

海洋牧场生态环境在线监测物联网技术研究

贾文娟, 张孝薇, 闫晨阳, 李红志

(国家海洋技术中心, 天津 300112)

摘要: 海洋牧场生态环境在线监测网是海洋牧场建设的重要发展方向之一。传统海洋监测系统体积大、功耗大、价格昂贵, 受牧场建设的经费限制, 无法大量投放组成监测网, 迫切需要一种低成本的海域监测手段, 可负担大面积、高空间密度的投放, 并以分布式的物联网方式进行组网监测, 解决这一难题。本文基于 MEMS 技术研发可大量“群蜂式”布放、高时空分辨率、兼顾环境与生物种群特征监测的低成本监测小浮子, 每个小浮子下挂多节点传感器链和视频监控节点, 使用低成本的水面水下无线传输无线通信手段进行组网观测, 从而为构建海洋牧场环境智能化立体监测物联网提出了全新的解决方案。

关键词: 海洋牧场; 在线监测; 低成本; 物联网

中图分类号: P715.5 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2022)01-0083-07

DOI: 10.11759/hyxx20201110002

中国是海洋大国, 海洋渔业是现代农业和海洋经济的重要组成部分, 也是中国粮食安全保障的重要组成部分。中国渔业产量多年来一直位于世界首位, 但是长期粗放型的传统海洋渔业生产方式给中国近海生态环境和渔业资源造成了巨大压力。现代化海洋牧场是适合现代可持续发展战略的新型海洋生物资源开发模式。建设现代化海洋牧场, 可促进中国渔业供给侧结构性改革、海洋经济持续健康发展以及海洋强国战略的稳步实施^[1]。传统海洋牧场实现了部分要素或部分空间、时间环境监测的自动化, 但在现代化海洋牧场需要的广域生态环境多维信息化监控方面还有很大距离。现代化海洋牧场则是利用现代科学技术和方法对生物资源、生态环境、渔业生产以及相关活动等进行系统管理, 所以海洋牧场环境监测以及水下养殖生物实时监测已经成为海洋牧场建设的重要方向。为推进海洋强国战略实施和现代渔业科技创新, 驱动我国渔业产业转型升级与持续发展, 2019 年我国启动实施了“蓝色粮仓科技创新”重点专项, 针对海洋牧场渔业水域环境实时高效监测的共性关键技术瓶颈, 提出开发典型渔业水域水质生态环境原位在线监测技术, 研制渔业水域水环境预警及管理决策支持系统。

1 当前海洋牧场监测存在的主要问题

现代化海洋牧场需要建立对广域水体和生态环境的监测网络, 这就要求布设多个节点传感器, 对诸如海洋温度、生态、生物等多种环境剖面信息进行原位实时监测。同时还需要布设多个水下视频在线监控

节点, 这样可随时掌控鱼虾等水产养殖产品生长发育情况, 实现自动增氧、精准投喂和鱼病诊断等异常报警。目前传统的监测技术手段离现代化海洋牧场的需求还有很大距离, 例如山东海洋牧场采用 CAN 总线技术设计了一套海底在线观测系统, 实现了水下多要素水文数据和高清视频的实时在线观测^[2], 如图 1 所示。该套系统只有一个海底测量节点, 不能实现满足水下不同深度数据的剖面测量, 并且需要通过电缆进行数据和电能传输, 造价和维护成本很高。



图 1 山东海洋牧场海底观测系统示意图^[2]

Fig. 1 Schematic of a seafloor observation system of a marine ranch in the Shandong province^[2]

收稿日期: 2020-11-10; 修回日期: 2021-05-30

基金项目: 国家重点研发计划重点专项项目(2017YFC1403304); 广东省重点研发计划重点专项项目(2020B1111020001)

[Foundation: Key project of national key Research and development Plan, No. 2017YFC1403304; Key project of Guangdong key Research and development Plan, No. 2020B1111020001]

作者简介: 贾文娟(1983—), 女, 河北邯郸人, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋测量传感器技术研究, 电话: 13820237690, E-mail: jwj219@163.com; 李红志(1975—), 通信作者, 电话: 13920354467, E-mail: lihongzhi6535@126.com

