



“中国制造2025”  
出版工程

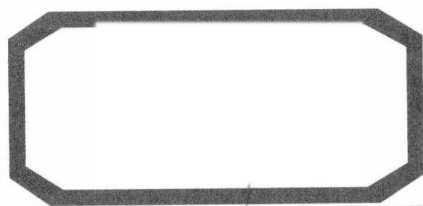
“十三五”国家重点出版物  
出版规划项目

# 中国制造 2025 特种机器人技术

郭彤颖 张辉 朱林仓 等著



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物  
出版规划项目

# 特种机器人技术

郭彤颖 张辉 朱林仓 等著

RFID



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地介绍了特种机器人的基础知识、路径规划算法,以及废墟搜救机器人和文本问答机器人的应用实例,内容涉及近几年机器人领域的研究热点问题,是作者多年来在该领域研究成果的积累和总结。主要内容有机器人的定义与分类,特种机器人的发展现状及核心技术、主要应用领域,机器人的驱动系统、机构和传感技术,移动机器人的定位算法和路径规划算法,废墟搜救机器人的系统组成和自主运动控制研究,文本问答机器人的体系结构、关键技术和典型应用等。

本书可作为从事特种机器人研究和开发及应用的科学研究工作者和工程技术人员的参考书,也可作为控制科学与工程、计算机科学与技术、机械电子工程等学科研究生或高年级本科生的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

特种机器人技术/郭彤颖等著. —北京:化学工业出版社,  
2019.8

“中国制造2025”出版工程

ISBN 978-7-122-34381-9

I. ①特… II. ①郭… III. ①特种机器人-机器人技术  
IV. ①TP242.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第080957号

---

责任编辑:韩亚南

装帧设计:尹琳琳

责任校对:王素芹

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张15 $\frac{1}{4}$  字数284千字 2019年9月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888

售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:89.00元

版权所有 违者必究

科学是永无止境的，它是一个永恒之谜。

—— 爱因斯坦



“中国制造2025”  
出版工程

# 《“中国制造 2025”出版工程》

## 编委会

### 主任

孙优贤（院士）

### 副主任（按姓氏笔画排序）

王天然（院士） 杨华勇（院士） 吴澄（院士）

陈纯（院士） 陈杰（院士） 郑南宁（院士）

桂卫华（院士） 钱锋（院士） 管晓宏（院士）

### 委员（按姓氏笔画排序）

马正先 王大轶 王天然 王荣明 王耀南 田彦涛

巩水利 乔非 任春年 伊廷锋 刘敏 刘延俊

刘会聪 刘利军 孙长银 孙优贤 杜宇雷 巫英才

李莉 李慧 李少远 李亚江 李嘉宁 杨卫民

杨华勇 吴飞 吴澄 吴伟国 宋浩 张平

张晶 张从鹏 张玉茹 张永德 张进生 陈为

陈刚 陈纯 陈杰 陈万米 陈长军 陈华钧

陈兵旗 陈茂爱 陈继文 陈增强 罗映 罗学科

郑南宁 房立金 赵春晖 胡昌华 胡福文 姜金刚

费燕琼 贺威 桂卫华 柴毅 钱锋 徐继宁

郭彤颖 曹巨江 康锐 梁桥康 焦志伟 曾宪武

谢颖 谢胜利 蔡登 管晓宏 魏青松

# 序

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。近十年来，我国制造业持续快速发展，综合实力不断增强，国际地位得到大幅提升，已成为世界制造业规模最大的国家。但我国仍处于工业化进程中，大而不强的问题突出，与先进国家相比还有较大差距。为解决制造业大而不强、自主创新能力弱、关键核心技术与高端装备对外依存度高等制约我国发展的问题，国务院于2015年5月8日发布了“中国制造2025”国家规划。随后，工信部发布了“中国制造2025”规划，提出了我国制造业“三步走”的强国发展战略及2025年的奋斗目标、指导方针和战略路线，制定了九大战略任务、十大重点发展领域。2016年8月19日，工信部、国家发展改革委、科技部、财政部四部委联合发布了“中国制造2025”制造业创新中心、工业强基、绿色制造、智能制造和高端装备创新五大工程实施指南。

