

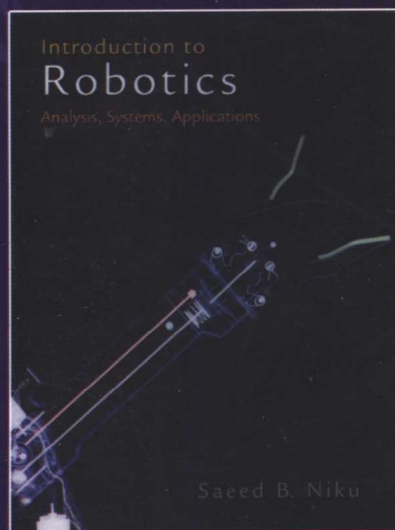
国外计算机教材系列

机器人学导论

—— 分析、系统及应用

Introduction to Robotics

Analysis, Systems, Applications



[美] Saeed B. Niku 著

孙富春 朱纪洪 刘国栋 等译

孙增圻 审校

PEARSON
Prentice
Hall



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

机器人学导论

——分析、系统及应用

Introduction to Robotics
Analysis, Systems, Applications

[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
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9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7章讨论用于机器人的各种传感器。第8章介绍机器人视觉系统。第9章介绍用于机器人的模糊控制方法。同时,本书每章后面均附有参考文献和习题。

本书内容丰富,反映了机器人学的基础知识以及与其相关的先进理论和技术。该书可作为机械、自动化及计算机等专业本科高年级学生或研究生的教材,也可供从事机器人学研究的教师或其他人员学习和参考。

Simplified Chinese edition Copyright © 2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications, ISBN: 0130613096 by Saeed B. Niku. Copyright © 2001. All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-0363

图书在版编目(CIP)数据

机器人学导论——分析、系统及应用/(美)尼库(Niku, S. B.)著;孙富春等译.-北京:电子工业出版社,2004.1

(国外计算机科学教材系列)

书名原文: Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications

ISBN 7-5053-9334-0

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第000793号

责任编辑:赵红燕 王思斯

印 刷:北京兴华印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:19.25 字数:431千字

印 次:2004年1月第1次印刷

定 价:29.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。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。

出版说明

21 世纪初的 5 至 10 年是我国国民经济和社会发展的关键时期,也是信息产业快速发展的关键时期。在我国加入 WTO 后的今天,培养一支适应国际化竞争的一流 IT 人才队伍是我国高等教育的重要任务之一。信息科学和技术方面人才的优劣与多寡,是我国面对国际竞争时成败的关键因素。

当前,正值我国高等教育特别是信息科学领域的教育调整、变革的重大时期,为使我国教育体制与国际化接轨,有条件的高等院校正在为某些信息学科和技术课程使用国外优秀教材和优秀原版教材,以使我国在计算机教学上尽快赶上国际先进水平。

电子工业出版社秉承多年来引进国外优秀图书的经验,翻译出版了“国外计算机科学教材系列”丛书,这套教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多,既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。这些教材涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。同时,我们也适当引进了一些优秀英文原版教材,本着翻译版本和英文原版并重的原则,对重点图书既提供英文原版又提供相应的翻译版本。

在图书选题上,我们大都选择国外著名出版公司出版的高校教材,如 Pearson Education 培生教育出版集团、麦格劳-希尔教育出版集团、麻省理工学院出版社、剑桥大学出版社等。撰写教材的许多作者都是蜚声世界的教授、学者,如道格拉斯·科默(Douglas E. Comer)、威廉·斯托林斯(William Stallings)、哈维·戴特尔(Harvey M. Deitel)、尤利斯·布莱克(Uyless Black)等。

为确保教材的选题质量和翻译质量,我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本系列教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师、博士,也有积累了几十年教学经验的老教授和博士生导师。

在该系列教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括对所选教材进行全面论证;选择编辑时力求达到专业对口;对排版、印制质量进行严格把关。对于英文教材中出现的错误,我们通过与作者联络和网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订。

