



“十二五”国家重点图书出版规划项目

MOBILE ROBOT TECHNOLOGY FOUNDAMENTALS AND PRACTICE

移动机器人技术基础与制作

● 张毅 罗元 徐晓东 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

013038142

“十二五”国家重点图书出版规划项目

TP242

147

移动机器人 技术基础与制作

张 毅 罗 元 徐晓东 编著



TP242
147



哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书共分 11 章,内容包括移动机器人运动学与动力学、移动机器人控制技术、移动机器人的传感器、移动机器人动力学、机器人视觉、移动机器人的通信、移动机器人人机接口、移动机器人人工智能、智能轮椅、智能声控机器人的制作等。本书内容丰富、条理清晰,从理论与实践出发,结合作者研究过程中的一些心得体会,在简单阐述理论的基础上,通过实际例子来讲解,力求使读者能较快掌握移动机器人基础与制作方面的相关知识。

本书可作为自动化、计算机、电子信息、机械工程等相关专业本科生和研究生教材,也可供相关教学、科研与工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

移动机器人技术基础与制作/张毅等编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013. 1

ISBN 978-7-5603-3856-9

I. ①移… II. ①张… III. ①移动机器人—研究
IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 283347 号

策划编辑 王桂芝

责任编辑 刘 瑶

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18.25 字数 456 千字

版 次 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3856-9

定 价 39.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

序

教育之重要在于创新,未来之重要在于创新,中国之未来在于创新。随着科学技术的不断发展,创新已成为科技发展的主旋律。

智能移动机器人在宇宙探测、海洋开发、工厂自动化、家庭服务等许多领域有着非常广阔的应用前景。作为各种高新技术的重要载体,智能移动机器人对培养学生的创新能力也将发挥不可替代的积极作用,而这也正是国内外许多高校和中小学积极组织学生参加各种类型的机器人竞赛活动的主要原因。

智能移动机器人研究涵盖机构设计、自动控制、传感器技术、计算机技术、人工智能等多个学科,因而学习时也需要内容完整的参考资料。

张毅教授之《移动机器人技术基础与制作》一书从移动机器人技术基础出发,全面介绍了与智能移动机器人相关的运动学、动力学、控制技术、传感器技术、通信技术、人工智能等内容,并结合本人的研究工作,深入浅出地探讨了人机接口、智能轮椅、声控机器人制作等知识,既有广度又有深度。本书的内容可以很好地满足机器人爱好者扩展视野的需要,也将对学生、教师、科研工作者学习智能移动机器人大有裨益。

中国科学院自动化研究所
2011 年 12 月

前 言

随着科学技术的发展,移动机器人的应用范围日益扩大,遍及工业、国防、宇宙空间、海洋开发、医疗康复等各个领域。移动机器人的研究融合了自动化技术、机械电子、计算机技术、信息技术、传感器技术、机器视觉、通信技术、微电子技术和机器人技术等诸多科学领域。未来移动机器人将朝着微型化、高速性、友好的人机交互、高安全性能和产业化方向发展。移动机器人的研究与发展,必将给人类带来更大的经济效益和社会效益,推动科学技术的进一步发展。

本书按照移动机器人技术所涉及的内容和主要方向来安排,从移动机器人基础、控制理论应用及移动机器人制作应用三个层面对移动机器人技术作了系统的阐述。主要内容包括移动机器人的传感器、移动机器人的通信技术、移动机器人动力学与运动学、移动机器人的视觉技术、定位与路径规划、人工智能与智能控制的理论、移动机器人的人机接口、智能轮椅、智能声控移动机器人的制作等。

本书是作者结合自身的研究工作,吸收和借鉴国内外期刊论文的最新研究成果及相关书籍内容编写而成的。本书侧重移动机器人的基础,尽量做到既讲清基本原理,又密切联系实际应用;既不乏经典理论,又侧重近年来的最新成果,尽可能地综合移动机器人研究的各个方面。

