

国家自然科学基金项目 (NSFC.61673163)
湖南省重点出版物专项资金资助项目
湖南大学出版社图书出版基金资助项目

ZHINENG JIQIREN LIJUE
GANZHI JISHU

智能机器人 力觉感知技术

梁桥康 王耀南 孙 炜 编著

ROBOT



湖南大学出版社



FC.61673163)

资金资助项目

基金资助项目

ZHINENG JIQIREN LIJUE
GANZHI JISHU

智能机器人 力觉感知技术

梁桥康 王耀南 孙 炜 编著

湖南大学出版社

内 容 简 介

本书较全面地介绍了机器人力觉感知技术的基本原理和设计方法,对智能机器人力觉感知系统性能指标的理论分析方法、感知系统建模方法、系统的设计理论和检测能力评估方法进行了详细阐述。结合多个实际的应用场合给出了具体的力觉感知系统的开发和设计过程。

本书适合作为高等工科院校自动化和电气类专业教材,也可作为科研单位、工厂等从事机器人技术和感知技术的研究人员与工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能机器人力觉感知技术/梁桥康,王耀南,孙炜编著. —长沙:
湖南大学出版社, 2018.1

ISBN 978 - 7 - 5667 - 1289 - 9

I. ①智... II. ①梁... ②王... ③孙... III. ①智能机器人—
研究IV. ①TP242.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第101484号

智能机器人力觉感知技术

ZHINENG JIQIREN LIJUE GANZHI JISHU

编 著: 梁桥康 王耀南 孙 炜

策划编辑: 卢 宇

责任编辑: 卢 宇 龙思成 责任校对: 全 健

印 装: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787×1092 16开 印张: 16 字数: 265千

版 次: 2018年1月第1版 印次: 2018年1月第1次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5667 - 1289 - 9

定 价: 49.8元

出 版 人: 雷 鸣

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731 - 88822559(发行部), 88821315(编辑室), 88821006(出版部)

传 真: 0731 - 88649312(发行部), 88822264(总编室)

网 址: <http://www.hnupress.com>

电子邮箱: pressluy@hnu.edu.cn

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

机器人技术发展水平是一个国家高科技发展水平和工业自动化程度的重要标志,智能机器人及其核心关键感知技术已成为世界范围内的研究热点和急需产品。机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代工业重要的自动化装备。机器人及其自动化成套装备是指以机器人为核心,以信息技术和网络技术为媒介,将所有设备连接到一起而形成的大型自动化生产线或复杂作业系统,它是先进制造装备的典型代表,是发展先进制造技术,实现生产线的数字化、网络化和智能化的重要手段,已成为先进制造业的支撑技术和信息化社会的新兴产业。此外,机器人在国防军事、医疗卫生、生活服务等领域的应用也日益广泛。较低的制造装备技术水平直接导致我国生产自动化和优化水平不高,资源综合利用率低,基本仍处于粗放型经济发展模式。制造装备技术水平还将直接影响国防战略必需装备的生产制造能力,其涉及国家安全和经济命脉,对国民经济有重大影响。

传感器与感知技术作为信息技术中采集、处理、传播三大关键技术之一,是新技术革命和信息社会的重要技术基础,是现代科技的开路先锋,各发达国家都将其视为现代高技术发展的关键。2013年4月,德国政府推出《保障德国制造业的未来:关于实施工业4.0战略的建议》。随后,世界各国高度关注并纷纷开始布局,争取制造业话语权:美国在2014年12月推出“工业互联网”战略,将虚拟网络与实体连接,形成更具有效率的生产系统;日本于2015年1月23日推出《机器人新战略》;法国在2015年9月推出“新工业法国”方案;我国也于2015年出台《中国制造2025》十年战略规划。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》总体目标要求掌握一批事关国家竞争力的装备制造业核心技术,满足重大技术装备配套自动化系统和现代武器装备自主研制,提出用先进传感器、机器人、智能信息处理技术等高新技术和先进适用技术发展制造业,大力振兴装备制造业。

