



普通高校“十三五”规划教材

机器人工程导论

主 编 樊炳辉

副主编 袁义坤 张兴蕾 王传江



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件



普通高校“十三五”规划教材

机器人工程导论

主 编 樊炳辉

副主编 袁义坤 张兴蕾 王传江



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要结合工业机器人的诸多分析理论及应用技术等,对机器人的相关基础知识、机械结构设计特点、运动学、运动轨迹规划、动力学、控制及其常用元器件等各个方面进行了较为全面的导引性描述。在本书的编撰过程中,尽量兼顾了来自不同专业或层面、具有不同基础知识结构的学生的需要。

本书既可以作为从事机器人、机械手研究或应用的各类高等院校相关专业本科生、研究生的教材,也可以作为现场工程技术人员等的理论与技术指导参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机器人工程导论 / 樊炳辉主编. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2018. 3

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2669 - 6

I. ①机… II. ①樊… III. ①机器人工程 IV.

①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 044303 号

版权所有,侵权必究。

机器人工程导论

主 编 樊炳辉

副主编 袁义坤 张兴蕾 王传江

责任编辑 史 东

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:499千字

2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷 印数:2000册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2669 - 6 定价:48.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

当前,我国正在大力推进“中国制造 2025”,以实现制造业的转型升级。智能制造是“中国制造 2025”的五大工程之一,被列入战略性新兴产业。智能制造包括智能装备、智能工厂、智能产品、智能物流和智能服务,进而支撑智能决策。智能制造融合了信息技术、自动化技术、先进制造技术、通信技术的最新发展,并开始融入人工智能技术,涉及工业软件、物联网、增材制造、工业机器人、虚拟现实、增强现实、数据采集、工业安全等诸多使能技术。这将是一种崭新的生产方式。

机器人作为“中国制造 2025”十大重点发展领域之一以及核心的智能装备,对于改变人类的生产和生活方式,重振中国制造业,复苏国民经济等都具有十分重要的作用。

据有关部门预测,到 2025 年,我国高档数控机床和机器人领域人才缺口将有 450 多万。而目前机器人的技术和人才短缺现状,使得对机器人技术的迫切需要与国内机器人人才队伍短缺的态势形成一种捉襟见肘的窘迫局面。为了更好地满足国内对机器人技术人才队伍培养的需要,故编制了本书。

编者对本科生、研究生讲授机器人学课程已经近 20 年,本书是在编者多年从事机器人教学中所使用的自编教材的基础上,并结合、参考其他各种机器人教材,加上自己的一些理解与体会所完成的。其目的是让读者能够准确地把握机器人相关理论与技术的基础知识,为机器人的设计、研究及编程等打下扎实的专业基础。

本书共分 9 章,其中:

第 1 章绪论,简要叙述了机器人的发展过程、现状与未来,对机器人的一些基本概念及所要研究的主要内容等进行了介绍。

第 2 章机器人基础,针对机器人的设计与分析,介绍了一些必备的基础知识,包括机械基础知识与数学基础知识等。通过对它们进行引导性描述,为本书的后续介绍与分析提供了标准概念与相应的分析工具。

第 3 章机器人运动学,应用 Denavit-Hatenberg 方法(简称 D-H 方法)论述了机械手构件坐标系的建立方法,并对机器人的正向运动学与逆向运动学问题进行了分析。

第 4 章微分运动和速度,主要探讨了一般构件坐标系相对于参考坐标系的微分运动,机器人关节的构件坐标系相对于参考坐标系的微分运动,雅可比矩阵以及机器人速度关系等问题的分析方法。

第 5 章运动轨迹规划,主要讨论了机器人运动轨迹的生成方法,以求用某种比较简单的多项式插补来逼近所期望的路径,生成一系列时基“控制设定点”,以

控制机器人按照要求的路径与速度进行工作。

第6章机器人动力学分析,主要介绍了拉格朗日力学方法在机器人动力学问题上的应用,包括动力学方程、简化思路及其推导方法等,有助于帮助深入理解被控机器人系统。

第7章机器人控制,介绍了机器人控制的基本概念、机器人控制系统的组成、机器人的常用控制方法、典型的位置控制及力控制以及在机器人中的应用等。

第8章智能机器人,将人工智能(Artificial Intelligence, AI)与机器人的结合应用情况进行了介绍,特别对智能机器人的相关概念、系统的组成、基本特征、其控制系统的主要功能特点、相关智能控制理论内容以及典型案例等进行了描述。

