

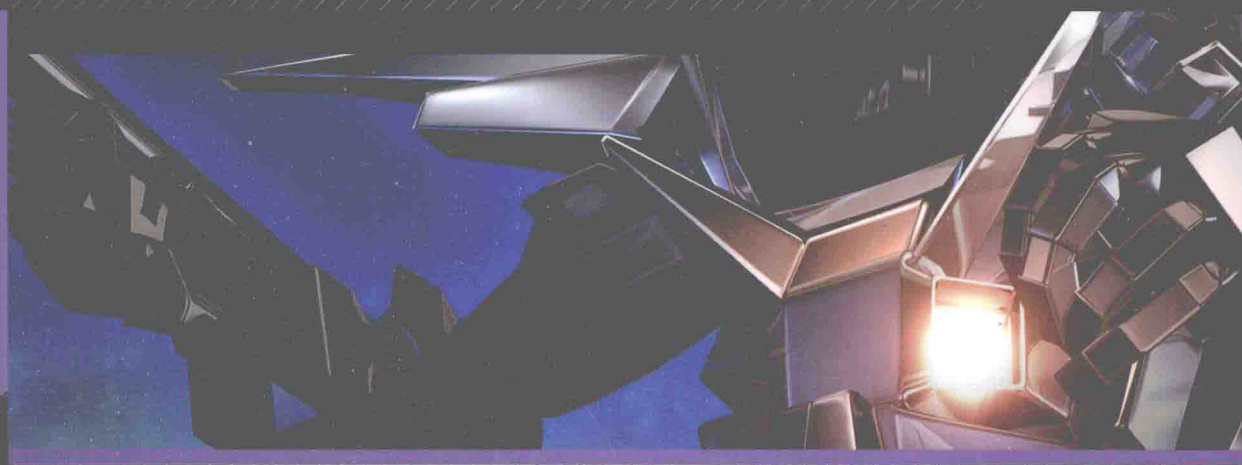


21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Robotics and Intelligent Control

机器人学 及其智能控制

郭彤颖 安冬 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Robotics and Intelligent Control

机器人学 及其智能控制

郭彤颖 安冬 主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

机器人学及其智能控制 / 郭彤颖, 安冬主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 9
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-36158-5

I. ①机… II. ①郭… ②安… III. ①智能机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242.6

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第158303号

内 容 提 要

机器人学是一门高度交叉的前沿学科, 引起了机械学、生物学、人类学、计算机科学、控制科学与工程、电子工程学、人工智能、社会学等不同专业背景学者的广泛兴趣, 学者们对其进行了深入研究。本书共分 12 章, 系统地介绍了机器人的基本组成、工作原理和应用实例, 内容涉及机器人技术的发展简史、工业机器人的运动学和动力学、机器人控制技术、用于机器人的各种传感器、机器人轨迹规划、移动机器人的定位与导航, 以及机器人在工业领域和服务领域的应用。

本书既可作为高等院校控制、检测、电工、机电一体化、计算机应用及其他相关专业高年级本科生和研究生的教材, 也可以作为广大从事控制或检测, 以及正在学习机器人的工程师和技术人员的工具书或者培训教材。

◆ 主 编 郭彤颖 安 冬
责任编辑 张孟玮
执行编辑 税梦玲
责任印制 彭志环 焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.25
字数: 330 千字

2014 年 9 月第 1 版
2014 年 9 月北京第 1 次印刷



定价: 39.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

机器人学是一门集机械、电子、控制及计算机等多个技术的综合学科,所应用的领域不仅包括大型的自动化装配流水线,而且正在向小型化的民用型机器人发展。自 20 世纪 60 年代以来,机器人作为工业生产中的新型工具,在减轻劳动强度、提高生产率、改变生产模式等方面,已经显示出了极大的优越性。然而,这些固定于某一位置的机器人尽管精度高、速度快,但活动范围与应用领域有限。因此,自 80 年代后期,许多国家有计划地开展了移动机器人技术的研究。其研究涉及机器人视觉、模式识别、智能传感器、多传感器信息融合、人工智能、自动控制等诸多学科的理论和技术。移动机器人技术的发展是一个国家高科技水平和工业自动化程度的重要体现。

目前各院校所采用的优秀机器人教材,内容主要以工业机器人的基础知识及其应用为主,对面向服务领域的移动机器人讲解较少。为了顺应机器人从传统的工业机器人逐步走向千家万户的发展趋势,拓展学生的视野,展示机器人的广阔应用领域,本书综合应用多个相关学科的知识,系统地讲解了机器人学的理论和智能控制的方法,内容丰富,反映了机器人学的基础知识以及与其相关的先进理论和技术。

