

刘焕强,顾晓峰,补雅晶,等. 基于 ZigBee 的智能桑蚕养殖监控系统的设计与实现[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):382-386.

基于 ZigBee 的智能桑蚕养殖监控系统的设计与实现

刘焕强¹, 顾晓峰¹, 补雅晶¹, 何磊²

(1. 江南大学轻工过程先进控制教育部重点实验室,江苏无锡 214122;2. 中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所,江苏苏州 215123)

摘要:针对桑蚕的生理特点和生长发育规律,设计了一套基于 ZigBee 无线网络的智能桑蚕养殖监控系统。利用传感器节点采集温度、湿度、光照度等环境参数,依靠 ZigBee 和 GPRS 网络将采集的数据传输至远程服务器,并经过科学分析后对环境控制设备进行自动调节,为桑蚕提供一个适宜生长的环境。系统能对桑蚕生长周期各阶段适宜的环境参数进行独立配置,以满足桑蚕对各个蚕龄养殖环境的不同需求。通过设计 ZigBee/GPRS 网关和 Web 服务器,实现了数据的远程传输和监控,用户通过手机或浏览器即能实现参数配置、设备控制等一系列操作。

关键词:桑蚕养殖;监控系统;ZigBee;无线传感网;通用无线分组业务;网关

中图分类号: S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0382-05

无线传感网是一种综合传感器、嵌入式系统、通信及网络等技术的新兴网络,在工农业生产、环保、医疗、物流及军事等领域具有广阔的应用前景^[1]。ZigBee 是一种短距离、低速率的双向无线通信技术,具有低功耗、低成本、低复杂度和易于组网等优点^[2],在当前大量的无线传感网应用中表现出色,受到了越来越多的关注^[3]。

桑蚕养殖是我国不少农村地区的传统产业。桑蚕对生长环境的要求比较高,温度、湿度、光照度等环境因素直接影响着桑蚕的生长发育情况,而且不同生长发育阶段对环境参数的要求也有很大差异^[4]。例如,小蚕期喜高温、耐高湿,可在温度偏高、湿度偏大的环境下饲养,使蚕生长快、发育齐;大蚕期则需通风,防止高温、高湿环境出现。传统养蚕通常采用地火笼、煤砖炉调整蚕室温度,利用人工洒水方式控制蚕室湿

度,但这些方法易出现温度骤高骤低、湿度不易掌握等问题^[5],并且由于对人工依赖强,在大规模桑蚕养殖过程中增加了人力成本。本研究结合桑蚕的生理特点和生长发育规律,设计了一套基于 ZigBee 无线传感网的智能桑蚕养殖监控系统,实现了对养殖环境参数的远程监测和自动调控。

1 系统的总体架构

智能桑蚕养殖监控系统的总体结构设计如图 1 所示,主要由 ZigBee 无线传感网、ZigBee/GPRS (general packet radio service) 网关和 Web 服务器 3 部分组成。ZigBee 无线传感网包括传感器终端节点、控制柜终端节点和路由节点。传感器终端节点实现环境参数(如温度、湿度、光照度等)的采集和转换;控制柜终端节点包含多路控制开关,通过连接多种控制设备实现对多路设备(如加热、加湿及光照设备等)的控制,并提供友好的人机界面,用于实时显示系统参数;路由节点在图 1 中没有显示,其主要功能为数据的中继和转发。ZigBee/GPRS 网关的主要功能是数据汇总和消息转换,将 ZigBee 网络中的数据进行地址、协议转换后发送给 Internet 或 GSM (global system of mobile communication) 网络,并将 Internet 或 GSM 网络发送过来的数据进行地址、协议转换后发送给 ZigBee 网络节点。Web 服务器的主要功能是实现系统的远程监

收稿日期:2013-02-22

基金项目:中央高校基本科研业务费用专项(编号:JUDCF12027、JUSRP211A37);江苏高校优势学科建设工程(编号:PAPD);国家大学生创新训练项目(编号:201210295073)。

作者简介:刘焕强(1986—),男,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向为无线传感网技术及应用。E-mail:lhqbh@163.com。

通信作者:顾晓峰,博士,教授,研究方向为电子系统设计及应用。

Tel: (0510)85912151; E-mail: xgu@jiangnan.edu.cn。

[10] 张绘芳,李霞. 塔里木河下游胡杨种群空间分布格局分析[J]. 西北植物学报,2006,26(10):2125-2130.

