

海水池塘循环水养殖的控制系统研制

黄种明¹, 许志龙¹, 曹志翔¹, 郭更生²

(1. 集美大学海洋装备与机械工程学院, 福建厦门 361021; 2. 集美大学理学院, 福建厦门 361021)

[摘要] 提出用物联网技术来解决海水池塘循环水养殖智能化控制水平低的问题。通过感知层实时采集水射流器、清污电机、换网电机、投饵机等受控设备的运行数据, 并对养殖槽的溶解氧、水温、pH值等水质参数进行实时监测; 传输层的单片机控制板汇集所有数据, 通过DTU实时传送至服务器进行存储和分析, 并发出控制指令进行智能调控; 通过应用层的现场触摸屏、监视电脑或移动终端, 用户可随时查看现场养殖设备运行状态和水质参数等数据, 进行现场或远程控制。当海水池塘循环水养殖设备发生故障时, 可用电话、短信和现场报警器通知管理员。经测试, 该控制系统可长时间稳定工作, 且监控响应快, 处理时间短, 可确保鱼类养殖安全。

[关键词] 海水池塘; 水产; 循环水养殖; 控制系统; 报警机制

[中图分类号] TK513.4

Development of the Control System for Recirculating Aquaculture in Seawater Pond

HUANG Zhongming¹, XU Zhilong¹, CAO Zhixiang¹, GUO Gengsheng²

(1. College of Marine Equipment and Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. School of Science, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Considering the problem of low intelligent control level of seawater pond aquaculture, this paper solved the intelligent control of seawater pond aquaculture based on Internet of Things technology. The operation data of the controlled equipment (such as injector aerator, cleaning motor, changing network motor and feeding machine) and the water quality parameters (dissolved oxygen, temperature and pH) were collected in real time by the sensing layer. The single chip control board of the transport layer collected these data, and issue control commanded to intelligent control. Moreover, these data were transmitted to the server in real time through the DTU for storage and analysis. Users could view the site aquaculture equipment running status and water quality parameters at any time by the touch screens, monitoring computers and mobile terminals of the application layer, and control the aquaculture equipment on-site or remotely. When the controlled equipment failed, the administrator could be notified by telephone, short message and on-site alarm. After testing, the control system could work stably for a long time. Meanwhile, the response and processing time of monitoring data could ensure the safety of fish farming.

Keywords: seawater pond; aquaculture; circulating aquaculture; control system; alarm mechanism

[收稿日期] 2022-08-23

[基金项目] 福建省海洋经济发展专项基金项目(FJHJF-L-2021-9); 福建省财政厅专项(闽财指[2022]840号)

[作者简介] 黄种明(1983—), 男, 高级实验师, 从事控制工程方向研究。E-mail: hzm0513@163.com

0 引言

池塘循环流水养殖 (internal-circulation pond aquaculture, IPA) 模式将池塘分为流水养鱼区和循环水净化处理区, 具有水资源利用效率高、节地高效、水质好等优点, 契合水生态环境保护的要求, 近年来得到普遍的应用推广^[1-2]。池塘循环流水养殖的关键技术之一是控制系统, 国内外专家学者对养殖控制系统进行了大量研究。为了实现远程监控水产养殖的状况, 李慧等^[3]开发了一种水产养殖远程监控系统, 该系统基于物联网 Android 平台实现了多传感器数据的远程采集和存储, 用户可用手机随时在线查看和获取养殖信息。颜波等^[4]结合无线传感网络与 RFID 技术设计了一种自动化养殖监控系统并应用于罗非鱼养殖实践中, 试验结果表明该系统可自动控制养殖装备。张刚等^[5]基于无线传感网络研发了一种应用于淡水珍珠蚌养殖方面的分布式水质监控系统, 有利于促进淡水珍珠蚌养殖方式的转变升级。Huan 等^[6]开发了一种基于窄带物联网 (narrow band internet of things, NB-IoT) 技术的水产养殖池塘水质监测系统, 能够远程采集和存储多传感器的数据, 实现了自动控制和集中管理养殖池。刘雨青等^[7]设计了一种应用于螃蟹养殖的全方位监控系统, 能够实现养殖过程中的水质监测、气象监测、视频监控等。Lorena 等^[8]基于无线传感网络并仅采用低成本的传感器实现了养殖池内水质与鱼类的监测, 同时可实现数据的远程传输及数据异常时的报警。Abinaya 等^[9]基于物联网设计了一种监控系统, 该系统采用 Aurdino 处理器能够自动检测水体温度、pH 值、溶解氧、氨氮等参数。以上研究对水产养殖装备的发展均起到促进作用, 但这些养殖控制技术一般只用于检测淡水养殖水质指标、控制循环水泵和增氧机等装备, 未对海水池塘循环水养殖控制方法进行分析, 未探讨如何保证海水池塘循环水养殖的安全性。

