

智能机器人技术与产业系列规划丛书

AR新形态立方书教材



Robot Technology and
Applications

机器人技术 及其应用

(第二版)

朱世强 王宣银 主编

 ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

智能机器人技术与产业系列规划丛书

AR新形态立方书教材

Robot Technology and Applications

机器人技术 及其应用

(第二版)

朱世强 王宣银 主编

图书在版编目(CIP)数据

机器人技术及其应用/ 朱世强,王宣银主编. —2
版. —杭州: 浙江大学出版社, 2019.6
ISBN 978-7-308-18608-7

I.①机… II.①朱… ②王… III.①机器人技术—
高等学校—教材 IV.①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 207996 号

机器人技术及其应用(第二版)

朱世强 王宣银 主编

责任编辑 吴昌雷

责任校对 王 波

封面设计 程 晨

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: [http:// www.zjupress.com](http://www.zjupress.com))

排 版 杭州林智广告有限公司

印 刷 杭州钱江彩色印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 24.5

字 数 616 千

版 印 次 2019 年 6 月第 2 版 2019 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-18608-7

定 价 78.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

序 言

机器人、人工智能和生物工程是当前最热门的技术,也是即将到来的产业化风口。机器人既是核心技术,又是核心技术的载体,它的身份和作用不言而喻,已经成为世界各国战略布局的焦点,加快推动机器人发展已成为共识和国家战略。机器人技术是一门多学科综合交叉的学科,它涉及机械、电子、力学、控制理论、传感检测、人工智能、计算机和互联网技术。已大量应用于毛坯制造、机械加工、焊接、装配、检测、采摘等作业中。比尔·盖茨曾预言,机器人将重复个人电脑崛起的道路,成为下一个改变世界的技术。近年来机器人在我国迅猛发展,“机器换人”势不可挡,已成为潮流。

但是,机器人热潮的背后是一个巨大而急切的人才缺口。机器人人才的培育是一项重要工程。除了机器人研发高端人才外,还需要大批机器人使用、维护保养、二次开发等人才。人才的培育首先需要好的教材和参考书籍。

《机器人技术及应用》第一版至今快 20 年了,该书得到很多高等院校和职业院校及相关从业技术人员的青睐。随着机器人技术的长足进步和飞速发展,第一版在很多方面显得不足。本书是在第一版基础上,更新了原有的一些过时的内容,并增加了机器人智能控制、机器人示教与机器人编程语言以及机器人关键部件等三章内容。本书第 1 章由朱世强、王志编写,第 2、10 章由叶绍干编写,第 3、7、8、11 章由陈正编写,第 5 章由刘昊编写,第 4、6、9 章由王滔编写,第 12 章由王宣银编写,第 13 章由王志、刘昊编写。

通过对《机器人技术及其应用》的学习,使学生掌握机器人结构设计、运动学、动力学、规划、传感检测、控制和使用的基础理论等技术要点。通过这门课的学习,使学生对机器人有一个全面、深入的认识。培养学生对机器人的综合理解和创新设计能力。

本书再版仍然是在许多前辈工作基础上,大量参考了国内外有关专家的著作书籍编写而成的,在此表示衷心感谢!同时,书中依然会有一些错误和不足,敬请各位学者批评指正。

作者

于求是园 2018 年岁末

第1章 概述

1.1 引言	1
1.2 机器人的概念	1
1.3 机器人发展历史	3
1.3.1 机器人发展历程	3
1.3.2 机器人发展现状	7
1.3.3 机器人发展方向	12
1.4 机器人分类	14
1.4.1 固定式机器人	15
1.4.2 移动式机器人	18
思考题	24

