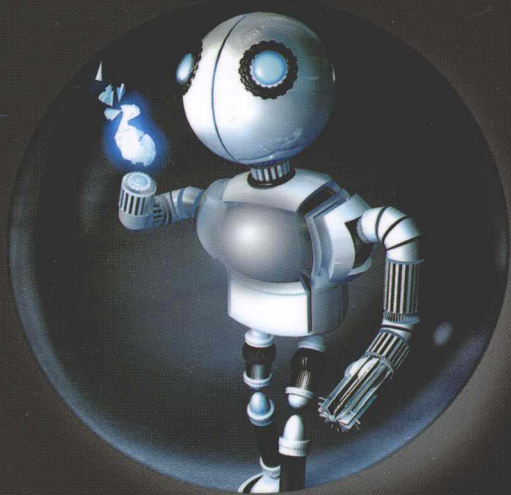


ROBOTICS CREATIVE DESIGN



机器人技术 创意设计

★ 赵小川 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

机器人技术创意设计

赵小川 编著

北京航空航天大学出版社

前言

随着精密制造技术、信息处理技术、计算机技术、传感器技术和智能控制理论的飞速发展,科研人员对机器人相关技术的研究取得了长足的进步。放眼当今世界,机器人的研究、开发及制造水平标志着一个国家或一个地区的综合科技实力。荟萃着世界高、精、尖科学技术成果及理念的新型机器人体现了一个国家的尖端科技水平。在我国,也有越来越多的人愿意了解机器人、研究机器人、开发机器人。为此,作者及其科研团队,结合多年的机器人研发及教学经验,编写了本书。本书没有空泛地罗列机器人学的相关理论,而是通过一个个具体实例使读者了解机器人技术的实现过程,使读者能够学以致用。

一、内容特点

与同类书籍相比,本书具有如下特色:

(1) 系统全面,循序渐进

全书以“需求分析→理论推导→技术实现→应用实例→前沿展望→创意点睛”为主线,层层递进,实现对机器人技术的“入门、提高、精通、应用、创新”。

(2) 实例丰富,突出创新

本书根据作者近些年来从事机器人技术的教学、科研经验,介绍了十余类机器人的设计制作过程,涉及柔性机器人、爬行机器人、飞行机器人、水下机器人和仿生机器人,并且对每款机器人创意点进行了点睛。

(3) 原理透彻,注重应用

本书不仅详细分析了机器人技术的基础理论,而且更加注重其实现和应用,使读者能够体会到活学活用的乐趣;本书还介绍了几款典型的机器人仿真软件,使读者可以在计算机上按照自己的创意,设计出自己的机器人虚拟样机。值得一提的是本书是国内首本介绍机器人设计仿真一体化专用软件 Webots 的书籍,内容详见本书的 12.1 节。

(4) 图文并茂,语言生动

本书配备了大量新颖的图片,以便提升读者的兴趣;在本书的第 12 章中,还有参加机器人科创比赛的获奖选手与读者分享的经验、心得。

二、结构安排

本书分为两大部分:第1~8章为基础部分,以实例的形式讲解了机器人机构设计技术、运动仿真技术、智能控制技术、机器视觉技术、路径规划技术和导航定位技术;第9~12章为实战部分,介绍了飞行机器人、水下机器人、爬行机器人和虚拟机器人的总体设计过程。

三、读者对象

- 参加“挑战杯”、大学生创新论坛、电子设计大赛等科创活动的读者;
- 对机器人技术感兴趣的读者;
- 机械工程和电子工程相关专业的本科生和研究生;
- 本科毕业设计、研究生学术论文的参与者;
- 相关专业的工程技术人员。

