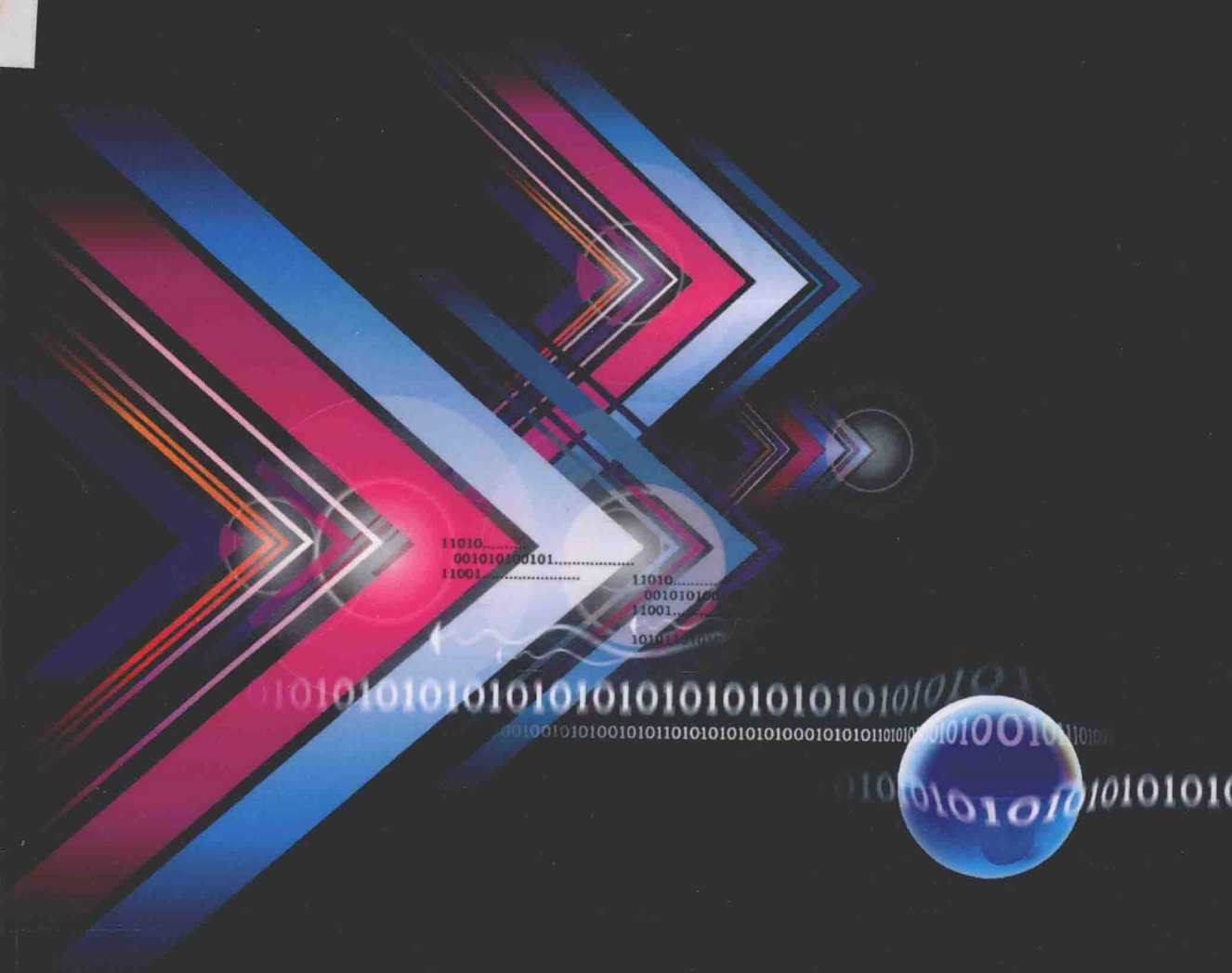




机器人及安全技術

ROBOT AND SECURITY TECHNOLOGY

赵婧 魏彬 魏悦川 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

机器人及安全技术

赵婧 魏彬 魏悦川 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要研究、分析机器人中的关键技术问题,帮助读者了解机器人的基本知识,以及机器人的发展历史、现状和未来的发展方向,掌握机器人研究的一般方法,为以后机电结合的设计和使用技术打下基础。本书系统地介绍了机器人的基础理论和关键技术,主要内容包括机器人发展历史、机器人的机械结构、传感器在机器人上的应用、机器人的驱动系统、机器人控制系统以及机器人在应用及设计过程中所涉及的部分安全问题等。

本书可作为科研及工程技术人员的参考书,也可以作为控制科学与工程、计算机科学与技术等相关学科研究生或高年级本科生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

机器人及安全技术/赵婧,魏彬,魏悦川编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5606-4299-4

I. ① 机… II. ① 赵… ② 魏… ③ 魏… III. ① 机器人技术 IV. ① TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 226300 号

策 划 毛红兵 刘玉芳

责任编辑 刘玉芳 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 虎彩印艺股份有限公司

版 次 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

开 本 787毫米×960毫米 1/16 印 张 7.5

字 数 130千字

定 价 20.00元

ISBN 978-7-5606-4299-4/TP

XDUP 4591001-1

如有印装问题可调换

前 言

随着科技的发展，机器人已经走进我们的生活，其不仅广泛应用于工业生产和制造业领域，而且在航天、海洋探测、危险或恶劣环境乃至军事领域中都获得了大量应用。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。

