



● 何玉庆 韩建达 主编

机器人技术发展路线图 理论与实践

Theory and Practice of Robot Technology Development Roadmap



 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE



辽宁省优秀自然科学著作

机器人技术发展路线图 理论与实践

何玉庆 韩建达 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

主编 何玉庆 韩建达

编委 包国光 曲艳丽 孙海涛 何玉庆 赵明扬

徐 方 梁 波 韩建达

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人技术发展路线图理论与实践. /何玉庆, 韩建达
主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2016. 8

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5381-9823-2

I. ①机… II. ①何… ②韩… III. ①机器人技术—
技术发展—研究 IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 120208 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印刷者: 鞍山市春阳美日印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 185 mm×260 mm

印 张: 10

字 数: 218 千字

印 数: 1~1 000

出版时间: 2016 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2016 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 李伟民

特邀编辑: 王奉安

封面设计: 嵘 嵘

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN 978-7-5381-9823-2

定 价: 30.00 元

联系电话: 024-23284526

邮购热线: 024-23284502

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

机器人助力中国智能制造（代序）

自半个世纪前第一台机器人在美国诞生以来，不仅工业机器人大显身手，还发展出服务机器人这一个庞大的新族群。经济社会的进步对机器人提出了新需求，技术的进步为机器人发展提供了保障。

机器人进入了灿烂的年华。它将越来越强地影响人们的工作与生活，也必将助力我国的智能制造，满足百姓的民生需求。

近 10 年，有关机器人的讨论不断出现，它被说成是影响人类生产和生活的四大技术之一，引领第三次工业革命的技术之一，12 项引领全球经济变革的颠覆性技术之一，以及 2015 年世界十大技术之一。世界上很多国家，包括发达国家和一些新兴经济国家，纷纷将机器人作为国家计划进行重点规划和部署。例如，美国发布了机器人发展路线报告，将现在的机器人与 20 世纪的互联网放在同等重要的地位；欧盟启动了全球最大民用机器人研发计划——SPARC，计划到 2020 年投入 28 亿欧元，创造 24 万个就业岗位；日本也制订了机器人技术长期发展战略，将机器人产业作为新产业发展战略中七大重点扶持的产业之一；韩国制订了智能机器人基本计划，并发布了机器人未来战略展望 2022，将政策焦点放在扩大韩国机器人产业并支持国内机器人企业进军海外市场等方面。

也就是在这一时期，我国的机器人进口数量快速增长。根据国际机器人联合会（IFR）的统计报告，在 2000 年我国仅进口 380 台工业机器人，2013 年进口了 36 860 台。这 13 年间，进口数量增长了两个数量级。工业机器人 2013 年全球销售量约 17.9 万台，需求达到了历史最高点，同比增长 12%。其中，在中国销售量约 3.7 万台，销售量全球排名第一，同比增长 60%。中国市场 2013 年占全球机器人市场的 1/5，2014 年已上升到 1/4，这切实地反映出我国对机器人的需求。中国已成为最大的机器人消费国。

我国经济发展形势决定了对机器人的需求。从当前看，制造业中劳动力短缺与工人工资的上升，使得人力成本上升。企业都在寻求替代办法，机器人显然是被优先选用的，因为机器人可以提高劳动生产率。改革开放以来，我国制造业产值迅速提高，但是我国劳动生产率还很低，我国万名产业工人中拥有机器人的数量，还远低于世界平均水平。制造业的转型与升级，对机器人提出了巨大需求。从长远看，新一轮科技进步，是不以人的意志为转移的。智能制造是制造技术的主要发展方向，而机器人是智能制造的主要技术支撑，这已成为世界各国的共识。

工业机器人在我国有巨大的市场空间，服务机器人也同样具备巨大的发展空

间。各种各样为了满足不同需求的特种机器人、康复与助老助残机器人、医疗辅助机器人等服务机器人，在我国都有明显需求。现在，“大众创业、万众创新”的政策将激励大家制造出各种用途的机器人。

经过多年努力，我国已掌握了工业机器人的设计技术，积累了应用经验。国内很多单位在机器人技术研究中，已经取得了投入实际应用的成果。例如，中国科学院沈阳自动化研究所是最早从事机器人技术研究的单位之一，被誉为中国机器人事业的摇篮，目前是机器人技术国家工程研究中心、机器人学国家重点实验室等依托单位。这里研制的工业机器人和 AGV 自动导引车，拉开了中国机器人产业化的序幕，而救援与反恐移动机器人、旋翼飞行机器人、五自由度高压水切割机器人、激光加工机器人，以及面向深海、极地等极端环境科学探索和资源开发需求研制出的长航程自治水下机器人、从水下观测北极冰盖的北极科考机器人、南极极地科考机器人和 6 000 米无人无缆潜器“潜龙一号”等多项成果，也在实际应用中发挥了不可替代的作用，创造了我国机器人事业的多项第一。另外，哈尔滨工业大学的机器人技术不仅在各地被采用，而且在航天领域取得突出应用成果；北京航空航天大学的大脑外科辅助机器人也被成功用于医疗实践；中广核公司研制的多项核电站机器人也在核电建设中被成功应用。