本书共分 12 章,第 1 章主要讲解机器人的基础知识,包括机器人的基本概念与发展历程、机器人的分类、机器人系统组成及技术参数。第 2 章讲解机器人的运动机构与执行机构,包括几种常见的运动机构和执行机构、工业机器人常见运动形式及移动机器人常见的移动机构;第 3 章讲解机器人的感知系统,包括机器人常用传感器的特性以及分类;第 4 章讲解机器人的控制系统,并列举了机器人常用的几种编程语言;第 5 章介绍机器人的运动学;第 6 章介绍机器人的动力学;第 7 章介绍工业机器人的几种常用控制方法;第 8 章介绍工业机器人轨迹规划的相关知识;第 9 章介绍移动机器人的常用体系结构和运动学模型;第 10 章介绍移动机器人的定位与导航的相关知识;第 11 章列举了几种工业机器人应用实例;第 12 章列举了移动机器人相关应用实例。本书参考学时为 32~56 学时,第 5、6、7 章可视教学需求选讲部分内容。

本书第 1、2、3、4 章由郭彤颖、安冬编写,第 5 章由郭彤颖、侯静编写,第 6、7 章由王海忱、郭彤彦编写,第 8 章由王东署编写,第 9 章由李界家、张颖编写,第 10 章由徐立辉、刘冬莉编写,第 11 章由郭彤颖、徐力、王长涛编写,第 12 章由安冬、齐凤莲编写。研究生刘伟、李峰、杨佳华、陈策等参与了相关章节的资料收集和整理。全书由郭彤颖、安冬统稿。

本书的编写参考了国内外学者的大量论文和专著，由于篇幅有限，书中未能详尽列出，谨在此表示衷心感谢。

由于时间仓促、编者水平有限，书中错误在所难免，敬请读者给予批评指正。

编 者

2014 年 5 月

目 录

基础知识篇

第1章 绪论	1	3.2.4 倾斜角传感器	39
1.1 机器人的基本概念与发展历程	1	3.2.5 力觉传感器	40
1.1.1 机器人的基本概念	1	3.3 常用外部传感器	42
1.1.2 机器人的发展历程	2	3.3.1 视觉传感器	42
1.2 机器人的分类	4	3.3.2 触觉传感器	45
1.3 机器人的系统组成及技术参数	5	3.3.3 接近度传感器	48
1.3.1 机器人系统的基本组成	5	3.4 焊接机器人传感器系统	52
1.3.2 机器人的技术参数	6	3.4.1 电弧传感系统	52
习题	8	3.4.2 超声传感跟踪系统	54
第2章 机器人的运动机构与执行机构	9	3.4.3 视觉传感跟踪系统	56
2.1 常见运动机构	9	3.5 装配机器人传感器系统	58
2.1.1 直线运动机构	9	3.5.1 位姿传感器	58
2.1.2 旋转运动机构	11	3.5.2 柔性腕力传感器	61
2.1.3 减速运动机构	13	3.5.3 工件识别传感器	62
2.2 工业机器人常见运动形式	16	3.5.4 装配机器人视觉传感技术	64
2.3 移动机器人常见的移动机构	18	3.5.5 多传感器信息融合装配 机器人	65
2.4 机器人执行机构	23	习题	66
2.4.1 液压驱动	23	第4章 机器人的控制系统	67
2.4.2 气压驱动	25	4.1 机器人控制系统及其功能	67
2.4.3 电气驱动	26	4.2 PUMA560 机器人控制系统的硬件 组成	68
习题	28	4.3 机器人控制器的软件组成	69
第3章 机器人的感知系统	29	4.4 常用编程语言	71
3.1 传感器概述	29	4.5 几种典型的机器人控制系统 举例	74
3.1.1 机器人对传感器的要求	29	4.5.1 PUMA562 机器人控制系统	74
3.1.2 常用传感器的特性	30	4.5.2 FANAC 机器人控制系统	81
3.1.3 机器人传感器的分类	32	习题	82
3.2 常用内部传感器	33		
3.2.1 位置传感器	33		
3.2.2 速度传感器	36		
3.2.3 加速度传感器	38		