针对海水腐蚀性强、污损生物繁殖快等特性, 在控制设备的耐用性、信息采集的稳定性等的要求比淡水更高, 如何保证海水池塘循环水养殖的安全性是海水池塘循环水养殖控制系统研究的重点。本文拟开发由感知层、传输层和应用层组成的立体智能控制系统, 以实现海水池塘循环水水质自动检测和分析, 以及智能控制循环晒网装置、水射流装置、清污装置、投饵机等关键设备。

1 海水池塘循环水养殖模式

循环水养殖的海水池塘根据功能分为养殖区和生态净化区, 如图 1 所示。其中, 养殖区域在整个池塘占比较小, 约 3% ~ 5%。

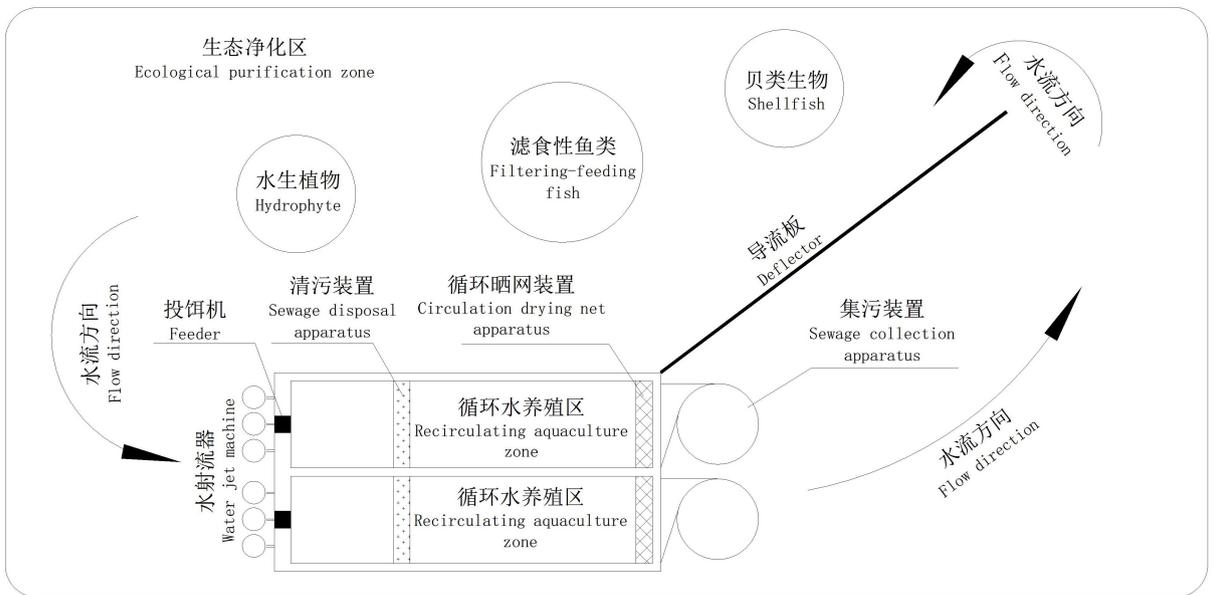


图 1 海水池塘循环水养殖模式示意图

Fig.1 Diagram of recirculating aquaculture mode in seawater pond

在养殖区内建造循环水养殖网箱, 对鱼类进行高密度集中养殖, 以便统一管理。在生态净化区通过放养贝类、滤食性鱼类及种植水生植物等, 对池塘水体进行生态净化, 避免水质恶化。

循环水养殖网箱内主要设计有水射流器、清污装置、循环晒网装置、集污装置、投饵机。水射流装置采用推流爆气方式, 可以同时为养殖槽增氧和推流, 防止出现缺氧死鱼事故, 同时使网箱与池塘内的海水流动互换, 保证网箱内的海水质量。清污装置采用旋转毛刷设计, 定期清理养殖槽内剩余饵料和鱼儿代谢产物。循环晒网装置安装在网箱端部, 每天将拦网从水底转动到水面上曝晒, 能够防止藻类、贝类等海洋污损生物的生长堵塞拦鱼网。集污装置与养殖槽尾部相连, 收集从养殖槽流出的剩余饵料和鱼儿代谢产物, 有效改善水质。投饵机安装在养殖槽头部, 根据养殖鱼品类、大小和气象等因素自动投喂。在整个海水池塘循环水养殖生产过程中, 采用基于物联网技术的智能化监控系统可实现养殖自动化与信息化。

2 海水池塘循环水养殖控制系统设计

2.1 整体设计

海水池塘循环水养殖控制系统采用基于物联网的三层立体架构, 包括感知层、传输层、应用层。整个控制系统主要由水质监测、受控设备、摄像头、单片机控制板、DTU、现场触摸屏、服务器、监视电脑、APP 等组成, 实现现场与远程控制相结合, 信息采集、传输、存储、多元化报警为一体的全方位监控, 如图 2 所示。

