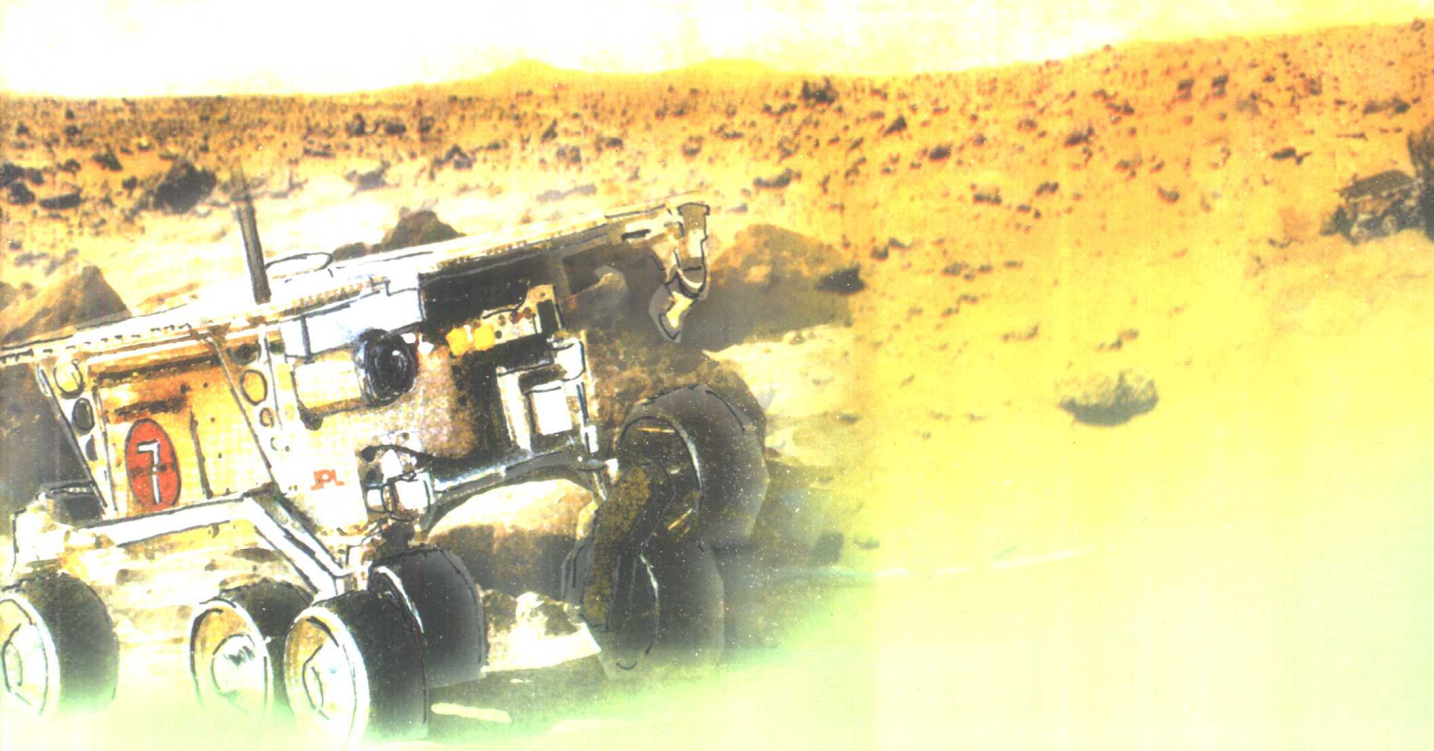




机器人技术及其应用

朱世强 王宣银 编著



宇出版社

机器人技术及其应用

朱世强 王宣银 编著

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书系统介绍机器人知识,内容涉及机器人技术的发展简史,机器人的机械结构,机器人运动学和动力学,机器人控制技术,与机器人相关的传感器技术,机器人视觉,最后介绍机器人在工业领域和其它领域的应用,并配有思考题.这是一本比较全面的机器人技术论著,适合作为机电一体化专业和工业自动化专业的本科生和研究生的教材,也适合从事机器人技术研究工作的科技人员和工程技术人员阅读.

图书在版编目(CIP)数据

机器人技术及其应用 / 朱世强,王宣银编著. —杭州:
浙江大学出版社, 2001. 7

ISBN 7-308-02677-9

I. 机... II. ①朱... ②王... III. 机器人技术
IV. TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 18113 号

责任编辑 张 明

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 余杭人民印刷有限公司

经 销 浙江省新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 16.25

字 数 426 千字

版 次 2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

印 数 0001—1000

书 号 ISBN 7-308-02677-9/TP·208

定 价 25.00 元

前 言

很小的时候,看过一部描述人类社会未来生活的科幻片,影片中的机器人不但具有与人一样的外表,和人类一样会说会笑,会蹦会跳,而且还具有比人更高明的刀枪不入的能力.这些机器人并不完全是人的奴隶,他们也有自己的思想,甚至企图反过来控制人类.这部影片中关于机器人的描述给我们留下了十分深刻的印象,并在我们脑子里建立了一个关于机器人的通俗概念,即机器人是一种外形像人的可怕的机器.几十年过去了,当人类社会已经跨进影片中描述的 21 世纪的时候,科学家们还在为让机器人模仿人类最简单的行走功能而孜孜奋斗,哲学家们也还在为“人是什么”的命题而绞尽脑汁.

