

# 无线传感器网络在温室草莓生长环境监测中的应用

王艳平<sup>1</sup>, 冯世杰<sup>2</sup>, 罗海峰<sup>3</sup>

(1. 信阳农林学院 财经学院, 河南 信阳 464000; 2. 信阳农林学院 园艺学院, 河南 信阳 464000;  
3. 湖南农业大学 工学院, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:**针对温室草莓生长环境监测方法效率低、劳动强度大、成本高等问题,采用 CC2500 芯片和 ZigBee 技术实现无线传感器网络,在微控制单元 MSP430F5418 基础之上构建了网关节点,设计一个基于无线传感器网络草莓温室生长环境参数监测系统。结果表明:系统稳定性好、数据传输可靠,能满足温室草莓实际生产需要。

**关键词:**无线传感器网络;草莓;温室;环境监测;节点

**中图分类号:**S 23-9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)20-0201-04

我国草莓产量在世界上处于领先地位,但效益及品质却相对落后。温室是草莓的生产车间,实现温室草莓生长环境的监测是实现草莓生产高效化、品质最优化的关键环节<sup>[1]</sup>。当前我国温室草莓生长环境监测主要采用有线通讯布网方式和人工测量的方法,温室布线困难、组网复杂<sup>[2]</sup>,对温室内温湿度、二氧化碳浓度、光照强度、土壤温湿度等环境参数的测量误差大、作业效率低,难以实现大面积、远距离的实时监测<sup>[3]</sup>。

无线传感器网络(Wireless Sensor Network)集成了微电子系统、数字电路、无线射频、传感器、信息处理、现代网络及无线通信等技术<sup>[4]</sup>,能够实时监测网络覆盖区域中环境的相关信息,并能通过无线方式将信息传送到远程监控终端。近年来,不少研究者将无线通信技术应用于温室领域,如基于蓝牙的分布式温室监控系统<sup>[5]</sup>,基于 GPRS 的温室监测系统<sup>[6]</sup>。但现有的研究主要侧重于大田作物和温室某一方面数据的采集、传输等技术方面,尚鲜见温室草莓生长环境数据监测方面的研究报道。现针对当前温室草莓环境监测系统的不足,将无线传感器网络技术、ZigBee 技术和 GSM/GPRS 技术应用于温室草莓环境的监测中,实现温室草莓生长环境远程监测。

## 1 监测系统的整体设计

### 1.1 系统需求分析

要实现对草莓生长的监测,必须在温室里布置各类

无线网络传感节点,准确实时地采集草莓的生长环境数据;无线传感网络的通信方式构建要采用低成本、低功耗的无线设备。

### 1.2 系统总体结构设计

结合草莓生长特点,构建了包括无线传感器节点、网关节点和管理中心节点组成的温室草莓生长环境监测系统<sup>[7-8]</sup>。无线传感器节点部署在温室监测区域,通过 ZigBee<sup>[9]</sup>协议自动组网,将采集的温室环境数据以多跳路由方式传输至网关节点,上传到管理中心节点,从而实现温室草莓生长环境监测的目的。网关节点是具有无线通信接口的特殊设备,它连接传感器网络与外部网络,当数据传送到网关后经 Internet、GSM 等途径传送给管理节点。

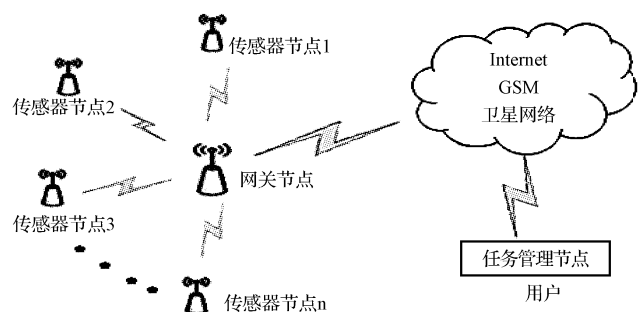


图1 监测系统整体结构

Fig. 1 The overall structure of the monitoring system

## 2 监测系统的硬件设计

系统硬件主要包括传感器节点和网关节点。传感器节点兼作传统网络的终端和路由器双重功能,主

第一作者简介:王艳平(1979-),女,硕士,讲师,现主要从事植物生长与环境等研究工作。E-mail:78793046@qq.com.  
收稿日期:2015-06-10

