

基于 ZigBee 技术的水质监测系统的设计与实现

朱晓舒 时 斌 齐 亮 葛学峰

(南京师范大学 分析测试中心 江苏 南京 210046)

[摘要] 针对现有水质监测系统存在的问题,设计实现了基于 ZigBee 无线网络技术和嵌入式系统技术的水质在线监控系统.系统以 CC2530 和 ADS1234 为核心,组成水质监控节点,部署于监控水域对水质信息进行采集、预处理和无线发送等工作.通过基于 ARM11 的嵌入式网关与以太网连接,将采集数据传输至远程主机,通过远程监控中心系统实现对采集数据处理和实时监控.试验结果表明,系统实现了稳定可靠的数据传输,时效性好,运行成本低,适合水质信息的远程和实时监控.

[关键词] ZigBee, 水质监控系统, CC2530

[中图分类号] TP212 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2012)02-0069-05

Design and Realization of Water Quality Monitoring System Based on ZigBee Technology

Zhu Xiaoshu, Shi Bin, Qi Liang, Ge Xuefeng

(Center for Analysis and Testing, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: Based on the ZigBee wireless communication and embedded system technique, a new water quality monitoring system is developed and tested for solving the shortcomings of existing water monitoring system. The water monitor node centered on CC2530 and ADS1234 is used to take charge of data sampling, preprocessing and wireless transmitting collected data transmitted through the gateway based on ARM11 to the remote host PC. Remote monitoring centre system can achieve data analysis and remote real-time monitoring. The experimental results show that the new system has a stable data transmission, good timeliness and low operation cost, which can meet the need of water quality monitoring under the new situation.

Key words: ZigBee, water quality monitoring system, CC2530

随着国民经济的快速发展,我国水环境污染的状况日益严重.加强水资源管理,保障水资源安全,已成为关系到我国可持续发展的大事.在水质治理过程中,对水质的监测是极其重要的环节之一.我国传统的水质监测系统常采用先现场采集然后回实验室分析的方法,该方法存在采样样本不足、无自动测报、水质监测信息处理时效性差、无突发性污染事故的预警能力等问题^[1].为了克服传统监测方法的不足,刘桥等人提出采用无线 MODEM 通信的自动监测系统^[2],但该系统网路覆盖范围有限,且数据传输较慢.文献[3-5]中提出基于通用分组无线业务(GPRS)的实时水质监测方案,该方案实时性较好,但每次收发数据都要付费,运行成本较高.文献[6]提出了一种将 ZigBee 和 GPRS 相结合的水质监测系统,该系统在传送水质数据时,仍然使用的是 GPRS,因此运营成本也较高.

针对现有水质监测系统存在的问题,本文将传感器技术、ZigBee 无线网络技术和嵌入式系统技术相结合,开发了具有自主知识产权的水质在线监控系统.该系统组网灵活,运行成本低,可靠性高,具有广泛的应用前景.

1 ZigBee 技术

ZigBee^[7]是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线网络技术,它是一种介

收稿日期: 2012-02-23.

通讯联系人: 朱晓舒,博士研究生,讲师,研究方向: 领域图像处理和嵌入式系统. E-mail: xiaoshu_zhu78@163.com

于无线标记技术和蓝牙之间的技术提案,主要用于近距离无线连接.它依据 802.15.4 标准,在数千个微小的传感器之间相互协调,实现通信.这些传感器只需要很少的能量,以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器,因此通信效率非常高. ZigBee 技术工作在 2.4 GHz(全球流行)、868 MHz(欧洲流行)和 915 MHz(美国流行) 3 个频段上,分别具有最高 250 kbit/s、20 kbit/s 和 40 kbit/s 的传输速率,它的传输距离在 10 ~ 75 m 的范围内,且可以继续增加.

2 系统总体设计方案

系统的整体结构如图 1 所示,由 ZigBee 网络、嵌入式网关和监控中心组成. ZigBee 网络中含有两种类型的节点:汇聚节点和水质监测节点.水质监测节点分布于监控水域,负责采集实时的水质数据(pH 值、温度、电导率、浊度等),并以无线的方式发送给汇聚节点;汇聚节点为整个 ZigBee 网络的协调者,负责网络的组建和管理,并将水质监测节点发来的水质数据通过串口发送给嵌入式网关.嵌入式网关收到水质数据后,将其封装成 TCP/IP 数据包,通过以太网传送至远端的监控中心.监控中心的终端服务器上运行水质监控软件,对接收到的数据包进行解析、存储,并实时显示,当检测的水质参数值不符合预设值时,监控软件可自动报警.

