

关于发展智能水下机器人技术的思考

徐玉如, 苏玉民

(哈尔滨工程大学 船舶工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 智能水下机器人在海洋开发和海洋军事领域具有极为广阔的应用前景。智能水下机器人技术是世界各国都在致力发展的技术领域。简要介绍了国外智能水下机器人的发展状况, 提出了应重点开展研究的关键技术和发展智能水下机器人技术的建议。

关键词: 智能水下机器人; 关键技术

中图分类号: U674.941 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-7649(2008)04-0017-05 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2008.04.001

Think on the development in autonomous underwater vehicles

XU Yu-ru, SU Yu-min

(College of Shipbuilding Engineering Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract Application foreground of autonomous underwater vehicles is very wide in ocean exploitation and naval affairs. Technology of autonomous underwater vehicle is technical field that is developed by every country in the world. In this paper the development of autonomous underwater vehicles abroad is introduced briefly. The key techniques those should be focused our attention on and the several suggestions are put forward.

Key words autonomous underwater vehicle; key technique

0 引 言

海洋是生命的摇篮、资源的宝库、交通的要道,也是兵戎相见的战场。占地球表面积 71% 的海洋,是一个富饶而远未得到充分开发的宝库。人类要维持自身的生存、繁衍和发展,就必须充分利用海洋资源,这也是人类无法回避的必然选择。对于人均资源不丰的我国来说,海洋开发更具有特殊的意义^[1-3]。

智能水下机器人是将人工智能、自动控制、模式识别、信息融合与理解、系统集成等技术应用于传统的载体上,在无人驾驶的情况下自主地完成复杂海洋环境中预定任务的机器人。

智能水下机器人技术具有多学科交叉融合、集成性和前瞻性的特点,涉及到船舶与海洋工程、信息技术、网络与通信技术、机器人技术、计算机技术、仿生技术、新材料和新能源等众多学科领域。

智能水下机器人的应用领域逐步扩大,如海洋科学考察、海洋开发和水下工程等。在军事方面,智能水下机器人将成为未来水下战争中争夺信息优势、实施精确打击与智能攻击、完成战场中特殊作战任务的重要手段之一。因此,引起美国等许多国家的高度重视,目前正处于飞速发展的关键阶段。

1 国外发展现状

2007 年 6 月,在美国佛罗里达州举行了规模空前的自主水下航行器节。来自西方 8 个国家的约 500 名军方和科技人员参加了此次活动,共展示了 81 台套各类水下、地面和空中自主平台。

从近期国内外已公布的研究资料可以看出,水下机器人一方面向着大型化、大航程、功能多样化发展;另一方面向着微小型化、功能专业化方面发展。美国等西方国家一直致力于发展智能水下机器人,具有代

收稿日期: 2008-03-31

作者简介: 徐玉如 (1942-), 男, 中国工程院院士, 教授, 主要研究方向为水下机器人技术。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表性的水下机器人有以下几种。

美国海军委托宾西法尼亚大学研制的“海马”水下机器人(见图 1),可执行远程扫雷任务,其主尺度为长 8.4 m,直径 1.14 m,质量 5 t,航程 555 km,续航时间 72 h。在执行任务时,还可以搜集海洋数据和声呐图像。

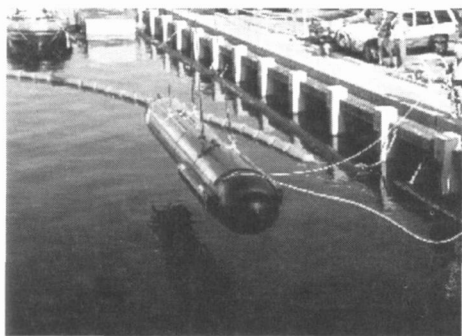


图 1 “海马”型水下机器人

Fig.1 Underwater vehicle of US Sea Horse

英国从 1988 年开始研制 Autosub 系列水下机器人,包括 Autosub I、II、III。最新的 Autosub 6000 于 2007 年进行海试,其长度为 5.5 m,直径为 0.9 m,质量为 2.0 t,下潜深度为 6 000 m,续航时间为 200 h,航程为 1 000 km(见图 2),可完成多种水下观测任务。