本书共分 11 章:第 1 章,阐述移动机器人的概念、发展、结构、分类、研究领域及关键技术,系统地介绍移动机器人的应用及展望;第 2 章,介绍移动机器人的常用传感器;第 3 章,分析移动机器人的通信系统设计与特点、无线通信技术、基于 Internet/Web 的远程移动机器人、Ad Hoc 无线通信网络和物联网技术;第 4 章,介绍多移动平台的运动学和动力学模型,对轮式移动机器人进行运动学分析和动力学分析;第 5 章,介绍移动机器人的经典控制技术、现代控制技术、智能控制技术等控制技术;第 6 章,介绍移动机器人的视觉系统、摄像机标定方法、灰度图像处理技术、彩色图像处理方法及移动机器人视觉导航;第 7 章,介绍移动机器人的定位与路径规划技术;第 8 章,介绍人工智能的概念及在移动机器人领域的典型应用;第 9 章,介绍移动机器人人机接口的概念,并详细介绍几种具有代表性的人机接口;第 10 章,介绍智能轮椅的系统硬件结构、导航系统和控制体系;第 11 章,以智能声控移动机器人为例,介绍移动机器人的制作。

本书分工如下:第 1~6 章由张毅、罗元编写;第 7 章由徐晓东、李敏编写;第 8 章由徐晓东、唐贤伦编写;第 9 章由张毅、蒲兴成编写;第 10 章由张毅、谢颖、于南翔编写;第 11 章由张毅、罗元、蔡军、谢颖编写。博士研究生和硕士研究生徐晓东、李敏、于南翔、赵黎明、吴育理、黄璜、张军、张姣、魏星、邵帅,李艳乐和齐玉超等参与了相关章节的资料收集和整理,全书由张毅教授统稿。参加审阅工作的英国 Essex 大学计算机科学系胡豁生教授和中国科学院自动化研究所原魁研究员为本书提出了宝贵的意见。在此一并表示诚挚的感谢。

此外,本书的研究工作和出版得到了科技部国际合作项目(编号:2010DFA12160)、国家自然科学基金项目(编号:51075420)、重庆市科技攻关项目(编号:CSTC,2010AA2055)及留学人员科技活动项目择优资助重点项目(编号:渝人社办[2010]261号)的资助。特别感谢英国 Essex 大学计算机科学系胡豁生教授给予的大力支持。感谢国内外机器人领域的专家同意作者引用他们的论文和专著。

移动机器人技术内容比较广泛,涉及诸多学科领域。由于作者水平有限,书中难免有疏漏或不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2012 年 8 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 移动机器人概述	1
1.1.1 移动机器人的定义	1
1.1.2 移动机器人的发展概况	1
1.2 移动机器人的结构与分类	3
1.2.1 移动机器人的结构	3
1.2.2 移动机器人的分类	4
1.3 移动机器人的研究领域及关键技术	6
1.4 移动机器人的应用及展望	7
第2章 移动机器人的传感器	9
2.1 机器人内部传感器	10
2.1.1 位置传感器	11
2.1.2 姿态传感器	12
2.1.3 压力传感器	14
2.1.4 加速度传感器	16
2.2 机器人外部传感器	17
2.2.1 接近觉传感器	17
2.2.2 触觉传感器	22
2.2.3 力觉传感器	27
2.2.4 温度传感器	29
2.2.5 气体传感器	32
2.2.6 听觉传感器	32
2.2.7 视觉传感器	34
2.2.8 深度传感器	36
2.3 传感器的性能指标	36
2.4 多传感器信息融合技术	38
2.4.1 多传感器信息融合的关键问题	38
2.4.2 信息融合的具体方法	39
2.4.3 多传感器信息融合的结构和控制	41
2.5 小结	42
2.6 练习题	43
第3章 移动机器人的通信技术	44
3.1 移动机器人通信系统的特点与设计	44
3.1.1 移动机器人通信的特点	44
3.1.2 移动机器人通信系统设计	45
3.2 常用无线通信技术及在移动机器人中的应用	46
3.2.1 移动通信系统简介	47

