

# 基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统

施珮<sup>1</sup>, 袁永明<sup>1\*</sup>, 张红燕<sup>1</sup>, 匡亮<sup>2</sup> (1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏无锡 214081; 2. 江苏信息职业技术学院物联网工程学院, 江苏无锡 214153)

**摘要** 集约化的水产养殖对养殖水体水质有较高的要求, 不准确的测量和延迟的数据采集会影响养殖生产的顺利进行。设计了一种基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统, 将无线传感器网络与上层应用系统有机结合, 在自组网情况下实现了水产养殖相关数据的实时监测。该系统在 Cotex-M4 ARM 架构下以微处理器 STM32F405 与无线射频芯片 CC2530 为核心, 对系统底层硬件、底层软件、应用层软件进行了开发。同时, 为提高数据的准确性, 采用新型支持度函数加权融合算法对系统采集的多传感器数据进行融合。整个系统测量精度高, 实时性强, 运行稳定, 能够较好地满足水产养殖水质监测的要求。

**关键词** 水产养殖; STM32F405; ZigBee; CC2530; 水质监测

中图分类号 S126 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)05-0207-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.05.058



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Monitoring System of Aquaculture Water Quality Based on Wireless Sensor Network

SHI Pei, YUAN Yong-ming, ZHANG Hong-yan et al (Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuxi, Jiangsu 214081)

**Abstract** Intensive aquaculture has high demands on the quality of culture water. Inaccurate or delayed water quality monitoring will do harm to the regular fishery production. To solve these problems, this study designed a monitoring system of aquaculture water quality based on wireless sensor network. It combined the wireless sensor network with application system together, and realized the real-time monitoring of aquaculture water quality by using ad-hoc network. Under Cotex-M4 ARM architecture, the monitoring system used microprocessors STM32F405 and wireless RF CC2530 chip as a core. Meanwhile, it developed corresponding underlying hardware, software and application software. In order to enhance the data accuracy, an improved support degree function was applied to fuse multi-sensor data in monitoring system. This system had high measurement accuracy, real-time and stability, which could meet the requirements of aquaculture monitoring.

**Key words** Aquaculture; STM32F405; ZigBee; CC2530; Water quality monitoring

近年来,随着水产养殖逐渐规模化、集约化,我国居民水产品摄入量逐年增高,可供食用的水产品种类也日趋丰富。水产品的质量与产量受到多种因素的影响,其中养殖水体的质量至关重要<sup>[1-3]</sup>。现阶段,养殖密度的扩大使得部分养殖水环境远超其承载极限,水质不断恶化,病害率提高。因此,准确、实时的水产养殖水质监测具有重要意义。

传统的水质监测主要依赖于仪表与人工经验的结合,耗时、耗力、监测范围小且监测周期长<sup>[4]</sup>。目前广泛采用的有线自动监测系统存在布线困难、施工难度大、维护成本高、监测范围有限等问题<sup>[5]</sup>,相关从业者迫切需要一种更有效的水产养殖水质监测系统。王文华等<sup>[6]</sup>使用 STC12C5A60S2 采集相关传感器数据,并通过 GSM 进行传输,该方案对运营商依赖性强,维护成本高,功耗大,存在自身局限性;黄建清等<sup>[7]</sup>通过 nRF905 实现无线传输,但 nRF905 无法实现自组网功能,方案可扩展性差;张国杰等<sup>[8]</sup>采用 STM32 微处理器作为终端及 GPRS 实现传感器数据传输。笔者在前人研究的基础上,结合新一代信息技术手段,提出了一种基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统,使用数据采集终端节点测量水质各参数,通过 ZigBee 网络发送至协调器,协调器通过 RS232 发送至服务器端,用户可在网页和手机 APP 远程查看水质数据。

