

基于 ZigBee 技术的水域污染远程智能监测系统设计

徐 栋¹, 王培凤¹, 汪建英²

(1. 浙江水利水电学院, 杭州 310018; 2. 浙江省水文局, 杭州 310009)

摘要: 针对所监测水域范围较大实时监测能力不强, 水质污染程度监测不准确等问题, 提出构建基于 ZigBee 无线通信技术的智能水域污染程度监测系统, 利用 ZigBee 无线通信技术与 Internet 网络将水质检测数据发送到远程水质监控中心进行汇总处理, 监控中心的服务器可获得到所监控水域范围内所有水域的水质污染程度数据、污染发展趋势、主要污染物等信息; 文中对水质检测传感器模块、ZigBee 无线通信模块、单片机外围电路、模数转换电路等硬件进行了设计; 系统软件设计了远程参数设置、驱动程序等内容; 通过系统测试结果表明, 该系统对于水质污染程度的检测准确率可达到 98% 以上, 通信成功率达到 100%, 水质检测终端工作稳定可靠, 通信速率满足实时监测要求, 适用于各种水域环境的水质污染程度的监测需求。

关键词: ZigBee 无线通信; 水质污染; 远程智能监测

Water Pollution Remote Intelligent Monitoring System Based on ZigBee Technology

Xu Dong¹, Wang Peifeng¹, Wang Jianying²

(1. Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Hangzhou 310018, China;

2. Bureau of Hydrology in Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: For larger waters monitored real-time monitoring capability is not strong, the extent of water pollution monitoring inaccurate problem, build intelligent water pollution monitoring system using ZigBee wireless communication technology and Internet network, water quality testing data sent to the remote water quality monitoring center for aggregation processing, server monitoring center can get the water pollution data for all waters pollution trends, major pollutants. In this paper, water detection sensor module, ZigBee wireless communication module, single-chip peripheral circuits, analog-digital conversion circuits and other hardware design; system software design the contents of the remote parameter settings, drivers, and so on. Through the system test results show that the system for the degree of water pollution detection accuracy rate can reach more than 98%, success rate of communication 100%, water quality testing terminal stable, reliable, real-time monitoring of the communication rate to meet the requirements for a variety of aquatic environment the extent of water pollution monitoring needs.

Keywords: ZigBee wireless communication; water pollution; remote intelligent monitoring

0 引言

河流、湖泊、水产养殖池等水域由于覆盖面积较大, 因此, 要对这些水域的水质进行实时监测是比较困难的, 而这些水域的污染程度又关系到人民群众的用水安全以及水源环境的可持续发展, 2014 年 4 月兰州就发生过自来水水源受到苯污染的事件, 如何可以对水域进行全面的水质信息采集, 从而准确的将水体水温、溶氧、酸碱度、氨氮值、浊度值等参数信息通过无线网络和宽带互联网发送给远程监控中心, 实现对水域的科学化、智能化管理, 既可以节省大量的资源, 又能保证城市水源的安全^[1]。ZigBee 是一种新兴的低成本、低功耗、低速率的短距离双向无线通信技术, 在低功耗待机模式下, 2 节 5 号干电池可支持 1 个节点工作 6~24 个月, 甚至更长, 这是 ZigBee 相比于蓝牙、WiFi 等通信方式的优势。因此, 基于 ZigBee 技术对水质检测终端的硬件电路进行设计, 并构建远程水质监测网络, 其建设成本以及检测数据通信的稳定性等都能得到保障。

1 系统结构及原理

利用 Internet 网络传输基于 Zigbee 无线传感器汇节点的水质数据的完整无线网络设计如图 1 所示, 整个检测网络采用星型或 MESH 网状网络拓扑, 无通信作业时 Zigbee 模块处于低能耗模式, 有需求时唤醒的工作方式, 从而可以有效降低 Zigbee 通信节点的能耗, 减少了各通信节点向汇节点同时传送数据发生数据延时的概率, 同时, 利用 Internet 网络将汇节点的数据传输给远程数据服务中心, 大大增加了水质监测网络的覆盖面积, 利用 Zigbee 技术优势组建无线传感器网络数据传输网, 并可以按照区域布置不同的汇节点即水质监测基站, 这个汇节点就是 Zigbee 的中心节点; 远程水域监控中心通过 Internet 网络等公共有线网络与水质检测终端设备实现远程通信, 通过无线网络与有线网络相结合的方式获取到监测水域的水质信息, 从而实现远程智能化的水域水质有效控制和管理。

