

·学科进展与展望·

# 特种机器人的基础科学问题和发展战略思考

王树国 付宜利

(哈尔滨工业大学机器人研究所, 哈尔滨 150001)

**[摘要]** 特种机器人与工业机器人相比在理论基础、技术特征和应用领域等方面有显著特点,被列入许多国家的发展研究计划,吸引了世界众多科学家从事这方面的研究,特种机器人已成为当今国际自动化技术发展的重要方向。本文介绍了特种机器人的国内外发展现状和趋势,探讨了特种机器人的特点、共性技术和基本科学问题,并对我国特种机器人发展战略提出了若干建议。

**[关键词]** 特种机器人, 发展战略, 自动化

## 1 特种机器人研究的应用与科学意义

工业机器人作为生产自动化设备,在现代制造业中发挥着巨大作用。进入20世纪80年代以来,机器人技术在信息技术、控制技术、人工智能和传感技术等迅速发展的支持下,已远远超出了服务于制造业的范围,被广泛地应用于非制造领域。在非制造领域,应用机器人已成为当今国际自动化技术的重要发展方向。目前国际上对非制造领域机器人(也称为 Advanced Robot,我国称为特种机器人)的研究和开发非常活跃。特种机器人技术主要是指非制造业中的各种先进机器人及其相关高技术。特种机器人是替代人在危险、恶劣环境下作业必不可少的工具,可以辅助完成人类无法完成的如空间与深海作业、精密操作、管道内作业等的关键技术装备。

与工业机器人相比,特种机器人通常在非结构环境下自主工作,且更多地依赖于对环境信息的获取和智能决策能力。因此特种机器人更强调感知、思维和复杂行动能力<sup>[1]</sup>。特种机器人从外观上也远远脱离了最初工业机器人所具有的形状。特种机器人融合了更多学科的知识,如机构学、控制工程、计算机科学、人工智能、微电子学、光学、传感技术、材料科学、仿生学等,因此,特种机器人研究不仅能促进本学科的发展,还可带动其他学科的进步。特种机器人研究特别强调智能性和对环境的适应性,使其具有更广阔的应用领域。特种机器人在空间及海

洋探索、农业及食品加工、采掘、建筑、医疗、服务、交通运输、军事和娱乐等领域都具有应用前景<sup>[2]</sup>。针对各个领域的应用特点,科学技术人员正在研制各种类型的特种机器人,如空间机器人、水下机器人、服务机器人、微操作机器人、仿人机器人、医疗机器人、军用机器人等。这些特种机器人将更加符合各应用领域的特殊要求,其功能和智能程度也大大超出了工业机器人的范围,使机器人技术呈现出更加广阔的发展空间<sup>[3]</sup>。

随着陆地资源逐渐枯竭,深海开发已成为各国的重要战略目标。深海矿产资源的勘探与开采,是近几年国际激烈竞争的焦点之一。作为一种高技术手段,水下机器人在海洋石油开发、海洋科学研究、海底矿藏勘测开发、海底打捞救生等方面具有重要的意义。21世纪我国海洋多金属结核的开采工作将进入中试阶段,大洋勘测,中试采矿装置的安装、运行、维护、修理都急需多种水下机器人。作业型 AUV(自主潜水器)在海洋科学研究中,可用来进行海洋科学的各种测量、观测、监视、布放和收回仪器。在军事领域作业型 AUV 与其他潜水装备互相配合,可在防险救生中发挥特有的作用。

在我国经济结构调整发展战略中,已将城市化确定为产业增长的重要拉动力。城市化进程的加快将有效地带动一系列传统产业和新兴产业的高速增长。其中,加大城市地下空间开发利用的力度,将城市相关基础设施建造在地下,已成为未来城镇建设

本文于2002年7月11日收到。

的重要方向。城市各类管网的地下化和城市交通的立体化将需要开发盾构机器人与地下管线非开挖技术和装备,并将形成新兴产业。

随着人民生活水平的提高,我国对医用机器人和服务机器人的需要已提到议事日程。医用机器人的研究,不仅对常规医疗方面将带来一系列的技术变革,对临床或家庭的护理及康复工程等方面的发展产生深远的影响。

生物技术将是21世纪重点发展的领域,它将改变医药业、农业、制造业等行业的面貌,其产业发展前景十分可观。在生物技术发展过程中,基于机器人技术的智能化微操作装置正在发挥作用。

