

UUV 国内外研究现状及若干关键问题综述

肖玉杰¹, 邱志明², 石章松¹

(1. 海军工程大学电子工程学院, 武汉 430033; 2. 海军装备研究院系统所, 北京 100161)

摘要: 以美国军用 UUV 为例, 详细介绍了国外 UUV 的研究现状和发展趋势, 指出了国内 UUV 的研究现状; 并重点梳理了 UUV 的外形和总体布局, 在此基础上引出了 UUV 发展的主要瓶颈——能源和 underwater 通信等问题。

关键词: UUV; 总体布局; 水下通信; 研究现状

中图分类号: V279; TJ630 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)02-0046-04

On Current Research Status of UUV and Its Critical Technologies

XIAO Yu-jie¹, QIU Zhi-ming², SHI Zhang-song¹

(1. School of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. System Division, Naval Equipment Institute, Beijing 100161, China)

Abstract: The research status and development trend of foreign Unmanned Undersea Vehicle (UUV) are introduced in detail, taking the America military UUV as an example. Then, the domestic studies on UUV are presented. The shape and overall layout of UUVs are described. On which basis, the main bottleneck problems in UUV development are pointed out, such as energy and underwater communication.

Key words: Unmanned Undersea Vehicle (UUV); overall layout; underwater communication; research status

0 引言

UUV (Unmanned Undersea Vehicle) 可译为无人潜航器、无人潜器、无人水下航行器和无人水下运载器等^[1]。UUV 利用自身的各种传感器和武器, 执行远程通信中继、反潜警戒、水下侦察与监视、反水雷等一系列重要军事支援任务。

UUV 作为一种海上力量倍增器, 有着广泛而重要的军事用途, 在未来海战中有不可替代的作用。随着 UUV 及相关技术的发展, UUV 已经被用于执行扫雷、侦察、情报搜集及海洋探测等任务, 在未来海战中还可作为水下武器平台、后勤支持平台等装备使用。UUV 主要分为遥控式水下航行器 (Remotely Operated Vehicle, ROV) 和自主式水下航行器 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV) 两类。ROV 后面拖带电缆或光缆, 由人员控制进行工作。AUV 自带能源, 采用自治控制方式, 灵活方便, 可广泛应用于侦察/监视、情报收集、跟踪、预警、通信中继、

水下攻击等方面^[2-3]。

1 UUV 国内外研究现状

进入 21 世纪以来, 世界上已有 10 多个国家的 1000 余艘各种用途的 UUV 投入到军用或民用领域。

1.1 国外 UUV 研究现状及发展趋势

美国军用 UUV 处于世界领先水平, 美国于 20 世纪 90 年代就制定了发展 UUV 的科技计划, 提出了近期水雷侦察系统 (Near-term Mine Reconnaissance System, NMRS) 和远期水雷侦察系统 (Long-term Mine Reconnaissance System, LMRS) 等研制计划, 其中, NMRS 于 1998 年就作为攻击型核潜艇的制式装备正式服役。2000 年, 美国海军提出了 2030 年之前 UUV 的发展规划。该规划明确了 UUV 在军事应用方面的 7 种使命和 4 种作战能力, 对关键技术进行了风险评估, 描绘了 2030 年之前 UUV 的发展蓝图。7 种使命包括情报/监视/侦察 (ISR)、反水雷措施 (MCM)、气象学和海洋学、辅助通讯和导航、反潜战 (ASW)、自治武器平台、后勤支援和补给; 4 种作战能力即海上侦察能力、水下搜索和测量能力、辅助通讯/导航能力和潜艇跟踪及循迹功能。2004 年, 美国海军又公布了新的 UUV 发展规划,

收稿日期: 2013-04-16

修回日期: 2013-05-07

基金项目: 中国博士后科研基金 (2012M521891)

作者简介: 肖玉杰 (1987—), 男, 河南洛阳人, 博士生, 研究方向为作战系统工程与效能分析、最优化理论及其在海军中的应用。

该规划提出了9种使命,包括情报/监视/侦察(ISR)、反水雷措施(MCM)、反潜战(ASW)、观察与识别、海洋学、通讯和导航网络节点(CN3)、载荷输送、情报战和时敏目标打击(TCS)。

