

国外计算机科学教材系列

WILEY

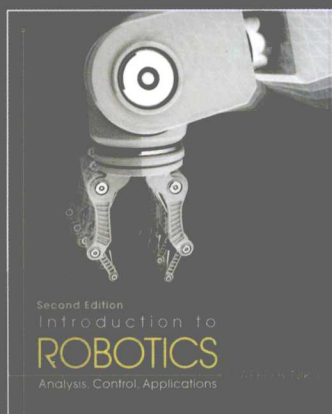
机器人学导论

——分析、控制及应用

(第二版)

Introduction to Robotics

Analysis, Control, Applications, Second Edition



[美] Saeed B. Niku 著

孙富春 朱纪洪 刘国栋 等译

孙增圻 审校

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

机器人学导论

——分析、控制及应用

(第二版)

Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications
Second Edition

[美] Saeed B. Niku 著

孙富春 朱纪洪 刘国栋 等译



NLIC2970876063

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了机器人的基本组成和工作原理。全书共分10章。其中第1章介绍必要的基础知识,如机器人的发展历史、机器人的组成与特点、机器人语言及机器人应用等。第2章和第3章分析机器人的运动学。第4章分析机器人的动力学。第5章讨论机器人在关节空间和直角坐标空间的路径和轨迹规划。第6章介绍机器人的运动控制。第7章介绍机器人的各种驱动装置,如液压和气动装置、直流伺服电机及步进电机等。第8章讨论用于机器人的各种传感器。第9章介绍机器人视觉系统。第10章介绍用于机器人的模糊控制方法。该书每章后面均给出了设计项目,将理论与实际相结合,用以综合运用本章的内容,同时每章后面还附有参考文献和习题。

该书内容丰富,反映了机器人学的基础知识及先进的理论与技术。该书适合作为机械、自动化及计算机等专业本科高年级学生或研究生的教材,也可供从事机器人领域研究的教师或研究人员学习和参考。

Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications, Second Edition, Saeed B. Niku.

Copyright © 2011, John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation published under license.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS, New York, Chichester, Brisbane, Singapore AND Toronto. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons Inc.

本书简体中文版专有翻译出版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 授予电子工业出版社。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

本书封底贴有 John Wiley & Sons, Inc. 防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-4341

图书在版编目(CIP)数据

机器人学导论:分析、控制及应用:第2版/(美)尼库(Niku,S.B.)著;孙富春等译.

北京:电子工业出版社,2013.4

(国外计算机科学教材系列)

书名原文:Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications, Second Edition

ISBN 978-7-121-19783-3

I. ①机… II. ①尼… ②孙… III. ①机器人学-高等学校-教材 IV. ①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第045860号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

文字编辑:陈 磊

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:589千字

印 次:2013年3月第1次印刷

定 价:59.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

随着科学技术的发展和社会的进步,机器人的应用越来越普及,它不仅广泛应用于工业生产和制造部门,在航天、海洋探测、危险及条件恶劣等特殊环境中也获得了大量应用。另外,机器人的应用也逐渐渗透到日常生活和教育娱乐等各个领域。

机器人学是一项集机械、电子、控制及计算机等多个学科的综合技术。国内外越来越多的高校开设了这方面的课程,本书即是在这样的背景下为机器人课程所编写的一本有重要影响的教材及参考书。

本书最初是为美国加利福尼亚理工学院机械工程系机器人学课程编写的,后经修改而形成本书。本书适合作为高年级本科生或研究生的机器人学基础课程的教材,同时也适合作为希望学习机器人的广大科技工作者的参考书。该书于2001年出版了第一版后受到了广泛的欢迎,2011年出版了该书的第二版。第二版除增加了机器人运动控制的新的一章内容外,其余各章也在内容上进行了充实和更新。该书除包含运动学、动力学、轨迹规划及控制等机器人运动分析和控制的内容外,也包含微处理器的应用、视觉系统、传感器及驱动器等主要的机器人系统的实际内容。因此,本书易于为机械工程师、电子和控制工程师、计算机工程师和工程技术专家们所接受和使用。

