

机器人技术基础

机器人技术 基础

陈哲 吉熙章 编著

机械

机械工业出版社

TP242

7P242

C65

497133

机器人技术基础

陈哲 吉熙章 编著



机械工业出版社

机器人技术是在不断吸取当代技术精华综合发展起来的一门新兴学科。它的发展又推动了有关学科的发展,以先进性和综合性为特点,适合新型人才的培养。

本书介绍机器人的基础知识和现代机器人的主要技术。前者包括位形描述与空间变换、运动学、动力学以及操作控制;后者包括机器人控制器、伺服技术、编程语言、感觉技术、移动技术、机器人系统实例与发展趋势。

全书由浅入深地引入机器人技术的主要概念和技术,内容少而精。书中有例题,章末有习题,便于初学者掌握。

本书可作为大专院校工科高年级学生的教科书使用,也可供从事机器人领域工作的科技人员学习与参考。

D1120/03

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人技术基础/陈哲 吉熙章编著.-北京:机械工业出版社,1997.10
ISBN 7-111-05572-1

Ⅰ.机… Ⅱ.①陈…②吉… Ⅲ.机器人技术-基础理论
Ⅳ.TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02334 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:沈红 版式设计:霍永明 责任校对:姚培新
封面设计:郭景云 责任印制:卢子祥
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1997年10月第1版第1次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·8.5印张·201千字
0 001—2 000册
定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

机器人技术是在新技术革命中迅速发展起来的一项高技术，它已在众多的科技领域与工业部门中获得应用，并显示出强大的生命力。它将使传统的生产发生变革，并对人类社会的生活产生深远影响，正在成为工厂、企业进行产品生产，乃至各个国家进行经济和军事较量的重要手段。据统计一些发达国家的机器人产量正以指数曲线的趋势在增长。

机器人技术是一门综合性学科，它综合了多种基础学科、技术学科及新兴科技领域的多方面知识，突出地体现了当代科学技术发展的高度分化而又高度综合这一特点。因此，世界各国都非常重视机器人学的教育，有关机器人学的论著与教科书层出不穷，许多大学都为本科生与研究生开设介绍机器人技术的不同层次的课程。然而，目前我国尚缺乏一本既比较全面而又深入浅出地介绍机器人技术基础知识的教科书。本书正是为了适应科学技术发展的需要而编写的。作者总结了他们多年来从事机器人技术的科研与教学工作的经验与成果，参阅了国内外的有关论著，并对多次讲课的讲义、手稿做了补充与修改，编写出这本介绍机器人技术基础知识与主要技术的教科书。通过对本书的学习，可以培养综合运用多种学科知识的能力，培养从事交叉学科研究的能力，也为读者今后应用、研究与开发机器人技术奠定了基础，以适应现代科学技术发展的需要。

本书内容由浅入深。只要学过理论力学、矩阵、物理及计算机知识的读者都可学懂本书。本书不同于一般的科普读物，对于有关机器人技术各方面的基础知识都讲到一定深度。书中的主要章节给出一定数量的例题或实例，章末有习题，便于初学者掌握。

全书分上、下篇，每篇各7章。上篇重点介绍机器人技术概述、机器人坐标系、位置运动学、速度运动学、轨迹控制、机器人动力学、力控制与柔性机器人等内容；下篇重点介绍现代机器人中的主要技术、机器人控制器、伺服系统、机器人语言、感觉技术、移动技术及机器人实例与发展趋势等内容。

蒙承中国工程院院士、机器人专家张启先教授审阅了本书书稿，提出了宝贵意见；北京航空航天大学机器人研究所孙杏初教授提供了我国关于机器人术语、图形符号等标准规定的资料；笔者在此一一致以衷心的感谢。

