

控制·传感技术·视觉·智能

机器人学

〔美〕

付京逊

R. C. 冈萨雷斯

C. S. G. 李

著

中国科学技术出版社

73-203
176

机器人学

控制·传感技术·视觉·智能

[美] 付京逊 R.C. 冈萨雷斯 C.S.G. 李 著
杨静宇 李德昌 李根深 译
史万明 尹耀祥 沈嘉伟
陆际联 杨静宇 校



中国科学技术出版社

9010013

DT13/32
内 容 提 要

本书是一本全面介绍机器人理论与实践的专著。全书共分10章，分别介绍了机器人的发展概况、机器人运动学和动力学、机器人操作轨迹规划、机器人操作机的控制、传感技术、低层视觉、高层视觉、机器人编程语言、机器人智能和任务规划。为读者提供了全面、条理清晰和最新的原理。

供从事机器人和自动化研究的工程技术人员、科学家和大学生使用。

机 器 人 学

控制·传感技术·视觉·智能

付京逊

[美] R. C. 冈萨雷斯 著

C. S. G. 李

杨静宇 李德昌 李根深 译

史万明 尹耀祥 沈嘉伟

陆际联 杨静宇 校

责任编辑：刘长毅 朱桂兰

封面设计：赵一东

中国科学技术出版社出版(北京海淀区魏公村白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

昌平区富强 印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：27.5 插页： 字数：640千字

1989年10月第4版 1989年10月第4次印刷

印数：1—1,200册 定价：17.50元

ISBN 7-5046-0131-4/TP·7

前 言

本书是为从事机器人和自动化研究的工程师、科学家和大学生提供全面、条理清晰和最新的基本原理而编写的。这些基本原理可作为机器人系统设计、分析和综合的基础。

机器人装置的研究和发展可以追溯到 40 年代中期。那时,橡树岭和阿尔贡国家实验室设计和制造了主从机械手,用于搬运放射性材料。

在 50 年代后期,Unimation 公司推出了第一台商用计算机控制的机器人。此后的 15 年中,又相继推出了几种类似的工业和实验用机器人。尽管这项技术是有效的,但是,机器人学作为一门正式被研究的学科而引起人们广泛注意,还是相当近期的事。许多国家因工业生产落后而促进了机器人技术的推广。

机器人学是一门边缘科学,所涉及的范围从机械和电气元件的设计到传感器技术、计算机系统 and 人工智能。与机器人原理、设计和应用有关的大部分素材分散在很多技术杂志、会议录、专题论文和一些教科书之中。这些文献要么集中介绍机器人学的特定领域,要么只作概略论述。因此,对初学者来说,掌握这门科学的全部原理是相当困难的。本书力图完整地介绍机器人学的基本分析技术和基本原理,并把它们统一、连贯地组织起来。这样,本书既可作为教科书,又可作为参考书。对大学生来说,它合乎逻辑地论述基础理论概念和关键技术;对从事研究工作的工程师和科学家来说,它提供了系统的现成参考资料。

本书各章的数学水平在大学四年级和第一年理工科(如工程和计算机科学)研究生所掌握的程度之内。他们需要在矩阵理论、概率论、计算机编程和数学分析方面作入门性的预习。在内容的描述过程中,侧重点是从基本概念推导基础性结果。为了阐明理论,本书列举了大量例子,在每一章的结尾还给出了不同类型和难度的习题。其中一些习题使读者能够通过实际解题进一步加深理解书中所阐述的观点。其它习题则作为本书材料的补充和扩展。出版社还为教师提供全部的题解。

本书是根据三位作者在珀杜大学、田纳西大学和密执安大学授课的讲稿整理而成的。三位作者在过去的 5 年中,在课堂上以及在许多短期课程中已对本教材做了多次试用。在这些课程中,学生们的建议和批评意见对本书内容的编排产生了重大的影响。

在此,谨向各位曾经直接或间接地协助本书编写的学者表示衷心感谢。尤其感谢的是以下各位教授:W. L. 格林、G. N. 萨里迪斯、R. B. 凯利、J. Y. S. 卢、N. K. 洛、W. T. 斯奈德、D. 布泽科维克、E. G. 伯德特、M. J. 陈和 B. H. 李,以及以下各位博士:R. E. 伍兹、斯皮维·道格拉斯、A. K. 贝杰西、C. 戴、F. 金和 L. W. 蔡。由于大多数的项目是在大学中进行的,在过去的几年中,学生们对我们的想法和本书包含的各专题都有影响。以下几位曾在他们的高年级大学生或研究生课程中与我们一起工作过。他们是:J. A. 赫雷拉、M. A. 艾比迪、R. O. 伊森、R. 萨费贝克、A. P. 佩雷兹、C. H. 海登、D. R. 卡特、K. A. 莱因哈特、N. 阿尔弗特斯、E. R. 迈耶、P. R. 常、C. L. 沈、S. H. 霍、C. H. 李、R. 荣格克拉斯、休阿格和 D. 黄。在此,还向几位女士表示感谢,她们打印了大量手稿。她们是:苏姗·梅里尔、丹尼斯·斯米迪、玛丽·比尔登、弗朗斯·鲍德斯和玛丽·安·普鲁德。此外,我们衷心感谢国家科学基金会、空军科学研究所、海军研究局、陆军研究局、

