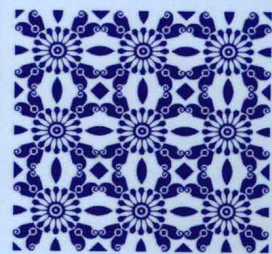


INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人

肖南峰 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人

肖南峰 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书介绍工业机器人的基础理论、关键技术及工程应用, 主要包括工业机器人的数学建模、机械结构、驱动装置、控制方法、运动规划、示教学习、网络控制、作业调度等。读者通过学习本书可以开阔视野, 全面、深入地了解 and 掌握工业机器人的基础知识和相关技术, 为今后研究、开发及应用各类工业机器人打下坚实的基础。

本书内容翔实, 注重理论与实践相结合, 讲解深入浅出, 可读性强。

本书可以作为在机械制造、化工生产、包装输送、设备安装、核电维修、道路施工、凿岩采矿、作物栽培、教学科研等各个行业从事工业机器人研究、开发及应用的科研工作者和工程技术人员及高等院校师生的参考书。

封底无防伪标均为盗版

版权所有, 侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人 / 肖南峰等编著. —北京: 机械工业出版社, 2011. 7
(高等院校计算机教材系列)

ISBN 978-7-111-35333-1

I. 工… II. 肖… III. 工业机器人—高等学校—教材 IV. TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 139614 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 迟振春

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2011 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·16 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-35333-1

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991; 88361066

购书热线: (010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

前 言



工业机器人自 20 世纪 60 年代初诞生以来，其研究、开发及应用一直是欧美一些发达国家与日本的科学家和企业家的关注焦点，这些国家纷纷耗资去组织和实施相应的发展战略计划，许多著名的企业和大学等都以极大的热情去资助和推动工业机器人的研究、开发及应用。例如，ABB 公司、日本发那科公司 (FANUC)、安川电机、本田汽车以及美国卡内基-梅隆大学等。近 20 多年来，我国也将工业机器人列为优先支持和鼓励研究的领域，中国科学院沈阳自动化研究所、北京机械工业自动化研究所、哈尔滨工业大学、华南理工大学等许多单位都在进行工业机器人的研究、开发及应用。工业机器人的研究、开发及应用之所以得到如此高的重视，是因为工业机器人具有其他机器人所无法比拟的优势和特点，它可以广泛地用于机械制造、化工生产、包装输送、设备安装、核电维修、道路施工、凿岩采矿、作物栽培、教学科研等许多领域。

20 世纪 80 年代初，工业机器人产品化后，全世界许多发达国家都广泛地采用工业机器人及其自动化生产线，并且已经形成了一个巨大的产业链，年市场容量约为 1000 亿美元。截至 2008 年年底，全世界各地已经部署了 100 多万台各种类型的工业机器人。近年来，我国的工业机器人市场也发展迅速。在中国市场上占有 35% 市场份额的 ABB 公司 2004 年在中国销

售了 600 台工业机器人。据专家预测，到 2015 年，我国的工业机器人市场容量将达到十几万台（套）。

为了配合国内工业机器人的研究、开发及应用，促进和提高我国工业机器人的研究、开发及应用水平，作者在参考了大量国内外文献资料和研究成果后，本着理论与实践相结合、深入浅出的原则，编写了本书。书中详尽地介绍了工业机器人的基础理论、关键技术和工程应用，特别侧重于与工业机器人的数学建模、机械结构、驱动装置、控制方法、运动规划、示教学习、网络控制、作业调度等相关的最新成果。本书的主要目的是要为工农业生产领域里的科研工作者、工程技术人员和高校师生从事工业机器人的研究、开发及应用提供参考和范例。

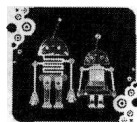
在本书的编写过程中，张健生、刘洋、王永明、甘志刚、吴宝阳、江文辉等同学参加了相关章节的资料整理和编写工作，武汉大学郑宏教授和北京科技大学蓝金辉教授，以及华南理工大学计算机科学与工程学院“智能计算机”科研团队的赵跃龙教授、陈琼副教授、梅登华副教授、张芩讲师等也提出了许多宝贵的意见。没有他们的辛勤劳动，本书是不可能完成的，在此谨向他们表示由衷的感谢。此外，本书所述的部分研究内容得到了国家自然科学基金项目（编号 60375031、60776816、61171141）、广东省自然科学基金重点项目（编号 36552、8251064101000005）、教育部留学回国人员科研启动基金项目（编号 2002-247）的资助，在此深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，欢迎广大读者提出批评和建议。

