

主编 蒋新松



Robotics Introduction

机器人学导论



主编 蒋新松

Robotics

Introduction

机器人学导论

辽宁科学技术出版社

(辽)新登字 4 号

图书在版编目(CIP)数据

机器人学导论/蒋新松 主编.-沈阳:辽宁科学技术出版社,1993.12

ISBN 7-5381-2011-4

I. 机…

II. 蒋…

III. 机器人-基本知识

IV. TP242

辽宁科学技术出版社出版

(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)

辽宁省新华书店发行

沈阳新华印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:18½ 字数:420 000 插图:6

1991年 4 月第1版

1991年 4 月第1次印刷

责任编辑:刘绍山

封面设计:庄庆芳

插图:孙东权 盛 东

版式设计:李玉峰

马 明

责任校对:林 虹

印数:1-1 000

定价:42.00 元

内 容 提 要

本书是中国科学院机器人学开放研究实验室和机器人技术工程研究中心的广大专家、学者多年从事机器人研究与开发工作的结晶。全书共分六篇：机器人机构，机器人控制，机器人视觉、力觉、接近觉，水下机器人，遥控机器人以及智能机器人。为了使读者对当代机器人学全貌有一个较完整的了解，本书有关篇章对此作了概要性介绍。其各篇又具有相对的独立性。

本书既适合于从事机器人研究与开发的广大科技工作者阅读，也适合于博士生、硕士生以及高校就读本专业与相关专业的高年级学生阅读，还可作为教授机器人课程的参考书。



蒋新松研究员(本书主编),现任中国科学院沈阳自动化研究所所长,国家高技术发展计划(八六三计划)自动化领域首席科学家,上海交大、中国科大、西安交大等多所大学的兼职教授,还兼任中国自动化学会副理事长,人工智能学会副理事长,国际自控联制造专业委员会委员等社会职务。他1956年毕业于上海交通大学,先后在中国科学院自动化研究所(北京)和沈阳自动化研究所工作,长期奋斗在科学研究第一线。

自70年代末,蒋新松在国内率先开始了机器人及相关技术的研究与实践。在他直接领导下,研制成了我国第一台示教再现机器人和第一台水下机器人。创建了我国的机器人示范工程,该工程现已成为向国内外开放的中国科学院机器人学开放研究实验室和机器人技术工程研究中心。机器人产品已在国内外市场上销售和应用。

蒋新松克服许多困难,积极倡导,全身心地致力于我国机器人事业的草创与发展,他领导下的八六三计划智能机器人主题在理论研究、技术实践、产业开拓等方面都取得了重大进展。他在国内外学术会议和学术刊物上发表了很多机器人方面的论文,培养了许多从事机器人学研究的人才。

本书是他和他的同事们在总结自身实践基础上写成的一本导论性著作。

序 言

机器人是传统的机构学与近代电子技术相结合的产物,也是当代高技术发展的一个重要内容。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。第一台工业机器人诞生于1956年,是英格尔博格(J. Engelberger)将数字控制技术与机械臂相结合的产物。这台机器人可通过编程来灵活地改变作业程序。当时,主要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。为此提出了示教再现的编程方式,从而使重复定位精度差不多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。第一台工业机器人的商用产品诞生于1962年,当时,其作业仅限于上、下料。尔后的发展比预想中的要慢。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,这样就在很大程度上把研究局限于计算机科学的范畴,或者通俗地说,只作为“软件”来研究,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等。但由于当时的工业水平还没有发展到相应的阶段,无法解决所碰到的技术难题,另一方面耗费巨大而无法得到应用部门的支持,至70年代中,由于所订目标过高,除了局部单元技术方面取得不少有意义的成果(如RCC等)外,整体上说大部分研究没有取得什么有意义的实际结果。

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,但其发展也是不平坦的。60年代末,日本正处于经济发展的最好时期,劳动力严重不足,企图通过机器人来部分地解决这一问题,报章杂志大力宣传机器人,一时形成了舆论高潮。但是,1971年机器人开始进入市场后,一方面发现机器人本身作业能力很低,并不能解决设想中的很多问题;另一方面价格太高,因而回收期过长,无法推广。为了解决这一问题,日本一方面由政府出面大力资助机器人应用技术的开发和推广应用,同时每年由日本机器人协会组织有关厂商、高校、研究所到海外考察,积极跟踪国外的发展;另一方面,不追求机器人的学究式定义,而把一切能替代原先由人进行作业的机械手统称为机器人,来大力发展经济型机器人。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,并从挪威引进了喷漆机器人等。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。这样,日本一跃成为机器人王国,使全世界为之震动。关于机器人会不会引起失业问题,一直为世界各国政治家、工会活动家们所