四、致 谢

在本书的编写过程中,常之光博士参与了第2章的编写,徐喆博士参与了第3章的编写,吴帆工程师参与了第4章的编写。

感谢杨成伟、胡海静、李喜玉、寇宇翔、肖伟、王博阳、汪强、刘祥和李阳等博士、硕士在资料的整理和校对过程中所付出的辛勤劳动。

感谢北京理工大学特种机器人创新团队提供的技术支持;感谢东南大学机器鱼创新团队提供的科研资料;感谢胡振华博士提供的图片资料。

感谢我的爷爷奶奶、父母和朋友们对我的支持,使我能够全身心地投入到机器人相关技术的科研工作及本书的编写过程。

因作者时间和水平有限,书中疏漏或不足之处在所难免,敬请读者批评指正。有兴趣的朋友可以发邮件到 zhaoxch1983@sina.com,与作者交流;也可发送邮件到 bhcbxlx@sina.com,与本书的策划编辑进行交流。

赵小川

2012年11月于北京

目 录

第 1 章 认识“机器人”	1
1.1 从“变形金刚”说起	1
1.2 机器人的发展历程	3
1.3 机器人与机器人技术	4
1.4 机器人的组成	6
1.5 现代机器人技术的研发流程	7
1.6 现代机器人设计的关键技术	8
1.6.1 机器人机械设计技术	8
1.6.2 机器人动力学分析	9
1.6.3 机器人虚拟样机技术	10
1.6.4 机器人运动控制技术	12
1.6.5 机器人传感器与信息融合技术	13
1.7 机器人技术常用术语	16
1.8 机器人的应用领域	17
1.9 世界先进机器人赏析	25
1.10 机器人技术的发展趋势	31
第 2 章 仿蚂蚁机器人机构设计及其三维造型实现	35
2.1 Bill - Ant 仿蚂蚁机器人概述	35
2.2 三维造型软件介绍	36
2.3 机器人腿部零部件三维造型	41
2.4 机器人腿部的装配	47
2.5 机器人身体结构的三维建模	51
2.6 机器人整体装配	53
2.7 生成工程图	54

2.8 对 Bill - Ant 机器人的改进	57
第 3 章 仿象鼻机器人造型及其运动仿真	60
3.1 连续体机器人及其应用	60
3.2 仿象鼻机器人概述	61
3.3 造型与仿真软件简介	62
3.3.1 SolidWorks 软件	62
3.3.2 ADAMS 软件	63
3.4 仿象鼻机器人三维模型的建立	65
3.4.1 十字轴万向联轴器的选择与强度校核	65
3.4.2 仿象鼻机器人整体建模	67
3.5 基于 ADAMS 的仿象鼻机器人运动仿真	71
3.5.1 导入三维造型	71
3.5.2 ADAMS 中的仿真设置	72
3.5.3 模型仿真算例	77
第 4 章 六足爬行机器人避障控制技术	81
4.1 六足爬行机器人简介	81
4.2 六足爬行机器人运动分析	82
4.3 控制系统硬件平台设计与实现	83
4.3.1 驱动舵机	83
4.3.2 主控制器	84
4.3.3 电源模块设计	87
4.3.4 基于 Proteus 软件的控制系统仿真	88
4.4 障碍物探测传感器	90
4.5 控制系统软件设计与实现	91
第 5 章 侦察机器人导航定位技术	94
5.1 导航系统的硬件设计与实现	94
5.1.1 GPS 接收板卡的选择及其性能测试	94
5.1.2 信号处理器芯片的选择及外围电路设计	98
5.1.3 GPS 信号接收天线	101
5.1.4 硬件电路、接口设计及其性能测试	102
5.2 导航系统的软件设计与实现	104
5.2.1 GPS 定位数据采集	105
5.2.2 数据坐标转换	108