3.2.2 移动通信网络在机器人中的应用	47
3.2.3 红外技术	48
3.2.4 蓝牙通信技术	49
3.2.5 ZigBee 通信技术	51
3.2.6 Wi-Fi 通信息技术	55
3.2.7 Ad Hoc 通信技术	58
3.2.8 UWB 超宽带通信息技术	60
3.3 基于 Internet/Web 的远程移动机器人	61
3.3.1 基于 Internet 的远程机器人	61
3.3.2 基于 Web 的远程机器人	62
3.4 物联网技术	65
3.4.1 物联网定义及本质	65
3.4.2 物联网的技术特点	65
3.5 小结	67
3.6 练习题	68
第4章 移动机器人运动学与动力学	69
4.1 机器人位置运动学	69
4.1.1 空间点表示	69
4.1.2 齐次变换的表示	70
4.2 机器人的运动学	71
4.2.1 正运动学分析	72
4.2.2 机器人的工作空间研究	74
4.2.3 逆运动学求解	76
4.3 微分运动和速度	77
4.3.1 微分关系	77
4.3.2 刚体运动的速度	78
4.3.3 雅可比矩阵	78
4.4 移动机器人动力学	79
4.4.1 牛顿-欧拉方程	79
4.4.2 轮式机器人的动力学分析	81
4.5 小结	84
4.6 练习题	85
第5章 移动机器人控制技术	86
5.1 经典控制技术	86
5.1.1 模拟 PID 控制器的数学模型	87
5.1.2 数字 PID 控制器的数学模型	87
5.2 现代控制技术	89
5.2.1 机器人变结构控制	89
5.2.2 机器人自适应控制	91
5.3 智能控制技术	94

5.3.1 智能控制的基本概念	95
5.3.2 智能控制系统的分类	99
5.3.3 移动机器人的轨迹跟踪迭代学习控制	104
5.3.4 移动机器人模糊神经网络避障	105
5.4 小结	111
5.5 练习题	111
第6章 移动机器人视觉技术	112
6.1 移动机器人视觉系统	112
6.1.1 移动机器人视觉系统概述	112
6.1.2 移动机器人单目视觉系统	114
6.1.3 移动机器人双目视觉系统	116
6.1.4 移动机器人全景视觉系统	117
6.1.5 移动机器人网络摄像头	118
6.2 摄像机标定	118
6.2.1 摄像机的畸变模型	119
6.2.2 摄像机标定技术	120
6.3 灰度图像处理	125
6.3.1 二值图像处理	125
6.3.2 图像分割	127
6.4 彩色图像处理	130
6.4.1 颜色空间	130
6.4.2 颜色分割	133
6.5 移动机器人视觉导航	134
6.5.1 室内移动机器人视觉导航	135
6.5.2 ALV 的视觉导航	143
6.6 小结	147
6.7 练习题	147
第7章 移动机器人定位与路径规划	148
7.1 定位的概念	148
7.2 移动机器人的相对定位	149
7.3 移动机器人的绝对定位	150
7.3.1 GPS 定位	151
7.3.2 路标定位	153
7.4 路径规划、环境理解与环境建模	154
7.4.1 路径规划的概念	154
7.4.2 环境理解	155
7.4.3 环境建模的典型方法	155
7.5 A*/D* 法进行路径规划	159
7.5.1 状态空间搜索	159
7.5.2 A* 算法路径规划	161

7.5.3 D* 算法路径规划	162
7.6 遗传算法动态路径规划	163
7.7 基于视觉与自适应模糊的路径导航	166
7.8 移动机器人同步定位与地图构建	171
7.8.1 同步定位与地图构建综述	171
7.8.2 同步定位与地图构建的关键问题	172
7.8.3 基于EKF模型的SLAM算法	172
7.8.4 基于卡尔曼滤波器的SLAM实例	175
7.9 小结	176
7.10 练习题	177
第8章 移动机器人人工智能	178
8.1 人工智能简介	178
8.1.1 人工智能的基础	179
8.1.2 人工智能的研究阶段	184
8.1.3 人工智能的研究对象和范围	185
8.1.4 人工智能的研究与应用领域	186
8.1.5 人工智能的发展方向	188
8.2 人工智能在移动机器人领域的典型应用	189
8.2.1 规划技术	189
8.2.2 感知技术	190
8.2.3 专家系统	191
8.2.4 自然语言理解	192
8.3 人工智能在移动机器人领域中的应用举例	193
8.3.1 专家系统在移动机器人控制中的应用	193
8.3.2 人工智能在移动机器人自主导航技术中的应用	196
8.4 小结	208
8.5 练习题	209
第9章 移动机器人人机接口	210
9.1 人机接口的概念	210
9.2 国内外研究状况	210
9.3 移动机器人人机接口	212
9.3.1 基于操纵杆控制的人机接口	212
9.3.2 基于按键、菜单、触摸屏控制的人机接口	212
9.3.3 基于语音的人机接口	213
9.3.4 基于手势的人机接口	217
9.3.5 基于呼吸控制的人机接口	223
9.3.6 基于注视机制的人机接口	223
9.3.7 基于眼动控制的人机接口	224
9.3.8 基于脑波信号的人机接口	224
9.3.9 基于肌电信学的人机接口	226