本世纪我国在无人试验飞船成功飞行的基础上,在航天技术和重大工程方面将有更大的发展。不仅要实现载人航天飞行,而且在空间探测方面,将实现月球探测,积极参与国际火星探测活动,使我国的空间探测技术上升到一个更高的水平。空间技术的发展需要机器人技术提供装备和服务。此外,在军事领域,一场新军事革命正在兴起,为适应未来高技术环境下的作战,需要用特种机器人及自动化技术提供新一代智能化武器装备。

总之,特种机器人技术在21世纪将有一个快速的发展,其应用领域及其产品市场将是不可预测的,其巨大的发展潜力将会对人类生活及社会经济发展产生巨大的推动。同时特种机器人也将是21世纪自动化科学与技术的集中体现,是最高意义上的自动化,是当今国际自动化技术发展的重要方向;特种机器人的研究必将促进自动化科学与技术的发展<sup>[4-6]</sup>。

## 2 国内外特种机器人研究发展动态与现状

特种机器人技术综合了多学科的发展成果,代表了高技术的前沿发展,它在人类生活应用领域的不断扩大,正引起国际上重新认识机器人技术的作用和影响。正因为如此,研究和发展特种机器人技术一直受到世界各国的重视,许多国家都把特种机器人技术列入本国的高技术发展计划或国家的关键技术进行研究和开发。如美国的“国家关键技术”、“商业部新兴技术”和“国防部和能源部关键技术”计划,欧共体的“尤里卡计划”和“信息技术研究发展战略计划”,新加坡、韩国和巴西等国家也都有相应的计划内容<sup>[3,7]</sup>。

目前国际上在如下领域展开特种机器人技术研究。

(1)水下机器人:包括有缆水下机器人与无缆水下机器人,其中无人无缆水下机器人将是主要的发展方向,并向远程化深海和作业型发展<sup>[8,9]</sup>。

(2)空间机器人:包括舱内作业与舱外作业机器人、星际探索机器人、空间飞行器检测和维修遥控自由飞行空间机器人等。随着空间探索、开发与利用的不断深入,还会不断出现新型的空间机器人。

(3)工程及建筑机器人:主要应用于矿山采掘业,其中也包括各种地下输油、输气、输水管道监测维修用的爬管机器人、隧道掘进机器人、高层建筑用顶升机器人系统、顶制件安装机器人、室内装修机器人、地面磨光机器人和擦玻璃机器人等。

(4)医用机器人:医疗机器人是越来越受到关注的机器人应用前沿方向之一,包括外科手术机器人、生物体内诊疗微机器人系统;眼科及神经显微外科手术机器人;胸脏器官、泌尿系统及脑外科手术机器人等。目前机器人辅助外科手术及虚拟医疗手术仿真系统为研究重点<sup>[10]</sup>。

(5)微机器人:近年来世界各发达国家在微机电系统的研究开发方面取得了令人瞩目的成果。专家们预测2010年微机器人的销售额将达到200亿美元<sup>[11]</sup>。

(6)农业机器人:包括耕作机器人、农药喷洒机器人、收获及管理机器人、搬运机器人、剪羊毛机器人、挤牛奶机器人和草坪修剪机器人等。

(7)军用机器人:主要用于侦察、作战、保安和排雷等方面。

(8)服务机器人:主要用于家庭生活类服务及公共场所类服务,如老年人护理、残疾人、护理、导盲、导购和导游等方面用机器人<sup>[12]</sup>。

(9)核工业用机器人:主要用于核工业设备的监测与维修。

(10)娱乐机器人:娱乐、玩具机器人在本世纪会形成巨大的产业<sup>[13]</sup>。

现在国外已开发出采矿机器人、坑道水泥喷涂机器人、高层建筑清扫机器人、爬壁检测及喷漆机器人、管内爬行机器人、管外爬行机器人、生物医学用微型机器人、农业及林业用机器人、核工业机器人、深海机器人、空间机器人和军用机器人等。生产特种机器人的公司的数量迅速增加,特种机器人产业已在国外形成,并对社会与生产力的发展发挥了重大的推动作用。

我国在“863”计划支持下,在水下机器人、服务机器人、微操作机器人、爬壁机器人、管道机器人、军

用机器人、仿人机器人和智能化智能机械等方面开展研究,培养了队伍,取得了一批研究成果,在某些技术方面达到了国际先进水平。但从总体上与国际发达国家相比还有较大差距,没有形成规模产业,自主知识产权的成果相对较少,对特种机器人基础科学问题和技术研究不足,跟踪研究多,自主创新少。

