



中国科学院研究生院教材

Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

先进机器人控制

谭民 徐德 侯增广 编著
王硕 曹志强

Advanced Robot Control



高等教育出版社
Higher Education Press



中国科学院研究生院教材

Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

先进机器人控制

谭民 徐德 侯增广 编著
王硕 曹志强

Advanced Robot Control



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书从控制的角度系统地介绍了机器人学的基础知识和当前的发展状况。全书共分为 12 章,由基础篇、控制结构篇和先进控制篇构成。基础篇着重介绍串联关节机器人的运动学、运动规划和动力学。其中,运动学部分从坐标变换入手,介绍了正向运动学方程的建立、逆向运动学的求解以及机器人的微分运动等内容。控制结构篇着重介绍机器人的传感技术、位置控制和力控制。针对机器人控制领域的研究动态和主要研究方向,先进控制篇介绍了传感信息融合、视觉控制、协调控制、移动机器人技术、智能控制方法等。

全书以串联关节机器人为主,同时兼顾了移动机器人的控制问题。本书注重理论与应用的结合,力求使读者能够尽快掌握机器人控制技术,了解机器人控制的主要研究方向。

本书可作为控制科学与工程、计算机等学科的研究生和高年级本科生教材,也可作为科研工作者和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

先进机器人控制/谭民等编著. —北京:高等教育出版社,2007.5

ISBN 978-7-04-020883-2

I. 先… II. 谭… III. 机器人控制 IV. TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 031792 号

策划编辑 刘 英 责任编辑 王莉莉 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 史新薇 责任校对 胡晓琪 责任印制 韩 刚

| | | | |
|------|----------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社 | 购书热线 | 010-58581118 |
| 社 址 | 北京市西城区德外大街 4 号 | 免费咨询 | 800-810-0598 |
| 邮政编码 | 100011 | 网 址 | http://www.hep.edu.cn |
| 总 机 | 010-58581000 | | http://www.hep.com.cn |
| 经 销 | 蓝色畅想图书发行有限公司 | 网上订购 | http://www.landaco.com |
| 印 刷 | 北京中科印刷有限公司 | | http://www.landaco.com.cn |
| | | 畅想教育 | http://www.widedu.com |
| 开 本 | 787×1092 1/16 | 版 次 | 2007 年 5 月第 1 版 |
| 印 张 | 30.25 | 印 次 | 2007 年 5 月第 1 次印刷 |
| 字 数 | 550 000 | 定 价 | 41.10 元 |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20883-00

中国科学院研究生院教材编审委员会

主任：白春礼

顾问：余翔林

副主任：马石庄（常务） 刘志鹏 韩兴国 苏 刚

委员（按姓氏笔画排列）：

石耀霖 李家春 李伯聪 李 佩 刘嘉麒 张文芝
张增顺 吴 向 汪尔康 汪寿阳 杨 乐 徐至展
阎保平 黄荣辉 黄 钧 彭家贵 裴 钢 谭铁牛

技术学科编审组

主 编：徐至展

副主编：涂国防

委 员：王 珏 王家骥 冯玉琳 冯登国 刘立人 阴和俊

张良益 张雨东 邹谋炎 柳欣欣 唐志敏 顾逸东

顾国彪 阎保平 夏善红 黄伟光 谭铁牛 潘辛平

总序

在中国科学院研究生院和高等教育出版社的共同努力下，凝聚着中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血和汗水的中国科学院研究生院教材面世了。这套教材的出版，将为丰富我院研究生教育资源，提高研究生教育质量，培养更多高素质的科技人才起到积极的推动作用。

作为科技国家队，中国科学院肩负着面向国家战略需求，面向世界科学前沿，为国家作出基础性、战略性和前瞻性的重大科技创新贡献和培养高级科技人才的使命。中国科学院研究生教育是我国高等教育的重要组成部分，在新的历史时期，中国科学院研究生教育不仅要为我院知识创新工程提供人力资源保障，还担负着落实科教兴国战略和人才强国战略，为创新型国家建设培养一大批高素质人才的重要使命。

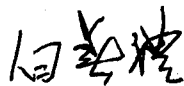
集成中国科学院的教学资源、科技资源和智力资源，中国科学院研究生院坚持教育与科研紧密结合的“两段式”培养模式，在突出科学教育和创新能力培养的同时，重视全面素质教育，倡导文理交融、理工结合，培养的研究生具有宽厚扎实的基础知识、敏锐的科学探索意识、活跃的创新思维和唯实、求真、协力、创新的良好素质。