然而,如果撇开那些至少在今天看来仍是高不可攀的幻想,我们会发现形形色色的机器人实际上已经离我们很近,尤其在产业领域,机器人的应用已经有几十年的历史.1999 年底在东京举行的机器人展览会,给我们的印象十分深刻.一方面,机器人作为一种特殊的自动机器在工业领域几乎已经无所不在,很多大公司甚至把机器人作为一个新产业在抢占制高点;另一方面,科学家们正在让机器人更加人性化,给机器人赋予更多的智慧和情感.让我们强烈地感受到国外机器人立足现实,着眼长远的“顶天立地”的发展现实.

当我们投身于机器人技术的研究和教学工作时才发现,比起那个“谁主宰谁”的命题来,技术方面的挑战要迫切和现实得多.因为机器人技术实在是涉及到太多的技术领域,以至于任何个人的力量都显得十分微弱.本书实际上也是总结了从我们的前辈开始的有关工作,并大量参考了国内外有关专家的公开资料的结果.尽管如此,直到付印的时候,心里还是留有很多不安,因为深知书中缺憾很多.

本书第 1、6、7、8、10 章由朱世强编写,第 2、3、4、5、9 章由王宣银编写.感谢邓卫燕、杨立忠两位女士的热情鼓励和支持,感谢陶国良博士、吴海彬博士、武星军博士等人在文字图形处理、校对等方面给予的无私帮助.尤其要感谢高雷硕士为本书影像材料处理所付出的艰苦劳动.

作 者

于求是 2000 年岁末

CAA66/110

目 录

第1章 概论	1
1.1 机器人的概念	1
1.2 机器人发展历史	2
1.2.1 机器人发展概况	2
1.2.2 中国研制机器人情况	6
1.2.3 机器人技术的发展方向	7
1.3 机器人的分类	9
1.4 机器人技术的应用	9
【思考题】	10

第2章 机器人的总体和机械结构设计	11
2.1 机器人的基本组成及技术参数	11
2.1.1 机器人的基本组成	11
2.1.2 机器人技术参数	12
2.2 机器人总体设计	15
2.2.1 系统分析	15
2.2.2 技术设计	15
2.2.3 仿真分析	19
2.3 机器人机械系统设计	19
2.4 传动部件设计	23
2.4.1 关节	23
2.4.2 传动件的定位和消隙	26
2.4.3 机器人传动机构	29
2.5 行走机构设计	36
2.5.1 车轮式行走机器人	37
2.5.2 脚式行走机器人	38
2.5.3 履带式行走机器人	40
2.5.4 其他行走机器人	41
2.5.5 行走机构设计应注意的问题	41
2.6 机身设计	42
2.6.1 机身的典型结构	42
2.6.2 机身驱动力(力矩)计算	44
2.6.3 机身设计要注意的问题	46
2.7 臂部设计	46

2.7.1 臂部设计的基本要求	46
2.7.2 臂部的典型机构	47
2.7.3 臂部运动驱动力计算	48
2.8 手腕设计	49
2.8.1 手腕的自由度和设计时应注意的问题	49
2.8.2 腕部的典型结构	50
2.8.3 腕部驱动力矩的计算	52
2.9 手部设计	53
2.9.1 机器人手部的功能	53
2.9.2 手部的分类及工作原理	53
2.9.3 空气负压式手部的吸力计算	58
【思考题】	58
第3章 机器人运动学	60
3.1 刚体的位姿描述	60
3.1.1 位置的描述	60
3.1.2 方位的描述	60
3.1.3 位姿的描述	61
3.1.4 手爪坐标系	61
3.2 坐标变换	62
3.3 齐次坐标和齐次变换	63
3.3.1 齐次坐标	63
3.3.2 齐次变换	63
3.4 齐次变换矩阵的运算	65
3.5 机器人常用坐标系及变换方程	67
3.6 欧拉变换与 RPY 变换	68
3.6.1 欧拉角与欧拉变换	68
3.6.2 RPY 角与 RPY 变换	69
3.6.3 机械手欧拉腕和 RPY 腕	70
3.7 机器人连杆参数及其 D-H 坐标变换	71
3.7.1 连杆参数	71
3.7.2 连杆坐标系及连杆的 D-H 坐标变换	72
3.8 机器人运动学方程	74
3.8.1 运动学方程	74
3.8.2 典型机器人运动学方程	75
3.9 机器人逆运动学	84
3.9.1 机器人运动学逆解有关问题	84
3.9.2 典型臂运动学逆解	84
3.9.3 机器人运动学逆解	87
【思考题】	90