1) 感知层: 包括水质监测节点、受控设备节点、摄像头和数据传输线路。采用 RS485 的通信方式, 执行上级的控制指令, 并实时上传采集的信息。

2) 传输层: 包括服务器、DTU 传输器、单片机控制板与通信网络。单片机控制板除了传递应用层下达的指令外, 还将感知层的监测信息与现场触摸屏对接, 并通过 DTU 传输器将信息传输到服务器存储与分析。

3) 应用层: 具有实时显示现场设备运行状态及水质监测信息、手动控制现场设备、报警等功能。监控电脑与 APP 可通过 Internet 搭建网络访问服务器, 实现现场信息查询与控制指令下发。

整个海水池塘循环水养殖控制系统的搭建分为三个部分: 一是搭建硬件平台与现场控制系统, 包括硬件设备选型、连接, 以及相关程序设计等; 二是搭建数据传输链路, 包括单片机控制板与触摸屏、DTU 的数据传输格式设计、编码、解码等; 三是进行服务器监控系统和 SQL Server 数据库的软件设计、APP 程序设计。

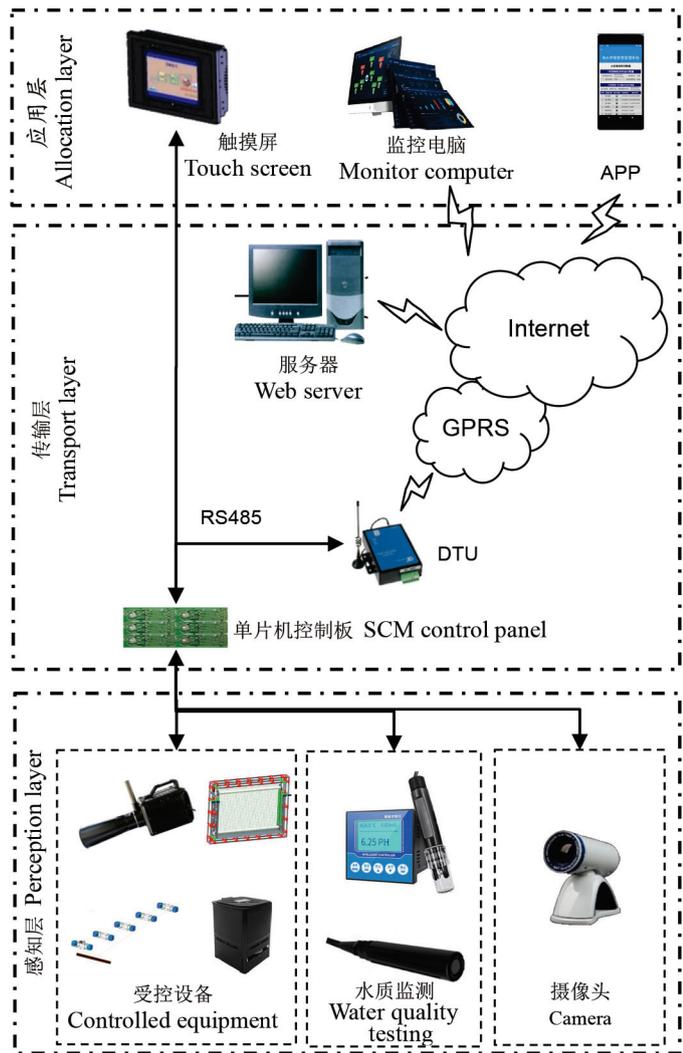


图 2 海水池塘循环水养殖控制系统架构图

Fig.2 Control system architecture of recirculating aquaculture in seawater pond

2.2 硬件设计

2.2.1 硬件选型

控制系统硬件设备主要包含服务器、DTU 传输器、单片机控制板、触摸屏、受控设备、水质监测设备等。本系统尽量选用通用型硬件器件, 要求选用的器材耐用性好, 价格合适并容易购买。

1) 受控设备: 根据养殖要求, 现场受控设备包括用于养殖槽水循环的水射流器 3 台, 用于将水底渔网转到水面曝晒的换网电机 1 台, 用于清理养殖槽底部残物的清污电机 1 台和用于投放饲料的投饵机 1 台。本系统所选的设备都为 AC 220 V 供电, 功率较低, 其中水射流器功率为 450 W, 换网电机、清污电机和投饵机的功率皆为 75 W。

2) 水质监测设备: 针对石斑鱼对养殖水质的要求, 并结合实际养殖经验, 需要对水温、pH 值和溶解氧 3 个常规参数进行监测。本系统采用海水 pH 计和荧光法海水溶解氧探头, 两个设备都包含智能温度补偿设计, 精度为 0.01。

