

基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统*

郭文川 程寒杰 李瑞明 吕健 张海辉

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 为了解决当前温室监测系统存在的布线复杂、节点功耗大、部署不灵活、管理不便等问题,设计了一种基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统。以 CC2430 为核心开发无线传感器节点,完成温室环境因子实时监测;采用 ZigBee 技术实现无线传感器网络自组网和监测数据自动汇聚;基于 ARM9 微处理器 S3C2410A 和 WinCE5.0 构建网关节点,采用嵌入式数据库管理模式实现了传感器节点管理、环境数据管理和预警等功能。初步试验表明系统具有功耗低、组网灵活、可扩展性强、人机界面友好等优点,能较好地满足温室环境监测的应用需求。

关键词: 温室 监测系统 无线传感器网络 ZigBee

中图分类号: S625.5; TN919.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0181-05

Greenhouse Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks

Guo Wenchuan Cheng Hanjie Li Ruiming Lü Jian Zhang Haihui

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

Based on wireless sensor networks, a greenhouse environment monitoring system was designed to deal with problems in current greenhouse monitoring system, such as complicated cabling, high energy consumption, limited transmission distance, and inflexible deployment. With SoC of CC2430 and ZigBee protocol, environment information was collected, self-organized networks were realized and aggregated monitoring data was collected by the wireless sensor node. Gateway hardware platform was structured based on the S3C2410A microprocessor, and WinCE5.0 operating system was chosen as software platform. A gateway management system was developed on embedded database for sensor node administration, data processing, and early warning of weather disaster. Preliminary experimentations showed that the system met the application requirements of greenhouse monitoring system excellently, and had the advantages of low power consumption, inexpensiveness, flexibility, extensibility, and friendly human-machine interface.

Key words Greenhouse, Monitoring system, Wireless sensor networks, ZigBee

引言

现代温室是设施农业的生产车间,温室环境信息的监测控制系统是实现其生产自动化、高效化最为关键的环节^[1]。传统的温室监控系统主要是基于有线通信方式^[2~4]。有线通信系统在温室生产实

践中存在诸如布线复杂、维护困难、传感器节点不能随作物变更而灵活部署等问题^[5]。无线传感器网络作为一种全新的信息获取技术和处理技术,具有节点规模大、体积小、成本低、自组网等特点,在环境监测领域有广阔的应用前景^[6]。近年来,不少研究者将无线通信技术应用于温室领域,如基于蓝牙的

收稿日期:2009-09-04 修回日期:2009-12-16

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD79B00)、西安市农业科技攻关项目(NC09007(2))、西北农林科技大学农业科技推广模式建设项目(XTG2009-29)和西北农林科技大学博士科研基金资助项目(01140413)

作者简介:郭文川,教授,博士,主要从事农业信息检测技术及农产品介电特性研究, E-mail: guowenchuan69@126.com

分布式温室监控系统^[7], 基于 GSM 的温室监测系统^[8], 但这些无线通信技术存在成本高、功耗大等缺点, 无法在温室监控领域大规模推广应用。

本文针对当前温室环境监测系统的不足, 将无线传感器网络技术、ZigBee 技术、GPRS 技术和嵌入式技术相结合, 设计一种低功耗、低成本、组网灵活、人机界面友好、可方便进行现场和远程管理的温室环境监测系统。

1 系统总体设计

1.1 系统需求分析

温室环境具有湿度大、酸性大、基础设施少、作物众多且动态变化等特点。通过调查分析, 温室监测系统的应用需求主要包括: 对大气温湿度、土壤温湿度、光照强度、CO₂ 浓度等环境因子进行实时采集; 采用低成本、低功耗的无线通信方式对采集的数据进行实时传输和汇聚; 为用户提供直观的系统管理平台, 完成传感器管理、环境信息存储和分析处理等功能。

