

一种智能水下机器人进行大范围海洋环境监测的方案与实验

李 晔^{1,2}, 庞永杰^{1,2}, 唐旭东^{1,2}

(1. 哈尔滨工程大学 水下智能机器人技术国防科技重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工程大学 船舶工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 采用智能水下机器人进行海洋环境的立体监测具有监测范围广, 自主性强的特点。本文在探讨世界各国采用智能水下机器人进行海洋环境监测的情况的基础上, 介绍了自主研发的智能水下机器人海洋大范围环境数据的自主采集系统, 其主要优点是: 相对于其他机器人, 可实现“大范围”海洋环境数据的采集; 相对于固定式浮标, 可实现海洋环境数据的“自主”采集。并给出了自主采集流程和软件分层递阶体系结构。在真实海域中, 采用智能水下机器人, 进行了国内首次大范围环境数据采集实航实验。实验结果表明采用智能水下机器人进行海洋环境的立体监测是切实可行的。

关键词: 智能水下机器人; 海洋环境; 监测; 数据采集

中图分类号: P715.5, P761 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2009)04-0012-05

Design and experiment of an autonomous underwater vehicle for monitoring large-scale marine environment

LI Ye^{1,2}, PANG Yong-jie^{1,2}, TANG Xu-dong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Autonomous Underwater Vehicle, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. College of Ship Building Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Autonomous underwater vehicle (AUV) can be used for monitoring three-dimensional marine environment, thanks to its characters of covering large area and strong automation. The authors introduce marine monitoring technology by AUV in the world, and then present their own autonomous marine monitoring system. The system has two advantages: it can cover larger area than other AUVs and collect more autonomous data acquisition than a fixed float meter. The scheme of data acquisition, the procedure of autonomous acquisition and layered software architecture are given. The large-area field trial is first carried out in China, which shows that marine environmental three-dimensional monitoring by AUV is practical.

Key words: autonomous underwater vehicle; ocean environment; monitor; data acquisition

21 世纪将成为海洋世纪, 海洋将成为人类探索和开发的重要领域。对海洋环境的了解在开发海洋和保卫海洋中起着基础性的作用^[1-3]。海洋中的风、浪、流环境, 以及温度和盐度的分布规律等环境水文信息对于海洋渔业、海洋运输和海洋矿业开发等具有重要意义。因此, 随着科学技术的发展, 人们迫切需要了解比大气更为复杂的海洋, 广泛地开展海洋现场的环境数据测量, 并把测得的数据处理、分析其规律、建立数据库。

在海洋环境数据测量中, 采用的方法可以分为两大类: 一类是采用浮标、潜标或拖曳式平台, 根据不同的任务在上面安装不同的测量模块; 另一类是利用水下机器人作为监测平台。智能水下机器人 (Autonomous Underwater Vehicles, AUV) 的出现使海洋勘察和测量发生了革命性的变化, 使得人们有可能完整地、系统地了解地球海洋的运动过程。西方发达国家已经开展利用 AUV 进行海洋环境监测的研究工作。这种自主式无人监测平台可以自由地

收稿日期: 2008-10-09; 修订日期: 2008-11-27

基金项目: 国家 863 计划 (2008AA092301); 中国博士后科学基金资助项目 (20080440838); 黑龙江省博士后资助项目; 哈尔滨工程大学基础研究基金资助 (HEUFT08001, HEUFT08017)

作者简介: 李 晔 (1978—), 男, 河北省秦皇岛市人, 副教授, 博士, 研究方向为水下机器人操纵与控制技术。E-mail: liye@hrbeu.edu.cn

到人们最关心的海区或复杂的环境中进行监测，因而能够大大地减少测试成本。

1 国内外研究情况

2003年，美国海军研究局（ONR）开展了AOSN II（Autonomous Ocean Sampling Network II）的研究工作。普林斯顿大学成功开发出了利用类似滑翔机原理的水下滑翔机器人^[4]，它借助改变自身浮力和重心在水下做滑翔运动，具有航行阻力小、能源利用率高、航行距离大的特点。普林斯顿大学在单机器人成功进行环境采样实验后，2003年在Monterey海湾进行了多机器人协作自适应环境采样的实验^[4]，取得了成功。与此同时，美国Nekton研究机构利用其研制的“巡逻兵”小型机器人进行了协作测定水域盐度变化的实验^[5]。实验结果证明了采用多机器人联合作业方式更加有利于环境监测工作的开展。2005年，美国加州理工大学的科学家利用REMUS-100型AUV，监测了佛罗里达西海岸的有毒海藻以及海藻生长所必需的环境要素^[6]，如盐度、温度、叶绿素浓度、洋流大小等。实验认为利用AUV作为海洋环境观测系统可以有效地早期预报有毒藻类等的灾害性繁殖。美国阿拉斯加州北部的普拉德霍湾，是北美著名的石油和天然气产区。但随着开采进展，海水中的悬浮物大量增加。由于海水浊度的增加，水下的光照减少，有可能对海洋生物造成灾害性影响。为了调查这一水域的水质状况，佛罗里达工业学院的水下科技实验室开发了普拉德霍湾级AUV，用于冰层下的水质监测，包括导电率、温度、深度和混浊度数据^[7]。