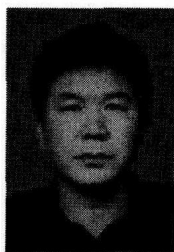
编 者

2011 年 5 月

作者简介



肖南峰 博士，男，1962年11月生，华南理工大学计算机科学与工程学院“智能计算机”科研团队负责人，教授，博士生导师。1982年7月毕业于华中工学院（现为华中科技大学）自动控制与计算机工程系，获工学学士学位；1989年1月毕业于东北工学院（现为东北大学），获工学硕士学位；2001年6月毕业于日本横滨国立大学，获工学博士学位。2001年9月至2002年9月在澳大利亚 Deakin 大学从事智能机器人研究。作为主持人，他先后承担和完成了2项国家自然科学基金项目、2项广东省自然科学基金重点项目、2项广东省优秀科技专著出版基金项目，以及30多项由教育部、交通运输部、广东省科技厅、广东省教育厅、广州市科信局、华南理工大学、相关企业等资助的研究和开发课题。至今，他已在国内外的著名杂志和学术会议上发表学术论文近160篇，其中被三大索引收录50多篇（次），主编和合编及出版了中、英文专著或教材10部，申请或获得发明及实用新型专利10项、软件版权21个。



教师服务登记表

尊敬的老师:

您好!感谢您购买我们出版的_____教材。

机械工业出版社华章公司为了进一步加强与高校教师的联系与沟通,更好地为高校教师服务,特制此表,请您填妥后发回给我们,我们将定期向您寄送华章公司最新的图书出版信息!感谢合作!

个人资料(请用正楷完整填写)

教师姓名		<input type="checkbox"/> 先生 <input type="checkbox"/> 女士	出生年月		职务		职称: <input type="checkbox"/> 教授 <input type="checkbox"/> 副教授 <input type="checkbox"/> 讲师 <input type="checkbox"/> 助教 <input type="checkbox"/> 其他		
学校				学院				系别	
联系电话	办公:			联系地址及邮编					
	宅电:			E-mail					
移动:									
学历		毕业院校				国外进修及讲学经历			
研究领域									
主讲课程			现用教材名		作者及出版社	共同授课教师	教材满意度		
课程:									
<input type="checkbox"/> 专 <input type="checkbox"/> 本 <input type="checkbox"/> 研							<input type="checkbox"/> 满意 <input type="checkbox"/> 一般		
人数: 学期: <input type="checkbox"/> 春 <input type="checkbox"/> 秋							<input type="checkbox"/> 不满意 <input type="checkbox"/> 希望更换		
课程:									
<input type="checkbox"/> 专 <input type="checkbox"/> 本 <input type="checkbox"/> 研							<input type="checkbox"/> 满意 <input type="checkbox"/> 一般		
人数: 学期: <input type="checkbox"/> 春 <input type="checkbox"/> 秋							<input type="checkbox"/> 不满意 <input type="checkbox"/> 希望更换		
样书申请									
已出版著作						已出版译作			
是否愿意从事翻译/著作工作			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		方向				
意见和建议									

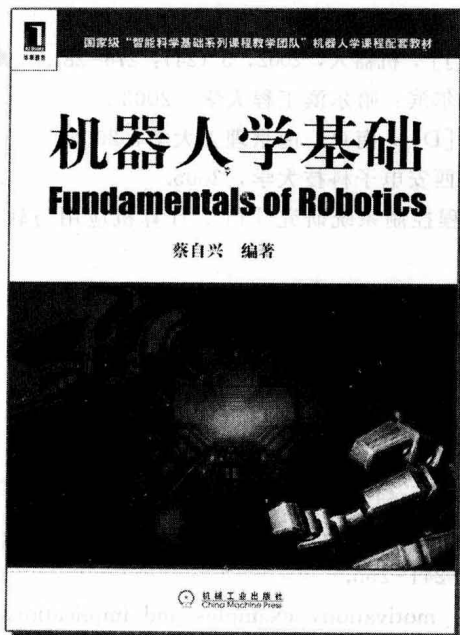
填妥后请选择以下任何一种方式将此表返回:(如方便请赐名片)

地址:北京市西城区百万庄南街1号 华章公司营销中心 邮编:100037

电话:(010)68353079 88378995 传真:(010)68995260

E-mail:hzedu@hzbook.com marketing@hzbook.com 图书详情可登录<http://www.hzbook.com>网站查询

相关图书



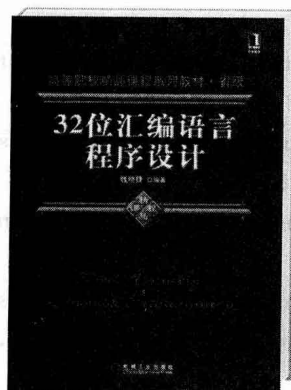
作者: 蔡自兴 编著

书号: 978-7-111-26770-6

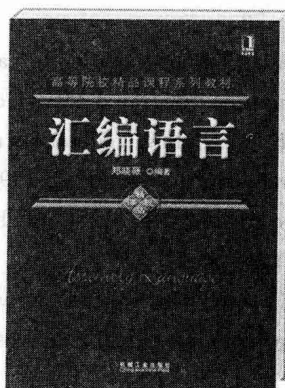
定价: 23.00元

本书介绍机器人学的基本原理及其应用,是一部比较系统和全面的机器人学导论性著作。全书共10章主要内容包括机器人学的起源与发展、机器人学的数学基础、机器人运动方程的表示与求解、机器人动力学方程、机器人的控制原则和控制方法、机器人传感器的特点与分类、机器人轨迹规划问题、机器人的程序设计、机器人的应用问题等内容。

