

Design of Precision Agriculture Remote Environment Monitoring System Based on WSN^{*}

CHANG Chao, XIAN Xiaodong^{*}, HU Ying

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Accurate and real-time access to environmental information for crop growth is the basic premise to implement and promote the precision agriculture. Based on the full study of the existing agricultural environmental monitoring systems and wireless sensor networks, design of precision agriculture environment remote monitoring system based on WSN was constructed in this paper, which describes the overall structure of the system and the design of software and hardware. Then we present the three-level monitoring network structure, detail the construction of wireless sensor networks and data transmission process, combine with GPRS networks to realize remote real-time interactive information. Experiments show that the system can real-time monitor the dynamic changes of the temperature of the surrounding crops and other related environmental parameters. This monitoring system may provide an effective solution for the environmental monitoring of the precision agriculture.

Key words: precision agriculture; wireless sensor network; remote interactive; MC13213; monitoring system

EEACC: 6150P

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2011.06.020

基于 WSN 的精准农业远程环境监测系统设计^{*}

常 超, 鲜晓东^{*}, 胡 颖

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

摘 要: 准确和实时的获取农作物生长的环境信息是实施和推进精准农业的基本前提。在对现有农业环境监测系统和无线传感器网络充分研究的基础上, 构建了基于无线传感器网络的精准农业监测系统的设计方案, 介绍了系统的总体结构及软硬件设计, 提出了三层监测网络结构, 详述了无线传感器网络的构建及数据传输过程, 结合 GPRS 网络实现了信息的远程实时交互。实验证明该系统能够实时监测农作物周围的温湿度等相关环境参数的动态变化, 为精准农业环境信息监测提供了一种有效的解决方案。

关键词: 精准农业; 无线传感器网络; 远程交互; MC13213; 监测系统

中图分类号: TP393

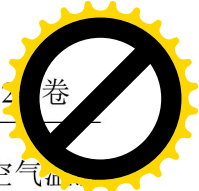
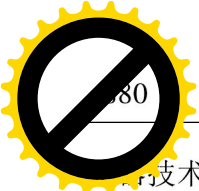
文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2011)06-0879-05

精准农业 (Precision Agriculture) 是现代信息技术发展的产物, 其含义是按照田间每一操作单元的具体条件, 准确调整土壤和作物管理措施, 优化投入, 提高经济效益, 从而节约土地资源和保护农业生态环境。农作物生长环境信息准确和实时的获取是精准农业实施中的关键一步, 也是当前精准农业实施的最大障碍所在^[1-3]。随着时代的进步、科技的发展以及人与自然和谐相处的提出, 发展精准农业, 合理利用每一寸土地, 提高土地的利用效率、单位土地的产量和经济效益是我国农业未来发展的必然方向。在国外, 精准农业已成为发达国家合理利用农

业资源、提高农产品产量和品质、降低生产成本、改善生态环境和农业可持续发展的最富有吸引力的前沿热点^[4]。而我国在这方面的研究时间短、科技投入少、推广范围及效果十分有限, 在现有的精准农业项目中, 监测参数不全面, 实时性差, 并且, 多采用有线方式对监测网络进行布置, 网络设备成本高、布线工作量大、监测设备不易灵活配置、系统可靠性低、维护困难, 难以实现对整个种植区域的全面覆盖, 不能满足精准农业监测系统的性能要求^[5-9]。

无线传感器网络 (WSN, Wireless Sensor Networks) 是一种全新的网络化信息获取与处理技术, 融合了传



技术、信息技术和网络通信技术,由部署在监测区域内大量廉价微型传感器节点组成,具有自组网、动态性强、多跳路由和多路径数据传输等功能,传感器节点成本低,灵活性高^[10],可实现对整个农作物种植区域进行大范围的节点布置,从而保证数据采集的深度和广度,为实现对农作物生长情况的全面监测提供大量数据支持。论文在对现有农业环境监测系统和无线传感器网络充分研究的基础上,针对精准农业的实际需求,设计以无线传感器网络技术为基础的农作物区域环境信息无线监测网络,结合 GPRS 通信技术,实现对农作物生长环境的实时远程监测,为精准农业环境信息监测提供了一种有效的解决方案。

