



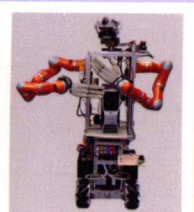
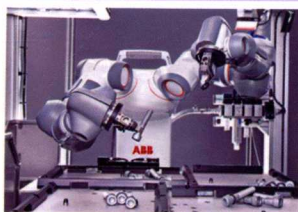
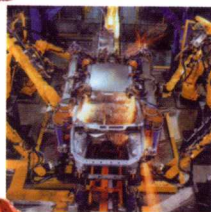
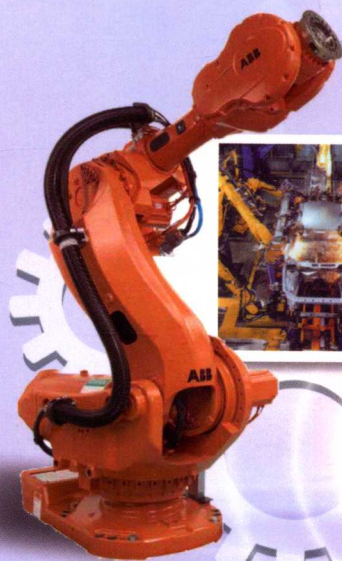
普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

机器人技术基础

(第2版)

宋伟刚 柳洪义 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

机器人技术基础

(第2版)

宋伟刚 柳洪义 编著

本书共分11章,涉及机器人的组成、机器人机构、运动学、动力学、控制、传感与信息处理、人工智能、编程和步行机器人等内容。第1章从国际标准给出了机器人的定义,介绍了机器人的发展概况、机器人的组成、工作原理与分类和主要研究领域。第2章介绍了机器人的运动学,包括机器人的运动学建模、自由度与驱动数问题。第3章讨论了坐标变换和机器人运动学系统,给出了串联结构机器人运动学位置分析、材料选择、机器人运动学问题的求解方法。第4章分析了机器人静力学和动力学问题,给出了常用静力学和动力学欧拉方程、拉格朗日方程、牛顿方程、机器人动力学问题的求解方法。第5章涉及机器人的控制系统结构,执行机构、运动控制。第6章为机器人现代控制技术,包括神经网络、模糊控制、专家控制。第7章和第8章讨论了机器人感觉与信号处理方法,包括位置与速度传感、视觉、力觉、接近觉、视觉信号处理和相关信息处理方法。第9章涉及人工智能问题,分析了智能机器人的含义和控制系统结构体系,讨论了系统的描述和知识获取方法,以及机器人作业规划和作业调度。第10章介绍了机器人的特点与功能,典型编程方法,机器人的运动学、动力学、静力学、控制、感知、行走、视觉、力觉、接近觉、视觉信号处理和相关信息处理方法。第11章为对替代机器人几个基本问题的探讨,包括机器人的步行和稳定裕度、零力矩点的概念及其计算、机器人的运动学、动力学、静力学、控制、感知、行走、视觉、力觉、接近觉、视觉信号处理和相关信息处理方法。

北京
冶金工业出版社
2015

内 容 简 介

本书系统讲授机器人技术的基础知识。全书共 11 章,分别论述了机器人的概况和基本结构;机器人运动学和动力学问题;机器人基本控制方法和现代控制技术;机器人传感技术与感觉信息的处理;机器人人工智能的相关问题;机器人编程技术;移动机器人的引导方法,步行机器人步态稳定性分析与设计方法。

本书为高等学校本科生和研究生教材,也可供从事机器人研发和应用的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机器人技术基础/宋伟刚,柳洪义编著.—2版.—北京:冶金工业出版社,2015.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6938-2

I. ①机… II. ①宋…②柳… III. ①机器人技术—高等学校—教材 IV. ①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第149900号



出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 王雪涛 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6938-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2002年11月第1版,2015年7月第2版,2015年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;16印张;390千字;246页