第2章 机器人的总体和机械结构设计

2.1 机器人的基本组成及技术参数	25
2.1.1 机器人的基本组成	25
2.1.2 机器人的技术参数	26
2.2 机器人总体设计	30
2.2.1 系统分析	30
2.2.2 技术设计	30
2.2.3 仿真分析	33
2.3 机器人机械系统设计	33
2.3.1 机器人驱动方式	33
2.3.2 关节驱动方式	36
2.3.3 材料的选择	38
2.4 传动部件设计	39
2.4.1 关节	39
2.4.2 传动件的定位和消除	42
2.4.3 机器人传动机构	46
2.5 行走机构设计	53
2.5.1 轮式机器人	53
2.5.2 足式机器人	55
2.5.3 履带式机器人	59
2.5.4 其他行走机器人	60
2.5.5 行走机构设计应注意的问题	61

2.6	机身设计	61
2.6.1	机身的典型结构	61
2.6.2	机身驱动力(力矩)计算	62
2.6.3	机身平衡系统	64
2.6.4	机身设计要注意的问题	65
2.7	臂部设计	65
2.7.1	臂部设计的基本要求	65
2.7.2	臂部的典型机构	66
2.7.3	臂部运动驱动力计算	67
2.8	腕部设计	68
2.8.1	腕部的自由度和设计时应注意的问题	68
2.8.2	腕部的典型结构	69
2.8.3	腕部驱动力矩的计算	72
2.9	手部设计	73
2.9.1	机器人手部的功能	73
2.9.2	手部的分类及工作原理	73
2.9.3	空气负压式吸盘吸力的计算	77
2.9.4	典型的机器人手爪	78
2.9.5	关节式机械手设计	81
	思考题	85

第3章 机器人运动学

3.1	刚体的位姿描述	86
3.1.1	位置的描述	86
3.1.2	方位的描述	87
3.1.3	位姿的描述	87
3.1.4	手爪坐标系	87
3.2	坐标变换	88
3.2.1	坐标平移	88
3.2.2	坐标旋转	88
3.2.3	一般变换	89
3.3	齐次坐标和齐次变换	89
3.3.1	齐次坐标	89
3.3.2	齐次变换	90
3.4	齐次变换矩阵的运算	91
3.5	机器人常用坐标系及变换方程	93
3.6	欧拉变换与 RPY 变换	95
3.6.1	欧拉角与欧拉变换	95



3.6.2 RPY 角与 RPY 变换	96
3.6.3 机械手欧拉腕和 RPY 腕	97
3.7 机器人连杆参数及 D-H 坐标变换	98
3.7.1 连杆参数	99
3.7.2 连杆坐标系及连杆的 D-H 坐标变换	100
3.8 机器人运动学方程	101
3.8.1 运动学方程	101
3.8.2 典型机器人运动学方程	102
3.9 机器人逆运动学	110
3.9.1 机器人运动学逆解有关问题	110
3.9.2 典型臂运动学逆解	111
3.9.3 机器人运动学逆解	114
思考题	117

第 4 章 微分运动和雅可比矩阵

4.1 雅可比矩阵的定义	120
4.2 微分运动与广义速度	121
4.3 雅可比矩阵的构造法	123
4.3.1 矢量积法	124
4.3.2 微分变换法	124
4.4 PUMA560 机器人的雅可比矩阵	126
4.5 斯坦福机器人的雅可比矩阵	128
4.6 逆雅可比矩阵及广义逆雅可比矩阵	129
4.6.1 逆雅可比矩阵	129
4.6.2 广义逆(伪逆)雅可比矩阵	129
4.6.3 雅可比矩阵的奇异性	131
4.7 力雅可比	131
4.8 加速度关系	132
思考题	132

第 5 章 机器人动力学

5.1 牛顿—欧拉动力学方程	134
5.1.1 连杆相对基座的运动学	134
5.1.2 连杆运动学的递推关系式	136
5.1.3 质心的速度和加速度	136
5.1.4 连杆动力学递推关系式	137
5.1.5 牛顿—欧拉运动方程	138

5.1.6	改进牛顿—欧拉算法	138
5.1.7	牛顿—欧拉动力学方程举例	140
5.2	拉格朗日动力学	142
5.2.1	拉格朗日函数	143
5.2.2	机器人系统动能	143
5.2.3	机器人系统势能	143
5.2.4	拉格朗日方程	143
5.2.5	拉格朗日动力学举例	144
5.3	关节空间和操作空间动力学	145
5.3.1	关节空间动力学方程	145
5.3.2	操作空间动力学方程	145
5.3.3	关节力矩—操作运动方程	146
	思考题	146