1 监测系统结构

设计的精准农业监测系统总体结构如图 1 所示。监测系统由无线传感器监测网络、无线网关和远程监控中心三部分组成。其中,无线传感器监测网络由多个部署于监测区域的簇网络构成,一个簇头节点和若干簇节点组成一个簇网络。为了得到农作物生长环境的实时信息,在监测区域安放传感器节点。各种农作物的生长发育对土壤水分有不同的要求,缺水不仅影响作物的光合作用,还影响农产品的品质;相反,过分灌溉影响农作物的呼吸进而影响其生长,同时,还造成水资源的浪费,因此,土壤水分含量是精准农业监测的重要指标,通过在土壤中埋放土壤水分传感器,采集并以无线方式传输出土壤水分含量;环境温度的高低直接影响农作物生长速度与发育情况,同时,空气湿度也是影响农作物生长发育的重要因素,空气湿度过高,会抑制植株正常的水蒸腾作用,使植株体因散热不及时而“烧伤”组织或器官,空气干燥不仅影响植株进行光合作用,还易诱发各种病虫害,所以,在农作物周围安放空气温湿度传感器显得尤为重要;光照是农作物进行光合作用的基本条件,为了能及时掌握农作物生长环境的光照强度,在农作物上方安放光照强度传感器实时监测环境光照强度。监测过程中,每个监测区域

组成一个簇网络,簇节点采集土壤水分含量、空气湿度与光照强度,并以无线方式汇聚到簇头节点,簇头节点对数据进行去冗余处理,转发到与无线网关相连的协调器,无线网关把汇集的信息打包处理后,以自定义的数据格式通过 GPRS 网络传输到远程监控中心;远程监控中心对收到的数据进行处理、显示,从而实现对农作物生长环境的实时监测。

2 系统的硬件设计

2.1 传感器节点硬件设计

传感器节点由低功耗无线单片机 MC13213、信息采集模块、电源管理模块等部分组成。系统节点集成度高、功耗低、体积小、抗干扰能力强、灵敏度高,发射功率为 4 dBm,通信距离为 30 m ~ 100 m。传感器节点硬件结构如图 2 所示。

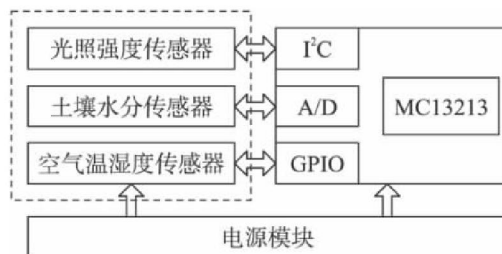


图2 传感器节点硬件结构

为了提高系统的集成度,减少外围电路,提高系统的可靠性,同时满足连接不同传感器时的硬件接口要求,本系统采用飞思卡尔公司推出的 MC13213 无线单片机,它内部集成了 HCS08 MCU 和符合 ZigBee 技术的 2.4 GHz 无线收发器,采用 SIP 系统单封装,内含 60 kB FLASH 及 4 kB RAM,并自带嵌入式闪存,工作电压范围:2.0 V ~ 3.4 V,集成 8 bit 外部中断、8 通道 10 bit 模数转换、低压检测 LVD 和看门狗定时器,优良的无线接收灵敏度(- 94 dBm)和强大的抗干扰性能,集成收发/接收(Tx/Rx)开关,外围电路简单,可编程引脚丰富,并包含 CAN、UART、I²C 等常用接口^[11]。信息采集模块中,为了满足对传感器信息采集的精度以及传感器工作的低电压低功耗要求,土壤水分传感器采用南通中天精密仪器有限公司推出的 MP-306 土壤水分传感器,它与 MC13213 的 A/D 转换接口相连;空气温湿度传感器采用瑞士 Sensirion 公司推出的数字温湿度传感器 SHT10,该温湿度传感器集成度高,接口电路简单,功耗低,性价比高,它与 MC13213 通过 GPIO 口相连;和 MC13213 的 I²C 接口相连的光照强度传感器采用 TAOS 公司推出的光照强度数字传感器 TSL2561,该传感器工作性能稳定,工作电压范围广,功耗低,完全能满足系统对光照强度传感器的性能要求。电源管理模块包括:4.5 V 组