为了响应党中央、国务院做出的建设制造强国的重大战略部署，各地政府、企业、科研部门都在进行积极的探索和部署。加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，推动我国制造模式从“中国制造”向“中国智造”转变，加快实现我国制造业由大变强，正成为我们新的历史使命。当前，信息革命进程持续快速演进，物联网、云计算、大数据、人工智能等技术广泛渗透于经济社会各个领域，信息经济繁荣程度成为国家实力的重要标志。增材制造（3D打印）、机器人与智能制造、控制和信息化技术、人工智能等领域技术不断取得重大突破，推动传统工业体系分化变革，并将重塑制造业国际分工格局。制造技术与互联网等信息技术融合发展，成为新一轮科技革命和产业变革的重大趋势和主要特征。在这种中国制造业大发展、大变革背景之下，化学工业出版社主动顺应技术和产业发展趋势，组织出版《“中国制造2025”出版工程》丛书可谓勇于引领、恰逢其时。

《“中国制造2025”出版工程》丛书是紧紧围绕国务院发布的实施制造强国战略的第一个十年的行动纲领——“中国制造2025”的一套高水平、原创性强的学术专著。丛书立足智能制造及装备、控制及信息技术两大领域，涵盖了物联网、大数

据、3D 打印、机器人、智能装备、工业网络安全、知识自动化、人工智能等一系列核心技术。丛书的选题策划紧密结合“中国制造 2025”规划及 11 个配套实施指南、行动计划或专项规划，每个分册针对各个领域的一些核心技术组织内容，集中体现了国内制造业领域的技术发展成果，旨在加强先进技术的研发、推广和应用，为“中国制造 2025”行动纲领的落地生根提供了有针对性的方向引导和系统性的技术参考。

这套书集中体现以下几大特点：

首先，丛书内容都力求原创，以网络化、智能化技术为核心，汇集了许多前沿科技，反映了国内外最新的一些技术成果，尤其使国内的相关原创性科技成果得到了体现。这些图书中，包含了获得国家与省部级诸多科技奖励的许多新技术，因此，图书的出版对新技术的推广应用很有帮助！这些内容不仅为技术人员解决实际问题，也为研究提供新方向、拓展新思路。

其次，丛书各分册在介绍相应专业领域的新技术、新理论和新方法的同时，优先介绍有应用前景的新技术及其推广应用的范例，以促进优秀科研成果向产业的转化。

丛书由我国控制工程专家孙优贤院士牵头并担任编委会主任，吴澄、王天然、郑南宁等多位院士参与策划组织工作，众多长江学者、杰青、优青等中青年学者参与具体的编写工作，具有较高的学术水平与编写质量。

相信本套丛书的出版对推动“中国制造 2025”国家重要战略规划的实施具有积极的意义，可以有效促进我国智能制造技术的研发和创新，推动装备制造业的技术转型和升级，提高产品的设计能力和技术水平，从而多角度地提升中国制造业的核心竞争力。

中国工程院院士

潘雲鶴

# 前言

自 20 世纪 50 年代末第一台工业机器人诞生以来，机器人不仅广泛应用于工业生产和制造业领域，而且在航空航天、海洋探测、建筑领域、危险或恶劣环境，以及日常生活和教育娱乐等非制造业领域中得到了大量应用。特种机器人是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种机器人的总称。