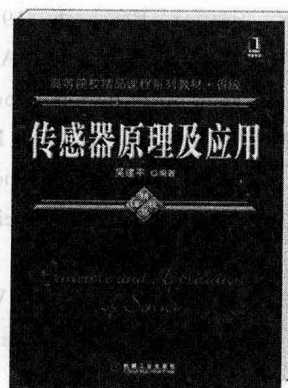
国家级“智能科学基础系列课程教学团队”机器人学课程配套教材。



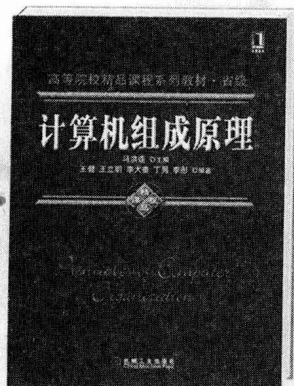
作者: 钱晓捷 主编
书号: 978-7-111-34750-7
定价: 35.00元



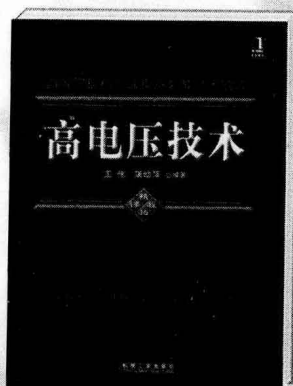
作者: 郑晓薇 编著
书号: 978-7-111-26907-6
定价: 29.00元



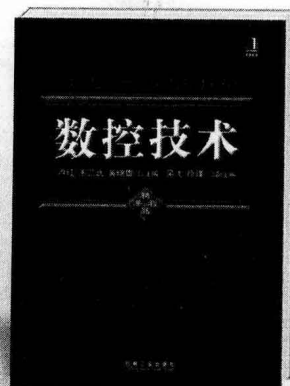
作者: 吴建平 编著
书号: 978-7-111-24448-6
定价: 30.00元



作者: 马洪连 主编
书号: 978-7-111-33364-7
定价: 26.00元



作者: 王伟 等 主编
书号: 978-7-111-33081-3
定价: 28.00元



作者: 卢红 等 主编
书号: 978-7-111-30443-2
定价: 29.80元



目 录

前 言

作者简介

第 1 章 概论 1

- 1.1 工业机器人的历史 1
- 1.2 工业机器人的定义 2
- 1.3 工业机器人的种类 2
- 1.4 工业机器人的构成 4
- 1.5 工业机器人的应用 4
 - 1.5.1 制造业机器人 5
 - 1.5.2 采矿业机器人 8
 - 1.5.3 建筑业机器人 9
 - 1.5.4 食品业机器人 10
 - 1.5.5 农林业机器人 11
- 1.6 工业机器人的发展 15
- 习题 16

第 2 章 工业机器人数学基础 17

- 2.1 点、直线、平面的齐次坐标 17
 - 2.1.1 点坐标 17
 - 2.1.2 平面坐标 18
 - 2.1.3 直线坐标 (Plücker 坐标) 18
 - 2.1.4 螺旋坐标 19
 - 2.1.5 点、直线、平面的关系 20
 - 2.1.6 齐次坐标的坐标变换 22

2.2 刚体的旋转运动 25

- 2.2.1 旋转运动的矩阵表现 25
- 2.2.2 旋转速度与旋转加速度 28

2.3 刚体的空间运动 32

- 2.3.1 空间运动的矩阵表现 32
- 2.3.2 相对速度与相对加速度 33
- 2.3.3 速度、加速度矩阵的
坐标变换 35

2.4 速度和加速度矢量 37

- 2.4.1 速度和加速度矩阵的
矢量表示 37
- 2.4.2 6 维矢量的外积 39
- 2.4.3 动坐标系上 6 维矢量的
微分 40
- 2.4.4 速度、加速度矢量的
坐标变换 40
- 2.4.5 表示空间运动的矢量 41

