



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

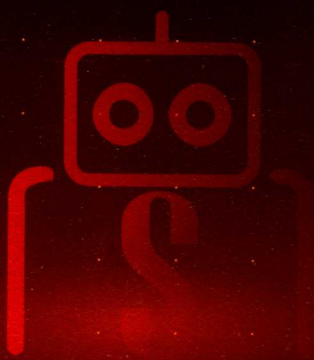
中国制造
2025



“中国制造2025”
出版工程

服务机器人 系统设计

陈万米 主编



化学工业出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

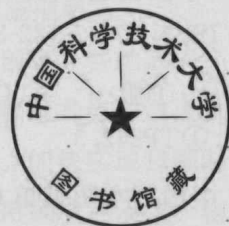
“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



“中国制造2025”
出版工程

服务机器人 系统设计

陈万米 主编



化学工业出版社

·北京·

本书基于服务机器人的发展现状和技术要点，系统讲述了服务机器人系统设计的关键技术。主要内容包括：机器人的产生与发展、服务机器人的移动机构、服务机器人的机械臂、服务机器人的驱动与控制、服务机器人的运动分析、服务机器人的路径规划、服务机器人的感知、服务机器人的操作系统、服务机器人未来展望。

本书注重理论与实践的结合，在讲解服务机器人系统设计关键技术的基础上，通过实例解析对理论知识进行应用性讲解，增强了本书的可读性与实用性。

本书可为从事机器人研究和应用工作的技术人员提供帮助，也适合高等院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

服务机器人系统设计/陈万米主编. —北京：化学工业出版社，2018. 11

“中国制造 2025” 出版工程

ISBN 978-7-122-32995-0

I. ①服… II. ①陈… III. ①服务用机器人-系统设计
IV. ①TP242. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 208549 号

责任编辑：贾娜
责任校对：边涛

文字编辑：陈喆
装帧设计：史利平

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 14 字数 258 千字 2019 年 7 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：69.00 元

版权所有 违者必究

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、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、人工智能等一系列的核心技术。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

潘云鹤

前言

不知不觉间,出现了很多既熟悉又陌生的新型装备,如进入到家庭环境的自动扫地机,陪伴老年人与小孩的陪护机器,为病人送药送饭的护士助手,为病人实施多种复杂手术的辅助机器,提供实时自适应导航的智能轮椅,给高楼提供清洁辅助的清洁机器,能帮助人类探索外太空、探索海底的机器,以及带有智能的灭火消防炮等。以上各类带有智能的机器都可以称为服务机器人,也就是说,除了工业机器人之外的通过半自主或完全自主运作,为人类的健康或设备的良好状态提供服务的机器人。

从人类社会的发展过程可揭示出机器人发展的规律,即工业机器人发展到一定的阶段,爆发式地出现服务机器人。由于服务机器人的应用场合多(除工业以外的应用场合),其种类或样式多种多样,形成百花齐放的格局,除上面提到的清洁机器人、陪护机器人、助老机器人、手术机器人、助残机器人之外,还包括各种娱乐机器人、舞蹈机器人、导游机器人、导购机器人、安保机器人、排险机器人、消防机器人、体育机器人、秘书机器人、建筑机器人、玩具机器人、分拣机器人以及加油机器人、农业机器人等。

服务机器人的主要技术包括,为满足不同应用场合的机械、材料、本体结构、执行单元、驱动电路与运动控制系统;带有智能的环境感知传感器和信号处理方法;包括模糊控制、神经网络、进化计算等的智能控制方法;具有机器人自定位与导航功能的SLAM技术;在工作空间中能找到一条从起始状态到目标状态、可以避开障碍物的路径规划方法以及智能机器人的操作系统等。

本书较为系统地讲述了服务机器人技术的相关理论与制作实例,对机器人的机械系统、执行单元、传感器、驱动与控制机构等分章节叙述,同时对机器人的坐标变换、运动分析、路径规划以及机器人的操作系统也做了讲解。

