

基于光谱法和ZigBee技术的水质监测系统设计

侯家振, 樊飞燕, 黄明坤

南昌工程学院, 信息工程学院, 江西 南昌

收稿日期: 2022年7月16日; 录用日期: 2022年8月16日; 发布日期: 2022年8月23日

摘要

水质监测是治理保护水资源的前提和基础, 可以为环境管理提供数据和资料。光谱法水质检测技术是在线水质监测领域的重要发展方向。在对光谱法原理开展研究后, 结合传感器及互联网技术, 本文提出一种基于树型拓扑结构的水质监测系统模型, 硬件方面选取CC2530 + ESP8266作为设计开发芯片, 软件开发平台选择IAR EM8051, 实现了对水质的化学需氧量(COD)、浊度值实时采集, 并对数据实施访问权限、预警处理。在对10组COD标准溶液和10组随机溶液进行测量后, 发现数据误差率最大不超过3.3%, 误差平均值为1.1%; 对5组标准浊度溶液进行测量, 数据误差率最大不超过3.4%, 误差平均值为1.48%。实验表明: 水质监测系统运行稳定可靠, 能满足水质监测应用需求, 为水质保护提供技术支撑。

关键词

水质监测, 光谱法, CC2530, 化学需氧量

Design of Water Quality Monitoring System Based on Spectral Method and ZigBee Technology

Jiazhen Hou, Feiyan Fan, Mingkun Huang

School of Information Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

Received: Jul. 16th, 2022; accepted: Aug. 16th, 2022; published: Aug. 23rd, 2022

Abstract

Water quality monitoring is the premise and basis of water resources management and protection, which can provide data and information for environmental management. Spectral water quality detection technology is an important development direction in the field of online water quality

monitoring. After studying the principle of spectroscopy and combining sensor and Internet technology, this paper proposes a water quality monitoring system model based on tree topology structure. CC2530 + ESP8266 is selected as the design and development chip in hardware, and IAR EM8051 is selected as the software development platform. The chemical oxygen demand (COD) and turbidity value of water quality are collected in real time, and the access rights and early warning processing are implemented for the data. After measuring 10 groups of COD standard solution and 10 groups of random solution, it is found that the error rate of the data is not more than 3.3%, and the average error is 1.1%. The maximum error rate was 3.4% and the average error rate was 1.48% for five groups of standard turbidity solutions. The experimental results show that the water quality monitoring system runs stably and reliably, which can meet the application requirements of water quality monitoring and provide technical support for water quality protection.

Keywords

Water Quality Monitoring, Spectroscopy, CC2530, Chemical Oxygen Demand

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水质监测的目的主要是为测定掌握水质情况,包括水体的主要成分、含量及变化趋势等。一般可以从物理、化学、生物等几个方面开展水质监测,每个方面包含一系列可测指标参数。国家《“十四五”生态环境监测规划》指出加强长江、黄河等重点流域水质监测,完善自动为主、手工为辅的水质融合监测评价,完善断面-水体-污染源全链条监测溯源技术体系,构建大监测格局,逐步开展水环境预报预警工作[1]。

光谱技术是根据物质组成成分吸收或辐射电磁波,从而引起电子从基态跃迁到激发态,产生前后不同光谱而建立起来的一类分析方法,可对物质进行定性和定量分析。光谱分析按电磁辐射传递方式可分为吸收光谱分析、散射光谱分析、发射光谱分析[2][3][4][5]。

本文结合传感器技术和水质监测内容的实际,提出一种基于树型拓扑的水质监测系统模型,并从软硬件方面进行了设计,实现了对水质的化学需氧量(COD)、浊度、温度、PH值等数据的实时采集和传送[6],对数据的异动情况进行预警处理[7]。实验表明:光谱法水质监测系统运行稳定、数据可靠、成本低廉,能满足不同水质监测应用需求,具有市场应用和推广价值,可以为水质保护和防治提供监测手段和技术依据[8][9]。