3) 单片机控制板: 本系统采用自主研发的单片机控制板控制现场设备及实时信息采集, 包含 6 路模拟量输入、8 路带电流监测的开关量输出、8 路开关量输入和 3 路 RS485 通信。其中模拟量输入中, 3 路用于水质参数采集, 3 路备用; 开关量输出中, 6 路用于现场受控设备, 2 路备用; 开关量输入中, 2 路用于市电/柴油机发电采集, 其余备用; RS485 通信中, 1 路与触摸屏通信, 1 路连接 DTU 传输器用于数据的传输, 剩余 1 路备用。

4) DTU 传输器: 根据实际运行场景, 单片机控制板与服务器放置距离远, 数据传输量小, 故采用多功能全网通 4G 无线数据终端, 其内置低功耗高性能的嵌入式处理器; 具备 TVS 保护管、复合式看门狗避免设备死机; 同时支持 TCP、UDP、DNS、PPP、HTTP 和 MQTT 协议, 可连接大部分物联网平台。

5) 触摸屏: 本系统选用 7 英寸 (17.78 cm) 屏, 能容纳系统需要显示的信息, 且具有 RS485 和 RS232 通信端口, 配合嵌入式软件完成人机交互界面的开发。

6) 服务器: 负责将 DTU 传输器传递的信息进行存储与分析, 并发出控制指令给单片机控制板以控制现场设备; 当发生故障时, 将报警信息通过电话、发送短信通知管理员。因此, 必须保证服务器的长期稳定工作。现有自建和租赁两种服务器管理方式, 由于自建服务器需解决电力、空调、消防、带宽、24 小时人员监控等问题, 投入太大, 所以本研究采用租赁腾讯服务器的方式以降低采购及管理成本。

2.2.2 硬件连接

海水池塘循环水养殖现场控制系统可在本地对周边水射流器、投饵机等进行现场控制, 并对养殖环境的水质和设备运行状态等信息进行实时采集, 保证系统能连续、安全可靠运行。

硬件连接如图 3 所示, 整套系统以单片机控制板作为主控单元。电源切换装置实时监测市电状态, 当市电断电, 自动切换至自备的柴油机发电, 实时供电给单片机控制板; 同时单片机控制板的开关量输入端口连接电源切换装置, 用于采集市电/柴油机发电信息。单片机控制板通过带电流监测的开关量输出端口驱动水射流器、换网电机、清污电机和投饵机等现场设备, 并实时监测其电流值, 分析受控设备状态。通过模拟量输入端口连接的溶解氧探头、pH 计和温度探头, 实时采集溶解氧含量、pH 值和水温等参数, 结合受控设备状态自动调控现场设