第9章机器人常用器件,对机器人常用的一些新型的驱动器和传感器作了简单介绍。

本书的特点是:对内容编排本着循序渐进的原则,深入浅出。全书既有机器人较为详细的专业概念,又有学习本书所需的一些基础知识,以利于具有不同学科专业基础的学生快速上手;在理论分析上尽可能保留推导过程,并辅以例题,以便于学生学习和理解;在对参考资料进行学习整理过程中,一方面忠实原书内容,另一方面也充实一些自己的理解与体会;在对理论进行阐述的基础上,注意结合一些应用实例;最后对机器人常用的新型的器件性能特点及其选用原则等,也突出重点地进行了介绍。

本书既可以作为从事机器人、机械手研究或应用的各类高等院校相关专业本科生、研究生的教材,也可以作为现场工程技术人员等的理论与技术指导参考书。

在作为教材使用时,所讲授的内容可以根据学生对象的不同有所侧重或删减。

在本书的编撰过程中,得到了我2013、2014、2015各级研究生的鼎力相助。本科生郑天明、孙志鹏也给予了很大帮助,他们为本书的材料收集、文字录入、图形与表格绘制等作了大量认真、细致的工作,在此特对他们深表感谢!

机器人研究涉及众多的学科与知识,本书内容挂一漏万的情形难免发生。希望读者在学习过程中注意参考其他一些机器人方面的资料,相互印证,相互补充,以利提高。

因为作者水平有限,无法全面、完整地介绍机器人各方面的知识,在编撰过程中也难免出现各种各样的错误,期望广大读者给予充分的理解和帮助,能够将各种意见与建议发送到邮箱 fanbh58@163.com,以便于以后对本书的修正与勘误。对此我们将深表感谢!

编者

2017年11月30日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 中国的早期机器人	1
1.2 其他国家的早期机器人	2
1.3 现代机器人概念的起源	2
1.4 现代机器人的发展	3
1.5 现代机器人的定义	4
1.6 机器人的研究内容	5
1.7 机器人的应用	6
1.8 机器人的社会问题	9
习题一	10
第 2 章 机器人基础	11
2.1 机器人概念与术语	11
2.1.1 机器人的分类	11
2.1.2 机器人的特性	15
2.1.3 机器人的组成	15
2.1.4 机器人的自由度	17
2.1.5 机器人关节	18
2.1.6 机器人的各种坐标系	18
2.1.7 机器人的性能指标	19
2.1.8 机器人的工作空间	20
2.1.9 机器人的工作环境	20
2.1.10 工业机器人的示教模式	21
2.1.11 机器人语言	21
2.1.12 特种机器人的工作方式	23
2.2 机器人机械基础	23
2.2.1 常见机械结构及其表示	23
2.2.2 机器人的传动机构	25
2.2.3 机器人机座	31
2.2.4 机器人手臂	31
2.2.5 机器人手腕	34
2.2.6 机器人末端执行器	37
2.3 数学基础	46
2.3.1 矢量及其基本性质	46