本书从知识结构上分为机器人基础和机器人安全技术两大体系。书中通过对相关技术的详细描述，使读者掌握机器人设计的关键性技术，如外形结构设计技术、驱动技术、控制技术、视觉技术等，同时使读者了解机器人所涉及的相关安全技术基础，并了解机器人技术的应用、发展；培养读者的创造性思维以及积极分析、思考问题的能力，为日后从事机器人研究工作打下扎实的理论基础和良好的技术技能。

本书在内容编排方面，注重理论与工程实际的结合、基础知识与现代技术的结合、系统设计与应用相结合。本书系统地介绍了机器人的基本组成和工作原理。全书共分六章，分别介绍了机器人的发展史、机器人的结构及机器人应用等，机器人执行机构，机器人驱动系统，机器人控制技术，机器人视觉技术和专家系统的应用及机器人安全性等内容。本书旨在为工科专业本科生或有实际经验的工程师提供必备的知识，使他们能够熟悉机器人，懂得机器人，并能设计机器人，能将机器人集成到一个具体的应用场合。

本书的编写参考了国内外学者的论著和资料，谨在此对其作者表示衷心的感谢，并对支持本书编写和出版的所有从业者表示衷心的感谢！本书的第一章～第五章由赵婧负责编写，第六章的第1～3节由魏彬编写，第六章的第4～5节由魏悦川编写。由于机器人技术一直处于不断发展之中，再加上时间仓促，编者水平有限，难以全面、完整地对当前的前沿研究和热点问题一一进行探讨，书中难免存在不足之处，敬请广大读者给予批评指正。

编者

2016年6月

目 录

第一章 机器人的发展史	1
1.1 机器人名称的由来	1
1.2 机器人的发展历史	2
1.2.1 古代“机器人”	2
1.2.2 现代机器人的发展历史	3
1.3 机器人的定义和分类	4
1.3.1 机器人的定义	4
1.3.2 机器人的分类	5
1.4 机器人的结构	10
1.4.1 机器人的基本组成	10
1.4.2 机器人的主要技术参数	10
1.4.3 机器人的工作原理	13
1.5 机器人的应用	13
1.5.1 民用机器人	13
1.5.2 军用机器人	14
1.6 机器人发展现状	15
1.6.1 美国机器人发展现状	15
1.6.2 日本机器人发展现状	15
1.6.3 中国机器人发展现状	16
1.7 未来机器人的发展方向	17
第二章 机器人执行机构	18
2.1 机器人工作原理	18
2.2 机器人执行机构概况	18
2.3 两种常见移动机构	19
2.3.1 轮式移动机构	19
2.3.2 足式移动机构	21