要完成温室环境信息数据的采集、转发和处理其它节点传送来的信息数据。网关节点负责接受传感器节点数据,并将传感器网络中的数据传到用户管理中心节点。

### 2.1 无线传感器节点硬件

无线传感器节点是无线传感网络中的硬件基础,该研究针对温室草莓生长环境监测的需要,无线传感器网络拓扑采用了树状结构,其优点是功能完善、覆盖

面积大、容易维护。无线传感器节点由传感器模块、处理模块、无线通信模块和电源模块构成。传感器模块主要完成温室草莓生长环境数据的采集;处理模块是整个节点的中枢,负责处理数据、通信联网、电源管理等服务;无线通信模块负责网络节点间的无线通信,交换控制消息和收发采集数据;电源模块负责对各节点提供电能。

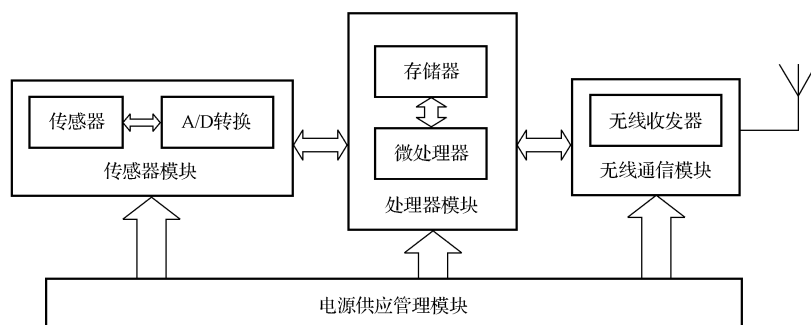


图2 无线传感器硬件结构图

Fig. 2 Wireless sensor hardware structure

**2.1.1 传感器模块** 温室草莓生长环境数据的采集是由传感器模块完成的,在保证采集数据精度的前提下,选用低功耗的传感器。土壤温湿度传感器采用密封防水的 TDR-5。温度量程  $-50\sim 50^{\circ}\text{C}$ ,精度为  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ;湿度量程  $0\sim 100\%$  RH,精度为  $\pm 1\%$  RH。空气温湿度传感器选择 SHT11,温度量程  $-40\sim 124^{\circ}\text{C}$ ,精度为  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ;湿度量程  $0\sim 100\%$  RH,精度为  $\pm 2\%$  RH。光照度传感器选用 LC-GZ1,其测量范围  $0\sim 200\ 000\ \text{lx}$ ;光谱范围  $400\sim 700\ \text{nm}$ ,测量精度  $\pm 5\%$ 。 $\text{CO}_2$  传感器选用 CGS-3100,测量范围  $0\sim 2\ 000\ \text{mg/L}$ ,测量精度  $\pm 5\%$  ( $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ )。

**2.1.2 数据处理模块** 数据处理模块是无线传感器节点的核心,任务调度、能量计算、功能协调、数据处理和存储都在这个模块的支持下完成,所以处理器应具有体积小、运行速度快、功耗低、支持睡眠模式且有足够的外部通用 I/O 端口和通信接口。传感器节点的处理器采用 ATMEGA 公司的微处理器 ATmega 128-16AU,具有片内 128 KB 的程序存储器、4 KB 的数据存储器、8 个 10 位 ADC 通道、2 个 16 位硬件定时器、高达 16 MIPS 的数据吞吐率。同时还具有 UART、SPI、I2C 总线接口,6 种不同等级的低功耗模式。

**2.1.3 无线通信模块** 无线传感器节点通信采用由 ZigBee 联盟制定的无线通信标准 ZigBee 协议,其优点是近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低速率和低成本。无线通讯模块将传感器所采集到的数据传递给网关节点,在网关节点和传感器节点之间交换控制信息。系统