研究生教材建设是研究生教育中重要的基础性工作。由一批活跃在科学前沿，同时又具有丰富教学经验的科学家编写的中

中国科学院研究生院教材，适合在校研究生学习使用，也可作为高校教师和专业研究人员的参考书。这套研究生教材内容力求科学性、系统性、基础性和前沿性的统一，使学习者不仅能获得比较系统的科学基础知识，也能体会蕴于其中的科学精神、科学思想、科学方法，为进入科学研究的学术殿堂奠定良好的基础；不但是体现教学内容和教学方法的知识载体、开展教学的基本条件和手段，也是深化教学改革、提高教育质量、促进科学教育与人文教育结合的重要保证。

“十年树木，百年树人”。我相信，经过若干年的努力，中国科学院研究生院一定能建设起多学科、多类型、多品种、多层次配套的研究生教材体系，为我国研究生教育百花园增添一支新的奇葩，为我国高级科技人才的培养作出新的贡献。

中国科学院常务副院长
中国科学院研究生院院长
中国科学院 院士



二〇〇六年二月二十八日

前 言

机器人学涉及机械工程学、电子学、控制科学、计算机科学等众多学科,是一门重要的综合性前沿学科。目前国际上已经成立了大量的机器人学会和协会,众多的研究团体和机构从事机器人的研究,包括机器人的结构、机器人的视觉与触觉、机器人的智能、机器人的控制方法等。在控制领域,国际上著名的学术团体 IEEE 和 IFAC 对机器人的控制与应用都给予了充分的重视。IEEE 就有专门的学术期刊《IEEE Transactions on Robotics and Automation》,刊载机器人与自动化方面的重要成果。随着机器人研究和应用的不断发展,IEEE 在 2004 年 8 月将《IEEE Transactions on Robotics and Automation》分成两本学术期刊,分别为《IEEE Transactions on Robotics》和《IEEE Transactions on Automation Science and Engineering》。其中,《IEEE Transactions on Robotics》专门刊载机器人领域的最新研究成果。机器人控制的研究,在机器人领域占有非常重要的地位。

本书是编者近年来在中国科学院研究生院授课的基础上,结合编者所在研究组的研究成果以及国内外的研究进展编著而成的。本书在介绍机器人基础知识的基础上,对当前机器人控制领域的研究前沿、热点问题进行了分析。通过教学,学生不但能够掌握机器人领域的基础知识、基本理论,而且能够熟悉本领域的研究进展。期望通过本书的介绍,有助于读者熟悉、了解机器人领域的研究。

本书由基础篇、控制结构篇和先进控制篇构成,分为 12 章。基础篇由绪论、机器人运动学、机器人的运动规划、工业机器人动力学分析构成,着重介绍机器人控制的基础知识,是机器人控制的入门内容。控制结构篇由机器人传感器、机器人的位置控制和机器人的力控制构成,主要为从事机器人研究的人员提供机器人控制的基本概念与结构。先进控制篇由机器人传感器信息融合、机器人的视觉测量与控制、多机器人协调与控制、移动机器人定位与导航以及机器人先进控制方法构成,重点从信息感知、协调控制、智能控制这些热点问题探讨先进机器人的控制。

本书由谭民、徐德提出总体结构,编写章节写作提纲,并对书稿各章进行统

II 前言

稿。第1章的1.4节、第2章、第3章的3.1~3.3节、第6章、第7章、第9章由徐德撰写；第8章、第11章、第12章由侯增广撰写；第4章和第5章由王硕撰写；第1章的1.1~1.3节和1.5节、第3章的3.4节、第10章由曹志强撰写。

本书中的部分研究工作得到了国家“973”计划、“863”计划和国家自然科学基金的资助，编者在此表示诚挚的感谢。本书的出版得到了中国科学院研究生院的大力支持和帮助，编者在此表示衷心的感谢。本书的部分内容，采用了编者所在研究组的研究成果，特别感谢与编者共同研究并对这些研究成果做出贡献的研究人员。

近年来，机器人研究发展迅速，特别是机器人控制方面的研究不断取得新的进展。编者虽然力图在本书中能够体现机器人控制的主要进展，但由于机器人控制一直处于不断发展之中，再加上编者水平所限，难以全面、完整地当前的研究前沿和热点问题一一进行探讨。书中存在的错误与不当之处，敬请读者批评指正。

