

文章编号: 2095-4980(2019)04-0698-06

水面自主艇平台总体技术

赵 苗, 冯文川

(中电科海洋信息技术研究院有限公司, 北京 100041)

摘 要: 水面无人艇(USV)及相关技术由于在战略和应用层面上的重要意义, 近年来得到飞速发展。通过无人平台逐步代替有人船只已成为业内共识的未来发展方向。水面自主艇为中电科海洋信息技术研究院研制的水面无人艇产品, 本文以该产品为例, 分阶段介绍了平台总体技术研究过程、子系统功能与交联关系以及产品使用想定。水面自主艇系统是跨学科、多领域杂糅的产物, 严格遵循应用想定方向, 把握好平台总体技术是项目成功的关键。

关键词: 海洋机器人; 无人艇; 总体技术

中图分类号: TN212

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201904.0698

Platform system technology of Unmanned Surface Vessel

ZHAO Zhuo, FENG Wenchuan

(Ocean Information Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100041, China)

Abstract: The Unmanned Surface Vessel(USV) technology has much rapid development in recent years, due to its important military and civilian significance. Using USV to replace manned platform on the ocean is the future trend. The USV made by Ocean Information Co. Ltd., China Electronics Technology Group Corporation(CETC) is mainly introduced, including system design, sub-systems and production use-cases. USV is an interdisciplinary and multi-field system. Strictly following the direction of the application demand, and controlling the platform system technology are the key to the success of the project.

Keywords: maritime robotics; Unmanned Surface Vessel; system technology

传感器技术、网络技术、通信技术、控制技术以及仿真模拟技术的发展与提升, 解决了无人平台技术研发的多项瓶颈。民用领域中, 借助无人平台开展的信息感知、水文测量、地貌测绘、应急救援等应用的相关需求呈稳步增长态势^[1]。军用领域中, 海军在反水雷、反潜、海上安防、水面战以及电子战等相关应用中, 无人艇具备得天独厚的优势。得益于相关技术的发展, 民用、军用领域的强烈需求, 以及诸多海上工程问题的有效解决, 无人艇及相关技术的不断成熟, 将逐步催生出一批具备科研以及实际应用价值的产品^[2]。无人艇由于工作环境复杂, 同时作为多种技术相融合、跨领域程度高的平台产品, 其体系化总体技术集成难度高。本文以水面自主艇的研制工作为例, 提出一种无人艇体系化设计思路, 从体系架构、总体技术方案、无人艇关键技术等多方面阐述总体技术研究^[3]。

1 水面自主艇需求分析

水面自主艇作为综合性水面无人平台, 平台总体设计初期需根据终端用户需求, 明确平台航行动力、机械结构接口需求、总体设备供电需求、通信能力等指标。水面自主艇需具备海上自主航行以及避碰能力, 以及搭载水面、水下多种传感设备的能力。水面自主艇未来航行海域主要位于南海海域, 由于南海每年台风较多, 且海况恶劣, 水面自主艇需具备自扶正能力^[4]。

1.1 任务系统需求分析

考虑到水面自主艇未来可根据不同任务场景需求搭载相应设备, 实现通用平台多种特种任务功能, 水面自主艇应具备水面任务系统与水下任务系统作业环境。

常用的水下探测设备包括声学多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP)、多波束和水下语音通信声呐等设备。水面自主艇还可搭载目前行业内比较先进的三维成像声呐, 进一步提升平台探测能力。在水面自主艇设计阶段, 应充分考虑到上述设备的软硬件接口。

此外, 由于当前海上局势复杂, 水面自主艇在未来还应起到海上安防、情报侦查与监视、海上缉私等作用。因此, 水面自主艇的水面任务系统应包含完善的视觉采集系统、声音采集系统以及扬声器等设备。

1.2 感知系统需求分析

作为水面无人设备, 水面自主艇应具备自主航行避碰能力, 因此需要无人艇对水面、水下障碍物进行快速高效的探测、识别, 以保障水面自主艇航行过程中的安全。

作为重要的水面任务平台, 水面自主艇在海上执行任务需要具备全面的感知能力。作为平台搭载设备的重要信息输入, 水面自主艇应具备对自身平台状态和周遭环境的感知能力。

1.3 自主导航系统需求分析

由于海上环境复杂, 水面自主艇应具备自主导航能力。除了对远距离航线的全局规划导航外, 还应具备面对海上船只、礁石等障碍物的局部规划。当控制人员对水面自主艇下发一个或多个航行目标点时, 平台需要结合电子海图, 规划出最佳航行路线。在水面自主艇遵循规划航线航行过程中, 难免遇到暗礁、船只、浮标等电子海图上无法体现的障碍物, 这时需要水面自主艇具备局部规划能力, 对感知到的障碍物进行合理的规避。水面自主艇导航系统需结合全局规划和局部规划能力, 对输入进行融合处理, 选择出合适的航线。

