

基于自动巡航无人驾驶船的水产养殖在线监控技术\*

孟祥宝<sup>1</sup> 黄家悱<sup>1</sup> 谢秋波<sup>1</sup> 陈万云<sup>2</sup>

(1. 广东省现代农业装备研究所, 广州 510630; 2. 广州市健坤网络科技发展有限公司, 广州 510630)

**摘要:** 研制了一种由自动巡航无人驾驶船、环境生态监控装置和远程服务平台 3 部分组成的水产养殖在线监控设备, 在提高养殖监控效率和降低监控成本的同时, 实现养殖过程的实时在线监测和精准调控。综合应用自动化航向航速控制、自动导航定位和防碰撞技术, 实现无人驾驶船的自动巡航功能。利用无人船运载自制的多功能环境生态监控装置, 实现水质指标(温度、溶解氧、pH 值和氧化还原能力)以及鱼、虾生态信息的实时定点获取, 并能根据用户需求调整检测指标。无人船在大幅减少环境生态监控装置数量的同时, 有效提高了装置的检测精度。将统计分析、信息融合、组态控制、嵌入式等技术相结合, 用于对数据进行处理与分析, 实现养殖现场环境调控设备的精准控制。试验表明, 该监控设备能满足规模化水产养殖需求, 对推广应用精准农业技术与装置、进行水产养殖过程监测与精准调控有积极的促进作用。

**关键词:** 物联网 水产养殖 自动巡航 无人驾驶船 在线监测 精准控制

**中图分类号:** TP273; S951.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2015)03-0276-06

Online Monitoring Equipment for Aquaculture Based on Unmanned Automatic Cruise Boat

Meng Xiangbao<sup>1</sup> Huang Jiayi<sup>1</sup> Xie Qiubo<sup>1</sup> Chen Wanyun<sup>2</sup>

(1. *Guangdong Institute of Modern Agricultural Equipment, Guangzhou 510630, China*

2. *Guangzhou Jiankun Network Technology Development Co., Ltd., Guangzhou 510630, China*)

**Abstract:** An equipment for aquaculture was developed which consisted of unmanned automatic cruise boat, environmental and ecological monitoring devices and remote service platform. It achieved a real-time online monitoring and precise control of field devices with high efficiency and low cost. By using the technology of automatic heading speed control, navigation and anti-collision, the unmanned boat realized the function of automatic cruise. Then, the boat carried a self-made multi-functional device (one controller with different probes) to obtain ecological characteristics and various environmental parameters at each specified location, including water temperature, pH value, dissolved oxygen (DO), and oxidation-reduction potential (ORP). Detection parameters could be expanded according to the actual needs. The boat could obviously reduce the number of monitoring device and effectively improve its detection accuracy. Furthermore, information fusion, statistical analysis and configuration control were used to analyze the obtained data and precisely manage field aquaculture equipment. The result showed that the integrated monitoring equipment could meet the needs of large-scale and factory-style aquaculture, and promoted the wider application of precision agriculture equipment in ordinary farmers.

**Key words:** Internet of things Aquaculture Automatic cruise Unmanned boat Online monitoring Precise control

收稿日期: 2014-04-25 修回日期: 2014-05-12  
\* 广东省科技计划资助项目(2011B020401010、2012B020401009)、广州市珠江科技新星专项资助项目(2014J2200091)和土壤植物机器系统技术国家重点实验室开放课题基金资助项目(2014-SKL-06)  
作者简介: 孟祥宝, 高级工程师, 主要从事信息管理与信息系统应用研究, E-mail: mengxb@e-jiankun.com

引言

中国是水产养殖和水产品消费大国,水产养殖量约占全球的 60%。随着工农业的迅速发展,水污染和资源短缺问题日益严重,水产品品质得不到有效保障,极大限制了水产养殖业的可持续发展。研究和改善养殖环境,促进养殖业从传统的“粗放型”向“精准化”工厂养殖转变,已经成为水产养殖业健康快速发展的重要课题。

影响水产养殖的关键参数包括水温(T)、溶解氧(DO)、酸碱度(pH 值)、电导率、氧化还原能力(ORP)、浊度、光照、氨氮、硫化物等<sup>[1-2]</sup>。欧美等发达国家在研制水质自动监测系统方面起步较早。美国 HACH 公司提出了基于浊度、消毒剂(余氯/二氧化氯)、pH 值、电导率 4 参数的水质实时在线监测系统。德国 WTW 公司推出的在线多参数水质测试系统同时建立了单点多参数测试或多达 20 个传感器的网络。此类产品性能稳定、集成度较高,但价格高昂、维护复杂、操作和学习难度大,很难在我国中小型农企、农民合作社或家庭农场中广泛推广使用。