第4章 微分运动和雅可比矩阵	93
4.1 雅可比矩阵的定义	93
4.2 微分运动与广义速度	94
4.3 雅可比矩阵的构造法	96
4.3.1 矢量积法	97
4.3.2 微分变换法	97
4.4 PUMA560 机器人的雅可比矩阵	98
4.5 斯坦福机器人的雅可比矩阵	100
4.6 逆雅可比矩阵及广义逆雅可比矩阵	101
4.6.1 逆雅可比矩阵	101
4.6.2 广义逆(伪逆)雅可比矩阵	101
4.6.3 雅可比矩阵的奇异性	103
4.7 力雅可比	103
4.8 加速度关系	104
【思考题】	104

第5章 机器人动力学	106
5.1 牛顿-欧拉运动方程	106
5.2 拉格朗日动力学	110
5.3 关节空间和操作空间动力学	112
【思考题】	113

第6章 轨迹规划和生成	114
6.1 机器人规划的基本概念	114
6.2 关节空间法	116
6.2.1 三次多项式函数插值	116
6.2.2 抛物线连接的线性函数插值	120
6.3 直角坐标空间法	125
6.3.1 线性函数插值	125
6.3.2 圆弧插值	127
6.3.3 与关节空间法的比较	129
6.4 轨迹的实时生成	129
6.4.1 采用关节空间法时的轨迹生成	130
6.4.2 采用直角坐标空间法的轨迹生成	131
6.5 路径的描述	132
6.6 进一步的规划研究	133
6.6.1 利用动力学模型的轨迹规划	133
6.6.2 任务规划	133
【思考题】	134

第7章 机器人控制	135
7.1 机器人控制综述	135
7.1.1 机器人控制系统的特性和基本要求	135
7.1.2 机器人控制方法的分类	136
7.2 机器人控制系统的一般构成	141
7.2.1 机器人控制的分层概念	141
7.2.2 机器人控制系统的硬件构成	142
7.2.3 机器人软件伺服控制器	144
7.3 机器人独立关节控制	146
7.3.1 以直流伺服电动机为驱动器的单关节控制	146
7.3.2 以交流电机为驱动器的单关节控制	150
7.4 速度控制	152
7.5 加速度控制	153
7.6 机器人的力控制技术	155
7.7 机器人作业示教控制法	157
7.7.1 示教法的分类	158
7.7.2 示教信息的使用方法	163
【思考题】	165

第8章 机器人传感器	167
8.1 传感器基本分类	167
8.2 内传感器	168
8.3 外传感器	177
8.3.1 视觉传感器	177
8.3.2 触觉传感器	180
8.3.3 力觉传感器	185
8.3.4 接近觉传感器	188
【思考题】	190

第9章 机器人视觉技术	191
9.1 机器人视觉系统的基本原理	191
9.2 摄像机的图像生成模型	192
9.2.1 摄像机的几何模型	192
9.2.2 摄像机的光学模型	195
9.3 图像的初级处理	197
9.3.1 图像的预处理	197
9.3.2 图像的分离方法	199
9.3.3 图像的重心位置及惯性矩计算	202

9.4 机器人视觉系统实例	203
【思考题】	206

第 10 章 机器人的应用	207
10.1 机器人在制造业中的应用	207
10.1.1 焊接机器人	207
10.1.2 喷漆机器人	213
10.1.3 装配机器人	216
10.1.4 检查、测量机器人	221
10.1.5 净化机器人与真空机器人	224
10.1.6 移动式搬运机器人	227
10.2 非制造业用机器人的开发现状和技术课题	230
10.2.1 现状	230
10.2.2 未来的方向	233

附 录	235
------------------	-----

参考文献	249
-------------------	-----

第 1 章 概 论

1.1 机器人的概念

我们一直试图为自己的研究对象下一个明确的定义——就像其他所有的技术领域一样——但始终未能如愿。关于机器人的概念，真有点像盲人摸象，仁者见仁，智者见智。在此，摘录一些有代表性的关于机器人的定义：

牛津字典：

Automation with human appearance or functioning like human.

科幻作家阿西莫夫(Asimov)提出的机器人三原则：

- 第一，机器人不能伤害人类，也不能眼见人类受到伤害而袖手旁观；
- 第二，机器人必须绝对服从人类，除非人类的命令与第一条相违背；
- 第三，机器人必须保护自身不受伤害，除非这与上述两条相违背。

日本著名学者加藤一郎提出的机器人三要件：

- 1. 具有脑、手、脚等要素的个体；
- 2. 具有非接触传感器(眼、耳等)和接触传感器；
- 3. 具有用于平衡和定位的传感器。

美国机器人协会(RIA—Robot Institute of America)：

一种用于搬运材料、部件、工具或其它特种装置的可重复编程的多功能的操作机。

(A reprogrammable multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.)