2 系统硬件设计

水质检测终端以及数据通信系统的硬件结构设计如图 2 所示, 主要由水质检测传感器、Zigbee 无线通信模块 CC2480、数据采集处理电路与通信节点、单片机及电源等构成。在需要监测的水域按照覆盖面积部署水质检测终端, 执行水质数据的

收稿日期: 2014-06-30; 修回日期: 2014-09-30。

作者简介: 徐 栋(1985-), 男, 浙江余姚人, 硕士, 讲师, 技师, 主要从事水环境监测及污染治理方向的研究。

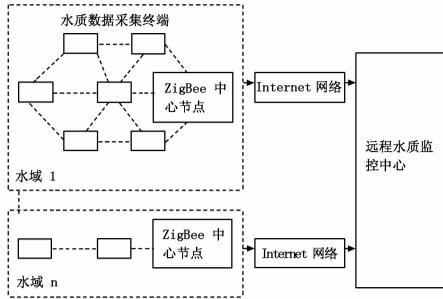


图 1 远程水域污染程度监测网络结构

采集、处理以及无线数据无线通信等工作。采集到的水质数据通过 ZigBee 无线通信模块传输后汇集到网关节点，再通过 Internet 网络传输到远程水质监控中心；工作人员可通过 Internet 网络控制管理水质检测终端，实现相互通信。水质检测终端电路采用 8 位单片机 P89V51RD2FN，能完成传感器数据处理与通信任务。ZigBee 无线通信模块集成 IEEE802.15.4/ZigBee 协议的发送器；其无线通信波段为 2.4~2.4853 GHz；数据传输率达到 250 kbps；数据传输具有较好的抗干扰性以及较好的保密性。

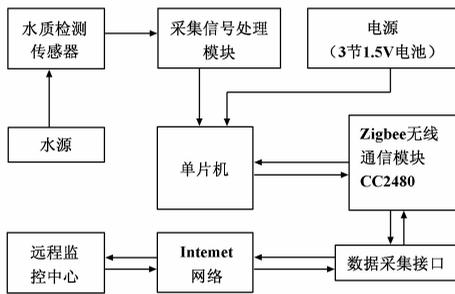


图 2 水质检测终端及数据通信硬件组成

2.1 水质检测传感器模块

用于检测水质的传感器选择 JAP60M/U52-10M 多参数水质检测传感器，其测量范围为：0~14 PH，0~100 ms/cm，0~800 NTU，0~19.9 mg/ζ，0~50 ℃，0~4%；分辨率标准为：0.1 PH (ms/cm)。可同时测量 6 种水质参数、PH 值、温度、溶解氧、电解电导率、浊度和盐度^[2]。JAP60M/U52-10M 可以自动的进行数据校正；其传感器可直接放入水下进行测量；对于测量数据具有较好的保护功能，使得暂存数据更加安全；JAP60M/U52-10M 传感器的测量参数通过串口通信传输给 ZigBee 无线通信模块进行数据传输。

2.2 ZigBee 无线通信模块

本系统设计的 ZigBee 通信模块是以 TI 的 CC2048 为核心，CC2048 是一款短距离、低功耗、低成本的 Z-Accel ZigBee 处理芯片。CC2048 可以方便的将 ZigBee 功能应用到现有电路中，并可以与任何 MCU 进行灵活协作以加速应用开发。

基于 CC2480 芯片的 ZigBee 无线通信模块部分电路如图 3 所示。引脚 AVDD SOC 与 AVDD RREG 为模拟电路连接 2.0~3.6 V 的电压，分别接 100 nF 和 220 nF 的滤波电容。引脚 DVDD 为数字电源输入引脚，为 I/O 口提供的电源，接一 100 nF 的滤波电容。引脚 DCOUPL 提供 1.8 V 的去耦电压，此电压不为外电路所使用，须旁接一个 220 nF 的去耦电容。引脚

X1 为外接 32 MHz 的专用于 2.4 GHz 射频电路的晶振，其旁路电容为 22 PF。引脚 RBIAS1 与 RBIAS2 接偏置电阻，用来为 32 M 晶振提供一个合适的工作电流。