35.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

第2版前言

本书的最初版本是由彭兆行教授和作者于1995年编写的东北大学内部讲义。

本书共分11章,涉及机器人学的概况、机器人机构、运动学、动力学、控制、传感与信息处理、人工智能、编程和步行机器人等内容。第1章采用现行标准给出了机器人的定义、介绍了机器人的发展概况、机器人的组成、工作原理与分类和主要研究领域。第2章介绍了机器人的机构,包括串联、并联结构和移动机器人的典型机构,以及灵巧手和双臂机器人等。分析了机器人的关节、自由度与驱动数问题。第3章讨论了坐标变换和齐次变换方法,系统给出了串联结构机器人运动学位置分析、速度分析和加速度分析的问题与求解方法。第4章分析了机器人静力学和动力学问题,给出了采用牛顿-欧拉方程和牛顿-欧拉方程建立机器人动力学方程的方法,以及动力学正问题和逆问题的求解方法。第5章涉及机器人的控制系统结构、轨迹规划、运动控制和力控制。第6章为机器人现代控制技术,讨论了变结构控制、自适应控制和学习控制方法。第7章和第8章讨论了机器人感觉与信息处理方法,包括位置与速度传感器、触觉、力觉、接近觉、视觉传感器和相关信息的处理方法。第9章涉及机器人人工智能问题,分析了智能机器人的含义和控制系统结构体系,讨论了机器人系统的描述和知识获取方法,以及机器人作业规划和行动规划方法,介绍了智能机器人的控制范式。第10章介绍了机器人编程问题,包括机器人编程语言的特点与功能,典型编程语言与编程实例,讨论了机器人离线编程问题。第11章为对移动机器人几个基本问题的探讨,涉及移动机器人的引导与控制、步行机器人的步态和稳定裕度、零力矩点的概念及其计算方法、四足步行机力的分布和多足步行机器人的设计实例,其中四足步行机力的分布为柳洪义教授的博士论文的研究成果。

本次修订,补充了本学科近年来的最新成果,在采用现行标准和统一表达式方面做了订正。

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,诚请读者批评指正。

编者
2015年4月

第1版前言

机器人技术一直是人们最关注的科学研究领域之一。机器人学集力学、机械工程学、电子学、计算机科学和自动控制为一体，是一门综合性技术学科。机器人的产生和发展与其他事物一样，都是从低级到高级的演变过程。目前机器人在其发展历程中尚处于低级阶段。今后机器人将逐渐发展成为完全智能化的机器。由于机器人技术的发展，提高了机器人可靠性和智能化程度，其应用领域正在不断扩大。在越来越多的工程技术领域，我们将看到越来越多的机器人在神奇绝妙地工作。机器人产业将随着机器人技术的发展和机器人需求的增加而稳步发展。由于机器人产业的发展，需要越来越多的机器人的研究及开发人才，机器人应用领域的扩大也需要更多的人懂得机器人的应用技术。所以提高技术人员的机器人技术水平和普及机器人应用知识是十分必要的。目前在高等工科大学相继开设了机器人技术方面的课程。本书就是为了适应上述需要，将我们多年从事机器人领域的科研和教学经验加以总结，在校内教材的基础上编写而成的。

在本书编写和出版过程中，得到了东北大学教务处、机械工程与自动化学院和机械电子工程研究所的大力支持，我们表示衷心的感谢；对本书引用文献的作者表示诚挚的谢意。本书由中国科学院院士闻邦椿教授担任主审。东北大学博士生导师刘杰教授和中国科学院沈阳自动化研究所赵明扬研究员也详细审查了本书的内容，对他们提出的宝贵意见和辛勤的劳动深表感谢。

本书可以作为理工科大学本科教材，也可供相关领域的工程技术人员和研究生参考。

由于作者水平有限，时间仓促，疏漏之处恳切希望广大读者批评指正。

编者

2002年8月于沈阳

目 录

1 绪论	1
1.1 机器人概述	1
1.1.1 机器人的定义与特点	1
1.1.2 机器人的发展概况	2
1.2 机器人的组成、工作原理与分类	5
1.2.1 机器人的基本组成	5
1.2.2 机器人系统工作原理	7
1.2.3 机器人的分类	9
1.3 机器人的研究领域	10
习题	11
2 机器人的机构	12
2.1 机器人的关节、自由度与驱动数	12
2.1.1 少自由度与冗余自由度	13
2.1.2 欠驱动与冗余驱动	13
2.1.3 变胞机构与变拓扑结构	13
2.2 串联机器人的典型结构	14
2.2.1 串联机器人的构型	14
2.2.2 驱动方式	16
2.2.3 手腕的结构	18
2.3 并联机器人结构	18
2.4 机器人的手部机构与灵巧手	21
2.4.1 机器人手部机构	21
2.4.2 灵巧手	22
2.5 移动机器人的机构	25
2.5.1 车轮型移动机构	26
2.5.2 履带式移动机构	31
2.5.3 多足步行机器人	33
2.6 双臂机器人	36
2.7 工业机器人的技术参数	37
2.7.1 自由度	37
2.7.2 重复定位精度	37

