

北方草原风电场土壤风蚀无线监测系统的研究

宣传忠¹ 陈智^{1*} 武佩¹ 王云利² 刘海洋¹ 马彦华¹

(1. 内蒙古农业大学 机电工程学院, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古公共安全物联网工程技术研究中心, 呼和浩特 010010)

摘要 为减小风力发电对北方草原脆弱生态环境的影响,设计了一套基于 ZigBee 无线传感器网络和 GPRS 无线通讯技术的异地数据采集传输系统。该系统由 ZigBee 无线传感网络、传感器组、GPRS 终端、上位机监测中心组成;设计的软件可进行草原风电场的空气温湿度、风速、土壤温度水分和风蚀量 6 个参数异地实时监测和可视化的显示。测试结果表明:在传感器节点和协调器距离在 600 m 以内,该混合组网的无线监测系统运行稳定,达到设计要求。

关键词 草原; 风电场; 无线传感网络; 信息采集; 监测系统

中图分类号 S 823.92

文章编号 1007-4333(2013)04-0196-06

文献标志码 A

Study on wind erosion wireless supervision system of grassland wind farm in Northern China

XUAN Chuan-zhong¹, CHEN Zhi^{1*}, WU Pei¹, WANG Yun-li², LIU Hai-yang¹, MA Yan-hua¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Engineering Technology Research Center of Public Security Internet of Things, Hohhot 010010, China)

Abstract In order to reduce the wind power impact on grassland fragile ecology, a wind erosion supervision system was designed based on ZigBee wireless sensor network technology and GPRS wireless communication. The hardware consists of ZigBee wireless network, sensor nodes, GPRS terminal nodes and remote computer, and the parameters of wind speed, air temperature and humidity, soil temperature and moisture, wind erosion in wind farm are real-time monitored and visually displayed on the remote host computer. Tests of the system demonstrated that the hybrid wireless network supervision system is entirely feasible while the distance between sensor nodes and coordinator is less than 600 m.

Key words grassland; wind farm; ZigBee; information collection; supervision system

我国北方草原地区风能资源丰富、分布广且稳定度较高,内蒙古自治区风能总储量 1.052 TW,技术可开发量约 300 GW,风能资源占全国风能资源储量的 40%左右,居全国之首^[1-2]。随着风电场的大规模投入运行,风力发电建设带来的草原生态问题日益严重,主要表现为:风电建设期对草原的机械碾压所造成土壤的容重和渗透阻力增加,导致风蚀和水蚀损失的土壤量就会大大增加^[3];风电机在安装、调试及日常维护中泄露的油污会对土壤和植被

造成污染^[4];建设输电线路过程中,裸露的土壤在后期没有进行植被恢复,造成表层含有机质较多的土壤营养流失^[5-6];风电场在工作期间加强了大气湍流垂直混合,使得近地表的温度发生了变化,并使近地面空气变干,减小表面感热通量,同时也间接改变云和降水等其他气象要素,引起草原的干旱沙化^[7-12]。因此,在大力发展风电能源的同时,研究一套草原风电场土壤风蚀无线监测系统,获取长期、稳定土壤风蚀数据,为风电场影响下的草原生态环境研究提供

收稿日期: 2012-10-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161045); 内蒙古农业大学科技创新团队项目(NDPYTD2010-8)

第一作者: 宣传忠, 讲师, 博士研究生, 主要从事农业工程测试与控制研究, E-mail: xcz@imau.edu.cn

通讯作者: 陈智, 教授, 主要从事环境控制工程及其装备技术研究, E-mail: sgchenzhi@imau.edu.cn

分析数据具有重要意义。

ZigBee 技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率和低成本的无线通信技术,工作在 2.4 GHz 的 ISM 频段上,传输速率为 20~250 kbit/s,主要用于短距离无线传输^[13-16];GPRS (General Packet Radio Service 通用无线分组业务)是移动电话用户使用的一种移动数据业务,提供端到端的、广域的无线 IP 连接,可实现长距离的数据传输^[17-18]。本研究针对目前有线数据采集方式成本高、不易扩展、移动性差等缺陷,设计一套基于 ZigBee 和 GPRS 技术的无线数据采集监测系统,旨在实现草原风电场的风速、空气温湿度、土壤温度水分和风蚀量 6 个参数数据的实时采集和无线传输,并在异地的上位机软件上进行数据的实时图形显示和处理。