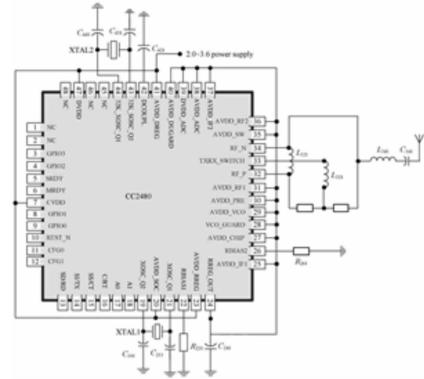


图 3 基于 CC2480 的 ZigBee 无线通信电路

2.3 单片机外围电路及端口

主控电路的单片机采用 NXP 的 P89V51RD2FN，其晶振采用 11.0592 MHz，而 A/D 转换芯片采用 ADC0809，为 8 位分辨率，0~5 V 对应输出数值为 0~255，其时钟信号 CLK 由单片机的 ALE 信号提供^[3]。水质检测传感器检测到的电信号经放大、滤波后送到 ADC0809 芯片的模拟量输入端 IN0。单片机将处理后的测量值通过串口进行数据交互，其主控电路的电源由三节 1.5 V 电池组成，单片机外围电路设计原理图如图 4 所示。

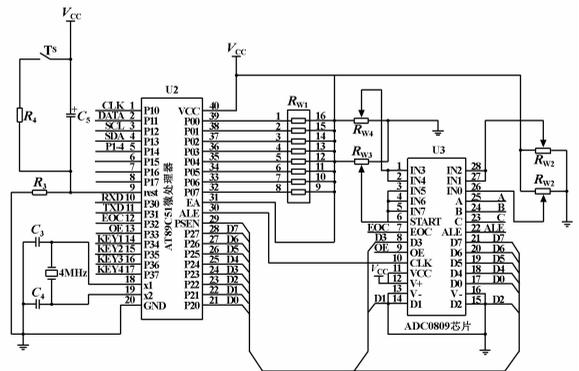


图 4 单片机外围电路

2.4 以太网数据通信接口电路

采用 DM9161A 作为以太网的数据通信芯片，其是一款极为普遍的以太网 PHY 芯片。DM9161A 集成 10BASE-T，100BASE-TX 收发器，支持 MII/RMII 接口，支持中继模式和节点模式转换，支持全工和半工模式转换，含可触发中断的 MII/RMII 管理接口，支持低功耗模式，采用 0.35 nm COMS 工艺，3.3 V 供电，48-pin PQFP 小封装硬件配合提供的移植好的 TCP/IP 协议栈代码成功实现了 Telnet 登陆，内嵌网页和 TFTP 等。协议同时支持 DHCP 协议，自动获取 IP 地址并在液晶屏上显示出来^[3-4]。支持平行交叉网线自适应，一根网线就可以很方便的与路由器或 PC 连接，连接后可以通过网络访问和控制板上的资源，从而实现以太网远程控制功能。其以太网 RMII 连接图如图 5 所示。

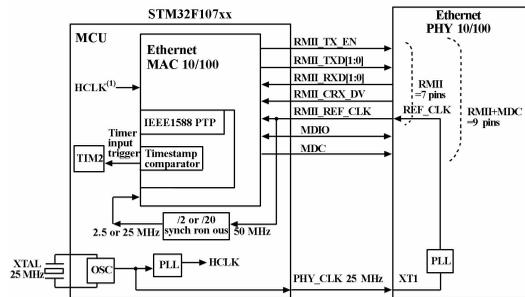


图 5 以太网 RMI 连接图

3 系统软件设计

3.1 系统实现功能

- 1) 水质检测终端作为一个水质分析的检查节点, 水质监控中心可远程进行控制管理, 也可以实现单机运行, 人工交互等控制分析。
- 2) 实现 24 小时全天候的智能化无人监测功能, 无人工干预。
- 3) 在系统硬件电路发生故障或者电池电量过低时, 硬件系统可自动检测故障信息, 并将故障信息发送给远程控制中心。
- 4) 远程监控中心的服务器可实时在线监测水质污染程度, 并存储历史检测数据, 通过网页可调取检测数据。

3.2 软件设计

设计时主要考虑到操作简单, 易于非专业人员管理系统, 并根据系统功能需要, 设计的软件工作流程如图 6 所示, 系统定时进行水质检测, 其他时间系统处于待机状态, 水质传感器采集到水质数据后, 采用程序中中断将数据传送到网线上, 在水质检测终端无线网络中, 每个终端设备的地址信息固定, 监控基站作为网关节点与远程控制中心主机进行通信, 通过控制网络内的通信时序, 远程监控中心可以对水质检测终端节点进行寻址, 水质检测终端的作用主要是对水质数据的采集、预处理与无线传输, 监控基站网关的作用是汇集各个传感器节点数据进行转发, 并接收主站命令, 转发到各个节点。