工业机器人篇

第5章 机器人的运动学	83	5.2 坐标变换	86
5.1 机器人位置与姿态的描述	83	5.3 齐次坐标变换	87

5.4 机器人正向运动学	91	7.2 机器人的位置控制	127
5.4.1 正向运动方程的变换矩阵	91	7.2.1 基于直流伺服电动机的 单关节控制	127
5.4.2 正向运动方程的求解	94	7.2.2 基于交流伺服电动机的 单关节控制	130
5.5 机器人逆向运动学	99	7.2.3 操作臂的多关节控制	132
5.5.1 逆向运动学问题的多解性与可 解性	99	7.3 机器人的力控制	132
5.5.2 逆向运动方程的求解	99	7.3.1 质量—弹簧系统的力控制	133
5.6 机器人的雅可比矩阵	108	7.3.2 力/位混合控制	134
5.6.1 微分运动	108	7.4 机器人的现代控制技术	136
5.6.2 雅可比矩阵	111	7.4.1 机器人的自适应控制	136
习题	116	7.4.2 机器人的滑模变结构 控制	141
第6章 机器人的动力学	117	7.5 机器人的智能控制技术	144
6.1 刚体动力学	117	7.5.1 机器人的学习控制	144
6.2 机器人动力学建模	120	7.5.2 机器人的模糊控制	146
6.2.1 n 自由度机器人操作臂动力学 方程	120	习题	148
6.2.2 机器人操作臂动力学方程 系数的简化	123	第8章 工业机器人的轨迹规划	149
6.2.3 考虑非刚体效应的动力学 模型	124	8.1 机器人轨迹规划	149
6.3 动力学仿真	125	8.1.1 关节空间描述与直角坐标 空间描述	149
习题	125	8.1.2 轨迹规划的基本原理	150
第7章 工业机器人的常用控制方法	126	8.2 关节空间的轨迹规划	152
7.1 工业机器人控制的特点及分类	126	8.3 直角坐标空间的轨迹规划	158
7.1.1 工业机器人控制的特点	126	习题	160
7.1.2 工业机器人控制的分类	127		

移动机器人篇

第9章 移动机器人概述	161	10.3 移动机器人的路径规划	169
9.1 移动机器人的体系结构	161	10.4 移动机器人的导航	172
9.1.1 分层递阶式体系结构	161	10.4.1 移动机器人的导航方式	172
9.1.2 反应式体系结构	162	10.4.2 基于多传感器信息融合的 移动机器人导航	173
9.1.3 混合式体系结构	163	10.4.3 基于混合方法的移动机器人 导航	173
9.2 移动机器人的运动学模型	163	10.4.4 导航技术的应用	173
习题	165	习题	174
第10章 移动机器人的定位与导航	166		
10.1 移动机器人的定位	166		
10.2 环境地图的表示	167		

应用篇

第 11 章 工业机器人应用实例.....175	第 12 章 移动机器人应用实例..... 187
11.1 工业机器人的应用范围175	12.1 概述..... 187
11.2 机器人的总体设计175	12.2 自动导引车的导引方式..... 188
11.2.1 系统分析175	12.3 自主循迹机器人..... 190
11.2.2 技术设计177	12.3.1 摄像头工作原理..... 190
11.3 焊接机器人178	12.3.2 边缘检测算法..... 191
11.3.1 弧焊机器人178	12.3.3 双峰边缘跟踪算法..... 191
11.3.2 点焊机器人181	12.3.4 路径识别..... 191
11.4 喷漆机器人183	12.3.5 控制方法..... 192
11.4.1 液压喷漆机器人184	附录 有关术语英汉对照..... 193
11.4.2 电动喷漆机器人185	参考文献..... 203

基础知识篇

第

1

章

绪论

1.1 机器人的基本概念与发展历程

1.1.1 机器人的基本概念

“机器人”一词最早出现在科幻和文学作品中。1920年，捷克作家卡雷尔·凯培克(Karel Capek)在他的科幻剧本《Rossum's Universal Robots》(《罗萨姆的万能机器人》)中首先使用了“Robot(机器人)”一词，这个词是由捷克语的“Robota(农奴)”一词延伸而成，可译为人造人、机器奴仆。剧中这位名为“罗伯特”的主角正是一个可以替人类从事繁重劳动的人形机器。

1950年，美国科幻小说家艾萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)在《I, Robot》(《我是机器人》)中首先使用了“机器人学(Robotics)”这个词描述与机器人有关的科学，并提出了下面的“机器人三定律”。

- (1) 机器人必须不危害人类，也不允许它眼看人将受伤害而袖手旁观；
- (2) 机器人必须绝对服从于人类，除非这种服从有害于人类；
- (3) 机器人必须保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者是人类命令它做出牺牲。

这三条守则，给机器人社会赋以新的伦理性，并使机器人概念通俗化，更易于为人类社会所接受。至今，它仍会为机器人研究人员、设计制造厂家和用户提供了十分有意义的指导方针。

