

PGS. TS. ĐÀO VĂN HIỆP

KỸ THUẬT ROBOT

(Giáo trình dùng cho sinh viên đại học khối kỹ thuật)

In lần thứ nhất



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI 2003

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	6
CHƯƠNG 1: CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ PHÂN LOẠI ROBOT	7
1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ PHÂN LOẠI ROBOT	7
1.1.1. Robot và Robotics	7
1.1.2. Robot công nghiệp (RBCN)	9
1.2. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA RBCN	10
1.2.1. Kết cấu chung	10
1.2.2. Kết cấu của tay máy	12
1.3. PHÂN LOẠI ROBOT	15
1.3.1. Phân loại theo kết cấu	15
1.3.2. Phân loại theo điều khiển	15
1.3.3. Phân loại theo ứng dụng	16
CHƯƠNG 2: ĐỘNG HỌC TAY MÁY	18
2.1. VỊ TRÍ VÀ HƯỚNG CỦA VẬT RẮN TRONG KHÔNG GIAN	18
2.1.1. Hệ tọa độ vật	18
2.1.2. Ma trận quay	19
2.1.3. Quay một vector	21
2.2. QUAY MỘT VECTOR QUANH MỘT TRỤC BẤT KỲ	23
2.2.1. Tổng hợp các ma trận quay	23
2.2.2. Phép quay quanh trục bất kỳ	25
2.2.3. Mô tả tối thiểu của hướng	27
2.3. PHÉP CHUYỂN ĐỔI THUẬN NHẤT	30
2.4. BÀI TOÁN THUẬN CỦA ĐỘNG HỌC TAY MÁY	33
2.4.1. Mô tả quy tắc <i>Denavit-Hartenberg</i>	34
2.4.2. Một số ví dụ áp dụng quy tắc <i>Denavit-Hartenberg</i>	37
2.4.3. Vùng hoạt động của phân công tác	39
2.5. BÀI TOÁN NGƯỢC CỦA ĐỘNG HỌC TAY MÁY	41
2.5.1. Cơ cấu 3 khâu phẳng	42
2.5.2. Cơ cấu cầu	43
2.6. BÀI TOÁN VẬN TỐC	44
2.6.1. <i>Jacobian</i> hình học	44
2.6.2. <i>Jacobian</i> giải tích	46
CHƯƠNG 3: ĐỘNG LỰC HỌC TAY MÁY	47
3.1. PHƯƠNG PHÁP <i>LAGRANGE</i>	47
3.1.1. Cơ sở chung	47
3.1.2. Tính động năng	49
3.1.3. Tính thế năng	51
3.1.4. Phân tích ý nghĩa cơ học của mô hình <i>Lagrange</i>	51
3.2. PHƯƠNG PHÁP <i>NEWTON-EULER</i>	52
3.2.1. Mô hình động lực học	52
3.2.2. Tính gia tốc của khâu	54
CHƯƠNG 4: CƠ SỞ ĐIỀU KHIỂN ROBOT	56
4.1. THIẾT KẾ QUỸ ĐẠO	56
4.1.1. Quỹ đạo trong không gian khớp	57
4.1.2. Quỹ đạo trong không gian công tác	67
4.2. ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG	74
4.2.1. Điều khiển trong không gian khớp	76
4.2.2. Điều khiển độc lập	79
4.2.3. Điều khiển tập trung	87
4.2.4. Điều khiển trong không gian công tác	93
CHƯƠNG 5: CƠ SỞ THIẾT KẾ VÀ LỰA CHỌN ROBOT	98