西屋电气公司、马丁·玛丽埃塔宇航公司、马丁·玛丽埃塔能源系统公司、碳化物联盟、洛克希德导弹和空间公司、橡树岭国家实验室和田纳西大学测量和控制中心,它们对我们从事机器人、计算机视觉、机器智能和有关领域的研究工作给了不少赞助。

付京逊
R. C. 冈萨雷斯
C. S. 李

付京逊教授在完成本书之后不久,于 1985 年 4 月 29 日因心脏病在华盛顿特区逝世。有幸熟识他并与其共事过的人们将永远怀念他富有贡献和卓越的一生。

R. C. 冈萨雷斯
C. S. 李

作者简介

作者付京逊曾是珀杜大学电机工程专业的著名教授。他先后在台湾大学、多伦多大学和伊利诺斯大学获得学士、硕士和博士学位。付教授在模式识别、图象处理和人工智能等工程学科方面享有国际声望。他为基础和应用研究树立了新的里程碑。付博士一生著有4部书,并发表了400多篇学术论文,人们经常称他为“自动模式识别之父”。他培养出了75名物理学博士,还曾获得许多荣誉。1976年被选为美国国家工程科学院的成员,1981年获得美国工程教育协会的高级研究奖,1982年荣获电气及电子工程师学会的教育奖章。他曾是电气及电子工程师学会的高级会员,并是Sigma Xi、Eta Kappa Nu和Tau Beta Pi荣誉协会的会员。他曾任国际模式识别协会的第一任会长、电气及电子工程师学会的《模式分析和机器智能学报》的第一任总编辑。付教授于1985年4月29日因心脏病在华盛顿特区逝世。

作者R. C. 冈萨雷斯是田纳西大学电机工程专业的教授。他是Perceptics公司的创始人和董事长。该公司是一家专门从事图象处理、模式识别、计算机视觉和机器智能研究的高技术公司。他在迈阿密大学获得理科学士学位,在佛罗里达大学获得工程硕士和博士学位。这些学位都是在电机工程专业取得的。冈萨雷斯博士单独或合作撰写了有关图象处理、模式识别和计算机视觉方面的4部书和100多篇论文。他的研究具有国际知名度,由于所取得的研究成果,1978年,他获得了田纳西大学校长的研究学者奖,1980年获得马格纳沃克斯工程教授奖和M. E. 布鲁克斯著名教授奖,1984年被田纳西大学命名为校友会中贡献杰出的教授,1985年获得了迈阿密大学的著名毕业生称号。冈萨雷斯博士是工业和政府部门的常设顾问,并且是许多工程和荣誉协会(包括Tau Beta Pi、Phi Kappa Phi、Eta Kappa Nu和Sigma Xi)的会员。他还是电气及电子工程师学会的高级会员。

作者C. S. 李是珀杜大学电机工程专业的副教授。他在华盛顿州立大学获得电机工程学士和电机工程硕士学位,1978年在珀杜大学获得博士学位。从1978年到1985年他于珀杜和密执安大学任教。李博士单独或合作发表了40多篇技术论文,并在多种研讨班上讲授机器人方面的短期课程。他目前的研究项目包括机器人学、自动化和计算机集成制造系统。李博士还为汽车和航天工业部门在机器人方面做了大量的咨询工作。自从1983年以来,他一直是IEEE计算机协会著名访问学者计划中的著名访问学者,并且是IEEE的《机器人和自动化学报》的技术编辑和多种机器人讨论会技术委员会的成员。现在他任IEEE计算机协会出版社的《机器人指南》的第2版编辑,并且是Sigma Xi、Tau Beta Pi、电气及电子工程师学会和制造工程师协会的成员。