2. 系统总体设计

基于光谱法和 ZigBee 技术水质监测系统结构框图如图 1 所示,主要有传感器模块、ZigBee 模块、WIFI 模块、云平台、终端 5 部分组成。

COD 传感器将采集到的数据以有线的方式传送给 ZigBee 模块 2 (终端模块), ZigBee 模块 2 (终端模块)通过无线传感网络将数据传送给 ZigBee 模块 1 (协调器模块), ZigBee 模块 1 (协调器模块)利用 WIFI 技术将数据传送到云平台,工作人员通过终端查看水文监测数据。浊度传感器数据传送方式同 COD 相同。

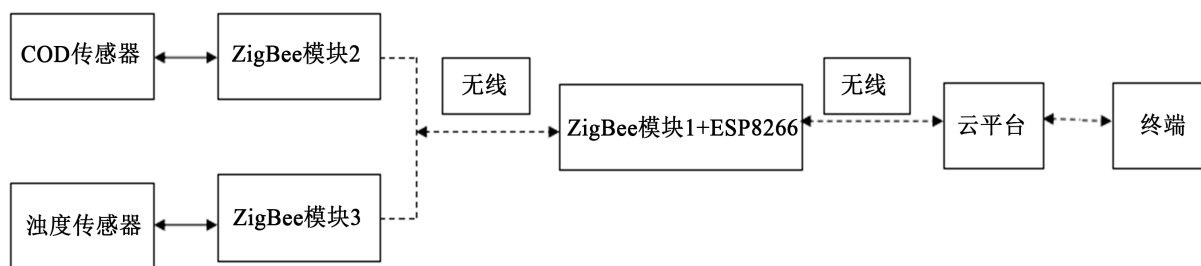


Figure 1. Block diagram of system structure

图 1. 系统结构框图

3. 系统硬件设计

系统硬件结构由紫外光谱传感器模块、ZigBee 模块、ESP8266 模块、云平台、终端和电源模块组成。

3.1. ZigBee 模块

系统采用的 ZigBee 模块是由 TI 公司生产的 CC2530, 它是 2.4-GHz IEEE 802.15.4 与 ZigBee 应用的无线传感网络系统解决方案, 支持最新的 ZigBee 2007 协议栈, 能够以非常低廉的价格构建强大网络节点, 装载了工业级 8051 控制器、领先 RF 收发器、集成了 ADC、无线通信模块等功能特性, 使网络性能更稳定、通信距离更远。由于具备多种运行模式(如休眠模式), 使得它完全可以在任何超低功耗要求的系统里工作, 结合业界领先的商业级协议栈 Z-Stack, 非常适合水质监测系统硬件节点。

3.2. ESP8266 模块

ESP8266 是一款串口 WiFi 模块, 集成完整的 TCP/IP 协议栈和 MCU, 可以与任何 WiFi 网络来连接, 且非常容易安装到 PCB 板。工作电压范围 3~3.6 V。

3.3. COD 传感器

COD 传感器测量原理是紫外光谱法, 由电源、信号采集、滤波、温度传感器等模块组成。传感器内置信号采集及放大、漂零、自动温度补偿功能, 输出方式为 RS-485 (Modbus/RTU 协议), 校准方式为两点校准(量程校准、斜率校准), 电源为 12~24 VDC, 测量范围: 0~200 mg/L, 精度: $\pm 5\%$ F.S., 工作条件: 0~45 $^{\circ}$ C、<0.1 MPa。

3.4. 浊度传感器

浊度传感器测量原理是散射光法, 工作电压、输出方式、校准方式同 COD 传感器相同。工作条件: 0~50 $^{\circ}$ C、<0.2 MPa。

4. 系统软件设计

系统软件设计主要包括无线传感网络软件设计和云平台应用设计两部分。无线传感网络软件是针对 ZigBee 模块的无线收发; 云平台应用设计是针对设备接入、用户校验和预警服务。