特种机器人的研究涉及机器视觉、模式识别、人工智能、智能控制、传感器技术、计算机技术、机械电子和仿生学等诸多学科的理论和技术，是一门高度交叉的前沿学科。为了顺应机器人从传统的工业机器人逐步走向千家万户的发展趋势，展示特种机器人的广阔应用领域，本书综合应用多个相关学科的知识，系统地讲解了特种机器人的基础知识、算法研究和应用实例，反映了特种机器人学的基础知识以及与其相关的先进理论和技术。算法研究部分主要是针对目前应用最为广泛的移动机器人开展的研究，应用实例部分介绍了目前比较前沿的废墟搜救机器人和文本问答机器人的系统组成和关键技术，大量篇幅介绍作者的研究成果。希望读者通过阅读和学习这本书，能够感受到从事特种机器人相关研究的乐趣。

本书共分 7 章，第 1 章主要讲解机器人的基础知识，包括机器人的定义与分类、发展历程及趋势，特种机器人的发展现状和核心技术及主要应用领域；第 2 章主要介绍特种机器人的驱动系统、传动机构、手臂和移动机构；第 3 章讲解特种机器人的常用传感器，以及最近几年发展起来的智能传感器和无线传感网络技术；第 4 章在分析移动机器人视觉系统特点基础上，开展了摄像机标定方法研究、路标的设计与识别、基于路标的视觉定位研究和算法实现；第 5 章在介绍常用的移动机器人路径规划方法基础上，开展了基于算法融合的移动机器人路径规划研究；第 6 章讲述废墟搜救机器人的控制系统和如何实现移动机器人的自主运动；第 7 章阐明文本问答机器人的体系结构和关键技术，并详细阐述了基于互联网的文本问答机器人的典型应用。本书以二维码形式给出了特种机器人有关术语的中英文对照。

本书第1章、第2章由郭彤颖、王海忱撰写，第3章由郭彤颖、张辉撰写，第4章由张令涛、关丽荣、张辉撰写，第5章由郭彤颖、刘雍、刘伟、赵昆、李宁宁撰写，第6章由朱林仓、郭彤颖、刘冬莉撰写，第7章由朱林仓、郭彤颖撰写，有关术语中英文对照由郭彤颖、王德广撰写。全书由郭彤颖统稿。

由于机器人技术一直处于不断发展之中，鉴于作者水平有限，难以全面、完整地对当前的研究前沿和热点问题一一进行探讨。书中存在不妥之处，敬请读者给予批评指正。

著 者

## 1 第1章 绪论

- 1.1 机器人的定义与分类/ 2
  - 1.1.1 机器人的定义/ 2
  - 1.1.2 机器人的分类/ 3
- 1.2 机器人的发展历程及趋势/ 5
  - 1.2.1 机器人的发展历程/ 5
  - 1.2.2 机器人的发展趋势/ 7
- 1.3 特种机器人的发展现状和核心技术/ 10
  - 1.3.1 全球特种机器人发展现状/ 10
  - 1.3.2 我国特种机器人发展现状/ 12
  - 1.3.3 特种机器人核心技术/ 13
- 1.4 特种机器人的主要应用领域/ 14

## 32 第2章 特种机器人的驱动系统和机构

- 2.1 机器人的基本组成/ 33
- 2.2 常用驱动器/ 34
  - 2.2.1 液压驱动/ 35
  - 2.2.2 气压驱动/ 37
  - 2.2.3 电气驱动/ 38
  - 2.2.4 新型驱动/ 39
- 2.3 常见传动机构/ 40
  - 2.3.1 直线传动机构/ 40
  - 2.3.2 旋转运动机构/ 43
  - 2.3.3 减速传动机构/ 46
- 2.4 机械臂/ 49
- 2.5 机械手/ 52
- 2.6 常见移动机构/ 54
  - 2.6.1 车轮式移动机构/ 54
  - 2.6.2 履带式移动机构/ 59
  - 2.6.3 腿足式移动机构/ 61
  - 2.6.4 其他形式的移动机构/ 62