**基金项目** 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(2019JBFM09);现代农业产业技术体系专项(CARS-46);国家自然科学基金项目(61174023)。

**作者简介** 施珮(1988—),女,安徽宣城人,助理研究员,博士,从事农业信息技术和机器学习研究。\*通信作者,研究员,从事农业信息技术研究。

**收稿日期** 2020-07-24

## 1 系统结构

基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统主要包括数据采集终端、ZigBee 路由器、ZigBee 协调器、服务器端等构成,系统结构如图 1 所示。数据采集终端、ZigBee 路由器、ZigBee 协调器通过已配置信道与 Pan ID 完成数据传输,考虑到水质监测节点较多,ZigBee 无线网络采用网状拓扑结构。

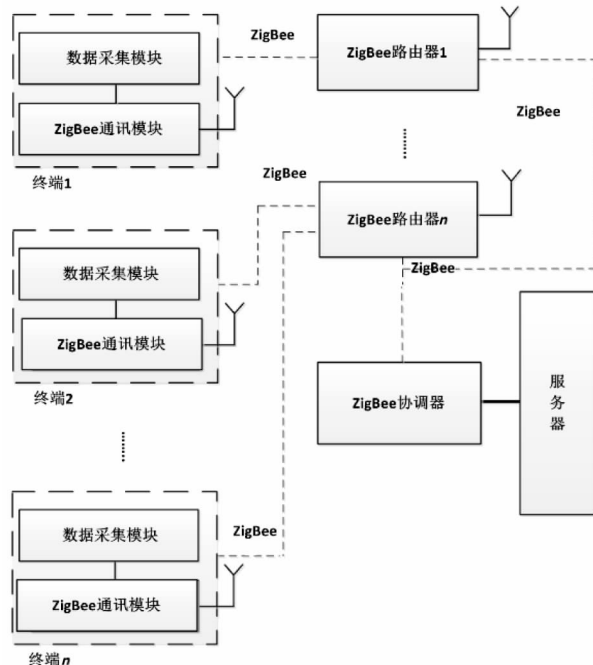


图 1 水产养殖水质监测系统结构

Fig. 1 Structure of aquaculture water quality's monitoring system

### 2 硬件电路设计

数据采集终端主要包括数据采集模块和 ZigBee 通讯模块两部分,数据采集终端硬件连接图如图 2 所示。

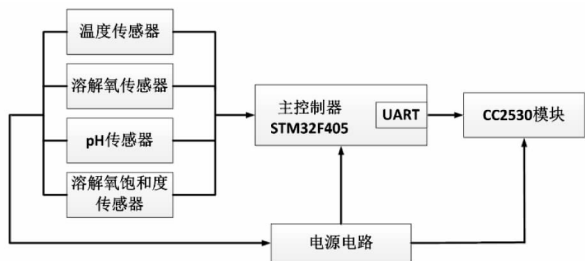


图 2 数据采集终端硬件连接图

Fig. 2 The connection of data acquisition terminal hardware

数据采集模块包括温度传感器、溶解氧传感器、pH 传感器、溶解氧饱和度传感器、MCU 主控制器构成,ZigBee 通讯模块由 CC2530 构成,电源电路负责为整个采集终端供电。各传感器采集到相关数据后通过 CC2530 模块的 ZigBee 网络传输至协调器,协调器通过 RS232 连接服务器,实现监测数据的实时显示及存储。

**2.1 MCU 主控电路** 主控芯片采用意法半导体公司的 STM32F405RGT6。该芯片基于 Cotex-M4 架构,最高主频 168 MHz,作为一款高性能的微控制器,其采用 90 nm 的 NVM 工艺和 ART(自适应实施存储加速器,Adaptive Real-Time Memory Accelerator),能够胜任该水质监测系统传感器采集及数据融合的要求,STM32F405RGT6 外部引脚图如图 3 所示。

**2.2 数据通信电路** 数据采集模块采集数据后需通过 ZigBee 网络上传数据。ZigBee 采用基于 802.15.4 的低功耗局域网协议标准,该标准由 ZigBee 联盟(ZigBee Alliance)开发并管理。ZigBee 常用于异步通信,具有 CSMA/CA 通道介入能力。因其低功耗、低成本、时延短、网络容量大、可靠、安全等特点,被广泛应用于智能家居、智慧医疗、智慧农业等物联