本书理论介绍与制作实例相辅相成,体现了理论与实践相结合的特色。根据机器人操作系统的特殊情况,介绍了ROS系统,使服务机器人技术的内容更加全面,争取给国内更多的服务机器人从业人员与服务机器人爱好者提供帮助。

本书共分9章。

第1章阐述了机器人的产生与发展,服务机器人的定义、结构与分类、服务机器人技术的主要内容等;

第2章叙述了服务机器人的移动机构,包括单轮、两轮差动、全向轮式、履带

式、足式等移动机构以及部分移动机构的设计举例；

第3章叙述了服务机器人的机械臂（四自由度与六自由度的机械臂），二指、三指、五指机械手，其他执行单元（如腕部等）；

第4章叙述了服务机器人的驱动与控制，包括服务机器人中广泛使用的直流电机的PWM驱动原理与电路实现、服务机器人的PID参数的整定与智能控制等；

第5章叙述了服务机器人的运动分析，包括服务机器人的位置运动学、微分运动与动力学分析、服务机器人的正逆运动学问题及轨迹规划实例等；

第6章叙述了服务机器人的路径规划（包括离线规划与在线规划），智能规划（包括人工势场法、A*算法、遗传算法以及优化算法等）；

第7章叙述了服务机器人的感知，包括机器人的内部感知单元、外部感知单元和特殊感知单元，服务机器人的信息处理方法，重点叙述了机器视觉的组成、工作原理与应用；

第8章介绍了服务机器人的操作系统ROS，包括ROS的基本概念、系统架构、系统工具，以及ROS在移动底座、导航与路径规划、语音识别、机器视觉等方面的应用实例；

第9章对服务机器人以及相关技术的发展进行了展望。

本书由上海大学机电工程与自动化学院高级工程师、上海大学大学生科技创新实验中心负责人、中国自动化学会机器人竞赛工作委员会副主任陈万米主编，毛登辉、叶立俊、任明宇、刘振、鲁晨奇、汪洋参与了编写。其中，陈万米编写第1、2、9章，毛登辉编写第3章，叶立俊编写第4章，任明宇编写第5章，刘振编写第6章，鲁晨奇编写第7章，汪洋编写第8章。

本书的编写工作得到了上海大学领导和机电工程与自动化学院相关领导的大力支持，在此表示衷心的感谢！特别感谢上海大学费敏锐教授、王小静教授等在本书成稿过程中给予的帮助。

服务机器人技术内容十分广泛，涉及诸多学科领域。由于作者的水平所限、经验不足，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

陈万米

1 第1章 绪论

- 1.1 机器人的定义、应用与发展 / 2
 - 1.1.1 机器人的应用 / 2
 - 1.1.2 机器人的发展 / 4
- 1.2 服务机器人 / 8
- 1.3 服务机器人的结构与分类 / 10
 - 1.3.1 服务机器人的结构 / 10
 - 1.3.2 服务机器人的分类 / 12
- 1.4 服务机器人控制的主要内容 / 18
- 参考文献 / 19

20 第2章 服务机器人的移动机构

- 2.1 移动机构 / 21
 - 2.1.1 单轮移动机构 / 21
 - 2.1.2 两轮差动配合小万向轮机构 / 22
 - 2.1.3 全向轮式移动机构 / 23
 - 2.1.4 履带式移动机构 / 23
 - 2.1.5 足式机构 / 24
- 2.2 设计举例 / 26
 - 2.2.1 轮式移动服务机器人底盘 / 26
 - 2.2.2 双足步行机器人 / 29
 - 2.2.3 履带式机器人底盘 / 31
- 参考文献 / 35