4.1. 无线传感网络软件设计

无线传感网络数据收发包括终端节点(ZigBee 模块 2 和 ZigBee 模块 3)软件设计和协调器节点(ZigBee 模块 1)软件设计。

4.1.1. 协调器节点软件设计

ZigBee 协调器在系统中的角色是起到数据中转的作用，如图 2 所示。首先是负责网络组建，网络参数设定，信息管理和维护，并在云平台 and 终端节点之间收发数据。设备上电、协调器初始化后，接着启动 OSAL 并运行操作系统，在完成信道扫描和网络参数配置后网络建立完成。监听无线关联请求，经历握手协议，确定和终端节点是否建立连接；连接建立后，当协调器接收到网络数据时，将从数据包中解析出目的地址，根据数据包目的地址选择相应数据转发。

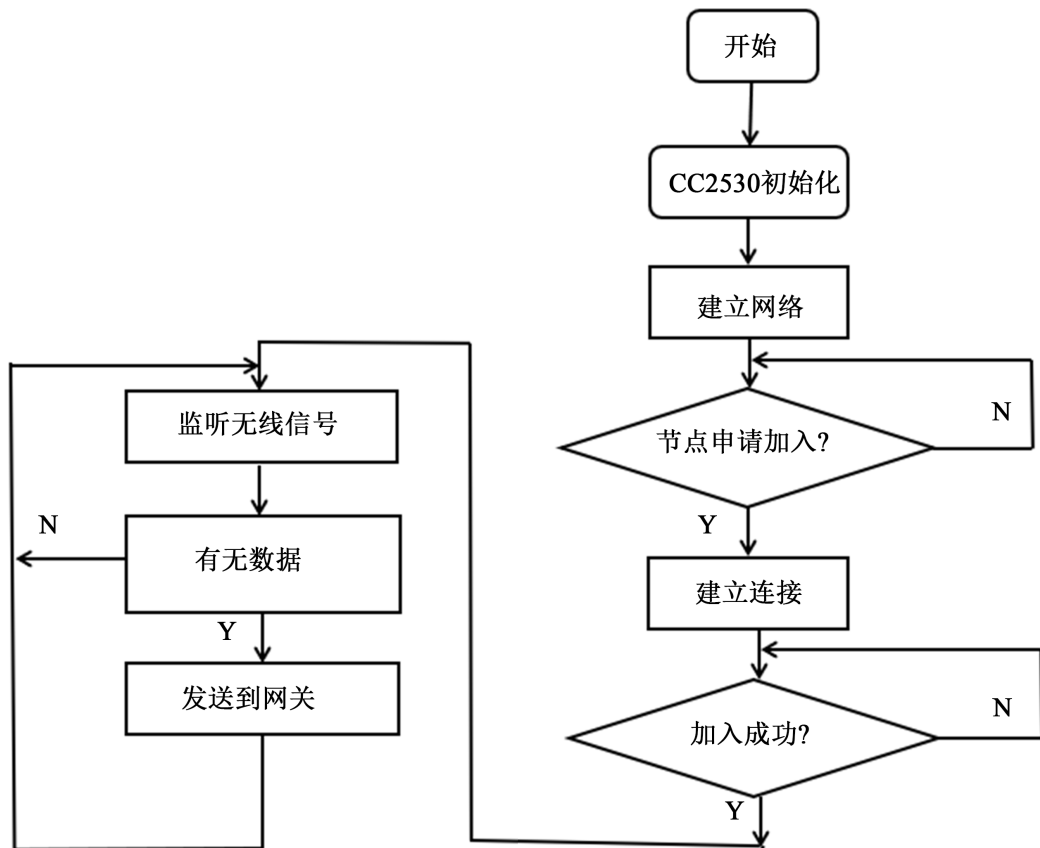


Figure 2. Flowchart of the coordinator program
图 2. 协调器程序流程图

4.1.2. 终端节点软件设计

ZigBee 终端节点是具体执行数据采集传送的设备，是传感网络里的最末梢，不能传送其它节点的信息。终端程序流程图如图 3 所示。终端节点前期启动过程和协调器相似，查找到网络后终端直接将入网请求数据发给协调器。在连续请求和应答后，如果不成功，节点将重新申请，成功入网后节点将开始完成之后的数据采集和发送等任务。

