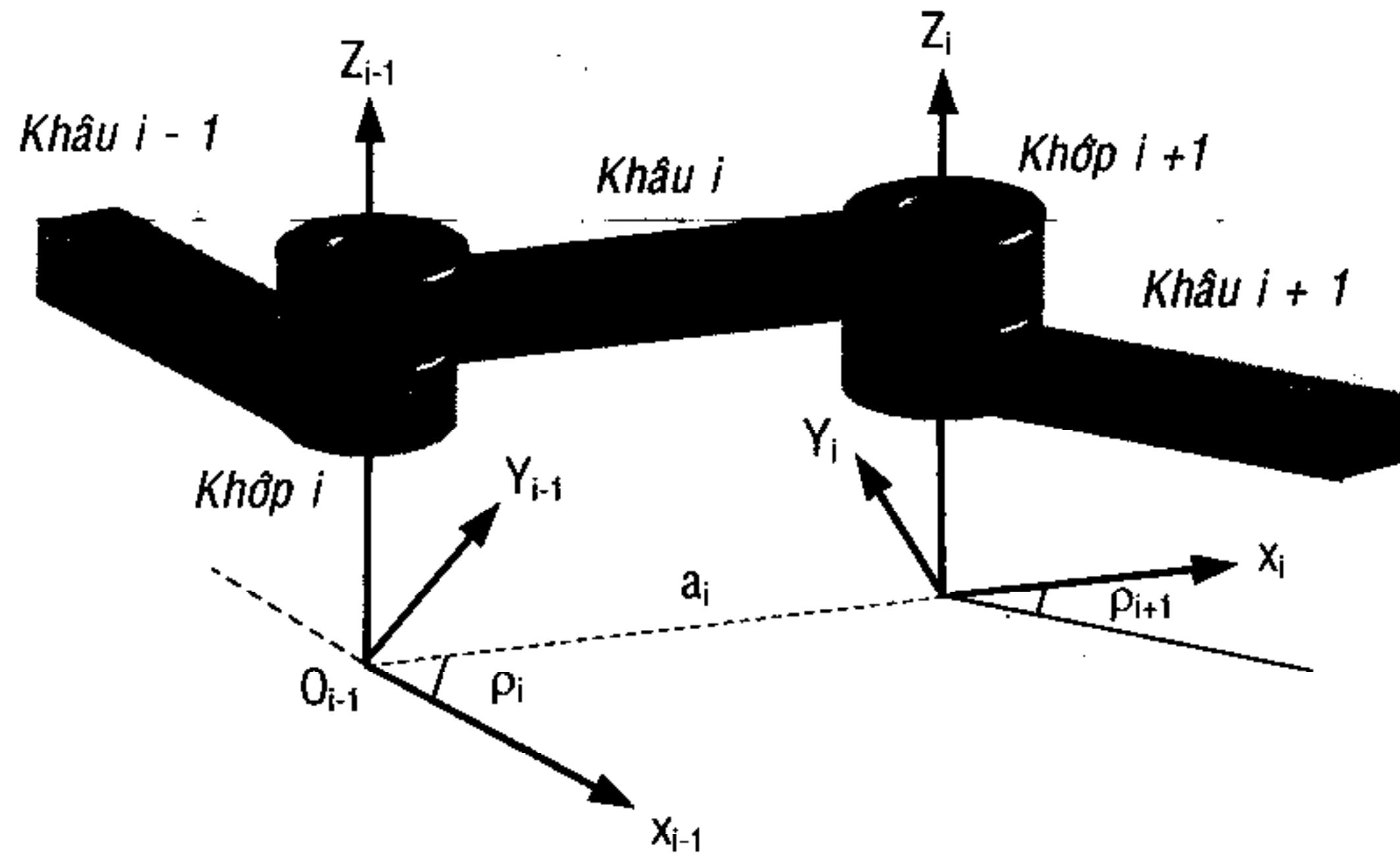
$$Rot(y, \varphi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

(c) Trường hợp quay quanh trục z một góc φ , ma trận DH có dạng:

$$Rot(z, \varphi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.62)$$

Tuy nhiên, nếu ta chú ý đầy đủ hơn tới yếu tố khoảng cách giữa các hệ tọa độ ứng với trường hợp $\ell \neq 0$ đang xét (hình 3.6) và xét mối quan hệ vị trí giữa các gốc của hai hệ tọa độ thứ i và $i-1$, ta có ma trận DH trong trường hợp này như sau:

$$A_i^{i-1} = \begin{pmatrix} \cos p_i & -\sin p_i & 0 & a_i \cos p_i \\ \sin p_i & \sin p_i & 0 & a_i \sin p_i \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.63)$$



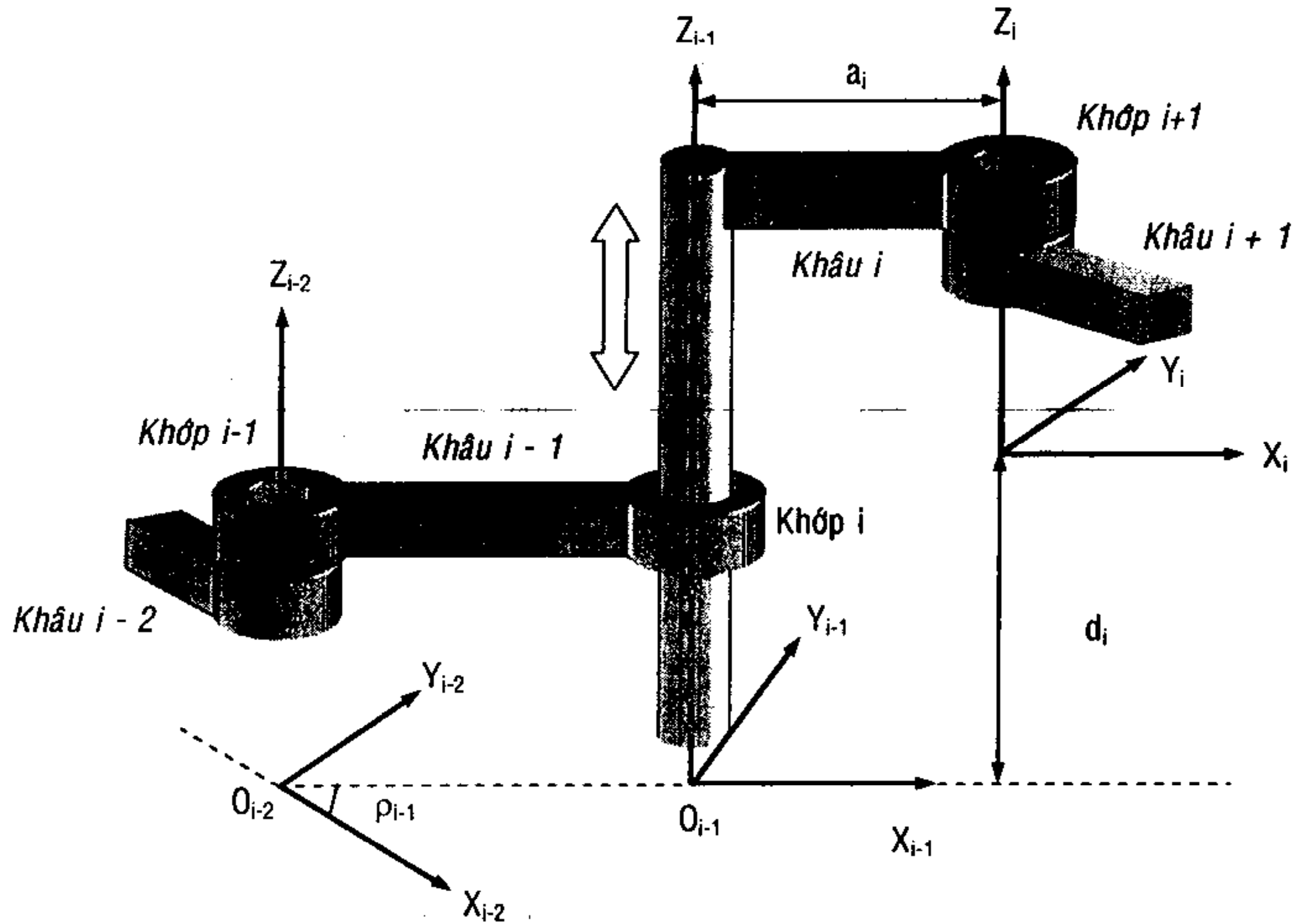
Hình 3.6: Hai khâu $i-1$ và i nằm trong một mặt phẳng và liên kết với nhau bởi khớp bản lề

3.4.5 Ma trận DH tịnh tiến

Đây là trường hợp đơn giản thứ hai: hai khâu $i-1$ và i nằm trong hai mặt phẳng song song và liên kết với nhau bởi khớp trượt loại 5. Chuyển động tương đối giữa hai khâu khi đó là chuyển động tịnh tiến.

Từ hình 3.7 và xét mối quan hệ vị trí giữa các gốc ta có ma trận DH trong trường hợp này là:

$$Trans(z_i, a_i) = A_i^{i-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.64)$$



Hình 3.7: Hai khâu $i-1$ và i nằm trong hai mặt phẳng song song và liên kết với nhau bởi khớp trượt loại 5

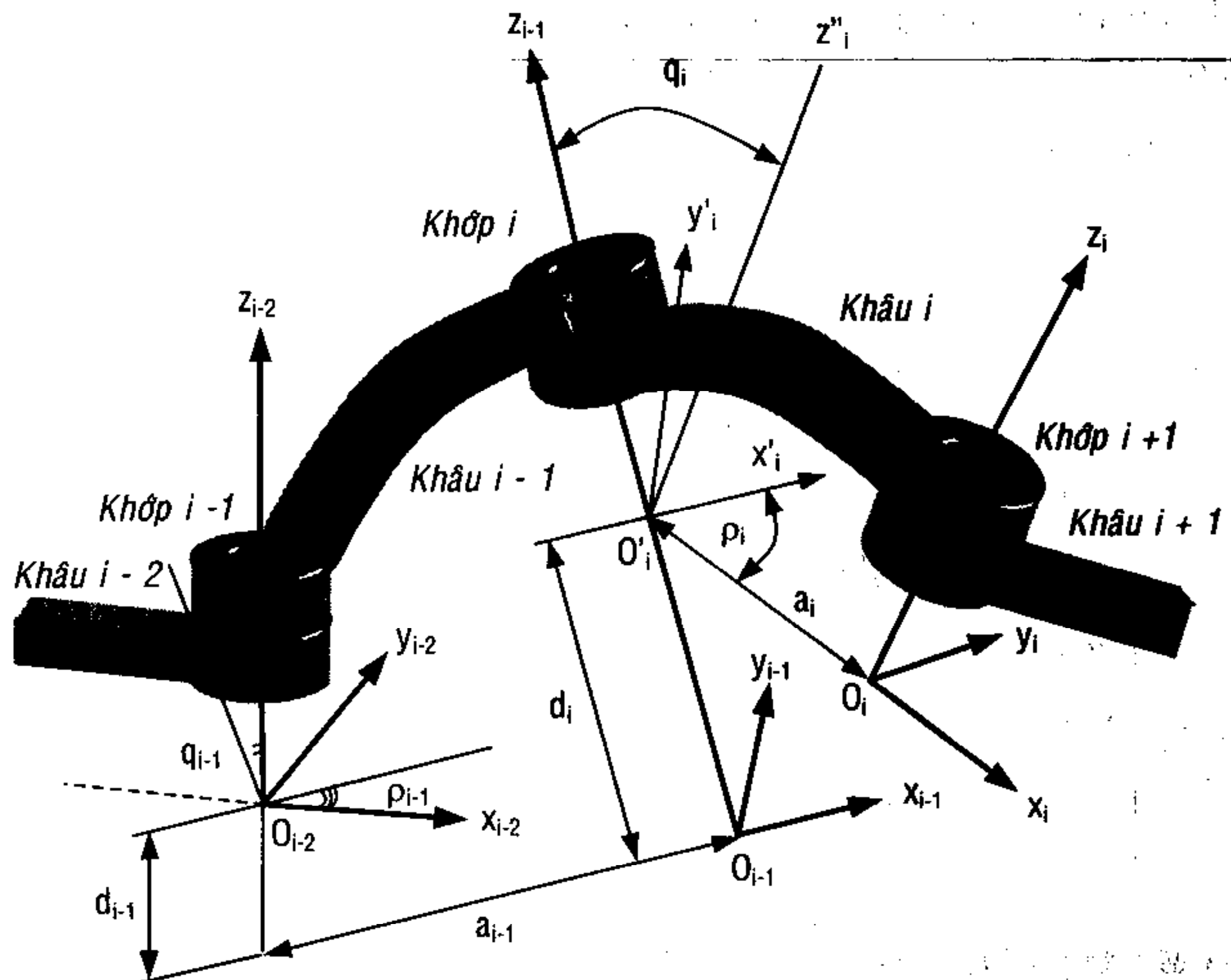
Trường hợp chuyển động tịnh tiến tương đối giữa hai khâu làm thay đổi đồng thời tọa độ trên ba trục với các lượng dịch chuyển lần lượt là p_x , p_y , p_z , tọa độ của một điểm P thuộc khâu thứ i trong hệ tọa độ $(Oxyz)_{i-1}$ gắn với khâu $i-1$ được biểu diễn bởi $r_P = \overrightarrow{OP} = p_x \mathbf{i} + p_y \mathbf{j} + p_z \mathbf{k}$. Ma trận DH để mô tả trong hệ tọa độ thuận nhất có dạng:

$$\text{Trans}(p_x, p_y, p_z) = A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.65)$$

❖ **Trường hợp phức tạp hơn:** hai khâu $i-1$ và i liên kết với nhau bởi khớp với bản lề (khớp xoay loại 5), trục quay của khớp có phương bất kỳ và hai khâu không nằm trong những mặt phẳng song song nhau (hình 3.8)

Hệ trục $(Oxyz)_{i-1}$ có thể chuyển thành hệ trục $(Oxyz)_i$ theo các bước sau:

- (1) Tịnh tiến $(Oxyz)_{i-1}$ dọc theo trục z_{i-1} đoạn d_i . Đưa $(Oxyz)_{i-1}$ thành $(O'x'y'z')_i$ ($\text{Trans}(z_{i-1}, d_i)$)
- (2) Quay $(O'x'y'z')_i$ quanh trục z_{i-1} góc p_i đưa $x'_{i-1} \rightarrow x_i$ ($\text{Rot}(z_{i-1}, p_i)$)
- (3) Quay $(O'x'y'z')_i$ quanh trục x_i , đưa z_{i-1} về $z''_i // z_i$ ($\text{Rot}(x_i, q_i)$)
- (4) Tịnh tiến $(O'x'y'z')_i$ dọc theo trục x_i đoạn a_i thành $(Oxyz)_i$ ($\text{Trans}(x_i, a_i)$)



Hình 3.8: Hai khâu $i-1$ và i liên kết với nhau bởi khớp với bản lề (khớp xoay loại 5), trục quay của khớp có phương bất kỳ và hai khâu không nằm trong những mặt phẳng song song nhau

Như vậy, ta có các ma trận chuyển vị cơ bản sau:

- $\text{Rot}(z_{i-1}, p_i)$: ma trận quay góc p_i quanh trục z_{i-1}
- $\text{Trans}(z_{i-1}, d_i)$: ma trận tịnh tiến dọc trục z_{i-1} đoạn d_i
- $\text{Rot}(x_i, q_i)$: ma trận quay góc q_i quanh trục x_i
- $\text{Trans}(x_i, a_i)$: ma trận tịnh tiến đoạn a_i dọc theo trục x_i

Trong đó:

- p_i : góc hợp bởi phương các khâu tại khớp thứ i (góc xoay quanh trục Z).
- a_i : “chiều dài khâu” i , thực ra là khoảng cách ngắn nhất giữa hai trục quay của khớp bản lề $i+1$ và khớp bản lề i . Khi hai trục quay giao nhau thì $a_i = 0$.
- d_i : khoảng cách theo chiều cao giữa hai khâu, đó chính là khoảng cách ngắn nhất giữa hai trục X_{i-1} và X_i .
- q_i : góc giữa trục Z_i và Z_{i-1} (góc xoay quanh trục X).

Vậy ta có ma trận DH trong trường hợp này như sau:

$$\begin{aligned}
 A^{i-1}_i &= Rot(Z_{i-1}, p_i) \cdot Trans(Z_{i-1}, d_i) \cdot Rot(X_i, q_i) \cdot Trans(X_i, a_i) \\
 &= \begin{pmatrix} \cos p_i & -\sin p_i & 0 & 0 \\ \sin p_i & \cos p_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_i & -\sin q_i & 0 \\ 0 & \sin q_i & \cos q_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 \Rightarrow A^{i-1}_i &= \begin{pmatrix} \cos p_i & -\sin p_i \times \cos q_i & \sin p_i \times \sin q_i & a_i \cos p_i \\ \sin p_i & \cos p_i \times \cos q_i & -\cos p_i \times \sin q_i & a_i \sin p_i \\ 0 & \sin q_i & \cos q_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.65')
 \end{aligned}$$

3.4.6 Ma trận DH tổng hợp tịnh tiến và quay

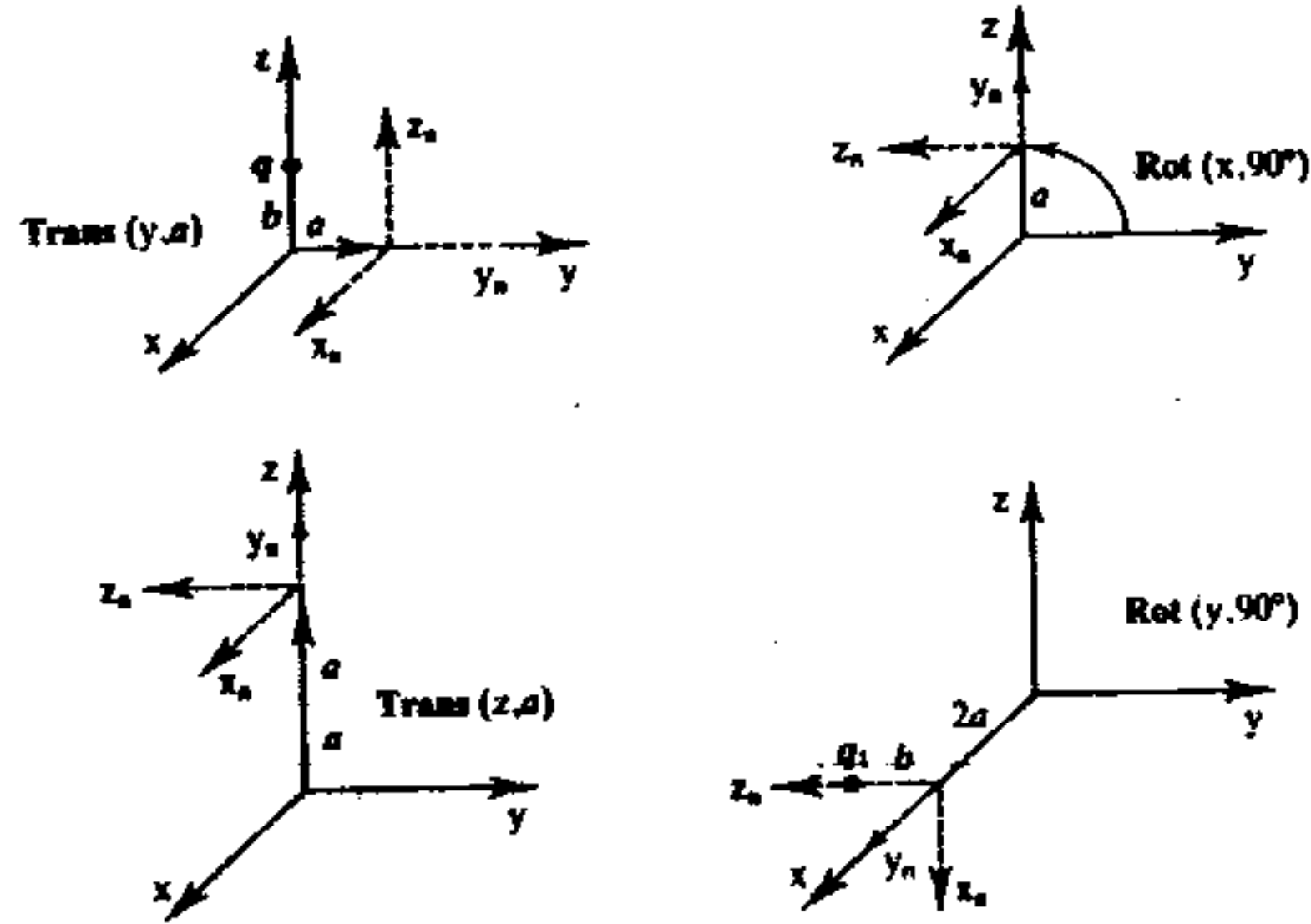
Ma trận DH chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay có thể dễ dàng xác định bằng cách nhân hai ma trận tương ứng với các chuyển động này, bởi vì chuyển động tịnh tiến giữa hai vật thể không ảnh hưởng đến chuyển động quay tương đối giữa chúng. Ví dụ, kết quả của chuyển động tổng hợp giữa chuyển động tịnh tiến với chuyển động quay quanh trục Z một góc φ như sau:

$$\begin{aligned}
 \text{Trans}(p_x, p_y, p_z) \text{ Rot}(z, \varphi) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & p_x \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.66)
 \end{aligned}$$

3.4.7 Ví dụ ứng dụng ma trận DH

Cho một điểm nằm trùng với gốc tọa độ, lần lượt thực hiện các chuyển động: tịnh tiến dọc theo trục y một đoạn a , quay quanh trục x một góc 90° , sau đó tiếp tục tịnh tiến dọc theo trục z một đoạn a rồi quay quanh trục y một góc 90° (hình 3.9). Ta có thể biểu diễn chuyển động của điểm khảo sát dưới dạng kết hợp các ma trận chuyển đổi sau với lưu ý là do tính kết hợp từ HTTD tương đối gắn với điểm sang HTTD tuyệt đối, ta sẽ phải đảo ngược thứ tự sắp xếp (bạn đọc có thể tự nghiệm kết quả trong trường hợp bố trí ngược lại thứ tự sắp xếp các ma trận):

$$\begin{aligned}
 {}^R T_N &= \text{Rot}(y, 90^\circ) \cdot \text{Trans}(z, a) \cdot \text{Rot}(x, 90^\circ) \cdot \text{Trans}(y, a) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ & 0 \\ 0 & \sin 90^\circ & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.67) \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 2a \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$



Hình 3.9: Quá trình chuyển đổi tọa độ của điểm khảo sát theo (3.67)

Dạng tổng quát của ma trận chuyển đổi từ một khâu thành viên bất kỳ về hệ tọa độ cơ sở (HTĐCS) được mô tả theo cách như sau:

$${}^R T_N = \begin{bmatrix} x_x & y_x & z_x & p_x \\ x_y & y_y & z_y & p_y \\ x_z & y_z & z_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.68)$$

trong đó:

$p = p_x i + p_y j + p_z k$: mô tả vị trí của gốc tọa độ của hệ tọa độ mới trong HTĐCS

$x = x_x i + x_y j + x_z k$: mô tả hướng của trục x của hệ tọa độ mới trong HTĐCS

$y = y_x i + y_y j + y_z k$: mô tả hướng của trục y của hệ tọa độ mới trong HTĐCS

$z = z_x i + z_y j + z_z k$: mô tả hướng của trục z của hệ tọa độ mới trong HTĐCS

Trường hợp mô tả hướng của một khâu trên tay máy trong hệ tọa độ vuông góc mà thông thường ta quan tâm đến hướng của tay gấp hoặc khâu tác động cuối thể hiện qua các chuyển động lắc cổ tay, gấp cổ tay, xoay cổ tay, khi đó sử dụng ba góc quay Euler quanh ba trục tọa độ, bao gồm:

- $Rot(z, \Phi)$: chuyển động quay quanh trục z một góc Φ , tương ứng với chuyển động lắc của cổ tay.
- $Rot(y, \theta)$: chuyển động quay quanh trục y một góc θ , tương ứng với chuyển động gập của cổ tay.
- $Rot(x, \Psi)$: chuyển động quay quanh trục x một góc Ψ , tương ứng với chuyển động xoay cổ tay.

