

基于 WSN 的观赏鱼养殖水质环境监测系统研究

韩玉冰¹ 傅泽田^{1,2} 张小栓^{1,2} 王靖杰¹ 胡金有¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 食品质量与安全北京实验室, 北京 100083)

摘要: 提出了一种基于无线传感器网络(WSN)的观赏鱼养殖水质监测系统。该系统可以实时监测养殖水质环境参数,同时在水溶氧量不高的情况下可以开启增氧机进行增氧,保证观赏鱼养殖水质处于最佳状态。数据采集节点可以采集养殖水域的温度、pH 值及水溶氧量等数据,并可通过 900 MHz 协议无线通信方式上传至中继节点、USB 网关节点、GPRS 网关节点等。USB 网关节点接到数据后通过 USB 接口上传至计算机;GPRS 网关节点接收到数据后将数据上传至远程服务器,用户可以通过手机访问远程服务器查看水质数据;中继节点可以保证大范围数据采集链路的完整性和畅通性。在测试阶段,测试结果表明丢包率与发射功率呈反比关系,与传输距离呈正比关系。同时,高发射功率意味着高能量消耗,所以可根据不同的通信距离选择合适的发射功率,增加该网络的稳定性及低功耗特性;本系统各传感器误差均满足观赏鱼养殖水质监测参数误差要求,可对大范围观赏鱼养殖水域提供可靠地水质参数实时监测。

关键词: 无线传感器网络; 水质参数; 观赏鱼; 监测系统

中图分类号: S959; X832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0392-09

Monitoring System of Ornamental Fish Culturing Water Quality Based on Wireless Sensor Network

Han Yubing¹ Fu Zetian^{1,2} Zhang Xiaoshuan^{1,2} Wang Jingjie¹ Hu Jinyou¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 100083, China)

Abstract: Currently, the monitoring system of ornamental fish culturing water quality has the problems such as high cost, poor flexibility and wiring difficulty. In order to solve these problems, a monitoring system was provided based on wireless sensor network. Real-time monitoring of water quality parameter was realized. When the dissolved oxygen was low, it can increase the oxygen content in time and ensure that the water quality was stayed at the best condition. The data acquisition node of this system can collect information of water quality and send the processed data information to USB gateway node and the GPRS gateway node by using wireless communication. The USB gateway node sent the data to computer by USB interface and the GPRS gateway node uploaded the data to data server, so that users can check the water quality data by visiting remote server on mobile phones. The research language of nodes was C language, which can realize collecting, processing and wireless sending of water quality parameter data. VB 6.0 was applied to develop upper computer software while the mobile phone application was developed by Android system. In the test phase, the communication performance of node was good and the key factor to increase reliability of the system was to choose proper radio-frequency power according to communication distance. As the deviation of the sensor was negligible in the test, this system can meet the demand of monitoring of ornamental fish culturing water quality, which made it possible to provide reliable real-time monitoring of water quality parameter in large scales.

Key words: wireless sensor network; water quality parameter; ornamental fish; monitoring system

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-18

基金项目: 农业部公益性行业专项(201203017)和北京市农业科技项目(20150152)

作者简介: 韩玉冰(1987—),男,博士生,主要从事水产养殖传感器研究,E-mail: cauhanbing@163.com

通信作者: 胡金有(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事农业系统工程与信息化技术研究,E-mail: cauhjy@163.com

引言

随着人民生活水平的不断提高,观赏鱼已不再是少数饲养爱好者的宠物,而被越来越多的人作为活的艺术品来欣赏。目前,观赏鱼养殖产业是我国鱼类养殖业的新兴主力军,已成为中国渔业经济发展的增长点之一,对拉动整个农业经济和国民经济发展发挥着重要的作用^[1-3]。

在传统养殖过程中,农户常常依靠自己的经验来断定养殖水质是否达标,存在很大的主观性,无法形成科学标准养殖体系而造成观赏鱼的生病、死亡,严重影响观赏鱼养殖业的健康发展^[4-6]。

无线传感器网络具有监测范围广、监测周期短,智能化程度高、监测实时性高等优点,可以支持多种水质传感器采集及通信,可以良好地应用在观赏鱼养殖水质监测上,且具有广泛的应用前景^[7-10]。目前,国内外已开展了基于 WSN 的水质监测应用研究。美国 Crossbow 公司推出 Maca 系列节点,但该节点只支持单一传感器采集,水质参数采集范围比较小,同时功耗及成本较高^[11]。黄建清等^[12]设计了基于无线传感器网络的水产养殖监测系统,实现了水产养殖环境监测,但针对目标较广,无法对单一品种鱼类进行规范养殖水质参数设定,针对性较差。以目前的研究状况,监测系统存在布线复杂、成本高、体积大等缺点,不能完全适用于大范围养殖水域实时监测。

本文针对这一现象,结合水溶解氧传感器、pH 值传感器、温度传感器及增氧泵等器件,设计开发一种观赏鱼养殖水质监测系统。

1 系统总体设计

基于 WSN 的观赏鱼养殖水质环境监测系统包含数据采集节点、USB 网关节点、GPRS 网关节点及中继节点等,其中数据采集节点还可以控制传感器位置电机及增氧机开启闭合电机。传感器位置电机