9.3.10 远程控制系统中的人机接口	226
9.4 智能轮椅人机接口	228
9.5 信息无障碍人机交互	229
9.5.1 信息无障碍	229
9.5.2 信息无障碍关键技术	230
9.5.3 无障碍人机交互	230
9.6 理想的人机交互与新一代人机交互展望	231
9.7 小结	233
9.8 练习题	233
第10章 智能轮椅	234
10.1 概述	234
10.1.1 引言	234
10.1.2 智能轮椅的国内外研究现状	234
10.1.3 智能轮椅的发展趋势	237
10.2 智能轮椅的机构及功能分析	238
10.2.1 智能轮椅的系统结构	238
10.2.2 智能轮椅系统的硬件结构	239
10.2.3 智能轮椅系统的功能分析	241
10.3 智能轮椅的导航与交互	241
10.3.1 智能轮椅的导航系统	241
10.3.2 智能轮椅的人机交互系统	243
10.4 小结	245
10.5 练习题	246
第11章 智能声控机器人的制作	247
11.1 微控制器主板的制作	247
11.2 电源的选择或制作	251
11.2.1 保险丝的选择	251
11.2.2 倍压和极性转换	252
11.2.3 电池电压检测器	253
11.3 步进电机驱动器的制作	254
11.3.1 步进电机参数	254
11.3.2 步进电机的控制	255
11.4 语音控制的制作	259
11.5 PIC 步进电机驱动器的制作	262
11.6 软件系统设计	264
11.7 小结	269
11.8 练习题	269
参考文献	270
名词索引	277

第1章 绪 论

1.1 移动机器人概述

随着科学技术的发展及社会的需要,移动机器人技术得到了迅速的发展。目前,移动机器人的应用范围已经涉及清洁、医疗、导游、教育、娱乐、安保、日常生活等多个领域。应用移动机器人不仅可以降低由劳动力成本上升所造成的影响,而且可以按照人们意愿工作,大大减轻人们的劳动强度,提高人们的生活质量。

尽管移动机器人技术的发展还未达到所期望的程度,但是移动机器人正不断地渗透到各个行业中,逐渐地为人们提供生活便利,提高生活质量。现代社会的人口老龄化及人们生活质量的提高,将为移动机器人创造更为广阔的市场,也必将促进移动机器人技术的快速发展。在不久的将来,移动机器人将走进千家万户,成为人类的得力助手。

1.1.1 移动机器人的定义

移动机器人是一种由传感器、遥控操作器和自动控制的移动载体组成的机器人系统。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及灵活性。移动机器人融合了计算机技术、信息技术、通信技术、微电子技术和机器人技术等,在复杂环境下工作的机器人是有自行组织、自主运行、自主规划的智能机器人。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标志和体现。移动机器人是机器人技术的一个重要研究领域,也是机器人学的一个重要分支,其研究始于20世纪60年代。对移动机器人的研究,要从以下三点考虑:①移动机器人的移动方式:可以是轮式的、履带式的,水下机器人则是推进式的;②移动机器人的驱动控制是液压驱动、气动驱动及电动驱动;③移动机器人的主要功能包括移动机器人的避障或路径规划,这要涉及诸如传感器的信息融合、图像处理、模式识别、神经网络、环境映射等知识。所以,移动机器人是一个集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多功能于一体的综合系统。在各种移动机器人中,轮式移动机器人是最常见也是最重要的移动机器人之一,具有很高的使用价值和广泛的应用前景。目前正在向工程实用化方向迅速发展,也是智能机器人技术发展的主要方向之一,它具有承载能力大、移动速度快、运动稳定及能源利用率高等特点。近十年来,地面移动机器人平台(以下简称地面移动平台)在许多领域都得到了运用:包括家庭的家用服务移动机器人、扫地移动机器人;教学的寓教于乐移动机器人;科学考察的侦探移动机器人;军事领域的武装军用移动机器人、侦查移动机器人;还包括空调通风管道清洁的风管清扫移动机器人等。

