

机 械 电 子 工 程
学 校
等 高
规 划 教 材

机器人

技术及其应用

► 华南理工大学 谢存禧 张铁 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等学校机械电子工程规划教材

机器人技术及其应用

主编 谢存禧 张 铁
参编 李 琳 翟敬梅
主审 邵 明



机械工业出版社

随着机器人的迅速发展,以及机器人是典型的机电一体化设备,近年来很多高等学校机械工程类专业增设了有关机器人的课程。本书详细阐述了机器人的研究和应用现状、机器人本体的结构原理和特点、机器人的运动学初步知识、机器人的动力学初步知识、机器人的控制系统、机器人常用的智能控制、机器人常用的一些传感器的基本原理和结构特点、机器人的视觉系统、机器人语言以及机器人在不同领域的应用等内容。本书适合机械工程、自动化专业本科生、大专生的教学之用。作为研究生用书时,部分章节应适当加深。另外本书也适用于有关科技人员作为参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

机器人技术及其应用/谢存禧,张铁主编. —北京:机械工业出版社, 2005.7

高等学校机械电子工程规划教材

ISBN 7-111-17121-7

I. 机... II. ①谢...②张... III. 机器人技术—高等学校—教材
IV. TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第089248号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·12.25印张·298千字

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

高等学校机械电子工程规划教材编委会

主 任：谢存禧

副主任：贾建援 熊诗波 孔祥东 高文龙

秘 书：林 颖

委 员：谢存禧 贾建援 熊诗波 孔祥东 高文龙

芮延年 隋秀凜 孟宪颐 李 强 张河新

赵学增 刘志峰 方庆涓

前 言

本教材是高等学校机械电子工程规划教材之一。

机器人是现代一种典型的光机电一体化产品，机器人学也是当今世界极为活跃的研究领域之一，它涉及计算机科学、机械学、电子学、自动控制、人工智能等多个学科。

机器人从出现到现在的短短几十年中，已经广泛应用于国民经济的各个领域，在现代工业生产中，机器人已成为人类不可或缺的好帮手；在航空航天、海底探险中，机器人更是能完成人类所难以完成的工作。随着计算机、人工智能和光机电一体化技术的迅速发展，机器人已经不仅仅局限于在工业领域的应用，它还将发展成具有人类智能的智能型机器人，具有一定的感觉思维能力和自主决策能力。

作为机械工程专业和自动化专业的学生，有必要学习一点机器人学方面的知识。在我们从事机器人教学的过程中，深深感到需要有一本适合使用的教材。有鉴于此，我们选编了这本机器人技术及其应用教材。在内容的编排方面，我们充分考虑到初学者的困难，努力做到理论和实际有机结合，同时也充分考虑到当今机器人领域的研究和发展情况，力求反映当今国内外机器人开发研究领域的新进展。

本书介绍机器人的机械结构、驱动方法、运动学分析、控制及感觉系统、机器人语言等多个方面的原理及研究成果。全书共分10章，第一章概要介绍了机器人的研究和应用现状、第二章主要讲述机器人的机械结构原理和特点、第三章讲述机器人的运动学的初步知识、第四章讲述机器人的动力学的初步知识、第五章讲述机器人控制基础、第六章讲述机器人的感觉、第七章讲述机器人的视觉技术、第八章讲述智能机器人与智能控制、第九章讲述机器人语言的一些基本特点、第十章讲述机器人在不同领域的应用实例。

本书适合机械工程、自动化专业本科生、大专生的教学之用。作为研究生用书时，部分章节应适当加深。

全书由谢存禧、张铁主编，邵明主审。第一章、第二章、第十章由翟敬梅编写，第三章、第四章和第七章由李琳编写，第五章、第六章、第八章和第九章由张铁编写。

在编写过程中，我们参考并引用了大量有关机器人方面的论著、资料，限于篇幅，不能在文中一一列举，在此一并对其作者致以衷心的感谢。

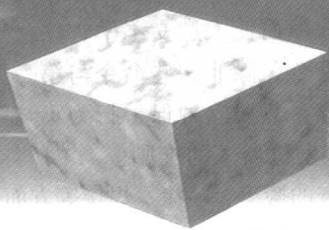
由于作者水平有限，书中内容难免存在不足和错误之处，我们恳请读者给予批评指正。最后我们对支持本书编写和出版的所有业者表示衷心的感谢。