### 3 特种机器人的共性技术与基本科学问题

#### 3.1 特种机器人的共性技术

特种机器人大都工作在非结构性环境中,在现在及可以预见的将来,人机遥控加上局部自治,仍将是一种主要的控制方式。操作者和机器人可能在同一环境中,也可能分布在两处。分布在两处时,其联系的通信时间,在空间及海中可能长达分钟的数量级,而其工作环境,在大多数的情形下又是未知的。感知、规划、行动和交互技术是特种机器人的共性技术:

##### (1) 遥控及监控技术<sup>[14]</sup>

机器人高水平的半自治功能;多机器人和操作者之间的协调控制;通过网络建立大范围内的机器人遥控系统;对有时延的环境,克服时延所造成的控制上的困难;通过事先对可能出现的情况及对策的详细研究,进行局部自治控制等。

##### (2) 人机接口<sup>[15]</sup>

近几年来,在包括虚拟环境的人机接口方面的研究工作非常活跃,开发出各式各样的输入和输出装置,如三维鼠标、数据手套、快门眼镜、头盔等,各种具有更好性能的临场感方法相继被提出来,如具有类似人的大小的手、臂和双眼视觉系统等。利用临境技术建立机器人工作环境,让操作者身临其境的进行操作。目前在利用多种传感器的实时信息动态实时地建立环境模型方面,有很多问题有待研究。

##### (3) 多传感器系统

基于多传感器信息的获取、融合、理解、处理和控制技术将是在未知环境中实现具有高度灵活性及高鲁棒性行为的机器人的关键<sup>[16]</sup>。

##### (4) 导航和定位问题<sup>[17]</sup>

对移动式机器人来说,导航和定位是两个重要的问题。对陆上机器人来说,里程计、方向陀螺等都比较成熟;对水下短程机器人来说,定位可以利用短基线、超短基线或长基线,而用GPS来标定,导航可采用基于方向陀螺和多普勒测速组成的推算法,并按测定的位置定时校正;对水下大航程机器人来说,目前还没有好的方法。由于长距离的水下通信问题

没有解决,而海底图匹配、海底图的地理特征很难确定,试验过的方法很多,如地貌匹配、重力场、重力梯度场等都不理想,而且代价太大,目前从理论上还没有好办法。完全未知空间环境探测机器人定位是正在探索的问题。

##### (5) 机器智能<sup>[18,19]</sup>

特种机器人大多对其智能程度有更高的期望,满足其在未知或部分未知环境中自主作业的需要。特种机器人的智能可以体现在其工作的各个方面,包括诸如对环境的感知、信息的处理、行为决策、与人的协调和自学习等。传统的符号推理系统、模糊逻辑、神经网络、遗传算法等都是人们在实现人工智能方面的努力。这方面的研究还远没有达到人类期望的目标。

##### (6) 虚拟机器人技术

许多特种机器人,在用于空间、水下、地面、地下、农业和食品加工、消防和救援、医疗和护理、休闲和娱乐等时,遥控不失为一个主要手段。基于多传感器、多媒体和虚拟现实、临场感的虚拟遥操作和人机交互,将成为共同需要发展的一项技术。

##### (7) 网络机器人技术

通讯网络技术的发展完全能够将各种机器人连接到计算机网络上,并通过网络对机器人进行有效的控制。其中包括网络接口装置、众多信息组的压缩与解压方法及传输方法研究。

(8) 多智能体协调控制技术:包括用于实现决策和操作自主的有多智能体组成的群体行为控制技术。微型和微小机器人技术:包括微机构、微传感及相应的微系统集成技术等。软机器人技术:主要研究在未来众多的人与机器人共存的环境中,机器人对人的安全保护性技术。仿人与仿生技术:包括机构、传感控制和系统技术。

#### 3.2 特种机器人基础研究中的关键科学问题

技术引进无疑可以加速进步,然而学习、仿效和改进难以领导世界科学进步的新潮流。只有以创新精神进行基础研究,才能孕育出伟大的技术革命,从而转化成巨大的经济效益,增强国家实力。针对21世纪我国发展特种机器人技术的战略性需求,结合国际机器人与自动化学科的前沿发展,应重点研究如下科学问题,为研制具有自主知识产权和实用的特种机器人打下坚实的科学基础:

特种机器人的新型机构研究。

特种机器人用新型传感器研制。

特种机器人学中的拟人智能技术研究。

未知环境信息获取、理解和控制的新机制新理论。

复杂环境中的机器人自主工作新方法与新理论。

机器人精确自定位新手段与新技术。

生态机器人学研究,即研究生态学原理如何应用到特种机器人设计。

仿人机器人运动学、动力学控制新方法。

特种机器人的人机交互问题研究,包括监控技术、通讯技术、远程操作技术和人机和谐工作方法。

#### 4 我国特种机器人发展战略建议

##### 4.1 借鉴工业机器人发展历史,以需求牵引为原则,实现跨越式发展

工业机器人的兴起和发展是制造业为提高产品质量、缩短产品制造周期和提高劳动生产率而推动的。回顾上世纪50年代以来制造业的发展历程,工业机器人的发展源于制造业自动化发展需求,成为制造自动化生产线的关键设备。工业机器人的发展推动了制造思想进步,同时工业机器人技术及系统也获得了飞速发展。因此特种机器人的发展也要以需求为原则,充分研究我国非制造业自动化的实际需要,确定特种机器人的研究领域和需发展的关键技术,有所为,有所不为,发展具有我国特色的特种机器人技术。

特种机器人研究一方面不能回避制约国家经济建设与产业化发展中的自动化关键技术问题,另一方面又要抢占战略性关键技术和未来可能形成新的经济增长点的竞争前核心技术,因此我国特种机器人研究既要满足当前国民经济发展的需要又要有前瞻性。前瞻性研究是企业掌握市场主动权的前提,是国家竞争力的源动力,因此前瞻性研究是高技术研究的真正内涵。在进行特种机器人研究时我们既要学习国外特别是西方发达国家的先进技术和先进经验,又要注意知识的原创新,掌握战略必争关键技术和竞争前技术,在基础和关键技术研究方面具有相当大的广度和深度,实现我国特种机器人的跨越式发展。

##### 4.2 特种机器人研究以增强国家综合经济实力、保证国家安全、提高国际竞争力为己任

###### (1) 服务于非制造业自动化的发展

特种机器人种类多,应用领域广,自动化程度高,因此比传统的工业机器人有更广阔的前景。立足于国民经济发展的需要,开展特种机器人研究。

今后十年我国基础设施建设处于高速发展阶段,对智能化工程机械有巨大需求,在筑路、管道作业、石油钻井等方面研制机器人化智能机械满足国家经济建设发展的需要。特种机器人在21世纪的服务行业自动化过程中也大有作为,医疗机器人、娱乐机器人、康复机器人、导游机器人和家庭服务机器人等都值得关注和研究。

(2) 满足信息技术、生物医学技术和纳米技术发展的需要

提供高精度、高柔性和高智能的自动化辅助研究设备,开发面向光学工程的光纤对接微操作机器人以及微电子机械器件的加工设备,研制面向生物医学工程的微操作机器人,用于生物芯片制造的精密微操作系统。

(3) 围绕国防发展和新资源开发的需要

以提高我国国防和军事实力、加强国家安全和国际地位、充分利用海洋与宇宙资源为目的,研制军用机器人、空间机器人、深海作业机器人、载人潜器等。

##### 4.3 加强组织管理、重视国际合作

我国特种机器人的研究在某些方面起步较早,拥有多项世界先进水平的研究成果。我们只要定准主攻方向、集中目标、加强管理,采用滚动资助方法,组织有条件和研究基础的研究单位,对特种机器人关键技术进行协作攻关;同时促进科研单位和企业的结合、注意关键技术与应用技术的结合,建立有效机制大力实施特种机器人应用工程,会形成拥有自己知识产权的特种机器人研究成果和应用产业。另外,管理层还应正确引导,克服目前学术界和科学管理中存在浮躁情绪和急功近利思想。

在强调独立自主的研究基础上,还要学习国外的先进技术,特别是重视国际合作。美国、日本和欧盟都在机器人研究方面取得了成果,也积累了许多经验,加强国际合作可加速我们的研究速度,提高研究层次,取得赶超世界先进水平的重大成果。事实上西方各国在特种机器人的研究上也相互取长补短,如美国国防部领导的“联合机器人计划”就联合了加拿大、英国、日本、法国、德国和以色列等进行用于后勤给养运输、武器操作和复杂环境下侦察等的战场环境下的自主机器人系统。国际合作可以多种方式进行,如加入国际机器人组织、学术交流、人员互访、项目合作,官方或学者个人形式。

