

doi: 10.3969/j.issn.1674-8530.2013.01.014

基于无线传感器网络的农田灌溉远程监控系统

郁晓庆¹, 吴普特², 韩文霆², 张增林³

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)



郁晓庆

摘要: 为了实现自动灌溉控制, 节约农田灌溉用水, 设计了一套集农田土壤温湿度监测、泵和电磁阀控制、远程管理的灌溉远程监控系统. 该系统以 433 MHz 频率为核心开发无线传感器网络节点, 完成农田土壤温湿度实时监测. 基于 ARM9 微处理器 S3C2410 构建基站, 对比已存储在数据库中的限值, 由基站控制泵和电磁阀的启闭, 并通过 GPRS 无线传输方式进行灌溉系统的远程实时监控, 远程监控中心采用 Citect 组态软件实现数据、人机界面管理. 试验中, 选用 4 组无线传感器网络节点, 分别测得 25 cm 深度土壤的温度和湿度, 数据采集时间间隔为 30 min, 基站根据土壤信息控制泵与阀门的开闭, 并通过 GPRS 无线网络传输至远程监控中心. 试验表明系统使用灵活、功耗低、人机界面友好, 能较好地满足农田灌溉远程监控的应用需求.

关键词: 远程监控系统; 无线传感器网络; 基站; 自动控制; 灌溉

中图分类号: S277.9; TV148 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2013)01-0066-04

Remote farmland irrigation monitoring system based on wireless sensor networks

Yu Xiaoqing¹, Wu Pute², Han Wenting², Zhang Zenglin³

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A remote irrigation monitoring system, in which soil moisture monitoring, pump and electromagnetic valve control and data remote management are integrated, was designed to realize automatic control on irrigation for saving water. In the system, the wireless sensor network nodes were developed with the 433 MHz core frequency to accomplish a real-time monitoring for soil temperature and moisture in farmland. Base stations were built based on ARM9 microprocessor S3C2410, where the operation of pumps and electromagnetic valves was controlled by comparing with the stored thresholds in the database. The remote real-time monitoring of irrigation system was conducted through GPRS wireless transmission, and the Citect configuration software was used in the remote monitoring center for the data and HMI (human-machine interface) management. In the application, four groups of wireless sensor nodes were chosen. The soil temperatures and moistures in 25 cm depth were acquired by the system in the 30 min data sampling interval. The operation of the pumps and valves in the base stations was controlled according to the soil information just obtained. This information was also transmitted to the remote monitoring center through the GPRS wireless network. It was showed that the system is flexible in use, low power consumption and with a friendly HMI. It can better meet the demand on application of farmland ir-

收稿日期: 2012-03-07

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD29B08); 教育部、国家外国专家局“111”计划项目(B12007)

作者简介: 郁晓庆(1982—)女, 山西朔州人, 博士研究生(yuxiaoqing2006@163.com), 主要从事节水灌溉智能检测与监控研究.

吴普特(1963—)男, 陕西武功人, 研究员, 博士生导师(通信作者: gjzwpt@vip.sina.com), 主要从事水资源高效利用研究.

rigation remote monitoring.

Key words: remote monitoring system; wireless sensor networks; base stations; automatic control; irrigation

随着电子技术的发展、水资源的日趋紧张,农田灌溉自动控制技术也在不断进步,而数据采集是灌溉控制系统的核心问题^[1].国外在灌溉控制方面发展起步早,自动化程度较高,已形成了比较完善的灌溉控制体系.国内在一些农田墒情监测方面也取得了很大的进展,但起步较晚,相关设备也较落后,与国外先进水平相比还有一定的差距^[2].因此,设计一种能够快速、准确、实时采集农田信息,完成对农田施水量的实时监测和控制,实现精量灌溉势在必行^[3-4].

目前,基于无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)的灌溉控制系统^[5-6]研究和推广比较广泛和成熟,而将具有无线收发模块的传感器设备完全埋入农田土壤中是 WSN 的一种扩展延伸.感应模块感知到数据后,通过无线方式发送数据.该无线传感器网络具有隐藏性强、易于布设、数据及时、可靠性强、覆盖范围大、容易升级等优点^[7-8].