Có thể dùng ký hiệu một ma trận $RPY(\Phi, \theta, \Psi)$ để mô tả đồng thời ba chuyển động định hướng này như sau:

$$RPY(\Phi, \theta, \Psi) = Rot(z, \Phi) \cdot Rot(y, \theta) \cdot Rot(x, \Psi)$$

$$= \begin{vmatrix} C(\Phi)C(\theta) & C(\Phi)S(\theta)S(\Psi) - S(\Phi)C(\Psi) & C(\Phi)S(\theta)C(\Psi) + S(\Phi)S(\Psi) & 0 \\ S(\Phi)C(\theta) & S(\Phi)S(\theta)S(\Psi) + C(\Phi)C(\Psi) & S(\Phi)S(\theta)C(\Psi) - C(\Phi)S(\Psi) & 0 \\ -S(\theta) & C(\theta)S(\Psi) & C(\theta)C(\Psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.69)$$

Trường hợp thực hiện phép chuyển đổi tổng quát từ hệ trục tọa độ tuyệt đối (R) đến hệ trục tọa độ gắn liền với khâu đầu cuối n , ta viết:

$${}^R T_N = {}^R T_1 {}^1 T_2 \dots {}^{n-2} T_{n-1} {}^{n-1} T_n = A^0_1 \cdot A^1_2 \dots A^{n-2}_{n-1} \cdot A^{n-1}_n$$

$$= Trans(p_x, p_y, p_z) RPY(\Phi, \theta, \Psi) \quad (3.70)$$

Ở đây các ma trận $A^{i-1}_i = {}^{i-1} T_i$, với $i=1..n$, là ma trận DH tương đối trong chuyển đổi thuận nhất giữa hai hệ tọa độ gắn liền với hai khâu kế tiếp nhau. Tổng quát, để biểu diễn ma trận chuyển đổi thuận nhất từ khâu thứ j sang khâu thứ i ta ký hiệu A^j_i .

Trường hợp mô tả chuyển động tổng quát của tay máy theo cách mô tả vị trí và hướng của khâu tác động cuối như trên, ta có thể kết hợp ma trận định vị (chuyển đổi tịnh tiến) và ma trận định hướng (chuyển đổi quay) như sau :

$$\begin{aligned}
 {}^R T_N &= \begin{bmatrix} x & y & z & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} C(\Phi)C(\theta) & C(\Phi)S(\theta)S(\Psi) - S(\Phi)C(\Psi) & C(\Phi)S(\theta)C(\Psi) + S(\Phi)S(\Psi) & 0 \\ S(\Phi)C(\theta) & S(\Phi)S(\theta)S(\Psi) + C(\Phi)C(\Psi) & S(\Phi)S(\theta)C(\Psi) - C(\Phi)S(\Psi) & 0 \\ -S(\theta) & C(\theta)S(\Psi) & C(\theta)C(\Psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} C(\Phi)C(\theta) & C(\Phi)S(\theta)S(\Psi) - S(\Phi)C(\Psi) & C(\Phi)S(\theta)C(\Psi) + S(\Phi)S(\Psi) & p_x \\ S(\Phi)C(\theta) & S(\Phi)S(\theta)S(\Psi) + C(\Phi)C(\Psi) & S(\Phi)S(\theta)C(\Psi) - C(\Phi)S(\Psi) & p_y \\ -S(\theta) & C(\theta)S(\Psi) & C(\theta)C(\Psi) & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.71)
 \end{aligned}$$

Bằng cách so sánh từng phần tử của phương trình tổng quát (3.71) với phương trình tổng quát (3.65'), ta nhận được các kết quả sau đây:

$$\begin{aligned}
 x_z &= -\sin(\theta) & \theta &= -\sin^{-1}(x_z) \\
 y_z &= \cos(\theta) \cdot \sin(\Psi) & \Psi &= \sin^{-1}(y_z / \cos(\theta)) \\
 x_y &= \sin(\Phi) \cdot \cos(\theta) & \Phi &= \sin^{-1}(x_y / \cos(\theta))
 \end{aligned} \quad (3.72)$$

Mô tả và phát biểu lại nội dung của các bài toán động học

Trong các phần trước, ta đã phân tích tay máy là một chuỗi động liên tiếp gồm các khâu nối kết nhau bởi các khớp trượt hay khớp bản lề loại 5, nói cách khác chuyển vị tương đối giữa các khâu liên tiếp có thể là các góc quay hay các khoảng chuyển dời tịnh tiến. Các chuyển vị này trong thực tế được thực hiện bởi các cơ cấu chấp hành như: xy lanh-piston khí nén hoặc dầu ép, các động cơ bước hay động cơ DC được điều khiển theo cơ chế servo. Như vậy, vị trí của điểm tác động của khâu cuối được bảo đảm bởi các góc quay hay khoảng tịnh tiến trên.

Ta quy ước gọi các chuyển vị tương đối giữa các khâu (các giá trị góc quay và các khoảng tịnh tiến) là các **biến di chuyển** và

các tọa độ cần xác định (thường là vị trí và hướng của khâu tác động cuối) là các **biến vị trí**. Các biến di chuyển và các biến vị trí có liên quan với nhau. Từ mỗi quan hệ ấy ta có thể phát biểu một cách khác các bài toán động học đã nêu ở phần đầu. Như ta đã biết trong phân tích động học tay máy có hai bài toán phân biệt là bài toán thuận và bài toán ngược như sau:

(1) Phát biểu bài toán động học thuận

Cho trước quy luật các biến di chuyển theo tọa độ suy rộng, xác định quy luật các biến vị trí theo tọa độ Descartes. Bài toán thuận liên quan với phương trình chuyển đổi thuận để tìm vị trí và hướng của khâu đầu cuối trong hệ trục tọa độ Descartes khi cho trước các tọa độ suy rộng (đôi khi còn gọi là các tọa độ khớp nối) thể hiện các dịch chuyển góc và dịch chuyển thẳng giữa các khâu thành viên trên tay máy.

(2) Phát biểu bài toán động học ngược

Cho trước quy luật các biến vị trí (cụ thể là quy luật tọa độ vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối trong hệ tọa độ Descartes), ta phải xác định quy luật các biến di chuyển phù hợp cho các khâu thành viên thể hiện ở các tọa độ suy rộng của chúng. Bài toán ngược liên quan với phương trình chuyển đổi ngược để tìm mối quan hệ (về vị trí) giữa các khâu thành viên của tay máy khi cho trước vị trí và hướng của khâu đầu cuối.

Một lần nữa, ta có thể nhận thấy rằng ở bài toán thuận, khi cho trước các tọa độ suy rộng thể hiện chuyển động của các khâu thành viên trên tay máy thì bao giờ ta cũng tìm được một vị trí duy nhất của khâu đầu cuối; ngược lại, ở bài toán ngược, khi cho trước vị trí và hướng của khâu đầu cuối bên trong vùng không gian hoạt động của tay máy, ta sẽ có vô số lời giải do đặc điểm **bậc tự do thừa** của tay máy. Trong trường hợp này để tìm nghiệm của bài toán ngược, ta phải đưa ra các **điều kiện ràng buộc** hoặc các **hàm mục tiêu** để giải bài toán tìm nghiệm tối ưu nhằm tìm kiếm nghiệm duy nhất cho bài toán ngược trong những điều kiện cụ thể. Ở phần sau sẽ trình bày một ví dụ để minh họa cho việc giải bài toán động học ngược.

Thông thường với một tay máy n trục, chúng ta có n biến di chuyển là $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ và 6 biến vị trí là $r = (x, y, z, a, b, c)$ thể hiện tọa độ điểm gốc và các góc chỉ hướng của khâu tác động cuối). Mỗi quan hệ giữa các biến di chuyển và biến vị trí như sau:

$$f(.) : R^n \rightarrow R^6$$

$$p \in R^n \mapsto r \in R^6$$

$$\text{hay: } f(q) = r$$

Mỗi quan hệ trên không hẳn là một ánh xạ hai chiều, thông thường bài toán thuận có lời giải duy nhất còn bài toán ngược có thể có nhiều lời giải như đã phân tích ở phần trên.

3.4.8 Phương pháp giải bài toán động học thuận

- (1) Thiết lập ma trận DH tương đối giữa các khâu.
- (2) Thiết lập ma trận DH tuyệt đối cho từng khâu và khâu chấp hành cuối cùng.
- (3) Thiết lập vị trí và các đặc tính động học ban đầu.
- (4) Xác định các ma trận đạo hàm DH bậc 1 và bậc 2 cho các khâu.
- (5) Tính toán vị trí, vận tốc và gia tốc của các điểm cơ bản thuộc các khâu cũng như của khâu chấp hành cuối cùng.

3.4.9 Phương pháp giải bài toán động học ngược

Để tay máy có độ linh hoạt cao, thông thường tay máy có số bậc chuyển động lớn hơn số bậc chuyển động cần thiết để nó thực thi những tác vụ bên trong vùng không gian làm việc. Hệ quả là ứng với một vị trí và hướng cụ thể nào đó của khâu tác động cuối, ta có thể thiết lập được số phương trình quan hệ hình học và động học nhiều hơn số ẩn cần giải do tồn tại các biến chuyển động thừa. Do vậy khái niệm 'thừa' (redundancy) ở đây là thừa về thông số chuyển động trong khi giải bài toán động học chứ không có nghĩa là tay máy không cần những bậc chuyển động đó. Điều này làm bài toán ngược có nhiều nghiệm.

Sau đây là cách tổng quát tìm nghiệm của bài toán ngược:

Do ta đã biết:

$$\begin{aligned} r_0(t) &= {}^R T_N(q(t)) \cdot r_n \\ {}^R T_N(q) &= T(r) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow {}^R T_N(q) = A_1^0(q_1) \cdot A_2^1(q_2) \cdots A_n^{n-1}(q_n) = T(r)$$

Từ đó suy ra

$$\Rightarrow \begin{cases} A_2^1(q_2) \cdots A_n^{n-1}(q_n) = A_1^{0-1}(q_1) \cdot T(r) \\ A_3^2(q_3) \cdots A_n^{n-1}(q_n) = A_2^{1-1}(q_2) \cdot A_1^{0-1}(q_1) \cdot T(r) \quad (*) \\ \dots \\ A_n^{n-1}(q_n) = A_{n-1}^{n-2-1}(q_{n-1}) \cdots A_2^{1-1}(q_2) \cdot A_1^{0-1}(q_1) \cdot T(r) \end{cases}$$

Như vậy có thể suy ngược để xác định các tọa độ suy rộng q_i , với $i=1..n$ của các khâu thành viên theo biểu thức quan hệ:

$$\Rightarrow \begin{cases} q_1 = q_1(r, q_2, q_3, \dots, q_n) \\ q_2 = q_2(r, q_2, q_3, \dots, q_n) \\ \dots \\ q_n = q_n(r, q_2, q_3, \dots, q_{n-1}) \end{cases}$$

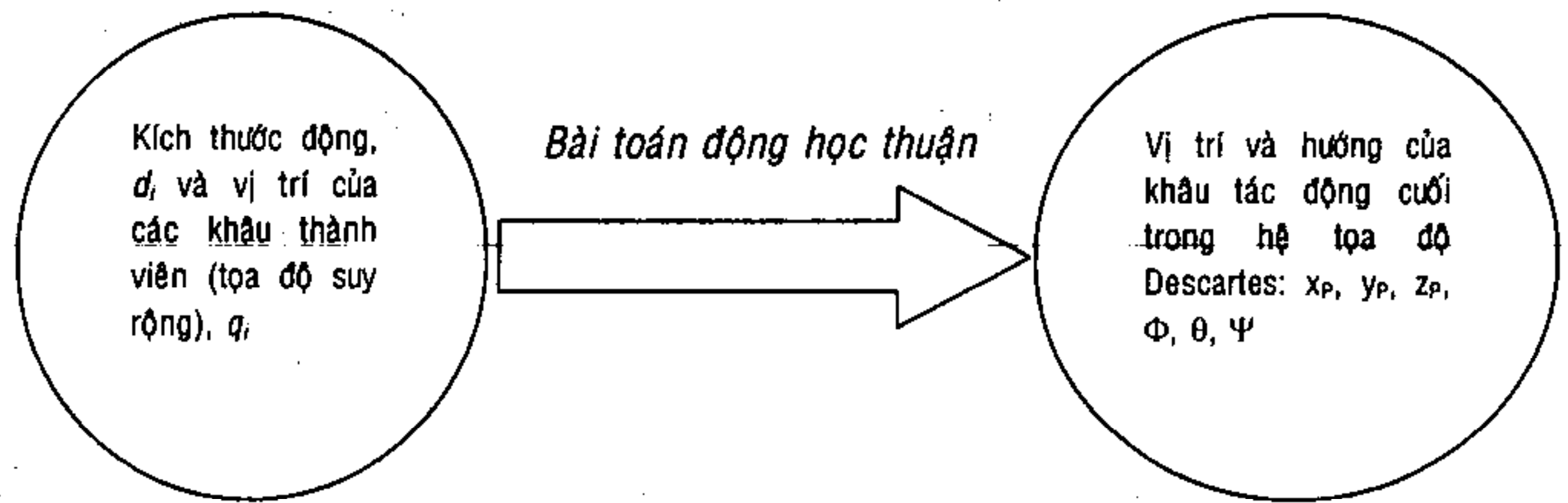
Với cách viết như trên, ta nhận thấy rằng có thể chọn nghiệm cho một số các biến di chuyển (số biến được chọn bằng số biến di chuyển thừa), các giá trị chọn phải nằm trong tầm khống chế của các mối ràng buộc nếu có, sau đó dựa trên mối quan hệ trình bày ở trên ta giải các nghiệm tương ứng các biến di chuyển còn lại. Để giúp bạn đọc có thể giải các bài toán một cách có trình tự và chặt chẽ, dưới đây trình bày các giải thuật cụ thể cho từng bài toán động học.

3.5 Thuật toán giải các bài toán động học bằng phương pháp tọa độ thuần nhất

3.5.1 Thuật toán giải bài toán thuận

Như đã trình bày ở phần đầu, nội dung của bài toán thuận tương tự như nội dung của bài toán phân tích động học cơ cấu. Có thể phát biểu giả thiết và mục tiêu của bài toán thuận như sau: cho trước cơ cấu tay máy; nghĩa là cho trước số khâu, số khớp, loại khớp và kích thước động (d_i) của các khâu thành viên trên tay máy, ta phải **xác định vị trí và hướng của khâu tác động cuối**

trong hệ trục tọa độ vuông góc gắn liền với giá cố định (hệ tọa độ cơ sở hay hệ tọa độ tham chiếu) khi cho trước vị trí của các khâu thành viên thông qua các tọa độ suy rộng (q_i) dùng để mô tả chuyển động tương đối giữa chúng (hình 3.10).



Hình 3.10: bài toán động học thuận tay máy

Việc giải bài toán động học thuận bao gồm các bước sau đây:

- (1) Đưa tay máy về vị trí gốc, còn gọi là vị trí **HOME**, là vị trí mà dịch chuyển của các khâu bắt đầu được tính từ đó.
- (2) Gắn trên mỗi khâu động một hệ trục tọa độ (hệ trục tọa độ tương đối).
- (3) Mô tả chuyển động tương đối giữa các khâu liên tiếp bằng các tọa độ suy rộng (bao gồm các chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay).
- (4) Định nghĩa (viết) các ma trận A'_i cho các khâu tương ứng.
- (5) Nhân các ma trận A'_i để tính ma trận chuyển đổi ${}^R T_N$.
- (6) Lập phương trình ma trận chuyển đổi của tay máy và ma trận chuyển đổi tổng quát thể hiện **mối liên hệ về vị trí** giữa tọa độ của khâu đầu cuối trong hệ tọa độ Descartes với tọa độ suy rộng của các khâu thành viên.
- (7) Lập phương trình ma trận chuyển đổi của tay máy và ma trận tổng quát thể hiện **mối liên hệ về hướng** thông qua các góc Euler xác định hướng của khâu đầu cuối với tọa độ suy rộng của các khâu thành phần.

Bạn đọc có thể tự đối chiếu thuật toán trình bày ở đây với ví dụ đã trình bày ở phương pháp ma trận và vectơ ở phần trước. Trình tự thực hiện ở hai phương pháp cũng tương tự, chỗ khác biệt là cách thiết lập các ma trận quay trong chuyển đổi thuận nhất $A(4,4)$ thay cho các ma trận quay $M(3,3)$ trong ví dụ trước.

3.5.2 Ví dụ minh họa bài toán thuận – vị trí và hướng

Như đã nêu ở phần trên, đối với một chuỗi động học hở, để giải bài toán động học ta phải gắn lên các khâu của chuỗi các hệ trục tọa độ phù hợp, gọi là hệ trục tọa độ địa phương hay hệ tọa độ tương đối. Tọa độ các khâu trong hệ trục tọa độ địa phương tương ứng gọi là các tọa độ suy rộng. Chọn một hệ trục cố định, gọi là hệ trục tọa độ tham chiếu hay hệ tọa độ cơ sở. Tọa độ các khâu trong hệ trục tọa độ tham chiếu gọi là các tọa độ tuyệt đối. Nếu tìm được mối liên hệ giữa các hệ trục tọa độ địa phương và hệ trục tọa độ tham chiếu thì ta có thể xác định được vị trí và hướng của một khâu bất kỳ trong chuỗi cũng như tọa độ của một điểm bất kỳ trên một khâu nào đó khi biết các tọa độ suy rộng của các khâu thành viên.

Mục đích của phần này là tìm mối liên hệ giữa tọa độ của các khâu, được xác định trong các hệ trục tọa độ địa phương và thể hiện qua các tọa độ suy rộng q_i của chúng, với tọa độ của chúng được thể hiện trong hệ trục tọa độ cơ sở. Trên cơ sở đó, ta sẽ xây dựng giải thuật và viết chương trình giải bài toán động học thuận tay máy.

Xét khâu thứ i có tọa độ suy rộng q_i trong chuỗi động học hở n khâu. Ta có các ký hiệu sau:

- q^i, q^0 : lần lượt là giá trị của tọa độ suy rộng q_i viết trong hệ trục tọa độ địa phương $(Oxyz)_i$ và hệ trục tọa độ cơ sở $(Oxyz)_0$
- A^{i-1} : ma trận chuyển đổi thuận nhất trong phép chuyển đổi hệ trục của hệ trục i đối với hệ trục $i-1$.
- 0T_i : ma trận chuyển đổi thuận nhất trong phép chuyển đổi hệ trục i đối với hệ trục tọa độ cơ sở.

Như vậy:

$$q^0 = {}^0T_i \cdot q^i \quad (3.73)$$

Trong đó:

$${}^0T_i = A^0_1 \cdot A^1_2 \dots A^{i-1}_i \quad (3.74)$$

Dựa vào (3.73) và (3.74) ta cũng dễ dàng nhận thấy rằng nếu tính được A^{i-1}_i và cho trước q^i ($i=1..n$) thì hoàn toàn xác định được tọa độ và hướng của khâu cuối, tọa độ và hướng khâu bất kỳ nào đó cũng như tọa độ của một điểm bất kỳ trên khâu.

Có nhiều cách tính ma trận chuyển đổi tổng thể 0T_i , ở đây chúng ta sử dụng các qui ước **Denavit - Hartenberg** để biến đổi thuận nhất tọa độ trong các hệ tọa độ địa phương về hệ tọa độ cơ sở dựa vào ma trận DH tương đối với ký hiệu A^{i-1}_i , thể hiện chuyển động tương đối giữa hệ trục $(Oxyz)_i$ và hệ trục $(Oxyz)_{i-1}$ như đã trình bày ở trên.

Các qui ước Denavit_Hartenberg

Xét chuỗi động học hở gồm một chuỗi liên tiếp nhau của các khâu, trong đó, mỗi khớp chỉ liên kết với hai khâu kế tiếp. Sẽ không mất tính tổng quát khi ta đề xuất cách xây dựng các hệ trục cho hai khâu liên tiếp bất kỳ để làm cơ sở phát triển cho tất cả các khâu trong chuỗi.

