

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

黄建清, 王卫星^{*}, 姜 晟, 孙道宗, 欧国成, 卢康桦

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘 要: 为解决目前水产养殖水质自动监测系统存在布线困难、灵活性差和成本高等问题, 该文构建了基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统。该系统的传感器节点负责水质数据采集功能, 并通过无线传感器网络将数据发送给汇聚节点, 汇聚节点通过 RS232 串口将数据传送给监测中心。传感器节点的处理模块采用 MSP430F149 单片机, 无线通信模块由 nRF905 射频芯片及其外围电路组成, 传感器模块以 PHG-96FS 型 pH 复合电极和 DOG-96DS 型溶解氧电极为感知元件, 电源模块以 LT1129-3.3、LT1129-5 和 Max660 组成的电路提供 3.3 和 $\pm 5V$ 。设计了传感器输出信号的调理电路, 将测量电极输出的微弱信号放大, 满足 A/D 转换的要求。节点软件以 IAR Embedded Workbench 为开发环境, 采用单片机 C 语言开发, 实现节点数据采集与处理、无线传输和串口通信等功能。监测中心软件采用 VB6.0 开发, 为用户提供形象直观的实时数据监测平台。对系统的性能进行了测试, 网络平均丢包率为 0.77%, pH 值、温度和溶解氧的平均相对误差分别为 1.40%、0.27% 和 1.69%, 满足水产养殖水质监测的应用要求, 并可对大范围水域实现水质环境参数的实时监测。

关键词: 水产养殖, 传感器, 实时系统, 无线网络, 水质监测

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.04.023

中图分类号: TP274⁺.5; S959

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-04-0183-08

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.

Huang Jianqing, Wang Weixing, Jiang Sheng, et al. Development and test of aquacultural water quality monitoring system based on wireless sensor network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(4): 183—190. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

“养鱼先养水”, 养殖水域是养殖鱼类的生活环境, 养殖环境的好坏直接关系到养殖鱼类的生长和发育, 从而决定着水产品质量和产量的高低^[1-2]。近年来, 随着水产养殖规模化、集约化程度的不断提高, 养殖种类的增多和养殖密度的增加, 养殖水域水质环境日趋恶化, 病害发生率越来越高, 由此引发水产品质量安全问题也日益突出。因此, 迫切需要构建一种水产养殖水质环境监测系统, 以便及时地了解养殖鱼类生活环境的水质状况, 从而采取有效的措施调控水质, 保障水产品质量安全, 达到安全、高效的生产目的。

传统的水质监测采用仪表结合人工经验操作的方法, 存在耗时费力、监测范围小、监测周期长, 不能实时反映水环境的动态变化等弊端。采用串行总线、现场总线的水质自动监测系统却需要铺设大量的电缆线, 布线困难、施工难度大, 且线路易受破坏和腐蚀、维护成本高、监测范围有限^[3]。无线传感器网络具有智能化程度高、信息时效强、覆盖区域广、支持多路传感器数据同步采集、可扩展性好等特点^[4], 将其应用于水质环境监测领域有着广阔的应用前景。目前, 国内外已开展了无线传感器网络在水质监测相关方面的应用研究。国外比较典型的代表有美国 Heliosware 公司的 EMNET 系统和澳大利亚 CSIRO 的 Fleck 系统, 但这 2 个系统通信速率低、产品体积较大、功耗较高, 仅适合用作研究^[5]。王骥等设计了基于无线传感器网络海洋环境监测系统, 实现了海洋生态环境监测、各类海洋气象与灾害的数值预报预测等功能^[6]。杜治国等提出了基于 Zigbee 无线传感器网络与互联网结合的远程实时水质监测系统架构, 实现了水质监测参数的获取及传输^[7]。但上述监测系统大多数使用水质自动监测仪进行监测, 这种仪器是由测量电极、变送器设备和显示设备等构成的一体化装置, 具有体积大、价格昂

收稿日期: 2012-06-26 修订日期: 2013-01-11

基金项目: 广东省重大科技专项 (2010A080408012); 广东省中国科学院全面战略合作项目 (2011B090300102)。

作者简介: 黄建清 (1972—), 女, 湖南益阳人, 博士生, 主要从事无线传感器网络和电子信息技术在农业上的应用研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: hjqoffice@163.com

^{*}通信作者: 王卫星 (1963—), 男, 河北宣化人, 博士, 博士生导师, 中国农业工程学会高级会员 (E041200223S), 主要从事无线传感器网络、电子信息技术在农业上应用的研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: weixing@scau.edu.cn

贵,且需要市电供电,不适合对大范围水域进行监测等缺点。本文以水体温度、pH 值和溶解氧浓度为监测目标,设计了基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统。通过设计以电池供电方式的水质传感器信号调理电路,使系统无需市电供电,实现了整个监测过程无线化。该系统使用灵活,能对大范围水域实现水质环境参数的实时采集、无线传输和远程监测等功能。

1 系统总体结构

系统主要由传感器节点、路由节点、汇聚节点、本地监测中心和远程监测中心等组成,其结构如图 1 所示。传感器节点和路由节点部署在监测区域内,以自组织的方式构成网络,将采集到的数据以多跳的网络方式传送到汇聚节点,汇聚节点负责接收和处理网络中所有节点的信息,并通过 RS232 串口将数据传输到本地监测中心,监测中心软件对接收的数据进行分析、处理、存储,图形化显示与报警,实现水质环境参数实时在线监测。汇聚节点也可以通过 GPRS 模块接入 Internet 网络,将数据传回远程监测中心,或以短信方式将数据传送给用户手机。