1 系统总体架构

1.1 系统方案图

草原风电场土壤风蚀多参数检测的特点应采用多点检测方式,当部分检测点出现损坏的时候,可通过其他检测点继续得到有效数据,从而不影响整个区域的监测。因此,为了在监测范围内应尽可能得到全面、精确、实时的有效数据,设置多个终端节点采集数据。系统由 ZigBee 无线传感网络、传感器组、GPRS 终端、上位机监测中心组成(图 1)。

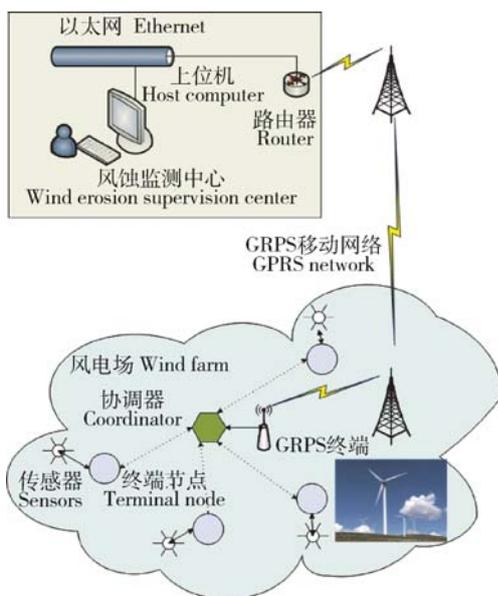


图 1 无线监测系统架构

Fig. 1 Supervision system frame based on wireless

1.2 试验方法

传感器组采集风速、空气温湿度、土壤温度水分和风蚀量数据,输出均为 4~20 mA 的电流模拟量,送入到 ZigBee 无线传感器网络的终端节点的模数转换口,终端节点与协调器构成星型 ZigBee 无线传感器网络。协调器是系统传输和控制的核心,通过无线的方式与其他终端节点通信,控制终端节点的工作,终端设备节点的位置可以根据通信距离进行调整,协调器通过 RS232 接口与 GPRS 终端相连接,将轮流采集到的各终端节点的传感器数据发送给 GPRS 终端。GPRS 终端通过无线通信 GPRS 网络实时送到远程的土壤风蚀监测中心上位机,监测中心土壤风蚀处理软件将接收到的数据存入 ACCESS 数据库,并完成数据分析、汇总、图形显示等工作,同时也可以通过网络对系统进行设置和控制。

2 ZigBee 传感网络的设计

本研究采用成本低、容易扩充和方便管理的星型网络结构,星型网络的功耗也是最低的,由 1 个协调器和多个终端节点组成。节点采用模块化的设计思想,主要包括微处理器模块、无线射频模块、数据采集接口模块和电源模块。终端节点主要是通过模数转换接口连接传感器组获取风电场的土壤风蚀数据,将采集到的数据组合成数据包,并通过无线收发芯片发送给协调器。协调器主要的功能是组建网络和加入终端节点,并将终端节点发送的数据通过串口发送 GPRS 终端。

2.1 终端节点硬件设计

终端节点主要由 ZigBee 无线收发及数据处理模块、CC2591 射频前端、电源管理模块等组成。无线收发及数据处理是以 CC2430 无线模块为核心,配以相应的外围电路作为单节点终端。CC2430 具有 8 位 MCU8051 内核,并具备 128 KB 闪存和 8 KB RAM,包含模数转换器(ADC),用来连接风电场土壤风蚀的传感器组,工作时的电流损耗为 27 mA,终端节点硬件结构如图 2 所示。

电源管理模块支持终端节点工作,考虑到相邻检测点之间的距离一般大于 500 m,而 CC2430 的视距通信范围仅 100 m 左右,不能满足实际需要,为保证数据的可靠传输,需要对节点收发无线信号进行放大,因此在设计中加入了 TI 公司的 2.4 G 模拟射频前端芯片 CC2591,CC2591 是 TI 公司专为