我国机器人的先驱企业已基本走上自主良性发展的道路。以沈阳新松机器人自动化股份有限公司为例，自 2009 年成功实现创业板首批上市，目前公司市值达 500 亿元人民币，已成为国内机器人自动化领域的龙头企业。与此同时，我国的工业机器人产品也填补了多项国内空白，洁净（真空）机器人多次打破国外技术垄断与封锁，大量替代进口产品。移动机器人产品被众多国际知名企业列为重点采购目标，特种机器人在国防重点领域得到批量应用。广州数控设备有限公司除生产机器人产品外，还是成套机床数控系统的供应商。广州启帆、南京埃斯顿、安徽埃夫特和上海新时达等公司也各具特色，逐渐摸索出了适合自身的良性发展模式，在我国机器人产业中扮演了重要的角色。值得一提的是，深圳市大疆创新科技有限公司是全球领先的无人飞行器控制系统及无人机解决方案的研发和生产商，客户遍布全球 100 多个国家和地区，取得了耀眼的业绩。

整体上看，我们的工业机器人生产企业规模还偏小，市场占有率还比较低，一些关键元部件的品质与国际先进产品相比还有较大差距，技术创新能力还在发展中。服务机器人的规模产业还很少。

习近平总书记指出：“我国将成为机器人的最大市场，但我们的技术和制造能力能不能应对这场竞争？我们不仅要把我国机器人水平提高上去，而且要尽可能多地占领市场。”为此，我们必须增强弱项，壮大我们的企业。同时，为了未来的竞争力，必须关注机器人的发展趋势，开展研究，做好技术储备。

目前来看，制造行业产品的生命周期越来越短，用户的个性化要求越来越强

烈。这就需要灵活的制造系统，要求生产线变更所需的时间间隔缩短。对于采用无线通信，包括传送带或 AGV 车、机器人等加工机器组成的生产系统，未来应能在几天之内完成重组，而不是现在的几周甚至几个月。各个部件连接上之后，应该实现“即连即用”，而不必经过漫长的调试。面对这样的要求，机器人必须提高运动能力和快速编程能力。现在的工业机器人由于绝对定位精度低，快速高精度标定是一个难题。下一步，采用信息技术实现快速高精度的三点定位将成为关键技术。

人类发明了机器代替人劳动，并不是要把自己排除在外。未来，机器人将可与人共处。目前，在飞机和造船等许多制造业中，部件都是由高度自动化的精密设备加工，但是飞机装配、船舶焊接等工作还主要靠人工，缺乏灵活的设备协助。劳动密集型制造业中的许多手工工作，现在的机器人还没法胜任。由于机器人的在线感知能力远低于人，无法接收抽象命令，无法与人高效交流，再加上缺乏适当的安全机制，使得机器人仍然是游离于人之外的机械物体。未来的人机合作会是解决这类问题的最佳方案，能与人合作的机器人是理想的作业装备，机器人要想很好地服务于人，必须与人融为一体。而与人共融的程度，将是机器人发展的一个重要坐标。

相关领域的技术进步将不断推动机器人技术的发展。例如，人工智能和互联网技术发展，将为机器人提供强大的“后脑”，提高其智能水平。随着材料科学的发展，用人造肌肉等组成机器人，制成所谓“软件机器人”，将带来机器人领域的革命。与脑科学结合，可以使机器人的一些行为直接受控于人。与生命科学的结合，将产生类生命机器人。