目 录

第一章 引言	(1)
1.1 背景	(1)
1.2 机器人的发展历史	(2)
1.3 机器人手臂运动学和动力学	(5)
1.4 操作机轨迹规划和运动控制	(5)
1.5 机器人传感技术	(6)
1.6 机器人编程语言	(6)
1.7 机器人智能	(7)
参考文献	(7)
第二章 机器人运动学	(9)
2.1 引言	(9)
2.2 运动学正问题	(10)
2.3 运动学逆问题	(39)
2.4 结语	(56)
参考文献	(56)
习题	(57)
第三章 机器人动力学	(61)
3.1 引言	(61)
3.2 拉格朗日-欧拉法	(62)
3.3 牛顿-欧拉法	(76)
3.4 广义达朗贝尔运动方程	(91)
3.5 结语	(104)
参考文献	(104)
习题	(105)
第四章 操作机轨迹规划	(110)
4.1 引言	(110)
4.2 轨迹规划的一般性问题	(111)
4.3 关节插值轨迹	(113)
4.4 笛卡儿路径轨迹规划	(127)
4.5 结语	(142)
参考文献	(142)
习题	(143)
第五章 机器人操作机的控制	(145)
5.1 引言	(145)
5.2 PUMA 机器人手臂的控制	(146)
5.3 计算力矩方法	(148)
5.4 接近最短时间控制	(162)
5.5 可变结构控制	(165)
5.6 非线性解耦反馈控制	(166)
5.7 分解运动控制	(169)
5.8 自适应控制	(177)

5.9 结语	(190)
参考文献	(191)
习题	(192)
第六章 传感技术	(193)
6.1 引言	(193)
6.2 距离传感技术	(193)
6.3 接近觉传感器	(200)
6.4 触觉传感器	(205)
6.5 力和力矩传感器	(208)
6.6 结语	(212)
参考文献	(212)
习题	(212)
第七章 低层视觉	(214)
7.1 引言	(214)
7.2 图象采集	(215)
7.3 照明技术	(219)
7.4 成象几何	(223)
7.5 象素间的某些基本关系	(238)
7.6 预处理	(241)
7.7 结语	(261)
参考文献	(262)
习题	(263)
第八章 高层视觉	(265)
8.1 引言	(265)
8.2 分割	(265)
8.3 描述	(289)
8.4 三维结构的分割和描述	(305)
8.5 识别	(311)
8.6 解释	(324)
8.7 结语	(327)
参考文献	(327)
习题	(328)
第九章 机器人编程语言	(331)
9.1 引言	(331)
9.2 机器人级语言的特点	(332)
9.3 作业级语言的特点	(341)
9.4 结语	(347)
参考文献	(349)
习题	(350)
第十章 机器人智能和任务规划	(351)
10.1 引言	(351)
10.2 状态空间搜索	(351)
10.3 问题归约	(359)
10.4 使用谓词逻辑	(362)

10.5 中间-结局分析.....	(366)
10.6 问题求解	(368)
10.7 机器人学习	(375)
10.8 机器人任务规划	(376)
10.9 任务规划中的基本问题	(378)
10.10 专家系统和知识工程.....	(383)
10.11 结语.....	(385)
参考文献	(386)
习题	(386)
附录	(388)
A. 矢量和矩阵	(388)
B. 操作机雅柯比矩阵	(406)
参考文献	(415)

3010013

第一章 引言

1.1 背景

为了满足提高生产率的迫切需要和交付质量一致的成品,工业界日益向基于计算机的自动化方向发展。现在,大部分自动制造作业仍由专用机完成,这些机器是专为在制造过程中完成特定工作而设计的。这种所谓“硬性自动系统”的机器一般没有柔性,而且成本高。因而,人们对应用机器人产生了浓厚的兴趣。机器人在更为柔性的生产环境中,能以较低的生产成本完成各种制造工作。

“机器人”这个英文单词来源于捷克语“robota”,意为“工作”,韦氏字典把机器人定义为“一种自动装置,完成通常由人做的工作”。根据这一定义,洗衣机也可被认为是机器人。美国机器人学会使用的定义对工业机器人做了更加准确的描述:“机器人是一种可再编程的多功能操作机,以用各种编程的动作完成多种作业,用于搬运材料、工件、工具和专用装置。”简言之,机器人是一种带有外部传感器的可再编程的通用操作机,可以完成各种装配作业。根据这一定义,机器人必须具有智能,这种智能通常取决于与控制 and 传感系统有关的计算机算法。

工业机器人是一种计算机控制的通用操作机,它由几根用旋转或棱柱形关节串联的刚性杆件组成,这个杆件链的一端固定在支撑基座上,而另一端是自由的,可安装工具操作工件或完成装配作业。关节的动作产生杆件的相应动作。从机械上看,机器人由手臂、手腕部件和工具组成并将它设计成能伸到工作范围内的工件上。工作范围是机器人起作用的球状区,其手臂能把手腕部件放到球状区域内的任意点。手臂部件通常可以三个自由度运动。运动的合成使手腕部件在工件处定位。手腕部件通常包括三种旋转运动。这些运动的合成,使工具根据物体的外形定向,以便易于抓取。最后的三种运动通常称为俯仰、倾斜和偏转。因此,对于一台六关节机器人来说,手臂部件是定位机构,而手腕部件则是定向机构。这些概念可用图 1.1 所示的 Cincinnati Milacron 公司的 T³ 机器人和 Unimation 公司 PUMA 机器人来说明。

