



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造技术与应用前沿

机器

JIQIRE

李明 编著

上海科学技术出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目
先进制造技术与应用前沿

机器人

李明 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

机器人 / 李明编著. — 上海:上海科学技术出版社,
2012.1

(先进制造技术与应用前沿)

ISBN 978—7—5478—1085—9

I. ①机… II. ①李… III. ①机器人技术 IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 261847 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上 海 科 学 技 术 出 版 社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 15.75 插页: 4

字数: 280 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978—7—5478—1085—9/TP·18

定价: 50.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换



ynopsis

内容提要

本书围绕当今机器人技术的发展前沿和应用,从技术发展、研发思路、关键技术、应用方法等角度分以下六章予以介绍:概论;机器人的机构;机器人的智能技术;机器人系统;机器人应用技术;机器人技术展望。并且在介绍相关技术的同时,以案例形式介绍了整个机器人系统的设计、分析、集成和应用方法,力求做到系统性、专业性和可读性相结合。

本书适用于从事现代制造技术、控制技术等领域,对机器人技术感兴趣的工程技术人员,同时也可作为相关专业本、专科学生的参考书。

编撰委员会

先进制造技术与应用前沿

主 任 路甬祥

副 主 任 李蓓智 曹自强

委 员 (按姓氏笔画排序)

王庆林 石来德 包起帆 严仰光

杜宝江 李 明 李 春 李希明

何 宁 何亚飞 陈 明 阎耀保

葛江华 董丽华 舒志兵

学术专家 艾 兴 汪 耕 周勤之



reface

前言

机器人是人类千百年来的一种追求,随着机械、自动控制、计算机、人工智能和传感器等技术的飞速发展,机器人已从传说走向现实,从玩具变为工具。目前,工业机器人已成为现代制造系统中不可或缺的一种自动化装备,被广泛地应用在汽车、飞机、电子产品等行业的制造过程中,机器人不仅被应用在军事、航天等尖端领域,还正逐步走向社会、家庭,服务机器人已进入到人们的生活中。总之,机器人技术已成为衡量一个国家综合技术水平的标志之一。

本书针对广大读者对机器人技术及其应用的需求,通过以下几个方面介绍了机器人的技术体系和应用方法:

(1) 机器人技术中通用的关键技术及其应用,包括:机器人机构和相关算法、机器人结构特点及案例、机器人的传感器融合技术及其应用等。同时还介绍了一些国内外的研究热点和相关的研究成果。

(2) 在机器人的应用技术方面,结合相关实际工程应用,重点介绍了机器人应用系统、机器人周边装备、机器人应用方法等。

(3) 对机器人,特别是服务机器人的种类和应用前景进行了较全面的介绍。

为了能使读者更好地理解和学习机器人技术,本书采用了理论结合实际的方法,通过大量的案例来有序展开相关内容,有利于提高读者的兴趣和理解能力。

本书适用于从事现代制造技术、控制技术等领域,对机器人技术感兴趣

的工程技术人员,同时也可作为相关专业本、专科学生的参考书。

由于编者水平有限,书中难免出现一些疏漏和不妥之处,希望能得到读者的反馈、批评和帮助。

作 者



目 录

第一章 机器人概论 1

第一节 机器人的定义和特点	1
一、机器人的定义	1
二、机器人的主要特点	2
第二节 机器人的历史与发展	3
第三节 机器人的构成及功能	6
一、机器人的构成	6
二、机器人的分类	10
三、机器人的功能	12

第二章 机器人的机构 14

第一节 机器人的手臂机构	14
一、手臂机构	14
二、手臂运动学	14
三、手臂动力学及仿真	23
四、手臂机构的设计、分类和主要技术参数	25
第二节 机器人的手部机构	29
一、概述	29
二、手指与对象物接触的力学及运动学	29
第三节 机器人的移动机构	31
一、轮式移动机构	32
二、履带式移动机构	33

