

基于 ZigBee 网络的水环境无线监测系统设计

徐 兴, 岳学军, 林 涛

(华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要:设计了基于 ZigBee 网络的水环境无线监测系统,该系统由具有多源信息融合功能的水质无线监测节点、无线路由节点、数据网关和上位机监测中心组成,并引入了节点信息多样化采集机制,可对被监测水域实施有效的无线覆盖以及信息的可靠传输,完成对水环境常规指标,如溶解氧、pH、水温的实时在线监测. 根据试验结果,在每 1 h 采集 1 次的工作条件下,额定容量为 1 200 mA · h 的电池可使无线监测节点工作 1 231 d 以上,可以满足对水环境长期自动监测的要求. 该水环境无线监测系统具有低功耗、部署简单、组网灵活的特点,较适合于小型河流以及中小面积湖泊、鱼塘的水环境质量的长期在线监测.

关键词:ZigBee; 无线传感网络; 环境监测; 水环境
中图分类号:TP393 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)04-0593-05

The Design of Wireless Monitoring System of Water Environment
Based on the ZigBee Network

XU Xing, YUE Xuejun, LIN Tao

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: A wireless water environmental monitoring system based on ZigBee technology was designed in this paper, which was composed of water quality monitoring node of multi-source information fusion, router node, gateway and upper computer monitoring software. The system introduced the node information collection mechanism of diversification, providing effective wireless network coverage and reliable data transmission for water environment, including the parameter of dissolved oxygen, pH and temperature. Experimental results showed that the wireless monitoring node could work for more than 1 231 days under the condition of sampling once per hour and supplying 1 200 mA · h capacity battery so as to meet the long-term automatic monitoring requirements of water environment. The wireless monitoring system has the advantage of low power consumption, simple deployment, flexible networking, which is suitable for the long-term monitoring of water quality of small river, medium-sized area of lakes and ponds.

Key words: ZigBee; wireless sensor network; environmental monitoring; water environment

水环境监测是为水利、环保等部门合理开发利用和保护水土资源,并提供系统水质资料的一项重要基础工作. 传统的水环境监测方式基本都是采用人工定期去监测水域并提取相关水环境信息,现有的水环境自动监测方法主要分为 2 种:1) 便携式水质监测仪人工采样、实验室分析; 2) 由监控中心和若干个监测子站组成的水环境自动监测系统监测^[1-2]. 前者无法对水环境实施远程实时监测,存在监测周期长、劳动强度大、针对性差、数据采集慢等问题,不易及早发现污染源并报警. 后者虽能较好地

解决上述不足,但由于必须预先铺设电缆和建立多个监测子站,存在监测范围有限、系统成本高等缺点.因此,改变传统的水环境监测方式,实现实时、高效、准确的水环境测量,建立起智能化的水环境无线监控和预警系统对农林水利相关产业及相关部门均具有重要的意义^[3-6].

本研究针对现有水环境监测所存在的问题,基于无线传感器网络技术,开展了水环境无线监测系统的设计研究工作,以完成对水环境常规指标的远程和实时在线监测.

1 系统方案设计

本系统主要由上位机监控单元和无线传感网络单元 2 部分组成,2 部分之间通过 RS232 进行数据通信.如图 1 所示.上位机监控单元由上位机监控软件通过串口与无线传感网络中的协调器进行通信,获得网络中采集节点的传感器信息,并将数据进行处理,从而实现各采集节点的实时数据、历史记录和变化曲线的显示.

无线传感网络单元由基于 CC2530 模块建立的 ZigBee 网络组成,ZigBee 技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通讯技术,主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间的数据传输,以及典型的周期性、间歇性数据和低反应时间数据的传输.

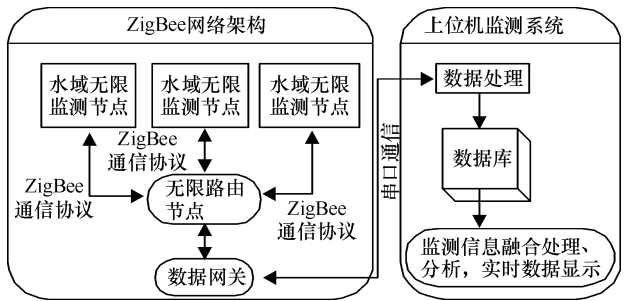


图 1 系统结构图
Fig.1 System block diagram

2 无线监测系统节点设计

本设计采用 ZigBee2007 协议结构.协议遵循以下原则:水质无线监测节点(ZigBee 终端节点)主要负责数据采集;无线路由节点(Router)只承担数据计算与转发的通讯任务;数据网关(Gateway)负责与上位机的双工通信. ZigBee 网络中数据网关具有协调器组网功能,新增的节点,如路由器节点、终端节点均可灵活地加入数据网关建立的网络中,可满足构建大规模系统的要求^[7-9]. ZigBee 无线传感网络中节

点采用 CC2530 模块作为核心芯片,该芯片支持 ZigBee 和 IEEE 802.15.4 等多种标准.