采用 Chipcon 公司的 CC2500 模块,该模块符合 ZigBee 无线通信技术 2.4 GHz 标准,集 FSK/ASK/OOK/MSK 调制方式于一体,具有高灵敏度(在 2.4 kbps 时为  $-104\ \text{dBm}$ ,1% 数据包误码率)、低功耗(接收模式 2.4 kbps 时 17.0 mA,休眠模式时仅 400 nA)特点,数据传输率最高达 500 kbps。工作温度  $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ ,工作电压  $1.8\sim 3.6\ \text{V}$ 。

### 2.2 网关节点硬件

网关节点连接传感器网络与管理中心,实现信息的融合处理。同时发布监测任务,并把收集到的数据通过以太网传递到本地监控中心或通过 GSM/GPRS 网络传到远程终端。网关节点作为信息集中处理的平台,需要具有较快的处理速度和丰富的硬件外围接口资源。设计时以微控制单元 MSP430F5418 和 CC2500 为核心构建了无线传感器网络网关硬件平台,其整体结构如图 3 所示。

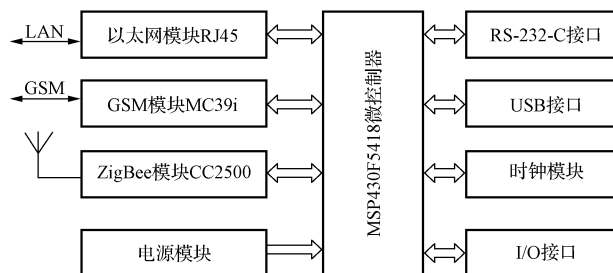


图3 网关节点结构图

Fig. 3 Gateway node structure diagram

MSP430F5418 微控制器采用 16Bit RISC 体系结构具有较高的计算性能、128 KB Flash、16 KB RAM、12 Bit AD;功耗极低运行模式下为 165  $\mu$ A、等待模式下为 2.6  $\mu$ A、断开模式下为 1.6  $\mu$ A、关机模式下为 0.1  $\mu$ A;RJ45 模块将网关接入以太网;网关的无线通信模块选用西门子公司 GSM/GPRS 双频模块 MC39i,其工作频段功耗分别为 2 W(900 MHz)和 1 W(1 800 MHz),接收速率可达 86.2 kp/s,发送速率可达 21.5 kp/s,电压为 3.3~5.5 V,能够满足温室无线传感器网络的数据传输量的需求。在 MSP430F5418 中运行着 ZigBee 协议,所以 ZigBee 射频模块选用 CC2500,从而保证无线网关节点和无线传感节点的通信模块在结构上的一致性。

### 3 监测系统的软件设计

#### 3.1 无线传感器节点软件设计

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,实现分布在草莓种植温室中的多个无线传感器节点的自组网络。系统工作时,传感器完成数据采集并传递给处理模块,处理模块进行数据处理并沿动态路由将数据转发到无线通信模块,最终无线通信模块将数据传送给网关节点。为了进一步降低节点功耗,设计了定时采集数据、定时休眠及唤醒功能。

#### 3.2 网关节点的软件平台的实现

网关节点硬件资源非常有限,需要操作系统能够高效地使用其有限的内存、处理器和通信模块。网关节点软件设计选用 IAR Embedded Workbench(EW)作为开发平台。EW 集成了编译和调试功能,同时支持 C/C++ 编程,支持 ARM、AVR、MSP430 等芯片内核平台,是专业嵌入式应用开发工具。软件功能主要包括 ZigBee 网络与 GSM/GPRS 网络的建立、监测数据的处理、信息的下行采集及用户任务处理等。在软件环境下完成对 CC2500 的编辑、调试,结合 ZigBee 协议栈通过调用 Z-Stack 协议栈提供的 API 接口函数实现设备初始化、ZigBee 网络建立和网络参数配置等功能。同时通过应用程序合理选择主芯片的工作模式,降低系统功耗。GSM/GPRS 网络的建立则是 MSP430F5418 通过接口对 MC39i 发送命令实现与 GSM/GPRS 进行数据通信。系统软件总体设计流程见图 4。

