

新版 机器人技术手册

〔日〕日本机器人学会 编
宗光华 程君实 等 译



科学出版社

北京

图字: 01-2005-6303 号

内 容 简 介

本书为第二版,是由日本机器人学会组织编写的大型机器人专业工具书。原著的初版至第二版时隔15年,在这段时间里科技发展突飞猛进,因此修订改版时增加了不少新的内容。本书无论从篇幅还是从专家阵容来看,是一部难得的、具有高学术水平和实用价值的机器人技术大全。

全书共八篇四十三章,书后还附有附录。本书内容涉及基础、元器件、机器人机构及控制、智能技术、系统技术、下一代机器人基础技术,以及机器人在制造业中的应用、机器人应用系统等,可以说囊括了机器人的全部技术内容,荟萃了世界(特别是日本)机器人技术的最新成果和前沿技术。

本书内容新颖、全面系统、资料翔实,可供机器人、机械工程、自动控制、信息技术、工厂自动化以及人工智能、传感技术等领域的科研人员、应用技术人员及高等院校的师生参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

新版机器人技术手册/(日)日本机器人学会编;宗光华,程君实等译.
—北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-019465-7

I. 新… II. ①日…②宗…③程… III. 机器人技术-手册
IV. TP242-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 113610 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:来佳音

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007年10月第一次印刷 印张:74

印数:1—3 000 字数:1 866 000

定 价:180.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

新版 ロボット工学ハンドブック

Robotics Handbook——2nd ed.

社団法人日本ロボット学会 株式会社コロナ社 2005

The Robotics Society of Japan Corona Publishing Co.,Ltd.

Copyright © 1990,2005 by The Robotics Society of Japan

& Corona Publishing Co., Ltd. All rights reserved.

Chinese translation rights arranged with

Corona Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan

新版译者序

从1954年美国 Devol 颁布工业机器人专利至今已经半个世纪了。它的成长历程印证了这样的论断：机器人是20世纪人类的伟大发明。机器人学的进步和应用是20世纪自动控制最具有说服力的成就，是当代最高意义的自动化。进入21世纪，人们正在愈来愈深切地感受到机器人深入产业、融入生活、渗透到社会各个角落的坚实步伐。

日本是世界上公认的机器人技术发展最快、机器人应用数量最多的国家，有“机器人王国”之称。20世纪80年代，由日本机器人学会牵头，著名机器人学者加藤一郎担任主编，汇集一大批日本国内活跃在机器人技术第一线的从事科学研究、教学和开发的专家学者，编撰了《机器人技术手册》（第一版），由日本 Corona 出版社于1990年出版发行。1996年由科学出版社出版发行了它的中译本。迄今中译本已经渡过了十个春秋，成为中国机器人领域专家学者的得力工具书，陪伴他们见证了中国机器人技术在这一期间的飞速发展。

世纪之交，机器人技术正面临从 R(Robotics) 向 RT(Robotics Technology) 和 IRT(Information and Robotics Technology) 的过渡。简言之，就是机器人的概念、单机、集成系统，将以始料不及的速度迅速地向各个领域渗透，难怪比尔·盖茨预言机器人即将重复个人计算机崛起的道路，成为人们日常生活的一部分，彻底改变这个时代的生活方式。

为了汇总15年来机器人技术的发展成果，也为了纪念日本机器人学会成立20周年，日本机器人学会于2000年着手《新版 机器人技术手册》的编辑工作，历时5年，终于在2005年6月付梓。承蒙科学出版社热心于中国机器人事业，积极与原出版社沟通版权，及时组织国内机器人学界的多位专家学者进行翻译，使新版中译本能够较快问世。

实际上，与第一版相比较，《新版 机器人技术手册》不但全面调整了章节结构，修改补充了内容，而且紧跟机器人技术的进步，增添了不少新的章节，荟萃了当今世界机器人技术领域中各学科专业的最新成果。例如，第2篇“元器件”增加了气动驱动器和特殊驱动器的内容；第3篇“机器人的机构及控制”以李代数代替原来的 Motor 作为数学工具，增加了并联机构和轮式移动方式，删节了步行机器人的部分内容和特种机器人机构，对自主移动给予更多的关注；第4篇“智能技术”和第5篇“系统技术”的内容也有大幅度调整，体现出作者在选材方面与时俱进的用心，在视觉、听觉、力觉、触觉等机器人高级智能的信息处理技术，传感器信息融合、行动规划、自主移动等方面作了详细的介绍，增加了开放系统、软伺服、系统设计、分散系统的内容；第6篇“新一代机器人基础技术”是全新的一篇，涉及拟人机器人、微机器人、仿生机器人，它们被视为21世纪机器人技术的新宠儿；第7篇“机器人在制造业中的应用”和第8篇“机器人应用系统”更加关注15年来机器人应用拓展的新领域，把重点放在系统应用上。

