

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.09.039

# 基于无线传感器网络的稻田信息实时监测系统\*

孙宝霞<sup>1,2</sup> 王卫星<sup>1,3</sup> 雷刚<sup>1</sup> 洪炳星<sup>1</sup> 张雄<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 广东工程职业技术学院, 广州 510520;

3. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

**摘要:** 针对农田环境信息采集过程中监测周期长、环境干扰大等特点,设计了一种基于混合天线无线传感器网络稻田环境信息实时监测系统,采用分簇路由协议进行组网,为不同类型的节点配置不同类型的天线,并使用转台控制汇聚节点定向天线的方向,以扩大网络的覆盖范围和提高系统的稳定性。基于该系统进行长时间稻田组网试验,对网络丢包率和稻田环境参数采集准确性进行测试,试验结果表明,系统运行稳定、测量准确,网络数据平均丢包率为0.44%,稻田空气温度、空气相对湿度和土壤含水率的平均相对误差分别为0.26%、0.64%和0.33%。

**关键词:** 稻田 无线传感器网络 混合天线 实时监测系统

**中图分类号:** TP274.5; S24      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0241-06

## 引言

水稻是我国主要粮食作物之一,其种植面积和产量都位居世界第一,在中国粮食结构中处于举足轻重的地位<sup>[1-2]</sup>。稻田环境信息的及时准确采集,对提高其产量和效益都起着至关重要的作用。无线传感器网络(Wireless sensor network, WSN)具有低功耗、低成本、高可靠性等特点,是可应用于农业领域的一种新型信息获取和处理技术<sup>[3]</sup>,应用该技术获取农田环境信息,在国内外已有很多成功实例<sup>[4-8]</sup>。

目前大部分无线传感器网络系统都是基于全向天线技术设计的,近年来,在无线传感器网络中使用定向天线的研究也逐渐被关注<sup>[9-11]</sup>。与全向天线相比,定向天线具有提高网络空间复用率、增大网络覆盖区域、节约能量消耗等优点<sup>[12-13]</sup>。

针对稻田环境信息采集过程中监测周期长、环境干扰大等特点,本文以土壤含水率、空气温湿度为监测目标,设计一种基于混合天线的无线传感器网络稻田环境信息实时监测系统,采用分簇路由协议进行组网,为不同类型的节点配置不同类型的天线,以扩大网络的覆盖范围和提高系统的稳定性,实现大面积水稻田生长环境参数的实时采集、无线传输和远程监测。

## 1 监测系统基本结构

节点是构成无线传感器网络的基本元素,具有传感、信息处理和无线通信的功能。该系统主要由传感器节点、簇头节点、汇聚节点(基站)、网关节点、本地数据监测中心和远程数据监测中心构成,其结构框图如图1所示。采用分簇路由协议进行组网,传感器节点选择距离最近的簇头加入该簇,并将

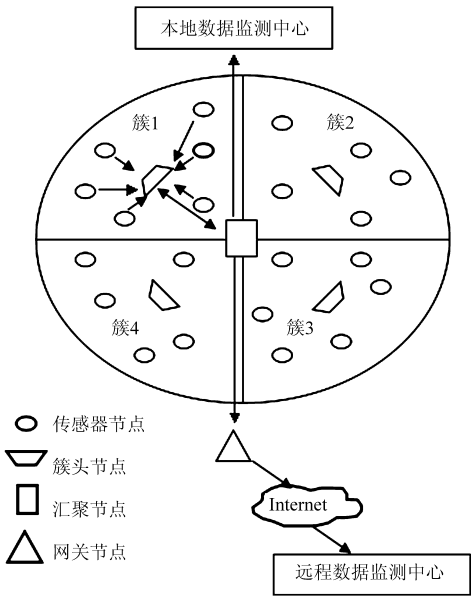


图1 监测系统结构框图

Fig.1 Network structure of monitoring system

收稿日期: 2013-12-15 修回日期: 2014-01-12  
\* 国家自然科学基金资助项目(31201135)和广东省科技计划资助项目(2010B020315021、2011B020313019)  
作者简介: 孙宝霞, 博士生, 广东工程职业技术学院讲师, 主要从事无线传感器网络在农业上应用研究, E-mail: sunbaoxia@126.com  
通讯作者: 王卫星, 教授, 博士生导师, 主要从事无线传感器网络、电子信息技术在农业上应用研究, E-mail: weixing@scau.edu.cn