## 第3章 特种机器人的传感技术

- 3.1 概述/ 64
  - 3.1.1 特种机器人对传感器的要求/ 64
  - 3.1.2 常用传感器的特性/ 65
  - 3.1.3 机器人传感器的分类/ 67
- 3.2 力觉传感器/ 69
- 3.3 触觉传感器/ 71
- 3.4 视觉传感器/ 75
- 3.5 听觉传感器/ 80
- 3.6 嗅觉传感器/ 84
- 3.7 接近度传感器/ 86
- 3.8 智能传感器/ 94
  - 3.8.1 智能传感器概述/ 94
  - 3.8.2 智能传感器的功能与特点/ 101
  - 3.8.3 智能传感器在机器人中的应用/ 103
- 3.9 无线传感器网络技术/ 104
  - 3.9.1 无线传感器网络的特点/ 105
  - 3.9.2 无线传感器网络体系结构/ 107
  - 3.9.3 无线传感器网络的关键技术/ 109
  - 3.9.4 硬件与软件平台/ 111
  - 3.9.5 无线传感器网络与 Internet 的互联/ 112

## 第4章 基于视觉的移动机器人定位技术

- 4.1 移动机器人视觉系统/ 115
  - 4.1.1 机器人视觉的基本概念/ 115
  - 4.1.2 移动机器人视觉系统的主要应用领域/ 116
  - 4.1.3 移动机器人单目视觉系统/ 117
  - 4.1.4 移动机器人双目视觉概述/ 121
- 4.2 摄像机标定方法/ 122
  - 4.2.1 离线标定方法/ 123
  - 4.2.2 改进的节点提取算法/ 128
  - 4.2.3 实验结果/ 132
- 4.3 路标的设计与识别/ 135
  - 4.3.1 边框的设计与识别/ 135
  - 4.3.2 图案的设计与识别/ 139
- 4.4 基于路标的定位系统/ 142
  - 4.4.1 单路标定位系统/ 142
  - 4.4.2 多路标定位系统/ 143
  - 4.4.3 误差分析/ 144

- 4.4.4 实验验证/ 146
- 4.5 移动机器人定位分析/ 147
  - 4.5.1 Monte Carlo 定位算法/ 147
  - 4.5.2 机器人的实验环境/ 148
  - 4.5.3 定位误差实验/ 150

## 153 第5章 基于算法融合的移动机器人路径规划

- 5.1 常用的路径规划方法/ 154
- 5.2 基于人工势场和 A\* 算法融合的机器人路径规划/ 157
  - 5.2.1 人工势场法/ 157
  - 5.2.2 A\* 算法/ 158
  - 5.2.3 人工势场和 A\* 算法融合/ 159
  - 5.2.4 仿真研究/ 162
- 5.3 基于人工势场和蚁群算法的机器人路径规划/ 165
  - 5.3.1 蚁群算法/ 166
  - 5.3.2 改进的人工势场法/ 167
  - 5.3.3 基于势场力引导的蚁群算法/ 168
  - 5.3.4 仿真研究/ 169

## 171 第6章 废墟搜救机器人

- 6.1 废墟搜救机器人概述/ 172
  - 6.1.1 废墟搜救机器人研究意义/ 172
  - 6.1.2 废墟搜救机器人研究趋势/ 173
- 6.2 废墟搜救机器人硬件系统/ 174
  - 6.2.1 废墟搜救机器人硬件构成/ 174
  - 6.2.2 可变形搜救机器人硬件系统/ 174
  - 6.2.3 可变形搜救机器人运动学模型/ 179
- 6.3 废墟搜救机器人控制系统/ 181
  - 6.3.1 废墟搜救机器人控制系统的要求/ 181
  - 6.3.2 层次化分布式模块化控制系统结构设计/ 182
- 6.4 废墟搜救机器人控制站系统/ 183
  - 6.4.1 废墟搜救机器人控制站系统特点/ 183
  - 6.4.2 废墟搜救机器人控制站系统结构/ 185
  - 6.4.3 废墟搜救机器人控制站工作模式/ 190
- 6.5 颠簸环境下废墟搜救机器人自主运动/ 193
  - 6.5.1 颠簸环境对废墟搜救机器人的运动影响/ 193
  - 6.5.2 颠簸环境下废墟搜救机器人运动学模型/ 194