可见，《新版 机器人技术手册》为读者展现了一个新的架构，更具有可读性、参考价值和时代特点，我们有理由相信，这是一本读者值得企盼的最好的工具书之一。

参加本书翻译的有宗光华（新版前言、各篇内容介绍、凡例、附录），张海（第1篇），杨

洋(第2篇),程君实(第3篇),卢伯英(第4篇),李祖枢(第5篇第1章~第6章),曹其新(第5篇第7章~第11章),易建强、张立(第6篇),宗光华、唐伯雁(第7篇、第8篇)。宗光华负责译稿的联络协调,并对译稿的全部内容以及存疑词汇进行了审校,正是各位的辛勤努力,才使得这部巨著能在短时间内脱稿。

值此《新版 机器人技术手册》付梓之际,我谨向百忙中拨冗执笔的各位译者,向编辑出版这部巨著的科学出版社的有关编辑,以及 Corona 出版社和原著编辑委员会的各位委员表示诚挚的谢意。

愿本书能够为新世纪中国的机器人技术发展起到推波助澜的作用。

本书内容浩瀚,译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

宗光华

2007年6月7日

新版前言

从《机器人技术手册》(第一版)出版发行迄今,已经历了十五个春秋。在这期间机器人技术飞速地发展。鉴于此,我们决定对第一版的内容进行全面修订和补充,出版发行《新版 机器人技术手册》。

在1990年出版发行的《机器人技术手册》(第一版)的前言中,已故的编辑委员会主任加藤一郎有如下一段展望:

“柏林墙的打开和德国的统一,预示着20世纪90年代至21世纪初将是国际形势趋向和平的时代;政治形势的缓和,必然带来全球经济的繁荣和发展。可以预料,机器人不仅能在所有的经济领域大显身手,而且还将步入家庭,成为人类的得力工具和助手。因此,处于世界机器人技术发展前沿的日本出版的《机器人技术手册》(第一版)一书,具有极其重要的意义。”

本书第一版由日本机器人学会组织编撰,执笔者均是活跃在机器人技术领域第一线的从事科学研究、教学和开发的专家。书中荟萃了机器人技术各学科专业的最新成果。在当今世界的机器人技术领域中,《机器人技术手册》(第一版)是读者企盼的最好的工具书。

在第一版问世后的十余年间,机器人的发展轨迹完全印证了加藤一郎主任的睿智,拟人机器人、宠物机器人、康复机器人等陆续从预想变为现实。这些成果,除了得益于计算机及其他相关技术的发展之外,更离不开诸多研究人员和工程师长期不懈的追求。当然,《机器人技术手册》(第一版)也起到了推波助澜的作用。

着手《新版 机器人技术手册》编辑工作之初,原本的设想是成立一个修订准备委员会,任务仅仅限于对初版发行后十余年来机器人技术的发展作一些修订。始料未及的是,传感器、驱动器和计算机技术的进步,加快了机器人产业的支柱——工业机器人的迅速普及,拟人机器人、微纳米机器人、医疗手术和康复机器人相继问世。面对这样的现实,我们不得不增补新的内容,扩大修订范围,于是将编辑重点调整为全面修订和补充。为此在2000年开始组建编辑委员会,并决定将本书作为献给日本机器人学会成立20周年的一份贺礼。

与第一版相同,《新版 机器人技术手册》的读者对象不仅是专业人士,还包括更广大的群体。因此,本书不仅收录了机器人专业知识,而且涵盖了相关的基础知识,并顾及今后可能涉及的前沿学科和应用领域。

本书的编撰工作历时5年,我们期待它能够对机器人各个相关领域的研究有所裨益。

值此《新版 机器人技术手册》付诸出版之际,我谨向百忙中拨冗执笔的各位作者、提供照片和图片的各研究机构和企业、以各种形式为我们提供帮助的各位朋友、审校和编辑这部巨作的编辑委员会的成员,以及Corona出版社的各位先生致以深深的谢意。

《新版 机器人技术手册》编辑委员会

主任 增田良介

2005年5月

《新版 机器人技术手册》编辑委员会名单

主 任 增田良介 东海大学

干 事 市川 诚 Engineer Vision RI Inc.

委 员 (以日文五十音为序)

浅 间 一 东京大学

柿仓正义 东京电机大学

菅野重树 早稻田大学

高濑国克 电气通信大学

比留川博久 (德)产业技术综合研究所

福田敏男 名古屋大学

三宅德久 Paramount Bed Co., Ltd.

横井一仁 (德)产业技术综合研究所

吉 滩 裕 Komatsu Ltd.

米 田 完 东京工业大学

执笔者名单

(以日文五十音为序)

浅 田 稔 大阪大学

浅野哲夫 北陆先端科学技术大学院大学

浅 间 一 东京大学

阿部匡伸 NTT 株式会社

天野久德 (德)消防研究所

新井一彦 鹿岛建设株式会社

新井健生 大阪大学

新井民夫 东京大学

新井史人 名古屋大学

荒 川 淳 株式会社日立制作所

井口信洋 早稻田大学名誉教授

池内克史 东京大学

池浦良淳 三重大学

池田喜一 (德)产业技术综合研究所

池田博康 (德)产业技术综合研究所

石 黑 浩 大阪大学

石原秀则 香川大学

市川 诚 Engineer Vision RI Inc.