[11] 赵峰侠,尹林克. 荒漠内河岸胡杨和多枝怪柳幼苗种群空间分布格局及种间关联性[J]. 生态学报,2007,26(7):972-977.

[12] 玉米提·哈力克,柴政,罗淑政,等. 新疆塔里木河下游胡杨树高生长量及其空间分布研究[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(5):187-191.

[13] 韩路,王海珍,周正立,等. 塔里木河上、中游胡杨种群结构与统计分析[J]. 生态学报,2007,27(4):1315-1322.

[14] 吴俊侠,张希明,李利,等. 塔里木河流域胡杨种群自然更新状况的种群生态学分析[J]. 中国沙漠,2010,30(3):582-588.

[15] 吴俊侠,张希明,李利,等. 塔里木河干流中游胡杨种群特征与动态分析[J]. 干旱区研究,2010,27(2):242-248.

[16] 蔡艳林,朱雅娟,贾志清,等. 荒漠河岸林 2 种典型植物的耐盐

性比较[J]. 林业科学研究,2011,24(3):327-333.

[17] 许英勤,胡玉昆,马彦华. 塔里木河中下游区域开发对生态环境的影响及生态环境恢复与重建对策——以尉犁县为例[J]. 干旱区地理,2001,24(4):342-346.

[18] 封磊,洪伟,吴承祯,等. 珍稀濒危植物南方铁杉种群动态研究[J]. 武汉植物学研究,2003,21(5):401-405.

[19] Harcombe P A. Tree life tables [J]. Bioscience, 1987, 37(8): 557-568.

[20] 谢衷洁. 时间序列分析[M]. 北京:北京大学出版社,1990: 118-129.

[21] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京:中国林业出版社,1992: 33-78.

[22] 陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究[J]. 生态学报,1998,18(2):214-217.

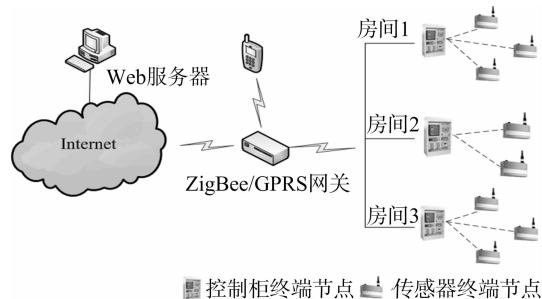


图1 系统总体结构

控、备份重要历史数据,并为用户提供良好的操作界面。

传感器终端节点和控制柜终端节点之间采取“绑定”机制。传感器终端节点除上报数据至 Web 服务器外,还要将数据上报至绑定的控制柜终端节点;控制柜终端节点将上报值与预配置的参数阈值比较后,决定开启或关闭设备,使环境参数维持在一个合适的稳定区间。一个控制柜终端节点包含多路控制开关,每一路都可控制一个设备,因此 1 个控制柜终端节点可与多个传感器终端节点实现绑定(图 1)。所有桑蚕养殖房间的传感器终端节点都要上报数据至 ZigBee/GPRS 网关,经过消息地址、协议转换后发送到远程 Web 服务器。Web 服务器对数据进行备份和更新,同时也能通过逆过程发送配置、控制消息至 ZigBee 网络的各节点。

2 系统的硬件设计

2.1 ZigBee 通信模块的硬件设计

ZigBee 无线数据通信模块的设计选择美国德州仪器公司的 CC2430 芯片。CC2430 是一种用来实现嵌入式 ZigBee 应用的片上系统,支持 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee 协议,集成了 CC2420 射频(RF)收发器、增强工业标准的 8051 微控制器(MCU)、32/64/128 kb 闪存、8 kb 静态随机存取存储器(SRAM)等高性能模块。由于该芯片集成度高,外围电路设计比较简单,适宜构造低成本的 ZigBee 节点。

在 ZigBee 通信模块的印刷电路板(PCB)上提供电源供给电路、外部晶振电路、JTAG (joint test action group)接口、射频天线、阻抗匹配电路等即可正常工作,在本系统设计的节点中,路由由节点只起到数据中继和转发的功能,因此路由节点的硬件设计就只是以 CC2430 为核心的 ZigBee 通信模块。