可根据水质深度的采集需求,适当调整传感器入水深度;增氧机是在水质溶氧量低于规定溶氧量阈值时开启,当溶氧量数值高于规定溶氧量阈值时关闭。数据采集节点将采集到的水溶解氧数据、温度数据、pH 值数据等信息分别通过 900 MHz 无线通信协议无线传送至 USB 网关节点、GPRS 网关节点及中继节点。USB 网关节点得到数据后通过协议转换将上传至现场计算机。GPRS 网关节点得到数据后,利用 GPRS 通信协议将数据发送至远程服务器,用户可通过个人手机远程访问远程服务器,实时查看水质数据。中继节点是当数据采集节点与网关节点距离较远时,中继节点接收数据采集节点上传的数据并转发至 USB 网关节点和 GPRS 网关节点,实现数据中继功能。

数据采集节点、GPRS 网关节点采用 12 V 供电,USB 网关节点采用 USB 接口的 5 V 供电,中继节点采用 5 V 供电。总体拓扑结构如图 1 所示。

2 系统硬件设计

2.1 数据采集节点硬件设计

数据采集节点负责水质溶氧量、pH 值、温度等信息的采集、发送,同时负责增氧机开启闭合控制及传感器位置电机控制。在使用过程中,由于后期可能需要增加相应传感器,需要预留 ADC、RS-232、RS-485 等接口,以方便后期扩展应用。

2.1.1 处理器最小系统

处理器采用 STM32 系列单片机,该单片机具有低功耗、低电压供电、外围电路简单等优点。同时富含多路 ADC、RS-232 等接口,可以满足应用需求^[13-14]。本研究中,休眠时钟由内部时钟振荡器提供。其最小系统如图 2 所示。考虑到室外供电,采用交流电供电方式,通过电源适配器将交流电转化为 12 V 直流电,增加的去耦、滤波电容使得到的 12 V 电源更加平稳,实现增氧机及位置电机的供电电压匹配。使用 TLE4275 型芯片将 12 V 转换为 5 V,实