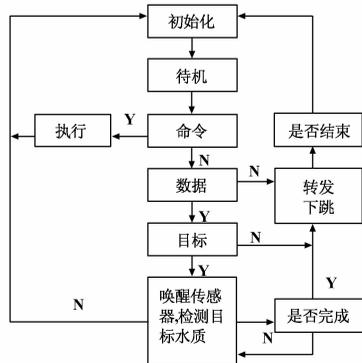


图 6 系统软件工作流程

3.3 检测数据误差的软件校正

水质检测传感器在对水质相关传感特征进行采集与传输的过程中, 往往会出现一些干扰, 从而会造成采集信号不稳定, 信号较弱等现象, 因此, 除了必要的硬件处理外, 还需要通过软件进行滤波、增强、校正等处理。软件校正方法为在时域内

采集到的水质传感特征信号。

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{n}{t_i} \tag{1}$$

t_i , n 为传感特征信号的特征数目, t 为算法运行后的结果。对水质检测传感信号的误差计算方法如下:

$$\nabla e(t) = t - t_0 \tag{2}$$

如果得到的水质检测传感信号误差为 $\nabla e(t)$, 则要对误差数据进行校正。校正方法如下:

$$u(t) = k_p \nabla e(t) + \beta \sum_{j=0}^k \nabla e(t) T + \frac{k_d (\nabla e(t) - \nabla e(t-1))}{T} \tag{3}$$

其中, k_p , k_i , k_d 为横向的调整系数与纵向传感特征调整系数。这些调整系数可对水质检测传感信号强度特征误差 $u(t)$ 进行动态调整。通过以上的传感数据校正, 可使得水质传感信号的特征误差处在一个相对合理的区间中。

4 实验与分析

应用本监测系统对西安市汉城湖的水质污染程度进行检测, 选定一片水域部署 10 个水质检测终端, 并通过陆地上的检测基站设备对数据进行收集, 通过远程计算机监测、分析处理所有数据, 通过实验分别检测到湖水中 pH 值、总磷浓度 TP、化学耗氧量 (COD)、氨氮浓度, 连续采样 24 小时, 系统对所有采集数据进行筛选与处理分析, 并与环保部门官方公布的近期数据进行比较, 实验结果如表 1 所示。

表 1 实验数据

时段	PH 值	总磷浓度/ (mg · L ⁻¹)	化学耗氧量/ (mg · L ⁻¹)	氨氮浓度/ (mg · L ⁻¹)
0-4	7.2	4.2	216	45.2
5-8	7.1	4.1	220	40.3
9-12	7.6	4.3	236	44.1
13-16	7.0	4.1	209	40.5
16-20	8.1	4.2	211	41.2
21-24	8.5	4.4	212	40.8