从目前技术角度上看,实现现代化海洋牧场多维度实时监测网这一目标的瓶颈主要以下两个:(1) 现有的水质生态环境监测传感器大都体积大、功耗大,虽测量精度高,但价格昂贵、寿命期短,且需搭载的海洋站和浮标规模较大,也无法大量布设,或布设多限于海表面和海底,这样就使海洋牧场广域水体的监测成为一个难题。这样可以看出,已有的观测技术,对于海洋牧场广域水体的监测而言,绝大多数传感器造价高昂,难以广泛布设,这就使得面向海洋牧场的多要素综合监测网还处于空白。(2) 这种在线监测网络状多节点传感器和监控节点的分布,将生成的大量信息(包括监测数据、图像、视频等)需要实时传输,对传输数据量和通信速率的要求非常高。有线通信的造价成本非常高且海洋环境适应性差,容易被破坏,常规的海洋环境在线监测网数据通信都是采用无线传输方式,所以高速高可靠的水下和水面无线通信技术是实现海洋牧场监测网络互联互通的最关键技术之一。尤其海洋牧场区别于其他海洋监测网络的是,需要对于牧场生物行为进行有效控制与追踪、生物资源进行高效探测与精准评估,必须依靠水下实时影像观测的途径获取视频和图像信息,这就进一步加大了监测网的数据传输量,也成为制约海洋牧场智能监测网技术发展的重要瓶颈问题。正因为这样,现有海洋牧场监测还不得不停留在人工或水下机器人携带水下影像设备进行现场录像回收后进行分析的阶段,未能实现连续的在线监测。

综上,要实现现代化海洋牧场对广域水体和生

态环境的立体在线监测,需要应用陆地上蓬勃发展的所谓泛在感知的“物联网”理念,突破海量、低成本、高空间分辨率传感器技术和高速高可靠数据互联互通技术瓶颈,构建海洋牧场环境智能化立体监测网。

2 海洋牧场生态环境在线监测物联网实现途径

2.1 基于物联网的海洋牧场监测系统设计理念

由于基于现有技术来连续监测广域海洋的成本是难以负担的,美国国防高级研究计划局(DARPA)于2017年12月宣布启动“海洋物联网”(Ocean of Things)项目^[3-4],试图将海洋感知领入物联网时代。DARPA计划在全球范围内寻求搭载创新性、商业化传感器的低成本小浮子及其岸基云平台数据智能挖掘方案。通过将商业化传感器技术与高性能分析工具相结合,创建由数以千计、异构小浮子(或微型浮标)组成的浮动传感器网络(floating sensor networks),以便极大地拓展海事感知能力(maritime awareness)。DARPA需求中不仅关注收集如海洋温度、海况等具有重要环境意义的气象水文信息,同时还寻求自动探测、跟踪、识别周边军事与商业舰船分布态势的技术方法或其他海上活动的可识别特征或指标(discern indicators),并挖掘数据之间的关联(data associations)。

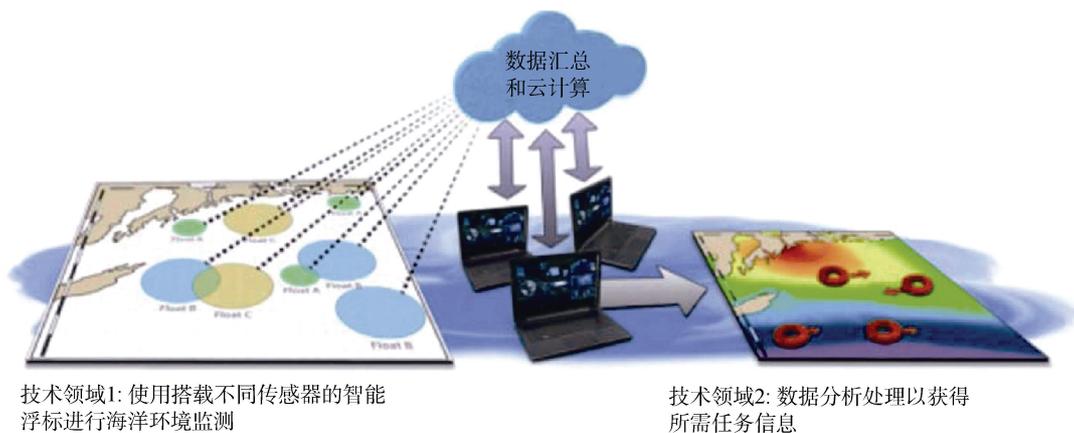


图2 美国国防高级研究计划局(DARPA)海洋物联网计划示意图^[3-4]
Fig. 2 Schematic of DARPA's marine Internet of Things program^[3-4]