此外,我们还将与国外著名出版公司合作,提供一些教材的教学支持资料,希望能为授课老师提供帮助。今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	杨芙清	北京大学教授 中国科学院院士 北京大学信息与工程学部主任 北京大学软件工程研究所所长
委 员	王 珊	中国人民大学信息学院院长、教授
	胡道元	清华大学计算机科学与技术系教授 国际信息处理联合会通信系统中国代表
	钟玉琢	清华大学计算机科学与技术系教授 中国计算机学会多媒体专业委员会主任
	谢希仁	中国人民解放军理工大学教授 全军网络技术研究中心主任、博士生导师
	尤晋元	上海交通大学计算机科学与工程系教授 上海分布计算技术中心主任
	施伯乐	上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授 中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
	邹 鹏	国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师 教育部计算机基础课程教学指导委员会副主任委员
	张昆藏	青岛大学信息工程学院教授

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,而且在航天、海洋探测、危险或条件恶劣的特殊环境中获得了大量应用。并且,它还逐渐渗透到日常生活及教育娱乐等各个领域。

机器人学是一门集机械、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。

本书最初是为加利福尼亚理工学院(Cal Poly)机械工程系的机器人学课程而编写的,后经修改而形成本书。本书主要用做高年级本科生或研究生机器人学基础课程的教材,同时也可用做学习机器人的广大科技工作者的参考书。本书除包含运动学、动力学及轨迹规划等机器人运动分析的内容外,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子系统的实际内容。因此,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都可以接受并使用本书。

本书介绍了机器人学所有必要的基础知识、机器人部件、主要的子系统以及机器人应用等内容。

本书在第2章的末尾介绍了一个实际的设计项目,并在其后的各章末尾均要求读者将所学知识运用于该设计实例,从而可以使读者在学习完本书时能设计出一个比较完整的机器人。

本书第1章至第3章由刘国栋翻译,第4章、第6章及第7章由朱纪洪翻译,第5章、第8章及第9章由孙富春翻译,全书由孙增圻审校。

由于译校者的水平有限,书中肯定存在许多不足之处,热忱欢迎广大读者批评指正。

前 言

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。”写书也是这样,书的作者可能会试图囊括各种与该书有关的题材,使其内容包罗万象并成为使每位老师和学生都满意的书。但该书的意图并非如此,这里的意图是写一本书,它能为工科的本科学或有实际经验的工程师提供必备的知识,以使他们能够熟悉这门学科,了解机器人和机器人学,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以及机器人应用等内容。

编写本书的最初目的是用于加利福尼亚理工学院机械工程的机器人学课程。在各界人士的鼓励下,经过一定的修改而变成目前的形式。本书主要用做高年级本科生或研究生机器人学基础课程的教材,也可用做希望学习机器人的实践工程师们的参考书。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、视觉系统、传感器及电动机等方面的内容。因此,本书也是机械工程师、电力和电子工程师、计算机工程师和工程技术专家们理想的参考书籍。

本书共分9章。第1章通过引言使读者了解学习本书内容须用到的背景知识。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,其内容包括坐标的描述、变换、位姿分析以及机器人运动学的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章分析了驱动器,包括液压装置、直流伺服电动机和步进电机等各类电动机、气动装置以及其他许多新型的驱动器等,也包括这些驱动器的微处理器控制。尽管这本书不是一本完全的机械电子学方面的书,但它包含了相当多的机械电子学方面的知识。除了微处理器的设计,本章还包含了机械电子学多方面的应用。第7章介绍了机器人学和机器人应用中的传感器。第8章研究视觉系统,包括许多不同的图像处理 and 图像分析技术。第9章描述模糊逻辑的基本原理以及它在微处理器控制和机器人学方面的应用。本书没有过多地讨论模糊逻辑分析,只做了一些基本介绍,相信对此感兴趣的学生和工程师可以继续自学。附录A给出了全书用到的矩阵代数和其他数学工具。