编者

2006年8月

基础篇

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 3 |
| 1.1 机器人的基本概念与发展历程 | 3 |
| 1.2 机器人学的研究领域 | 5 |
| 1.3 机器人的特点与基本结构 | 7 |
| 1.4 机器人控制的基本方法 | 8 |
| 1.4.1 根据控制量分类 | 9 |
| 1.4.2 根据控制算法分类 | 11 |
| 1.5 本领域的重要学术期刊与会议简介 | 16 |
| 参考文献 | 17 |
| 习题 | 19 |
| 第 2 章 机器人运动学 | 20 |
| 2.1 位置与姿态的表示 | 20 |
| 2.1.1 位置描述 | 20 |
| 2.1.2 姿态描述 | 23 |
| 2.1.3 位姿描述 | 27 |
| 2.2 坐标变换 | 28 |
| 2.2.1 坐标变换 | 28 |
| 2.2.2 齐次坐标变换 | 30 |
| 2.3 通用旋转变换 | 34 |
| 2.3.1 通用旋转变换 | 34 |
| 2.3.2 通用旋转变换的转轴与转角求取 | 36 |
| 2.4 连杆变换矩阵 | 39 |
| 2.4.1 关节与连杆 | 39 |
| 2.4.2 连杆坐标系 | 40 |
| 2.4.3 连杆变换矩阵 | 43 |
| 2.5 机器人正向运动学 | 46 |
| 2.5.1 PUMA 560 机器人的正向运动学 | 46 |
| 2.5.2 MOTOMAN K10 机器人的正向运动学 | 51 |
| 2.5.3 移动机器人的运动学与推算定位法 | 56 |

II 目录

| | |
|-----------------------------|------------|
| 2.6 机器人逆向运动学 | 61 |
| 2.6.1 解析法 | 62 |
| 2.6.2 投影法与解析法相结合 | 68 |
| 2.7 机器人的微分运动 | 72 |
| 2.7.1 微分变换 | 72 |
| 2.7.2 雅可比矩阵 | 79 |
| 2.7.3 雅可比矩阵的求取实例 | 81 |
| 本章小结 | 83 |
| 参考文献 | 84 |
| 习题 | 85 |
| 第3章 机器人的运动规划 | 90 |
| 3.1 工业机器人的运动 | 90 |
| 3.1.1 点到点运动 | 90 |
| 3.1.2 轨迹跟踪运动 | 91 |
| 3.2 工业机器人的关节空间运动规划 | 91 |
| 3.2.1 关节空间运动规划 | 91 |
| 3.2.2 3次多项式插值 | 92 |
| 3.2.3 过路径点的3次多项式插值 | 93 |
| 3.2.4 高阶多项式插值 | 96 |
| 3.2.5 用抛物线过渡的线性插值 | 97 |
| 3.2.6 过路径点的抛物线过渡线性插值 | 99 |
| 3.2.7 B样条插值 | 102 |
| 3.3 工业机器人的笛卡儿空间运动规划 | 107 |
| 3.3.1 位置规划 | 108 |
| 3.3.2 姿态规划 | 110 |
| 3.4 移动机器人路径规划 | 111 |
| 3.4.1 基于栅格的方法 | 112 |
| 3.4.2 基于行为的方法 | 115 |
| 本章小结 | 122 |
| 参考文献 | 122 |
| 习题 | 124 |
| 第4章 机器人动力学分析 | 126 |
| 4.1 拉格朗日—欧拉法 | 126 |
| 4.1.1 机器人的连杆速度 | 130 |
| 4.1.2 机器人的动能 | 132 |
| 4.1.3 机器人的势能 | 134 |
| 4.1.4 机器人的动力学方程 | 134 |
| 4.1.5 两自由度机器人的动力学方程实例 | 136 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 4.2 牛顿—欧拉法 | 139 |
| 4.2.1 转动坐标系和平移坐标系 | 139 |
| 4.2.2 杆件的运动学 | 141 |
| 4.2.3 机器人的递归动力学方程 | 143 |
| 4.2.4 两自由度机器人的动力学方程实例 | 146 |
| 本章小结 | 150 |
| 参考文献 | 150 |
| 习题 | 151 |