DARPA物联网的未来设想是在全球任意1 000 km×1 000 km区域内可布放5万个,即每10 km×10 km网

格内至少有5个海洋物联网小浮子;小浮子与岸基的通信采用低轨卫星通信(铱星或类似低轨物联网卫

星信道)方式;小浮子具备一定的前端智能对环境和目标状态进行感知、岸基系统对小浮子群进行智能运控与场区环境与目标分布的数据产品制作;每个小浮子的未来批量造价控制在\$1000 以内。

借鉴 DARPA 计划和海洋物联网的技术理念,设计应用可大量“群蜂式”布放、高时空分辨率、兼顾环境与生物种群特征监测的低成本监测小浮子构建海洋牧场环境智能化立体监测物联网,如图 3 所示。

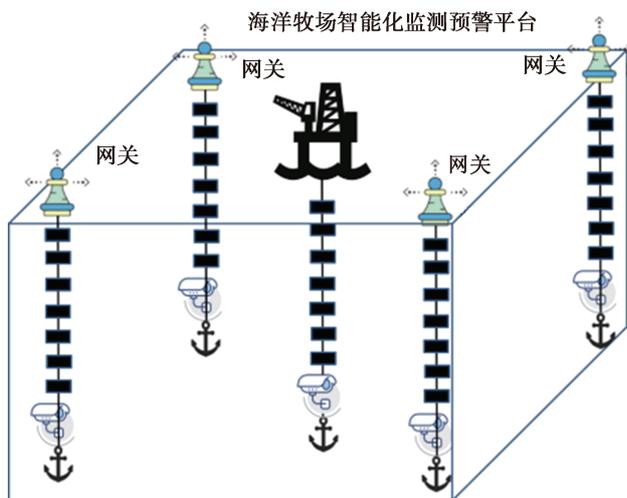


图 3 海洋牧场环境智能化立体监测物联网示意图

Fig. 3 Schematic of intelligent three-dimensional monitoring Internet of Things for marine pasture environment

在该立体监测网络中,将海洋牧场需要监测广域水体空间分割成若干个网格,每个网格布放一个或多个小浮子,在小浮子下面的传感器链悬挂一个多节点传感器链,对诸如海洋温度、生态、生物等多种环境信息进行原位实时监测。每个小浮子的多节点传感器链将数据实时传输到水面,再由水面多个小浮子间进行高速的组网通信。这样以低成本微型浮标和传感器链的方式,融合多要素传感器技术和海量传感器链、微型浮标组网、通信技术,由监测预警中心进行大数据分析,即可形成智能化的海洋牧场监测预警系统。

2.2 物联网中低成本小浮子的实现

海洋牧场监测物联网中使用的低成本小浮子理念,来源于海洋观测中常用的漂流浮标。其体积小、重量轻、成本低、布放简单,没有庞大复杂的锚系系统,浮标下挂水帆,随海流以拉格郎日法测量海水表层流和进行大面积海区、洋面水文气象观测。它

依靠 Argos 卫星通信网定位并上传收集观测到的各种参数,经地面接收站处理,提供给用户^[5-7]。

目前国内外漂流浮标大都仅关注表层温度、流速参数的测量,工作模式单一,仍然存在高精度传感器价格昂贵、依赖进口的状况,单温测量要素的浮子售价在万元左右,多水文气象要素的漂流浮标的造价将增加到 4 万元以上,甚至达到 20 万元,这成为阻碍浮标大规模布放应用的重要问题。那么,未来海洋牧场物联网小浮子是借鉴传统表面漂流浮标的结构特点,优化其电源、智能通信与控制以及传感器链挂接结构、接口,可搭载传感器链在海洋环境下长期运行。同时采用环境友好型材料,并将成本控制在人民币 5 000 元左右,作为一种面向海洋物联网的新型通用小浮子观测平台,如图 4 所示。