5.1. CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA RBCN.....	98
5.1.1. Sức nâng của tay máy.....	98
5.1.2. Số bậc tự do của phân công tác.....	99
5.1.3. Vùng công tác.....	100
5.1.4. Độ chính xác định vị.....	101
5.1.5. Tốc độ dịch chuyển.....	102
5.1.6. Đặc tính của hệ điều khiển.....	103
5.2. THIẾT KẾ VÀ TỔ HỢP ROBOT.....	104
5.2.1. Các nguyên tắc chung.....	104
5.2.2. Các công việc phải tiến hành khi thiết kế robot.....	106
5.2.3. Thiết kế robot theo phương pháp tổ hợp modul.....	107
5.3. MỘT SỐ KẾT CẤU ĐIỂN HÌNH CỦA ROBOT.....	111
5.3.1. Robot cố định trên nền, dùng hệ tọa độ Đê-các và tọa độ trụ.....	111
5.3.2. Robot cố định trên nền, dùng hệ tọa độ cầu.....	115
5.3.3. Robot treo.....	117
5.3.4. Robot có điều khiển thích nghi.....	118
5.4. CƠ CẤU TAY KÉP.....	120
5.4.1. Khái niệm và phân loại tay kẹp.....	120
5.4.2. Kết cấu của tay kẹp.....	121
5.4.3. Phương pháp tính toán tay kẹp.....	129
CHƯƠNG 6: HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ROBOT.....	136
6.1. HỆ THỐNG CHẤP HÀNH.....	136
6.1.1. Truyền dẫn cơ khí.....	137
6.1.2. Động cơ.....	138
6.1.3. Khuyếch đại công suất.....	140
6.1.3. Nguồn cung cấp chính.....	141
6.2. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ SERVO.....	141
6.2.1. Điều khiển động cơ điện.....	141
6.2.2. Điều khiển động cơ thủy lực.....	144
6.3. HỆ THỐNG CẢM BIẾN.....	146
6.3.1. Khái niệm và phân loại cảm biến.....	146
6.3.2. Nguyên lý làm việc của một số loại sensor.....	148
6.4. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN.....	157
6.4.1. Kiến trúc chức năng.....	157
6.4.2. Môi trường lập trình.....	159
6.4.3. Cấu trúc phần cứng.....	161
CHƯƠNG 7: SỬ DỤNG ROBOT CÔNG NGHIỆP.....	167
7.1. CÁC LĨNH VỰC ỨNG DỤNG ĐIỂN HÌNH CỦA RBCN.....	167
7.2. CÁC HỆ THỐNG SẢN XUẤT CÓ SỬ DỤNG RBCN.....	167
7.2.1. Robot hoá các thiết bị công nghệ.....	167
7.2.2. Robot hoá các tế bào sản xuất.....	172
7.2.3. Robot hoá hệ thống sản xuất.....	175
7.2.4. Robot trong sản xuất linh hoạt.....	176
7.3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KINH TẾ KHI SỬ DỤNG RBCN.....	181
7.3.1. Xác định nhu cầu sử dụng robot.....	181
7.3.2. Tính toán hiệu quả kinh tế khi sử dụng RBCN.....	182
PHỤ LỤC: HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TUYẾN TÍNH.....	184
P1. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG.....	184
P1.1. Mô tả hệ thống thủy lực.....	185
P1.2. Mô tả hệ thống dao động có lực cản.....	186
P2. HÀM TRUYỀN VÀ SƠ ĐỒ KHỐI.....	189
P2.1. Hàm truyền.....	189
P2.2. Sơ đồ khối.....	190
P3. BIẾN ĐỔI LAPLACE.....	192

P4. TÁC ĐỘNG ĐIỀU KHIỂN	194
P4.1. Điều khiển tỷ lệ	194
P4.2. Điều khiển tích phân	195
P4.3. Điều khiển vi phân	195
P4.4. Điều khiển đóng mở	196
P4.5. Điều khiển kết hợp	196
P4.6. Ví dụ về tác động điều khiển	197
P5. PHÂN TÍCH HỆ THỐNG	199
P5.1. Tính ổn định của hệ thống	199
P5.2. Trạng thái xác lập	200
P5.3. Trạng thái quá độ	201
TÀI LIỆU THAM KHẢO	202
BẢNG TRA CỨU	203