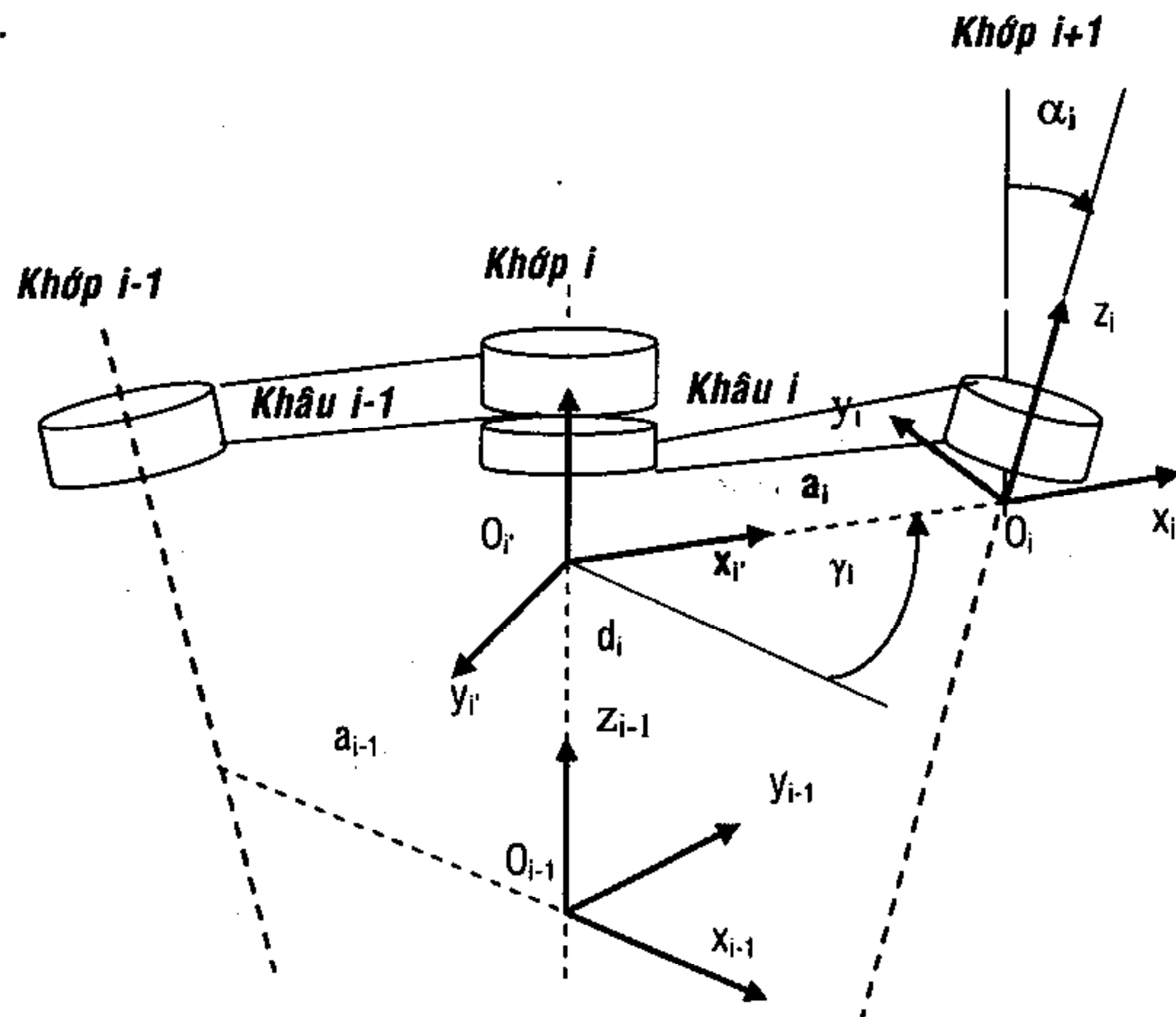
Qui ước Denavit_Hartenberg giúp xây dựng hệ thống hệ trục theo hướng mỗi khâu trong chuỗi động học gắn liền với một hệ trục tọa độ địa phương. Theo đó, vị trí và hướng của một khâu nào đó được xác định dựa theo tọa độ của gốc tọa độ và hướng của các vectơ đơn vị của hệ trục tọa độ địa phương gắn cứng trên khâu đang xét so với hệ trục tọa độ cơ sở. Các giá trị nêu trên được biểu diễn dưới dạng ma trận, thuận tiện trong việc tính toán trên máy tính.

Xét hai khâu $i-1$ và i giữa các khớp $i-1$, i và $i+1$, ta sử dụng các qui ước sau:

- (1) Chọn trục Z_i dọc theo đường tâm khớp $i+1$.
- (2) Gốc tọa độ O_i là giao điểm của trục tọa độ Z_i với đường vuông góc chung của Z_{i-1} và Z_i .

- (3) Chọn trục x_i dọc theo đường vuông góc chung của z_{i-1} và z_i có chiều từ nút (i) sang nút $(i+1)$.
- (4) Chọn trục y_i sao cho $(Oxyz)_i$ là tam diện thuận (xác định theo qui tắc bàn tay phải).
- (5) Đối với hệ trục cơ sở $(Oxyz)_0$, chỉ có duy nhất trục z_0 là xác định, chọn tùy ý $O_0x_0y_0$.
- (6) Đối với hệ trục n , chỉ có trục x_n xác định: x_n phải vuông góc với trục z_{n-1} . Không có khớp $n+1$ nên trục z_n là không xác định, vì vậy có thể ta không chọn hoặc chọn z_n tùy ý.
- (7) Khi hai trục liên tiếp cắt nhau (trục z_{i-1} và z_i), trục x_i sẽ được chọn tùy ý.
- (8) Khi các liên kết là khớp tịnh tiến, thì chỉ có trục z_i là xác định.

Ngoài các qui ước **Denavit_Hartenberg** trình bày ở trên, để tương thích với ví dụ minh họa về giải thuật của bài toán vị trí sẽ đề cập trong phần sau, ta quy ước rằng hệ trục tọa độ cơ sở được chọn sao cho gốc tọa độ O_0 trùng với gốc tọa độ của khâu thứ nhất O_1 .



Hình 3.11: Các thông số động học Denavit_Hatenberg

Giải thích các ký hiệu

a_i : khoảng cách giữa O_i' và O_i .

d_i : khoảng cách giữa O_{i-1} và O_i' .

α_i : góc giữa hai trục z_{i-1} và z_i khi quay quanh trục x_i theo chiều dương quy ước (ngược chiều kim đồng hồ).

γ_i : Góc giữa hai trục x_{i-1} và trục x_i khi quay quanh trục z_{i-1} theo chiều dương quy ước.

Phương pháp thực hành xác định ma trận chuyển đổi tổng thể $T_n(q)$ trên cơ sở ma trận $A^{i-1}_i(q)$:

Trong hệ trục được xây dựng dựa vào các quy ước **Denavit_Hartenberg** thì:

Nếu là khớp bản lề, biến số là γ_i .

Nếu khớp tịnh tiến, biến số là d_i .

Tại khớp i , tính ma trận chuyển đổi giữa hệ trục i và $i-1$ theo các bước sau:

Bước 1: Chọn hệ trục liên kết là hệ trục $i-1$

Bước 2: Chuyển dịch hệ trục được chọn một khoảng d_i dọc theo trục z_{i-1} và quay quanh trục z_{i-1} một góc γ_i theo chiều ngược chiều kim đồng hồ. Điều này thực hiện được bằng cách sử dụng hệ trục trung gian i' , thể hiện bởi ma trận chuyển đổi thuận nhất sau:

$$A^{i-1}_{i'} = \begin{bmatrix} c\gamma_i & -s\gamma_i & 0 & 0 \\ s\gamma_i & c\gamma_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bước 3: Chuyển đổi hệ trục liên kết với hệ trục i' bằng cách tịnh tiến hệ trục i' một đoạn a_i dọc theo trục x_i' , sau đó quay nó quanh trục x_i' một góc α_i theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

Bước 4: Quá trình trên được thể hiện bởi ma trận chuyển đổi $A^i_{i'}$

$$A^i_{i'} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bước 5: Kết quả chuyển đổi từ hệ trục (i) sang hệ trục (i-1) được thể hiện bởi ma trận chuyển đổi thuần nhất A^{i-1}_i :

$$A^{i-1}_i = A^{i-1}_{i'} * A^{i'}_i \quad (3.75)$$

$$A^{i-1}_i = \begin{bmatrix} c\gamma_i & -s\gamma_i.c\alpha_i & s\gamma_i.s\alpha_i & a_i.c\gamma_i \\ s\gamma_i & c\gamma_i.c\alpha_i & -c\gamma_i.s\alpha_i & a_i.s\gamma_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

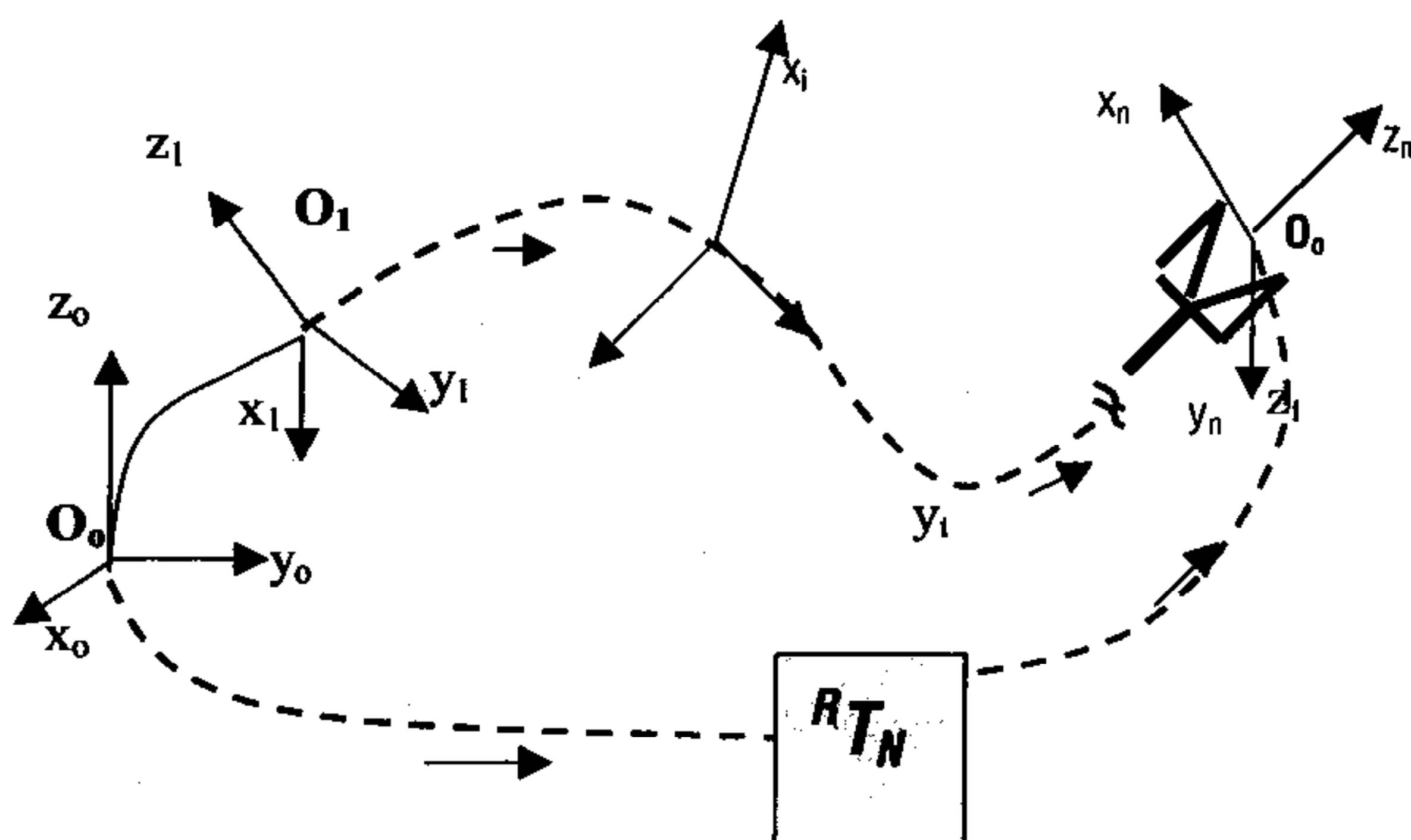
Tổng quát, nếu tay máy có n khâu, trên cơ sở tính các ma trận chuyển đổi A^{i-1}_i ($i=1..n$), ta tính được ma trận chuyển đổi tổng thể:

$${}^R T_N(q) = A^0_1(q_1) . A^1_2(q_2) \dots A^{n-1}_n(q_n) \quad (3.76)$$

Bài toán đưa về việc xác định các thông số:

$$[a_0 \quad d_0 \quad \alpha_0 \quad \gamma_0] \quad (3.77)$$

Dựa vào ${}^R T_N(q)$ đã biết, bằng phương pháp đồng nhất thức ma trận A^{i-1}_i và ${}^R T_N(q)$, ta sẽ xác định được (3.77). Trong đó a_0 , d_0 , α_0 , γ_0 là các thông số **Denavit_Hartenberg** trong phép chuyển đổi tọa độ viết trong hệ trục $(Oxyz)_n$ về hệ trục cơ sở $(Oxyz)_0$.



Hình 3.12: Phép chuyển hệ trục tổng thể

3.5.3 Xây dựng chương trình tính ${}^R T_N(q)$

Có thể xây dựng một chương trình để giải bài toán thuận viết bằng ngôn ngữ MATLAB nhằm xác định ${}^R T_N(q)$ khi biết các tọa độ suy rộng $[a_i \ d_i \ \alpha_i \ \gamma_i]$ ($i = 1..n$). Trong chương trình này, chúng ta không chỉ xác định được vị trí và hướng của tay gấp mà còn có thể xác định được vị trí và hướng của khâu bất kỳ trong chuỗi động học hở, cũng như xác định tọa độ của một điểm bất kỳ trên nó. Chẳng hạn, khi cần tính vị trí và hướng của khâu nào đó trên chuỗi động học, trong phần nhập dữ liệu ta phải nhập thông số m là số thứ tự của khâu cần xét, kết quả nhận được khi chạy chương trình là ma trận chuyển đổi tổng thể ${}^R T_m$ và ma trận $[a_o \ d_o \ \alpha_o \ \gamma_o]$ là các thông số **Denavit_Hartenberg** của hệ trục $(Oxyz)_m$ theo hệ trục tham chiếu $(Oxyz)_0$; nghĩa là, chúng ta đã xác định được vị trí và hướng của khâu m .

Các ký hiệu trong lưu đồ của chương trình giải bài toán thuận

Trên hình 3.13 trình bày lưu đồ bài toán động học thuận tay máy: bài toán xác định vị trí và hướng và bài toán vận tốc. Trong đó chúng ta sử dụng các ký hiệu sau:

$a_{ci} \ d_{ci} \ \alpha_{ci} \ \gamma_{ci}$: các giá trị hằng số của $a_i \ d_i \ \alpha_i \ \gamma_i$ trong phép chuyển đổi từ hệ trục (i) sang hệ trục $(i-1)$.

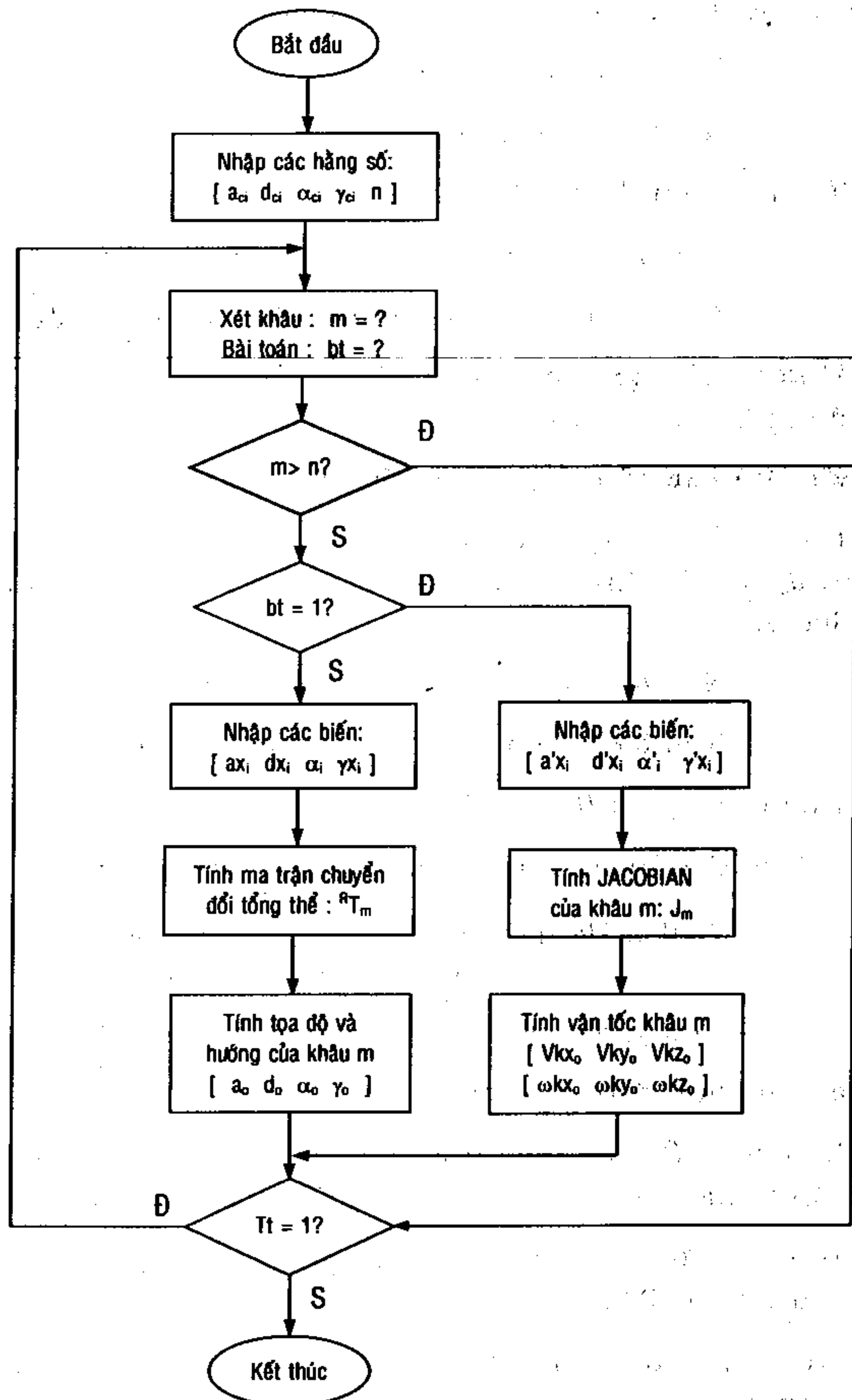
n : số khâu có trong chuỗi động học và cũng chính là chỉ số của khâu tác động cuối.

m : chỉ số của khâu được xét.

$a_{xi} \ d_{xi} \ \alpha_{xi} \ \gamma_{xi}$: các biến **Denavit_Hartenberg** trong hệ trục tọa độ địa phương ứng với khớp tịnh tiến và khớp quay loại 5.

$a'_{xi} \ d'_{xi} \ \alpha'_{xi} \ \gamma'_{xi}$: đạo hàm bậc nhất theo thời gian của các biến vị trí $a_{xi} \ d_{xi} \ \alpha_{xi} \ \gamma_{xi}$.

$V_{mxo} \ V_{myo} \ V_{mzo}$ và $\omega_{mxo} \ \omega_{myo} \ \omega_{mzo}$: vận tốc dài và vận tốc góc của khâu m đối với các trục x_0, y_0, z_0 của hệ trục tọa độ tham chiếu $(Oxyz)_0$.



Hình 3.13 : Lưu đồ của chương trình giải bài toán thuận

Biến bt dùng để xác định bài toán cần giải:

$bt = 1$: bài toán vận tốc

$bt = 0$: bài toán vị trí

Biến It dùng quản lý chương trình:

$It = 1$: tiếp tục

$It = 0$: trở về màn hình "GIAO_DIEN" chính .

3.5.4 Thuật toán giải bài toán vị trí trong bài toán thuận động học tay máy

Các bước thủ tục cần thực hiện khi giải bài toán thuận:

(1) Trên trục Z_0 của hệ trục cơ sở $(Oxyz)_0$, dịch theo trục Z_0 một đoạn d_0 và xác định được gốc tọa độ hệ trục trung gian O_n' , với lưu ý:

- Nếu $d_0 > 0$: dịch theo chiều dương trục Z_0
- Nếu $d_0 < 0$: dịch theo chiều âm của trục Z_0 (**)

(2) Vẽ trục trung gian $O_n'x_n'' // O_0x_0$

(3) Quay trục $O_n'x_n''$ quanh trục Z_0 một góc γ_0 , với lưu ý:

- Nếu $\gamma_0 > 0$: quay theo chiều ngược chiều kim đồng hồ (chiều dương lượng giác)
- Nếu $\gamma_0 < 0$: quay theo chiều ngược lại (***)

Kết quả, xác định được trục $O_n'x_n'$

(4) Dịch chuyển O_n' dọc theo trục $O_n'x_n'$ một đoạn a_0 với lưu ý (**), xác định được gốc tọa độ O_n và trục O_nx_n của hệ trục $(Oxyz)_n$

(5) Kẻ trục $O_nz_n' // O_0z_0$ và quay trục O_nz_n' quanh trục O_nx_n một góc α_0 với lưu ý (**). Ta xác định được trục O_nz_n

(6) Vẽ trục O_ny_n sao cho $(Oxyz)_n$ tạo thành một tam diện thuận (xác định theo quy tắc bàn tay phải)

Như vậy, các bước thủ tục trong giải thuật xác định vị trí và hướng tay gấp trong bài toán động học thuận tay máy có thể khái quát như sau:

Bước 1: Xây dựng hệ trục tham chiếu $(Oxyz)_0$ và các hệ trục địa phương $(Oxyz)_i$ ($i=1..n$) theo các quy ước Denavit_Hartenberg. Các chỉ số liên tiếp nhau tính từ hệ trục tham chiếu.

- (1) Chọn hệ trục cơ sở bằng cách chọn O_0 trên trục Z_0 sao cho O_0 trùng với gốc tọa độ O_1 của hệ trục tọa độ địa phương thứ nhất. Các trục x_0 và y_0 được chọn tùy ý sao cho $(Oxyz)_0$ tạo thành một tam diện thuận.
- (2) Gốc tọa độ địa phương O_i là giao điểm của trục Z_i với đường vuông góc chung của hai trục Z_{i-1} và Z_i . Nếu $Z_{i-1} // Z_i$ và khớp i là khớp quay thì O_i được xác định xuất phát từ O_{i-1} (tức là $d_i = 0$). Nếu khớp i là khớp tịnh tiến, gốc tọa độ O_i là vị trí hiện hành của khớp trong quá trình thay đổi vị trí.
- (3) Chọn trục x_i dọc theo đường vuông góc chung của hai trục Z_{i-1} và Z_i (chiều từ khớp i tới khớp $i+1$).
- (4) Chọn trục y_i sao cho $(Oxyz)_i$ tạo thành một tam diện thuận.
- (5) Chọn hệ trục n , $(Oxyz)_n$, như sau:

Trục x_n vuông góc với Z_{n-1} :

- Nếu khớp n là khớp quay, Z_n trùng với Z_{n-1} .
- Nếu khớp n là khớp tịnh tiến, Z_n trùng với Z_{n-1} hiện hành của tay gấp, nhưng O_n cách O_{n-1} một khoảng bằng giá trị hiện hành của biến d_n :

$$O_n O_{n-1} = d_n$$

Bước 2: Lập bảng hệ số a_i , d_i , α_i , γ_i ($i=1..n$)

Bước 3: Chạy chương trình "DU_LIEU" trong tập tin DU_LIEU.m để nhập dữ liệu cho bài toán

Bước 4: Chạy chương trình trong tập tin V_TR.m để xác định $[a_0 \ d_0 \ \alpha_0 \ \gamma_0]$

Bước 5: Hoàn thiện bài toán trên cơ sở các thông số đã biết $[a_0, d_0, \alpha_0, \gamma_0]$, xác định hướng và vị trí tay gấp hoặc hướng và vị trí của khâu bất kỳ, tọa độ của một điểm bất kỳ nào đó trên khâu này theo các bước (*) đã trình bày ở trên.

