

中国机器人学 40 年

蔡自兴

中南大学信息科学与工程学院智能机器人研究中心, 长沙 410083

摘要 概括中国机器人学 40 年来走过的发展过程和取得的基本成就, 归纳中国机器人学发展中存在的主要问题, 阐述中国机器人学面临新的发展机遇, 探讨进一步发展中国机器人学的策略, 可供中国机器人学研究、开发、应用与决策参考。

关键词 中国; 机器人学; 40 年; 发展

中图分类号 TP242

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015

Robotics in China for 40 Years

CAI Zixing

Center for Intelligent Robotics, School for Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract This paper summarized the development process and main achievements of robotics in China during the past 40 years, sum up the basic existing problems in developed robotics of China, explained the new opportunity of robotics meet in China, inquired into the further developing strategy of robotics in China. These would be useful reference for study, development, application and decision-making of robotics in China.

Keywords China; robotics; 40 years; development.

自 1962 年第一台工业机器人问世以来, 国际机器人学在半个多世纪中已取得了迅速发展和可喜成就。在中国和世界各国, 越来越多的机器人在各行各业得到应用; 越来越多的机器人科技工作者从不同方向从事机器人学的研究开发和应用工作; 越来越多的地球自然人对机器人有了比较正确和全面的理解。机器人学已为 20 世纪的人类文明做出重要贡献; 机器人学也开始为 21 世纪的人类文明做出新的更大贡献。

自 20 世纪 70 年代以来, 中国的机器人学经历了一场从无到有、从小变大、从弱渐强的发展过程。在新老世纪交替的 1999 年, 国际著名的控制论(Cybernetics)专家、时任国务委员兼国家科委主任的宋健院士指“机器人学的进步和应用是本世纪自动控制最有说服力的成就, 是当代最高意义上的自动化^[1]”。的确, 机器人学具有非凡的魅力和诱人的发展前景。如今, 中国已经成为国际最大的机器人市场, 一股前所未有的机器人学热潮汹涌澎湃, 席卷神州大地, 必将为中国的经济快速持续发展和改善人民福祉做出更大的

贡献。

本文概括中国机器人学的发展过程, 归纳中国机器人学的基本成就与存在问题, 阐述中国机器人学新的发展机遇, 探讨进一步发展中国机器人学的策略, 可供关心和研究中国机器人学的人们讨论与决策参考。

1 中国机器人学发展历程与基本成就

中国于 1972 年开始研制工业机器人, 比美国晚了 20 年, 比日本只晚了 5 年; 虽起步较晚但为时不算太晚, 而且进步较快, 已在工业机器人、特种机器人、智能机器人和机器人学学科建设各方面取得明显成绩, 为我国机器人学的发展打下初步基础。下面分别就工业机器人、特种机器人、智能机器人、机器人学学科基础建设 4 个方面介绍我国机器人学的发展过程和取得的成就^[2-10]。

1.1 工业机器人

中国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初, 经过 40 多年的发展, 大致可分为 4 个阶段: 20 世纪 70 年代的萌芽期, 80 年

收稿日期: 2015-09-15; 修回日期: 2015-00-00

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(60234030)、国家自然科学基金重大专项(90820302, 91220301)、国家自然科学基金面上项目(61175064, 61273314)等。

作者简介: 蔡自兴, 教授, 研究方向为智能系统、人工智能、智能控制、智能机器人, 电子信箱: zxcai@csu.edu.cn

引用格式: 蔡自兴. 中国机器人学 40 年[J]. 科技导报, 2015, 33(21):

代的开发期,90年代—2010的初步应用期,2010年以来的井喷式发展与应用期。

中国于“七五”期间,进行了工业机器人基础技术、基础元器件、几类工业机器人整机及应用工程的研究开发。经过5年攻关,完成了示教再现式工业机器人成套技术(包括机械手、控制系统、驱动传动单元、测试系统的设计、制造、应用和小批量生产的工艺技术等)的开发,研制出喷涂、弧焊、点焊和搬运等作业机器人整机,几类专用和通用控制系统及几类关键零部件等,且形成小批量生产能力。

在20世纪90年代中期,国家选择了焊接机器人的工程应用为重点进行开发研究,迅速掌握焊接机器人应用工程成套开发技术、关键设备制造、工程配套、现场运行等技术。90年代后半期至21世纪前几年,实现国产机器人的商品化和工业机器人的推广应用,为产业化奠定基础。

20世纪近30年(1972—2000年)中,中国的工业机器人产量和装机台数占世界的比重微不足道,2000年的销售量只有380台。进入21世纪以来,中国工业机器人市场迅速增长,经过一段产业化过程,在21世纪前10年之后得到进一步推广使用,并随着国民经济的发展升级,工业机器人的应用呈井喷之势,并于2013年开始成为国际最大的工业机器人消费国,引领国际机器人市场^[11~13]。

图1给出中国“十五”至“十二五”(即2000—2015年)15年间工业机器人年销售量的数据图,其中2015年为预测值^[14~21]。

图2为中国“十一五”至“十二五”(即2006—2015年)10年间工业机器人年装机台数数据,其中2015年为预测值^[14~21]。

从图1和图2可见,近年来中国工业机器人市场持续表现强劲,容量不断扩大。2010年市场销量为14980台,2011年达到22577台(同比增长50.7%),2012年达到26987台,2013年达到36860台,2014年达到56000台。截至2011年底,中国工业机器人累计安装74300台,比2010年增长了42%;截至2012年底,中国工业机器人累计安装76924台,比2011年增长了30%。预计到2015年,累计安装台数将达到或超过100000台(套),继续保持世界最大机器人市场的地位^[22~26]。

据国际机器人联合会统计,2005—2012年,全球工业机器人的年均销售增长率为9%,同期中国工业机器人的年均销售增长率达到25%;2014年全球新安装工业机器人达到

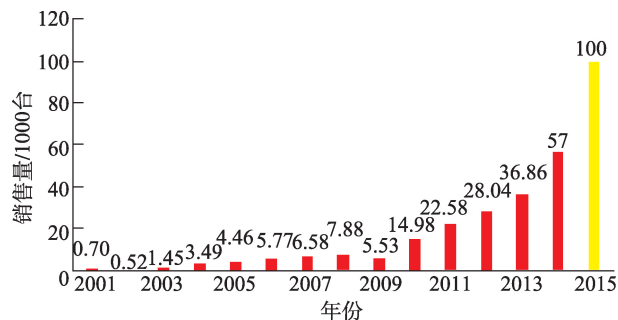


图1 中国2000—2015年间工业机器人年销售量数据

Fig.1 Annual supply of industrial robots 2000–2015 in China

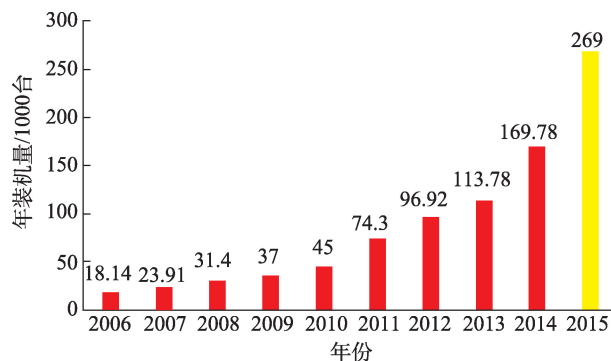


图2 中国2006—2015年间工业机器人年装机台数数据

Fig. 2 Annual installed units of industrial robots 2006–2015 in China

16.67万台,其中中国的工业机器人年装机量超过日本,达到5.6万台,约占世界总量的1/3,成为全球最大的机器人市场。不过,中国的机器人密度仍然较低,2012年仅为每万人25台,不到世界平均水平的每万人58台^[27~29]。图3(资料来源:World Robotics 2013)为国际工业机器人密度高的国家和地区分布情况,中国不列其中,可见中国的机器人化和工业高级自动化仍然任重道远。