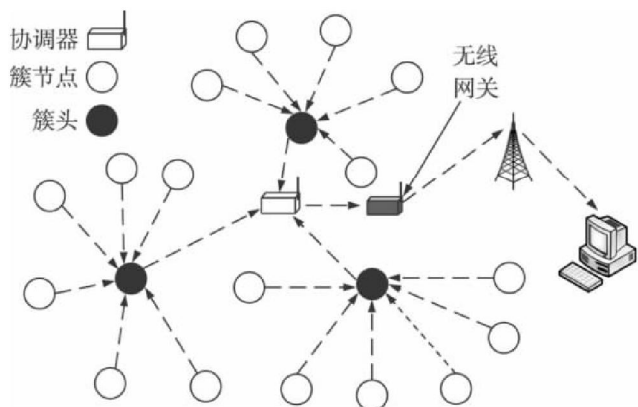
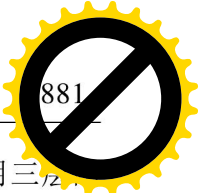
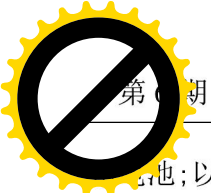


图1 系统总体构成



电池;以 HT7733 为核心的电源转换模块,为信息采集模块以及 MC13213 提供 3.3 V 电压。

2.2 无线网关节点硬件设计

本系统的无线网关负责监测数据的汇聚、处理、远程传输,承担监测区域与远程监控中心的信息交换任务。网关节点采用电池供电,节点能量有限,因此,需要采用工作电压低、工作电流小并且功耗低的 MCU 以及 GSM/GPRS 芯片,同时,网关节点处理的数据量大,需要具备较强的数据处理能力,所以,本系统以 Samsung 公司推出的 32 bit ARM9 微处理器 S3C2410 为无线网关核心,由于数据传输量大,所以采用华为公司推出的高集成度 GSM/GPRS 芯片 GTM900C。S3C2410 处理器拥有独立的 16 kB 指令 Cache 和 16 kB 数据 Cache,支持 TFT 的 LCD 控制器,NAND 闪存控制器,3 路 UART,4 路 DMA,4 路带 PWM 的 Timer,8 路 10 bit ADC,以及丰富的 I/O 接口,其最高运行频率可达 203 MHz^[12]。GTM900C 芯片和 S3C2410 的 UART1 相连,其内嵌 TCP/IP 协议栈,使用简单,易于集成,工作电压:3.3 V~4.7 V,工作电流小,功耗低,通过 AT 指令对其编程,实现 SMS、传真信息和语音传输。无线网关硬件结构如图 3 所示。

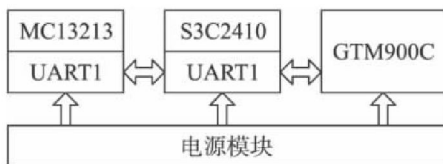


图 3 无线网关硬件结构

3 系统的软件设计

软件设计采用飞思卡尔公司推出的 CodeWarrior 集成开发环境,结合与 MC13213 配套的无线点对点 SMAC 协议,自主开发网络层和应用层,组成监控系统的传感器网络协议栈,实现无线分簇网络的构建、数据的采集、传输、汇聚与处理,结合无线网关,实现本地数据的远程传输和远程监控。

3.1 传感器网络的软件设计

无线传感器网络有三种拓扑结构,分别是:星型拓扑,网状拓扑和簇树结构拓扑。星型拓扑具有组网简单、成本低和电池使用寿命长的优点;但网络覆盖范围有限,可靠性不及网状拓扑结构,一旦中心节点发生故障,所有与之相连的网络节点的通信都将中断。网状拓扑具有可靠性高、覆盖范围大的优点;缺点是电池使用寿命短、管理复杂。簇树结构拓扑综合了以上两种拓扑的特点,其组网方式使 ZigBee 网络更加灵活、高效、可靠。为了提高传感器网络数据传输的可靠性,减少能量损耗和数据丢包,监测系统采