36 第3章 服务机器人的执行单元

- 3.1 服务机器人的机械臂 / 37
 - 3.1.1 四自由度机械臂 / 39
 - 3.1.2 六自由度机械臂 / 42
- 3.2 机械手 / 46



- 3.2.1 二指机械手 / 46
- 3.2.2 三指机械手 / 49
- 3.2.3 五指机械手 / 52
- 3.3 其他执行单元 / 53
 - 3.3.1 腕部 / 53
 - 3.3.2 其他机械手 / 54
 - 3.3.3 其他机械臂 / 55
- 参考文献 / 55

56

第4章 服务机器人的驱动与控制

- 4.1 电机的选择与分类 / 57
- 4.2 电机的控制 / 61
 - 4.2.1 直流电机的基本特性 / 61
 - 4.2.2 转速控制 / 61
 - 4.2.3 转向控制 / 64
 - 4.2.4 电机控制实例 / 68
- 4.3 服务机器人的控制 / 70
 - 4.3.1 经典 PID 控制 / 70
 - 4.3.2 智能 PID 整定概述 / 74
- 参考文献 / 79

80

第5章 服务机器人的运动分析

- 5.1 服务机器人的位置运动学 / 81
 - 5.1.1 位置方位描述 / 81
 - 5.1.2 位置信息与传感器 / 82
 - 5.1.3 坐标变换 / 86
 - 5.1.4 齐次变换及运算 / 92
- 5.2 服务机器人的微分运动与动力学分析 / 94
 - 5.2.1 底盘运动学分析——双轮 / 94
 - 5.2.2 底盘运动学分析——全向轮 / 96
- 5.3 服务机器人的正逆运动学问题 / 104
 - 5.3.1 刚体的描述 / 105
 - 5.3.2 正逆运动学问题 / 106
 - 5.3.3 机械臂的正逆运动学 / 107
- 参考文献 / 111

第 6 章 服务机器人的路径规划

- 6.1 服务机器人的路径规划分类 / 113
 - 6.1.1 离线路径规划 / 114
 - 6.1.2 在线路径规划 / 115
 - 6.1.3 其他路径规划算法 / 117
- 6.2 经典路径规划方法 / 118
 - 6.2.1 人工势场法 / 118
 - 6.2.2 A* 算法 / 122
 - 6.2.3 遗传算法 / 128
- 6.3 服务机器人路径规划优化 / 135
 - 6.3.1 人工势场法的改进 / 135
 - 6.3.2 A* 算法的改进 / 137
 - 6.3.3 遗传算法的改进 / 140
 - 6.3.4 服务机器人路径规划技术发展 / 142
- 参考文献 / 143

第 7 章 服务机器人的感知

- 7.1 服务机器人的感知 / 147
 - 7.1.1 内部感知单元 / 148
 - 7.1.2 外部感知单元 / 151
 - 7.1.3 特殊感知单元 / 156
- 7.2 机器视觉 / 158
 - 7.2.1 机器视觉的组成 / 159
 - 7.2.2 机器视觉的工作原理 / 161
 - 7.2.3 机器视觉在服务机器人上的应用 / 168
- 参考文献 / 172

第 8 章 服务机器人的操作系统

- 8.1 服务机器人的操作系统概述 / 174
 - 8.1.1 服务机器人操作系统的概述 / 174
 - 8.1.2 服务机器人操作系统的关键技术 / 176
- 8.2 ROS 及其应用 / 178
 - 8.2.1 ROS 的基本概念 / 179
 - 8.2.2 ROS 的应用 / 188
- 参考文献 / 194



第9章 发展与展望

- 9.1 发展 / 196
- 9.2 比赛促进技术提升 / 198
- 9.3 未来展望 / 205
- 参考文献 / 208

索引

第4章 服务机器人的驱动与感知

- 4.1 驱动系统 / 210
 - 4.1.1 驱动系统概述 / 210
 - 4.1.2 驱动系统的组成 / 211
 - 4.1.3 驱动系统的控制 / 212
 - 4.1.4 驱动系统的维护 / 213
- 4.2 感知系统 / 214
 - 4.2.1 感知系统概述 / 214
 - 4.2.2 感知系统的组成 / 215
 - 4.2.3 感知系统的控制 / 216
 - 4.2.4 感知系统的维护 / 217
- 4.3 参考文献 / 218