3.5.5 Thuật toán giải bài toán ngược

Như đã trình bày ở phần phương pháp chung, nội dung của bài toán ngược được phát biểu như sau: cho trước cơ cấu tay máy, tức là cho trước số khâu, số khớp, loại khớp, kích thước động d, của các khâu thành viên và cho trước vị trí và hướng của khâu tác động cuối trong hệ tọa độ Descartes (được gọi là các biến vị trí), ta phải xác định vị trí của các khâu thành viên thông qua các tọa độ suy rộng q_i (được gọi là các biến di chuyển) của chúng sao cho khâu tác động cuối đạt được vị trí và hướng yêu cầu.

Phát biểu trên có thể mở rộng ra như sau: cho trước cơ cấu tay máy và yêu cầu dịch chuyển (hay quy luật chuyển động thể hiện sự thay đổi cả về vị trí và hướng) của khâu tác động cuối được mô tả trong hệ tọa độ Descartes, ta phải xác định quy luật chuyển động của các khâu thành viên thông qua các biến di chuyển (tọa độ suy rộng $q_i = q_i(t)$).

Thông thường, ta vẫn sử dụng phương pháp chung đã nêu ở phần trên để tìm lời giải; tuy nhiên, như đã phân tích ở phần I của chương này, có vô số lời giải cho bài toán ngược. Thuật toán tìm lời giải của bài toán ngược trình bày dưới đây có thể dùng để tìm lời giải trong trường hợp tổng quát. Thuật toán gồm các bước sau:

Bước 1: Thiết lập phương trình ma trận chuyển đổi tổng quát cho tay máy. Nếu có yêu cầu cụ thể về vị trí và hướng (giá trị của các biến vị trí) của khâu tác động cuối thì thể hiện các thông số tọa độ cụ thể trong phương trình chuyển đổi tổng quát vừa được thiết lập (xem các phương trình tổng quát (3.63), (3.64) và (3.65) ở phần trên).

Bước 2: Chú ý xem xét các phần tử của các ma trận được thiết lập cụ thể, sau đó đối chiếu với các phần tử của ma trận trong biểu thức tổng quát (3.65') để tìm kiếm theo thứ tự:

- (a) các phần tử chỉ chứa một biến di chuyển (một tọa độ suy rộng) để có thể gán vào biểu thức có các giá trị của biến vị trí đã được cho trước theo yêu cầu cụ thể về vị trí và hướng cho trước nếu có.
- (b) các cặp phần tử tạo thành một biểu thức chỉ liên quan đến một biến di chuyển khi được tách ra hoặc thực hiện phép chia, gán giá trị nếu có được các số liệu cụ thể để thiết lập các hàm arctan nhằm xác định giá trị của biến di chuyển chưa biết theo biến vị trí đã biết từ mục (a).
- (c) tìm các phần tử hoặc nhóm các phần tử biến di chuyển chưa biết theo các phần tử biến vị trí đã xác định được ở mục (a) và (b) bằng phương pháp đồng nhất thức các biểu thức lượng giác.

Bước 3: Chọn một phần tử biến di chuyển đã xác định ở mục 2 để thiết lập phương trình với các phần tử biến vị trí và biến di chuyển có liên quan ở các ma trận khác. Giải phương trình này để tìm biểu thức mô tả mối liên hệ một biến di chuyển với tất cả các phần tử của ma trận chuyển đổi tổng quát.

Bước 4: Lập lại bước 3 cho đến khi phép đồng nhất thức được thực hiện với tất cả các phần tử biến di chuyển tìm thấy ở bước 2.

Bước 5: Nếu có bất cứ một lời giải nào của biến di chuyển không hợp lý so với các điều kiện biên trong chuyển động của các khâu thành viên, không xác định hoặc lời giải thừa thì đặt lời giải đó sang một bên và tiếp tục tìm lời giải tốt hơn. Chú ý rằng, các lời giải xác định theo các phần tử biến di chuyển là các vectơ q_i có thể hiệu quả hơn các lời giải theo các thành phần của nó trên các trục tọa độ x, y, z , bởi vì việc tìm kiếm các phần tử thành phần của các

vectơ này có thể kéo theo việc giải các phương trình phức tạp trong khi vị trí mong muốn của khâu tác động cuối đã được cho trước.

Bước 6: Nếu có nhiều biến di chuyển là góc quay được xác định, ta nhân cả hai vế của phương trình (gồm các ma trận) với ma trận nghịch đảo của ma trận A cho khớp đầu tiên để tạo ra một phương trình ma trận mới tương đương với phương trình ma trận trước đó (xem biểu thức (*), trang 169 của phần phương pháp chung). Tiếp tục thực hiện tuần tự lại cách thức đã nêu trên cho đến khâu cuối cùng để thiết lập các phương trình ma trận có sự tham gia của các ma trận nghịch đảo.

Bước 7: Lập lại bước 2 đến bước 6 cho đến khi tìm được tất cả các biến di chuyển.

Bước 8: Nếu lời giải phù hợp cho biến di chuyển nào đó không thể tìm được, hãy chọn lại một biến di chuyển khác mà ta đã loại bỏ ở bước 5 và lưu ý vùng nghiệm không tương thích.

Bước 9: Nếu không tìm thấy lời giải cho tay máy thì có thể tay máy không thể đạt tới vị trí và hướng (đặc biệt) đã nêu: ví dụ như ngoài vùng không gian hoạt động của tay máy hoặc cũng có thể lời giải đơn thuần về mặt lý thuyết mà trên thực tế với những ràng buộc về vật lý, kết cấu đã hạn chế chuyển động của tay máy.

Như đã phân tích ở phần trước, khi thực hiện thuật toán giải bài toán ngược, thường dẫn tới bài toán vô định. Nhằm khắc phục tình trạng này, để tìm lời giải cho bài toán ngược, người ta thường đưa thêm các ràng buộc cho các biến vị trí, các biến di chuyển và chọn những nghiệm nào thỏa mãn các ràng buộc trên. Một cách giải quyết khác là người ta đặt vấn đề tối ưu hóa theo một tiêu chuẩn nào đó; ví dụ, thời gian ngắn nhất, quãng đường đi ngắn nhất, chi phí cho di chuyển nhỏ nhất, v.v... Tất nhiên, lúc đó bài toán nghịch sẽ phức tạp và khó khăn hơn nhưng không có nghĩa là không giải được.

3.6 Bài toán động học trong chuyển động vi phân (hay chuyển động Jacobi)

Một vấn đề đặt ra là khi điểm tác động của khâu cuối (End - Effector) cần thực hiện một dịch chuyển bé (tịnh tiến và xoay) thì các biến di chuyển nào phải tham gia vào và các biến đó có giá trị bao nhiêu để đạt được vị trí mục tiêu. Đó là các chuyển động vi phân hay còn được gọi là chuyển động **Jacobi**. Di chuyển vi phân có liên quan tới các vấn đề tối ưu và điều khiển chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối để đạt tới vị trí yêu cầu nào đó với độ chính xác cho trước. Ngoài ra các ma trận Jacobian rất thuận tiện trong việc giải các bài toán xác định vận tốc và gia tốc của cơ cấu tay máy.

3.6.1 Ma trận Jacobi và định thức Jacobian

Xét hàm $f(.) : R^n \rightarrow R^m$

$$\text{Với : } f(z) = \begin{pmatrix} u_1(z) \\ u_2(z) \\ \vdots \\ u_m(z) \end{pmatrix} \quad \text{với } z = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

Giả thiết hàm $f(.)$ khả vi tại mọi điểm của miền xác định D . Ta gọi ma trận $J(z)$ có kích thước $m \times n$ sau đây là **ma trận Jacobi** của hàm $f(.)$ tại điểm z :

$$J(z) = \frac{\partial (u_1, u_2, \dots, u_m)}{\partial (x_1, x_2, \dots, x_n)}(z) = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & \frac{\partial u_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial u_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & \frac{\partial u_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial u_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial u_m}{\partial x_1} & \frac{\partial u_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial u_m}{\partial x_n} \end{pmatrix}$$

- Nếu $m = n$ thì ma trận $J(.)$ là ma trận vuông và định thức của nó được gọi là **Jacobian** của hàm $f(.)$ tại điểm z .

Khi Jacobian của $f(.)$ tại $z_0=0$ bằng 0 thì ta gọi z_0 là điểm kỳ dị.

- Xét trường hợp $m=n$ và nếu hàm $f(.)$ là đơn trị và nghịch đảo thì tồn tại hàm ngược

$f^{-1}(.)$ và Jacobian của hàm ngược $f^{-1}(.)$ là $j(x)$ với:

$$j(w) = \left| \frac{\partial (x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial (u_1, u_2, \dots, u_n)} (w) \right| = \begin{pmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial u_1}(w) & \frac{\partial x_1}{\partial u_2}(w) & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial u_n}(w) \\ \frac{\partial x_2}{\partial u_1}(w) & \frac{\partial x_2}{\partial u_2}(w) & \dots & \frac{\partial x_2}{\partial u_n}(w) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial x_m}{\partial u_1}(w) & \frac{\partial x_m}{\partial u_2}(w) & \dots & \frac{\partial x_m}{\partial u_n}(w) \end{pmatrix}$$

và ta có :

với $w = f(z)$

- Nếu hàm $f(.)$ khả vi tại z_0 và Jacobian $J(z_0) \neq 0$ thì vi phân của $f(.)$ tại z_0 là:

$df(z_0) = J(z_0) \times dz$, hay một cách gần đúng ta có thể xem như

$$J(z) = \frac{1}{j(z)} \quad \Delta f = \begin{pmatrix} \Delta f_1 \\ \Delta f_2 \\ \vdots \\ \Delta f_n \end{pmatrix} \approx j(z_0) \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{pmatrix}$$

$\Delta f_i = f_i(z) - f_i(z_0)$

3.6.2 Chuyển động vi phân

Ta đã biết một dịch chuyển bé của khâu có thể phân tách thành một chuyển động tịnh tiến của điểm gốc thuộc khâu đó và một chuyển động xoay quanh một trục đi qua gốc ấy (định lý Charles trong cơ học vật rắn). Từ nhận xét đó ta có thể viết ma trận DH mô tả chuyển động của khâu $H = H_n(p)$.

Suy ra: $dH = \frac{dH_n}{dp}(p) * dp$ với ký hiệu nhân "*" có ý nghĩa đặc biệt như sau:

Giả thiết H có các phần tử h_{ij} và H_n có các phần tử là h^n_{ij} với $i, j = 1..4$

Xét tay máy có r trục và \vec{e}_i ($i=1..r$) là các vectơ cơ sở của không gian R^r .

Khi đó: $dp = \sum_{i=1}^r dp_i \cdot \vec{e}_i$

$$\frac{\partial h^n_{ij}}{\partial p} = \sum_{i=1}^r \frac{\partial h^n_{ij}}{\partial p_i} \cdot \vec{e}_i$$

$$\Rightarrow dH = \begin{pmatrix} dh_{11} & \dots & dh_{14} \\ \vdots & & \vdots \\ dh_{41} & \dots & dh_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial h^n_{11}}{\partial p} dp \dots \frac{\partial h^n_{14}}{\partial p} dp \\ \vdots \\ \frac{\partial h^n_{41}}{\partial p} dp \dots \frac{\partial h^n_{44}}{\partial p} dp \end{pmatrix} = \frac{\partial H_n}{\partial p} * dp$$

(1) Di chuyển tịnh tiến vi phân

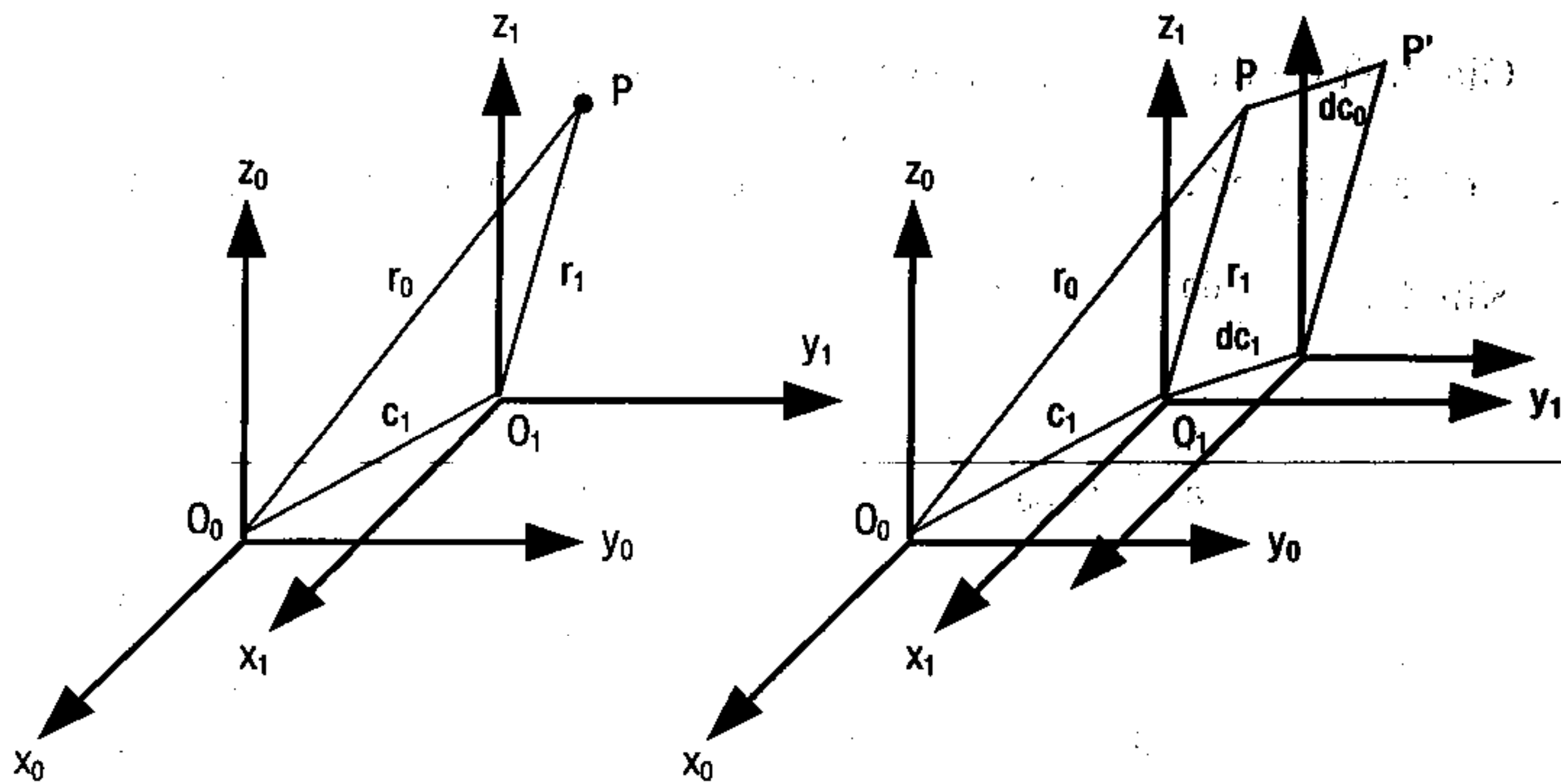
Trường hợp di chuyển tịnh tiến vi phân theo vectơ $dc_1 = (da_1, db_1, dc_1)^T$ ta có:

$$r_0 = c_1 \cdot r_1 \text{ với } r_1 = \text{const}$$

$$\Rightarrow dH = dr_0 = dc_1 \cdot r_1$$

$$\text{mà : } c_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & b_1 \\ 0 & 0 & 1 & c_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad r_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow dr_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & da_1 \\ 0 & 0 & 0 & db_1 \\ 0 & 0 & 0 & dc_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} da_1 \\ db_1 \\ dc_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$



Hình 3.14 : Trường hợp di chuyển tịnh tiến vi phân theo vectơ dc_1

(2) Di chuyển xoay vi phân

Một chuyển động quay trục bất kỳ đi qua gốc tọa độ có thể xem là một kết hợp các chuyển động quay xung quanh các trục tọa độ, kết hợp các chuyển động quay lại không có tính giao hoán (do tính không giao hoán của phép nhân ma trận).

Tuy nhiên nếu xét chuyển động quay vi phân thì ta có thể bỏ qua các thành phần thay đổi có bậc cao hơn 1 (coi gần đúng $\cos dx = 0$, $\sin dx = dx$ và $dx \cdot dy = 0$). Trong trường hợp này có thể xem chuyển động quay vi phân có tính giao hoán, nói khác đi là kết quả cuối cùng không phụ thuộc thứ tự các chuyển quay vi phân thành phần trong một kết hợp liên tiếp của chúng. Để thấy rõ điều đã nói ở trên ta xét ví dụ:

Xét hai chuyển động xoay liên tiếp quanh trục Ox một góc p và quanh trục Oy một góc q . Ma trận mô tả như sau:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos p & \sin p \\ 0 & \sin p & \cos p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos q & 0 & \sin q \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos q & 0 & \sin q \\ -\sin p \times \sin q & \cos p & -\sin p \times \cos q \\ -\cos p \times \sin q & \sin p & \cos p \times \cos q \end{pmatrix}$$

Xét hai chuyển động xoay liên tiếp quanh trục Oy một góc q và quanh trục Ox một góc p . Ma trận mô tả như sau:

$$\begin{pmatrix} \cos q & \sin p \times \sin q & \cos p \times \sin q \\ 0 & \cos p & -\sin p \\ -\sin p & \sin p \times \cos q & \cos p \times \cos q \end{pmatrix}$$

Từ đó ta thấy ma trận mô tả hai trường hợp trên là khác nhau. Tuy nhiên, nếu xét kết hợp của hai chuyển động vi phân ta sẽ thấy ma trận mô tả chuyển động xoay vi phân là như nhau:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & dq \\ 0 & 1 & -dp \\ -dq & dp & 1 \end{pmatrix}$$

Theo định lý Charles, vận tốc góc của một khâu được cho bởi:

$$\vec{\omega}_i = \frac{dp_i}{dt} \cdot \vec{i}_0 + \frac{dq_i}{dt} \cdot \vec{j}_0 + \frac{ds_i}{dt} \cdot \vec{k}_0 = \frac{dK_i}{dt} \cdot \begin{pmatrix} \vec{i}_0 \\ \vec{j}_0 \\ \vec{k}_0 \end{pmatrix}$$

Với:

$$dK_i = \begin{pmatrix} 0 & -ds_i & dq_i \\ ds_i & 0 & -dp_i \\ -dq_i & dp_i & 0 \end{pmatrix} = dA_i \cdot A_i^T \quad \text{: ma trận phản đối xứng, trong đó } dp_i, dq_i \text{ và } ds_i \text{ là các thành phần quay theo các trục.}$$

Ta có: $r_0 = A_i \cdot r_i$ Với A_i là ma trận quay của khâu thứ i . Nếu xét theo hệ tọa độ thuận nhất ta có thể viết:

(xem trang bên)

$$\begin{aligned}
 r_0 &= \begin{pmatrix} A_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_i \\
 \Rightarrow dr_0 &= \begin{pmatrix} dA_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_i = \begin{pmatrix} dA_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^T \cdot r_0 = \begin{pmatrix} dA_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_i^T & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0 = \begin{pmatrix} dA_i \cdot A_i^T & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0 \\
 \Rightarrow \begin{pmatrix} dx_0 \\ dy_0 \\ dz_0 \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} dA_i \cdot A_i^T & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -ds_i & dq_i & 0 \\ ds_i & 0 & -dp_i & 0 \\ -dq_i & dp_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 \text{hay : } \begin{pmatrix} dx_0 \\ dy_0 \\ dz_0 \end{pmatrix} &= dK_i \cdot \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -ds_i & dq_i \\ ds_i & 0 & -dp_i \\ -dq_i & dp_i & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

(3) Chuyển động vi phân tổng quát

Trong dịch chuyển vi phân tổng quát (bao gồm cả dịch chuyển quay lẫn dịch chuyển tịnh tiến), bằng cách kết hợp hai trường hợp vừa xét ta có trường hợp di chuyển vi phân tổng quát:

$$\begin{aligned}
 r_0 &= \begin{pmatrix} A_i & c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_i \\
 \Rightarrow r_i &= \begin{pmatrix} A_i & c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot r_0 = \begin{pmatrix} A_i^T & -A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0 \\
 \Rightarrow dr_0 &= \begin{pmatrix} dA_i & dc_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_i = \begin{pmatrix} dA_i & dc_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_i & c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^T \cdot r_0 = \begin{pmatrix} dA_i & dc_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_i^T & -A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0 \\
 \Rightarrow dr_0 &= \begin{pmatrix} dA_i \times A_i^T & dc_i - dA_i \times A_i^T c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0 = \begin{pmatrix} dK_i & dc_i - dK_i \times c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0 \\
 \text{hay : } \begin{pmatrix} dx_0 \\ dy_0 \\ dz_0 \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0 & -ds_i & dq_i & da_i - b_i \times dq_i + c_i \times ds_i \\ ds_i & 0 & -dp_i & db_i + a_i \times dq_i - c_i \times dp_i \\ -dq_i & dp_i & 0 & dc_i - a_i \times ds_i + b_i \times dp_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} dx_0 \\ dy_0 \\ dz_0 \\ 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Trong đó dp_i , dq_i , ds_i , da_i , db_i , và dc_i là các thành phần quay vi phân theo các trục O_x , O_y , O_z và các thành phần tịnh tiến vi phân theo các trục trên, chúng đánh giá sự thay đổi nhỏ của vị

trí khâu thứ i . Chúng đại diện cho 6 bậc tự do trong chuyển động không bị ràng buộc của khâu thứ i ; tuy nhiên, không phải chúng luôn cùng đồng thời khác 0.

Phương trình trên cho thấy sự thay đổi vị trí của một điểm trên khâu thứ i khi có sự thay đổi nhỏ của các biến vị trí của khâu.

Tổng quát hơn ta xét chuyển động vi phân tương đối giữa hai khâu i và j thì có:

$$dr_{ij} = \begin{pmatrix} dK_{ij} & dc_{ij} - dK_{ij} \times c_{ij} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_{ij} \quad \forall i, j$$

Trong đó dp_{ij} , dq_{ij} , ds_{ij} , da_{ij} , db_{ij} và dc_{ij} là các thay đổi vi phân của 6 biến vị trí (quay và tịnh tiến theo các trục O_x , O_y , O_z) của khâu i tương đối so với khâu j .