采集的水稻田土壤含水率和空气温湿度数据发送至簇头节点,簇头将其成员节点的数据进行融合后发送至汇聚节点,汇聚节点将各簇头的数据再次融合,分别通过 RS232 串口通信和无线通信方式将数据传输至本地数据监测中心和网关节点,网关节点通过其 GPRS 模块接入 Internet 网络,将数据传输至远程数据监测中心。

2 系统硬件设计

2.1 定向天线

天线是一种无源器件,本身并没有增加所辐射信号的能量,只是通过天线振子的组合改变其馈电方式,把能量集中到某一特定方向上,相应在其他方向上减小能量强度。

在 WSN 应用中,全向天线具有 360°的水平辐射模式,适用于点对多点通信,在需要全网发送和接收信息的情况下,全向天线能保证节点之间的有效接收,无线节点的水平转动不会对通信带来影响,便于安装和管理。定向天线能量集中,增益相对高于全向天线,适合于点对点远距离通信,同时由于具有方向性,抗干扰能力比较强。而且定向天线配置灵活,当节点需要在某个方向上长期通信时,使用定向天线不但可以提高通信质量,而且能大大节省无效方向上的能量损耗。定向天线特别适用于网络节点移动性很低的情况,该网络中无线节点的主要任务是信息的收集,信息从节点流向基站,信息流相对固定。

本文设计的基于混合天线的 WSN 稻田环境信息实时监测系统中,传感器节点随机散布于网络监测区域内,因其对通信距离及方向性要求不高,故配备全向天线;簇头节点主要任务是收集传感器节点的数据并实现与汇聚节点的远距离可靠通信,故配备定向天线并使其方向朝向汇聚节点;汇聚节点布置于网络监测区域中心位置,通过步进电动机控制其定向天线沿水平方向以 4 相 8 拍速度 360°旋转,实现与各方位簇头的远距离可靠通信,网关节点位于汇聚节点附近,便于接收汇聚节点的数据。由于篇幅有限,本文以具有代表性的传感器节点和汇聚节点硬件设计为例说明该系统硬件设计方法。

2.2 传感器节点硬件设计

传感器节点主要由 4 部分组成,分别为传感器模块、微处理器模块、无线通信模块(RF)及电源模块,如图 2 所示,传感器模块将采集的农田信息转换为电信号,经 AD 转换后送微处理器进行数据处理,数据处理后经射频通信电路发至簇头节点。

为实现低功耗设计,各类型节点的微控制器均采用 TI 公司生产的 MSP430F149,它是一种集成度

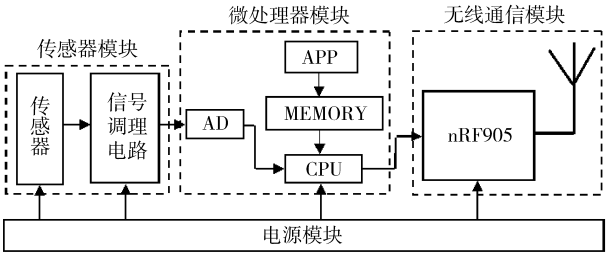


图 2 传感器节点结构框图

Fig. 2 Structural diagram of sensor node

高、外围模块功能丰富、超低功耗(能提供 5 种低功耗模式,掉电电流仅为 0.1  $\mu\text{A}$ )的 16 位微处理器,其内部集成有 8 路 12 位 AD 输入、2 个 SPI 接口、60 kB 的程序存储空间和 2 kB 的 RAM;无线通信模块均采用挪威 Nordic Semiconductor 推出的 433/868/915 MHz 射频收发芯片 nRF905,具有抗干扰能力强、频点可调、低功耗和传输距离远等特点<sup>[14]</sup>。

传感器模块主要是根据监测环境的需要采集相关参数数据,针对水稻田生长特性、环境及测量精度要求,选择数字温湿度传感器 AM2301 和锦州阳光科技有限公司的土壤水分传感器 TDR-3 对空气温湿度和土壤含水率进行测量,AM2301 与 TDR-3 的数据采集精度分别为  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  (温度)、 $\pm 3\%$  (相对湿度)和  $\pm 2\%$  (体积含水率)。