关注。在此我们不想就这一问题深入讨论,只援引英国前首相撒切尔夫人的一段话作答。大家知道,西欧特别是英国自 50 年代后一直对发展工业自动化技术持保守态度,工业装备更新速度慢,直到 70 年代末,随着日本的兴起开始觉察到这一问题。1985 年在英国主办的一次柔性制造系统(FMS)展览会上,撒切尔夫夫人有这样一段意味深长的话:“日本机器人的数量居于世界各国之首,而失业人口最少,英国机器人数量在发达国家中最少,而失业人口居高不下。”

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。由于汽车工业装备更新的周期性相对出现了饱和,至 1986 年以后,订单开始下降。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又呈发展趋势。进入 90 年代后,装配机器人及柔性装配技术将进入大发展时期。

工业自动化正沿着连续工业(化工、电力等)—半连续工业(冶金、造纸等)—离散性工业(机械制造等),进而向建筑—采掘—运输等行业发展。工业机器人适应了离散工业自动化的需要,因而作为更灵活的机器得到了发展。在这类工业中,机器人大多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了,因而不能事先确定,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、思维及动作,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总目标。这曾是 80 年代各国各种高技术计划追逐的。然而,十年过去了,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、规划等这一类智能问题上。因此 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下工作的机器人的主要方向,而把智能自治式机器人则作为一个更长远的科学问题去探索。日本在这方面又走在了世界的前列,开发了大量遥控式建筑机器人和多种采掘机器人,为这些行业的自动化提供了良好基础。日本产业机器人协会原计划 1998 年后推广的建筑机器人,现在估计进程将提早五年。

另外一个值得注意的方向是:传统机械的机器人化。这是继机电一体化后,更为完整的一个发展方向,柔性装配系统是一个最典型的例子。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,机器人发展到 90 年代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,这是值得我们重视的。

以上是我们对机器人的历史、现状和未来的一个概貌性的回顾与展望,以便使读者宏观上了解本书作者们的意图。

机器人学的内容十分广泛,包括机构学、控制、视觉及非视觉传感器、遥控技术及智能技术等等。本书作为一本导论,全面介绍了有关机器人学的各个部分,每部分还重点介绍了中国科学院机器人学开放研究实验室和机器人技术工程研究中心多年来的工作。全书共分六篇,各篇自成体系。

第一篇为机器人机构。本篇介绍了机器人机构学的一般问

题,并对典型臂和多足行走机构,以及多足行走机构静、动态步行作了介绍。还较详细地介绍了冗余自由度手臂,特别是七自由度型谱系列选择方面,介绍了开放研究实验室得到的最好结果。最后详细介绍了全方位六足步行机器人,这是在国家“八六三”计划支持下进行的一项富有成效的工作,可作为设计多足步行机器人的参考。

第二篇为机器人控制问题。本篇较详细地介绍了串联型机械臂的运动学及动力学建模问题,以及机器人的一般控制问题。还介绍了开放研究实验室多年来所从事的双机器人协调控制、在VAL语言基础上开发的S-VAL语言、控制器的设计原则及开发的控制器的软硬件设计、力控制及其基本问题、离线仿真等,大部分都是开放研究实验室有特色的工作。

第三篇为机器人视觉、力觉、接近觉。其中分为两大部分,第一部分为机器人视觉,第二部分主要为力觉及触觉。机器人视觉中较详细地介绍了机器人视觉信号处理的各种常用方法,以及三维视觉的基本问题,此外还介绍了开放研究实验室长期以来所进行的道路分割、障碍检出及路标识别等移动式机器人导航的基础性研究工作及其结果,这些工作也是“八六三”计划资助的项目。在力觉及触觉中,介绍了国内外发展的各种类型的多维力传感器,被动式及主动式对中装置及触觉,并详细介绍了开放研究实验室所研制的多维力传感器。