LỜI NÓI ĐẦU

Vào đầu thế kỷ trước, ý tưởng đầu tiên về Robot xuất hiện, thể hiện ước mơ cháy bỏng của con người là tạo ra những người máy để thay thế mình trong những công việc nặng nhọc, nhàm chán, nguy hiểm. Vào khoảng năm 1940, mẫu Robot đầu tiên ra đời tại phòng thí nghiệm quốc gia Oak Ridge và Argonne của Mỹ, để vận chuyển các hoạt chất phóng xạ [7]. Đến thập kỷ 80 trên thế giới đã có tới 40 nghìn Robot thuộc 500 kiểu, do 200 hãng tham gia sản xuất [2]. Ngày nay Robot được sử dụng rộng rãi trong sản xuất, nghiên cứu khoa học và đời sống. Đó là thiết bị không thể thiếu được trên các hệ thống sản xuất, đặc biệt là các hệ thống sản xuất linh hoạt. Robot ngày càng khéo léo và thông minh, được coi là sản phẩm điển hình của một ngành kỹ thuật mới: ngành cơ-điện tử (Mechatronics).

Cho đến nay, hầu hết các trường đại học kỹ thuật ở Việt nam đã đưa môn Robot công nghiệp vào chương trình chính khóa. Môn học này được giảng dạy chủ yếu cho các chuyên ngành cơ khí, song các khía cạnh riêng biệt của kỹ thuật robot, như kỹ thuật điều khiển, lập trình, mô phỏng cũng được các ngành khác rất quan tâm.

Trong bối cảnh đó, chúng tôi biên soạn tài liệu này để đáp ứng nhu cầu giảng dạy và học tập môn Robot công nghiệp trong các trường đại học. Một số nội dung trong tài liệu cũng có thể phục vụ cho các môn học liên quan, như "Tự động hóa hệ thống sản xuất", "Công nghệ sản xuất linh hoạt", "Điều khiển hệ thống sản xuất nhờ máy tính", ...

Nội dung chủ yếu của tài liệu hướng vào lựa chọn, khai thác và sử dụng Robot trong công nghiệp. Tài liệu gồm 7 chương, hình thành 3 mảng kiến thức chính: nền tảng cơ học và cơ khí trong kết cấu tay máy (các chương 2, 3 và 5); điều khiển Robot (chương 6) và ứng dụng Robot (chương 7). Tuy nhiên, sự phân chia này là tương đối, vì không thể phân tách rạch ròi giữa cơ học và kết cấu, cơ khí và điều khiển. Chương 4 được hình thành như cầu nối giữa cơ khí và điều khiển. Ngoài ra, phần phụ lục sẽ giúp bạn đọc tiện ôn lại các kiến thức liên quan về điều khiển tuyến tính, một vấn đề được đề cập nhiều trong tài liệu.

Mặc dù đã được kiểm tra cẩn thận nhưng tài liệu chắc còn nhiều sai sót. Chúng tôi chân thành mong muốn nhận được và hết sức cảm ơn mọi góp ý của độc giả.

Các ý kiến đóng góp xin gửi về Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội

Hà Nội tháng 1 năm 2003

Tác Giả

Chương 1

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ PHÂN LOẠI ROBOT

1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ PHÂN LOẠI ROBOT

1.1.1. Robot và Robotics

Từ thời cổ xưa, con người đã mong muốn tạo ra những vật giống như mình để bắt chúng phục vụ cho bản thân mình. Ví dụ, trong kho thần thoại Hy Lạp có chuyện người khổng lồ Prometheus đúc ra con người từ đất sét và truyền cho họ sự sống, hoặc chuyện tên nô lệ Talus khổng lồ được làm bằng đồng và được giao nhiệm vụ bảo vệ hoang đảo Crete.

Đến năm 1921, từ "*Robot*" xuất hiện lần đầu trong vở kịch "*Rossum's Universal Robots*" của nhà viết kịch viễn tưởng người Sec, Karel Čapek. Trong vở kịch này, ông dùng từ "*Robot*", biến thể của từ gốc Slavơ "*Rabota*", để gọi một thiết bị - lao công do con người (nhân vật Rossum) tạo ra.