许多商品化的工业机器人被广泛地应用于制造和装配作业,如材料搬运、点弧焊、部件装配、喷漆、数控机床的上料和下料、空间和水下探查、假肢研究和搬运危险材料。按基本运动定义分类,这些机器人不外乎以下四种(图 1.2)。

笛卡尔坐标(三个直线轴)机器人,例如 IBM 公司的 RS-1 型机器人和 Olivetti 公司的 Sigma 机器人;

柱坐标(两个直线轴和一个旋转轴)机器人,例如 Prab 公司的 Versatran 600 型机器人;

球坐标(一个直线轴和两个旋转轴)机器人,例如 Unimation 公司的 Unimate 2000B 机器人;

旋转或关节坐标(三个旋转轴)机器人,例如, Cincinnati Milacron 公司的 T³ 型和 Unimation 公司的 PUMA 机器人。

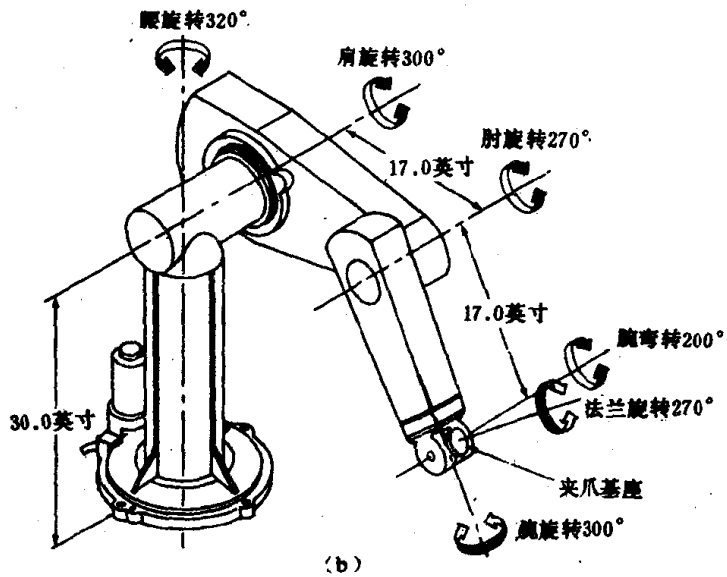
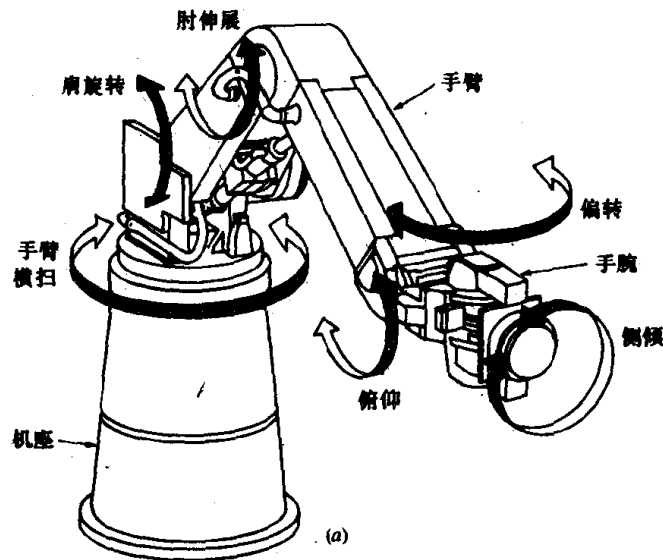


图 1.1 (a) Cincinnati Milacron 公司 T³ 机器人手臂
(b) PUMA 560 系列机器人

当今大多数的工业机器人尽管由小型和微型计算机控制,但基本上还是简单的定位机器。它们再现预先记录或预先编程的运动来执行给定的任务,而使用者则用便携式示教盒对运动预先进行引导或示教。此外,这些机器人只装有少量的或根本不装用于获得机器人工作环境的重要信息的外部传感器。这就是说,机器人主要用来完成一些比较简单的重复性工作。目前,很多研究工作都面向改进操作机系统的总体性能;对本书所包括的各个重要领域进行研究,就是其中的一条途径。

1.2 机器人的发展历史

1921年,剧作家卡雷尔·卡佩克在他的讽刺剧本《Rossum's Universal Robots》中将“机器人”这个单词引入英语之中。在这部戏剧中,机器人是象人一样的机器,不知疲倦地工作。起初,