2.1 水质无线监测终端节点设计

水质无线监测终端采集节点主要由传感单元、处理单元、无线通讯单元和电源单元 4 个基本单元组成,如图 2 所示,根据外接的不同类型单、多参数传感器,水质无线监测节点可以单独或者同时具有常规指标的在线监测能力.

传感单元由传感器和 A/D 电路模块组成,负责水环境中水质参数的采集和模拟信号到数字信号的转换.传感器选择上海三信的 pH、ORP、溶解氧传感器 201T-S 塑壳 pH/ATC 三复合电极、301Pt-S 塑壳 ORP 复合电极和 DO500 溶解氧电极多参数水质检测传感器,可同时测量多种水质参数,包括 pH、ORP、溶解氧和温度等参数.

处理单元负责传感器节点的管理,包括存储、处理和发送传感单元采集的数据,并负责与其他传感器节点的协调,转发、处理其他节点发来的数据.

无线通讯单元负责与其他传感器节点进行无线通讯,交换、控制信息,收发、采集数据.

电源单元是传感器节点最重要的单元之一,负责传感器节点中各单元的电源供应.

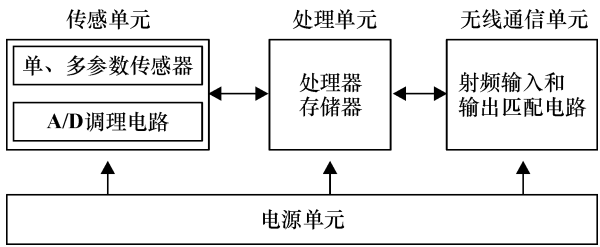


图 2 采集节点结构图
Fig.2 The structure diagram of the end-node

采集节点能实现传感器类型和工作状态的切换,从而获得多种类型的水质参数;传感器可直接挂接无线监测节点后潜入水中直测,无需收集样品,测量得到的信号经过信号放大理电路进行放大,使得处理器可以进行 A/D 采样,得到水质参数数据,所制作的监测节点实物如图 3 所示.

目前,大部分无线监测系统对环境信息采集主要采用定时固定采集并上传的方式^[2-5],其信息采集方式还较为单一,没有充分利用系统可双向通信的特点,考虑较为灵活的信息采集方式.终端节点在环境信息采集方面考虑了较为灵活的多样化信息采集方式,设计了定时采集、指令采集 2 种信息采集方式.定时采集为固定每隔一段时间则向协调器节点发送传感器采集到的信息;指令采集则由上位机软件发送采集指令给协调器,由协调器向指定的终端

采集节点发出请求. 软件流程如图 4 所示. 终端采集节点发送的数据将直接或间接(经路由节点)到达协调器节点.

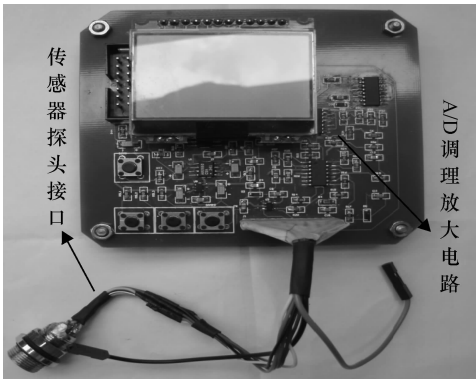


图3 多源信息融合水质参数测量实物图
Fig.3 Photo of device for the water parameters measurement by multi-source information combination