2.2 传感器终端节点的硬件设计

传感器终端节点主要完成对环境参数的采集、转换和上报。为便于扩展更多的传感器而不需对软硬件进行较大的改动,本研究采用如图 2 所示的设计结构,ZigBee 通信模块仅用于数据的透明传输,传感器值由微控制单元对传感器进行采样、转换和校准,ZigBee 通信模块通过串口发送命令至微控制单元,获取传感器值并将其上报。按照该设计,当新增一种传感器时,只需对传感器模块进行替换,在微控制单元增加相应的传感器处理程序即可,ZigBee 通信模块程序几乎不用改动。

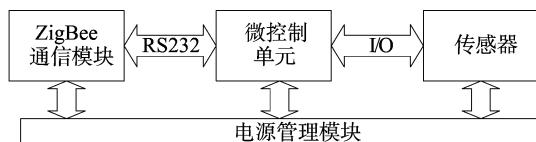


图2 传感器终端节点的硬件设计框架

微控制单元选用美国德州仪器公司的 MSP430 芯片,它具有超低功耗的特点,非常适合用于电池供电的场合。MSP430 芯片还集成了 16 位寄存器,并采用 16 位精简指令系统,具有很高的代码执行效率。本研究共设计了温度、湿度、光照度 3 种传感器终端节点,其中温湿度传感器采用 Sensirion 公司的 SHT11 芯片,它具有很高的可靠性和稳定性,测湿精度典型值为 $\pm 3.0\%$,测温精度典型值为 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$,能满足本系统的测量要求;光照度传感器采用 ROHM 公司的 BH1750FVI 芯片,它是一种用于两线式串行总线接口的数字型光照度传感器芯片,具有接近视觉灵敏度的光谱灵敏度特性,对应的输入光照度范围(1 ~ 65 535 lx)较广,且受红外线影响很小。

2.3 控制柜终端节点的硬件设计

控制柜终端节点主要完成自动控制设备、实时显示当前监测的环境参数、简要设置系统参数、指示设备当前状态等功能。控制柜终端节点的结构设计如图 3 所示,主要包括 ZigBee 通信模块、ARM7 嵌入式控制电路等。在 ARM7 微处理器上扩展了按键模块、LCM 模块、RTC 供电模块等部分;PCB 板上提供电源管理模块、外部晶振电路、JTAG 接口、串口等部分;ZigBee 通信模块与 ARM7 微处理器通过 RS232 串口收发数据。ARM7 上控制 I/O 口通过外接 ULN2003 芯片驱动继电器,通过继电器实现对大电流设备的控制。

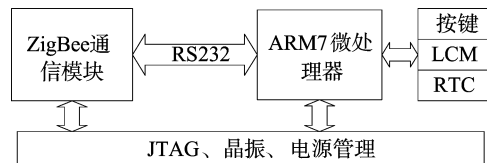


图3 控制柜终端节点的硬件设计框架

2.4 ZigBee/GPRS 网关的硬件设计

ZigBee/GPRS 网关采用如图 4 所示的硬件设计框架。ZigBee 通信模块主要完成传感器网络中的数据收发;GPRS 模块主要完成 GPRS 数据传输或短信的收发;微控制单元主要完成对 GPRS 模块的控制,包括 GPRS 模块的上电、复位、设置等功能。

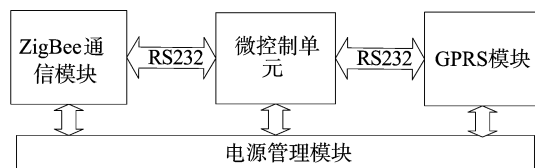


图4 ZigBee/GPRS网关的硬件设计框架

GPRS 模块选择 Quectel 的 M72 模块,它是一款表面贴装器件类型的 GSM/GPRS 双频模块,支持 900/1800 MHz 的短信、数据传输等功能,具有尺寸小、功耗低等优点,可方便地设计到嵌入式系统中。

3 系统的软件设计

3.1 传感器终端节点的软件设计

传感器终端节点软件的工作流程如图 5 所示。首先进行初始化,节点成功加入网络后向 Web 服务器发送 1 条注册消息(通过路由节点和网关节点转发),用于 Web 服务器发现该传感器设备,供用户对其进行绑定或配置。注册成功后需周