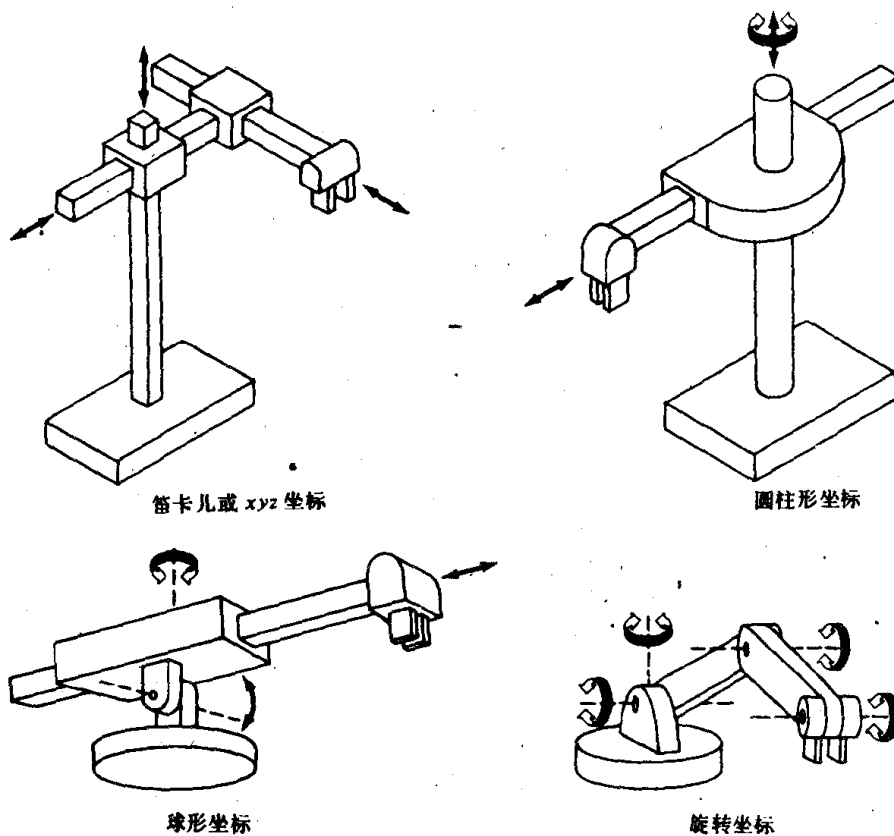


图1.2 各种不同机器人手臂的分类

制造机器人只是为了用来代替操作工人。最后，机器人便与其创造者为敌，消灭整个人类。卡佩克的戏剧直到今天还能代表民众对机器人持有的某些观点，其中包括机器人象人一样具有智能和个性的感性认识。1939年纽约世界交易会上放映的德国1926年拍摄的机器人电影《大都市》中的 Electro 步行机器人和它的狗 Spardo，以及在1977年拍摄的电影《星球大战》中的 C3PO 机器人使这种看法进一步加深。现代工业机器人与在过去60年中文化交流工具所描绘的相比，当然显得很原始。

今日工业机器人的最早研究可追溯到第二次大战后不久。在40年代后期，橡树岭和阿尔贡国家实验室就已开始实施计划，研制遥控式机械手，用于搬运放射性材料。这些系统是“主从”型的，用于准确地“模仿”操作员手和臂的动作。主机械手由使用者进行导引做一连串动作，而从机械手尽可能准确地模仿主机械手的动作，后来用机械耦合主从机械手的动作加入力的反馈，使操作员能够感觉到从机械手及其环境之间产生的力。50年代中期，机械手中的机械耦合被电和液压装置所取代，如通用电气公司的“巧手人”机器人和通用制造厂的“怪物”1型机器人。

主从机械手出现之后不久，很快就开始研究能自主、重复操作的更加复杂的系统。在50年代中期，乔治·C·德沃尔研制出了一套装置被他称之为“编程的关节式传送装置”。它是一个机械手，其操作可被编程（因而也可改变），而且可按照程序指令所确定的动作步骤顺序工作。对这一原理，德沃尔和约瑟夫·F·恩格尔伯格进行了更深入的研究，从而产生了由 Unimation 公司于1959年推出的第一台工业机器人。它的关键是计算机与机械手配合使用，从而成为一台可“示教”而自动地完成各种任务的机器。与硬性自动机不同，当制造要求变更时，这些机器人能以较低的成本重新进行编程和装备新工具，来完成其它工作。