2.7.3	工作空间	38
2.7.4	最大工作速度	39
2.7.5	承载能力	39
	习题	39
3	机器人运动学	40
3.1	引言	40
3.2	坐标变换	41
3.2.1	旋转变换	41
3.2.2	绕任意轴转动的旋转矩阵	43
3.2.3	以欧拉角表示的旋转矩阵	44
3.2.4	坐标系原定不重合下的坐标变换	46
3.2.5	齐次坐标和齐次变换矩阵	46
3.2.6	变换方程	48
3.3	Denavit-Hartenberg(D-H)表示法与机器人运动学位置分析正问题	49
3.3.1	Denavit-Hartenberg(D-H)表示法	49
3.3.2	机器人运动学正问题	54
3.4	机器人运动学逆问题	57
3.5	机器人的速度分析与雅可比矩阵	61
3.5.1	速度关系与雅可比矩阵	61
3.5.2	雅可比矩阵的求法	62
3.5.3	雅可比矩阵的逆	66
3.5.4	雅可比矩阵的应用	66
	习题	69
4	机器人静力学与动力学	70
4.1	机器人静力学	70
4.2	惯量张量	71
4.2.1	转动惯量	71
4.2.2	惯量张量	71
4.3	机器人动力学方程建立方法	74
4.3.1	牛顿-欧拉方程	74
4.3.2	拉格朗日-欧拉方程	77
4.4	机器人动力学逆问题的递推计算方法	80
4.4.1	附体动坐标系与机座坐标系的速度和加速度关系	80
4.4.2	运动学量的递推关系	81
4.4.3	关节力矩的递推法	82
4.5	机器人动力学的正问题	83
	习题	83

5 机器人的运动控制与力控制的基本方法	84
5.1 机器人控制系统的作用及结构	84
5.1.1 机器人控制系统的作用及其组成	84
5.1.2 PUMA-562 的软、硬件配置	86
5.2 轨迹规划	88
5.2.1 轨迹的生成方式	88
5.2.2 工业机器人的关节空间运动规划	89
5.3 机器人的运动控制	90
5.3.1 机器人关节伺服控制	90
5.3.2 动态控制	94
5.4 机器人的力控制	94
5.4.1 作业约束与力控制	95
5.4.2 位置和力控制系统结构	97
5.4.3 顺应控制	98
5.4.4 刚性控制	99
习题	100
6 机器人现代控制技术	101
6.1 变结构控制	101
6.1.1 变结构控制系统的基本原理	101
6.1.2 机器人的滑模变结构控制	104
6.2 自适应控制	106
6.2.1 机器人状态方程	106
6.2.2 模型参考自适应控制	107
6.2.3 自校正自适应控制	109
6.2.4 基于机器人特性的自适应控制	110
6.3 学习控制	111
6.3.1 基于感知器的学习控制方法	111
6.3.2 机器人自学习控制法	111
6.3.3 学习控制在机器人中的应用	113
习题	114
7 机器人感觉	115
7.1 内部传感器	115
7.1.1 位移(角度)传感器	115
7.1.2 测速发电机	116
7.1.3 光学编码器	117
7.2 触觉传感器	121

7.2.1	触觉传感器	121
7.2.2	触觉传感器阵列	123
7.2.3	滑觉传感器	125
7.3	力觉传感器	126
7.3.1	力和力矩的一般检测方法	126
7.3.2	腕力传感器	127
7.4	接近与距离觉传感器	129
7.4.1	磁力式接近传感器	129
7.4.2	气压式接近传感器	130
7.4.3	红外式接近传感器	130
7.4.4	超声波距离传感器	131
7.5	陀螺仪	134
7.6	视觉传感器	135
7.6.1	机器人视觉系统	135
7.6.2	机器人视觉输入装置	137
	习题	143
8	机器人感觉信息的处理	144
8.1	传感器与计算机的接口设计	144
8.1.1	输入放大器	144
8.1.2	V/I、I/V 转换电路	145
8.1.3	采样/保持电路	146
8.1.4	模拟多路开关	147
8.1.5	传感器与计算机的连接	147
8.2	触觉信息的处理	149
8.2.1	轮廓特征的识别	149
8.2.2	空间信息识别	150
8.3	机器人的二维图像处理	153
8.3.1	前处理	153
8.3.2	特征提取	154
8.3.3	匹配和识别	156
8.4	三维视觉的分析	157
8.4.1	单目视觉	157
8.4.2	双目视觉	158
8.4.3	物体的表示及匹配	158
8.5	机器人的语音	159
8.5.1	语音合成	159
8.5.2	语音识别	164
8.5.3	语音信息处理装置	168