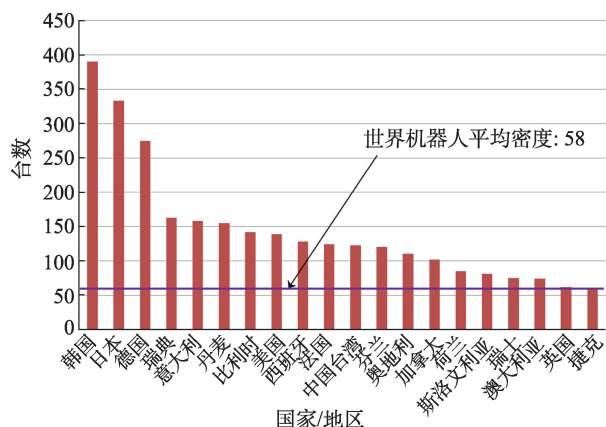


图3 工业机器人密度高的国家和地区分布

Fig. 3 Density of industrial robots per 10,000 employees in the manufacturing industry 2012

1.2 智能机器人计划

1986年3月,面对世界高技术蓬勃发展、国际竞争日趋激烈的严峻挑战,为了跟踪国外高技术,中国启动实施了“高技术研究发展计划(863计划)”,旨在提高中国自主创新能力,坚持战略性、前沿性和前瞻性,以前沿技术研究发展为重点,统筹部署高技术的集成应用和产业化示范,充分发挥高技术引领未来发展的先导作用^[30~33]。

智能机器人的研究开发计划包括水下无缆机器人、高功能装配机器人和各类特种机器人,进行了智能机器人体系结构、机构、控制、人工智能、机器视觉、高性能传感器及新材料等的应用研究,已取得一批成果。20世纪90年代初期,中国

主要开发下列机器人及其相关技术:喷涂机器人、焊接机器人、搬运机器人、装配机器人及视觉、力觉等传感技术,继续得到高技术计划的支持;研制了高档样机,开始了应用工程。矿山、建筑、管道作业等一些特种工业机器人开始开发,并与应用相结合。

按照“863”计划智能机器人主题的总体战略目标,研究开发工作的实施分型号和应用工程,基础技术开发,实用技术开发,成果推广4个层次,通过各层次的工作体现和实现战略目标。这4个层次既有区别又有联系,它们在中国机器人技术的发展中是不可缺少的,但各自又起着不同的作用。

第1个层次要研制一批具有重要应用价值和重大应用前景的机器人原型,这些原型进一步发展成实用产品,将会解决一些关键的应用技术,同时也将推动高技术产业的形成。按照这一要求,已经布置并完成了一批在特殊环境下应用的机器人,如核环境中应用的机器人、水下机器人以及煤矿机器人等。

第2个层次是基础技术研究。这一层次的主要目的是跟踪国际技术前沿,抓住关键问题,突出技术创新,做出高水平的研究成果,同时为进一步的工程应用提供技术基础。

第3个层次是实用技术开发,实现技术与经济的结合,这是将高技术辐射到国民经济中去的重要环节。

第4个层次是已有成果的推广应用,为生产服务,为国民经济的发展做出贡献。

服务机器人的分类广泛,包含清洁机器人、医用服务机器人、护理和康复机器人、家用机器人、消防机器人、监测和勘探机器人等。中国的服务机器人项目涉及除尘机器人、玩具机器人、保安机器人、教育机器人、智能轮椅机器人、智能穿戴机器人等。中国的服务类机器人市场有着很大的发展前景。据业内人士估计,未来数年内我国服务机器人的发展将超过工业机器人。例如,中国有将近2亿的老人和将近1亿的残障人需要由机器人照顾,而这仅是服务机器人市场的冰山一角而已。由此可见,国内服务类机器人市场已亮丽启航,前景美好。

经过近30年的努力,智能机器人主题在4个层次上都有了很大进展,在机器人型号、应用工程、基础技术研究等方面取得了一大批成果,为推动中国机器人技术的发展和高技术产品、产业的形成做出了应有贡献。

此外,国家自然科学基金也对智能机器人领域的众多课题进行资助。随着国力的增长,这类课题的资助力度也不断增强,需要解决的科学技术问题也更为艰巨和重大。这类重大课题有智能机器人仿生技术、移动机器人的视觉与听觉计算、深海自主机器人、智能服务机器人、微创医疗机器人等^[34~36]。例如,笔者曾经主持和参加的自然自然科学基金重点和重大专项项目就有“未知环境中移动机器人导航控制的理论与方法研究”、“高速公路车辆智能驾驶的关键科学问题研究”、“自主驾驶车辆关键技术与集成验证平台”等^[37,38]。国家自然科学基金相关智能机器人项目的实现,显著缩短了与国际机器人

学先进水平的差距,极大地提高了中国智能机器人的科学水平。

各国的同行们已经越来越关注中国机器人技术的发展,中国的机器人技术已在国际机器人舞台上占有一席之地。

1.3 特种机器人

特种机器人是除工业机器人外的用于非制造业并服务于人类的各种机器人总称,包括服务机器人、水下机器人、飞行机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器等。

到20世纪90年代,在国家高技术发展计划支持下,中国在发展工业机器人的同时,也对非制造环境下应用机器人问题进行了研究,并取得一批成果。特种机器人的开发包括管道机器人、爬壁机器人、水下机器人、自动导引车、和排险机器人等。

中国的深水机器人研究是从60~300 m有缆水下机器人开始的。随着海洋开发事业的发展,一般潜水技术已无法适应高深度综合考察和研究并完成多种作业的需要,国家对水下机器人给予了极大的关注,并取得飞跃发展。2011年7月26日,中国研制的深海载人潜水器“蛟龙号”成功潜至海面以下5188 m,标志着中国已经进入载人深潜技术的全球先进国家之列^[39]。2012年6月24日,中国研制的深海载人潜水器“蛟龙号”成功下潜至7020 m,标志中国的深海载人潜水器成为世界上第2个下潜到7000 m以下的国家,达到国际先进水平^[40]。近年来,蛟龙号多次远航太平洋和印度洋进行长期的深海应用作业,取得圆满成功。

在空间机器人领域,中国对无人飞行系统和月球车的研究成果也十分骄人。中国研发的月球车“玉兔号”是一种典型的空间机器人。2013年12月2日1时30分,中国成功地将由着陆器和“玉兔号”月球车组成的“嫦娥三号”探测器送入轨道。12月15日4时35分,“嫦娥三号”着陆器与巡视器分离,“玉兔号”巡视器顺利驶抵月球表面^[41]。12月15日23时45分完成“玉兔号”围绕“嫦娥三号”旋转拍照,并传回照片;这标志着我国探月工程获得阶段性的重大成果^[42]。

1.4 机器人学学科基础建设

中国的机器人学学科形成较晚,1985年前后在几个全国一级学会下设立了机器人专业委员会。1987年6月由中国电子学会、中国自动化学会、中国机械工程学会、中国汽车工程学会和中国宇航学会联合主办的“首届全国机器人学术讨论会”在北京卧佛寺召开,标志着中国机器人学学科大联合的良好开端。到2000年10月,中国先后联合举办过6届全国机器人学术会议,并增加了中国人工智能学会、中国机器人工程协会、国家高技术发展计划智能机器人专家组和空间机器人专家组等4个合办单位,扩大了大联合势头^[43]。1993年成立的中国人工智能学会智能机器人专业委员会成立,标志着中国智能机器人学学科的形成^[44]。这些机器人学学术会议和专业委员会在过去30年中为我国机器人的学术交流和学科建设事业做出了重要贡献。

全国已成立几十个不同层次的机器人学或机器人技术研究所,其中包括一些国家级机器人学或机器人系统研究中心或实验室,成千上万的科技人员和高校师生从事机器人学课题研究开发;已在数百所大学开设机器人学的本科生与研究生课程,数以千计的研究生以机器人学课题进行博士或硕士学位论文研究,获得博士或硕士学位。