日本工业机器人协会(JIRA—Japanese Industrial Robot Association)：

一种带有存储器件和末端执行器的通用机械，它能够通过自动化的动作替代人类劳动。

(An all-purpose machine equipped with a memory device and an end-effector, and capable of rotation and of replacing human labor by automatic performance of movements.)

世界标准化组织(ISO)：

机器人是一种能够通过编程和自动控制来执行诸如作业或移动等任务的机器。

(A robot is a machine which can be programmed to perform some tasks which involve manipulative or locomotive actions under automatic control.)

中国(原机械工业部):

工业机器人是一种能自动定位控制、可重复编程、多功能多自由度的操作机,它能搬运材料零件或夹持工具,用以完成各种作业。

细细分析以上定义,可以看出,针对同一对象所作的定义,其内涵有很大的区别,有的注重其功能,有的则偏重于结构。这也就难怪对同一国家关于机器人数量的统计,不同资料的数据会有很大的差别。

虽然现在还没有一个严格而准确的普遍被接受的机器人定义,但我们还是希望能对机器人做某些本质性的把握:

首先,机器人是机器而不是人,它是人类制造的替代人类从事某种作业的工具,它只能是人的某些功能的延伸。在某些方面,机器人可具有超越人类的能力,但从本质上说机器人永远不可能全面超越人类。

其次,机器人在结构上具有一定的仿生性。很多工业机器人模仿人的手臂或躯体结构,以求动作灵活。海洋机器人则在一定程度上模仿了鱼类结构,以期得到最小的水流阻力。

第三,现代机器人是一种机电一体化的自动装置,其典型特征之一是机器人受微机控制,具有(重复)编程控制的功能。

1.2 机器人发展历史

1.2.1 机器人发展概况

机器人(Robot)这一名词的出现,只是近代的事情,但关于机器人这一思想的渊源,却可以追溯到遥远的古代。在古希腊、古代中国和古代日本的历史文献中,都有自动玩偶和自动作业机的记载,记录了古人设计自动机械替代人工劳动或从事娱乐的实践活动。它们在不同程度上体现了人类拓展自身能力,甚至是自我复制的原始思想。但用现代的眼光来看,这些机械充其量不过是一些具有一定机巧的自动装置而已。现代机器人的出现是20世纪中期的事情。当时,数字计算机已经出现,电子技术也有了长足的发展,在产业领域出现了受计算机控制的可编程的数控机床,与机器人技术相关的控制技术和零部件加工有了扎实的基础。另一方面,人类需要开发自动机械,替代人去从事一些恶劣环境下的作业,比如在原子能的研究过程中,由于存在大量放射性辐射,要求用某种操作机械代替人来处理放射性物质。正是在这一需求背景下,美国原子能委员会的阿贡研究所于1947年开发了遥控机械手,1948年又开发了机械式的主从机械手(图1-1)。它由两个结构相似的机械手组成,主机械手在控制室,从机械手在有辐射的作业现场,两者之间有透明的防辐射墙相隔。操作者用手操纵主机械手,控制系统会自动检测主机械手的运动状态,并控制从机械手跟随主机械手运动。这种被称为主从控制的机器人控制方式,至今仍在很多场合中应用。

1954年,美国的G. C. Devol提出了一种“通用重复操作机器人”的方案,并申请了专利。

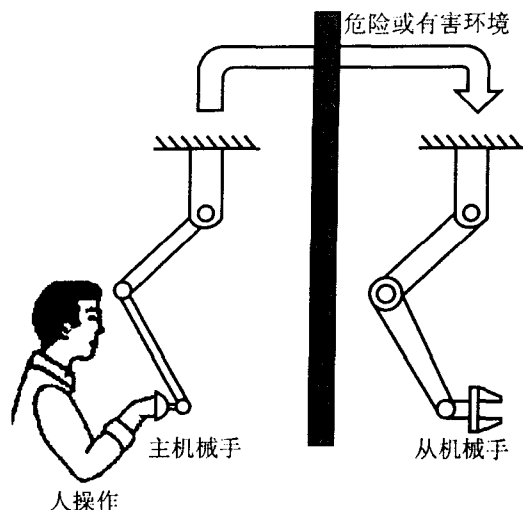


图 1-1 主从机械手

其要点是用伺服技术控制机器人的关节,借助人手对机器人进行示教,机器人能够记录相关的动作过程并能自动重复这一过程.这就是后来被广泛使用的称之为示教再现(Teach and playback)的机器人控制方式.后来,在此基础上,Devol 与 Engerlberge 合作创建了 Unimation 公司,并于 1962 年生产了第一台机器人,取名为 Unimate.这个外形类似坦克炮塔的机器人可实现回转、伸缩、俯仰等动作.