5.2.3 实时航迹修正	110
第6章 特种机器人超声波测距系统	114
6.1 传统超声波传感器的原理及其应用	114
6.2 伪随机序列及其自相关函数	117
6.3 新型超声波测距系统的测距原理	119
6.3.1 渡越时间的测定	119
6.3.2 超声波传播速度的实时测量	119
6.3.3 信息融合模块	119
6.4 新型超声波测距系统的硬件电路	120
6.4.1 超声波测距系统主控板的设计	120
6.4.2 发射电路	121
6.4.3 接收电路	122
6.4.4 数据采集电路	124
6.5 新型超声波测距系统的软件设计	126
6.5.1 软件设计的理论基础	126
6.5.2 DSP 的初始化程序设计	127
6.5.3 DSP 定时器的设置	130
6.5.4 DSP 数据采集程序设计	131
6.5.5 伪随机序列的产生与相关运算	134
6.6 测距误差补偿	137
6.7 原理样机及其性能测试	138
6.7.1 DSP 控制板的调试	138
6.7.2 DSP 采集模块的调试	139
6.7.3 外围测距电路的调试	140
第7章 警用机器人视觉系统及目标跟踪技术	149
7.1 机器人视觉概述	149
7.2 机器人视觉系统的基本原理	151
7.3 警用机器人	153
7.4 警用机器人视觉系统	154
7.5 目标跟踪算法及其实现	155
7.5.1 算法的整体流程	155
7.5.2 混合高斯背景建模	156
7.5.3 形态学处理	157
7.5.4 基于 Mean Shift 的目标跟踪	157

7.5.5 卡尔曼滤波器预测 Mean Shift 起始点	163
7.5.6 算法的程序实现与优化	163
第8章 移动机器人路径规划技术及其 Mobotsim 仿真	179
8.1 什么是机器人路径规划技术	179
8.2 机器人路径规划方法概述	179
8.2.1 自由空间法	179
8.2.2 图搜索法	180
8.2.3 栅格法	180
8.2.4 基于遗传算法的路径规划	181
8.2.5 人工势场法	181
8.2.6 基于模糊逻辑的路径规划	181
8.3 模糊逻辑及其实现流程	181
8.4 基于模糊逻辑的移动机器人实现及其 Mobotsim 仿真	183
8.4.1 Mobotsim 仿真软件介绍	183
8.4.2 基于模糊逻辑的路径规划在 Mobotsim 仿真软件中的实现	184
第9章 四旋翼无人飞行机器人	189
9.1 四旋翼飞行器简介	189
9.2 四旋翼飞行器工作原理	190
9.3 四旋翼飞行器的机身设计	192
9.4 四旋翼飞行器的控制系统	193
9.4.1 四旋翼飞行器系统总体架构	193
9.4.2 四旋翼飞行器系统硬件选择	193
9.4.3 四旋翼飞行器动力控制系统 PWM 脉冲宽度调制	195
9.4.4 四旋翼飞行器核心控制模块	196
9.4.5 四旋翼飞行器数学模型	196
9.4.6 数字 PID 控制算法及仿真	198
9.4.7 控制系统软件实现	199
9.5 机载侦察传感器选型	201
9.5.1 可见光传感器模型	201
9.5.2 分辨率模型	202
9.5.3 综合分析	203
9.6 四旋翼无人飞行器航拍图像拼接技术	205

第 10 章 仿生机器鱼	213
10.1 仿生机器鱼的优点	213
10.2 游动机理及沉浮实现方法探讨	214
10.3 机器鱼的机构设计	214
10.3.1 摆动机构设计	214
10.3.2 尾部弹性机构设计	217
10.3.3 转弯设计	217
10.3.4 沉浮机构设计	217
10.3.5 骨架及密封设计	219
10.4 机器鱼控制系统硬件设计	220
10.4.1 电机驱动模块设计	221
10.4.2 信号采集与处理模块	226
10.4.3 自动避障模块	228
10.4.4 电源模块设计	228
10.5 机器鱼控制系统软件设计	229
10.6 遥控部分及控制界面设计	230
10.6.1 遥控硬件电路及其实现	230
10.6.2 串口通信仪	233
10.6.3 控制界面及下位机程序	233
第 11 章 仿生多足机器人设计	236
11.1 典型昆虫观测实验与分析	236
11.1.1 实验器材与实验步骤	236
11.1.2 弓背蚁平面行进时的上运动规律	237
11.1.3 弓背蚁攀越障碍时的运动规律	238
11.2 仿生六足机器人的机构设计	239
11.2.1 仿生六足机器人机构模型	239
11.2.2 仿生六足机器人本体设计	239
11.2.3 仿生六足机器人腿部设计	240
11.3 仿生六足机器人运动规划	242
11.3.1 仿生六足机器人步态规划	242
11.3.2 仿生六足机器人越障运动规划	243
11.4 控制系统设计	244
11.4.1 仿生六足机器人控制系统构架	244
11.4.2 仿生六足机器人控制系统的硬件实现	245