2.3.2	矩阵代数和符号表示	47
2.3.3	角度计算的处理方法	52
习题二		53
第3章	机器人运动学	55
3.1	位置与姿态的表示	55
3.1.1	位置描述	55
3.1.2	姿态描述	55
3.1.3	位姿描述	57
3.2	坐标变换	57
3.2.1	平移坐标变换	57
3.2.2	旋转坐标变换	58
3.2.3	复合坐标变换	58
3.2.4	齐次坐标变换	60
3.3	齐次变换的一些性质	67
3.3.1	变换过程的相对性	67
3.3.2	变换过程的可逆性	69
3.3.3	联体坐标系间变换过程的连续性	71
3.3.4	多个连续变换过程的封闭性	71
3.4	通用旋转变换	72
3.4.1	通用旋转变换公式	72
3.4.2	等效转角与等效转轴	75
3.5	介绍几种常见变换	78
3.5.1	欧拉(Euler)角变换	78
3.5.2	横滚、俯仰和偏转变换	79
3.5.3	柱面坐标变换	80
3.5.4	球面坐标变换	80
3.6	几种常见变换的逆解	81
3.6.1	欧拉变换的解	81
3.6.2	横滚、俯仰和偏转变换的解	84
3.6.3	球面变换的解	85
3.7	机器人的连杆坐标系及其描述	86
3.7.1	广义连杆与广义关节	86
3.7.2	机器人连杆参数	87
3.7.3	机器人连杆坐标系	89
3.7.4	机器人连杆变换矩阵	92
3.8	机器人运动学正解	93
3.8.1	连杆变换矩阵及其乘积	93
3.8.2	斯坦福机器人运动学正解	94
3.8.3	一种助老助残机械手运动学正解	96

3.9 机器人运动学逆解	99
习题三	104
第4章 微分运动和速度	107
4.1 微分运动的意义	107
4.2 变换的微分	108
4.3 坐标系的微分运动	109
4.3.1 微分平移	109
4.3.2 绕坐标系轴线的微分旋转	110
4.3.3 绕一般轴 f 的微分旋转	111
4.3.4 坐标系的微分变换	113
4.4 微分变换的解释	115
4.5 微分变换在不同坐标系间的相互转换关系	117
4.6 连续变换表达式中的微分变换关系式	121
4.7 笛卡儿空间微分与关节空间微分的关系	123
4.8 雅可比矩阵	124
4.8.1 机器人关节与机器人手部坐标系的微分运动	124
4.8.2 雅可比矩阵的意义	125
4.8.3 机器人雅可比矩阵的求法	127
4.8.4 雅可比矩阵的应用	129
4.9 雅可比矩阵求逆	134
习题四	141
第5章 运动轨迹规划	144
5.1 轨迹描述和生成	145
5.2 关节空间轨迹规划法	147
5.2.1 3次多项式插值	148
5.2.2 包括途经点的3次多项式插值	150
5.2.3 高次多项式插值	152
5.2.4 其他轨迹规划方法	158
5.3 直角坐标空间法	168
5.4 轨迹的实时生成	170
5.4.1 关节空间轨迹的生成	170
5.4.2 直角坐标空间轨迹的生成	171
习题五	172
第6章 机器人动力学分析	173
6.1 达朗伯原理与虚位移原理	173
6.1.1 达朗伯原理	173
6.1.2 虚位移原理	174

6.2	拉格朗日力学方法	180
6.2.1	动力学普遍方程	180
6.2.2	拉格朗日方程	181
6.3	一个简单的例子	184
6.4	机器人动力学方程	188
6.4.1	机械手臂上一点的速度	188
6.4.2	动能	189
6.4.3	势能	190
6.4.4	拉格朗日算子	190
6.4.5	动力学方程	191
6.4.6	动力学方程的简化	192
	习题六	200
第7章	机器人控制	203
7.1	概述	203
7.1.1	机器人控制的特点	203
7.1.2	机器人控制系统的组成	204
7.1.3	机器人的常用控制方法	205
7.2	机器人的示教再现	207
7.2.1	示教内容	208
7.2.2	示教过程	210
7.2.3	机器人的离线编程技术	212
7.3	伺服系统的基本概念	215
7.4	机器人的位置控制	218
7.4.1	单关节位置控制	218
7.4.2	多关节机器人的位置伺服控制	226
7.4.3	传感器反馈控制	230
7.5	机器人的力控制	234
7.5.1	机器人的力与力控制种类	234
7.5.2	阻尼力控制	237
7.5.3	相互力控制	239
	习题七	243
第8章	智能机器人	245
8.1	智能机器人基础知识	245
8.2	智能机器人系统的基本特征	246
8.3	智能机器人控制系统的基本结构	247
8.4	智能机器人的多信息特点	248
8.4.1	多传感器系统与信息融合	248
8.4.2	信息融合方法和融合模式	249