本书上篇由陈哲编写，下篇由吉熙章编写。全书由吉熙章统稿校订。

由于作者水平所限，错误与不妥之处实难避免，恳请读者批评指正。

目 录

上 篇

第 1 章 机器人技术概述

1 机器人学的发展史及机器人学教育	1
2 机器人学的术语和定义及其与其它学科的关系	4
3 机器人的分类和组成	6
4 操作机几何学	7
习题	9

第 2 章 机器人坐标系统

1 位置与姿态	10
2 正交坐标系	10
3 转动的表示法	12
4 齐次变换	13
5 机器人的坐标系统	17
习题	19

第 3 章 位置运动学

1 手部位姿与关节变量的关系——正问题	21
2 关节变量与手部位姿的关系——逆问题	26
习题	31

第 4 章 速度运动学

1 操作机的微分运动	32
2 雅可比矩阵及其变换	35
习题	37

第 5 章 轨迹控制

1 轨迹的记录与再现	39
2 笛卡尔运动与轨迹设计	40
3 轨迹控制多项式	41
4 笛卡尔控制	43
习题	45

第 6 章 机器人动力学

1 动力学方程的推导	46
2 动力学方程的应用	50
习题	51

第 7 章 力控制与柔性机器人

1 位置控制与力控制策略	52
2 组合控制策略	55

3 柔性机器人系统	56
4 力和力矩的直接敏感	57
习题	58
参考文献	59

下 篇

第 8 章 机器人中的主要技术

1 现代机器人组成和功能	60
2 机器人的主要技术	61
3 机器人的分代及技术内容	61
习题	62

第 9 章 机器人控制器

1 机器人控制器功能和组成	63
2 机器人控制方式	63
3 机器人的示教再现控制	66
4 计算机控制	67
5 计算机控制机器人举例	70
习题	72

第 10 章 机器人伺服系统

1 机器人伺服控制的特点	73
2 伺服机构的分类	73
3 控制模型	75
4 常用的伺服控制方法	78
5 计算机数字伺服系统	82
6 双向作用伺服控制	85
习题	86

第 11 章 机器人语言

1 概述	87
2 特点和分类	87
3 VAL 语言及编程举例	88
4 HERO-1 机器人及其语言编程	90
习题	93

第 12 章 机器人的感觉技术

1 感觉装置分类及技术内容	94
2 光轴编码器	94
3 触觉技术	96
4 听觉技术	101
5 视觉技术	105
习题	112

第 13 章 机器人移动技术

1 移动机构	113
2 移动方向的诱导方法	115

3 移动机器人的追踪控制	116
4 移动机器人走迷宫控制	118
习题	119
第 14 章 机器人实例与发展趋势	
1 工业机器人系统实例	120
2 机器人发展趋势	125
3 机器人技术在我国的迅速发展	128
参考文献	129

上 篇

第 1 章 机器人技术概述

本章的目的是使初学者在学习本课程之前,先对机器人学这门学科的产生、发展以及特点等方面的背景有个概括的认识,为进一步掌握机器人技术的基础知识奠定基础。

1 机器人学的发展史及机器人学教育

本节主要介绍机器人学作为一门学科的产生与发展过程及世界各国对于开展机器人学教育的重要性的认识。

1.1 机器人学发展史

机器人技术是在新技术革命中迅速发展起来的一项高技术。然而,追溯其发展过程却是源远流长的。

早在我国古代就有人用木头制成能歌善舞的伶人。而在古希腊神话中亦有类似机器人构思的青铜人“太罗斯”,即人们想象中的“人造人”。

1921年捷克作家卡罗·凯佩克(Karel Capek)在他的科学幻想小说《罗素姆的万能劳工(Rossum's Universal Robots)》中第一次使用了“Robot”的术语,“Robots”在捷克语中指的是劳工^[1]。从那时起Robot的术语就被沿用下来,中文译成“机器人”。

1950年美国作家埃萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)在他的科学幻想小说《我,机器人》(“I, Robot”)中首次使用了“Robotics”的术语,中文译成机器人学,这一术语也沿用至今日。阿西莫夫在该书中还给出了著名的“机器人学三定律”,至今尚为人们所引用,他也因此获得了“机器人学之父”的桂冠^[2]。

1961年美国通用机械公司(Unimation)生产和销售了第一台工业机器人,取名为“尤尼梅特”(Unimate),意思是万能自动。1962年美国机械与铸造公司(A. M. F)试制出“沃萨特兰”(Versatran)工业机器人,意思是多用途搬运机器人。这是世界上最早的、最著名的、至今仍在应用中的两种工业机器人。

1967年日本丰田公司引进了沃萨特兰机器人,川崎重工引进了尤尼梅特机器人,会田工程公司、石川岛播磨重公司自行制造了工业机器人。接着前苏联与西欧各国也相继引进或自行研制了机器人。60年代至70年代是机器人技术获得巨大发展的阶段。

到了80年代,计算机技术的发展推动了机器人技术的发展,并达到了新的水平。国民经济的各个领域中都采用了机器人。上到宇宙飞船,下至海洋开发都采用了机器人作业。在核电站、汽车工业、电子工业乃至教育行业中都引进了机器人。机器人技术已成为高科技应用领域中的重要组成部分。可以预言,机器人技术具有广阔的发展前景,它正向着具有行走能力、对环境的自主性强、具有多种感觉能力的智能机器人的方向发展。

对机器人技术的发展有重要影响的国家有美国、日本、瑞典、德国、法国、英国、意大利、加拿大、前苏联等国。美国在机器人技术的综合性水平上仍处于领先地位。日本生产的机器人总数则居世界首位。德国已将机器人技术列为 80 年代 10 大技术之一。前苏联已将大力推广与应用机器人列入 5 年计划。下面将举一些实例来说明机器人技术在国外发展的最新趋势。事实上，新一代的机器人正向着具有多种功能（特别是人类难以完成的特种功能）、多种感觉及智能等方向发展。