11.4.3	基于 CAN 总线的实时通信方案	247
11.4.4	关节伺服系统结构设计	251
11.4.5	关节伺服系统硬件实现	252
11.4.6	仿生六足机器人控制算法设计	253
11.5	足端压力传感器设计及其信息处理	255
11.5.1	基于 FSR 的多足式机器人足端压力传感器设计	255
11.5.2	基于小波变换的信号滤波研究	259
11.6	“落足反射”式仿生六足机器人足端轨迹规划策略及其实现	262
11.6.1	膝跳反射	262
11.6.2	“落足反射”式足端轨迹规划策略	263
11.6.3	轨迹规划策略在仿生六足机器人上的实现	264
第 12 章	机器人 DIY	268
12.1	基于 Webots 仿真软件的机器人设计	268
12.1.1	Webots 软件介绍	268
12.1.2	基于 Webots 仿真软件的智能爬行机器人设计	278
12.1.3	基于 Webots 仿真软件的“先锋”机器人设计	294
12.2	“机器人科创”经验大家谈	300
12.2.1	活学活用,乐在其中	300
12.2.2	激情飞扬,一路成长	303
12.2.3	从挑战杯出发——机器人科创拾遗	306
12.2.4	改变与超越	317
附录 1	仿蚂蚁机器人主要部件工程图	323
附录 2	六足爬行机器人避障控制程序	326
附录 3	Binary 协议的 ID#20 信息块	337
附录 4	GPS 定位数据采集与提取程序	339
附录 5	pioneer2 机器人的运动控制程序	346
参考文献		349

第1章

认识“机器人”

1.1 从“变形金刚”说起

提到“变形金刚”(见图 1.1),我想很多读者朋友应该十分熟悉,我们在沉浸于其跌宕起伏的故事情节和变幻莫测的视觉盛宴中的同时,更多的是点燃了我们的机器人梦想。很多朋友不禁会问,机器人离我们到底有多远?在回答这个问题之前,先一起回顾一下以下两则新闻。

【新闻 1】

“经过近两个月的试验,由中国自主研发的长航程极地漫游机器人顺利通过在南极的‘身体素质’测验,并在内陆冰盖地区完成了 30 km 的自主行走。这是中国机器人首次在南极冰盖实现自主行走。

如图 1.2 所示,这个机器人重约半吨,可在极地 -40°C 的低温环境中作业。橘红色的机器人看上去就像一辆越野吉普车,其车体采用越野车底盘悬挂技术进行设计,4 个车轮均换成三角履带,以提高其在极地冰雪地面上的行走能力。它还配有一套自主驾驶系统,可以实现极地冰雪地