由于本书对象为高年级学生或有实际经验的工程师,因此假定使用者均已熟悉矩阵代数以及基本的反馈控制理论和分析。正因为如此,除了一些简单回顾,本书不再单独讲述这些知识。显然,若要了解更多更深入的控制理论,则必须参考专门的控制书籍,其中某些内容已超出了机器人学这本书的范围。

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,其中三个单元为每次一小时的讲课,另一单元为三个小时的实验。一般可安排为一个学期的课程。以下是一学期(4学期/年)的机器人学课程的安排(此时,某些内容须删除或简化):

基本内容介绍和复习：3 课时

微分运动：4 课时

路径和轨迹规划：1 课时

传感器：3 课时

模糊逻辑：1 课时

位置运动学：7 课时

机器人动力学和力控制：2 课时

驱动装置：3 课时

视觉系统：4 课时

考试和复习：2 课时

对于一个 14 周长的学期，每周 3 课时，课程安排如下：

基本内容介绍和复习：3 课时

微分运动：5 课时

路径和轨迹规划：4 课时

传感器：3 课时

模糊逻辑：2 课时

位置运动学：9 课时

机器人动力学和力控制：5 课时

驱动装置：4 课时

视觉系统：5 课时

考试和复习：2 课时

本书的设计项目从第 2 章开始贯穿全书。从第 2 章开始，在每章结尾引导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。另外，在第 6 章和第 7 章里介绍了一个旋转圆柱体机器人漫游车的设计方案。

这里我要感谢所有以不同方式对本书做出贡献的人，其中包括机械工程系及学校的同事（所在系及学校为我提供学术休假使我写完了第一稿），对该课题进行研究与开发的人，那些给我的原稿提出建议的学生和不知名的评阅人，本书编辑 Eric Frank 和 Lakshmi Balasubramanian，出版本书的 Prentice Hall 出版公司的工作人员以及使我能投入大量时间从事写作的家人。对于所有以上提到的人，我在此表示诚挚的感谢。

我希望大家喜欢本书，更重要的是希望大家能学习本书，并通过学习而感受到机器人的乐趣。

Saeed B. Niku

目 录

第1章 基础知识	1
1.1 引言	1
1.2 什么是机器人	1
1.3 机器人的分类	2
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	4
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	11
1.12 机器人的编程模式	12
1.13 机器人的性能指标	13
1.14 机器人的工作空间	14
1.15 机器人语言	14
1.16 机器人的应用	17
1.17 其他机器人及应用	21
1.18 机器人的社会问题	22
1.19 小结	22
参考文献	23
习题	24
第2章 机器人位置运动学	26
2.1 引言	26
2.2 机器人机构	26
2.3 机器人运动学的矩阵表示	27
2.4 齐次变换矩阵	34
2.5 变换的表示	34

2.6	变换矩阵的逆	43
2.7	机器人的正逆运动学	48
2.8	机器人正运动学方程的 D-H 表示法	60
2.9	机器人的逆运动学解	68
2.10	机器人的逆运动学编程	72
2.11	机器人的退化和灵巧特性	73
2.12	D-H 表示法的基本问题	74
2.13	设计项目 1: 三自由度机器人	76
2.14	小结	77
	参考文献	78
	习题	78
第 3 章	微分运动和速度	85
3.1	引言	85
3.2	微分关系	85
3.3	雅可比矩阵	86
3.4	坐标系的微分运动	88
3.5	微分变化的解释	92
3.6	坐标系之间的微分变化	93
3.7	机器人及机器人手坐标系的微分运动	95
3.8	雅可比矩阵的计算	95
3.9	如何建立雅可比矩阵和微分算子之间的关联	98
3.10	雅可比矩阵求逆	99
3.11	设计项目	103
3.12	小结	103
	参考文献	104
	习题	104
第 4 章	动力学分析和力	107
4.1	引言	107
4.2	拉格朗日力学的简单回顾	108
4.3	有效转动惯量	114
4.4	多自由度机器人的动力学方程	115
4.5	机器人的静力分析	125
4.6	坐标系间力和力矩的变换	127
4.7	设计项目	129