Vào những năm 40 nhà văn viễn tưởng Nga, Issac Asimov, mô tả robot là một chiếc máy tự động, mang diện mạo của con người, được điều khiển bằng một hệ thần kinh khả trình *Positron*, do chính con người lập trình. Asimov cũng đặt tên cho ngành khoa học nghiên cứu về robot là *Robotics*, trong đó có 3 nguyên tắc cơ bản:

1. Robot không được xúc phạm con người và không gây tổn hại cho con người.
2. Hoạt động của robot phải tuân theo các quy tắc do con người đặt ra. Các quy tắc này không được vi phạm nguyên tắc thứ nhất.
3. Một robot cần phải bảo vệ sự sống của mình, nhưng không được vi phạm 2 nguyên tắc trước.

Các nguyên tắc trên sau này trở thành nền tảng cho việc thiết kế robot.

Từ sự hư cấu của khoa học viễn tưởng, robot dần dần được giới kỹ thuật hình dung như những chiếc máy đặc biệt, được con người phỏng tác theo cấu tạo và hoạt động của chính mình, dùng để thay thế mình trong một số công việc xác định.

Để hoàn thành nhiệm vụ đó, robot cần có khả năng *cảm nhận* các thông số trạng thái của môi trường và tiến hành các *hoạt động* tương tự con người.

Khả năng hoạt động của robot được đảm bảo bởi *hệ thống cơ khí*, gồm cơ cấu vận động để đi lại và cơ cấu hành động để có thể làm việc. Việc thiết kế và chế tạo hệ thống này thuộc lĩnh vực khoa học về cơ cấu truyền động, chấp hành và vật liệu cơ khí.

Chức năng cảm nhận, gồm thu nhận tín hiệu về trạng thái môi trường và trạng thái của bản thân hệ thống, do các cảm biến (*sensor*) và các thiết bị liên quan thực hiện. Hệ thống này được gọi là hệ thống thu nhận và xử lý tín hiệu, hay đơn giản là *hệ thống cảm biến*.

Muốn phối hợp hoạt động của hai hệ thống trên, đảm bảo cho robot có thể tự điều chỉnh "hành vi" của mình và hoạt động theo đúng chức năng quy định trong điều kiện môi trường thay đổi, trong robot phải có *hệ thống điều khiển*. Xây dựng các hệ thống điều khiển thuộc phạm vi điện tử, kỹ thuật điều khiển và công nghệ thông tin.

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

Từ hiểu biết sơ bộ về chức năng và kết cấu của robot, chúng ta hiểu, *Robotics* là một khoa học liên ngành, gồm cơ khí, điện tử, kỹ thuật điều khiển và công nghệ thông tin. Theo thuật ngữ hiện nay, robot là sản phẩm của ngành cơ - điện tử (*Mechatronics*).

Khía cạnh nhân văn và khía cạnh khoa học - kỹ thuật của việc sản sinh ra robot thống nhất ở một điểm: thực hiện hoài bão của con người, là tạo ra thiết bị thay thế mình trong những hoạt động không thích hợp với mình, như:

- Các công việc lặp đi lặp lại, nhàm chán, nặng nhọc: vận chuyển nguyên vật liệu, lắp ráp, lau chùi nhà,...

- Trong môi trường khắc nghiệt hoặc nguy hiểm: như ngoài không gian vũ trụ, trên chiến trường, dưới nước sâu, trong lòng đất, nơi có phóng xạ, nhiệt độ cao,...

- Những việc đòi hỏi độ chính xác cao, như thông tắc mạch máu hoặc các ống dẫn trong cơ thể, lắp ráp các cấu tử trong vi mạch,...

Lĩnh vực ứng dụng của robot rất rộng và ngày càng được mở rộng thêm. Ngày nay, khái niệm về robot đã mở rộng hơn khái niệm nguyên thủy rất nhiều. Sự phỏng tác về kết cấu, chức năng, dáng vẻ của con người là cần thiết nhưng không còn ngự trị trong kỹ thuật robot nữa. Kết cấu của nhiều "con" robot khác xa với kết cấu các bộ phận của cơ thể người và chúng cũng có thể thực hiện được những việc vượt xa khả năng của con người.