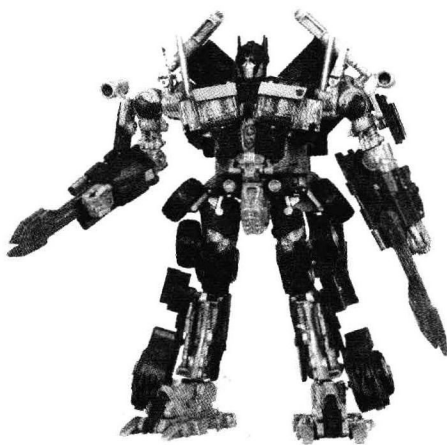


图 1.1 变形金刚

形地面环境识别及评估、定位导航和自动驾驶等功能。来自中国科学院沈阳自动化研究所的卜春光和陈成是此次“极地机器人实地考察与应用研究项目”的现场执行人。从 2011 年 12 月 9 日到 2012 年 2 月 5 日,他们先后在中山站附近和内陆出发集结地附近的冰盖地区,对机器人进行了移动机构性能测试、探冰雷达搭载试验以及长距离自主行走测试,并达到预期目标。据悉,长航程极地漫游机器人的最终目标是能够对埃默里冰架约 6 万平方千米区域进行自主科学考察。此次在内陆冰盖地区自主行走 30 km 只是一个开始。长航程自主行走是极地机器人完成无人科考任务所需的一项基本能力,直接关系到机器人可以在多大范围内作业。科研人员回国后将根

据此次试验获取的数据,对机器人设计继续进行改进和优化。

作为一种智能化装备,机器人可以延伸科学家的眼睛和手脚,实现漫游、观测、采样等功能,对大范围、深层次的极地探测具有重要意义,同时也可以尽量避免因极地恶劣的气候和自然条件给科考人员带来的风险。”

——摘自“中央政府门户网站(www.gov.cn)”



图 1.2 正在南极冰盖地区进行测试的长航程极地漫游机器人

【新闻 2】

“东京电力公司提供的 2011 年 4 月 17 日拍摄的照片显示(见图 1.3),机器人在福岛第一核电站 3 号反应堆所在建筑内作业。为尽量避免工作人员遭受辐射,东京电力公司于 17 日开始利用美国制造的机器人测量福岛第一核电站 3 号机组所在建筑内的放射线剂量、温度和氧气浓度等数据。今后,公司将利用这些数据分析是否可以让工作人员进入。”

——摘自“中国网(www.china.com.cn)”



图 1.3 机器人在福岛第一核电站 3 号反应堆所在建筑内作业

由此可见,机器人已在人类社会中得到了应用,并逐步渗透到人们的日常生活之中。中国科学院、中国工程院院士宋健指出:“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”。

1.2 机器人的发展历程

从使用火种开始,人类文明的历史也就是人类认识和改造自然界包括人类自身在内的历史。在文明火种传承、延续、发展的历程中,为了突破自身能力的局限,人类学会了制造和使用工具,从而使自身肢体与感官的功能得到了拓展和延伸。到了近代,人类制造出了以电子计算机为代表的各种信息处理和计算的工具,进一步拓展和延伸了人类大脑的功能。机器人的诞生和其相关技术的发展,更是大大提升了人类的自身能力,成为20世纪人类科学技术的重大成就之一。微软公司的创始人比尔·盖茨曾向世界预言:“30年后,机器人将像计算机一样迈入千家万户,彻底改变人类的生活方式”。

人类对机器人的憧憬可以追溯到三千多年前。长久以来,人类一直渴望制造一种像人一样的机器,以便将人类从繁杂的劳动中解脱出来。我国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中记载的能抓老鼠的自动木人、古希腊诗人 Homeros 在《伊利亚特》中描绘的用黄金制造的美丽侍女以及希腊神话《阿鲁哥历险船》中的青铜巨人 Taloas,无一不体现着机器人的特征与功能。1774年,瑞士钟表匠德罗斯父子制造出了可由凸轮控制、弹簧驱动的写字偶人、绘图偶人和弹琴偶人;同年,法国人杰夸特设计出了机械式可编程织布机;1893年,加拿大人摩尔设计出了一种以蒸汽为动力、可平稳行走的步行装置。这些都标志着人类在从机器人梦想到现实这一漫长道路上取得的实质性进步。