用簇树结构作为网络拓扑结构。本系统采用三层网络架构,分别是:簇头和簇节点组成的底层簇网络,负责环境信息的采集和传输;簇头和协调器组成的中层星型网络,负责环境信息的汇聚以及处理;无线网关独立组成的上层网络,实现数据的远程传输。底层簇网络的构建过程如下:簇头发送建网的信标帧,簇节点接收到该信标帧后,对信标帧进行分析、判断与处理,由于在监测区域内包含多个簇网络,为了减少发射功率、降低能量消耗、提高数据传输的可靠性,簇节点选择信号强度最大的簇头作为其父节点加入该簇网络,发送入网请求,簇头对接收到的簇节点入网请求帧分析处理,并保存该簇节点的 ID,之后再回发同意入网帧。簇网络建立流程如图 4 所示。中层星型网络以协调器为中心,以底层簇网络的簇头节点为周边节点,协调器负责接收周边节点发送的信息,并对数据进行去冗余处理,从而减少上层网络的数据发送量。信息传输过程如下:首先,簇节点采集环境信息,包括土壤湿度、空气温湿度以及光照强度,并按自定义格式建立信息数据包,其包括:该传感器节点 ID、下一目的节点 ID、数据类型以及相应数据值,其中,簇节点建立的数据包中的下一目的节点 ID 即为所在簇网络的簇头 ID。簇节点发送数据包,簇头接收到数据包后,修改其中的下一目的节点 ID 为中层网络的协调器 ID,之后再转发数据包,最终实现环境信息的无线传输以及协调器节点对信息的汇聚。信息传输过程如图 5 所示。

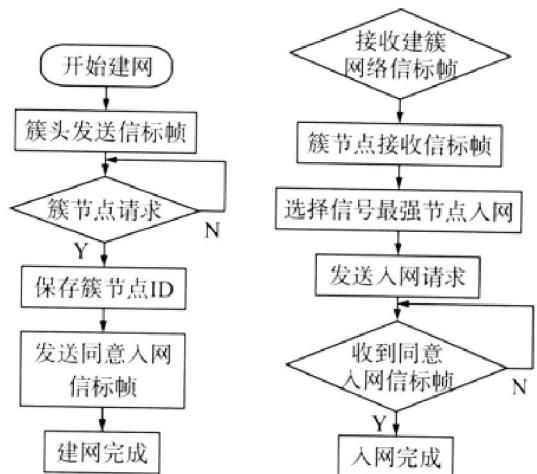


图 4 簇网络建立流程

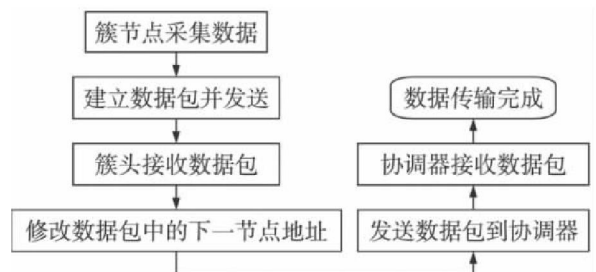
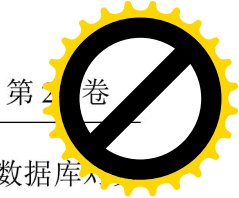
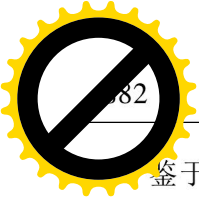