2.5 与刚体运动相关的 6 维矢量 44

- 2.5.1 刚体的运动量 44
- 2.5.2 对刚体的作用力与力的
惯量 46

习题 46

第 3 章 工业机器人体系结构 48

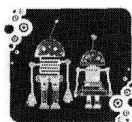
- 3.1 工业机器人的机械结构 48

3.2 工业机器人机构学.....	53	4.3.3 物体的三维显示技术.....	98
3.2.1 空间内刚体的自由度.....	53	4.4 工业机器人碰撞检测技术	102
3.2.2 空间内刚体的约束.....	53	4.4.1 三维碰撞检测技术	102
3.2.3 机构.....	54	4.4.2 基于球体包装的碰撞检测	102
3.2.4 过约束机构.....	54	4.4.3 基于 AABB 和 OBB	
3.2.5 多自由度机构.....	55	包装盒的碰撞检测	103
3.2.6 多自由度机构的分类.....	57	4.4.4 碰撞检测实现	104
3.3 工业机器人设计.....	57	4.4.5 实时碰撞检测系统的	
3.4 开环机构的运动解析.....	59	性能和精确性	104
3.4.1 位移解析.....	59	4.4.6 碰撞检测验证程序	105
3.4.2 速度、加速度解析.....	67	4.5 视频数据的传输	105
3.5 工业机器人控制系统.....	74	4.5.1 视频的网络传输方案	106
3.5.1 工业机器人的系统构成.....	74	4.5.2 系统中视频通信实现	107
3.5.2 工业机器人的信号构成.....	75	4.5.3 视频传输过程的优化	109
3.5.3 机械臂控制部分的构成与		4.5.4 控制命令网络传输协议	109
规格.....	76	习题.....	110
3.5.4 图像处理部分的构成与		第 5 章 工业机器人视觉控制	111
参数.....	78	5.1 装配机器人	111
3.5.5 工业机器人运动学.....	79	5.2 图像处理算法	112
习题	87	5.2.1 图像的表现	112
第 4 章 工业机器人操作控制	89	5.2.2 通过特征抽出法处理图像	113
4.1 控制系统的总体设计.....	89	5.2.3 模式匹配法	118
4.1.1 控制系统的硬件构成.....	89	5.2.4 灰度图像处理	119
4.1.2 浏览器/服务器架构和		5.3 工业机器人视觉控制系统	119
客户机/服务器架构	91	5.3.1 密封定位控制系统	119
4.1.3 远程控制系统的总体设计	93	5.3.2 视觉传感器的构成	120
4.2 工业机器人的操作端输入处理	95	5.3.3 二值化	122
4.2.1 DirectInput 技术.....	95	5.3.4 搜索窗	123
4.2.2 手柄输入封装模块.....	96	5.3.5 密封对象的位置和姿势	
4.2.3 手柄输入验证程序.....	97	检测	126
4.3 工业机器人的三维仿真.....	97	5.3.6 视觉反馈控制系统设计	128
4.3.1 三维仿真技术.....	97	5.3.7 采用模糊规则生成位置	
4.3.2 物体三维模型的建立.....	98	目标值	131

5.3.8 工业机器人控制系统	133	第7章 工业机器人网络控制 ...	164
5.3.9 密封作业实验	134	7.1 概述	164
习题	138	7.1.1 工业机器人远程控制的 意义	165
第6章 工业机器人混合控制 ...	139	7.1.2 远程控制机器人的现状 ...	165
6.1 概述	139	7.2 远程控制机器人存在的主要 问题	168
6.1.1 工业机器人控制特征	139	7.2.1 网络时延问题	168
6.1.2 工业机器人控制方法	139	7.2.2 网络时延对远程控制的 影响	170
6.1.3 工业机器人路径控制的 一般方法	147	7.2.3 网络时延构成	170
6.2 工业机器人机构的解析	147	7.2.4 解决网络时延的方法	172
6.2.1 位移解析	148	7.3 远程控制机器人系统的控制 模式	173
6.2.2 速度解析	148	7.3.1 网络控制的驱动方式	173
6.2.3 力矩解析	148	7.3.2 网络机器人的控制方式 ...	173
6.3 基于模型的控制	149	7.4 远程控制机器人系统通信协议 ...	179
6.3.1 模型最优控制方法	149	7.4.1 TCP/IP 协议模型	179
6.3.2 运动控制	149	7.4.2 通信协议的选择	181
6.3.3 上位控制系统	150	7.4.3 Socket 通信原理	182
6.4 工业机器人的力控制	151	7.5 虚拟现实与遥操作机器人	183
6.4.1 基于视觉的位置和 力控制	151	7.5.1 虚拟现实与遥操作机器人 概述	183
6.4.2 视觉与力觉的传感器 融合	152	7.5.2 虚拟现实技术	184
6.4.3 使用视觉信息推导约束 坐标系	153	7.5.3 虚拟现实技术与遥操作 机器人	186
6.4.4 用可变约束坐标矩阵进行 混合控制	157	7.5.4 三维仿真技术	188
6.4.5 获取人的技能进行目标 路径追踪	158	7.6 仿真系统的设计与实现	195
6.4.6 具有力觉的6自由度 操作端	161	7.6.1 仿真系统主要功能结构图 ...	195
习题	163	7.6.2 客户端主要功能	196
		7.6.3 服务器端主要功能	197
		7.6.4 系统的逻辑结构设计	199
		7.6.5 系统功能设计	200