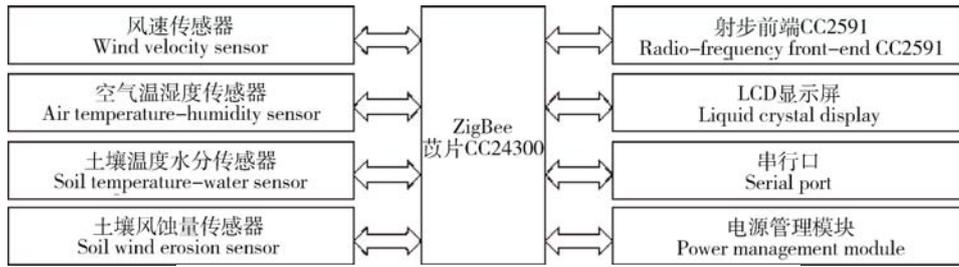


图2 终端节点硬件结构

Fig. 2 Hardware structure diagram of terminal node

低电压低功耗的 2.4 G 无线通信而设计的高性能射频前端芯片,能将 CC2430 的通信范围扩大到原来的 15 倍,输出功率峰值为 22 dBm,具有较低的发射和接收电流消耗。

2.2 终端节点软件设计

终端节点的主要功能:加入到协调器建立的网络中去,采集风电场土壤风蚀传感器组的数据,能够接收从 ZigBee 网络上传来的数据和命令。终端节点首先初始化 CC2430,然后程序初始化协议栈并打开中断,之后发送加入网络信号,等待网络协调器响应,并给自己分配网络地址,如果网络加入成功,终端节点上的二极管被点亮。加入网络成功后,等待中断,响应相应的中断。终端节点程序流程图见图 3。

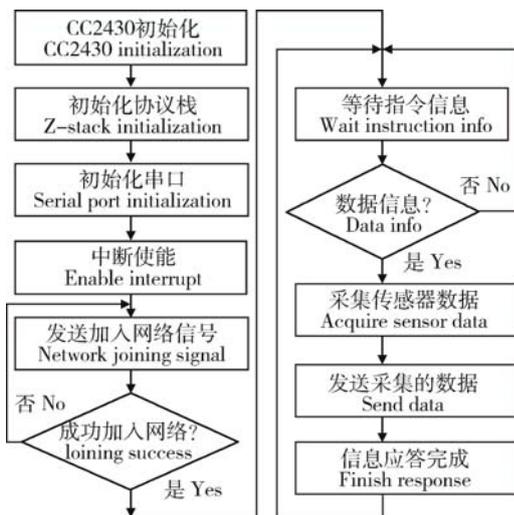


图3 终端节点程序流程

Fig. 3 Program flowchart of terminal node

2.3 协调器硬件设计

ZigBee 网络协调器是整个网络的中心,负责的

功能包括建立、维持和管理网络,分配网络地址等。因此,可以将 ZigBee 网络协调器称为网络的大脑,ZigBee 网络协调器还具备与网络中的新节点建立动态链接的能力。对草原风电场土壤风蚀监测来说,系统可能需要添加新的终端节点,协调器必须能容易地与这些新终端节点建立连接,协调器通过串口与 GPRS 终端进行通信,将采集到的土壤风蚀数据传送给 GRPS 终端。

由于这个协调器担负了许多任务,其控制器的性能必须高于网络中其他类型的设备,因此选择了飞思卡尔公司的 MCF5208 微处理器,MCF5208 内置 ColdFireV2,核具有 166MHz/159 MIPS 的性能,MCF5208 还整合了关键构建模块,容易实现 ZigBee 的解决方案,包括:带 MII 接口的 10/100BaseT 以太网 MAC 模块、8 k 字节统一缓存/16KSRAM、DDR SDRAM 存储器控制器、外部总线接口、QSPI、32 位定时器、多个串行连接以及用于调试和测试的 BDM/JTAG 端口,协调器硬件结构如图 4 所示。