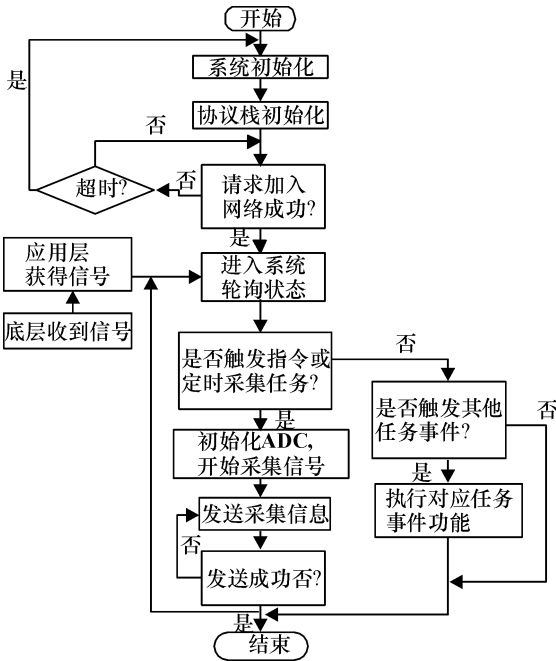


图4 终端采集节点软件流程图

Fig.4 The software flow chart of the end device

2.2 路由节点设计

路由节点提供水质无线监测节点之间,水质无线监测节点和数据网关之间的监测数据的无线中继传输功能,通过采用自组织多跳路由方式,无线路由节点可极大的提高监测数据通过无线网络传输的鲁棒性和可靠性.

路由节点在硬件上只需要一个 CC2530 模块即可,结构简单. 软件上,ZigBee 执行基于用于 AODV 专用网络的路由协议,简化后用于传感器网络.

2.3 数据网关节点设计

数据网关节点是整个无线传感器网络中的核心

节点,该节点由 CC2530 模块和 TTL 电平转换模块组成,通过 RS232 数据总线与上位机相连,与上位机进行双工通信. 该节点将各个采集节点传输过来的数据进行简单处理后传送给上位机,同时上位机发送指令给数据网关,控制网络中节点信息的发送.

3 上位机监测软件设计

上位机监测软件采用 C#语言编写,C#是微软开发的一种面向对象的编程语言,是微软 NET 开发环境的重要组成部分. Visual studio net 包含 Visual C#,这是通过功能齐全的代码编辑器、项目模板、设计器、代码向导、功能强大且易于使用的调试器以及其他工具实现的. 通过 NET Framework 类库,可以访问多种操作系统服务和其他有用的精心设计的类,这些类可显著加快开发周期^[10-12]. C#是面向对象的,编写方便灵活、功能强大、易于实现. 本设计监控软件使用 C#窗体控件、SerialPort 类、图表控件 Chart 和数据库操作,实现了实时数据显示、网络拓扑图、数据曲线图、历史数据查询、系统设置等功能,上位机监控软件系统架构如图 5 所示.

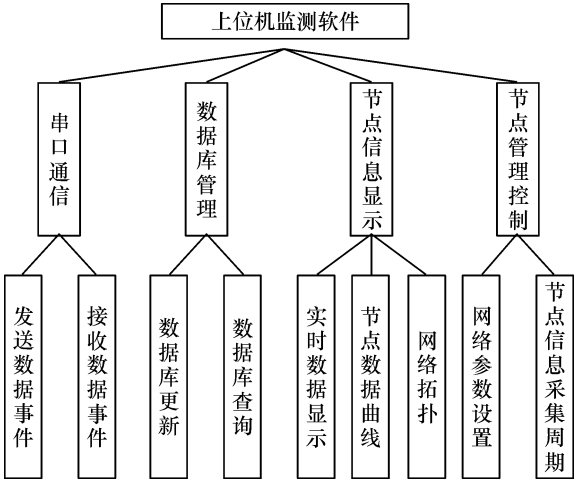


图5 上位机监控软件系统架构

Fig.5 The system architecture of the monitoring software on the host computer

4 现场试验数据

4.1 水环境监测数据

本设计首先在室内按系统的组成部分进行系统的软、硬件开发和测试,并以此为基础进行集成测试,在系统运行相对稳定时,进行了现场测试试验.

测试地点选取在华南农业大学华山区西湖,如图 6 所示. 西湖长约 250 m、宽约 50 m,最窄处约 20 m,水域面积约为 10 000 m². 共部署了 6 个水质无线监测节点和 1 个协调器,监测系统采用星型拓扑结

构,节点与协调器之间的距离分别为 20、50、80、100、120 和 150 m.



图 6 无线监测节点部署图

Fig. 6 The deployment diagram of wireless monitoring node

无线监测节点数据采样时间间隔设为 10 s,在不同距离将其采集的信息传送至协调器节点,再经串口数据线传输至上位机. 其中水温、pH、空气湿度的变化数据和曲线图如图 7 所示.