机器人感知技术通过获取和分析力觉、触觉、视觉、位置等信息,实现对外部环境和内部状态的理解,为人机的智能交互和柔性作业提供决策依据,是机器人实现智能自主操作的关键基础技术和主要瓶颈。

在众多的感知中,力觉感知系统能检测机器人末端执行器操控工件时所产生的三维空间

中力与力矩信息,为机器人的控制提供力感环境,是系统完成操控作业的重要条件之一。虽然人类对环境的认识大部分由视觉获得,但人脑的三分之二用于力触觉信息的理解和管理。力觉感知系统经学习后可以获得操控对象的三维几何信息,而且可以获得对象的机械特性,这是视觉等其他感知形式无法比拟的。因此,力觉是最综合、最复杂和应用最广的感知方式之一,而高精度、高灵敏度、高分辨率的力觉感知系统是复杂操控环境下作业机器人最重要的感知系统之一。

为了适应这种需求,本书从智能机器人力觉感知技术的需求分析出发,对机器人多维力觉感知系统的设计、开发和应用等进行了多方位的介绍。本书对智能机器人力觉感知系统性能指标的理论分析方法、感知系统建模方法、系统的设计理论与检测能力评估方法进行了详细阐述,为智能机器人力觉传感器的设计和更广泛的应用提供依据,在感知系统建模、多维信号获取、处理与融合方面具有一定的理论价值。同时,本书总结了机器人力觉信息获取、信息检测和感知系统建模等领域的发展方向,为我国智能机器人力觉感知技术的开发和应用奠定理论基础。

本书是湖南大学机器人感知和控制技术国家工程实验室多年来的科学研究成果系统化总结和升华,对于总结和保存研究成果、传播学术思想和指导相关领域的科研工作都有非常重要的作用。本书的出版将有利于推广力觉感知在机器人作业中的进一步应用,为加快我国智能制造和工业 4.0 改造进程起到一定的作用。

参与本书编写的有梁桥康、王耀南、孙炜、伍万能、邹坤霖和朱颖达等。本书是国家自然科学基金项目“宽量程内分区灵敏的光纤光栅多维力觉感知方法研究(NSFC.61673163)”“面向微细操控的全柔性并联力觉感知方法研究(NSFC.61203207)”、湖南省自然科学基金项目“智能机器人空间多维力/力矩传感器及其测试平台研制(2016JJ3045)”研究成果的结晶,获得湖南大学出版社图书出版基金和湖南大学汽车车身设计制造国家重点实验室开放基金(31565006)资助。

本书适合作为高等工科院校自动化和电气类专业教材,也可作为科研单位、工厂等从事机器人技术和感知技术的研究人员与工程技术人员的参考书。在本书的编写过程中,湖南大学出版社卢宇主任和龙思成编辑对书稿的编写给予了大力支持和协助,在此一并衷心感谢。由于作者水平有限,书中难免有错误之处,恳请读者指正。我们的邮箱是:qiaokang@hnu.edu.cn,我们将及时与您沟通。

编 著

2017 年 10 月

第1章 绪论	001
1.1 引言 ----	002
1.2 缘起 ----	005
1.3 本书整体思路 and 结构 ----	006
1.4 本书主要工作与贡献 ----	008
1.5 期望达到的效果与机器人力觉感知发展趋势 ----	008
本章小结 ----	010
第2章 智能机器人感知系统	011
2.1 引言 ----	012
2.2 智能机器人感知技术发展及现状 ----	015
2.3 智能机器人信息获取概述 ----	018
2.4 智能机器人多维力/力矩信息感知获取 ----	019
2.5 智能机器人视觉感知技术 ----	033
2.6 智能机器人传感器精度特性指标 ----	038
2.7 智能机器人传感器实验平台系统 ----	040
本章小结 ----	042
第3章 机器人力觉信息获取的研究	043
3.1 引言 ----	044
3.2 电阻式多维力/力矩传感器检测原理 ----	044
3.3 电容式多维力/力矩传感器检测原理 ----	048
3.4 压电式多维力/力矩传感器检测原理 ----	050