4.2. 云平台应用设计

云平台应用模块设计，主要涉及到用户接入、用户校验、预警服务。

用户校验——基于用户设备的管理和接口 IP 的过滤，确保数据授权访问和数据的安全性。

预警服务——基于数据流简单逻辑判断并触发 HTTP 请求或邮件，提升用户操作。预警又包括基于数据流的全部设备和单设备预警。

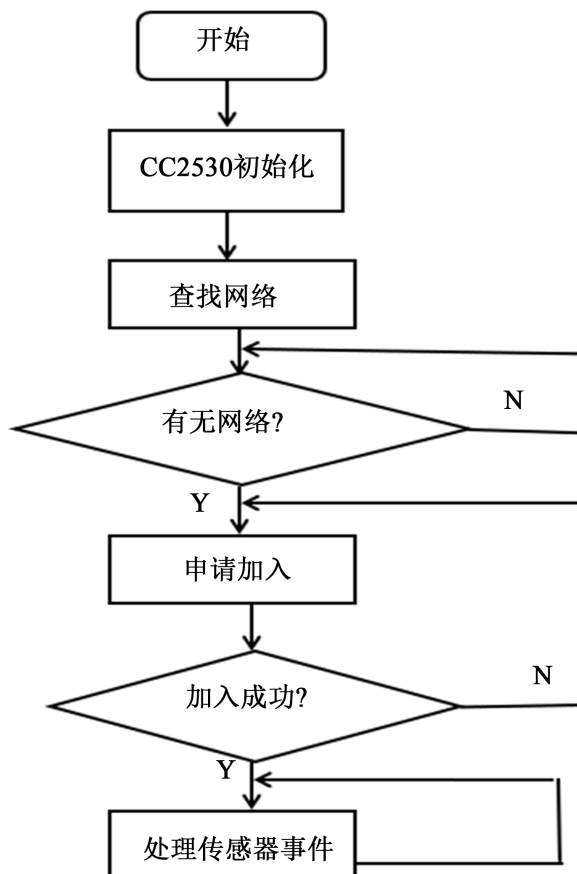


Figure 3. Flowchart of the terminal program
图 3. 终端程序流程图

5. 实验测试与数据分析

软件代码的开发完成，通过 SmartRF04EB 仿真器下载到 ZigBee 模块，然后配置各实验溶液，完成设备校准，硬件链接。

5.1. 实验测试

校准过程中可通过 SSCOM 串口调试器方式查看当前实验室数据采集情况，需要注意的是校准实验对环境(比如光照，温度)，各种化学试剂，实验器皿和工具等都有极苛刻的要求，为确保设备精确度，每个传感设备的校准都不是一次完成的。串口调试如图 4 所示。

5.2. 数据分析

配比 10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、50 mg/L、60 mg/L、70 mg/L、80 mg/L、90 mg/L、100 mg/L 共 10 种标准浓度的 COD 水样溶液，读取平台数据，得到结果如表 1 所示。计算后发现误差率最大为 3.3%，最好情况误差为 0。