2.3 低成本传感器链的实现

传统海洋传感器虽精度高,但存在体积大、功耗大、重量大、成本高等问题,无法满足海洋牧场物联网需要大规模部署传感器的需求。而实际上,海洋牧场的监测不需要大量高精尖、大深度的海洋传感器,更需要的是中等精度、高一一致性、低成本的传感器,可负担大面积、高空间密度的监测,传统技术无法实现这一难题。

MEMS(micro-electro mechanical system)微机电系统,是可批量制作的,集微结构、微传感器、微执行器以及信号处理和电路于一体的器件或微系统。主要优点是体积小、重量轻、功耗低、一致性好、可靠性高、灵敏度高、易于集成。基于 MEMS 技术的海洋传感器与传统传感器相比,在构建海洋牧场物联网方面更具优势。

美国伊利诺伊大学的 He 等^[8]加工了 0.1 mm 的 MEMS 电极探头,测量误差在 4%以内。丹麦科技大学的 Hyldgard 等^[9-11]基于硅材料的 MEMS 技术制作了一个尺寸约为 4 mm×4 mm 的开放式四电极电导率传感器,电极形状为条形,测量精确度在±0.6 mS/cm。本文中采用铂电阻测温、四电极探头测量电导率的方法,应用 MEMS 技术研制新型温盐传感器探头,可在一块基板上一次成型 100 余个温盐传感器探头,且一致性好,减少了后续对传感器的标定和校准环节,大大降低了制造和校准检测成本。

新型四电极电导率传感器采用开放式片式结构,保证良好的水交换特性,工作时无需带泵,既大大降低了功耗,也保证测量水团尽量不被扰动破坏。传感器探头设计尺寸为 8 mm×14 mm,体积很小,温度

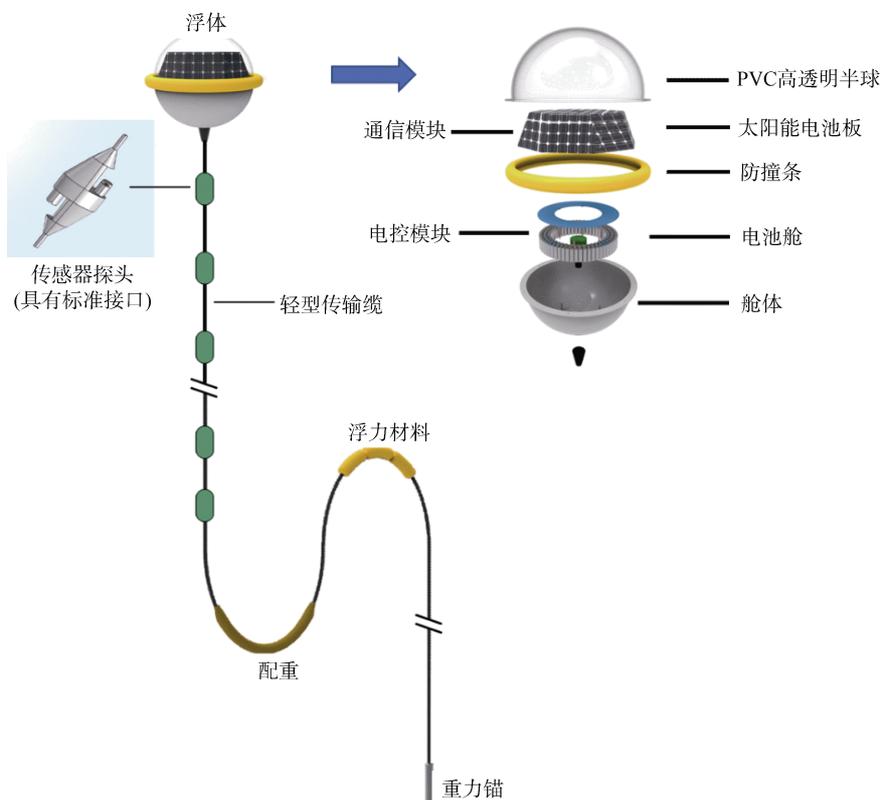


图 4 海洋牧场物联网水面小浮子结构示意图

Fig. 4 Structured diagram of small float on the Internet of Things in an ocean ranch