1920年,捷克作家卡雷尔·佩克(Karel Capek)在其幻想情节剧《罗萨姆的万能机器人》中描述了一个名为 R. U. R 的工厂,为将人类从繁重而乏味的工作中解放出来,制造出一种与人类相似,但能不知疲倦工作的机器奴仆,取名为 ROBOTA。Robot(机器人)一词由此演化而来。

现代机器人的研究始于20世纪中期。1954年,美国人乔治·德沃尔(George Devol)研制出第一台电子可编程关节传送装置,它使用示教再现控制方式,取得了很好的控制效果,也因此促进该技术得到飞速发展。随后应运而生的数控技术和机械手,将工业机器人推上了舞台,成为现代加工制造业的中坚力量。

1960年,美国 Unimation 公司根据 Devol 的专利技术研制出第一台工业机器人样机,并定型生产工业机器人 Unimate。该机器人将数控机床的重放特性与 Roy-monad Goetz 研制的遥控机械手的伺服控制能力结合起来,具有了优良的操控性能。1962年,美国 General Motors 公司在压铸件生产线上安装了第一台工业机器人 Unimate(见图 1.4),标志着第一代机器人的正式诞生。

在此后的五十多年里,机器人技术取得了突飞猛进的发展,表 1.1 所列是近代机器人发展的重大事件时间表,其发展历程大致经历了 3 个阶段。

第一阶段:示教再现型机器人。该类型机器人是第一代机器人,没有装备任何传感器,对环境没有感知能力。机器人的作业路径、运动参数需要操作人员示教或通过编程设定,机器人重复再现示教的内容。目前商业化、实用化的机器人大多是此类机器人。

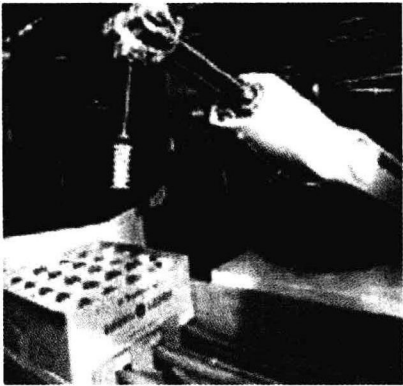


图 1.4 第一台工业机器人(Unimate)

第二阶段:感觉型机器人。此种机器人配备了简单的内、外部传感器,能感知自身运行的速度、位置和位姿等物理量,并将这些信息的反馈构成闭环控制,配有视觉、力觉等简单的外部传感器,因而具有部分适应外部环境的能力。

第三阶段:智能型机器人。该类型机器人具有由多种内、外部传感器组成的感觉系统,不仅可以感知内部关节的运行速度、加速度等参数,还可通过外部传感器对外部环境信息进行感知、提取、处理,并做出适当的决策,能够在结构或半结构环境中自主地完成某项任务。目前智能型机器人尚处于研究和发展阶段。

表 1.1 近代机器人发展的重大事件时间表

时 间	事 件
1954 年	George Devol 开发出第一台可编程机器人
1960 年	Unimation 公司推出第一台工业机器人
1968 年	第一台智能机器人 Shakey 在斯坦福研究所(SRI)诞生
1970 年	ETL 公司发明带视觉的自适应机器人
1978 年	美国推出通用工业机器人 PUMA,这标志着工业机器人技术已经完全成熟
1984 年	机器人 Helpmate 问世,该机器人能在医院里为病人送饭、送药、送邮件
1998 年	丹麦乐高公司推出机器人(Mind - storms)套件
2002 年	iRobot 公司推出吸尘器机器人 Roomba,该机器人是世界上销量最大的家用机器人
2006 年	微软公司推出 Microsoft Robotics Studio 机器人设计软件,机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显,比尔·盖茨预言,家用机器人很快将席卷全球