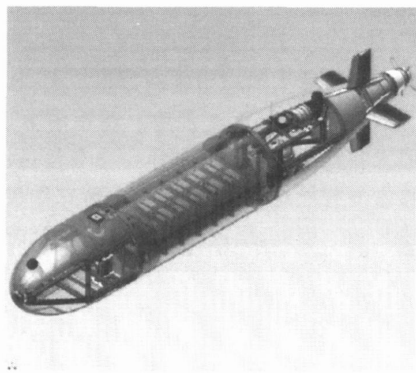


图 2 英国的 Autosub 6000 水下机器人

Fig.2 AUV of UK Autosub 6000

英国研制的“泰利斯曼”于 2005 年 8 月进行首次试验(见图 3)。该航行器是 1 个完整的系统,包括水下航行器本体、1 个开放式结构控制系统、1 个遥控台、通信模块、软件以及支持设备,重 1 800 kg,长约 4.5 m,宽约 2.5 m,能携带各种任务载荷。“泰利斯曼”可以携带超过 500 kg 的有效载荷,内部的碳纤维合成压力容器可以容纳电子系统和有效载荷,也可以

挂载在壳体外。“泰利斯曼”还装载了 1 套海洋调查设备作为标准装备,其他可选择的有效载荷包括猎雷声呐、可展开的传感器、1 个探雷 UUV 和一次性灭雷具。

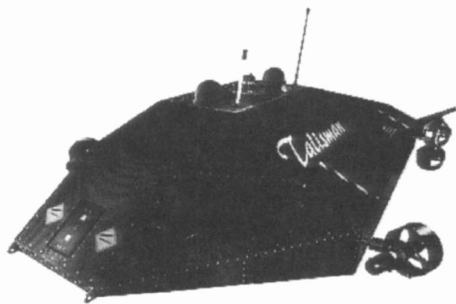


图 3 “泰利斯曼”水下机器人

Fig.3 Underwater vehicle of US Talisman

加拿大用 5 年的时间开发了水下机器人 Theseus 用于铺设北冰洋中冰层覆盖下的海底光缆,也可以用于远程调查、远程猎雷等。其长度约 10 m,最大潜深为 1 000 m,质量为 8.6 t,采用 360 kW·h 的银锌电池,续航力为 450 km,可以铺设 220 km 的冰下光缆。该机器人的最大特点是采用激光罗经和 Doppler 测速声呐组合的推算导航方式,导航精度为航行距离的 1%(见图 4)。



图 4 加拿大的水下机器人 Theseus

Fig.2 Underwater vehicle of Canada Theseus

日本近年研制了多种型号的水下机器人,2003 年日本海洋科学技术中心,研制了世界上第 1 艘燃料电池动力的水下机器人“浦岛”号(见图 5)。其主尺度为 10.7 m×1.3 m×1.5 m,排水量为 10 t,潜深为 3 500 m,水下续航能力达 300 kg。

2007 年 11 月,美国首次成功地进行了航行中的潜艇回收水下机器人的试验,水下机器人由鱼雷管发射,并由机械臂回收至另一鱼雷管中,验证了潜艇发射回收水下机器人的各技术环节。

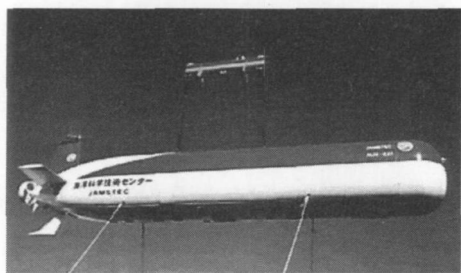


图5 日本的“浦岛”号水下机器人

Fig.5 Underwater vehicle U rashima

微小型水下机器人不是通常水下机器人的简单微小型化,伴随着尺度的微小型化,对微机电、导航、探测、动力等共性技术和系统集成技术提出了全新的要求,必须探索新原理、新技术、新概念,突破关键技术,才能使其真正的微小型化。美国、日本等国已研制了多种微小型水下机器人,如 REMUS系列、巡逻兵(Ranger)等(见图6),不仅实现了整体的微小型化,而且具有特定的作业功能。微小型水下机器人将向着控制的智能化、功能的多样化、总体设计的模块化、结构形式的多元化、应用方式的群体化、所载系统的集成化方向发展。