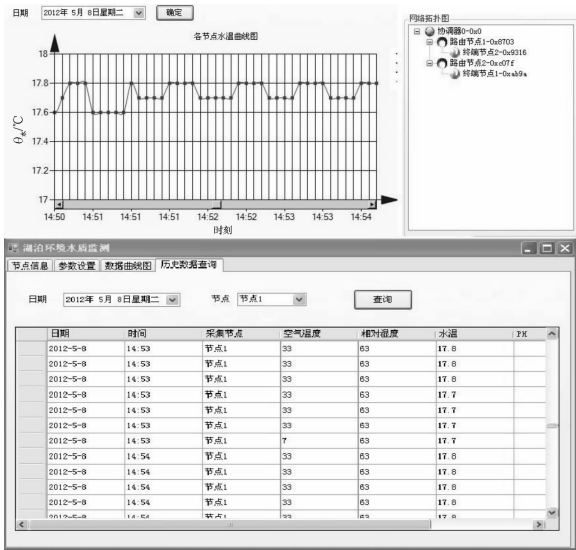


图 7 上位机监控软件界面

Fig. 7 The interface of the monitoring software on the host computer

4.2 丢包率测试

根据试验中各终端采集节点发送的数据包和数据网关接收到的各终端采集节点发送的数据包来计算其数据包发送成功率,用下式进行计算:

$$P = \frac{N_r}{N_s} \times 100\%, \tag{1}$$

式中: P —数据包发送成功率, N_r —协调器接收正确数据包个数; N_s —终端采集节点发送数据包个数. 测试结果如表 1 所示.

表 1 不同距离下数据包发送成功率

Tab. 1 The success rate of sending data packet from different distances

距离/m	发送数据包/个	接收数据包/个	成功率/%
20	1 327	1 327	100.00
50	2 013	1 928	98.53
80	1 687	1 653	98.21
100	1 921	1 850	96.35
120	1 443	1 311	90.97
150	1 809	1 631	90.50

从表 1 数据可知,其通信质量随距离增加呈下降趋势,但在 150 m 范围内,其成功率均达 90% 以上,这是由于在水域环境下,监测节点之间无线信号是在水面上传播,其传播路径上基本没有障碍物的阻挡,是比较理想的自由空间视距直线传播方式^[13-14].

需要说明的是,在试验中,监测系统使用的是普通 CC2530 模块,其发射功率被设置为 -0.5 dBm,用于对试验水面实施无线覆盖. 在实际水环境无线监测工程中,还要具体根据监测水域大小,所需通信距离等实际情况,选择和配置具有适当功率的无线模块,以扩大水域无线覆盖面积和提高传输质量^[14].

4.3 功耗测试

通过在直流电源处串联小电阻,使用示波器可查看到无线节点工作状态转换及其功耗变化情况. 具体测试方法为:在测试一个工作周期内节点的工作状态变换情况时,在直流电源处串联的是一个 10 Ω 的小电阻;在测试节点休眠工作状态时,由于休眠功耗太低,需串联 1 个 260 Ω 的电阻.

在示波器上,测量得到的无线节点各工作状态指标如下:无线点进行数据采集时持续时间为 2 s,电流为 340 mV/10 Ω = 34 mA,每个采集周期工作 1 次;发送或接收数据时的电流约为 270 mV/10 Ω = 27 mA,每次发送或接收工作持续为 4 s. 唤醒平均电流为 40 mV/10 Ω = 4 mA,每次唤醒工作时间持续约为 4 ms;节点休眠状态时电流约为 2 mV/260 Ω = 0.007 6 mA.

使用下式计算功耗:

耗电量 = 工作电流 $\times$ 工作时间 $\times$ 周期内平均工作次数.

按照水环境监测系统采集周期为 1 h,唤醒时间间隔为 2 s,发送和接收数据时间间隔为 15 s 进行计算,可得到 4 种工作状态功耗值(表 2).

从表 2 可知,1 h 4 种工作状态内总功耗为:146 425.3 mA $\cdot$ ms,约 0.040 6 mA $\cdot$ h,1 节 3.7 V 的

锂电池,以 3.3 V 截至电压为限,其容量大约在 1 200 mA · h,由此推算出节点可工作时长为:1 200/0.040 6=29 556.6 h,约 1 231.5 d.因此,采用本文设计的水环境监测系统可满足长时间野外水环境监测工作的要求.

