

# 基于卫星通信和无人船的海洋监测技术研究

梁娟<sup>1,2</sup>, 史文华<sup>2</sup>, 杜朝<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学 自动化学院, 南京 210094; 2. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

**摘要:** 海洋监测技术已列为我国中长期科技发展纲要中优先发展的前沿技术; 随着定位、导航、控制等相关技术的快速发展, 搭载多种传感器的无人船, 可在近、中、远等不同海域长时间自主工作, 连续进行数据采集; 随着卫星通信技术的发展, 长期困扰海洋监测设备的通信问题, 出现了越来越多的解决方案; 结合智能控制的无人船传感器平台, 基于新一代卫星通信技术构建全球测控网络, 基于大数据技术实现海洋监测数据存储、处理、分析等工作的自动化, 基于互联网技术的最新成果, 建立海洋监测数据的服务框架, 提出了一套全新的海洋监测及数据应用的解决方案。

**关键词:** 卫星通信; 无人船; 海洋监测; 数据服务

## Research on Marine Monitoring Technology Based on Satellite Communication and Unmanned Surface Vessel

Liang Juan<sup>1,2</sup>, Shi Wenhua<sup>2</sup>, Du Zhao<sup>2</sup>

(1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Marine monitoring technology has been listed as the frontier technology in China's medium and long-term scientific and technological development program. With the rapid development of positioning, navigation and control technologies, USV (unmanned surface vessel) with multiple sensors can work independently for a long time in different sea areas, such as near, medium and far, and continuously collect data. With the development of satellite communication technology, there are more and more solutions to the communication problems that have puzzled the marine monitoring equipment for a long time. Combining with intelligent control USV sensor platform, builds global TT&C network based on new generation satellite communication technology, realizes automation of ocean monitoring data storage, processing and analysis based on big data technology, establishes service framework of ocean monitoring data based on the latest achievements of Internet technology, and proposes a new solution of ocean monitoring and data application.

**Keywords:** satellite communication; unmanned surface vessel; marine monitoring; data service

## 0 引言

我国是海洋大国, 有三百多万平方公里的专属经济区和一万八千多公里的海岸线, 海洋环境监测已经列入国家中长期科技发展纲要<sup>[1]</sup>。海洋监测技术作为海洋科学和技术的重要组成部分, 在维护海洋权益、开发海洋资源、预警海洋灾害、保护海洋环境、加强国防建设、谋求新的发展空间等方面起着十分重要的作用<sup>[2]</sup>。

目前, 海洋监测活动门槛较高, 通常由大专院校、科研院所、军事单位、国家单位等组织进行。海洋监测数据的采集、传输、存储、处理、应用等工作由隶属于特定单位的专业团队进行。各单位之间, 各团队之间, 因为缺乏必要的共享机制, 导致在数据获取层面, 缺乏兼具通用性和高水平的海洋监测和数据采集设备; 在数据传输层面, 缺乏全球覆盖且 24 小时不间断的高速通信解决方案; 在数据存储与处理层面, 缺乏具有较强通用性的解决方案; 在数据应用层面, 缺乏能覆盖不同级别用户、不同级别海洋

监测数据需求, 被人们广泛认可的海洋监测数据应用平台。

本文以智能控制的无人船为传感器平台; 基于新一代卫星通信技术构建全球测控网络; 基于大数据技术实现海洋监测数据存储、处理、分析等工作的自动化; 基于互联网技术的最新成果, 建立海洋监测数据的服务框架; 提出了一套全新的海洋监测及数据应用的解决方案。