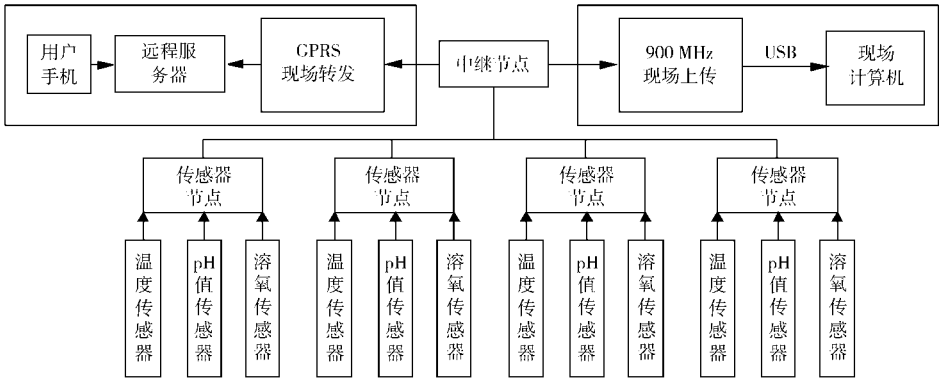


图 1 系统总体拓扑结构

Fig. 1 System topology architecture

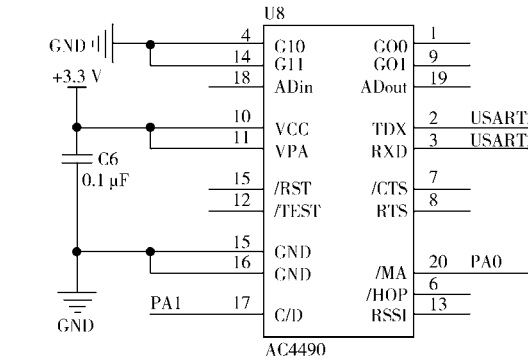


图4 无线通信模块电路

Fig. 4 Wireless communication module circuit

4 ~ 20 mA 电流信号标记为 I_{IN} ，电流首先通过精密采样电阻 R38 将电流信号转换为电压信号，该电压

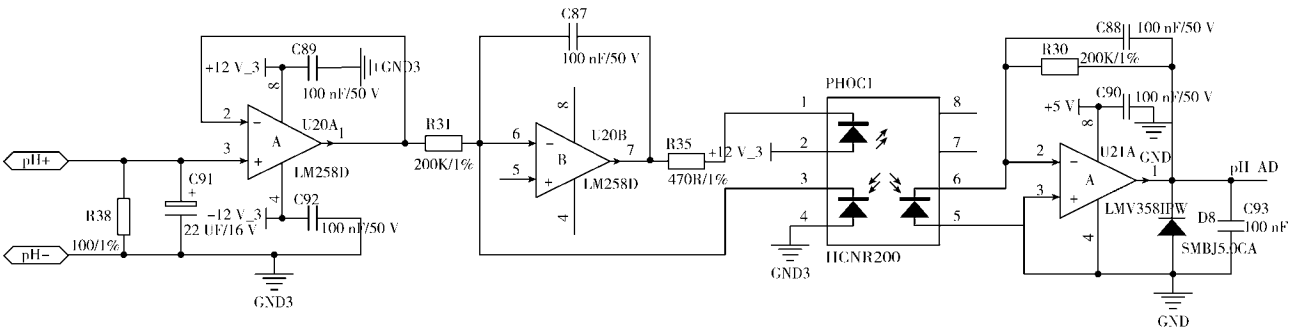


图5 pH 值传感器调理电路

Fig. 5 pH sensor conditioning circuit

2.1.4 溶氧传感器调理电路

溶氧传感器采用北京博海科技公司溶解氧电极来测量养殖水域的溶解氧浓度，溶解氧电极测量范围为 0 ~ 20.00 mg/L，该电极内置热敏电阻，用于温度补偿功能。该传感器与 STM32 的连接方式为 RS-485 连接，采用 ADM487E 型芯片为 TTL 到 RS-485 电平转换芯片，设计一种自动收发控制电路。当不发送数据时，TXD1 端口为高电平，使得三极管 Q2 导通，则 485E1 端口为低电平使 ADM487E 处于接收状态。当发送数据时，TXD1 为高电平时，Q2 导通使发送驱动器禁止，总线状态为高阻状态。由于在 485A1 与 485B1 间存在上拉电阻和下拉电阻的作用，使得 A、B 相间差分电压为高电平输出。当 TXD1 为低电平时，三极管 Q2 处于截止状态使系统处于发送状态。由于 TXD1 为低电平，A、B 相间差分电压为低电平输出。收发状态完全由 TXD1 端口控制，实现了系统收发状态的自适应，无需再进行编程处理。溶氧传感器调理电路如图 6 所示。

2.1.5 温度传感器调理电路

温度传感器采用防水型 DS18B20 型温度传感器采集养殖水域温度，测量范围为 -55 ~ 125℃，总线型输出接口，应用方便。由于 DS18B20 信号输出为单总线格式，总线在空闲状态下要保持高电平以

信号的取值范围为 0.4 ~ 2 V。得到的电压信号经过第一级运放电路组成的电压跟随器，使输入电阻变为无穷大，提高了传感器工作的稳定性。在图 5 中，HCNR200 中 1、2 管脚间的 LED 产生电流 I_F ，同时 3、4 管脚及 5、6 管脚之间也会产生大小相等的电流 I_1 及 I_2 ^[17-18]，其中 I_1 形成负反馈机制。在第 3 级运放中，同相输入端接地，R30 将 I_2 转换成输出电压，即可得到输入电流与输出电压的关系

$$V_{pH} = k \frac{R_{30}}{R_{31}} I_{IN} R_{38} \tag{1}$$

其中设定 R31 和 R30 的阻值相等， k 为传递函数， $k = 1 + 5\%$ ，则 pH 值 0 ~ 14.00 与 4 ~ 20 mA 呈线性关系。pH 值传感器调理电路如图 5 所示。

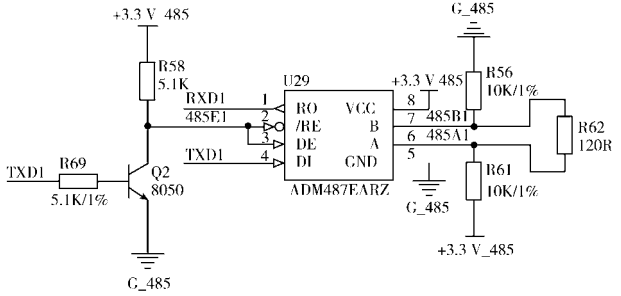


图6 溶氧传感器调理电路

Fig. 6 Dissolved oxygen sensor conditioning circuit

提高通信的稳定性，所以在 DS18B20 的数据输出接口上增加 4.7 K 的上拉电阻，保证通信的稳定性。温度传感器调理电路如图 7 所示。

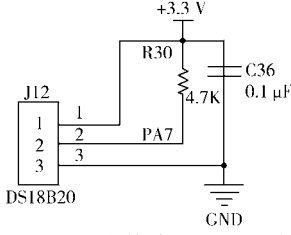


图7 温度传感器调理电路

Fig. 7 Temperature sensor conditioning circuit

2.1.6 增氧机、传感器位置电机调理电路

增氧机由 220 V 市电供电，控制其开闭需要增加继电器实现电源的开关状态，其控制电路如

图 8 所示。其中 K2 为继电器开关,Q2 为 NPN 型三极管,R52 为限流电阻。当 R52 端口为高电平时,三极管处于饱和导通状态,集电极与发射极导通,继电器中磁感线圈有电流经过将 K2 吸合,增氧机开启。当 R52 端口为低电平时,三极管处于截止状态,继电器中磁感线圈没有电流经过导致 K2 断开,使增氧机关闭。