8.5	智能机器人控制系统的主要功能特点	251
8.6	智能控制研究的数学工具	251
8.7	智能控制理论的主要内容及其在智能机器人控制中的应用	252
8.8	智能机器人典型案例	256
	习题八	261
第9章	机器人常用器件	262
9.1	驱动器及其系统特性	262
9.1.1	技术规格参数	262
9.1.2	刚度和柔性	263
9.1.3	减速器的应用	263
9.1.4	驱动系统的比较	264
9.1.5	液压驱动器	265
9.1.6	气动驱动器	267
9.1.7	电机	268
9.1.8	电机的微处理器控制	274
9.1.9	磁致伸缩驱动器	276
9.1.10	形状记忆金属	277
9.1.11	电活性聚合物	277
9.2	传感器	278
9.2.1	传感器特性	278
9.2.2	传感器选择	279
9.2.3	传感器的使用	280
9.2.4	位置传感器	280
9.2.5	速度传感器	283
9.2.6	加速度传感器	284
9.2.7	力和压力传感器	285
9.2.8	力矩传感器	286
9.2.9	可见光和红外传感器	286
9.2.10	接触传感器和触觉传感器	287
9.2.11	接近觉传感器	287
9.2.12	测距传感器	290
9.2.13	嗅觉传感器	291
9.2.14	味觉传感器	291
	习题九	292
	参考文献	293

第1章 绪论

中国工程院前院长宋健指出：“机器人学的进步和应用是20世纪自动控制最有说服力的成就，是当代最高意义上的自动化。”机器人技术综合了多学科的发展成果，代表了高技术的发展前沿，它在人类生活应用领域的不断扩大与创新，使得国际上越来越重视机器人技术的作用和影响。

目前，全球劳动力成本持续上升，作为世界第二大经济体的中国，其制造业正在进行一场机器人革命。大量的中国工厂正在逐步摒弃人工，转而使用机器人。

据中国机器人产业联盟发布的数据，2014年，我国共销售工业机器人5.7万台，较上年增长55%；同年，国内工业机器人产量为1.2万台，同比增长26.2%，国内首次突破年产万台大关，因而，业内称2014年为中国的机器人元年。2016年，我国共销售工业机器人8.89万台，较上年增长56%；国内工业机器人产量为7.24万台，同比增长34.3%，已连续五年成为全球第一大工业机器人市场。

既然机器人事业在全球以如火如荼的势头在发展，那么何谓机器人？这也许是大多数普通民众都不能作出明确回答的问题，我们不妨追寻一下它的发展足迹，以便对其有一个全面和准确的认识。

1.1 中国的早期机器人

虽然机器人一词的出现和世界上第一台工业机器人的问世都是近几十年的事，然而人们对机器人的幻想与追求却已有3000多年的历史。人类早在远古时期，就希望能制造出一种像人一样的机器，来服务于人类或取悦于人类，以便代替人类完成各式各样的工作。在中国古代就有许多这方面的记载。

据《列子》记载，西周周穆王时期，我国的能工巧匠偃师研制出一种能歌善舞的伶人，它举手投足如同真人一般。摇摇它的头，可唱出符合乐律的歌曲；捧捧它的手，便跳起符合节拍的舞蹈。为此，周穆王奖赏给偃师一块封地作为褒奖，并以他的名字“偃师”命名。

据《墨经》记载“公输班竹木为鹊，成而飞之，三日不下”，说的是春秋后期，我国著名的木匠鲁班，为了哄母亲开心，用竹木造了一只大鸟。“成而飞之，三日不下。”，体现了我国劳动人民的聪明智慧。

1800年前的汉代，大科学家张衡不仅发明了地动仪，而且发明了计里鼓车。计里鼓车每行一里，车上木人击鼓一下，每行十里击钟一下。

《三国志·诸葛亮传》记载：“亮性长于巧思，损益连弩，木牛流马，皆出其意。”是说后汉三国时期，蜀国丞相诸葛亮不仅成功地创造出可以连发的弩箭，而且制作了可以行走的木牛流马，并用木牛流马运送军粮。