2.4 操作装置结构组成	23
2.4.1 手部机构	24
2.4.2 手腕结构	34
2.4.3 臂部结构	35
2.4.4 机身结构	38
2.4.5 机身和臂部的配置形式	38
第三章 机器人驱动系统	41
3.1 机器人关节驱动方式	41
3.1.1 关节间接驱动方式	42
3.1.2 关节直接驱动方式	42
3.2 机器人驱动系统	43
3.2.1 液压驱动	43
3.2.2 气压驱动	44
3.2.3 电机驱动	45
3.3 驱动系统的运动方式	45
3.3.1 旋转驱动机构	46
3.3.2 直线驱动机构	46
3.3.3 制动器	46
3.4 电机	47
3.4.1 步进电机	47
3.4.2 直流电机	50
3.4.3 无刷直(交)流伺服电机	56
3.5 驱动系统的选择	60
3.5.1 驱动系统	60
3.5.2 驱动器的选择	62
3.5.3 伺服电机的选择和传动比的确定	62
3.5.4 驱动器的安装	64
3.6 其他驱动系统	65
3.6.1 超声波电机	65
3.6.2 磁致伸缩驱动系统	66
3.6.3 形状记忆合金驱动系统	66

第四章 机器人控制技术	67
4.1 机器人控制基础	67
4.1.1 机器人控制系统的特点	67
4.1.2 机器人的控制方式	68
4.1.3 机器人的主要控制变量	69
4.2 机器人控制形式	70
4.2.1 位置控制	70
4.2.2 顺应控制	71
4.3 位置和力的混合控制	72
4.3.1 环境约束定义	72
4.3.2 C 曲面	73
4.3.3 R-C 控制器	74
第五章 机器人视觉技术	75
5.1 图像处理问题	75
5.1.1 图像处理简介	75
5.1.2 图像处理主要内容	76
5.1.3 图像滤波	77
5.1.4 视觉图像修正	79
5.1.5 视觉图像分割	81
5.2 机器视觉理论基础	83
5.2.1 图像理解与机器视觉	83
5.2.2 摄像机模型	84
5.3 机器视觉与视觉跟踪	85
5.3.1 机器视觉简介	85
5.3.2 视觉跟踪与主动视觉	86
5.4 图像形态学处理	87
5.4.1 图像直方图规范化预处理	87
5.4.2 图像的多分辨率表示	88
第六章 专家系统的应用及机器人安全性	89
6.1 专家系统	89
6.1.1 专家系统的一般结构	89

6.1.2 专家系统的实现	90
6.2 机器人与专家系统在机器人领域的应用	90
6.2.1 机器人感知	90
6.2.2 机器人规划	91
6.2.3 机器人控制	92
6.2.4 机器人与专家系统的结合	94
6.3 机器人中的安全问题	94
6.3.1 通信安全	94
6.3.2 机器人系统安全	96
6.4 机器人应用及设计中的安全问题	100
6.4.1 机器人失控的安全防范	100
6.4.2 机器人安全 I/O 接口设计	102
6.4.3 士兵-机器人网络系统的安全	103
6.5 结束语	107
参考文献	108

第一章 机器人的发展史

机器人技术是融合了机械、电子、传感器、计算机、人工智能等多学科的知识，涉及当今许多前沿领域的技术，可以自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥，也可以运行预先编排的程序，还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。它是控制论、机械电子、计算机、材料和仿生学高度整合的产物，在工业、医学、农业、建筑业甚至军事等领域中均有重要用途。