在 Devol 申请专利到真正实现设想的这 8 年时间里,美国的机床与铸造公司(AMF)也在从事机器人的研究工作,并于 1960 年生产了一台被命名为 Versatran 的圆柱坐标型的数控自动机械,并率先以 Industrial Robot(工业机器人)的名称进行宣传.通常认为这是世界上最早的工业机器人.事实上,早在 1958 年,美国的 Consolidated 公司就制作了第一台工业机器人,只不过当时没有推向市场.

从 20 世纪 60 年代后期开始,搬运、喷漆、弧焊机器人相继在生产中得到应用,并且出现了由加工中心和工业机器人组成的柔性制造单元(FMC).但从总体上说,整个 60 年代,虽然在机器人技术上取得了许多进展,制造了不少类型的机器人,并且初步形成了与机器人制造相关的或者是专门从事机器人生产的一些产业部门,但是大多数的工业部门对机器人的应用,还是持谨慎的观望态度,因而机器人在工业上的应用推广并不快.

从 20 世纪 70 年代开始,机器人技术的研究重点被放在对外部传感器和控制方法的研究上.1973 年,博尔·斯大林·保罗在斯坦福大学的研究中,给机器人设计了视觉和力反馈系统,并用 PDP-10 计算机进行控制,这种被称之为“斯坦福”的机械手被用于水泵的装配线上,并且取得了成功.1975 年,IBM 公司研制成功一种带有触觉和力觉传感器的机械手,用于打字机的装配作业.1974 年,德雷珀实验室的内文斯等人研究了基于依从性的传感技术,这项研究发展成为后来的 RCC,即被动柔顺或叫间接中心柔顺,它被安装在机器人的最后一个关节上,用于装配紧配合装置.在 70 年代的后期,Unimation 公司推出了 PUMA 型系列机器人,这是一种各关节由伺服电机驱动的多关节型两级 CPU 控制、使用专用的机器人语言(VAL)的机器人系列,其中的部分产品配有机器人视觉和力觉系统.

20 世纪 80 年代和 90 年代,在着重解决机器人感觉的同时,人机接口和机器人与环境的

交互接口方面也有了较大的进步。更为重要的是,随着计算机技术和人工智能技术的发展,让机器人模仿人进行逻辑推理的研究也如火如荼地开展起来,出现了所谓的第三代机器人,即智能机器人。它应用人工智能、模糊控制、神经网络等先进控制方法,使机器人具有自主判断和自主决策等初等智能。另一方面,随着机器人的相关支撑技术的不断完善,如新型传感器、新材料和新的通信方法等技术的应用,机器人应用领域也不断扩展。比如,深海探测机器人,在无缆操作的情况下能下潜数千米进行作业。又比如,1997年登上火星的太空机器人,能忍受极端恶劣的太空环境,还要克服地面控制命令严重滞后的困难,在火星表面从事科学考察活动。所有这些表明,机器人技术是一门与很多学科相关的综合技术。正因为如此,机器人技术的发展,尤其是本质性的技术突破(如从第二代机器人发展到第三代机器人),都明显地带有相关学科发展的烙印。

在机器人的开发应用研究中,值得一提的另一个国家是日本。日本研制机器人的时间比美国大约晚了10年。1968年,日本的DIDA工程公司在晴海展览馆展示了被称为“自动手”的一只机械手。同年,日本川崎重工公司与美国Unimation公司谈判,购买了机器人专利,才真正开始了日本的机器人生产。丰田汽车公司也从美国购买了机器人技术,用于汽车生产过程中的焊接和喷漆作业。由此可见,日本最初主要是从美国购买成熟的机器人产品和技术,在此基础上才开始较大规模的研究工作。而现在,在日本已经形成了一个相当大的机器人产业,不但川崎、三菱、丰田等一些汽车机械企业在生产机器人,就连索尼、雅玛哈等一些以电子产品为主的企业也有规模很大的机器人生产能力。按照日本的统计数据,目前全世界共有各式机器人大约80万台,大都分布在美、日、英、意、法等发达的工业国家,其中日本的机器人数量最多,占了世界总数的一半以上,约为42万台,其中,用于电子电气行业、汽车制造业的机器人分别占其32%和45%。机器人的研究工作在 Japan 也很普及,很多著名的高等院校,如东京工业大学、早稻田大学、大阪大学、京都大学、筑波大学等都有很强的机器人研究队伍,一些国立的专业研究所也在从事机器人的研究工作。尤其值得一提的是,日本企业界对机器人研究的支持和推动,它们不但参与了政府组织的研究项目,还拿出很多经费支持相关研究。比如日本正在实施的、全国多个著名高校和研究所参与的Humanoid研究项目,预算资金是50亿日元,据称其中有一半来自企业。在此之前实施的一个规模更大的耗资数百亿日元的微型机器人研究项目,也有相当大的一部分资金来自企业。