8.6 机器人多传感器信息融合	169
8.6.1 多传感器信息融合的意义	169
8.6.2 多传感器信息融合的主要方法	169
8.6.3 多传感器信息融合在机器人中的应用	171
习题	172
9 机器人人工智能	173
9.1 概述	173
9.1.1 智能机器人的含义	173
9.1.2 智能机器人的结构体系	174
9.2 机器人系统的描述	177
9.2.1 作业程序	177
9.2.2 对象物的描述	177
9.2.3 知识表达框架	179
9.3 机器人行为规划	181
9.3.1 作业规划	181
9.3.2 行动规划	181
9.4 机器人知识的获取	186
9.4.1 学习的分类	186
9.4.2 作业知识的获取	187
9.4.3 图像理解与环境知识的获取	187
9.5 智能机器人的控制范式	188
习题	190
10 机器人编程	191
10.1 机器人语言的特点	191
10.1.1 机器人编程系统	191
10.1.2 对机器人的编程要求	192
10.1.3 机器人编程语言的类型	193
10.1.4 机器人语言的特征	195
10.2 机器人语言的功能	196
10.2.1 机器人语言的基本功能	196
10.2.2 机器人语言指令集	197
10.2.3 与动作有关的机器人语言数据结构	206
10.3 机器人编程语言 AL 和 VAL	207
10.3.1 AL 语言系统	208
10.3.2 VAL 语言系统	214
10.4 机器人离线编程	216
10.4.1 离线编程系统的一般要求	216

10.4.2 离线编程系统的基本组成	217
习题	220
11 移动机器人的几个基本问题	222
11.1 移动机器人的引导与控制	222
11.1.1 路径引导方式	222
11.1.2 自主引导方式	224
11.2 步行机器人的步态和稳定裕度	224
11.2.1 足的个数和自由度	224
11.2.2 步态与稳定性	225
11.3 零力矩点的概念及其计算方法	227
11.3.1 零力矩点的概念	227
11.3.2 三维动力学系统的 ZMP 的计算	228
11.4 四足步行机力的分布	229
11.4.1 四足步行机的力学模型	230
11.4.2 四足步行机力分布的优化原理	230
11.4.3 四足步行机力分布和腿关节驱动力矩的仿真	233
11.5 多足步行机器人的设计实例	235
11.5.1 本体设计	235
11.5.2 LR-1 六足机器人系统的性能与特点	242
习题	243
参考文献	244

1 绪 论

1.1 机器人概述

机器人是现代科学技术发展的必然产物，因为人们总是设法让机器来代替人的繁重工作，从而发明了各种各样的机器。机器的发展和其他事物的发展一样，遵循着由低级到高级的发展规律，机器发展的最高形式必然是机器人。

虽然机器人的能力目前还是非常有限的，但是它正处在迅速发展过程中，并开始对整个工业生产、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。

1.1.1 机器人的定义与特点

机器人的英文名词是 Robot，它最早出现在 1920 年捷克作家卡雷尔·卡佩克（Karel Capek）所写的一个剧本《Rossum's Universal Robots》中，中文意思是“罗萨姆的万能机器人”。剧中的人造劳动者取名为 Robotas，捷克语的意思是“苦力”、“奴隶”。以后世界各国都用 Robot 作为机器人的代名词。

1967 年，在日本召开的第一届机器人学术会议上提出了两个有代表性的机器人定义。一是森政弘与合田周平提出的：“机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械半人性、自动性、奴隶性 7 个特征的柔性机器”。从这一定义出发，森政弘又提出了用自动性、智能性、个体性、半机械半人性、作业性、通用性、信息性、柔性、有限性、移动性 10 个特性来表示机器人的形象。

加藤一郎提出具有 3 个条件的机器称为机器人：具有脑、手、脚三要素的个体；具有非接触传感器（用眼、耳接受远方信息）和接触传感器；具有平衡觉和固有觉的传感器。

ISO 8373—2012 对工业机器人给出的定义可表述为：在工业自动化中使用的操作机是自动控制的，可重复编程、多用途，并可对三个和三个以上轴进行编程。它可以是固定式或移动式的。

这里的操作机（manipulator）是指一种机器，其机构通常是由一系列相互铰接或相对滑动的构件所组成。它通常有几个自由度，用以抓取或移动物体（工具或工件）。可重复编程是在不更换机械结构或控制系统即可更改已编程的运动和辅助功能。