1.4 自扶正系统需求分析

由于水面自主艇海上作业环境复杂, 一旦出现艇体倾覆的状况, 对整个平台而言是致命的。因此, 水面自主艇需具备自扶正系统, 以保障生存能力, 并提高突发情况下的二次任务执行能力。

1.5 通信系统需求分析

考虑到未来海上无人化已成为海上平台发展的必然趋势, 能否快速便捷地与其他无人平台形成体系化系统是无人平台能力的分水岭。因此, 水面自主艇除了需要具备基本的通信与数据回传能力, 还需具备快速加入无人设备组网的能力。

2 总体技术方案

2.1 体系架构

水面自主艇采用开放式体系架构, 该架构由多个模块组成, 具有可分割可剪裁、网络上各结点独立于第三方设备又易于与第三方兼容的体系架构。

水面自主艇集水面、水下、环境等多种探测手段于一身, 以高自主性和通用性为设计目标, 以设计规范性、应用适应性、操作灵活性和经济适用性为设计原则, 设计划分为平台层、感知层、传输层和应用层四大模块, 松散耦合但是由总线进行高内聚的开放式体系架构, 如图 1 所示。

在水面自主艇开放式体系架构中, 平台、感知、传输、应用四层进行 IP 化, 由总线进行耦合, 在开发过程中, 严格按照相关标准或协议, 进行分层化、模块化开发。

通过这种分层化模块化设计和开放式架构体系可以使产品变得更加弹性和灵活, 且尽可能地与第三方产品互补兼容, 以达到快速扩展, 满足或响应市场或客户需求的多样化、多变性。

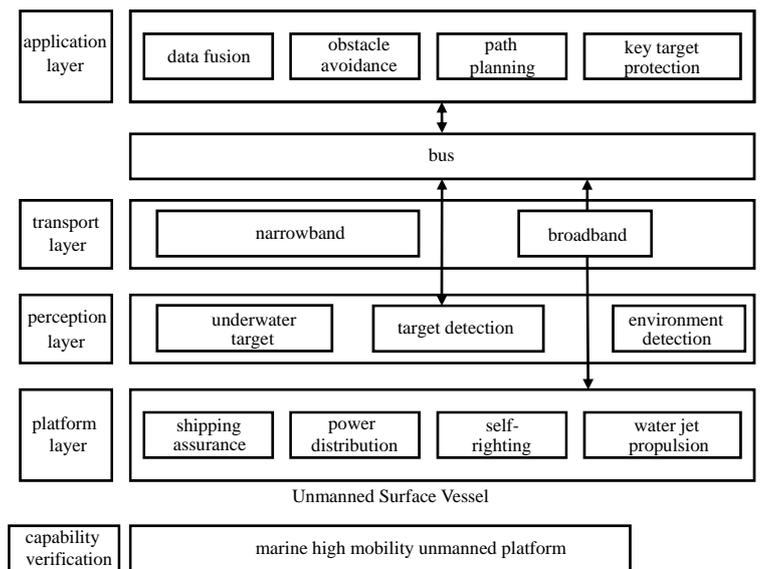


Fig.1 System architecture of USV
图 1 水面自主艇系统逻辑连接图

2.2 设计原则

1) 设计规范性

水面自主艇以机动性、长航时、深海布放的能力为设计思路，参照国内外相关标准，完成整个工程的实施。

2) 应用适应性

水面自主艇应做到“专用平台，通用能力”，设计中力求能适用于各种不同的应用场景。通过可扩展的标准任务接口和额外的供电及信息传输能力，可换装大量能适应不同场景要求的任务装备扩展其适用范围。

3) 操作灵活性

水面自主艇应具备较强的自主能力，充分考虑其自主与人工控制的运动能力。一方面在设计中加强其自主性，充分考虑全局规划与局部规划的异同，在现有避障算法的理论基础上，强化障碍物探测与识别技术和目标判别与跟踪技术，强化其自主控制的灵活性；另一方面在人工控制中，注重可靠性与安全性，同时致力于提高人机交互界面的友好性，使人工操作更加简单易行。使其成为可自主、可操控的灵活任务平台。

4) 经济适用性

水面自主艇应符合标准化和经济性要求。水面自主艇挂载设备应在满足要求的条件下，尽量选择符合国标或国军标的成熟商业化产品，使用标准化接口和标准化零配件，并在同等条件下降低成本，做到同时满足可靠性和经济性的要求。