网行业中<sup>[9-13]</sup>。ZigBee 有 3 种网络拓扑结构:①星型网络。该网络拓扑方式结构简单,但只有唯一的路径,整个 ZigBee 网络容易受到协调器限制。②树形网络。该网络拓扑方式可以重复多个层级,ZigBee 网络通过路由器节点延长传输距离,但终端节点只能指定一条路由路径,并且路由过程是完全透明的。③网状拓扑结构。该网络拓扑结构具有更加灵活的信息路由规则,信息通讯更有效率,整个网络具有“自愈性”。节点间根据路由探索功能可以找到信息最佳传输路径。该系统采用此网络拓扑结构。

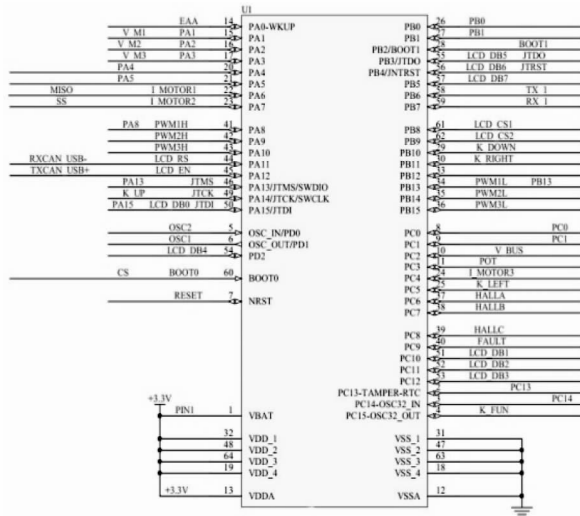


图 3 STM32F405RGT6 外部引脚图

Fig. 3 The external pin of STM32F405RGT6

此次监测系统中 ZigBee 通讯模块采用 CC2530F256,该芯片由德州仪器(Texas Instruments, TI)生产,遵循 2.4 GHz IEEE802.15.4 协议。ZigBee 和 RF4CE 的结合应用是一个真正的片上系统(SoC)解决方案,ZigBee 通讯模块系统电路图如图 4 所示。

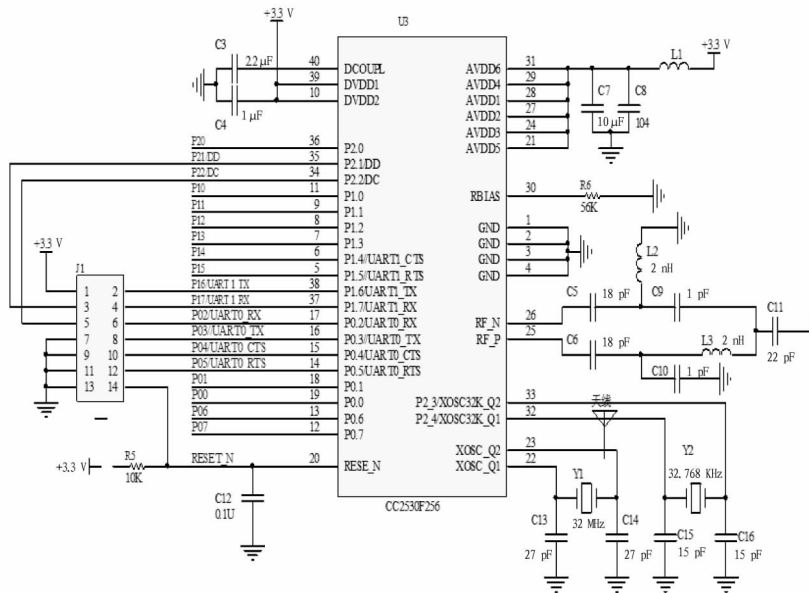


图 4 ZigBee 通讯模块系统电路图

Fig. 4 The circuit of ZigBee communication module system

### 3 软件设计

**3.1 底层软件设计** 数据采集模块 STM32F405RGT6 采用结构化编程方法,在 MDK 环境下使用 C 语言编程,J-Link 在线调试。ZigBee 通讯模块采用 IAR Embedded Workbench 完成程序编译开发。数据采集模块代码主要包括水温数据采集子函数、溶解氧数据采集子函数、pH 采集子函数、溶解氧饱和度数据采集子函数。运行时,数据采集模块首先进行微处理器初始化,对各函数进行调用获得传感器数据,并通过 CC2530 发送至协调器。数据采集模块程序流程如图 5 所示。