当你听到机器人这个词的时候，你首先想到的是什么呢？

对于许多人来说，它是一台模仿人类的机器，就像终结者、变形金刚、机械战警一样。然而，这些机器人都只是我们想象的产物，只能存在于科幻小说、影视作品中。人们还没有足够的能力赋予机器人足够的“常识”，以便让它们与周围的动态世界进行可靠的交流。

那么，我们应该如何定义机器人呢？

机器人(Robot)是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥，又可以运行预先编排的程序，也可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动。它的任务是协助或取代人类从事的工作。它是高级整合控制论、机械电子、计算机、材料和仿生学的产物，在工业、医

学、农业、建筑业甚至军事等领域中均有重要用途。

现在,国际上对机器人的概念已经逐渐趋近一致。国际标准化组织采纳了美国机器人协会于1979年给机器人下的定义:“一种可编程和多功能的,用来搬运材料、零件、工具的操作机;或是为了执行不同的任务而具有可改变和可编程动作的专门系统。”概括起来,机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。

1.1.2 机器人的发展历程

从世界上第一台机器人诞生以来,机器人技术得到了迅速的发展。机器人的应用范围也已经从工业制造领域扩展到军事、航空航天、服务业、医疗、人类日常生活等多个领域。应用机器人系统不仅可以帮助人们摆脱一些危险、恶劣、难以到达等环境下的作业(如危险物拆除、扫雷、空间探索、海底探险等),还因为机器人具有操作精度高、不知疲倦等特点,可以减轻人们的劳动强度,提高劳动生产率,改善产品质量。

尽管目前机器人还不像人们想象的那么强大,但是,机器人技术已经渗透到各行各业中。机器人正在逐渐改变着人们的生产、生活方式,机器人产业也正在逐渐成为一个新的高技术产业。在可以预见的将来,机器人将成为人类的得力助手,提高人类的生活质量,成为人类朝夕相处的可靠伙伴。

“机器人”是存在于多种语言和文字的新造词,它体现了人类长期以来的一种愿望,即创造出一种像人一样的机器或人造人,以便能够代替人去进行各种工作。对机器人最早的记载始于3000多年前的《列子》,其中记载了一位名叫偃师的木匠制作了一个能够唱歌跳舞的木偶人。下面介绍近代机器人的发展历程。

(一) 近代机器人在欧美的发展历程

1. 美国

美国是机器人的诞生地,早在1962年就研制出世界上第一台工业机器人,比起号称“机器人王国”的日本起步至少要早五六年。经过50多年的发展,美国现已成为世界上的机器人强国之一,基础雄厚,技术先进。

进入20世纪80年代之后,美国政府和企业界才对机器人真正重视起来,政策上也有所体现,一方面鼓励工业界发展和应用机器人,另一方面制订计划、提高投资,增加机器人的研究经费,使美国的机器人迅速发展。

80年代中后期,随着应用机器人的技术日臻成熟,第一代机器人的技术性能越来越满足不了实际需要,美国开始生产带有视觉、力觉的第二代机器人,并很快占领了美国60%的机器人市场。

美国的机器人技术在国际上仍一直处于领先地位。其技术全面、先进,适应性也很强,具体表现在以下几方面。

(1) 性能可靠,功能全面,精确度高;

(2) 机器人语言研究发展较快,语言类型多、应用广,水平高居世界之首;

(3) 智能技术发展快,其视觉、触觉等人工智能技术已在航天、汽车工业中广泛应用;

(4) 高智能、高难度的军用机器人、太空机器人等发展迅速,主要用于扫雷、布雷、侦察、站岗及太空探测方面。

2. 法国

法国不仅在机器人拥有量上居于世界前列,而且在机器人应用水平和应用范围上处于世界先进水平。法国的天才技师杰克·戴·瓦克逊,于1738年发明了一只机器鸭,它会游泳、喝

水、吃东西和排泄，还会嘎嘎叫。

法国机器人的发展比较顺利，主要原因是通过政府大力支持的研究计划，建立起一个完整的科学技术体系。即由政府组织一些机器人基础技术方面的研究项目，而由工业界支持开展应用和开发方面的工作，两者相辅相成，使机器人在法国企业界很快发展和普及。

3. 德国

德国的社会环境是有利于机器人工业发展的。战争时期，劳动力短缺，国民技术水平高，都促进了机器人的发展。到了20世纪70年代中后期，德国政府采用行政手段为机器人的推广开辟道路，在“改善劳动条件计划”中规定，对于一些有危险、有毒、有害的工作岗位，必须以机器人来代替普通人的劳动。这个计划为机器人的应用开拓了广泛的市场，并推动了工业机器人技术的发展。