在机器人学科技学术刊物方面,《机器人》杂志于1987年应运而生,《机器人技术与应用》于1988年由《机器人情报》杂志更名而问世。《科技导报》和《高技术通讯》等期刊也经常刊登机器人学研究成果和评论的文章。这些期刊都对中国的机器人学的发展与学术交流起到不可替代的积极作用。

在机器人学基础研究著作成果方面,自1988年具有中国自主知识产权的首部机器人学著作“机器人原理及其应用”出版后^[5],已有约60部机器人学著作(含教材)和数十部机器人学研讨论文集出版,包括蒋新松和熊有伦等专家的著作^[44,45]。其中,《机器人原理及其应用》入选《中国优秀科技图书要览》,“机器人学”获国家级优秀教材一等奖,被行内专家教授誉为机器人学“经典著作”^[6]。

国内已建立了一批机器人学网站,为传播机器人学知识和科技交流做出了应有贡献。其中,影响较大的有中国机器人网(国内最大的机器人行业门户网站)、萝卜牛腩网(Robot newslne,国内关于智能机器人学的第一门户网站)等。

2 中国机器人学存在问题

中国自1972年开始研制工业机器人,1986年863高科技计划列入了智能机器人研究领域,国家投入了大量研究经费,成千上万的科技人员参与相关项目研究,在机器人学方面取得一定成绩。

但是,实事求是地说,这些成绩是很不够的,是不能令人满意的。首先,从整体上看,中国机器人产业的基础还比较薄弱,技术水平比较落后,研发能力差距较大。存在研究基础技术多,研究应用技术少,研究整机多,研究关键部件少等问题,缺乏整体核心技术的突破,缺乏核心竞争力,具有自主知识产权的工业机器人和关键部件很少。国产工业机器人产品的稳定性和加工精度等技术指标还与国际先进水平存在明显差距,不能生产高精密、高速与高效的关键部件。其次,技术上的落后,导致国产工业机器人的国内市场占有率很低,绝大多数工业机器人仍然依靠进口。例如,2008年中国工业机器人拥有量近万台,其中国产机器人仅为占3%,其余皆从国外引进。又如,2012年中国工业机器人销量为26906台,其中内地制造的近1000台,也只占3%左右。究其原因,很大程度在于自主品牌质量得不到用户的肯定。再次,工业机器人市场争夺激烈,国内工业机器人市场被国际巨头垄断,机器人制造的核心技术和关键部件受制于人;中国机器人生产企业面临着与国际巨头争夺市场的严峻局面^[36]。

下面对工业机器人存在的这些问题和教训加以进一步阐述。

1)重仿制轻品牌,缺乏国产机器人的名牌产品。

经过40多年的发展,我国已完成了示教再现式工业机器人成套技术开发,研制出喷涂、弧焊、点焊和搬运等作业机器人整机,几类专用和通用控制系统及关键元、部件等,形成小批量生产能力。在20世纪90年代国家选择以焊接机器人的工程应用为重点进行开发研究,实现了部分国产机器人的商品化。

2)重跟踪轻创新,缺乏国产机器人的知识产权。

为了跟踪国外高技术,20世纪80年代在863计划中安排了智能机器人的研发,包括水下无缆机器人、高功能装配机器人和各类特种机器人,进行了智能机器人体系结构、机构、控制、人工智能、机器视觉、高性能传感器及新材料等的应用研究,取得一批成果。20世纪90年代初以来,国内开发系列机器人及其相关技术,研制了一些高档样机,开始了应用工程和特种工业机器人开始开发。

跟踪过程中科技创新不够,致使多数国产机器人缺乏自主知识产权,缺乏整体核心技术的突破,具有自主知识产权的工业机器人和关键部件很少,关键技术受制于人。

3)重样机轻市场,缺乏国产机器人市场竞争力。

虽然已制造出许多机器人样机和产品,但大多数产品因整体技术仍落后于国外主要机器人产品,市场竞争力较小,让国外机器人产业巨头垄断越来越大的国内机器人市场。例如,2012年国内机器人销售量分布中,进口机器人约占70%,中国大陆机器人产品仅占3%。

4)重设备轻人才,缺乏能工巧匠和大师级精英。

中国工业机器人主要问题为机器人质量得不到用户肯定,自主品牌缺乏核心竞争力,机器人生产企业面临与国际巨头争夺市场的严峻局面。出现这些问题的根源在于忽视知识产权和人才培养,未能让大批能工巧匠和大师级精英脱颖而出。

正反两方面的经验告诉我们:知识产权是核心,人才水平是关键。只有形成高素质的机器人学人才队伍,才能开发高质量的机器人产品。

3 中国机器人学发展的新机遇

目前的中国工业机器人市场是挑战与机遇并存。一方面研发能力仍有差距,未来国际市场的争夺激烈;另一方面,又存在难得机遇。中国国民经济继续保持快速发展要求进行结构调整、转变发展方式、实现转型升级需要机器人学的强力参与,国家政策的大力支持、人口和劳力红利不复存在、市场需求井喷激增了行业用户意识以及行业应用走向多元化等都为我国机器人学的高速发展营造了前所未有的大好环境与机遇。

新一轮工业革命呼唤发展智能制造和建立智能制造强国,劳动力成本不断上升加速智能制造需求,新技术进步提升智能制造水平,客户化定制依赖于智能制造。在中国“十二五”规划中,高端制造业(即机器人+智能制造)已被列入战

战略性新兴产业。国家科技部2012年4月发布《智能制造科技发展“十二五”专项规划》和《服务机器人科技发展“十二五”专项规划》^[46,47]。在“十二五”期间,中国将攻克一批智能化高端装备,发展和培育一批高技术产值超过100亿元的核心企业;同时,将重点培育发展服务机器人新兴产业,重点发展公共安全机器人、医疗康复机器人、仿生机器人平台和模块化核心部件四大任务。《智能制造科技发展“十二五”专项规划》提出,要在基础技术与部件方面重点突破设计过程智能化、制造过程智能化和制造装备智能化中的基础理论与共性关键技术;突破一批智能制造基础技术与部件,研发一批与国家安全与产业安全密切相关的共性基础技术,重点突破一批智能制造的核心基础部件,奠定“十三五”制造过程智能化装备和制造过程智能化的技术基础。主要是在制造业信息化、基础部件、传感器、自动化仪器仪表、安全控制系统以及嵌入式工业控制芯片方面。

国务院于2015年5月8日公布《中国制造2025》,明确提出实现中国制造强国的路线图,旨在打造具有国际竞争力的中国制造业,是提升中国综合国力、保障国家安全、建设世界强国的必由之路。该路线图提出的大力推动重点领域突出了机器人制造,要“围绕汽车、机械、电子、危险品制造、国防军工、化工、轻工等工业机器人、特种机器人,以及医疗健康、家庭服务、教育娱乐等服务机器人应用需求,积极研发新产品,促进机器人标准化、模块化发展,扩大市场应用。突破机器人本体、减速器、伺服电机、控制器、传感器与驱动器等相关零部件及系统集成设计制造等技术瓶颈^[48]”。把工业机器人列为国家发展的重点领域,上升为国家发展战略和国家意志,这是中国历史上的第一次。可以期待中国机器人技术和产业将会有更大更强的发展,为经济发展、社会进步和民生福祉做出新的贡献。

现在,一个全面开发与应用机器人的热潮正席卷全国。各种“机器人产业园”如雨后春笋般在各省市建立;其中有国家级、省(市)级和城市级等。同时,不少民营制造企业也参与了新一轮机器人产业的创业与竞争,为机器人产业热进一步升温。此外,国外机器人产业巨头已竞相在中国投资建厂,有的还把开发总部迁到中国,势在必夺中国机器人大市场。这使得机器人产业的竞争达到新的高度。这轮新竞争,对国内外机器人企业既是难逢机遇,也是严峻挑战,必将对我国机器人产业乃至整个国民经济的发展产生巨大推动作用和深远影响。