我们有理由相信：机器人面临着灿烂的明天。

中国工程院院士 **王天然**

2016 年 5 月

目 录

1	研究背景、概念和方法	001
1.1	背景与内容	001
1.2	概念与分类	002
1.3	技术路线图方法概述	006
2	国外智能机器人技术发展路线图	021
2.1	欧盟智能机器人技术发展路线图	021
2.2	美国智能机器人技术发展路线图	025
2.3	日本智能机器人技术发展路线图	031
2.4	韩国智能机器人技术发展路线图	038
3	国内智能机器人产业和技术发展概况	044
3.1	国内机器人产业发展概述	044
3.2	上海机器人产业技术发展路线图	049
3.3	广东机器人产业技术发展路线图	050
3.4	其他地区机器人产业技术发展现状与规划	053
3.5	国家机器人产业政策规划和专项措施	057
4	智能机器人关键技术与产业发展分析	062
4.1	专题研讨会	062
4.2	专家预测问卷设计与结果分析	064
4.3	智能机器人关键技术分析	071
4.4	与人共融：智能机器人发展新趋势	081
4.5	机器人产业发展概述	085
5	辽宁智能机器人发展战略及路线图	090
5.1	基础与现状	090
5.2	优劣势分析	094
5.3	定位、目标、重点和路线图	096
5.4	若干政策建议	103
6	机器人发展史与产业路线图规划	105

6.1 沈阳自动化研究所机器人研究发展简史.....	105
6.2 沈阳新松公司“十二五”产业发展规划	121
6.3 抚顺市沈抚新城机器人产业发展规划.....	128
参考文献	145
附录：智能机器人技术发展相关问题调查问卷	147

1 研究背景、概念和方法

1.1 背景与内容

自 20 世纪 60 年代初世界上第一台工业机器人成功应用以来，机器人技术经历了半个多世纪的快速发展。目前，机器人技术在制造业、服务业、军事等众多领域已经获得了广泛的应用，正以独特的方式影响着人类认识世界和改造世界的能力。

进入 21 世纪，在科技水平的快速发展以及人们日益增长的需求共同作用下，机器人技术受到了全世界的空前关注，被认为是新技术革命的核心、制造业皇冠上的明珠。2013 年，麦肯锡全球研究所发布的《引领全球经济变革的颠覆性技术报告》将先进机器人列入 12 项技术之中，并预计 2025 年潜在年度市场影响力为 1.7 万亿~4.5 万亿美元(图1-1)。正是看到了机器人对经济、社会发展的巨大推动作用,近几年,世界发达国

颠覆技术图示

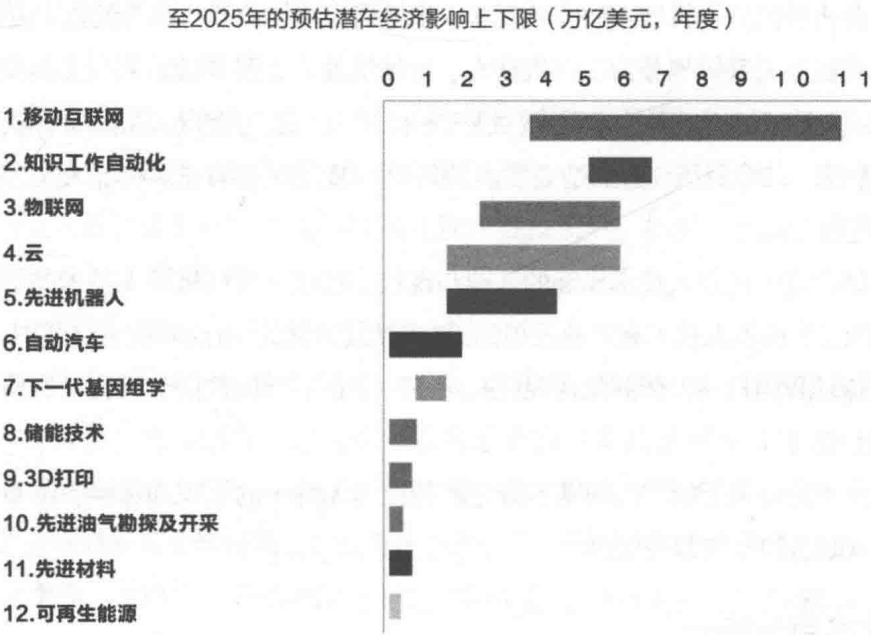


图 1-1 麦肯锡全球研究院公布的引领全球经济变革的颠覆性技术

家纷纷将机器人作为国家计划进行了细致的梳理和规划。例如：2013 年出版的美国机器人发展路线图中，将机器人列为继互联网之后又一可能对人类社会产生深远影响的重要技术；而早在 2006 年，欧盟就成立了专门机构对欧洲机器人技术的发展进行了长期、细致地规划，并于 2014 年 1 月颁布了机器人发展路线图，用以指导欧盟各国机器人技术与产业的发展。

我国自“863”计划设立机器人主题以来，经过 20 多年的发展，已初步建立起从应用基础研究到产业化的机器人技术研发体系。但与发达国家相比，国内关于机器人技术的基础研究尚缺乏系统性的战略规划，并且市场开发与系统研发之间存在着明显的滞后，直接表现在机器人技术的产业化和应用与国外存在很大差距。