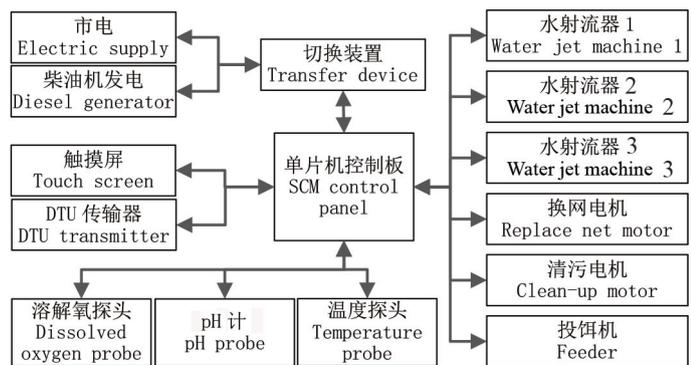


图 3 硬件连接图

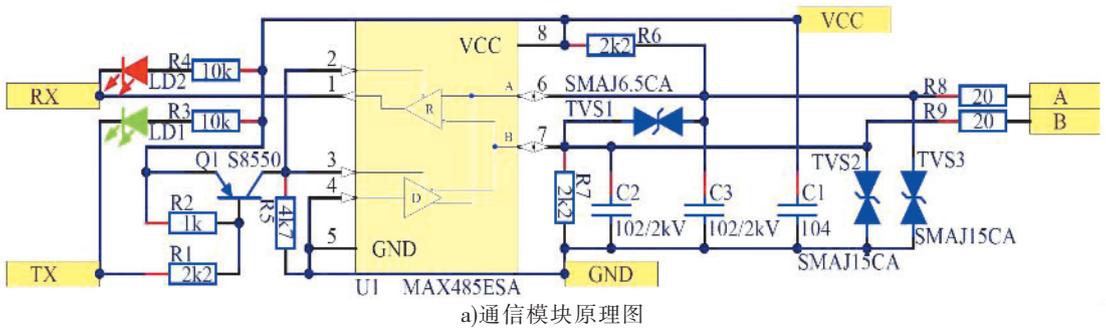
Fig.3 Hardware block diagram

通过模拟量输入端口连接的溶解氧探头、pH 计和温度探头, 实时采集溶解氧含量、pH 值和水温等参数, 结合受控设备状态自动调控现场设

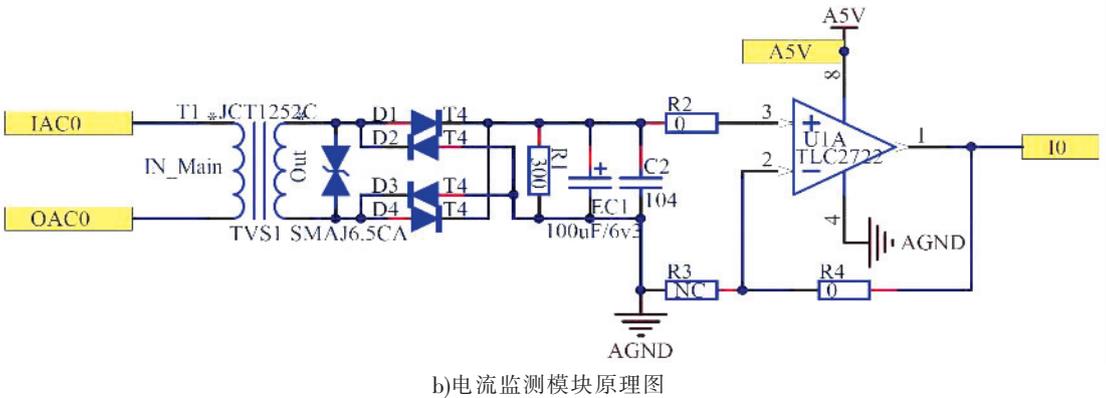
备。单片机控制板可通过 RS485 端口与触摸屏、DTU 传输器连接, 实时显示现场监测信息并控制设备, 发送实时数据及报警信息到远程服务器上。

2.2.3 单片机控制板设计

为减少成本、节约空间、提高集成度, 自主设计海水池塘循环水养殖单片机控制板。电路板采用 STM32F103C8T6 单片机, 设计有电源模块、通信模块、DI 输入模块、DO 输出模块、AI 输入模块等, 其中 AI 输入模块包含电流监测模块和水质参数采集。电源模块通过 TPS5430 降压转换器将 DC 24 V 电源转换成 DC 5 V, 然后用 LM1117 低压线性稳压器转换成单片机可用的 DC 3.3 V。通信模块利用 MAX485ESA 芯片将单片机收发器转换成 RS485, 实现数据的收发。DI 输入模块设计有光电耦合器, 实现市电和柴油机发电等信号采集, 同时将一二级隔离, 降低干扰, 保证信号传输稳定。DO 输出模块根据控制指令, 控制继电器线圈合/断实现受控设备的开关。AI 输入模块分成电流监测模块和水质参数采集模块。电流监测模块将一次电流经互感器变成二次电流信号后, 经整流桥、滤波电容和 TLC2722 运算放大器输入给单片机, 实现受控设备的交流电流采集; 水质参数采集模块将水质探头输出的 0~20 mA 标准信号, 经滤波电容和运算放大器输入给单片机, 实现水质参数的采集。部分原理图如图 4 所示。



Communication module schematic diagram



Schematic diagram of current monitoring module

图 4 部分单片机控制板原理图

Fig.4 Schematic diagram of part single chip control board

2.3 报警设计

海水池塘循环水养殖系统中设备的安全性能优劣是系统能否正常运行的关键因素。但是, 由于设备复杂多样, 运行要求不尽相同, 需要在对设备运行工况进行实时检测的基础上, 设计科学、高效、准确和稳定的报警系统, 以保证系统的安全运行。本项目组从以下五方面进行设计:

- 1) 供电保障: 市电和柴油机发电双重保障, 一旦市电断电, 立刻启动柴油机发电。
- 2) 供氧保证: 采用溶解氧传感器检测、水花图像识别技术、水射流器流量检测三大技术同时对供氧进行监控, 防止高密度养殖发生缺氧死鱼事故。

3) 设备安全运行保障: 单片机控制板上针对设备堵转、过载等设计了安全保护; 采用图像识别技术, 对设备运行实时分析; 并有冗余设计, 一旦设备故障可以快速切换到备用设备, 特别是水射流器故障。

4) 稳定的数据传输保障: 运行数据通过 GPRS 无线网络、Internet 进行传输。设计超时报警机制, 防止数据漏传; 设计校验机制, 防止数据误传。

5) 多元化报警机制: 设计现场和控制室声光报警、远程电话和短信报警, 实现多元化报警机制, 确保故障发生时能够及时通知到管理人员。

控制系统的具体报警类型在设计时共分为 13 种, 如表 1 所示。当发生故障报警时, 触摸屏及远程监控电脑显示报警内容及报警原因, 同时拨打电话及发送短信提醒, 短信仅提示报警内容。