我国在水产养殖监测系统方面的研究也取得了一些成果,如中国农业大学提出的集约化水产养殖远程无线水质自动监测系统,实现了水质参数的自动采集和无线传输,便于工作人员实时查询水质环境信息<sup>[3-5]</sup>。江苏大学研制的基于无线网络的水产养殖远程监控系统,实现了对多水质参数远程采集和存储以及多控制节点的远程控制<sup>[6-8]</sup>。辽宁工程技术大学构建的基于 Zigbee 和 WinCE 嵌入式平台的多点水质动态监控系统,具有结构简单、节点易扩充等特点<sup>[9]</sup>。目前国内养殖户在水质检测方面大多仍采用人工取样分析的方式,即时性差,耗时费力。信息采集设备多直接购买国外厂商产品,硬件核心技术“空心化”,使用成本增加;且自主研发的传感器和无线传感网络在稳定性、抗干扰性和拓展性等方面都需要进一步提高。而部分龙头农企虽使用了水质在线检测设备,但设备安装位置固定,考虑到养殖环境的差异性和多变性,为了获得较全面的信息,往往需要多点安置检测设备,同样会显著增加企业购买和维护成本。

无人船具有体积小、易操控、使用方便、成本低、效率高、对监控环境要求低等优点<sup>[10-11]</sup>。本文开发一种水产养殖智能机动在线监控船,即利用无人船装载水产养殖在线监控设备,用户可根据需求进行自动巡航及环境生态的定时定点监控,结合无线信号传输技术,进而实现水产养殖环境的远程在线监控<sup>[12-14]</sup>。

1 设备硬件与软件设计方案

1.1 硬件与软件架构

在线监控一体化设备按功能可分为 3 部分:负责自动巡航、定位及避障的无人驾驶机动船;负责水质生态综合信息的获取分析以及养殖设备远程调控的终端设备;负责通信服务、远程操控、信息管理查询等应用的服务平台。设备的硬件组成和分布特征如图 1 所示,主要包括船体、主控制板、水质检测探头组、摄像机组、计算机和手持终端。控制设备的软件包括下位机监控系统(内嵌于主控制板中)和上位机监控平台(安装在手持终端和计算机中)2 部分,如图 2 所示。

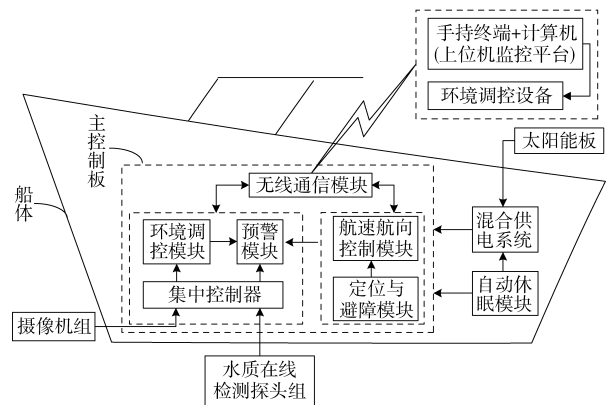


图 1 监控设备的硬件分布结构示意图

Fig.1 Hardware schematic diagram of monitoring equipment

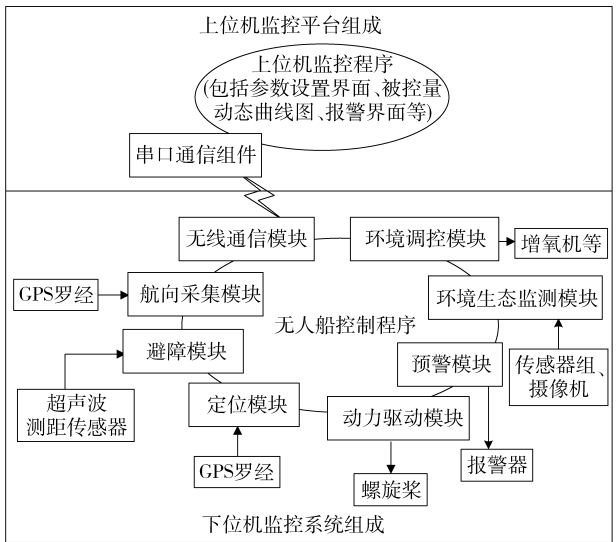


图 2 监控设备的软件构成图

Fig.2 Software design of monitoring equipment

1.2 船舶主控制板

船舶主控制板是监控设备的核心部件,由主/从两片 STC12C5A60S2 单片机和外接的 8 个功能模块(图 2)组成,具有水质生态监测装置控制、数据采集与分析、无线通信、船舶自动控制、向现场环境调控