4 中国机器人学的发展对策思考

面对这场机器人化的机遇和挑战,结合众多专家的决策建议^[49-61],特对进一步发展中国机器人学进行如下思考,提出相应建议,供决策参考。

4.1 夯实我国机器人学基础

中国机器人学研究和机器人产业的基础均不够牢固,导致机器人产品质量欠佳、关键部件依赖外国进口和机器人市

场被外国垄断。要充分认识机器人学基础建设的重要性,下大力气夯实中国机器人学的发展基础^[62,63]。

1) 全面建立机器人学的发展基础。

在《中国制造2025》和国家其他政策的支持下,制订我国机器人学的中长期发展规划,落实国家层面上的机器人学开发与应用计划,在发展路线、计划方案、经费投入、人才培养等方面夯实我国机器人技术的发展基础。把机器人技术作为发展经济、实现制造强国、巩固现代国防和改善民生福祉的重要举措,作为调整产业结构、改变发展方式、落实智能制造、提高劳动生产率和保护环境的重要途径。

2) 全面覆盖机器人学的应用领域。

中国机器人技术发展计划着重于智能制造、公共安全、医疗健康等应用领域。应把机器人应用拓广到经济牵引、医疗健康、智能制造、服务业、空间应用和国防应用等领域,发挥机器人技术在创造新市场、提供新就业和改善人民生活方面的重要作用。

3) 创造知识产权,占领国内市场。

发展壮大工业机器人自主品牌及其自动化成套装备产业应成为当务之急。只有创造具有自主知识产权的品牌机器人产品,才能占领国内机器人市场。现有的机器人产业园中,确有一些具有自主知识产权、技术产品特色和经受市场考验的企业,如新松公司、大江公司等。然而,近期涌现的很大一部分机器人企业盲目跟进,缺乏自主知识产权。他们大量进口机器人本体或机器人核心部件,用于生产线,实现自动化或“智能化”生产,重复过去中国机器人的市场模式。正如某些媒体所担心的:这种大量(甚至九成)进口机器人本体和关键部件的做法,只会使中国的机器人产业继续成为国外机器人产业巨头的市场,沦为进口机器人核心部件的分销商。这种现象如不尽快改变,那么,中国的“智能制造”和机器人化只能成为外国机器人的附庸。4) 实现“网络化+机器人化”生产模式。

机器人化固然是制造业和服务业的重要发展方向,但要进一步提高机器人产品的性能水平和应用领域,在许多应用领域就需要实现“网络化+机器人化”的机器人系统生产模式。例如,通过“网络化+机器人化”模式实现机器人辅助远程或现场外科手术、农业生产用水排灌系统的无人化自动远程操作、集装箱码头货物运输与过关自动化、分布式野外民用和军用系统的远程操控、家用电器系统的实时智能化自动运行等。此外,网络机器人也获得迅速发展,应当成为中国机器人的一个重要发展方向。网络化使机器人化如鱼得水,进一步扩大机器人的应用领域,显著减轻体力劳动和部分脑力劳动,提高工作与生产效率,使各种机器人装置和系统发挥更大的作用。5) 进一步实现机器人系统的智能化。

在“网络化+机器人化”机器人系统生产模式的基础上,引入与应用各种人工智能技术,实现“网络化+机器人化+智能化”集成系统生产模式,必将更大地增强机器人系统的功能,进一步提高机器人系统的工作质量和水平。这些人工智

能技术涉及机器学习、模式识别、图像处理、智能规划、智能控制与导航、自动编程、多真体(MAS)系统、多传感信息融合、专家系统、知识库和推理技术、词料库与自然语言处理等。智能化令机器人化如虎添翼,极大地减轻脑力劳动和提高自动化水平,是现在能够考虑到的机器人化追求的最高目标和发展的必然趋势。要根据需要与可能,逐步实现“网络化+机器人化+智能化”的集成系统生产模式。

4.2 生产优质机器人产品

1) 抓住发展机遇,抓严市场调控。

我国面临空前未有的制造业发展好机遇,机器人化热潮为实现这个机遇提供了得力手段。“中国制造 2025”的发表,成为机器人化的得力助推器,必将促进我国机器人产业的快速发展和机器人技术更加广泛的应用。一定不要错过这个发展机遇,全面深入了解机器人市场需求,调整巩固现有机器人研发实体,发现与支持一批有特色有实力的新的机器人企业,健康有序地发展我国的机器人产业,保障智能制造和其他相关目标的顺利实现。政府不仅要制定好规划,而且要严抓市场调控,保障市场健康发展。

2) 制订机器人质量标准,奠定“法制”基础。

尤其令人费解的是,40年来中国的工业机器人产品总体上尚缺乏统一的国家技术规范,缺乏严格的产品质量标准。一个没有质量标准的机器人产品,不可能赢得足够大的市场份额,甚至是不允许投放市场的。中国政府质量主管部门当务之急是组织专家和业内人士,参照国外标准与做法,制订中国的机器人首先是工业机器人产品的国家质量标准,为机器人产品质量“立法”,并严格按标准依法办事。凡是不合格的机器人产品,均不得进入市场,违法经营者应当受到惩罚。

3) 开发特色产品,防止低端重复。

由于不再拥有人口“红利”优势,中国现在需要使用大批一般工业机器人代替工人从事各种体力劳动,如进行搬运作业和恶劣危险工况下的操作等;另一方面,也需要大批专用工业机器人,具有我国自主知识产权和一定智能的机器人。在机器人产品的定位上,一定要有特色和创新,一定要全面提高各类机器人的整机水平,一定不能搞低端产品的重复生产。关键基础零部件已成为发展机器人技术的拦路虎,需要集中力量努力攻克,为提高国产机器人的整机水平打好基础。虽然近年来有所进展,但差距仍然很大。

4) 避免恶性竞争,拒绝泡沫经济。

市场经济强调竞争,有公平竞争才能健康发展。但是,这个竞争一定要有序才能促进经济发展。据统计,现在全国已有“十大机器人产业园”或“十大机器人重镇”,加上更多的其他省市的机器人产业园,中国已有数十个机器人产业园^[64]。这些机器人产业园之间缺乏统一规划与市场协调,盲目无序地制造或进口各自的机器人产品,势必形成各自为政的机器人产业布局,形成无序竞争的机器人产业局面。而国际经验表明,一个国家只要有几个机器人产业巨头就足够了。“泡沫经济”值得高度警惕,大起大落的历史教训不能忘记;大浪淘

沙是无情的,机器人化热潮中涌现的大批机器人企业将遭重创而被残酷淘汰出局。我国目前“遍地开花”的机器人产业如不严加管控,就很可能产生过多的“泡沫”,经过竞争而被淘汰出局的企业以至国民经济终将承受负面影响。

中国已研发的机器人产品存在一些质量问题,值得高度重视,并努力加以改进。只有团结协作,攻坚克难,经过3~5年甚至10年奋斗,创造拥有自主知识产权的机器人产品及其核心部件,才能生产出具有自主知识产权的高性能机器人装置与系统,为占领国内机器人市场和进军机器人国际市场打下基础。

4.3 培养大批高素质机器人学人才

经济社会需求是机器人学和机器人技术形成的催化剂和原动力,而机器人学教育是机器人学学科和机器人技术赖以发展的强化剂和推动力。机器人学教育主要包括机器人学学科的专业与课程教育以及机器人学知识的普及教育。机器人学教育伴随着机器人的问世而建立,并紧跟机器人学的进展而发展。目前国内外机器人学已形成比较完整的学科教育与课程教学体系,在大学机械设计制造、机械电子工程、自动化、智能科学技术等专业开设机器人学类课程。不过,如何使这些课程的教学更紧密地结合研究开发和生产实际,更好地发挥“强化剂”的推动作用,一直是机器人学课程教学改革的一个关键问题。