Sau đây ta quan tâm đến hai vi phân:

- ❖ $dD = (da, db, dc, dp, dq, ds)^T$: vi phân của 6 biến vị trí (quay và tịnh tiến theo 3 trục) của khâu tác động cuối.
- ❖ $dx = (dx_1, dx_2, \dots, dx_r)^T$: vi phân của các biến di chuyển có liên quan.

Ma trận Jacobi của tay máy r trục là $J(p)$:

$$J(x) = \frac{dD}{dx}(x)$$

$$\Rightarrow dD = J(x) \cdot dx$$

Phương trình có được ở trên cho thấy mối quan hệ giữa các vi phân của biến vị trí dD và các vi phân của biến di chuyển dx . Từ đó ta có hai bài toán trong chuyển động vi phân như sau:

(a) Bài toán thuận

Khi cho biết các thay đổi bé của các biến di chuyển (thường là độ chuyển vị quay nhỏ tại các khớp bản lề hay độ di chuyển

nhỏ tại các khớp trượt), ta có thể xác định được độ thay đổi vị trí của các khâu hay điểm tác động của khâu đầu cuối.

(b) Bài toán nghịch

Khi cần thực hiện các thay đổi bé về vị trí các khâu hay của điểm tác động cuối, nhờ mối quan hệ trên ta sẽ biết được cần phải cho các biến di chuyển thay đổi một lượng nhỏ bằng bao nhiêu để đạt được yêu cầu trên (nghĩa là biết được cần phải tạo chuyển vị quay nhỏ tại các khớp bản lề hay độ dịch chuyển nhỏ tại các khớp trượt là bao nhiêu)

3.6.3 Trình tự giải các bài toán thuận nghịch trong chuyển động vi phân

Bước 1: Lập ma trận DH tuyệt đối cho điểm trên khâu tác động cuối, trong ma trận DH sẽ có thành phần ma trận xoay A

Bước 2: Xác định ma trận DH và xác định ma trận $\begin{pmatrix} dK & dc - dK \cdot c \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Bước 3: Xác định mối liên quan giữa sự thay đổi nhỏ của vị trí theo tọa độ Descartes của điểm tác động cuối và các vi phân của các biến vị trí.

Bước 4: Nhờ mối quan hệ xác lập trên và phương trình:

$$dr_0 = \begin{pmatrix} dK_i & dc_i - dK_i \cdot c_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot r_0$$

ta xác định quan hệ giữa vi phân các biến vị trí và vi phân các biến di chuyển $dD = J(x).dx$. Từ đây ta có thể giải bài toán thuận.

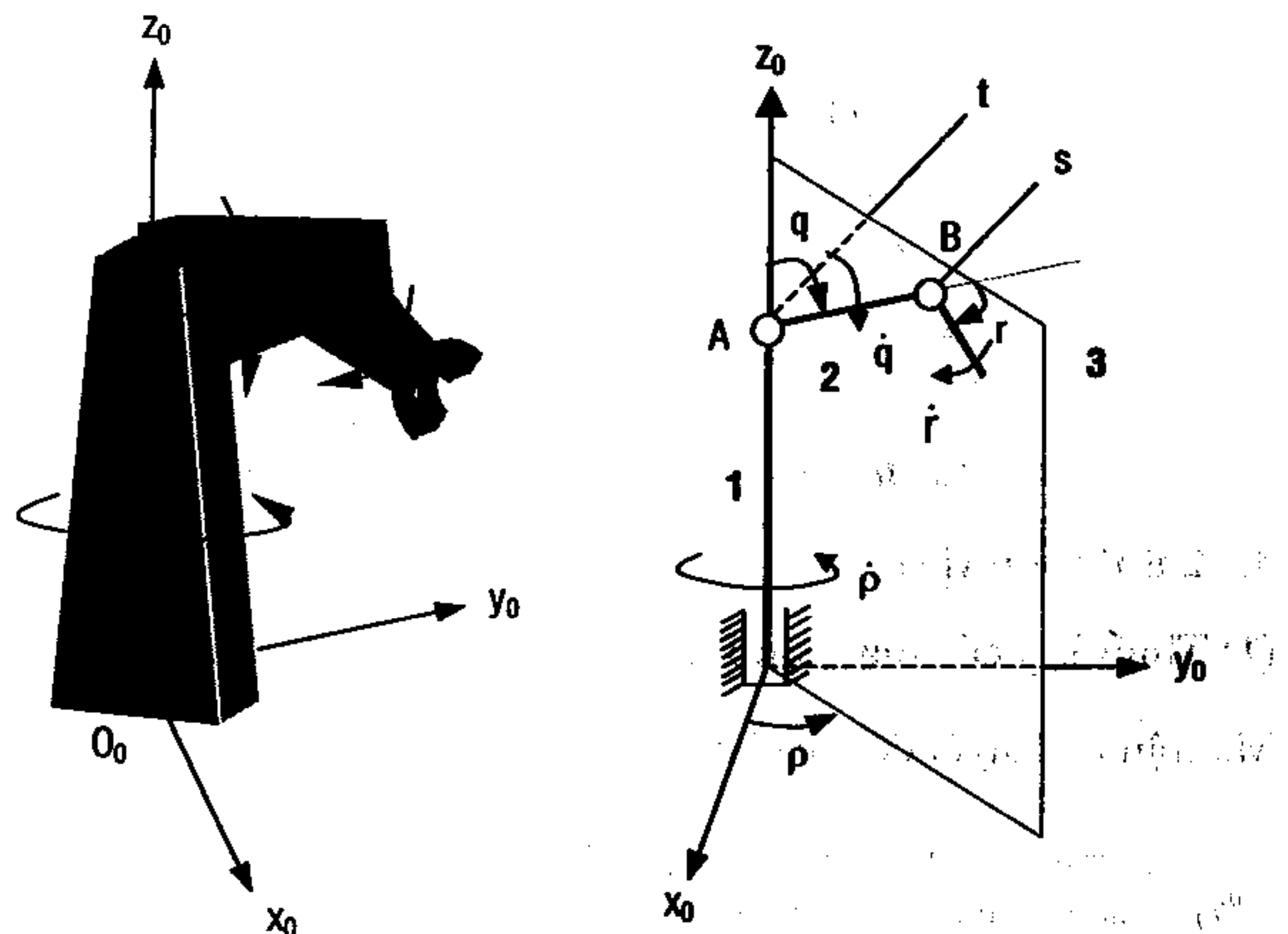
❖ Khi giải bài toán nghịch có thể xác định vi phân các biến di chuyển nhờ vào $dx = J^1(x).dD$ (trong quá trình giải ta sử dụng Jacobian $j(x)$ của ma trận Jacobian $J(x)$).

3.7 Ví dụ áp dụng

3.7.1 Đặt vấn đề

Xét tay máy gồm 3 khâu động, một khâu giá và 3 khớp bản lề (O, A, B) và điểm tác động của khâu cuối ở tại C (hình 3.17). Bậc tự do của tay máy là $W = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 3 = 3$.

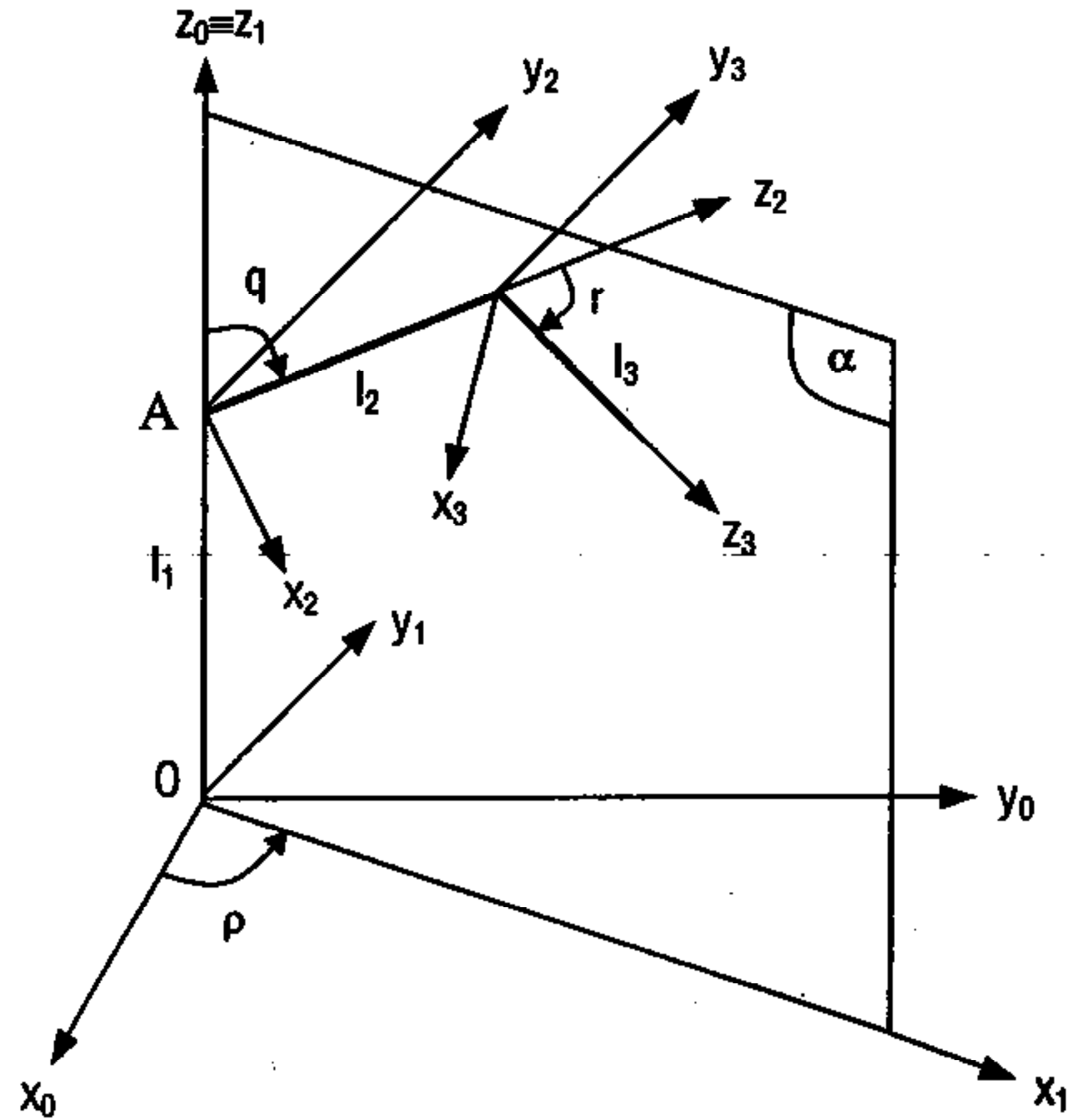
- Khâu 1 có khả năng quay quanh trục Oz nhờ khớp bản lề O .
- Khâu 2 có khả năng quay quanh trục A , nhờ khớp bản lề A , A luôn song song với mặt phẳng Oxy và có vị trí xác định bởi góc quay p của khâu 1.
- Khâu 3 có khả năng quay quanh trục B , nhờ khớp bản lề B , B luôn song song với mặt phẳng Oxy và có vị trí xác định bởi góc quay p của khâu 1 và góc quay q của khâu 2. Các vận tốc quay (vận tốc góc) đều là hằng số: $p = \text{const}$; $q = \text{const}$; $r = \text{const}$.



Hình 3.15 : Tay máy 3 khớp bản lề và sơ đồ động

Cùng với hệ tọa độ cơ sở $(Oxyz)_0$ cố định, ta gắn chặt các hệ tọa độ động $(Oxyz)_1$, $(Axyz)_2$, $(Bxyz)_3$ vào các khâu động 1, 2, 3. Trong quá trình tay máy chuyển động hệ $(Oxyz)_1$ sẽ quay quanh trục Oy_1 , hệ $(Axyz)_2$ sẽ quay quanh Ay_2 , và hệ $(Bxyz)_3$ sẽ quay quanh trục By_3 .

Ta thấy rằng điểm A cố định và $Oy_1 // Ay_2 // By_3$. Lược đồ của tay máy cùng với các hệ tọa độ gắn trên nó thể hiện trên hình 3.16 :



Hình 3.16 : Các hệ tọa độ gắn trên robot

3.7.2 Bài toán vị trí

(1) Thiết lập các ma trận DH cho các khâu

Ma trận DH tuyệt đối của khâu 1 là :

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} \cos p & -\sin p & 0 & 0 \\ \sin p & \cos p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^1T_2 = \begin{pmatrix} \cos q & 0 & \sin q & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^2T_3 = \begin{pmatrix} \cos r & 0 & \sin r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin r & 0 & \cos r & l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^0T_2 = {}^0T_1 \cdot A_2^1 = \begin{pmatrix} \cos p & -\sin p & 0 & 0 \\ \sin p & \cos p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos q & 0 & \sin q & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow {}^0T_2 = \begin{pmatrix} \cos p \cdot \cos q & -\sin p & \cos p \cdot \sin q & 0 \\ \sin p \cdot \cos q & \cos p & \sin p \cdot \sin q & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^0T_3 = {}^0T_2 \cdot A_3^2$$

$$\Rightarrow {}^0T_3 = \begin{pmatrix} \cos p \cdot \cos q & -\sin p & \cos p \cdot \sin q & 0 \\ \sin p \cdot \cos q & \cos p & \sin p \cdot \sin q & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos r & 0 & \sin r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin r & 0 & \cos r & l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow {}^0T_3 = \begin{pmatrix} \cos p \cdot \cos(q+r) & -\sin p & \cos p \cdot \sin(q+r) & l_2 \cdot \cos p \cdot \sin q \\ \sin p \cdot \cos(q+r) & \cos p & \sin p \cdot \sin(q+r) & l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q \\ -\sin(q+r) & 0 & \cos(q+r) & l_1 + l_2 \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(2) Giải bài toán động học vị trí

Với các ma trận DH vừa thiết lập, ta hoàn toàn có thể giải các bài toán động học vị trí thuận và ngược.

(a) Bài toán thuận vị trí

Cho biết các biến dịch chuyển là các góc quay tương đối p , q và r , ta phải xác định tọa độ tuyệt đối của các khâu và điểm trên khâu tác động cuối. Ở ví dụ trên, ta có thể giải bài toán nhờ biểu thức tọa độ sau:

$$r_0 = {}^0T_i \cdot r_i \quad \text{và} \quad r_c^0 = {}^0T_3 \cdot r_3^c$$

với : $r_0 = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$: là ma trận tọa độ thuận nhất tuyệt đối (theo hệ cơ sở $(Oxyz)_0$) của điểm P thuộc khâu thứ i

$r_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix}$: là ma trận tọa độ thuận nhất tương đối của điểm P thuộc khâu thứ i so với hệ tọa độ $(Oxyz)_i$.

0T_i = ma trận *DH* tuyệt đối của khâu thứ *i*.

$$r_0^c = \begin{pmatrix} x_0^c \\ y_0^c \\ z_0^c \\ 1 \end{pmatrix} : \text{ là ma trận thuần nhất tuyệt đối của điểm } C \text{ (điểm tác động của khâu cuối (End-Effector) thuộc khâu thứ 3 (theo hệ cơ sở } (Oxyz)_0 \text{)}$$

$$r_3^c = \begin{pmatrix} x_3^c \\ y_3^c \\ z_3^c \\ 1 \end{pmatrix} : \text{ là ma trận tọa độ thuần nhất tương đối của điểm } C \text{ so với hệ tọa độ } (Oxyz)_3 \text{ gắn chặt trên khâu thứ 3.}$$

(b) Bài toán ngược vị trí

Biết vị trí đầu của điểm trên khâu tác động cuối ở C_1 ta tìm các góc quay p, q và r (các biến di chuyển) sao cho sau khi di chuyển theo các góc quay trên thì điểm tác động cuối sẽ tới C_2 (hình 3.17).

Thực ra ta có thể đơn giản bài toán này thành bài toán tìm các góc quay p, q và r sao cho điểm trên khâu tác động cuối di chuyển từ vị trí “gốc” C_0 (vị trí mà khi các “tay máy” duỗi thẳng đứng) đến vị trí C_i nào đó ở trong mặt phẳng Oxz .

Ta đã có: $r_0^c = {}^0T_3 \cdot r_3^c$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x_0^c \\ y_0^c \\ z_0^c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos p \cdot \cos (q+r) & l \sin p & \cos p \cdot \sin (q+r) & l_2 \cdot \cos p \cdot \sin q \\ \sin p \cdot \cos q (q+r) & \cos p & \sin p \cdot \sin (q+r) & l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q \\ -\sin (q+r) & 0 & \cos (q+r) & l_1 + l_1 \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_3^c \\ y_3^c \\ z_3^c \\ 1 \end{pmatrix}$$

Xét điểm C nằm ở cuối khâu 3 có tọa độ trong hệ $(Oxyz)$ là $C(0, 0, l_3)$, ta viết:

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x_0^c \\ y_0^c \\ z_0^c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos p \cdot \cos (q+r) & -\sin p & \cos p \cdot \sin (q+r) & l_2 \cdot \cos p \cdot \sin q \\ \sin p \cdot \cos q (q+r) & \cos p & \sin p \cdot \sin (q+r) & l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q \\ -\sin (q+r) & 0 & \cos (q+r) & l_1 + l_1 \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} l_3 \cdot \cos p \cdot \sin(q+r) + l_2 \cdot \cos p \cdot \sin q = x_0^c & (1) \\ l_3 \cdot \sin p \cdot \sin(q+r) + l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q = y_0^c & (2) \\ l_3 \cdot \cos(q+r) + l_1 + l_2 \cdot \cos q = z_0^c & (3) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x_0^c \\ y_0^c \\ z_0^c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos p \cdot \cos(q+r) & -\sin p & \cos p \cdot \sin(q+r) & l_2 \cdot \cos p \cdot \sin q \\ \sin p \cdot \cos(q+r) & \cos p & \sin p \cdot \sin(q+r) & l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q \\ -\sin(q+r) & 0 & \cos(q+r) & l_1 + l_2 \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_3^c \\ y_3^c \\ z_3^c \\ 1 \end{pmatrix}$$

Từ (1) và (2) ta có thể tính p như sau:

Nếu:
$$\begin{cases} x_0^c = 0 \Rightarrow \begin{cases} y_0^c \geq 0 \Rightarrow p = \frac{\pi}{2} \\ y_0^c \leq 0 \Rightarrow p = -\frac{\pi}{2} \end{cases} \\ x_0^c \neq 0 \Rightarrow p = \arctg \frac{y_0^c}{x_0^c} \end{cases}$$

Từ (1), (2) và (3) ta thực hiện:

$$((3) - l_1)^2 + (1)^2 + (2)^2$$

$$\Rightarrow (l_3 \cdot \cos(q+r))^2 + (l_2 \cdot \cos q)^2 + 2 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot \cos(q+r) \cdot \cos q + (l_1 \cdot \cos p \cdot \cos(q+r))^2 + (l_2 \cdot \cos p \cdot \sin q)^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos^2 p \cdot \cos(q+r) \cdot \sin q + (l_1 \cdot \sin p \cdot \cos q(q+r))^2 + (l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q)^2 + 2 l_1 \cdot l_2 \cdot \sin^2 p \cdot \cos q(q+r) \cdot \sin q = (z_0^c - l_1)^2 + (x_0^c)^2 + (y_0^c)^2$$

$$\Rightarrow l_3^2 + l_2^2 + 2 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot \cos r = (z_0^c - l_1)^2 + (x_0^c)^2 + (y_0^c)^2 = l_{AC}^2$$

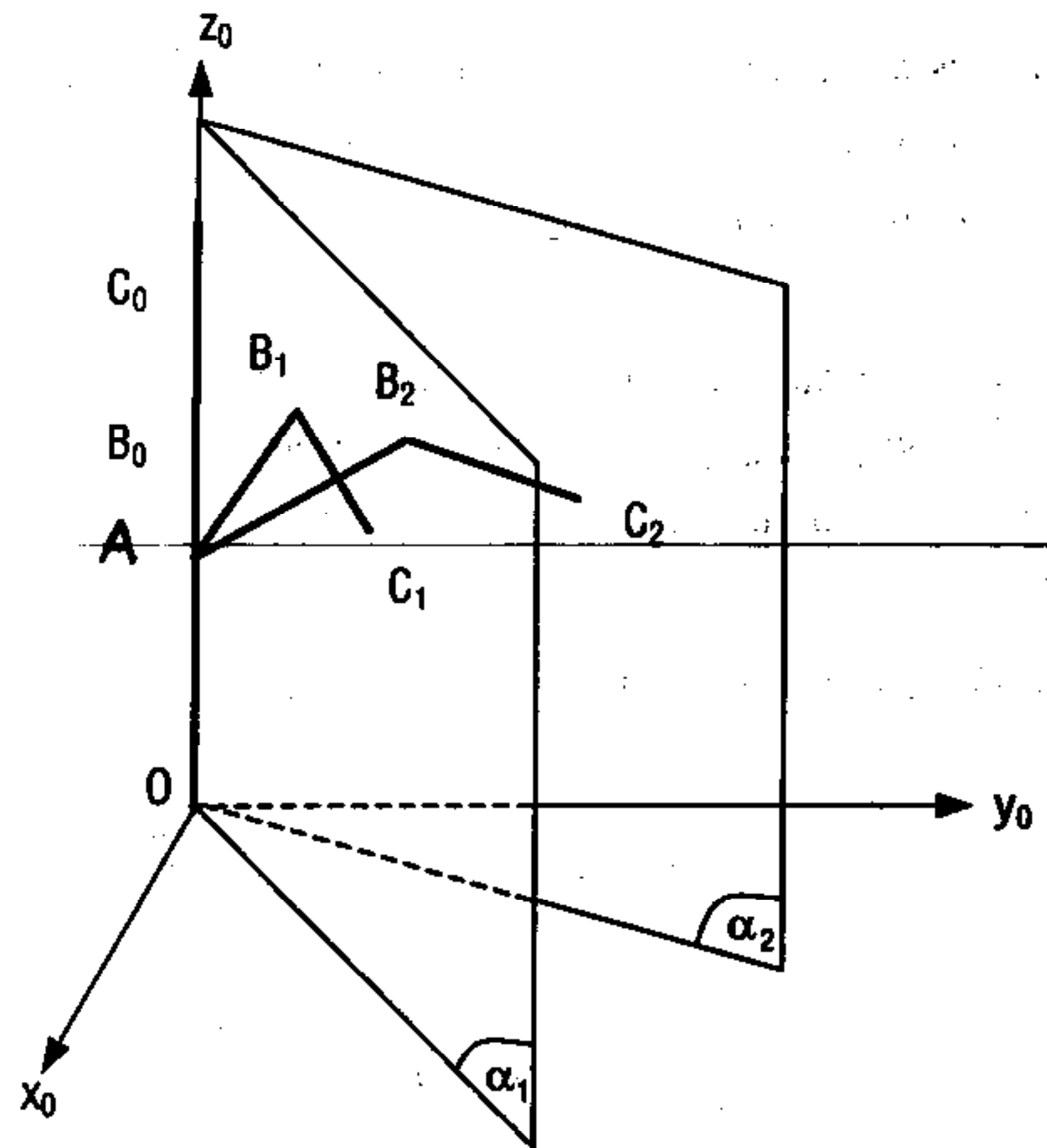
$$\Rightarrow \cos r = \frac{l_{AC}^2 - l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot l_2 \cdot l_3}$$

$$\Rightarrow r = \arccos\left(\frac{l_{AC}^2 - l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot l_2 \cdot l_3}\right)$$