1.1 机器人名称的由来

机器人的英文是 Robot，Robot 一词最早出现在 1920 年捷克作家卡雷尔·卡佩克(Karel Capek)所写的一个剧本中，这个剧本的名字为《Rossum's Universal Robots》，中文意思是“罗萨姆的万能机器人”。Robot，原为 Robo，意为奴隶，即人类的仆人，作为人类生产的工业品推向市场，让它充当劳动力代替人类劳动的故事引起了人们的广泛关注。英语的 Robot 一词就是由此而来的，后来世界各国都用 Robot 作为机器人的代名词。

机器人学(robotics)出自 1942 年美国科幻作家 Isaac Asimov 的科幻小说《Runaround》。科学家兼作家 Isaac Asimov 首次提出了机器人三大定律：

- 第一，机器人必须不危害人类，也不允许它眼看人将受危害而袖手旁观；
- 第二，机器人必须绝对服从人类，除非这与第一原则矛盾；
- 第三，机器人必须保护自身不受伤害，除非这与第一或第二原则相矛盾。

国际上对机器人的概念已经逐渐趋于一致，即机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义：“一种可编程和多功能的操作机，或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”它能为人类带来许多方便。

1.2 机器人的发展历史

机器人技术的发展是一个科学技术共同发展的综合性结果，同时也是对社会经济发展产生了重大影响的一门科学技术。它的发展一方面归功于第二次世界大战，各国加强了经济的投入，另一方面它也是生产力发展需求的必然结果，在改造、认识自然过程中，实现了人们对不可达世界的认识和改造，这是人们在科技发展过程中的一个客观需要。

几千年前，人类就渴望制造一种像人一样的机器，以便将人类从繁重的劳动中解脱出来。科技的发展带动着机器人技术的发展，可以说机器人的发展史也是世界科技发展史的体现，科学的前沿技术在机器人中都有应用。智能型机器人是最复杂的机器人，也是人类最渴望能够早日制造出来的机器朋友。

1.2.1 古代“机器人”

人类对机器人的幻想与追求已有 3000 多年的历史，如古希腊的长篇叙事诗《伊利亚特》中的冶炼之神用黄金制造出的侍女，希腊神话《阿鲁歌探险船》中的青铜巨人泰洛斯，我国西周时流传巧匠偃师制作的歌舞机器人，许多传说中都有机器人的身影。

- 西周时期，我国的能工巧匠偃师研制出的歌舞艺人是我国最早记载的机器人。
- 春秋后期，据《墨经》记载，鲁班曾制造过一只木鸟，能在空中飞行“三日不下”。
- 公元前 2 世纪，古希腊人发明了最原始的机器人——太罗斯，它是以水、空气和蒸汽压力为动力的会动的青铜雕像，它可以自己开门，还可以借助蒸汽唱歌。
- 1800 年前的汉代，大科学家张衡不仅发明了地动仪，而且发明了计里鼓车。计里鼓车每行一里，车上木人击鼓一下，每行十里击钟一下。
- 后汉三国时期，蜀国丞相诸葛亮成功地制造出了“木牛流马”，并用其在崎岖山路中运送军粮，支援前方战争。
- 1662 年，日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶，并在大阪的道顿堀演出。
- 1738 年，法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭，它会嘎嘎叫，会游泳和喝水，还会进食和排泄。
- 1773 年，著名的瑞士钟表匠杰克·道罗斯和他的儿子利·路易·道罗斯制造出自动

书写玩偶、自动演奏玩偶等。这些自动玩偶是利用齿轮和发条原理制成的，它们有的拿着画笔和颜料绘画，有的拿着鹅毛蘸墨水写字，结构巧妙，服装华丽，在欧洲风靡一时。

- 1927 年，美国西屋公司工程师温兹利制造了第一个机器人“电报箱”，并在纽约举行的世界博览会上展出。它是一个电机器人，装有无线电发报机，可以回答一些问题，但该机器人不能走动。