为了完成上述多方面的海上作战任务,美军提出了发展4种不同级别的UUV。

1) 小型便携式UUV,直径仅在70~230 mm之间,重量在45 kg以下,可以从潜艇的各种小型发射管中发射出来,例如从声纳浮标和水声对抗器材的发射管中发射出来。其航程仅在10 nmile左右,作业时间在10~20 h范围。这类UUV可执行的任务有:情报、监视和侦察,浅水域反水雷、监视和灭雷,一次性通信/导航网络的节点。

2) 轻型UUV,其直径为324 mm,可利用现役轻型鱼雷装具实现发射和回收,连续工作时间可达到20~40 h,主要完成港口的情报搜索、监视和侦察,对水雷区域的侦察,作为移动式通信/网络的节点,以及采集海洋信息等。

3) 重型UUV,其直径达533 mm,可利用现役潜艇鱼雷发射管发射,重量达到1000 kg以上,低载荷下可连续工作40~80 h,其任务包括战术性情报搜集、监视和侦察、反水雷,以及作为潜艇模拟器诱骗敌方鱼雷等。

4) 大型UUV,直径在1 m左右,排水量可达10 t,在高载荷下可工作100~300 h。这种UUV适用于在大多数美国攻击型核潜艇上安装,其任务是持续地进行情报搜索、监视和侦察任务、特种作战和紧急攻击任务、水雷战及反潜战等。

1.2 国内UUV研究现状

UUV在国内的研究基本上围绕两个中心来进行。一是以中科院沈阳自动化所为核心,多家单位合作研制出“探索者”号(1000 m)水下航行器,并合作开发了CR-01型/CR-02型(6000 m)无人无缆水下机器人,能适应深海底平坦地形的多金属结核矿区工作环境,其探测内容只限于声学、光学和水文测量。CR-01机器人于1997年在太平洋中国矿区完成了各项海底试验调查任务,并取得了大量数据和资料,这表明中国已拥有这些高新技术的能力,并即将进入洋底多金属结核资源探测应用的实用阶段,也为21世纪我国进军深海大洋,开发海洋资源提供了强有力的技术手段。2006年又研制出新型的海底矿藏勘测UUV,这种新型UUV综合了ROV和AUV的优点,能够在远航执行任务时进行准确的定位。二是以哈尔滨工程大学为中心,多家单位合作研制出“智水I”、“智水II”、“智水III”和“智水IV”等军用智能水下机器人,这标志着我国研制的智能水下航行器在智能控制技术方面已经接近了世

界先进水平。

2 UUV外形和总体布局分析

2.1 UUV外形分析

UUV的外形是由任务和战术技术性能决定的,主要涉及的因素有吨位、结构形式、材料、下潜深度、操纵性能、任务负载等要求^[4-7]。目前,国内外的UUV形状可归纳为鱼雷型、扁平型和不规则型3种^[8-9]。鱼雷状的设计考虑到水下阻力小和噪声低,扁平状的设计考虑到其稳定性好和抗环境干扰能力强,不规则形状是为特殊任务和特定环境设计的。图1~图3所示分别为扁平状、鱼雷状和不规则状3种UUV的典型代表。



图1 扁平状UUV
Fig. 1 Flat-shaped UUV

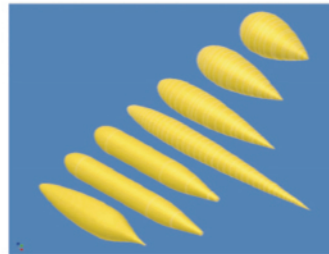


图2 鱼雷状UUV
Fig. 2 Torpedo-shaped UUV



图3 不规则状UUV
Fig. 3 Irregular-shaped UUV

2.2 UUV总体布局

为了完成任务,任何一种UUV必须包含动力装置、推进器、控制器、导航设备、探测设备、通信设备和武器装备这7个基本模块。图4所示为典型的UUV总体布局图,第1层是头部,装载前视声纳和声音通信系统等设备;第2层是配电模块;第3层是能源舱,目

前通常是银-锌电池;第4层是从动机舱,装载卫星通信和侧扫声纳等设备;第5层是压载舱,装载泵、阀等设备;第6层是任务舱,装载武器及其控制等设备;第7层是尾部,为螺旋桨舱。