7.6.6	客户端软件的设计与实现	202	8.3.4	冗余性与二级编码	230
7.6.7	服务器端软件的设计与实现	204	8.3.5	粒子群系统的更新方式	230
7.6.8	客户端和服务端通信	206	8.3.6	基于粒子群优化求解 JSSP 问题的流程	231
7.7	实验与结果分析	208	8.4	基于人工免疫系统的问题求解	232
7.7.1	实验装置介绍	208	8.4.1	抗体群初始化算法	232
7.7.2	网络时延测试	208	8.4.2	亲和力的计算和调整	233
7.7.3	Peg-in-Hole 实验	210	8.4.3	克隆选择	233
7.7.4	机器人仿真控制实验	215	8.4.4	疫苗接种和变异	233
7.7.5	机器人在线控制实验	216	8.4.5	受体编辑	234
7.7.6	实验结果分析	218	8.4.6	基于免疫系统求解 JSSP 的流程	234
	习题	219	8.5	粒子群优化与人工免疫系统求解算法	235
第 8 章	工业机器人调度方法	220	8.6	相遇算法和模拟退火求解算法	235
8.1	车间调度概述	220	8.6.1	基本蚁群算法的过程	235
8.1.1	车间调度的分类	221	8.6.2	相遇算法	236
8.1.2	车间调度规则和性能指标	222	8.6.3	Job Shop 问题的图形化定义	237
8.1.3	车间调度的发展历程	223	8.6.4	求解 Job Shop 问题的相遇算法	238
8.2	车间作业 (Job Shop) 调度问题	226	8.6.5	相遇算法与模拟退火求解算法	239
8.2.1	Job Shop 调度问题描述	226		习题	241
8.2.2	JSSP 性能指标	227	参考文献		242
8.3	基于粒子群优化的问题求解	228			
8.3.1	粒子群系统中 JSSP 问题的表述	228			
8.3.2	初始粒子群生成	228			
8.3.3	目标函数和适应度函数	229			

第1章 概 论



目前,在许多发达国家的工厂和企业中,工业机器人被广泛地用来代替或帮助工人完成各类简单和重复性的工作。例如,在繁重、危险、恶劣的生产环境下,工业机器人可以帮助工人完成与抓、握、捏、夹、推、拉、插、按、剪、切、敲、打、撕、牵、拽、磨、刨、挫等相关的各种作业。由于工业机器人具有极强的功能和很高的通用性,因此各发达国家的许多大学和企业一直都在研制、开发及应用各种类型的工业机器人。工业机器人在机械制造、化工生产、包装输送、设备安装、核电维修、道路施工、凿岩采矿、作物栽培等许多领域的广泛使用,使得这些领域的生产效率大幅提高,并且以较低廉的成本生产出了各类产品,丰富了人们的物质生活,同时也大幅度地减轻了这些领域中工人的劳动强度。

工业机器人是自动化机械的典型代表,它融合了机械、电子、材料、控制、软件等诸多元素,是机电一体化的产物。作为实现工业机器人的关键技术,工业机器人可以视为机械工程、电子工程、控制工程、软件工程、材料工程等众多学科与技术的综合。本章以在各领域中广泛使用的工业机器人为对象,对其发展状况和相关技术进行深入的探讨。

1.1 工业机器人的历史

机器人概念的提出或者人造“人”的登场,最初出现在公元前8世纪左右的希腊神话中。从自动化机械的观点来看,作为一个具体的例子,公元1世纪左右亚里士多德时代的“自动门”就是最有名的例证。此外,在中世纪的欧洲曾经出现过一种作为玩具的“自动机器人”,在江户时代的日本也出现了许多仿人玩具。比如,《机巧图汇》就对运送茶叶的仿人机器人的具体工作原理用图作了详细的描述。从机器人发展史的角度来看,与工业机器人相关的各种事例可以归纳成如表1.1所示。

表 1.1 工业机器人的历史

年份	项 目	所在国家
1880	开始进行假肢研究	意大利、德国
1920	捷克作家卡雷尔·恰佩克在剧本中首次使用了“机器人”一词	捷克
1947	美国研究和开发了远程遥控机械手	美国
1954	美国申请了工业机器人专利	美国
1960	麻省理工学院的明斯基研究机械手和搭载视觉的行走机器人	美国
1965	AMF公司和Unimation公司分别推出工业机器人产品	美国
1970	首届工业机器人国际学术会议召开	美国
1973	日本工业机器人研究学会成立	日本
1980	日本国内各类公司积极地引入工业机器人	日本
1983~1990	日本通产省主持开发极限作业机器人等大型项目	日本
1983	日本机器人学会成立	日本