为此，本书针对当前智能机器人技术发展现状与趋势，对机器人技术与应用前景进行分析；明确机器人技术领域未来发展需求所面临的关键技术挑战，寻求解决这些技术挑战所需要的技术路径与手段；并通过与国外的相关发展战略进行横向比较，结合我国经济社会发展的现状，制订出符合国情的智能机器人发展路线图；为后续智能机器人研究提供系统、明确的发展目标，为相关科技政策的制订提供政策建议，为相关项目的布局和规划提供依据。

本项目的主要研究内容包括：

(1) 对欧盟、美国、日本、韩国等科技发达国家和地区制订的相关研究发展战略进行调研，分析智能机器人技术的当前技术特点和总体发展趋势；

(2) 分析我国智能机器人研究的现状、主要研究机构及其与国外的技术发展差距；

(3) 将机器人系统划分为工业机器人、特种机器人、服务机器人三类典型代表，阐述各类机器人系统的内涵及技术特点；以工业机器人系统为重点，兼及特种机器人和服务机器人系统，结合我国先进制造业发展的特点，通过问卷调查对机器人关键技术以及发展水平进行分析；

(4) 结合辽宁机器人技术发展的基础和现状，对辽宁发展机器人技术的优劣势进行分析，提出辽宁机器人技术和产业发展的战略定位、目标、重点和技术路线图；

(5) 梳理我国机器人研究的代表性机构——中国科学院沈阳自动化研究所机器人学科的发展历史。

考虑到国内外关于机器人的基本概念和分类尚无统一的认识和标准，本章首先对机器人的基本概念和分类做些探讨。

1.2 概念与分类

“制造出像人一样的机器，从而将人类从繁重的劳动中解脱出来”在几千年前就已

经是人类的美好愿望。如古希腊诗人荷马的长篇叙事诗《伊利亚特》中的冶炼之神瘸腿海倍斯特司，就用黄金铸造出一个美丽聪颖的侍女；希腊神话《阿鲁哥探险船》中的青铜巨人泰洛斯等。而早在西周时期，我国的能工巧匠偃师就研制出了能歌善舞的伶人；同样，三国时期诸葛亮制造的木牛流马也风靡一时。尽管这些神话传说或者历史记载的真实性不可尽信，但人们对于“类人的机器”的向往之心可见一斑。

现在人们常说的“机器人（Robot）”一词，来源于1920年捷克作家卡雷尔·卡佩克的科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》。在捷克语中，Robota是奴隶的意思，卡雷尔·卡佩克在剧本中塑造的是一个只会劳动、不会思维的机器形象。在剧本中，卡佩克把捷克语Robota写成了Robot，自此机器人的概念开始广为流传。

在世界机器人技术发展过程中，曾出现过一些重要的标志性事件：

1948年，著名的神经系统科学家和机器人学家威廉·格雷·沃尔特制造的机器乌龟是世界上最早的具有自主意识的电动机器人：当它遇到障碍物时，就缩回一些，稍向旁边转一下实现绕行；当电池即将耗尽时，会爬进灯光，自己寻找充电电源。

1954年，美国人乔治·德沃尔制造出世界上第一台可编程的机械手，并注册了专利，这种机械手能按照不同的程序从事不同的工作，因此具有通用性和灵活性。这被认为是第一台机器人系统。

1962年，美国AMF公司生产出“VERSTRAN”（意思是万能搬运），与Unimation公司生产的Unimate一样成为真正商业化的工业机器人，并出口到世界各国，掀起了全世界对机器人研究的热潮。

时至今日，机器人经历了超过半个世纪的快速发展，机器人学也已经成为一门独立的学科，但是关于机器人的定义迄今为止并没有得到统一。这主要是由于机器人学具备明显的跨学科特性，其概念的内涵及外延均十分宽泛。并且由于应用场合多种多样，不同学科的研究人员、甚至不同领域的技术开发人员及用户，均对“机器人是什么？”这一基本问题有着各自不同的理解和认识。

在此，我们简单梳理一下几个常见的机器人定义：

（1）名词解释类。《牛津美语词典》中关于机器人的解释主要从功能描述方面定义：机器人是一种机器，它能够自动地完成一系列复杂的（尤其是可通过计算机编程实现的）动作。《韦氏词典》中关于机器人的解释有3条：①一种具有类人的外表或者动作的机器；②一种能够自动执行重复性任务的机器；③一种通过自动控制引导的物品。

