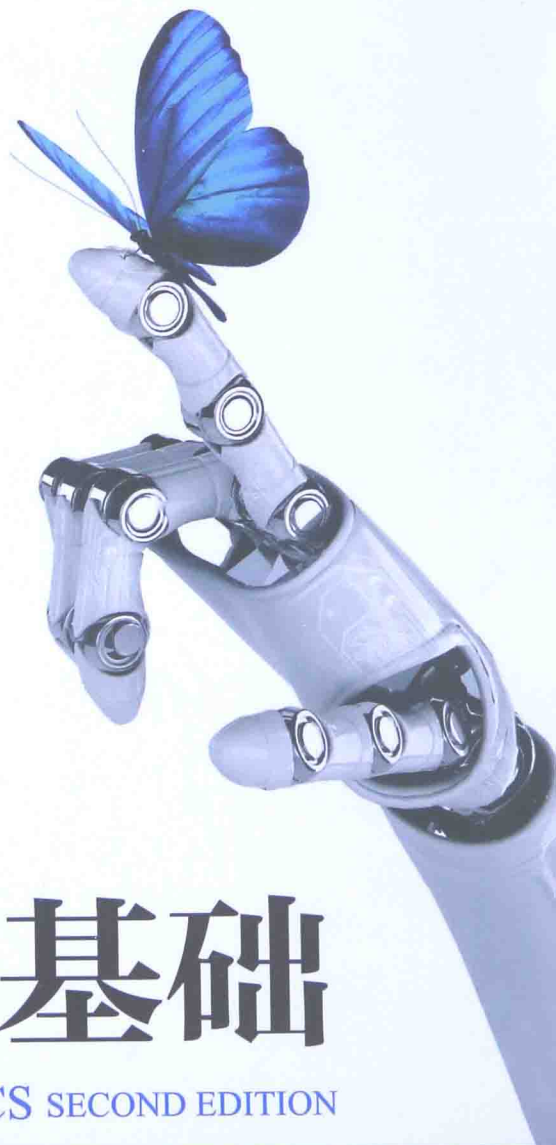


国家级“智能科学基础系列课程教学团队”机器人学课程配套教材
相关教材曾获全国普通高校优秀教材一等奖



第2版

机器人学基础

FUNDAMENTALS OF ROBOTICS SECOND EDITION

蔡自兴 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

智能

国家级“智能科学基础系列课程教学团队”机器人学课程配套教材
相关教材曾获全国普通高校优秀教材一等奖



第2版

机器人学基础

FUNDAMENTALS OF ROBOTICS SECOND EDITION

蔡自兴 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人学基础 / 蔡自兴等编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2015.3
(智能系统与技术丛书)

ISBN 978-7-111-49346-4

I. 机… II. 蔡… III. 机器人学—高等学校—教材 IV. TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 029654 号

本书是一部比较系统和全面的机器人学导论性著作, 主要介绍机器人学的基本原理及其应用, 并反映了国内外机器人学研究和应用的最新进展。全书共 10 章, 主要内容包括: 机器人学的起源与发展、机器人学的数理基础、机器人运动学的表示与求解、机器人动力学方程、机器人的控制原则和控制方法、机器人传感器、机器人轨迹规划、机器人编程、机器人的应用和展望等。

本书特别适合作为高校本科生的机器人学教材, 也适合从事机器人学研究、开发和应用的科技人员参考。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 李 燕

责任校对: 董纪丽

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

版 次: 2015 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 13.75

书 号: ISBN 978-7-111-49346-4

定 价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

FORWORD

代 序

机器人学——自动化的辉煌篇章[⊖]

现代自动控制技术的进步，为科学研究和探测工作开辟了新的可能性，开拓了靠人力所不能胜任的新科学事业。20世纪90年代实现了6000米到10000米深海探测，实现了对太阳系的金星、火星、木星及一些卫星和彗星的探测。哈勃空间望远镜的轨道运行给天文学家研究宇宙提供了前所未有的工具和机会。1997年美国科学家研制的探路者号（Pathfinder）小车胜利地完成了火星表面的实地探测，是20世纪自动化技术最高成就之一。

机器人学的进步和应用是20世纪自动控制最有说服力的成就，是当代最高意义上的自动化。仅仅花了20年，机器人从爬行学会了两腿走路，成为直立机器人，而人类从爬行到直立花了上百万年。机器人已能用手使用工具，能看、听、用多种语言说话。它安心可靠地干最脏最累的活。据估计，现在全世界已有近100万个机器人在生产线上工作。有近万家工厂在生产机器人，销售额每年增长20%以上。机器人们正雄心勃勃，准备在21世纪进入服务业，当出租车司机，到医院里去当护士，到家庭去照顾老人，到银行里去当出纳。