三、足式移动机构	34
四、特殊的移动机构	36

第三章 机器人的智能技术 44

第一节 视觉信息和识别技术	44
一、机器人视觉	44
二、视觉图像处理	49
第二节 语音信息处理技术	55
一、语音识别	55
二、语音应用系统	58
第三节 触觉和力觉识别技术	59
一、触觉和触觉传感器概述	59
二、触觉传感器的种类和触觉图像及其处理	60
三、触觉的立体信息识别	63
四、力觉信息识别及其应用	66
第四节 机器人规划技术	69
一、机器人规划概述	69
二、机器人路径规划的方法	70
第五节 机器人自主移动技术	74
一、概述	74
二、自身位置识别	77
三、室外导航技术	83

第四章 机器人系统 85

第一节 机器人系统的基本构成	85
第二节 机器人的系统结构	86
一、系统结构的基本功能和要素	87
二、基本系统结构	87
三、代表型系统结构	90
第三节 机器人系统的编程	95

一、概述	95
二、机器人编程语言的种类与特点	98
三、机器人编程语言系统的结构和功能	100
四、常用的机器人编程语言	105
五、机器人离线编程系统	108
六、机器人作业示教方法	115
第四节 机器人系统设计	118
一、机器人系统的设计方法	118
二、控制系统设计	124
三、机器人系统的通信接口	128
四、机器人系统标定	130

第五章 机器人应用技术

135

第一节 工业机器人应用工程技术	135
一、工业机器人应用工程系统的构成	135
二、工业机器人工程应用系统技术	142
三、工业机器人应用工程的周边技术	154
四、工业机器人应用的经济性评价	162
五、机器人与安全	165
第二节 工业机器人在制造业中的应用	170
一、物料搬运	170
二、焊接	172
三、喷漆	173
四、去毛刺	174
五、机械加工	175
六、在洁净环境中的应用	175
七、测量	175
第三节 机器人技术在非制造业领域中的应用	176
一、在第一产业中的应用	176
二、在第三产业中的应用	177
三、医疗机器人的应用	179

四、在特殊环境及作业中的应用	180
五、其他应用	182

第六章 机器人技术展望 185

第一节 自主移动机器人研究的突破	185
第二节 智能机器人加快发展	189
第三节 应用领域向非制造业和服务业的扩展	191
第四节 仿人型机器人技术的新突破	194
第五节 微型机器人	195
第六节 网络机器人的快速发展	196
第七节 军用机器人	197

工业机器人性能规范及其试验方法

附 录 (摘自 GB/T 12642—2001) 199

一、概述	199
二、机器人精度的测量方法	206
三、机器人精度的测试和分析计算方法	211

参考文献	233
------------	-----

机器人概论

第一节 机器人的定义和特点

一、 机器人的定义

机器人是多学科技术综合的产物,随着人类的进步而不断完善和发展。在科技界,科学家一般会给每一个科技术语一个统一明确的定义,然而至今为止,尽管机器人问世已有几十年,但是对机器人的定义仍然仁者见仁,智者见智,没有一个统一的意见。

在 1967 年日本召开的第一届机器人学术会议上,人们提出了两个有代表性的定义。

一是:“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、奴隶性等七个特征的柔性机器”。

二是日本著名学者加藤一郎提出的机器人的三个基本特征:

- (1) 具有脑、手、脚等三要素的个体。
- (2) 具有非接触传感器(用眼、耳接收远方信息)和接触传感器。
- (3) 具有平衡和定位的传感器。

该定义强调了机器人应当仿人的含义,即它靠手进行作业,靠脚实现移动,具有由脑来完成记忆和统一的指挥作用。非接触传感器和接触传感器相当于人的五官,使机器人能够识别外界环境,而平衡和定位则是机器人感知本身状态所不可缺少的传感器。这里描述的机器人是自主机器人,正如人由于某种原因缺少身体的某一部分而丧失某一器官功能,仍然还是人一样,机器人也不一定要具有上述所有构成要素。因此,从广义上讲,机器人的定义是多种