Đặt :

$$\lambda = \begin{cases} \lambda = \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{z_0^c - l_1}{\sqrt{(x_0^c)^2 + (y_0^c)^2}}\right) \\ \beta = \arccos\left(\frac{l_2^2 + l_{AC}^2 - l_3^2}{2 \cdot l_2 \cdot l_{AC}}\right) \end{cases}$$

$$\Rightarrow q = \lambda - \beta$$



Hình 3.17 : Các hệ tọa độ gắn trên robot

3.7.3 Bài toán vận tốc thuận

Ta đã biết:

$${}^0T_i = \prod_{k=1}^i A_k^{k-1}$$

$$\Rightarrow {}^0\dot{T}_i = \sum_{k=1}^i \left[\dot{A}_k^{k-1} \left(\prod_{j=1}^{k-1} A_j^{j-1} \right) \cdot \left(\prod_{j=k}^i A_j^{j-1} \right) \right]$$

Và $r_0(t) = {}^0T_i \cdot r_i$ mà $r_i = \text{const}$ nên có thể tính vận tốc và gia tốc theo các biểu thức sau:

$$\dot{r}_0^C(t) = {}^0\dot{T}_i(t) \cdot r_i^C$$

$$\ddot{r}_0^C(t) = {}^0\ddot{T}_i(t) \cdot r_i^C$$

Cụ thể ta có :

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} \cos p & -\sin p & 0 & 0 \\ \sin p & \cos p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow {}^0\dot{T}_1 = \dot{p} \cdot \begin{pmatrix} -\sin p & -\cos p & 0 & 0 \\ \cos p & -\sin p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$${}^1T_2 = \begin{pmatrix} \cos q & 0 & \sin q & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow {}^1\dot{T}_2 = \dot{q} \cdot \begin{pmatrix} -\sin q & 0 & \cos q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\cos q & 0 & -\sin q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$${}^2T_3 = \begin{pmatrix} \cos r & 0 & \sin r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin r & 0 & \cos r & l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow {}^2\dot{T}_3 = \dot{r} \cdot \begin{pmatrix} -\sin r & 0 & \cos r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\cos r & 0 & -\sin r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$${}^0T_2 = {}^0T_1 \cdot A_2^1 \Rightarrow {}^0\dot{T}_2 = {}^0\dot{T}_1 \cdot A_2^1 + {}^0T_1 \cdot \dot{A}_2^1$$

Suy ra:

$${}^0\dot{T}_2 = \dot{p} \cdot \begin{pmatrix} -\sin p \cdot \cos q & -\cos p & -\sin p \cdot \sin q & 0 \\ \cos p \cdot \cos q & -\sin p & \cos p \cdot \sin q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} +$$

$$+ \dot{q} \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \sin q & 0 & \cos p \cdot \cos q & 0 \\ -\sin p \cdot \sin q & 0 & \sin p \cdot \cos q & 0 \\ -\cos q & 0 & -\sin q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$${}^0T_3 = {}^0T_2.A_3^2 \Rightarrow {}^0\dot{T}_3.A_3^2 + {}^0T_2.\dot{A}_3^2$$

$${}^0\dot{T}_3 = \left\{ \begin{array}{l} \dot{p} \cdot \begin{pmatrix} -\sin p \cdot \cos(q+r) & -\cos p & -\sin p \cdot \sin(q+r) & -l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q \\ \cos p \cdot \cos(q+r) & -\sin p & \cos p \cdot \sin(q+r) & l_2 \cos p \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ + \dot{q} \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 & \cos p \cdot \cos(q+r) & l_2 \cos p \cdot \cos q \\ -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 & \sin p \cdot \cos(q+r) & l_2 \sin p \cdot \cos q \\ -\cos(q+r) & 0 & -\sin(p+r) & -l_2 \cdot \sin q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ + \dot{r} \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 & \cos p \cdot \cos(q+r) & 0 \\ -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 & \sin p \cdot \cos(q+r) & 0 \\ \cos(q+r) & 0 & -\sin(q+r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \right\}$$

Lưu ý rằng , điểm C cố định trong hệ trục tọa độ địa phương (Oxyz): $\dot{r}_i^x = 0$, vì vậy , vận tốc của điểm C trên khâu tác động cuối tính trong hệ trục tọa độ cơ sở như sau :

$$\Rightarrow \mathcal{G}_o(t) = \left\{ \begin{array}{l} \dot{p} \cdot \begin{pmatrix} -\sin p \cdot \cos(q+r) & -\cos p & -\sin p \cdot \sin(q+r) & -l_2 \cdot \sin p \cdot \sin q \\ \cos p \cdot \cos(q+r) & -\sin p & \cos p \cdot \sin(q+r) & l_2 \cos p \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_3 \\ l \end{pmatrix} \\ + \dot{q} \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 & \cos p \cdot \cos(q+r) & l_2 \cos p \cdot \cos q \\ -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 & \sin p \cdot \cos(q+r) & l_2 \sin p \cdot \cos q \\ -\cos(q+r) & 0 & -\sin(p+r) & -l_2 \cdot \sin q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_3 \\ l \end{pmatrix} \\ + \dot{r} \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 & \cos p \cdot \cos(q+r) & 0 \\ -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 & \sin p \cdot \cos(q+r) & 0 \\ \cos(q+r) & 0 & -\sin(q+r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_3 \\ l \end{pmatrix} \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 v_0(t) = & \dot{p} \cdot \begin{pmatrix} -l_3 \sin p \cdot \sin(q+r) - l_2 \sin p \cdot \sin q \\ l_3 \cos p \cdot \sin(q+r) + l_2 \cos p \cdot \cos q \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 & + \dot{q} \cdot \begin{pmatrix} l_3 \cos p \cdot \cos(q+r) + l_2 \cos p \cdot \cos q \\ l_3 \sin p \cdot \cos(q+r) + l_2 \sin p \cdot \cos q \\ -l_3 \sin(q+r) - l_2 \sin q \\ 0 \end{pmatrix} \\
 & + \dot{r} \cdot \begin{pmatrix} l_3 \cos p \cdot \cos(q+r) \\ l_3 \sin p \cdot \cos(q+r) \\ -l_3 \sin(q+r) \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

3.7.4 Bài toán gia tốc thuận

Gia tốc của điểm C trong hệ trục (Oxyz) tính trong hệ trục tọa độ cơ sở (Oxyz)₀ :

$$\ddot{r}_0^c = \ddot{T}_i(t) \cdot r_i^c$$

Ta có :

$$A_k^{k-1} = \frac{d}{dt} \left[\frac{d}{dt}(q_k) \cdot \frac{d}{dq_k}(A_k^{k-1}) \right]$$

Trong đó :

A_k^{k-1} là ma trận chuyển đổi hệ trục , từ hệ trục tọa độ (Oxyz)_k về hệ trục tọa độ (Oxyz)_{k-1} ứng với tọa độ suy rộng q_k .

$$\begin{aligned}
 \ddot{A}_k^{k-1} &= \frac{d^2}{dt^2}(q_k) \cdot \frac{d}{dq_k}(A_k^{k-1}) + \frac{d}{dt}(q_k) \cdot \frac{d}{dt} \left[\frac{d}{dq_k}(A_k^{k-1}) \right] \\
 &= \frac{d^2}{dt^2}(q_k) \cdot \frac{d}{dq_k}(A_k^{k-1}) + \left[\frac{d}{dt}(q_k) \right]^2 \cdot \left[\frac{d^2}{dq_k^2}(A_k^{k-1}) \right] \\
 &= \ddot{q}_k \cdot \frac{d}{dq_k}(A_k^{k-1}) + \left(\dot{q}_k \right)^2 \cdot \frac{d^2}{dq_k^2}(A_k^{k-1})
 \end{aligned}$$

Nếu xem vận tốc góc trong các chuyển động tương đối của các khâu trong chuỗi động học là các hằng số ($\ddot{p}_k = 0$), ta được :

$$\ddot{A}_k^{k-1} = \left(\dot{q}_k \right)^2 \cdot \frac{d^2}{dq_k^2}(A_k^{k-1})$$

Cụ thể :

$${}^0\ddot{T}_1 = \dot{p}^2(t) \begin{pmatrix} -\cos p & \sin p & 0 & 0 \\ \sin p & -\cos p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\ddot{A}_2^1 = \dot{q}^2(t) \begin{pmatrix} -\cos q & 0 & -\sin q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin q & 0 & -\cos q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\ddot{A}_3^2 = \dot{r}^2(t) \begin{pmatrix} -\cos r & 0 & -\sin r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin r & 0 & -\cos r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \ddot{A}_3^2 = \dot{r}^2(t) \begin{pmatrix} -\cos r & 0 & -\sin r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin r & 0 & -\cos r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$${}^0\dot{T}_2 = {}^0\dot{T}_1 \cdot A_2^1 + {}^0T_1 \cdot \dot{A}_2^1 \Rightarrow$$

$${}^0\ddot{T}_2 = {}^0\ddot{T}_1 \cdot A_2^1 + 2 \cdot {}^0\dot{T}_1 \cdot \dot{A}_2^1 + {}^0T_1 \cdot \ddot{A}_2^1$$

$$\begin{aligned}
 {}^0\ddot{T}_2 = & \dot{p}^2 \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \cos q & \sin p & -\cos p \cdot \sin p & 0 \\ -\sin p \cdot \cos q & -\cos p & -\sin p \cdot \sin q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \\
 & + \dot{q}^2 \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \cos q & 0 & -\cos p \cdot \sin q & 0 \\ -\sin p \cdot \cos q & 0 & -\sin p \cdot \sin q & 0 \\ \sin q & 0 & \cos q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 & + 2 \dot{p} \cdot \dot{q} \begin{pmatrix} \sin p \cdot \sin q & 0 & -\sin p \cdot \cos q & 0 \\ -\cos p \cdot \sin q & 0 & -\cos p \cdot \cos q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Ta có:

$$\begin{aligned}
 {}^0\dot{T}_3 &= {}^0\dot{T}_2 \cdot A_3^2 + {}^0T_2 \cdot \dot{A}_3^2 \Rightarrow \\
 {}^0\ddot{T}_3 &= {}^0\ddot{T}_2 \cdot A_3^2 + 2 \cdot {}^0\dot{T}_2 \cdot \dot{A}_3^2 + {}^0T_2 \cdot \ddot{A}_3^2
 \end{aligned}$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}
 {}^0\ddot{T}_2 \cdot A_3^2 = & \dot{p}^2 \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \cos(q+r) & -\sin p & -\cos p \cdot \sin(q+r) & -l_2 \cos p \cdot \sin q \\ -\sin p \cdot \cos(q+r) & -\cos p & -\sin p \cdot \sin(q+r) & -l_2 \sin p \cdot \sin q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \\
 & + 2 \cdot \dot{p} \cdot \dot{q} \begin{pmatrix} -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 & -\sin p \cdot \cos(q+r) & -l_2 \cdot \sin p \cdot \cos q \\ -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 & \cos p \cdot \cos(q+r) & l_2 \cos p \cdot \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} +
 \end{aligned}$$

$$+ \dot{q}^2 \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \cos(q+r) & 0 & -\cos p \cdot \sin(q+r) & -l_2 \cos p \cdot \cos q \\ -\sin p \cdot \cos(q+r) & 0 & -\sin p \cdot \sin(q+r) & -l_2 \sin p \cdot \sin q \\ \sin(q+r) & 0 & -\cos(q+r) & l_2 \cos q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$${}^0 \dot{T}_2 \cdot \dot{A}_3^2 = \dot{p} \dot{r} \cdot \begin{pmatrix} \sin p \cdot \sin(q+r) & 0 & -\sin p \cdot \cos(q+r) & 0 \\ -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 & -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$+ \dot{q} \dot{r} \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \cos(q+r) & 0 & -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 \\ -\sin p \cdot \cos(q+r) & 0 & -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 \\ \sin(q+r) & 0 & -\cos(q+r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Và:

$${}^0 T_2 \cdot \ddot{A}_3^2 = \ddot{r}^2 \cdot \begin{pmatrix} -\cos p \cdot \cos(q+r) & 0 & -\cos p \cdot \sin(q+r) & 0 \\ -\sin p \cdot \cos(q+r) & 0 & -\sin p \cdot \sin(q+r) & 0 \\ \sin(q+r) & 0 & -\cos(q+r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Gia tốc của điểm C trên khâu tác động cuối tính trong hệ trục tọa độ cố định $(Oxyz)_0$:

$$a_0(t) = \ddot{r}_0^c(t) = {}^0 T_3(t) \cdot r_3^c$$

Trong đó :

$$r_3^c = (0 \quad 0 \quad l_3 \quad 1)^T$$

Suy ra :

$$\begin{aligned}
 a_0(t) = & \dot{p}^2 \begin{pmatrix} -l_3 \cos p \sin(q+r) - l_2 \cos p \sin q \\ -l_3 \sin p \sin(q+r) - l_2 \sin p \sin q \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \\
 & 2 \dot{p} \dot{q} \begin{pmatrix} -l_3 \sin p \cos(q+r) - l_2 \sin p \cos q \\ -l_3 \cos p \cos(q+r) - l_2 \cos p \cos q \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \\
 & \dot{q}^2 \begin{pmatrix} -l_3 \cos p \sin(q+r) - l_2 \cos p \cos q \\ -l_3 \sin p \sin(q+r) - l_2 \sin p \sin q \\ -l_3 \cos(q+r) + l_2 \cos q \\ 0 \end{pmatrix} + \\
 & + 2 \dot{p} \dot{r} \begin{pmatrix} -l_3 \cos p \sin(q+r) - l_2 \cos p \cos q \\ -l_3 \sin p \sin(q+r) - l_2 \sin p \sin q \\ -l_3 \cos(q+r) + l_2 \cos q \\ 0 \end{pmatrix} + \\
 & + (\ddot{r} + 2 \dot{q} \dot{r}) \begin{pmatrix} -l_3 \cos p \sin(q+r) \\ -l_3 \sin p \sin(q+r) \\ -l_3 \cos(q+r) \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

3.7.5 Áp dụng ma trận Jacobi để giải bài toán vận tốc

Với vai trò như một toán tử vi phân, ma trận *Jacobi* còn cho phép ta ứng dụng vào việc giải bài toán vận tốc trên cơ cấu tay máy, cụ thể là xác định mối liên hệ giữa vận tốc dài và vận tốc góc của các khâu trong chuỗi động. Nhờ đó, ta có thể xác định được vận tốc của khâu tác động cuối hay tay gấp khi biết

vận tốc của các khâu thành viên. Nói cách khác, ta sẽ xây dựng các hàm vận tốc dài \dot{p} , gồm các thành phần $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$; và vận tốc góc ω , gồm các thành phần $\dot{\phi}_x, \dot{\phi}_y, \dot{\phi}_z$, của khâu tác động cuối theo các biến là vận tốc của các khớp $\dot{\theta}_i$, với $i = 1..n$ khớp động. Giả sử tay máy có 6 khớp động loại 5, hay có 6 bậc tự do, ta gọi:

$\dot{X} = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \dot{\phi}_x \ \dot{\phi}_y \ \dot{\phi}_z]^T$ là vectơ vận tốc tuyệt đối của khâu tác động cuối với các thành phần là các vận tốc dài dọc theo các trục tọa độ x, y, z và các vận tốc góc trong chuyển động quay quanh ba trục nói trên.

$\dot{\theta} = [\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dot{\theta}_3 \ \dot{\theta}_4 \ \dot{\theta}_5 \ \dot{\theta}_6]^T$ là vectơ vận tốc với các thành phần là vận tốc của các biến di chuyển của các khớp. Khi ta có:

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{\phi}_x \\ \dot{\phi}_y \\ \dot{\phi}_z \end{bmatrix} \\ (6 \times 1) \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & J_{15} & J_{16} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & J_{25} & J_{26} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} & J_{35} & J_{36} \\ J_{41} & J_{42} & J_{43} & J_{44} & J_{45} & J_{46} \\ J_{51} & J_{52} & J_{53} & J_{54} & J_{55} & J_{56} \\ J_{61} & J_{62} & J_{63} & J_{64} & J_{65} & J_{66} \end{bmatrix} \\ (6 \times 6) \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \\ \dot{\theta}_5 \\ \dot{\theta}_6 \end{bmatrix} \\ (6 \times 1) \end{matrix}$$

Trong đó:

$\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \dot{\phi}_x \ \dot{\phi}_y \ \dot{\phi}_z$: lần lượt là các thành phần vận tốc dài và vận tốc góc của khâu tác động cuối dọc theo các trục tọa độ tương ứng trong hệ tọa độ cơ sở $(Oxyz)_0$.

$\dot{\theta}_i$: vận tốc của khớp thứ i ($i=1..n$) trong các hệ trục tọa độ suy rộng tương ứng. Cần lưu ý là $\dot{\theta}_i$ có thể là vận tốc dài hoặc vận tốc góc của khớp thứ i tùy theo khớp này là khớp tịnh tiến hay khớp bản lề.

Như vậy, nếu tính được các ma trận *Jacobi* J và biết vận tốc $\dot{\theta}_i$ của các khớp (trong các tọa độ suy rộng địa phương) thì ta hoàn toàn xác định được vận tốc của khâu tác động cuối.

Ta có thể viết lại biểu thức trên dưới dạng:

$${}^0\dot{x} = {}^0J \dot{\theta}$$

Ma trận 0J thể hiện mối quan hệ giữa hai vectơ vận tốc nói trên. Trong đó, lấy ví dụ, phần tử thứ nhất của vectơ \dot{x} sẽ là:

$$\dot{x} = J_{11}\dot{\theta}_1 + J_{12}\dot{\theta}_2 + J_{13}\dot{\theta}_3 + J_{14}\dot{\theta}_4 + J_{15}\dot{\theta}_5 + J_{16}\dot{\theta}_6$$

với: $J_{11} = \frac{\partial x}{\partial \theta_1}, J_{12} = \frac{\partial x}{\partial \theta_2}, \dots, J_{16} = \frac{\partial x}{\partial \theta_6}$

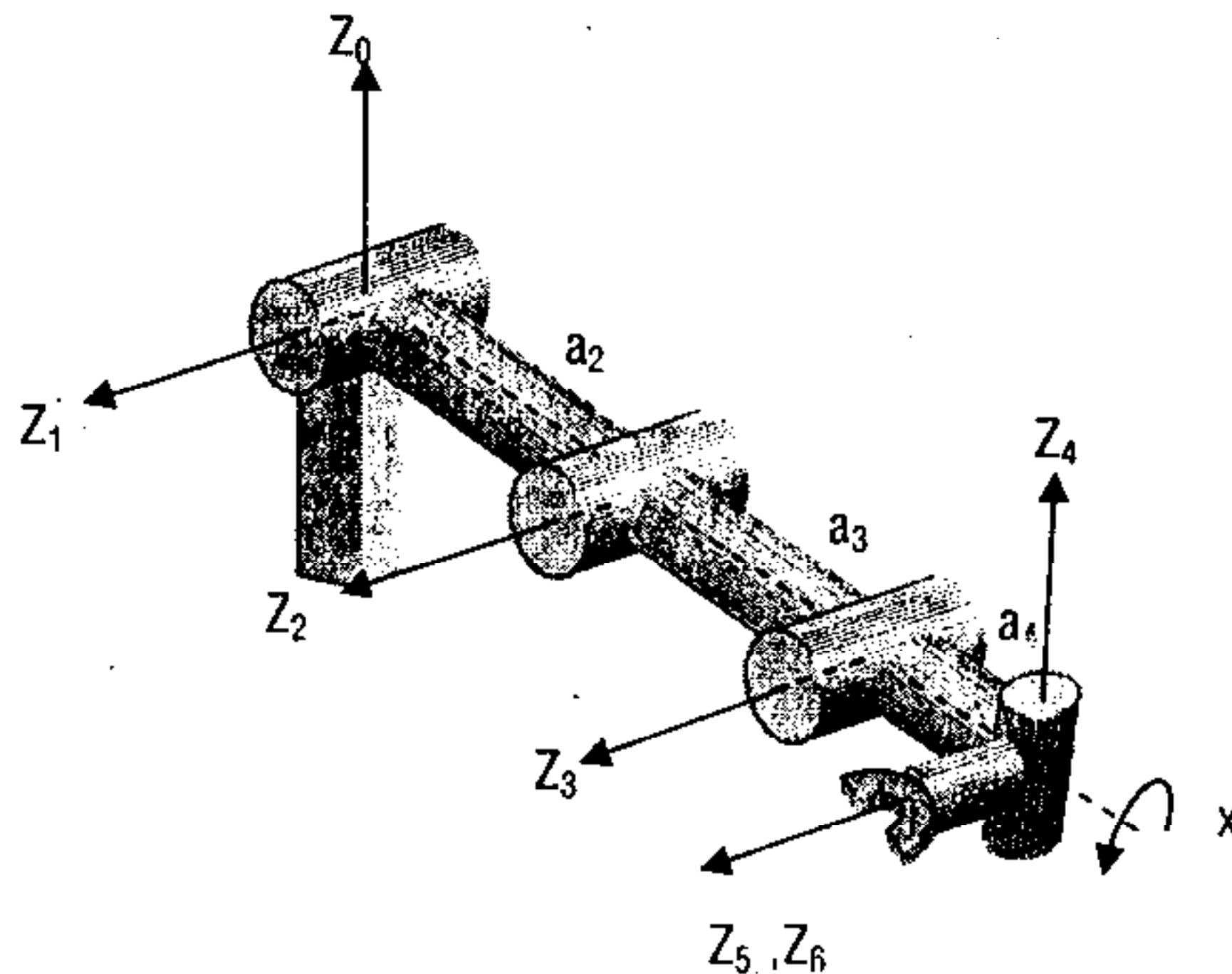
Như vậy các phần tử của ma trận Jacobi ở hàng thứ nhất chính là đạo hàm riêng của biến vị trí x theo các biến di chuyển θ_i .

Bằng cách tương tự, ta xác định được các phần tử còn lại của ma trận J .