1.2 系统总体结构

结合温室监控系统的特点和上述功能需求, 基于无线传感器网络设计的温室监控系统的层次结构如图 1 所示。

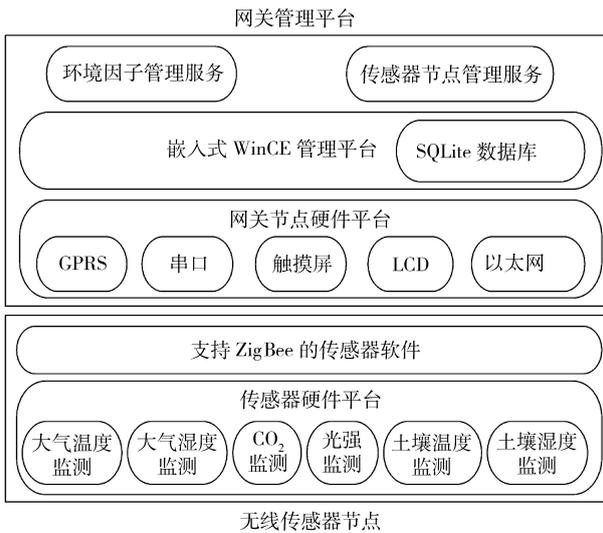


图 1 温室监测系统层次结构图

Fig. 1 Hierarchical structure of greenhouse monitoring system

系统由无线传感器节点和网关管理平台构成。无线传感器节点部署在温室监测区域, 通过 ZigBee 协议自动组网, 将定时采集的温室环境数据以多跳方式汇聚到网关节点。运行在网关上的系统管理软件完成节点管理、数据存储、查询、预警等功能。此外, 网关具备较强的扩展性能, 可通过以太网/GPRS 等通信方式实现远程通信, 为多监测区域的环境信息集中管理和综合应用提供支持。

2 无线传感器节点设计

2.1 无线传感器节点硬件设计

传感器节点是温室监测系统的基本组成单元, 需要具备环境因子采集、数据处理、无线通信等功能。在温室环境监测应用背景下, 本文设计的无线传感器节点硬件结构框图如图 2 所示。传感器节点设计重点考虑了低成本、低功耗、稳定、可靠等因素。

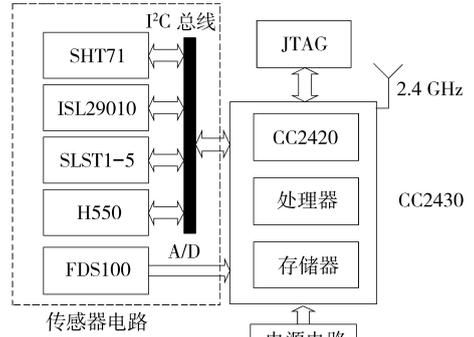


图 2 传感器节点硬件结构图

Fig. 2 Schematic hardware system of sensor node

(1) CC2430 CC2430 是由 Chipcon 公司推出的用来实现嵌入式 ZigBee 应用的片上系统, 其主要特点如下: 采用了增强型工业标准 8051MCU, 具有较高性能。集成了符合 2.4 GHz IEEE802.15.4 的 RF 收发器 CC2420。具有 4 种电源管理模式, 可灵活配置系统工作模式以降低系统功耗。在休眠模式时电流消耗仅有 0.9 μ A, 在待机模式时电流消耗小于 0.6 μ A^[9]。基于 CC2430 设计的节点仅需较少的外围电路即可实现数据的采集及发送, 极大地提高了系统的可靠性并降低了系统功耗。

(2) 传感器选择 传感器节点需要完成各种与植物生长密切相关的环境因子的采集, 这些信息采集是由传感器完成的, 要求传感器具备较高的精度及较低的功耗。本设计所采用各种传感器及其技术参数为: SHT71 数字型大气温湿度传感器, 工作电流为 550 μ A, 待机时仅 0.3 μ A, 测量温湿度的精度分别为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 和小于等于 1.8%, 接口为 I²C 总线。ISL29010 数字型光照强度传感器, 工作电流为 0.25 mA, 待机电流 0.1 μ A, 测量精度 ± 50 lux, 接口为 I²C。SLST1-5 数字型土壤温度传感器, 测量电流 1.5 mA, 待机电流 1 μ A, 测量精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 接口为单总线。H550 数字型 CO₂ 传感器, 工作电流 15 mA, 精度为 ± 30 ppm, 接口为 I²C。FDS100 模拟型土壤湿度传感器, 工作电流 15 mA, 精度小于等于 3%, 输出为模拟信号。

由上述技术参数可以看出, 数字型传感器的功耗较低, 与 CPU 以单总线或双总线连接, 除了

FDS100 模拟型土壤湿度传感器外,其余均可挂载在 I²C 数据总线上。在本设计中由 CC2430 的两个 I/O 口分别模拟 I²C 总线的时钟线和数字线,简化了电路设计,节省了 CPU 的 I/O 端口。FDS100 输出模拟信号,可直接与 CC2430 的 P0 口相连,利用 CC2430 内部的 ADC 实现数据转换。