本书包括了机器人学所有必要的基础知识、机器人部件和主要的子系统,以及机器人应用等内容。全书共分10章。其中第1章介绍必要的基础知识,如机器人的发展历史、机器人的组成与特点、机器人语言及机器人应用等。第2章和第3章分析机器人的运动学。第4章分析机器人的动力学。第5章讨论机器人在关节空间和直角坐标空间的路径和轨迹规划。第6章介绍机器人的运动控制。第7章介绍机器人的各种驱动装置,如液压和气动装置、直流伺服电机及步进电机等。第8章讨论用于机器人的各种传感器。第9章介绍机器人视觉系统。第10章介绍用于机器人的模糊控制方法。该书每章后面均给出了设计项目,将理论与实际相结合,用以综合运用本章的内容,同时每章后面还附有参考文献和习题。

本书第1章至第3章由刘国栋翻译,第4章、第6章和第8章由朱纪洪翻译,第5章、第9章和第10章由孙富春翻译,第7章和附录由孙增圻翻译。全书由孙增圻审校和统稿。

由于译校者的水平所限,本书肯定存在许多不足之处,热忱欢迎广大读者批评指正。

孙增圻

2012年10月于清华大学

前 言

本书是一本介绍机器人学的教材的第二版，它不仅包含第一版的全部内容和特点，而且增加了更多的例子和习题、更新的项目及更翔实的内容。另外，还增加了关于自动控制和机器人控制的一些章节，以及可供下载的名为 SimulationX 的商用软件系统的信息。

几年前我的一个学生曾经说过：“在每个产品的生命周期中，都会有选定设计者并将产品投入生产的时刻。”没有哪本书是十全十美的，每本书都有与众不同的地方。这本书也是这样，该书的意图是为工科的本科生或有实际经验的工程师提供必备的知识，使他们能够熟悉机器人学，懂得机器人，并能设计机器人，以及能将机器人集成到一个具体的应用场合。基于此，本书包括了机器人学所有必要的基础知识、机器人部件和子系统及机器人应用等内容。

本书主要作为高年级本科生或研究生机器人学基础课程的教材，也可作为希望学习机器人的广大科技工作者的参考书。本书包含了相当多的机械学和运动学的内容，此外还包含微处理器的应用、控制系统、视觉系统、传感器及驱动器等方面的内容。因此，本书也是机械工程师、电子和控制工程师、计算机工程师和工程技术专家们理想的参考书籍。本书新的章节涉及一些控制理论，即使一些学生没有学过控制课程，也能够从本书学到足够的知识，从而懂得机器人的控制和设计。

本书共分 10 章。第 1 章通过引言使读者了解学习本书内容需用到的背景知识。这些知识包括机器人的发展历史、构成、特征、语言及应用等。第 2 章讨论机器人的正向和逆向运动学，内容包括坐标的描述、变换、位姿分析及机器人运动学的 D-H (Denavit-Hartenberg) 描述。第 3 章阐述了机器人及坐标的微分运动和速度分析。第 4 章包含机器人动力学和相关力的分析，用拉格朗日力学作为主要的分析和研究方法。第 5 章介绍关节空间和直角坐标空间的路径和轨迹规划。第 6 章介绍控制工程的基本知识，包含分析和设计工具，其中讨论了根轨迹，比例、微分和积分控制，以及机电系统的建模。第 6 章包含多端输入输出 (MIMO) 系统、数字系统及非线性系统。然而，学生要想实际地设计系统，还需要更多的知识和指导。在这个环节上，一章的篇幅是不够的。由于没有单独的控制工程课程设置，所以这一章可以作为很好的入门课程。第 7 章涉及驱动装置，包括液压装置、直流伺服电机、步进电机、气动装置和各种不同的新型驱动装置，本章也包括这些驱动装置的微处理控制器。尽管这本书不是主要针对机械电子学方面的书，但它介绍了很多关于机械电子学的内容。除了微处理器的设计，许多机械电子的应用都在这一章进行了介绍。第 8 章讨论在机器人及机器人应用中使用的传感器。第 9 章覆盖了视觉系统的内容，包括许多在图像处理及分析中运用的技术。第 10 章讨论了模糊逻辑的基本原理和模糊逻辑在微处理器的控制及机器人学中的应用。虽然本章没有进行全面的分析，但给出了基本的介绍。可以相信，对机器人产生兴趣的学生或工程技术人员一定会继续他们的学习。附录 A 回顾了矩阵代数和本书中用到的其他数学工具。附录 B 讨论图像采集。附录 C 讨论 MATLAB 在控制工程中的应用。附录 D 介绍了可以用来建模和仿真机器人及其动力学的商用软件，学生版可以免费使用。涉及机器人仿真的软件、相应的程序和相关辅导也是免费提供的。