美国费城卡内基-梅隆大学 1989 年研制出一种能为老人、病人和残疾人服务的新型机器人，一种能完成 25 种功能的烹饪机器人，还有一种能完成拨电话、打印文件、销毁用过的文件等功能的秘书机器人。

美国犹他州的一所大学研制出一种几乎和人手一样的机械手。这只手有 4 个手指，19 个关节，32 个电动机，500 个滑轮和几千米用复合材料制成的“肌腱”。

新一代机器人的最新特点之一就是具有感觉。在哈佛大学，机械手的手指布满小气垫，气垫内是充满着微磁体的硅有机树脂。如果这种手指按住什么东西，磁场发生变形，传感器记下变化，而微处理机就会确定机器人抓住了什么。根据信号变形程度，机器人将感觉出物体的形状和质量。

位于纽卡斯列的应用微电子学科学研究所的专家们沿手指安装独特的神经纤维。这些细导线，周围是微粒，表面是橡胶膜。微粒被压得越厉害，沿导线通过的电流就越大。机器人触摸表面，能辨别出表面上高度仅 1mm 的不平整处。这样的传感器就灵敏度来说仅比人的指尖稍差些。

目前已出现了能感觉硬度、温度和湿度的装置。不过尚不能将所有的“感觉”集中于一个机器人上。

机器人还将具有智能。专家们正在模仿人脑的结构和工作，研制所谓的神经细胞电子计算机和生物计算机。它们的尺寸不大，机器人的头里完全可以装得下这样的脑子。借助它就可以解决复杂的逻辑任务，完善其智能水平。美国贝尔科尔公司已成功地将神经网络装配在芯片上，其运算速度比普通计算机要快 10 万倍。它能完成识别语言和发现照片中的特定影象等工作。

目前，电视操纵的水下机器人已达到了潜水员达不到的海底。1985 年神奇的巴拉德号机器人下水拍摄了著名的冰海沉船“泰坦尼克”号。法国的一些机器人采用了尖端技术，除了可用来勘探海底矿藏外，还可用来从事赢利更高的事业：寻找和打捞沉睡海底的财宝。

1991 年日本生产出一种新型擦窗玻璃机器人“VAQUE”。它长 410mm，宽 200mm，高 125mm，擦窗宽度 175mm，擦窗效率为每小时 60m²。

前苏联也研制了从事海洋地质勘探的水下机器人。该机器人可由人自动操纵，在离科学船 5km 远处工作。装在其上的电视摄像机和摄影机已在大西洋克拉里翁-克利佩尔通海沟区域清楚地摄下了铁锰结核体砂矿。这项设计是崭新的航海系统中的一项。它将使同水深压力有关的工作不再有危险性。

1988 年前苏联科学院机械研究所同跨部门的机器人科技综合体共同研制出一种能轻如鹅毛地自由移动的机器人。它不仅能水平移动，还能垂直移动，在斜坡上移动，甚至还能“头下脚上”地移动。它能完成复杂的多种工作，例如能“帮助”消防队员灭火，能在几分钟之内扑灭燃料仓库的火灾。它还可以粉刷高层建筑的墙壁、擦玻璃和干其它工作。它不仅能

在人难以接近的场合工作，而且能在腐蚀性的环境中工作，它还可以举起 40kg 以上的货物。这种机器人的 8 个金属脚上都装有真空爪，可以附在天花板和墙壁上。

我国发展机器人技术起步于 70 年代末，但机器人技术的发展已引起我国科技界的高度重视。许多研究项目已被列入“863 计划——高技术研究发展计划”和“火炬计划——高新技术产业发展计划”及我国“七五”、“八五”科技发展计划。被列入国家“七五”重点工程的“机器人示范工程”已由中国科学院沈阳自动化所完成，在 1990 年 8 月通过国家验收后已向全国开放，并将逐步形成我国机器人研究、开发、人才培养、机器人性能测试和国内外机器人技术交流基地。他们已研制出多种型号的水下机器人、工业机器人通用控制器、移动式机器人等。产品的国有化程度已达到了 90% 以上。特别值得一提的是该所研制成功的 3 台中型水下机器人被誉为 3 个神奇的“中国人”，已获得了巨大的成功。老大瑞康四号（RECON IV）诞生于 1987 年 3 月，他一头扎进国民经济建设浩瀚的海洋之中，转战于吉林丰满电站、鹰歌海、珠江口等处。老二比老大更完美，他漂洋过海，经美国沛瑞公司介绍转到新加坡，在海上石油开采、打捞、潜水服务中大显身手。老三的国产化率达到了 90%。1990 年 5 月日本的“MAYA-8 号”船在渤海湾撞沉，英国保险公司要求在 12 天内提供沉船的位置及有关地域、地貌、翻倒、破损程度等一系列信息，“中国人”只用了 3 天时间就出色地完成了任务，提供了沉船的经纬度及完整的录像资料。1995 年 9 月，6000m 水下机器人试验成功，使我国在发展机器人技术和跟踪世界高技术方面迈出了新的步伐。此外，机械部北京自动化所生产的喷漆机器人已应用于北京吉普车的喷漆工作；机械部北京机床所研制的卧式、立式柔性生产线已用于多种零件的中小批量生产，大大提高了生产能力，是使机械制造行业走向无人化的一个重要阶梯，该所还从日本 FANUC 公司引进了一套加工电动机的柔性生产线。我国的高等院校，如长沙国防科技大学、上海交通大学、北京航空航天大学等在步行机器人、精密装配机器人及 7 自由度机器人研制等前沿领域内做出了可喜的成绩，正在逐步缩短在机器人技术方面与世界先进水平的差距。