无论是总结中国机器人学发展的存在问题,或是探讨机器人学的基础建设问题,都与机器人学人才培养密不可分。在培养机器人学人才方面有如下建议。

1) 建立机器人学人才培养制度和路线图。

今年全国“两会”上,百度总裁李彦宏建议设立“中国大脑”计划;中国科大讯飞董事长刘庆峰建议加快人工智能布局,实施“教育超脑”。这些事件表明,一个以人工智能技术推进中国经济社会智能化的浪潮已经兴起,其中智能机器人是典型代表。机器人学人才是机器人学基础建设的重中之重。做好发展规划、掌握关键技术、进行推广应用都需要高素质的人才去实现。要适应这一社会需求,全面规划高素质机器人学人才培养,为中国机器人学进入新的发展机遇期和可持续发展提供人才保障。需要进一步提高对机器人学人才培养的认识,建立机器人学人才培养制度,全面规划机器人学人才培养,把机器人学人才培养上升为国家战略,构建我国机器人学人才培养路线图^[48]。

欧美日各主要机器人强国都制订了机器人学发展路线图,包括研究与应用领域、经费投入和人才培养等^[65~71]。欧美各国高等教育的专业结构模式与我国存在一定差别。目前,美国机器人学专门人才的培养主要集中在研究生阶段,只有少数顶级名校的相关课题组或研究所向有能力的本科生开放;但从2013年起,5年内将在公立中学普遍开展机器人学课外活动,10年内将在大学全面设立机器人学学士、硕士、博士学位,在15年内各类机器人学毕业生将提高2倍。

中国教育体系如何适应人工智能和机器人学发展对人

才的巨大需求,培养高素质机器人学人才,已提到议事日程和行动上。

2)全面规范各级机器人学教育。

根据市场需求,全面规范各级机器人学教育,开办一定规模与比例的各类学校,包括大学、职业技术学院、技工学校等;建议国家教育部全面扩大“智能科学与技术”专业设置,支持办好“智能科学与技术”和“机械电子工程”等本科专业,加强本科机器人教学;在部分相关专业设立机器人学研究生培养方向,加强机器人学方向的研究生教育力度;在中小学开设机器人学科技或科普课程,开展形式多样的机器人学课外活动,培养中小学生对机器人学的兴趣;搞好机器人学师资培训,提高机器人学教师水平,规范与组织编写各类机器人学教材,为机器人学人才培养提供重要保障。

3)产学研结合培养高素质机器人学人才。

努力探索通过“产学研”结合,或“科教产”联合,或“官产学研”合作,分工协作,培养各类高素质机器人学人才,进行机器人品牌产品开发和市场营销,总结经验,加以推广。

政府主管部门应当提供相关教育和其他政策支持,为人才培养保驾护航;研究所主要进行机器人产品开发与创新,让机器人科技人员发挥才智;学校除参与机器人产品研发外,首要任务是提供知识资源,培养各层次的高素质机器人学人才;企业要精益求精进行机器人产品生产,让机器人学科技人才和技术工人充分发挥作用。

4)充分利用互联网技术优势培养机器人学人才。

充分利用互联网技术,为智能系统的“网络化+机器人化+人工智能”提供有力的技术保障,为机器人学人才培养提供有效手段。

建立与国际接轨的高水平智能机器人网络平台,创建与发展智能机器人主流媒体;开发与完善国内机器人学网络教学平台,为各层次机器人学教学提供网络教育服务,为其他课程提供辅助教学工具;面向全国大学生和中小学生,举办机器人学网络竞赛,营造良好的机器人学生态文化;建立机器人学网络博物馆和机器人学网络图书馆,广泛收集国内外机器人产品图片、机器人学科技图书和论文资料、机器人学文学作品等,向读者开放。

5)大力开展机器人学科普活动。

争取国家或企业支持,建立机器人学科普基地,为普及机器人学知识发挥示范作用;鼓励科技人员和各级教师进行机器人学科普创作,支持出版机器人学科普作品,广泛传播与普及机器人学知识;举行全国机器人学科普作品竞赛,分组评选优秀作品,给予奖励;出版机器人学科普杂志,向青少年介绍国内外机器人学的发展动态、应用示例、科普知识、趣闻轶事;规范与举办各类机器人学科技竞赛和夏令营、冬令营活动,培养广大群众特别是青少年对机器人学的兴趣。在机器人学知识普及方面,我国已开展了许多有意义的工作,如举办全国或行业的机器人比赛、机器人学科普讲座及机器人影视与图片展览等,不仅普及了机器人学知识,而且培养

了广大青少年对科学技术的兴趣。有不少影视作品以机器人为载体,宣传高新技术或科学幻想,对观众颇有吸引力。有点遗憾的是,还没有看到国产的机器人大片投向市场。人们期待着高水平的国产机器人大片早日问世,并走向世界。

6)建立机器人学人才激励机制。

建立机器人学人才激励机制,把机器人学列入国家科技、教育和综合奖励领域。建立机器人学人才激励机制,鼓励本科生、研究生和科技人员进行机器人科技创业,对他们的创新思想和原型成果给予创业基金支持。鼓励各类能工巧匠和大师级精英等机器人学优秀人才脱颖而出。

4.4 建立全国性机器人学大联合组织

虽然在25前就成立了中国机器人工程协会,但它并不是全国机器人行业的联合组织,未能发挥全国性的组织和协调作用。

中国的机器人学学科形成较晚,1985年前后在几个一级学会下设立了机器人专业委员会。到2000年10月,中国先后联合举办过6届全国机器人学术会议,共有10个相关的全国一级学会等形成合办单位,扩大了大联合势头^[43]。国内一些有识之士曾建议各方讨论、筹建与成立中国机器人学联合会^[72];在第六届中国机器人学会议,即“中国2000年机器人学大会”期间,与会专家学者议论了这件事,但因会议没有此项议程和时间限制,没有形成协议和做出具体部署。不过,如果全国机器人学术会议能够继续如常举行下去,那么,协商与成立中国机器人学联合会的日子就会为期不远。令人遗憾的是,自中国2000年机器人学大会以来,15年过去了,人们不但没有听到中国机器人联合会成立的喜讯,而且连平均两年召开一次已经举办6届的中国机器人学术讨论会/大会也一直停办至今。近年来举办的各种机器人论坛或“峰会”,都是缺乏权威的,其影响力远未达到期望值。

2013年3月16日,由40多家机器人学科研单位和机器人企业共同发起的“中国机器人产业创新联盟”在北京正式成立^[73]。过了一个多月,2013年4月21日“中国机器人产业联盟”在北京成立^[74]。相隔一个多月先后成立两个全国性的机器人产业组织,而且两个组织的名称也大致相同。这就令人难以理解,到底我国是否已经建立了具有统一性、权威性和全国性的机器人学大团结和大联合组织呢!?况且,这2个“联盟”都是机器人产业方面的组织,还不是全面的大联合机构。

总结有益的历史经验和教训,中国的机器人学研究单位、产业部门、机器人学学者和机器人技术人员要把握当前难得的发展环境与机遇,团结一致,着手进行大联合大合作的各项工作,为中国的机器人学学科发展和机器人技术振兴做出历史性的贡献。

建议以上述2个机器人产业联盟为基础,广泛邀请其他组织单位和专家,商议组成中国机器人学联合会筹备委员会,推举一个召集单位,1~2位德高望重的业内专家为召集人,以适当方式召集各方共商合作大计。首先,尽快恢复全

国机器人学大会(学术研讨会),举办中国第七届机器人学大会,并以这个大会为重要平台,加速机器人学联合会筹备过程。其次,在充分协商的基础上,形成《中国机器人学联合会章程》之类的文件,并与国家民政部联系,得到他们的领导与指导,争取早日正式成立中国机器人学联合会。在协商过程中,各方要本着真诚团结、平等协商、取长补短、求同存异、合作共赢的精神,尽快达成共识,实现中国机器人学界的大团圆。也就是说,各方要从中国机器人学发展的大局出发,心存团结互助的强烈愿望,互相尊重、平等相待而不是“以大欺小、以强凌弱”,互相学习并容许保留不同意见,真正做到合作共事,和谐发展。