第5章 服务机器人的应用

- 5.1 服务机器人的应用 / 220
 - 5.1.1 服务机器人的应用概述 / 220
 - 5.1.2 服务机器人的应用分类 / 221
 - 5.1.3 服务机器人的应用案例 / 222
- 5.2 参考文献 / 223

第6章 服务机器人的移动与定位

- 6.1 移动与定位 / 225
 - 6.1.1 移动与定位概述 / 225
 - 6.1.2 移动与定位的分类 / 226
 - 6.1.3 移动与定位的算法 / 227
- 6.2 参考文献 / 228

第8章 服务机器人的安全与防护

- 8.1 安全与防护 / 230
 - 8.1.1 安全与防护概述 / 230
 - 8.1.2 安全与防护的分类 / 231
 - 8.1.3 安全与防护的算法 / 232
- 8.2 参考文献 / 233



第1章

绪论

1.1 机器人的定义、应用与发展

机器人，英文名 Robot，如今已是家喻户晓，远到美国 NASA 的火星车，近到家庭用的吸尘器 iRobot，以及汽车生产厂家的工业机器人、能进入人类血管探测的血管机器人，可以说机器人正在向社会各领域蔓延，人类与机器人之间的交流越来越频繁，频繁到有时候人们甚至都没有意识到，人机关系也在急速进化中。

那么，什么是机器人呢？

美国机器协会（RIA）对机器人的定义：机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的、通过程序动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能操作机。

美国国家标准局（NBS）对机器人的定义：机器人是一种能够进行编程并在自动控制下执行某种操作和移动作业任务的机械装备。

日本工业机器人协会对机器人的定义：一种装备有记忆装置和末端执行装置的能够完成各种移动作业来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：机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机。这种操作机具有几个轴，能够借助可编程操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行各种任务。

我国对机器人的定义：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^[1]。

1.1.1 机器人的应用

机器人不是自古就有的。机器人的出现及高速发展是社会和经济发展的必然，是为了提高社会的生产水平和人类的生活质量，让机器人替人们干那些人类干不了、干不好的工作。

自机器人诞生以来，其增长率逐年提高。1980年，号称“机器人王国”的日本开始比较多地使用机器人，因此，那一年被称为“机器人普及元年”。有人断言，21世纪将是机器人世纪。为什么要大力发展机器人呢？人类在发明了蒸汽机、电动机，制造了包括机床、汽车在内的各种机器以后，大大减轻了人类的体力劳动；同时，人类又发明了计算机，

特别是目前已在开发的可以处理知识、进行推理和学习的第五代计算机，可以在很大程度上代替人的脑力劳动。将机器人和计算机相结合生产出来的机器人，可以代替人类进行各种各样的劳动，甚至可以做许多单纯依靠人力所做不到的事情。

目前，世界上有数百万台工业机器人在各种工业部门工作着，从事着从生产大规模集成电路超净车间中的精细加工，到有害环境中的喷漆操作，以及重型机器制造中的笨重搬运工作等各种各样的作业。现在，工业机器人队伍还在迅速扩大。近年来，随着计算机、机器人、数控加工中心、无人驾驶搬运车等新技术的发展，工厂无人化的设想将逐步得以实现。在这一进程中，机器人将发挥越来越大的作用。

当前，机器人技术不断发展，人们的要求越来越高，不仅要求机器人能在一般环境下工作，还要求机器人在人类难以生存的极限环境，如高温、强辐射、高真空、深海等环境下作业。这类极限作业机器人，由于工作条件很差，所以必须具有适应环境变化的能力，这就要求机器人具有一定的智能。