文中针对当前农田灌溉监控系统的不足,将无线传感器网络技术^[9]、GPRS 通信技术和嵌入式技术相结合,设计一种低功耗、低成本、传输可靠、人机界面友好的农田灌溉远程监控系统.

1 系统总体设计

系统由远程监控计算机、GPRS 模块、基站和无线地下传感器网络组成.基于 WSN 监测网络^[10-11],采用 10 个微型的 WSN 节点作为土壤温湿度感知终端,节点通过无线射频完成信息的采集和传输,将数据汇聚到基站,基站对比已存储在数据库中的限值来控制泵和电磁阀的启闭,然后经由 GPRS 通信网络将数据发送到远程监控中心.该系统结构设计如图 1 所示.

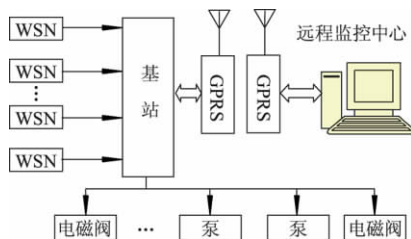


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of system structure

2 系统功能模块设计

2.1 WSN 节点设计

WSN 节点作为传感器网络的硬件平台,具有采集、处理、融合信息以及无线传输等功能,是农业信息采集系统的基本构成单元.无线传感器节点的设计采用模块化的设计方法,整个节点体系结构由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块组成.文中设计的传感器节点^[12]硬件结构框图如图 2 所示.

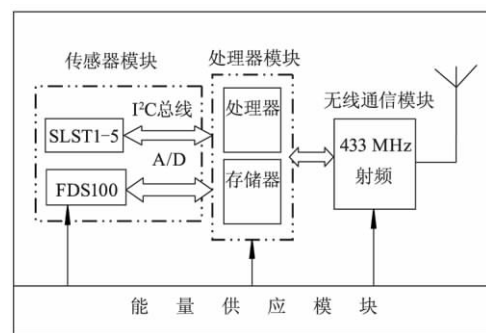


图 2 无线传感器网络节点的体系结构

Fig. 2 Architecture of wireless sensor network nodes

2.1.1 传感器

节点通过土壤温湿度传感器来完成土壤参数的信息采集.设计所采用传感器及其技术参数:数字型土壤温度传感器 SLST1-5,待机电流 $1 \mu\text{A}$,测量电流 1.5 mA ,测量精度 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$,接口为 I^2C ;模拟型土壤湿度传感器 FDS100,工作电流 15 mA ,精度小于等于 3%,输出为模拟信号.

2.1.2 处理器模块

MSP430 单片机是 TI 公司推出的 16 位系列主要控制芯片,在电池供电的低功耗应用中具有独特的优势.MSP430 具有非常高的集成度,通常在单个芯片上集成有 12 位的 A/D 比较器、多个定时器、片内 USART、看门狗、片内振荡器、大量的 I/O 端口及大容量的片内存储器.该单片机性价比高、功能多、抗干扰能力强,串口编程方便.

2.1.3 无线通信模块

H8410 无线模块是一款高度集成半双工中功率的无线数传模块,嵌入高速单片机和高性能射频芯

片. 模块采用完全透明数据打包传输控制方式, 数据传输可靠稳定. 其工作频段 433 MHz, 信道速率 2 400 ~ 57 600 bps, 宽电压 8 ~ 24 V DC 设计, 最大发射功率 100 MW, 功耗低.

2.2 基站设计

基站选择基于 ARM920T 内核的 16/32 位 RISC 嵌入式微处理器 S3C2410. ARM920T 是基于 ARM9TDMI 内核的处理器宏核, 包括存储器管理部件 MMU、双重分离的 Cache、外部协处理器接口以及调试接口等, 集成了 Samsung 的 S3C2410 处理器, 16M 的 FLASH 和 64M 的 SDRAM, JTAG2ICE 调试接口等. 基站负责对无线地下传感器网络节点采集的数据进行汇总、分析、处理、存储和显示. 其硬件结构可分为 RF 收发模块、核心控制电路、信息处理、数据存储、液晶显示模块和电源等部分组成, 结构如图 3 所示.