虽然,编程机器人是一种新颖而有效的制造工具,但到了60年代,利用传感器反馈大大增强机器人柔性的趋势就已经很明显了。

60年代早期,H. A. 厄恩斯特于1962年介绍了带有触觉传感器的计算机控制机械手的研制情况。这种称为MH-1的装置能“感觉”到块状材料,用此信息控制机械手,把块状材料堆起来,无需操作员帮助。这种工作是机器人在合理的非结构性环境中具有自适应特性的一例。机械手系统是六自由度ANL Model-8型操作机,由一台TX-O计算机通过接口装置进行控制。此研究项目后来成为MAC计划的一部分,在机械手上又增加了电视摄像机,开始进行机器感觉研究。与此同时,汤姆威克和博奈也于1962年研制出一种装有压力传感器的手爪样机,可检测物体,并向电机输入反馈信号,启动一种或两种抓取方式。一旦手爪接触到物体,与物体大小和质量成比例的信息就通过这些压力敏感元件传输到计算机。1963年,美国机械铸造公司(AMF)推出了VERSATRAN机器人商品,同年初,还研制了多种操作机手臂,如Roehampton型和Edinburgh型手臂。

在60年代后期,麦卡锡于1968年和他斯坦福人工智能实验室的同事报告了有手、眼和耳(即机械手、电视摄像机和拾音器)的计算机的开发情况。他们表演了一套能识别语音命令、“看见”散放在桌面上的方块和按指令进行操作的系统。皮珀也在1968年研究了计算机控制的机械手的运动学问题。在1971年卡恩和罗恩分析了机械限位手臂开关式(最短时间)控制的动力学和控制问题。

这时,其它国家(特别是日本)也开始认识到了工业机器人的潜力。早在1968年,日本川崎重工业公司与Unimation公司谈判,购买了其机器人专利。1969年,机器人出现了不寻常的新发展,通用电气公司为美国陆军研制了一种试验性步行车。同年,研制出了“波士顿”机械手,次年又研制出了“斯坦福”机械手。后者装有摄像机和计算机控制器。把这些机械手用作机器人的操作机,使一些重大的机器人研究工作开始了。对“斯坦福”机械手所作的一项实验是根据各种策略自动地堆放块状材料。在当时,对于自动机器人来说,这是一项非常复杂的工作。1974年Cincinnati Milacron公司推出了第一台计算机控制的工业机器人,定名为“The Tomorrow Tool”(明天的工具)或T³。它能举起重达45.36kg的物体,并能跟踪装配线上的各种移动物体。

在70年代,大量的研究工作都把重点放在使用外部传感器来改善机械手的操作。1973年博尔和保罗在斯坦福使用视觉和力反馈,表演了与PDP-10计算机相连由计算机控制的“斯坦福”机械手,用于装配自动水泵。几乎同时,IBM公司的威尔和格罗斯曼在1975年研制了一个带有触觉和力觉传感器的计算机控制的机械手,用于完成20个零件的打字机机械装配工作。1974年,麻省理工学院人工智能实验室的井上对力反馈的人工智能作了研究。在精密装配作业中,用一种着陆导航搜索技术进行初始定位。内文斯等人于1974年在德雷珀实验室研究了基于依从性的传感技术。这项研究发展为一种被动柔顺(称为间接中心柔顺,RCC)装置,它与机械手最后一个关节的安装板相连,用于紧配合装配。同年,贝杰茨在喷气推进实验室为空间开发计划用的扩展型“斯坦福”机械手提供了一种基于计算机的力矩控制技术。从那以后相继提出了多种不同的用于机械手伺服的控制方法。

仅与前几年相比,今天,我们已把机器人技术视为一个非常广阔的研究领域,它涉及到一些学科间的研究和发展。这些学科包括运动学、动力学、规划系统、控制、传感技术、编程语言和机器智能。下面各节中,要简略介绍的这些专题,它们是本书的核心内容。

1.3 机器人手臂运动学和动力学

机器人手臂运动学涉及到机器人手臂相对于固定参考坐标系运动几何学关系的分析研究,而与产生运动的力或力矩无关。这样,运动学就涉及到机器人空间位移作为时间函数的解析说明,特别是机器人手臂末端执行器位置和姿态与关节变量空间之间的关系。

机器人手臂运动学中有两个基本问题。第一个问题通常称为“正向运动学”问题;第二个问题通常称为“逆向运动学”问题。由于机器人手臂的独立变量是关节变量,但作业通常是用参考坐标系来描述的,所以常常碰到的是逆向运动学问题。1955年,丹纳维特和哈顿贝格提出了一种采用矩阵代数的系统而广义的方法,来描述机器人手臂杆件相对于固定参考坐标系的空间几何。这种方法使用 4×4 齐次变换矩阵来描述两个相邻的机械刚性杆件间的空间关系,把正向运动学问题简化为寻求等价的 4×4 齐次变换矩阵,此矩阵把手部坐标系的空间位移与参考坐标系连系起来。上述矩阵还可用于推导手臂运动的动力学方程。一般来说,逆向运动学问题可用几种方法求解。最常用的是矩阵代数、迭代或几何方法。本书第二章将详细论述正向运动学和逆向运动学问题。