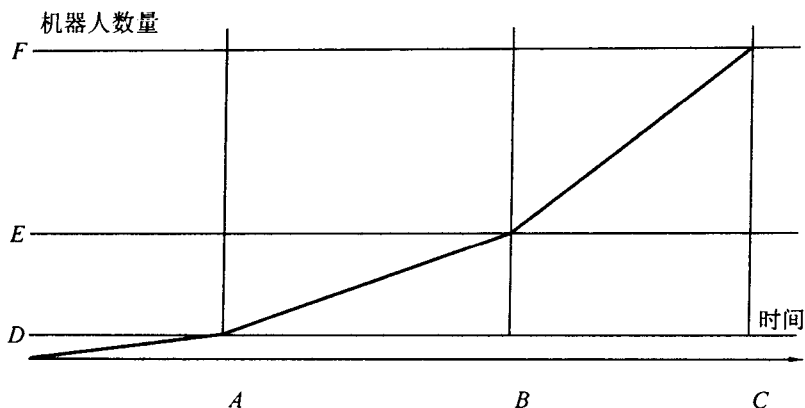
从机器人的推广应用角度来看,机器人的发展大致经历了技术发展和探索的“起步”阶段,在技术有所突破之后的“推广”应用阶段和被产业界接受之后的“普及”阶段,只不过因为各个国家情况不同,机器人发展过程中这三个阶段的时间先后和各阶段时间的长短并不一样。图1-2和表1-1说明了一些主要国家的机器人发展情况。可以看出,中国的机器人技术和机器人应用水平总体上还处于很落后的状态。

表 1-1 各国机器人发展阶段表

(年)

国别	A	B	C
美国	1966	1973	1982
日本	1971	1974	1979
瑞典	1970	1980	1990
中国	1983	1995	?

从技术上说,机器人的发展也经历了三个阶段,形成了通常所说的三代机器人。第一代机器人是示教再现型(Teach and playback)机器人,能在人的“示教”和编程下从事简单的重复



机器人数量: $D=100$, $E=1000$, $F=8000$

图 1-2 机器人技术及应用发展模式

劳动。第二代是有感觉的机器人(Robot with sensors),包括力觉、触觉、视觉、接近觉等,能够根据不同的作业任务适应作业需要。第三代是智能机器人(Intelligent robot),是以感觉为基础,以人工智能为特征,具有逻辑判断和局部自主功能的机器人。其中第一代和第二代机器人,已经得到广泛应用。在产业领域应用的机器人,大都是第一代或第二代机器人。第三代机器人还处在发展之中,目前还有很多技术问题有待解决,尤其在非结构性环境下机器人的自主作业能力还十分有限,而这种能力正是人类智能主要表现的一个方面。尽管技术上还存在不少障碍,然而,智能机器人的研究在各个国家都得到普遍重视,有不少国家甚至把智能机器人的研究当作未来技术发展的一个战略要点加以重视。我国也把智能机器人的研究列入了国家高技术发展计划。图 1-3 描述了三代机器人的大致发展过程。

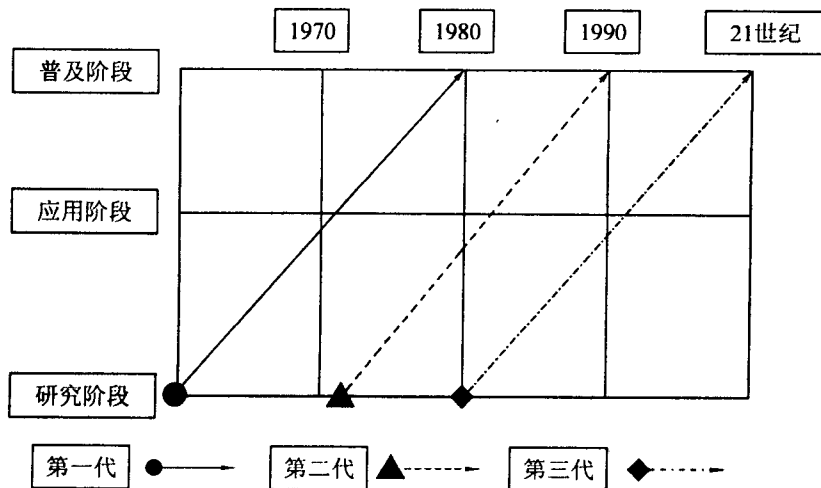


图 1-3 三代机器人的发展过程

应该说,机器人技术的产生和发展,有其深刻的社会背景和技术理论基础。现代工业机器人是在 20 世纪 40 年代末期开始发展的。二次大战结束以后,各国都面临战后重建和发展的问
题,尤其是主要工业国家,这些国家加工工业和汽车工业发展很快。一方面,当时,自动化程度