1.2.2 现代机器人的发展历史

- 二战期间(1938—1945 年)，由于核工业和军事工业的发展研制了“遥控操纵器”，主要用于放射性材料的生产和处理过程。

- 1947 年，对这种较简单的机械装置进行了改进，采用电动伺服方式，使其从动部分能跟随主动部分运动，称为“主从机械手”。

- 1949—1953 年随着先进飞机制造的需要，美国麻省理工学院辐射实验室开始研制数控铣床，1953 年研制成功了能按照模型轨迹做切削动作的多轴数控铣床。

- 1954 年出现了“可编程”、“示教再现”机器人，美国人 George C. Devol 设计制作了世界上第一台机器人实验装置，并发表了题为《适用于重复作业的通用性工业机器人》的文章。

- 20 世纪 60 年代机器人产品正式问世，机器人技术开始形成。1960 年，美国“联合控制公司”根据 Devol 的专利技术，研制出第一台真正意义上的工业机器人，并创立了 Unimation 公司，开始定型生产名为 Unimate 的工业机器人。两年后，美国“机床与铸造公司”(AMF)生产了另一种可编程工业机器人 Versatran。

- 20 世纪 70 年代机器人技术发展成为专门学科，称之为机器人学(Robotics)。机器人产业得到蓬勃发展，机器人的应用领域进一步扩大，不同的应用场所，各种坐标系统、各种结构的机器人相继出现，大规模集成电路和计算机技术飞跃发展使机器人的控制性能大大提高，成本不断下降。

- 20 世纪 80 年代开始进入智能机器人研究阶段，不同结构、不同控制方法和不同用途的工业机器人在工业发达国家真正进入了实用化的阶段。机器人视觉、触觉、力觉、接近觉等项目的研究和应用，大大提高了机器人的适应能力，扩大了机器人的应用范围，促进了机器人的智能化进程。

- 经历了 40 多年的发展，机器人技术逐步发展成为一门新的综合性学科，包括基础研究和应用研究两个方面。其主要研究内容有：

- (1) 机械手设计;
- (2) 机器人运动学、动力学和控制;
- (3) 轨迹设计和路径规划;
- (4) 传感器(包括内部传感器和外部传感器);
- (5) 机器人视觉;
- (6) 机器人语言;
- (7) 装置与系统结构;
- (8) 机器人智能等。

1.3 机器人的定义和分类

1.3.1 机器人的定义

机器人问世已有几十年,然而机器人的定义仍然仁者见仁,智者见智,没有一个统一的意见。原因之一是机器人还在发展,新的机型、新的功能不断涌现,同时由于机器人涉及了人的概念,成为一个难以回答的哲学问题。就像机器人一词最早诞生于科幻小说中一样,人们对机器人充满了幻想。也许正是由于机器人定义的模糊,才给了人们充分想象和创造的空间。随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来,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。下面给出一些有代表性的定义。

1. 国际相关组织的定义

- 国际标准化组织(ISO)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机械手,这种机械手具有几个轴,能够借助可编程序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。
- 美国国家标准局(NBS)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些操作和移动作业任务的机械装置。
- 美国机器人协会(RIA)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,通过可编程序动作来执行种种任务的,并具有编程能力的多功能机械手。
- 日本工业机器人协会(JIRA)的定义:工业机器人是一种装备有记忆装置和末端执行器的,能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器。

2. 有关学者的定义

- 森政弘与合田周平提出的定义：“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、奴隶性等 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、移动性等 10 个特性来表示机器人的形象。

- 日本早稻田大学加藤一郎(日本机器人之父)教授认为：机器人是由能工作的手、能行动的和有意识的头脑组成的个体，同时具有非接触传感器(相当于耳、目)、接触传感器(相当于皮肤)、固有感及平衡感等感觉器官的能力。

- 也有一些组织和学者针对不同形式的机器人分别给出了具体的解释和定义，而机器人则只作为一种总称。

- 法国的埃斯皮奥将机器人定义为：“机器人学是指设计能根据传感器信息实现预先规定好的作业系统，并以此系统的使用方法作为研究对象”。

- 中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”。

综合诸家的解释，概括各种机器人的性能，我们可以按以下特征来描述机器人：

- (1) 机器人的动作机构具有类似于人或生物体某器官(如肢体、感官等)的功能；
- (2) 机器人具有通用性，工作种类多样，动作程序灵活易变，是柔性加工的主要组成部分；
- (3) 机器人具有不同程度的智能，如记忆、推理、决策、学习等；
- (4) 机器人具有独立性，完整的机器人系统中可以不依赖于人的干预。