1.2 其他国家的早期机器人

公元前 2 世纪,亚历山大时代的古希腊人发明了最原始的机器人——自动机。它是用水、空气和蒸汽压力为动力的会动的雕像;它可以自己开门,还可以借助蒸汽唱歌。

1662 年,日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶,并在大阪的道顿堀演出。

1738 年,法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭,它会嘎嘎叫,会游泳和喝水,还会进食和排泄。瓦克逊的本意是想把生物的功能加以机械化而进行医学上的分析。

在当时的自动玩偶中,最杰出的制作人要数瑞士的钟表匠杰克·道罗斯和他的儿子利·路易·道罗斯。1773 年,他们连续推出了自动书写玩偶、自动演奏玩偶等,他们创造的自动玩偶是利用齿轮和发条原理制成的。它们有的拿着画笔和颜色绘画,有的拿着鹅毛蘸墨水写字,结构巧妙,服装华丽,在欧洲风靡一时,如图 1.1 所示。



图 1.1 自动玩偶

现在保留下来的最早的机器人是瑞士努萨蒂尔历史博物馆里的少女玩偶。它制作于二百多年前,两只手的十个手指可以按动风琴的琴键而弹奏音乐,现在还定期演奏供参观者欣赏,展示了古代人的智慧。

19 世纪中叶自动玩偶分为两个流派,即科学幻想派和机械制作派,并各自在文学艺术和近代技术中找到了自己的位置。1831 年,歌德发表了《浮士德》,塑造了人造人“荷蒙克鲁斯”;1870 年,霍夫曼出版了以自动玩偶为主角的作品《葛蓓莉娅》;1883 年,科洛迪的《木偶奇遇记》问世;1886 年,《未来的夏娃》问世;在机械实物制造方面,1893 年,摩尔制造了“蒸汽人”,“蒸汽人”靠蒸汽驱动双腿沿圆周走动。

进入 20 世纪后,机器人的研究与开发得到了更多人的关心与支持,一些实用化的机器人相继问世。1927 年美国西屋公司工程师温兹利制造了第一个机器人“电报箱”,并在纽约举行的世界博览会上展出。它是一个电动机器人,装有无线电发报机,可以回答一些问题;但该机器人不能走动。

1.3 现代机器人概念的起源

1886 年,法国作家利尔亚当在他的小说《未来夏娃》中将外表像人的机器起名为“安德罗丁”(Android)。它主要由 4 部分组成:

- ① 生命系统(平衡、步行、发声、身体摆动、感觉、表情、调节运动等);
- ② 造型解质(关节能自由运动的金属覆盖体,一种盔甲);
- ③ 人造肌肉(在上述盔甲上有肉体、静脉、性别等身体的各种形态);
- ④ 人造皮肤(含有肤色、肌理、轮廓、头发、视觉、牙齿、手爪等)。

1920年,捷克作家卡雷尔·卡佩克发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》。在剧本中,卡佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”(“Robota”是奴隶的意思)。该剧预告了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响,引起了大家的广泛关注,被当成了现代机器人一词的起源。

为了防止机器人伤害人类,科幻作家阿西莫夫于1940年提出了“机器人三原则”:

- ① 机器人不应伤害人类;
- ② 机器人应遵守人类的命令,与第一条违背的命令除外;
- ③ 机器人应能保护自己,与第二条相抵触者除外。

这是给机器人赋予的伦理性纲领。机器人学术界一直将这三原则作为机器人开发的准则。

1.4 现代机器人的发展

现代机器人的研究始于20世纪中期,其技术背景是计算机和自动化的发展,以及原子能的开发利用。自1946年第一台数字电子计算机问世以来,计算机取得了惊人的进步,向高速度、大容量、低价格的方向发展。大批量生产的迫切需求推动了自动化技术的进展,其结果之一便是1952年数控机床的诞生。与数控机床相关的控制、机械零件的研究又为机器人的开发奠定了基础。

另外,原子能实验室的恶劣环境要求某些操作机械代替人处理放射性物质。在这一需求背景下,美国原子能委员会的阿尔贡研究所于1947年开发了遥控机械手,1948年又开发了机械式的主从机械手。