## 1 系统架构

总体看来, 海洋监测数据从产生到应用, 需要在图 1 所示的诸多层级中进行传递与加工, 才能最终达到服务于海洋研究、海洋开发、海洋利用的目的。

**采集层:** 由各种各样的传感器节点组成, 对温度、湿度、风速、盐度、重金属盐浓度等多种参数进行采集和测量, 采集频率和方式, 由特定监测参数的特性决定。

**汇聚层:** 对局部区域的海洋监测数据进行汇集、过滤、筛选、打包、预处理等操作, 通过传输层完成海洋监测数据的回传。

**传输层:** 通过卫星、微波中继、无线电船台、陆地移动通信网、存储延时转发等多种方式, 完成海洋监测数据的传送。

收稿日期: 2019-03-04; 修回日期: 2019-03-18。

**作者简介:** 梁娟(1988-), 女, 北京人, 硕士, 主要从事信息系统产品研发相关技术及其在航天领域的应用方向的研究。

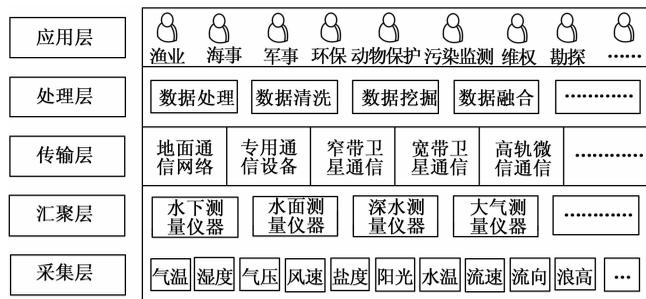


图 1 海洋监测层级

处理层: 对回传的海洋监测数据进行存储、解析、分析、融合、挖掘等相应操作, 将原始数据处理成可进行科研、商业应用的数据。

应用层: 适用于所有需要海洋监测数据服务的个人、组织、科研机构、政府团体、军事单位的系统平台。可通过 API 接口、C/S 程序、B/S 程序、移动端程序等多种方式提供服务。

智能传感器、无人控制、大数据处理、人工智能等为代表的新一代信息技术的蓬勃发展, 为海洋监测活动感知层、传输层、数据层、应用层的技术革新打下了坚实的基础。

## 2 无人船平台

无人船 (USV) 是一种新型的搭载平台, 可搭载多种海洋监测传感器, 能够以遥控或自主运行的方式完成连续性海洋参数测量。随着定位、导航、控制等相关技术的快速发展, 越来越多的无人海洋自动平台应用于海洋监测领域, 工作于海气界面的无人船逐渐成为海洋监测平台研究和应用的一个热点。

无人船的工作区域可覆盖封闭式管道、内陆湖泊、内陆河流、近海、远海、远海等多种场景<sup>[3]</sup>。本文以海洋监测为主要研究对象, 因此着重研究工作于海洋环境下的无人船。

按照工作场景划分, 可选的海洋无人船由港口环境无人船、近海 (船) 无人船、远海无人船 (可补给)、远海无人船 (不可补给) 等类型组成<sup>[4]</sup>。

港口环境无人船主要工作于港口、码头、跨海大桥、近岸岛屿等场景, 基本特点如下: 体型较小, 长度普遍在 1 米至 5 米范围; 以电池作为能源供给, 工作时间较短、工作半径较小; 支持人工遥控和自主运行两种工作模式, 采用案基通信系统进行双向通信; 多工作于封闭、可控的海域, 作为辅助性工具平台, 不需要适应恶劣的海况。

近海 (船) 无人船主要工作于离岸 (船) 100 公里以内的范围, 基本特点如下: 体型较大, 长度普遍在 7.5~15 米之间; 采用电池或燃油作为能源供给, 工作时间较长、工作半径较大; 支持人工遥控和自主运行两种工作模式, 采用案基通信手段与控制中心 (船) 进行双向通信; 多工作于开放、具有不确定性的海域, 作为辅助性工具平台, 需

要适应较恶劣的海况。

远海无人船 (可补给) 工作于远离海岸的区域, 可通过补给船、补给站等方式进行燃料补给, 其基本特点如下: 体型较大, 长度在 5~100 米之间; 采用化学燃料作为能源供给, 工作时间较长、工作半径较大; 支持人工遥控和自主运行两种工作模式, 采用岸基、卫星等多种通信方式进行双向通信, 在 100 公里以外海域, 主要通过卫星进行通信; 多工作于开放、具有不确定性的海域, 作为辅助性工具平台, 需要适应多数恶劣的海况, 在无法保证补给的情况下, 无法出海工作。

远海无人船 (不可补给) 工作于远离海岸的区域, 无法进行能源补给, 主要通过太阳能、风能、潮汐能等获得动力, 其基本特点如下: 采用可再生能源, 不需要专门的补给工作和补给设备; 需要具备极强的生存能力, 能够在最恶劣的海况中正常航行; 可通过卫星与后方控制中心进行双向通信, 确保指令接收和数据回传; 理论上可工作于各种海域, 受能源类型的制约, 航行速度较慢。