编 者

2005年5月

目 录

前言		
第一章 概论	1	
第一节 机器人的发展史	1	
第二节 机器人研究领域和内容	4	
习题	7	
第二章 机器人的机械结构	8	
第一节 机器人的组成和分类	8	
第二节 机器人的主要技术参数	12	
第三节 机器人的机械结构与运动	15	
第四节 机器人的驱动机构	31	
习题	34	
第三章 机器人运动学	35	
第一节 概述	35	
第二节 机器人运动学的基本问题	36	
第三节 机器人的雅可比矩阵	45	
习题	47	
第四章 机器人的动力学初步	49	
第一节 概述	49	
第二节 机器人的静力学	50	
第三节 机器人动力学方程式	53	
习题	57	
第五章 机器人的控制基础	58	
第一节 概述	58	
第二节 伺服电动机的原理与特性	60	
第三节 伺服电动机调速的基本原理	64	
第四节 电动机驱动及其传递函数	66	
第五节 单关节机器人的伺服系统建模与控制	69	
第六节 交流伺服电动机的调速	77	
第七节 机器人控制系统的硬件结构及接口	82	
第八节 机器人控制系统举例	88	
习题	90	
第六章 机器人的感觉	91	
第一节 机器人传感技术	91	
第二节 机器人内部传感器	93	
第三节 机器人外部传感器	98	
习题		105
第七章 机器人的视觉及其应用	106	
第一节 概述	106	
第二节 机器人的视觉系统的组成及其工作原理	107	
第三节 视觉信息的处理	110	
第四节 数字图像的编码	117	
第五节 机器人视觉系统应用举例	118	
习题	119	
第八章 智能机器人与智能控制	120	
第一节 概述	120	
第二节 智能机器人的体系结构和控制系统	122	
第三节 智能控制的基础	124	
第四节 模糊控制原理与模糊控制机器人	126	
第五节 神经网络控制原理与神经网络控制机器人	135	
习题	142	
第九章 机器人语言	143	
第一节 概述	143	
第二节 机器人编程语言的类别和基本特性	144	
第三节 动作级语言	147	
第四节 对象级语言	152	
习题	155	
第十章 机器人在不同应用领域的举例	156	
第一节 概述	156	
第二节 工业机器人	157	
第三节 军用机器人	171	
第四节 水下机器人	173	
第五节 空间机器人	175	
第六节 服务机器人	177	
第七节 农业机器人	180	
第八节 仿人机器人	182	
习题	185	
参考文献	186	



第一章

概 论

第一节 机器人的发展史

一、机器人概述

人们一提起机器人，往往联想起科幻电影和电视中虚构的人形机器形象，他们外形如人，智能、武功超群。机器人一词同样源于一个科幻的形象，1920年捷克作家 Karel Capek 发表的一个科幻剧《Rossums Universal Robots》，robot 是由捷克文 robota（意为农奴，苦力）衍生而来的。剧中描述了一家发明名为 robot 的类人机器人的公司，该公司将 robot 作为工业产品推向市场，让它去充当劳动力。他们按照其主人的指令工作，没有感觉和感情，以呆板的方式从事繁重的不公正的劳动。

目前现实生活中应用的机器人，外形和人毫无相似之处，通常是按照人们预定的程序重复一些人们看似简单的动作，设计人员往往只重视机器人的功能。随着科学技术的发展，各国都在致力于研制具有完全自主能力、拟人化的智能机器人。目前研制的最先进的仿人机器人，如日本本田公司研制的 ASIMO 双足步行机器人，它的活动能力和智能与人还相差很远。

那么，什么是“机器人”呢？关于什么是机器人的说法有很多，总结各种说法，机器人具有以下特性：

- 1) 一种机械电子装置；
- 2) 动作具有类似于人或生物体的功能；
- 3) 可通过编程执行多种工作，有一定的通用性和灵活性；
- 4) 有一定程度的智能，能够自主地完成一些操作。

1940年，一位名叫 Isaac Asimov 的科幻作家首次使用了 Robotics（机器人学）来描述与机器人有关的科学，并提出了“机器人学三原则”，这三个原则如下：

- 1) 机器人不得伤害人或由于故障而使人遭受不幸；
- 2) 机器人应执行人们下达的命令，除非这些命令与第一原则相矛盾；
- 3) 机器人应能保护自己的生存，只要这种保护行为不与第一或第二原则相矛盾。

机器人界将这三个原则作为开发机器人的准则。

机器人的大量应用是从工业生产的搬运、喷涂、焊接等方面开始的，使人类从繁重的、重复单调的、有害健康和危险的生产作业中解放出来。应用中，人们不断发现机器人技术的潜力，机器人的应用领域就不断扩大，如今它已逐步进入或即将进入人们生产和生活的各个领域。如建筑机器人可用来砌墙、抹水泥地面、安装天花板、搬运玻璃、预制件等建筑材料；矿山机器人可用于凿岩、采掘、石油钻井、取样等；核工业机器人用于检查放射性，清理核垃圾；管道爬行机器人用于检修油、气、污水管道；农、林、牧用机器人用于种耕、收割、采果、喷洒农药化肥、挤奶等；水下机器人可用于深海探测、沉船打捞和海洋矿产、渔业的发展，建立海上牧场；空间机器人可用于星球开发、空间微生物分析、纯净材料的制造、轨道飞行器的检修、增添燃料和清洗、空间自动对接、舱外抢险、捕获、充当航天飞机乘务员等；许多极限作业机器人还用于极高温、极低温、粉尘、有毒气体、放射性环境，进行消防、抢险救灾、火山探索等工作；模仿人及各种动、植物形态的仿生机器人可用作医院护士、餐厅和家庭服务员、进行生物学研究和文体娱乐活动；厘米或毫米通信线径的微型机器人可用于微细加工、星球表面检查、眼科精细手术等领域；此外机器人还有大量军事应用，各发达国家开发了许多海、陆、空战用机器人，以显示军事现代化的实力。可以说，在当今世界上，机器人的应用已无所不在。