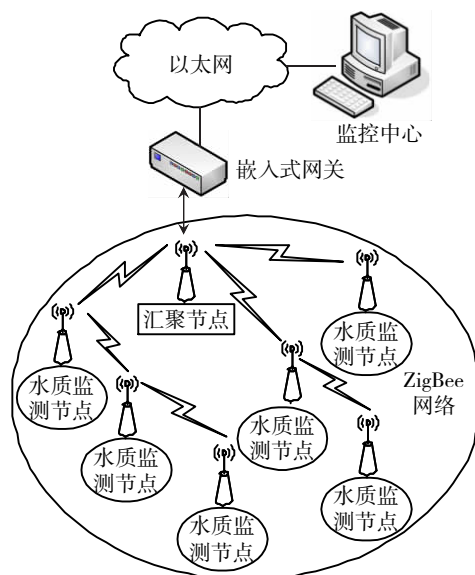


图 1 系统的整体结构框图

Fig.1 The overall block diagram of the system

3 系统硬件的设计

3.1 汇聚节点的硬件设计

本系统选用 TI 公司 CC2530 芯片作为 ZigBee 网络的射频芯片. CC2530 包括一个高性能的 2.4 GHz DSSS(直接序列扩频)射频收发器和高性能、低功耗的 8051 微控制器核,满足无线传感器网络对低成本、低功耗的要求.为了增加无线传输的距离,选用射频前端芯片 CC2591 芯片来增强无线收发的功率.汇聚节点除了无线收发功能外,还需要和嵌入式网关进行串口通信,为此增加了电平转换芯片.汇聚节点的硬件框图如图 2 所示.

3.2 水质监测节点的硬件设计

水质监测节点的主要工作是采集监测点的水质数据(pH 值、温度、电导率、浊度等)和无线发送数据.本系统选用 16 位高精度 A/D 转换芯片 ADS1234,该芯片可采集 4 路模拟信号,只需接不同的传感器就可采集不同的水质参数,因而具有较好的通用性.同时,为了兼顾数字式传感器,本系统在设计时也预留了数字信号通道.水质监测节点的射频方案与汇聚节点相同,即采用 CC2530 加 CC2591 的方案.水质监测节点的原理如图 3 所示,实物图如图 4 所示.

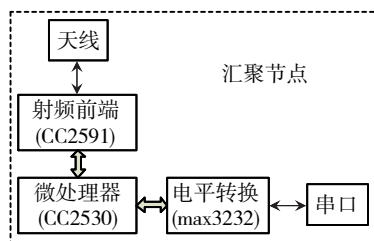


图 2 汇聚节点的硬件框图

Fig.2 The hardware block diagram of the coordinator

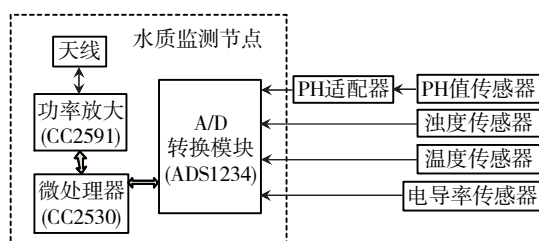


图 3 监测节点的硬件框图

Fig.3 The hardware block diagram of the water quality monitoring node

3.3 嵌入式网关的硬件设计

在水质监测系统中,嵌入式网关是用来实现 ZigBee 网络和以太网的协议转换的.网关的数据流量远远高于水质监测节点,需要较强的数据处理与控制能力,因此选用基于 ARM11 体系结构的 S3C6410 处理

器,该芯片的主频高达 667 MHz,外扩了 256 M 的 DDR RAM 和 64 M 的 Flash 芯片,并加了群创的 7 寸 LCD 显示屏,用于本地的显示.网卡芯片选用 DAVICOM 公司的 10/100 Mb/s 自适应以太网芯片 DM9000. 嵌入式网关的具体原理框图如图 5 所示.