第6章 轨迹规划和生成

6.1	机器人规划基本概念	147
6.1.1	机器人规划	147
6.1.2	机器人轨迹规划	148
6.2	关节空间法	149
6.2.1	任务轨迹到关节轨迹的转换	149
6.2.2	三次多项式函数插值	150
6.2.3	抛物线连接的线性函数插值	154
6.2.4	B样条轨迹规划	159
6.2.5	时间最优轨迹规划	160
6.3	直角坐标空间法	163
6.3.1	线性函数插值	163
6.3.2	圆弧插值	165
6.3.3	定时插值与定距插值	167
6.3.4	基于四元数的插值	168
6.3.5	与关节空间法的比较	170
6.4	轨迹的实时生成	171
6.4.1	采用关节空间法时的轨迹生成	171
6.4.2	采用直角坐标空间法的轨迹生成	173
6.5	路径的描述	174
6.6	进一步的规划研究	174
6.6.1	利用动力学模型的轨迹规划	174
6.6.2	任务规划	175
	思考题	176



第7章 机器人运动与力控制

7.1 机器人控制综述	177
7.1.1 机器人控制系统的特性和基本要求	177
7.1.2 机器人控制方法的分类	178
7.1.3 机器人控制系统的硬件构成	183
7.1.4 机器人软件伺服控制器	185
7.2 机器人独立关节控制	186
7.2.1 以直流伺服电动机为驱动器的单关节控制	187
7.2.2 以交流电机为驱动器的单关节控制	191
7.3 基于连杆动力学的运动控制	193
7.3.1 重力补偿 PD 控制	194
7.3.2 计算力矩控制	196
7.3.3 操作空间直接控制	198
7.3.4 运动控制方法总结	200
7.4 机器人的力控制	200
思考题	213

第8章 机器人智能控制

8.1 机器人鲁棒控制	214
8.2 机器人自适应控制	219
8.3 机器人神经网络控制	222
8.4 机器人的模糊控制	224
8.4.1 模糊控制简述	224
8.4.2 机器人模糊控制	226
思考题	228

第9章 机器人示教与机器人编程语言

9.1 机器人示教方法	229
9.1.1 位置和姿态信息示教法	229
9.1.2 顺序信息示教法	232
9.1.3 运动条件与作业条件示教法	233
9.2 机器人示教信息的使用	234
9.3 机器人编程语言类型	236
9.3.1 动作级编程语言	237
9.3.2 对象级编程语言	238

9.3.3	任务级编程语言	238
9.4	机器人编程系统结构与功能	239
9.4.1	编程语言系统的结构	239
9.4.2	编程语言系统的基本功能	239
9.5	常见的机器人编程语言	241
9.5.1	VAL 语言	241
9.5.2	AL 语言	243
9.5.3	SIGLA 语言	244
9.5.4	IML 语言	244
9.6	机器人离线编程系统	245
9.6.1	离线编程的主要内容	245
9.6.2	离线编程系统的结构	246
9.6.3	离线编程系统的自动子任务	248
9.7	典型机器人示教编程方法	249
9.7.1	KUKA 机器人	250
9.7.2	ABB 机器人	251
9.7.3	新松机器人	252
9.7.4	示教编程实例	253
	思考题	255

第 10 章 机器人关键部件

10.1	高精度减速机	256
10.1.1	RV 减速机	256
10.1.2	谐波齿轮减速机	258
10.1.3	行星齿轮减速机	261
10.1.4	减速机的选型	263
10.2	伺服电机	263
10.2.1	直流伺服电机	264
10.2.2	交流伺服电机	267
10.2.3	伺服电机的选型	269
10.3	伺服驱动器	272
10.3.1	伺服驱动器的结构	272
10.3.2	伺服驱动器的伺服参数	274
10.3.3	伺服驱动器的控制方式	275
10.4	控制器	275
10.4.1	运动控制器简介	276
10.4.2	运动控制器的功能	278
10.4.3	运动控制器的架构	279