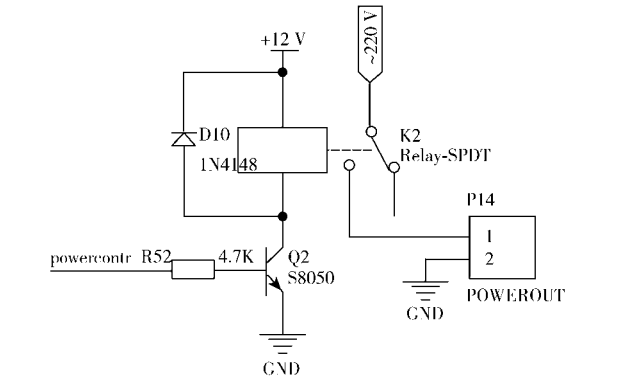


图 8 增氧机开启电路
Fig. 8 Aerator opens circuit

由于不同种类的观赏鱼生活在不同水位中,所以增加了传感器位置电机,以实现传感器监测不同水位的水质参数。

位置电机采用 12 V 驱动的步进电机,该电机采用 TLE6209R 型驱动芯片控制。该芯片采用 SPI 通信格式与 STM32 通信来控制电机的正转反转功能^[19]。设定 2 个独立按键,一个负责发送电机正转命令,另一个负责发送电机反转命令,都由外部中断来触发。电机驱动电路如图 9 所示。在电机正转时,通过滑动导轨带动传感器采集板垂直向下移动;在电机反转时,通过滑动导轨带动传感器采集板垂直向上移动,实现传感器采集板的位置移动,方便采集不同水位的水质参数。安装图如图 10 所示。

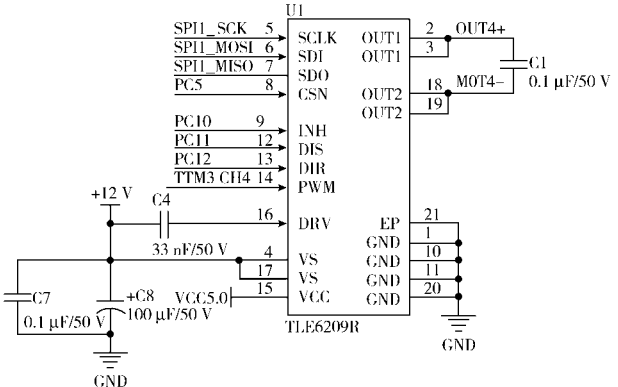


图 9 电机驱动电路
Fig. 9 Motor drive circuit

2.2 USB 网关节点硬件设计

USB 网关节点采用标准的 4 线制 USB 接口,方便与计算机对接。该节点利用计算机的 USB 接口

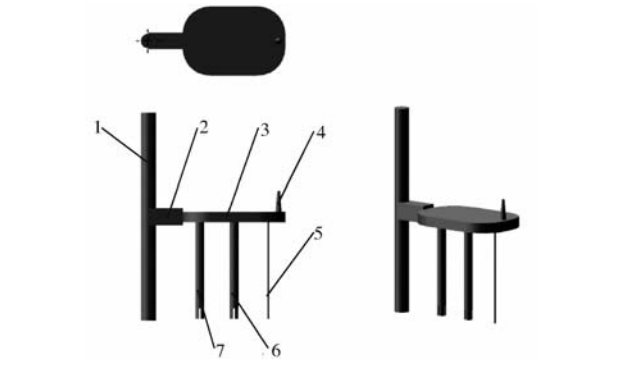


图 10 传感器安装示意图
Fig. 10 Schematic diagram of sensor installation
1. 滑动导轨 2. 电机 3. 安装板 4. 天线 5. 温度传感器
6. 溶解氧传感器 7. pH 值传感器

供电,供电电压为 5 V,这样减少了额外供电连线。选用 CH340G 型芯片实现 TTL 电平到 USB 电平的转换。由于该芯片采用 3.3 V 供电,需要 ASM1117 - 3.3 芯片将 5 V 转换为 3.3 V,实现供电电压匹配。USB 网关硬件原理如图 11 所示。

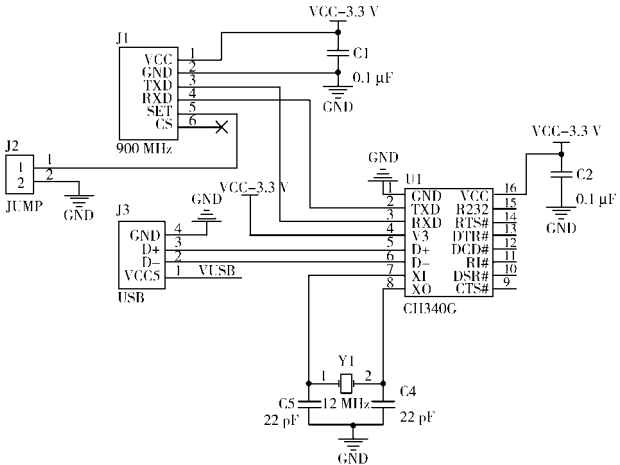


图 11 USB 网关硬件原理图
Fig. 11 USB gateway hardware schematic

2.3 GPRS 网关节点硬件设计

GPRS 网关节点包含 2 部分无线通信电路。一部分为 AC4490 - 200 组成的 900 MHz 无线通信模块,该部分与数据采集节点中的原理、功能一致;另一部分采用济南有人科技 USR - GPRS232 - 7S2 模块组成的 GPRS 无线通信模块,该部分是将 900 MHz 无线通信模块接收到的数据利用 GPRS 无线通信模式传送到远程服务器。该模块采用 12 V 供电,TTL 电平通信。本研究中 12 V 由电池供电。该模块的 VCAP 引脚需要增加 470 μF 的电容接地,增强模块的工作稳定性。由于该芯片的通信接口为 3.3 V,所以需要增加 5 V 与 3.3 V 电平转换电路。在该模块的 TXD 引脚,增加了 1N4148 正向二极管和 5 V 的上拉电阻,当 TXD 引脚输出为高电平时,二极管截止,上拉电阻将端口上拉为 5 V;当 TXD 引脚输出