日本国家标准 JIS B 0134：1998 的定义为：工业机器人是一种能够通过自动控制来进行操作或移动，且由程序对各种作业进行控制的工业用机械。工业操作机器人为 3 轴以上，可自动控制、能够再编程、移动或固定的通用操作机械。

JIS B 0185：2002 中，定义智能机器人是具有人或动物的全部或部分的推理、学习、认识与理解等的智能机器。

通常可以理解机器人具有以下特性：

(1) 机器人是模仿人或动物肢体动作的机器,能像人那样使用工具和机械,通常能够实现三维空间中的运动,因此,数控机床和汽车不是机器人。

(2) 机器人具有智力或感觉与识别能力。玩具机器人一般没有感觉和识别能力,不属于真正的机器人。

(3) 直接对外界工作。机器人要完成一定的工作,对外界产生作用。

机器人集中了机械工程、电子技术、计算机技术、自动控制理论以及人工智能等多学科的最新研究成果,代表了机电一体化的最高成就,是当代科学技术发展最活跃的领域之一。

工业机器人是机电一体化的工业生产用自动化装置。工业机器人是为工业大生产而设计的,为了适应各种不同的生产应用,其形状多种多样,但根本没有一点人的模样。它具有如下特点:

(1) 能高强度地、持久地在各种生产和工作环境中从事单调重复的劳动,使人类从繁重体力劳动中解放出来。

(2) 对工作环境有很强适应能力,能代替人在有害场所从事危险工作。

(3) 具有很广泛的通用性,比一般自动化设备有更广的使用性能,既能满足大批量生产的需要,又能满足产品灵活多变的中、小批量的生产作业。

(4) 具有独特的柔性,它可以通过软件调整等手段加工多种零件,可以灵活、迅速实现多品种、小批量的生产。

(5) 动作准确性高,可保证产品质量的稳定性。

(6) 能显著地提高生产率和大幅度降低产品成本。

机器人的开发始终要遵循科学家兼作家 Isaac Asimov 在 1942 年出版的科幻作品《Run Around》中首先提出的机器人三定律,即:

第一定律:机器人不得伤害人,也不得见人受到伤害而袖手旁观。

第二定律:机器人应服从人的一切命令,但不得违反第一定律。

第三定律:机器人应保护自身的安全,但不得违反第一、第二定律。

后来又出现了补充的“机器人第 0 定律”:

第 0 定律:机器人必须保护人类的整体利益不受伤害,其他三条定律都是在这之前前提下才能成立。

1.1.2 机器人的发展概况

1948 年,诺伯特·维纳(Norbert Wiener)出版了《控制论》,阐述了机器中的通信和控制机能的共同规律,率先提出以计算机为核心的自动化工厂,为机器人的开发提供了理论基础。

第一代遥控机械手诞生于 1948 年美国的阿贡实验室,当时用来对放射性材料进行远距离操作,以保护原子能工作者免受放射线照射。1954 年,乔治·德沃尔(George C. Devol)提出了一个关于工业机器人的技术方案,随后注册了专利。第一台工业机器人诞生于 1956 年,是将数字控制技术与机械臂相结合的产物。当时,主要目的是为了克服串联机构累积的系统误差,以便达到较高的空间定位精度,提出了示教再现的编程方式,从而使重复定位精度几乎比绝对定位精度提高了一个数量级。至今绝大部分使用中的工业

机器人仍采用这种编程方式。1961年，诞生了第一台工业机器人的商用产品 Unimate，当时，其作业仅限于上、下料。尔后的发展比预想中的要慢。恩格尔伯格 (J. Engelberger) 和乔治·德沃尔创立了第一家机器人公司 Unimation (1983年，Engelberger 以 1 亿 700 万美元将 Unimation 公司卖给了西屋公司)，恩格尔伯格被称为机器人之父 (图 1-1)。1962 年，美国机器和铸造公司 AMF 公司推出了工业机器人 Versatram (意为“灵活搬运”)。