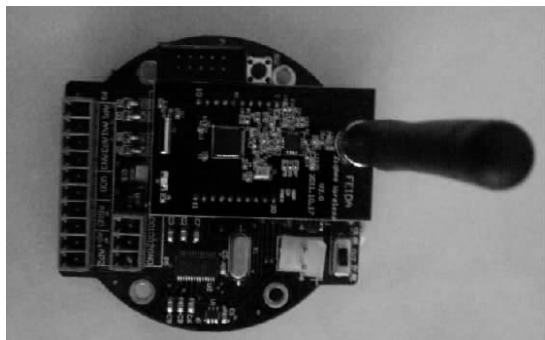


图 4 水质监控节点的实物图

Fig.4 The actual picture of the water quality monitoring node

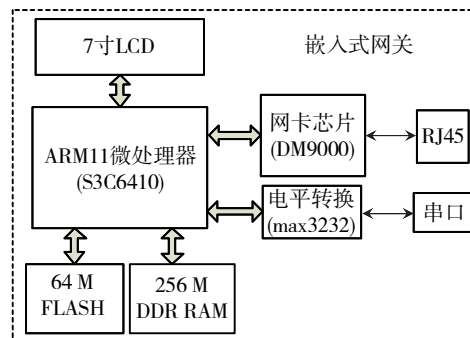


图 5 嵌入式网关的硬件框图

Fig.5 The hardware block diagram of the embedded network gate

在实际设计中,嵌入式网关和汇聚节点组合在一起,两者的串口通信在网关的底板上完成,具体的结构图如图 6 所示.

4 系统软件的设计

4.1 水质监测系统的消息帧格式

为了确保监控中心、汇聚节点和水质采集节点的成功通信,本系统定义了 3 种类型的消息:数据消息、状态消息和控制命令消息.水质监控节点成功加入 ZigBee 网络后,会发送状态消息给汇聚节点,状态消息中含有详细设备信息,其帧格式如表 1 所示.

水质监控节点采集的水质数据封装成数据消息发送给汇聚节点,其消息帧格式定义如表 2 所示.

控制命令消息使得监控中心可以远程控制水质监控节点,具体的帧格式定义如表 3 所示.

表 1 状态消息的帧格式

Table 1 The frame format of the status message

帧名	长度/Byte	说明
标志位	1	0xFE
ID	1	节点的唯一 ID
Flag	1	节点的消息类型
ShortAddr	2	节点的短地址
FatherAddr	2	节点的父地址
IEEEAddr	6	节点的 IEEE 地址
RSSI	1	节点的 RSSI
校验位	1	取异或校验

表 2 数据消息的帧格式

Table 2 The frame format of the data message

帧名	长度/Byte	说明
标志位	1	0xFE
ID	1	节点的唯一 ID
Flag	1	节点的消息类型
DataSource	1	数据类型
DataBuf	4	数据区
校验位	1	取异或校验

表 3 控制命令消息的帧格式

Table 3 The frame format of the control command message

帧名	长度/Byte	说明
标志位	1	0xFE
ID	1	节点的唯一 ID
Flag	1	节点的消息类型
Cmd	1	命令类型
CmdPara	8	命令参数
校验位	1	取异或校验



1. 汇聚节点; 2. 嵌入式网关

图 6 嵌入式网关实物图

Fig.6 The actual picture of the embedded network gate

4.2 ZigBee 网络的软件设计

ZigBee 网络的软件部分是在 TI 公司的 ZStack-2.3.1-4.0 协议栈基础上开发的. ZStack 是 TI 推出的符合 ZigBee® 2007(ZigBee 和 ZigBee pro) 规范的免费协议栈. 整个 ZStack 采用分层的软件结构,包括 PHY 层、MAC 层、NWK 层、APS 层、APL 层、安全层和操作系统抽象层 OSAL,其中 OSAL 层通过时间片轮转函数实现任务调度.

4.2.1 汇聚节点的软件设计

汇聚节点为 ZigBee 网络的协调者,负责 ZigBee 网络的组建和管理,以及接收和处理各个水质监测节点的水质数据. 汇聚节点启动后,首先会进行 I/O 口、时钟、串口和 RF 等的系统初始化,然后选择信道组

建网络,之后进入 OSAL 调度系统,OSAL 会定时扫描消息状态表,查看是否收到新消息,若有则 OSAL 会调用相应的处理程序. 汇聚节点需要处理的消息主要有射频接收消息(AF_INCOMING_MSG_CMD)和来自串口的控制命令消息(MT_SYS_CONTROL_MSG). 射频接收消息又分为数据消息和状态消息. 汇聚节点软件流程如图7所示.

4.2.2 水质监测节点的软件设计

水质监测节点充当 ZigBee 网络的路由节点或终端节点的角色,负责采集和处理水质数据,并发送给汇聚节点. 水质监测节点启动后先进行初始化,然后选择通信信道,自动扫描网络并加入. 当入网成功后,水质监测节点会收到网络状态改变消息(ZDO_STATE_CHANGE),此时节点启动采集定时器,并将节点的相关信息封装成状态消息发送给汇聚节点. 启动采集定时器后,节点会收到定时采集消息(WORK_TIME_EVT),完成相应的数据采集和发送工作. 射频接受消息(AF_INCOMING_MSG_CMD)来自汇聚节点,内含对水质监测节点的控制命令. 水质监测节点的软件流程图如图8所示.