本书大部分内容作为一门课程在加利福尼亚理工学院用 10 周时间学完，每周四个单元，其中三个单元每次授课 1 学时，另一单元为 3 学时的实验^①。一般可安排为一个学期的课程。

^① 采用本书作为教材的教师，可获得作者提供的相关英文教辅资料，详见书末所附“教学支持说明”。登录华信教育资源网 www.hxedu.com，注册下载本书配套的教学辅助资料。

以下是一学期(4 学期/年)的机器人学课程的安排, 某些内容需进行相应的删除或简化:

- 基本内容介绍和复习: 3 学时
- 位置运动学: 7 学时
- 微分运动: 4 学时
- 机器人动力学和力控制: 2 学时
- 路径和轨迹规划: 1 学时
- 驱动装置: 3 学时
- 传感器: 3 学时
- 视觉系统: 5 学时
- 模糊逻辑: 1 学时
- 考试和复习: 1 学时

对于一个包含 14 周的学期, 每周 3 学时, 课程安排如下:

- 基本内容介绍和复习: 3 学时
- 位置运动学: 7 学时
- 微分运动: 5 学时
- 机器人动力学和力控制: 5 学时
- 路径和轨迹规划: 3 学时
- 机器人控制及模拟: 5 学时
- 驱动装置: 5 学时
- 传感器: 2 学时
- 视觉系统: 5 学时
- 模糊逻辑: 1 学时
- 考试和复习: 1 学时

本书的设计项目从第 2 章开始贯穿全书。从第 2 章开始, 在各章末尾要求学生结合本章内容继续前面的设计, 直到全书结束, 一个完整的机器人就设计出来了。

在此我要感谢所有帮助过我的人。包括我的同事 Bill Murray, Charles Birdsong, Lynne Slivovsky 和 John Ridgely, 以及无数做过研究、开发和大量工作的个人, 他们的工作让我更好地研究了 this 课题。大量的学生、用户和不知名的评阅人所提出的许多意见对改进原稿起到了巨大的作用, 这中间包括 Thomas Cavicchi, Ed Foley, 以及在加利福尼亚理工学院进行课题设计和开发的学生, 也包括一个机器人俱乐部。我还要感谢 John Wiley & Sons 的编辑 Mike McDonald, 他在第二版的出版过程中起到了巨大的作用, Renata Marchione, Don Fowley, Linda Ratts 和 Yee Lyn Song 也在全过程中给予了巨大支持。还要感谢帮助这本书编辑出版的编辑和艺术家们。我还想感谢在 Prentice Hall 帮助我们出版的工作人员。最后, 我想感谢我的家人 Shoherr, Adam 和 Alan, 很抱歉我把本应该和他们在一起的时光用在了整理本书资料的工作上。对于所有以上提到的人, 在此表示诚挚的感谢。