1.1.2 移动机器人的发展状况

对于移动机器人的研究,国外起步较早,早在20世纪60年代,就已经开始了关于移动机器人的研究。由于室外移动机器人不但在军事上存在特殊的应用价值,而且在公路交通运输

中有着广泛的应用前景,因此引起世界各国的普遍重视。在这方面,美、德、法、日等国走在世界的前列。美国国家科学委员会曾预言:“20 世纪的核心武器是坦克,21 世纪的核心武器是无人作战系统,其中 2000 年以后遥控地面无人作战系统陆续装备部队,并走向战场。”为此,从 20 世纪 80 年代开始,美国国防高级研究计划局(DARPA)专门立项,制订了地面无人作战平台的战略计划。从此,在全世界拉开了全面研究室外移动机器人的序幕,如 DARPA 的“战略计算机”计划中的自主地面车辆(ALV)计划(1983~1990 年),能源部制订的为期 10 年的移动机器人和智能系统(RIPS)计划(1986~1995 年),以及后来的空间移动机器人计划,日本通产省组织的极限环境下作业的移动机器人计划,欧洲尤里卡中的移动机器人计划等。由美国 NASA 资助研制的“丹蒂 II”八足行走移动机器人,它与其他移动机器人的不同之处是它于 1994 年在斯珀火山的火山口中进行了成功的演示,虽然在返回时,在一陡峭的、泥泞的路上失去了稳定性,倒向了一边,但它完成了指定的探险任务。丹蒂计划的主要目标是为实现现在充满碎片的月球或其他星球的表面进行探测而提供一种移动机器人解决方案。

美国 NASA 研制的火星探测移动机器人索杰那于 1997 年登上火星,这一事件向全世界进行了报道。为了在火星上进行长距离探险,美国又开始了新一代样机的研制——Rocky7,并在 Lavic 湖的岩溶流上和干枯的湖床上进行了成功的实验。德国研制了一种轮椅移动机器人,并在乌尔姆市中心车站的客流高峰期和 1998 年汉诺威工业商品博览会的展览大厅环境中进行了实地现场表演。该轮椅移动机器人在拥挤的、有大量乘客的公共场所环境中,进行了超过 36 h 的考验,所表现出的性能是其他现存的轮椅移动机器人或移动机器人所不可比的。

我国对移动机器人的研究起步比较晚,但近年来发展迅速。我国中科院自动化所于 2003 年研制出的移动机器人集多种传感器、视觉、语音识别与会话功能于一体,基本结构包括传感器、控制器和运动机构。传感器由位于移动机器人底层的 16 个红外传感器、位于移动机器人中间两层的 16 个超声传感器和 16 个红外传感器,以及位于移动机器人顶部的摄像机构成。它能够理解自己的状态和所处的外部环境信息,实时作出运动控制决策:躲避障碍物、寻找最优路径;实现自主移动、定点运动、轨迹跟踪、漫游等。浙江大学于 1999 年初在浙江大学机械电子研究所开始进行智能吸尘机器人的研究,两年后设计成功国内第一个具有初步智能的自主吸尘移动机器人,后又与苏州 TEK 公司合作研发,到 2003 年系统在自主能力和工作效率上都有了显著的提高。这种智能吸尘移动机器人在工作时,先进行环境学习,利用超声波传感器测距离,与墙保持一定距离行走,在清洁房间角落的同时获得房间尺寸的信息,从而决定清扫时间,之后利用随机和局部遍历规划相结合的策略规划清扫路径。该系统还将引入机器视觉和全局定位能力,力图在多个房间的环境下提高自定位能力、智能解决能力及全局定位能力,最终提高清扫效率。