表 1 报警类型表

Tab. 1 Alarm type

序号 NO.	报警内容 Alarm content	报警分类 Alarm category	报警值 Alarm value	序号 NO.	报警内容 Alarm content	报警分类 Alarm category	报警值 Alarm value
01	市电断电 Mains electricity off	离散量 Discrete quantity	0	07	水射流器故障 Water jet malfunction	模拟量 Analog quantity	1.0 ~ 2.8 A
02	通信故障 Communication fault	离散量 Discrete quantity	0	08	清污电机故障模拟量 Analog quantity cleaning motor malfunction	模拟量 Analog quantity	0.1 ~ 0.5 A
03	柴油机发电故障 Electric generator malfunction	离散量 Discrete quantity	1	09	换网电机故障模拟量 Analog quantity net changing motor malfunction	模拟量 Analog quantity	0.1 ~ 0.5 A
04	水槽停机 Cistern halt	离散量 Discrete quantity	0	10	投饵机故障模拟量 Analog quantity feeding machine malfunction	模拟量 Analog quantity	0.1 ~ 0.5 A
05	水槽停电 Cistern power-off	离散量 Discrete quantity	0	11	溶解氧浓度异常模拟量 Analog quantity dissolved oxygen concentration error	模拟量 Analog quantity	> 5 mg/L
06	射流器全部停机 Water jets halt	离散量 Discrete quantity	0	12	pH 值异常模拟量 Analog quantity pH value error	模拟量 Analog quantity	6.5 ~ 8.5
				13	水温异常模拟量 Analog quantity water temperature error	模拟量 Analog quantity	16 ~ 30 °C

2.4 软件设计

2.4.1 触摸屏人机交互界面设计

为使系统操作更加简单便捷、安全可靠, 现场控制采用触摸屏人机交互, 主要功能包括实时显示现场设备状态、水质参数、报警状态、设备控制及参数设置。在 PC 端触摸屏人机监护界面设计时, 首先建立与单片机控制板的数据连接, 在设备窗口中添加串口设备“Modbus RTU”, 通信参数为波特率 9600 B、8 位数据位、1 位校验位、偶校验; 接着进行各功能动画界面的设计, 每个设备在触摸屏界面上都有对应的名称标签, 在标签旁添加数据显示、按钮和指示灯等元件; 然后进行数据通道设置, 主要单片机控制板保持寄存器 4x 与变量数据的映射关系, 单片机控制板保持寄存器地址分配如表 2 所示, 开发的触摸屏人机交互界面可实时显示水射流器、换网电机、清污电机、投饵机等设备的实时运行状态, 且直接显示养殖槽内溶解氧、pH 值和水温等参数的实时数据。运行主界面如图 5 所示。

表2 单片机控制板保持寄存器地址
Tab.2 Holdregister addresses of the MCU control board

变量名称 Variable name	寄存器地址 Register addresses	读写操作 Read - write operation	备注 Remarks
槽状态 Cistern state	4X0001	只读 read only	0: 停机 Halt; 1: 硬件手动 Hardware manual; 2: 自动 Auto; 3: 通信错误 Communication fault
实时时间 Real-time	4X0002	只写 write only	单位 unit: 分钟 minute(0 ~ 1439)
水射流器 1 状态 State of water jet 1	4X0003	读写 read-write	0: 停机 Halt; 1: 手动开机 Manual boot; 2: 自动开机 Auto boot; 3: 故障 Fault; 4: 清故障 Clearing faults
水射流器 1 实时电流 Current current of water jet 1	4X0004	只读 read only	单位 unit: A; 放大 100 倍, 数值 100 等于 1A Amplified 100 times, the value 100 is equal to 1A
水射流器 1 电流上限 Upper limit of current of water jet 1	4X0005	读写 read-write	单位 unit: A; 放大 100 倍, 数值 100 等于 1A Amplified 100 times, the value 100 is equal to 1A
水射流器 1 电流下限 Lower limit of current of water jet 1	4X0006	读写 read-write	单位 unit: A; 放大 100 倍, 数值 100 等于 1A Amplified 100 times, the value 100 is equal to 1A
水射流器 1 开机时间 Available-time of water jet 1	4X0007	读写 read-write	单位 unit: 分钟 minute(0 ~ 1439)
水射流器 1 关机时间 Off-time of water jet 1	4X0008	读写 read-write	单位 unit: 分钟 minute(0 ~ 1439)
⋮	⋮	⋮	⋮
投饵机关机时间 Off-time of feeding machine	4X0038	读写 read-write	单位 unit: 分钟 minute(0 ~ 1439)