2.3 汇聚节点硬件设计

汇聚节点在无线传感器网络中起着至关重要的作用,所有传感器节点的采集信息都要通过汇聚节点传送给数据监测中心。本设计中汇聚节点主要有 3 个功能:①接收来自各簇头节点的数据信息。②对数据进行融合处理。③将融合后数据传送至本地数据监测中心和网关节点。汇聚节点的结构图如图 3 所示,实物图如图 4a 所示。

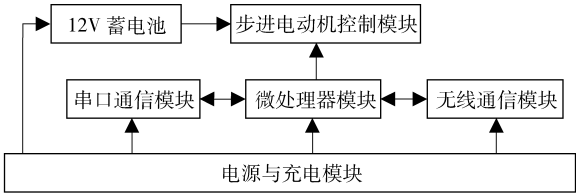


图 3 汇聚节点结构框图

Fig. 3 Structural diagram of sink node

为实现与均匀散布于监测区域各方位的簇头节点的远距离可靠通信,将汇聚节点配置定向天线,并使用步进电动机控制其在水平方向旋转,使汇聚节点具备多方位接收和定向发送的双重功能。定向天线控制转台如图 4b 所示。

能量受限是无线传感器网络的主要特点之一<sup>[15]</sup>,网络采用定时休眠唤醒机制降低能量消耗,本系统各节点均采用锂电池进行供电,其中簇头节

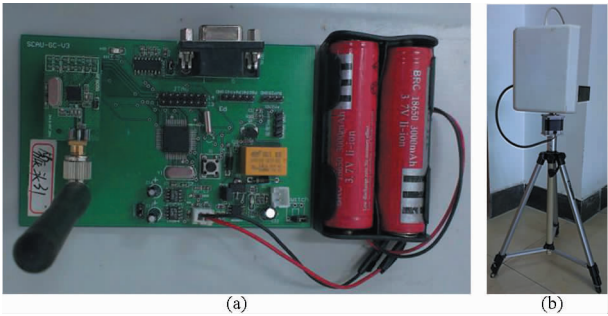


图4 汇聚节点和定向天线控制转台实物图  
Fig.4 Pictures of sink node and the controlling turntable of directional antenna

(a) 汇聚节点 (b) 定向天线控制转台

点、汇聚节点和网关节点的能量消耗相对较大,故设计采用太阳能电池板通过 BQ2057w 芯片对锂电池进行充电管理,以补偿过快的能量消耗,延长网络寿命。太阳能电池板工作实物图如图 5 所示。

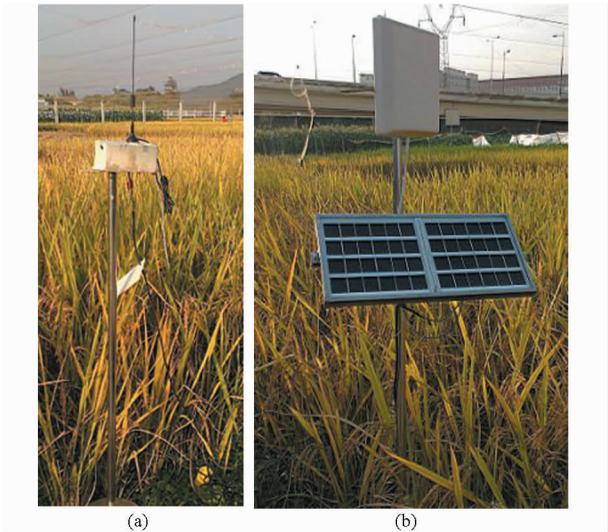


图5 节点工作实物图  
Fig.5 Real working figure of node  
(a) 传感器节点 (b) 太阳能电池板

3 软件设计

软件设计的优劣是影响节点性能和网络稳定性的重要因素<sup>[16]</sup>。本系统软件设计主要包括 4 部分:节点软件设计、转台控制模块软件设计、太阳能电源充电软件设计和数据监测中心软件控制。下面主要介绍节点软件设计和数据监测中心软件设计。

3.1 节点软件设计

在 IAR Embedded Workbench 集成开发系统中采用 C 语言进行编程开发完成系统节点软件设计,包含传感器节点、簇头节点、汇聚节点和网关节点软件设计,本系统结构相对复杂,节点类型多,本文以具有代表性的传感器节点和汇聚节点软件设计为例说明该系统软件设计方法。