2.2 ZigBee 通信协议的实现

ZigBee 协议是由 ZigBee 联盟制定的无线通信技术标准,其特点是近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低速率和低成本^[9]。此外,ZigBee 设备具有能量检测和链路质量指示功能,根据检测结果,设备可自动调整发射功率,在保证通信链路质量的前提下,最小地消耗设备能量。

本设计针对温室监测的需要,无线传感器网络拓扑采用了树状结构,其优点是比星型结构功能完善,覆盖面积大,同时比网状网络容易实现和维护。根据在网络中所具备的功能不同,无线传感器节点分为终端节点、路由节点、协调器节点 3 种类型。终端节点主要完成环境数据的采集;路由节点除了具备数据采集功能,还具备路由的功能;协调器节点主要完成传感器网络的数据汇聚功能。系统工作时,多个终端节点完成数据采集并传递给路由节点,由路由节点进行数据处理并沿动态路由将数据转发到协调器节点,最终协调器节点通过串口将数据汇总给网关节点。

在节点软件设计中,通过调用 ZigBee 协议栈提供的 API 函数完成网络管理层的设备初始化、配置网络、启动网络^[10],实现分布在多个温室中的无线传感器节点的自组网络。为了进一步降低节点功耗,设计了灵活、可动态配置的定时采集数据、定时休眠及唤醒功能。

3 网关管理平台设计

3.1 网关节点硬件设计

网关节点作为信息集中处理和无线传感器网络的本地化管理平台,需要具有较快的处理速度、较强的信息管理功能和丰富的硬件外围接口资源。Samsung 公司基于 ARM920T 内核的 32 位 RISC 微处理器 S3C2410A,主频 203 MHz,内核电压为 1.8 V^[11]。另外,S3C2410A 提供了丰富的外围设备接口,从而最大程度地减少了系统开发成本,非常适合嵌入式设备高性价比、低功耗的需要。

本设计以 S3C2410A 为核心构建了无线传感器网络网关硬件平台,网关硬件结构如图 3 所示。

(1) ZigBee 协调器 在本设计中,ZigBee 协议将整个传感器网络采集的数据最终汇聚到协调器节

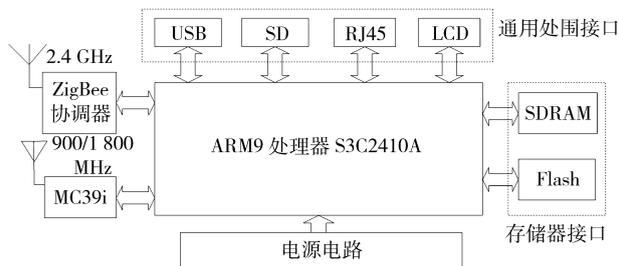


图 3 网关硬件结构图

Fig. 3 Hardware diagram of gateway

点上,因此本文中将 ZigBee 协调器节点嵌入到网关节点,协调器通过串口和网关进行数据通信。

(2) MC39i 采用 Siemens 公司 GSM/GPRS 双频模块 MC39i 完成网关的无线远程通信。MC39i 支持 GSM900 和 GSM1800 双频网络,接收速率可达 86.20 kb/s,发送速率可达 21.5 kb/s,完全满足无线传感器网络较小的数据传输量的需求。

(3) 存储器接口 S3C2410A 内置了外部存储器控制器,本系统拓展了 64MB SDRAM 和 64MB NandFlash。

(4) 通用外围接口 网关系统具有很强的扩展能力:带触摸屏的 LCD 是网关系统信息交互的界面;USB 接口可用来外接标准鼠标、键盘;SD 卡可作为拓展存储器使用;RJ45 接口可将网关接入以太网。

(5) 电源 稳定的电源对网关系统的运行至关重要。通过变压器将 220 V 市电降为稳定的 12 V 直流电作为网关的主电源,同时采用 12 V 的蓄电池作为系统的备用电源,以构成不间断电源,保证系统在断电情况下能正常运行。