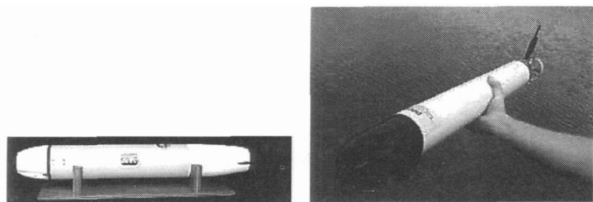


图6 美国的 REMUS100和 Ranger微小型水下机器人

Fig.6 Small underwater vehicle REMUS100 and Ranger

水下机器人技术涉及到众多学科领域,其整体发展水平必然受到基础科学和共性技术发展水平的制约。与国际领先水平相比,我国在某些基础研究和共性技术领域还存在明显的差距。如水下导航、水下探测、水下通信领域以及某些特种传感器方面。而这些技术正是美国等西方国家对我国封锁的技术,因此,我国在水下机器人总体技术水平上也与国际领先水平有着一定的差距。我们要寻求发展,就必须立足于自主开发。

2 应重点发展的关键技术

2.1 智能水下机器人载体设计技术

智能水下机器人需适应复杂的海洋环境,其载体不仅要具有耐压、水密和承受负载的能力,而且要具

有低阻力、高推进效率和实现空间运动的能力。另外,在十分有限的空间,需配置不同性能的多种传感器以满足环境探测、目标识别、自主航行和自主完成任务的需要。这些设备的系统集成设计要确保系统的信息流与控制流的正常工作,所以系统各个部分的电磁兼容和可靠性设计就显得十分重要。

1) 载体一体化设计技术

一体化设计采用标准化和模块化设计。为降低生产成本、使用成本,提高可靠性,扩展其应用,国内外正推进智能水下机器人的标准化和模块化,要求研究有关的机械、电气和软件标准接口概念,设计和建造中尽可能采用模块化设计,并重视开展总体布局与结构优化设计,主要功能部件小型化、智能化、低功耗设计。为节约能源、获得较大的航程,智能水下机器人宜采用流体阻力较小的载体外形,并合理布置舵翼和推进器,使机器人具有高度的水下机动性。同时尽可能采用具有重量轻、强度高、耐腐蚀及抗生物附着能力强等特点的新型复合材料,以减轻自重,提高续航力和有效负载。

2) 仿生载体技术

近年来,国内外不少学者十分重视研究仿生学,并试图将其应用到智能水下机器人载体的设计。由于鱼类游动的效率高、噪声低、操纵灵活且尾迹小,从水动力学、声学角度看,是十分理想的水中推进和操纵方式。若能将鱼类游动的原理成功地应用到智能水下机器人上,将是水下推进和载体技术的一个飞跃^[4]。

2.2 水下目标的探测与识别技术

水下目标的探测与识别对于自主水下作业来说是至关重要的。智能水下机器人要完成所赋予的使命,就必须获取各种环境信息,特别是水下目标的信息,并由此做出作业决策。根据水下的环境特点,常用的水下探测设备是声成像和光成像传感器。其中,声成像传感器占有主要地位,也是国内外研究的重点。目前,应用在智能水下机器人上的声成像传感器主要有高低频合成孔径声呐、侧扫声呐、前视声呐和三维声成像声呐。

光在海水中的衰减比在空气中快得多。光在水中传输的能量按指数规律迅速衰减,使得光学图像对比度产生严重的灰白效应,色彩丢失,视程很小。为了弥补微光成像系统的不足,各国十分重视水下激光成像技术的研究。理论推测激光成像距离可以达到12个衰减长度。国外在智能水下机器人上采用了激