日本东京大学等机构联合研制的“淡探”号水下机器人装备了深水显微镜和“温盐深”传感器等，用于湖泊和海洋的环境监测^[8]。长2m，重180kg，水中最大速度2节（1节=0.5144m·s⁻¹）。它有两个主要任务：1）利用深水显微镜监测变温层的浮游生物分布；2）利用温盐深监测深水层的水质。相关实验已经在日本本州岛中西部的琵琶湖开展。

加拿大的研究人员开发了ARCS级水下机器人，用于应对海洋石油开采中的泄漏问题^[9]。他们采用了“温盐深”和 underwater 化学物质探测装置，对纽芬兰岛和拉布拉多地区海域的二甲基硫化物等泄漏物质进行了监测。

中科院沈阳自动化所开发了可用于大范围水下环境监测的水下滑翔机器人^[10]，进行了理论分析

和设计工作，并开发出了原理样机。2005年10月，研制的水下滑翔机器人样机成功进行了湖上试验。中国科学院海洋研究所2005年研制了用于近海海洋环境检测的轻型遥控机器人^[11]，该机器人由智能检测控制台、水下检测器和控制电缆三部分构成。可以检测腐蚀电位、温度、深度等最多16个参数，设计深度为40m。

2 AUV海洋环境数据的自主采集方案

国内目前还没有实现采用真正的智能水下机器人（AUV）来从事大范围海洋环境数据的自主采集。我们自主研发了水下机器人数据采集系统（图1），其主要优点主要是：1）相对于以上提到的机器人，可实现“大范围”海洋环境数据的采集；2）相对于固定式浮标，可实现海洋环境数据的“自主”采集。

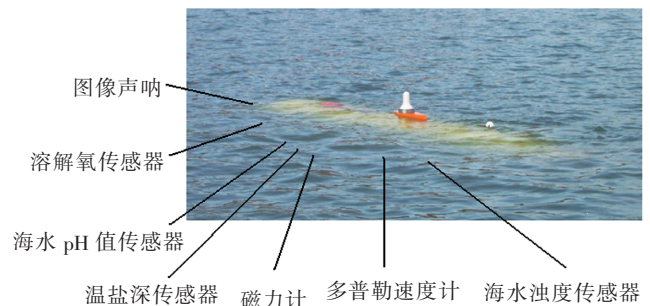


图1 水下机器人数据采集系统的组成

Fig.1 Data acquisition system of AUV

本系统利用智能水下机器人搭载光纤罗经、多普勒流速计、深度传感器、高度传感器、温盐深传感器等；并结合导航定位信息，在水下机器人自主航行的同时，收集记录各个空间点上的海洋环境数据，包括海流的大小与方向、海水的温度变化、盐度变化、以及海洋化学特征的变化等，可实现大范围海洋环境数据的AUV自主式采集与处理。

2.1 AUV海洋环境数据的自主采集流程

AUV海洋环境数据的自主采集系统采用分层递阶体系结构（图2），即任务规划层、路径规划层、运动控制层、数据采集层。其中数据采集层需要引入判断能力，对采集的数据进行简单的一次分析，判断采集数据的满意度。如果不能满足数据采集的基本要求，例如传感器失效，速度过快引起采集数据不完整，水声图像畸变较大，则必须回溯，进行二次采集，直到达到满意度为止。