二、机器人发展历史、现状和发展趋势

世界上第一台机器人于 1954 年诞生于美国，虽然它是一台试验的样机，然而它体现了现代工业广泛应用的机器人的主要特征。机器人产品问世于 20 世纪 60 年代，代表性的有美国 Unimation 公司的 Unimate 机器人和美国 AMF 公司的 Versatran 机器人。Unimate 机器人（见图 1-1 所示）是球坐标机器人，它是 5 个关节串联的液压驱动的机器人，可完成近 200 种示教再现动作。Versatran 机器人（见图 1-2 所示）主要用于机器之间的物料运输，机器人手臂可以绕底座回转，沿垂直方向升降，也可以沿半径方向伸缩。一般认为 Unimate 和 Versatran 机器人是世界上最早的工业机器人。

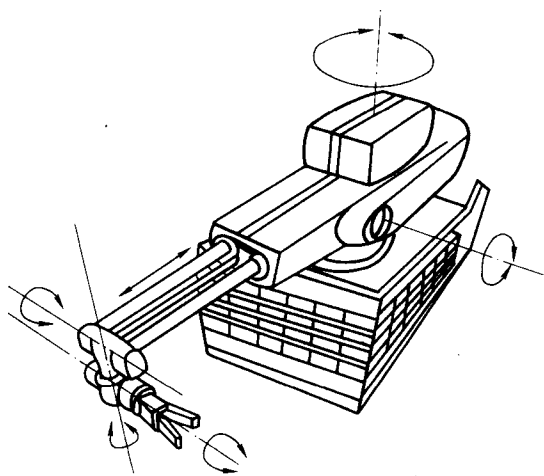


图 1-1 Unimate 机器人

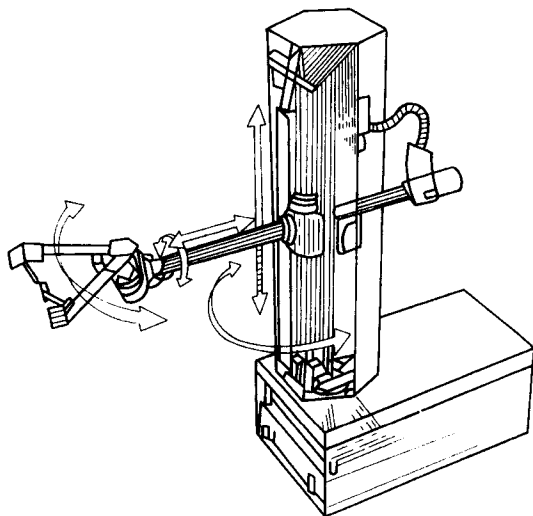


图 1-2 Versatran 机器人

美国机器人从诞生起,在相当长的一段时期内,主要停留在大学和研究所的实验室里,虽然作出了一系列研究成果,但是没有形成生产能力且应用较少,因而也很难得到充裕的经费支持。与此同时,工业生产和应用部门对机器人技术的效益持观望态度,因此研究开发、生产和应用的脱节现象延缓了这一新技术在美国的发展。直到20世纪70年代中期,有鉴于机器人技术发展、经济潜力和日本在工业机器人方面所取得的成就,美国才意识到问题的紧迫性并多方面采取措施。

日本搞机器人并不算早,日本的机器人技术人员首先引进了美国机器人技术,经过技术消化并在日本迅速将其实用化。1967年,日本东京机械贸易公司首次从美国引进 Versatran 机器人;1968,日本川崎重工业公司从美国引进 Unimate 机器人,并对它进行改进,增加了视觉功能,使其成为一种具有智能的机器人。这一成就,引起日本产业界和政府的高度重视,为了推广应用这一新技术,日本政府在技术政策和经济上都采取措施加以扶植,因此,日本的工业机器人迅速走出了从试验应用到成熟产品大量应用的阶段,工业机器人得以大量生产和应用。20世纪70年代是日本机器人的迅速发展时期,日本在机器人的产品开发和应用两个方面超过美国,成为当今世界第一的“机器人王国”。

20世纪70年代,机器人进入工业生产的实用化时代。到80年代,工业机器人进入普及时代,汽车、电子等行业开始大量使用工业机器人,推动了机器人产业的发展。机器人的研究开发,无论就水平和规模而言都得到迅速发展,高性能的机器人所占比例将不断增加。1979年 Unimation 公司推出 PUMA 系列工业机器人,它是一种全电动驱动、关节式结构、多CPU二级微机控制、采用 VAL 专用语言、可配置视觉、触觉和力觉传感器的技术较为先进的机器人;同年日本山梨大学的牧野洋研制了具有平面关节的 SCARA 型机器人。1985年前后, FANUC 和 GMF 公司又先后推出交流伺服驱动的工业机器人产品。这一时期,各种装配机器人的产量增长较快,与机器人配套使用的装置和视觉技术正在迅速发展。