如果微电子学再进一步，就可以把IBM/6000SP挤进它的脑袋里，运行Deep Blue软件，像1997年5月击败世界冠军Gary Kasparov那样，使世界象棋大师们望而生畏。Lsaac Asimov曾设想“机器人有数学天才，能心算三重积分，做张量分析题目如同吃点心一样”，这些已不难做到。

20世纪60年代出现过的恐惧以及反对自动化和机器人的社会心态已被证明是没有根据的。今天，一些应用机器人最多的国家失业率并没有明显升高，即使有，也没有人指责控制论科学家和工程师，那是金融家和政治家的过错。相反，智能技术广泛进入社会，有利于提高人民生活质量，提高劳动生产率，提高全社会的文化素质，创造更多的就业

⊖ 这是国际自动控制联合会第十四届世界大会主席、全国政协副主席、中国工程院院长宋健院士在大会开幕式上所做学术报告《智能控制——超越世纪的目标》（1999年7月5日，北京）的中译文摘录。

机会。

站在进入 21 世纪的门槛，回顾人类文明进步的近代史，如果说 19 世纪实现了社会体力劳动机械化，延伸了人的体力，那么 20 世纪的主要特征是实现了劳动生产自动化，极大地提高了社会劳动生产率，创造了比过去任何时期都多得多的社会财富，彻底改变了人类的生产和生活方式，提高了人们的生活质量，延长了人类的平均寿命。这完全是现代科学技术的功劳。我们可以感到骄傲的是，控制论科学家和工程师们为此做出了重要贡献。预计 21 世纪，自动化技术仍将是高技术前沿，继续是推进新技术革命的核心力量。制造业和服务业仍然是它取得辉煌成就的主要领域。

在生命科学和人工智能的推动下，控制理论和自动化领域出现了提高控制系统智能的强大趋势。1992 年成立了一个新学术团体——国际智能自动化联合会（International Federation on Intelligent Automation, IFIA），标志着智能控制研究已进入了科学前沿。对这门新学科今后的发展方向和道路已经取得了一些共识，可以列举以下诸点：

第一，研究和模仿人类智能是智能控制的最高目标。所以，人们把能自动识别和记忆信号（图像、语言、文字）、会学习、能推理、有自动决策能力的自动控制系统称为智能控制系统。

第二，智能控制必须靠多学科联合才能取得新的突破。生命科学和脑科学关于人体和脑功能机制的更深入的知识是不可缺少的。揭开生物界的进化机制以及生命系统中自组织能力、免疫能力和遗传能力的精确结构对建造智能控制系统极为重要。这主要是生物化学家和遗传学家的任务，但控制论科学家和工程师们能够为此做出贡献。

第三，智能的提高，不能全靠子系统的堆积。要做到“整体大于组分之和”，只靠非线性效应是不够的。智能越高，系统将越复杂。复杂巨系统的行为和结构必定是分层次的。子系统和整体的利益和谐统一是有机体得以生存发展的基本原则。每一个层次都有自己的新特征和状态描述，要建立每个层次能上下相容的结构和与周边友好的界面。统计力学中从分子热运动到气体宏观状态参数抽取是层次划分的范例，这就是物理学家们称之为“粗粒化”抽取（Coarse-graining extraction）的最好说明。

第四，世界一切生物进化都是逐步的，人类从新石器时代到机器化时代经历了一万年，从机械自动化到电子自动化仅花了 100 年。要做到智能自动化，把机器人的智商提高到智人水平，还需要数十年。这是科学技术进步不可逾越的过程。20 世纪后半叶，微电子学、生命科学、自动化技术突飞猛进，为 21 世纪实现智能控制和智能自动化创造了很好的起始条件。为达到此目标，不仅需要技术的进步，更需要科学思想和理论的突破。很

多科学家坚持认为，这需要发现新的原理，或者改造已知的物理学基本定理，才能彻底懂得和仿造人类的智能，才能设计和制造出具有高级智能的自动控制系统。无论如何，进程已经开始。可以设想，再过 50 年，第 31 次 IFAC 大会时，人类的生产效率比现在要提高 10 倍，不再有人挨饿。全世界老人都可以有一个机器人服务员，在身边帮助料理生活。每一个参加会议的人都可能在文件箱中带一个机器人秘书，就像现在的笔记本式计算机一样。