设备发控制指令以及预警等功能。单片机内部设计采用功耗低、有扩展功能的工控核心板,用于集成一系列硬件扩展模块。主/从两片单片机之间通过 SPI 串行外设接口总线进行通信,从单片机负责读取监测船的状态,每测一组数据,立即送给主单片机。主单片机收到数据之后,根据不同数据源,分别进行相应的处理。当监控数据超过预置阈值范围或船舶、监控设备运行失控时向用户发出声、光报警。

单片机程序开发工具为 Keil2,电路板设计工具为 Protel 99 SE。主控制板实现了硬件系统的高度集成,能提高系统防振动、防水、防雷、野外抗干扰性能,有效保证系统的稳定性,使设备更能适应水产养殖环境的需要。

1.3 水质生态监测

自制的环境生态监控装置,采用一个集中控制器与多个检测探头和摄像机相连。集中控制器集成在主控制板上,包括水质检测探头控制模块、摄像机控制模块、数据采集与分析模块 3 部分。前两者通过信号线分别与浸泡在水中的水质检测探头和摄像机相连,实时获取水体指标(T、DO、pH 值和 ORP),以及鱼、虾生态的视频信息;后者具有对检测数据和视频图像进行存储、预处理、分析、趋势预测、标准化数字输出等功能。

集中控制器采用大容量 16 GB 存储器和 RS485、3G/4G 及 Zigbee 多种通信端口<sup>[15-16]</sup>,通过无线通信模块将获取信息实时上传至后台服务平台,再通过 Web 技术发布至互联网,方便用户随时地了解养殖情况,并为环境调控模块提供依据。此外,控制器还具有自识别、自校正、自动补偿等功能。

DO 探头采用氧化电极法(Clark 电极法),根据氧分子透过富氧膜的扩散速率来测定水中 DO 值。pH 探头利用电位分析方法(原电池法),根据电极电位与水中 H<sup>+</sup> 之间的对应关系计算得到水的 pH 值。ORP 探头工作原理与 pH 探头类似,测量的电位差由水体中所有离子共同形成,而后者只是测量由 H<sup>+</sup> 产生的电位差。上述 3 指标的检测结果均进行了温度和盐度补偿。

1.4 养殖设备调控

在水产养殖过程中,增氧机、播撒机、水位调节器等养殖设备往往通过电源线与设备开关控制柜相连。环境调控模块根据监测和分析结果,利用融合组态技术和工控技术,通过无线通信模块向设备开关控制柜中的可编程逻辑控制器(PLC)发出指令,通过控制现场设备开关或改变其相关设置,从而实现养殖环境的精确调控,为鱼、虾等提供最佳生长条件。

1.5 船舶自动控制

船舶自动控制部分主要组成硬件有:带防护网的螺旋桨推进装置(含航速航向控制模块)、GPS 电子罗经、转速传感器和超声波测距传感器,负责船舶航速与航向控制、动力驱动、定位、避障等功能,具体工作原理详见本课题组申请的发明专利<sup>[17]</sup>。

用户通过上位机监控平台按需设置航行目的地、航行时间、航速等指令,并每 5 s 自动向下位机主控制板获取数据。主控制板接收到监控平台发送的指令后,首先向监控平台发送一帧数据包,包含无人船当前航速、航向、位置、周围是否存在障碍物等状态和地理位置信息;然后对船舶当前信息进行综合分析后,向航速航向控制模块发出指令,控制船舶向指定地点航行。待无人船到达指定位置后,开启自动监控功能,完成监控任务后巡航至下一监控点。船舶控制的总工作流程如图 3 所示。