（2）学术类。2012年，联合国欧洲经济委员会（UNECE）和国际机器人联合会（IFR）与国际标准化组织（ISO）技术委员会合作提出了一个机器人的定义：机器人是一种能够执行某种任务的、两轴或者多轴可编程的、具有一定自主性（这里的自主性是

指在没有人的干预情况下能够基于当前状态和感知执行特定任务的能力)的驱动机构。美国机器人协会(RIA)针对工业机器人的定义是: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的,并具有编程能力的多功能操作臂。日本工业机器人协会(现称为日本机器人协会,JRA):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。联合国标准化组织也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”。我国已故著名战略科学家,被称为“中国机器人之父”的蒋新松院士对机器人的定义是:一种具有拟人功能的机械电子装置。即使以今天的学术标准来判断,蒋新松先生的定义仍不过时。

实际上,不同种类的机器人系统、面向不同应用的机器人系统在功能、结构、性能上均存在着较大的差异性;同时机器人作为一门具有明显学科交叉性的综合技术,其内涵和外延随着其他相关学科和社会需求的发展也会不断扩大,因此很难对机器人给出一个统一的定义。

机器人的种类繁多、琳琅满目,近年来,随着相关科学技术的不断发展,不同功能的机器人系统也相继出现并且活跃在各种不同领域:从天上到地下,从工业到农、林、牧、渔业,甚至已进入寻常百姓家。机器人的种类之多、应用之广、影响之深,是人们始料未及的。关于机器人的分类也存在一些不同的观点和看法。国际机器人联合会根据机器人的用途分为两大类:一是工业机器人;二是服务机器人。其中工业机器人是指“可用于工业自动化领域的,具有自动控制、可重编程性能的多用途操作臂系统”。而服务机器人则是指“能够完成针对人类或者某种设备(除工业自动应用以外)任务的机器人系统”。服务机器人又可细分为个人服务机器人和专业服务机器人,其中个人服务机器人是指“针对非商业任务、非专业人士的服务机器人系统。例如:家庭服务机器人系统、自动轮椅、个人运动辅助机器人以及宠物机器人”;而专业服务机器人是指“用于商业任务、针对具有一定相关经验和知识的专业人士的服务机器人系统。例如:公共区域清洁机器人、救火机器人、康复机器人、医疗手术机器人。这里的专业人士主要负责给机器人制订命令、监督或在紧急情况下停止机器人系统”。

在2013年发布的“美国机器人路线图”中,根据用途将机器人分为:制造业机器人、医疗护理机器人、服务机器人、太空机器人、国防机器人。

欧盟在其发表的“欧洲机器人技术平台”规划中,则将机器人的应用分成5个应用场景和6种机器人系统:机器工人、机器工友、后勤机器人、监测和干预机器人、探险和监测机器人、教育娱乐机器人。

综上所述，机器人有许多种分类方法。目前，国内越来越多的专家和学者倾向于在国际机器人联合会的分类基础上，将服务机器人细分为特种机器人和服务机器人，加上工业机器人组成三大类机器人系统（图 1-2~图 1-4）。