普遍不高,有很多简单繁重的重复劳动,同时,由于战争对劳动力的损耗,使得劳动力的成本有较大提高,因此,产业界具有提高自动化程度的迫切需求.另一方面,由于战后各国普遍意识到原子弹的威力和作用,因此对原子能的研究也在许多国家开展起来,这就需要有一种作业机械替代人去接受不可避免的放射性辐射.从社会学的角度来看,在接受了两次世界大战的洗礼以后,关于人类未来的思考也空前活跃,出现了很多富有哲理的科幻作品.这些作品在一定程度上激发了科学家们的兴趣.从技术理论背景来看,控制论和信息论的提出,电子技术的不断成熟和应用,为机器人技术的发展奠定了良好的基础.表 1-2 罗列了与机器人发展相关的一些重要事件和当时的社会背景.

表 1-2 机器人发展史上的重要事件和有关背景

年代	主要事件	当时的社会技术背景
1947 1948	阿贡实验室遥控机械手 阿贡实验室主从机械手	1. 二战时期电子技术和控制技术有大发展,出现了核技术 2. 冯·诺依曼提出计算机设计思想(1945年)并实现(1946年) 3. Wiener 发表《控制论》 4. Shannon 发表《信息论》
1950 1951	Asimov, 《I, Robot》 手冢治虫,《铁臂阿童木》	科幻活跃
1954	Dovel 申请机器人专利	
1959	东京大学机械手指	
1961	MIT 的机械手	
1960	AMF 的 Versatran Unimation 公司的 Unimate	
1967	丰田引进 Versatran 川崎引进 Unimate	日本汽车工业领域的技术改造
1968 1969	Stanford 大学的手眼系统 早稻田大学的人工脚	阿波罗登月
1970	第一届国际机器人会议	
1973	日本产业用机器人工业协会成立	
1975	北京自动化设备展览	邓小平恢复工作
1986	提出“863”计划	中国改革开放开始深化
1995	中国研制成功 6000 米无绳自治水下机器人	90 年代初苏联解体,人工智能研究热潮高涨
1996	首届机器人世界杯足球赛举行	智能机器人的研究处于高潮
1997	首都钢铁公司莫托曼机器人有限公司成立	中国产业界应用机器人增多
1997	行走机器人登陆火星	
2000	中国成功举办首届机器人足球赛	

1.2.2 中国研制机器人情况

我国研究机器人的起步时间,其实并不比国外晚很多,大概在 20 世纪 70 年代初.当时,北

京自动化研究所和沈阳自动化研究所相继开展了机器人技术的研究工作。但是由于种种原因,机器人技术研究及应用推广在我国十分缓慢。直到90年代初,也就研制了150台左右,而且大部分是作为演示用的,不能在生产实践中发挥作用。这些机器人也是以示教型第一代机器人为主,这与当时世界25万台的机器人总量相比,差距很大。造成这种现象的原因很多,其中与我国在机器人领域的研究队伍较小,机器人技术教学工作薄弱不无关系。从90年代开始,情况已经有所好转。早期的“863”计划已经把机器人技术作为重要的攻关内容,国家科委和国家自然科学基金委员会也都相继资助了一批有关机器人的研究项目。在高等学校中,也陆续开展了机器人的教学课程和机器人技术的研究工作。到目前为止,我国在机器人的技术研究方面已经相继取得了一些重要成果,在某些技术领域已经接近国际前沿水平,比如,我国自行研制的水下机器人,在无缆的情况下可潜到水下6000米,而且具有自主功能,这一技术达到了国际先进水平。但是从总体上看,我国在智能机器人方面的研究可以说还是刚刚起步,机器人传感技术和机器人专用控制系统等方面的研究还比较薄弱。另外,在机器人的应用方面,我国就显得更为落后。国内自行研制的机器人当中,能真正应用于生产部门并具有较高可靠性与良好工作性能的并不多。(在这方面,北京自动化研究所研制的PJ型喷漆机器人可以说是国内值得骄傲的一种机器人,其性能指标已经与国际同类水平相当,而且在生产线上也经过了长期检验,受到了用户的好评,现已批量生产。)

截止到1997年,我国自行研制的机器人大约有了350台,其中半数以上是用以演示或科研,真正在产业部门应用的大约只有100台。加上进口的机器人,我国目前的机器人数量大约为1100台。

值得一提的是,最近几年,我国在汽车、电子行业相继引进了不少生产线,其中就有不少配套的机器人装置。另外,国内的一些大专院校和科研单位也购买了一些国外的机器人,这些“洋机器人”的引入,也为我国在相关领域的研究工作提供了许多借鉴。

1.2.3 机器人技术的发展方向

由于机器人技术涉及很多学科领域,是多学科综合交叉的边缘学科,机器人技术的发展依赖于很多相关技术的进步,因此,要充分归纳和准确把握机器人技术的发展方向是一件不容易的事情。在此,作者谈一些自己的观点。