控制结构篇

| | |
|--------------------------|------------|
| 第5章 机器人传感器 | 155 |
| 5.1 位置传感器 | 155 |
| 5.1.1 电阻式电位器 | 155 |
| 5.1.2 编码器 | 157 |
| 5.1.3 线性可变差接变压器 | 160 |
| 5.1.4 基于磁效应的位移传感器 | 161 |
| 5.1.5 微动开关 | 161 |
| 5.2 速度与加速度传感器 | 161 |
| 5.2.1 测速发电机 | 162 |
| 5.2.2 基于编码器的速度测量 | 162 |
| 5.2.3 基于多普勒效应的测速系统 | 163 |
| 5.2.4 加速度传感器 | 163 |
| 5.3 陀螺 | 164 |
| 5.3.1 机械陀螺 | 164 |
| 5.3.2 压电陀螺 | 166 |
| 5.3.3 光学陀螺 | 166 |
| 5.3.4 微机械电子陀螺 | 169 |
| 5.4 力和力矩传感器 | 170 |
| 5.4.1 通过电机电流检测力 | 170 |
| 5.4.2 力敏电阻 | 171 |
| 5.4.3 压电式力传感器 | 171 |
| 5.4.4 应变片 | 172 |
| 5.4.5 三维力和力矩传感器 | 172 |
| 5.5 接近传感器 | 173 |
| 5.6 地磁场传感器 | 174 |
| 5.6.1 机械式方向磁罗盘 | 174 |
| 5.6.2 磁通门式罗盘 | 175 |
| 5.6.3 霍尔效应式罗盘 | 175 |

IV 目录

| | |
|----------------------------|------------|
| 5.6.4 磁阻式罗盘 | 177 |
| 5.7 距离传感器 | 178 |
| 5.7.1 渡越时间测量距离方法 | 178 |
| 5.7.2 三角测量方法 | 181 |
| 5.7.3 基于结构光的距离测量方法 | 181 |
| 5.8 视觉传感器 | 182 |
| 5.8.1 光导管摄像机 | 182 |
| 5.8.2 数码摄像机 | 183 |
| 5.9 接触和触觉传感器 | 185 |
| 5.9.1 接触传感器 | 185 |
| 5.9.2 压阻式触觉传感器 | 186 |
| 5.9.3 电容式触觉传感器 | 186 |
| 本章小结 | 188 |
| 参考文献 | 188 |
| 习题 | 189 |
| 第6章 机器人的位置控制 | 190 |
| 6.1 工业机器人的关节空间位置控制 | 190 |
| 6.1.1 单关节位置控制 | 190 |
| 6.1.2 多关节位置控制 | 197 |
| 6.1.3 关节位置控制实例 | 198 |
| 6.2 工业机器人的笛卡儿空间位置控制 | 200 |
| 6.2.1 笛卡儿空间位置控制器 | 200 |
| 6.2.2 控制系统软件 | 201 |
| 6.2.3 笛卡儿位置控制实验结果 | 203 |
| 6.3 基于网络的机器人实时位置控制 | 204 |
| 6.3.1 多层次结构的实时控制系统框架 | 204 |
| 6.3.2 单机实时控制系统硬件构成 | 205 |
| 6.3.3 控制系统软件 | 206 |
| 6.3.4 实验结果 | 207 |
| 6.4 机器人的位置控制实例 | 209 |
| 6.4.1 掩模传输系统简介 | 209 |
| 6.4.2 掩模传输机器人的结构 | 210 |
| 6.4.3 掩模传输机器人的控制系统 | 211 |
| 6.4.4 传输与对准控制 | 214 |
| 6.4.5 实验与结果 | 219 |
| 6.5 移动机器人的位置控制 | 223 |
| 6.5.1 基于行为的移动机器人位置控制 | 223 |
| 6.5.2 基于行为的位置控制性能 | 224 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 6.5.3 实验与结果 | 227 |
| 本章小结 | 229 |
| 参考文献 | 230 |
| 习题 | 231 |
| 第7章 机器人的力控制 | 232 |
| 7.1 刚度与柔顺 | 232 |
| 7.1.1 机器人的刚度 | 232 |
| 7.1.2 机器人的柔顺 | 233 |
| 7.2 工业机器人的笛卡儿空间静力与关节空间静力的转换 | 235 |
| 7.2.1 不同坐标系间的静力变换 | 235 |
| 7.2.2 笛卡儿空间与关节空间的静力变换 | 236 |
| 7.2.3 主动刚性控制 | 239 |
| 7.3 阻抗控制主动柔顺 | 239 |
| 7.3.1 力反馈型阻抗控制 | 240 |
| 7.3.2 位置型阻抗控制 | 241 |
| 7.3.3 柔顺型阻抗控制 | 243 |
| 7.4 力和位置混合控制 | 245 |
| 7.4.1 R-C 力和位置混合控制 | 245 |
| 7.4.2 改进的 R-C 力和位置混合控制 | 247 |
| 本章小结 | 248 |
| 参考文献 | 249 |
| 习题 | 250 |