表 2 4 种工作状态功耗计算

Tab. 2 The power consumption of four working status

工作状态	I/mA	t/ms	工作次数	耗电量/(mA · ms)
休眠	0.007 6	1 996	1 800	27 305.3
唤醒	3.500 0	4	1 800	25 200
发送	27.000 0	4	240	25 920
接收	34.000 0	2 000	1	68 000
合计				146 425.3

为比较本文设计的无线监测节点与其他典型的无线节点的能耗对比情况,表 3 给出了几个典型的无线节点在各工作状态下的电流.

表 3 典型无线节点电流

Tab. 3 The electricity typical wireless node

mA

节点类型	$I_{\text{唤醒}}$	$I_{\text{休眠}}$	$I_{\text{发送}}$	$I_{\text{接收}}$
IMote	31	0.360 0	44.0	44.0
Micaz	8	0.016 0	27.7	25.4
Mica2DOT	8	0.001 6	35.0	18.0
无线监测	3.5	0.007 6	27.0	34.0

从表 3 可见,本文设计的无线监测节点的唤醒电流和休眠电流均比 IMote, Micaz, Mica2DOT 低,发送和接收电流低于 IMote 和 Mica2DOT,基本与 Micaz 相当,所以,综合比较之下,本文设计的无线监测节点相比以上节点具有低能耗的优势,在能源供给相同的条件下,可以维持更长的使用寿命.

5 结论

针对现有的水环境监测技术存在监测周期长、劳动强度大、针对性差、数据采集慢的问题,本文设计了基于 ZigBee 网络技术的水环境无线监测系统,系统由自主定制的水质无线监测终端节点、无线路由节点、数据网关和上位机监测中心组成,采用了基于 ZigBee 协议的无线通信技术和低功耗设计,系统在华南农业大学华山区西湖的运行部署和通信质量试验结果表明,系统在 150 m 的距离内,数据传输成功率在 90% 以上,在电池容量为 1 200 mAh 时,可连续工作 1 231 d 以上,满足了对水域环境实施长期在线监测工作的要求.

本文所做的工作还存在许多不足和有待改进的地方,在现有的研究和试验基础上,考虑对系统做出

如下改进:

1) 系统的可再生能源供电设计,在无线传感器网络监测系统中,电源能量约束是阻碍传感器网络应用的严重问题,因此,将考虑在水环境监测系统中引入可再生的风能和太阳能供电设计,使系统更加节能和环保.

2) 无线节点的发射功率自寻优算法设计.无线节点之间距离不同,所需发射功率也不尽相同,将进一步研究发射功率自寻优设计算法,既可满足对监测水域的有效覆盖,又可有效地降低无线节点用于无线通信的功率消耗.

参考文献:

[1] 王骥,王筱珍,任肖丽,等. 基于无线传感器网络的水污染监测系统[J]. 桂林电子科技大学学报, 2009, 29 (3):247-251.

[2] 史兵,赵德安,刘星桥,等. 基于无线传感网络的规模化水产养殖智能监控系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27 (9):136-140.

[3] 韩华峰,杜克明,孙忠富,等. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7):158-163.

[4] 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.

[5] 王鹏祥,苗雷,张业犇,等. 养殖水质在线监控的系统集成技术[J]. 渔业现代化, 2008, 35(6):18-22.

[6] 蒋鹏. 基于无线传感器网络的湿地水环境远程实时监测系统关键技术研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(1):183-186.

[7] Institute of electrical and electronics engineers. Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks [S]. American: Piscataway, 2006.

[8] 高守玮,吴灿阳. ZigBee 技术实践教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2009.

[9] 李文仲,段朝玉. ZigBee2007/PRO 协议栈实验与实践 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2009.

[10] FOXALL J D. Visual C# 2008 入门经典[M]. 张劼,译. 北京:人民邮电出版社, 2009.

[11] 张家祥. C#范例解析[M]. 北京:电子工业出版社, 2002.

[12] 王振江,王添添. C#课程设计案例精编[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.

[13] 沈杰,姚道远,黄河清,等. 野外地表无线传感网信道传播模型的测定与分析[J]. 光学精密工程, 2008, 16(1):141-149.

[14] 杨水生,张建海. 无线传感网络覆盖优化模型[J]. 杭州电子科技大学学报, 2010, 30(3):38-41.