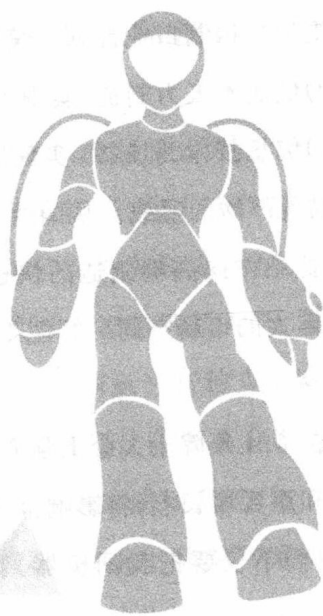
3.5	光纤光栅式多维力/力矩传感器检测原理	054
3.6	力觉传感器性能评价指标	055
3.7	机器人微型指尖四维力/力矩信息获取的研究	056
	本章小结	080
第4章	机器人多维力/力矩传感器解耦方法的研究	081
4.1	引言	082
4.2	静态线性解耦	083
4.3	静态非线性解耦	084
4.4	实验	091
	本章小结	099
第5章	基于力觉感知的三维坐标测量系统	101
5.1	引言	102
5.2	接触式三维坐标测量和补偿原理	103
5.3	基于五维力/力矩传感器的探测头系统设计	105
5.4	五维力/力矩传感器的研制	109
5.5	五维力/力矩传感器的标定	111
	本章小结	113
第6章	仿人机器人足部多维力/力矩传感器的设计与研究	115
6.1	引言	116
6.2	基于 Stewart 的六维力/力矩传感器概述	117
6.3	仿人机器人新型足部设计及六维力/力矩信息获取实现	122
6.4	基于柔性并联机构的六维力/力矩传感器	131
	本章小节	134
第7章	基于柔性并联机构的六维力/力矩传感器与六自由度微执行器一体化设计	137
7.1	引言	138
7.2	空间多自由度微执行器的研究发展状况	139
7.3	空间六自由度柔性并联微执行器设计	141
	本章小结	163

第 8 章 水下机器人腕部六维力/力矩信息获取	165
8.1 引 言 ----	166
8.2 水下特殊环境下的力感知关键技术 ----	167
8.3 水下机器人腕部六维力/力矩传感器设计 ----	168
8.4 水下六维力/力矩传感器扩展:超薄六维力/力矩传感器 ----	180
8.5 水下机器人腕部六维力/力矩信息获取应用实例 ----	185
本章小结 ----	186
第 9 章 智能机器人微弱力信号采集系统	187
9.1 引 言 ----	188
9.2 微弱信号处理算法原理 ----	190
9.3 随机共振系统模型与理论基础 ----	196
9.4 软件设计——数据采集及处理 ----	204
本章小结 ----	213
附录 I 解耦算法的程序实现 ----	214
附录 II 随机共振理论关键软件代码 ----	223
参考文献 ----	235

01

第一章

绪论



智能化机器人集环境感知、动态决策和规划、行为控制与执行等多功能于一体,是机器人技术领域研究和发展的主要趋势之一。智能机器人的关键智能技术是自动规划控制技术和信息感知智能,其中机器人对环境的感知和适应性是机器人最重要的技术领域之一,对其展开研究具有重要的实际应用价值。为解决传统机器人自动化和智能化程度低、作业进度及作业效率不高、对操作者的依赖程度高等问题,现代机器人应用对环境感知、操作控制、驱动协调、自主规划和可靠性等性能提出了更高的要求。而机器人的智能特征在很大程度上都表现为其信息获取源头——人机交互的“智能化”,智能化的环境感知使得机器人与操作对象和作业环境之间的交互更加自然和畅通。