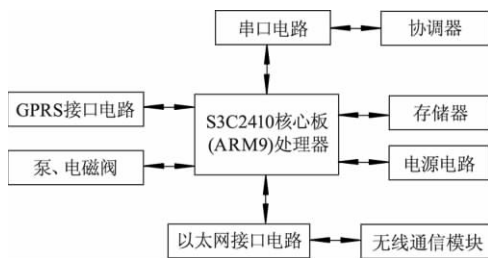


图 3 基站结构图

Fig. 3 Structure of base station

整个传感器网络采集的数据最终汇聚到协调器节点上^[13], 文中将协调器节点嵌入到基站中, 协调器通过串口和基站进行数据通信. 基站采用太阳能供电, 功率为 10 W. 基站还配有 GPRS 通信单元, 主要由 SIMCOM 公司的 SIM100 模块组成, 以便将信息无线传送至远程监控中心. 通信采用重发确认的工作模式, 即没有收到信息就立即重发, 直到信息确认收到为止, 以提高信息传输的实时性.

3 系统软件

灌溉远程监控系统中, 包含与远程监控中心相连接的基站和采集土壤温湿度信息的传感器节点. 软件设计中, 采用中断的方式完成灌溉系统中土壤温湿度信息的采集与传送. 传感器节点打开电源, 初始化、建立通信链接. 节点对无线信道进行检测, 当收到中断请求时, 产生中断进行处理, 后进入休眠状态. 传感器节点周期性地监听信道, 再次检测到状态

突变后, 会从低功耗状态唤醒, 及时采集此时的参数并发送出去. 基站采用基于 ARM 内核的 Linux 操作系统完成采集的土壤温度和湿度信息的处理和存储, 控制泵和电磁阀的启闭, 并通过 GPRS 将信息传送到远程监控中心. 远程监控中心通过无线通信方式 Citect 组态软件对采集的土壤温度和湿度数据进行有效管理, 传感器节点的程序流程图如图 4 所示.

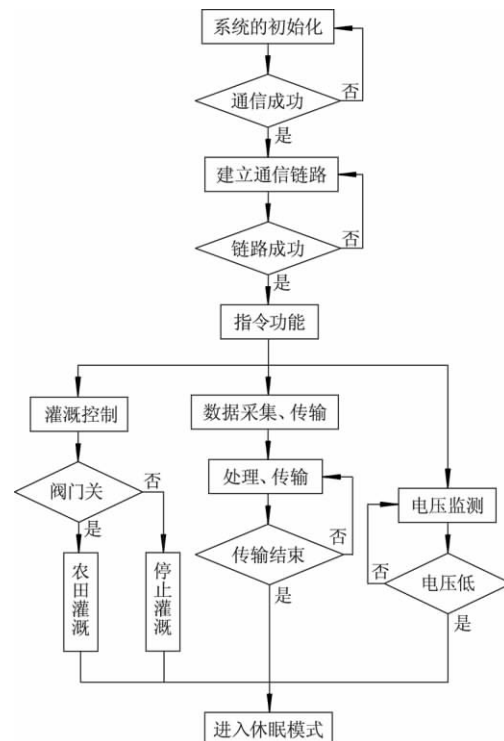


图 4 传感器节点程序流程图

Fig. 4 Flow chart of sensor nodes

4 用户管理平台

农田灌溉远程监控中心为 1 台具有公网 IP 地址的计算机, 主要功能是监控农田现场设备和土壤参数动态变化, 是管理者与生产现场之间的纽带. 因此, 管理软件需要友好的人机界面和丰富的数据显示和处理能力. 文中采用澳大利亚 CiT 公司研制开发的 Citect 组态软件, 该软件支持实时数据库操作, 有高效完整的 Cicode 监控函数集和良好的开发环境.