2.3 水面自主艇系统组成

2.3.1 任务系统

水面自主艇的通用任务平台可以根据不同任务场景需求搭载相应设备，实现任务功能。考虑到水下设备基本有 2 种工作方式：水面接收发射面向下、水面接收发射面向两侧，水面自主艇上设计了 2 个平台，满足各种工作需求的声呐设备进行工作，实现“专用平台、通用技术”。任务系统包括三维成像声呐、ADCP、多波束和 underwater acoustic communication sonar 设备。为实现全自主，在水面自主艇艇底预制一个可升降设备舱，并通过云台法兰盘与设备相连。当行驶到指定海域，水面自主艇可自行升降设备以完成水文数据自主收集^[5]。

2.3.2 感知系统

感知系统包括：艇体自身状态感知、周边环境感知、航行状态感知。通过艇体舱室内摄像头感知艇体内部信息。通过惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, IMU)感知船自身横摆纵摇的姿态、航向信息。通过雷达、光电吊舱、前视声呐等感知艇周边的环境。如图 2 所示，水面自主艇感知系统包含平台状态感知与环境感知两部分。其中平台状态感知是基于光纤惯导、GPS 等姿态位置传感器信息，与平台当前状态进行多元数据融合所得。

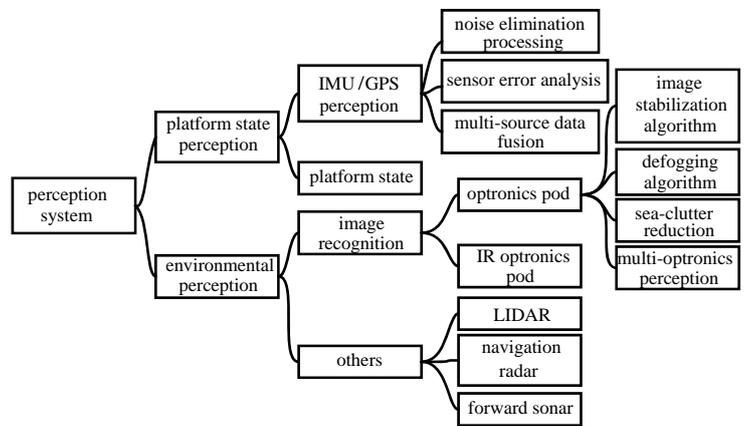


Fig.2 Architecture of USV perception system
图 2 水面自主艇感知系统逻辑连接图

由于海上风浪流较强，为保障水面自主艇航行过程中光电系统稳定性，将光纤惯导数据接入光电吊舱云台，云台可根据水面自主艇姿态完成波浪补偿。光电系统所采集图像则根据防抖、去雾等算法对图像进行优化。夜间作业时，光电吊舱上的红外光电系统可完成对周围环境的热成像感知。此外，水面自主艇上搭载的激光雷达、导航雷达以及前视声呐会根据航行速度的不同，完成环境感知以及障碍物的识别。

2.3.3 自主导航系统

水面自主艇导航系统包含路径规划与迭代规划。

实时规划是通过水面自主艇艇载感知系统感知到的信息完成对周围浮标、暗礁、船只等的避让。根据

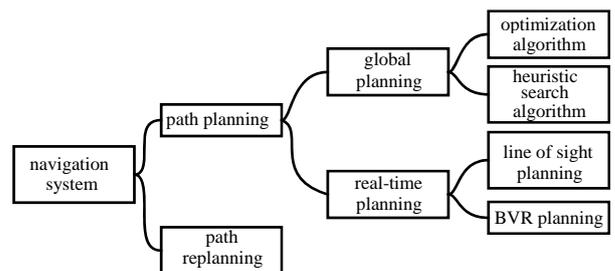


Fig.3 Architecture of USV navigation system
图 3 水面自主艇导航系统逻辑连接图

感知系统中传感器的探测距离划分,通过雷达探测到的较远的障碍物,并对路径进行初步规划。在接近障碍物时,艇载激光雷达、前视声呐等传感器对路径进行近距离精确修正^[6]。全局规划根据水面自主艇当前GPS位置信息与海图数据通过启发式算法完成寻路^[7],如图3所示。最终,航行路径通过全局规划与实时规划所得结果进行数据融合所得,并由自主导航系统进行迭代规划。

如图4所示,水面自主艇通过感知系统获取平台及周围环境状态信息,并将该信息提供给自主导航系统。自主导航系统将平台当前执行任务、平台姿态与其他环境状态信息进行数据融合,并完成路径规划生成航线。控制系统根据自主导航系统航线,对各执行机构下达相应控制指令,以完成水面自主艇自主航行的闭环控制。