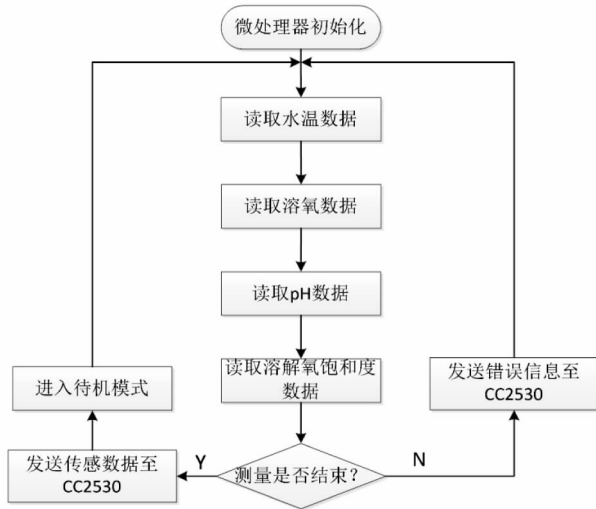


图 5 数据采集模块程序流程

Fig. 5 The program flow of data acquisition module

**3.2 应用层软件设计** 为了便于用户随时查看数据信息,该监测系统完成了服务器端的开发和部署,并在应用层设计了移动端 APP 软件,可使用手机实时查询服务器数据。该系统数据库采用 MySQL 开发,其中包含监测指标信息表、监测池塘信息表、设备信息表等表格。APP 软件采用面向对象编程的方法,在 Eclipse For Android Developer Tools 环境下采用 Java 开发,提供远程访问数据库功能和执行器设备控制功能。通过这些功能用户可随时查看养殖水体的实时情况,并根据数据分析结果,实时控制底层设备,APP 软件访问服务器流程如图 6 所示。

在软件开发中,设计了权限验证功能,经过验证后方可显示主界面,同时使用 ViewPager 控件实现界面滑动功效果。与服务器连接成功后,即可查看传感器监测信息,该软件实现效果如图 7 所示。

### 4 算法实现与结果分析

**4.1 数据预处理** 由于水质监测系统采集数据的多样性,各参数之间存在量纲和量级上的差异<sup>[14]</sup>。为了避免这些差异对数据分析和融合产生的影响,使用数据标准化方法 Z-score<sup>[15]</sup>对采集的原始数据进行处理。标准化处理计算式如下:

$$x_{k+i} = x_k + \frac{i \times (x_{k+j} - x_k)}{j}, 0 < i < j \quad (1)$$

式中, $x_{k+i}$  为  $k+i$  时刻传感器丢失数据; $x_k, x_{k+j}$  分别为第  $k$  和  $k+j$  时刻传感器采集的原始数据。

**4.2 数据融合** 由于在实际水产养殖过程中,水质监测系统采集的传感器参数较多,且来源于多个传感器。为了保障系统能够根据监测数据做出正确的控制和决策,系统需要利用数据融合算法对这些数据进行融合后输出。该研究中搭建的无线传感器网络水产养殖监测系统使用一种新型支持度函数加权融合理论<sup>[16]</sup>作为多传感器数据的融合算法。系统多参数数据融合过程如图 8 所示。