另一方面,机器人手臂动力学涉及到机器人手臂运动方程的数学式。机械手运动的动力方程是一组描述机械手动作特性的数学方程。这样的运动方程组对机器人手臂运动的计算机模拟、合理控制方程的计算及运动设计和结构的评估都是有用的。手臂的实际动力学模型可由已知的物理定律(如牛顿和拉格朗日定律)求得。这样就可根据连杆的特定的几何和惯性参数,得出机械手各种关节运动的动力方程。然后可系统地应用拉格朗日-欧拉和牛顿-欧拉公式之类的普通方法,推导出实际机器人手臂运动方程。有关机器人手臂动力学将在本书第三章中详细论述。

1.4 操作机轨迹规划和运动控制

掌握了串联杆件操作机的运动学和动力学知识以后,人们就要伺服机械手的关节驱动器,控制操作机跟踪期望的轨迹,完成所需的作业。在使机器人手臂运动之前,重要的是要知道机器人手臂必经路线上是否有障碍物(即障碍物约束),以及手爪是否需要沿一条特定的路径(即路径约束)运动。操作机的控制问题通常可分成两个相关的子问题,即运动(或轨迹)规划子问题和运动控制子问题。

操作机手部从起始点(位置和姿态)到终点运动的空间曲线叫做路径。轨迹规划(或轨迹规划装置)利用多项式插补和(或)逼近期望的路径,生成一系列时基“控制设定点”,用于控制机械手从起点到达目标。第四章论述了无障碍运动的各种轨迹规划方案,以及用机械手必经的空间点序列和空间曲线描述期望的操作机运动的形式。

一般来说,运动控制问题包括:(1)求得操作机的动力学模型;(2)使用这些模型确定控制规律或策略,以达到期望的系统响应和性能。由于控制问题的第一部分在第三章全面论述,第五章就重点论述控制问题的第二部分。根据控制分析的观点来看,机器人手臂的运动通常经过两个不同的控制阶段。第一阶段是粗略运动控制,在这一过程中,手臂从初始位姿沿着规划好的轨迹运动到所需目标位姿附近。第二阶段是精确运动控制,在此过程中,手臂的末端执行器使用来自传感器的反馈信息与物体动态地相互作用,以便完成作业。

现在工业上用的控制机器人手臂的方法是把它每个关节当作简单的关节伺服机构来处理。由于忽略了整个手臂机构的运动形态,所以采用伺服机构不能适当地模拟出变化的动力学问题。受控系统的这种参数变化有时相当大,足以使普通的反馈控制策略失效。其结果,降低了伺服响应速度和阻尼,限制了末端执行器的精度和速度,使它只适用于完成精度有限的作业。以这种方式控制的操作机慢速运动时,有不需要的振动。如果要在这方面或机器人手臂控制的其它方面显著提高系统的性能,就需要考虑更为有效的动力学模型,更先进的控制方法和采用专用的计算机结构与并行处理技术。第五章着重于推导粗略运动的控制定律,介绍采用第三章中论述的动力学模型有效地控制操作机的策略。

1.5 机器人传感技术

外部传感机构的使用使机器人能以柔性方式与其环境互相作用。这与预编程序操作不同,在编程操作中,机器人被“示教”,通过一组编程操作完成重复性作业。尽管后者是当今工业机器人最为主要的操作形式,但是,使用传感技术,使机器人在应付环境时具有较高的智能,确实是机器人领域中一项活跃的研究和开发课题。

机器人传感器的功能可分为两大类:内部状态和外部状态。内部状态传感器负责检测诸如手臂关节位置之类的变量。用来控制机器人外部状态的传感器,负责检测诸如距离、接近程度和接触程度之类的变量,用于机器人的引导及物体的识别和处理。本书从第六章至第八章论述外部传感器。第六章的重点是距离、接近觉、触觉和力-力矩传感技术。第七章和第八章详细论述视觉传感器和相应技术。尽管接近觉、触觉和力觉传感器在提高机器人性能方面具有重大的作用,但视觉被认为是机器人最重要的感觉能力。机器人视觉可定义为从三维环境的图象中提取、显示和说明信息的过程。这一过程通常也称为机器或计算机视觉,基本上可分为六大部分:(1)感觉;(2)预处理;(3)分割;(4)描述;(5)识别;(6)解释。

可以根据实现此过程的复杂程度把它们适当地归并在一起。我们认为有三层处理:低、中和高层视觉。尽管在它们之间没有明确的界限,但它们能提供一种有用的结构,用于区分构成机器视觉系统的各种过程。在我们的论述中,我们将把感觉和预处理视为低层视觉功能。从图象形成过程开始,到各种校正,如降低噪音,最后是基本图象特征的提取,如亮度的不连续性。我们还要论述中层视觉,它是对低层视觉处理所形成的图象进行抽取、表征和标记的过程。可以将机器视觉的上述六大部分中的分割、描述和单个物体的识别视为中层视觉功能。高层视觉指的是力图模仿认知行为的过程。第七章的内容论述感觉、预处理及实现低层视觉功能所需的原理和技术。高层视觉问题在第八章中论述。