近十几年来,欧洲的德国、意大利、法国及英国的机器人产业发展比较快。目前,世界上机器人无论是从技术水平上,还是从已装备的数量上,优势集中在以日美为代表的少数几个发达的工业化国家。

我国工业机器人起步于20世纪70年代初,大致可分为3个阶段:70年代的萌芽期,80年代的开发期,90年代的实用化期。

我国于1972年开始研制工业机器人,数十家研究单位和院校分别开发了固定程序、组合式、液压伺服型通用机器人,并开始了机构学、计算机控制和应用技术的研究。20世纪80年代,我国机器人技术的发展得到政府的重视和支持,机器人步入了跨越式发展时期。1986年,我国开展了“七五”机器人攻关计划,1987年,我国的“863”高技术计划将机器人方面的研究开发列入其中,进行了工业机器人基础技术、基础元器件、几类工业机器人整机及应用工程的开发研究。在完成了示教再现式工业及其成套技术的开发后,我国研制出了喷涂、弧焊、点焊和搬运等作业机器人整机,几类专用和通用控制系统及几类关键元部件,并在生产中经过实际应用考核,其性能指标达到20世纪80年代初国外同类产品的水平。为了跟踪国外高技术,在国家高技术计划中安排了智能机器人的研究开发,包括水下无缆机器人、高功能装配机器人和各类特种机器人,进行了智能机器人体系结构、机构、控制、人工智能、机器视觉、高性能传感器及新材料等的应用研究。20世纪90年代,由于市场竞争加剧,一些企业认识到必须要用机器人等自动化设备来改造传统产业,从而进一步走向产业

化。在喷涂机器人、点、弧焊机器人、搬运机器人、装配机器人、矿山、建筑、管道作业的特种工业机器人技术和系统应用的成套技术继续开发和完善，进一步开拓市场，扩大应用领域，从汽车制造业逐步扩展到其他制造业并渗透到非制造业领域。如机器人化柔性装配系统的研究，充分发挥工业机器人在未来 CIMS 中的核心技术作用。

机器人技术的发展，一方面表现在机器人应用领域的扩大和机器人种类的增多；另一方面表现在机器人的智能化。在 21 世纪，各种智能机器人将得到广泛的应用，具有像人的四肢、灵巧的双手、双目视觉、力觉感知功能的仿人型智能机器人将被研制成功。

日本在仿人形机器人开发水平方面非常显著。比较典型的成果有：索尼公司的 SDX—3X、ERATO 北野共生系统企画的 PINO 和 morph、早稻田大学的 WABOT、本田公司从 P1 到 P2 到 P3，直至目前的 ASIMO。

迄今为止，我国还没有集成一个较完善的仿人机器人系统，但我们在这方面做了一些工作，并取得了一些喜人的成果。如国防科技大学、哈尔滨工业大学研制出的双足步行机器人；北京航空航天大学研制出的多指灵巧手以及北京科技大学研制的双拇指手等。

第二节 机器人研究领域和内容

一、机器人研究领域

机器人技术是集机械工程学、计算机科学、控制工程、电子技术、传感器技术、人工智能、仿生学等学科为一体的综合技术，它是多学科科技革命的必然结果。每一台机器人，都是一个知识密集和技术密集的高科技机电一体化产品。

机器人组成及其与外部的关系如图 1-3 所示。

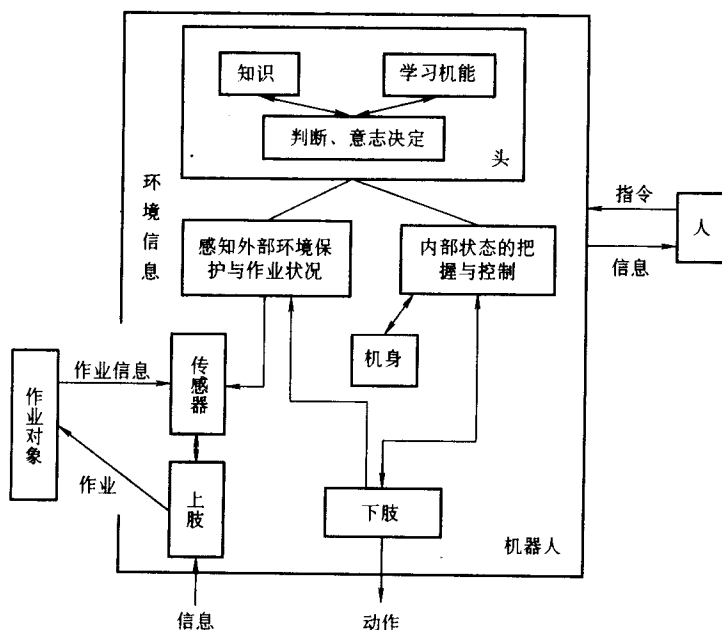


图 1-3 机器人组成及其与外部关系

由图 1-3 可知，机器人技术涉及的研究领域有：

- 1) 传感器技术 得到与人类感觉机能相似的传感器技术;
- 2) 人工智能计算机科学 得到与人类智能或控制机能相似能力的人工智能或计算机科学;
- 3) 假肢技术;
- 4) 工业机器人技术 把人类作业技能具体化的工业机器人技术;
- 5) 移动机械技术 实现动物行走机能的行走技术;
- 6) 生物功能 以实现生物机能为目的的生物学技术。