21 世纪对人类是一个特别重要的历史时期，世界人口将稳定在一个较高的水平上，例如 120 亿，比现在再翻一番。科学界要为保障人类和我们的家园——地球的生存和可持续发展做出必要的贡献，而控制论科学家和工程师应当承担主要任务。进一步发展和大力推广应用控制论和自动化技术，保证我们的后代在一个没有短缺、饥饿和污染的世界里生活得更幸福，是天赋我责。正如物理学家 Murroy Gellmann 所说，在可见的未来，包括人类在内的自然进化将让位于人类科学技术和文化的进步。Cybernetics 一词来自希腊文，原意为舵手，我们至少有资格成为舵手们的科学顾问和助手，对推动社会进步发挥更大作用，这是我们的光荣。

宋健

前 言

机器人学作为一门高度交叉的前沿学科，引起许多具有不同专业背景人们的广泛兴趣，并对其进行深入研究，使其获得了快速发展。自第一台电子编程工业机器人问世 50 多年来，机器人学已取得令人瞩目的成就。

本书介绍机器人学的基本原理及其应用，是一部比较系统和全面的机器人学导论性著作。全书共 10 章。第 1 章简述机器人学的起源与发展，讨论机器人的定义，分析机器人的特点、结构与分类，探讨机器人学与人工智能的关系和机器人学的研究领域。第 2 章讨论机器人学的数理基础，包括空间任意点的位置和姿态变换、坐标变换、齐次坐标变换、物体的变换和逆变换，以及通用旋转变换等。第 3 章阐述机器人运动方程的表示与求解，包括机械手运动姿态、方向角、运动位置和坐标的运动方程以及连杆变换矩阵的表示，欧拉变换、滚-仰-偏变换和球面变换等求解方法等。第 4 章涉及机器人动力学方程，着重分析机械手动力学方程的两种求法，即拉格朗日功能平衡法和牛顿-欧拉动态平衡法，然后总结出建立拉格朗日方程的步骤。第 5 章研究机器人的控制原则和控制方法，包括机器人的位置控制、力和位置混合控制、智能控制等。第 6 章介绍机器人传感器的特点与分类、各种典型的机器人内传感器和外传感器的工作原理。第 7 章讨论机器人轨迹规划问题，着重研究关节空间和笛卡儿空间中机器人运动的轨迹规划和轨迹生成方法。第 8 章概括地论述机器人的程序设计，研究对机器人编程的要求和分类、机器人语言系统的结构和基本功能、几种重要的专用机器人语言、机器人的离线编程，以及基于 MATLAB 的机器人学仿真等。第 9 章探讨机器人的应用问题，论述应用机器人必须考虑的因素和采用机器人的步骤，分析机器人的应用领域，介绍工业机器人的应用实例。第 10 章分析机器人学的现状，展望机器人学的未来，包括国内外机器人技术和市场的发展现状和预测、机器人技术的发展趋势等。

本书适合作为本科生教材，也适合从事机器人学研究、开发和应用的科技人员学习参考。

本书第 1 版由蔡自兴编著，第 2 版除蔡自兴外，谢斌参与了 3.1 节、3.2 节和 8.5 节的修订工作，江南大学李挺也参与了 3.1 节的修订工作。在本书编写和出版过程中，得到

众多领导、专家、教授、朋友和学生的热情鼓励和帮助。中国工程院宋健院士在IFAC大会开幕式上所做主题报告摘录，作为本书代序，是对本书作者和广大读者的极大支持和厚爱。在此特向有关领导、专家、合作者和广大读者致以衷心的感谢，此外，还要特别感谢部分国内外机器人学专著、教材和有关论文的作者们。