传感器节点主要负责完成现场数据的采集和通

过无线通信模块将采集数据包无线传送,采用模块化设计编程,其程序流程图如图 6 所示,主要由初始化、系统时间同步、数据采集、无线通信等模块构成。传感器节点周期性地对数据进行采集,数据采集周期设为 30 min,网络采用休眠唤醒机制,节点收到同步包后同步系统时间,进入休眠状态。唤醒时间到,节点唤醒开始采集数据信息并打包发送至本簇簇头,待收到该簇头的同步包后进入下一工作周期,没有收到同步包的节点则一直等待,直至收到同步包。

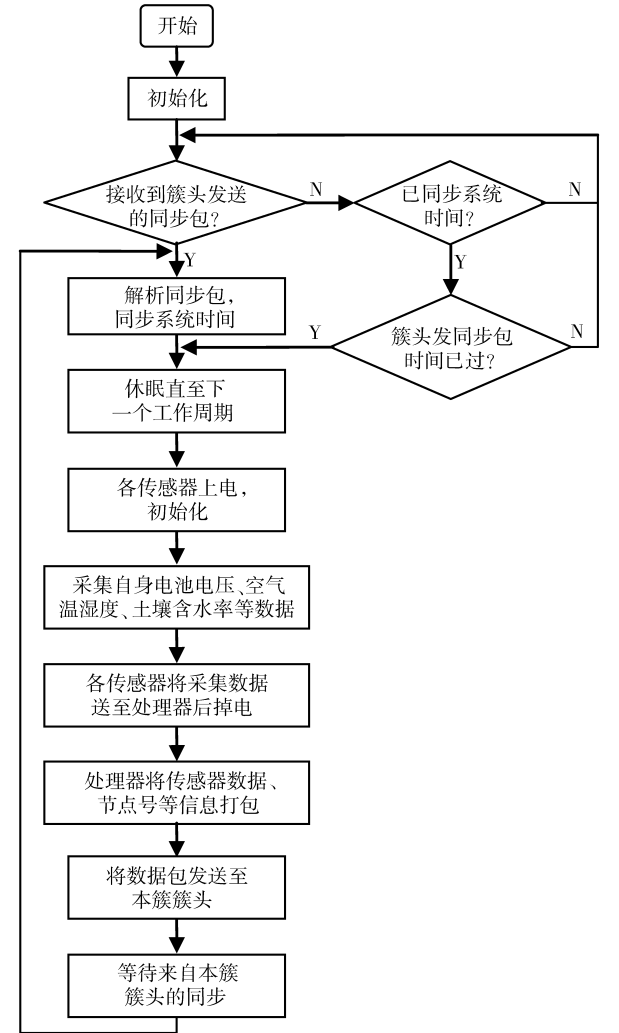


图6 传感器节点程序流程图

Fig.6 Flow chart of sensor node software

汇聚节点的主要任务是接收各簇头的数据包并进行数据融合,再将融合后数据发送至本地数据监测中心和网关节点。汇聚节点位于网络中心位置且配备定向天线,并采用步进电动机控制其定向天线的方向以接收到各簇头的数据包,各簇头定时唤醒向汇聚节点发送采集数据,同时汇聚节点唤醒,定向天线采用 4 相 8 拍速度开始转动,汇聚节点收到一簇头节点的数据包后立即向该簇头返回同步包,然后定向天线继续转动以接收下一簇头数据,直至接