1.2 工业机器人的定义

目前,机器人的定义还是一个未确定的问题。例如,卡雷尔·恰佩克将科幻世界中人造的“人”视为机器人;早期的研究者们把具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械/半人性、自动性、奴隶性等特征的柔软机械称为机器人,也即有半人、半动物的特征。此后,工业界从实用的角度出发,将工业机器人视为自动机的一部分,特别是替代人手的机器。对于在制造环境下使用的工业机器人,国际标准化组织(ISO)将工业机器人定义为:通过自动控制而具有操作功能和移动功能,以及可以通过编程来完成各种作业的机器。日本则将具有类似人类上肢的功能,能够使对象物在空间移动的机器定义为工业机器人。更具体地说,工业机器人是具有多轴和通用的自动机械,它的动作可以自动控制,并且通过程序可以调节各个轴的关节角(轨道),通过传感器反馈可以进行实时控制。工业机器人通过安装在其机械臂上的机械手(end-effector)或其他制造用辅助工具,就能够进行生产加工或产品制作等。

代替和帮助工人在工厂劳动是制造工业机器人的主要目的,工业机器人的机械臂上装有机械手和简单的记忆装置,能够按照规定的动作进行工作。工业机器人用在缺少劳动力的工厂和必须进行简单的重复性劳动或者危及人身健康及安全的车间里。

人每天要睡大约8个小时,即使不劳动也不能不睡觉。人若连续工作几个小时的话,无论谁都会感到疲倦和厌烦,所以要在工作中安排休息时间。但是,工业机器人是机器,不会出现疲倦和厌烦的现象,只是沉默而连续地完成规定的工作。必须休息的时间是出故障时或维护和擦洗时。如有必要,当然也可以从早到晚,一年到头地连续工作。因而简单和重复的作业,例如把产品从一条传送带向另外的传送带反复搬运的工作对工业机器人来说是最合适的。

与人相比,工业机器人的另一个特点是不怕危险。工人在不宜接近的危险地方长时间的劳动会对身体有害,而工业机器人则毫不在乎。例如,在有放射线的地方、高温和高热的场所、充满有毒和有害气体的车间等,在这类地方工人是不能长期劳动的。但是,有的时候又必须要有工人到那里面去工作。这种时候就是工业机器人代替穿着防辐射和隔热的防护服、戴着防毒面具的工人而发挥作用的时候。

大部分工业机器人是用钢铁等金属制造的,其内部的配线也是采用高强度的塑料等包裹起来,它们比人更结实,所以目前工厂首先在工人很难在其中工作的车间里采用工业机器人。例如,在冶金企业的铸造车间里,因为要加热金属使其软化后再进行加工,因而要受到几百度高温的烘烤。在那种地方,工人们一边舐着盐、喝着水,一边坚持操作。长时间在这种地方干活,对身体非常有害。因此,人们就想出了让工业机器人来完成这种工作。危险不只限于高温,在加工金属的冲床或者刨床作业中,即使工序稍微错一点儿也有可能把操作工人的手切掉。焊接作业、喷漆作业、玻璃生产等也都充满着危险。这些作业可以说都适合工业机器人来完成。

1.3 工业机器人的种类

(工业)机器人按用途分类和按功能分类分别如表1.2和表1.3所示。其中实用化最大的是以制造业为对象,每年开发和制造的机器人大多数属于工业机器人。今后面向非制造业的服务机器人将越来越多,因为近年来服务机器人的研究正日益活跃。

表 1.2 (工业) 机器人按用途分类

产业机器人	主要在工厂使用, 进行单调和重复的作业; 或者在恶劣的环境下作业, 超过人的能力, 以高精度和高速度进行作业
服务机器人	患者移动, 帮助其洗澡和吃饭, 按照患者的指示进行护理; 代替导盲犬; 假手和假足; 家务劳动、娱乐、教育等
室外作业机器人	建设用、林业用、农业用
特殊环境机器人	原子核发电、原子核内维护、宇宙探索、海洋开发、抢险救灾、各种信息收集

表 1.3 (工业) 机器人按功能分类

机械臂及机械手或生产工具	相当于人的手臂, 在机械臂的前端装有机械手或生产工具
固定顺序机器人	按照预先设定好的顺序、条件、位置, 逐步地完成各个阶段任务的机械臂及机械手或生产工具, 但是要更改预先的设定非常不方便
可变顺序机器人	按照预先设定好的顺序、条件、位置, 逐步地完成各个阶段任务的机械臂及机械手或生产工具, 并且可以很方便地更改预先的设定
示教机器人	预先由人对机械臂及机械手或生产工具的动作进行示教, 并将作业的顺序、位置、其他信息记录下来, 在工作时再将它们读出来, 由机械臂及机械手或生产工具完成相关的作业
数控机器人	将顺序、位置、其他信息变成数值形式的命令, 让机械臂及机械手或生产工具完成相关的作业
智能机器人	根据自己的感觉机能和认识机能来决定自己行动的机器人