希望你们都能喜欢这本书, 更重要的是希望大家能学习本书, 并通过学习而感受到从事机器人相关研究的乐趣。

目 录

第1章 基础知识	1
1.1 引言.....	1
1.2 什么是机器人.....	2
1.3 机器人的分类.....	3
1.4 什么是机器人学.....	3
1.5 机器人的发展历史.....	3
1.6 机器人的优缺点.....	5
1.7 机器人的组成部件.....	5
1.8 机器人的自由度.....	7
1.9 机器人关节.....	9
1.10 机器人的坐标.....	9
1.11 机器人的参考坐标系.....	10
1.12 机器人的编程模式.....	11
1.13 机器人的性能指标.....	11
1.14 机器人的工作空间.....	12
1.15 机器人语言.....	13
1.16 机器人的应用.....	15
1.17 其他机器人及其应用.....	19
1.18 机器人的社会问题.....	21
小结.....	22
参考文献.....	22
习题.....	24
第2章 机器人位置运动学	25
2.1 引言.....	25
2.2 机器人机构.....	25
2.3 符号规范.....	26
2.4 机器人运动学的矩阵表示.....	27
2.4.1 空间点的表示.....	27
2.4.2 空间向量的表示.....	27
2.4.3 坐标系在固定参考坐标系原点的表示.....	29
2.4.4 坐标系在固定参考坐标系中的表示.....	29
2.4.5 刚体的表示.....	30
2.5 齐次变换矩阵.....	33
2.6 变换的表示.....	33
2.6.1 纯平移变换的表示.....	33
2.6.2 绕轴纯旋转变换的表示.....	35

2.6.3	复合变换的表示	37
2.6.4	相对于旋转坐标系的变换	39
2.7	变换矩阵的逆	41
2.8	机器人的正逆运动学	44
2.9	位置的正逆运动学方程	45
2.9.1	直角(台架)坐标	45
2.9.2	圆柱坐标	46
2.9.3	球坐标	47
2.9.4	链式坐标	49
2.10	姿态的正逆运动学方程	49
2.10.1	滚动角、俯仰角和偏航角	49
2.10.2	欧拉角	52
2.10.3	链式关节	53
2.11	位姿的正逆运动学方程	54
2.12	机器人正运动学方程的 D-H 表示	54
2.13	机器人的逆运动学解	66
2.13.1	链式机器人臂的一般解	67
2.14	机器人的逆运动学编程	70
2.15	机器人的退化和灵巧特性	72
2.15.1	退化	72
2.15.2	灵巧	72
2.16	D-H 表示法的基本问题	73
2.17	设计项目	74
2.17.1	3 自由度机器人	75
2.17.2	3 自由度移动机器人	76
	小结	76
	参考文献	77
	习题	77
第 3 章	微分运动和速度	86
3.1	引言	86
3.2	微分关系	86
3.3	雅可比矩阵	87
3.4	微分运动与大范围运动	89
3.5	坐标系的微分运动与机器人的微分运动	90
3.6	坐标系的微分运动	91
3.6.1	微分平移	91
3.6.2	绕参考轴的微分旋转	91
3.6.3	绕一般轴 q 的微分旋转	92
3.6.4	坐标系的微分变换	93
3.7	微分变化的解释	95
3.8	坐标系之间的微分变化	94

3.9	机器人和机器人手坐标系的微分运动	96
3.10	雅可比矩阵的计算	97
3.11	如何建立雅可比矩阵和微分算子之间的关联	100
3.12	雅可比矩阵求逆	102
3.13	设计项目	108
3.13.1	3 自由度机器人	108
3.13.2	3 自由度移动机器人	108
小结	.....	108
参考文献	.....	109
习题	.....	109
第4章	动力学分析和力	112
4.1	引言	112
4.2	拉格朗日力学的简短回顾	113
4.3	有效转动惯量	119
4.4	多自由度机器人的动力学方程	120
4.4.1	动能	120
4.4.2	势能	124
4.4.3	拉格朗日函数	124
4.4.4	机器人运动方程	124
4.5	机器人的静力分析	130
4.6	坐标系间力和力矩的变换	131
4.7	设计项目	133
小结	.....	134
参考文献	.....	134
习题	.....	134
第5章	轨迹规划	136
5.1	引言	136
5.2	路径与轨迹	136
5.3	关节空间描述与直角坐标空间描述	137
5.4	轨迹规划的基本原理	140
5.5	关节空间的轨迹规划	140
5.5.1	三次多项式轨迹规划	143
5.5.2	五次多项式轨迹规划	143
5.5.3	抛物线过渡的线性段	145
5.5.4	具有中间点及用抛物线过渡的线性段	146
5.5.5	高次多项式运动轨迹	149
5.5.6	其他轨迹	149
5.6	直角坐标空间的轨迹规划	152
5.7	连续轨迹记录	153
5.8	设计项目	153