出版专门介绍机器人技术的杂志，在国外有《Robot Today》、《Robotics Reseach》、《Robotics and Automation》；在国内有《机器人》、《机器人技术及应用》等。

在国民经济的各个领域广泛地采用机器人技术，充分发挥机器人这支自动化的生力军的力量使人们可以这样说：“让机器去做机器应该做的工作，让人生活在更为协调的环境中，去从事更富于创造性的工作”。

1.2 机器人学教育

由于机器人技术在国民经济各个领域所发挥的作用越来越为人们所重视，世界各国对机器人学教育的重视程度也越来越提高了。世界各国普遍在高等院校中为本科生及研究生开设出介绍机器人技术的有关课程。机器人的发展，促进了传统教学的改革，探索培养了新型知识人才。

1987 年在国际自动化联合会（IFAC）的第 10 届世界会议上，IFAC 教育技术委员会机器人教育计划工作组发表了该组织从 1984 年开始执行的一项世界范围内的调查计划的结果^[3]。在该组织所调查的 20 个国家中，无一例外地都在大学中开设出有关机器人技术的课程。在所调查的 88 所大学中，有 76 所已开设出有关课程，有 2 所正在准备开课，只有 10 所尚无开课计划。这些大学所开设的有关机器人学的课程数有 134 门之多。在该项计划中调查了中国的 6 所大学，共开设出 15 门有关课程。由该项调查结果也可从一个侧面看出开展机器人学教育

的重要性以及世界各国对机器人学教育的重视程度。

美国机器人学专家 W. E. 斯耐德 (Snyder) 在他为工学院大学生所著的一部题为《工业机器人：计算机接口与控制》的教科书的前言中指出^[4]：“…在使用本教科书的大学生中，尽管只有少数人能成为机器人的设计者，但几乎所有的人都会成为机器人的使用者，其中很多人将做出购买和应用机器人的决策。”

由以上论述可以看出，向工科院校大学生提供有关机器人学的教育是适应新技术革命发展所不可缺少的重要方面。

本书正是为工科院校大学生开设的介绍机器人技术基础知识而编写的教材，它综合了大学生所学的数学、力学、电气电子、机械、计算机等多种学科的基础知识，较全面、深入地介绍了机器人技术的几个重要组成部分的基础知识。学习本课程有利于调整大学生的知识结构，培养学生从事交叉学科研究的能力，以适应四个现代化的需要。

2 机器人学的术语和定义及其与其它学科的关系

本节主要介绍机器人学的重要术语与定义，在此基础上进一步讨论机器人学与人工智能的关系，以及机器人与自动化的关系。

2.1 有关机器人学的重要术语和定义

1. 机器人 (Robot) 机器人是一种可编程的多功能的操作装置，通过可变的、预先编程的运动用以传送材料、零件、机具或专门的系统，并完成各种任务。

2. 操作机 (Manipulator) 具有和手臂相似的动作功能，可在空间抓放物体或进行其它操作的机械装置。也有人把 Manipulator 译成“机械手”的。

3. 遥控手 (Teleoperator) 直接由人操作控制进行工作的操作机叫做遥控手。例如由人隔着保护屏障来操作的操作机可用来处理辐射物质等。在遥控手的控制环中通常要有人的参与才能工作。

4. 工业操作机 (Industrial Manipulator) 通常把用于工业、农业、商业中的操作机称为工业操作机，它们主要用于自动化生产线、金属加工、汽车喷漆、装配、焊接等行业。

5. 可行走机器人 (Locomotive or Mobile Robot) 通常将基座可运动的机器人称为可行走机器人。

6. 机器人学 (Robotics) 机器人学是关于设计、制造和应用机器人的一门学科。

2.2 机器人学与人工智能的关系

机器人学是一门综合性学科。图 1-1 表示出机器人学的构成。由图 1-1 可以看出，机器人学包括有运动分析和控制、人工智能与专家系统、自学习、计算机视觉、语言与声音辨识等部分。显然，人工智能是机器人学的一个组成部分。另一方面，人工智能又包括许多个分支。图 1-2 示出了人工智能的构成，它包括有机器人学、专家系统、问题的求解和原理的证明、自学习、对策、计算机视觉、语言与声音的辨识以及理解自然语言等多个分支。由图 1-2 可知，人工智能的几个分支都与机器人学有关。比较图 1-1 和图 1-2 可以看出，机器人学与人工智能这两门学科之间存在着极其密切的联系，特别是对于未来的智能机器人，这种联系更是密切。