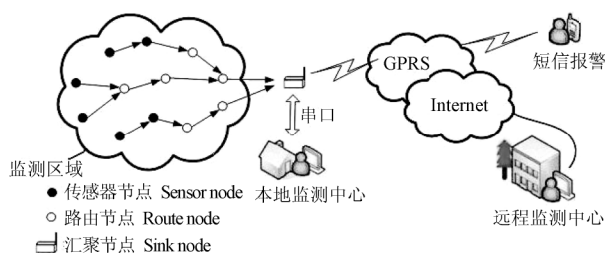


图 1 监测系统结构

Fig.1 Network structure of monitoring system

2 无线传感器网络节点硬件设计

无线传感器网络节点包括传感器节点、路由节点和汇聚节点,路由节点由传感器节点充当,汇聚节点要与监测中心计算机连接,在硬件结构上,只需减少传感器模块和增加串口通信模块,其他模块设计与传感器节点基本相同。

2.1 硬件组成

传感器节点主要由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和电源模块组成。传感器模块包括水质传感器和信号调理电路,构成传感器板。处理器模块、无线通信模块和电源模块构成主控板。节点的硬件结构如图 2 所示,节点实物与电路封装如图 3 所示。

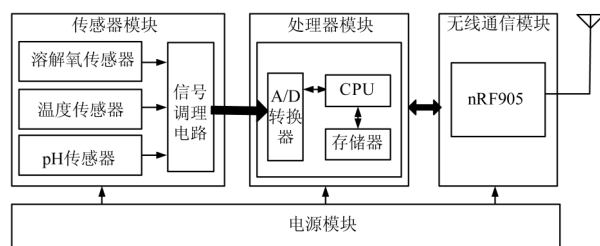
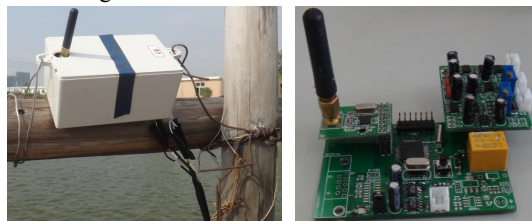


图 2 硬件结构图

Fig.2 Sensor node hardware architecture



a. 节点实物图
a. Picture of real WSN node
b. 节点电路封装图
b. Picture of WSN node PCB

图 3 节点实物与电路封装图

Fig.3 Picture of real WSN node and PCB

处理器模块采用 TI 公司的单片机芯片 MSP430F149,该单片机最为突出的特点是低电压、低功耗^[8],适合用于低功耗需求的场合。无线通信模块采用功耗低、发射功率可调的 nRF905 模块,其传输距离远、抗干扰能力强,并且内建空闲模式与关机模式,易于实现节能^[9-10]。

考虑室外监测需求,电源模块采用 1 200 mAh、3.2 V 的磷酸铁锂电池供电^[11-12]。2 节锂电池串联后通过 LT1129-5、LT1129-3.3 组成的电路转换为 3.3 V,为处理器模块和无线通信模块供电;通过 LT1129-5、Max660 组成的电路转换为 ± 5 V,为传感器模块供电。

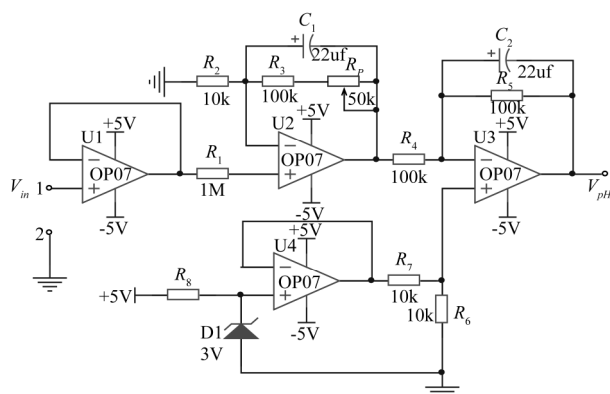
传感器模块包括传感器和信号调理电路,考虑到应用需求、成本、功耗和可靠性等因素,采用上海力琼公司 pH 复合电极和极谱式溶解氧电极来测量水溶液的 pH 值、溶解氧浓度和温度。pH 电极测量范围为 0~14.00,溶解氧电极测量范围为 0~20.00 mg/L,这 2 种电极都内置热敏电阻,可用于温度测量或温度补偿功能。

2.2 pH 值调理电路

pH 值复合电极输出为毫伏级电压信号,且内阻很高^[13]。在调理电路的设计中,采用 ± 5 V 供电的运算放大器构成 3 级电路,如图 4 所示,第 1 级将 pH 值电极输出与电压跟随器相连,目的是提高测量电路的输入阻抗和隔离前后级电路的影响;第 2 级将 pH 值电极输出信号滤波放大;第 3 级将放大后的信号调整为 0~3.3 V,以满足模数转换器输入范围,pH 值调理电路输出电压 (V_{pH} , V) 为

$$V_{pH} = \frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_3 + R_p}{R_2}\right) V_{in} - \frac{3R_6}{R_6 + R_7} \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \quad (1)$$

式中, V_{in} 为 pH 值电极输出电压, V; R_p 为可调电阻, Ω ; $R_2 \sim R_7$ 为固定电阻, Ω 。



注: 1~2 为 pH 值电极的阳极与阴极接口, V_{in} 为 pH 值电极输出电压, V, V_{pH} 为放大器的输出电压, V, D1 为稳压管, U1 为第一级放大器 OP07 芯片的标识符号, U2 为第二级放大器 OP07 芯片的标识符号, U3 为第三级放大器 OP07 芯片的标识符号, $C_1 \sim C_2$ 为滤波电容, μf , R_p 为可调电阻, Ω , $R_1 \sim R_8$ 为固定电阻, Ω 。