机器人的智能，可以分为两个层次：第一步，像人那样具有感觉、识别、理解和判断的功能；第二步，能够像人那样具有总结经验和学习的能力。目前，具有初步智能的机器人已经开始被广泛应用。在工业机器人中，具有初步智能水平的机器人已经占20%左右，而且这一比例还在不断提高。至于具有学习能力等高级智能水平的机器人，目前尚处于试验研制阶段。如今，机器人已被广泛应用于服务业、采矿业、建筑业、农业、林业及医疗等方面。在家庭中，服务机器人是顺从的“仆人”，不仅会做饭、洗衣、打扫卫生，还会接待客人，陪伴儿童做游戏，照顾病人，帮助病人翻身、洗澡，干得可出色了。在军事方面，机器人已经活跃在陆地战场上，而且“兵种齐全”，反坦克机器人、防化机器人、火炮机器人都曾大显身手。哨兵机器人装备有机枪、掷弹筒，还有多种先进的传感器，在军事基地、机场周围或某一战区进行巡逻放哨，屡立奇功，而且不用换岗。布雷、布雷的工作既繁重又危险，让机器人来承担就不必担心人身的安全了。布雷机器人能按指挥官的指令，冒着枪林弹雨去挖坑、计算埋雷的密度、给地雷装引信、打开保险、埋雷，还能自动设置雷场及绘制布雷位置图等，真是“智勇双全”。有人说，21世纪的战争，不仅会有刀枪不入的“钢铁士兵”去冲锋陷阵，而且还将出现具有人工智能的无人驾驶坦克、飞机、舰艇等各种武器。到那时，军用机器人将成为一支不容忽视的“军事力量”。

如今，机器人被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”，发展机器人产业对

提高创新能力、增强国家综合实力、带动整体经济发展都具有十分重要的意义。世界主要大国都将机器人的研究与应用摆在本国科技发展的重要战略地位。2011年,美国推出国家机器人计划(National Robotics Initiative, NRI);2012年,韩国发布“机器人未来战略2022”;2014年,欧盟启动“SPARC计划”;2015年日本发布“机器人新战略”(Japan's Robot Strategy)。纵观这些国家的发展战略,机器人技术及应用已成为塑造创新发展新优势的“必争之地”。

2015年5月,我国发布“中国制造2025”战略纲要,机器人技术创新和产业发展都是重要内容。2016年4月,我国发布了机器人产业发展规划(2016—2020年),对机器人的重点发展领域作出总体部署,推进我国机器人产业快速健康可持续发展。

1.1.2 机器人的发展

(1) 古代机器人

据战国时期记述官营手工业的《考工记》中一则寓言记载,中国的偃师(古代一种职业)用动物皮、木头、树脂制出了能歌善舞的伶人,不仅外貌完全像一个真人,而且还有思想感情,甚至有了情欲。这虽然是寓言中的幻想,但其利用了当时的科技成果,也是中国最早记载的木头机器人的雏形,体现了中国人民具有高度的科学幻想力和设计加工能力。

东汉时的大科学家张衡发明的指南车(又称司南车)可以说是世界上最早的机器人。张衡还发明了一种叫作“记里鼓车”的机器人,它能为人们报告所走的里程,车每行驶一里,车上的小人就击一下鼓,每行十里,它就敲一下钟,无需人工测量计程。

三国时,又出现了能替人搬东西的机器人。它是由蜀汉丞相诸葛亮发明的“木牛流马”,是一种能替代人运输粮草的机器,即使在羊肠小道上也能行走如飞。

国外有关机器人的记载可以追溯到古希腊,据荷马史诗《伊利亚特》记载,火神兼匠神赫淮斯托斯(Hephaistus)创造出了一组金制机械助手。他的这些机械助手身体强健,可以说话,且非常聪明。