图 5 信息传输过程



鉴于精准农业的监测信息变化较慢,频繁的采集监测信息使数据冗余度高,而高冗余度数据的无线发送不仅影响节点能量的利用效率,还缩短了节点的生命周期。为了减少数据的采集与发送,提高节点能量的利用效率延长节点的生命周期,本系统簇节点采用休眠唤醒机制。簇网络建立后,簇节点在休眠状态只运行定时器,定时中断唤醒节点后,节点采集并发送一次监测信息,之后再次进入休眠状态。为了避免数据丢包,簇头节点一直处于监听状态保证数据传输的可靠性和实时性。

3.2 无线网关的软件设计

无线网关节点中,通过 S3C2410 的串口实现对 GTM900C 的 AT 指令编程,从而实现 GPRS 网络的连接、数据的传输、网络的维护以及网络的不断线连接,为数据的实时可靠传输提供保障。鉴于数据传输的可靠性以及 GPRS 网络的覆盖范围,无线网关节点选择中国移动作为服务提供商;由于传输的监测数据由数字和英文字母组成,并且数据传输量大,所以选择 text 信息传输模式。监测区域数据采集与传输的时间具有不确定性,而 GPRS 网络在没有数据传递的情况下,一次连接只能维持 2 s~3 s 的网络畅通,为了保证数据的实时、可靠传输,彻底改变网络连接的间断性,无线网关以发送心跳包的方式保持网络连接,即在没有监测数据传输时,每隔 1 s 发送一个空字节,从而实现无线网关的永远在线,为随时可能出现的数据传输做好准备。无线网关信息传输流程如图 6 所示。

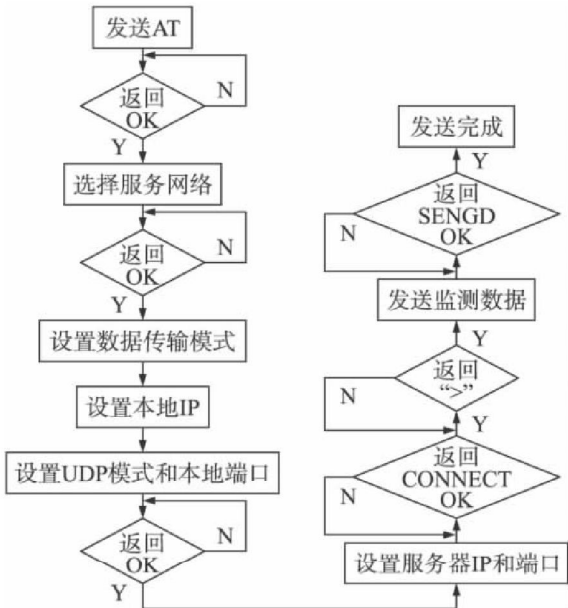


图 6 无线网关信息传输流程

4 远程监控系统的实现与监测实验

4.1 远程监控系统的实现

远程监控中心以 Microsoft Visual Studio 2008 作

为开发平台,以 Microsoft SQL Server 2005 数据库,据进行管理,通过调用 System. Threading 命名空间里的 Thread 类,实现数据的实时接收、存储以及动态的图形化显示。远程监控中心主要包括以下功能模块:数据接收模块、数据存储模块、数据显示模块。

(1) 数据接收模块 基于 Socket 编程技术,监听本地 IP 地址的固定端口,在和无线网关节点连接成功后,根据自定义的数据包格式,接收并提出采集的信息;

(2) 数据存储模块 对接收到的数据包进行解析后,以采集时间和数据种类组成主键,从而把数据存储到数据库相应表格中;

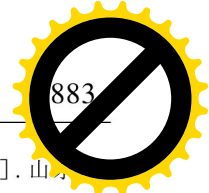
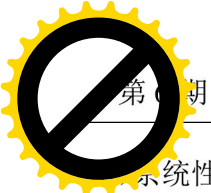
(3) 数据显示模块 对解析后得到的数据,通过第三方 Chart 控件,对接收到的信息进行分类实时动态曲线化显示。