与此同时，德国看到了机器人等先进自动化技术对工业生产的作用，提出了1985年以后要向高级的、带感觉的智能型机器人转移的目标。经过近几十年的努力，其智能机器人的研究和应用方面在世界上处于公认的领先地位。

4. 俄罗斯

在前苏联（主要是在俄罗斯），从理论和实践上探讨机器人技术是从20世纪50年代后半期开始了机器人样机的研究工作，1968年成功试制出一台深水作业机器人，1971年研制出工厂用的万能机器人。早在前苏联第九个五年计划（1970~1975年）开始时，就把开展机器人的研究列入国家科学技术发展纲领之中。到1975年，已研制出30个型号的120台机器人，经过40多年的努力，目前俄罗斯的机器人在数量、质量水平上均处于世界前列。

（二）近代机器人在日本的发展历程

1662年，日本人竹田近江发明了能进行表演的自动机器玩偶；到了18世纪，日本人若井源大卫门和源信对该玩偶进行了改进，制造出了端茶玩偶。该玩偶能双手端着茶盘，当将茶杯放到茶盘上后，它就会走向客人将茶送上，客人取茶杯时，它会自动停止走动，待客人喝完茶将茶杯放回茶盘之后，它才会转回原来的地方，煞是可爱。

日本在20世纪60年代末正处于经济高速发展时期，于1968年试制出第一台川崎的“尤尼曼特”机器人。由于日本当时劳动力显著不足，机器人在企业里受到了“救世主”般的欢迎。这样的环境，使日本机器人产业迅速发展起来，经过短短的十几年，到80年代中期，已一跃而为“机器人王国”，其机器人的产量和安装的台数在国际上也是处于领先地位。

（三）近代机器人在中国的发展历程

我国已在“七五”计划中把机器人列入国家重点科研规划内容，拨巨款在沈阳建立了全国第一个机器人研究示范工程，全面展开了机器人基础理论与基础元器件研究。20多年来，相继研制出示教再现型的搬运、点焊、弧焊、喷漆、装配等门类齐全的工业机器人及水下作业、军用和特种机器人。目前，示教再现型机器人技术已基本成熟，并在工厂中推广应用。我国自行生产的机器人喷漆流水线在长春第一汽车厂及东风汽车厂投入运行。我国第一台有缆遥控水下机器人“海人一号”诞生于1986年，它是由中国科学院沈阳自动化研究所与上海交通大学合作完成的。在国家“863计划”持续不断的支持下，从20世纪90年代初期，由国内多家科研单位合作研制了我国第一台潜深1000m的自主水下机器人——“探索者”号。此后又与俄罗斯合作，先后成功研制开发出了“CR-01”、“CR-02”6000m无缆自治水下机器人，为我国深海资源的调查开发提供了先进装备，使我国成为国际上为数不多的拥有这类设备的国家。

作为国家机器人工程技术研究中心，沈阳新松机器人自动化股份有限公司充分利用自身

的技术优势和行业地位，从 1999 年起开发了具有自主知识产权的 20 多种机器人产品，包括点焊机器人、弧焊机器人、锻造机械手、激光加工机器人、AGV 移动机器人、平板显示搬运机器人和洁净（真空）机器人等系列产品。其应用范围主要涵盖 IC 装备、点焊、弧焊、搬运、装配、涂胶、喷涂、浇铸、注塑、激光加工、水切割等各种自动化作业。

就目前来看，我们应从生产和应用的角度出发，结合我国国情，加快生产结构简单、成本低廉的实用型机器人和某些特种机器人。

1.2 机器人的分类

关于机器人的分类，国际上没有制定统一的标准，有的按负载质量分类，有的按控制方式分类，有的按自由度分类，有的按结构分类，还有的按应用领域分类。

1. 按照功能分类

- (1) 顺序型：这类机器人拥有规定的程序动作控制系统。
- (2) 沿轨迹作业型：这类机器人执行某种移动作业，如焊接、喷漆等。
- (3) 远距作业型：比如在月球上自动工作的机器人。
- (4) 智能型：这类机器人具有感知、适应以及思维和人机通信机能。

2. 按照控制方式分类

(1) 操作型机器人：能自动控制，可重复编程，多功能，有几个自由度，可固定或运动，用于相关自动化系统中。

(2) 程控型机器人：按预先要求的顺序及条件，依次控制机器人的机械动作。

(3) 示教再现型机器人：通过引导或其他方式，先教会机器人动作，输入工作程序，机器人则自动重复进行作业。

(4) 数控型机器人：不必使机器人动作，通过数值、语言等对机器人进行示教，机器人根据示教后的信息进行作业。

(5) 感觉控制型机器人：利用传感器获取的信息控制机器人的动作。

(6) 适应控制型机器人：机器人能适应环境的变化，控制其自身的行动。

(7) 学习控制型机器人：机器人能“体会”工作的经验，具有一定的学习功能，并将所“学”的经验用于工作中。

(8) 智能机器人：以人工智能决定其行动的机器人。

3. 从应用环境角度分类

我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器等。在特种机器人中，有些分支发展很快，有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。