1954年,美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人进行动作示教,机器人能实现动作的记录和再现。这就是所谓的示教再现机器人。现有的机器人基本上仍然采用这种控制方式。

作为机器人产品最早的实用机型是1962年美国AMF公司推出的“VERSTRAN”和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,但外形特征迥异,主要由类似人的手和臂组成。

1965年,MIT的Roborts演示了第一个具有视觉传感器,能识别与定位简单积木的机器人系统。

1967年,日本成立了人工手研究会(现改名为仿生机构研究会),同年召开了日本首届机器人学术会。

1970年,在美国召开了第一届国际工业机器人学术会议。1970年以后,机器人的研究得到迅速广泛的普及。

1973年,辛辛那提·米拉克隆公司的理查德·豪恩制造了第一台由小型计算机控制的工业机器人,它是液压驱动的,能提升的有效负载达45 kg。

到了1980年,工业机器人真正在日本开始普及,故日本称该年为其国家“机器人元年”。随后,机器人在日本得到了巨大发展,日本也因此赢得了“机器人王国的美称”。随着计算

机技术和人工智能技术的飞速发展,机器人在功能和技术层次上有了很大的提高,移动机器人和机器人的视觉、触觉等技术就是典型的代表。由于这些技术的发展从而推动了机器人概念的延伸。

20世纪80年代,将具有感觉、思考、决策和动作能力的系统称为智能机器人,这是一个概括的、含义广泛的概念。这一概念不但指导了机器人技术的研究和应用,而且赋予了机器人技术向深广发展的巨大空间,水下机器人、空间机器人、空中机器人、地面机器人、微小型机器人等各种用途的机器人相继问世,许多梦想成为了现实。将机器人的技术(如传感技术、智能技术、控制技术)扩散和渗透到各个领域又形成了各式各样的新机器——机器人化机器。当前与信息技术的交互和融合又出现了“软件机器人”和“网络机器人”,这也说明了机器人所具有的创新活力。

1.5 现代机器人的定义

在科技界,科学家会给每一个科技术语一个明确定义;但机器人问世半个多世纪以来,对它的定义仍然仁者见仁,智者见智,没有一个统一意见。原因之一是机器人在不断发展,新的机型、新的功能不断涌现。就像机器人一词最早诞生于科幻小说中一样,人们对机器人的未来充满了幻想与期待。这里不妨先了解一下对机器人曾经的定义。

在1967年日本召开的首届机器人学术会议上,提出了机器人两个有代表性的定义:

一个是森政弘与合田周平提出的“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、奴隶性等特征的柔性机器”。从这一定义出发,森政弘又提出了用自动性、智能性、个体性、半机械半人性、作业性、通用性、信息性、柔性、有限性、移动性等特性来表示机器人的形象。

另一个是加藤一郎提出的具有如下3个条件的机器称为机器人:具有脑、手、脚三要素的个体;具有非接触传感器(用眼、耳接受远方信息)和接触传感器;具有平衡觉和固有觉的传感器。

上述定义强调了机器人应当仿人的含义。其实,如果按照这种定义,目前可称为机器人的机器就很少了。在发展的过程中,人们对于机器人的定义逐渐现实起来,下面是一些不同组织对机器人的不同定义:

美国机器人协会(RIA):机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的、通过可编程序动作来执行种种任务的、具有编程能力的多功能机械手。

日本工业机器人协会:工业机器人是一种装备有记忆装置和末端执行器的能够转动并自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器。

美国国家标准局(NBS):机器人是一种能进行编程并在自动控制下执行某种操作和移动作业任务的机械装置。

国际标准化组织(ISO):机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手。这种机械手具有几个轴,能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置,以执行各种任务。

我国科学家起初对机器人的定义是: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与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,是一种具有高度灵活性的自动化机器。

我国的机器人之父蒋新松院士也给出过机器人的一种定义：“一种拟人功能的机械电子装置(a mechatronic device to imitate some human functions)”。