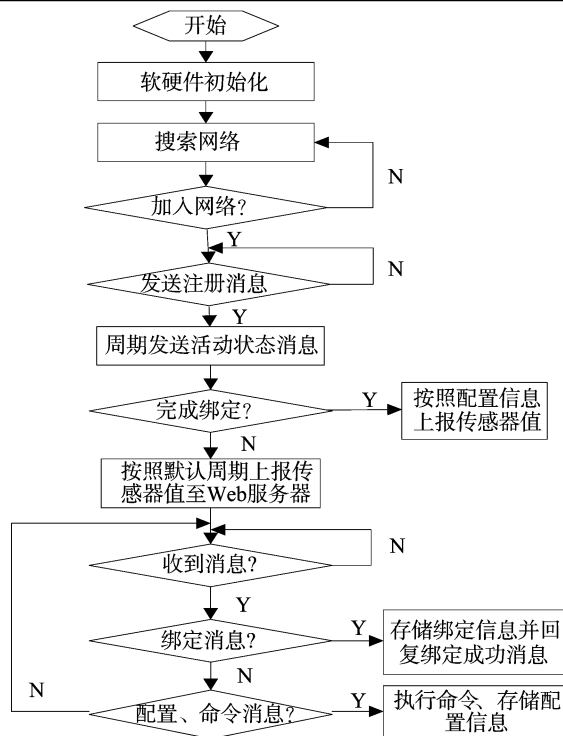


图5 传感器终端节点的工作流程

期发送活动状态消息,该消息用于监测终端的实时在线状态。

传感器终端节点未完成绑定情况下只是按照默认周期上报传感器值至 Web 服务器,只有数据监测功能,不能控制设备。只有与控制柜终端节点完成绑定后,传感器终端节点根据配置好的信息(包括绑定目的设备号、上报周期等)同时发送传感器值至 Web 服务器和控制柜终端节点,这样控制柜终端节点才能根据上报值和配置信息完成对设备的控制。传感器终端节点可接受 3 种类型的消息,即绑定消息、配置消息和命令消息。

3.2 控制柜终端节点的软件设计

控制柜终端节点的工作流程如图 6 所示。节点加入网络后同传感器终端节点一样,需发送注册消息和活动状态消息。控制柜终端节点只有同传感器终端节点完成绑定才能实现自动控制,没有完成绑定的控制柜终端节点只能进行手动控制。当收到绑定消息后,控制柜终端节点会将对应传感器节点的设备号、传感器类型、房间号、控制阈值上下限等信息存储至特定数据结构的闪存中,不同传感器节点对应不同的参数值,一个控制柜终端节点可完成对多路设备的控制。

完成绑定后,收到关联的传感器终端节点上报的数据值会在 LCD 实时更新显示,并根据上报值完成对相应设备的控制;当收到查询配置信息、查询设备当前状态消息时,直接回复查询结果至 Web 服务器;当收到设备复位消息时,清空存