1.1.2. Robot công nghiệp (RBCN)

Mặc dù, như định nghĩa chung về robot đã nêu, không có gì giới hạn phạm vi ứng dụng của robot, nhưng có một thực tế là hầu hết robot hiện đang có đều được dùng trong công nghiệp. Chúng có đặc điểm riêng về kết cấu, chức năng, đã được thống nhất hoá, thương mại hoá rộng rãi. Lớp robot này được gọi là *Robot công nghiệp (Industrial Robot - IR)*^{*}.

Kỹ thuật tự động hoá (TĐH) trong công nghiệp đã đạt tới trình độ rất cao: không chỉ TĐH các quá trình vật lý mà cả các quá trình xử lý thông tin. Vì vậy, TĐH trong công nghiệp tích hợp công nghệ sản xuất, kỹ thuật điện, điện tử, kỹ thuật điều khiển tự động trong đó có TĐH nhờ máy tính.

Hiện nay, trong công nghiệp tồn tại 3 dạng TĐH:

- TĐH cứng (*Fixed Automation*) được hình thành dưới dạng các thiết bị hoặc dây chuyền chuyên môn hoá theo đối tượng (sản phẩm). Nó được ứng dụng có hiệu quả trong điều kiện sản xuất hàng khối với sản lượng rất lớn các sản phẩm cùng loại.

- TĐH khả trình (*Programmable Automation*) được ứng dụng chủ yếu trong sản xuất loạt nhỏ, loạt vừa, đáp ứng phần lớn nhu cầu sản phẩm công nghiệp. Hệ thống thiết bị dạng này là các thiết bị vạn năng điều khiển số, cho phép dễ dàng lập trình lại để có thể thay đổi chủng loại (tức là thay đổi quy trình công nghệ sản xuất) sản phẩm.

- TĐH linh hoạt (*Flexible Automation*) là dạng phát triển của TĐH khả trình. Nó tích hợp công nghệ sản xuất với kỹ thuật điều khiển bằng máy tính, cho phép thay đổi đối tượng sản xuất mà không cần (hoặc hạn chế) sự can thiệp của con người. TĐH linh hoạt được biểu hiện dưới 2 dạng: tế

^{*} Do tính phổ dụng của RBCN mà có tình trạng đồng nhất Robot với RBCN.

bào sản xuất linh hoạt (*Flexible Manufacturing Cell - FMC*) và hệ thống sản xuất linh hoạt (*Flexible Manufacturing System - FMS*).

RBCN có 2 đặc trưng cơ bản:

- Là thiết bị vạn năng, được TĐH theo chương trình và có thể lập trình lại để đáp ứng một cách linh hoạt, khéo léo các nhiệm vụ khác nhau.

- Được ứng dụng trong những trường hợp mang tính công nghiệp đặc trưng, như vận chuyển và xếp dỡ nguyên vật liệu, lắp ráp, đo lường....

Vì thể hiện 2 đặc trưng cơ bản trên của RBCN, hiện nay định nghĩa sau đây về robot công nghiệp do Viện nghiên cứu robot của Mỹ đề xuất được sử dụng rộng rãi:

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

Ngoài các ý trên, định nghĩa trong GOST 25686-85 còn bổ sung cho RBCN chức năng *điều khiển* trong quá trình sản xuất:

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

Chức năng *vận động* bao gồm các hoạt động "cơ bắp" như vận chuyển, định hướng, xếp đặt, gá kẹp, lắp ráp,... đối tượng. Chức năng *điều khiển* ám chỉ vai trò của robot như một phương tiện điều hành sản xuất, như cung cấp dụng cụ và vật liệu, phân loại và phân phối sản phẩm, duy trì nhịp sản xuất và thậm chí cả điều khiển các thiết bị liên quan.

Với đặc điểm có thể lập trình lại, RBCN là thiết bị TĐH khả trình và ngày càng trở thành bộ phận không thể thiếu được của các tế bào hoặc hệ thống sản xuất linh hoạt.

1.2. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA RBCN

1.2.1. Kết cấu chung

Một RBCN được cấu thành bởi các hệ thống sau (hình 1.1):