人工智能是指由计算机表示和执行人类的某些智能活动。智能机器人就是具有人工智能的机器人，它能自动识别对象和环境，根据要求自己规划动作来完成作业。

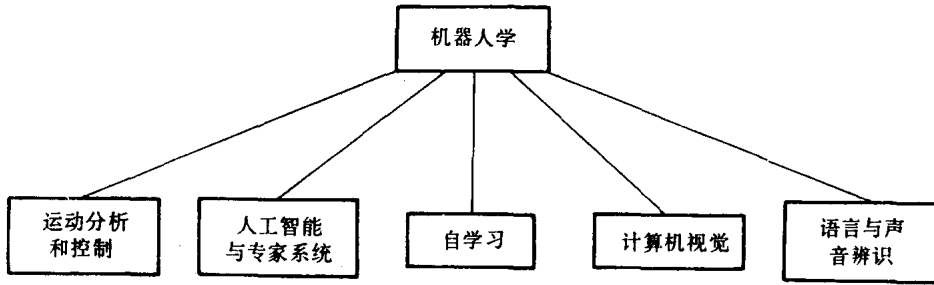


图 1-1 机器人学的构成

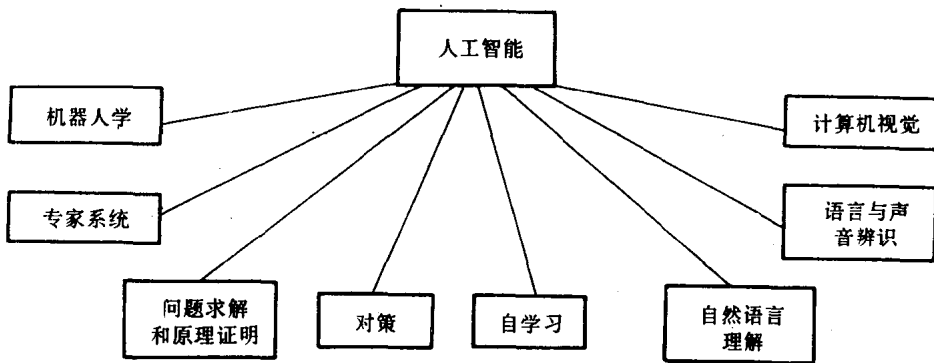


图 1-2 人工智能的构成

2.3 机器人与自动化的关系

自动化与机器人是有着密切联系的两门学科。在工业领域中，自动化可定义为在生产的操作与控制中采用了机械、电子以及计算机系统的一类技术。这类技术的例子包括自动生产线、机械化装配机、应用于工业过程的反馈控制系统、数字控制机床以及机器人等。显然机器人也是一种形式的工业自动化^[5]。

自动化可以分为三类：第一类是刚性自动化，其自动化操作过程是不变的；第二类是柔性自动化，其自动化操作过程可以通过调整而改变；第三类是可编程自动化，这是一种可通过改变计算机软件编程而变换任务的自动化。柔性自动化是介于刚性自动化和可编程自动化之间的一种自动化。

上述三种类型的自动化与产品零件种类和产量之间的关系如图 1-3 所示。刚性自动化适

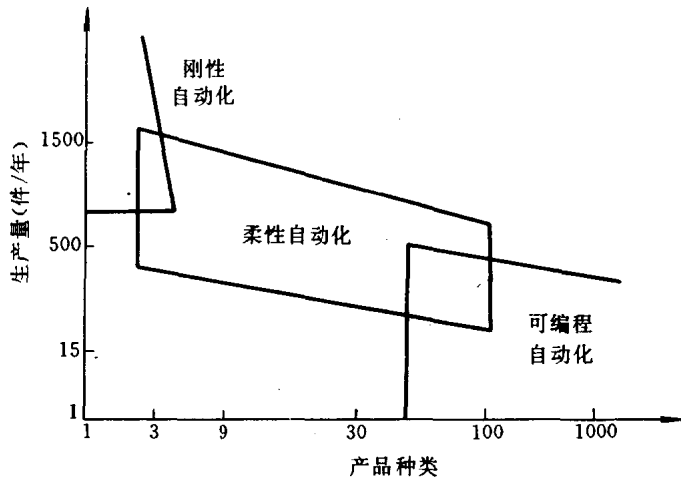


图 1-3 三种类型的自动化与产品零件种类和产量之间的关系

合于大批量生产，生产的零件种类数目很少，可以为之设计专门的工装设备，能达到很高的生产率，汽车的生产就是一个例子；柔性自动化适合于中批量生产，生产的零件种类数目居中；可编程自动化适合小批量生产，生产的零件种类数目可以很大。在三种类型的自动化中，工业机器人属于可编程自动化之类。工业机器人是一种具有通用目的的可编程的多功能操作机，其设计目的是使操作机按照可变的程序运动，从而完成多种多样的任务，例如传送零件、装配、焊接、喷漆等。当机器人本身是一个可编程自动化的装置时，它又可以应用于柔性自动化乃至刚性自动化系统中。