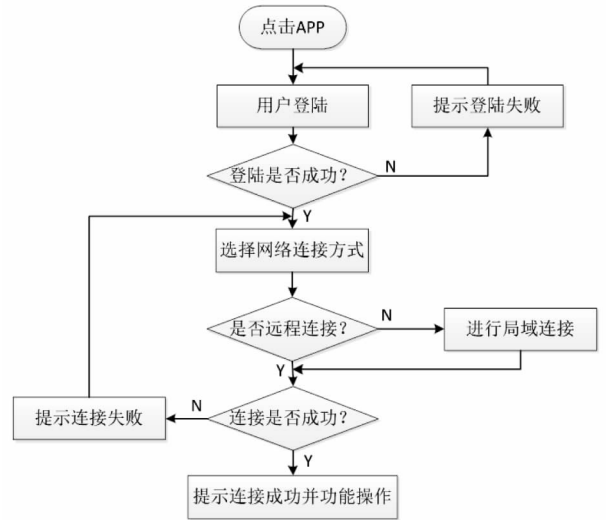


图 6 APP 软件访问服务器流程

Fig. 6 Flow of APP software accessing server



图 7 软件实现效果

Fig. 7 The implementation effect of the software

基于水产养殖水质监测系统采集的多传感器水质参数经数据传输层到达应用层。所有采集的原始数据首先经过数据预处理获得标准化后的数据,再经过加权融合操作,向系统提供融合结果,为系统控制决策提供依据。

**4.3 结果分析** 该研究中将该水产养殖监测系统应用在了无锡南泉水产养殖基地的多个养殖池塘中。选择其中一个试验池塘为研究对象,并将系统监测数据和融合的部分结果显

示在表1中。从表1可以看出,溶解氧融合值与多传感器观测值具有较高的一致性,能有效体现多传感器观测值之间的潜在关系,可以为多传感器测量提供参考依据,为水产养殖实际应用提供决策支撑,满足生产实践的需要。然而,融合值和真实值仍会存在一定的误差。这是由于在实际传感器

感知测量的过程中,传感器会由于微生物、污渍附着或环境的突然变化使得测量误差发生。当故障发生或水体发生突然异常时,水质监测系统的融合机制可以实时获得新的融合值并传送至应用端用户中心。同时,系统能够帮助发现故障设备,调整应急策略,降低养殖风险,提高经济效益。