收到所有簇的数据。簇头收到汇聚节点的同步包后定时休眠,唤醒时间为下一工作周期开始。汇聚节点程序流程图如图 7 所示。

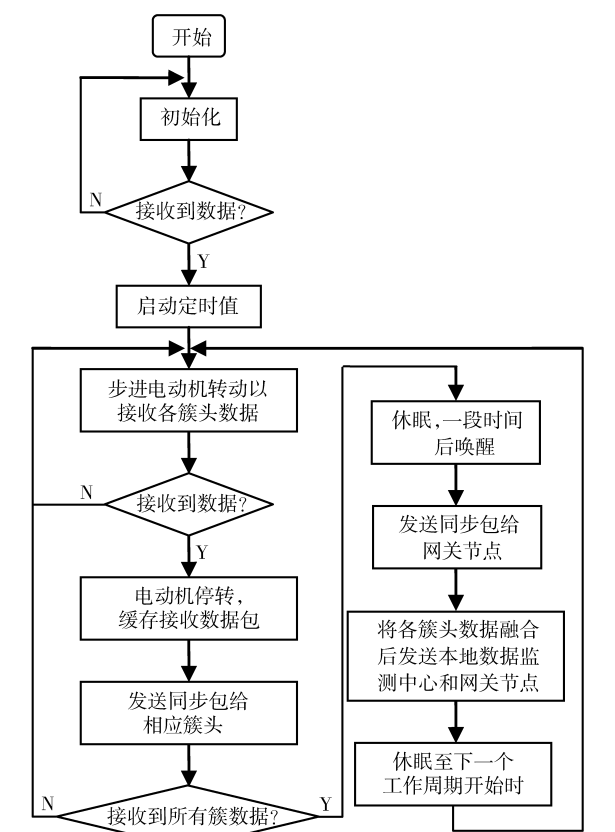


图 7 汇聚节点程序流程图  
Fig. 7 Flow chart of sink node software

3.2 数据监测中心软件设计

数据监测中心软件是在 Visual Studio 2008. NET 环境下进行编程,集成了大量实用的类库,本地数据监测中心使用 Serial Port 类和 Thread 类进行串口通信,主要功能是将传感器节点采集的数据从单片机的数据缓存器中读取出来,作适当处理后存储到数据库中并显示于上位机界面;远程数据监测中心利用其 Winsock 控件与网关节点的 GPRS 模块进行通信,将监测数据通过 GPRS 模块传输至 Internet 网络,实现对农田信息的准确采集和远程实时监测,同时将监测数据以 Excel 文件形式进行存储和管理,以便于查询、统计和分析。数据监测中心信息接收平台界面如图 8 所示,该平台最多可同时显示 4 个节点的数据信息,且能够对传感器节点和相应簇头节点的电压过低进行警示。

4 试验

试验于 2013 年 10 月在华南农业大学岑村水稻试验田进行,利用本文设计的系统,对网络数据丢包率和稻田环境参数采集准确性进行了测试。通过数



图 8 数据监测中心信息接收平台界面  
Fig. 8 Interface of data monitoring center information receiving platform

据丢包率测试验证了系统网络传输的稳定性和可靠性,稻田环境参数采集测试验证了无线传感器网络稻田环境数据采集和传输的正确性。

4.1 网络丢包率测试

试验时部署了 4 个簇,分别位于网络覆盖区域的 4 个不同方位,1 个汇聚节点位于网络覆盖区域的中心位置,1 个网关节点布置于汇聚节点附近,数据监测中心由本地数据监测中心和远程数据监测中心构成,每个簇由 1 个簇头节点和 4 个传感器节点构成。设定传感器节点采集周期为 30 min,采用休眠唤醒机制降低网络能量消耗,连续监测 20 d,测试结果如表 1 所示,该系统网络传输稳定可靠,整个网络的平均丢包率仅为 0.44%。

表 1 网络丢包率统计结果

| Tab. 1 Network packet loss rate statistics |         |        |          |            |        |
|--------------------------------------------|---------|--------|----------|------------|--------|
| 簇编号                                        | 传感器节点编号 | 发送数据包数 | 簇头接收数据包数 | 汇聚节点接收数据包数 | 丢包率 /% |
| 1                                          | 1       | 960    | 954      | 954        | 0.63   |
|                                            | 2       | 960    | 953      | 953        | 0.73   |
|                                            | 3       | 960    | 958      | 958        | 0.21   |
|                                            | 4       | 960    | 956      | 956        | 0.42   |
| 2                                          | 1       | 960    | 960      | 960        | 0.00   |
|                                            | 2       | 960    | 960      | 957        | 0.31   |
|                                            | 3       | 960    | 954      | 950        | 1.04   |
|                                            | 4       | 960    | 958      | 958        | 0.21   |
| 3                                          | 1       | 960    | 959      | 959        | 0.10   |
|                                            | 2       | 960    | 960      | 960        | 0.00   |
|                                            | 3       | 960    | 953      | 953        | 0.73   |
|                                            | 4       | 960    | 958      | 957        | 0.31   |
| 4                                          | 1       | 960    | 959      | 958        | 0.21   |
|                                            | 2       | 960    | 951      | 949        | 1.15   |
|                                            | 3       | 960    | 957      | 957        | 0.31   |
|                                            | 4       | 960    | 956      | 954        | 0.63   |
| 平均值                                        |         | 960    | 956.6    | 955.8      | 0.44   |