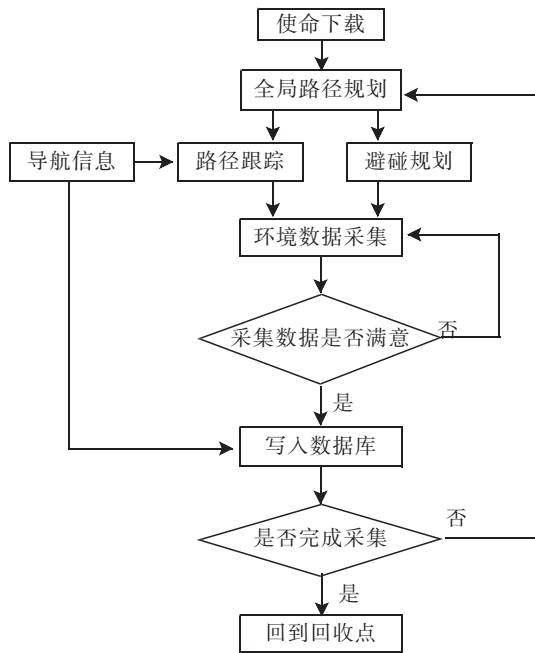


图 2 AUV 海洋环境数据采集流程图

Fig.2 Flow chart of ocean environment data acquisition

2.2 AUV 海洋环境数据的自主采集软硬件结构

AUV 海洋环境数据的自主采集的硬件体系 (图 3、图 4) 采用堆栈式 PC104 总线板卡, 包括 CPU 主模块板、AD/DA 卡、视频采集卡, 多串口卡、电源板等。大多数环境量测传感器与控制计算机采用串行通信, 融合推算导航得到的当前大地坐标 (即经纬度、深度信息), 记录在全局数据库中。由于控制计算机采用的嵌入式系统为美国风河公司的 VxWorks 操作系统, 选用了支持 VxWorks 的嵌入式数据库 Berkeley DB。

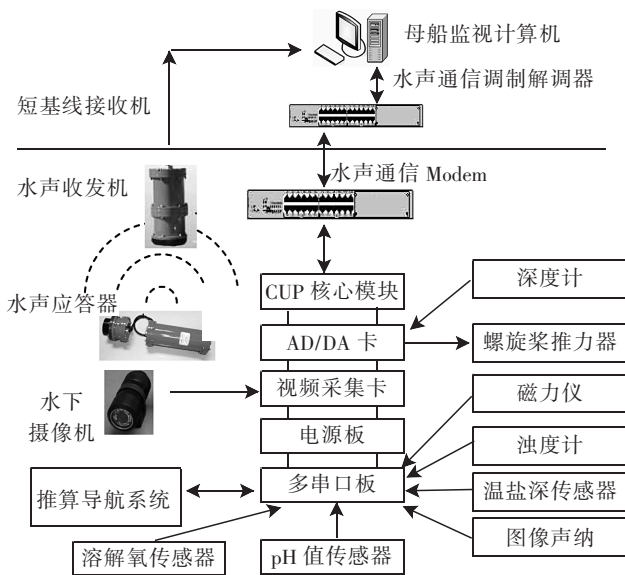


图 3 AUV 海洋环境数据采集硬件体系结构

Fig.3 Hardware architecture of marine environment data acquisition by AUV

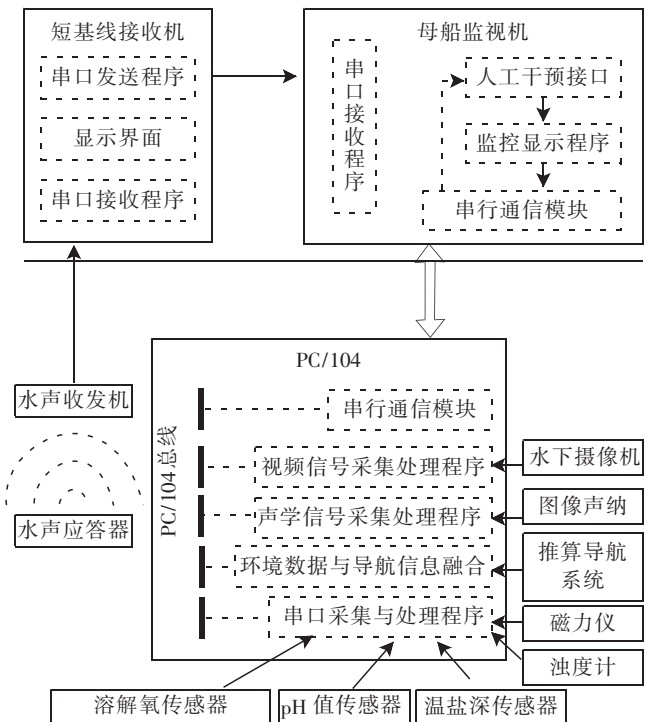


图 4 AUV 海洋环境数据采集软件体系结构

Fig.4 Software architecture of marine environment data acquisition by AUV

3 实航验证

为了考核海洋环境数据采集系统总体性能, 2005 年 6 月, 历时 30 天, 在蓬莱市以北, 以 120.9°E、37.9°N 为中心, 半径约为 12km 的海域上进行了海上试验。