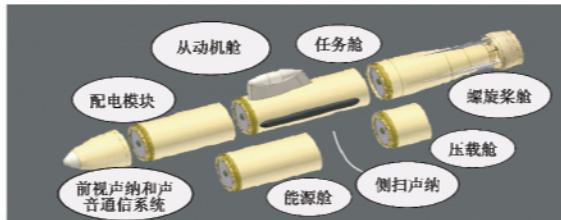


图4 典型UUV的总体布局图

Fig. 4 General arrangement for a typical UUV

3 UUV 若干关键技术分析

3.1 能源问题

目前,多数UUV采用动力电池,原因是其具有使用简便、隐蔽性好、不受背压影响等优势。但动力电池性能难以满足要求是UUV技术发展的主要瓶颈之一。现有UUV的续航能力较差,在25 kW工作的时间一般为3~60 h^[10]。

目前,用于UUV的一次电池有锂/亚硫酸氯电池,二次电池有锌/银电池、锂离子电池、锂/聚合物电池,半燃料电池有铝/双氧水电池、铝/氧电池,燃料电池有PEM电池^[11-12]。

但现有的动力电池实际比能量不高,而且由于理论比能量较低,实际比能上升的空间有限,不能满足UUV发展的长远要求。因此,研发具有运行寿命长、工作电流大、比功率高、比能量和能量效率高、无污染的燃料电池是UUV发展的关键问题。

3.2 水下通信问题

水下通信分为有线和无线通信两种。对于多UUV通信系统来说,有线通信不是很现实,需要采用无线通信的方式。水下无线通信的传播媒介是水,目前的相关研究表明水下无线通信方式主要有电磁波(超短距离)、声波、激光等方式,水对电磁信号具有强烈的吸收作用,使得水下通信中电磁波的应用受到了很大的限制,相比之下,声波在水下的传输要相对容易。考虑到使用的有效性、通用性和成本,多UUV通信系统多采用声波通信。

目前,水下通信所具有的条件下无法实现固定的基站,使之形成一个类似于陆地上的无线电话通信系统。采用水声通信技术使得通信的速率远比陆地无线通信要小很多,且通信延迟要大很多,每个UUV可以使用的带宽资源非常有限。

国外方面,英国伯明翰大学的“BASS300”采用

DPSK,在10 Hz带宽内,通信速率可达10 kb/s和20 kb/s^[13-14]。美国夏威夷大学研制开发中的“UH Modem”系统,应用TCM网格编码调制技术,在20 kHz带宽内,1 km的作用距离内,预计的数据传输率为40 kb/s。但是,目前商业无线水声调制解调器的有效数据传输速率在20 kb/s以内,发送功耗一般在1 km以内,小于10 W,接收功耗小于1 W,总的带宽在几十千赫兹到几百千赫兹。通信速率为20 kb/s左右,时间延迟约为0.667 s/km^[15-16]。

在国内,水声遥测和通信的研究起步较晚,近年来取得了较大的发展。国内多家单位进行水声通信、水下探测精确定位和目标识别等方面的研究,均有较好的研究基础。例如,中国科学院完成了一种远距离低速率水声数字通信试验,传输距离可达30~100 km,传输速率为每秒1个汉字(16 bit)左右;厦门大学目前拥有的技术可实现水下图像、语音信号和数据等信息传输,2003年研制成水声语音通信机,在水深8~20 m的浅海水平信道中,通信距离达12 km^[17-18]。

文献[19]采用了复杂的多维编码技术来克服水声信道的多径干扰,系统较为复杂,实验表明达到了300 b/s的可靠信息传输速率^[19];文献[20]采用了MFSK调制实现了在8 km的水平距离上分别以8 kb/s和12 kb/s的速率传输图像信号和语音信号,取得了较好的效果^[20];某研究所取得的水声通信的指标分别为:波特率300 b/s、通信距离30 km、误码率10⁻⁴和波特率1200 b/s、通信距离5 km、误码率10⁻⁴,时间反转通信实验成功地实现了2400 b/s的技术指标^[20]。总体来讲,国内水声遥测和通信研究及装备远落后于西方发达国家,不能满足军事应用的要求。

由于UUV的通信受到多方面的限制,一般多UUV不适合大间距、多数量的情况,因为这样会影响UUV之间的信息交流和信息共享,最终导致多UUV系统任务无法完成,因此,解决UUV水下通信问题是UUV发展的一个重点和难点。