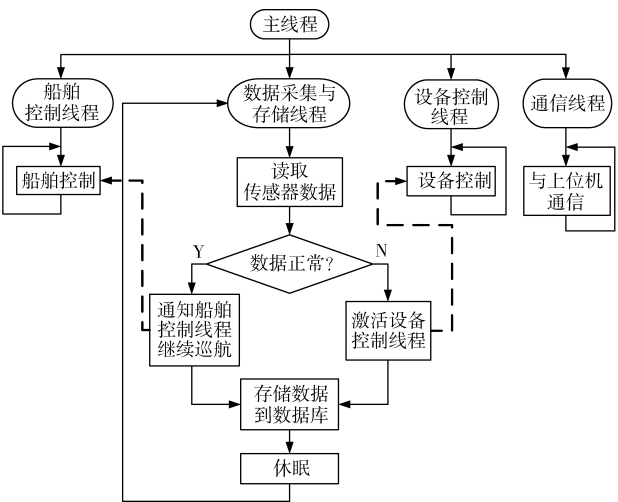


图 3 船舶控制工作流程图

Fig. 3 Work flow chart of board control

为了确保船舶能运行较长时间,采用混合动力方式,即利用汽油、柴油等燃料为船舶巡航提供动力,利用大容量便携式移动电源和自主研发集成的太阳能供电系统为船舶主控制板、GPS 电子罗经、超声波测距传感器、转速传感器供电,并设有自动休眠功能。移动电源的电芯容量 18 000 mA·h(3.7 V),具有温度、短路、各种电路保护,多重安全设计。太阳能供电设备的蓄电容量大,可实现监控设备在阴天 10 d 连续供电。

主控制板和船体外壳采用高密封防水材料,所有外接口线路采用防水套件加固,保证防水性能的同时提高野外抗干扰能力,达到 NEMA4X、IP65 防护等级。

1.6 远程监控平台

用户可通过在计算机或手持终端中安装远程监

控平台,建立计算机、手持终端与监控船及 PLC 之间的通信联系,实时查询水质生态监控情况、PLC 动态控制数据以及船舶巡航情况,并对现场设施进行远程集中控制。

监控平台的设计采用分层的 B/S 软件架构,利用信息融合技术、组态技术、图像(视频)数据压缩技术、图层优化技术和报表自定义技术等,实现数据存储功能、数据融合功能、设备控制功能、远程联网功能、用户分级管理等功能,平台设计方案如图 4 所示。在所开发的系统中内嵌动态域名解析功能,方便借助 ADSL、GPRS 等廉价通信方式部署分布式应用系统,通过 Internet 实现低成本远程监控功能。

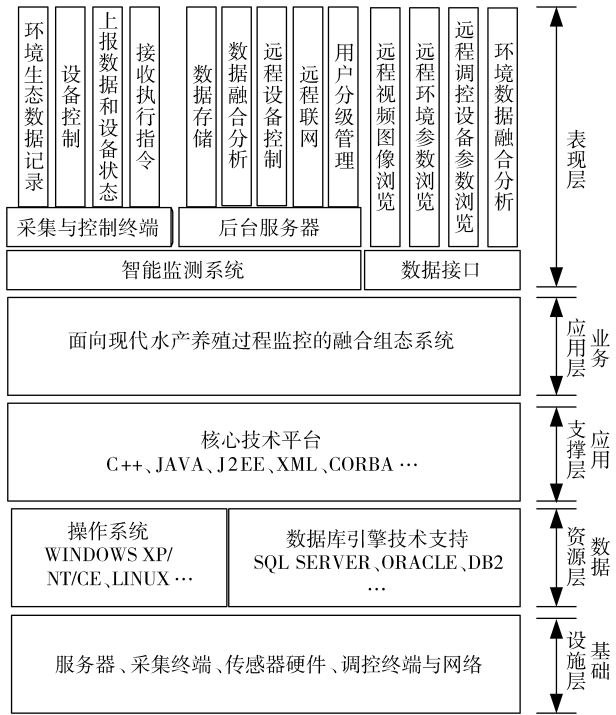


图 4 水产养殖生产过程监控平台系统结构层次设计方案

Fig. 4 Design of aquiculture monitoring and control platform

监控平台设有用户登录、主监控界面、串口通信、控制模式切换、控制参数设置、监测船状态图形显示、环境生态监测数据设置和分析显示、环境调控设置和结果显示 8 大模块,如图 5 所示。平台采用多信息融合技术解析监测数据,通过对各检测探头及其获取信息的合理支配与使用,依据内设优化准则,将各种检测探头在空间和时间上的互补、冗余信息进行组合,利于更准确地把握生产环境的本质和属性,准确分析其内在和动态变化规律。并将二维 GIS 空间插值分析和展现技术相结合应用于数据分析中,使得分析结果展示更直观,易于指导水产养殖设施的科学合理调控,满足农业生产者的实际需求。