1.1 引言

随着全球制造业由劳动密集型向技术密集型高端制造业转移,以欧美为代表的先进制造国家更提出重振制造业计划。美国提出了“制造业回归”计划,设想以机器人制造打败中国的低成本人力制造,实现美国的“再工业化”;欧盟也提出了“新工业革命”,以机器人和信息技术为支撑,实现制造模式的变革。因此,我国高端工业制造的未来发展面临着严峻的挑战。从国内看,为降低我国人口红利逐步消失带来的风险,促进国家产业结构向高端制造的快速转移,对智能工业机器人技术提出了迫切需求,并提供了巨大的市场空间。智能工业机器人产业将迎来发展的重要战略机遇期。

习近平同志在 2014 年院士大会上强调:“机器人革命”有望成为“第三次工业革命”的一个切入点和重要增长点,将影响全球制造业格局,而且我国将成为全球最大的机器人市场。我们不仅要把我国机器人水平提高上去,而且要尽可能多地占领市场。

在科研规划和政策上,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》提出了用高新技术和先进适用技术发展工业机器人及特种作业机器人科技产业化工程,研发机器人模块化单元产品,提升我国智能制造业的国际竞争力。2015 年 5 月,国务院印发的《中国制造 2025》,部署了全面推进实施制造强国战略。这是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。根据规划,通过“三步走”实现制造强国

的战略目标,其中第一步,即到 2025 年迈入制造强国行列。“智能制造”被定位为中国制造的主攻方向。

机器人技术是计算机、机构学、控制论、人工智能、传感器及信息获取等多学科交叉融合的产物,是一个集环境感知、动态决策和规划、行为控制与执行等多功能于一体的综合系统,其概念内涵一般包括感知、驱动(控制、执行)、决策和交互等部分。作为 20 世纪人类最伟大的发明之一,机器人技术发展水平是一个国家高科技发展水平和工业自动化程度的体现和重要标志。随着计算机、微电子加工技术、信息技术及其相关理论的飞速发展,智能机器人技术作为“当代最高意义上的自动化”的发展获得了空前的重视和飞跃,其系统开发速度越来越快,智能化水平也越来越高,不仅在执行层面上延伸了人类的操作能力,而且在感知世界、智能决策等层面也逐渐在某种程度上解放了人类。目前,智能机器人技术在宇宙探索、国防军事、工农业生产、海洋能源探测和开发、医疗康复、社会服务和娱乐等各个领域都有着广泛的发展和前景。此外,机器人涉及的技术也得到了不断地拓展,如多传感器信息融合与处理、机器视觉、机器嗅觉、语音识别、路径规划、智能人机接口等,并产生了一系列相应的研究课题。

按机器人系统的感知部分特征可将机器人的发展分为三个阶段:第一阶段的机器人还不具备任何外界的信息感知和反馈功能,只有执行部分(如按固定的预先设定好的程序运行);第二阶段的机器人具备了对外界环境多方面信息的感知和反馈能力,如力觉、触觉、视觉等信息;第三阶段(即“智能机器人”阶段)的机器人系统具备一定的自主性,可以根据操作环境的多方面信息进行信息的融合处理,并在此基础上具备自行学习、推理、决策、规划等高级功能。除了具有先进的机械结构、执行机构、控制算法外,智能机器人还有丰富和强大的感知系统,如 Naval Research Laboratory 研制的智能机器人具有立体摄像机、六维力/力矩传感器、角度编码器、加速度传感器、陀螺仪和气体传感器等。智能机器人的关键智能技术是自动规划技术和基于传感器的智能,研究特别强调智能性和对环境的适应性。

目前国内外智能机器人已取得了丰富的研究成果,研究内容也越来越广泛,研究方向也越来越具体。总的来说,智能机器人的主要研究内容可以概括为以下几点。

(1) 机器人作业机构的设计和优化

采用和探索新的材料、构型和装配方式来实现智能机器人的本体作业机构,如

采用高强度的轻质材料构造机器人本体和执行机构以提高刚度/自重比,采用模块化设计和可重构等方式设计面向任务的机器人和作业机构,利用新构型并联机器人、柔性机器人和串并混联机器人实现特定的工作任务。机器人的设计和开发需要高性能结构材料,新的高性能材料如形状记忆合金、电致和磁致伸缩材料、电致和磁致流变流体材料、功能梯度材料、功能凝胶等不断涌现,使得智能结构材料成为可能,这些智能材料具有高强度、高韧性、变形可控等特点,可以用来实现集传感、控制、驱动等多种功能于一体的新型机器人结构材料。