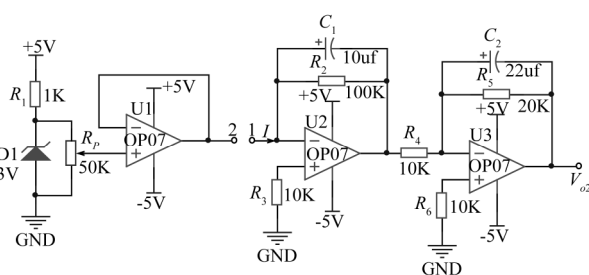
Note: 1~2: anode and cathode of pH electrode; V_{in} : pH electrode output voltage, V; V_{pH} : amplifier output voltage, V; D1: regulator tube; U1: symbol of the first amplifier OP07 chip; U2: symbol of the second amplifier OP07 chip; U3: symbol of the third amplifier OP07 chip; $C_1 \sim C_2$: filter capacitor, μf ; R_p : adjustable resistance, Ω ; $R_1 \sim R_8$: fixed resistor, Ω .

图4 pH 值调理电路

Fig.4 pH value conditioning circuit

$$V_T = 5 \left[\frac{R_t / R_p}{R_1 + R_t / R_p} \left(1 + \frac{R_2 R_6 + R_3 R_6}{R_2 R_4 + R_2 R_3 + R_3 R_4}\right) - \frac{R_3 R_6}{R_2 R_4 + R_2 R_3 + R_3 R_4} \right] \quad (3)$$

式中, R_t 为溶解氧传感器内置的热敏电阻, Ω ; R_p 为可调电阻, Ω ; $R_1 \sim R_4$ 、 R_6 为固定电阻, Ω 。



注: 1~2 为溶解氧传感器的溶解氧阳极与阴极接口, I 为溶解氧电极输出电流, A; V_{o2} 为放大器的输出电压, V; D1 为稳压管, U1 为第一级放大器 OP07 芯片的标识符号; U2 为第二级放大器 OP07 芯片的标识符号; U3 为第三级放大器 OP07 芯片的标识符号; $C_1 \sim C_2$ 为滤波电容, μf ; R_p 为可调电阻, Ω ; $R_1 \sim R_6$ 为固定电阻, Ω 。

Note: 1~2: anode and cathode of dissolved oxygen electrode; I : dissolved oxygen electrode output current, A; V_{o2} : amplifier output voltage, V; D1: regulator tube; U1: symbol of the first amplifier OP07 chip; U2: symbol of the second amplifier OP07 chip; U3: symbol of the third amplifier OP07 chip; $C_1 \sim C_2$: filter capacitor, μf ; R_p : adjustable resistance, Ω ; $R_1 \sim R_6$: fixed resistor, Ω .

图5 溶解氧调理电路

Fig.5 Dissolved oxygen conditioning circuit

2.3 溶解氧调理电路

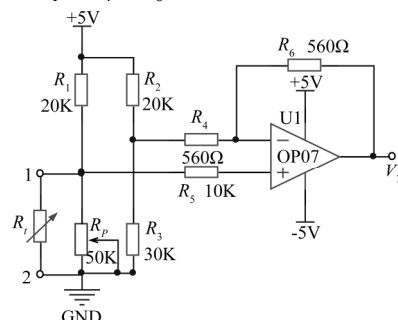
溶解氧电极输出电流一般很小, 最大只有几十 μA , 且电极的阴极和阳极两端需施加 0.7 V 左右的极化电压, 氧电极才能正常工作^[14-15]。在调理电路的设计中, 采用 $\pm 5\text{V}$ 供电的运算放大器构成 3 级电路, 如图 5 所示, 第 1 级为电压跟随器, 将可调电阻 R_p 上的分压接入氧电极的阴极, 为阴极提供电压; 第 2 级将氧电极的阳极连接 U2 的反相端, 使阳极电压近似为 0, 调节 R_p 阻值可使阴阳两极获得 0.7 V 左右的电压, 保证氧电极正常工作, 氧电极的输出电流通过第 2 级电路转换为电压; 第 3 级将前级的输出电压滤波放大, 溶解氧调理电路输出电压 (V_{o2} , V) 为

$$V_{o2} = \frac{R_2 R_5}{R_4} I \quad (2)$$

式中, I 为溶解氧电极输出电流, A; R_2 、 R_4 、 R_5 为固定电阻, Ω 。

2.4 温度调理电路

为减少系统开发成本, 本文利用溶解氧传感器内置的热敏电阻 R_t 来测量温度。在调理电路的设计中, 采用 $\pm 5\text{V}$ 供电的电桥与运放构成的电路, 如图 6 所示, 调节 R_p 阻值使电桥处于平衡状态, 放大器的输出为 0, 温度变化使电桥失去平衡状态, 放大器的输出电压 (V_T , V) 为



注: 1~2 为溶解氧传感器的温度正极与负极接口, U1 为放大器 OP07 芯片的标识符号, R_t 为溶解氧传感器内置的热敏电阻, Ω ; R_p 为可调电阻, Ω ; $R_1 \sim R_6$ 为固定电阻, Ω 。

Note: 1~2: temperature anode and cathode of dissolved oxygen electrode; U1: symbol of amplifier OP07 chip; R_t : thermistor embedded in dissolved oxygen sensor; R_p : adjustable resistance, Ω ; $R_1 \sim R_6$: fixed resistor, Ω .