二、机器人研究内容

机器人研究的基础内容有以下几方面。

1. 空间机构学

空间机构在机器人中的应用体现在: 机器人机身和臂部机构的设计、机器人手部机构设计、机器人行走机构的设计、机器人关节部机构的设计, 即机器人机构的型综合和尺寸综合。

2. 机器人运动学

机器人的执行机构实际上是一个多刚体系统, 研究要涉及到组成这一系统的各杆件之间以及系统与对象之间的相互关系, 为此需要一种有效的数学描述方法。

3. 机器人静力学

机器人与环境之间的接触会在机器人与环境之间引起相互的作用力和力矩, 而机器人的输入关节扭矩由各个关节的驱动装置提供, 通过手臂传至手部, 使力和力矩作用在环境的接触面上。这种力和力矩的输入和输出关系在机器人控制中是十分重要的。静力学主要讨论机器人手部端点力与驱动器输入力矩的关系。

4. 机器人动力学

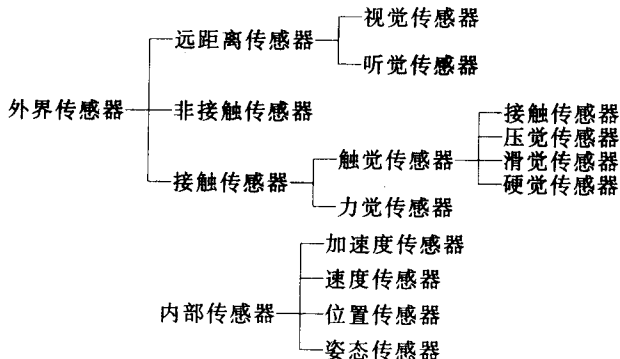
机器人是一个复杂的动力学系统, 要研究和控制这个系统, 首先必须建立它的动力学方程。动力学方程是指作用于机器人各机构的力或力矩与其位置、速度、加速度关系的方程式。

5. 机器人控制技术

机器人的控制技术是在传统机械系统的控制技术的基础上发展起来的, 两者之间无根本的不同。但机器人控制系统也有许多特殊之处, 它是有耦合的、非线性的多变量的控制系统, 其负载、惯量、重心等随时间都可能变化, 不仅要考虑运动学关系还要考虑动力学因素, 其模型为非线性而工作环境又是多变的等等。主要研究的内容有机器人控制方式和机器人控制策略。

6. 机器人传感器

一般, 人类具有视觉、听觉、触觉、味觉及嗅觉等 5 种感觉, 机器人的感觉主要通过传感器来实现。机器人所研究的传感器如下:



外部传感器是为了对环境产生相适应的动作而取得环境信息。内部传感器是根据指令而进行动作,检测机器人各部状态。

7. 机器人语言

机器人语言分为通用计算机语言和专用机器人语言,通用机器人语言的种类极多,常用的有汇编语言、FORTRAN、PASCAL、FORTH、BASIC等。随着作业内容的复杂化,利用程序来控制机器人显得越来越困难,为了寻求用简单的方法描述作业,控制机器人动作,人们开发了一些机器人专用语言,如AL、VAL、IML、PART、AUTOPASS等。作为机器人语言,首先要具有作业内容的描述性,不管作业内容如何复杂,都能准确加以描述;其次要具有环境模型的描述性,要能用简单的模型描述复杂的环境,要能适应操作情况的变化改变环境模型的内容;再次要求具有人机对话的功能,以便及时描述新的作业及修改作业内容;最后要求在出现危险情况时能及时报警并停止机器人动作。

三、机器人技术的发展趋势

科学技术水平是机器人技术的基础,科学与技术的发展将会使机器人技术提高到一个更高的水平。未来机器人技术的主要研究内容集中在以下几个方面。

1. 工业机器人操作机结构的优化设计技术

探索新的高强度轻质材料,进一步提高负载-自重比,同时机构向着模块化、可重构方向发展。

2. 机器人控制技术

重点研究开放式、模块化控制系统,人机界面更加友好,语言、图形编程界面正在研制之中。机器人控制器的标准化和网络化以及基于PC机网络式控制器已成为研究热点。

3. 多传感系统

为进一步提高机器人的智能和适应性,多种传感器的使用是其问题解决的关键。其研究热点在于有效可行的多传感器融合算法,特别是在非线性及非平稳、非正态分布的情形下的多传感器融合算法。