图 2 无人船类型

作为一个传感器平台, 无人船的可搭载空间由船上部分和船下部分组成, 不同的位置, 可以搭载不同的传感器:

- 1) 大气监测: 风速、风向、光合作用、日照强度、气温、相对湿度、压力、大气  $pCO_2$  浓度等。
- 2) 物理监测: 波浪高度、波浪周期、磁场强度、深度。
- 3) 海洋监测: 海水表面温度、洋流、pH 值、有色可溶性有机物、红外散射、分解氧浓度、海水  $pCO_2$  浓度、水温、盐度、哺乳动物声音、鱼群密度等。
- 4) 复杂监测设备: 浅底层剖面仪、潮位仪、声呐、三维激光等。
- 5) 辅助: 水面摄像头、水下摄像头、AIS 终端。

基于无人船的关键技术, 制造出适用的无人船, 具备在复杂、危险的海域内具有稳定的航行能力和应对突发状况的能力, 实现实时监控自身的设备运行状况、感知外界信息、做出正确的决策并严格执行, 而这些操作主要依靠与外界环境交互的传感器系统、高级别的自主导航系统、精准的自动控制程序以及稳定快速的网络通讯技术等。最终从大气监测、海洋表面监测、深海监测等各空间获取监测指标数据。

### 3 卫星测控终端

海洋监测需要长时间、大范围的连续进行, 本文所述的解决方案, 以各种不同类型的无人船作为传感器平台, 根据实际监测需要配备不同的仪器设备, 通过无线链路进行双向通信。对于港口、内海、岛屿周边、大陆附近等区域, 可以采用常规通信手段; 对于更广阔的开放水域, 只能使用卫星通信。

1) 海事卫星: 可以提供低速率语音和数据服务, 也提供高速率<sup>[5]</sup>。通信费用非常昂贵, 如果应用于海洋监测, 不适于长时间、大量数据传输的场景。

2) 铱星: 真正的全球通系统。复杂的技术导致终端和服务价格极其昂贵, 不适于长时间、大量数据传输的场景。

3) OrbComm: 已广泛应用在集装箱监控、重型工业设备监控等多个领域, 对于数据量较小的状态量监测, 是一个不错的选择<sup>[6]</sup>。

4) 北斗: 通过北斗系统独有的短报文功能, 实现无人船在全球范围内的双向通信, 其缺点是通信速率较低。

5) VSAT 动中通: 传输带宽和传输速度越来越大, 终端体积也变得越来越小, 可为用户提供稳定的宽带网络服务。其主要缺点是终端硬件设备价格较高, 终端设备尺寸及天线指向问题限制了应用场景, 跨越区域时需要切换卫星。

从减少通信成本、实现统一架构的角度出发, 设计、研制了一种通用性的卫星测控终端, 其基本技术要求如表 1 所示。

表 1 卫星测控终端功能需求

序号	功能名称	描述
1	导航定位	支持基于 BD 的导航定位, 可扩展支持 GPS 导航定位
2	3G/4G 通信	通过 3G/4G 网络, 进行双向通信
3	卫星通信	根据需求选用铱星、OrbComm、海事卫星等卫星通信系统的芯片化解决方案, 样机选用的是 Thuraya 卫星系统。
4	智能网络切换	自动判断信号联通性及强弱, 任何情况下优先使用基于 4G 的地面无线通信网络
5	WIFI/LAN 接口	可通过 WIFI、LAN 等方式, 连入用户网络
6	模块化架构	4G、欧星、北斗、GPS 等功能, 都可以做成可配置的模块, 用于满足不同的用户需求
7	远程维护	可通过无线链路, 远程修改部分功能, 达到更新系统的目的, 例如对网络协议的升级
8	强适应性	低功耗、强抗干扰、强环境生存能力

卫星测控终端采用模块化设计方式, 由 ZYNQ 平台、3G/4G 模块、北斗导航模块、GPS 导航模块、WiFi 模块、舒拉亚通信模块、模拟采集模块、总线接口、电源管理等电路组成。硬件设计如图 3 所示, 主要由 ZYNQ、北斗导