小结	153
参考文献	153
习题	154
第 6 章 运动控制系统	155
6.1 引言	155
6.2 基本组成和术语	155
6.3 结构图	156
6.4 系统动力学	156
6.5 拉普拉斯变换	158
6.6 拉普拉斯反变换	160
6.6.1 $F(s)$ 的极点无重根时的部分分式展开	161
6.6.2 $F(s)$ 的极点含重根时的部分分式展开	162
6.6.3 $F(s)$ 的极点含共轭复根时的部分分式展开	163
6.7 传递函数	164
6.8 结构图代数	166
6.9 一阶传递函数的特性	168
6.10 二阶传递函数的特性	170
6.11 特征方程: 零极点分布	172
6.12 稳态误差	173
6.13 根轨迹法	175
6.14 比例控制器	179
6.15 比例积分控制器	182
6.16 比例加微分控制器	184
6.17 比例积分微分(PID)控制器	186
6.18 超前和滞后补偿器	188
6.19 伯德图和频域分析	188
6.20 开环和闭环表示的应用对比	189
6.21 多输入多输出系统	190
6.22 状态空间控制方法	191
6.23 数字控制	193
6.24 非线性控制系统	195
6.25 机电系统动力学: 机器人驱动和控制	196
6.26 设计项目	200
小结	200
参考文献	200
习题	200
第 7 章 驱动器和驱动系统	203
7.1 引言	203
7.2 驱动系统的特性	203
7.2.1 标称特性	203

7.2.2	刚度和柔性	204
7.2.3	使用减速齿轮	204
7.3	驱动系统的比较	207
7.4	液压驱动器	207
7.5	气动装置	213
7.6	电机	213
7.6.1	交流型和直流型电机的基本区别	214
7.6.2	直流电机	216
7.6.3	交流电机	218
7.6.4	无刷直流电机	218
7.6.5	直接驱动电机	219
7.6.6	伺服电机	219
7.6.7	步进电机	221
7.7	电机的微处理器控制	232
7.7.1	脉冲宽度调制	233
7.7.2	采用 H 桥的直流电机转向控制	234
7.8	磁致伸缩驱动器	235
7.9	形状记忆金属	235
7.10	电活性聚合物(EAP)	236
7.11	减速器	236
7.12	其他系统	238
7.13	设计项目	239
7.13.1	设计项目 1	239
7.13.2	设计项目 2	239
7.13.3	设计项目 3	240
7.13.4	设计项目 4	241
小结	.....	241
参考文献	.....	241
习题	.....	242
第 8 章	传感器	244
8.1	引言	244
8.2	传感器的特性	244
8.3	传感器的使用	246
8.4	位置传感器	247
8.4.1	电位器	247
8.4.2	编码器	247
8.4.3	线位移差动变压器	250
8.4.4	旋转变压器	251
8.4.5	传输时间测量(磁反射)型位移传感器	251
8.4.6	霍尔传感器	252
8.4.7	其他装置	252

8.5	速度传感器	252
8.5.1	编码器	252
8.5.2	测速计	253
8.5.3	位置信号微分	253
8.6	加速度传感器	253
8.7	力和压力传感器	254
8.7.1	压电晶体	254
8.7.2	力敏电阻	254
8.7.3	应变片	254
8.7.4	防静电泡沫	255
8.8	力矩传感器	255
8.9	微动开关	256
8.10	可见光和红外传感器	256
8.11	接触和触觉传感器	256
8.12	接近觉传感器	257
8.12.1	磁感应接近觉传感器	257
8.12.2	光学接近觉传感器	258
8.12.3	超声波接近觉传感器	258
8.12.4	感应式接近觉传感器	259
8.12.5	电容式接近觉传感器	259
8.12.6	涡流接近觉传感器	259
8.13	测距仪	260
8.13.1	超声波测距仪	260
8.13.2	光测距仪	261
8.13.3	全球定位系统(GPS)	262
8.14	嗅觉传感器	262
8.15	味觉传感器	262
8.16	视觉系统	263
8.17	语音识别装置	263
8.18	语音合成器	263
8.19	远程中心柔顺装置	264
8.20	设计项目	266
	小结	266
	参考文献	267
第9章	视觉系统图像处理和分析	268
9.1	引言	268
9.2	基本概念	268
9.2.1	图像处理与图像分析	268
9.2.2	二维和三维图像	269
9.2.3	图像的本质	269
9.2.4	图像的获取	269