多样的,它具有一定的模糊性。

我国科学家对机器人的定义是:“机器人是一种自动化的机器,所不同的是这种机器具备一些人或生物相似的智能能力,如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力,是一种具有高灵活性的自动化机器”。

随着人们对机器人技术的本质是感知、决策、行动和交互技术的结合的认识加深,机器人开始源源不断地向人类活动的各个领域渗透。结合不同领域的应用特点,针对不同任务和环境的适应性,人们发展了各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的智能机器人和特种机器人,如军用机器人、移动机器人、服务机器人、医用机器人、空间机器人、水下机器人、微操作机器人、娱乐机器人等。这些机器人从外观上已不是最初仿人形机器人和工业机器人所具有的形状,更加符合各种不同应用领域的特殊要求,其功能和智能程度也大大增强,从而为机器人开辟出更加广阔的发展空间。

二、 机器人的主要特点

1. 通用性

机器人的通用性指的是执行不同任务的实际能力,即机器人可根据生产工作进行几何结构的变更。现有的大多数机器人都具有不同程度的通用性,包括机械手的机动性和控制系统的灵活性。

2. 适应性

机器人的适应性是指其对环境的自适应能力,即所设计的机器人能够自我执行未经完全指定的任务,而不管任务执行过程中所发生的没有预计到的环境变化。这一能力要求机器人认识其环境,即具有人工知觉。在这方面,机器人使用它的下述能力:

(1) 运用传感器感测环境的能力。

(2) 分析任务空间和执行操作规划的能力。

对于工业机器人来说,适应一般指的是其程序模式能够适应工件尺寸和位置以及工作场地的变化。这里,主要考虑两种适应性:

(1) 点适应性。它涉及机器人如何找到目标点的位置,如找到开始程序点的位置。

(2) 曲线适应性。它涉及机器人如何利用由传感器得到的信息沿着曲线工作。曲线适应性包括速度适应性和形状适应性两种。

第二节 机器人的历史与发展

机器人的研究开始于 20 世纪中期,其技术背景是计算机和自动化技术的发展以及原子能的开发利用。在原子能的研究中,人们会经常需要接触具有放射性的物质,而它对人体健康会造成很大的危害。为此有必要尽快开发出能替代人手进行工作的“人造手”。1947 年,美国原子能委员会的阿尔贡(Argonne)实验室研制出遥控操作机械手,使人可以在远离放射性物质的地方,用遥控操作机械手搬运放射性物质。1948 年阿尔贡实验室又开发了主从操作机械手“Model 1”。该系统由两只大小相似的操作机械手组成,人在另一个房间内,透过玻璃幕墙可观察工作场地的情况。人根据需要操纵小型的主动机械手动作,此时安装在工作场地的大型从动机械手就能准确模拟主动机械手的动作。操作人通过玻璃幕墙,观察并修整操作动作,以便准确无误地完成放射物的搬运工作。这个主从机械手不仅依靠人眼的视觉作反馈,而且在机械手上加上了力反馈,从而大大地改善了远距离操作性能。

1954 年美国人丹佛(Devol)提出了工业机器人的思想,并申请了发明专利,该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人实行动作的记录和再现,这就是所谓的示教再现机器人,也是现有的常用的机器人控制方法。丹佛研制出的机械手是带有电磁吸盘的单自由度机械手,它可以依照人的需要编制程序,具有记忆功能,能按人给它的指令一遍又一遍重复工作。这个机械手被公认为“工业用机器人开发的起点”。

机械制造与电子技术的各项发明为机器人的发展奠定了技术基础,如控制理论、电子计算机等。正是这一系列的科学成就,奠定了现代机器人发展的基础。

20 世纪 50 年代是工业机器人的萌芽期。1958 年美国联合控制公司研制出第一台数控工业机器人原型。1958 年,美国联合控制公司开发了数字控制的自动编程装置,经过几年的努力,于 1962 年研制出实用的工业机器人“尤尼梅特(Unimate)”(图 1-1),取意为“万能自动”。同年美国 AMF 公司推出了工业机器人“凡莎特兰(Versatram)”(图 1-2),取意为“灵活搬运”。