Ở phần trước, trên ma trận DH trong chuyển đổi thuần nhất tổng quát ta đã có:

$${}^0T_N = \begin{bmatrix} x_x & y_x & z_x & p_x \\ x_y & y_y & y_z & p_y \\ x_z & y_z & z_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Với cơ cấu tay máy có liên kết giữa các khâu toàn bằng khớp bản lề như hình vẽ bên dưới. Tính toán cụ thể ta có:



Hình 3.18: Sơ đồ cơ cấu tay máy gồm toàn khớp bản lề

$$p_x = c_1 [c_{234}a_4 + c_{23}a_3 + c_2a_2]$$

$$\frac{dp_x}{dt} = c_1 [-a_4s_{234}(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) - a_3s_{23}(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) - a_2s_2\dot{\theta}_2] - [a_4c_{234} + a_3c_{23} + a_2c_2]s_1\dot{\theta}_1$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_x}{dt} = & -(a_4s_1c_{234} + a_3s_1c_{23} + a_2s_1c_2)\dot{\theta}_1 - (a_4c_1s_{234} + a_3s_{23} + a_2s_2)\dot{\theta}_2 - \\ & - (a_4c_1s_{234} + a_3s_{23})\dot{\theta}_3 - (a_4c_1s_{234})\dot{\theta}_4 \end{aligned}$$

Từ đó ta xác định được:

$$J_{11} = \frac{\partial x}{\partial \theta_1} = -(a_4s_1c_{234} + a_3s_1c_{23} + a_2s_1c_2)$$

$$J_{12} = \frac{\partial x}{\partial \theta_2} = -(a_4s_1c_{234} + a_3c_{23} + a_2s_2)$$

$$J_{13} = \frac{\partial x}{\partial \theta_3} = -(a_4s_1c_{234} + a_3c_{23})$$

$$J_{14} = \frac{\partial x}{\partial \theta_4} = -(a_4s_1c_{234})$$

$$J_{15} = \frac{\partial x}{\partial \theta_5} = 0$$

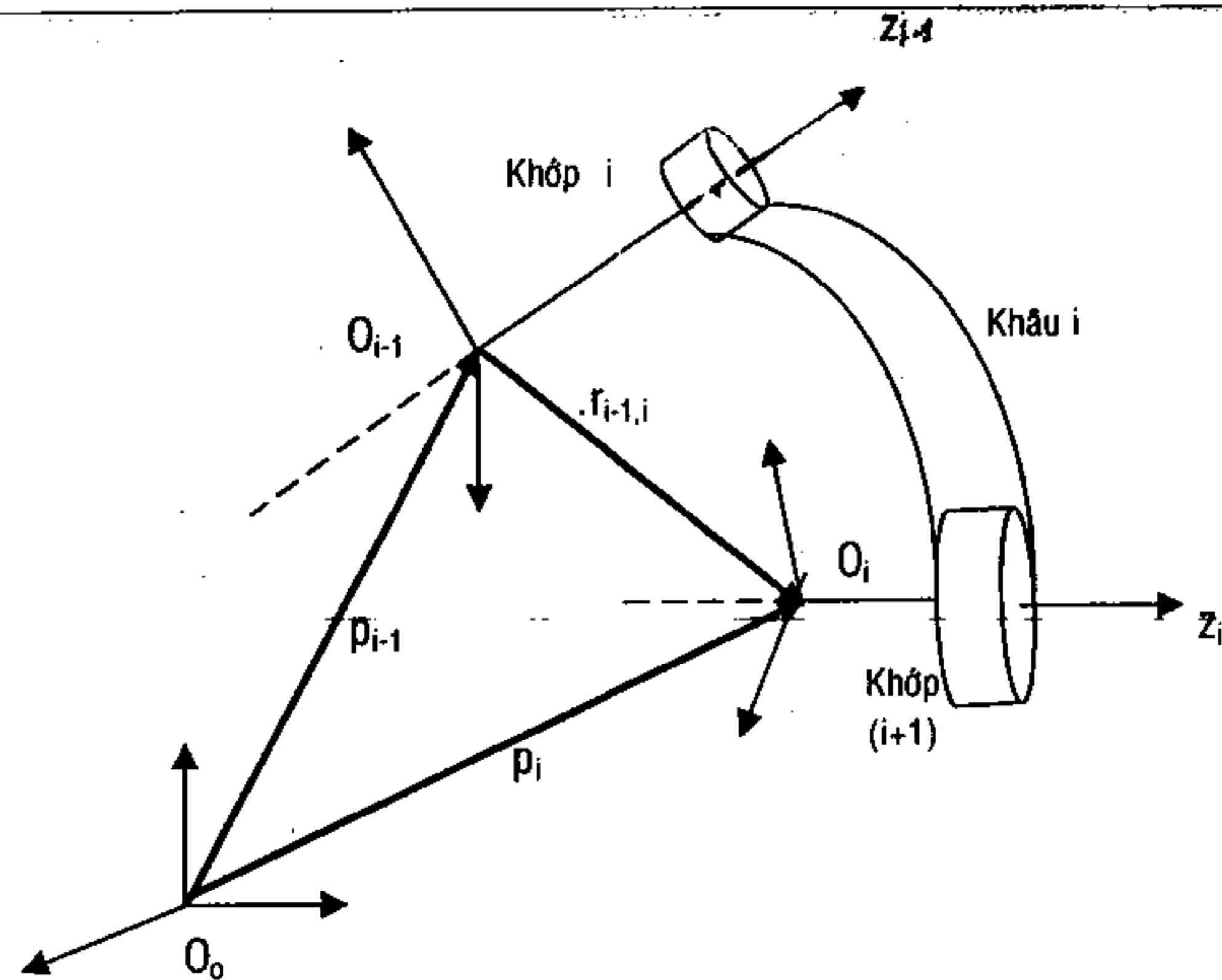
$$J_{16} = \frac{\partial x}{\partial \theta_6} = 0$$

Bằng cách tương tự ta xác định các hàng thứ hai và thứ ba của ma trận J nhờ vào biểu thức của p_y và p_z

Thực hành

Xét khâu i trong chuỗi động hở. Các hệ trục xây dựng trên cơ sở các qui ước **Denavit-Hartenberg**: khâu i được liên kết bởi các khớp i (hệ trục tọa độ $i-1$) và khớp $i+1$ (hệ trục tọa độ i).

(xem trang bên)



Hình 3.19: Mối liên hệ của khâu i trong cơ hệ khảo sát

Trong đó:

O_0 : gốc tọa độ của hệ trục tọa độ cơ sở

O_i và O_{i-1} : gốc tọa độ của hệ trục tọa độ địa phương ứng với khớp $i+1$ và i .

p_{i-1}, p_i : các vectơ xác định vị trí các gốc tọa độ O_{i-1} và O_i đối với hệ trục tọa độ cơ sở O_0 .

$r_{i-1,i}$: vị trí của O_i so với O_{i-1} , viết theo hệ trục tọa độ cơ sở.

$r_{(i-1),i}^{i-1}$: vị trí của hệ trục O_i so với hệ trục O_{i-1} viết theo hệ trục O_{i-1}

Từ phần này trở đi, để tiện theo dõi, ta qui ước rằng các thông số động học không có chỉ số trên đầu là các thông số viết trong hệ trục cơ sở (ví dụ: T_i là ma trận chuyển đổi hệ trục i đối với hệ trục cơ sở, thay cho cách viết 0T_i trước đây).

Xây dựng hàm vận tốc:

Ta có:
$$p_i = p_{i-1} + T_{i-1} \cdot r_{(i-1),i}^{i-1}$$

Lấy đạo hàm hai vế theo thời gian, ta được:

$$\dot{p}_i = \dot{p}_{i-1} + \dot{T}_{i-1} \cdot r_{(i-1),i}^{i-1} + \omega_{i-1} \times T_{i-1} \cdot r_{(i-1),i}^{i-1} \quad (3.78)$$

$$= \dot{p}_{i-1} + V_{(i-1),i} + \omega_{i-1} \times r_{(i-1),i} \quad (3.79)$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + T_{i-1} \omega_{i-1,i}^{i-1} \quad (3.80)$$

$$= \omega_{i-1} + \omega_{i-1,i} \quad (3.81)$$

(a) Đối với khớp tịnh tiến:

Khi hướng của hệ trục i không thay đổi trong quá trình chuyển động của khớp i , ta có:

$$\omega_{i-1,i} = \theta \quad (3.82)$$

$$\text{Vận tốc dài: } V_{i-1,i} = \dot{d}_i \cdot k_{i-1} \quad (3.83)$$

Ở đây, k_{i-1} là vectơ đơn vị của trục z_{i-1} ứng với khớp i . Do đó, các phương trình (3.82) và (3.83) trở thành:

$$\begin{aligned} \omega_i &= \omega_{i-1} \\ \dot{p}_i &= \dot{p}_{i-1} + \dot{d}_i \cdot k_{i-1} + \omega_i \times r_{(i-1),i} \end{aligned} \quad (3.84)$$

(b) Đối với khớp quay:

$$\omega_{i-1,i} = \dot{\gamma}_i \cdot k_{i-1} \quad (3.85)$$

$$V_{i-1,i} = \omega_{i-1,i} \times r_{(i-1),i} \quad (3.86)$$

Do đó, các phương trình (3.78) và (3.79) trở thành:

$$\begin{aligned} \omega_i &= \omega_{i-1} + \dot{\gamma}_i \cdot k_{i-1} \\ \dot{p}_i &= \dot{p}_{i-1} + \omega_{i-1,i} \times r_{(i-1),i} + \omega_i \times r_{(i-1),i} \\ &= \dot{p}_{i-1} + (\omega_{i-1} + \omega_{(i-1),i}) \times r_{(i-1),i} \\ &= \dot{p}_{i-1} + \omega_i \times r_{(i-1),i} \end{aligned}$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \dot{\gamma}_i \cdot k_{i-1} \quad (3.87)$$

$$\dot{p}_i = \dot{p}_{i-1} + \omega_i \times r_{(i-1),i} \quad (3.88)$$

Ma trận Jacobi:

$$J = \begin{bmatrix} J_p \\ J_o \end{bmatrix}, \quad (6 \times n)$$

trong đó:

J_p là các thành phần của chuyển động vi phân tịnh tiến

J_o là các thành phần của chuyển động quay vi phân

Ta có thể chia ma trận $J(6 \times n)$ thành các ma trận cột (3×1) J_{pi} và J_{oi} như sau:

$$J = \begin{bmatrix} J_{p1x} & J_{p2x} & \dots & J_{pnx} \\ J_{p1y} & J_{p2y} & \dots & J_{pny} \\ J_{p1z} & J_{p2z} & \dots & J_{pnz} \\ J_{o1x} & J_{o2x} & \dots & J_{onx} \\ J_{o1y} & J_{o2y} & \dots & J_{ony} \\ J_{o1z} & J_{o2z} & \dots & J_{onz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{p1} & \dots & J_{pn} \\ J_{o1} & \dots & J_{on} \end{bmatrix}$$

Dạng thức kết quả cần xác định sẽ là $\dot{q}_i \cdot J_{pi}$ và $\dot{q}_i \cdot J_{oi}$ tương ứng với các thành phần chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay của khớp thứ i tham gia vào các thành phần vận tốc dài và vận tốc góc của tay gấp (hoặc của khâu đang xét).

Ở đây, θ_i là tọa độ suy rộng tương ứng với khớp i . Nếu khớp i chuyển động tịnh tiến, $\theta_i = d_i$. Nếu khớp i chuyển động quay, $\theta_i = \gamma_i$. Các kí hiệu $\dot{\theta}_i$ là các đạo hàm bậc nhất của biến θ_i .

Bây giờ ta hãy xét sự tham gia của các thành phần vận tốc các khớp vào các thành phần vận tốc dài và vận tốc góc của khâu tác động cuối (hoặc của khâu đang xét). Để đơn giản, từ phần này về sau chúng ta qui ước dùng khái niệm khâu tác động cuối hoặc tay gấp theo nghĩa rộng, nghĩa là khâu bất kỳ trong chuỗi động học đang được chọn để xét.

Sự tham gia của vận tốc các khớp vào vận tốc góc của khâu tác động cuối:

- Nếu khớp i là khớp tịnh tiến, từ (3.82) ta có:

$$\dot{\theta}_i \cdot J_{oi} = 0$$

$$\text{suy ra: } J_{oi} = 0$$

- Nếu khớp i là khớp quay, từ (3.85) ta có:

$$\dot{\theta}_i \cdot J_{oi} = \dot{\gamma}_i \cdot z_{i-1}$$

$$\text{suy ra: } J_{oi} = z_{i-1}$$

Sự tham gia của vận tốc các khớp vào vận tốc dài của tay gấp:

- Nếu khớp i là khớp tịnh tiến, từ (3.83) ta có:

$$\dot{\theta}_i \cdot J_{pi} = \dot{d}_i \cdot z_{i-1}$$

$$\text{suy ra: } J_{pi} = z_{i-1}$$

- Nếu khớp i là khớp quay, trong trường hợp này ta phải xác định sự tham gia của vận tốc góc của khớp i vào thành phần vận tốc dài của tay gấp, do đó ta phải xét trong mối liên hệ với tay gấp. Từ (3.86) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_i \cdot J_{pi} &= \omega_{i-1,i} \times r_{(i-1),n} \\ &= \dot{\gamma}_i \cdot z_{i-1} \times (p - p_{i-1}) \end{aligned}$$

$$\text{suy ra: } J_{pi} = z_{i-1} \times (p - p_{i-1})$$

Tổng quát:

(1) Nếu là khớp tịnh tiến:

$$J = \begin{bmatrix} J_{pi} \\ J_{oi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.89)$$

(2) Nếu là khớp quay:

$$J = \begin{bmatrix} J_{pi} \\ J_{oi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{i-1} \times (p - p_{i-1}) \\ z_{i-1} \end{bmatrix} \quad (3.90)$$

Các phương trình (3.89) và (3.90) cho phép tính các phần tử J_{ij} của ma trận Jacobian trên cơ sở các mối liên hệ động học thuận. Các vectơ thành phần z_{i-1} , p và p_{i-1} , đều là các hàm của các biến khớp (các tọa độ suy rộng tại các khớp) được tính như sau:

z_{i-1} là cột thứ ba trong ${}^0T_{i-1}$ (3x3)

$$\begin{aligned} z_{i-1} &= {}^0T_1(q_1) \cdot {}^1T_2(q_2) \cdots {}^{i-2}T_{i-1}(q_{i-1}) \cdot z_0 \\ z_0 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \end{aligned} \quad (3.91)$$

p chính là ba phần tử đầu tiên trong cột thứ tư của ma trận chuyển đổi ${}^0T_n(4 \times 4)$:

$$\begin{aligned} p &= {}^0T_n \cdot p_0 \\ p &= A^0_1(q_1) \cdot A^1_2(q_2) \cdot \dots \cdot A^{n-1}_n(q_n) \cdot p_0 \\ p_0 &= [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \end{aligned} \quad (3.92)$$

p_{i-1} là ba phần tử đầu tiên trong cột thứ tư của ma trận chuyển đổi ${}^0T_{i-1}$:

$$\begin{aligned} p_{i-1} &= A^0_1(q_1) \cdot A^1_2(q_2) \cdot \dots \cdot A^{i-2}_{i-1}(q_n) \cdot p_0 \\ p_0 &= [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \end{aligned} \quad (3.93)$$

(2) Tính gia tốc

Vận tốc góc và vận tốc dài của khâu i tính theo khâu kế tiếp $(i-1)$ đã được xây dựng ở phần 3.3.1:

$$\omega_i = \begin{cases} \omega_{i-1} & : \text{khớp tịnh tiến} \\ \omega_{i-1} + \gamma'_i \cdot z_{i-1} & : \text{khớp quay} \end{cases} \quad (3.94)$$

$$\quad \quad \quad (3.95)$$

$$p_i = \begin{cases} p_{i-1} + d'_i \cdot z_{i-1} + \omega_{i-1} \times r_{(i-1),i} & : \text{khớp tịnh tiến} \\ p_{i-1} + \omega_i \times r_{(i-1),i} & : \text{khớp quay} \end{cases} \quad (3.96)$$

$$\quad \quad \quad (3.97)$$

Đạo hàm theo thời gian các phương trình vận tốc góc (3.94), (3.95) và vận tốc dài (3.96), (3.97), ta được gia tốc góc và gia tốc dài của các khâu tương ứng:

- **Gia tốc góc đối với khớp tịnh tiến:**

$$\dot{\omega}_i = \dot{\omega}_{i-1}$$

- **Gia tốc góc đối với khớp quay:**

$$\dot{\omega}_i = \dot{\omega}_{i-1} + \gamma''_i \cdot z_{i-1} + \gamma'_i \omega_{i-1} \times z_{i-1}$$

- **Gia tốc dài đối với khớp tịnh tiến:**

$$\ddot{p}_i = \ddot{p}_{i-1} + d''_i \omega_{i-1} \times z_{i-1} + \dot{\omega}_i \times r_{i,i-1} + \omega_i \times \dot{r}_{i-1,i}$$

Mặt khác : $\dot{r}_{i-1,i} = d'_i z_{i-1} + \omega_{i-1} \times r_{i-1,i}$

Do đó: $\ddot{p}_i = \ddot{p}_{i-1} + d''_i \omega_{i-1} \times z_{i-1} + \dot{\omega}_i \times r_{i,i-1} + \omega_i \times d'_i z_{i-1} + \omega_i \times (\omega_{i-1} \times r_{i-1,i})$

Kết hợp với phương trình (3.94) $\omega_i = \omega_{i-1}$ ta được:

$$p''_i = p''_{i-1} + d''_i z_{i-1} + 2d'_i \omega_{i-1} \times z_{i-1} + \omega'_i \times r_{i-1,i} + \omega_i \times (\omega_i \times r_{i-1,i})$$

Tương tự, đối với khớp quay, đạo hàm phương trình (3.97):

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

Ta được:

$$\begin{aligned} p''_i &= p''_{i-1} + \omega'_i \times r_{(i-1),i} + \omega_i \times r'_{(i-1),i} \\ &= p''_{i-1} + \omega'_i \times r_{(i-1),i} + \omega_i \times (d'_i z_{i-1} + \omega_{i-1} \times r_{i-1,i}) \end{aligned}$$

Khớp quay, $d_i = \text{const}$ ($d'_i = 0$), do đó:

$$p''_i = p''_{i-1} + \omega'_i \times r_{(i-1),i} + \omega_i \times (\omega_{i-1} \times r_{i-1,i})$$

Như vậy: $\omega'_i = \begin{cases} \omega'_{i-1} & : \text{khớp tịnh tiến} \\ \omega'_{i-1} + \gamma''_i z_{i-1} + \gamma'_i \omega_{i-1} \times z_{i-1} & : \text{khớp quay} \end{cases}$

$$p''_i = \begin{cases} p''_{i-1} + d''_i z_{i-1} + 2d'_i \omega_{i-1} \times z_{i-1} + \omega'_i \times r_{i-1,i} + \omega_i \times (\omega_i \times r_{i-1,i}) & : \text{khớp tịnh tiến} \\ p''_{i-1} + \omega'_i \times r_{i-1,i} + \omega_i \times (\omega_{i-1} \times r_{i-1,i}) & : \text{khớp quay} \end{cases}$$

(3) Tính gia tốc khối tâm

Như vậy, chúng ta đã tính được gia tốc góc và gia tốc dài của gốc tọa độ O_i của hệ trục địa phương $O_i x_i y_i z_i$ viết trong hệ trục tọa độ cơ sở. Vấn đề đặt ra là tính gia tốc khối tâm C_i của khâu i làm cơ sở để giải bài toán động lực học tay máy.

Về lý thuyết, nếu biết gia tốc góc và gia tốc dài của một điểm bất kỳ trên khâu đang xét (gọi điểm đó là "cực") thì chúng ta hoàn toàn có thể xác định được gia tốc của mọi điểm bất kỳ trên khâu theo biểu thức:

$$\omega'_{\text{xet}} = \omega'_{\text{cực}}$$

$$p''_{\text{xet}} = p''_{\text{cực}} + \omega'_{\text{cực}} \times O_c O_x$$

Trong đó:

$O_c O_x$ là vectơ hướng từ "cực" tới điểm đang xét. Hoặc, có thể tính theo phương pháp khác bằng cách xây dựng một hệ trục "phụ" có gốc tọa độ là C_i , các tọa độ suy rộng tương ứng với hệ trục này

đều bằng “zero”, nghĩa là xem khâu “phụ” gắn chặt vào khâu đang xét:

$$\rho'' C_i = \rho''_i + \omega'_i \times r_{i,Ci} + \omega_i \times (\omega_i \times r_{i,Ci})$$

Trong đó:

- ω_i là vận góc của khâu viết trong hệ trục cơ sở
- ρ'' là gia tốc dài của khâu viết trong hệ trục cơ sở
- $r_{i,Ci}$ là vectơ có gốc là O_i , ngọn là C_i .

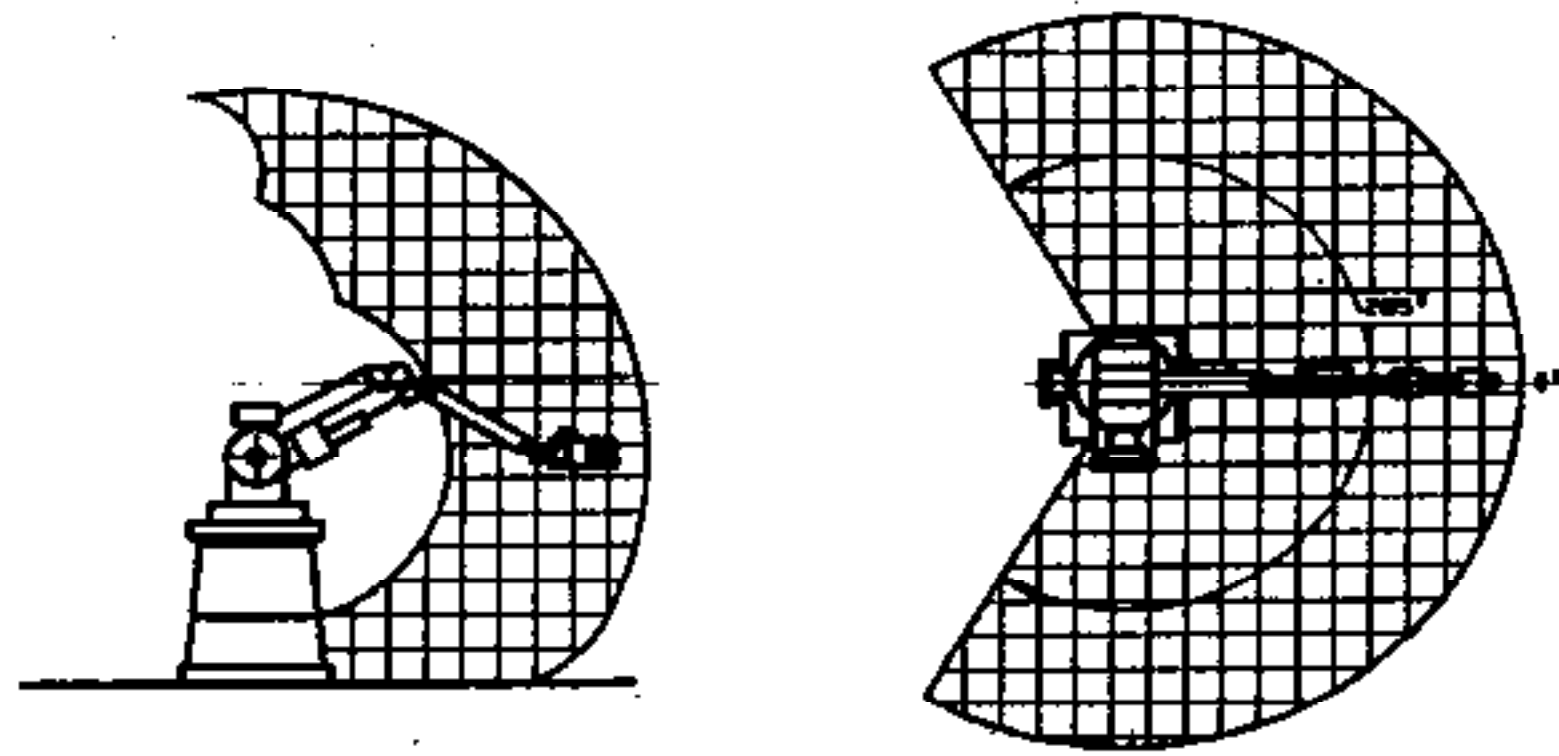
3.8 Không gian làm việc và hệ số phục vụ của tay máy.