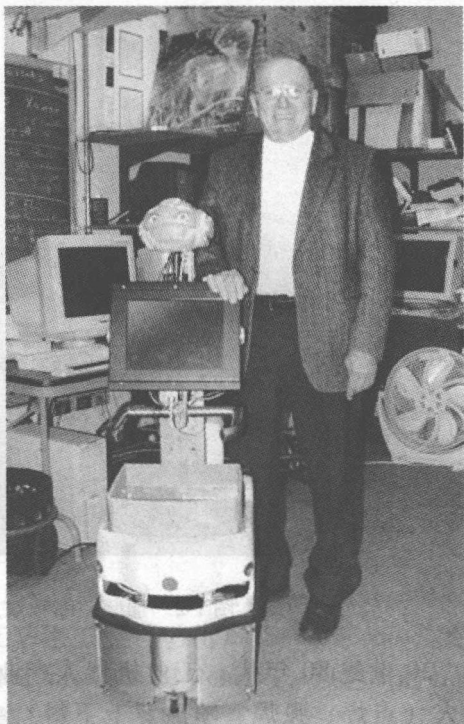


图 1-1 恩格尔伯格和机器人

20 世纪 60 年代，美、英等国很多学者，把机器人作为人工智能的载体，来研究如何使机器人具有环境识别、问题求解以及规划能力，祈望使机器人具有类似人的高度自治功能，结果是始终停留在实验室阶段。其中美国有名的斯坦福研究所的眼车计划，虽然形式上实现了心理学中典型的猴子和香蕉问题的求解，然而由于距离解决实际中的复杂问题太远，因而得不到进一步的支持，只好于 1972 年中止。60 年代末至 70 年代

中，世界上很多著名的实验室、大学和研究所，如英国的爱丁堡大学人工智能实验室，美国的斯坦福大学、斯坦福研究所、麻省理工学院，以及日本的日立中央研究所等，都在致力于机器人装配作业的研究，单纯从技术出发模仿人进行的作业，或实现看图装配，或自动装配顺序生成等。由于当时的工业水平还没有发展到相应的阶段，无法解决所遇到的技术难题，另外耗资巨大而无法得到应用部门的支持。至 70 年代中，由于制定的目标过高，除了局部单元技术方面取得不少有意义的成果外，整体上说大部分研究没有取得有意义的实际结果。

1968 年，日本川崎重工引进美国 Unimation 公司的 Unimate 机器人制造技术，开始了日本机器人的时代，经过近十年的努力，开发了点焊、弧焊及各种上、下料作业的简易经济型机器人。成功地把机器人应用到汽车工业、铸塑工业、机械制造业……，从而大大地提高了制成品的一致性及质量，形成了一定规模的机器人产业。

1973 年，日本的机器人之父，早稻田大学的加藤一郎教授开始研究仿人机器人，成功研制出了双腿走路的机器人 (图 1-2)。

20 世纪 70 年代，出现了更多的机器人商品，并在工业发达国家的工业生产中逐步推广应用。1979 年 Unimation 公司推出了 PUMA 系列工业机器人，它的关节由电动机驱动，可配置视觉、触觉、力觉传感器，是技术较为先进的机器人。到 1980 年全世界约有 2 万余台机器人在工业中应用。

1973 年，ASEA 公司 (现在的 ABB) 推出了世界上第一个微型计算机控制、全部电气化的工业机器人 IRB-6，为了满足弧焊的要求，它可以进行连续的路径移动。1978 年，日本山梨大学的牧野洋提出了具有 4 个自由度的可选择柔顺装配机械手 (SCARA)。

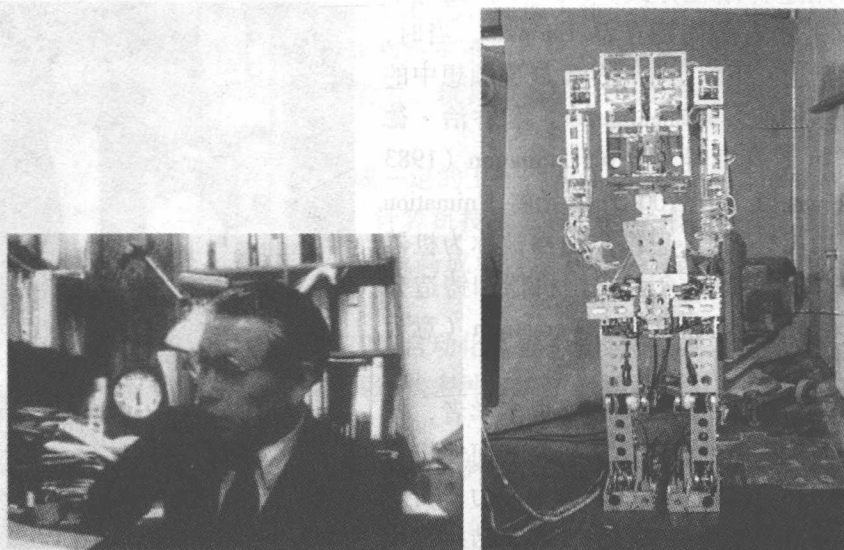


图 1-2 加藤一郎和双足步行机器人 WABOT-1 (1973 年)