将检测数据与环保部门官方公布的近期数据输入到仿真软件中进行对比, 仿真结果如图 7 所示。

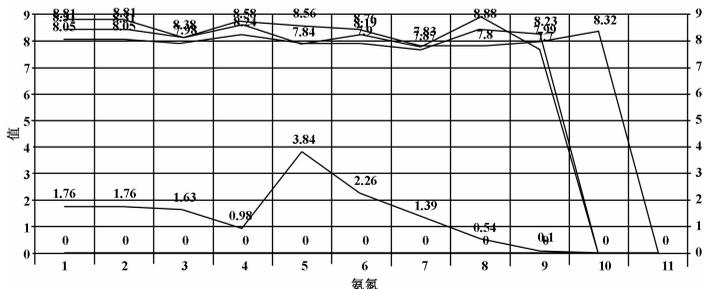


图 7 检测数据与真实数据的对比

远程监控中心的服务器通过水域内所有水质检测终端的数据进行综合分析后, 智能化输出对于该片水域的水质污染程度综合分析图, 如图 8 所示。

系统根据汇总数据分析, 仿真出该片水域水体富营养化的发展趋势的预测, 在发现异常时会自动发出报警提示。

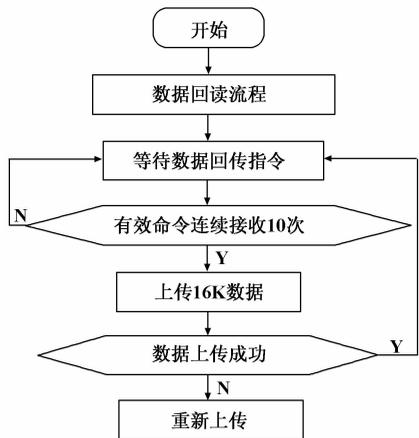


图 5 数据回传链路传输流程图

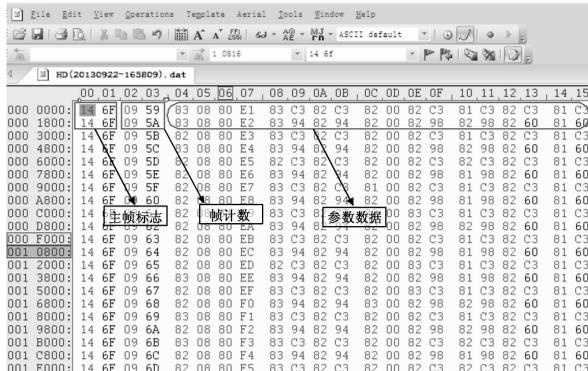


图 7 原始数据图

个固定的高电平，这时存储器 LVDS 才开始同步接收控制命令，如图 6 所示。

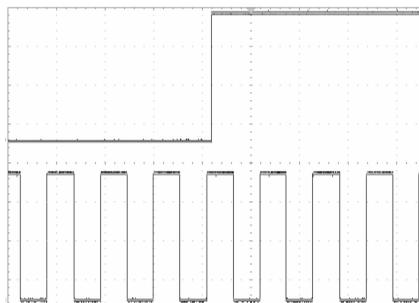


图 6 在线信号与命令数据传输波形图

上位机软件通过网络接口接收到的原始数据如图 7 所示，主要包括帧计数、帧标志以及原始参数数据。其中 146 F 为帧标志，146 F 后两个字节为帧计数，帧计数连续递增，数据格式为每一副帧大小为 96 Byte，主帧大小为 6 144 Byte，上位机利用帧标志、帧计数以及副帧大小初步判读数据的正确性，并在分析报告中给出分析结果。

(上接第 1447 页)

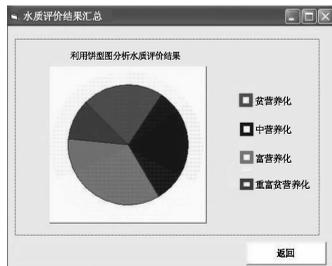


图 8 水质污染程度评价结果图

通过以上的实验结果表明，检测数据与实际数据基本吻合，准确率达到 98% 以上，通信成功率为 100%，其效率优于传统常规的人工检测方法，取得了较为满意的结果。

5 结语

本系统是基于 ZigBee 无线通信技术设计的远程智能水域污染程度监测系统，通过在相关水域关键位置部署无线水质检

5 结论

本文提出了一种基于 LVDS 的具有高可靠性的通信系统解决方案，详细分析了系统通信协议的可靠性，对控制命令链路和数据回传链路进行设计，解决了遥测系统远程数据传输过程中出现的由于干扰引起的误操作以及数据紊乱问题。经大量的测试表明，本通信系统性能稳定、数据及命令传输可靠，现已应用于某航天遥测数据通信系统。

参考文献：

- [1] 张文栋. 存储测试系统的设计理论及其应用 [M]. 北京：高等教育出版社，2002.
- [2] 王立恒. 遥测设备通用测试台中长线传输模块的设计与实现 [D]. 太原：中北大学，2009.
- [3] 储成群. 基于 LVDS 接口的高速数据记录器的设计 [D]. 太原：中北大学，2009.
- [4] 马志刚，朱思敏，刘文怡. 基于 LVDS 的高速图像数据存储系统设计 [J]. 数据采集与处理，2013，28 (3)：382-385.
- [5] 彭多琳. LVDS 在长距离信号传输中的应用 [J]. 兵工自动化，2006，25 (7)：60-61.

测终端，并在一定范围内设置水质监测基站对所有传感数据进行收集，然后通过宽带互联网将数据传送给远程监控中心的服务器，工作人员可远程实时监控相关水域的污染程度。系统实现了实时监控、历史数据的存储与查询等功能，其易用性与可扩展性都大大提高，且大范围水域监控网络建设成本较低，具有极大的推广价值。

参考文献：

- [1] 冶 国，肖德琴，周运华，等. 基于无线传感器网络的水质监测系统 [J]. 计算机工程与设计，2008，29 (17)：456-459.
- [2] 王 骥，许国保，沈玉利. 基于无线传感器网络的海水重金属监测系统 [J]. 计算机测量与控制，2009，17 (4)：643-645.
- [3] 陈斯平. 基于嵌入式系统的协议栈的研究与设计 [D]. 武汉：武汉理工大学，2006.
- [4] 樊 勇. 基于 TCP/IP 协议的嵌入式网络接入技术的研究与应用 [D]. 包头：包头钢铁学院，2003.