3.2 基于 WinCE 的软件平台的实现

WinCE5.0 是一个 32 位、多任务、多线程的嵌入式操作系统,具有模块化、易于裁剪等优点。本设计采用 Platform Builder 定制了适合网关硬件平台的 WinCE5.0 操作系统,为温室管理人员提供了直观、图形化的人机界面,便于用户的操作;同时为应用程序开发提供了丰富的 API 接口。本系统在 Embedded Visual C++4.0 开发环境下实现了如下通信程序:串口通信,管理系统通过串口与 ZigBee 协调器和 MC39i 进行数据通信。GSM 通信,通过 GSM 短消息来实现网关管理系统的远程预警。Socket 网络通信,远程监控中心需要一台具有公网 IP 地址的服务器,网关通过以太网/GPRS 双重通信信道与远程管理中心进行通信。本设计中,采用可靠的流式套接字实现了基于 TCP/IP 协议 Socket 网络通信。

3.3 网关管理系统的实现

作为温室监测系统的本地管理平台,网关需要完成众多数据管理工作。鉴于嵌入式数据库 SQLite

具有体积小、快速高效、易于移植且开源等优点,本设计基于 SQLite3 实现了环境监测系统管理软件,用以完成传感器节点管理和环境数据管理。

(1) 节点管理 监测区域分布有大量不同类型的无线传感器节点,因此需要对所有节点进行统一管理。具有同一 ZigBee 信道的节点都可以加到无线网络中。节点的管理包括节点电量、节点 ID、节点位置、传感器类型、采样周期、运行状态、更新时间等属性的配置。

(2) 数据管理与预警 网关周期性收到无线传感器网络所有节点汇聚的大量环境信息,采用 SQLite 数据库对采集的数据进行存储、查询等管理。此外,需要对写入数据库的每一个环境数据进行判断,当超过温室管理人员设置的安全范围时,启动警报器、闪光灯、GSM 短信等多种预警方式。系统工作界面如图 4 所示。



图 4 环境数据管理界面

Fig. 4 Management interface of environmental data

4 系统测试

4.1 测试部署方案

在西北农林科技大学甜瓜示范基地对本文设计的系统进行了测试。在 3 个温室中各自放置 10 个节点,其中终端节点 8 个,路由节点 2 个。此外,布置了一个内嵌协调器节点的网关节点,系统部署示意如图 5 所示。大气温湿度传感器、光照强度传感器、CO₂ 传感器集成在传感器节点上,土壤温湿度传感器插入土壤 8 cm,通过电缆接入节点。节点通过挂钩置于离地 1.2 m 高度处。传感器节点每隔

10 min 进行一次采样,完成数据采集、发送之后,自动进入休眠状态,直至下一个采样周期唤醒。

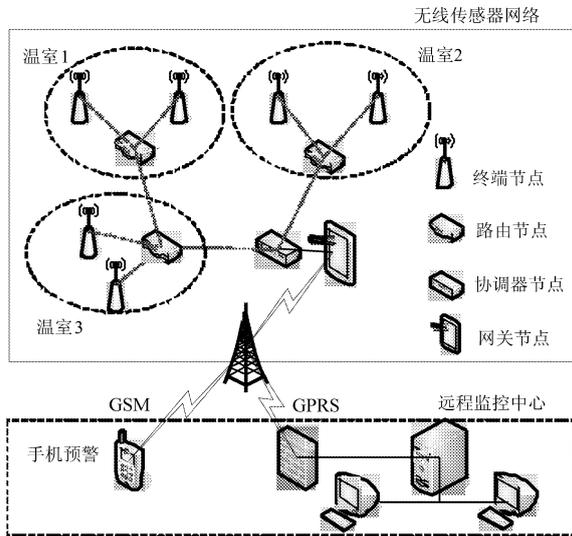


图 5 系统部署示意图

Fig. 5 System deployment diagram

4.2 测试结果

在节点之间的通信距离约为 15 m 时,系统启动后 1 min 内即可完成节点绑定,形成自组网络。当到达采样时间后,30 s 内可完成数据的发送。在网关管理平台可成功实现节点管理和数据的存储、查询等工作。当采集数据超过警戒范围时,可在 1 min 之内通过 GSM 短信发送到异地手机上。通过 GPRS 网络向远程具有公网静态 IP 地址的服务器发送数据,延时不超过 1 min。