10.4.4 运动控制器的分类	283
10.4.5 常用运动控制器简介	285
10.4.6 运动控制器的优缺点	288
10.4.7 新型机器人控制器	288
思考题	289

第 11 章 机器人传感器

11.1 传感器基本分类	290
11.1.1 静态特性	291
11.1.2 动态特性	291
11.2 内传感器	292
11.2.1 位置、位移传感器	292
11.2.2 速度传感器	302
11.2.3 加速度传感器	306
11.3 外传感器	308
11.3.1 力觉传感器	308
11.3.2 触觉传感器	320
11.3.3 视觉传感器	322
11.4 其他功能传感器	327
11.4.1 激光雷达	327
11.4.2 惯性导航系统	328
思考题	330

第 12 章 机器人视觉技术

12.1 机器人视觉系统的基本原理	331
12.2 摄像机的图像生成模型	332
12.2.1 摄像机的几何模型	332
12.2.2 摄像机的光学模型	335
12.3 图像的初级处理	337
12.3.1 图像的预处理	337
12.3.2 图像的分离方法	340
12.3.3 图像的重心位置及惯性矩计算	343
12.4 单目立体成像模型	344
12.5 机器人双目视觉技术	345
12.5.1 双目立体视觉的基本概念	345
12.5.2 双目立体视觉测距原理	347
12.6 机器人视觉系统实例	349
12.6.1 激光辅助机器人视觉系统	349

12.6.2 利用视觉识别抓取工件的机器人系统	351
12.6.3 其他机器人视觉系统实例	352
思考题	353

第 13 章 机器人的应用

13.1 工业机器人	354
13.1.1 焊接机器人	354
13.1.2 喷涂机器人	358
13.1.3 装配机器人	360
13.1.4 移动搬运机器人(AGV)	362
13.1.5 巡检机器人	368
13.2 服务机器人	370
13.2.1 家庭服务机器人	370
13.2.2 专用服务机器人	373
13.3 农业机器人	374
13.4 医用机器人	375
13.5 军事机器人	375
思考题	376
参考文献	377



概 述

1.1 引言

一般人对于机器人的印象主要停留在科幻片中,机器人不但与人外表一样,还能与人正常沟通交流,同时还比人在某些方面具有更加突出的能力,比如计算、分析等。甚至在某些电影中,机器人已经超越了人类,并且企图控制人类,由于机器人本身具有了思维能力,人类难以与机器人进行对抗。因此,在一般人眼中机器人是无所不能的,它聪明、能够替代人类工作,但是也存在着超越人类的风险。但电影所描述的终究只是人类的想象以及憧憬。经过几十年的发展,机器人技术得到了空前的发展和广泛的应用。以前停留在人类想象中的机器人目前正逐步进入我们的生活。工业领域,自动化生产线已经部分替换人类的重复性劳动,提高生产效率,降低成本;家庭领域,自动清洁机器人、家庭陪伴机器人等已经开始为人们的生活带来了方便;公共服务领域,引导机器人、送餐机器人等已经开始进入人们的视野,为人类提供友好的服务;军事领域,无人作战车、无人机等已经开始在战场上发挥重要的作用。尤其是在产业领域,机器人的应用已经有几十年的历史了。也许我们身边的很多产品就出自机器人之手。

机器人技术及应用涉及很多专业的知识领域,如机械、控制、软件、传感、液压、材料等,需要各个专业知识的深度融合,才能造就好的机器人。因此,任何个人都无法单独完成所有的研究工作。本书实际上也是总结了前人包括当前机器人领域的研究成果,并参照了国内外专家大量的公开资料。但为避免烦琐,书中并不一一指出资料的出处,在此向在机器人研究领域做出成就的所有科学家致敬,向给我们启发和帮助的所有专家学者表示衷心的感谢。

1.2 机器人的概念

我们一直试图为自己的研究对象下一个明确的定义——就像其他所有的技术领域一样——但始终未能如愿。关于机器人的概念,真有点像盲人摸象,仁者见仁,智者见智,甚至连科幻作家也要凑凑热闹。在此,摘录一些有代表性的关于机器人的定义。

牛津字典:

automation with human appearance or functioning like human.