3.3 其他问题

UUV的发展不仅受能源和水下通信技术发展的限制,以下几个关键技术也是未来AUV发展中亟待解决的问题。

1) 导航问题。目前及未来的一段时间,可能应用的水下导航方式主要有惯性导航系统(INS)、航位推算、卫星或无线电(如GPS、BD、GLONASS等)、光学、声学、地形相关导航等。但单独使用INS并不能满足较长时间、较远距离航行的需要;结合多普勒速度声纳(DVS)的导航会受到DVS探底深度及海洋环境的限制;卫星无线电导航在水下无法进行;光学导航适用范

围有限且误差会累积;声学导航受到适用区域及海洋环境影响限制;地形相关导航技术远未成熟,适用范围及精度有限。

2) 控制问题。设计水下航行器控制系统所面临的主要困难有:系统模型具有高度非线性、时变、强耦合等特点,流体动力学参数不确定,波浪和海流的随机扰动,航行过程中的重心和浮心变化等。因此,要求控制系统具有较强的鲁棒性,以克服外界的干扰和动态模型的未建模不确定性,并具有自校正的能力,以适应运行过程中的动态特性和水下环境变化。另外,从工程应用的角度考虑,水下航行器的控制系统不能过于复杂,必须能够通过其自身携带的计算机在线实时实现。显然,控制算法的完备性和简单性是相互矛盾的,设计者必须折衷考虑。

3) 水下探测技术问题。水下探测技术是开发利用海洋过程中需要面对的另一个问题,它是通过声学、光学和电磁学等手段,利用声纳、水下电视和磁探仪等设备对水下目标进行探测、观察与识别的过程。UUV 作为一个水下目标探测的工作平台,安装声纳、磁探仪等探测仪器后,能够在水下进行全方位、连续的观测和作业,可以在水下长时间稳定地工作。水下探测技术的提高,对 UUV 在水下工作环境提供了一对“眼睛”,从而提高 UUV 的工作能力,是未来 UUV 发展的一个重要技术攻关课题。

4 结束语

UUV 作为一种海上力量倍增器,在未来海战中有不可替代的作用。本文详细分析了国内外 UUV 的研究现状和发展趋势,对 UUV 的外形和总体布局做了描述,在此基础上指出了 UUV 发展的主要技术瓶颈——能源和水下通信等问题。能源方面,目前研制的 UUV 在 25 kW 工作的时间为 3 ~ 60 h;水下通信方面,目前的水下有效数据传输率为 2 ~ 20 kb/s,这些数据将在今后多 UUV 编队执行任务打下坚实的基础。

参考文献

- [1] 陈强,张林根. 美国军用 UUV 现状及发展趋势分析[J]. 舰船科学技术,2010,32(7):129-134.
CHEN Q,ZHANG L G. Analysis of current situational development trend of US military UUV[J]. Ship Science and Technology,2010,32(7):129-134.
- [2] 王蓬. 军用 UUV 的发展与应用前景展望[J]. 鱼雷技术,2009,17(1):5-9.
WANG P. Current development status and future application of navy UUVs[J]. Torpedo Technology,2009,17(1):5-9.
- [3] RICHARD B. The development of Autonomous Underwater Vehicles(AUV): A brief summary [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea,2001:1-12.
- [4] CHEN Q,LIU J B. Analysis of shape and general arrangement for a UUV[J]. Journal Marine Science and Application,2011,10(1):121-126.
- [5] WANG Y H,SHI X H,WANG P. Dynamical response analysis of incautious water entry of UUV based on exact body shape approach[C]//WCICA the 7th World Congress on Control and Automation,Chongqing,2008:4876-4880.
- [6] WANG P,SONG B W,WANG Y H. Application of concurrent subspace design to shape design of autonomous underwater vehicle software engineering [C]//Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing SNPD,Qingdao,2007:1068-1071.
- [7] STEVENSON P,FURLONG M,DORMER D. AUV shapes-combining the practical and hydrodynamic considerations [C]//OCEANS 2007-Europe,Aberdeen,2007:1-6.
- [8] GORNAK V,INZARTSEV A,LVOV O,et al. MMT 3000-small AUV of new series of IMTP FEB RAS [C]//IEEE OCEANS 2006,Bostonn,2006:1-6.
- [9] KUAN M T,LIDDY T,ANVAR A,et al. The advancement of an Autonomous Underwater Vehicle(AUV) technology [C]//Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2008, 3rd IEEE Conference,Singapore,2008:336-341.
- [10] 蔡年生. UUV 动力电池现状及发展趋势[J]. 鱼雷技术,2010,18(2):81-87.
CAI N S. Review of power battery for UUV with development trends[J]. Torpedo Technology,2010,18(2):81-87.
- [11] 毛示旻,刘建国,邹志刚. 直接硼氢化钠/双氧水燃料电池研究[J]. 电源技术,2008,32(12):827-831.
MAO S M,LIU J G,ZOU Z G. Elementary study of a direct borohydride/H₂O₂ fuel cell[J]. Electric Source Technology,2008,32(12):827-831.
- [12] FEMANDES P,STEVENSON P,BRIERLEY A. Autonomous underwater vehicles future platforms for fisheries acoustic[J]. ICES Journal of Marine Science,2003,60(3):684-691.
- [13] 孟宪松,张铭钧. 多水下机器人系统合作与协调技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2005.
MENG X S,ZHANG M J. Research on technologies of coordination and cooperation for multiple autonomous underwater vehicle system [D]. Harbin:Harbin Engineering University,2005.