为低电平时,二极管导通,端口为低电平,实现了 TXD 端口的电平匹配。在该模块的 RXD 引脚,增加了 3.3 V 连接的 1N4148 反向二极管,当单片机 USART3_TX 输出为高电平时,二极管导通,5 V 通

过二极管降为 3.3 V,实现了 RXD 端口的电平匹配;当单片机 USART3_TX 输出为低电平时,二极管截止,端口为低电平,实现了 RXD 端口的电平匹配。USR - GPRS232 - 7S2 模块硬件原理如图 12 所示。

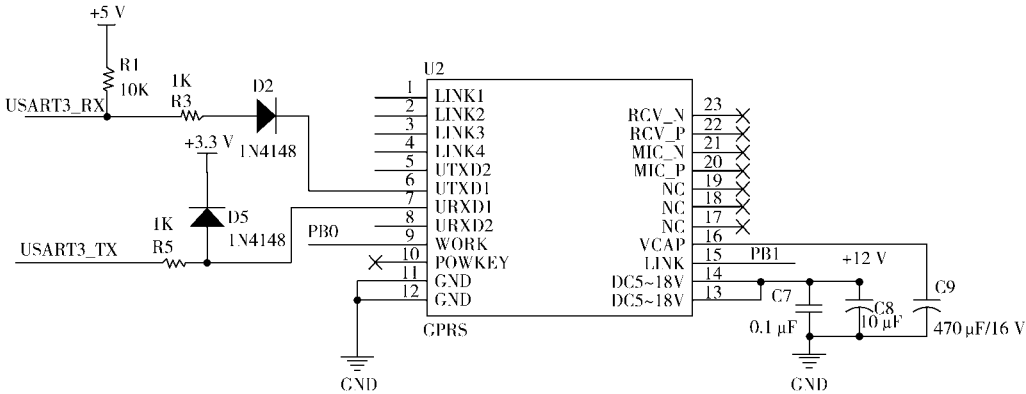


图 12 GPRS 网关硬件原理图

Fig. 12 GPRS gateway hardware schematic

2.4 中继节点硬件设计

当数据采集节点与网关节点距离较远时,数据传输链路容易断开。此时,将中继节点放在数据采集节点与网关节点中间,中继节点可以在 2 种节点之间对数据进行转发,这样大大增强了整个网络的传输距离。在其硬件设计中,继续沿用数据采集节点的 STM32 芯片和 AC4490 - 200 模块,无其他增加电路。

3 系统软件设计

3.1 数据采集节点软件设计

数据采集节点软件是基于 Keil uVision4 集成开发环境,采用面向硬件操作的单片机 C 语言编程开发^[12]。数据采集节点在上电后首先进行硬件初始化,使能单片机内部的硬件资源。设定一个定时器,该定时器的定时时间即为数据采集周期。当定时器时间到达,依次按照温度传感器、pH 值传感器和溶氧传感器的采集顺序采集。当数据采集完毕后,对数据进行解析。解析完毕后,增加 CRC 校验数据,以保证数据在传输过程中的准确性。最后添加帧头数据、帧尾数据等,将完整数据包进行无线发送。发送完毕后进入休眠状态,等待下一个定时器中断产生,开始新一轮的数据采集与发送。溶解氧传感器由于是 RS - 485 通信,在编程过程中,首先初始化 RS - 485 模块,然后在定时器时间到达后 STM32 向溶解氧传感器发送测量命令,发送完毕后进入接收中断模式;传感器接到测量命令后进行测量,将获得数据加 CRC 校验位打包返回 STM32。数据采集节点流程如图 13 所示。