20 世纪 80 年代,工业机器人产业得到了巨大的发展,但是所开发的四大类型机器人(点焊、弧焊、喷涂、上下料)主要用于汽车工业。工业化国家的机器人产值,以年均 20%~40% 的增长率上升。1984 年,全世界机器人使用总台数为 8 万台,到 1985 年底已达 14 万台,到 1990 年已有 30 万台左右,其中高性能的机器人所占比例不断增加,特别是各种装配机器人的产量增加较快,与机器人配套使用的机器视觉技术和装备也得到迅速发展。1985 年前后, FANUC 和 GMF 公司又先后推出了交流伺服驱动的工业机器人产品。随着以提高质量为目的的装配机器人及柔性装配线的开发成功,1989 年,机器人产业首先在日本,之后在各主要工业国呈发展趋势。进入 90 年代后,装配机器人及柔性装配技术进入大发展时期。

1998 年, ABB 公司推出离线机器人编程与仿真工具软件 RobotStudio。2006 年,微软推出了 Robotics Developer Studio 软件包,是针对学术界、业余爱好者和商业开发商开发的,也供学生和研究人员使用。

日本一直拥有全世界机器人的 60% 左右。到 1998 年,美国拥有机器人 8 万台,德国为 7 万多台,分别占世界机器人总数的 15% 和 13% 左右。到 2000 年,全世界服役的机器人约 100 万台。

2011 年,中国共销售工业机器人 22577 台,比 2010 年增加了 51%。其中焊接机器人占 50%,搬运机器人占 27%;汽车行业占 49%,电气/电子行业占 14%。截至 2011 年底,中国工业机器人累计安装量达到 74300 台,比 2010 年增长了 42%。其中焊接机器人占 42%,搬运机器人占 34%。

中国工程院院士蒋新松创建了我国第一个机器人工程研究开发中心,领导研制了水下机器人系列产品、工业机器人和特种机器人,被誉为中国机器人之父(图 1-3)。

工业机器人技术日趋成熟,已经成为一种标准设备被工业界广泛应用。从而,相继诞生了一批具有影响力的、著名的工业机器人公司,它们包括瑞典的 ABB Robotics,日本的

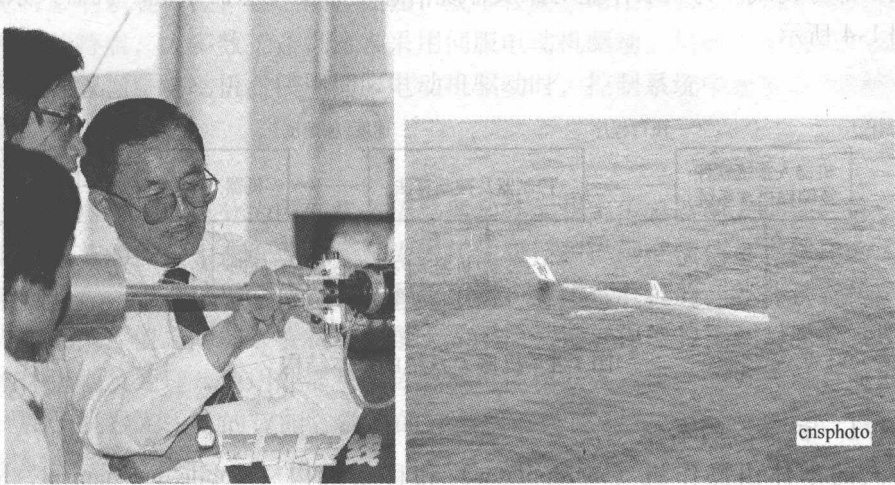


图 1-3 蒋新松和水下机器人

FANUC (发那科)、Yaskawa (安川), 德国的 KUKA (库卡), 美国的 Adept Technology、American Robot、Emerson Industrial Automation (艾默生工业自动化)、S-T Robotics, 意大利 COMAU, 英国的 AutoTech Robotics, 加拿大的 Jcd International Robotics, 以色列的 Robo-group Tek 公司、新松机器人自动化股份有限公司等。