图 1.1 分别给出了几款典型的工业机器人和工业机器人加工流水线的图片。其中, 图 1.1c 所示的工业机器人 KR 1000 TITAN 是目前世界上最新、最大和最强的六轴工业机器人, 它具有 1000kg 的负载能力, 主要应用于玻璃、铸造、建材及汽车等行业。

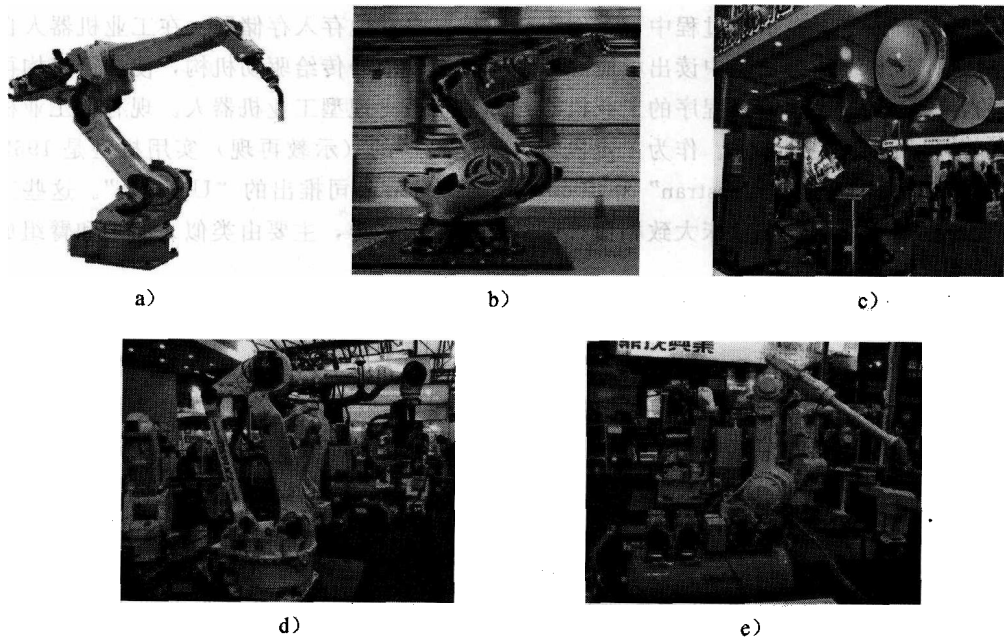


图 1.1 几款典型的工业机器人和工业机器人加工流水线

- a) 简单工业机器人; b) 多关节工业机器人;
c) KR 1000 TITAN 工业机器人; d) 川崎工业机器人; e) 工业机器人加工流水线

1.4 工业机器人的构成

工业机器人是具有广泛的适用性、能够自主动作及多轴联动的机械设备。它们配备有传感器，可以灵活地在三维工作空间中运动，并且是可以编程控制的（在工作过程中无须任何外力的干预）。它们通常配备有机械手或手爪（包括多指手、刀具或其他可以选择装配的生产工具等），以便能够执行搬运操作和其他加工制造任务。

工业机器人由机械本体、驱动系统和控制系统三个基本部分组成。机械本体即机座和执行机构，包括臂部、腕部和手部，有的工业机器人还有行走机构。大多数工业机器人都有3~6个自由度，其中腕部通常有1~3个自由度。驱动系统包括动力装置和传动机构，用以使执行机构产生相应的动作。控制系统按照编好的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号，执行控制。

工业机器人按臂部的运动形式分为四种：①直角坐标型，它的臂部可沿3个直角坐标轴方向移动；②圆柱坐标型，它的臂部可作升降、回转和伸缩动作；③球坐标型，它的臂部能回转、俯仰和伸缩；④关节型，它的臂部有多个可以转动的关节。工业机器人按照执行机构运动的控制机能，又可以分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；连续轨迹型可以控制执行机构按给定的轨迹运动，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分为编程输入型和示教输入型两类。编程输入型是以磁盘或光盘等为信息载体，输入已编好的程序。示教输入型有两种：一种是由操作者用手动控制器（示教操作盒）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；另一种是采用人的示范操作方法，由操作者直接操纵执行机构，按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍。在示教过程中，工作程序的信息自动地存入存储器。在工业机器人自动工作时，控制系统从存储器中读出相应的信息，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。现有的工业机器人大部分采用这种控制方式。作为工业机器人产品最早的（示教再现）实用机型是1962年美国AMF公司推出的“Verstran”和1965年Unimation公司推出的“Unimate”。这些工业机器人的控制方式与数控机床大致相似，但是外形特征迥异，主要由类似人的手和臂组成。