滞后对电导率测量的影响很小。两个传感器的时间常数均控制在 20 ms 以内, 保证测量同步性, 可有效消除盐度测量尖峰。为保证传感器的长期稳定性, 电导率电极与温度传感器均采用 Pt 电极和 SiN 薄膜。而后将温盐传感探头、信号处理模块、电源控制模块、数据通信模块、状态查询与反馈模块集成于小型传感器节点中(如图 5 所示), 传感器节点通过标准电气接口实现即插即用、随意替换, 与其他传感器节点组成阵列(链), 实现海洋上层的快速、连续剖面温盐变化。

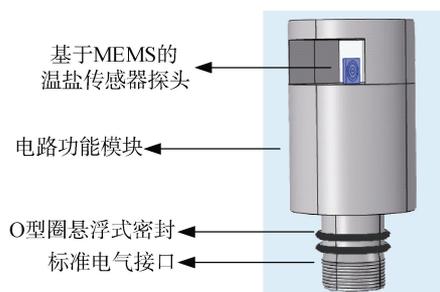


图 5 基于 MEMS 技术的低成本温盐传感器探头结构和封装节点结构

Fig. 5 Probe structure and packaging node structure of a low-cost temperature salt sensor based on the MEMS technology

根据应用需求, 新型叶绿素 *a* 传感器, 采用光学荧光法, 基于光电混合集成芯片技术, 将 LED 光源、法布里-波罗(Fabry-Perot)干涉腔、光接收器、信号调制处理电路等高度集成, 实现叶绿素 *a* 传感器的小型化。短的光传播路径降低对光源功率的要求, 大大降低传感器功耗。采用 LED 脉冲调制光源去除或避免太阳光对传感器测量产生的误差。

叶绿素 *a* 传感器采用 450 nm LED 脉冲调制光源作为激发光源, 通过光纤进行信号传输, 激发光源通过光纤末端的准直器以一定角度射入法布里-波罗(Fabry-Perot)干涉腔。FP 腔中充满海水, 光源在腔中形成反射, 不断激发海水中叶绿素 *a* 发出的荧光。激发出来的 680 nm 的脉冲调制荧光通过光纤被光电二极管吸收, 实现对叶绿素 *a* 浓度的测量。经脉冲调制后的 450 nm LED 光源区别于太阳光, 接收激发的荧光信号时可以有效避免太阳光对测量产生的影响, 如图 6 所示。

为实现叶绿素 *a* 的原位、实时和精细化测量, 将传感器设计为小型化标准节点, 如图 7 所示。节点顶端开槽, 槽内制作 FP 腔做为传感部分, LED 光源通过透明窗口入射至 FP 腔, 激发的荧光通过窗口完成

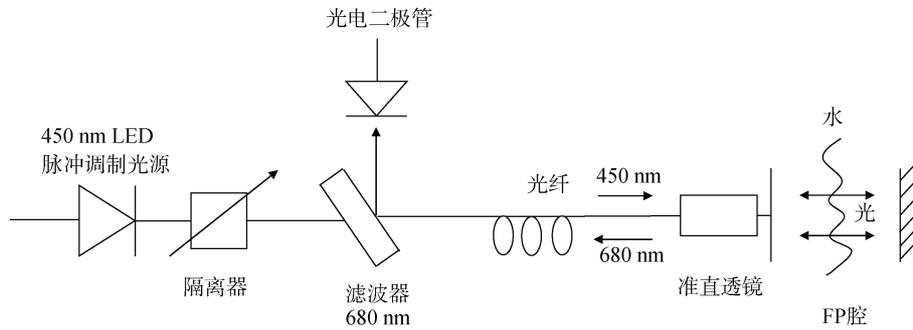


图 6 基于光电集成混合芯片的微型叶绿素 *a* 传感器测量原理图

Fig. 6 Measurement principle diagram of miniature chlorophyll *a* sensor based on the photoelectric integrated hybrid chip