3.2 网关节点和中继节点软件设计

GPRS 网关节点在上电后首先进行硬件初始

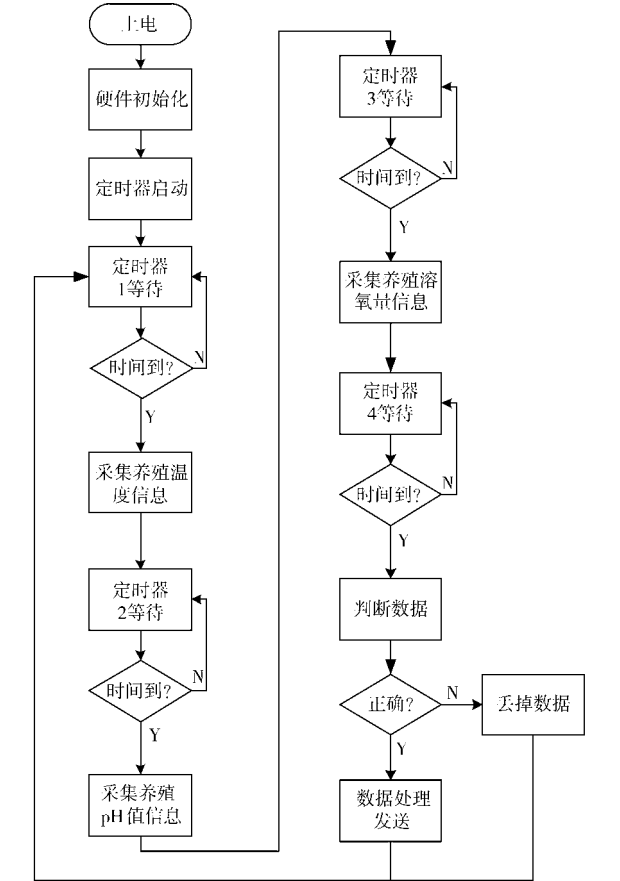


图 13 数据采集节点流程图

Fig. 13 Data acquisition node flow chart

化,使能单片机内部的硬件资源。然后打开接收中断,监听 900 MHz 频段中所设定的信道。当信道中有数据到来,开始接收数据。在此过程中,每接收一帧数据,数据指针加 1。当接收完毕,对接收到的数据包进行 CRC 校验。如果校验不通过,则删除所接收到的数据,数据指针清零,重新开始接收。如果校验通过,则对数据进行解析,然后以 GPRS 通信模式

发送至上位机。发送完成后开始监听信道,准备新一轮的数据接收。GPRS 网关节点流程如图 14 所示。

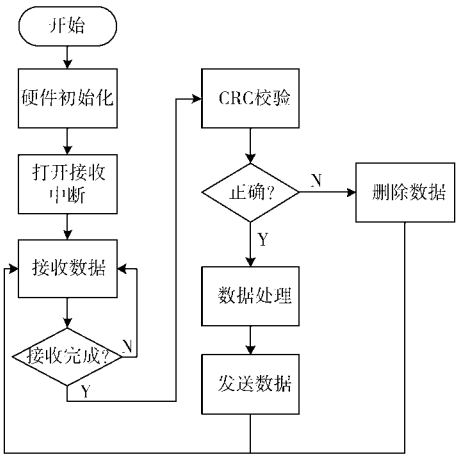


图 14 GPRS 网关节点流程图

Fig. 14 GPRS gateway node flow chart

中继节点工作模式与 GPRS 网关节点工作模式一致。不同的是 GPRS 网关在 900 MHz 模块接收过程中可以对数据进行 GPRS 模式发送;而中继节点属于半双工工作模式,数据接收与数据发送不可同时进行。USB 网关节点只负责数据的透明传输,不涉及数据解析。

3.3 手机 APP 软件设计

APP 软件基于安卓操作系统进行程序开发。在该应用中,用户首先设定服务器的 IP 地址、通信波特率等与远程服务器进行连接。然后读取服务器上保存的数据,可以实时查看所监测养殖水域内的水质参数数据。数据更新周期与 GPRS 节点上传周期一致。APP 界面如图 15 所示。

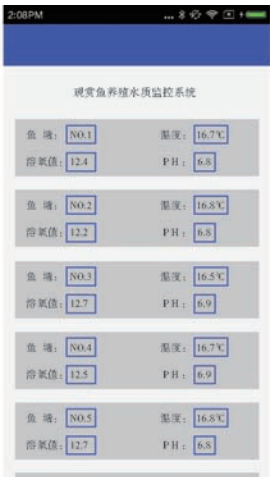


图 15 APP 界面示意图

Fig. 15 Schematic diagram of APP interface

3.4 监测数据管理系统

监测数据管理系统基于 VB 6.0 编程开发,该管理系统通过 USB 网关节点获取数据采集节点所发

来的数据信息,将接收到的数据进行显示、保存等。该管理系统包含数据接收显示模块、数据管理模块、参数设置模块、报警模块等^[20]。数据接收显示模块可以实施显示养殖水质参数信息;报警模块中,用户可以根据观赏鱼的种类、习性等设置不同的报警阈值,当某时刻获得的数据超出设定的阈值范围时,显示器亮红灯报警;数据管理模块中,用户可以查看历史数据信息及保存当前获得的数据信息;参数设置模块中,可对 USB 网关节点接口进行参数设置。监测数据管理系统界面如图 16 所示,用户可以直观地查看各个鱼塘的水质参数信息。



图 16 监测数据管理系统界面

Fig. 16 Monitoring data management system interface

4 系统测试

4.1 数据采集节点通信性能测试

节点丢包率是判断节点传输性能最重要的一个因素。所谓丢包率,是指节点在传输过程中丢失的数据包与总数据包之比。利用 RF Studio 4 软件对节点进行丢包率测试。设置通信频率为 900 MHz,在 11 个距离对 11 种发射功率进行测试,每组发送 1 000 个长度为 10 Byte 的数据包,在接收端口统计丢包率。根据测试结果,丢包率与发射功率呈反比关系,与传输距离呈正比关系。同时,高发射功率意味着高能量消耗,所以可根据不同的通信距离选择合适的发射功率,可增加该网络的稳定性及低功耗特性^[21]。