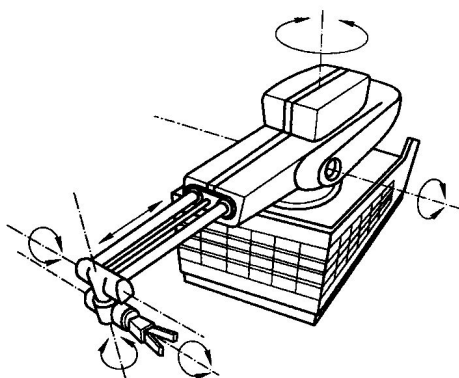


图 1-1 Unimate 机器人

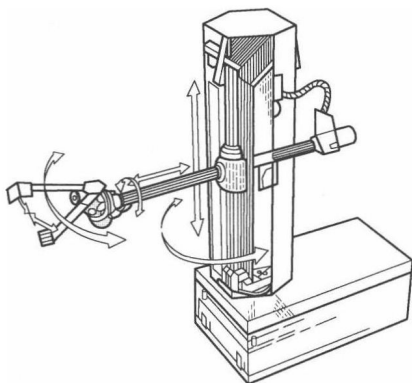


图 1-2 Versatram 机器人

尤尼梅特机器人腰部可回转,手臂能摆动伸缩,而凡莎特兰机器人不仅腰部可回转,手臂还能沿中央立柱升降及伸缩,这两台机器人都是采用液压驱动,主要用于工厂内重物的搬运。

机器人实用化产品的出现,尤其是第一台尤尼梅特机器人在美国通用汽车公司投入使用。由于工业机器人能替代工人繁重的体力劳动,能在对人体有害的环境如高温、高湿、有毒气体环境或危险作业中代替人进行工作,在当时对工业界的影响很大,进而促进了机器人技术研究和制造业的发展。

1970年以后,机器人在工业上应用不断增加,日本、瑞典、联邦德国等国家也纷纷开始研究和生产机器人。尤其在日本,机器人得到特别重视,使得日本在机器人应用技术及生产方面很快超过了美国。20世纪70年代随着计算机和人工智能技术的发展,工业机器人进入适用化时代。日本虽起步较晚,但结合日本国情,采取了一系列鼓励使用工业机器人的措施,使其工业机器人拥有量很快超过美国,一举成为“机器人王国”。到了1980年,全世界的机器人总量已达到3万台,日本拥有的机器人总数几乎占了一半。

除了大的公司外,还有几十所大学和研究机构对机器人理论及应用技术进行研究。同时1980年在日本召开了一次国际机器人会议,鉴于机器人的应用普及及技术发展情况,会议将1980年定为“机器人元年”。20世纪80年代工业机器人进入普及年代,汽车、电子等工业开始大量使用工业机器人,推进了机器人产业的发展。工业机器人的应用满足了人们个性化的要求,产品的批量越来越小,品种越来越多,而且产品质量的一致性也大大提高,为企业占有了更多的市场份额,获得了更多的利润。

20 世纪 90 年代初期,工业机器人的生产与需求达到了一个高潮期,1990 年世界上新装工业机器人 80 943 台,1991 年装备了 76 443 台,到 1991 年底世界上已有 53 万台工业机器人应用在各个行业。由于受到日本等国经济危机的影响,工业机器人产业也一度跌入低谷,到 90 年代末期又开始复苏。随着经济的发展,工业机器人产业进入 21 世纪后又得到了发展,机器人市场 2005 年达到了一个新的高峰,新装备的工业机器人达到 112 000 台,其中约有 76 000 台机器人安装在亚洲各国。从机器人的装备情况可以看出一般工业发达的国家或者工业发展快的国家,机器人的应用量都比较大,这些国家的工业化程度也较高。