第四篇为水下机器人。这是工程研究中心继承过去工作进行近十二年的一项重点工作。由于内容比较多,本篇中只能就其主要问题,即本体结构、控制问题、导航问题、计算机系统等作一扼要介绍,拟在适当时候撰写专著。

第五篇为遥控机器人。着重介绍了各种履带式移动机器人

的结构及其遥控问题,主、从操作手计算机辅助遥控中的若干基本问题,以及遥控中的临场感技术等。还扼要地介绍了工程研究中心在“八六三”计划支持下为核电站维护所研制的移动式机器人。

第六篇为智能机器人。着重介绍了智能机器人中两个重要问题:一是移动式机器人的路径规划,一是智能机器人计算机系统结构。这两部分也是在“八六三”计划支持下,并仍在进行中的重要研究工作。这里对各种方法进行了讨论,并介绍了部分工作结果。

参加本书编写工作的(以执笔章节为序)有:原培章、王泰跃、王越超、吴振伟、张春杰、傅贵平、李祥斌、徐心平、赵长福、徐凤安、王棣棠、封锡盛、燕奎臣、杨汝清、戴炬、王天然、宋国宁、赵经纶。

本书在编写中得到了辽宁科学技术出版社的鼎力相助,是在他们的努力与督促下完成的,在此致以深切的谢意。本书还得到中科院沈阳自动化研究所编辑部李玉峰同志、情报室刘海波同志的帮助,还有许多同志为本书提供资料和帮助,在此一并致谢。

本书多人执笔,成稿仓促,虽几经努力,仍难免有不当之处,恳请广大读者指正。

蒋新松

1993. 2

目 录

第一篇 机器人机构	(1)
第一章 典型机械手臂机构	(1)
第一节 关节和自由度	(1)
第二节 形态和分类	(2)
第三节 动力系统	(6)
第四节 机器人机构运动特性评价	(6)
第五节 典型机构	(10)
第二章 冗余自由度机械手臂机构	(14)
第一节 概述	(14)
第二节 冗余度机构基本概念	(15)
第三节 回避障碍基本公式推导和仿真	(17)
第四节 回避奇异基本公式推导	(23)
第五节 7 自由度多关节机器人手臂机构选型 和图谱	(25)
第三章 多足步行机构	(29)
第一节 多足步行机器人的现状和发展	(29)
第二节 足的个数和自由度	(31)
第三节 足的步态	(32)
第四节 四足动步行的稳定性	(35)
第五节 典型步行机构	(38)

第六节 多足步行机器人的设计实例	(42)
参考文献	(76)
第二篇 机器人控制	(78)
第一章 机器人运动学	(78)
第一节 引言	(78)
第二节 运动学正问题	(79)
第三节 运动学逆问题	(94)
第二章 机器人动力学	(98)
第一节 引言	(98)
第二节 拉格朗日-欧拉法	(99)
第三节 牛顿-欧拉法	(105)
第三章 典型工业机器人控制器硬件及软件分析	(115)
第一节 工业机器人控制器的作用及结构	(115)
第二节 PUMA 机器人控制系统结构	(118)
第三节 ARCS 机器人控制器简介	(131)
第四节 工业机器人控制器的发展趋势	(135)
第四章 基于传感器的机器人控制	(138)
第一节 前言	(138)
第二节 基于力传感器的机器人控制	(139)
第三节 多传感器机器人系统	(149)
第四节 机器人视觉反馈控制	(155)
第五节 小结	(158)
第五章 多机器人协调控制	(160)
第一节 概述	(160)
第二节 机器人协调运动的运动学方程	(162)
第三节 机器人协调的运动学控制	(172)

第四节	力与位置的混合控制·····	(177)
第五节	机器人协调控制策略及其实现的实例·····	(183)
第六节	结论·····	(191)
第六章	机器人语言(RL)·····	(192)
第一节	引言·····	(192)
第二节	机器人编程系统·····	(192)
第三节	各种机器人语言的对比分析·····	(195)
第四节	机器人语言的特性·····	(197)
第五节	SVAL 语言介绍·····	(201)
第七章	误差分析与离线编程·····	(208)
第一节	误差分析·····	(208)
第二节	机器人误差检测·····	(214)
第三节	一个轨迹和姿态测量系统的实例·····	(218)
第四节	离线编程系统的发展·····	(221)
第五节	机器人离线编程系统的构成·····	(226)
第六节	一个实例·····	(229)
参考文献	·····	(235)
第三篇	机器人视觉、力觉、接近觉·····	(239)
第一章	机器视觉的基本原理·····	(239)
第一节	机器视觉概述·····	(239)
第二节	图象获取·····	(243)
第三节	视觉处理·····	(245)
第四节	三维信息获取·····	(262)
第二章	机器视觉系统应用·····	(274)
第一节	视觉检验·····	(275)
第二节	视觉导引及过程控制·····	(280)