#### 3.3 监测管理系统的实现

本地监控中心是与网关节点通过 RJ45 串行口进行通信,实现人机交互、数据处理等功能。管理软件由图形化编程语言 NI LabView 2012 进行开发,LabView 内含大量的函数库和程序调试工具,能方便地调用 Access 数据库和 MATLAB 处理软件。软件由参数设置模块、数据采集模块、数据处理模块和数据管理模块等组成。参数设置模块主要实现系统参数的设置,如每个 WSN

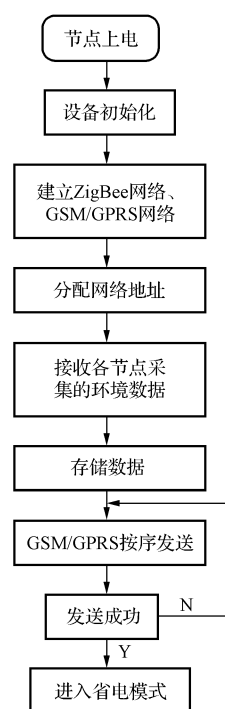


图4 网关节点软件设计流程

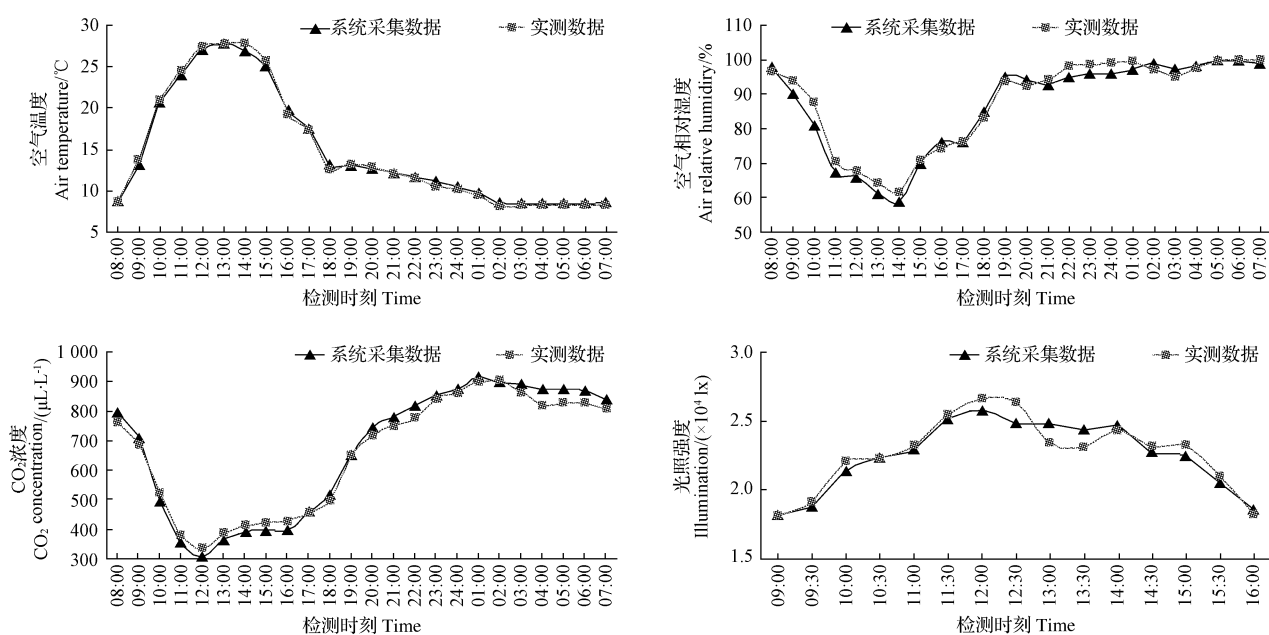
Fig. 4 Gateway node software design process