(2) 智能机器人控制技术研究

机器人智能控制技术是机器人的“大脑”和核心,通过对多输入多输出、时变、非线性、强耦合、随机不确定性的机器人系统进行控制,指挥和协调机器人完成各种复杂作业,是保证机器人安全稳定运行的关键技术。智能机器人涉及的研究方向主要有系统建模与分析、路径规划、运动控制和智能自主控制等,现代控制理论所能提供的所有的设计方法几乎都在机器人上做过应用尝试。其中应用最普遍的是PID或PD控制器。PD控制器结构简单,根据位置跟踪误差和速度跟踪误差乘以相应的静态增益来确定控制量。除此之外,针对数学模型的不确定性,采用现代控制理论的机器人控制技术可分为三大类,即自适应控制、变结构控制、鲁棒控制。近年来,越来越多的学者开始将智能控制方法引入机器人的控制。如通过神经网络控制(NNC)、模糊控制(FC)和遗传控制(GAC)等高级智能算法使系统在非结构复杂环境中具有较好的适应性和鲁棒性。基于视觉伺服(visual servoing)控制可以克服模型(包括机器人、视觉系统、环境)中存在的 uncertainty,提高视觉定位或跟踪的精度,近年来获得了广泛的研究,如基于位置的视觉伺服、基于图像的视觉伺服、基于图像/力混合控制等。

(3) 传感器信息融合和实时人机交互

智能机器人是集环境感知、动态决策和规划、行为控制与执行等多功能于一体的智能装备,它的智能特征主要表现为智能感知、人机交互、作业环境和控制者的自然交互。传感器的感知和反馈是机器人自主行为的必要手段,机器人感知技术通过获取和分析视觉、力觉、触觉、位置等信息,实现对外部环境和内部状态的理解,为人机的智能交互和柔性作业提供决策依据,是机器人实现智能自主操作的关键。利用机器人各种传感器及检测感知系统提供的冗余和动态信息,通过图形/图像分析、图

像重构、立体视觉、传感器动态分析和补偿、多传感器信息融合、虚拟现实临场感等技术实现实时的人机交互等是当前的研究热点。如针对制造业生产线机器人自动化、智能化作业需求,攻克高速高精度二维、三维视觉信息获取技术及机器人的高速视觉检测识别技术,满足智能工业机器人生产线的高速高精度定位跟踪、识别、质量检测等需求。机器人视觉感知核心软硬件,主要包括高速高质量的工业成像系统、高速一体化图像采集处理器、工业视觉检测识别组态软件,它们为工业环境下机器人的视觉成像、微弱目标检测与识别、视觉引导和视觉伺服控制等功能提供技术支持。

(4) 机器人仿生智能感知和仿生智能控制技术研究

仿生感知和控制系统属于仿生学与传感器及机器人技术的交叉学科,通过借鉴、学习和模仿来重现某些生物系统的生物结构、运动特性、感知和控制机理,使得机器人的自适应性、鲁棒性、可靠性、运动多样性和灵巧性等性能获得提高和改善。通过对生物有机体的视觉、听觉、接近觉、味觉、嗅觉、力觉和触觉等生物功能的研究,运用各种传感和检测手段,结合时频分析方法、智能信息处理和各种信息融合手段,实现机器人对环境和被控对象的“感觉”和“理解”,如仿生蝙蝠耳智能听觉、仿生蛙眼智能视觉、仿生鼻智能嗅觉等。随着仿生学的深入研究和智能机器人控制技术的发展,在仿生结构和仿生生物特性的基础上,实现机器人的协调自适应控制和进化完善,如计算推理仿生(遗传算法、神经网络、蚁群算法、粒子群算法、专家系统和模糊方法等)和群体控制仿生等。