图6 温度调理电路

Fig.6 Temperature conditioning circuit

3 软件设计

3.1 节点软件设计

节点软件是基于 IAR Embedded Workbench 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。节点软件包括传感器节点、路由节点和汇聚节点软件, 路由节点只需要转发数据, 其软件设

计与传感器节点基本类似。汇聚节点不采集水质数据,但作为控制中心,需要向监测网络发送同步信息,并将收集的数据发送到本地监测中心和远程监测中心。由于篇幅有限,本文以传感器节点为例,介绍软件设计方法。整个编程过程采用模块化设计,主要包括设备初始化、数据采集与处理、串口通信和无线通信等模块。传感器节点程序流程如图 7 所示,节点周期性地采集数据,采集时间间隔设为 30 min,每次采集完毕后立即关闭传感器电源,以减少能耗,同时设置另一个定时器,作为发送本地采集数据的时间,在这段时间内,节点可以接收和转发其他节点的数据。当发送时间到,节点将本地采集数据发送出去。如果接收到汇聚节点发送的同步信息,传感器节点调整本地系统时间,然后进入休眠状态,直到下次采集时间到,再开始新一轮的采集工作。

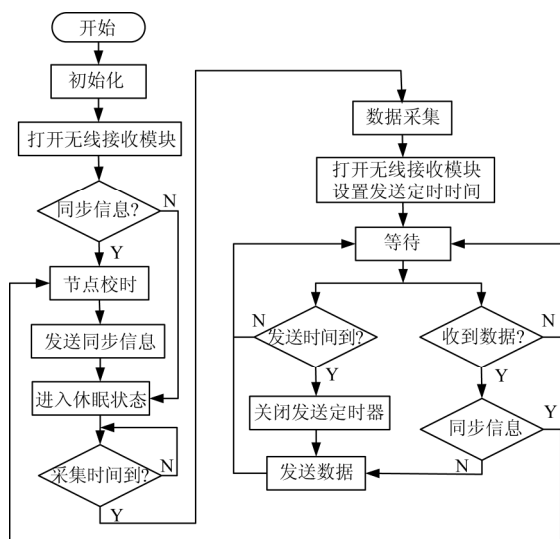


图 7 传感器节点程序流程图

Fig.7 Flow chart of sensor node software

3.2 监测中心软件设计

监测中心软件采用 VB6.0 编程开发,本地监测中心软件通过 MSComm 控件获取汇聚节点串口发送的监测数据,并调用外部程序嵌入功能,将接收的数据以 EXCEL 文件进行存储和管理,远程监测中心软件利用 Winsock 控件实现与汇聚节点的 GPRS 模块通信,获取 GPRS 模块传输到 internet 网络的监测数据。现场工作人员可以实时查看监测区域的采集数据,用户也可以通过 Internet 网络远程访问监测区域的采集数据。监测中心软件主要包括参数设置、实时监控、数据处理、数据管理和用户管理等模块,参数设置模块是设置水质参数上下限值和通信参数;实时监控模块是实时采集水质数据,以动态曲线图方式和报表方式显示监测指标的

变化,报警显示超限的水质数据;数据处理模块对历史数据进行分析处理,产生水质预测预警模型;数据管理模块对历史数据进行查询、统计和图表显示;用户管理模块为不同用户身份调用特定的操作及访问特定的数据资源,软件结构框图如图 8 所示。图 9 为水质参数实时监测界面,界面直观友好,能同时以表格和曲线的方式显示实时数据,并能报警超限数据以及统计每个鱼池水质信息。

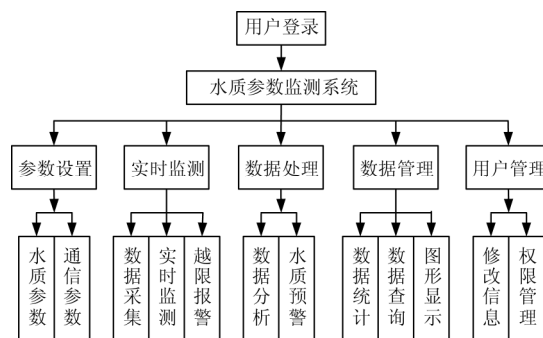


图 8 监测中心软件结构框图

Fig.8 Structural diagram of monitoring center software

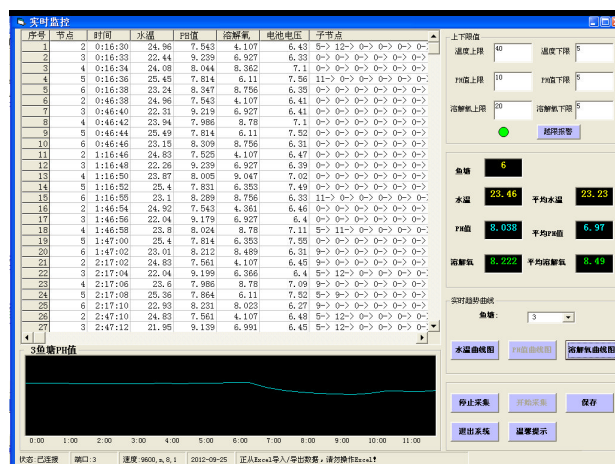


图 9 实时监测界面

Fig.9 Real-time monitoring interface

4 传感器标定试验

4.1 pH 值传感器的标定

本文使用 pH 复合电极测量溶液酸碱度,复合电极由甘汞电极和玻璃电极组成,玻璃电极的头部球泡由特殊的敏感薄膜制成,它仅对氢离子敏感,在测量中作为指示电极,甘汞电极作为参考电极,当溶液中氢离子浓度发生变化时,指示电极和参比电极之间的电动势也随着引起变化,依据 Nernst 方程,指示电极与参比电极之间的电动势与被测溶液酸碱度关系为^[16]