6.5.3 颠簸环境下模糊控制器分析与设计/ 199

6.5.4 仿真研究/ 200

## 206 第7章 文本问答机器人

- 7.1 文本问答机器人概述/ 207
  - 7.1.1 文本问答机器人的概念与特点/ 207
  - 7.1.2 文本问答机器人的发展历程/ 207
  - 7.1.3 文本问答机器人的分类/ 208
  - 7.1.4 文本问答机器人的评价指标/ 212
- 7.2 文本问答机器人体系结构/ 212
  - 7.2.1 文本问答机器人基本原理/ 212
  - 7.2.2 文本问答机器人体系结构/ 214
  - 7.2.3 文本问答机器人问题分析/ 215
  - 7.2.4 文本问答机器人信息检索/ 216
  - 7.2.5 文本问答机器人答案抽取/ 217
- 7.3 文本问答机器人关键技术/ 217
  - 7.3.1 中文分词技术/ 217
  - 7.3.2 词性标注技术/ 220
  - 7.3.3 去停用词技术/ 221
  - 7.3.4 特征提取技术/ 221
  - 7.3.5 问题分类技术/ 222
  - 7.3.6 答案提取技术/ 222
- 7.4 基于互联网的文本问答机器人的典型应用/ 223
  - 7.4.1 基于FAQ的受限域文本问答机器人系统结构/ 223
  - 7.4.2 基于FAQ的受限域文本问答机器人系统功能/ 224
  - 7.4.3 基于FAQ的受限域文本问答机器人系统特点/ 226
  - 7.4.4 基于FAQ的受限域文本问答机器人应用领域/ 227

## 228 参考文献



# 第1章

## 绪论

## 1.1 机器人的定义与分类

### 1.1.1 机器人的定义

机器人技术作为 20 世纪人类最伟大的发明之一，在制造业和非制造业领域都发挥了重要作用。随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来，新型机器人不断涌现，机器人所涵盖的内容越来越丰富，机器人的定义也在不断充实和创新。

“机器人”一词最早出现在 1920 年捷克斯洛伐克作家卡雷尔·凯佩克 (Karel Capek) 所编写的科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》(Rossum's Universal Robots)。在剧本中，凯佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”，“Robota”是“强制劳动”的意思。该剧预告了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响，引起了大家的广泛关注，被当成了机器人一词的起源。凯佩克提出的是机器人的安全、感知和自我繁殖问题。科学技术的进步很可能引发人类不希望出现的问题。虽然科幻世界只是一种想象，但人类社会将可能面临这种现实。

为了防止机器人伤害人类，1950 年科幻作家阿西莫夫 (Isaac Asimov) 在《我，机器人》一书中提出了“机器人三原则”：

- ① 机器人必须不伤害人类，也不允许它见人类将受到伤害而袖手旁观；
- ② 机器人必须服从人类的命令，除非人类的命令与第一条相违背；
- ③ 机器人必须保护自身不受伤害，除非这与上述两条相违背。

这三条原则，给机器人社会赋以新的伦理性。至今，它仍会为机器人研究人员、设计制造厂家和用户提供十分有意义的指导方针。

1967 年在日本召开的第一届机器人学术会议上，人们提出了两个有代表性的定义。一是森政弘与合田周平提出的：“机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械半人性、自动性、奴隶性 7 个特征的柔性机器”。从这一定义出发，森政弘又提出了用自动性、智能性、个体性、半机械半人性、作业性、通用性、信息性、柔性、有限性、移动性 10 个特性来表示机器人的形象。另一个是加藤一郎提出的，具有如下 3 个条件的机器可以称为机器人：