上海交通大学移动机器人研究所也研究出了移动机器人,其最大行驶速度大于 25 m/min,能上下 40°的楼梯及斜坡,能跨越 300 mm 高的垂直障碍和 400 mm 宽的壕沟,它的监控距离大于 100 m。上海交通大学的 Frontier-ITM 自主移动机器人也是高性能自主移动机器人,多次获得国内外移动机器人比赛的冠军,并且作为中国大学的参赛队首次参加了 RoboCup 中型组的比赛。哈尔滨工业大学研制的轮式智能服务移动机器人能无缆行走、自动避障、识别语音,用于服务场合的导游、导购等。另外,用于瓷砖及玻璃壁面清洗作业的壁面清洗爬壁移动机器人也在哈尔滨工业大学研制成功。这一切都表明中国的移动机器人研究在不断发展和进步。2006 年,由中国民航大学移动机器人研究所与天津市有关单位合作开发的国内第一款保安巡逻移动机器人研制成功。据介绍,这台移动机器人可以协助保安员充当“移动式

监控探头”,按照操作人员预设路线,在居民小区、商场等处昼夜 24 h 巡逻,监控人员可以实时监测到移动机器人所拍摄的图像。它能自动避让行人、车辆,越过障碍物,并和操作人员双向语音交流。一旦有火灾发生,它还能辨别烟雾火情,然后用随身携带的灭火器扑灭刚刚燃起的火苗。2007 年,哈尔滨工业大学计算机学院多智能体移动机器人研究中心继推出仿人足球移动机器人后,又推出了既可以舞蹈又可做体操的仿人移动机器人。

1.2 移动机器人的结构与分类

移动机器人系统如图 1.1 所示,通常由三大部分组成:机械部分、传感器部分和控制部分;六个子系统:驱动系统、机械系统、感知系统、人机交互系统、移动机器人环境交互系统及控制系统。

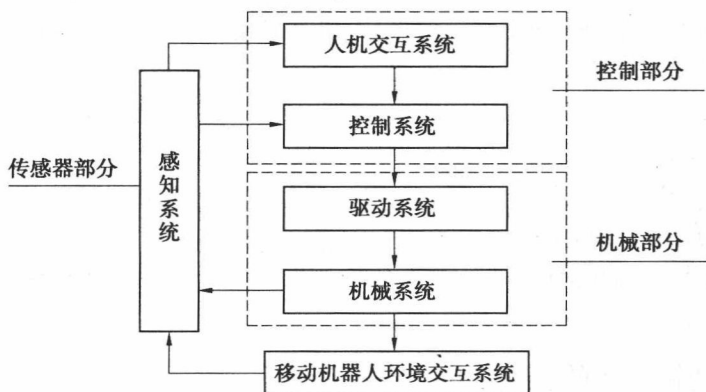


图 1.1 移动机器人框架图

从最早出现的机器人到现在涌现出的形态各异的移动小车,其移动机构的形式层出不穷,以美国、俄罗斯、法国和日本为首的西方发达国家已经研制出了多种复杂奇特的三维移动机构,有的已经进入实用化和商业化阶段。面对 21 世纪深空探测的挑战,对各种自主系统的研制是必须的,而移动机构又是各种自主系统的最基本和最关键的环节。

1.2.1 移动机器人的机构

一般而言,移动机器人的移动机构主要有轮式移动机构、履带式移动机构及足式移动机构,此外还有步进式移动机构、蠕动式移动机构、蛇行式移动机构和混合式移动机构,以适应不同的环境和场合。一般的室内移动机器人通常采用轮式移动机构,室外移动机器人为了适应野外环境的需要,多采用履带式移动机构。一些仿生机器人,通常模仿某种生物的运动方式而采用相应的移动机构,如机器蛇采用蛇行式移动机构,机器鱼则采用尾鳍推进式移动机构。其中以轮式的效率最高,但其适应能力相对较差;而足式的移动适应能力最强,但其效率最低。下面介绍轮式移动机构和足式移动机构。

1. 轮式移动机构

轮式移动机器人是移动机器人中应用最多的一种机器人,在相对平坦的地面上,用轮式移动方式是相当优越的。车轮的形状或结构取决于地面的性质和车辆的承载能力,在轨道上运行的多采用实心钢轮,室内路面行驶的多采用充气轮胎。轮式移动机构根据车轮的多少有 1 轮、2 轮、3 轮、4