在本次试验中, AUV 控制系统的硬软件全部下载到水下系统中, 在监控船上只保留了一台监控计算机, 以便在必要时进行人工干预。试验重点调试、验证了 AUV 系统在复杂海洋情况下的自主航行能力、自主海洋环境数据采集能力。采用锂电池作为能源, AUV 系统在复杂的海洋情况下, 自主航行 (同时自主避障) 了约 110km, 能源消耗了 2/3。根据所剩能源估算, 该 AUV 系统所具有的航行能力估计在 150km 左右。长距离自主航行试验中, 在抵抗大潮汐流干扰的能力上, 经调试改进后得到了很大提高, 迅速适应了 3—5 节侧向流和海底断层处形成的垂向流的干扰。

在海上试验中, 该型 AUV 机器人利用携带的图像声纳, 温盐深传感器、推算导航装置等完成了对航行路线上 (图 5) 的海水的温度、盐度、海流速度、测量点的深度和距离海底的高度等海洋环境数据的自主采集 (图 6), 体现了一个具有自主性和机动性的数据采集平台的功能。

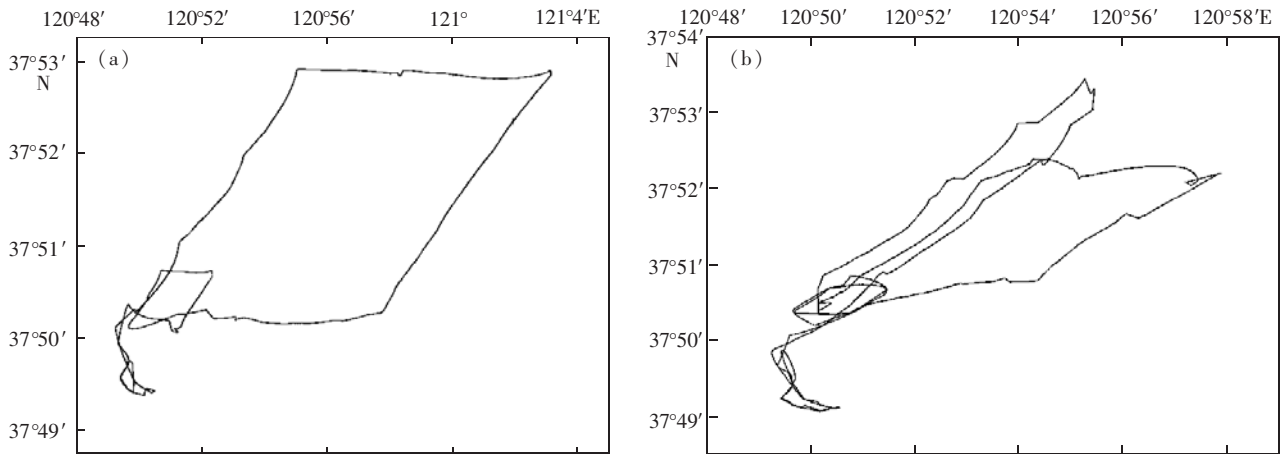


图 5 自主航行路线图

(a) 航行 81km; (b) 航行 110km

Fig.5 Map of autonomous navigation

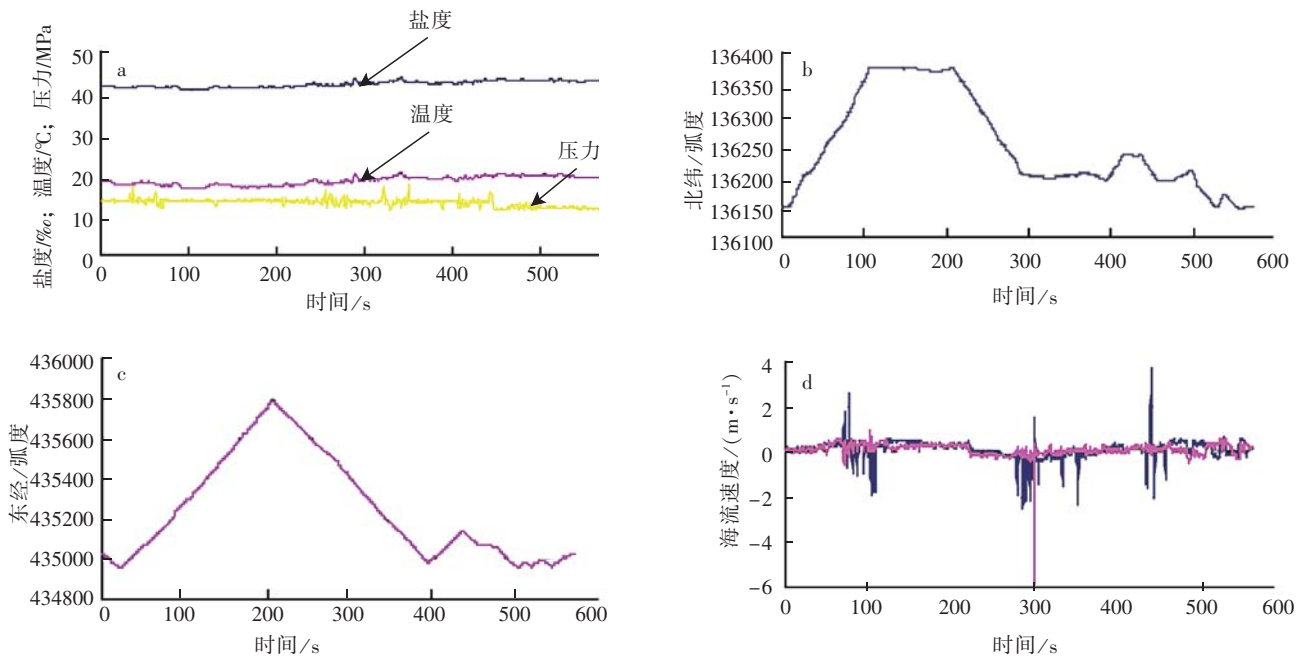


图 6 自主采集记录的海洋环境数据片段

a. 温度、盐度、压力数据片段; b. 对应航行纬度; c. 对应航行经度; d. 海流流速数据片段

Fig.6 Marine environment data segment by autonomous acquisition

4 结论

智能水下机器人体积较小，灵活机动。可以携带重要的传感器到达重要的区域，在周围数十或近百公里的水下空间进行自主探测，获得大范围的海洋环境水文信息，这对于未来的海洋研究与开发、海洋环境的变化与厄尔尼诺现象等灾难性天气的相互关系研究等能够提供重要的数据。通过智能水下机器人进行海洋数据采集，可以大大缩短在该领域与世界先进水平的距离，并形成具有特色的海洋环境数据采集系统。

参考文献：

[1] WENNER P G, BELL R J, VAN AMEROM F H W, et al. Environmental chemical mapping using an underwater mass spectrometer[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2004, 23 (4): 288—295.

[2] GRITHS G. Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles [M]. New York, USA: Spon Press, 2003, 245—260.

[3] ERIKSEN C C, OSSE T J, LIGHT R D, et al. Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2001, 26 (4): 424—436.