$$E = E_0 + ST(pH - 7) \quad (4)$$

式中, E 为电极输出电动势, mV; E_0 为标准电极电势, mV; S 为 Nernst 系数; T 为绝对温度, K。

pH 电极接外电路后电极端输出电压 V_{in} (V) 为

$$V_{in} = \frac{R_L}{R_S + R_L} E = BE \quad (5)$$

式中, R_L 为外电路等效电阻, Ω ; R_S 为电极内阻, Ω 。

由式 (1)、(4)、(5) 可得 pH 值调理电路输出电压 V_{pH} (V) 为

$$V_{pH} = K_{pH}(T)(pH - 7) + V_0 \quad (6)$$

式中, V_0 为 pH 值=7 时调理电路输出电压, V; K_{pH} 是随温度而变化的系数, 需要试验标定与温度关系的数学模型。试验方法: 将 pH 值=4.01、pH 值=6.86、pH 值=9.18 的 3 种标准溶液降温至 0℃ 左右, 然后用恒温磁力搅拌器逐步加热到 50℃, 每隔 1℃ 记录调理电路输出电压的 A/D 转换值, 测量 3 次取平均值, 然后根据式 (6) 计算出不同温度下的 K_{pH} 值, 用 matlab 拟合出 K_{pH} 的标定曲线, 如图 10 所示。图中, $T=15^\circ\text{C}$ 与 $T=35^\circ\text{C}$ 处为曲线拐点, 此处曲线斜率最大, 灵敏度最高, 而其他温度区域内 K_{pH} 与温度呈线性关系, 因此采用线性分段方法标定 K_{pH} 曲线, 以提高拟合精度。

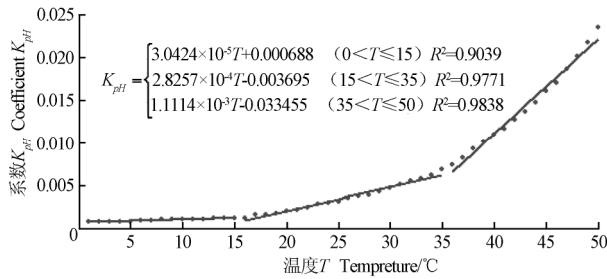


图 10 pH 值温度系数 K_{pH} 与温度的关系

Fig.10 Relationship between coefficient K_{pH} of PH value and temperature

4.2 溶解氧传感器的标定

本文使用极谱式薄膜溶氧电极测量溶解氧浓度, 极谱式薄膜溶氧电极由铂电极 (阴极) 和银电极 (阳极) 组成, 两极之间充以电解液, 顶端以薄膜覆盖。当在阴极和阳极之间施加 0.7V 左右的电压时, 溶液中的溶解氧透过薄膜, 在阴极上发生还原反应而产生扩散电流, 依据阿仑尼乌斯定律, 电流的大小为^[17-18]

$$I = AP_{O_2} e^{-\alpha/T_m} + I_0 \quad (7)$$

式中, I 为电极稳态响应电流, A; I_0 为氧分压为零时的电极响应电流, 一般接近于 0, P_{O_2} 为被测溶液中氧分压, 以 Hg 计; T_m 为透氧膜工作温度, $^\circ\text{C}$; α 和 A 为与电极材料和结构有关的常数。依据 Henry 定律, 水中的氧分压 P_{O_2} 为^[19]

$$P_{O_2} = CH(T) \quad (8)$$

式中, C 为被测溶液溶解氧浓度, mg/L; H 为 Henry 系数, 它是一个随温度而变化的值。将式 (8) 代入式 (7) 可得

$$I = ACH(T)e^{-\alpha/T} + I_0 = G(T)C + I_0 \quad (9)$$

将式 (9) 代入式 (2) 可得溶解氧调理电路输出电压 V_{O_2} 为

$$V_{O_2} = \frac{R_2 R_5}{R_4} (G(T)C + I_0) = K_{O_2}(T)C + V_0 \quad (10)$$

式中, V_0 为氧分压为 0 时调理电路输出电压, V; K_{O_2} 是随温度而变化的系数, 需要试验标定与温度关系的数学模型^[20]。试验方法: 首先用饱和亚硫酸钠溶液标定溶氧电极的零点^[21], 测量溶解氧调理电路输出电压 V_0 , 然后将饱和蒸馏水降温至零度左右, 用恒温磁力搅拌器快速搅拌并逐步加热到 50℃, 每隔 1℃, 用 YSI550A 溶氧仪测量溶液中溶解氧浓度, 同时记录溶解氧调理电路和温度调理电路输出电压的 AD 转换值, 测量 3 次取平均值, 根据式 (10) 计算出不同温度下的 K_{O_2} 值, 用 matlab 拟合出 K_{O_2} 的标定曲线, 如图 11 所示。