轮及多轮机构。1 轮及 2 轮移动机构在实现上的障碍主要是稳定性问题,实际应用的轮式移动机构多采用 3 轮和 4 轮。3 轮移动机构一般是一个前轮,两个后轮。其中,两个后轮独立驱动,前轮是万向轮,只起支撑作用,靠后轮的转速差实现转向。4 轮移动机构应用最为广泛,4 轮机构可采用不同的方式实现驱动和转向,既可以使用后轮分散驱动,也可以用连杆机构实现 4 轮同步转向,这种方式比起仅有前轮转向的车辆可实现更小的转弯半径。

2. 足式移动机构

履带式移动机构虽在高低不平的地面上可以运动,但是它的适应性不够,行走时晃动较大,在软地面上行驶时效率低。根据调查,地球上近一半的地面不适合传统的轮式或履带式车辆行走。但是一般的多足动物却能在这些地方行动自如,显然,足式移动机构在这样的环境下有独特的优势。

足式移动机构对崎岖路面具有很好的适应能力,足式运动方式的立足点是离散的点,可以在可能到达的地面上选择最优的支撑点,而轮式和履带式移动机构必须面临最坏地形上的几乎所有点。足式运动方式还具有主动隔振能力,尽管地面高低不平,机身的运动仍然可以相当平稳。足式行走机构在不平地面和松软地面上的运动速度较高,能耗较少。

现有的足式移动机器人的足数分别为单足、双足、三足、四足、六足、八足,甚至更多。足的数目多,适合于重载和慢速运动。在实际中,由于双足和四足具有最好的适应性和灵活性,也最接近人类和动物,所以用得最多。

下面按照工作场合和功能的不同,对各类移动机器人作一个简单的介绍,可供读者在感性方面对各类移动机器人有个初步的了解和认识。

1.2.2 移动机器人的分类

1. 管道移动机器人

目前,管道的检测和维护多采用管道移动机器人来进行。管道移动机器人是一种可沿管道内壁行走的机械,它可以携带一种或多种传感器及操作装置(如 CCD 摄像机、位置和姿态传感器、超声传感器、涡流传感器、管道清理装置、管道焊接装置、简单的操作机械手等),在操作人员的控制下进行管道检测维修作业。图 1.2 为管道移动机器人被送进人民大会堂空调管道,开始了一天的洗刷作业。

2. 水下移动机器人

21 世纪是人类开发海洋的新世纪,进行海洋科学研究、海上石油开发、海底矿藏勘测、海底打捞救生等,都需要开发海底载人潜水器和水下移动机器人技术。因此,发展水下机器人的意义重大。水下机器人的种类很多,如载人潜水器、遥控有缆水下机器人(ROV)、自主无缆水下机器人(AUV)等。ROV 是最早得到开发和应用的潜水器,而 AUV 由于自身的优点,代表了未来水下机器人的研究方向。图 1.3 为水下机器人。



图 1.2 管道移动机器人被送进人民大会堂空调管道



图 1.3 课题组在进行水下移动机器人模拟试验

3. 空中移动机器人

空中移动机器人在通信、气象、灾害检测、农业、地质、交通、广播电视等方面都有广泛的应用。目前其技术已趋成熟,性能日臻完善,逐步向小型化、智能化、隐身化方向发展,同时与空中移动机器人相关的雷达、探测、测控、传输、材料等方面也正处于飞速发展的阶段。空中移动机器人主要分为仿昆飞行移动机器人、LTA(Lighter Than Air)飞行移动机器人、四轴飞行器、微型飞行器等。微型飞行器的研制是一项包含了多种交叉学科的高、精、尖技术,其研究水平在一定程度上可以反映一个国家在 MEMS 技术领域内的实力,它的研制不仅是对其自身问题的解决,更重要的是,还能对其他许多相关技术领域的发展起推动作用,所以研制微型飞行器不管是从使用价值方面考虑,还是从推动技术发展考虑,对于我们国家来说都是迫切需要发展的一项研究工作。图 1.4 是飞行救灾移动机器人。

4. 军事移动机器人

军事是目前机器人使用较广泛的一个领域,随着现代战争逐渐向高新技术方向发展,机器人使用将大大减少战场上人员的伤亡。军用移动机器人有侦查机器人、爆炸物处理移动机器人、步兵支援机器人和无人机等。图 1.5 是“灵晰-B”型排爆机器人。