机器人大都工作于结构性环境中, 即工作任务、完成工作的步骤、工件存放的位置、工作对象等都是事先已知的, 而且定位精度也是完全确定的, 所以机器人完全可以按事先示教编好的程序重复不断地工作。当自动化进一步向建筑、采掘、运输等行业扩展时, 其环境则是非结构化的, 不能事先确定, 或至少不能完全确定, 总任务虽可事先确定, 但如何去完成, 要根据当时的实际情况来确定与制订。因此, 研究具有感知、思维, 能在非结构环境中自主式工作的机器人就成了机器人学研究的长远目标。实践证明, 要达到这一目标, 还需经过长时期的努力, 等待一些重要技术有所突破, 特别是机器视觉、环境建模、问题求解、规划等智能问题上的突破。因此 20 世纪 80 年代末, 各国把发展的目标调整到更现实的基础上来, 即把以多传感器为基础的计算机辅助遥控加上局部自治作为发展非结构环境机器人的主要方向, 而把智能自治式机器人作为一个更长远的科学问题去探索。

另外一个值得注意的方向是传统机械的机器人化。目前, 数控机床、工程机械、采掘机械等已开始向这一方向发展, 进一步的发展将会带来这些机械本身的革命。

综上所述, 机器人的发展已不局限于机器人本身, 而将作为新一代整个机器的发展方向。

1.2 机器人的组成、工作原理与分类

1.2.1 机器人的基本组成

机器人系统是由机器人和作业对象及环境共同构成的。机器人由机器人本体、控制器

和软件三大部分构成。为获取作业对象及环境信息还需要传感器系统。机器人系统的基本结构如图 1-4 所示。

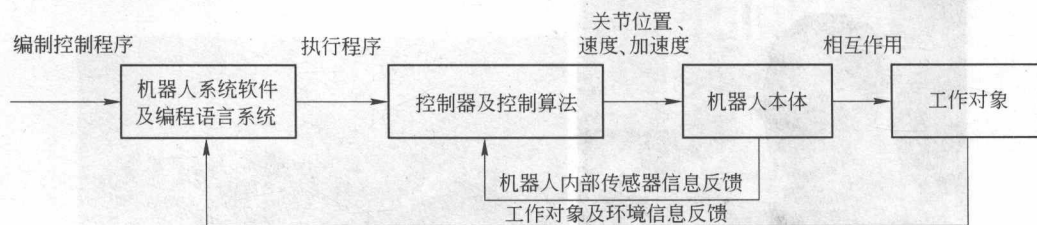


图 1-4 机器人系统的基本结构

1.2.1.1 机器人的本体

机器人的本体由操作机 (manipulator) 和移动机构 (mobile mechanism, locomotion mechanism) 两部分组成, 单独存在的操作机 (机械手) 或移动机构也称为机器人。

操作机是由手臂 (arm) 和末端执行器 (end effector) 组成。手臂通过关节的运动使末端执行器进行预定的运动或达到预定的位置。末端执行器直接作用于任务对象, 它是手部 (hand)、抓持机构 (grasping mechanism)、手爪 (gripper) 及固定于手臂末端的工具等的总称。

机器人的移动机构有轮式、足式及特殊机构等各种类型。

1.2.1.2 计算机硬件系统及系统软件

目前, 几乎所有的机器人都采用计算机进行控制。机器人从控制角度要求计算机具有数据处理能力强、灵活可靠、易于配置、价格低廉、体积小等特性。随着微电子技术的发展, 微型机性能不断提高, 为实现机器人复杂的控制奠定了物质基础。

为实现对机器人的控制, 除了具有强有力的计算机硬件系统支持外, 还必须具有相应系统软件。通过系统软件的支持, 可以方便地给机器人控制程序, 让机器人完成某一具体任务。系统软件使编程时不必规定机器人运动时的各种细节。系统软件越完善, 编制控制程序越方便, 机器人所处的级别越高。系统软件通过机器人语言把人与机器人联系起来, 机器人语言可以是编制控制程序的语言, 也可以以声音的形式进行人机交互。

1.2.1.3 输入-输出设备及装置

输入-输出设备是人与机器人交互的工具。用于机器人控制器的输入-输出设备主要有: 显示器、键盘、示教盒、打印机、网络接口等。示教盒用于示教机器人时手动引导机器人及在线作业编程。通过键盘可向控制器输入控制程序或命令。显示器及打印机可以输出系统的状态信息。通过网络接口可使控制器与远程计算机系统通信, 接收计算机传来的控制程序或运行、停止控制程序命令。当前的示教盒已经从简单的位置、传感示教发展成为编程装置, 因而称其为“示教器”。

1.2.1.4 驱动器

驱动器用于驱动机构本体各关节的运动。目前驱动方式主要有气动、液压和伺服电动机三种。气动驱动具有成本低、控制简单的特点, 但噪声大、输出小, 难以准确地控制位置和速度。液压驱动具有输出功率大、低速平稳、防爆等特点, 但需要液压动力源。漏油