1.6 机器人编程语言

在把操作机当作一种通用装配机器使用时,主要障碍是在用户和机器人系统之间缺少适合而有效的通信方法,使用户能指挥操作机完成预定的作业。与机器人通信的方法有几种,其中三种主要的方法是:单词识别、示教再现和高级编程语言。

当前的语音识别技术还相当简单,通常与讲话人有关。这种技术可以从有限词汇集中识别一组单词,但通常要求使用者在词之间暂停。尽管使用快速计算机和有效的处理算法现在已经实时地识别字,但采用单词识别来描述任务是有限制的。另外,它需要很大的存储空间来贮存

语音数据,而且通常需要一段训练时间,用来建立语音识别样板。

示教再现方法是用引导机器人完成欲做动作的办法来“教会”它。一般用下述步骤实现:(1)用手控慢速运动引导机器人完成全部装配作业,在适当的位置上记录机器人的关节角,以便再现动作;(2)编辑和再现示教动作;(3)如果示教动作正确,机器人则以适当速度运行重复的动作。这种方法也称为引导法,它是当今工业机器人使用最普遍的方法。

解决人-机通信问题更通用的方法是采用高级编程。机器人常用于弧焊、点焊和喷漆作业,这些作业不需要机器人和环境之间相互作用,可方便地通过引导进行编程。然而,机器人用于完成装配作业时,一般需要高级编程技术。这种做法是有根据的,因为操作机一般由计算机控制,而人与计算机进行通信的最有效的方法是通过高级编程语言。而且,采用程序描述装配作业,使机器人通过简单地执行适当的程序就可完成各种不同的工作,这样就增加了机器人的柔性和多用性。第九章将论述采用高级编程方法实现与机器人系统的有效通信。

1.7 机器智能

机器人的基本问题是通过规划动作来完成一些预定的任务。在机器人执行完成动作所需的指令时,再对它进行控制。在此,规划指的是在动作之前作业动作的决策。机器人的动作综合问题可用解题系统来求解。这种解题系统在已知某些初始状态的情况下可实现一些规定的目标。因此,规划就是对实现规定目标的一系列动作的表达。

对机器人问题的求解,已引出了许多有关人工智能解题系统的想法。在阐述典型的机器人问题时,我们采用装有传感器的机器人并且该机器人在某些易于理解的环境中能完成一些基本动作。机器人的动作把一种环境状态(或形态)变为另一种。例如在“积木世界”中,我们设想环境是一些有标记的积木块放在桌面上或相互堆放在一起,机器人装有电视摄像机、可移动的手臂和手爪,后者能抓起和移动积木块。在某些问题中,机器人是带有电视摄像机的移动式车辆。在有其它物体的环境中,它能完成把物体从一个地方移到另一个地方之类的工作。

在第十章中,我们介绍了几种解题的基本方法及其在机器人规划中的应用。论述的重点是机器人问题的求解或规划。机器人的规划程序要从机器人的最初环境到最终环境中寻找一条路径。路径包括被认为是系统原始的操作序列。在物理环境中,智能问题的解决可能是相应的物理行动序列的基础。机器人规划为机器人系统提供智能和解题能力,是非常有用的研究领域。为了机器人的实时应用,我们仍然需要由高速专用计算机系统执行的功能强而有效的规划算法。

参考文献

下列一般性参考文献可代表机器人和有关领域主要研究课题的出版物。以下各章结尾列出的参考文献为正文所论述的专题提供线索。本书结尾的参考书目包括了各章引用的全部参考文献,并按作者姓名的字母顺序排列。

经常发表机器人各个方面文章的主要杂志和会议录有:《IEEE 机器人和自动化》杂志、《国际机器人研究》杂志、《机器人系统》杂志、《Robotica》、《IEEE 系统、人和控制论学报》、《人工智能》、《IEEE 模式分析和机器智能学报》、《计算机图形学、视觉、图象处理》、《国际工业机器人讨论会会议录》、《国际人工智能联合会会议录》、《IEEE 国际机器人和自动化会议录》、《IEEE 自

动控制学报》、《机构学和机器理论》、《摄影光学和仪器工程师协会会刊》、美国机械师协会的《机械设计》杂志、《应用机械学》杂志、《动力系统·测量·控制》杂志,以及《机构学·传动·自动设计》杂志。

本书的补充读物可从以下作者出版的书目中查找:多德和多索尔[1979]、恩格尔伯杰[1980]、保罗[1981]、罗尔夫[1983]、斯奈德[1985]、李·冈萨雷斯和付[1986]、杜[1985]以及克雷格[1986]。