4.2 传感器数据采集准确性测试

4.2.1 溶氧量传感器测试

在溶氧传感器测试之前,需要对传感器进行预热及校准。预热及校准完毕后,对观赏鱼养殖用水进行测试。为了取得直观的对比效果,选用上海雷磁 JPSJ-605 型溶解氧分析仪的溶解氧测量值作为对比数据。该溶解氧分析仪溶解氧测量范围为 0 ~ 20.00 mg/L,分辨率为 0.01 mg/L,测量误差为 ±0.03 mg/L。在测试过程中,需改变水溶氧量,可以对待检测水质进行增氧处理,2 种传感器同时采集,实验结果如表 2 所示。测试结果表明,测量 11 次

表 1 丢包率测试结果
Tab.1 Packet loss test results

发射功率/ dBm	传输距离/m											%
	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	
3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	4.9
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1.2	1.2	5.4
-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1.0	2.1	2.1	6.8
-1.5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.9	3.3	3.3	8.5
-3.0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	1.4	2.5	4.2	4.2	9.6
-6.0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.9	1.8	3.6	6.3	6.3	10.3
-10.0	0	0	0	0.1	0.6	0.7	1.7	3.3	4.6	8.1	8.1	13.4
-14.0	0	0	0.1	0.3	0.8	0.9	3.5	4.7	6.9	9.7	9.7	15.2
-18.0	0	0	0.1	0.7	1.2	1.3	4.2	4.5	9.8	10.8	10.8	18.1
-22.0	0	0.1	0.2	1.1	2.9	3.7	5.8	6.3	11.2	14.1	14.1	23.1

表 2 溶氧传感器测试结果
Tab.2 Oxygen sensor test results

JPSJ-605 型测量值/ (mg·L ⁻¹)	系统测量值/ (mg·L ⁻¹)	相对误差/ %
5.12	5.23	2.15
5.90	5.82	1.36
6.21	6.07	2.25
6.64	6.45	2.86
7.04	7.10	0.85
7.43	7.26	2.28
8.27	8.29	0.23
9.42	9.33	0.96
11.14	10.91	2.06
12.38	12.20	0.89
13.46	13.25	1.56
平均值		1.58

的平均相对误差为 1.58%,溶氧传感器测量准确性较高。

4.2.2 pH 值传感器测试

在 pH 值传感器测试前,需要先将 pH 值传感器在标准溶液中进行校准。校准完毕后,在恒温 25℃ 的实验室内配制几种不同 pH 值的溶液进行测试。为了取得直观的对比效果,选用台湾恒欣 AZ9661 型 pH 计测量值作为对比数据。该 pH 计测量范围为 0~14.00,分辨率为 0.01,测量误差为 ±0.02。由于观赏鱼养殖水质最佳 pH 值需要保持在 7.10~7.60 之间,本次测试所配制溶液在 7.10~7.60 范围内稍大即可,实验结果如表 3 所示。测试结果表明,测量 11 次的平均相对误差为 0.73%,pH 值传感器测量准确性较高。同时在不同 pH 值下误差没有显著变化,证明 pH 值传感器测量稳定性较好。

4.2.3 温度传感器测试

温度传感器测试前,需要进行传感器预热,并将温度传感器放置在待测水中约10min后开始

表 3 pH 值传感器测试结果
Tab.3 pH sensor test results

AZ9661 型测量值	系统测量值	相对误差/%
5.07	5.02	0.99
5.38	5.33	0.93
5.79	5.72	1.21
6.16	6.22	0.97
6.54	6.56	0.31
6.97	7.01	0.57
7.38	7.41	0.41
7.81	7.86	0.64
8.23	8.21	0.24
8.64	8.70	0.70
9.06	9.10	0.44
平均值		0.73

测量。为了取得直观的对比效果,选用上海雷磁 JPSJ-605 型溶解氧分析仪的温度测量值作为对比数据。该溶解氧分析仪温度测量范围为 -5.0~110.0℃,分辨率为 0.1℃,测量误差为 ±0.4℃。在测试过程中,需要水温度的变化,可以对待检测水质进行加温处理,2 种传感器同时采集,实验结果如表 4 所示。测试结果表明,测量 11 次的平均相对误差为 0.48%,温度传感器测量准确性较高。

表 4 温度传感器测试结果

Tab.4 Temperature sensor test results

JPSJ-605 型测量值/℃	系统测量值/℃	相对误差/%
17.2	17.39	1.10
17.9	18.07	0.95
21.8	21.91	0.51
23.7	23.63	0.30
24.6	24.55	0.21
25.5	25.42	0.31
26.7	26.61	0.31
27.5	27.43	0.34
28.3	28.43	0.45
29.8	29.89	0.30
33.9	34.07	0.51
平均值		0.48