科幻作家阿西莫夫提出的(机器人三原则):

- 第一,机器人不能伤害人类,也不能眼见人类受到伤害而袖手旁观;
- 第二,机器人必须绝对服从人类,除非人类的命令与第一条相违背;
- 第三,机器人必须保护自身不受伤害,除非这与上述两条相违背。

日本著名学者加藤一郎提出的(机器人三要件):

- 1. 具有脑、手、脚等要素的个体;
- 2. 具有非接触传感器(眼、耳等)和接触传感器;
- 3. 具有用于平衡和定位的传感器。

美国机器人协会(RIA, Robot Institute of America):

A reprogrammable multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.

日本工业机器人协会(JIRA, Japanese Industrial Robot Association):

An all-purpose machine equipped with a memory device and an end-effector, and capable of rotation and of replacing human labor by automatic performance of movements.

世界标准化组织(ISO):

A robot is a machine which can be programmed to perform some tasks which involve manipulative or locomotive actions under automatic control.

中国:

工业机器人是一种能自动定位控制,可重复编程的,多功能多自由度的操作机,它能搬运材料零件或夹持工具,用以完成各种作业。

细细分析以上定义,可以看出,针对同一对象所做的定义,其内涵有很大的区别,有的注重其功能,有的则偏重于结构,这也就难怪对同一国家关于机器人数量的统计,不同资料的数据会有很大的差别。

虽然现在还没有一个严格而准确的普遍被接受的机器人定义,但我们还是希望能对机器人做某些本质性的把握:

第一,机器人是机器而不是人,它是人类制造的替代人类从事某种作业的工具,它只能是人的某些功能的延伸,在某些方面,机器人可具有超越人类的能力,但本质上说机器人永远不可能超越人类。

第二,机器人在结构上具有一定的仿生性。很多工业机器人模仿人的手臂或躯体结构,以求动作灵活。海洋机器人则在一定程度上模仿了鱼类结构,以期得到最小的海水阻力。

第三,现代机器人是一种机电一体化的自动装置,其典型特征之一是机器人受微机控制,具有(重复)编程控制的功能。



1.3 机器人发展历史

1.3.1 机器人发展历程

关于机器人这一思想的渊源,可以追溯到遥远的古代。在古希腊、中国和日本的历史文献中都有自动玩偶和自动作业机的记载,记录了古人设计自动机械替代人工劳动或从事娱乐的实践活动。据先秦时期《考工记》中的一则寓言记载,中国的偃师(古代一种职业)用动物皮、木头、树脂制出了能歌善舞的伶人,不仅外貌完全像一个真人,而且还有思想感情,甚至有了情欲。这虽然是寓言中的幻想,但其利用了当时的科技成果,是中国最早记载的木头机器人雏形。它们在不同程度上体现了人类拓展自身能力、甚至是自我复制的原始思想。500 多年前,达·芬奇在人体解剖学的知识基础上利用木头、皮革和金属外壳设计出了初级机器人,如图 1-1 所示。根据记载,这个机器人以齿轮作为驱动装置,肌体间连接传动杆,还配置了自动鼓装置,不仅可以完成一些简单的动作,还能发声。当然,现代人并不能完全确定达·芬奇是否真的造出了这个机器人,但根据其设计倒是可以还原出堪称世界上第一个人性机械的“铁甲骑士”。