我们熟知的还有“特洛伊木马”。古罗马时特洛伊人攻打罗马城,久攻不下,佯装逃窜。丢弃的木马被罗马人抬回城中,夜间伏兵由木马腹中爬出,开门溃敌,可谓欺骗型机器人。

公元1768—1774年,瑞士钟表匠德罗斯父子三人,设计制造出三个像真人一样大小的机器人——写字偶人、绘图偶人和弹风王琴偶人。它

们是由凸轮控制和弹簧驱动的自动机器，至今还作为国宝保存在瑞士纳切特市艺术和历史博物馆内。

1893年，加拿大摩尔设计的能行走的机器人“安德罗丁”，是以蒸汽为动力的。

(2) 早期机器人

早在1886年，法国作家利尔亚当在他的小说《未来夏娃》中将外表像人的机器起名为“安德罗丁”(Android)，它由以下4部分组成。

① 生命系统(平衡、步行、发声、身体摆动、感觉、表情、调节运动等)。

② 造型解质(关节能自由运动的金属覆盖体，一种盔甲)。

③ 人造肌肉(在上述盔甲上有肉体、静脉、性别等身体的各种形态)。

④ 人造皮肤(含有肤色、机理、轮廓、头发、视觉、牙齿、手爪等)。

1920年捷克作家卡雷尔·卡佩克(Karel Capek)发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》，在剧本中，卡佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”，“Robota”是奴隶的意思。该剧预言了机器人的发展对人类社会的巨大影响，引起了大家的广泛关注，被当成了“机器人”一词的起源。在该剧中，机器人按照其主人的命令默默地工作，没有感觉和感情，以呆板的方式从事繁重的劳动。后来，罗萨姆公司取得了成功，使机器人具有了感情，使得机器人的应用领域迅速扩大。在工厂和家务劳动中，机器人成了必不可少的成员。

为了防止机器人伤害人类，科幻作家阿西莫夫于1940年提出了“机器人三原则”。

① 机器人不应伤害人类。

② 机器人应遵守人类的命令，与第一条相悖的命令除外。

③ 机器人应能保护自己，与第一条相抵触者除外。

这是赋予机器人的伦理性纲领，机器人学术界一直将“机器人三原则”作为机器人开发的准则。

1959年美国英格伯格(Joseph Engelberger)和德沃尔(George Devol)制造出世界上第一台工业机器人，如图1-1所示，机器人的历史才真正开始。随后，他们成立了世界上第一家机器人制造工厂——Unimation公司。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传的贡献，他被称为“工业机器人之父”^[2]。

图 1-1 所示的世界上第一台工业机器人重达 2t，由写在磁鼓上的程序进行控制。该机器人采用液压执行器，并分别设定关节坐标系，即各关节的角度，存储示教/再现操作方式。控制精度为 1/10000in。



图 1-1 世界上第一台工业机器人

(3) 现代机器人

20 世纪 70 年代，第二代机器人开始有了较大发展。第二代机器人为感觉型机器人，如有力觉、触觉和视觉等，具有了对某些外界信息进行反馈调整的能力，并投入应用，开始普及。1973 年，日本日立公司开发了用于混凝土桩和钢管业的机器人，这个机器人是第一个装有视觉传感器、可判断移动物体的工业机器人。当机器人判断出物体移动时，同步钢管上的螺栓紧固/松开等。

我国自 20 世纪 70 年代起开始研制工业机器人，中科院沈阳自动化所、上海交通大学、上海大学（前身为上海工业大学）等都投入了工业机器人的研究开发，取得了一定的成果。图 1-2 为上海大学于 1986 年研制成功的上海 II 号工业机器人，现在仍存放在上海市延长路 149 号的上海大学机器人大楼内^[3]。

(4) 当代机器人

进入 21 世纪后，机器人被赋予了一定的智能，即第三代机器人是智能机器人。它们不仅具有感觉能力，而且还具有独立判断和行动的能力，并具有记忆、推理和决策的能力，因而能够完成更加复杂的动作。中央电脑