5 结论

中国的机器人学研究和机器人产业已取得重要进展,但也存在不少问题,特别是工业机器人产品质量问题和人才培养问题。智能科技或智能系统的核心是“网络化+机器人化+人工智能”,而机器人学是机器人化的基础,人才是机器人化的根本。纵观全球人工智能之争,很大程度上也是机器人化之争,一种高素质人才之争。中国各级教育需要适应机器人学发展对机器人化科技人才的巨大需求,培养高素质机器人学创新人才,实际上也是一种对应国际人才竞争的机遇与挑战。抓住机遇,迎接挑战,培养大批高素质机器人学创新人才,为中国国民经济调整升级与持续发展以及人民福祉做出新的更大的贡献。

虽然中国已成为一个工业机器人大国,但还不是工业机器人强国。工业机器人大国不是梦,中国要做机器人强国之梦。中国发展工业机器人不能搞低水平重复,不能追求工业机器人销售大国,不要追求落后产能,而要追求创造自主核心技术,追求机器人智造强国,追求可持续发展,追求对国家和人民的实际效益。

习近平总书记在去年两院院士大会的讲话中提到:“机器人革命”有望成为“第三次工业革命”的一个切入点和重要增长点,将影响全球制造业格局。…国际上有舆论认为,机器人是“制造业皇冠顶端的明珠”,其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。…总书记明确提出要求:“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”。^[75]

机器人化的热潮已席卷神州大地,机遇与挑战并存,机不可失,时不再来。中国机器人产业的发展仍任重道远,保障中国的机器人学和机器人化沿着正确的发展路线扬帆直前,驶向成功的彼岸。

参考文献(References)

- [1] 宋健. 智能控制——超越世纪的目标[J]. 中国工程科学, 1999, 1(1): 1-5.
Song Jian. Intelligent control: a goal exceeding the century[J]. Engineering Sciences of China, 1999, 1(1): 1-5.
- [2] 蔡自兴. 机器人的今天和明天[J]. 电气自动化, 1984(5): 5-11.

- Cai Zixing. Robotics: today and tomorrow[J]. Electrical Automation, 1984 (5): 5-11.
- [3] 蔡自兴, 张钟俊. 机器人技术的发展[J]. 机器人, 1987(3): 58-62.
Cai Zixing, Zhang Zhongjun. Development of robotic technique[J]. Robot, 1987(3): 58-62.
- [4] 陈佩云. 我国工业机器人技术发展的历史、现状与展望[J]. 机器人技术与应用, 1994(2): 1-3.
Chen Peiyun. Development history of industrial robots in China[J]. Robot Technique and Application, 1994(2): 1-3.
- [5] 蔡自兴. 机器人原理及其应用[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1988.
Cai Zixing. Robotics: principles and applications [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1988.
- [6] 蔡自兴. 机器人学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
Cai Zixing. Robotics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.
- [7] 曹祥康, 谢存禧. 我国机器人发展历程[J]. 机器人技术与应用, 2008 (5): 44-46.
Cao Xiangkang, Xie cunxi. Development process of industrial robots in China[J]. Robot Technique and Application, 2008(5): 44-46.
- [8] 蔡自兴. 机器人学 2 版[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
Cai Zixing. Robotics 2nd ed[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [9] 蔡自兴. 机器人学 3 版[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
Cai Zixing. Robotics, 3rd Edition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.
- [10] 王德生. 世界工业机器人产业发展前景看好, 中国增长潜力最大[EB/OL]. 2013-10-31. <http://www.hyqb.sh.cn/publish/portal0/tab1023/info10466.htm>.
Wang Desheng. Optimistic development prospect of world industrial robot industry and China possess maximum increasing potentiality[EB/OL]. 2013-10-31. <http://www.hyqb.sh.cn/publish/portal0/tab1023/info10466.htm>.
- [11] 颜观潮. 中国成为全球第一大工业机器人市场[EB/OL]. 2014-06-17. <http://gb.cri.cn/42071/2014/06/17/6891s4580547.htm>.
Yan Guanchao. China becomes the largest market of world industrial robots[EB/OL]. 2014-06-17. <http://gb.cri.cn/42071/2014/06/17/6891s4580547.htm>.
- [12] 中国引领全球机器人市场[EB/OL]. 2014-07-04. <http://www.ciqol.com/news/economy/809405.html>.
China leads world industrial robot market[EB/OL]. 2014-07-04. <http://www.ciqol.com/news/economy/809405.html>.
- [13] 艳涛. 2006 年我国工业机器人市场统计分析[J]. 机器人技术与应用, 2007(5): 8-9.
Yan Tao. Statistical analysis of industrial robot market in China[J]. Robot Technique and Application, 2007(5): 8-9.
- [14] 温欣. 2007 年服务机器人市场统计数据[J]. 机器人技术与应用, 2008 (5): 39-40.
Wen Xin. Statistical data of service robot market[J]. Robot Technique and Application, 2008(5): 39-40.
- [15] 王伟. 全球机器人市场统计分析[J]. 机器人技术与应用, 2009 (1): 7-10.
Wang Wei. Statistical data analysis of world robot market[J]. Robot Technique and Application, 2008(5): 39-40.
- [16] 中国工业机器人产业分析研究报告[R/OL]. [2015-08-31]. <http://wenku.baidu.com/view/7a6a990e844769eae009edb9.html>.
Analysis and research report of industrial robot industry in China[EB/OL]. [2015-08-31]. <http://wenku.baidu.com/view/7a6a990e844769eae009edb9.html>.