以上机器人定义多在以下功能之间取舍变化：

- ① 像生物或生物的某部分,并能模仿生物的动作;
- ② 具有智力、感觉与识别能力;
- ③ 是人造的机械电子装置;
- ④ 可进行编程,实现功能变化。

其实,机器人的范畴不但要包括“由人制造的像人一样”的机器,是否还应包括“由人控制的生物”,甚至“由人制造的生物”等。尽管目前的伦理道德可能还不赞成某些方面的研究。

机器人也不一定要求具有实体,具有一定的类似人思索能力的软件,像各种 soft agent、搜索引擎等都可以认为是机器人。因此,现在又出现了软件机器人、网络机器人等一些新的概念。

另外,光控 DNA 核酸分子机器人、可对近红外光响应的水凝胶软体机器人等,也都颠覆了传统机器人的概念。

这样,本来就没有统一定义的机器人,现在就更难为其下一个确切的和公认的定义了。

也许正是由于机器人定义的模糊,才给了人们充分的想象和创造空间。随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来,机器人所涵盖的内容越来越丰富,机器人的定义也在不断充实和创新。

不过就目前机器人发展的现状来说,是否可对机器人作如下定义:一类由人工介入的,具有仿生功能的,其行为或功能可变可控的物体或软件。

1.6 机器人的研究内容

机器人技术集计算机技术、自动化技术、检测技术、机械设计技术、材料与加工技术、各种仿生技术、人工智能技术等学科为一体,是多学科科技发展的结果。每一款机器人都是知识密集和技术密集的高科技化身。

机器人研究的知识主要集中在以下几个方面:

- 空间机构学 空间机构在机器人上的应用体现在: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、机器人关节部结构的设计,包括仿生结构设计。

- 机器人运动学 机器人执行机构实际是一个多刚体系统,研究要涉及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,因此需要一种有效的数学描述方法,机器人运动学可帮助解决这类问题。

- 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转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上是十分重要的。静力学主要探讨机器人的手部端点力和驱动器输入力矩的关系。

- 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,首先必须先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和力矩及其位置、速度、加速度关系的方程式,以利于提高高速、重载机器人的运动性能。

- 机器人控制技术 机器人控制技术是在传统机械系统的控制技术基础上发展起来的,

两者之间没有根本的不同。但机器人控制技术也有许多特殊之处,例如它是有耦合的、非线性的、多变量的控制系统;其负载、惯量、重心等随着时间都可能变化,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。其主要研究的内容有机器人控制方式和机器人控制策略。

- 机器人传感器 人类一般具有触觉、视觉、听觉、味觉以及嗅觉等感觉,机器人的感觉主要是通过各种传感器来实现的。根据检测对象的不同,可分为内部传感器和外部传感器:

内部传感器,主要是用来检测机器人本身状态的传感器,如检测手臂的位置、速度、加速度,电器元件的电压、电流、温度等的传感器。

外部传感器,用来检测机器人所处环境状况的传感器。具体有物体探伤传感器、距离传感器、力觉传感器、听觉传感器、化学元素检测传感器、温度传感器,以及机器视觉装置、三维激光扫描装置等。

- 机器人运动规划方法的研究 机器人运动规划包括序列规划(又可称为全局路径规划)、路径规划和轨迹规划 3 个部分。序列规划是指在一个特定的工作区域中自动生成一个从起始作业点开始,经过一系列作业点,再回到起始点的最优工作序列;路径规划是指在相邻序列点之间通过一定的算法搜索一条无碰撞的机器人运动路径;轨迹规划是指通过插补函数获得路径上的插补点,再通过求解运动学逆解转换到关节空间(若插补在关节空间进行则无需转换),形成各关节的运动轨迹。

- 机器人编程语言 机器人编程语言是机器人和用户的软件接口,编程语言的功能决定了机器人适应性和给用户的方便性。至今还没有完全公认的机器人编程语言,通常每个机器人制造厂都有自己的机器人语言。

实际上,机器人编程与传统的计算机编程不同,机器人手部运动在一个复杂的空间的环境中,还要监视和处理传感器的各种信息。因此,其编程语言主要有两类:面向机器人的编程语言和面向任务的编程语言。