综上所述，机器人是一种机器，本质上不可能超越人类，其在结构上有一定的仿生特性，通常具有多自由度的结构，是机电一体化的自动装置，受微处理器控制，具有重复编程控制功能。

1.3.2 机器人的分类

机器人的分类方法很多，也相当复杂，几乎没有一种分类可以圆满地将各类机器人都包括在内。目前，大多数的机器人按照不同的功能、目的、用途、规模、结构、坐标、驱动方式等进行分类。

1. 按开发内容和目的分类

按开发内容和目的, 机器人可分为工业机器人、操纵型机器人和智能机器人三大类。

(1) 工业机器人。工业机器人是在工业生产中使用的机器人的总称, 主要用于完成工业生产中的某些作业。依据具体应用目的的不同, 又常以其主要用途命名。

焊接机器人是到目前为止应用最多的工业机器人, 包括点焊(主要针对汽车生产线, 用于提高生产效率和汽车焊接的质量, 降低工人劳动强度的一种机器人)和弧焊机器人(如对汽车的后桥进行焊接的时候, 是连续焊接, 它的特点是连续轨迹控制, 所以它对轨迹精度的要求非常高), 用于实现自动化焊接作业。装配机器人比较多地用于电子部件或电器的装配。喷涂机器人代替人进行各种喷涂作业。搬运、上料、下料及码垛机器人是根据工况要求的速度和精度, 将物品从一处运到另一处。

工业机器人的优点在于, 它可以通过更改程序, 方便迅速地改变工作内容或方式, 以满足生产要求的变化, 例如改变焊缝轨迹及喷涂位置, 变更装配部件或位置等。随着对工业生产线越来越高的柔性要求, 各种工业机器人的需求也越来越广泛。

(2) 操纵型机器人。操纵型机器人主要用于非工业生产的各种作业, 又可分为服务机器人与特种作业机器人等。随着工业化的发展, 尤其近十年以来, 机器人的应用领域在不断拓宽, 目前一个很重要的特征就是机器人已经从制造业逐渐转向非制造业和服务行业, 如汽车制造属于制造业, 但清洁、加油、救护、抢险、救灾等, 都属于非制造行业和服务行业。服务机器人跟工业机器人相比有一个很重要的不同, 即它主要是一个移动平台, 能够移动、运动, 它上面有一些手臂进行操作, 同时还装有一些力觉传感器和视觉传感器、超声测距传感器等。它能够对周边的环境进行识别, 以此判断它的运动, 并完成某种工作, 这是服务机器人的一个基本特点。

再如, 大型客机的清洗工作, 如果人来做的话十分繁重, 而且也很不方便, 在美国, 他们研制了机器人来完成这类工作。还有一些国家开发了清洗高层建筑的、家庭使用的, 以及供一些宾馆和公共场合使用的清洁机器人, 这些都是服务行业的机器人。此外, 还有在网球场上能够自动地把撒下的球集中收集起来的机器人。

服务机器人的应用又如汽车加油机器人。现在的一些加油站, 都使用自动的计量装置, 但是仍然需要人去操作, 而在美国的一些高速公路上, 车流量很大, 且夜间需要对汽车进行加油, 工作很繁琐, 所以开发这种加油机器人, 它不仅自动计量, 还能够自动地把油嘴放到汽车油箱里, 这也是服务机器人的一种体现。