- [17] 未名. 中国工业机器人市场统计数据[J]. 机器人技术与应用, 2011(3): 28-30.
Wei Ming. Statistical data of industrial robot market in China[J]. Robot Technique and Application, 2011(3): 28-30.
- [18] 未名. 中国工业机器人市场统计数据[J]. 机器人技术与应用, 2013(2): 8-12.
Wei Ming. Statistical data of industrial robot market in China[J]. Robot Technique and Application, 2013(2): 8-12.
- [19] 中国工业机器人市场发展状况及前景分析[EB/OL]. 2013-12-27. <http://www.rongyedj.com/NewsDetails.aspx?iNewsId=82>.
Development situation and prospect analysis of industrial robot market in China[EB/OL]. 2013-12-27. <http://www.rongyedj.com/NewsDetails.aspx?iNewsId=82>.
- [20] 梁文莉. 快速增长的中国机器人市场[J]. 机器人技术与应用, 2014(3): 2-7.
Liang Wenli. Rapid increasing robot market in China[J]. Robot Technique and Application, 2014(3): 2-7.
- [21] 王伟. 数说2014年中国工业机器人[J]. 机器人技术与应用, 2015(6): 17-18.
Wang Wei. Talk about 2014 industrial robot in China[J]. Robot Technique and Application, 2015(6): 17-18.
- [22] 全球机器人市场统计分析[EB/OL]. 2012-06-29. <http://www.robot-china.com/news/201206/29/1790.html>.
Statistical data analysis of world robot market[OL]. 2012-06-29. <http://www.robot-china.com/news/201206/29/1790.html>.
- [23] IFR. Charts_IFR[EB/OL]. 2013-09-18. http://www.worldrobotics.org/uploads/tx_zefr/Charts_IFR_18_09_2013.pdf.
- [24] IFR. Executive summary: World robotics 2013 industrial robots[EB/OL]. 2013-09-18. http://www.ifr.org/index.php?id=59&df=Executive_Summary_WR_2013.pdf.
- [25] 2012年全球工业机器人统计数据[EB/OL]. 2014-02-18. http://wenku.baidu.com/link?url=ZVNynufZU2w7M_4f_4Nfb-ta0Vg6vFaum5DI2JsAkMCbYfa9Yk463Hjhp2zKSbsZ9B7x1guP1Rwnl5iI_AW_KN5vqUFy6OZw-6uLjxK.
2012 statistical data of world industrial robots[EB/OL]. 2014-02-18. http://wenku.baidu.com/link?url=ZVNynufZU2w7M_4f_4Nfb-ta0Vg6vFaum5DI2JsAkMCbYfa9Yk463Hjhp2zKSbsZ9B7x1guP1Rwnl5iI_AW_KN5vqUFy6OZw-6uLjxK.
- [26] 2013年全球工业机器人销量及应用领域分布格局[EB/OL]. [2015-08-31]. <http://www.chyxx.com/industry/201409/277273.html>.
2013 sales and distributed outcome of application fields of world industrial robots[EB/OL]. [2015-08-31]. <http://www.chyxx.com/industry/201409/277273.html>.
- [27] 刘瑾, 黄鑫. 日本的机器人密度是中国的11倍[N]. 中国经济网—经济日报, 2015-05-05.
Liu Jin, Huang Xin. Robot density of Japan is 11 times than China is [N]. China Economy Net—Economy Daily, 2015-05-05.
- [28] IFR. The continuing success story of industrial robots[EB/OL]. 2012-11-11. http://www.msnbc.msn.com/id/23438322/ns/technology_and_science-innovation/t/japan-looks-robot-future/.
- [29] IFR. The robotics industry is looking into a bright future 2013-2016: High demand for industrial robots is continuing[EB/OL]. 2013-09-18. <http://www.ifr.org/news/ifr-press-release/the-robotics-industry-is-looking-into-a-bright-future-551/>.
- [30] 国家高技术研究发展计划(863计划)[EB/OL]. [2013-08-31]. http://baike.baidu.com/link?url=qrk2IfAB_INxjB2gEniiKWH2MKGq-br1wbR0EW3A76vDGfBPmJiFFTZX1qLI6GBrYcxFmUB0xYEGcqA-CdVJAFH_.
State research and development plan of high technology [EB/OL]. [2013-08-31]. http://baike.baidu.com/link?url=qrk2IfAB_INxjB2gEniiKWH2MKGq-br1wbR0EW3A76vDGfBPmJiFFTZX1qLI6GBrYcxFmUB0xYEGcqA-CdVJAFH_.
- [31] 卢桂章. 863计划智能机器人研究进展[J]. 机器人技术与应用, 1995(1): 7-8.
Lu Guizhang. Research advances of intelligent robots in 863 plan[J]. Robot Technique and Application, 1995(1): 7-8.
- [32] 蔡自兴, 刘健勤. 面向21世纪的智能机器人技术[J]. 机器人技术与应用, 1998(6): 2-3.
Cai Zixing, Liu Jianqin. Intelligent robot technique in the 21 century[J]. Robot Technique and Application, 1998(6): 2-3.
- [33] 蔡自兴. 我国智能机器人的若干研究课题[J]. 计算机科学, 2002, 29(10): 1-3.
Cai Zixing. Some research topics of robotics in China [J]. Computer Sciences, 2002, 29(10): 1-3.
- [34] 王田苗, 宋光华, 张启先. 新应用领域的机器人——医疗外科机器人[J]. 机器人技术与应用, 1997(2): 7-9.
Wang Tianmiao, Song Guanghua, Zhang Qixian. New application field of robots: Medical surgery robot[J]. Robot Technique and Application, 1997(2): 7-9.
- [35] 李一平, 封锡盛. “CR-01”6000m自治水下机器人在太平洋锰结核调查中的应用[J]. 高技术通讯, 2001, 1(1): 85-87.
Li Yiping, Feng Xisheng. Application of “CR-01” 6000m autonomous underwater robot in investigation of manganese nodule in Pacific Ocean [J]. High Technology Letters, 2001, 1(1): 85-87.
- [36] 王田苗, 张韬懿, 梁建宏, 等. 踏上南极的机器人[J]. 机器人技术与应用, 2013(4): 1-8.
Wang Tianmiao, Zhang Taozi, Liang Jianhong, et al. Robot stepping on South Pole [J]. Robot Technique and Application, 2013(4): 1-8.
- [37] 蔡自兴, 贺汉根, 陈虹. 未知环境中移动机器人导航控制理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Cai Zixing, He Hangen, Chen Hong. Theories and applications of navigation control for mobile robots in unknown environment[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [38] 蔡自兴, 陈白帆, 刘丽珏, 等. 多移动机器人协同原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
Cai Zixing, Chen Baifeng, Liu Lijue. Synergy principles and technologies of multi-mobile robots[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.
- [39] 蛟龙号载人深潜器[EB/OL]. [2015-08-31]. http://baike.baidu.com/link?url=w7Oph_o423E1xhh7WPYUGwt3RgV46JcswALiO77CyUbc-mDIPITm-IaAbJp8rkgQe4KA7XZDraNAEdCjP-2A7Yq.
Manned submersible “Dragon”[EB/OL]. [2015-08-31]. http://baike.baidu.com/link?url=w7Oph_o423E1xhh7WPYUGwt3RgV46JcswALiO77CyUbc-mDIPITm-IaAbJp8rkgQe4KA7XZDraNAEdCjP-2A7Yq.
- [40] 蛟龙号载人潜水器挑战7000米深海新纪录[EB/OL]. [2015-08-31]. <http://www.guokr.com/article/212046/>.
Manned submersible “Dragon” challenges 7000m deep ocean new record [EB/OL]. [2015-08-31]. <http://www.guokr.com/article/212046/>.
- [41] 玉兔探月[EB/OL]. 2013-11-27. <http://news.163.com/13/1127/02/9EL-DPSLQ00014AED.html>.
Moon rabbit [EB/OL]. 2013-11-27. <http://news.163.com/13/1127/02/9EL-DPSLQ00014AED.html>.