系统以图形画面的方式显示, 有动态的无线传感器网络节点的土壤温度、湿度信号显示, 泵、阀门运行状态和报警指示灯显示. 其中, 土壤温湿度显示和 4 个传感器节点的系统远程监控界面如图 5 所示. 采集的土壤温度和湿度如图 6 所示.

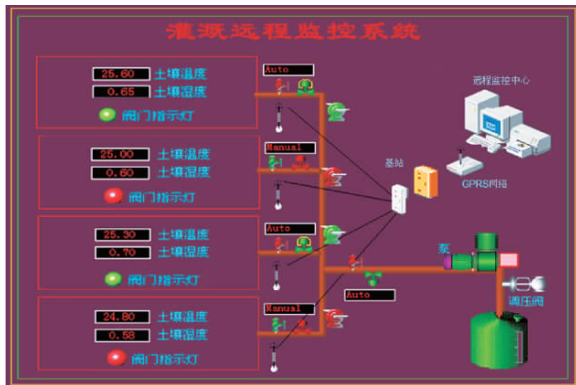


图 5 土壤温湿度和远程监控画面

Fig. 5 Remote monitoring screen of temperature and moisture

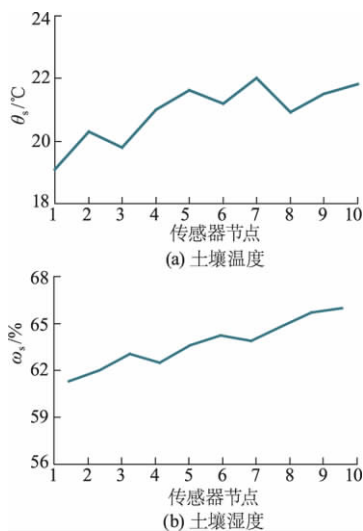


图 6 采集的土壤温度和湿度

Fig. 6 Soil temperature and moisture acquired

5 系统测试

5.1 测试部署

以陕西杨凌西北农林科技大学灌溉试验基地为研究区,该试验地位于陕西杨凌区北部,北纬 34°18',东经 108°5',平均海拔高程 480 m,试验面积为 100 m² 滴灌。在试验田 25 cm 深处放置节点 10 个,基站设立在试验田中央,系统部署示意图如图 7 所示。传感器节点每隔 30 min 进行 1 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 7 系统部署示意图

Fig. 7 System deployment diagram

5.2 测试结果

无线传感器节点间的通信距离约为 20 m 时,系统在 2 min 内可以形成自组网络。采样时,30 s 内可以完成数据的发送。基站可成功完成节点管理和数据对比工作,实现对泵和电磁阀的开启和关闭。通过 GPRS 网络向远程监控中心发送数据,延时不超过 1 min。

6 结 论

1) 该系统具备良好的可操作性,性能可靠,工作稳定,实现了低成本、低功耗、智能化、无需布线、人机界面友好等目的,弥补了传统灌溉监控系统存在的高功耗、低智能化以及数据采集周期长的缺点,为无线传感器网络技术在灌溉控制领域的应用奠定了良好的技术研究和推广应用基础。

2) 该系统比传统的独立监测精量灌溉控制系统节水 30%,节能 35%,区域灌溉控制精度提高了 60%。

3) 系统对于推进节水灌溉控制技术的发展、研究作物灌溉制度具有重要意义,为实现智能化精量灌溉提供了可借鉴的技术研究样板。

参考文献(References)

- [1] 李楠,刘成良,李彦明,等.基于 3S 技术联合的农田墒情远程监测系统开发[J].农业工程学报,2010,26(4):169-174.
Li Nan, Liu Chengliang, Li Yanming, et al. Development of remote monitoring system for soil moisture based on 3S technology alliance [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 169-174. (in Chinese)
- [2] 张增林,郁晓庆,拓延生.基于混合 WSN 的智能灌溉远程 SCADA 系统[J].节水灌溉,2012(1):57-60.
Zhang Zenglin, Yu Xiaoqing, Tuo Yansheng. Remote SCADA system for intelligent irrigation based on hybrid WSN [J]. Water Saving Irrigation, 2012(1): 57-60. (in Chinese)
- [3] 韩安太,何勇,陈志强,等.基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统[J].农业机械学报,2011,42(9):173-180.
Han Antai, He Yong, Chen Zhiqiang, et al. Design of distributed precision irrigation control system based on wireless sensor network for tea plantation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 173-180. (in Chinese)