除以上服务机器人外, 还有一些其他特种作业机器人。如水下机器人可代替人在危险

的水下环境中作业。人类借助潜水器具潜入到大海中探秘已有很长的历史，也可以利用深海潜水器具潜入深海。由于危险性很大，所以人类积极寻找可以代替人类进行危险作业的技术，水下机器人就成了十分受关注的发展方向。空间机器人是指能够在大气层和大气层外从事各种作业的机器人。

(3) 智能机器人。智能机器人具有多种由内、外部传感器组成的感觉系统，不仅可以感知内部关节的运行速度、力的大小等参数，还可以通过外部传感器(如视觉传感器、触觉传感器等)对外部环境信息进行感知、提取、处理，并做出适当的决策，自主完成某项任务。

智能机器人的发展方向大致有两种，一种是类人型智能机器人，这是人类梦想的机器人；另一种是外形并不像人，但具有智能的机器人。

2002 年，日本本田公司在东京展示了最新研制的“Asimo”智能机器人，采用完全拟人化的设计，高 1.2 米，不仅可以行走、爬楼梯，识别各种声音，还能通过头部照相机捕捉到的画面和事先设计好的程序识别人类的各种手势以及不同的脸型。Asimo 并不是为了表演而诞生的，它拟人的动作行为可以完成一些人类很难甚至无法去做的事情。目前，本田公司将继续研发它，意愿也在于使其能够进入家庭，为人类服务。

2. 按结构形式分类

按结构形式，机器人可分为关节型机器人和非关节型机器人两大类。

关节型机器人也称关节手臂机器或关节机械手臂，可作几个方向的转动，由立柱和大小两个臂组成，大小臂之间的连接为肘关节，大臂与立柱之间的连接为肩关节，可作大臂回转、小臂俯仰和大臂俯仰运动。关节型机器人是当今工业领域应用最广泛的一种工业机器人，适用于诸多工业领域的机械自动化作业，如自动装配、喷漆、搬运、焊接等工作。其与计算机辅助设计系统、计算机辅助制造系统结合在一起应用，成为现代制造业必备的一种自动化工具。关节型机器人有三个主要特征：机电一体化、适应性和通用性。

其他结构形式的机器人统称为非关节型机器人。

3. 按坐标形式分类

通常关节型机器人依据坐标形式的不同可分为直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型以及关节坐标型机器人。

(1) 直角坐标型机器人。这类机器人其手部空间位置的改变是通过沿三个互相垂直的轴线的移动来实现的，即沿着 X 轴的横向移动，沿着 Y 轴的纵向移动，沿着 Z 轴的升降。这种机器人的位置精度高，控制无耦合、简单，避障性好；但其结构较庞大，动作范围小，灵活性差，难以与其他机器人协调，移动轴的结构较复杂，且占地面积较大。

(2) 圆柱坐标型机器人。这种机器人通过两个移动和一个转动来实现手部空间位置的改变,如 VERSATRAN 机器人手臂的运动系由垂直立柱平面内的伸缩和沿立柱的升降两个直线运动及手臂绕立柱的转动复合而成。圆柱坐标型机器人的位置精度仅次于直角坐标型,控制简单,避障性好;但结构较庞大,难以与其他机器人协调工作,两个移动轴的设计较复杂。

(3) 球坐标型机器人。这类机器人手臂的运动由一个直线运动和两个转动所组成,即沿手臂方向 X 轴的伸缩,绕 Y 轴的俯仰和绕 Z 轴的回转,UNIMATE 机器人是其典型代表。这类机器人占地面积较小,结构紧凑,位置精度较好,能与其他机器人协调工作,重量较轻;但避障性差,有平衡问题,位置误差与臂长有关。

(4) 关节坐标型机器人。关节坐标型机器人主要由立柱、前臂和后臂组成,PUMA 机器人是其代表。这种机器人的运动由前、后臂的俯仰及立柱的回转构成,其结构最紧凑,灵活性大,占地面积最小,工作空间最大,能与其他机器人协调工作,避障性好,但位置精度较低,有平衡问题,控制存在耦合。