- calibration of star sensors[J]. Aerospace Shanghai, 2008 (3):6-10.
- [8] 钟兴,金光,王栋,等. CMOS 星敏感器焦平面装配及标定[J]. 光电工程,2011,38(9):1-5.
ZHONG X, JIN G, WANG D, et al. Focal plane assembly and calibrating of CMOS star sensor[J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(9):1-5.
- [9] 邢飞,董瑛,武延鹏,等. 星敏感器参数分析与自主校正[J]. 清华大学学报:自然科学版,2005,45(11):1484-1488.
XING F, DONG Y, WU Y P, et al. Star tracker parametric analysis for autonomous calibration[J]. Journal of Tsinghua University: Science & Technology, 2005, 45(11):1484-1488.
- [10] 张靖,朱大勇,张志勇. 摄像机镜头畸变的种非量测校正方法[J]. 光学学报,2008,28(8):1552-1557.
ZHANG J, ZHU D Y, ZHANG Z Y. Nonmetric calibration of camera lens distortion [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(8):1552-1557.
- [11] 陆敬辉,王宏力. 三角形内切圆的星图识别算法[J]. 红外与激光工程,2011,40(4):752-756.
LU J H, WANG H L. Star pattern identification algorithm by triangle incircle [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(4):752-756.
- [12] 刘朝山,黄欣,刘光斌. 凸多边形星图识别算法[J]. 光电工程,2004,31(9):7-25.
LIU C S, HUANG X, LIU G B. Convex polygon star pattern identification algorithm [J]. Opto-Electronic Engineering, 2004, 31(9):7-25.
- (上接第49页)
- [14] 魏惠梅,许文海. 水声通信系统关键技术研究[D]. 大连:大连海事大学,2009.
WEI H M, XU W H. Study on the technology in underwater acoustic communication system [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009.
- [15] 齐刚. 水声设备研究[J]. 声学学报,2006,6(1):61-65.
QI G. Research on underwater acoustic equipment [J]. Acta Acustica, 2006, 6(1):61-65.
- [16] SCHWEBER B. Underwater modem meets the challenge of a difficult channel—but slowly[J]. EDN, 2001, 46(1):39-40.
- [17] 蔡惠智,刘云涛,蔡慧,等. 水声通信及其研究进展[J]. 物理,2006,35(12):56-61.
CAI H Z, LIU Y T, CAI H, et al. Acoustic communication and its recent progress[J]. Physics, 2006, 35(12):56-61.
- [18] 戴荣涛,王青春. 现代水声通信技术的发展及应用[J]. 科技广场,2008(8):67-75.
DAI R T, WANG Q C. The development and application of modern underwater acoustic communications [J]. Science Mosaic, 2008(8):67-75.
- [19] 朱彤. 基于正交频分复用的水声通信技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2004.
ZHU T. The study of UWA communication technology based-on orthogonal frequency division multiplexing [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2004.
- [20] 许克平,王天增,许茹,等. 基于水声的水下无线通信研究[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2001(2):42-45.
XU K P, WANG T Z, XU R, et al. Underwater acoustic wireless communications [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science Edition, 2001(2):42-45.

声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司等在其网络平台和系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文,著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我部上述声明。