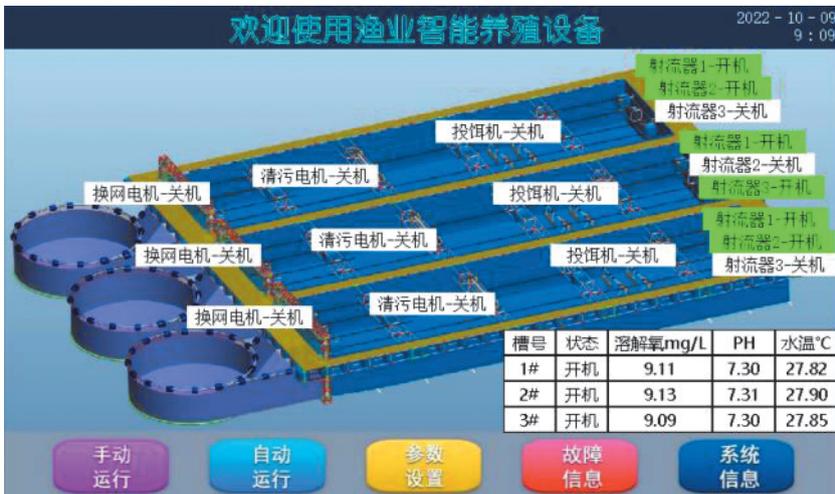


图5 海水池塘循环水养殖控制系统人机交互主界面

Fig.5 Human-computer interaction interface of recirculating aquaculture control system in seawater pond

2.4.2 服务器管理系统设计

为使管理人员能够远程实时掌握海水池塘循环水养殖系统的运行情况，高效处理突发状况，设计了服务器管理系统，即“海水养殖智慧管理系统”（网页版）。采用 ASP.NET 技术，以 C 语言编程，结合 SQLserver2014 数据库进行开发设计。在服务器端开发数据采集软件，采用 Modbus TCP 通信协议，使单片机控制板采集的设备状态和水质参数等数据通过 DTU 传输器能实时发送到数据采集软件。数据采集软件能解析实时数据并保存到数据库中，再根据实时数据进行分析、判断，对现场设备实现控制。如图 6 所示，通过海水养殖智慧管理系统主控界面（实时数据界面），管理人员可了解到现场养殖系统的供电模式、运行模式及相应设备（如水射流器、投饵机、清污电机、换网电机）的运行状态；同时，管理人员可直接在系统上远程控制相关设备的启动与关闭。海水养殖智慧管理系统管理人员的用户权限分为两种，分别是渔场管理人员和现场管理人员。渔场管理人员的权限高于现场管理人员，可对现场管理员和报警联系人进行查询、添加和删除。



图 6 海水养殖智慧管理系统主控界面

Fig.6 Main interface of mariculture intelligent management system

3 海水池塘循环水养殖测试

3.1 样机试制

在福建龙海市大径养殖场面积为 10 亩 (0.667 hm²) 的海水池塘里安装了一套海水池塘循环水养殖系统样机，如图 7 所示。一套养殖系统包括 3 条养殖槽 (22 m × 5 m × 2 m)，每条养殖槽配备 3 台水射流器、1 套水质监测设备、1 台投饵机、1 套清污装置、1 台循环晒网装置、1 个集污装置和 1 个控制柜；同时，在养殖系统四角位置分别安装了一个监控摄像头用于观察养殖槽水面情况。

根据养殖鱼类的习性，通过触摸屏设置喂食、运动、休息、清污等的时间段。当处于喂食和休息时间，开启 2 台水射流器，关闭清污电机，在保证增氧量的同时又降低水流速度，防止鱼饵流走影响喂食。当处于运动和清污时间段，开启 3 台水射流器及清污电机，增加流水量，在迫使鱼游动的过程中，自动清理底部的残饵粪便以保证养殖槽内水质始终保持良好的状态。循环晒网装置设定每天定

期运行, 以保证拦鱼网不被海洋污损生物附着并堵塞网眼。同时控制系统可以根据摄像头拍摄的水花情况及设备运行情况, 通过图像识别技术判断现场设备是否处于正常工作状态。现场的各种数据通过 DTU 传输模块实时传给服务器, 一旦养殖过程中出现设备故障或水质参数出现异常等情况, 控制系统将直接报警并将故障信息以拨打电话、短信方式发送给报警联系人, 从而使管理员第一时间了解现场情况, 及时解决问题, 避免出现损失。



1-水射流器 Water jet machine; 2-投饵机 Feeder; 3-清污装置 Sewage disposal apparatus; 4-循环晒网装置 Circulation drying net apparatus; 5-控制柜 Controller cabinet; 6-集污装置 Sewage collection apparatus

图7 海水池塘循环水养殖系统样机

Fig.7 Prototype of recirculating aquaculture control system in seawater pond

3.2 样机测试

海水池塘循环水养殖控制系统的远程控制指令、数据采集及报警都采用 DTU 传输器进行数据传输, 故 DTU 数据传输的稳定性直接影响整套系统的运行。根据系统设计要求, 检测、分析和响应时间须低于 5 min, 样机设置系统数据传输时间间隔为 36 s, 测试主要从两条数据传输通信的时间间隔 Δt 进行分析, 判断其传输稳定性及对养殖的影响。

为了验证通信数据传输的稳定性, 选取了试验渔场在 2021 年 5 月 15 日 0 时 0 分至 5 月 19 日 23 时 59 分共 5 d 的通信数据传输的时间间隔数据作为样本, 理论计算有 12 000 条数据, 实际共接收 11 778 条数据, 通信成功率 98. 15%, 丢包率 1. 85%。通过图 8 可以看到通信数据传输时间间隔 Δt 和对应的数据量和比率。