- ① 具有脑、手、脚三要素的个体；
- ② 具有非接触传感器（用眼、耳接收远方信息）和接触传感器；

### ③ 具有平衡和定位的传感器。

该定义强调了机器人应当具有仿人的特点，即它靠手进行作业，靠脚实现移动，由脑来完成统一指挥的任务。非接触传感器和接触传感器相当于人的五官，使机器人能够识别外界环境，而平衡和定位则是机器人感知本身状态所不可缺少的传感器。

美国机器人产业协会（RIA）给出的定义是：机器人是一种用于搬运各种材料、零件、工具或其他特种装置的、可重复编程的多功能操作机。

日本工业机器人协会（JIRA）给出的定义是：机器人是一种带有记忆装置和末端执行器的，能够通过自动化的动作而代替人类劳动的通用机器。

国际标准化组织（ISO）对机器人的定义是：机器人是一种能够通过编程和自动控制来执行诸如作业或移动等任务的机器。

我国科学家对机器人的定义是：机器人是一种自动化的机器，所不同的是，这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。

随着人们对机器人技术智能化本质认识的加深，机器人技术开始源源不断地向人类活动的各个领域渗透。结合这些领域的应用特点，人们发展出了各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的特种机器人和各种智能机器人。现在虽然还没有一个严格而准确的机器人定义，但是我们对机器人的本质特征做些确认：机器人是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥，又可以运行预先编写的程序，也可以根据人工智能技术制定的原则进行行动。它的任务是协助或取代人类的工作。它是高级整合控制论、机械电子、计算机、材料和仿生学的产物，在工业、医学、农业、服务业、建筑业甚至军事等领域中均有重要用途。

## 1.1.2 机器人的分类

关于机器人的分类，国际上没有制定统一的标准，从不同的角度可以有不同的分类，下面介绍几种常用的分类方式。

### （1）从应用环境角度分类

目前，我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。国际上的机器人学者，从应用环境出发将机器人也分为两类：制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与

仿人型机器人，这和中国的分类是一致的。

工业机器人是指面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括：服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、医疗机器人等。在特种机器人中，有些分支发展很快，有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。

### (2) 按照控制方式分类

① 操作型机器人：能自动控制，可重复编程，多功能，有几个自由度，可固定或运动，用于相关自动化系统中。

② 程控型机器人：按预先要求的顺序及条件，依次控制机器人的机械动作。

③ 示教再现型机器人：通过引导或其他方式，先教会机器人动作，输入工作程序，机器人则自动重复进行作业。

④ 数控型机器人：不必使机器人动作，通过数值、语言等对机器人进行示教，机器人根据示教后的信息进行作业。

⑤ 感觉控制型机器人：利用传感器获取的信息控制机器人的动作。

⑥ 适应控制型机器人：机器人能适应环境的变化，控制其自身的行动。

⑦ 学习控制型机器人：机器人能“体会”工作的经验，具有一定的学习功能，并将所“学”的经验用于工作中。

⑧ 智能机器人：至少要具备三个要素，一是感觉要素，用来认识周围环境状态；二是运动要素，对外界做出反应性动作；三是思考要素，根据感觉要素所得到的信息，判断出采用什么样的动作。

### (3) 按照机器人移动性分类

可分为半移动式机器人（机器人整体固定在某个位置，只有部分可以运动，例如机械手）和移动机器人。

随着机器人的不断发展，人们发现固定于某一位置操作的机器人并不能完全满足各方面的需要。因此，在 20 世纪 80 年代后期，许多国家有计划地开展了移动机器人技术的研究。所谓的移动机器人，就是一种具有高度自主规划、自行组织、自适应能力，适合于在复杂的非结构化环境中工作的机器人，它融合了计算机技术、信息技术、通信技术、微电子技术和机器人技术等。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）环境下作业和人较难到达的（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、灵活性。