首先,从技术角度而言,智能化无疑是一个重要的发展方向。世界各国都不惜投入重金和重兵在此领域开展研究。目前看来,机器人的智能研究可以分为两个层次,一是利用诸如模糊控制、神经网络控制等智能控制策略,利用被控对象对模型依赖性不强的特点来解决机器人的复杂动作问题,或者在此基础上增加轨迹或动作规划等内容,这充其量是低层次智能。智能机器人的高境界应该是使之具有与人类类似的逻辑推理和问题求解能力,面对非结构性的复杂环境和任务,能够自主寻求解决方案并加以执行。以逻辑推理为特征的简单理性思考已经在某些机器人上得以实现,而更复杂的推理能力和问题求解能力以及最体现人类智慧的感性思考能力的实现,目前还很难有所突破。

其次,从应用的角度来说,产业领域更多地体现出多机协调作业的特征,这是现代生产规模不断扩大所决定的。在大型生产线上,往往是很多机器人共同完成一个生产过程,因而每个机器人的控制就不单纯是自身的控制问题,还需要多机协调。另外,随着CAD、CAM、CAPP等技术的发展,更多地把设计、工艺规划、生产制造、零部件的仓储和配送等有机地结合起来,

机器人不再是一个独立的作业机械,而是整个生产过程中一个与其他环节密切结合的因素,由此形成了柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)。

再者,标准化工作是一项十分重要而又艰巨的任务。由于各家公司生产的机器人品种繁多,机器人配件也五花八门。不同厂家生产的机器人相互之间很难进行部件互换,这给机器人的使用、维护和更新换代带来了很大的麻烦。实际上,几乎所有的制造商都已意识到这个问题,而且似乎都在暗自较劲。同一公司生产的机器人已基本做到有标准系列,用户可以根据不同的用途方便地选择不同的配件,而同一系列的不同型号之间,也基本上体现了技术升级过程中的衔接与兼容。然而由于标准化工作会牵涉到各家公司的重大利益得失,因而近期很难形成技术上或零部件方面的世界标准。但毫无疑问,谁在这方面做得更加完美,谁就能在未来的市场中占据更有利的地位。因此,不少国家由政府或行业协会制定了有关标准或技术规范。ISO也对机器人“外围”的一些领域制订了相关标准,如关于机器人的名词术语、特性、试验、机械接口等等。

最后,机器人的微型化也是一个重要的研究领域。微电子技术的发展,使得成千上万的电子元件在很小的空间内集成已经成为现实。受其启发,人们开始设想将微型传感器、微处理器、微型执行机构等器件在极小的空间内进行集成,组成微型机电系统(MEMS)或微型机器人。这样的机器人,在生物血管疾病诊断和治疗,高级仪器设备的检修清洗等多个领域中有重要应用。为了支持这种设想,美国政府早在1987年就拨款100万美元,支持八所大学从事这方面的研究,1988年又追加了200万美元的研究经费,1989年更是一次性地拨给麻省理工学院2000万美元用于有关设备的研制。在美国之后,日本政府也从1991年开始执行一项为期10年的微型机器人的研究计划,总计划投入经费超过250亿日元,目标就是研究能够在血管中运动并从事血管疾病诊断和手术的微型机器人。欧洲共有30余个MEMS(微机电系统)研究机构,从1993年开始,每年投入约4000万美元。中国从1991年开始,把MEMS(微机电系统)列入国家自然科学基金的资助范围,每年投入大约50万元人民币,1996年开始列入“863”计划。在此期间,各国相继取得了一些技术突破和应用性成果。如1987年,美国加州大学研制成功直径60~120 μm 的静电马达。1990年日本研制成功直径3mm的永磁电机,功率可达98mW。1995年日本研制了10~20mm的微型行走机器人。1996年日本研制出直径10mm的管道机器人。东京工业大学还研制成功直径只有几个毫米的机器人,这种机器人能够进入人体肠道进行疾病的诊治。目前,这种机器人已经完成了结构和控制研究,并已经进行了模拟实验。据称,美国已经研制出昆虫大小的飞行机器人,它具有与真实昆虫一般的大小和外表,能够遥控飞行,主要用于战场现场的近距离侦察和目标攻击。

当然,微型机器人的发展离不开基础元件的研究和开发,包括微型传感器、微型执行器(微电机)等。比如,瑞士某公司研制的微电机,直径只有1.9mm。上海交通大学也研制成功了直径2mm的电机,转矩达120 $\mu\text{N}\cdot\text{m}$,为我国在微执行器研究领域争得了一席之地。

在机器人技术领域,还有很多值得深入研究的课题。比如,在冗余运动的控制、结构优化、降低成本等方面仍有许多工作可做,在机器人的传感器开发领域也还有很大潜力。