5 结论

(1)应用 WSN 技术及多传感器技术等设计了一套观赏鱼养殖水质监测系统。该系统通过数据传输节点获取养殖水质质量数据,通过 900 MHz 频率无线发送至中继节点和网关节点,由网关节点将数据上传到计算机和远程服务器。实现观赏鱼养殖水质的实时监测。

(2)溶氧传感器与 pH 值传感器使用了小型化

的电极测量,与传统方式相比,具有体积小、质量轻、价格低、易于安装等优点,可在大范围养殖水域应用。

(3)针对节点通信性能的测试,射频功率在系统的稳定性方面起着决定性作用。所以根据不同的传输距离选择相应的发射功率,是系统可靠工作的关键。针对传感器性能测试,溶氧传感器、pH 值传感器及温度传感器测量相对误差分别为 1.58%、0.73% 及 0.48%,可以满足水质监测参数的精度要求。

参 考 文 献

- 1 骆小年,刘刚,闫有利.我国观赏鱼种类概述与发展[J].水产科学,2015,34(9):580-588.
LUO Xiaonian, LIU Gang, YAN Youli. Development and species of ornamental fish in China [J]. Science of Aquatic Products, 2015, 34(9): 580-588. (in Chinese)
- 2 韩化轩.合肥市观赏鱼市场发展现状与对策[J].安徽农学通报,2015,21(22):107-109.
HAN Huaxuan. Developmental situations and developmental strategies of aquarium fish mark in Heifei city [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2015, 21(22): 107-109. (in Chinese)
- 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 BIKASH S, TIWARI G N. Thermal modeling and parametric studies of a greenhouse fish pond in the Central Himalayan Region [J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(18-19): 3174-3184.
- 5 DAUDI S S, ZHAO Jimin, YANG Shifeng. Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 102(3): 31-42.
- 6 刘兴国,刘兆普,王鹏祥,等.基于水质监测技术的水产养殖安全保障系统及应用[J].农业工程学报,2009,25(6):186-191.
LIU Xingguo, LIU Zhaopu, WANG Pengxiang, et al. Aquaculture security guarantee system based on water quality monitoring and its application [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 186-191. (in Chinese)
- 7 刘双印,徐龙琴,李振波,等.基于 PCA-MCAFA-LSSVM 的养殖水质 pH 值预测模型[J].农业机械学报,2014,45(5):239-246.
LIU Shuangyin, XU Longqin, LI Zhenbo, et al. Forecasting model for pH value of aquaculture water quality based on PCA-MCAFA-LSSVM [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(5): 239-246. (in Chinese)
- 8 QI lin, ZHANG Jian, XU Mark. Developing WSN-based traceability system for recirculation aquaculture [J]. Mathematical and Computer Modeling, 2011, 53(11-12): 2162-2172.
- 9 TAN K K, HUANG S N, ZHANG Y, et al. Distributed fault detection in industrial system based on sensor wireless network [J]. Computer Standards & Interfaces, 2009, 31(3): 573-578.
- 10 PIERCE F J, ELLIOTT T V. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(1): 32-43.
- 11 刘双印.基于计算智能的水产养殖水质预测预警方法研究[D].北京:中国农业大学,2014.
LIU Shuangyin. Prediction and early-warning of water quality in aquaculture based on computational intelligence [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 12 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.
- 13 史兵,赵德安,刘星桥,等.工厂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)
- 14 ANDREW V D, RAUL H P. Temperature modeling of a land-based aquaculture system for the production of *Gracilaria pacifica*: possible system modifications to conserve heat and extend the growing season [J]. Aquacultural Engineering, 2015, 66: 1-10.
- 15 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.
YAN Bo, SHI Ping. Intelligent monitoring system for aquaculture based on Internet of things [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 259-265. (in Chinese)
- 16 孙士诚,皮佑国.基于 STM32 和 FPGA 的多路模拟量采集系统的设计[J].自动化与仪器仪表,2015(4):23-26.
- 17 谭翠兰,刘慧琳,王运斌.基于 PCI8602 的压力传感器测试系统设计[J].计算机测量与控制,2015,23(8):2676-2779.
TAN Cuilan, LIU Huilin, WANG Yunbin. Design of pressure sensor testing system based on PCI8602 [J]. Computer Measurement and Control, 2015, 23(8): 2676-2779. (in Chinese)
- 18 李涛涛.线控转向系统操纵性改善策略与转向盘回正力矩研究[D].长春:吉林大学,2007.
- 19 胡月明,黄建清,王卫星,等.水产养殖水质 pH 值无线监测系统设计与试验[J].传感器与微系统,2014,33(11):113-120.
HU Yueming, HUANG Jianqing, WANG Weixing, et al. Design of pH value of water quality wireless monitoring system for aquaculture [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2014, 33(11): 113-120. (in Chinese)
- 20 齐林.面向可追溯的物联网数据采集与建模方法研究[D].北京:中国农业大学,2014.
- 21 齐林,韩玉冰,张小栓,等.基于 WSN 的水产品冷链物流实时监测系统[J].农业机械学报,2012,43(8):134-140.
QI Lin, HAN Yubing, ZHANG Xiaoshuan, et al. Real time monitoring system for aquatic cold-chain logistics based on WSN [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(8): 134-140. (in Chinese)