由于本书编写时间仓促，书中一定有不足之处，希望得到各位专家和广大读者的批评指正。

蔡自兴

2015年1月26日

于中南大学民主楼

目 录

代序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 机器人学的发展	1
1.1.1 机器人的由来	1
1.1.2 机器人的定义	2
1.1.3 机器人学的进展	2
1.2 机器人的特点、结构与分类	4
1.2.1 机器人的主要特点	4
1.2.2 机器人系统的结构	4
1.2.3 机器人的自由度	5
1.2.4 机器人的分类	6
1.3 机器人学与人工智能	9
1.3.1 机器人学与人工智能的 关系	10
1.3.2 机器人学的研究领域	11
1.3.3 智能机器人	11
1.4 本书概要	12
1.5 本章小结	13
习题	14
第 2 章 数理基础	15
2.1 位置和姿态的表示	15
2.1.1 位置描述	15
2.1.2 方位描述	15
2.1.3 位姿描述	16
2.2 坐标变换	17
2.2.1 平移坐标变换	17
2.2.2 旋转坐标变换	17
2.3 齐次坐标变换	18
2.3.1 齐次变换	18
2.3.2 平移齐次坐标变换	20
2.3.3 旋转齐次坐标变换	21
2.4 物体的变换及逆变换	22
2.4.1 物体位置描述	22
2.4.2 齐次变换的逆变换	23
2.4.3 变换方程初步	25
2.5 通用旋转变换	26
2.5.1 通用旋转变换公式	26
2.5.2 等效转角与转轴	27
2.6 本章小结	28
习题	29
第 3 章 机器人运动学	31
3.1 机器人运动方程的表示	31
3.1.1 运动姿态和方向角	32
3.1.2 运动位置和坐标	34
3.1.3 连杆变换矩阵及其乘积	35
3.2 机械手运动方程的求解	38
3.2.1 欧拉变换解	38
3.2.2 滚、仰、偏变换解	41
3.2.3 球面变换解	42
3.3 PUMA 560 机器人运动方程	43
3.3.1 PUMA 560 运动分析	43
3.3.2 PUMA 560 运动综合	47
3.4 本章小结	50

习题	50	6.1.2 应用传感器时应考虑的 问题	114
第4章 机器人动力学	55	6.2 内传感器	115
4.1 刚体动力学	55	6.2.1 位移位置传感器	115
4.1.1 刚体的动能与位能	56	6.2.2 速度和加速度传感器	119
4.1.2 动力学方程的两种求法	58	6.2.3 力觉传感器	120
4.2 机械手动力学方程	62	6.3 外传感器	123
4.2.1 速度的计算	63	6.3.1 触觉传感器	123
4.2.2 动能和位能的计算	64	6.3.2 应力传感器	126
4.2.3 动力学方程的推导	67	6.3.3 接近度传感器	127
4.3 本章小结	68	6.3.4 其他外传感器	129
习题	69	6.4 机器人视觉装置	130
第5章 机器人控制	71	6.4.1 机器人眼	130
5.1 机器人的基本控制原则	71	6.4.2 视频信号数字变换器	132
5.1.1 基本控制原则	71	6.4.3 固态视觉装置	133
5.1.2 伺服控制系统举例	74	6.4.4 激光雷达	136
5.2 机器人的位置控制	76	6.5 本章小结	137
5.2.1 直传动系统的建模	76	习题	137
5.2.2 位置控制的基本结构	79	第7章 机器人轨迹规划	139
5.2.3 单关节位置控制器	81	7.1 轨迹规划应考虑的问题	139
5.2.4 多关节位置控制器	88	7.2 关节轨迹的插值计算	140
5.3 机器人的力和位置混合控制	90	7.2.1 三次多项式插值	141
5.3.1 力和位置混合控制方案	90	7.2.2 过路径点的三次多项式 插值	142
5.3.2 力和位置混合控制系统 控制规律的综合	92	7.2.3 高阶多项式插值	143
5.4 机器人的智能控制	96	7.2.4 用抛物线过渡的线性 插值	144
5.4.1 智能控制系统的分类	97	7.2.5 过路径点用抛物线过渡 的线性插值	145
5.4.2 机器人自适应模糊控制	102	7.3 笛卡儿路径轨迹规划	146
5.4.3 多指灵巧手的神经控制	105	7.4 规划轨迹的实时生成	152
5.5 本章小结	108	7.5 本章小结	154
习题	109	习题	155
第6章 机器人传感器	112	第8章 机器人编程	157
6.1 机器人传感器概述	112	8.1 机器人编程要求与语言类型	157
6.1.1 机器人传感器的特点与 分类	112		