4.8 小结	129
参考文献	129
习题	130
第5章 轨迹规划	132
5.1 引言	132
5.2 路径与轨迹	132
5.3 关节空间描述与直角坐标空间描述	132
5.4 轨迹规划的基本原理	134
5.5 关节空间的轨迹规划	137
5.6 直角坐标空间的轨迹规划	148
5.7 连续轨迹记录	152
5.8 设计项目	152
5.9 小结	153
参考文献	153
习题	154
第6章 驱动器	155
6.1 引言	155
6.2 驱动系统的性能	155
6.3 驱动系统的比较	159
6.4 液压驱动器	159
6.5 气动装置	165
6.6 电动机	165
6.7 电机的微处理器控制	184
6.8 磁致伸缩驱动器	187
6.9 形状记忆金属	187
6.10 减速器	188
6.11 设计项目1	190
6.12 设计项目2	191
6.13 小结	192
参考文献	192
习题	193
第7章 传感器	194
7.1 引言	194

7.2 传感器特性	194
7.3 位置传感器	196
7.4 速度传感器	203
7.5 加速度传感器	204
7.6 力和压力传感器	204
7.7 力矩传感器	205
7.8 微动开关	206
7.9 可见光和红外传感器	206
7.10 接触和触觉传感器	206
7.11 接近觉传感器	208
7.12 测距仪	210
7.13 嗅觉传感器	212
7.14 视觉系统	213
7.15 语音识别装置	213
7.16 语音合成器	213
7.17 远程中心柔顺装置	214
7.18 设计项目	216
7.19 小结	217
参考文献	217
第8章 视觉系统图像处理和分析	218
8.1 引言	218
8.2 图像处理与图像分析	218
8.3 二维和三维图像	218
8.4 什么是图像	219
8.5 图像的获取	219
8.6 数字图像	223
8.7 频域和空域	223
8.8 信号的傅里叶变换及其频谱	223
8.9 图像的频谱：噪声和边缘	225
8.10 空域操作：卷积掩模	226
8.11 采样和量化	229
8.12 采样理论	231
8.13 图像处理技术	233

8.14 图像直方图	234
8.15 阈值	235
8.16 连通性	235
8.17 降噪	237
8.18 边缘检测	241
8.19 Hough 变换	244
8.20 图像分割	246
8.21 基于区域增长和区域分解的分割	247
8.22 二值形态操作	248
8.23 灰度形态操作	251
8.24 图像分析	252
8.25 基于特征的物体识别	252
8.26 视觉系统中的深度测量	260
8.27 特殊照明	262
8.28 图像数据压缩	263
8.29 实时图像处理	265
8.30 启发式方法	265
8.31 视觉系统的应用	265
8.32 设计项目	266
8.33 小结	267
参考文献	267
习题	268
第9章 模糊逻辑控制	271
9.1 引言	271
9.2 模糊控制需要什么	272
9.3 清晰值与模糊值	273
9.4 模糊集合: 隶属度与真值度	273
9.5 模糊化	274
9.6 模糊推理规则库	275
9.7 清晰化	276
9.8 模糊逻辑控制器的仿真	280
9.9 模糊逻辑在机器人中的应用	281
9.10 设计项目	285
9.11 小结	285

参考文献	285
习题	286
附录 A	287
A.1 矩阵代数及其符号表示方法的回顾	287
A.2 由正弦、余弦或正切值来计算角度	291
习题	293

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,典型的两个例子是:在威尼斯的能准时敲响大钟的雕像和能重复运动的玩具。好莱坞的电影将这一愿望提升到了一个新的高度,他们制作的机器人其表演效果甚至超过真人。

尽管从原理上类机器人是机器人,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。本书包含了一些研究机器人所必须的基础知识,提出了机器人力学(包括运动学和动力学)的分析方法,讨论了驱动器、传感器、视觉系统等用于机器人的基础部件。

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,并且无需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机器人公司、Staubli机器人公司、Fanuc机器人公司、北美公司等)尚在市场上保留一席之地。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设计机器人,它们就会具有多种用途并经久不衰。