4. 按驱动方式分类

气力驱动机器人通过压缩空气来驱动执行机构。这种驱动方式的优点是空气来源方便,动作迅速,结构简单,造价低;缺点是空气具有可压缩性,致使工作速度的稳定性较差。因气源压力一般只有 60 MPa 左右,故此类机器人适宜对抓举力要求较小的场合。

(2) 液力驱动式。相对于气力驱动机器人,液力驱动机器人具有更大的抓举能力,可高达上百千克。液力驱动机器人结构紧凑,传动平稳且动作灵敏;但对密封的要求较高,且不宜在高温或低温的场合工作,要求的制造精度较高,成本较高。

(3) 电力驱动式。目前越来越多的机器人采用电力驱动式,这不仅是因为电机品种众多可供选择,更因为可以运用多种灵活的控制方法。电力驱动是指利用各种电机产生的力或力矩,直接或经过减速机构驱动机器人,以获得所需的位置、速度、加速度。电力驱动具有无环境污染、易于控制、运动精度高、成本低、驱动效率高等优点,因此应用最为广泛。电力驱动可分为步进电机驱动、直流伺服电机驱动、无刷伺服电机驱动等。

(4) 新型驱动式。伴随着机器人技术的发展,出现了利用新的工作原理制造的新型驱动器,如静电驱动器、压电驱动器、形状记忆合金驱动器、人工肌肉及光驱动器等。

5. 按发展时期分类

(1) 第一代机器人称为可编程机器人及遥控操作机,可以追溯到 20 世纪 70 年代,那时的机器人是由固定的、非程序控制的、无感应器的电子机械设备组成,主要以示教再现

方式工作，可编程、示教再现的工业机器人已进入商品化、实用化。

(2) 第二代机器人诞生于 80 年代，称为感知机器人，它内置了感应器和由程序控制的控制器，通过反馈控制，能在一定程度上适应环境的变化，能获取作业环境、操作对象的简单信息，通过计算机处理、分析能作出简单的推理，然后对动作进行反馈的机器人。由于信息处理系统的庞大与昂贵，第二代机器人目前只有少数可投入应用。

(3) 第三代机器人是 90 年代以来发明的机器人。这种机器人带有多种传感器，可以进行复杂的逻辑推理、判断及决策，具有高度的适应性和多种感知功能，能在作业环境中独立行动。第三代机器人又称做高级智能机器人，它与第四代计算机关系密切，目前还不是十分成熟。

(4) 第四代机器人还在研发中，预计具备人工智能、自我复制、自动组装和纳米级尺寸大小等特点。

6. 按应用环境分类

(1) 工业机器人。工业机器人是一种在自动控制下，能够重复编程完成某些操作或移动作业的多功能、多自由度的机械装置，可以在无人参与的情况下自动执行搬运、装配、焊接和喷涂等多种操作和移动功能的自动化装置。

特点：工业机器人是机电一体化的工业生产用自动化装置，是为工业大生产而设计的，为了适应各种不同的生产应用，其形状多种多样，但没有一点人的模样，它具有如下特点：

① 能高强度地、持久地在各种生产和工作环境中从事单调重复的劳动，将人类从繁重的体力劳动中解放出来。

② 对工作环境有很强的适应能力，能代替人在有害场所从事危险工作。

③ 具有很广泛的通用性，比一般自动化设备有更广的使用，既能满足大批量生产的需要，又能满足产品灵活多变的中、小批量的生产作业需求。

④ 具有独特的柔性，它可以通过软件调整等手段加工多种零件，可以灵活、迅速实现多品种、小批量的生产。

⑤ 动作准确性高，可保证产品质量的稳定性。

⑥ 能显著提高生产率 and 大幅度降低产品成本。

(2) 非制造环境下的机器人。非制造环境下的机器人涵盖了除工业机器人外的所有其他类型的机器人。

特点：非制造环境下的机器人除了具有工业机器人的基本属性和使用特点外，还具有比工业机器人适应面更广、自动化和智能化程度更高、对工作环境的适应能力更强、操作