8.1.1 对机器人编程的要求	157	9.1.1 机器人的任务估计	178
8.1.2 机器人编程语言的类型	158	9.1.2 应用机器人三要素	179
8.2 机器人语言系统结构和基本功能	160	9.1.3 使用机器人的经验准则	179
8.2.1 机器人语言系统的结构	160	9.1.4 采用机器人的步骤	180
8.2.2 机器人编程语言的基本功能	160	9.2 机器人的应用领域	181
8.3 常用的机器人编程语言	162	9.2.1 工业机器人	181
8.3.1 VAL 语言	163	9.2.2 探索机器人	183
8.3.2 SIGLA 语言	163	9.2.3 服务机器人	184
8.3.3 IML 语言	164	9.2.4 军事机器人	186
8.3.4 AL 语言	164	9.3 工业机器人应用举例	187
8.4 机器人的离线编程	165	9.3.1 材料搬运机器人	187
8.4.1 机器人离线编程的特点和主要内容	165	9.3.2 焊接机器人	188
8.4.2 机器人离线编程系统的结构	167	9.3.3 喷漆机器人	190
8.5 基于 MATLAB 的机器人学仿真	170	9.4 本章小结	192
8.5.1 坐标变换	170	习题	193
8.5.2 构建机器人对象	171	第 10 章 机器人学展望	194
8.5.3 机器人运动学求解	173	10.1 机器人技术和市场的现状	194
8.5.4 轨迹规划	174	10.1.1 世界机器人发展现状	194
8.6 本章小结	175	10.1.2 国内机器人发展现状	196
习题	176	10.2 机器人技术的发展趋势	198
第 9 章 机器人应用	178	10.3 各国雄心勃勃的机器人发展计划	200
9.1 应用工业机器人必须考虑的因素	178	10.4 应用机器人引起的社会问题	201
		10.5 本章小结	203
		习题	204
		参考文献	205

绪 论

“机器人”已是家喻户晓的“大明星”，它正在迅速崛起，并对整个工业生产、太空和海洋探索以及人类生活的各方面产生越来越大的影响。但是，现实世界中的机器人，并不像普通人想象中那样完美。现有的机器人既不像神话和文艺作品所描写的那样智勇双全，也不如某些企业家和宣传家们所宣扬的那样多才多艺。

1.1 机器人学的发展

1.1.1 机器人的由来

人类长期以来存在一种愿望，即创造出一种像人一样的机器或“人造人”，以便能够代替人去进行各种工作。这就是“机器人”出现的思想基础。机器人的概念在人类的想象中已存在 3000 多年了，尽管直到 60 多年前，“机器人”才作为专有名词加以引用。

进入近代之后，人类关于发明各种机械工具和动力机器，协助甚至代替人们从事各种体力劳动的梦想更加强烈。18 世纪发明的蒸汽机开辟了利用机器动力代替人力的新纪元。随着动力机器的发明，出现了第一次工业和科学革命，各种自动机器、动力机和动力系统相继问世，机器人也开始由幻想时期转入自动机械时期，各种精巧的机器人玩具和工艺品应运而生。这些机器人玩具和工艺品的出现，标志着人类在机器人从梦想到现实这一漫长道路上，前进了一大步。进入 20 世纪之后，机器人已躁动于人类社会和经济的母胎之中，人们含有几分不安地期待着它的诞生。他们不知道即将问世的机器人将是个宠儿，还是个怪物。1920 年，捷克剧作家卡雷尔·凯培克在他的幻想情节剧《罗萨姆的万能机器人》中，第一次提出了“机器人”这个名词。1950 年，美国著名科学幻想小说家阿西摩夫在他的小说《我是机器人》中，提出了有名的“机器人三守则”：

- 1) 机器人必须不危害人类，也不允许它眼看人将受害而袖手旁观；
- 2) 机器人必须绝对服从于人类，除非这种服从有害于人类；
- 3) 机器人必须保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者是为人类做出牺牲。

这三条守则，给机器人社会赋以新的伦理性，并使机器人概念通俗化，更易于为人类

社会所接受。

多连杆机构和数控机床的发展和应用为机器人技术打下重要基础。

美国人乔治·德沃尔于 1954 年设计了第一台可编电子程序的工业机器人，并于 1961 年发表了该项机器人专利。1962 年，美国万能自动化(Unimation)公司的第一台机器人 Unimate 在美国通用汽车公司(GM)投入使用，这标志着第一代机器人的诞生。从此，机器人开始成为人类生活中的现实。

1.1.2 机器人的定义

国际上至今还没有合适的、为人们普遍同意的“机器人”定义，专家们采用不同的方法来定义这个术语。它的定义还因公众对机器人的想象以及科学幻想小说、电影和电视中对机器人形状的描绘而变得更为困难。为了规定技术、开发机器人新的工作能力和比较不同国家和公司的成果，就需要对机器人这一术语有某些共同的理解。各国对机器人有自己的定义。这些定义之间差别较大。

国际上，关于机器人的定义主要有如下几种：

1) 英国简明牛津字典的定义。机器人是“貌似人的自动机，具有智力的和顺从于人的但不具人格的机器”。

2) 美国机器人协会(RIA)的定义。机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过可程序动作来执行种种任务的，并具有编程能力的多功能机械手(manipulator)”。