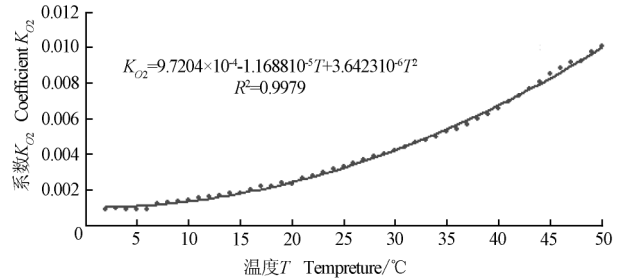


图 11 溶解氧温度系数 K_{O_2} 与温度的关系

Fig.11 Relationship between coefficient K_{O_2} of dissolved oxygen and temperature

4.3 温度传感器的标定

根据溶解氧标定试验获取的数据, 拟合出温度调理电路输出电压 V_T 与温度关系的标定曲线, 如图 12 所示。图中, $T=25^\circ\text{C}$ 处为曲线拐点, 此处曲线斜率最大, 灵敏度最高, 而其它温度区域内 V_T 与温度呈线性关系, 因此采用线性分段方法标定 V_T 曲线, 以提高拟合精度。

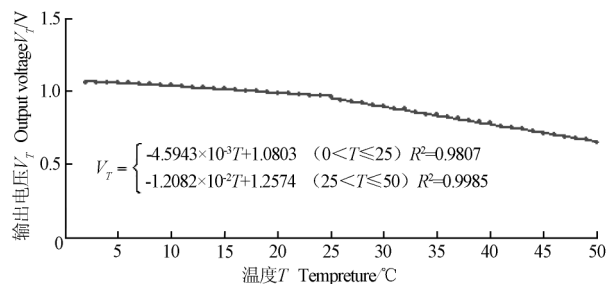


图 12 输出电压 V_T 与温度的关系

Fig.12 Relationship between output voltage V_T and temperature

5 试验结果与分析

2012 年 9 月,利用本文设计的系统,在广东省珠海市斗门区白蕉镇之山水产公司养殖现场进行试验,试验包括网络丢包率测试和水质参数采集测试,网络丢包率测试是验证系统网络传输的稳定性和可靠性,水质参数采集测试是验证无线传感器网络水质数据采集和传输的正确性。

5.1 网络丢包率测试

试验时部署 5 个传感器节点,分别放在 5 个养殖池中,部署 1 个汇聚节点和 5 个路由节点,汇聚节点部署在控制室,路由节点部署在传感器节点与汇聚节点之间,负责数据转发任务。设定传感器节点每隔 30 min 采集、发送 1 次数据,然后节点进入接收模式,接收到时间同步信息后进入休眠状态,连续监测 25 d,测试结果如表 1 所示,该系统通信稳定可靠,整个网络的平均丢包率为 0.77%。

表 1 网络丢包率统计
Table 1 PLR values of nodes

传感器节点	发送数据包	汇聚节点接收数据包	丢包率/%
01	1200	1194	0.5
02	1200	1200	0.00
03	1200	1191	0.75
04	1200	1182	1.50
05	1200	1187	1.08
平均值	1200	1190.8	0.77

5.2 水质参数采集测试

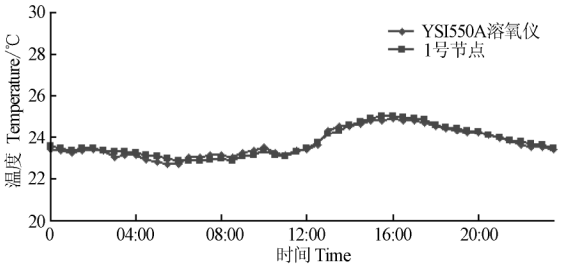
pH 测试前使用 6.86 和 9.18 的标准溶液对 pH 电极进行校准,以消除其偏差,然后在 25℃ 条件下,用邻苯二甲酸氢钾和四硼酸钠配制不同的 pH 值溶液进行测试,测量结果与 PHSCAN10 酸度计的测量值比较,PHSCAN10 酸度计的精度为 ±0.2pH,试验数据如表 2 所示。水温和溶解氧取养殖用水进行降温和加热测试,测量结果与 YSI550A 溶氧仪的温度和溶氧测量值比较,YSI550A 溶氧仪在测量前需用 5%的无水亚硫酸钠配制的无氧水进行标定,它的溶氧测量精度为 ±0.3 mg/L、温度测量精度为 ±0.3℃,试验数据如表 3 所示。试验结果表明,本系统测量值与标准仪器测量值接近,pH 值、温度和溶解氧的平均相对误差分别为 1.40%、0.27%和 1.69%,测量精度可以满足水产养殖水质信息采集的应用要求。图 13 为 1 号节点与标准仪器连续 24 h 监测的数据图,采集时间间隔为 30 min。从图 13 中可以看出,系统运行稳定,数据传输正常,满足实际运行的需要。

表 2 pH 值测试结果
Table 2 Testing results of pH

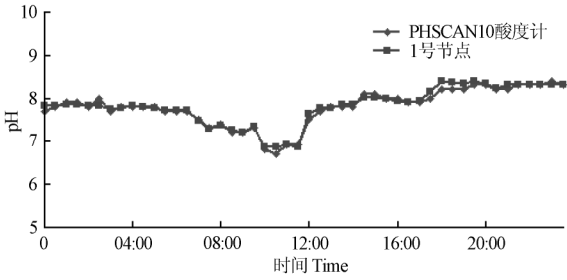
PHSCAN10 酸度计	本系统测量值	相对误差/%
3.9	3.82	2.05
4.2	4.05	3.57
4.5	4.37	2.89
5.7	5.65	0.88
6.1	5.94	2.62
6.6	6.53	1.06
7.1	6.98	1.69
7.6	7.49	1.45
7.8	7.84	0.51
8	8.02	0.25
8.2	8.17	0.37
8.6	8.62	0.23
9.1	9.16	0.66
平均		1.40