9.2.5	数字图像	270
9.2.6	频域和空域	271
9.3	信号的傅里叶变换及频谱	271
9.4	图像的频谱: 噪声和边缘	273
9.5	分辨率和量化	274
9.6	采样理论	276
9.7	图像处理技术	278
9.8	图像直方图	279
9.9	阈值处理	280
9.10	空域操作: 卷积掩模	282
9.11	连通性	285
9.12	降噪	287
9.12.1	采用卷积掩模的邻域平均	287
9.12.2	图像平均	289
9.12.3	频域	289
9.12.4	中值滤波器	289
9.13	边缘检测	290
9.14	锐化图像	295
9.15	霍夫变换	295
9.16	分割	298
9.17	基于区域增长和区域分解的分割	298
9.18	二值形态操作	300
9.18.1	加厚操作	301
9.18.2	扩张操作	302
9.18.3	腐蚀操作	302
9.18.4	骨架化	303
9.18.5	放缩操作	304
9.18.6	缩放操作	304
9.18.7	填充操作	304
9.19	灰度形态操作	304
9.19.1	腐蚀操作	305
9.19.2	扩张操作	305
9.20	图像分析	305
9.21	基于特征的物体识别	305
9.21.1	用于物体辨识的基本特征	306
9.21.2	矩	311
9.21.3	模板匹配	311
9.21.4	离散傅里叶描述算子	312
9.21.5	计算机断层造影	312
9.22	视觉系统中的深度测量	312
9.22.1	场景分析与映射	312

9.22.2	距离检测和深度分析	313
9.22.3	立体成像	313
9.22.4	利用阴影和大小进行场景分析	314
9.23	特殊光照	314
9.24	图像数据压缩	315
9.24.1	帧内空域技术	315
9.24.2	帧间编码技术	316
9.24.3	压缩技术	316
9.25	彩色图像	317
9.26	启发式方法	317
9.27	视觉系统的应用	317
9.28	设计项目	318
	小结	319
	参考文献	319
	习题	320
第 10 章	模糊逻辑控制	325
10.1	引言	325
10.2	模糊控制需要什么	326
10.3	清晰值与模糊值	327
10.4	模糊集合: 隶属度与真值度	327
10.5	模糊化	328
10.6	模糊推理规则库	329
10.7	清晰化	331
10.7.1	重心法	331
10.7.2	Mamdani 推理法	331
10.8	模糊逻辑控制器的仿真	334
10.9	模糊逻辑在机器人中的应用	336
10.10	设计项目	339
	小结	339
	参考文献	339
	习题	340
附录 A	矩阵代数和三角学复习	341
附录 B	图像采集系统	347
附录 C	采用 MATLAB 的根轨迹和伯德图	350
附录 D	利用商用软件的机器人仿真	353

第1章 基础知识

1.1 引言

人们从一开始制作物品时,就有用各种方式制作机器人的想法。也许大家见到过由能工巧匠们制作的能够模仿人类动作行为的机器。典型的例子有,威尼斯圣马可斯钟塔的雕像能准时敲响大钟,布拉格旧市政厅一侧的雕像能告诉人们15世纪阿姆斯特丹钟的故事(见图1.1)。各种从简单到复杂的能重复运动的玩具则是另外的例子。好莱坞电影中所描述的机器人的能力甚至超过真人。