##### 4.4 注意相关学科的相互交叉与渗透

由于特种机器人的应用环境复杂且不确定、自

主工作能力和智能性要求更高,在研究过程中不可避免的涉及到更多的学科,除计算机技术、传感技术、微电子理论、控制论、信号处理等,还会跨越系统分析、概率统计、仿生学、感知论、虚拟增强现实技术、微机构学、医学、光学、新材料和生物遗传等,因此要发挥多学科的优势,注意学科间的交叉与渗透,联合攻关,协作研究,使特种机器人的研究不断取得新的成果,并真正应用到实际中去。

### 参 考 文 献

- [1] 贾培发,王全福.团结奋斗努力实现中国机器人产业化.机器人技术与应用,2000,6:2—6.
- [2] 谈士力.面向21世纪特种机器人技术的发展.世界科学,2001,6:24—25.
- [3] 我国特种机器人发展战略研讨.国家863计划智能机器人主题专家组.2001年1月.
- [4] 龚振邦.从国际大环境出发在我国机器人技术和产业发展战略上的若干思考.机器人,1999,21(6):474—479.
- [5] 刘进长.世纪之交我国机器人发展战略研究.机器人技术与应用,2000,3:1—4.
- [6] 陈佩云,金茂青,曲忠萃.我国工业机器人发展现状.机器人技术与应用,2001,1:2—5.
- [7] 徐国华,谭民.移动机器人的发展现状及其趋势.机器人技术与应用,2001,3:14—21.
- [8] Jorge Moraleda, Anibal Ollero, Mariano Orte. A Robotic System for Internal Inspection of Water Pipelines. IEEE Robotics and Automation Magazine, 1999, 6(3): 30—41.
- [9] Caccia M, Bono R, Bruzzone G et al. Variable-Configuration UUVs for Marine Science Applications. IEEE Robotics and Automation Magazine, 1999, 6(2): 22—32.
- [10] I James Wright. Technology requirements for robotic surgery. Industrial Robots, 2001, 28(5): 392—397.
- [11] Chiaki Tsuzuku. The trend of robot technology in semi-conductor and LCD industry. Industrial Robots, 2001, 28(5):406—414.
- [12] Druin A, Hendler J, Kaufmann. Robots for kids. IEEE Intelligent Systems, 2001, 16(1): 88—90.
- [13] Rolf Schraft, Birgit Graf, Andreas Traub. A mobile robot platform for assistance and entertainment. Industrial robots, 2001, 28(1): 29—35.
- [14] Wei Ye, Vaughan R T, Sukhatme G S. Evaluating control strategies for wireless-networked robots using an integrated robot and network simulation. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001, 3: 2 941—2 947.
- [15] Hiroshi Ishiguro, Tetsuo Ono, Michita Imai. Robovie: an interactive humanoid robot. Industrial Robots. 2001, 28(6): 498—504.
- [16] Skewis T, Lumelsky V. Experiments with a Mobile Robot Operating in a Cluttered Unknown Environment. Journal of Robotics Systems, 1994, 11(4):281—300.
- [17] Borenstein J, Everett H R, Feng L et al. Mobile Robot Positioning: Sensors and Techniques. Journal of Robotic Systems, 1997, 14(4): 231—249.
- [18] Lopes L S, Connell J H, Dario P et al. Sentience in robots: applications and challenges. IEEE Intelligent Systems, 2001, 16(5): 66—69.
- [19] Brooks R A. Intelligence without reason. IJCAI, 1991:569—595.

## TOWARDS THEORY PROBLEM OF ADVANCED ROBOT AND ITS DEVELOPMENT STRATEGY IN CHINA

Wang Shuguo      Fu Yili

(Institute of Robot, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** Compared with industrial robots, advanced robots present unique characteristics on theory basis, techniques and application fields, which are listed in high technology development programs of many developed countries. Attention of many scientists all over the world has been focused on advanced robot-related research that has become one of the most important research topics in automation. In this article, after an overview of the development and trends in advanced robot investigations, design and applications, the common technologies and foundational science problems of advanced robots are discussed, and advice on advanced robot development strategy in China is given.

**Key words** Advanced Robot, Development Strategy, Automation