表 3 水温和溶解氧测试结果
Table 3 Testing results of temperature and dissolved oxygen concentration

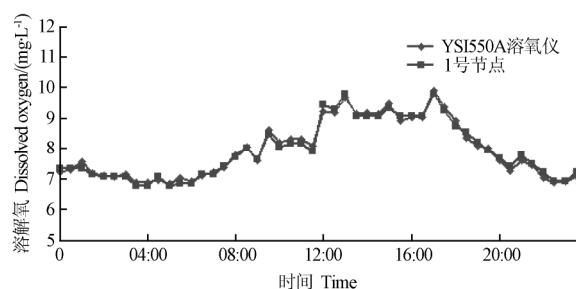
温度/℃			溶解氧/(mg·L ⁻¹)		
YSI550A 溶氧仪	本系统	相对误差/%	YSI550A 溶氧仪	本系统	相对误差/%
4.9	4.96	1.22	13.46	13.25	1.56
10.2	10.24	0.39	12.35	12.17	1.46
15.3	15.31	0.07	11.04	10.81	2.08
19.8	19.80	0.00	9.44	9.35	0.95
25.1	25.17	0.28	8.25	8.27	0.24
30.0	30.05	0.17	7.42	7.25	2.29
34.9	34.93	0.09	6.64	6.45	2.86
40.2	40.22	0.05	5.91	5.78	2.20
45.0	45.08	0.18	5.14	5.22	1.56
平均		0.27			1.69



a. 温度
a. Temperature



b. pH 值
b. pH value



c. 溶解氧
c. Dissolved oxygen

图 13 水质参数实时监测曲线

Fig.13 Real-time monitoring curves of water quality parameters

6 结 论

1) 本文利用无线传感器网络技术设计了一套水产养殖水质监测系统。该系统通过传感器节点获取水温、pH 值和溶解氧浓度数据, 利用汇聚节点收集监测数据, 并通过 RS232 串口将数据传输到本地监测中心, 实现水质环境参数实时在线监测, 也可以通过 GPRS 模块接入 Internet 网络, 实现数据的远程监测。

2) 系统的传感器节点可以直接使用 pH 电极和溶解氧电极测量水质参数, 避免了使用体积大、价格昂贵的水质自动监测仪, 并且系统采用电池供电方式, 使整个监测过程无线化, 能对大范围水域进行监测。

3) 试验结果表明该系统运行稳定、测量准确可靠, 网络的平均丢包率为 0.77%, pH 值、温度和溶解氧的平均相对误差分别为 1.40%、0.27% 和 1.69%。

为实现更多水质参数的精确监测与控制, 对系统的软硬件进行长时间测试和完善, 提高整个系统的性能, 下一步将在现有研究基础上, 对系统的功能扩展、通信协议以及水质参数的智能控制方面做进一步的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
Liu Daan. Economic evaluation indicator on industrial aquaculture[J]. Chinese Fisheries Economics, 2009, 27(3): 97—105. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘朝阳, 孙晓庆. 生物控制法在水产养殖水质净化中的综合应用[J]. 南方水产, 2007, 3(1): 69—74.
Liu Zhaoyang, Sun Xiaoqing. Comprehensive application of biological control techniques for water purification in aquaculture[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(1): 69—74. (in Chinese with English abstract)
- [3] 万传飞, 杜尚丰, 赵亮, 等. 基于 WSN 的水产养殖环境监测系统[J]. 农机化研究, 2010, 32(2): 170—173.
Wan Chuanfei, Du Shangfeng, Zhao Liang, et al. Aquaculture field environmental monitoring system

- based on WSN[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(2): 170—173. (in Chinese with English abstract)
- [4] Willig A. Wireless Sensor Networks: concept, Challenges and Approaches[J]. Elektrotechnik and informationstechnik, 2006(6): 224—231.
- [5] 邹赛, 刘昌明, 李法平. 基于无线传感器网络的水环境监测系统[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(9): 104—109.
Zou Sai, Liu Changming, Li Fapin. Water environment monitoring system based on wireless sensor networks[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2010, 29(9): 104—109. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王骥, 周文静, 沈玉利. 基于无线传感器网络的海洋环境监测系统研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(13): 3334—3337.
Wang Ji, Zhou Wenjing, Shen Yuli. Research on marine environment monitor system based on wireless sensor network[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(13): 3334—3337. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杜治国, 肖德琴, 周运华, 等. 基于无线传感器网络的水质监测系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(17): 4568—4570.
Du Zhiguo, Xiao Deqin, Zhou Yunhua, et al. Design of water quality monitoring wireless sensor network system based on wireless sensor[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(17): 4568—4570. (in Chinese with English abstract)
- [8] Cheng Wang, Chunjiang Zhao, Xiaojun Qiao, et al. The Design of Wireless Sensor Networks Node for Measuring the Greenhouse's Environment Parameters[C]// The International Federation for Information Processing, Springer US, 2008: 1037—1046.
- [9] 王卫星, 罗锡文, 孙道宗, 等. 茶园信息采集无线传感器网络节点设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 169—173.
Wang Weixing, Luo Xiwen, Sun Daozong, et al. Design of wireless sensor network node for data transmission in tea plantations[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(5): 169—173. (in Chinese with English abstract)
- [10] 薛敏迪. 基于 nRF905 的低功耗温湿度无线测量系统[J]. 现代电子技术, 2010, 33(1): 135—138.
Xue Mindi. Low-power Temperature and humidity measurement system based on nRF905[J]. Modern electronics technique, 2010, 33(1): 135—138. (in Chinese with English abstract)
- [11] 姜晟, 王卫星, 孙道宗, 等. 能量自给的果园信息采集无线传感器网络节点设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 153—158.
Jiang Sheng, Wang Weixing, Sun Daozong, et al. Design of energy self-sufficient wireless sensor network node for orchard information acquisition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(9): 153—158. (in Chinese with English abstract)
- [12] Sheng Jiang, Guokun Xiao, Weixing Wang, et al. Design of Wireless Sensor Node for Drought Monitoring in Tea Plantation[C]// International Conference on Electric Information and Control Engineering, IEEE Press, 2011: 328—1332.
- [13] 李成春. 基于 CC2430 无线多参数传感器检测网络的设计[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
Li Chengchun. Design of Wireless Multi-parameter Sensor Testing Network Based on CC2430[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010. (in Chinese with English abstract)