目前，国际上的机器人学者，从应用环境出发也将机器人分为两类：制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与仿人型机器人，这和我国的分类是一致的。

工业机器人是自动执行工作的机器装置，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥，也可以按照预先编排的程序运行，现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。具有触觉、力觉或简单的视觉的工业机器人，能在较为复杂的环

境下工作；如具有识别功能或更进一步增加自适应、自学习功能，即成为智能型工业机器人。它能按照人给的“宏指令”自选或自编程序去适应环境，并自动完成更为复杂的工作。

工业机器人按臂部的运动形式分为四种。直角坐标型的臂部可沿三个直角坐标移动；圆柱坐标型的臂部可做升降、回转和伸缩动作；球坐标型的臂部能回转、俯仰和伸缩；关节型的臂部有多个转动关节。

工业机器人按执行机构运动的控制机能，又可分为点位型和连续轨迹型。点位型只控制执行机构由一点到另一点的准确定位，适用于机床上下料、点焊和一般搬运、装卸等作业；连续轨迹型可控制执行机构按给定轨迹运动，适用于连续焊接和涂装等作业。

工业机器人按程序输入方式可分为有编程输入型和示教输入型两类。编程输入型是将计算机上已编好的作业程序文件，通过RS232串口或者以太网等通信方式传送到机器人控制柜。示教输入型的示教方法有两种：一种是由操作者用手动控制器（示教操纵盒），将指令信号传给驱动系统，使执行机构按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍；另一种是由操作者直接领动执行机构，按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍。在示教过程的同时，工作程序的信息即自动存入程序存储器中，在机器人自动工作时，控制系统从程序存储器中检出相应信息，将指令信号传给驱动机构，使执行机构再现示教的各种动作。示教输入程序的工业机器人称为示教再现型工业机器人。

4. 按照机器人移动性分类

按照机器人的移动性可分为半移动式机器人（机器人整体固定在某个位置，只有部分可以运动，如机械手）和移动机器人。

随着机器人的不断发展，人们发现固定于某一位置操作的机器人并不能完全满足各方面的需要。因此，20世纪80年代后期，许多国家有计划地开展了移动机器人技术的研究。所谓的移动机器人，就是一种具有高度自主规划、自行组织、自适应能力，适合于在复杂的非结构化环境中工作的机器人，它融合了计算机技术、信息技术、通信技术、微电子技术和机器人技术等。移动机器人具有移动功能，在代替人从事危险、恶劣（如辐射、有毒等）环境下作业和人所不及的（如宇宙空间、水下等）环境作业方面，比一般机器人有更大的机动性、灵活性。

移动机器人可以从不同角度进行分类。根据移动的方式可分为轮式移动机器人、步行移动机器人（单腿式、双腿式和多腿式）、履带式移动机器人、爬行机器人、蠕动式机器人和游动式机器人等类型；按工作环境可分为室内移动机器人和室外移动机器人；按控制体系结构可分为功能式（水平式）结构机器人、行为式（垂直式）结构机器人和混合式机器人；按功能和用途可分为医疗机器人、军用机器人、助残机器人、清洁机器人等；按作业空间可分为陆地移动机器人、水下机器人、无人飞机和空间机器人。

1.3 机器人的系统组成及技术参数

1.3.1 机器人系统的基本组成

机器人系统的组成大体上可分为3部分：机械系统、传感系统、控制系统。

1. 机器人机械系统

机器人机械系统一般包括以下部分。

（1）驱动装置（动力）；

- (2) 减速器（将高速运动变为低速运动）；
- (3) 运动传动机构；
- (4) 关节部分机构（相当于手臂，形成空间的多自由度运动）；
- (5) 把持机构，末端执行器，端拾器（相当于手爪）；
- (6) 移动机构，行走机构（相当于腿脚）；
- (7) 变位机等周边设备（配合机器人工作的辅助装置）。

2. 机器人传感系统

它由内部传感器和外部传感器组成。内部传感器用来检测机器人的自身状态（内部信息），如关节的运动状态等。外部传感器用来感知外部世界，检测作业对象与作业环境的状态（外部信息），如视觉、听觉、触觉等。

3. 机器人控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及从传感器反馈回来的信号，支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。根据控制运动的形式可分为点位控制和连续轨迹控制。