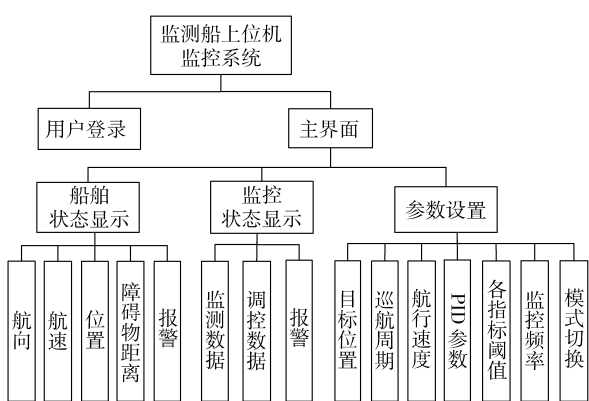


图 5 监控平台组成模块

Fig. 5 Diagram of monitoring and control platform modules

2 试验

选择广东省现代农业装备研究所的鱼塘进行监控设备性能测试。无人船接收巡航指令 2 s 左右,船舶实际航向与预置航向基本保持一致。30 s 后无人船到达指定位置,在空旷环境中的定位误差小于  $\pm 5$  m。无人船的自动控制结果如图 6 所示。

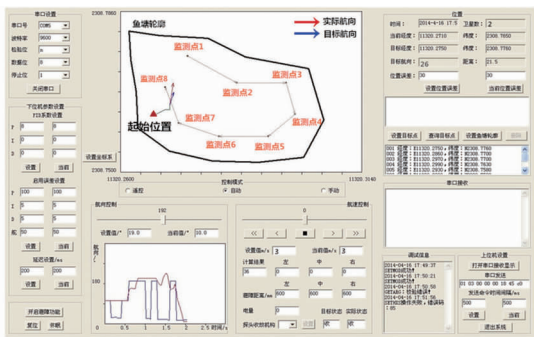


图 6 上位机软件船舶控制主界面

Fig. 6 Main interface of computer software of boat control

无人船上装载的水质监测集中控制器及其上位机软件主界面如图 7 所示。

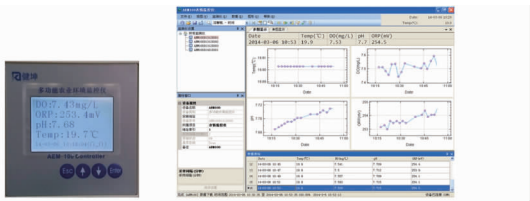


图 7 水质监测装置实物图及其上位机软件主界面  
Fig. 7 Picture of self-made multi-functional monitoring device and main interface of its computer software

利用监控设备获取鱼塘不同监测点(监测点 1、2 和 3)水体 T、DO、pH 值和 ORP 4 个水质指标随时间  $t$  的变化值。同时将监测点的水样收集后,即刻在实验室用商品化仪器(上海三信仪表厂 SX751 型测量仪)进行检测,检测不同水质指标时均需要更换检测探头并进行校正,结果如图 8 所示。