4. 机器人遥控及监控技术,机器人半自主和自主技术

多机器人和操作者之间的协调控制,通过网络建立大范围内的机器人遥控系统,在有时延的情况下,建立预先显示进行遥控等。

5. 虚拟机器人技术

基于多传感器、多媒体和虚拟现实以及临场感应技术,实现机器人的虚拟遥控操作和人机交互。

6. 多智能体控制技术

这是目前机器人研究的一个崭新领域。主要对多智能体的群体体系结构、相互间的通信与磋商机理,感知与学习方法,建模和规划、群体行为控制等方面进行研究。

7. 微型和微小机器人技术

这是机器人研究的一个新的领域和重点发展方向。过去的研究在该领域几乎是空白,因此该领域研究的进展将会引起机器人技术的一场革命,并且对社会进步和人类活动的各个方面产生不可估量的影响,微型机器人技术的研究主要集中在系统结构、运动方式、控制方法、传感技术、通信技术以及行走技术等方面。

8. 软机器人技术

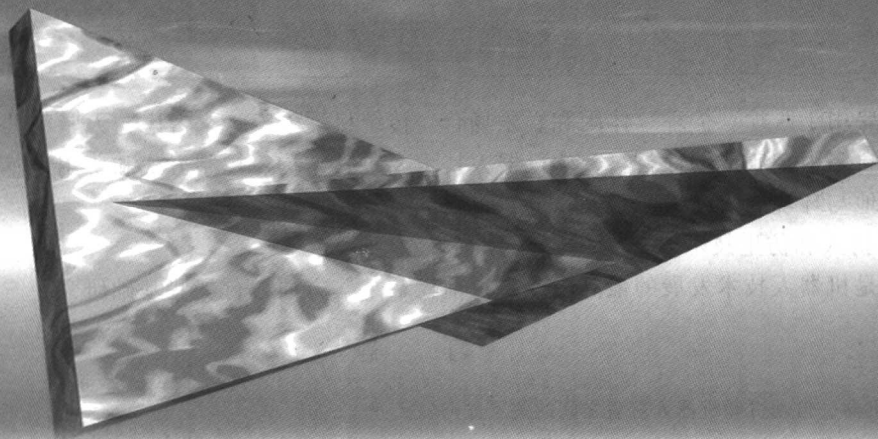
主要用于医疗、护理、休闲和娱乐场合。传统机器人设计未考虑与人紧密共处，因此其结构材料多为金属或硬性材料，软机器人技术要求其结构、控制方式和所用传感系统在机器人意外地与环境或人碰撞时是安全的，机器人对人是友好的。

9. 仿人和仿生技术

这是机器人技术发展的最高境界，目前仅在某些方面进行一些基础研究。

习 题

1. 机器、自动机和机器人三者之间的关系如何？
2. 查阅资料，论述国内外机器人发展的现状及发展动向。
3. 机器人学主要包含哪些研究内容？
4. 试谈谈克隆技术的发展对机器人的生存和发展有没有影响。



第二章

机器人的机械结构

第一节 机器人的组成和分类

一、机器人的组成

机器人的机械、电气和控制结构千差万别，但大多数的机器人有 4 个共同的主要部件：

1) 机械部分；2) 一个或多个传感器；3) 控制器；4) 驱动源。

机械部分是由关节连在一起的许多机械连杆的集合体，形成开环运动学链系。连杆类似于人类的小臂、大臂等，关节通常为转动关节和移动关节。移动关节允许连杆作直线移动，转动关节仅允许连杆之间发生旋转运动。由关节 - 连杆结构所构成的机械结构一般有 3 个主要部件，即臂、腕和手，它们可在各个方向运动，这些运动就是机器人在“做工”。

使各种机械部件产生运动的装置为驱动部件，驱动源可以是气动的、液压的或电动的，他们可以直接地与臂、腕或手上的机械连杆或关节联接在一起，也可以使用齿轮、带、链条等间接联接起来。传感器是将有关机械部件的信息传递给机器人的控制器，控制器通过这些信息确定机械部件各部分的正确运行轨迹、速度、位置和外部环境，使机械部件的各部分按预定程序在规定的开始和结束动作。

二、机器人的分类

机器人有多种分类方法，本节分别按机器人的控制类型和结构坐标系特点进行分类。

1. 按机器人的控制方式分类

按照控制方式可把机器人分为非伺服机器人和伺服控制机器人两种。

(1) 非伺服机器人 非伺服机器人工作能力比较有限，机器人按照预先编好的程序顺序进行工作，使用限位开关、制动器、插销板和定序器来控制机器人的运动。插销板是用来预先规定机器人的工作顺序，而且往往是可调的。定序器是一种定序开关或步进装置，它能够

按照预定的正确顺序接通驱动装置的能源。驱动装置接通能源后,就带动机器人的手臂、腕部和手部等装置运动。当他们移动到由限位开关所规定的位置时,限位开关切换工作状态,给定序器送去一个工作任务已完成的信号,并使终端制动器动作,切断驱动能源,使机器人停止运动。