机器人学科覆盖许多不同领域。单独的机器人只有与其他装置、周边设备以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（也就是起重机），两者最根本的不同是起重机是由人来控制驱动器，而机器人操作手是由计算机编程控制，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所控制，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需重新设计硬件装置。为此，机器人须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）除非一直由操作人员操作，否则无法做到这一点（如图 1.1 所示）。

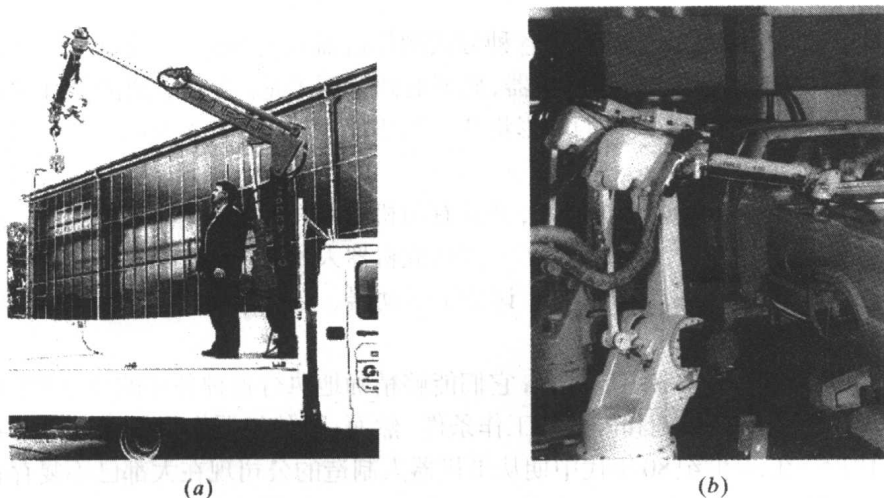


图 1.1 机器人与起重机的操作方法与设计方法非常类似。然而，起重机由操作人员控制，而机器人由计算机控制。因此，通过简单修改计算机程序就可以使机器人实现不同的功能。（a）Kuhnezug 车载起重机；（b）Fanuc S-500 机器人在卡车上执行焊缝任务

目前各国关于机器人的定义都各不相同。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的设备）或固定顺序机器人（例如有些装置由强制起停控制驱动器控制，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（JIRA）的标准，可将机器人进行如下分类：

- 第 1 类：人工操作装置——由操作员操纵的多自由度装置。
- 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（playback）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（RIA）只将以上第3类~第6类视做机器人。

法国机器人学会（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

机器人学是人们设计和应用机器人的技术和知识。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必需的任务。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、生物学以及许多其他学科。

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、机械的数字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像之间有着密切的联系。在 Karel Capek 的小说“Rossam's Universal Robots”^[1]出现后，接着出现了电影“Flash Gordon”，“Metropolis”，“Lost in Space”，“The Day The Earth Stood Still”以及“The Forbidden Planet”^[2]。我们发现制造能代替人类工作的机器的时代已经来临（R2D2, C3PO 以及 Robocop 继续着这一趋势）。Capek 梦想着有这样的情况，即生物过程可以创造出类人的机器，它们虽然缺乏感情和灵魂，但它们身体强壮并服从主人的命令，而且这些机器能够快速而廉价地生产出来。机器人市场很快发展起来，很多国家都想用成百上千的奴隶机器人士兵装备军队，为他们卖命，即使伤亡也不足惜。最终机器人认定自己已经比人类优越，并试图从人类手中接管这个世界。在这个故事中出现的名字 rabota，即劳动者，一直沿用到今天。第二次世界大战之后，人们设计出自动化机械，这提高了生产率。机床生产商制造出数控（NC）机床，它能够生产出更好的产品。与此同时，人们开发出了多自由度的机械手，从事与核材料有关的工作。机床的数控功能与机械手的操作功能相结合便产生了简单的机器人。最早的机器人是由打孔纸带控制的，