- [14] 刘庆, 邹应全, 行鸿彦. 基于 MSP430 单片机的溶解氧测量仪[J]. 仪表技术与传感器, 2009(9): 33—35.
Liu Qing, Zou Yingquan, Xing Hongyan. measuring instrument of dissolved oxygen based on MSP430[J]. Instrument Technique and Sensor, 2009(9): 33—35. (in Chinese with English abstract)
- [15] 许云龙. 基于 GPRS 的近海赤潮监测试验系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
Xu Yunlong. Research on the Offshore Red-Tide Monitoring Experimental System Based on General Packet Radio Service[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [16] Miao Yuqing, Chen Jianrong, Fang Keming. New Technology for the Detection of pH[J] biochemical and biophysical methods, 2005, 63(1): 1—9.
- [17] Kinzel P, Lintz H G, Gaudebert P, et al. Valentin. Electrocatalytic Removal of Dissolved Oxygen from Seawater in a Packed-bed Electrode[J]. Journal of Applied Electrochemistry, 2002, 32(9): 951—960.
- [18] Ramamoorthy R, Dutta P K, Akbar S A. Oxygen sensors: Materials, Methods, Designs and Applications[J]. Journal of Materials Science, 2003, 38(21): 4271—4282.
- [19] 陈立波, 郭景海, 隋新, 等. 加压曝气生物反应器及其工艺设计[J]. 环境工程, 2002, 20(3): 25—27.
Chen Libo, Guo Jinghai, Sui Xin, et al. Pressurized aeration bio-reactor and its process design[J]. Environmental Engineering, 2002, 20(3): 25—27. (in Chinese with English abstract)
- [20] 朱亚明, 丁为民. 一种在线检测溶解氧的方法[J]. 电子测量技术, 2009, 32(7): 122—124.
Zhu Yaming, Ding Weimin. Online measurement method for dissolved oxygen[J]. Electronic Measurement Technology, 2009, 32(7): 122—124. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张广辉, 邵惠鹤. 溶氧传感器的温度特性研究及其补偿[J]. 传感技术学报, 2006, 19(2): 323—327.
Zhang Guanghui, Shao Huihe. Temperature independence and compensation for the dissolved oxygen probe[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2006, 19(2): 323—327. (in Chinese with English abstract)

Development and test of aquacultural water quality monitoring system based on wireless sensor network

Huang Jianqing, Wang Weixing^{*}, Jiang Sheng, Sun Daozong, Ou Guocheng, Lu Kanju
(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Some problems of aquaculture water quality monitoring systems, such as wiring difficulties, low performance-price ratio and short of flexibility, still exist. This paper analyzes the limitations of the existing aquaculture water quality monitoring systems and the new aquaculture water quality monitoring systems based on wireless sensor networks. The proposed system uses sensor nodes to obtain data of water temperature, pH value and dissolved oxygen concentration; a sink node is used to collect data from the sensor nodes through a wireless sensor network and monitoring center to process data downloaded from the sink node through RS232 serial port, and present to users. The hardware platform of the sensor node is composed of a processing module, a sensor module, wireless communication and a power module. The processing module uses a MSP430F149 as the processing core. The sensor module uses PHG-96FS pH combination electrodes and DOG-96DS dissolved oxygen electrodes to measure water quality parameters. Since sensor output signals are weak and noisy, a signal conditioning circuit is designed to amplify and filter the weak signals so as to meet the requirement of input range of the A/D converter. The wireless communication module uses an RF905 RF chip and its periphery circuits to receive and send data. The power module uses an LT1129-3.3 chip, an LT1129-5 chip, a Max660 chip and their periphery circuits to supply 3.3 V and ± 5 V voltage for the processing module, wireless communication and the sensor module. The system software consists of two parts, the node software and monitoring software. The node software, which is compiled using C Language in IAR Embedded Workbench, can complete data acquisition and processing, wireless transmission, and serial communication. The monitoring software, which is compiled using vb6.0, can provide users with a visual image of real-time data monitoring platform. Furthermore, the correction and reliability of system are verified. The results demonstrate that the average packet loss rate is 0.77%, and the relative errors of pH value, temperature and dissolved oxygen are less than 1.40%, 0.27% and 1.69%, respectively. Our study showed that the system with characteristics of higher acquisition frequency, smaller size, lower cost, and good flexibility, can implement real-time monitoring of water quality parameters in a wide range of water types.

Key words: aquaculture, sensors, realtime system, wireless networks, water quality monitoring