面向机器人的编程语言的主要特点是描述机器人的动作序列,每一条语句大约相当于机器人的一个动作,主要有以下 3 种:

- ① 专用的机器人语言,如 PUMA 机器人的 VAL 语言,是专用的机器人控制语言。

- ② 在现有的计算机语言的基础上加机器人子程序库,如美国机器人公司开发的 AR-BASIC 和 Intelledex 公司的 Robot BASIC 语言,都是建立在 BASIC 语言基础上的。

- ③ 开发一种新的通用语言加上机器人子程序库,如 IBM 公司开发的 AML 机器人语言。

面向任务的机器人编程语言允许用户发出直接命令,以控制机器人去完成一个具体的任务,而不需要说明机器人需要采取的每一个动作到细节。如美国的 RCCL 机器人编程语言,就是利用 C 语言和一组 C 函数来控制机器人运动的任务级机器人语言。

1.7 机器人的应用

机器人已在许多工业部门或服务部门获得广泛应用,机器人尤其适合在那些人类无法工作的环境中工作。它们可以比人类工作得更好并且成本更低。例如,因为焊接机器人能够更均匀、一致地运动,因此它可以比焊接工人焊得更好。此外,机器人无须焊接工人工作时使用的护目镜、防护服、通风设备及其他必要的防护措施。因此,只要焊接工作可以设置成由机器人自动操作而不再做其他改变,而且该焊接工作也不是太复杂,那么,由机器人来完成这类工

作会更合适,并能显著提高生产效率。同样,水下勘探机器人远不像人类潜水员工作时那样需要太多的安全关注,水下机器人可以在水下停留更长的时间而不需要换气,能潜入更深的水底去承受巨大的压力。

以下列举了机器人的一些应用场合。如果注意观察,会发现这些列举的应用并不全面,机器人还有许多其他用途。所有这些用途正逐步渗入工业和社会的各个方面。

- 取放操作 指机器人抓取零件并将它们放置到其他合适位置。它包括码垛、填装弹药、食品装箱、将工件放入热处理炉等操作。

- 焊接 机器人与焊枪及相应配套装置将部件焊接到一起,这是机器人在自动化工业中最常见的一种应用。使用机器人进行焊接作业,可保证焊接的一致性和稳定性,克服人为因素带来的不稳定性,提高产品质量和工作效率,而且改善了劳动条件,同时减轻了劳动强度。

- 喷漆 这是一种常见的机器人的应用。我国从事喷漆工作的工人超过 30 万,喷漆一向被列为有害工种,用机器人代替人进行喷漆势在必行,而且用机器人喷漆还具有节省漆料、提高劳动效率和产品合格率等优点。

- 装配 这是机器人的所有任务中最难的一种操作。通常,将元件装配成产品需要有很多操作。例如,必须首先定位和识别元件,再以特定的顺序将元件移动到规定的位置,然后将元件固定在一起进行装配。许多固定和装配任务也非常复杂,需要推压、旋拧、弯折、扭动、挤压及摘标牌等操作才能将元件连接在一起。

- 制作 用机器人进行制造包含许多不同的操作,例如材料去除、钻孔、除毛刺、涂胶、切削等。同时也包括插入零部件,如将电子元件插入电路板、将电路板安装到盒式磁带录像机的电子设备上及其他类似操作。

- 医疗应用 达芬奇手术机器人由美国 Intuitive Surgical 公司生产,如图 1.2 所示。达芬奇手术机器人由 3 部分组成:外科医生控制台、机械臂系统、成像系统。主刀医生坐在外科医生控制台中,位于无菌区之外,使用双手(通过操作两个主控制器)及脚(通过脚踏板)来控制器械和一个三维高清内窥镜。床旁机械臂系统(patient cart)是达芬奇手术机器人的操作部件,由 4 个机器手臂组成。助手医生在无菌区内机械臂系统边工作,负责更换器械和内窥镜。成像系统(video cart)内装有外科手术机器人的核心处理器以及图像处理设备,达芬奇手术机器人的内窥镜为高分辨率三维(3D)镜头,具有 10 倍以上的放大倍数,使主刀医生较普通腹腔



图 1.2 达芬奇手术机器人