节点的工作模式设置、数据采样时间设置等;数据采集模块主要实现多通道数据同步采集、实时显示等;数据处理模块和数据管理模块主要实现对所采集草莓生长环境数据进行处理,对存入数据库的环境数据进行判断,当数据值超过温室设置的安全范围时,启动警报器、闪光灯、GSM 短信等多种预警方式。

### 4 试验结果

试验于 2014 年 11 月中旬在信阳农林学院智能温室中进行,通过对温室草莓花期的生长环境数据监测来验证系统设计的合理性和实用性。在温室内部署 12 个无线传感器节点,节点的通信半径约为 15 m,可在 2 min 内组建多跳自组网络。采集周期为 5 min,采用了 Zigbee 系统主动上报的方式采集数据,网关节点将采集数据经以太网接口 RJ45 传送至本地管理节点,同时经网关 GSM/GPRS 模块 M39i 传送直至远程监测终端上。

草莓花期对温室内环境的要求为:室内温度白天 20~25℃,夜间 8~10℃,空气相对湿度为 30%~50%;二氧化碳浓度最佳为 900  $\mu$ L/L 左右;适宜的光照强度为 20 000~50 000 lx;土壤温度应保持在 15℃左右,土壤湿度应保持在 80%左右。取每类传感器所采集数据的平均值与人工实测数据均值进行对比分析,结果表明温室内空气的温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、温室土壤温湿度及光照度的系统采集数据误差范围不大,完全能够满足实际需要(图 5)。因为温室内土壤温湿度单位时间内变化较小,没有给出曲线图。

图5 温室空气温度、空气相对湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、光照强度变化曲线图Fig. 5 Change curve of air temperature, air relative humidity, CO<sub>2</sub> concentration, illumination in greenhouse

## 5 结语

采用 MSP430F5418 微控制单元和 CC2500 模块结合 ZigBee 协议,对温室草莓生长环境监测系统的硬件、软件进行设计,使管理人员可以远程监测温室草莓生长需要的土壤温湿度、空气温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、光照强度,实现了草莓温室生长环境参数的远程监测。为草莓的自动化生产提供了一种可行、适用、低成本、低能耗的解决方案,可以为设施农业生产人员,远程、实时监测作物生长状况以提供强有力的信息化技术支撑。

### 参考文献

- [1] 邹伟,王秀. 温室环境无线远程监控系统的设计[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(5): 251-254.
- [2] 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.

- [3] 李建飞,靖文. 基于 ZigBee 和 LabView 的智能农业大棚温湿度监测系统[J]. 现代农业科技, 2013(5): 205-209.
- [4] 李叶森,徐丽佳,杜春龙,等. 基于无线数据传输的农田节水灌溉系统[J]. 农机化研究, 2012(6): 176-179.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 高峰,俞立,张文安,等. 基于无线传感器网络的作物水分状况监测系统研究与设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 107-112.
- [8] 高峰. 基于无线传感器网络的设施农业环境自动监控系统研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009.
- [9] 曾小虎,蒋永平. 基于多级路由的 ZigBee 无线温室监测系统[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 4361-4364.

## Application of Wireless Sensor Network in Environment Monitoring of Greenhouse Strawberry

WANG Yanping<sup>1</sup>, FENG Shijie<sup>2</sup>, LUO Haifeng<sup>3</sup>

(1. College of Finance and Economics, Xinyang College of Agriculture and Forestry, Xinyang, Henan 464000; 2. College of Horticulture, Xinyang college of Agriculture and Forestry, Xinyang, Henan 464000; 3. College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128)

**Abstract:** Aimed at the greenhouse for strawberry grow environment monitoring methods inefficient, labor-intensive, high cost, using CC2500 chip and ZigBee technology for wireless sensor networks, based on the MSP430F5418 microcontroller unit constructed gateway node, a environmental parameters monitoring system of greenhouse strawberries of wireless sensor networks was designed. The results showed that this system had the properties of high stability, high reliability of data transmission, and could satisfy the actual production of greenhouse strawberries.

**Keywords:** WSN; strawberry; greenhouse; environment monitoring; node