一条久夫 (德)产业技术综合研究所

一 濑 昇 早稻田大学

出泽正德 电气通信大学

伊藤宏司 东京工业大学

稻垣克彦 东海大学

井野秀一 东京大学

今井伦太 庆应义塾大学

今泉武男 三菱电机株式会社

林 宪玉 神奈川大学

岩 城 敏 NTT 株式会社

植芝俊夫 (德)产业技术综合研究所

上羽贞行 东京工业大学

植 村 哲 芝浦机电一体化株式会社

内山研史 (社)林业机械化协会

内 山 胜 东北大学

梅田和升 中央大学

梅谷阳二 东京工业大学名誉教授

浦 环 东京大学

远藤隆弘 松下 Factory Solution 株式会社

王 志东 东北大学

大须贺公一 神户大学

太 田 顺 东京大学

大筑康生 (财)新产业创造研究机构

大西正纪 Assist Shinko 株式会社

大西良孝 三菱电机株式会社

大野英隆 湘南工科大学

大道武生	名城大学	盐见 弘	(原)中央大学
大矢晃久	筑波大学	重松文治	五洋建设株式会社
小笠原司	奈良先端科学技术大学院大学	实森彰郎	鸟取环境大学
冈田德次	新泻大学	柴田崇德	(德)产业技术综合研究所
长田道春	Denso Wave Inc.	清水 丰	电气通信大学
小野哲雄	公立箱立未来大学	下仓健一郎	NTT 株式会社
小保 透	东京工业大学	下笹 洋一	综合警备保障株式会社
加贺美聪	(德)产业技术综合研究所	下条 诚	电气通信大学
柿仓正义	东京电机大学	白井良明	立命馆大学
加藤 晋	(德)产业技术综合研究所	菅野重树	早稻田大学
加藤直三	大阪大学	杉本浩一	东京工业大学
金子 真	广岛大学	杉本 旭	北九州市立大学
金广文男	(德)产业技术综合研究所	铃木 诚	东北大学
嘉纳秀明	明治大学	铃森康一	冈山大学
加纳雄三	川崎重工业株式会社	须藤宪道	(原)须藤技术士事务所*
神山新一	(原)秋田县立大学	高瀬国克	电气通信大学
川崎晴久	岐阜大学	高桥隆行	福岛大学
川路茂保	熊本大学	泷泽克俊	Funuc Ltd.
河内启二	东京大学	武田诚一	东京海洋大学
川村贞夫	立命馆大学	馆 暉	东京大学
菅野一郎	Funuc Ltd.	立石哲也	(德)物质材料研究机构
木下源一郎	中央大学	田所 谕	东北大学
木下 聪	Funuc Ltd.	谷江和雄	首都大学东京
木本真之	株式会社不二越	长 健次	丰国工业株式会社
久保田直行	首都大学东京	塚越秀行	东京工业大学
桑原 一	横河电机株式会社	津久井勤	东海大学
玄 相晃	东北大学	辻 敏夫	广岛大学
见城尚志	日本电产株式会社	坪内孝司	筑波大学
神德彻雄	(德)产业技术综合研究所	中内 靖	筑波大学
奥水大和	中京大学	中川昭夫	神户学院大学
小菅一弘	东北大学	中泽笃志	大阪大学
小林哲则	早稻田大学	永田和之	(德)产业技术综合研究所
小南哲也	Denso Wave Inc.	中田 毅	东京电机大学
小森谷 清	(德)产业技术综合研究所	中田 亨	(德)产业技术综合研究所
近野 敦	东北大学	永谷圭司	东北大学
酒井久治	东京海洋大学	中野荣二	千葉工业大学
耕原伸介	Funcu Ltd.	中村恭之	和歌山大学
坂根茂幸	中央大学	中村 充	福井县立大学名誉教授
佐久间一郎	东京大学	中村裕一	京都大学
佐藤 要	东京海洋大学名誉教授	中村仁彦	东京大学
佐藤宏介	大阪大学	成冈岑尔	丰田工机株式会社
佐藤贵之	Funcu Ltd.	西口宏美	东海大学
佐藤知正	东京大学	野波健藏	千葉大学
佐野明人	名古屋工业大学	则次俊郎	冈山大学