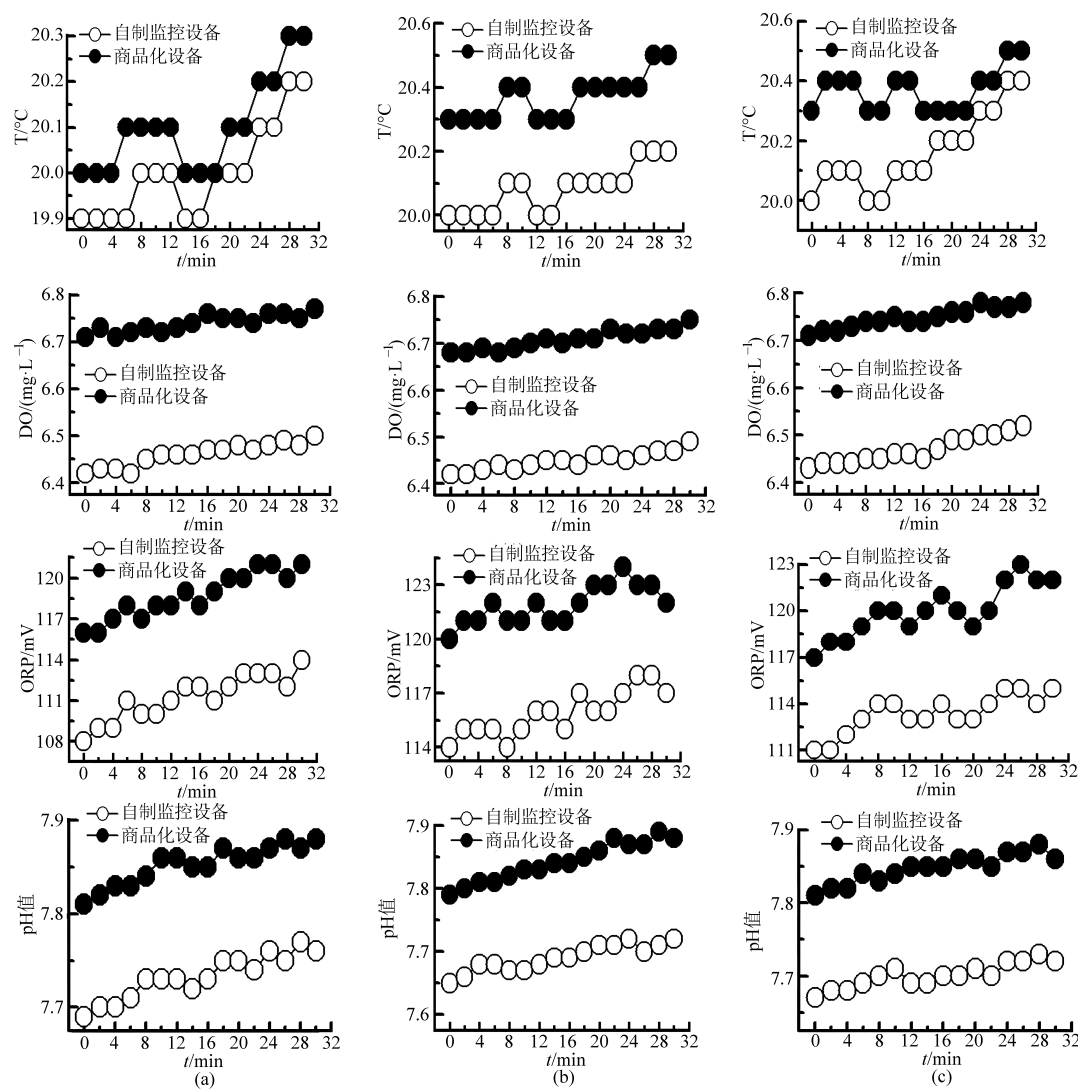


图 8 自制监控设备与商品化设备水质检测结果对比

Fig. 8 Comparison of pond water test results between homemade and commercial monitoring device

(a) 监测点 1 (b) 监测点 2 (c) 监测点 3

对比图 8 可看出,自制设备 T、DO、ORP、pH 值的检测结果略低于 SX751 型测量仪,分别平均偏低 0.2℃、0.3 mg/L、6 mV 和 0.1 左右。由于 DO、ORP 和 pH 值的检测结果均需进行温度校正,鱼塘水采样到实验室后,水温会略微升高,从而影响校正结果。此外,自制设备是对现场水质 4 个指标同时进行直接检测,完成一个测试点的检测耗时不到 1 min;而 SX751 型测量仪是对采样后的水质进行检测,而且每检测完一个参数必须更换探头并校正后才能进行下一个参数的检测,完成 4 个参数的检测平均耗时 45 min 左右。上述原因可能是造成自制设备与 SX751 型测量仪检测结果存在差异的原因之一。另外,不同仪器的背景信号不同,对检测结果也会产生一定影响。但值得注意的是,2 种设备检测结果的变化趋势基本一致,可见自制设备的检测结果可靠,且无需取样,就可同时连续获取多种水质指标,耗时少。图 9 给出了

自制设备在某一监测点(以图 6 中监测点 5 为例)连续检测 24 h 的结果。由此可见,自制设备的性能与国内同类产品相当,操作和维护简单,而且整套装备的预定售价仅为国内同类产品的 50% 左右。

根据监控系统软件设计方案,完成水产养殖环境检测数据的 Web 实时显示,包括传感器检测信息、分析结果、GPS 定位信息、监控船周围障碍物状况、无线网络信息、电池状态等,如图 10、11 所示,为环境调控设备和船舶自动巡航提供必要的参考数据。通过 Zigbee、GPRS、3G/4G 等无线传输方式将水质信息上报至监控中心或网络服务器,用户可通过手机、PAD、计算机等实时查询养殖水质环境信息,帮助生产人员及时发现问题,准确地锁定发生问题的位置,并根据水质指标的变化适时调控环境设备,如增氧系统、保温系统等,为水生物生长提供最佳环境条件。