2.3.4 自扶正系统

考虑到水面自主艇艇载设备的安全性及海上工作时海况的不确定性,为了保证恶劣海况下的工作能力、安全性和可靠性,水面自主艇采用高海况下的自扶正艇型的设计^[8]。该艇型的优点是恶劣海况下具有生存能力,能在4级海况下保持低速航行,具备自扶正功能,即使被巨浪打翻,仍能够自动翻转并保持发动机工作。

水面自主艇在航行或作业时,由于自身尺度较小而海上风浪变化较大,有可能造成倾覆,所以方案根据抗倾覆原理研究设计了自扶正装置,可以提高艇的浮心使其不易倾覆。即使被海浪倾覆,该装置也可以使水面自主艇自行恢复到正浮状态。

整个自扶正装置采用玻璃钢固定式的方式设计。整个回复过程,涉及到稳性理论和横摇理论。通常意义的自扶正功能要求艇具有在任何方位上保持正力臂的能力,具备从任何位置自动翻转至零位的能力。通过对国内外自扶正艇的性能指标分析,可以发现,决定具备自扶正能力的关键定义是艇的静稳性范围要达到或接近 180° ,即在 $0^\circ\sim 180^\circ$ 范围内都具有正的静稳性臂,否则将不具备自扶正能力^[9]。水面自主艇将采用气囊主动扶正机制,并将姿态触发气囊安装在桅杆上方。

2.3.5 通信系统

通信系统采用编码正交频分复用(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing, COFDM)图传电台、数传电台与北斗卫通相结合的方式。运用高中低速通信手段,并根据数据量选择通信信道。三维成像声呐、光电吊舱所采集的三维、光电及红外图像通过图传电台传输。数传电台与北斗完成平台状态及位置的同步传输。

2.4 水面自主艇使用想定

根据用户需求结合水面自主艇各子系统能力,水面自主艇有信息感知节点和通用无人任务平台2种使用想定。

2.4.1 信息感知节点

水面自主艇海上高机动信息感知节点,具备对水面、水下的目标及环境信息的感知能力。水面自主艇可对水面目标进行实时跟踪,获得其位置、航迹和图像信息,对水下目标能够进行实时声呐成像。水面自主艇还能够收集周边的风向、风速、水文、海底地形等环境信息。其优异的平台耐波性是成为稳定信息感知节点的重要因素。

2.4.2 通用无人任务平台

水面自主艇能够适用于多种应用场景,完成多种不同类型的任务。水面自主艇设计完全采用模块化设计、标准安装接口、面向服务架构,可应对不同任务换装相应的任务设备,开展实时环境监测、水文数据采集、地貌测绘、岛礁补给、应急救援、安防巡逻等任务,真正成为通用的多功能无人任务平台。

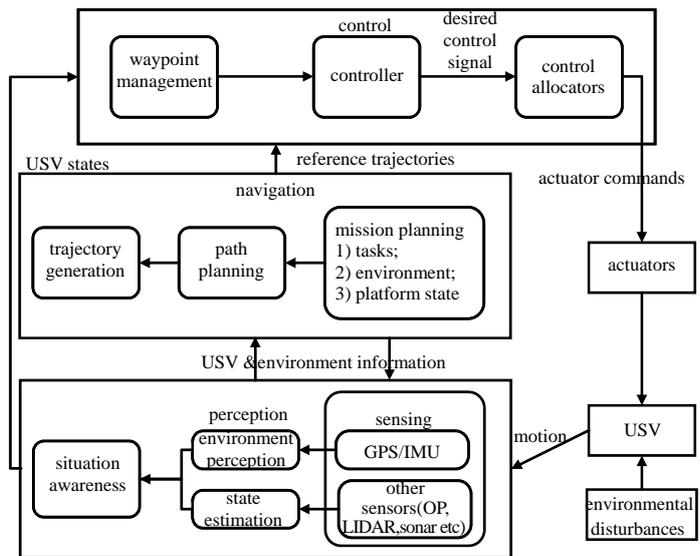


Fig.4 General structure of USV guidance, navigation, and control systems
图4 水面自主艇自主导航控制系统逻辑连接图

3 总体技术指标

平台功能指标: a) 具备基本水面目标探测能力; b) 具有数据传输能力; c) 具有可搭载负载提供电源的能力; d) 具有可搭载负载提供数据接口的能力; e) 具有进水、舱门开启报警的能力; f) 具有定位和避碰能力; g) 具备进水报警能力; h) 具备安装水下语音通信设备能力; i) 具备安装水下多波束测绘声呐能力; j) 具备安装 ADCP 能力; k) 具备安装数据预处理设备的空间。平台物理指标见表 1。