(2) 伺服控制机器人 伺服控制机器人比非伺服机器人有更强的工作能力。伺服系统的被控制量可为机器人手部执行装置的位置、速度、加速度和力等。通过传感器取得的反馈信号与来自给定装置的综合信号,用比较器加以比较后,得到误差信号,经过放大后用以激发机器人的驱动装置,进而带动手部执行装置以一定规律运动,到达规定的位置或速度等,这是一个反馈控制系统。

伺服控制机器人可分为点位伺服控制和连续轨迹伺服控制两种。

点位伺服控制机器人的受控运动方式为从一个点位目标移向另一个点位目标,只在目标点上完成操作。机器人可以以最快的和最直接的路径从一个端点移到另一端点。通常,点位伺服控制机器人能用于只有终端位置是重要的而对编程点之间的路径和速度不做主要考虑的场合。点位控制主要用于点焊、搬运机器人。

连续轨迹伺服控制机器人能够平滑地跟随某个规定的路径,其轨迹往往是某条不在予编程端点停留的曲线路径。连续轨迹伺服控制机器人具有良好的控制和运行特性,由于数据是依时间采样的,而不是依预先规定的空间点采样,因此机器人的运行速度较快、功率较小、负载能力也较小。连续轨迹伺服控制机器人主要用于弧焊、喷涂、打飞边毛刺和检测机器人。

2. 按机器人结构坐标系特点方式分类

(1) 直角坐标型机器人 直角坐标型机器人的结构见图 2-1a 所示,它在 x , y , z 轴上的运动是独立的。

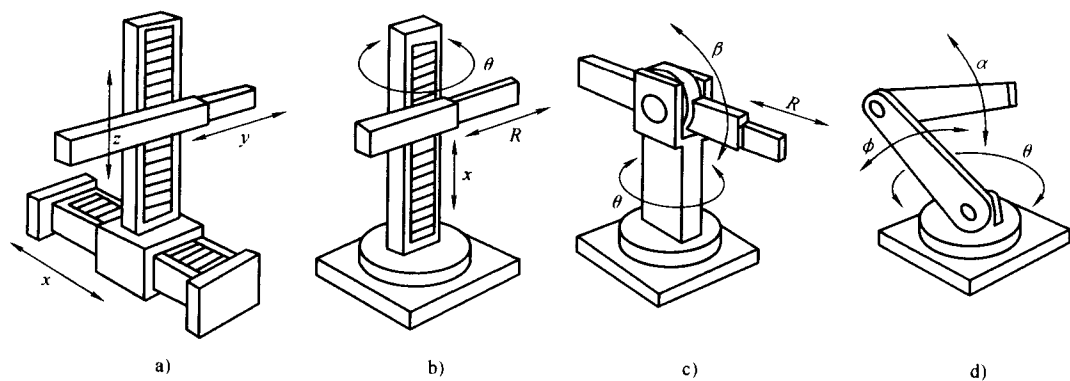


图 2-1 不同坐标结构机器人

a) 直角坐标型 b) 圆柱坐标型 c) 极坐标型 d) 多关节型

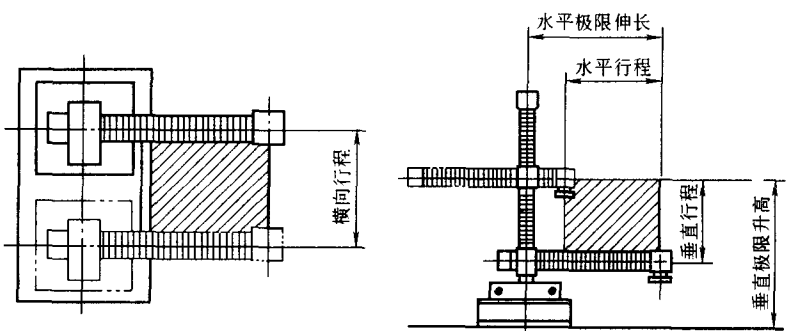
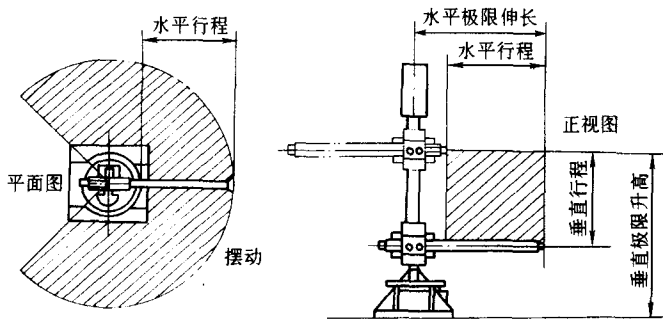
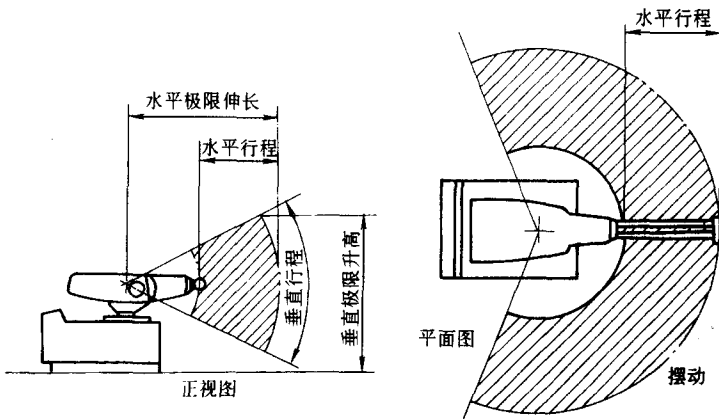
(2) 圆柱坐标型机器人 圆柱坐标型机器人的结构见图 2-1b 所示, R 、 θ 和 x 为坐标系的三个坐标,其中 R 是手臂的径向长度, θ 是手臂的角位置, x 是垂直方向上手臂的位置。如果机器人手臂的径向坐标 R 保持不变,机器人手臂的运动将形成一个圆柱表面。