- | | | | |
|-------|----------------------|---------------|-------------------------|
| 桥本浩一 | 东北大学 | 松野文俊 | 电气通信大学 |
| 桥本秀纪 | 东京大学 | 松原 仁 | 公立箱立未来大学 |
| 桥本 学 | 三菱电机株式会社 | 松本吉央 | 奈良先端科学技术大学院大学 |
| 长谷川健介 | Mitutoyo Corporation | 水川 真 | 芝浦工业大学 |
| 长谷川 勉 | 九州大学 | 美多 勉 | (原)东京工业大学* |
| 畑冈信夫 | 株式会社日立制作所 | 三宅徳久 | Paramount Bed Co., Ltd. |
| 原 功 | (德)产业技术综合研究所 | 三轮敬之 | 早稻田大学 |
| 原田研介 | (德)产业技术综合研究所 | 村田 智 | 东京工业大学 |
| 伴 一训 | Funuc Ltd. | 森 武俊 | 东京大学 |
| 平井成兴 | (德)产业技术综合研究所 | 森 英雄 | Rotta 有限公司 |
| 平冈弘之 | 中央大学 | 森园哲也 | 丰田工业大学 |
| 平田泰久 | 东北大学 | 森田寿郎 | 庆应义塾大学 |
| 比留川博久 | (德)产业技术综合研究所 | 森本正治 | 大阪电气通信大学 |
| 福田敏男 | 名古屋大学 | 安村充弘 | Funuc Ltd. |
| 藤浦建史 | 大阪府立大学 | 藪内秀隆 | 松下电器产业株式会社 |
| 藤江正克 | 早稻田大学 | 藪田哲郎 | 横滨国立大学 |
| 藤冈秀树 | Rion Co., Ltd. | 山口仁一 | 山口机器人研究所 |
| 藤田雅博 | 索尼株式会社 | 山崎信行 | 庆应义塾大学 |
| 古荘纯次 | 大阪大学 | 山田阳滋 | (德)产业技术综合研究所 |
| 古田贵之 | 千叶工业大学 | 山根隆志 | (德)产业技术综合研究所 |
| 细贝英实 | 诹访东京理工大学 | 汤浅秀男 | (原)东京大学* |
| 堀内正彦 | 九州东海大学 | 横小路泰义 | 京都大学 |
| 堀江三喜男 | 东京工业大学 | 横田真一 | 东京工业大学 |
| 本间和男 | (原)株式会社日立制作所 | 吉川恒夫 | 立命馆大学 |
| 本间 大 | Toki Corporation | 吉川荣和 | 京都大学 |
| 前田浩一 | 立命馆大学 | 吉田邦夫 | Adept Japan Co., Ltd. |
| 前山祥一 | 大阪电气通信大学 | 吉本一穗 | 早稻田大学 |
| 增田良介 | 东海大学 | 米田 完 | 东京工业大学 |
| 町田和雄 | 东京大学 | J. J. Kuffner | 美国卡内基梅隆大学 |
| 松井俊浩 | (德)产业技术综合研究所 | | |
| 松永信智 | 熊本大学 | | |

(上列所属单位统计时间截至 2005 年 5 月)

* 已故

各篇内容简介

本书的目的是向读者提供机器人技术的系统知识。第1篇解读理论基础,第2篇讲述机器人的基本零部件和材料,第3篇涉及机构和控制,第4篇阐述基于信息处理和识别的智能技术,第5篇介绍系统综合技术,第6篇是机器人的研究前沿课题,第7篇展现工业机器人的应用,而第8篇则将内容拓展到机器人在非制造领域中的应用。

下面将上述各篇各章的内容加以概括,以便于读者阅读后掌握本书的基本内容,进而选读各自感兴趣的章节。

第1篇 基础

要了解和学习机器人,事先在名词术语、发展历史、基础理论知识等方面做一些准备是必要的。在第1篇中将学习机器人的定义、发展历史,以及与机器人技术有关的数学、力学、控制和计算机科学方面的知识。

第1章 机器人概述

关于“机器人”的定义众说纷纭,很难给出一个统一的表述。在“1.1 机器人”中引用了《机器人技术手册》(1990年第一版)收录的加藤一郎所给出的定义,解释了该定义的主要架构,阐述了逻辑学上的定义方法。“1.2 机器人的历史”介绍从最早出现在公元前希腊神话故事中的机器人概念直至近年来的拟人机器人,追溯了机器人的发展沿革。在“1.3 工业机器人”中,对JIS关于机器人的定义以及工业机器人的历史进行了说明。“1.4 机器人的构成及功能”概要地介绍机器人应该具备的功能,如操作、移动、智能、控制等。

第2章 数学基础

线性代数将操作手抽象为空间姿态和运动的数学问题,是机器人技术不可或缺的数学工具。“2.1 矩阵理论”、“2.2 向量空间”和“2.3 向量分析”介绍矩阵和向量的基础知识,“2.4 坐标变换与齐次变换”讲述在坐标变换中齐次变换的方法,在描述机器人的构件和手部刚体运动时将运用到齐次变换方法。

机器人的各部分构件与共存于同一环境空间中的物体之间的干涉检查,在数学上属于解析几何问题。“2.5 解析几何”介绍描述直线、平面和曲面的基本方法,以及检查多面体、高次曲面之间发生干涉的方法。“2.6 拓扑几何”是一种正确表达机器人状态的数学方法,本节以2自由度的机械臂为例,讨论流形、构形空间等的基本概念,以及对机器人运动路径、速度、距离的处理方法。在“2.7 图论”中,介绍图论在机器人运动路径规划、图像识别等方面的应用以及它的典型问题。

第3章 力学基础

力学是讨论机器人运动学、控制系统的基础。“3.1 质点运动”介绍质点位置、速度、加速度、轨迹的定义,以及在相对运动中对位置、速度、加速度的处理方法。“3.2 刚体运动”解释刚体的概念、自由度、姿势的定义、运动的描述方法,以及刚体平面运动的运

动学。“3.3 刚体力学”讲述静力学、运动的传递特性、动力学,并作为例子,推导出二阶振动的运动方程式。

第4章 控制基础

在“4.1 控制引论”中对反馈控制、前馈控制给予简要介绍和比较,讲述反馈控制系统的基本设计方法和步骤。“4.2 建模”解释状态方程式、传递函数、频率响应,以及稳定性的定义,这些概念都是理解控制对象的特性和制定控制法则的基础。“4.3 反馈控制系统设计”讨论如何借助状态空间法、传递函数法和频率响应法来设计控制系统。“4.4 控制理论简介”论及最优控制、自适应控制、学习控制等话题。