3.8.1 Không gian làm việc.

Không gian làm việc của một tay máy hay robot rất đa dạng phụ thuộc vào cấu tạo của chúng. Trong phần phân loại robot theo hình học của không gian hoạt động chúng ta đã đề cập đến vấn đề này. Dạng hình học phức tạp nhất là không gian làm việc của robot liên kết với nhau bằng các khớp bản lề có các trục quay không song song với nhau: trong trường hợp này, không gian làm việc của robot sẽ là phần không gian được giới hạn bởi nhiều mặt cầu giao nhau (xem hình 3.20). Điều cần quan tâm ở đây đối với người thiết kế hoặc người khai thác sử dụng là phải biết các giới hạn hay đường biên của vùng không gian làm việc để bố trí một cách hợp lý vị trí của tay máy hoặc robot với các thiết bị phối hợp thao tác khác trong hệ thống. Những phân tích tiếp theo đây sẽ cho thấy rằng nếu không bố trí một cách hợp lý thì những giới hạn về mặt cấu tạo sẽ làm cho khâu tác động cuối của tay máy không thể phát huy hết tác dụng vốn có của nó.

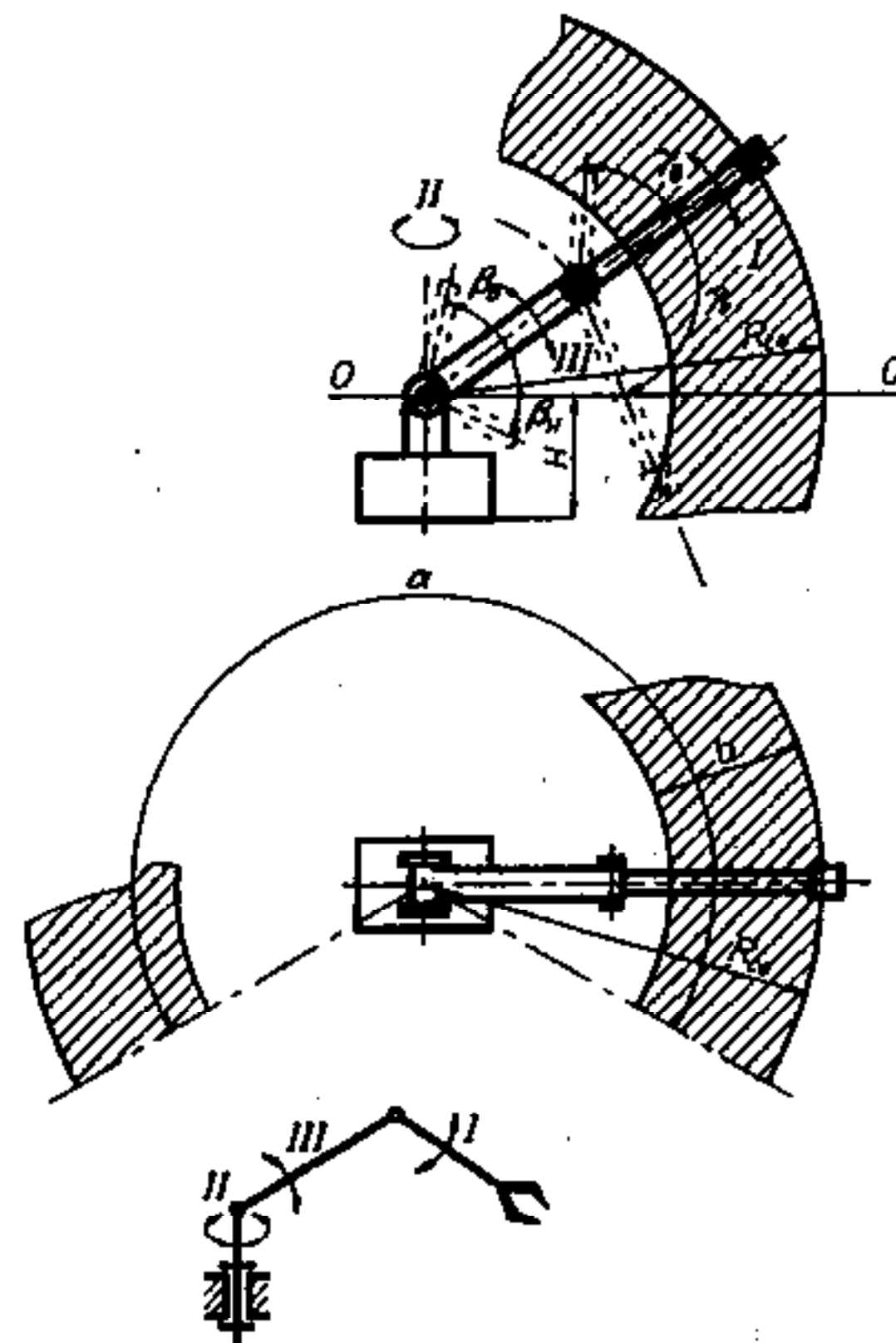
Một điều dễ nhận thấy nhất đối với mọi tay máy là khâu tác động cuối chỉ có thể tiếp cận với đối tượng thao tác nằm ở các vị trí biên của không gian hoạt động theo một hướng duy nhất. Trong khi đó, nếu đối tượng thao tác nằm bên trong vùng không gian hoạt động của tay máy và càng gần vùng trung tâm của vùng không gian này bao nhiêu, thì tay máy có thể tiếp cận đến đối tượng ở nhiều hướng khác nhau bấy nhiêu. Trong trường hợp tay máy có thể tiếp cận với đối tượng thao tác ở nhiều hướng, ta có

khái niệm không gian làm việc có độ dự phòng cao; hiểu một cách khác, trong trường hợp nói trên, nhờ số bậc chuyển động vốn có nhiều lời giải về vị trí và hướng để tiếp cận đến đối tượng thao tác.



Hình 3.20: Sơ đồ mô tả vùng không gian hoạt động của robot PUMA tọa độ cầu.

Rõ ràng là nếu độ dự phòng cao thì tay máy dễ dàng thao tác hơn trên đối tượng. Ta gọi khả năng dự phòng này của tay máy là hệ số phục vụ.



Hình 3.21: Sơ đồ tay máy có không gian hoạt động trong tọa độ hỗn hợp

3.8.2 Hệ số phục vụ

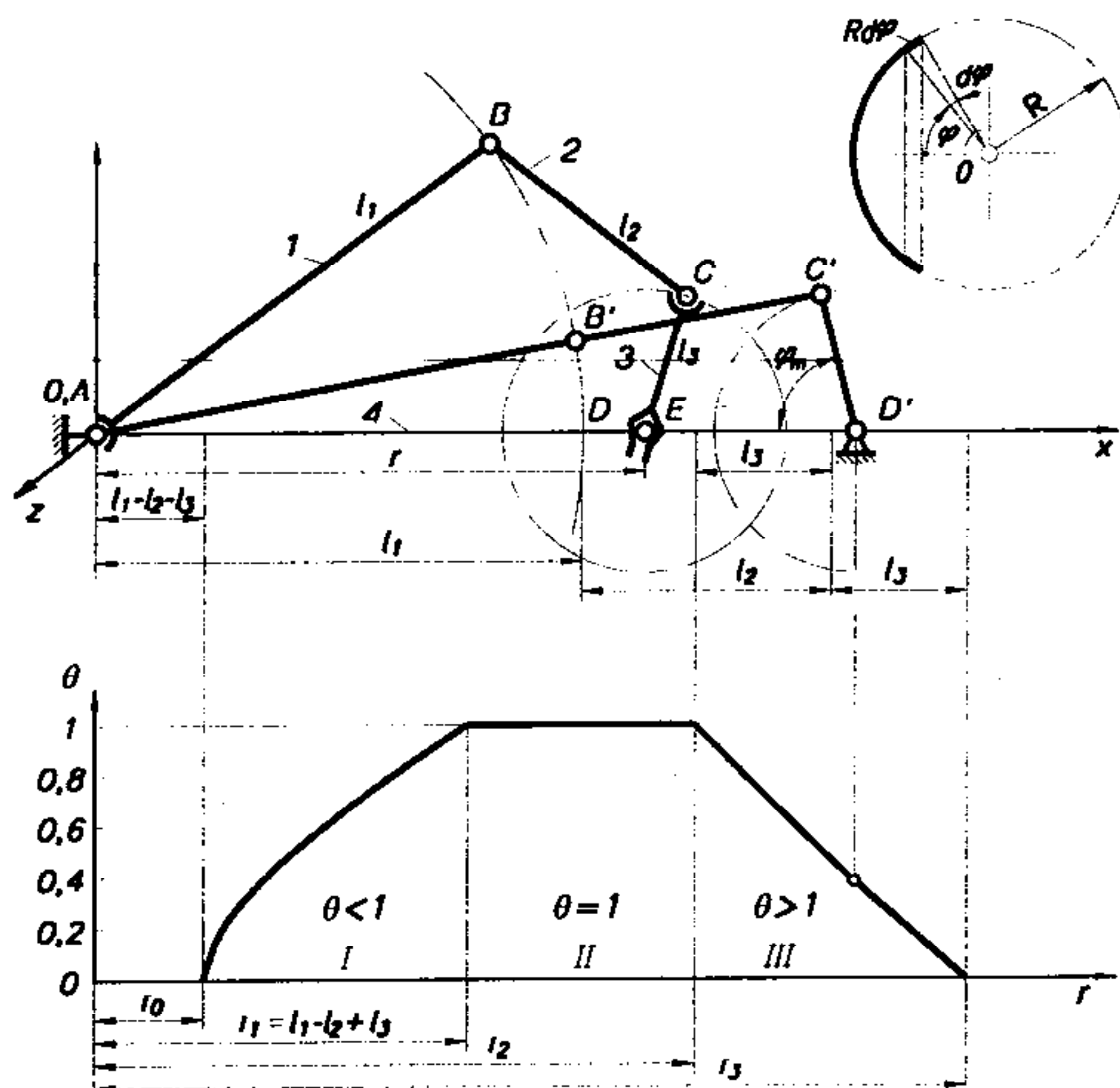
Khác với sơ đồ nguyên lý hoạt động, trong thiết kế và sử dụng robot vào công việc cụ thể người ta quan tâm đến miền không gian thực mà bộ phận chấp hành trên tay máy (tay gấp hoặc dụng cụ) có thể với tới được nhằm mục đích khai thác hợp lý cho công việc sản xuất và là một khái niệm quan trọng đối với robot công nghiệp nói lên khả năng linh hoạt của chúng, ngoài những thông số hình học thể hiện không gian làm việc như đã ở trên. Xét tổng quát một tay máy gồm một chuỗi động không gian hở: ở mỗi điểm trong không gian làm việc tồn tại một giá trị góc Ψ - gọi là góc phục vụ, sao cho trong giới hạn của góc này, tay gấp của robot luôn tiếp cận được với điểm đã nêu. Có thể nhận thấy rằng góc phục vụ được xác định bởi tỉ số giữa diện tích mặt cầu bị cắt ra ở điểm đang xét với bình phương bán kính của hình cầu đó. Do đó giá trị lớn nhất của góc phục vụ $\Psi_{max} = \frac{4\pi r}{r} = 4\pi \text{ rad}$

Quan hệ giữa góc Ψ với giá trị lớn nhất của nó là $\theta = \Psi/4\pi$ được gọi là hệ số phục vụ ở điểm đang xét. Độ lớn của hệ số phục vụ θ có thể thay đổi **từ 0** (đối với những điểm nằm trên biên của vùng không gian làm việc tại đó tay gấp có một và chỉ một phương duỗi thẳng để tiếp cận đến điểm) **đến 1** (đối với những điểm nằm trong vùng không gian làm việc nơi mà tay gấp có thể tiếp cận đến điểm từ những phương tùy ý).

Để xác định giá trị của hệ số phục vụ θ , ta cần phân tích chuyển động các khâu của tay máy khi giả định tay gấp nhận những vị trí "cố định" khác nhau. Có thể minh họa cách xác định θ qua ví dụ của cơ cấu tay máy trên hình 3.26.

Cơ cấu tay máy khảo sát với cấu tạo gồm 2 khớp cầu ở A, C và 1 khớp bản lề ở B. Để xác định góc phục vụ của tay máy ở một điểm E nào đó trong vùng không gian làm việc ta xem cơ cấu tay máy như một cơ cấu bốn khâu không gian có 3 khớp cầu ở A, C và D (D trùng với E) và khớp bản lề ở B. Trước tiên, ta xác định những vị trí có thể thực hiện của khâu CD, chính là tay gấp trong mặt phẳng hình vẽ, sau đó xác định những vị trí của khâu này

trong không gian bằng cách quay cơ cấu bốn khâu ABCD quanh giá AD ($AD=r$) quanh trục O_x của hệ trục tọa độ khảo sát $Oxyz$



Hình 3.22: Ví dụ xác định hệ số phức vụ

Bên trong vùng không gian làm việc là phần không gian mà hệ số phức vụ $\theta = 1$, góc phức vụ $\psi = 4\pi$, điểm C phải đạt được mọi vị trí trong hình cầu tâm D bán kính $DC = l_3$; nói cách khác, điều này thực hiện được khi khâu CD quay được toàn vòng.

Như đã biết ở môn học nguyên lý máy về điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá (tay quay) đối với cơ cấu bốn khâu bản lề thể hiện ở ràng buộc là tổng chiều dài của khâu ngắn nhất và khâu dài nhất phải nhỏ hơn tổng chiều dài của các khâu còn lại. Do đó:

- (1) Nếu khâu l là khâu dài nhất và khâu 3 là khâu ngắn nhất, thì: $l_1 + l_3 \leq r + l_2$, từ đây ta có thể nhận được giới hạn dưới của bán kính vectơ r , với $r_{\min} = r_1 = l_1 - l_2 + l_3$.

- (2) Nếu khâu dài nhất là khâu $AD = r$ và khâu ngắn nhất là khâu 3, thì điều kiện trên sẽ là $r + \ell_3 \leq \ell_1 + \ell_2$, từ đây ta nhận được giới hạn trên của bán kính vectơ r , với $r_{\max} = r_2 = \ell_1 + \ell_2 - \ell_3$.

Trong giới hạn từ r_1 đến r_2 (vùng II) $\theta = 1$;

- (3) Nếu khâu 3 không quay được toàn vòng (ứng với trường hợp khâu 3 không phải là khâu ngắn nhất thì $\theta < \ell$ (ứng với vùng I và III).

Ở những vị trí giới hạn trên biên, khi các khâu 1, 2, 3 nằm trên cùng một trục A_x thì $\theta = 0$, ứng với vị trí khi $r = r_0 = \ell_1 - \ell_2 - \ell_3$ (gập lại hết cỡ) và vị trí $r = r_3 = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3$ (duỗi thẳng hết cỡ).

Tại một điểm bất kỳ trong vùng I hoặc III, chẳng hạn điểm D' , có thể xác định hệ số phục vụ như sau:

Tìm góc quay lớn nhất φ_m của tay quay $C'D'$ khi các khâu AB' và $B'C'$ thẳng hàng, xác định diện tích phần mặt cầu bán kính $R = \ell_3$ và góc $\varphi = \varphi_m$. Có thể nhận thấy rằng phần diện tích vi cấp của mặt cầu $dS = 2\pi R \sin\varphi \, d\varphi \cdot R \, d\varphi$, với $0 \leq \varphi \leq \varphi_m$.

$$S = \int_0^{\varphi_m} 2\pi R^2 \varphi \sin\varphi \, d\varphi = 2R^2(1 - \cos\varphi_m)$$

Trong trường hợp này $R = \ell_3$ và $S = 2\pi\ell_3^2(1 - \cos\varphi_m)$, từ đó ta xác định được hệ số phục vụ của tay máy tại vị trí D'

$$\theta = \frac{\Psi}{4\pi} = \frac{S / \ell_3^2}{4\pi} = \frac{1 - \cos\varphi_m}{2}$$

Trên hình 3.26 thể hiện đồ thị $\theta = \theta(r)$ cho trường hợp cơ cấu có quan hệ kích thước động như trên hình vẽ. Những đồ thị tương tự về sự thay đổi của hệ số phục vụ θ không những chỉ được dùng cho bài toán phân tích động học cơ cấu tay máy có sẵn mà còn rất có ích khi thiết kế sơ đồ động học theo những điều kiện cho trước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] **Phillip John Mc Kerrow**, *Introduction to Robotics*, British Library, England, 1993
- [2] **Ray Asfahl**, *Robots And Manufacturing Automation*, University of Arkansas, Fayetteville, 1989
- [3] **S. Brian Moriss**, *Automated Manufacturing Systems: Actuators, Controls, Sensors, and Robotics*, Glencoe/Mc Graw-Hill, 1995
- [4] **Richard C. Dorf, Robert H. Bishop**, *Modern Control Systems*, 7th edition, Addison Wesley, 1995
- [5] **E. P. Popov, E. I. Yurlevich**, *Robotics*, Mir Publishers, Moscow, 1987
- [6] **S. L. Zienkievich, A. S. Yousenko**, *Oupravlenie Robotami*, Izdatelstvo MGTU imeni Baumana, Moscow, 2000
- [7] **Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark**, *Computer Controlled Systems*, Prentice/Hall International, Inc., 1984
- [8] **M. Vidyasagar**, *Intelligent Robotics*, Proceedings of the International Symposium on Intelligent Robotics, 1/1993, Bangalore, Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi
- [10] **Douglas R. Malcolm, Jr.**, *Robotics an Introdtion*, 2nd Edition, PWS-KENT Publishing Company, Boston, Massachusetts, 1992
- [11] **Andrew C. Staugaard, Jr.**, *Robotics and AI, an introdtion to applied machine intelligence*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987
- [12] **James S. Albus**, *Brains, Behavior, and Robotics*, BYTE Books, McGraw-Hill, 1981
- [13] **Wesley E. Snyder**, *Industrial Robots, Computer Interfacing and Control*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985
- [14] **Nguyễn Thương Ngô**, *Lý thuyết điều khiển tự động hiện đại*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1999

TS.LÊ HOÀI QUỐC
KS.CHUNG TẤN LÂM

Nhập Môn

ROBOT CÔNG NGHIỆP

<i>Chịu trách nhiệm xuất bản</i>	: GS.TS.TÔ ĐĂNG HẢI
<i>Biên tập</i>	: QUANG TRUNG
<i>Phụ biên tập</i>	: LÊ HỒNG CHÂU
<i>Sửa bài</i>	: TS. LÊ HOÀI QUỐC
<i>Trình bày</i>	: CHUNG TẤN LÂM
<i>Bìa</i>	: THUY VŨ

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội
CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
28 Đồng Khởi và 12 Hồ Huân Nghiệp, Q.1 – TP.Hồ Chí Minh
ĐT : 8225062 – 8290228 - 8296628

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

- Kể từ robot công nghiệp đầu tiên mang tên Versatran của công ty AMF (American Machine Foundry) ra đời vào đầu thập niên 60 của thế kỷ XX, cho đến nay, các dạng robot tự thích nghi, có khả năng tự học, đủ thông minh để tự giải quyết những nhiệm vụ mà con người đặt ra cho nó trong điều kiện thay đổi của môi trường hoạt động xung quanh dựa trên lô-gíc tiến hóa, kỹ thuật robot đã có những bước tiến rất lớn để đạt tới khả năng tạo ra một thế hệ robotsapien. Ngày nay, robot ngày càng có vai trò quan trọng trong sản xuất công nghiệp, đặc biệt trong các hệ thống sản xuất linh hoạt (FMS - Flexible Manufacturing Systems) và hệ thống sản xuất tích hợp máy tính (CIM - Computer Integrated Manufacturing).

- Ngày nay, ở rất nhiều nước, robot phát triển không chỉ theo hướng phục vụ sản xuất công nghiệp mà còn theo hướng phục vụ trong sinh hoạt và giải trí trong gia đình. Robot gia đình hay robot cá nhân được phát triển nhằm thay thế giúp việc nhà. Khi thiết kế các loại robot này, các nhà thiết kế đã thêm vào các cảm biến cảm nhận, các giải thuật điều khiển thích nghi và fuzzy logic với mục đích để robot thực hiện được nhiều nhiệm vụ đa dạng và khác nhau trong gia đình như là giặt quần áo, lau nhà, cắt cỏ,... Đặc biệt là chúng xuất hiện ngày càng nhiều hơn trong lĩnh vực giải trí.

- Các tác giả và Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật giới thiệu với bạn đọc một bộ sách để cập đến những vấn đề cốt lõi nhất về robot công nghiệp nhằm đáp ứng yêu cầu học tập và nghiên cứu của sinh viên ngành cơ khí tự động hóa và kỹ thuật điều khiển ở các trường đại học. Bộ sách gồm 2 tập :

Tập I – **Nhập Môn Robot Công Nghiệp** : để cập những nội dung tổng quan về robot, cấu tạo chung của robot công nghiệp và những bài toán động học tay máy.

Tập II – **Điều Khiển Robot Công Nghiệp** : để cập bài toán động lực học tay máy, những vấn đề liên quan đến robot lập trình được, cảm biến trang bị trên robot và mở đầu về ứng dụng trí tuệ nhân tạo trên robot, đặc biệt là trang bị trên robot di động.

- Đây là tập I của bộ sách, còn tập II sẽ được xuất bản trong một vài tháng sắp tới.

206175



* 2 0 0 7 D V L 2 9 6 1 *

8 "935048"961759"

Giá: 26.000đ