(下转第 80 页)

- quirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 71 (3): 225 - 242.
- [8] Patanea C , Tringali S , Sortinob O. Effects of deficit irrigation on biomass , yield , water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions [J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129 (4): 590 - 596.
- [9] Mukherjee A , Sarkar S , Chakraborty P K. Marginal analysis of water productivity function of tomato crop grown under different irrigation regimes and mulch managements [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 104: 121 - 127.
- [10] Zotarelli L , Scholberg J M , Dukesa M D , et al. Tomato yield , biomass accumulation , root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil , as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling [J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(1): 23 - 34.
- [11] Zhang Hexi , Chi Daocai , Wang Qun , et al. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(6): 921 - 930.
- [12] 邵光成 , 郭瑞琪 , 蓝晶晶 , 等. 避雨栽培条件下番茄灌溉方案熵权系数评价 [J]. *排灌机械工程学报*, 2012, 30(6): 733 - 737.
- Shao Guangcheng , Guo Ruiqi , Lan Jingjing , et al. Entropy weight coefficient evaluation of irrigation and drainage scheme based on analysis of quality and rain ingredients of tomato [J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2012, 30(6): 733 - 737. (in Chinese)

(责任编辑 谈国鹏)

(上接第 69 页)

- [4] Khichar R , Upadhyay S S. Wireless sensor networks and their applications in geomatics: Case study on developments in developing countries [J]. *Applied Geomatics*, 2012, 2(2): 43 - 48.
- [5] Ole Green , Esmail S Nadimi , Victoria Blanes Vidal , et al. Monitoring and modeling temperature variations inside silage stacks using novel wireless sensor networks [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 69(2): 149 - 157.
- [6] 郁晓庆 , 张增林. 基于 STC89C52 和 GSM 的灌溉远程监控系统 [J]. *节水灌溉*, 2011(4): 55 - 57.
- Yu Xiaoqing , Zhang Zenglin. Remote monitoring system for irrigation based on STC89C52 and GSM [J]. *Water Saving Irrigation*, 2011 (4): 55 - 57. (in Chinese)
- [7] Li Li , Mehmet C Vuran , Ian F Akyildiz. Characteristics of underground channel for wireless underground sensor networks [C]//Proceedings of the Sixth Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop. Corfu , Greece: [s. n.] 2007: 12 - 15.
- [8] Ian F Akyildiz , Erich P Stuntebeck. Wireless underground sensor networks: Research challenges [J]. *Ad Hoc Networks*, 2006, 4(6): 669 - 686.
- [9] A R Silva , Mehmet C Vuran. Communication with above devices in wireless underground sensor networks: An empirical study [C]// Proceedings of the Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference. Cape Town [s. n.], 2010: 23 - 27.
- [10] Mehmet C Vuran , Ian F Akyildiz. Channel model and analysis for wireless underground sensor networks in soil medium [J]. *Physical Communication*, 2010, 3(4): 245 - 254.
- [11] Ritsema C J , Henk K , Leon K. A new wireless underground network system for continuous monitoring of soil water contents [J]. *Water Resources Research*, 2009, 46(4): 1 - 9.
- [12] 张西良 , 张卫华 , 李萍萍 , 等. 基于 GSM 的室内无线传感器网络簇头节点 [J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2010, 31(2): 196 - 200.
- Zhang Xiliang , Zhang Weihua , Li Pingping , et al. Head node of indoor wireless sensor network based on GSM [J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2010, 31(2): 196 - 200. (in Chinese)
- [13] López Riquelme J A , Soto F , Suardiaz J , et al. Wireless sensor networks for precision horticulture in Southern Spain [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 68(1): 25 - 35.

(责任编辑 谈国鹏)