第5章 计算机科学基础

在“5.1 算法设计与分析”中讲述算法的概念和各种算法的设计技巧。“5.2 计算机结构”中交待计算机体系结构的定义以及与之相关的诸多问题。“5.3 计算机语言”解释满足机器人系统的语言应该具有的功能,以及已有的各种语言的特点。在“5.4 实时处理”中讨论如何构建一个系统,以便使它具有实时处理机器人各种信息的基本功能。“5.5 通信”主要介绍数据通信的基础技术。

第2篇 元器件

本篇讲解机器人的各个组成部分,如传感器、驱动器、动力源、机构、材料等,至于控制器,将安排在第5篇进行介绍。

第1章 传感器

用于机器人的传感器有内传感器和外传感器两种。在“1.1 传感器的基本工作原理和分类”中,将分类的方法以及机器人传感器的功能和检测原理给予扼要的说明。“1.2 内传感器”讲述用于位置、角度、速度、角速度、加速度、角加速度、姿态角测量用途的各种传感器及其工作原理。

“1.3 外传感器”又分成若干小节。“1.3.1 视觉传感器”解释生物视觉的构造以及现有的几种视觉传感器。“1.3.2 触觉传感器”讲述人体皮肤神经末梢的功能和几种触觉传感器。“1.3.3 力觉传感器”说明检测力及力矩的原理、力觉传感器的构造,以及力觉传感器的应用实例。“1.3.4 接近觉传感器”揭示在近距离状态下传感器中的敏感元件与对象物体之间是如何产生空间信息的。“1.3.5 距离传感器”涉及超声波距离传感器和光学距离传感器的特点及原理。“1.3.6 听觉、味觉及嗅觉传感器”介绍人体听觉、味觉、嗅觉等传感器官的构造,以及相对应的传感器的工作原理。在“1.3.7 特殊传感器”中包括平衡觉传感器、痛觉传感器、温度传感器、湿度传感器、磁传感器、生物传感器及微型传感器。

第2章 驱动器

“2.1 电动驱动器”介绍步进电机、直流(DC)电机、交流(AC)伺服电机、直接驱动(DD)电机的工作原理和特点。“2.2 液压驱动器”讲述有关液压伺服系统的基本组成和特点、液压伺服阀的构造和特性、液压伺服马达的动特性等内容。“2.3 气动驱动器”告诉读者如何利用气压传动的特性来实现柔性传动,以及气动系统的基本组成。“2.4 特殊驱动器”涉及多种新型驱动器的原理和特点,如小型压电元件、超声波电机、形状记忆合金、橡胶驱动器、静电驱动器、氢气吸留合金驱动器、磁流体驱动器、ER驱动器、高分子

驱动器、光驱动器等。

第3章 动力源

“3.1 固定式机器人的动力源”介绍电动、液压驱动、气动机器人的动力源的组成。在“3.2 移动机器人的动力源”中讨论如何根据机器人的应用领域和形态选用动力源、电缆、电池等。

第4章 机构

“4.1 运动传递机构”讲解产生机器人运动,即改变驱动器的运动速度、方向,或者将运动传递到远处所需要的机械零件的结构、术语、设计的注意事项等。“4.2 关节”介绍机器人里的转动关节、移动关节的结构和设计要领。

第5章 材料

“5.1 机器人材料”从机器人材料的功能角度介绍它的分类、特性等。“5.2 传感器材料”则从传感器材料的角度介绍它的分类、敏感原理和应用等。

第3篇 机器人的机构及控制

第1章 概述

为了能从工程的角度实现生物(人或动物)的机能,机器人必须靠机构和控制将躯体的运动功能具体化,因此需要了解有关机器人机构和控制方面的知识。

第2章 手臂机构和控制

“2.1 手臂机构”涉及手臂的基本构造和种类,讲解与之相关的自由度、关节与自由度的组成、设计时的注意事项,还介绍不同机器人的动作形态、关节的驱动方式、关节构造等内容。

“2.2 手臂运动学”中进行机器人的运动分析,包括给机器人的各个组成部分(构件、传感器等)及作业环境中的对象物定义坐标系,分析各个坐标系之间的位置与姿势关系等内容。“2.2.1 坐标变换的基础”讲解在定义了坐标系之后如何确定两个坐标系中的位置和姿态关系,以及手臂构件坐标系移动(旋转和平移)后的表示方法。“2.2.2 正运动学方程式”在给定关节位置、速度、加速度之后推导包括末端杆件(含末端执行器)在内的机器人手臂任意杆件的位置、姿态、速度、角速度、角加速度等的方法。“2.2.3 雅可比矩阵的计算”介绍如何借助于雅可比矩阵从手臂各个关节的输入速度向量和角速度向量求解末端执行器的输出速度向量和角速度向量。“2.2.4 逆运动学的解法”,即在杆件位置、姿态、速度、角速度、加速度、角加速度给定的条件下求解满足该条件的关节变量的位置、速度、加速度。本节介绍逆运动学的分类,以及在工业机器人手臂分析中的各种逆运动学算法。在“2.2.5 奇异点”中以6关节手臂为例阐述因机构输出自由度的退化,无法实施位置或力控制的奇异点的基本性质。在“2.2.6 其他方法(基于李代数的运动分析)”中,采用现代数学、物理学中的李代数方法,将手臂视为多刚体系统开展运动和力的分析。