1.2 缘起

力在自然世界中无处不在,人类在改造自然的过程中对力现象的认识也不断地深入和完善。早在 2200 多年前,阿基米德(公元前 287—公元前 212)从浴盆中溢出的水得出著名的阿基米德原理,连同他提出的杠杆定律和“给我一个支点,我就能举起地球”,被历史永远铭记。伽利略(1564—1642)因从比萨斜塔上做的“两个铁球同时着地”实验提出自由落体定律,连同惯性定律和伽利略相对性原理,而被誉为“近代力学之父”和“现代科学之父”,其工作为牛顿理论体系的建立奠定了基础。曹冲(196—208)称象的故事描述了曹冲巧妙地利用浮力实现了大象重量的测量,他也因

此被称为“神童”。牛顿(1643—1727)因苹果从树上坠落而产生有关万有引力的灵感作为一个科普故事被广为流传,而牛顿三大定律作为经典力学中基本的运动规律,在各领域被广泛应用(图 1-1)。

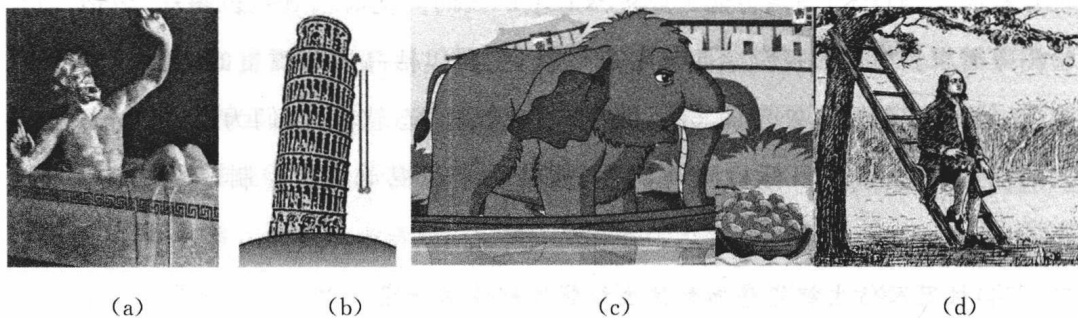


图 1-1 人类对力的认识

(a) 阿基米德; (b) “两个铁球同时着地”实验; (c) 曹冲称象; (d) 牛顿

力觉感知技术的研究从 20 世纪 80 年代开始,到今天已经有近 40 年的历程。在 40 年的研究历程中,从单方向的称重传感器到智能机器人六维力觉感知技术,从遥操作机器人的现场力觉感知到达芬奇手术机器人的力触觉感知,从气体容器的压力传感器到集成式智能压力传感器,从机器人触须式触觉传感器到阵列 MEMS 式智能触觉感知系统,从普通工业机器人关节力矩传感器到太空微重力环境下的空间机器人力觉传感器,力觉和触觉感知技术正在趋于成熟。

本书作者及所在的研究团队长期从事机器人技术和力觉感知技术的研究,参与和承担了多项国家级和省部级关于机器人力觉感知技术课题的研究工作,在该领域积累了一些实际的、系统的开发经验。目前国内外暂无专门针对机器人力觉感知技术方面的书籍出版。因此,作者对现有的资料进行了汇总和总结,期望为智能机器人技术和机器人感知技术领域和相应的工程应用领域提供一定的研究理论和设计方法的支持。

1.3 本书整体思路 and 结构

本书首先概述机器人感知系统和多维力传感器的研究现状,介绍常用的力觉检测原理、解耦方法和理论基础,然后对应用于不同场合的多维力感知系统进行了设计说明和实验验证,如应用于三维坐标测量、仿人机器人足部、微动执行器、水下机

器人腕部等场合的多维力感知系统,最后对高精度微弱信号处理系统进行了分析和设计,为多维力觉感知系统的实现做好软件准备。

第2章将智能机器人感知系统进行了一个整体的描述,对智能机器人多维力/力矩信息感知获取技术进行了阐述,对现有成熟的感知方法进行了总结,对比了各种常见方法的优缺点,并对经典的力觉感知研究成果进行了国内外调研。