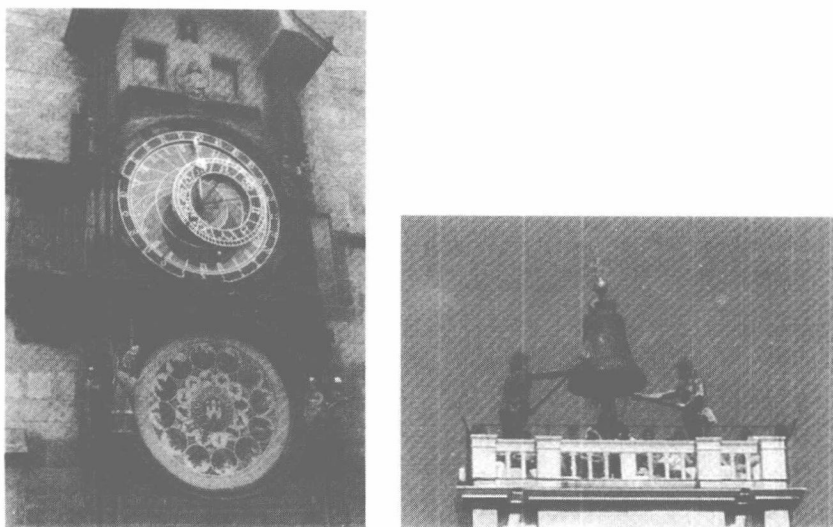


图 1.1 几个世纪前的雕塑和模拟人运动的雕像

尽管从原理上来说,仿人型机器人也是机器人,并具有与机器人相同的设计与控制原理,但本书主要研究工业用机械手型机器人。本书包含了研究机器人所必须掌握的一些基础知识,给出了机器人力学(包括运动学和动力学)的分析方法和轨迹规划,并讨论了驱动器、传感器、视觉系统等用于机器人的部件。漫游机器人也没有什么不同,它们一般在平面上运动并具有较少的自由度。具有骨骼和类人的机器人、步行机构及模仿动物和昆虫的机器人具有更多的自由度(Degree of Freedom, DOF),而且具有独特的能力。然而,我们学到的机械手型机器人的原理,无论是运动学、微分运动、动力学还是控制,也可以同样地应用到漫游机器人中。

机器人是当今工业的重要组成部分,它们能够精确地执行各种各样的任务和操作,并且无须人们工作时所需的安全措施和舒适的工作条件。然而,要使机器人很好地工作也需要付出很大的努力和代价。在20世纪80年代中期,从事机器人制造的公司现在大都已不复存在,只有一些生产工业机器人的公司(如Adept、Staubli、Fanuc、Kuka、Epson、Motoman、Denso、Fuji、IS Robotics,以及像Mako Surgical和Intuitive Surgical这样的专用机器人公司等)在

市场上还保有一席之地。由于目前的机器人尚无法满足人们的较高期望,因此早期对机器人在工业中的使用预测一直未能实现。结果是,尽管有成千上万的机器人用于工业生产,但它们并没有在总体上替代操作工人,机器人只能用在适合使用它们的一些地方。相对于人类,机器人并非万能,它们某些工作能做,另外有些工作却不能做。如果按照期望的用途合理地设计机器人,它们就会具有更多的应用,并持续不断地发展。

机器人技术覆盖许多不同领域。单独的机器人只有与其他装置、周边设备及其他生产机械配合使用才能有效地发挥作用。它们通常集成为一个系统,该系统作为一个整体来完成任任务或执行操作。本书也将讨论这些与机器人配合使用的外围设备及系统。

1.2 什么是机器人

如果将常规的机器人操作手与挂在多用车或牵引车上的起重机进行比较,可发现两者非常相似。它们都具有许多连杆,这些连杆通过关节依次连接,这些关节由驱动器驱动。在上述两个系统中,操作机的“手”都能在空中运动并可以运动到工作空间的任何位置,它们都能承载一定的负荷,并都用一个中央控制器控制驱动器。然而,它们一个称为机器人,另一个称为操作机(即起重机),两者最根本的不同在于起重机由人来控制驱动器,而机器人操作手由计算机编程控制(见图 1.2)。正是通过这一点,可以区别一台设备到底是简单的操作机还是机器人。通常机器人设计成由计算机或类似装置来控制,机器人的动作受计算机监控的控制器控制,该控制器本身也运行某种类型的程序。因此,如果程序改变了,机器人的动作就会相应改变。我们希望一台设备能灵活地完成各种不同的工作而无须重新设计硬件装置。为此,机器人需设计成可以重复编程,通过改变程序来执行不同的任务(当然在能力限制范围以内)。简单的操作机(或者说起重机)除非一直由操纵人员操作,否则无法做到这一点。