“2.3 手臂力学”中,“2.3.1 手臂静力学”给出在静止状态下,当力和力矩作用到手臂末端坐标系原点时求解各关节平衡力和力矩的方法。“2.3.2 运动学与静力学的对偶性”借助于雅可比矩阵,描述在机器人手臂的某个特定位置与姿势下,它的运动学和静力学呈现线性映射(对偶)的关系。“2.3.3 手臂动力学”介绍动力学模型的典型推导

方法,即拉格朗日法和牛顿-欧拉法。“2.3.4 动态模型的基本特性”解释刚性手臂运动方程式所具有的基本特性。“2.3.5 正动力学问题和高效计算”扼要地介绍利用计算机仿真生成的正动力学问题的算法。在“2.3.6 笛卡儿空间的动力学模型”中介绍关节空间的运动方程式被变换成笛卡儿空间的运动方程式。“2.3.7 闭式链机构的动力学”以闭式链机构为对象,介绍运动分析的步骤。最后,“2.3.8 受末端约束的机器人手臂动力学”讲解在机器人末端受到来自环境的约束力和约束力矩的条件下,如何利用雅可比矩阵将之变换成关节驱动力,从而推导运动方程式的方法。

“2.4 手臂的控制”中,“2.4.1 运动控制”以自由空间作业机器人为对象,分为关节伺服(仅仅关注手臂各个关节的运动)、作业坐标伺服(关注手部的运动)以及速度伺服等各种控制方法加以说明。“2.4.2 力控制”是指由于机器人作业时与环境进行接触,发生相互作用力,因此必须赋予其机械柔软性,即必须实施力控制。此节分别讲述在被动柔顺控制、主动柔顺控制、力控制条件下机器人手臂与环境的建模方法,以及其他力控制方法。

“2.5 并联机构”中,并联机构是指多个构件分别具有多个运动副的基座与输出部分并联连接的一类机构。本节介绍它的概念、发展历史、构成,并以空间6自由度(具有6个输出构件)并联机构为对象,举例说明运动分析的方法。

“2.6 柔性臂”中介绍开展柔性臂研究的目的,它是找出抑制柔性臂运动伴生振动的方法,以便达到与高刚性臂同样的控制效果。“2.6.1 柔性臂的力学”首先介绍振动分析、结构设计与控制动态特性分析所采用的建模方法,然后说明1杆件、N杆件柔性臂的建模和动态特性。“2.6.2 柔性臂的控制”的内容包括各种振动抑制的方法以及力控制、协调控制等。

“2.7 控制理论的应用”中,“2.7.1 自适应控制”首先介绍一般的自适应控制方法,以及对机器人手臂这一类用非线性方程式表达的机械系统进行非线性补偿的控制问题,然后举例说明自适应控制在机器人系统中应用的各种实例。“2.7.2 最优控制”首先讲解最优控制问题的定式化和带有状态约束条件的最优控制,然后以机械臂轨迹的时间最短问题为例进行说明。在“2.7.3 学习控制”中讨论算法、学习输入的构成、D型学习控制、P型学习控制等方法。由于关节运动之间相互干涉产生非线性动态特性和非线性负荷,导致物理参数变化和手臂特性出现不确定性的后果,故而在“2.7.4 非线性控制”中,讨论如何有效地实施可变结构控制的问题。

“2.8 手臂机构的设计和评价”中,“2.8.1 描述方法”介绍目前复杂机构(如手臂)有哪些评价方法,进而阐述手臂设计中通常沿用的设计指标和评价指标。“2.8.2 设计步骤”给出设计的流程和作业功能的定义。“2.8.3 单自由度设计”以基本模型为例讲解静态设计和动态设计概念。“2.8.4 多自由度的评价”阐述当系统从单自由度扩展到多自由度时运动学和动力学的处理方法,以及如何借助计算机设计工具进行CAD、CAE和动态特性分析。“2.8.5 非力学条件方面的设计”除了讲解力学设计阶段之外,指出还必须考虑电气设计和配线、工业造形设计等内容。“2.8.6 功能评价”是从作业功能角度去评价手臂机构的优劣。“2.8.7 可靠性评价”则依据FTA方法评价系统的可靠性,以提高驱动器和电气配线的安全可靠性。

第3章 手部机构和控制

在“3.1 手部的分类”中将手部分为机械手部、特殊手部、通用手部和准通用手部四

类。“3.2 特殊末端执行器”介绍 JIS 标准对工具类末端执行器与抓持器的相关规定和相关外围的 JIS 标准、抓持的分类等内容。“3.3 机械手”讲解含 2~3 根手指并能抓持特定工件的手部功能,以及基于手指抓握运动轨迹进行的手部分类方法和结构原理,还有一些特殊的手指机构。