5 结束语

在调查温室环境监测系统的特定应用需求以及分析现有监测系统存在问题的基础上,基于无线传感器网络技术,设计并实现了一种基于无线传感器网络的温室监测系统。该系统能够实现传感器节点快速自组网以及对各种温室环境因子的实时采集、传输、显示。基于嵌入式数据库 SQLite 开发的温室现场管理系统可对各种传感器节点和大量环境数据进行有效管理。系统还具有声、光、短信 3 种预警方式和基于以太网/GPRS 方式的远程通信能力;具有低成本、低功耗、无需布线、组网灵活、人机界面友好等优点;很好地克服了传统温室监控系统存在的问题,为无线传感器网络技术在温室监测领域的应用做了有益探索。通过该系统在温室示范基地的试运行,表明该系统能满足多个温室集中监测和统一管理的需求。

参 考 文 献

- Peng Li. Control system of greenhouse study [J]. Computer Engineering, 2000, 26(12): 194 ~ 195. (in Chinese)
- 2 张荣标,谷国栋,冯友兵,等. 基于 IEEE802.15.4 的温室无线监控系统的通信实现[J]. 农业机械学报,2008,39(8): 119 ~ 122.
Zhang Rongbiao, Gu Guodong, Feng Youbing, et al. Realization of communication in wireless monitoring system in greenhouse based on IEEE802.15.4 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 119 ~ 122. (in Chinese)
- 3 王风云,赵一民,张晓艳,等. 基于分段控制策略的温室智能测控系统设计[J]. 农业机械学报,2009,40(5):178 ~ 181.
Wang Fengyun, Zhao Yimin, Zhang Xiaoyan, et al. Intelligent measure-control system design based on sectional-control strategy in greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 178 ~ 181. (in Chinese)
- 4 何世钧,韩宇辉,张驰,等. 基于 CAN 总线的设施农业嵌入式测控系统[J]. 农业机械学报,2004,35(4):106 ~ 109.
He Shijun, Han Yuhui, Zhang Chi, et al. Embedded measurement and control system of greenhouse based on CAN bus [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(4): 106 ~ 109. (in Chinese)
- 5 李莉,张彦娥,汪懋华,等. 现代通信技术在温室中的应用[J]. 农业机械学报,2007,38(2):195 ~ 200.
Li Li, Zhang Yan'e, Wang Maohua, et al. Communication technology for sustainable greenhouse production [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 195 ~ 200. (in Chinese)
- 6 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报,2003,14(7):1 282 ~ 1 291.
Ren Fengyuan, Huang Haining, Lin Chuang. Wireless sensor networks [J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1 282 ~ 1 291. (in Chinese)
- 7 杜辉,陈教料. 基于蓝牙技术的分布式温室监控系统设计研究[J]. 自动化仪表,2005,26(3):19 ~ 21,27.
Du Hui, Cheng Jiaoliao. Research on design of distributed greenhouse monitoring and controlling system based on bluetooth technology [J]. Process Automation Instrumentation, 2005, 26(3): 19 ~ 21,27. (in Chinese)
- 8 句荣辉,沈佐锐. 基于短信息的温室生态健康呼叫系统[J]. 农业工程学报,2004,20(3):226 ~ 228.
Ju Ronghui, Shen Zuorui. Greenhouse ecosystem health calling system using short message [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3): 226 ~ 228. (in Chinese)
- 9 瞿磊,刘盛德,胡咸斌. ZigBee 技术及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- 10 刘卉,汪懋华,王跃宣,等. 基于无线传感器网络的农田土壤温湿度监测系统的设计与开发[J]. 吉林大学学报:工学版,2008, 38(3):604 ~ 608.
Liu Hui, Wang Maohua, Wang Yuexuan, et al. Development of farmland soil moisture and temperature monitoring system based on wireless network[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2008, 38(3): 604 ~ 608. (in Chinese)
- 11 黄智伟,邓月明,王彦. ARM9 嵌入式系统设计基础教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.

(上接第 167 页)

- 12 饶洪辉,姬长英. 基于机器视觉的成行作物精量喷洒系统研究[J]. 江西农业学报, 2007, 19(2): 63 ~ 65.
Rao Honghui, Ji Changying. Research on precision band spraying system based on machine vision [J]. Acta Agriculture Jiangxi, 2007, 19(2): 63 ~ 65. (in Chinese)
- 13 Lei Xu, Erkki Oja, Pekka Kultanen. A new curve detection method: randomized Hough transform (RHT) [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11(5):331 ~ 338.