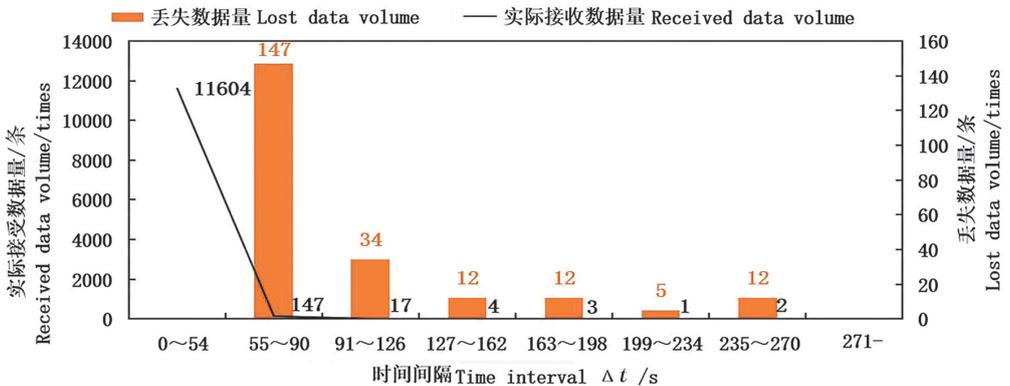


图8 数据传输统计图

Fig.8 Data transmission statistics chart

$\Delta t \leq 54$ s 时数据量有 11 604 条, 占总数据量的 98.52%; 55 s $\leq \Delta t \leq 90$ s 时数据量有 147 条, 占总数据量的 1.25%; 91 s $\leq \Delta t \leq 126$ s 时数据量有 17 条, 占总数据量的 0.14%; 127 s $\leq \Delta t \leq 162$ s 时数据量有 4 条, 占总数据量的 0.03%; $\Delta t \geq 163$ s 时数据量有 6 条, 占总数据量的 0.05%。所有数据处理时间间隔都小于 5 min, 满足养殖实际要求。2021 年 5 月—2022 年 5 月, 海水池塘循环水养殖控制系统运行了 1 年, 养殖槽各项控制指标均满足海水高密度养殖的安全性要求。

4 结论

海水池塘循环水养殖控制系统由感知层、运输层、应用层组成。通过感知层的各种水质传感器, 可对养殖海水的溶解氧、水温、pH 值等水质情况进行实时监测; 通过传输层实时传输监测数据至服务器进行存储和分析计算, 然后发送出控制信号, 对水射流器、清污电机、换网电机、投饵机等海水池塘循环水养殖设备进行智能调控; 通过应用层的现场触摸屏、监视电脑或移动终端, 可随时查看现场养殖设备运行状态和水质参数等数据, 并能对养殖设备进行现场或远程控制。当受控设备发生故障时, 可通过电话、短信和现场报警等方式通知管理员。经测试, 该控制系统可在海水池塘循环水养殖场长时间稳定工作, 通信成功率达 98.15%, 其监控响应快且处理时间短, 可确保鱼类养殖安全。

[参 考 文 献]

- [1] 刘梅, 宓国强, 郭建林, 等. 池塘内循环流水养殖模式对黄颡鱼生长性能、形体指标、血清生化指标及肌肉营养成分的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1704-1717.
- [2] 李岑鹏, 关瑞章, 江兴龙, 等. 循环水处理系统处理鳊鲌养殖污水的应用实验[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2009, 14(2): 126-130. DOI:10.19715/j.jmuzr.2009.02.004.
- [3] 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.
- [4] 颜波, 石平. 基于物联网的水产养殖智能化监控系统[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 259-265.
- [5] 张刚, 胡洋洋, 韩祥兰, 等. 淡水珍珠蚌循环水养殖模式下分布式水质监控系统设计[J]. 农业工程学报, 2020, 36(7): 239-247.
- [6] HUAN J, LI H, WU F, et al. Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT[J]. Aquacultural Engineering, 2020, 90: 102088. DOI:10.1016/j.aquaeng.2020.102088.
- [7] 刘雨青, 李佳佳, 曹守启, 等. 基于物联网的螃蟹养殖基地监控系统设计及应用[J]. 农业工程学报, 2018, 34(16): 205-213.
- [8] LORENA P, SANDRA S, LAURA G, et al. Design and deployment of low-cost sensors for monitoring the water quality and fish behavior in aquaculture tanks during the feeding process[J]. Sensors, 2018, 18(3): 750.
- [9] ABINAYA T, ISHWARYA J, MAHESWARI M. A novel methodology for monitoring and controlling of water quality in aquaculture using internet of things (IoT)[C]//2019 International Conference on Computer Communication and Informatics(IC-CCI). Coimbatore, India: IEEE, 2019: 1-4. DOI:10.1109/ICCCI.2019.8821988.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)