3) 日本工业机器人协会(JIRA)的定义。工业机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行器(end effector)的，能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器”。

4) 美国国家标准局(NBS)的定义。机器人是“一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置”。

5) 国际标准组织(ISO)的定义。机器人是“一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行种种任务”。

《中国大百科全书》对机器人的定义为：能灵活地完成特定的操作和运动任务，并可再编程的多功能操作器。而对机械手的定义为：一种模拟人手操作的自动机械，它可按固定程序抓取、搬运物件或操持工具完成某些特定操作。

上述各种定义有共同之处，即认为机器人：①像人或人的上肢，并能模仿人的动作；②具有智力或感觉与识别能力；③是人造的机器或机械电子装置。

1.1.3 机器人学的进展

从 20 世纪 60 年代初期到 70 年代初期，即第一台工业机器人问世后头十年，机器人技术的发展较为缓慢，许多研究单位和公司所做的努力均未获得成功。这一阶段的主要成果有

美国斯坦福国际研究所(SRI)于1968年研制的移动式智能机器人,夏凯(Shakey)和辛辛那提·米拉克龙(Cincinnati Milacron)公司于1973年制成的第一台适于投放市场的机器人T3等。

人工智能学界在20世纪70年代后开始对机器人产生浓厚兴趣。他们发现,机器人的出现与发展为人工智能的发展带来了新的生机,提供了一个很好的试验平台和应用场所,是人工智能可能取得重大进展的潜在领域。这一认识,很快为许多国家的科技界、产业界和政府有关部门所赞同。到了70年代中期,机器人技术进入了一个新的发展阶段。到70年代末期,工业机器人有了更大的发展。进入80年代后,机器人生产继续保持70年代后期的发展势头,机器人制造业成为发展最快和最好的经济部门之一。

到20世纪80年代后期,由于传统机器人用户应用工业机器人已趋饱和,从而造成工业机器人产品的积压,不少机器人厂家倒闭或被兼并,国际机器人学研究和机器人产业出现不景气现象。到90年代初,机器人产业出现复苏和继续发展迹象。但是,好景不长,1993~1994年又出现低谷。1995年以来,世界机器人数量逐年增加,增长率也较高。到2000年,服役机器人约100万台,机器人学也维持着较好的发展势头。

进入21世纪,工业机器人产业发展速度加快,年增长率达到30%左右。其中,亚洲工业机器人增长速度高达43%,最为突出。

据联合国欧洲经济委员会(UNECE)和国际机器人联合会(IFR)统计,全球工业机器人在1960~2006年年底累计安装175万多台,至2011年累计安装超过230万台。工业机器人市场前景看好。

近年来,全球机器人行业发展更为迅速,2007年全球机器人行业总销售量比2006年增长10%。现在全世界服役的工业机器人总数在100万台以上。此外,还有数百万服务机器人在运行。

根据IFR统计,2011年是工业机器人产业蓬勃发展的一年,全球市场同比增长37%。其中,中国市场的增幅最大,销售量达22577台,较2010年增长50.7%;2012年达到26902台,同比增长19.2%。到2015年,中国的工业机器人拥有量将达到十万台(套)。预测数据还表明,中国市场有望于2015年成为世界最大的机器人市场。

机器人的应用范围已遍及工业、科技和国防的各个领域。服务机器人的开发与应用更是引人注目。机器人技术的迅速发展,已对许多国家的工业生产、太空和海洋探索、国防以及整个国民经济和人民生活产生了重大影响,而且这种影响必将进一步扩大。当一种工业、技术和经济发生重大变化时,总是要求科学和教育系统发生与之相适应的调整和发展。

在我国,自1985年起已先后在几个全国一级学会内设立了机器人专业委员会,以组织和开展机器人学科的学术交流,促进机器人技术的发展,提高我国机器人学的学术水平和技术水平。机器人学这一新学科在我国也已经形成,并开展了经常性的研究和学术交流活动。

严格地说,目前在工业上运行的90%以上的机器人,都不具有智能。随着工业机器人数量的快速增长和工业生产的发展,对机器人的工作能力也提出更高的要求,特别是需要

各种具有不同程度智能的机器人和特种机器人。21 世纪的机器人智能将提高到更高的水平，值得关注。

1.2 机器人的特点、结构与分类

1.2.1 机器人的主要特点

机器人具有下列两个主要特征。

1. 通用性

机器人的通用性(versatility)取决于其几何特性和机械能力。通用性指的是执行不同的功能和完成多样的简单任务的实际能力。通用性也意味着，机器人具有可变的几何结构，即根据生产工作需要变更的几何结构；或者说，在机械结构上允许机器人执行不同的任务或以不同的方式完成同一工作。