随机配比 10 种不同浓度的 COD 水样溶液，读取平台数据，结果如表 2 所示。计算后发现误差率最大为 1.8%，最好情况误差同样为 0。

通过两组实验 20 种浓度数据对比结果来看，误差率最大为 3.3%，且 80% 以上的数据显示误差不高于 2%，误差平均值为 1.1%。

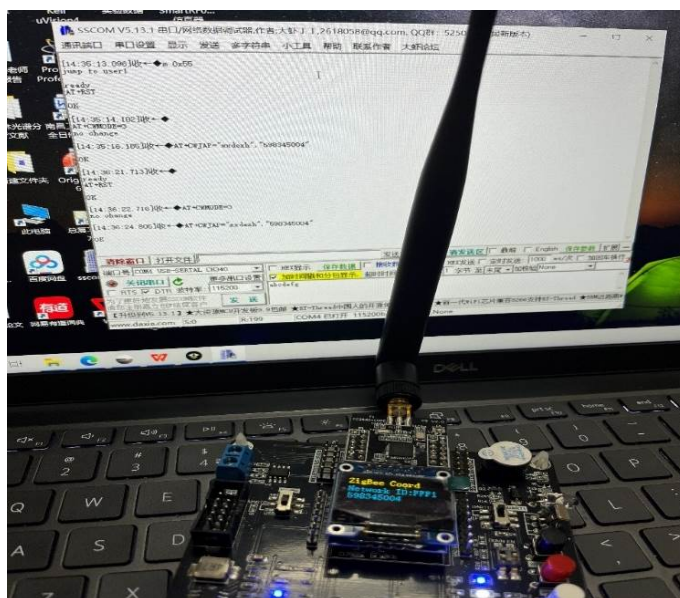


Figure 4. Serial debugging
图 4. 串口调试

Table 1. COD experimental data of 10 standard concentrations

表 1. 配比 10 种标准浓度的 COD 实验数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准值	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
平台监测值	10	20	29	39	48	60	70	79	88	97
误差率	0	0	0.033	0.025	0.04	0	0	0.013	0.022	0.03

Table 2. COD experimental data of 10 different concentrations with randomly mix

表 2. 随机配比 10 种不同浓度的 COD 实验数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准值	9.1	16.3	20.1	30.5	41.8	52	84.2	97	105.3	120.4
测定值	9	16	20	30	42	52	84	97	105	120
误差率	0.01	0.018	0.005	0.016	0.005	0	0.002	0	0.003	0.003

Table 3. Turbidity experimental data

表 3. 浊度实验数据

序号	1	2	3	4	5
标准值	50	100	200	300	400
测定值	67	122	216	287	376
误差率	0.34	0.22	0.08	0.04	0.06

标准溶液测定结果如表 3 所示, 误差率最大为 3.4%, 数值越大误差率越低。需要明确的是, 平台只是负责显示传感网传输过来的数值, 最终的误差率与传感设备采集数据的精密度是分不开的; 尤其是像

浊度测量值, 由于我们选用的浊度传感设备是量程比较大的, 从测量的数据不难发现测量浊度较高溶液比测量浊度较低溶液的测量精确率要高。

6. 结语

根据实验结果可知, 基于光谱法和 ZigBee 技术水质监测系统运行稳定, 数据可靠, 成本低廉, 实现了数据采集、传输、终端显示和预警等功能, 能满足不同水质监测应用需求, 有效提高监测效率, 进一步提高了水质监测的智能化和信息化。

基金项目

本文得到江西省科技厅重点研发计划项目(20203BBGL73225、20192BBE50076)资助。

参考文献

- [1] 李正珊, 饶科, 刘雯. YSI 全自动水下生态层析影像仪在鲁湖水生态监测中的运用[J]. 低碳世界, 2016(27): 133-135.
- [2] 王文波. 在线消解-气相分子吸收光谱法测定水质中总氮[J]. 分析仪器, 2018(5): 79-83.
- [3] 李晓静, 王晓杰, 王爽, 李雅芙. 光谱分析在水质监测中的应用进展[J]. 盐科学与化工, 2019, 48(9): 12-16.
- [4] 赵友全, 王慧敏, 刘子毓, 李玉春, 范世福. 基于紫外光谱法的水质化学需氧量在线监测技术[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(9): 1927-1932.
- [5] 陆萍蓝, 邵力行, 张火明, 田中仁. 基于原位检测技术的无线水质监测系统研究[J]. 计算技术与自动化, 2019, 38(2): 29-32.
- [6] 刘燕娜, 屠德展, 潘晓曼, 高学江, 王瑞, 洪榛. 基于无线传感网络的水质在线移动监测系统[J]. 计算机系统应用, 2021, 30(9): 104-109.
- [7] 张永. 基于紫外-可见光谱法水质 COD 检测方法建模研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学技术大学, 2017.
- [8] 李哲光. 基于 ZigBee 和 NB-IoT 无线传感网络的智慧农业[J]. 河北农机, 2021(15): 143-144.
- [9] 景鑫. 基于 ZigBee 无线传感网络振动加速度的监测与应用[J]. 自动化技术与应用, 2021, 40(5): 83-86.