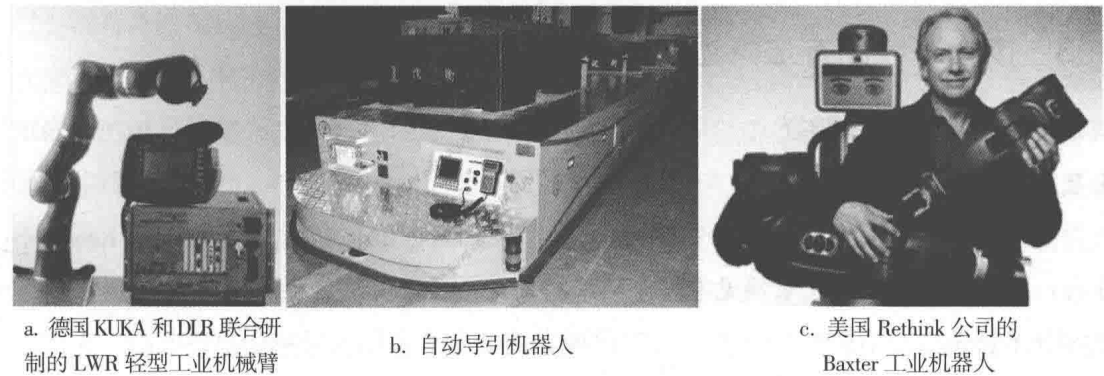


图 1-2 工业机器人典型代表

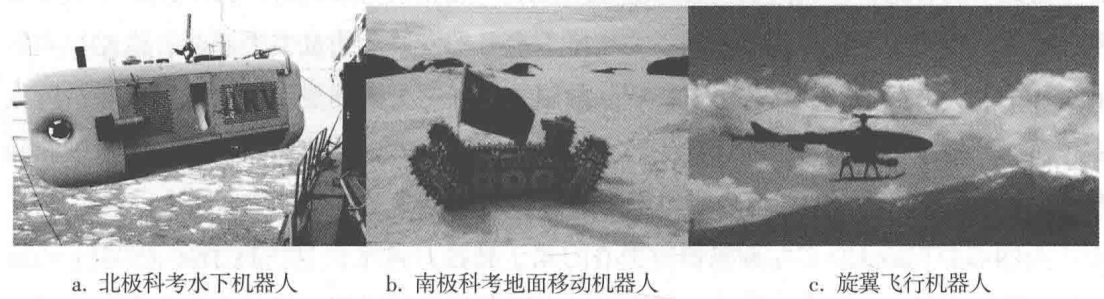


图 1-3 特种机器人典型代表（中国科学院沈阳自动化研究所）

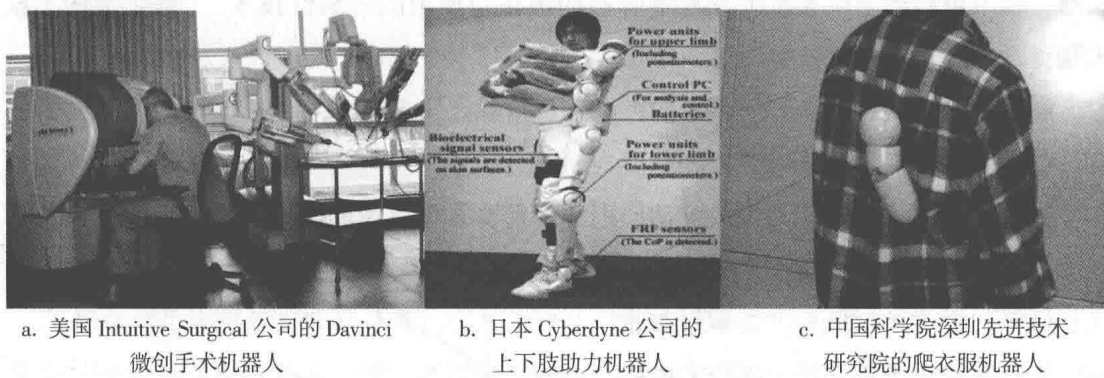


图 1-4 服务机器人典型代表

工业机器人可直接采用国际机器人联合会的定义及范畴；

特种机器人是指面向特殊应用的机器人系统，具体包括反恐防暴机器人、危险品操作机器人、搜索救援机器人、农业机器人、深海/太空/极地机器人、国防/军用机器人等；

服务机器人则是指面向非专业服务的机器人系统，具体包括：医疗/康复机器人、

行为辅助机器人、家政服务机器人、教育娱乐机器人、助老助残机器人等。

本项目研究将采用这种分类方法,并分别针对3种机器人系统,制订相应的机器人发展路线图。

1.3 技术路线图方法概述

1.3.1 起源、内涵和特征

1.3.1.1 技术路线图的起源

(1) 对技术的预测和预见。技术路线图(Technology Roadmap; Technology Roadmapping)是从技术预测和技术预见中衍化出来的一种工具性方法,最先出现在20世纪中叶的美国和欧洲。

20世纪40年代,美国军方将技术预测用于制订科技规划。冷战时期,军事和航天技术受到政府青睐,政府决策需要确定优先发展领域和投资规模等,技术预测在定量分析方法上取得了长足进步。技术预测关注技术本身的发展动力和发展趋势,忽略技术发展过程中社会方面复杂因素的多重影响,预测结果经常失真而受到质疑。后来在进行技术预测时,把技术发展过程中相对于技术系统的社会因素内化为内生变量,技术预测的内涵就发生了重大变化,技术预测便走向了技术预见。

英国苏赛克斯大学科学政策研究中心的马丁教授对技术预见进行了含义界定:“试图系统地窥探科学、技术、经济、环境和社会远期发展的过程,目的在于确定战略研究领域,以及可能产生巨大经济和社会收益的正在呈现中的一般性技术”。马丁描述了技术预见活动的基本特征:

①它对未来的探索过程是系统的;

②预见着眼于远期未来,时间范围为5~30年;

③预见不仅关注未来科技的推动作用,而且着眼于市场的拉动作用,既包括对科学技术机会的选择,也包括对经济、社会发展相关需求的识别;

④预见的主要对象是“一般性技术”;