操作臂所能完成的任务随特定结构设计的不同而有很大的区别。尽管通常把操作臂抽象成一个实体，但是它所能完成的任务主要受到以下实际因素的限制，例如，负载能力、速度、工作空间的大小、可重复定位精度等。对于一些特定的应用场合，操作臂的整体尺寸、质量、功率消耗和设计制造成本将是非常重要的影响因素。

一般来讲，设计方法以及对一个设计的评价都是设计的局部问题。很难用一些固定的设计规则来对设计方法的选择进行限制。

由于工程设计中涉及的工程规则非常广泛，所以需把主要精力放在操作臂本身的设计上。在操作臂设计的过程中，首先需要考虑那些可能对设计影响最大的因素，然后再考虑其他细节问题。当然，操作臂设计是一个反复的过程。有时，在进行细节设计的过程中会出现一些问题，这时必须对前面上层设计中的方案进行重新考虑。

1.3.2 机器人的技术参数

技术参数是机器人制造商在产品供货时所提供的技术数据。不同的机器人其技术参数不一样，而且各厂商所提供的技术参数项目和用户的要求也不完全一样。但是，工业机器人的主要技术参数一般都应该有自由度、定位精度和重复定位精度、工作范围、最大工作速度、承载能力等。

1. 自由度

自由度是指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目，不包括手爪（末端操作器）的开合自由度。在三维空间中描述一个物体的位姿需要 6 个自由度。但是，机器人的自由度是根据其用途而设计的，可能少于 6 个自由度，也可能多于 6 个自由度。例如，A4020 型装配机器人具有 4 个自由度，可以在印制电路板上接插电子器件；PUMA562 型机器人具有 6 个自由度，可以进行复杂空间曲面的弧焊作业。从运动学的观点看，在完成某一特定作业时具有多余自由度的机器人，就叫作冗余自由度机器人，亦可简称冗余度机器人。如 PUMA562 机器人去执行印制电路板上接插电子器件的作业时，就成为冗余度机器人。利用冗余的自由度可以增加机器人的灵活性、躲避障碍物和改善动力性能。人的手臂（大臂、小臂、手腕）共有 7 个自由度，所以工作起来很灵巧，手部可回避障碍物，从不同方向到达同一个目的点。

大多数机器人从总体上看是个开链机构，但其中可能包含有局部闭环机构。闭环机构可提高刚性，但限制了关节的活动范围，因而会使工作空间减小。

2. 定位精度和重复定位精度

机器人精度包括定位精度和重复定位精度。定位精度是指机器人手部实际到达位置与目标位置的差异。重复定位精度是指机器人重复定位其手部于同一目标位置的能力，可以用标准偏差这个统计量来表示。它是衡量一系列误差值的密集度，即重复度，如图 1.1 所示。

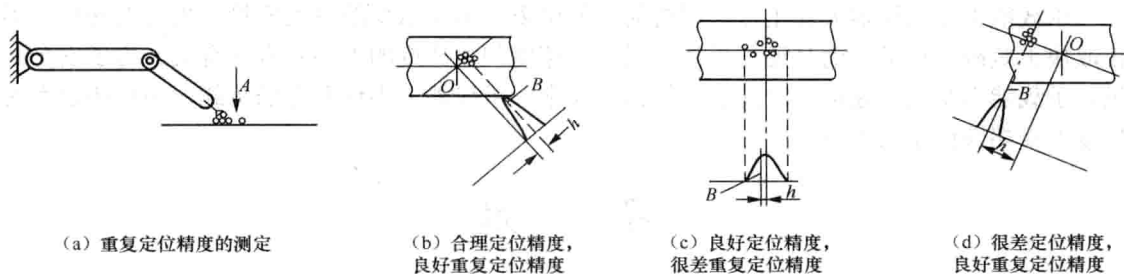


图 1.1 机器人定位精度和重复定位精度的典型情况

3. 工作范围

工作范围是指机器人操作臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合，也叫作工作区域。因为末端执行器的形状和尺寸是多种多样的，为了真实反映机器人的特征参数，所以工作范围是指不安装末端执行器时的工作区域。工作范围的形状和大小是十分重要的。机器人在执行某一作业时，可能会因为存在手部不能到达的作业死区（Dead Zone）而不能完成任务。图 1.2 和图 1.3 所示分别为 PUMA 机器人和 A4020 型 SCARA 机器人的工作范围。