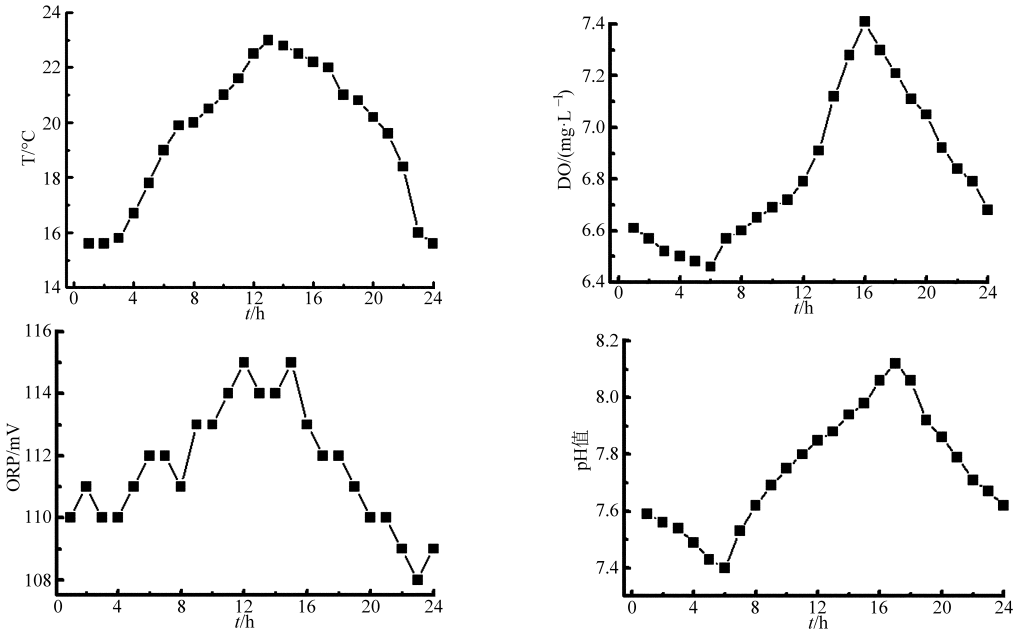


图 9 自制监控设备获取的 24 h 内水质指标随时间的变化

Fig. 9 24 h continuous test results of pond water with change of time from homemade monitoring device



图 10 数据采集终端软件主界面

Fig. 10 Main interface design of data collection terminal software

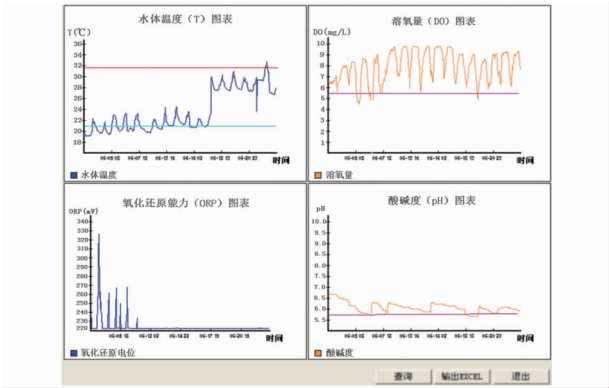


图 11 基于 Web 形式的环境参数统计分析报表

Fig. 11 Statistical analysis reports of environmental parameters based on Web form

3 结束语

本文研发的水产养殖智能机动在线监控船,利用无人驾驶监控船的自动巡航功能,实现养殖环境的多点连续监测和定位精准调控,并且集预警、无线数据传输、综合信息管理等多功能于一体,具有功能丰富、成本低廉、可靠性高、可重构配置、扩展性强等

优点。一方面,可以促进水产物增产创收,大大提升养殖场的信息化、自动化和智能化水平,有利于降低成本,提高劳动生产率、资源利用率和管理效率,提升农产品质量等级和市场竞争力;另一方面,为进一步拓展农情信息采集装置的应用范围提供借鉴经验和参考价值。

参 考 文 献

1 李道亮,傅泽田. 智能化水产养殖信息系统的设计与初步实现[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 135-138.  
Li Daoliang, Fu Zetian. Design and development of intellectual aquacultural information system[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(4): 135-138. (in Chinese)

2 马从国,赵德安,秦云,等. 基于现场总线技术的水产养殖过程智能监控系统[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 113-115.  
Ma Congguo, Zhao Dean, Qin Yun, et al. Intelligent monitoring and control for aquiculture process based on fieldbus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 113-115. (in Chinese)

3 中国农业大学. 基于 GPRS 的水产养殖远程数据采集传输系统:中国, CN201464872U[P]. 2010-05-12.

4 中国农业大学. 一种水产养殖水质监测装置:中国, CN201804001U[P]. 2011-04-20.

5 中国农业大学. 水质参数无线传感器网络监测系统:中国, CN202004800U[P]. 2011-10-05.

Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 216 – 226. (in Chinese)

10 何勇, 赵春江, 吴迪, 等. 作物-环境信息的快速获取技术与传感仪器[J]. 中国科学:信息科学, 2010, 40(增刊):1 – 20.  
He Yong, Zhao Chunjiang, Wu Di, et al. Fast detection technique and sensor instruments for crop-environment information: a review [J]. Science China: Information Sciences, 2010, 40(Supp.):1 – 20. (in Chinese)

11 聂鹏程. 植物信息感知与自组织农业物联网系统研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.

12 袁晓如, 张昕, 肖何, 等. 可视化研究前沿及展望[J]. 科研信息化技术与应用, 2011, 2(4): 3 – 13.  
Yuan Xiaoru, Zhang Xin, Xiao He, et al. Visualization research frontier and prospect [J]. E-Science Technology & Application, 2011, 2(4): 3 – 13. (in Chinese)

13 Pleil Joachim D, Stiegel Matthew A, Madden Michael C, et al. Heat map visualization of complex environmental and biomarker measurements [J]. Chemosphere, 2011, 84(5): 716 – 723.

14 Inselberg A, Dimsdale B. Parallel coordinates [M]. Allen Klinger: human-machine interactive systems. Springer US, 1991: 199 – 233.

15 Elmqvist N, Dragicevic P, Fekete J D. Rolling the dice: multidimensional visual exploration using scatterplot matrix navigation [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2008, 14(6): 1141 – 1148.

~~~~~

(上接第 281 页)

6 史兵, 赵德安, 刘星桥, 等. 基于无线传感网络的规模化水产养殖智能监控系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 136 – 140.  
Shi Bing, Zhao Dean, Liu Xingqiao, et al. Intelligent monitoring system for industrialized aquaculture based on wireless sensor network[J]. Transactions of the CASE, 2011, 27(9): 136 – 140. (in Chinese)

7 史兵, 赵德安, 刘星桥, 等. 工业化水产养殖智能监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 191 – 196.  
Shi Bing, Zhao Dean, Liu Xingqiao, et al. Design of intelligent monitoring system for aquaculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 191 – 196. (in Chinese)

8 李慧, 刘星桥, 李景, 等. 基于物联网 Android 平台的水产养殖远程监控系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 175 – 181.  
Li Hui, Liu Xingqiao, Li Jing, et al. Aquiculture remote monitoring system based on IOT Android platform[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(13): 175 – 181. (in Chinese)

9 李丽丽, 施伟. 海水工厂化养殖水质动态监控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 364 – 367.  
Li Lili, Shi Wei. Design of dynamic monitoring system for seawater factory culture[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 364 – 367. (in Chinese)

10 沈阳航天新光集团有限公司. 一种可自动巡航的无人驾驶船:中国, CN101161547A[P]. 2008 – 04 – 16.

11 崔健, 马天宇, 杨松林, 等. 高速无人船推进系统控制参数组合优化分析[J]. 舰船科学技术, 2009, 9(1): 69 – 73.  
Cui Jian, Ma Tianyu, Yang Songlin, et al. Optimized analysis of high-speed USV intelligence propulsion system [J]. Ship Science and Technology, 2009, 9(1): 69 – 73. (in Chinese)

12 沈阳航天新光集团有限公司. 一种无人驾驶气象探测船:中国, CN101683894A[P]. 2010 – 03 – 31.

13 沈阳航天新光集团有限公司. 一种无人控制水上环保监查采样船:中国, CN101434286A[P]. 2009 – 05 – 20.

14 宇星科技发展(深圳)有限公司. 水质监测船:中国, CN201559799U[P]. 2010 – 08 – 25.

15 何勇, 方慧, 冯雷. 基于 GPS 和 GIS 的精准农业信息处理系统研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1):145 – 149.  
He Yong, Fang Hui, Feng Lei. Information processing system for precision agriculture based on GPS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(1): 145 – 149. (in Chinese)

16 邓小蕾, 李民赞, 武佳, 等. 集成 GPRS、GPS、ZigBee 的土壤水分移动监测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 130 – 135.  
Deng Xiaolei, Li Minzan, Wu Jia, et al. Development of mobile soil moisture monitoring system integrated with GPRS, GPS and ZigBee[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 130 – 135. (in Chinese)

17 广州市健坤网络科技发展有限公司, 广东省现代农业装备研究所. 一种无舵船舶的自动化航向控制系统及方法:中国, CN201310638691.3[P]. 2013 – 12 – 02.