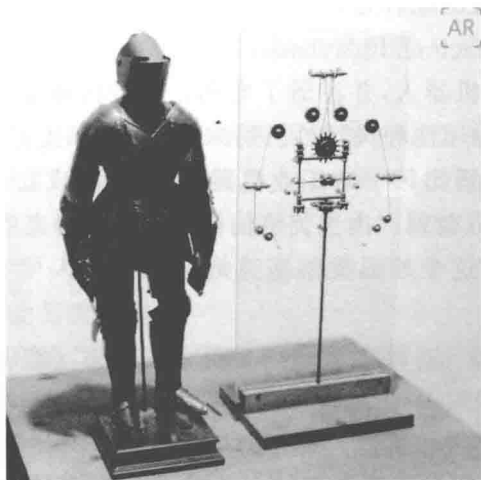


图 1-1 达·芬奇设计的初级机器人

“机器人”这个词最早出现在捷克斯洛伐克作家卡雷尔·恰佩克的科幻小说中,他根据 Robot(捷克文,原意为“劳役、苦工”)和 Robotnik(波兰文,原意为“工人”),创造出“机器人”(Robot)这个词。

1939 年,美国纽约世博会上展出了西屋电气公司制造的家用机器人 Elektro。它由电缆控制,可以行走,会说 77 个字,甚至可以抽烟,不过离真正干家务活还差得远,但它让人们对于家用机器人的憧憬变得更加具体。

现代机器人的出现是 20 世纪中期的事情。当时,数字计算机已经出现,电子技术也有了长足的发展,在产业领域出现了受计算机控制的可编程的数控机床,使得与机器人技术相关的控制技术和零部件加工有了扎实的基础;另一方面,人类需要开发自动机械替代人去从事一些恶劣环境下的作业,比如在原子能的研究过程中,由于存在大量辐射,要求用某种操作机械代替人处理放射性物质。正是在这一需求背景下,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

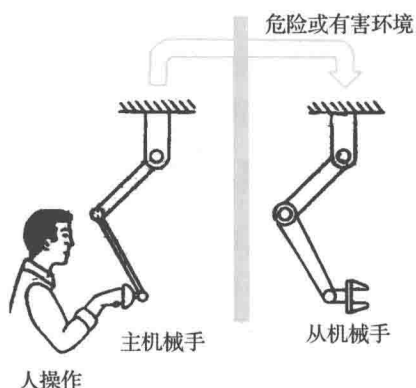


图 1-2 主从机械手

的主从机械手(图 1-2);它由两个结构相似的机械手组成,主机械手在控制室,从机械手在有辐射的作业现场,两者之间有透明的防辐射墙相隔,操作者用手操纵主机械手,控制系统会自动检测主机械手的运动状态,并控制从机械手跟随主机械手运动。这种被称为主从控制的机器人控制方式,至今仍在很多场合得到应用。

1954 年,美国的德沃尔(G. C. Devol)提出了一种“通用重复操作机器人”的方案,并申请了专利。其要点是用伺服技术控制机器人的关节,借助人手对机器人进行示教,机器人能够记录相关的动作过程并能自动重复这一过程。这就是后来被广泛使用的称之为示教再现(teach and playback)的机器人控制方式。1956 年德沃尔制造出世界上第一台可编程的机器人,并注册了专利。这种机械手能按照不同的程序从事不同的工作,因此具有通用性和灵活性。后来,在此基础上,1959 年德沃尔与英格伯格(Engelberge)联手制造出第一台工业机器人。随后,成立了世界上第一家机器人制造工厂——Unimation 公司。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传,他也被称为“工业机器人之父”。这个外形类似坦克炮塔的机器人可实现回转、伸缩、俯仰等动作。

1962 年,美国 AMF 公司生产出“VERSTRAN”(意思是万能搬运),它与 Unimation 公司生产的 Unimate 一样成为真正商业化的工业机器人,并出口到世界各国,掀起了全世界对机器人和机器人研究的热潮。从这开始,传感器便在机器人上得到了广泛的应用。1962 年托莫维奇和博尼成功地将压力传感器用于机器人上,1963 年麦卡锡在机器人上加入视觉系统,并于 1964 年推出世界上第一款具有视觉定位功能的机器人系统。1965 年约翰·霍普金斯大学应用物理实验室研制出带有声呐系统以及光电管等装置的 Beast 机器人,可以感知周边环境并进行定位。1968 年,美国斯坦福研究所公布他们研发成功的机器人 Shakey,它带有视觉传感器,能根据人的指令发现并抓取积木。Shakey 可以算是世界第一台智能机器人。