先进控制篇

| | |
|--------------------------------|------------|
| 第8章 机器人传感器信息融合 | 253 |
| 8.1 多传感器信息融合的主要方法 | 253 |
| 8.2 移动机器人的多传感器信息融合 | 255 |
| 8.3 基于多超声传感器的移动机器人信息融合 | 259 |
| 8.3.1 D-S 证据基本理论 | 259 |
| 8.3.2 基于多超声传感器的环境描述 | 260 |
| 8.4 基于 CCD 与多超声传感器的信息融合 | 264 |
| 8.4.1 利用 CCD 摄像机获取物体边缘信息 | 264 |
| 8.4.2 利用超声传感器阵列探测物体边缘 | 268 |
| 8.4.3 CCD 与超声阵列信息融合 | 271 |
| 8.4.4 实验研究 | 273 |
| 本章小结 | 279 |
| 参考文献 | 279 |
| 习题 | 282 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第9章 机器人的视觉测量与控制 | 283 |
| 9.1 机器人视觉系统类型 | 283 |
| 9.1.1 根据控制模型进行分类 | 283 |
| 9.1.2 根据摄像机与机器人的相互位置分类 | 284 |
| 9.1.3 根据摄像机数目分类 | 285 |
| 9.1.4 根据是否自然测量进行分类 | 285 |
| 9.2 结构光立体视觉测量 | 286 |
| 9.2.1 结构光立体视觉测量原理 | 286 |
| 9.2.2 结构光双目视觉定位 | 287 |
| 9.2.3 实验与结果 | 290 |
| 9.3 基于矩形目标约束的视觉测量 | 293 |
| 9.4 基于位置的机器人视觉控制 | 294 |
| 9.4.1 利用视觉进行位置给定的控制 | 294 |
| 9.4.2 基于位置的机器人视觉伺服控制 | 295 |
| 9.5 基于图像的视觉伺服控制 | 296 |
| 9.5.1 利用图像特征生成给定的控制 | 296 |
| 9.5.2 基于图像的机器人视觉伺服控制 | 298 |
| 9.6 基于结构光的机器人弧焊混合视觉伺服控制 | 301 |
| 9.6.1 图像空间到机器人末端笛卡儿空间的雅可比矩阵 | 301 |
| 9.6.2 混合视觉伺服控制 | 304 |
| 9.6.3 实验与结果 | 305 |
| 9.7 无标定摄像机的立体视觉伺服控制 | 306 |
| 9.7.1 基本原理 | 306 |
| 9.7.2 立体视觉伺服控制 | 307 |
| 9.7.3 实验与结果 | 310 |
| 9.8 具有焊缝识别与跟踪功能的弧焊机器人系统 | 312 |
| 9.8.1 开放式控制平台框架 | 313 |
| 9.8.2 弧焊机器人系统构成 | 314 |
| 9.8.3 系统工作原理 | 316 |
| 9.8.4 实验与结果 | 321 |
| 9.9 具有视觉和听觉功能的机器人头部系统 | 321 |
| 9.9.1 系统体系结构 | 321 |
| 9.9.2 视觉系统 | 322 |
| 9.9.3 语音控制 | 325 |
| 9.9.4 机器人的操作任务 | 326 |
| 9.9.5 网络通信模块 | 329 |
| 9.9.6 实验与结果 | 330 |
| 本章小结 | 333 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 参考文献 | 333 |
| 习题 | 336 |
| 第 10 章 多机器人协调与控制 | 337 |
| 10.1 概述 | 337 |
| 10.2 多机器人系统研究内容 | 344 |
| 10.3 机器人环境信息及其群体行为的研究 | 348 |
| 10.3.1 多机器人系统研究模型 | 348 |
| 10.3.2 机器人子群链型排列的实现 | 351 |
| 10.4 多机器人系统基于搜集的任务分配 | 354 |
| 10.4.1 多机器人任务分配 | 354 |
| 10.4.2 多机器人搜集任务分配算法 | 357 |
| 10.5 多机器人系统围捕作业 | 364 |
| 10.5.1 机器人策略设计 | 365 |
| 10.5.2 evader 策略设计 | 367 |
| 10.5.3 仿真实验 | 368 |
| 本章小结 | 372 |
| 参考文献 | 372 |
| 习题 | 375 |
| 第 11 章 移动机器人定位与导航 | 376 |
| 11.1 定位与导航方法 | 376 |
| 11.2 移动机器人 CASIA - I | 380 |
| 11.2.1 移动机器人 CASIA - I 的体系结构 | 380 |
| 11.2.2 移动机器人 CASIA - I 的硬件系统 | 383 |
| 11.2.3 移动机器人 CASIA - I 的软件系统 | 386 |
| 11.3 移动机器人 CASIA - I 的运动学分析与控制 | 387 |
| 11.3.1 移动机器人运动学分析 | 387 |
| 11.3.2 移动机器人运动控制 | 392 |
| 11.4 移动机器人的定位 | 397 |
| 11.4.1 基于光电码盘的移动机器人定位 | 397 |
| 11.4.2 基于光电码盘和 CCD 的移动机器人定位 | 404 |
| 11.5 基于门牌路标的移动机器人导航 | 408 |
| 11.5.1 移动机器人 CASIA - I 导航 | 409 |
| 11.5.2 导航实验 | 421 |
| 本章小结 | 422 |
| 参考文献 | 423 |
| 习题 | 429 |
| 第 12 章 机器人先进控制方法 | 430 |
| 12.1 滑模变结构控制在机器人中的应用 | 430 |