航芯片、GPS 导航芯片、WiFi 芯片、Thuraya 芯片、3G/4G 芯片、CAN 总线电路、RS232 接口电路、千兆以太网电路、模拟采集模块、电源模块、时钟电路、复位电路等组成, 其中 ZYNQ 作为中心控制器, 控制其它各模块的工作状态及数据交互。

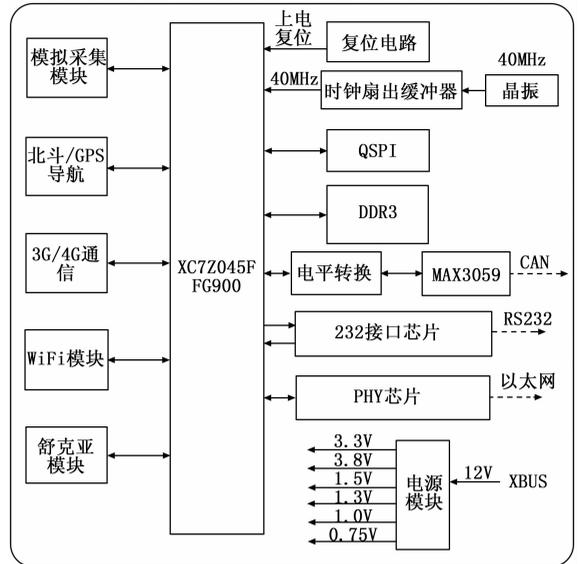


图 3 卫星测控终端硬件组成

### 4 多船卫星测控

如图 4 所示, 本文所述的海洋监测系统, 以搭载不同传感器的无人船, 作为信息获取的平台; 可岸基通信的无人船, 直接通过岸基测控网/站进行测控; 需要卫星通信的无人船, 通过地面测控中心结合卫星网络的方式进行测控; 地面测控中心从业务上可以划分为两部分: 运行控制中心和客户服务中心。

运行控制中心不负责通信卫星星座的运营, 其测控对象是安装有卫星测控终端的所有海上终端节点。终端数据的空间段传输, 全部由卫星通信服务商提供和保证, 运行控制中心通过地面网络从服务商处获取终端数据, 可根据实际需要选择最符合成本控制策略和用户需求的卫星通信服务商。

运行控制中心通过卫星链路接收/发送数据包, 从而与远程海上终端进行单向、双向通信, 其主要的功能点如下:

1) 入网受控设备的管理问题: 每一个接受本系统平台管理的远程海洋终端, 应该可以在“注册”、“删除”、“冻结”等状态中切换, 实现不同的管理。

2) 卫星通信服务提供商的支持问题: 根据不同的需求, 系统平台可能需要与海事卫星、国产通信卫星、国际通信卫星、OrbComm、铱星等多种卫星通信系统集成, 需要解决服务切换、数据发送与接收等问题。

3) 系统防灾冗余问题: 本系统的测控与运营中心, 需要 24 小时稳定的不停机运行, 主系统、分系统、数据存储等相关设备、软件, 需要考虑防灾冗余设计;



图 4 海洋监测系统组成

4) 数据存储与备份: 本系统平台长期运行后, 会产生大量的数据, 需要解决相应的存储、备份、查询等问题。

5) 可扩展的数据格式定义与解析: 不同的用户应用, 对发送/接收数据的格式定义各不相同, 运营中心应具备定义数据格式并自动解析的功能。

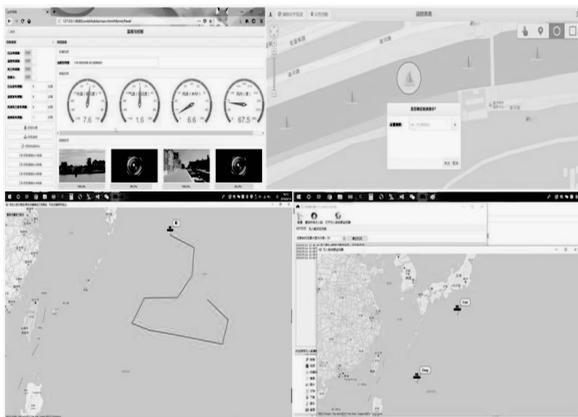


图 5 运行和控制中心软件界面

运控平台软件要同运控中心服务器进行双向数据通信, 从服务器中获取在运控平台软件中显示的无人节点位置、工作情况、探测数据等运控信息, 向服务器发送用户的各种节点操控指令、数据查询指令等。