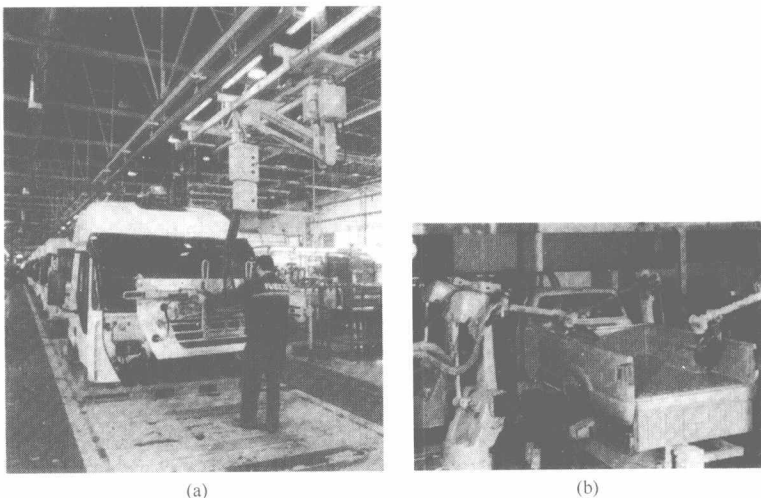


图 1.2 (a) Dalmec PM 的人工操纵的操作机; (b) Fanuc S-500 机器人在卡车上执行焊缝任务。两者具有类似的结构和部件,然而起重机由操作人员控制,机器人则由计算机控制

目前各国关于机器人的定义各不相同。在美国标准中,只有易于再编程的装置才认为是机器人。因此,手动装置(比如一个多自由度的需要操作员来驱动装置)或固定顺序机器人

(例如有些装置由强制起停控制驱动器运动,其顺序是固定的并且很难更改)都不认为是机器人。

1.3 机器人的分类

按照日本工业机器人学会(the Japanese Industrial Robot Association, JIRA)的标准,可将机器人进行如下分类:

- 第1类:人工操作装置——由操作员操作的多自由度装置。
- 第2类:固定顺序机器人——按预定的不变方法有步骤地依次执行任务的设备,其执行顺序难以修改。
- 第3类:可变顺序机器人——同第2类,但其顺序易于修改。
- 第4类:示教再现机器人——操作员引导机器人手动执行任务,记录下这些动作并由机器人以后再再现执行。即机器人按照记录下的信息重复执行同样的动作。
- 第5类:数控机器人——操作员为机器人提供运动程序,而不是手动示教执行任务。
- 第6类:智能机器人——机器人具有感知和理解外部环境的能力,即使其工作环境发生变化,也能够成功地完成任务。

美国机器人学会(the Robotics Institute of America, RIA)只将以上第3~6类视为机器人。法国机器人学会(the Association Francaise de Robotique, AFR)将机器人进行如下分类:

- 类型A:手动控制远程机器人的操纵装置。
- 类型B:具有预定周期的自动操纵装置。
- 类型C:具有连续轨迹或点到点轨迹的可编程伺服控制机器人。
- 类型D:同类型C,但能够获取环境信息。

1.4 什么是机器人学

机器人学是人们在设计和应用机器人过程中的艺术、知识和技巧。机器人系统不仅由机器人组成,还需要其他装置和系统连同机器人一起来共同完成任务。机器人可以用于生产制造、水下作业、空间探测、帮助残疾人甚至娱乐等方面。通过编程和控制,许多场合均可应用机器人。机器人学是一门交叉学科,它得益于机械工程、电气与电子工程、计算机科学、认知科学、生物学及许多其他学科。

1.5 机器人的发展历史

不考虑早期的模拟人类及其动作的机械,单就近代历史来看,不难发现,工业化进程、数字控制和计算机控制革命,以及太空探索的出现,都与人们富有创造性的科学想象之间有着密切的联系。在Karel Capek的小说《Rossam的通用机器人》(Rossam's Universal Robots)^[1]出现后,接着出现了电影《飞侠哥顿》(Flash Gordon),《大都会》(Metropolis),《迷失太空》(Lost in Space),《地球停转之日》(The Day The Earth Stood Still)及《禁忌星球》(The Forbidden Planet)^[2]。