- 9ELDPSLQ00014AED.html.
- [42] 丁希仑, 石旭尧, Alberto Rovetta, 等. 月球探测(车)机器人技术的发展与展望[J]. 机器人技术与应用, 2008(3): 5-13.
Din xilun, Shi Xuyao, Alberto Rovetta, et al. Development and prospective of moon survey robot techniques[J]. Robot Technique and Application, 2008(3): 5-13.
- [43] 刘娟. 中国 2000 年机器人学大会在长沙召开[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(1): 152.
Liu Juan. 2000 China Robotics Congress convenes in Changsha [J]. Control Theory and Applications, 2001, 18(1): 152.
- [44] 蒋新松. 机器人学导论[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1994.
Jiang Xinsong. Introduction to robotics[M]. Shenyang: Liaoning Science Press, 1994.
- [45] 熊有伦. 机器人技术基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1996.
Xiong Youlun. Fundamentals of robot techniques[M]. Wuhan: Huazhong Science and Technique University Press, 1996.
- [46] 《智能制造科技发展“十二五”重点专项规划》解读[EB/OL]. [2015-03-31]. http://news.xinhuanet.com/politics/2012-05/07/c_123090763.htm.
Interpretation for “Twelve FIVE Years” key point special project plan of intelligent manufacture S&T development [EB/OL]. [2015-03-31]. http://news.xinhuanet.com/politics/2012-05/07/c_123090763.htm.
- [47] 《服务机器人科技发展“十二五”专项规划》[EB/OL]. [2015-03-31]. http://baike.baidu.com/link?url=g2LLpGddvgDbRXaqqzJECHxfIItOf9RJZDmGyA-gyzfKk_qn6Bacfsi8p9E0Nd-F3Lx8sN8kf5OE7XuMKlqwK.
Interpretation for “Twelve FIVE Years” key point special project plan of service robot S&T development [EB/OL]. [2015-03-31]. http://baike.baidu.com/link?url=g2LLpGddvgDbRXaqqzJECHxfIItOf9RJZDmGyA-gyzfKk_qn6Bacfsi8p9E0Nd-F3Lx8sN8kf5OE7XuMKlqwK.
- [48] 中国制造 2025[EB/OL]. [2015-03-31]. http://www.360doc.com/content/15/0721/09/16927414_486348610.shtml.
Manufacture 2025 in China[OL]. [2015-03-31]. http://www.360doc.com/content/15/0721/09/16927414_486348610.shtml.
- [49] 中国工业机器人产业化发展战略[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://wenku.baidu.com/view/6b4f4500cc175527072208b0.html>.
Development strategy of industrial robot industrialization in China[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://wenku.baidu.com/view/6b4f4500cc175527072208b0.html>.
- [50] 张军. 863 计划机器人产业发展战略[J]. 机器人技术与应用, 1997 (2): 6.
Zhang Jun. Development strategy of robot industry of 863 plan [J]. Robot Technique and Application, 1997(2): 6.
- [51] 蔡自兴. 机器人学的发展趋势与发展战略[J]. 高技术通讯, 2001, 11 (6): 107-110.
Cai Zixing. Development trend and strategy of robotics[J]. High Technique Letters, 2001, 11(6): 107-110.
- [52] 李宇剑, 巢明. 我国工业机器人产业现状与发展战略探讨[J]. 制造业自动化, 2010, 33(12): 106-108.
Li Yujian, Chao Ming. Present and future of national industrial robots[J]. Manufacture Automation, 2010, 33(12): 106-108.
- [53] 机器人产业助力中国制造业升级[EB/OL]. [2015-03-31]. http://www.ca800.com/news/html/2012-12-7/n155088_0.html.
Robot industry assisted promotion of manufacture industry of China[EB/OL]. [2015-03-31]. http://www.ca800.com/news/html/2012-12-7/n155088_0.html.
- [54] 蔡自兴. 智能机器人技术的研究与展望[C]//中国人工智能学会智能专业委员会成立大会暨首届学术研讨会论文集. 北京: 中国人工智能学会, 1993.
Cai Zixing. Research and prospective of intelligent robot technique[C]// Proceedings of Inaugural Meeting and First Symposium of CAAI Intelligent Robotics Professional Committee. Beijing: Chinese Association for Artificial Intelligence, 1993.
- [55] 2009—2011 年中国工业机器人发展趋势与前景分析报告[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://wenku.baidu.com/view/378906086c85ec3a87c2c5bb.html>.
Report on development trend and prospect analysis on industry robot in China during 2009-2011 [EB/OL]. [2015-03-31]. <http://wenku.baidu.com/view/378906086c85ec3a87c2c5bb.html>.
- [56] 蔡自兴. 抗核辐射机器人的开发应用与警示[J]. 机器人技术与应用, 2011(3): 24-26.
Cai Zixing. Development application and warning of anti-nuclear radiation robots[J]. Robot Technique and Application, 2011(3): 24-26.
- [57] 蔡自兴, 郭璠. 中国工业机器人发展的若干问题[J]. 机器人技术与应用, 2013(3): 9-12.
Cai Zixing, Guo Fan. Some Issues for developing industry robots in China [J]. Robot Technique and Application, 2013(3): 9-12.
- [58] 张乃凤, 张志先, 陶伟谦. 智能机器人技术研究进展[J]. 机器人技术与应用, 2012(6): 9-11.
Zhang Naifeng, Zhnag Zhixian, Tao Weiqian. Research advances in intelligent robot technique [J]. Robot Technique and Application, 2012(6): 9-11.
- [59] 国产工业机器人劣势分析: 缺乏核心竞争力[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://info.robot.hc360.com/2012/12/14154911181.shtml>.
Disadvantage analysis of Chinese-produced industry robot: Lack core competitive power[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://info.robot.hc360.com/2012/12/14154911181.shtml>.
- [60] 工业机器人代替人工即将成为趋势[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://www.xiangfengtai.com.cn/New-238.html>.
A trend: Replace human labor by industry robot[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://www.xiangfengtai.com.cn/New-238.html>.
- [61] 蒋新松. 未来机器人技术发展方向探讨[J]. 机器人, 1996, 18(5): 285-291.
Jiang Xinsong. Investigation on development direction of the future robot techniques[J]. Robot, 1996, 18(5): 285-291.
- [62] 蔡自兴. 夯实基础, 培养机器人学人才[J]. 机器人技术与应用, 2015 (2): 9-12.
Cai Zixing. Tamping foundation, training talents of robotics[J]. Robot Technique and Application, 2015(2): 9-12.
- [63] 蔡自兴. 对机器人化热潮的决策思考[J]. 机器人技术与应用, 2015 (3): 37-40.
Cai Zixing. Decision thinking on robotics upsurge[J]. Robot Technique and Application, 2015(3): 37-40.
- [64] 我国机器人产业园区分布图及主要园区分析[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://www.robot-home.com/news/201504/23/xx23723.html>.
Distributed Map of robot industrial parks in China and analysis of its main parks[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://www.robot-home.com/news/201504/23/xx23723.html>.
- [65] 美国机器人学发展路线图[EB/OL]. [2015-03-31]. 2013%20Robotics%20Roadmap-rs.
A Roadmap for U.S. Robotics, From Internet to Robotics, 2013 Edition [EB/OL]. [2015-03-31]. 2013%20Robotics%20Roadmap-rs.

- [66] 曾艳涛. 美国未来 15 年制造业机器人研究路线[J]. 机器人技术与应用, 2013(3): 1-5.
Zeng Yantao. Research roadmap of manufacturing robots in US in the future 15 years[J]. Robot Technique and Application, 2013(3): 1-5.
- [67] 日本机器人学发展路线图[EB/OL]. [2015-03-31]. 2013%20Robotics%20Roadmap-rs.
A development roadmap for Japan robotics[EB/OL]. [2015-03-31]. 2013%20Robotics%20Roadmap-rs.
- [68] 日本机器人新战略的三大目标[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://gongkong.ofweek.com/2012-10/ART-310005-8470-28646888.html>.
Aim at Japanese three new goals of robotics[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://gongkong.ofweek.com/2012-10/ART-310005-8470-28646888.html>.
- [69] 韩国今后十年将大力发展机器人事业[EB/OL]. 2012-10-19. <http://gongkong.ofweek.com/2012-10/ART-310005-8470-28646888.html>.
South Korea devotes major efforts to developing robotics in the future 10 years[EB/OL]. 2012-10-19. <http://gongkong.ofweek.com/2012-10/ART-310005-8470-28646888.html>.
- [70] 刘金国, 张学宾, 曲艳丽. 欧盟“SPARC”机器人研发计划解析[J]. 机器人技术与应用, 2015(2): 24-29.
Liu Jinguo, Zhang Xuebin, Qu Yanli. Analysis of EU “SPARC” development plan of robotics[J]. Robot Technique and Application, 2015(2): 24-29.
- [71] 欧盟启动全球最大民用机器人研发计划[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://jx.people.com.cn/n/2014/0610/c186330-21386853.html>.
EU start over the world largest civil R&D plan of robotics[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://jx.people.com.cn/n/2014/0610/c186330-21386853.html>.
- [72] 蔡自兴. 共创中国机器人学的合作发展新路[J]. 机器人技术与应用, 2012(1): 8-10.
Cai Zixing. Co-create new road of cooperation and development of robotics in China[J]. Robot Technique and Application, 2012(1): 8-10.
- [73] 中国机器人产业创新联盟在北京正式成立[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://www.qianzhan.com/cluster/detail/179/130319-3c598c19.html>.
Chinese Robotics Industry Creation Association found in Beijing[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://www.qianzhan.com/cluster/detail/179/130319-3c598c19.html>.
- [74] 中国机器人产业联盟在北京成立[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://baike.baidu.com/view/10299596.htm>.
Chinese Robotics Industry Association found in Beijing[EB/OL]. [2015-03-31]. <http://baike.baidu.com/view/10299596.htm>.
- [75] 习近平. 在中国科学院第十七次院士大会、中国工程院第十二次院士大会上的讲话[EB/OL]. 2014-06-09. http://news.xinhuanet.com/politics/2014-06/09/c_1111056694.htm.
Xi Jinping. Aspeech in 17th academician assembly of CAS and 12th academician assembly of CAE[EB/OL]. 2014-06-09. http://news.xinhuanet.com/politics/2014-06/09/c_1111056694.htm.

(责任编辑 刘志远)