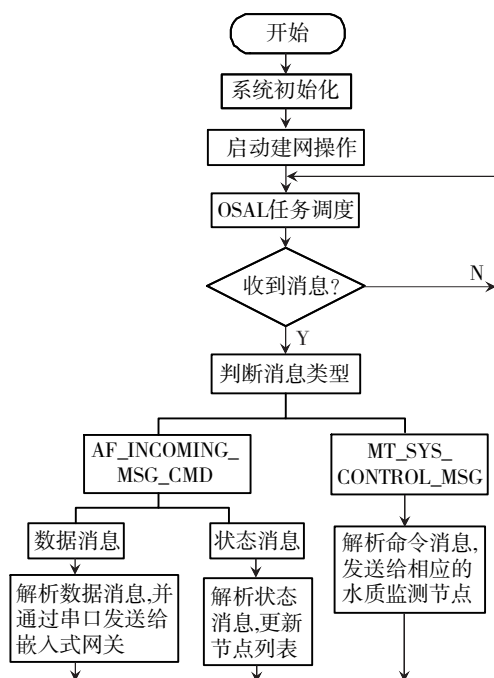


图7 汇聚节点软件流程图

Fig.7 The software flow chart of the coordinator

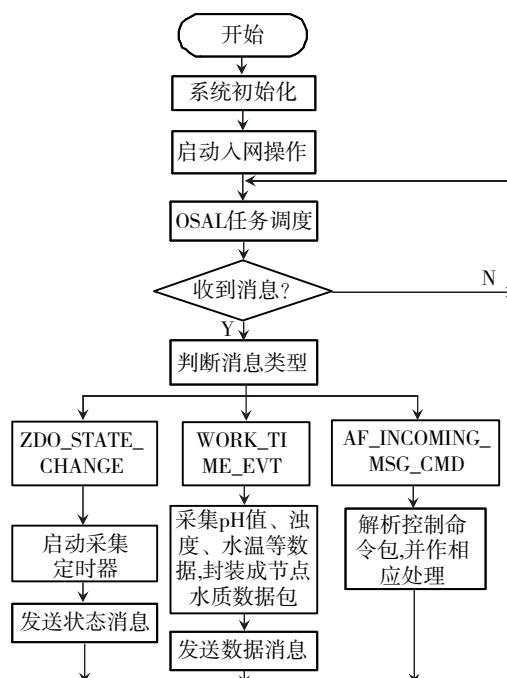


图8 水质监测节点软件流程图

Fig.8 The software flow chart of the water quality monitoring node

4.3 嵌入式网关的软件设计

嵌入式网关可实现 ZigBee 网络和以太网的协议转换. 嵌入式网关通过串口中断的方式获取汇聚节点的数据后进行解析处理,再传送给远端监测中心. 对于嵌入式网关和远端监控中心通信,为保证通信的高可靠性,采用面向连接的客户端—服务器模型,通过编程调用嵌入式 Linux 下的 Socket 接口编程函数来实现建立起两个具有唯一 IP 地址的客户端(嵌入式网关)和服务端(远程监控中心)的 Socket 网络连接,并通过 TCP/IP 协议进行通信.

4.4 监控中心的软件设计

监控中心管理软件部署在保持连接专网的计算机上,获取 ZigBee 网络中采集到的水质数据并进行分析处理,在用户界面上进行显示,可根据水质变化情况适时启动紧急预案、发出预警信息,同时将数据存入数据库中以供后期数据分析. 如图9所示,本监控中心管理软件分为四大模块:实时数据显示模块、数据库模块、网络通信模块和控制命令模块.

本系统监控中心管理软件利用 QT 4.7.3 集成开发环境开发. QT 是诺基亚开发的一个跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架,也是流行的 Linux 桌面环境 KDE 的基础. QT 具有优良的跨平台特性、面向对象、丰富的 API、大量的开发文档等优点. 图10为采用 QT 编写的监控中心管理软件中的场景显示模式的界面.