3 机器人的分类和组成

本节主要介绍当前世界上流行的机器人分类方法以及机器人的基本组成。

3.1 机器人的分类

目前现有的机器人分类方法有多种。下面首先介绍的是日本工业机器人研究会的分类方法^[1]，按照该分类方法可将机器人分为以下6类。

第一类机器人是一种手工操作装置，它是由操作者手工操作的具有几个自由度的装置。

第二类机器人是固定顺序机器人，它是按照预先确定的不变方式按逐个顺序完成任务的操作装置，其工作形式很难修改。

第三类机器人是变顺序机器人，它与第二类机器人类似，不同之处即其步骤很容易修改。

第四类机器人是示教-再现机器人。操作人员先用手引导和控制（即示教）机器人完成某项任务，机器人记录下运动轨迹，需要时机器人便可以自动模式再现并完成示教的任务。

第五类机器人是数控机器人。操作人员不是用手示教机器人，而是将运动程序输入至机器人的计算机中，从而控制机器人完成某项任务。

第六类机器人是智能机器人。能够认识其环境，并成功地根据周围条件的变化而完成任务。

上述分类方法反映了机器人技术由低级到高级发展的进程，这也就是我们首先引入这种分类方法的原因。美国机器人研究会将上述的第三至第六类机器人称为机器人。法国工业机器人研究会将上面的第二、第三类合为一类，第四、第五类合为一类，将机器人分为四类。

在上述机器人分类的基础上，进一步可将机器人划分为代(Generation)。通常人们将上述的第四、五类机器人称为第一代机器人；将上述的第六类机器人称为第二代机器人；而将未来的机器人称为第三代机器人。

此外，按照机器人相对其环境自主的程度又可将其分为三大类：固定臂机器人(Fixed Arm Robot)、可行走机器人(Mobile Robot)、可行走自主式机器人(Mobile Autonomous Robot)^[6]。

不论采用何种分类方法，从以上的论述可以看出，未来的机器人正在向着更高的智能、更强的自主性、更全面的感知能力（例如视觉、听觉、触觉、乃至对硬度、湿度和温度的感知）的方向，向着更类人的方向发展。

3.2 机器人的组成

图1-4示出了机器人的基本组成部分。下面分别对机器人的基本组成部分做简要的说明。

1. 机械系统 这个部分包括由铰链连接的基座、肩、肘、夹持器（或抓手）等部分。
2. 执行元件 执行元件为铰接机械系统提供运动的动力。常用的执行元件有电动的、液

压的与气动的三种。

3. 传动装置 将执行元件所提供的动力传至铰接机械系统的装置叫做传动装置,通常可采用齿轮、链轮等。

4. 传感器 机器人的传感器可分为内部传感器和外部传感器两类。

(1) 内部传感器 用来确定机器人整个系统内部各铰接件之间的位姿(位置与姿态的总称)的传感器叫做内部传感器。

(2) 外部传感器 用来获得机器人的环境状态信息的传感器叫做外部传感器。例如安装在机器人本体上的摄像机、力检测器、接近觉传感器、触觉传感器等都可以用作机器人的外部传感器。

5. 计算机 计算机是机器人的大脑,用来处理机器人的传感器所接受的信息及控制运算。

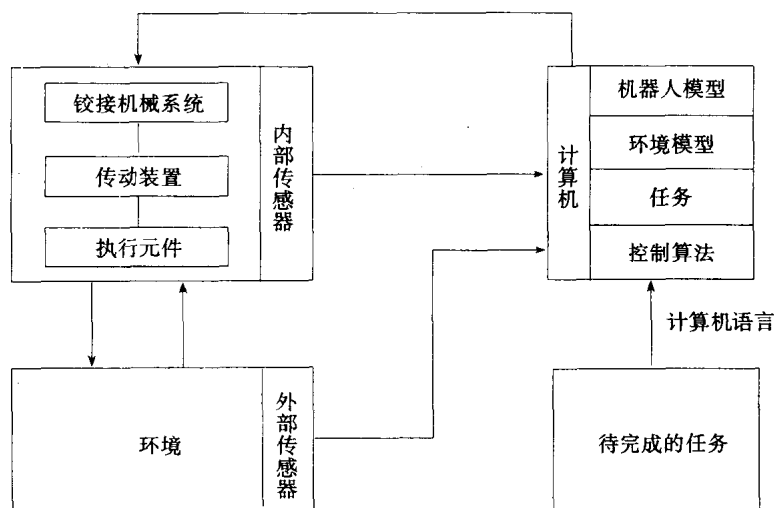


图 1-4 机器人的基本组成

在图 1-4 中还示出了与机器人的安置和工作有关的重要因素——机器人的环境。机器人的环境还包括两种事物：一种是机器人要对付的事物；另一种是机器人在工作时要回避的障碍。