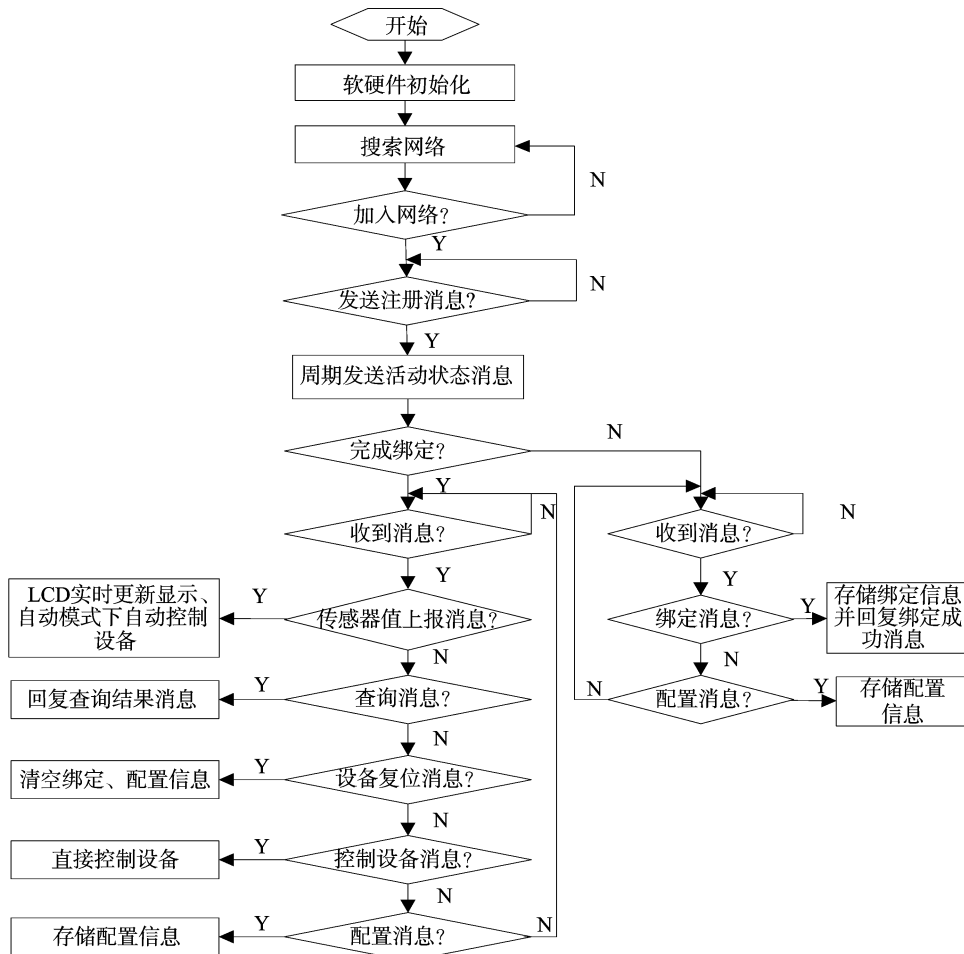


图6 控制柜终端节点的工作流程

储绑定设备信息、配置信息等的闪存,并回复成功消息;当收到通过 Web 服务器或短信等方式对设备进行直接控制的消息时,不论当前系统处于何种状态,可直接对设备进行控制。

3.3 ZigBee/GPRS 网关的软件设计

网关节点的工作流程如图 7 所示。网关初始化结束后,ZigBee 通信模块加入 ZigBee 网络,GPRS 模块与 Web 服务器通过 TCP/IP 协议建立长连接,其中 Web 服务器作为服务器端,网关作为客户端。

网关收到终端节点活动状态消息后,在内存中建立和维护终端设备管理表,用于终端设备间进行点对点通信。网关节点收到 Web 服务器消息(包括绑定消息、配置消息、控制消息等)后,对消息进行协议、地址转换后直接发至 ZigBee 网络。网关节点收到路由节点上报消息后,对消息帧内包含的数据发送方式进行判断,若为 0x01,则进行点对点通信;若为 0x02,除进行点对点通信外还需对消息进行协议地址转换,并转发至以太网;若为 0x03,仅转换消息并转发至以太网。