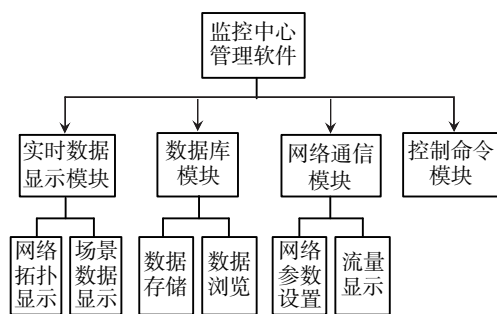


图9 监控中心管理软件结构图

Fig.9 The monitoring center management software chart

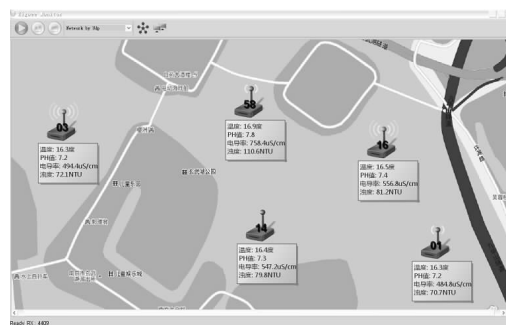


图10 场景显示模式界面

Fig.10 The interface of scene display mode

5 实验结果分析

我们使用自主研制的 30 个水质监测节点、1 个汇聚节点和 1 个嵌入式网关组成一套水质监测系统,进行实验室测试和户外测试,户外测试测试地点为南京市玄武湖。测试结果和分析如下:

(1) 在水质监测节点上使用外接型 pH 电极对标准溶液进行 pH 值测量,30 个水质监测节点的测量相对误差为 $-3.03\% \sim 5.03\%$,和标准溶液的偏差较小,满足使用要求。测量值与实际值之间的误差主要是水质监测节点测量误差,网络传输过程中几乎不会引入误差。

(2) 在户外进行了传输距离的测试,两个水质监测节点对点的最大可视距离可达 1 300 m,符合水质监控的应用要求。目前,水质监测节点最大可视距离一般为几十米到几百米,与同类系统相比,本系统的传输距离大大增强。

(3) 水质监测节点发送一次数据包的最短间隔为 200 ms。由 30 个水质监测节点组成的监测系统,从水质监测节点到汇聚节点的数据延迟小于 2 s。

6 结语

构建了基于 ZigBee 网络和以太网的远程水质监测系统。系统选用了 CC2530 加 CC2591 的射频方案,大大提高了通信距离,扩大了 ZigBee 网络的覆盖范围,特别适合水质监测。实验结果显示,该系统可为环境监测部门提供全面、实时水质监测信息,系统稳定可靠,安装和运行成本低廉,具有广泛的应用前景。

[参考文献] (References)

- [1] 黄毅,黎杰. 基于 GPRS 的水厂实时远程监测系统[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2008,31(5):705-707.
Huang Yi, Li Jie. Real-time and remote monitoring system of water supply based on GPRS[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2008, 31(5): 705-707. (in Chinese)
- [2] 刘桥,蒋梁中,谢存禧. 广域污水自动监控系统中监测点子系统的应用[J]. 计算机工程,2004,30(21):149-151.
Liu Qiao, Jiang Liangzhong, Xie Cunxi. Application of monitoring station sub-system of wide-area sewage auto-monitoring system[J]. Computer Engineering, 2004, 30(21): 149-151. (in Chinese)
- [3] 赵小强. 水质远程监测智能环保系统[J]. 计算机工程,2010,36(17):93-95.
Zhao Xiaoliang. Intelligent environmental system for water remote monitoring[J]. Computer Engineering, 2010, 36(17): 93-95. (in Chinese)
- [4] 佟维妍,刘春梅,赵国材. 基于 GPRS 数据远程传输的水质参数监测系统[J]. 计算机应用,2010(7):52-55.
Tong Weiyen, Liu Chunmei, Zhao Guocai. Water quality parameters monitoring system of data long-distance transmission based on GPRS[J]. Automation and Instrumentation, 2010(7): 52-55. (in Chinese)
- [5] 陈军,盛占石,陈照章,等. 基于 GPRS 的水质自动监测系统的设计[J]. 传感器与微系统,2009,28(7):77-79.
Chen Jun, Sheng Zhanshi, Chen Zhaozhang, et al. Design of automated monitoring system of water quality based on GPRS[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2009, 28(7): 77-79. (in Chinese)
- [6] 严丽平,宋凯. 基于 ZigBee 与 GPRS 的嵌入式水质监测系统的设计[J]. 计算机工程与设计,2011,32(5):1638-1640.
Yan Liping, Song Kai. Design of embedded water quality monitoring system based on ZigBee and GPRS[J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(5): 1638-1640. (in Chinese)
- [7] ZigBee Alliance. ZigBee Specification ZigBee Document[S]. San Ramon: ZigBee Alliance, 2006. [责任编辑:严海琳]