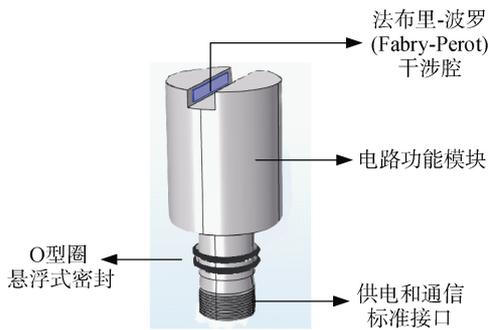


图 7 叶绿素 *a* 传感器结构示意图

Fig. 7 Schematic of chlorophyll *a* sensor structure

收集。光信号处理模块、信号处理模块、供电模块及数据通信模块全部封装在 40×25 mm 小型节点内。高集成度的光路设计可以有效降低 LED 光源功率，高集成度的电路模块可以降低电路功耗，小型标准化节点设计可实现传感器的一致性，有效降低成本，多个标准节点可形成水下阵列，通过标准接口实现供电、通信、即插即用和随意更换。

基于以上的几型小型智能化传感器和组网成阵观测理念，设计形成一种海洋传感器链。采用 MEMS 技术制作具备通用数字接口和智能化自校准功能的温盐深和叶绿素、溶解氧等参数传感器，相比国外现阶段传感器探头，具有更加微型化、高一致性、低功耗、低成本的特点，以通用的传输协议组成多节点观测链，悬挂于小浮子下端，实现对上层海洋叶绿素、电导率(盐度)、温度、压力、溶解氧、海流等多参数水下观测。

2.4 物联网低成本高速高可靠水下数据传输的实现

海洋牧场在线监测网主要由监测平台(小浮子)、监测传感器(链)和无线数据传输网组成。其中无线数据传输网要完成两个重要任务：一是由水下传感器

网络(underwater sensor networks, USN)将各水下节点的传感器数据传输到小浮子的水上终端，二是由水上网络通信系统实现各个小浮子与海洋牧场监测预警中心的互联互通，所以低成本高速高可靠的水下和水面通信技术是实现海洋牧场监测物联网互联互通的关键技术。海洋牧场监测物联网要将生成的大量监测数据(包括图像、视频等)进行实时传输。近年来，随着图像和视频智能识别技术的发展，虽可只需传输提取的关键特征数据，可大大压缩传输数据量，但传输速率仍需达到 500 kbp 以上^[12]。现有 USN 采用的通信技术主要有有线传输和无线传输两种。第一种是采用类似陆地的电缆直连传输方式，但其需要解决电缆水密性、多节点通信可靠性以及通信电缆与锚系水下缠绕的问题。第二种方式是无线传输，即应用电磁波或声学原理对数据进行传输。其中水声通信在海水介质里可实现长距离传输，但其传输性能受低带宽、时变多径传播、高延时和多普勒扩散的限制^[13]，在长距离(km)通信下其数据传输率仅为几十 kpb，不能满足传输需求^[14]。电磁波传输具备更高的带宽和更快的速度，但在水下应用，受海水介质电导率等参数的影响，其传播范围会受到基波衰减和噪声因素的限制，其工作在 2.4 GHz 的频率时，在海水中衰减大约 1 600 dB/m，只能实现几十厘米的短通信距离^[15]。而且电磁波传输需要解决水下接驳，电缆或光纤缆的水密等复杂问题，且无法自由变换位置，大大限制了网络节点的数量。

因上述两种方法存在的缺点，国内外海洋技术专家创新研发了感应耦合数据传输技术，这种技术介于上述两种方法之间，将小浮子系留包塑钢缆与海水构成的回路，利用电磁感应原理实现无接触水下多节点传感器数据传输。传输原理类似两级变压器原理，小浮子系留包塑钢缆两端与海水接触，形

成单匝回路，水下每台仪器的数据信息通过载波加到耦合磁环的初级绕组上；在钢缆与海水串联构成的单匝回路中感应出电流；该电流又在水上终端耦合磁环次级绕组上感应出电动势；该电动势送到终端解调以获得水下送来数据。