运控平台软件将无人节点的各类工作状态信息、探测的载荷数据、图像数据等, 借助 GIS 系统进行可视化直观显示, 显示界面要求具有常规的放大、缩小、浏览、定位, 图层显示/隐藏, 信息标志等功能。

任务规划软件运行在 PC 机上, 通过网络与其他软件互联, 用于根据用户“需求”对无人船的运行轨迹进行规划, 并将规划后的数据发送给运控服务软件。可根据用户“需求”和各无人船节点的状态, 通过一定的算法, 规划出每一条无人船未来一段时间的运行轨迹和载荷工作任务, 从而满足用户对数据类型、数据采集频率、数据采集区域的需求。

### 5 数据服务

海洋监测的目的是连续获取真实的海洋数据, 处理、分析后应用于海洋科学研究、海洋监测、海洋资源开发、

海洋权益维护等海洋活动。现阶段, 我国海洋数据的应用具有下列特点:

1) 专业性强: 不同的海洋监测活动, 立足于不同的业务需求, 监测数据由组织监测活动专业的部门所有, 开放性差, 普通用户难以获取、利用相关的数据。

2) 门槛高: 除了温度、湿度、风速、气压等简单的物理量<sup>[7]</sup>, 海洋数据的分析和处理需要较高的理论、技术水平, 普通的用户很难具备这样的专业素养, 这在某种角度降低海洋监测数据的性价比。

3) 渠道少: 目前, 获取海洋监测数据的主要方式是从相关网站下载数据, 如美国的 NOAA、中国的各大海洋局和相关研究所、欧美/日本的相关研究机构等<sup>[8,9]</sup>。

4) 服务差: 目前, 海洋研究相关网站主要提供各种源数据的下载服务, 用户下载回来的结果都是原始数据, 用户必须自己进行处理, 才能得到满足特定需求的服务数据<sup>[10]</sup>。

海洋监测数据的最终用户, 不同于科研人员以及专业的技术人员, 往往不具备数据检索、数据处理、数据分析的能力, 其直接需求通常不能通过传感器直接获取, 而必须通过多种数据综合分析得出, 用户需要的只是处理后的、能直接指导工作的最终结果。

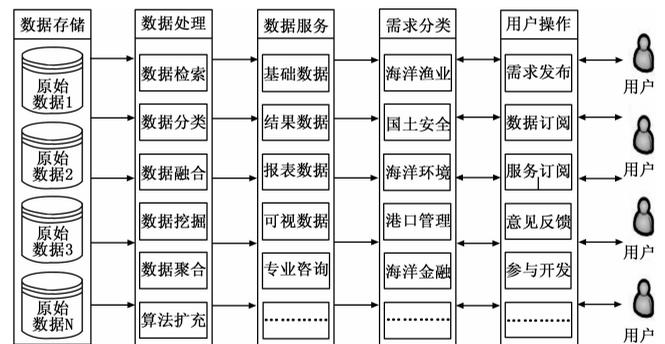


图 6 数据服务架构

海洋监测数据的处理、应用、服务流程如图 6 所示。原始监测数据存储于数据库系统中, 具备基本的备份、冗余防灾等功能; 基于主流大数据框架, 可实现对海量监测数据的检索、分析、挖掘等功能, 生成第一级处理数据; 根据用户需求, 可动态定义数据格式、数据处理方法, 生成满足用户要求的第二级数据报告; 通过人性化的前端交互工具, 用户可以通过 PC 机、手机、PAD 等多种方式完成需求发布、数据订阅、服务订阅等工作; 基于通用的 API 接口, 用户可以进行各种程序二次开发工作, 直接调用各级监测数据。

用户服务软件, 提供给终端用户使用, 采用 B/S 架构开发, 其表现形式是一个对外公布的网站。用户可以通过 PC 机的浏览器浏览此网站。在用户服务软件上, 用户亦可以进行基本信息浏览、原始数据下载、数据需求申请、无人船状态查询、数据报告查询、数据订阅等操作。