“3.4 手指与对象物接触的力学及运动学”中,“3.4.1 接触形态的分类”认为“手部与对象物之间的抓握和操作理论很重要,因为它既会改变对象物所受到的约束条件,又会影响到接触建模”。在这一认识的基础上本节针对基本接触模型进行了分类。“3.4.2 对象物的力学和运动学”研究手指与对象物接触时在后者重心处力、力矩、速度、角速度发生的变化。“3.4.3 手指的力学及运动学”则求解驱动转矩加载于手指关节后,接触点处发生的力和力矩以及在指关节运动时,接触点处发生的速度和角速度。“3.4.4 点接触的公式以及滑动和滚动(补充说明)”讨论如何以点接触集合的形式来表示手指与对象物接触的状况。

“3.5 抓握系统的构成和分类”中,“3.5.1 抓握系统”把手部的抓握分为握紧、捏紧、夹持等形态。“3.5.2 抓握系统的构成”以握紧为研究对象,研究握紧时在对象物重心处发生的力和力矩以及手指关节的转矩。“3.5.3 抓握系统中的运动约束”从手部与对象物接触时伴生的运动约束着眼,研究抓握系统的可动度、连接度、不确定度、冗余度、对象物的行为、内力的分类等。在“3.6 形封闭(form closure)和力封闭(force closure)”中将手部造成对象物完全失去自由度的约束分成两种情况进行讨论,称其中一种是几何学约束,另一种是接触力约束,在“3.6.3 被动约束和主动约束”中将上述概念重新进行定义,提出被动约束和主动约束的概念。

“3.7 刚性控制”研究在刚性控制下对被抓握物体的操作控制。“3.7.1 基本内容”就刚性控制的原理和单手指刚性控制法则进行研究。“3.7.2 向抓握系统扩展”介绍在多个手指抓握对象物的场合,手指施加给对象物的接触力、力矩及刚性控制等问题。对于对象物来说,要求高速且高精度轨迹跟踪时,动态控制十分有效,因此在“3.8 动态控制”中针对手指与对象物之间既是点接触又有摩擦的情况,研究了 3 自由度手指系统的控制法则。

所谓稳定抓握,是指向对象物施加任意干扰,抓握系统均能产生适当恢复力的抓握状态。“3.9 稳定抓握的力学关系”针对与抓握稳定性有关的摩擦以及考虑摩擦影响的二阶稳定抓握模型进行了讨论。

“3.10 机构设计举例”列举了各种手部设计的事例。

第 4 章 移动机构

本章包括车轮式、履带式、足式以及其他形形色色的移动机构。

“4.1 车轮式移动机构”中,“4.1.1 各种车轮式移动机构”概述了在汽车、工业车辆、移动机器人等领域中得到广泛应用的各种车轮式移动机构的构造和控制方法。在“4.1.2 车轮式移动机构的构成要素”中,按照零部件分门别类地进行功能和应用介绍。“4.1.3 机构”从机构学的角度对车轮式移动机构进行研究,利用等价两轮模型对运动自由度进行说明。“4.1.4 运动学”对机械手和车轮式移动机构运动学的研究方法进行比较,分门别类地推导了车轮式移动机构的正运动学、逆运动学的公式。“4.1.5 力学”着眼于静力学,对汽车和移动机器人作了比较,指出在设计时必须考虑的各种行走阻力问题。“4.1.6 动力学”主要介绍汽车行驶的动力学方法。在“4.1.7 控制”中首先介

绍车轮式移动机器人控制系统的基本组成,然后就导航所涉及的基本问题,如局部路径设计、定位、误差估计和补偿、轨迹控制等进行讨论。

“4.2 履带式移动机构”中,讲解履带可以视为一种无限轨道的行走装置。本章介绍履带式移动机构的基本构造,以及由多条履带组成的各种行走机构。

“4.3 双足移动机器人的机构和控制”中,“4.3.1 双足机器人的机构”以仿人的转动关节型脚机构为对象,介绍它的组成、驱动、脚掌机构、传感器等,进而提及抗衡肌肉型、并联机构型双足机器人。在“4.3.2 双足机器人的力学”中,首先讨论双足机器人的力学特性,将足形移动分为静态步行、动态、跑跳等几种类型,对步行的力学模型(倒立振子模型和质点系模型)、地面反力以及运动学进行研究;然后以两构件双足机器人为例说明建模的步骤。“4.3.3 双足机器人的控制”介绍双足机器人研究的现状,控制理论的发展过程,解释零力矩点和步行稳定性问题,还介绍适宜步行机器人的各种控制方法。

“4.4 多足机器人的机构和控制”中介绍多足机器人,它是四足以上足式机器人的总称。不过在本节中,将“4.3节的双足类人型机器人的以外的足式机器人,包括单足机器人也均归入该节来进行讨论。该节的内容涉及相关的术语、从力学角度对移动方式进行分类、讨论足数目与移动方式的关系、具体应用等。