1.3 机器人与机器人技术

在了解机器人的发展历程之后,读者朋友不禁会问:那么,什么是机器人呢? 下

面来看几种常用的对机器人的定义。

- 美国机器人协会(RIA)的机器人定义:“机器人是用以搬运材料、零件、工具的可编程的多功能操作器或是通过改变程序动作来完成各种作业的特殊机械装置”。
- 日本工业机器人协会(JIRA)的定义:“工业机器人是一种装备有记忆装置和末端执行器(end effector)的,能够转动并通过自动完成各种操作来代替人类劳动的通用机器”。
- 美国国家标准局(NBS)的定义:“机器人是一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置”。
- 国际标准化组织(ISO)的定义:“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”。

通过对上述定义的分析,可以得出机器人的三要素:

- ① 机器人是一个光机电一体化装置;
- ② 机器人具有可编程性;
- ③ 机器人有一个自动控制系统。

因此,符合上述三个要素的光机电一体化装置都可以称之为机器人。图 1.5 展示了形态各异的机器人。

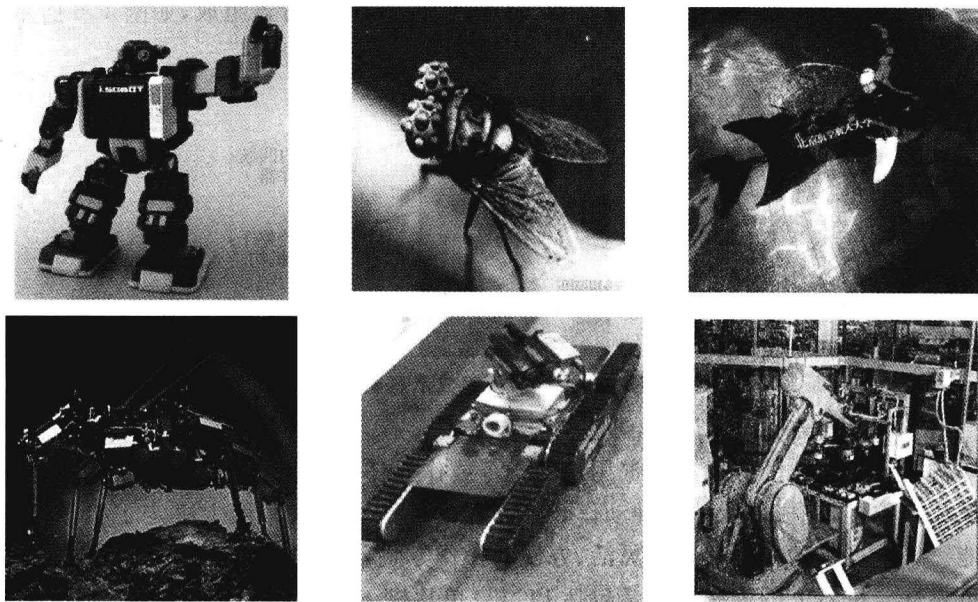


图 1.5 形态各异的机器人

机器人技术经过多年的发展已经形成一门综合性学科——机器人学(Robotics)。机器人学集中了机械工程、电子技术、自动控制理论以及人工智能等多学科的最新研究成果,代表了光机电一体化最高成就,是当代科学技术发展最具活力、最有影响的领域之一,它主要包括以下内容:

- 机器人基础理论与方法,如运动学和动力学、作业与运动规划、控制与感知技术、机器人智能理论;
- 机器人设计理论与技术,如机器人机构分析和综合、机器人机构设计与优化、机器人关键器件设计、机器人仿真技术;
- 机器人仿生学,如机器人的形态、结构、功能、能量转换、信息传递、控制和管理等特性和功能仿生理论与技术方法;
- 机器人系统理论与技术,如多机器人系统理论、机器人语言与编程、人机交互、机器人与其他机器系统的协调和交互;
- 机器人操作和移动理论与技术,如机器人装配技术、移动机器人运动与步态理论、移动机器人稳定性理论、移动操作机器人协调与控制论;
- 微机器人学,如微机器人的分析、设计、制造和控制等理论与技术方法。