1.5 工业机器人的应用

自从20世纪60年代初人类研制了第一台工业机器人以后，工业机器人就显示出了巨大的生命力。经过近50年的发展，工业机器人已经在越来越多的生产领域中得到了应用。在制造业中，尤其是在汽车生产中，工业机器人得到了广泛的应用。如在毛坯制造（冲压、压铸、锻造等）、机械加工、焊接、热处理、表面喷涂、上下料、装配、检测及仓库堆垛等作业中，工业机器人都已经逐步地取代了人工作业。目前，汽车制造业是所有行业中人均拥有工业机器人密度最高的行业。如在2004年德国制造业中，每1万名工人中拥有工业机器人的数量为162台，而在当时的汽车制造业中每1万名工人中拥有工业机器人的数量则为1140台；意大利的这一数据更能说明问题，2004年意大利制造业中每1万名工人中拥有工业机器人的数量为123台，而在当时的汽车制造业中每1万名工人中拥有工业机器人的数量则高达1600台。

随着工业机器人向更深和更广方向的发展以及智能化水平的提高,工业机器人的应用范围还在不断扩大,已经从汽车制造业推广到其他制造业,进而推广到机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品加工工业、木材与家具制造业等领域。在工业生产中,弧焊机器人、点焊机器人、切割机器人、装配机器人、喷漆机器人及搬运机器人等已经被大量采用。2005年,亚洲地区电子电气行业对工业机器人的需求仅次于汽车及汽车零部件制造业,占有行业总需求的31%;而在欧洲地区橡胶及塑料工业对工业机器人的需求则远远超过电子电气行业而排名第二;美洲地区由于汽车及汽车零部件制造业对工业机器人的需求遥遥领先,所以金属制品业(包括机械)、橡胶及塑料工业以及电子电气行业对工业机器人的需求比例相当,均在7%左右。另外,在各种非制造业,诸如采矿机器人、建筑业机器人以及水电系统维护维修机器人等也得到了应用。

从近几年国内外推出的工业机器人产品来看,工业机器人及其技术正在向智能化、模块化和系统化的方向发展,其发展趋势主要为:①结构模块化和可重构化;②控制技术开放化、PC化和网络化;③伺服驱动技术数字化和分散化;④多传感器融合技术实用化;⑤工作环境设计优化、作业柔性化、系统网络化、作业智能化等,其中工业机器人的系统网络化是工业机器人目前研究的一个热点。

1.5.1 制造业机器人

1. 搬运机器人

搬运机器人是可以进行自动化搬运作业的工业机器人。最早的搬运机器人出现在美国,1962年Versatran和Unimate两种工业机器人首次用于搬运作业。搬运作业是指用机械手等设备握持工件,从一个加工位置移到另一个加工位置。搬运机器人可安装不同的机械手以完成各种不同形状和状态的工件搬运工作,它可以大大地减轻工人繁重的体力劳动。目前世界上使用的搬运机器人约几十万台,它们被广泛地应用于机床上下料、冲压机自动化生产线、码垛搬运、集装箱等自动搬运。许多发达国家已经制定出了人工搬运的最大限度,超过限度的搬运必须要由搬运机器人来完成。

2. 数控机器人

通过操作人员进行各种顺序或位置信息的示教,并根据示教完成作业的工业机器人称为数控机器人,它属于第一代工业机器人。世界上第一台数控工业机器人原型机是由美国的Consolidated Control公司研制成功的。数控机器人在使用中,操作人员不是手动示教,而是通过编程来执行指定的任务,主要以专用或通用计算机来控制数控机器人,使之进行自动化操作,生产出合格的产品。数控机器人可以降低作业成本,提高作业精度,省去人工示教的麻烦。我国在“七五”和“八五”期间研制成功了多种数控机器人。

3. 装配机器人

为完成装配作业而设计的工业机器人称为装配机器人。装配机器人是柔性自动化装配系统的核心设备,它由机械本体、机械手、控制系统、传感系统组成。其中,机械本体的结构类型有水平关节型、直角坐标型、多关节型和圆柱坐标型等,机械手是为适应不同的装配对象而设计成的各种手爪和手腕等;控制系统一般采用多CPU或多级计算机系统,实现运动控制和运动编程;传感系统用来获取装配机器人与环境和装配对象之间相互作用的信息。常用的装配机器人有可编程通用装配操作手(Programmable Universal Manipulator for Assembly, PUMA)和平面双关节型机器人(Selective Compliance Assembly Robot Arm,