图 1.4 飞行救灾移动机器人

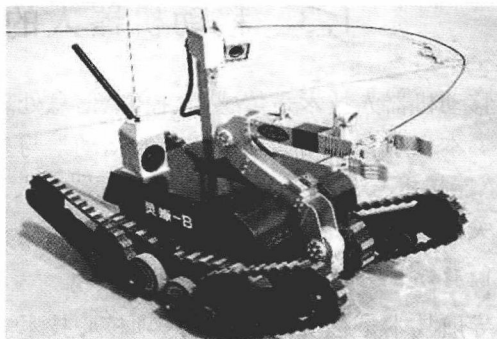


图 1.5 “灵晰-B”型排爆机器人

5. 服务、娱乐机器人

服务机器人是一种半自主或全自主工作、为人类提供服务的机器人,目前主要有医用机器人、家用机器人、娱乐机器人、导游机器人、智能轮椅等。智能轮椅是将智能移动机器人技术应用于电动轮椅,融合多种领域的研究,包括移动机器人视觉、移动机器人导航和定位、模式识别、多种传感器融合及用户接口等,涉及机械、控制、传感器、人工智能等技术,如图 1.6 所示。

6. 仿生移动机器人

仿生移动机器人是指模仿生物、从事生物特点工作的移动机器人。目前在西方国家,机械宠物十分流行,如英国埃塞克斯大学制作的机器鱼。美国加州大学伯克利分校的研究小组用四年的时间基于仿生学原理制造出的世界上第一只能飞翔的“机器苍蝇”,其身高不到30 mm,翼展 25 r/min,翼振频率 150 Hz,质量只有 100 mg,是真正的迷你型。苍蝇是所有飞虫中飞行最稳定、机动性最强的一种。由于苍蝇运动的复杂性,机器苍蝇用四只翅膀代替苍蝇的翅膀,每只翅膀需要的功率为 8 mW,通过装在机器苍蝇头部的微型传感器与摄像机,可以将拍摄到的照片传回。它的用途非常广泛,不仅能够充当间谍角色,用于军事上的侦察和间谍工作,在不为人察觉的情况下收集情报,还可以用来在灾难中搜寻废墟中的人员。还有一些蛇形移动机器人、蜘蛛移动机器人、壁虎移动机器人、机器蛙等仿生移动机器人,在搜救、侦查方面都有很好的应用价值。图 1.7 是英国埃塞克斯大学研制的机器鱼,已经在水族馆中展出,供人们欣赏。



图 1.6 智能轮椅

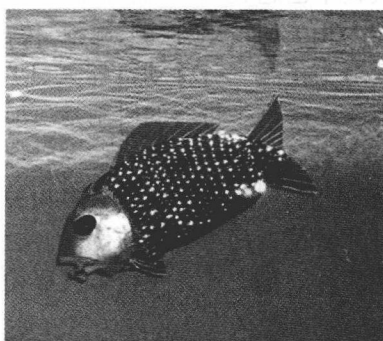


图 1.7 英国埃塞克斯大学研制的机器鱼

1.3 移动机器人的研究领域及关键技术

移动机器人技术是传感器、控制、信息处理、机械加工、电子、计算机等多门技术相结合的成果。本书主要介绍移动机器人的运动学与动力学,移动机器人的控制技术,移动机器人感觉(传感器技术),人机交互技术,移动机器人人工智能,移动机器人编程等。移动机器人的共性通用关键技术包括以下三方面。

1. 移动机器人的导航技术

导航技术是移动机器人的一项核心技术。它是指移动机器人通过传感器感知环境信息和自身状态,实现在有障碍的环境中面向目标的自主运动。目前,移动机器人主要的导航方式包括:惯性导航、GPS 导航、路标导航、自然路标导航、声控导航、视觉导航、味道导航、环境地图模型匹配导航以及基于人工智能算法的导航。优秀的导航技术可以有效地拓展移动机器的工作空间和应用领域。

2. 多传感器信息融合技术

多传感器信息融合技术是移动机器人的关键技术之一,它的研究始于 20 世纪 80 年代。信息融合是指将多个传感器所提供的环境信息进行集成处理,形成对外部环境的统一表示。