从 20 世纪 70 年代开始,机器人技术的研究重点被放在对外部传感器和控制方法的研究上,1973 年,博尔斯大林保罗在斯坦福大学的研究中,给机器人设计了视觉和



力反馈系统,并用 PDP-10 计算机进行控制,这种被称为“斯坦福”的机械手被用在水泵的装配线上,并且取得了成功。1975 年,IBM 公司研制成功一种带有触觉和力觉传感器的机械手,用于打字机的装配作业。1974 年,德雷珀实验室的内文斯等人研究了基于依从性的传感技术,这项研究发展成为后来的 RCC,即被动柔顺或叫间接中心柔顺,它被安装在机器人的最后一个关节上。在 20 世纪 70 年代后期,Unimation 公司推出了 PUMA 型系列机器人,这是一种各关节由伺服电机驱动的多关节型两级 CPU 控制,使用专用的机器人语言(VAL)的机器人系列,其中的部分产品上配有机器人视觉和力觉系统。

20 世纪 80 年代和 20 世纪 90 年代,在着重解决机器人感觉的同时,人机接口和机器人与环境的交互接口方面也有了较大进步。更为重要的是,随着计算机技术和人工智能技术的发展,让机器人模仿人进行逻辑推理的研究也如火如荼地开展起来,出现了所谓的第三代机器人,即智能机器人。它应用人工智能、模糊控制、神经网络等先进控制方法,使机器人具有自主判断和自主决策等初等智能。另一方面,随着机器人相关支撑技术的不断完善,如新型传感器、新材料和新的通信方法等技术的应用,机器人应用领域不断扩展。比如,深海探测机器人,在无缆操作的情况下能下潜数千米进行作业,又比如,1997 年登上火星的太空机器人,在忍受极端恶劣的太空环境的情况下,还要克服地面控制命令严重滞后的困难,在火星表面从事科考活动……所有这些表明,机器人技术是一门与很多学科相关的综合技术,正因为如此,机器人技术的发展,尤其是本质性的技术突破(如从第二代机器人发展到第三代机器人),都明显地带有相关学科发展的烙印。

同时期人工智能发展呈壮大之势。美国人工智能协会的第一次年会在 20 世纪 80 年代初召开,几年后人们见证了艺术机器人 AARON 的诞生。AARON 能够创作抽象派画作,其作品还在泰特画廊和旧金山现代艺术博物馆进行了展出。1989 年,卡内基·梅隆大学教授迪恩·波美勒(Dean Pomerleau)打造了“ALVINN”,使用神经网络技术实现了初级的自动驾驶功能。

从 20 世纪 90 年代开始,机器人开始走向普通消费者。日本人在 1996 年推出数码宠物 Tamagotchi,虽然该产品没有被冠以机器人之名,不过其交互却是相似的。Tamagotchi 是一个手持大小的数码宠物,需要用户提供数字化的照料,比如“喂食”“游戏”和“洗澡”等。20 世纪 90 年代的机器人甚至能达到互相之间举行机器人运动会的程度,其中最著名的例子便是 1997 年第一届官方 RoboCup 仿人机器人足球赛,40 支机器人组成的参赛队伍彼此之间展开桌面足球的较量。1998 年,丹麦乐高公司推出了机器人套件,让机器人的制造变得像搭积木一样简单,而且能任意组合,激发儿童的创意。

进入 21 世纪后,机器人的应用领域越来越宽,由 95% 的工业应用扩展到更多领域的非工业应用,像做手术、采摘水果、排雷、潜海机器人、空间机器人等。美国“发现号”航天飞机于 2012 年成功将首台人形机器人“R2”送入国际空间站。R2 可以像宇