- [4] FIORELLI E, LEONARD N E, BHATTA P, et al. Multi-AUV Control and Adaptive Sampling in Monterey Bay [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2004, 31 (4): 935—948.
- [5] SCHULZ B, HOBSON B, KEMP M, et al. Multi-UUV Missions Using Ranger MicroUUVs[C]//13th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, New Hampshire: Autonomous Undersea Systems Institute, 2003.
- [6] ROBBINS I C, SEVADJIAN J. Monitoring and Mapping Toxic Blooms of *Karenia Brevis* on the West Coast of Florida[C]//14th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, New Hampshire: Autonomous Undersea Systems Institute, 2005.
- [7] FREY C, BUIST L, KAY A, et al. Development of an Autonomous Underwater Vehicle for Sub-Ice Environmental Monitoring in Prudhoe Bay, Alaska[C]//OCEANS 2003. Proceedings, San Diego, USA, March 2003, 1161—1173.
- [8] KUMAGAI M, URA T, KURODA Y, et al. New AUV Designed for Lake Environment Monitoring[C]//Proceedings of the 2000 International Symposium on Underwater Technology, 23—26 May 2000, 78—83.
- [9] PENNELL V, VEITCH B, HAWBOLDT K, et al. Use of Autonomous Underwater Vehicle for Environmental Effects Monitoring [C] //13th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, New Hampshire: Autonomous Undersea Systems Institute, 2003.
- [10] 俞建成, 张奇峰, 吴利红, 等. 水下滑翔机器人系统研究[J]. 海洋技术, 2006, 25 (1): 6—10.
- [11] 孙虎元, 孙立娟, 侯保荣, 等. 用于近海海洋环境检测的轻型机器人[J]. 海洋技术, 2005, 24 (1): 10—13.