该传输方式无任何直接电气连接，在可靠性和造价上明显优于其他传输方式；且传输距离远，可覆盖海洋全部深度，具有全天候实时采集传输海洋环境观测数据的优点。目前，国际上知名海洋仪器厂商已经开发出了满足多节点海洋观测应用需求的产品，传输速率最快可达 9 600 bp^[16]，但面对海洋牧场监测网的需求仍要对现有传输系统的传输能力进行有效提升。

传统感应传输方式由于耦合信道的“窄带”特性，采用传统的单载波调制方式提高信号传输速率会受到信道的噪声容限及有效带宽的限制。那么，采用正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multi-plexing, OFDM)技术以降低单个载波传输速率的方式来获得更高的信噪比增益，以增大载波的数量来提高信道带宽利用率，最终提高系统的传输速率。针对 OFDM 技术子载波调制方式灵活性的特点，根据耦合信道的特性选择合适的子载波调制方式，信道条件较差时选择抗误码性能较强的低阶调制方式(如 2PSK, QPSK)，信道条件较好时选择传输效率较高的高阶调制方式(如 16QAM, 64QAM)。在调制方式确定的情况下设计合理的星座图映射，提高耦合信道的传输速率，达到 1 Mbp。

2.5 物联网低成本水面数据传输网的实现

支撑海洋牧场监测物联网的核心环节，除了前端智能浮标技术、低成本传感器阵列等之外，还要适于浮标的低功耗、实时、可支持图像端视频等较大数据量传输的、且具有稳定业务化能力的水面无线通信技术。海洋牧场环境的数据传输需要覆盖很长的距离，功耗要求比较高，且海洋是一个不断运动的环境，通信信号衰减比较严重。从目前来看，传统观测系统中应用的美国铱星系统符合要求，但其通信费用很高，并不适用海洋牧场。而远程 LoRa 是最成功的 LPWAN 技术之一，它能够实现可靠的远程低功耗通信^[17]，其通信距离可达 5 km 以上，若每 1 min 采集一次数据，两节 5 号电池可供 LoRaWAN 网络节点工作 3 年左右^[18]。LoRa 技术的 LoRaWAN 集成遵循物联网系统的通用集成规则，它的速率自适应机制，可以使不同传输距离的设备根据传输状况，尽

可能使用最快的数据速率，使得整体的数据传输更有效率，非常适合于传感器数据组网；而在价格上，单节点的 LoRa 芯片的价格为几十元，远远低于目前卫星通信的价格，大大降低了该系统的应用成本，可满足海洋牧场的多要素监测海量数据通信传输长距离、低功耗、低成本、稳定可靠的需求。

3 总结

现代化海洋牧场需要对牧场生态环境进行多要素立体实时监测，传统监测和数据传输手段存在着成本高、不能大量布设等问题，成为构建智能化的监测预警系统的瓶颈问题。本文基于陆地上蓬勃发展的所谓泛在感知的“物联网”理念，设计了一种基于低成本小浮子的海洋监测物联网技术方案，对于如何解决实现低成本和高可靠的小浮子、多要素传感器链、水下数据传输和水面组网通信等问题提出了具体解决措施。这些研究成果后续可以为海洋牧场或其他海洋观测系统建设提供技术支撑，将一定程度改变当前监测系统建设投入中存在的的技术手段传统、落后、低效、信息化程度低等问题，促进产业转型升级。

参考文献:

- [1] 陈勇. 中国现代化海洋牧场研究与建设[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(2): 147-154.
CHEN Yong. Research and construction of modern marine ranching in China: a view[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(2): 147-154.
- [2] 罗茵方, 琼玖. 山东海洋牧场观测网首席专家李培良为海洋牧场装上“慧眼”[J]. 海洋与渔业, 2019, 2: 70-72.
LUO Yinfang, QIONG Wen. LI Peiliang, chief expert of the Shandong Ocean Ranch Observation Network, installes “smart eyes” on the ocean ranches[J]. Ocean and Fisheries, 2019, 2: 70-72.
- [3] <https://navaltoday.com/2017/12/13/darpa-wants-to-replicate-the-internet-of-things-at-sea/>.
- [4] <https://blogs.mtu.edu/engineering-research/2017/12/15/darpa-announces-oceans-of-things-program-solicitation/>.
- [5] PLUEDDEMANN A J, SMITH J A, FARMERD M, et al. Structure and variability of Langmuir circulation during the Surface Waves Processes Program[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(C2): 3525-3543.
- [6] BENTAMY A, KATSAROS K B, MESTAS A M, et al. Satellite estimates of wind speed and latent heat flux over the global ocean[J]. Journal of Climate, 2003, 16(4): 637-656.
- [7] DONLON C J, MINNETT P J, BARTON I J, et al. The character of skin and subsurface sea surface temperature[J]. Switzerland, World Meteorological Organization-