⑤技术预见不仅关注未来技术可能产生的经济影响,而且关注其可能产生的社会效益和对环境的影响,是所有利益相关者共同参与塑造未来社会的过程。

技术预见不再是预测未来的技术会怎样,而是已经通过社会因素力量去“选择”和“造成”某些技术的出现。技术预见已经包含对技术发展的规划了,那么技术发展的路径就成为技术预见的核心关键,技术路线图就成为技术预见的系统性方法和规划模式。

(2) 技术路线图的诞生。技术路线图最早诞生于美国。70年代,为了降低生产汽车的成本,从而在和欧洲、日本的汽车产业的竞争中胜出,美国汽车产业的生产制造商们

要求供应商给他们提供产品技术路线计划。至此,技术路线图的雏形开始在美国的汽车行业出现。

在70—80年代,摩托罗拉和康宁两家公司最先绘制了技术路线图。康宁公司提倡通过关键事件绘图达成企业整体战略和企业内部的事业部战略。摩托罗拉则采用的是技术演变和定位法,其方法在美国的技术经营实践中更常见。在罗伯特·高尔文(技术路线图研究的重要奠基人之一)担任摩托罗拉总裁时,主导启动了旨在“鼓励业务经理适当地关注技术未来和为他们提供一个预测未来过程的工具”的遍及全公司的绘制技术路线图行动,运用产品技术路线图成功实现了企业内部的技术进化和技术定位,有效地规避了在产品 and 工艺进化过程中公司可能忽略的一些重要技术元素,达到了降低成本、提高竞争力、增加市场份额以及明确企业发展方向的目的。技术路线图在公司研发、生产和管理上的应用,使得摩托罗拉在与国际上其他公司的竞争中占据了明显的竞争优势。摩托罗拉产品技术路线图引起了竞争对手的高度关注,许多国家的企业都开始仿效摩托罗拉公司,制作自己的产品技术路线图。技术路线图在组织目标、技术资源和变化环境之间建立了动态的联系,能有效地预见这三者之间的未来发展变化过程。

1987年,Willyard和McClees合作发表了有关摩托罗拉公司开展技术路线图实践的论文,该论文中首次使用“技术路线图”这种表述。论文发表之后,技术路线图方法作为一种有效的战略规划工具的重要性的价值,开始被越来越多的企业所了解。这一阶段应用技术路线图方法的企业数量还很少,技术路线图的相关研究也不多,主要是介绍企业的成功经验。

美国半导体产业协会(SIA)在美国政府的支持下,于1992年发起的国家半导体产业技术路线图(NTRS)。这是第一个超企业范围的技术路线图。它揭开了产业技术路线图的序幕并掀起了欧美等发达国家对绘制技术路线图的热潮。这一时期应用技术路线图的公司数量迅速增加,而且关于技术路线图方法的研究也日渐增多,技术路线图的应用范围在不断拓宽。

摩托罗拉模型和经验的公开,引起了欧美企业高层管理者的极大兴趣。洛克威尔汽车公司1995年接纳并采用了技术路线图方法。英国石油公司和飞利浦公司分别于1995和1996年采用技术路线图。之后采用技术路线图方法的企业和行业领域越来越多。目前,国际上有两家针对技术路线图理论与实践的研究中心:一家是美国普渡大学技术路线图研究中心;另外一家是英国剑桥大学制造学院的技术管理中心。

1998年5月,罗伯特·高尔文在美国的《科学》杂志上发表了《科学路线图》一文,在该文中高尔文阐述了自己对技术路线图方法的理解,并对技术路线图的含义做了初步界定。高尔文认为,“技术路线图是对某一特定领域未来发展的看法,该看法集中

了该领域中集体的智慧和最优秀技术驾驭者的想象，一般采用绘图的形式表达出来，成为这一领域发展的方向指南”。剑桥大学技术管理中心在 EIRMA 通用技术路线图框架的基础上于 2001 年开发了 T-Plan 方法，并进一步提出了利用 T-Plan 通用路线图规划框架和过程模板，针对采纳组织特征、目标、可用资源和可得信息等特定应用情境因素进行定制的方法。目前，T-Plan 方法以其简洁的“市场—产品—技术”规划框架和灵活的可定制规划过程得到了普遍认可，成为具有代表性的技术路线图制订方法。