2. 适应性

机器人的适应性(adaptivity)是指其对环境的自适应能力，即所设计的机器人能够自我执行未经完全指定的任务，而不管任务执行过程中所发生的没有预计到的环境变化。这一能力要求机器人认识其环境，即具有人工知觉。

1.2.2 机器人系统的结构

一般情况下，一个机器人系统由下列四个互相作用的部分组成：机械手、环境、任务和控制器，如图 1-1a 所示，图 1-1b 为其简化形式。

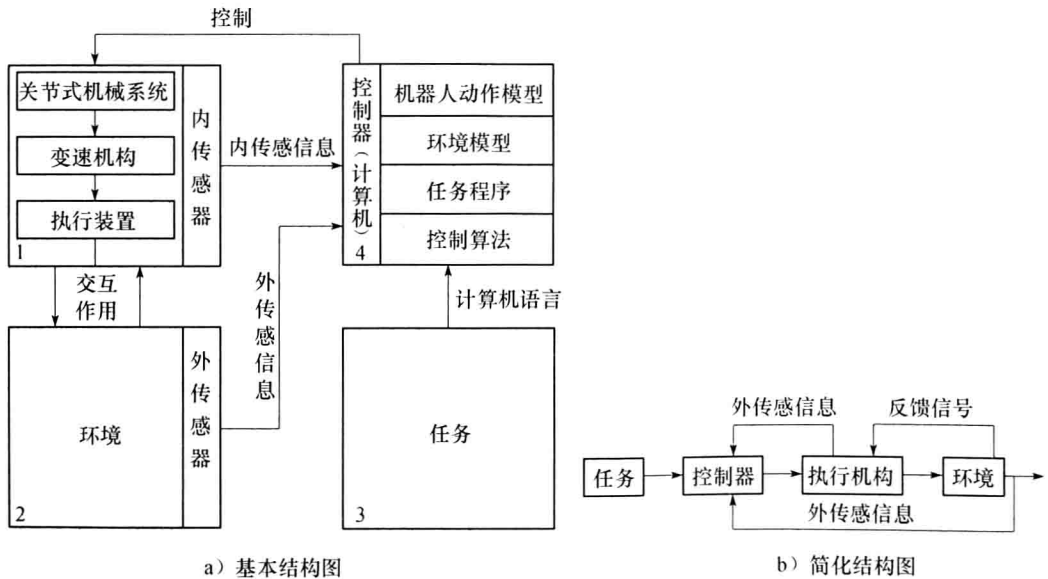


图 1-1 机器人系统的基本结构

机械手是具有传动执行装置的机械，它由臂、关节和末端执行装置(工具等)构成，组合为一个互相连接和互相依赖的运动机构。机械手用于执行指定的作业任务。不同的机械手具有不同的结构类型。图 1-2 给出机械手的几何结构简图。机械手又称为操作机、机械臂或操作手。大多数机械手是具有几个自由度的关节式机械结构，一般具有六个自由度。其中，头三个自由度引导夹手装置至所需位置，而后三个自由度用来决定末端执行装置的方向。

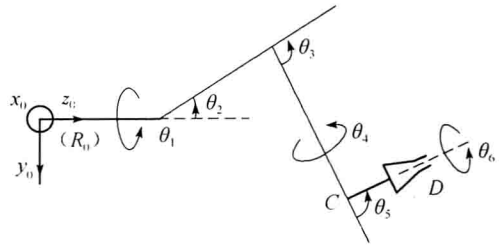


图 1-2 机械手的几何结构简图

环境指机器人所处的周围环境，它不仅由几何条件(可达空间)所决定，而且由环境和它所包含的每个事物的全部自然特性所决定。机器人的固有特性由这些自然特性及其环境间的互相作用所决定。在环境中，机器人会遇到一些障碍物和其他物体，它必须避免与这些障碍物发生碰撞，并对这些物体发生作用。环境信息一般是确定的和已知的，但在许多情况下，环境具有未知的和不确定的性质。

我们把任务定义为环境的两种状态(初始状态和目标状态)间的差别。必须用适当的程序设计语言来描述这些任务，并把它们存入机器人系统的控制计算机中去。

计算机是机器人的控制器或脑子。机器人接收来自传感器的信号，对之进行数据处理，并按照预存信息、机器人的状态及其环境情况等，产生出控制信号去驱动机器人的各个关节。

对于技术比较简单的机器人，计算机只含有固定程序；对于技术比较先进的机器人，可采用程序完全可编的小型计算机、微型计算机或微处理机作为其电脑。具体说来，在计算机内存储有下列信息：