1.4 机器人的组成

机器人主要由机器人机构、控制器、驱动器、传感器、执行器组成,如图 1.6 所示。

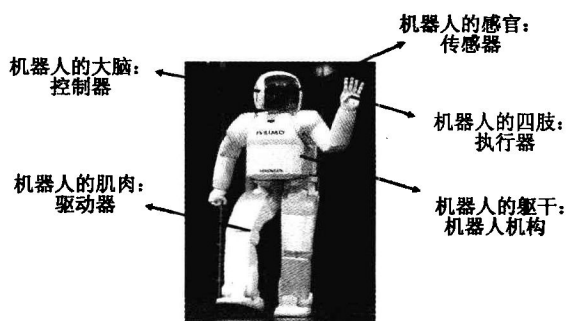


图 1.6 机器人组成示意图

(1) 机器人的大脑——控制器

机器人控制器的作用是根据用户的指令或作业任务与环境的特点对机构本体进行操作和控制,完成作业的各种动作。控制器的性能在很大程度上决定了机器人的性能。一个好的控制器要有灵活、方便的操作方式,多种形式的运动控制方式和安全可靠。机器人的控制器通常包括 PC 机、单片机、ARM 嵌入式处理器、DSP 数字信号处理器等。

(2) 机器人的感官——传感器

机器人传感器是指用于检测机器人自身状态和环境信息,并按照一定的规则,将

其转换成可利用信号的装置或仪器。机器人传感器可分为内部检测传感器和外界检测传感器两大类。

内部检测传感器是以机器人本身的坐标轴来确定其位置,是安装在机器人自身中用来感知它自己的状态,以调整并控制机器人的行动。它通常由位置、加速度、速度及压力传感器组成。

外界检测传感器用于机器人对周围环境、目标的状态特征获取信息,使机器人——环境能发生交互作用,从而使机器人对环境有自校正和自适应能力。外界检测传感器通常包括触觉、接近觉、视觉、听觉、嗅觉、味觉等传感器。

(3) 机器人的躯干——机器人机构

机器人机构基本上有两大类:第一类是操作型本体结构,它类似于人的手腕,配上各种手爪和末端操作器后可以进行各种抓取动作和作业操作。工业机器人主要用这种本体结构。第二类是移动型本体结构,主要目的是实现移动功能,有轮式车、履带车和足腿式结构以及蛇行、蠕动、变形运动结构等。壁面爬行、推进等机构也可归入这一类。

(4) 机器人的肌肉——驱动器

驱动器用于驱动机构本体各关节的运动。目前驱动方式主要有气压驱动、液压驱动和伺服电机3种。

气压驱动:具有成本低且控制简单的特点,但噪声大、输出小,难以准确地控制位置和速度。

液压驱动:液压驱动具有输出功率大且低速、平稳、防爆等特点,但需要液压动力源。漏油及油性变化将影响系统特性,各轴耦合性较强,成本较高。

伺服电机控制:具有使用方便、易于控制的特点。大多工业机器人采用伺服电机驱动。伺服电机还可分为直流伺服电机和交流伺服电机。使用伺服电机驱动时,控制系统中还要有为伺服电机供电的电源。

(5) 机器人的四肢——执行器

执行器是机器人为完成某种特定的任务而配备的执行子系统(如地面移动机器人配备机械手用于抓取物体等),机器人为完成不同的任务可配备不同的执行器。

1.5 现代机器人技术的研发流程

现代机器人技术的研发流程如图1.7所示。首先,采用虚拟样机(virtual prototype)技术,利用三维造型软件建立机器人机械部分的三维实体模型,再利用动力学分析软件建立机械系统的运动学和动力学模型,并根据机器人的工作任务进行运动规划;与此同时,进行机器人的控制、驱动和传感子系统设计。其次,应用控制系统仿真分析软件建立动力学和控制器的集成仿真模型,用数字分析和仿真的方式检验机械和控制系统的动态特性、兼容性和稳定性;然后,对机器人的各子系统进行集成、调