新加坡制造业的中小企业引进剑桥大学的 T-Plan 方法并加以拓展，把战略技术规划过程和传统的经营策略进行融合产生了叫作运营技术路线图的方法。这种方法主要还是采用 T-Plan 方法中产品—技术规划路线图的形式，制订一个规划，把市场和顾客需求、产品演进、新技术的引入结合在一起，但他们拓宽了中小企业环境内的技术定义，认为技术包括一般的知识获得，尤其包括把技术作为基础的产品带入市场时的关键事项，如资金和市场研究等；规范了剑桥的 T-Plan 进程前端，利用一种半结构化的以整个高层管理团队的战略问题为重点的调查问卷，在第一个市场研讨会之前提供了对该公司的战略思考。

Albright, R. E. 和 Kappel, T. A. 研究指出，朗讯科技公司使用路线图方法的经验，把重点放在产品线层面。朗讯科技用“产品—技术”路线图确定产品升级规划，确定业务战略、产品性能和技术成本之间的联系。对于每个产品线来说，路线图把市场战略、产品规划和技术规划连接起来。整个公司在产品路线图的基础上进行技术规划，明确需求、差距、长处和短处。路线图帮助朗讯科技在规划过程中聚焦于少数重要而优先的事项上。

Pieter Groenveld 研究了飞利浦电子公司的产品技术路线图规划过程。飞利浦电子公司开发路线图是为了把业务战略与技术战略更好地整合在一起，在产品开发过程中改善过程的概念和构思阶段的工作。通过公司的整体参与、团队的良好沟通和协作来制订路线图，而路线图也为企业带来了价值：产品与技术的整合战略和有利于愿景实现的跨部门实施方案。

(3) 中国的技术路线图引介研究。中国最早介绍技术路线图的文献是 2002 年王瑞祥的《设计未来技术发展蓝图的有效方法——Technology Roadmapping》。王瑞祥将“Technology Roadmapping”译为“技术蓝图设计”，是一种流行的技术规划方法，可在企业（或 R&D 组织）、产业两个不同层次上进行。其主要功能是从未来产品（或服务）的需求出发，由技术、市场等各方面的专家合作，选择适用技术并确定相应技术路线，描绘出未来技术发展蓝图。

2004 年，刘海波、李平在《技术路线图的产生和作用》一文中，介绍了“路线图”

的含义、本质特征和功能作用，概括了技术路线图的类型和绘制程序。李雪凤等把技术路线图作为技术管理工具进行了含义界定。顾刚在《国外氢能技术路线图及对我国的启示》一文中，介绍了欧美氢能技术路线图研究与应用状况。

2005 年，谈毅、李雪凤在《基于技术路线图的产业创新模式初探》中，解说了“路线图”的含义和技术路线图的作用。长城战略研究所在《技术路线图与企业自主创新研究报告》中，对技术路线图进行了定义和分类。

2006 年，丁云龙、谭超在《作为技术预见工具的技术路线图及其应用前景》一文中，分析了技术路线图的起源、概念、作用和制订流程。谭超的硕士论文《技术路线图与技术发展的规律性研究》，是第一篇系统地研究探讨技术路线图的学位论文。

2007 年以后，探讨技术路线图的文献大量增加，广东省最先进行了产业技术路线图的研制工作。

1.3.1.2 技术路线图的内涵和特征

对于众多创新主体共同制订的技术路线图，例如产业技术路线图，可能不单单是市场需求、技术要点、资源匹配三者在时间维度上的连接那么简单，更多的要考虑保障技术路径实现的体制、机制问题；考虑时间维度上关键节点的投融资问题；考虑如何引导社会资源的投入方向，引导社会资源什么时候介入配置和配置什么样的资源；如何引导诸多主体协同创新等问题。

最后，不论是什么样的技术路线图，都必须在关键时间节点上更新。这也是技术路线图的生命力所在，技术路线图的更新频次越高，技术路线图的生命力就越旺盛。更新技术路线图就需要对执行的技术路线图跟踪和监测，在给定的评价标准下，适当发出更新的信号。表 1-1 和表 1-2 列出了国内外学者对技术路线图的界定。

表 1-1 国外学者技术路线图的概念界定

代表人物和出处	概念内涵	特征
Kostoff 和 Schaller	技术路线图是指对未来科学与技术发展趋势的一致看法，它把研究发展计划能力目标和需求明确联系起来，是一种很形象的工具，能够直观地为决策者提供参考	前瞻性 集成性 动态性 形象性
Garcia 和 Bray	技术路线图是指通过一系列制订步骤识别出系统需求、产品开发阶段目标，可选技术方案和里程碑事件等，并将这些内容以图表形式展现出来的过程	前瞻性 集成性 动态性 形象性
Galvin	技术路线图一般采用绘图形式表达对某一特定领域未来发展趋势的看法，该看法集中了该领域中集体的智慧和最优秀的技术驾驭者的想象	前瞻性 集成性 形象性