“4.5 形形色色的移动机构”中,“4.5.1 混合式移动机构”举例说明由车轮式、履带式、足式、躯干式等多种形式移动机构彼此组合构成的混合式移动机构。在“4.5.2 蛇形(超冗余)机构”中,蛇形机器人被称为超冗余体,本节讨论它的特点和构成方式。“4.5.3 壁面吸附式移动机构”介绍一些能够吸附在壁面上移动的机器人的机构和设计要领。“4.5.4 交互对枝形机器人”的作用是借此研究长臂猿手足交替移动的控制算法。

“4.6 水下机器人”中,将水下机器人的移动机构分为拖航式、自航式、复合式、水底行走式、仿生式等几类加以说明。

“4.7 空中机器人”从运动方程式出发对空中机器人的运动和控制进行说明,并分析固定翼型、垂直起降型、浮力型等空中机器人的组成和特点,还讨论了机身设计的要领,最后举出几个空中机器人应用(包括航天)的例子。

第4篇 智能技术

本篇涉及机器人的高级智能,如视觉、听觉、力觉、触觉的信息处理技术,以及传感器信息融合、行动规划、自主移动等内容。

第1章 视觉信息识别

“1.1 机器人视觉”阐述视觉信息输入、信息处理(环境识别和人脑意识的理解)以及机器人视觉系统的组成和功能。“1.2 视觉输入装置”讲解怎样设计视觉输入装置(组成、元器件、图像存取和传感器等),以便在视觉信息输入后得到满意的视觉识别输出。“1.3 二维处理”介绍二维图像处理的步骤和方法,它们属于形状识别和其他识别中的基本技术。“1.4 多维图像处理”讲述将三维信息转换成立体视觉的基本原理和各种方法,以及距离图像处理、运动图像处理等内容。“1.5 主动视觉”研究人眼主动视觉(注视才能看清楚视网膜上映射的图像)在机器人图像处理中的应用和例子。“1.6 实时视觉”中首先将计算机视觉和机器人视觉进行了比较,然后介绍在线运动图像处理(实时图像识别)的发展历史、系统组成及应用事例。“1.7 机器视觉在生产技术中的应用”

回顾了图形处理在产业领域应用的历史,机器视觉在日常生活应用的实例,扼要地介绍“产品生命周期的感性和功能评价系统开发”研究计划的内容。

第2章 语音信息处理

机械和机器人的人机接口的终极目标是实现与人类的交流,语音信息处理是达到这个目标的一项不可或缺的技术。在“2.1 语音识别”中,重点讲解将发出的声音变换成单词或单词序列的步骤。“2.2 语音合成”则研究对人工合成语音最为关键的语音特征、语音合成的各种方法,介绍目前十分流行的“文本-语音合成”技术。“2.3 语音应用系统”讲述语音和语音输入的特点、语音处理的中间件、语音的网络应用、会话机器人中的语音系统等。

第3章 触觉和力觉识别

“3.1 触觉的平面信息识别”的内容包括触觉传感器的基本信息处理、触觉图像的平面信息处理、二维分布载荷的中心位置检测等。“3.2 触觉的立体信息识别”讲解在立体信息识别中经常采用的触觉传感器的种类、三维触觉图像识别方法和应用实例。在“3.3 触觉的物性信息识别”中介绍刚开始应用于机器人技术中的接触性知觉(由皮肤感觉感受器、肌肉感觉感受器相互融合产生的感觉)技术,以及物性信息识别技术的应用实例。“3.4 触觉的抓握信息识别”研究人手抓握与机器人手抓握的关系。“3.5 力觉信息识别”讲解借助六维力觉传感器检测接触信息的方法,以及多指手抓取物体的位置姿势辨识方法。

第4章 传感器高级应用

在本章中,位于系统中的传感器信息被反馈回来控制机器人的行动,因此本章的内容重点涉及传感系统的智能技术和信息处理技术。

“4.1 传感器融合”研究了将多个传感器组合起来使用,实现单一传感器无法达到的功能和特性的途径。组合的方法有复合、综合、融合、联合等几种。在本节中还介绍了一些信号处理、统计处理,以及人工智能、知识工程方面的算法和实例。

行动理解是指将人或机器人的行动分解到它自身能够识别的水平。在“4.2 行为理解”中,对机器人的这种功能进行分析,划分识别的过程,再考察几个实际的例子。

“4.3 视觉反馈控制”解释了视觉传感器信息参与机器人反馈控制的方法,以及它与传统视觉信息识别的区别,分别就静态视觉反馈控制和动态视觉反馈控制加以解释。

“4.4 触觉反馈控制”利用触觉传感器参与机器人控制能够提高机器人手臂操作的灵活性,本节列举了几个例子并加以说明。

“4.5 力觉反馈控制”通过六维力传感器检测机器人与对象物的接触点和接触力,以“接触点检测算法”和对对象物形状探索为例说明控制的方法。

第5章 规划

“5.1 符号处理与推理”介绍人工智能研究的历史、启发式研究的特点、人工智能中“问题解决”的各种方法以及“框架问题”。

在心理学领域中,学习是指“特定条件下的先验经验对个体在后期相同(或类似)条件下采取的行动(或可能的行动)的影响”。“5.2 学习”将上述“个体”替换成机器人,讨论了机器人学习的各种设计方法。

所谓软算法是指在环境信息不确实或模糊的条件下如何针对大规模问题或复杂问