(3) 极坐标型机器人 极坐标型机器人又称为球坐标型机器人,其结构见图 2-1c 所示, R 、 θ 和 β 为坐标系的坐标。其中 θ 是绕手臂支撑底座垂直轴的转动角, β 是手臂在铅垂面内的摆动角。这种机器人运动所形成的轨迹表面是半球面。

(4) 多关节机器人 多关节机器人结构见图 2-1d 所示, 它是以其各相邻运动部件之间的相对角位移作为坐标系的。 θ 、 α 和 ϕ 为坐标系的坐标, 其中 θ 是绕底座铅垂轴的转角, ϕ 是过底座的水平线与第一臂之间的夹角, α 是第二臂相对于第一臂的转角。这种机器人手臂可以达到球形体积内绝大部分位置, 所能达到区域的形状取决于两个臂的长度比例。

表 2-1 总结了不同坐标结构机器人的特点。

表 2-1 不同坐标结构机器人的对比

特点	工作范围
直角坐标型 1. 在三个直线方向上移动, 运动容易想象 2. 计算比较方便 3. 由于可以两端支撑, 对于给定的结构长度, 其刚性最大 4. 要求保留较大的移动空间, 占用空间较大 5. 要求有较大的平面安装区域 6. 滑动部件表面的密封较困难, 容易被污染	 该图展示了直角坐标型机器人的结构及其工作范围。左侧为机器人的结构示意图，标注了“纵向行程”。右侧为工作范围示意图，标注了“水平极限伸长”、“水平行程”、“垂直行程”和“垂直极限升高”。
圆柱坐标型 1. 容易想象和计算 2. 直线驱动部分若采用液压驱动, 则可输出较大的动力 3. 能够伸入型腔式机器内部 4. 手臂端部可以达到的空间受限制, 不能到达靠近立柱或地面的空间 5. 直线驱动部分难以密封、防尘及防腐蚀性物质 6. 后缩手臂工作时, 手臂后端会碰到工作范围内的其他物体	 该图展示了圆柱坐标型机器人的结构及其工作范围。左侧为机器人的结构示意图，标注了“水平行程”和“摆动”。右侧为工作范围示意图，标注了“水平极限伸长”、“水平行程”、“正视图”、“垂直行程”和“垂直极限升高”。
极坐标型 1. 在中心支架附近的工作范围较大 2. 两个转动驱动装置容易密封 3. 覆盖工作空间较大 4. 坐标系较复杂, 较难想象和控制 5. 直线驱动装置仍存在密封问题 6. 存在工作死区	 该图展示了极坐标型机器人的结构及其工作范围。左侧为机器人的结构示意图，标注了“水平极限伸长”、“水平行程”、“垂直行程”和“垂直极限升高”。右侧为工作范围示意图，标注了“水平行程”、“平面图”和“摆动”。

(续)

特点	工作范围
多关节坐标型 1. 动作较灵活, 工作空间大 2. 关节驱动处容易密封防尘 3. 工作条件要求低, 可在水下等环境中工作 4. 适合于电动机驱动 5. 运动难以想象和控制, 计算量较大 6. 不适于液压驱动	

3. 机器人常见的图形符号

机器人的结构与传统的机械相比, 所用的零件和材料以及装配方法等与现有的各种机械完全相同。机器人常用的关节有移动、旋转运动副, 常用的图形符号见表 2-2 所示。

表 2-2 运动功能图形符号

编号	名称	图形符号	参考运动方向	备 注
1	移动 (1)			
2	移动 (2)			
3	回转机构			
4	旋转 (1)	(1)		(1) 一般常用的图形符号
		(2)		(2) 表示 (1) 的侧向的图形符号
5	旋转 (2)	(1)		(1) 一般常用的图形符号
		(2)		(2) 表示 (1) 的侧向的图形符号
6	差动齿轮			
7	球关节			
8	握持			