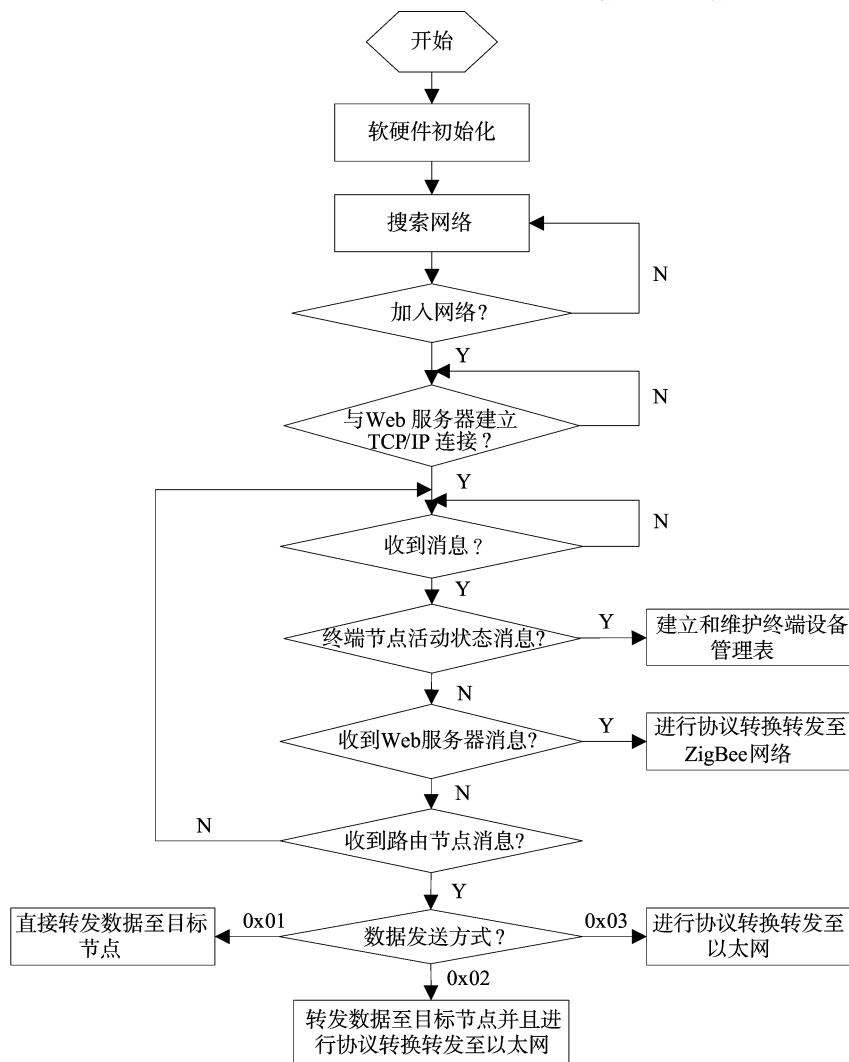


图7 ZigBee/GPRS网关的工作流程

3.4 Web 服务器端的软件设计

Web 服务器端运行软件采用基于 TCP 的 socket 编程,PC 端软件为 TCP/IP 通信的服务器端,网关为客户机端。Web 服务器端软件设置合适的端口号侦听网关数据,对收到的重要数据通过 ODBC 写入至 MySQL 数据库,其主要功能是汇总网关上报的数据,完成对数据库的实时更新,转发用户网页消息至网关节点。

4 系统测试

完成了系统的软硬件设计后,对实现的系统进行了性能测试。在 2 个大的养殖房间里布置 4 个路由节点、2 个温湿

度传感器终端节点、2 个光照度传感器终端节点、2 个控制柜终端节点、1 个 ZigBee/GPRS 网关节点。启动房间内的所有节点,Web 服务器端软件设置合适的端口号与 ZigBee/GPRS 网关建立 TCP/IP 长连接。成功建立连接后,网络服务平台可检测到 ZigBee 网络内所有的节点状态,通过网络服务平台将每个房间的温度、湿度、光照度传感器终端节点绑定到该房间的控制柜终端节点,并根据桑蚕的生长周期,对环境参数阈值根据日期进行详细配置,系统即可进行正常稳定的工作。

图 8 给出了系统测试时网络服务平台的一个实时监控页面,显示了房间 1 当前的状态,从中可以方便地实时观察温



图8 网络服务平台用户控制界面

度、湿度和光照度。网页下半部分提供了不同环境参数的历史数据曲线。例如,图8中选择了显示温度的时间变化情况,可以看到温度基本保持水平,证明了自动控制的有效性。网页的左上部还嵌入了一个实时视频监控画面,用于通过网络平台实时查看养殖房间安装的视频监控设备发送来的现场状况。

5 结论

桑蚕养殖对环境的要求比较高,为提高监控效率、降低人力成本,结合桑蚕养殖的具体环境要求和 ZigBee 技术的特点,设计了一套基于 ZigBee 无线传感网的智能桑蚕养殖监控系统。用户能通过浏览器或手机,按照桑蚕生长周期不同阶段的要求,对环境参数进行远程配置和自动监控。对实现的监控系统进行测试,结果表明,系统运行稳定,符合设计要求。

完成的整个系统已部署在南通某桑蚕养殖基地,并通过了长时间的实地测试,得到了用户的充分肯定。

参考文献:

- [1]任丰原,黄海宁,林 闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报,2003, 14(7):1282-1291.
- [2]李文仲,段朝玉. ZigBee 无线网络技术入门与实战[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:1-5.
- [3]李玉株,肖 江. 基于无线传感器网络的野生动物生存环境监测节点硬件设计[J]. 江苏农业科学,2012,40(5):339-342.
- [4]陈 玲. 不良环境对大蚕饲养的影响及应对措施[J]. 蚕学通讯,2011,31(1):29-31.
- [5]青学刚,沈 艳,何光赞,等. 新型蚕用环境控制器小蚕共育试验初报[J]. 蚕桑通报,2007,38(1):24-25.