光线性扫描系统,作用距离相对较大,因而特别有价值,国内也积极开展这方面的研究,取得可喜的研究成果。

综合来说,由于海洋环境复杂,获取水下目标信息的手段十分有限。声探测距离远,所以仍是目前的主要手段。而对于依靠声图像的目标识别仍然有难度。根据水声专家的预测,依靠声反射特性可能是解决识别的正确途径。另外,激光成像具有微光成像的特点,距离又增加,是一种比较理想的手段,然而要满足对水下目标识别的要求,仍然有不少技术难关需攻破。

2.3 水下机器人运动控制技术

水下机器人的运动具有明显的非线性与交叉耦合性。为了完成不同的任务,要求水下机器人在多个自由度上有较高的控制精度。所以,需要建立完善的集成运动控制系统,同时将信息融合、故障诊断、容错控制策略集成。

通常,水下机器人的控制方式有 PID 控制器、神经网络控制器和模糊逻辑控制器 3 种。神经网络控制器的优点是充分考虑了强非线性和各个自由度之间的耦合性,同时其学习机制也能够跟踪系统自身或外界环境的缓慢变化^[5]。其缺点是结构和参数不易确定,要求设计人员在这方面具有丰富的知识和实际经验,而且,当环境变化比较剧烈时,神经网络的学习就出现明显的滞后现象,其控制容易发生振荡。模糊控制器的设计比较简单实用,而且稳定性也较好。然而,对于水下机器人难于得到较好的操纵经验,因此其隶属度函数的设定以及模糊规则的获取存在相当的难度,而这又将直接影响到控制的效果。

为了解决 3 种方法中参数难以确定的问题,已出现了一种改进的 S 面控制方法^[6-7],它从模糊逻辑控制方式出发,借鉴 PID 控制的结构形式,同时考虑神经网络的自学习能力,是一种全新的而又简单有效的控制方法。

复杂的海洋环境对智能规划与决策系统提出了较高的要求。海洋中海流的大小与方向不仅与时间有关,而且随地点的不同而变化。对水下机器人的智能规划与决策技术来说,海流的影响是必须考虑的干扰因素之一。

2.4 水下精确导航技术

智能水下机器人的导航系统须提供远距离及长时间范围内的精确位置、速度和姿态信息,目前国外实用的智能水下机器人均采用小型惯性导航系统。

由于受到国外技术禁运的限制,往往无法采用这种系统作为智能水下机器人的导航系统。而采用光纤陀螺与多普勒速度计或相关速度仪组成船位推算系统,并利用 GPS 系统定期修正,是智能水下机器人现实可用的导航技术,在一定范围内能够满足任务要求^[8],但导航精度还远不及惯性导航系统。

为了完成某些任务,智能水下机器人有时需要在较小的范围实现精确的定位。目前,通常的是水声定位技术,包括长基线、短基线和超短基线 3 种形式。为了满足未来智能水下机器人对水下导航技术的需求,国内外都在探索重力导航系统、海底地形导航系统、地磁场导航系统等新型导航系统,但是这些系统的实用化还有待于一批关键技术的突破。

2.5 水下通讯技术

智能水下机器人的监测、重新规划、传输数据、回收和多体协调等均需依赖其通讯技术。现在水下通讯方法有水声通讯、光纤通讯、电磁/射频通讯和激光通讯等。

水声通讯对智能水下机器人是比较理想的一种方式,是目前在水中远距离通讯的惟一方法。实现水声通讯最主要的障碍是随机多途干扰,满足较大范围和高数据率传输要求仍然有。为了获得各种海洋环境下的中、远距离(千米级)高数据率(10 kbit/s)通讯,需要解决多项技术难题。如需研究新型的信号处理方法,即自适应通道平衡法、空间分散法、频率分散法、数据编码法和多普勒路径法等。迄今为止,只有极少数国家在水声通讯领域取得突破性进展,达到实用的程度。

光纤通讯的优点是数据率高(100 Mbit/s),抗干扰能力强。缺点是光缆的存在限制了智能水下机器人的工作距离和操纵性等。

水下电磁通讯是可能的,但由于水中衰减的影响,作用距离、带宽受到严重的限制。视距和卫星射频通讯能够以所需的高数据率传输信息,但要求智能水下机器人的天线露出水面并相当稳定。这使得智能水下机器人必须在近水面位置才能实现通讯,而水下机器人在近水面复杂海洋环境中保持天线稳定是极其困难的。