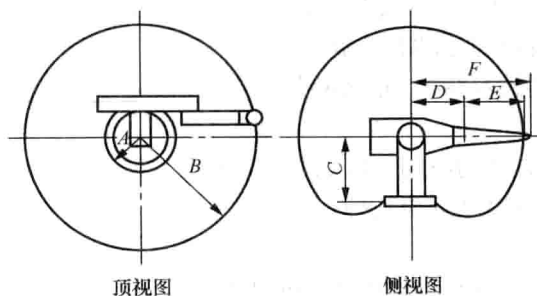


图 1.2 PUMA 机器人工作范围

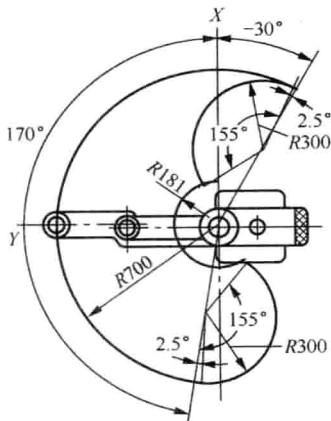


图 1.3 A4020 型 SCARA 机器人工作范围

4. 最大工作速度

最大工作速度通常指机器人操作臂末端的最大速度。提高速度可提高工作效率，因此提高机器人的加速减速能力，保证机器人加速减速过程的平稳性是非常重要的。

5. 承载能力

承载能力是指机器人在工作范围内的任何位姿上所能承受的最大质量。机器人的载荷不仅取决于负载的质量，而且还与机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。为了安全起见，承载能力是指高速运行时的承载能力。通常，承载能力不仅要考虑负载，而且还要考虑机器人末端操作器的质量。

习 题

一、填空题

1. 国际标准化组织采纳了美国机器人协会于 1979 年给机器人下的定义：“一种可编程和多功能的，用来搬运材料、零件、工具的操作机；或是为了执行不同的任务而具有可改变和_____的专门系统。”
2. 我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即_____和_____。
3. 工业机器人由_____、_____和_____3 个基本部分组成。
4. 工业机器人按程序输入方式区分有_____和_____两类。
5. 机器人系统的组成大体上可分为三部分：_____、_____和_____。
6. 控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及从_____，支配机器人的_____去完成规定的运动和功能。
7. 工业机器人的主要技术参数一般都应有_____等。

二、简答题

1. 机器人按照控制方法的不同可以划分为几种？
2. 机器人按照功能可以划分为几种？

三、论述题

试结合自己的实际，谈谈对近代机器人的理解。

2.1 常见运动机构

2.1.1 直线运动机构

(一) 丝杠传动

丝杠传动有滑动式、滚珠式和静压式等。机器人传动用的丝杠具备结构紧凑、间隙小和传动效率高等特点。

1. 滚珠丝杠

滚珠丝杠的丝杠和螺母之间装了很多钢球，丝杠或螺母运动时钢球不断循环，运动得以传递。因此，即使丝杠的导程角很小，也能得到 90% 以上的传动效率。

滚珠丝杠可以把直线运动转换成回转运动，也可以把回转运动转换成直线运动。滚珠丝杠按钢球的循环方式分为钢球管外循环方式、靠螺母内部 S 状槽实现钢球循环的内循环方式和靠螺母上部导引板实现钢球循环的导引板方式，如图 2.1 所示。

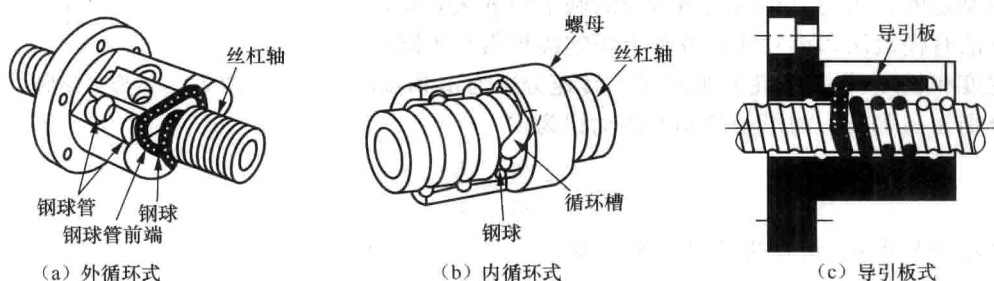


图 2.1 滚珠丝杠的结构

由丝杠转速和导程得到的直线进给速度为

$$v = 60 \cdot l \cdot n \quad (2.1)$$

式中， v 为直线运动速度，m/s； l 为丝杠的导程，m； n 为丝杠的转速，r/min。

驱动力矩由式 (2.2) 和式 (2.3) 给出：

$$T_a = \frac{F_a \cdot l}{2\pi \cdot \eta_1} \quad (2.2)$$