第3章对成熟的几种多维力/力矩传感器检测原理进行了阐述,如电阻应变式、电容式、压电式和光纤光栅式等检测原理。并通过一个指尖四维力/力矩传感器的设计实例说明了常用的力觉传感器的设计思路 and 开发步骤。

第4章对常用的机器人多维力/力矩传感器解耦方法进行了综述,对常用的直接求逆法、最小二乘法、基于BP神经网络的解耦、基于支持向量机SVR的解耦、基于极限学习机的解耦方法进行了说明,并以一个机器人六维腕力/力矩传感器为实验对象,对比了这几种解耦算法的优缺点。相关的算法实现和软件开发代码都作为附录列在书后,读者可以向作者或湖南大学出版社索要电子版的代码。

第5章详细阐述了基于五维力/力矩传感器的三维坐标探头系统设计和研制过程。该章还介绍了如何利用目前流行的仿真驱动的设计方法完成力觉感知系统的最优化设计。实验结果论证了设计的可行性和有效性。

第6章介绍了基于并联机构的多维力/力矩传感器的发展,分析了常见的基于Stewart并联机构的六维力/力矩传感器的检测原理,并详细分析了基于新型并联机构构型的仿人机器人足部多维力/力矩传感器的设计和开发过程。

第7章简单介绍了空间多自由度微执行器的发展现状,设计了一种新型的多自由度柔性并联机构,并利用基于坐标变换法的柔性并联机构刚度分析方法,得到了机构的刚度分布图,通过极坐标搜索法绘制和计算了机构的工作空间,该章最后部分,对基于柔性并联机构的六维力/力矩传感器与六自由度微执行器一体化设计过程进行了详细的阐述。

第8章探讨了多维力/力矩传感器的特殊应用——水下环境下的力/力矩信息获取技术,针对水下特殊环境,提出了一种新型水下机器人腕部六维力/力矩传感器。并分析和考虑了水下多维力/力矩传感器的密封、压力补偿、温度补偿等主要保护措施。

第9章针对机器人多维力/力矩传感器产生的微弱信号采集问题,对微弱力信号

采集系统进行了简单的描述。对常用的微弱信号处理算法原理进行了说明,重点分析了随机共振系统模型与理论基础,最后通过软件的开发实现了基于随机共振理论的机器人多维力/力矩传感器微弱信号采集方法。相关的算法实现和软件开发代码都作为附录列在书后,读者可以向作者或湖南大学出版社索要电子版的代码。

1.4 本书主要工作与贡献

本书作者期望能在以下研究内容和方法上做出一定的贡献:

①系统地汇总和分析智能机器人力觉感知的原理和检测方法,对各原理及方法的优点和局限做出对比分析。

②对常见的机器人力觉感知系统的耦合机理和主要问题进行了分析,对比研究了常见的几种解耦方法,提出用极限学习机来实现解耦,各种解耦方法的结果分析显示,解耦方法的优越性将极大程度地提高力觉感知系统的整体性能。

③基于并联机构和柔性关节,提出基于柔性并联机构的微动执行器,系统集成有一体化的六维力感知功能,为系统的闭环控制提供实时力/位置信息,从而提高系统性能和精度。系统实现了机构、驱动、检测一体化,可以达到微米级的操作精度。

④本书中涉及的所有算法的实现如解耦算法、基于随机共振理论的信号采集算法都作为附录提供,读者可以有针对性地修改和借鉴,以便更快地开发出自己的算法和感知系统。

⑤本书对多个应用场合的力觉感知系统进行了分析和设计,旨在进一步认识、理解机器人多维力/力矩传感器的基础上,设计和研制针对多种特殊应用环境的多维力/力矩传感器,达到扩展多维力/力矩传感器的应用领域和适应更广泛的应用需求的目的,并为智能机器人多维力觉感知系统的设计和开发工作提供理论和实际开发经验。