现在已有研究演示智能水下机器人的高数据率水下激光通讯。但海水的指数衰减特性将激光通讯的距离限制在几个衰减长度,其传播距离或深度还受到空中-水面交界面的限制。美国利用衰减最小的蓝绿激光实现了空中对水下 100 m 深处的潜艇的通

讯^[9]。但较大的功率使其体积重量均较大,要在水下机器人上应用,还有很长的路要走。

2.6 智能水下机器人的能源技术

智能水下机器人一般需要具有较长的续航力,这就对水下能源提出了更高的要求,除了能量重量比之外,还必须很好地解决燃料的储存、携带及安全问题。就目前国内外高密度能源的研究状况看,虽然已经取得了多项进展,但离真正满足智能水下机器人的需求,即达到体积小、质量轻、能量密度高、多次反复使用、安全和成本低等,还需一段攻关过程。

现有的水下机器人多采用传统的铅酸电池、银锌电池、锂离子电池。铅酸电池能量质量比太小,银锌电池虽然能量质量比有较大的提高,但价格昂贵,这2种电池已逐渐被锂离子电池取代。目前,国际上大力发展的新型能源主要有水下蓄热式热电直接转换电池、水下质子交换膜燃料电池、水下铝氧半燃料电池等,其中蓄热式热电直接交换电池最适合水下机器人使用。各发达国家都投入巨资在进行研究,部分产品已试验性使用,我国在这方面尚处于起步阶段^[10]。

3 结 语

智能水下机器人是复杂海洋环境中,完成特殊任务的重要手段,是各国都十分重视和致力研究的技术领域,目前正处于飞速发展的关键阶段。发展我国的智能水下机器人技术是十分迫切的。我国要在这一领域赶上世界领先水平,增强在海洋领域的技术竞争力,就要加大投入,有组织、有计划地促进该领域的研究。为此,提出如下建议:

1) 制定我国的智能水下机器人发展计划。充分发挥政府、学校、企业、部队各自的优势与能力,有计划地加快该领域的发展,缩小与世界领先水平的差

距。

2) 重视智能水下机器人相关基础技术的研究。应有计划地加强水下专用传感器与专用设备的研制。目前符合需求的传感器与专用设备中,相当部分靠国外进口,由于技术禁运,有些设备不可能引进,有些设备批量进口极为困难,而就因为关键性传感器或某些专用设备的水平受限而影响机器人的整体水平。因此,发展某些关键基础技术,必须立足自主研发。

3) 充分利用与发挥现有的技术基础与技术成果,避免低水平的重复,造成人力、物力的浪费。

参考文献:

- [1] 王红雨. 无人潜器技术文集 [M]. 船舶系统工程部, 2002.
- [2] 苏纪兰. 海洋科学和海洋工程技术 [M]. 济南: 山东教育出版社, 1998.
- [3] Field J G, Hempel G, Summerhayes C P. 2020年的海洋—科学、发展趋势和可持续发展面临的挑战 [M]. 关克勤, 林宝法, 祁冬梅, 译. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [4] 苏玉民, 黄胜, 庞永杰, 等. 仿鱼尾潜器推进系统的水动力分析 [J]. 海洋工程, 2002, 20(2): 54—59.
- [5] 刘学敏. 水下机器人运动控制系统的信息融合技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2001.
- [6] 刘学敏, 徐玉如. 水下机器人运动的 S面控制方法 [J]. 海洋工程, 2001, 19(3): 81—84.
- [7] 刘建成, 于华男, 徐玉如. 水下机器人改进 S面控制方法 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2002, 23(1): 33—36.
- [8] 万磊, 李璐, 刘建成, 等. 一种基于船位推算的水下机器人导航算法 [J]. 中国造船, 2004, 45(4): 77—82.
- [9] 蒋新松, 封锡盛, 王棣棠. 水下机器人 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2000.
- [10] 陈建平. 发展我国载人深潜器的几点思考 [J]. 机器人与应用, 2001, (2): 33—36.