## 4.2 稻田环境参数采集测试

系统实现了对稻田空气温湿度和土壤含水率的数据信息采集,并使用 TNHY-11 型手持式农业环境监测仪对采集数据进行校对,图 9 为连续 24 h 内簇 3 中 2 号节点与校对仪器监测的数据图,采集周

期为 30 min。从图 9 可知,系统运行稳定,采集数据准确,能够满足实际应用的需要。稻田空气温度、空气相对湿度、土壤含水率的平均相对误差分别为 0.26%、0.64%、0.33%。

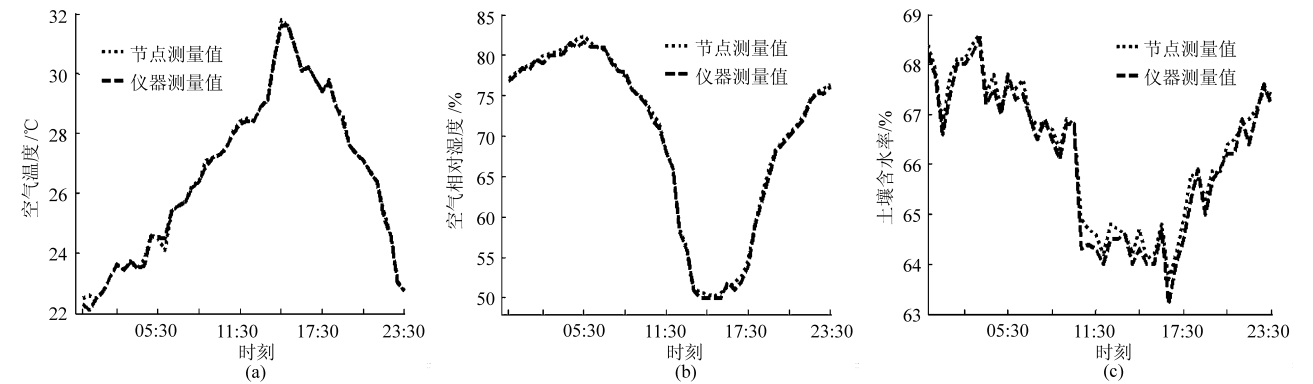


图9 稻田环境参数实时监测曲线  
Fig.9 Real-time monitoring curves of paddy environmental parameters

## 5 结论

(1) 设计了一种基于混合天线的无线传感器网络稻田环境信息监测系统,采用分簇路由协议进行组网,为不同类型的节点配置不同类型的天线,以扩大网络的覆盖范围和提高系统的稳定性,该系统可实现对大面积水稻田生长环境参数的实时采集、无线传输和远程监测。

汇聚节点定向天线的方向,以实现汇聚节点与各方位簇头的可靠通信,该系统汇聚节点具有定向发送、全向接收的特点,有效扩大了网络的覆盖范围和系统稳定性。

(3) 基于本文系统在水稻田内进行组网试验,试验结果显示系统运行稳定、测量准确,网络数据平均丢包率为 0.44%,稻田空气温度、空气相对湿度和土壤含水率的相对误差分别为 0.26%、0.64% 和 0.33%。