4.2 监测实验

实验测试选择在郊区一彩椒蔬菜大棚里进行,通过在大棚中安放土壤水分传感器节点、空气温湿度传感器节点、光照强度传感器节点以及无线网关构建监测网络,实时采集环境信息,并传输到远程监控中心存储、处理以及实时显示。其中,传感器节点 60 个,簇头节点 12 个,协调器节点 1 个。彩椒最佳生长环境为:土壤水分 67%、湿度 65%、白天温度 25 ℃、夜间 16 ℃,光照强度 2 万 5 千勒克斯,在后台监控中心,设置相应的变化阈值(土壤水分 73%,湿度 70%,温度 30 ℃,光照强度 3 万勒克斯),当监测结果超过设定的相应最佳参数阈值时,则在报警节点列表中,红色显示参数类型以及节点编号。系统还可以选择需要的参数数据导出到 Excel 表中,供农业专家进行研究。为了测试系统的性能,在实验过程中人为地对温湿度传感器进行了加热,从实验结果上看温度变化能够很及时地在监测系统中反映出来。精准农业环境监测系统数据查询界面如图 7 所示。实验结果表



图 7 精准农业环境监测系统数据查询界面



系统性能稳定,并能实现对土壤水分、温湿度和光照强度的实时监测,完全满足农作物环境信息实时监测系统的性能要求。

5 结束语

将无线传感器网络这一最新的 IT 技术应用于精准农业监测,具有传统农业监测方式无法比拟的优势。本文提出了基于无线传感器网络的精准农业环境信息实时监测系统的设计方案。详细介绍了系统的总体结构以及各部分的软硬件设计,采用飞思卡尔公司推出的 MC13213 系统芯片以及配套的 SMAC 无线协议,并在此基础上设计适用于精准农业监测的网络协议及应用软件,实现监测区域无线传感器网络的构建与信息的传输,结合 GPRS,实现数据的远程传输与监测。本系统构建成本低,扩展性强,灵活性大、适用范围广、性价比高,为精准农业环境信息监测提供了一种有效的解决方案。

参考文献:

- [1] 张瑞瑞,陈立平. 基于传感器网络的田间信息获取系统 [J]. 计算机科学,2009,36(4A):78-80.
- [2] 聂兵. 我国精准农业的实施路径及其方向选择 [D]. 山东农业大学经济管理学院,2009.
- [3] 吕立新,汪伟,卜天然. 基于无线传感器网络的精准农业环境监测系统设计 [J]. 计算机系统应用,2009,18(8):5-9.
- [4] 孟志军,赵春江,王秀,等. 基于 GPS 的农田多源信息采集系统的研究与开发 [J]. 农业工程学报,2003,19(4):13-18.
- [5] McKinion J M, Turner S B, Willers J L, et al. Wireless Technology and Satellite Internet Access for High-Speed Whole Farm Connectivity in Precision Agriculture [J]. Agriculture System, 2004, 81(3):201-212.
- [6] 刘淑珍,苗香雯,崔绍荣. 设施农业与农业可持续发展战略 [J]. 农机化研究,2003,(4):16-19.
- [7] 牛孝国,朱桂芝,夏宁,等. 基于无线传感器网络的农业现场数据采集研究进展 [J]. 中国农学通报,2009,25(24):515-519.
- [8] Akyildiz I F, Su W, Sankarsubramaniam Y, et al. Wireless Sensor Networks; a Survey [J]. Computer Networks, March. 2002, 38:393-422.
- [9] 马祖长,孙怡宁,梅涛. 无线传感器网络综述 [J]. 通信学报,2004,25(4):114-124.
- [10] 王殊,阎毓杰,胡富平,等. 无线传感器网络的理论及应用 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [11] Freescale Semiconductor. The Data Sheet of MC13213 [EB/OL]. [2009-08-01]. <http://www.freescale.com>.
- [12] 徐英慧,马忠梅,王磊,等. ARM9 嵌入式系统设计——基于 S3C2410 与 Linux [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.



常 超(1985-),男,湖北枣阳人,重庆大学硕士研究生,研究方向为无线传感器网络,嵌入式系统;



鲜晓东(1966-),女,重庆人,重庆大学副教授,工学硕士,研究方向为无线传感器网络及其应用、移动机器人控制、信号处理等。