VIII 目录

| | |
|------------------------------|-----|
| 12.1.1 滑模变结构控制原理 | 430 |
| 12.1.2 机器人滑模变结构控制 | 432 |
| 12.1.3 仿真结果 | 433 |
| 12.2 机器人预测控制 | 437 |
| 12.2.1 机器人动力学模型 | 437 |
| 12.2.2 预测控制原理 | 437 |
| 12.2.3 机器人预测控制 | 440 |
| 12.2.4 仿真结果 | 441 |
| 12.3 模型参考自适应控制在机器人中的应用 | 444 |
| 12.3.1 模型参考自适应控制算法 | 444 |
| 12.3.2 基于机器人模型的推导 | 445 |
| 12.3.3 仿真研究 | 446 |
| 12.4 模糊控制在机器人中的应用 | 447 |
| 12.4.1 模糊逻辑 | 447 |
| 12.4.2 两关节机械手模糊控制器设计 | 448 |
| 12.4.3 仿真结果 | 450 |
| 12.5 神经网络方法在机器人控制中的应用 | 451 |
| 12.5.1 前向多层神经网络 | 451 |
| 12.5.2 基于神经网络的机器人控制 | 452 |
| 本章小结 | 455 |
| 参考文献 | 456 |
| 习题 | 459 |

Contents

Fundamentals

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Chapter 1 Introduction | 3 |
| 1.1 Robotic Definitions and Development | 3 |
| 1.2 Major Research Topics of Robotics | 5 |
| 1.3 Basic Characteristics and Structure of Robots | 7 |
| 1.4 Basic Methods and Trends of Robot Control | 8 |
| 1.4.1 Classification According to Control Variables | 9 |
| 1.4.2 Classification According to Control Algorithms | 11 |
| 1.5 Important Academic Journals and Conferences on Robotics | 16 |
| References | 17 |
| Exercises | 19 |
| Chapter 2 Robot Kinematics | 20 |
| 2.1 Representation of Position and Orientation | 20 |
| 2.1.1 Position Description | 20 |
| 2.1.2 Orientation Description | 23 |
| 2.1.3 Description of Position and Orientation | 27 |
| 2.2 Coordinate Transformation | 28 |
| 2.2.1 Coordinate Transformation | 28 |
| 2.2.2 Homogenous Coordinate Transformation | 30 |
| 2.3 General Rotation Transformation | 34 |
| 2.3.1 General Rotation Transformation | 34 |
| 2.3.2 Axis and Angle Solution of General Rotation Transformation | 36 |
| 2.4 Transformation Matrix for Links | 39 |
| 2.4.1 Joint and Link | 39 |
| 2.4.2 Link Coordinates | 40 |
| 2.4.3 Transformation Matrix for Links | 43 |
| 2.5 Robot Kinematics | 46 |
| 2.5.1 Kinematics of PUMA 560 Robot | 46 |
| 2.5.2 Kinematics of K10 Robot | 51 |
| 2.5.3 Kinematics of Mobile Robots and Dead Reckoning | 56 |