第三节	移动机器人视觉导航·····	(285)
第三章	力觉传感技术·····	(294)
第一节	筒式腕力传感器·····	(295)
第二节	十字形腕力传感器·····	(297)
第三节	腕力传感器工作特点·····	(300)
第四节	腕力传感器设计要点·····	(301)
第五节	腕力传感器参数调整·····	(305)
第六节	腕力传感器配套附件——RCC ·····	(307)
第四章	接近觉传感技术·····	(310)
第一节	磁力式接近传感器·····	(311)
第二节	气压式接近传感器·····	(311)
第三节	红外式接近传感器·····	(312)
第四节	超声式接近传感器·····	(316)
	参考文献·····	(319)
第四篇	水下机器人·····	(320)
第一章	水下机器人结构·····	(320)
第一节	概述·····	(320)
第二节	水下机器人总体布置·····	(323)
第三节	水下机器人的结构部件·····	(336)
第四节	水下机器人设计要点·····	(344)
第二章	水下机器人控制·····	(353)
第一节	水下机器人控制系统概述·····	(353)
第二节	水下机器人坐标系及其坐标变换·····	(353)
第三节	水下机器人推力器的布置与线型选择·····	(365)
第四节	水下机器人的控制结构·····	(370)
第五节	有缆水下机器人·····	(371)

第六节 自治水下机器人控制的特殊问题·····	(376)
第七节 “探索者”自治水下机器人控制系统·····	(381)
第三章 水下传感器·····	(388)
第一节 陀螺仪·····	(388)
第二节 磁罗盘·····	(393)
第三节 深度检测·····	(397)
第四节 温度检测·····	(400)
第五节 真空检测·····	(402)
第六节 倾斜仪·····	(404)
第七节 氢气浓度检测·····	(405)
第八节 漏水检测·····	(407)
第九节 电缆接地故障检测·····	(408)
第十节 水声设备·····	(409)
第四章 水下机器人应用及发展·····	(420)
第一节 概述·····	(420)
第二节 水下机器人应用·····	(421)
第三节 水下机器人的发展趋势·····	(425)
参考文献·····	(426)
第五篇 遥控机器人·····	(428)
第一章 遥控机器人概述·····	(428)
第一节 引言·····	(428)
第二节 遥控机器人与工业机器人·····	(429)
第三节 遥控机器人系统分析·····	(432)
第二章 双向伺服主从机械手·····	(435)
第一节 基本结构及工作原理·····	(435)
第二节 基本结构设计·····	(438)

第三节	典型双向伺服主从机械手分析·····	(442)
第三章	计算机辅助遥控·····	(447)
第一节	计算机辅助遥控机器人概述·····	(447)
第二节	双向力反应系统·····	(448)
第三节	异结构主从手·····	(456)
第四节	监控式遥控机器人·····	(460)
第四章	移动载体·····	(471)
第一节	桥式天车运载装置·····	(471)
第二节	轮式运载车·····	(474)
第三节	履带式运载车·····	(476)
第四节	混合式移动载体·····	(480)
第五章	遥控机器人中的临场感技术·····	(487)
第一节	引言·····	(487)
第二节	国内外研制动向·····	(488)
第三节	视觉·····	(489)
第四节	非视觉感觉·····	(490)
第五节	非视觉感觉的信号变换·····	(491)
第六节	典型系统介绍·····	(496)
第六章	遥控机器人实例·····	(501)
第一节	使用场合及作业内容·····	(501)
第二节	总体功能及主要技术指标·····	(502)
第三节	总体方案设计分析·····	(503)
	参考文献·····	(509)
第六篇	智能机器人·····	(511)
第一章	智能机器人的定义·····	(511)
第二章	智能机器人的体系结构·····	(517)