最后指出,在图 1-4 中还示出了与机器人的工作有关的因素,即任务的描述。机器人待完成的任务通过一定的计算机语言输入计算机,使计算机的大脑中存储以必要的信息,从而使机器人能完成各种各样的任务。

4 操作机几何学

各种操作机的形状和尺寸各不相同,所承担的负荷及所完成的任务也不同。例如 Unimate PUMA 机器人可承载 3kg, 航天飞机操作机在零重力条件下则可操纵 500kg 的物体,而大负荷的重型工业操作机甚至可承载 1t 以上。然而,从几何学角度则可将机械臂运动分成以下几种几何形式。

4.1 笛卡尔几何

在笛卡尔几何中,操作机的 3 个关节变量与笛卡尔坐标系的 3 个移动坐标变量 x, y, z 相对应,如图 1-5 所示。图中,笛卡尔坐标 (x, y, z) 确定了手部的位置。运动范围是一立方体。

4.2 圆柱几何

圆柱坐标操作机的3个关节变量与圆柱坐标的3个变量 θ (转动), h (高度), r (半径)相对应,如图1-6所示。圆柱坐标 (θ, h, r) 确定了手部的位置。运动范围是一圆柱体。

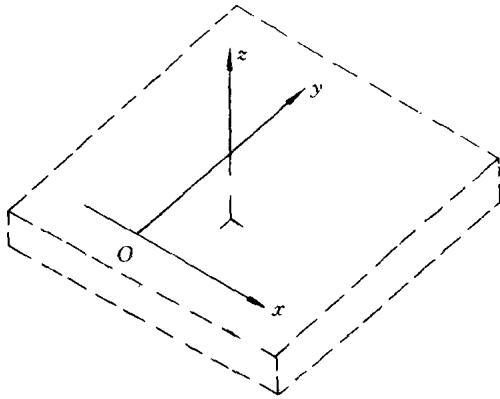


图 1-5 笛卡尔坐标操作机

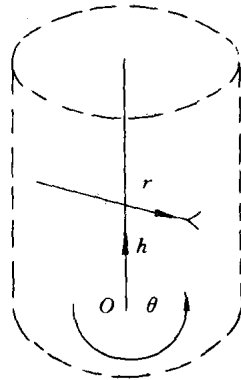


图 1-6 圆柱坐标操作机

手部的位在笛卡尔坐标和圆柱坐标之间可以进行相互变换。

例 1-1 已知圆柱坐标操作机手部的位坐标为 (θ, h, r) 。试进行正变换求手部位置的笛卡尔坐标 (x, y, z) (参见图1-7)。

解 由图1-7所示关系可得

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = h$$

4.3 球几何

球坐标操作机的3个关节变量与球坐标的3个变量 θ (转动), φ (俯仰), r (半径)相对应,如图1-8所示。运动范围为一球体。

同样,手部位在球坐标与笛卡尔坐标之间也可以进行相互的正、反变换。

例 1-2 已知操作机手部的笛卡尔坐标 (x, y, z) 。试进行反变换求手部位置的球坐标 (r, θ, φ) (参见图1-9)。

解 由图1-9所示关系可得

$$x = r' \cos \theta$$

$$y = r' \sin \theta$$

$$z = r' \sin \varphi$$

式中 $r' = r \cos \varphi = \sqrt{x^2 + y^2}$

而 $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

因此 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

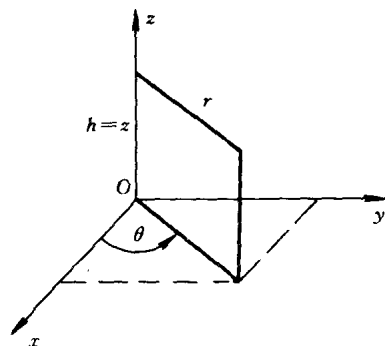


图 1-7 手部位置的圆柱坐标与笛卡尔坐标之间的关系

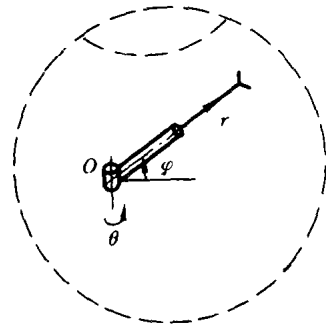


图 1-8 球坐标操作机

进而

$$\tan\theta = \frac{y}{x}$$

于是

$$\theta = \arctan \frac{y}{x}$$

同理

$$\tan\varphi = \frac{z}{r'}$$

于是

$$\varphi = \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

4.4 关节几何

关节机器人的3个关节变量与3个关节坐标 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ 相对应,如图1-10所示。运动范围是一扇形,能避开障碍物,但这种操作机手部位置的关节坐标与笛卡尔坐标之间的相互变换关系比较复杂,需要采用齐次坐标的数学工具来描述,这将在下一章讨论。