1.5 期望达到的效果与机器人力觉感知发展趋势

随着机器人技术的进步,其应用领域也在不断地扩展,目前机器人开始广泛应用于机械、汽车、医药康复、食品饮料、电子等行业,通过示教再现或离线编程的方式

完成预先规划好的产品质量检测、拾取、分拣、放置、装配、焊接、搬运、码垛等单一重复性操作任务。然而,机器人作为自动化领域最核心的装备,人们希望机器人能在未知环境下更加智能和柔性地完成更加复杂的作业任务。显然传统的固定模式和单任务工作模式无法满足智能复杂作业任务的需求,迫切需要引入智能感知、信息获取和控制技术,以完成更加复杂和自动化水平要求更高的作业处理。机器人感知技术通过获取和分析力觉、触觉、视觉、位置等信息,实现对外部环境和内部状态的理解,为人机的智能交互和柔性作业提供决策依据,是机器人实现智能自主操作的关键基础技术和主要瓶颈。机器人多维力觉感知系统通过同时获取机器人在执行操控任务时与外界环境或操作对象之间产生的三维空间中多维力/力矩信息,实现机器人力觉、触觉、滑觉和震动等信息获取功能,被广泛应用于工业生产与国防科技等多个领域(图 1-2)以辅助实现柔性精密操控、零力示教、轮廓跟踪、自动柔性装配、机器人多手协作、机器人临场感和遥操作、机器人虚拟和远程手术、康复训练等作业任务。

本书旨在介绍智能机器人力觉感知技术的发展现状和应用前景,使读者对该领域有大概的认识,对力觉检测和感知方法有清晰的了解。力觉感知技术在将来的智

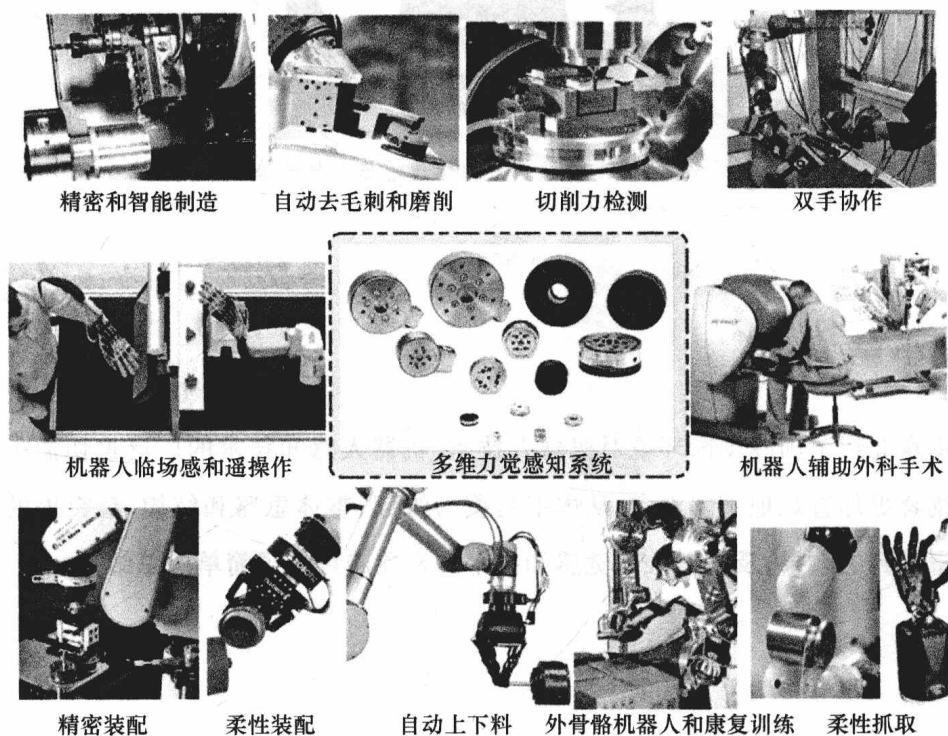


图 1-2 力觉感知系统的应用领域