- 1) 机器人动作模型 表示执行装置在激发信号与机器人运动之间的关系。
- 2) 环境模型 描述机器人在可达空间内的每一个事物。
- 3) 任务程序 使计算机能够理解其所要执行的作业任务。
- 4) 控制算法 计算机指令的序列，它提供对机器人的控制。

1.2.3 机器人的自由度

自由度是机器人的一个重要技术指标，它是由机器人的结构决定的，并直接影响到机器人的机动性。

1. 刚体的自由度

物体上任何一点都与坐标轴的正交集合有关。物体能够对坐标系进行独立运动的数目称为自由度(Degree of Freedom, DOF)。物体所能进行的运动包括(见图 1-3)：

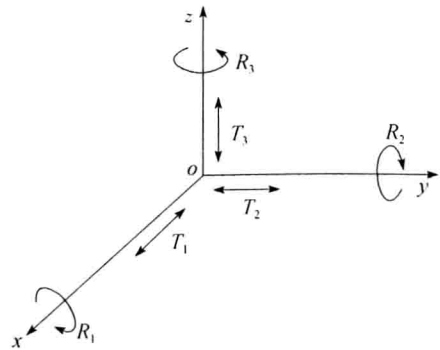


图 1-3 刚体的六个自由度

沿着坐标轴 ox 、 oy 和 oz 的三个平移运动 T_1 、 T_2 和 T_3 ；

绕着坐标轴 ox 、 oy 和 oz 的三个旋转运动 R_1 、 R_2 和 R_3 。

这意味着物体能够运用三个平移和三个旋转，相对于坐标系进行定向和运动。

一个简单物体有六个自由度。当两个物体间确立起某种关系时，每一物体就对另一物体失去一些自由度。这种关系也可以用两物体间由于建立连接关系而不能进行的移动或转动来表示。

2. 机器人的自由度

人们期望机器人能够以准确的方位把它的末端执行装置或与它连接的工具移动到给定点。如果机器人的用途是未知的，那么它应当具有六个自由度。不过，如果工具本身具有某种特别结构，那么就可能不需要六个自由度。例如，要把一个球放到空间某个给定位置，有三个自由度就足够了。

一般情况下，机器人机械手的手臂具有三个自由度，其他的自由度数为末端执行装置所具有。当要求某一机器人钻孔时，其钻头必须转动。不过，这一转动总是由外部的马达带动的，因此，不把它看作机器人的一个自由度。这同样适用于机器人的机械手。机械手的夹手应能开闭。不过，也不能把夹手的这个开闭所用的自由度当作机器人的自由度之一，因为这个自由度只对夹手的操作起作用。这一点是很重要的，必须记住。

1.2.4 机器人的分类

机器人分类方法有很多种。这里首先介绍三种分类法，即分别按机械手的几何结构、机器人的控制方式以及机器人控制器的信息输入方式来分。

1. 按机械手的几何结构来分

机器人机械手的机械配置形式多种多样。最常见的结构形式是用其坐标特性来描述的。这些坐标结构包括笛卡儿坐标结构、柱面坐标结构、极坐标结构、球面坐标结构和关节式球面坐标结构等。这里简单介绍三种最常见的柱面、球面和关节式球面坐标结构机器人。

(1) 柱面坐标机器人

柱面坐标机器人主要由垂直柱子、水平手臂(或机械手)和底座构成。水平机械手装在垂直柱子上，能自由伸缩，并可沿垂直柱子上下运动。垂直柱子安装在底座上，并与水平机械手一起(作为一个部件)能在底座上移动。这样，这种机器人的工作包迹(区间)就形成一段圆柱面，如图 1-4 所示。因此，把这

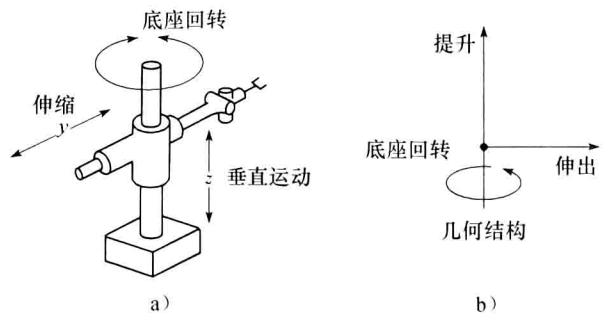


图 1-4 柱面坐标机器人