表 1 平台参数
Table 1 Platform parameters

No.	item	specification
1	length/m	11.5
2	loaded displacement/t	≤7
3	form	monomer high state self-righting boat
4	max speed/kN	25(loaded 15 kN)
5	max range/n mile	300
6	structural strength	cruising under 4th state under 15 kN
7	overturn-preventing	self-righting

4 结论

水面自主艇总体技术方案, 从用户需求分析入手, 遵循设计规范性、应用适应性、操作灵活性以及经济适应性等设计原则, 对水面自主艇子系统进行梳理。设计具备顶层视角, 充分考虑子系统间的相互耦合, 对平台任务系统、感知系统、自主导航系统等无人艇关键技术及交联关系进行梳理。最后, 根据用户需求, 结合水面自主艇设计方案, 完成应用想定的规划。水面自主艇作为多领域高度交叉产品, 目前正处于高速发展阶段, 把握好平台总体技术是项目的关键^[10-15]。

参考文献:

- [1] 方书甲. 海洋信息感知与综合传输网络[J]. 舰船科学与技术, 2005(2):5-8. (FANG Shujia. Ocean Information and integrated transmission network[J]. Ship Science and Technology, 2005(2):5-8.)
- [2] 李润培. 建设珠海海洋工程装备制造基地的研究[J]. 船舶经济贸易, 2002(4):18-20. (LI Runpei. Research of Zhuhai ocean engineering and equipment manufacturing base construction[J]. Ship Economy & Trade, 2002(4):18-20.)
- [3] 徐玉如, 苏玉民, 庞永杰. 海洋空间智能无人运载器技术发展展望[J]. 中国舰船研究, 2006, 1(3):1-4. (XU Yuru, SU Yumin, PANG Yongjie. Expectation of the development in the technology on ocean space intelligent unmanned vehicles[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2006, 1(3):1-4.)
- [4] 吴俊松, 张志国, 吴传涛. 自扶正船性能探索分析[D]. 无锡: 海洋出版社, 2012. (WU Junsong, ZHANG Zhiguo, WU Chuantao. Analysis of Self-righting Boat performance[D]. Wuxi, China: China Ocean Press, 2012.)
- [5] 桑恩方, 张小平, 苏龙滨. 三维成像声呐的设计与实现[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003, 24(3):241-244. (SANG Enfang, ZHANG Xiaoping, SU Longbin. Design of 3D imaging sonar[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2003, 24(3):241-244.)
- [6] 庄佳园, 苏玉民, 廖熠雷, 等. 基于航海雷达的无人艇局部路径规划[J]. 上海交通大学学报, 2012(9):1371-1375. (ZHANG Jiayuan, SU Yumin, LIAO Yilei, et al. Unmanned surface vehicle local path planning based on marine radar[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2012(9):1371-1375.)
- [7] 邱磊. 基于 A*算法的游戏地图巡逻实现及性能比较[J]. 山西科技大学学报, 2011, 29(6):89-93. (QIU Lei. A* algorithm based on the game map pathfinding implementation and performance comparison[J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology, 2011, 29(6):89-93.)
- [8] 高家镛. 船舶稳性研究的现状及展望[J]. 上海造船, 2003(1):15-17, 24. (GAO Jiayong. Current situation and prospect of ship stability research[J]. Shanghai Shipping, 2003(1):15-17, 24.)
- [9] 付勤业. 自扶正救生艇的探讨[J]. 船舶标准化工程师, 2009(1):33-36. (FU Qinye. Discussion about Self-righting Lifeboat[J]. Ship Standardization Engineer, 2009(1):33-36.)
- [10] MANLEY Justin E. Unmanned surface vehicles, 15 years of development[C]// Oceans 2008. Conference Location: Quebec City, 2008. doi:10.1109/OCEANS.2008.5289429.
- [11] VOLKER Bertram. Unmanned surface vehicles—a survey[J]. Skibsteknisk Selskab, 2008(1):1-14.
- [12] YAN Rujian, PANG Shuo, SUN Hanbing, et al. Development and missions of unmanned surface vehicle[J]. Journal of Marine Science and Application, 2010, 9(4):451-457.
- [13] MASSIMO Caccia, MARCO Bibuli, RICCARDO Bono, et al. Basic navigation, guidance and control of an unmanned surface vehicle[J]. Autonomous Robots, 2008, 25(4):349-365.

(下转第 715 页)