- Publications-WMO TD, 2001, 6: 298-302.
- [8] HE D, SHANNON M A, MILLER N R. Micromachined silicon electrolytic conductivity probes with integrated temperature sensor[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2005, 5(6): 1185-1196.
- [9] HYLDGARD A, BIRKELUND K, TANTING J, et al. Direct media exposure of MEMS multi-sensor systems using a potted-tube packaging concept[J]. *Sensors & Actuators: A. Physical*, 2008, 142(1): 398-404.
- [10] HYLDGARD A, OLAFSDOTTIR I, OLESEN M, et al. FISH & CHIPS: Four Electrode Conductivity / Salinity Sensor on a Silicon Multi-Sensor Chip for Fisheries Research[C]. *Sensors. IEEE Xplore*, 2005.
- [11] HYLDGARD, ANDERS, MORTENSEN D, et al. Autonomous multi-sensor micro-system for measurement of ocean water salinity[J]. *Sensors & Actuators A Physical*, 2008, 147(2): 474-484.
- [12] 徐凤强, 董鹏, 王辉兵, 等. 基于水下机器人的海产品智能检测与自主抓取系统[J]. *北京航空航天大学学报*, 2019, 45(12): 2393-2402.
XU Fengqiang, DONG Peng, WANG Huibing, et al. Intelligent detection and autonomous capture system of seafood based on underwater robot[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2019, 45(12): 2393-2402.
- [13] STOJANOVIC M, PREISIG J. Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(1): 84-89.
- [14] KAUSHAL H, KADDOUM G. Underwater Optical Wireless Communication[J]. *IEEE Access*, 2016, 4: 1518-1547.
- [15] LLORET J, SENDRA S, ARDID M. Underwater Wireless Sensor Communications in the 2.4 GHz ISM Frequency Band[J]. *Sensors*, 2012, 12(4): 4237-4264.
- [16] ALEXANDER K, MATHEW N. Wireless data transmission between a base station and a transponder via inductive coupling[P]. US: 8, 363, 737, B2, 2013-1-29.
- [17] LEONARDI L, BATTAGLIA F, LOBELLO L. RT-LoRa: A Medium Access Strategy to Support Real-Time Flows Over LoRa-Based Networks for Industrial IoT Applications[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2019, 6(6): 10812-10823.
- [18] ADELANTADO F, VILAJOSANA X. Understanding the Limits of LoRaWAN[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2017, 55(9): 34-40.

Internet of things technology for online monitoring of marine ranch ecological environments

JIA Wen-juan, ZHANG Xiao-wei, YAN Chen-yang, LI Hong-zhi

(National Ocean Technology Center (NOTC), Tianjin 300112, China)

Received: Nov. 10, 2020

Key words: marine ranch; online monitoring; low cost; Internet of things

Abstract: The online monitoring network of a marine ranch ecological environment is an important development in the field of marine ranch construction. The traditional marine monitoring system is large, expensive, and consumes high power. Investing heavily from the pasture construction to form a monitoring network is not possible; thus, a low-cost marine monitoring method is urgently needed. Such a network should have a large area, high space density, and network monitoring capability in the way of distributed Internet of Things (IoT). Traditional technology cannot solve this problem. In this paper, based on the microelectromechanical systems technology, many low-cost monitoring small floats with a “swarm bee” layout, high spatial-temporal resolution, and environmental and biological population characteristic monitoring are developed. Each small float is hung with a multinode sensor chain and a video monitoring node. Low-cost means of surface and underwater wireless transmission are used for network observation. Thus, a new solution is proposed for constructing intelligent three-dimensional monitoring IoT of a marine ranch environment.

(本文编辑: 康亦兼)