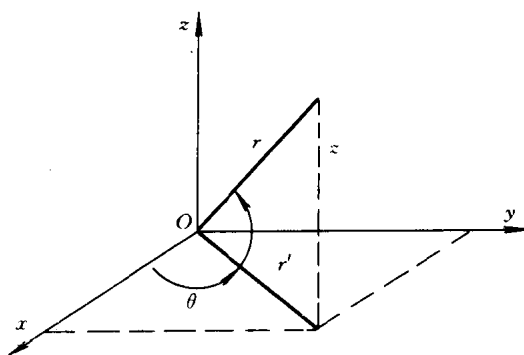


图 1-9 手部位置的笛卡尔坐标
与球坐标之间的关系

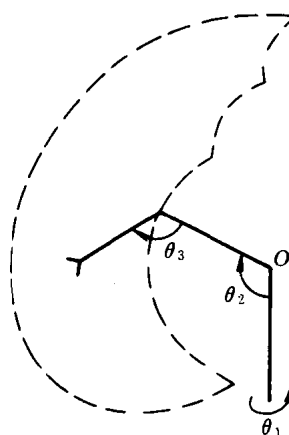


图 1-10 关节坐标操作机

习 题

1. 图 1-8 示出了采用球坐标的 3 自由度操作机。试求操作机的正运动学解,即将手部在笛卡尔空间中的位置 (x, y, z) 表示成为机械臂的关节变量 r, φ, θ 的函数。
2. 对于图 1-6 所示的圆柱机器人,试求逆运动学解,即将 r, h, θ 表示为 x, y, z 的函数。
3. 考虑一个在航天飞机中使用的大型操作机,它用来将卫星中的负载搬运到宇宙空间去。试说明这种操作机是机器人还是遥控手。为什么?
4. 在宇宙飞船上使用的机器人与在地面上使用的机器人在工作环境方面有何本质上的区别?

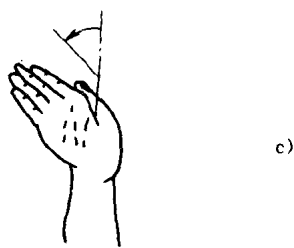
第2章 机器人坐标系统

机器人是一个复杂的运动系统。为了表示组成机器人系统的各个元部件(如杆件、手部等)的位置与姿态,表示它们之间的运动关系,需要采用一套机器人坐标系统,以便为以后各章的论述奠定基础。本章的目的就是引入机器人坐标系统的重要概念,特别是引入在研究机器人运动学问题时所必须应用的齐次矩阵这一数学工具。

1 位置与姿态

要确定一个物体的几何状态需要有3个位置自由度和3个姿态自由度,我们将物体的6个自由度的状态称为物体的位姿。

例如,要想把螺钉拧入螺纹孔中,首先必须使螺钉端部到达螺纹孔所处的位置 (x, y, z) ;其次必须使螺钉的轴线对准螺纹孔轴线的方向,即还需要用姿态变量来描述。



下面以人手的姿态的描述方法为例来说明3个姿态自由度——横滚、俯仰和侧摆的概念,如图2-1所示。

1. 横滚 将手臂伸出,伸直腕关节和手指,转动手腕,使手掌从手心向上转至手心向下,但保持手指指向不变,这种运动就是横滚,如图2-1a)所示。

2. 俯仰 保持手掌伸直,无横滚,转动手掌的方向,让手掌从伸直转到向上,再向下,这种运动就是俯仰,如图2-1b)所示。

3. 侧摆 将手指伸直,无横滚和俯仰,使手掌向左摆,然后向右摆,这种运动就是侧摆,如图2-1c)所示。

图2-1 人手的横滚、俯仰与侧摆
a) 横滚 b) 俯仰 c) 侧摆

以上的人手的姿态加上手的位置,合在一起便构成了手的位姿。

2 正交坐标系

本节主要介绍有关笛卡尔正交坐标系的概念,以及有关矢量的基础知识,并在此基础上引出正交坐标变换的概念。

2.1 问题的提出

在机器人学中应用得最多的空间是笛卡尔空间,它是由正交坐标系所定义的3维空间。刚体在空间的位置通常就表示在笛卡尔空间之中。

设机器人的手中握有一个钻头,要在一个工件上钻孔,如图2-2所示。这时钻头相对手部及相对基座的位置都是重要的,因而需要定义两个坐标系,即手坐标系和基座坐标系。设手坐