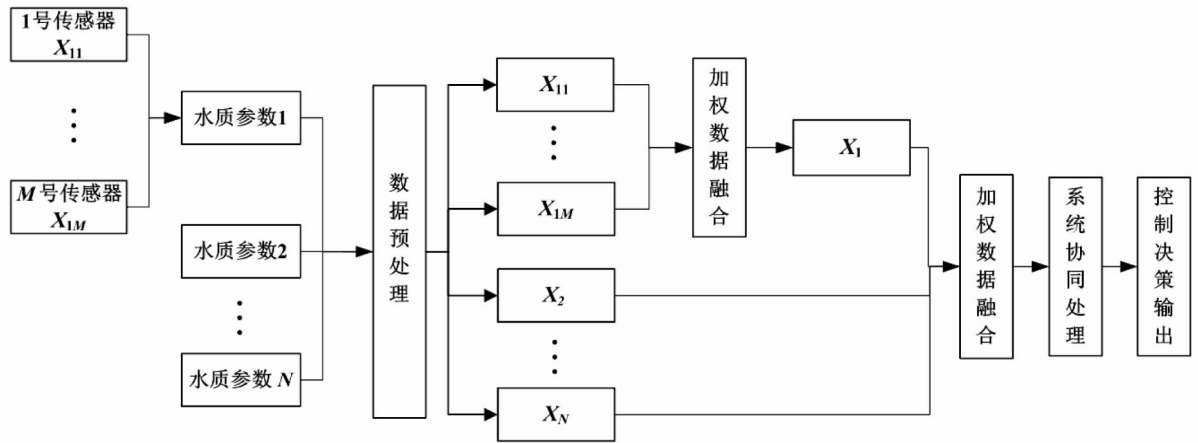


图8 多参数数据融合过程

Fig. 8 The fusion process of multi-parameter data

表1 水质参数融合

Table 1 Fusion of water quality parameters

时间 Time	pH	水温 Water temperature °C	融合值 Fusion value mg/L	溶解氧 1 Dissolved oxygen 1 mg/L	溶解氧 2 Dissolved oxygen 2 mg/L	溶解氧 3 Dissolved oxygen 3 mg/L	溶解氧 4 Dissolved oxygen 4 mg/L	溶解氧 5 Dissolved oxygen 5 mg/L
08:08	7.734 4	22.700 8	6.290 6	6.138 9	6.276 7	6.325 4	6.949 5	6.034 4
08:18	7.735 6	22.708 4	6.333 2	6.155 6	6.296 7	6.381 4	6.949 8	6.006 7
08:28	7.733 3	22.705 5	6.340 2	6.188 9	6.323 3	6.381 7	6.958 1	6.036 7
08:38	7.738 9	22.710 8	6.355 2	6.193 3	6.336 7	6.394 6	6.977 1	6.070 0
08:48	7.740 0	22.703 7	6.372 1	6.188 9	6.321 1	6.422 1	6.975 3	6.054 4
08:58	7.734 4	22.686 9	6.343 9	6.176 7	6.303 3	6.388 2	6.974 1	6.054 4

## 5 结论

该研究以无锡市南泉养殖基地的养殖池塘为试验对象,设计了基于无线传感器网络的水产养殖监测系统。该系统以自组网的形式完成多个试验池塘中水温、溶解氧、pH、溶解氧饱和度等指标的检测。对数据采集终端节点、应用层 APP 进行开发,并利用新型支持度函数加权融合算法完成多参数传感器的数据融合处理,解决了远程水质监测中精度低、实时性差等问题。该系统能帮助相关从业者实时了解养殖水体信息,提高养殖效率,从而规避养殖风险,提高经济效益。

## 参考文献

- [1] 孙丽华,陈浩如,黄洪辉,等. 摄食水平对几种重要海水养殖鱼类生长和氮收支的影响[J]. 水产学报,2009,33(3):470-478.
- [2] 陶宁,母刚,张国琛,等. 陶瓷板和真空管太阳能集热器对养殖水体升温效果的对比研究[J]. 大连海洋大学学报,2019,34(2):267-272.
- [3] 李希磊,吴雪,杨俊丽,等. 莱州湾扇贝养殖区水体质量调查[J]. 安徽农业科学,2017,45(20):106-110.
- [4] 谭德绍. VOCs 气质联用走航监测技术应用于环境监察的展望[J]. 节能与环保,2019(8):98-99.
- [5] 黄建清,王卫星,姜晟,等. 基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统开发与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(4):183-190.

- [6] 王文华,岳维光,王宇飞,等. 多传感器无线智能水质监测系统设计与应用[J]. 电子设计工程,2016,24(7):135-137,140.
- [7] 黄建清,王卫星,姜晟,等. 基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统开发与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(4):183-190.
- [8] 张国杰,陈凯,颜志刚,等. 基于无线传感器网络的水质监测系统研究[J]. 机电工程,2016,33(3):366-372.
- [9] 刘大安. 水产工厂化养殖及其技术经济评价指标体系[J]. 中国渔业经济,2009,27(3):97-105.
- [10] 潘子辉,沈苏彬,吴振宇. 一种基于 ZigBee 的智能家居自动服务提供方法[J]. 计算机技术与发展,2018,28(1):200-204.
- [11] 檀业健. 基于智能病房的监控系统设计[J]. 机械工程与自动化,2018(3):184-185.
- [12] 赵晓璐,刘琨. 基于 ZigBee 技术的智慧农业实时采集和远程控制系统[J]. 农业工程技术,2017,37(6):35-36.
- [13] 田学军,何江芸. 一种基于 ZigBee 的智慧农业无线网络监控系统[J]. 机床与液压,2018,46(22):112-115,134.
- [14] 施珮,袁永明,匡亮,等. 基于 EMD-IGA-SELM 的池塘养殖水温预测方法[J]. 农业机械学报,2018,49(11):312-319.
- [15] 匡亮,华驰,邓小龙,等. 一种优化极限学习机的果园湿度预测方法[J]. 传感技术学报,2019,32(3):418-423.
- [16] SHI P, LI G H, YUAN Y M, et al. Data fusion using improved support degree function in aquaculture wireless sensor networks [J/OL]. Sensors, 2018, 18(11) [2020-04-25]. <https://doi.org/10.3390/s18113851>. DOI: 10.3390/s18113851.