我国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初期,在 1972 年也开始研制自己的工业机器人。进入 20 世纪 80 年代后,随着改革开放的不断深入,我国机器人技术的研究与发展得到了政府的重视与支持。“七五”期间,政府投入相当的资金,对工业机器人及其零部件进行攻关研究,我国进入了工业机器人的开发期。经过五年的攻关,完成了示教再现型工业机器人的成套技术的开发,研制出了喷漆、点焊、弧焊和搬运机器人,并在工厂中进行应用。进入 20 世纪 90 年代后,我国的市场经济进一步发展,工业机器人进入了适用期,在汽车、电子等各个行业中进行了应用。

机器人不仅在许多高科技中有着广泛的应用,而且也在悄悄地走进人们的生活。人们一直在设想能够有一种机器人,像人一样可以为人类提供甚至只有专业人员才能完成的各種服务(比如为我们煮饭、打扫卫生、与人聊天、照顾老人和小孩、看病治病、护理病人等,成为人们生活中不知疲倦的家庭保姆),或者各种人类无法完成的而我们需要的服务。实际上,这样的机器人可能在不久的将来就可以走进我们的家庭生活中。这种以提供服务性质工作作为其特征的机器人就是服务机器人。

服务机器人作为一种刚出现的、正在发展的领域,还没有十分明确的定义。国际机器人联合会经过几年的搜索整理,给了服务机器人一个初步的定义:服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人,它能完成有益于人类的服务工作,但不包括从事设备的生产。

服务机器人是在工业机器人逐步发展的基础上出现的,其应用的理论基础和工业机器人相比没有什么差别,同时,由于服务机器人应用于工业领域之外,与工业机器人相比,在使用环境、使用对象、人机关系、评价内容等方面有其自身的特点。

服务机器人的应用范围很广,主要从事维护、修理、运输、清洗、保安、救援、监护等工作。根据服务机器人的应用将其分为以下几类:清扫机器人、助残机器人、娱乐机器人、医疗机器人、教学机器人和类人机器人。

在 20 世纪发明并已迅速发展起来的机器人及相关技术,随着科学技术的进一步发展,可以看到多种技术发展趋势,能够完全想象到机器人将会走进我们未来的日常生活之中。

第三节 机器人的构成及功能

一、机器人的构成

机器人是模仿人或者其他生物制造出来的自动化机器,当然,这个模仿不仅是外形上的模仿,更主要是指原理上的模仿,因此,探索机器人的奥秘还是要从人体开始。我们人类有手,能做各种各样的动作;有腿脚,能走路;有眼睛,能看到东西;有嘴巴,能说话;有耳朵,能听到声音;有皮肤,能感觉到凉热软硬;有大脑,能思维……这些器官我们可以把它们抽象为三种要素:感知器、控制器和执行器。简单的说,感知器对应着我们的感觉器官,感受着外部和内部的信息,比如光、声音、温度、位置、疼痛、平衡等;控制器对应着我们的大脑和小脑,控制身体的动作,进行思考和决策;执行器对应着我们的肌体,实现身体的动作等。

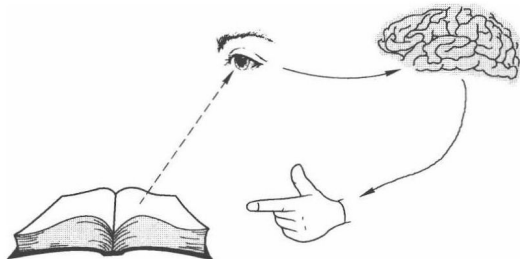


图 1-3 感知器、控制器和执行器

同样,机器人也是由这三部分要素构成的,机器人的各个“器官”,有些和人体相似,有些则大大不同。例如,为了自身的移动,机器人必须有自己的下