## 参 考 文 献

- 1 陈惠哲,朱德峰. 全球水稻生产与稻作生态系统概况[J]. 杂交水稻, 2003, 18(5): 1-4.  
Chen Huizhe, Zhu Defeng. The rice production and ecosystem in the world[J]. Hybrid Rice, 2003, 18(5): 1-4. (in Chinese)
- 2 高菊生,徐明岗,王伯仁,等. 长期有机无机肥配施对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 211-214.  
Gao Jusheng, Xu Minggang, Wang Boren, et al. The effects of rational application of long term organic and chemical fertilizers on soil fertility and rice yield[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(8): 211-214. (in Chinese)
- 3 刘航,廖桂平,杨帆. 无线传感器网络在农业生产中的应用[J]. 农业网络信息, 2008(11): 16-18.  
Liu Hang, Liao Guiping, Yang Fan. Application of wireless sensor network in agriculture producing[J]. Agriculture Network Information, 2008(11): 16-18. (in Chinese)
- 4 Raul Maorais, Miguel A Fenrnandes, Samuel G Matos, et al. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(2): 94-106.
- 5 郭文川,程寒杰,李瑞明,等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 181-185.  
Guo Wenchuan, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 181-185. (in Chinese)
- 6 梁琨,沈明霞,路顺涛,等. 基于平衡水分模型的稻谷含水率实时监测系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 125-130.  
Liang Kun, Shen Mingxia, Lu Shuntao, et al. Real-time monitoring system for grain moisture content based on equilibrium moisture model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 125-130. (in Chinese)
- 7 张瑞瑞,赵春江,陈立平,等. 农田信息采集无线传感器网络节点设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 213-218.  
Zhang Ruirui, Zhao Chunjiang, Chen Liping, et al. Design of wireless sensor network node for field information acquisition[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 213-218. (in Chinese)
- 8 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 sensor network[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2008, 38(3): 604-608. (in Chinese)

Chinese)

- 9 刘军, 孙茜, 李少华, 等. 基于定向天线的无线自组网拓扑控制算法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2012, 33(9): 1257–1260.  
Liu Jun, Sun Qian, Li Shaohua, et al. Topologycontrol algorithm based on directional antenna in wireless Ad Hoc networks[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2012, 33(9): 1257–1260. (in Chinese)
- 10 刘垠. 基于定向天线的 WSN 的分簇路由协议[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.  
Liu Yin. Clustering routing protocol of WSN based on directional antenna[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2009. (in Chinese)
- 11 杨光松, 耿旭. WSN 中基于定向天线的节能寻路机制[J]. 计算机工程, 2010, 36(22): 91–93.  
Yang Guangsong, Geng Xu. Energy-efficient route finding mechanism based on directional antenna in wireless sensor network [J]. Computer Engineering, 2010, 36(22): 91–93. (in Chinese)
- 12 丁艳荣. 基于定向和全向天线的混合式无线 Ad Hoc 网络中 MAC 协议的研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010: 1–5.  
Ding Yanrong. Mediaaccess control protocol in hybrid wireless Ad Hoc network based on directional and omni-directional antennas [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010: 1–5. (in Chinese)
- 13 张衡, 陈东义, 刘冰, 等. 无线传感器网络天线的应用选择研究[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(增刊): 85–88.  
Zhang Heng, Chen Dongyi, Liu Bing, et al. Research on the orientation of antenna in WSN [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2010, 39(Supp.): 85–88. (in Chinese)
- 14 姜晟, 王卫星, 孙道宗, 等. 能量自给的果园信息采集无线传感器网络节点设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 153–158.  
Jiang Sheng, Wang Weixing, Sun Daozong, et al. Design of energy self-sufficient wireless sensor network node for orchard information acquisition [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 153–158. (in Chinese)
- 15 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- 16 张瑞华, 贾智平. 无线传感器网络基于能量效率的系统设计[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(1): 7–12.  
Zhang Ruihua, Jia Zhiping. System design based on energy efficiency in wireless sensor networks[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2010, 31(1): 7–12. (in Chinese)

## Real-time Monitoring System for Paddy Environmental Information Based on Wireless Sensor Network

Sun Baoxia<sup>1,2</sup> Wang Weixing<sup>1,3</sup> Lei Gang<sup>1</sup> Hong Bingxing<sup>1</sup> Zhang Xiong<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Guangdong Engineering Polytechnic College, Guangzhou 510520, China

3. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education,  
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of long monitoring period and great environmental interference in the process of farmland environmental data collection, a wireless sensor network real-time monitoring system for paddy environmental information based on hybrid antenna was designed, used cluster routing protocol to networking, configured different types of antennas for different types of nodes, and a turntable was used to control the direction of the directional antenna sink node to expand the coverage of the network and improve the stability of the system. The networking experiment was carried out in paddy based on the system for a long time, and the network packet loss rate and the acquisition accuracy of paddy environmental parameter were tested, the test results show that the system runs stably and the measurements are accurate, the average network data packet loss rate is 0.44%, and the average relative error of paddy air temperature, air humidity and soil moisture content are 0.26%, 0.64% and 0.33% respectively.

**Key words:** Paddy Wireless sensor networks Hybrid antenna Real-time monitoring system