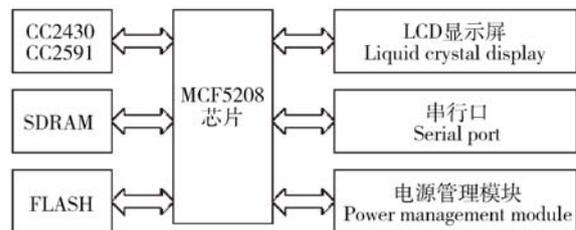


图4 协调器硬件结构

Fig. 4 Hardware structure diagram of coordinator

2.4 协调器软件设计

协调器首先初始化 CC2430 和协议栈并打开中断,然后初始化一个网络,如果网络初始化成功,可

以在液晶屏上看到网络初始化的一些信息：如协调器节点的物理地址、已建立网络的网络 ID 号和频道号等。随后程序进入中断循环检测和处理过程，查看是否有中断信息的到来，如果是来自网络中管理信息的响应，例如一个终端节点申请加入网络则会在液晶屏上显示有新的节点加入网络，并显示加入网络节点的物理地址，此时网络协调器会为其分配网络地址，并给出相应的应答信号给此节点；如果是网络中某个节点的数据响应，则对数据进行存储处理，然后发送给上位机，并给该节点发送应答信号。协调器程序流程见图 5。

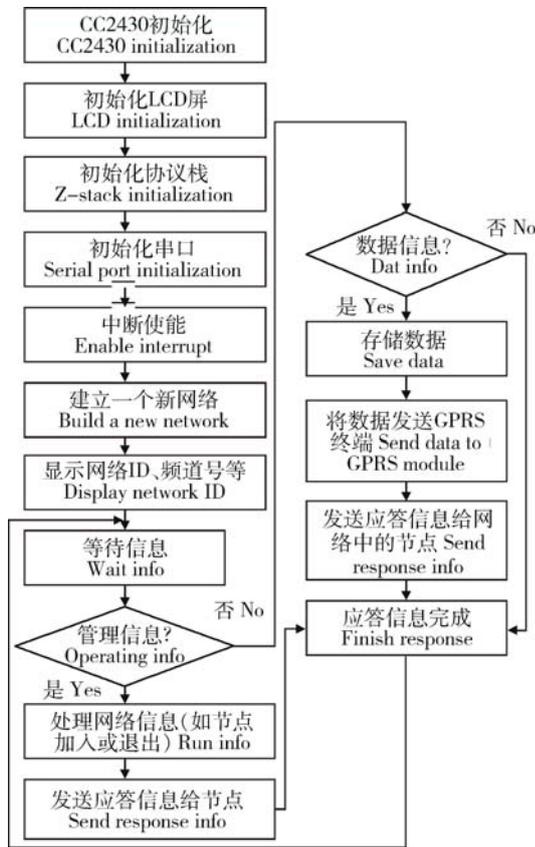


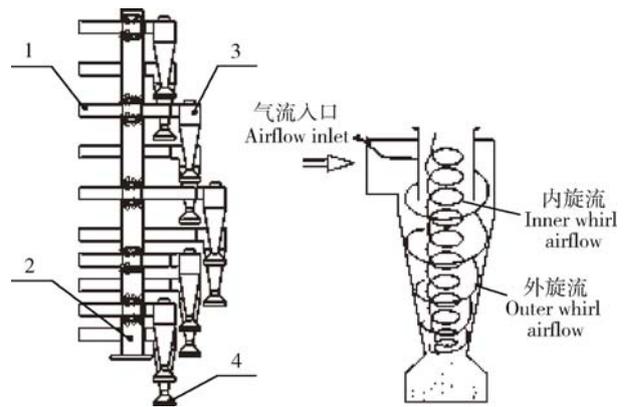
图 5 协调器程序流程

Fig. 5 Program flowchart of coordinator

2.5 风蚀量数据采集

风蚀量数据的采集采用内蒙古农业大学自主设计的旋风分离式集沙仪^[19-21](图 6)。集沙仪利用离心力的作用分离气流中的尘土，进入旋风分离器内的尘土随气流向下旋转，同时在惯性力的作用下向

筒壁沉降，而后沿器壁下滑从圆锥筒的锥口落入集沙盒内，而净化的气流下旋到锥底附近时转变为上升的内旋流从中心的排气管排出，所以该集沙仪的排气管能显著减缓进沙口处的阻滞气流，并且消除气流在集沙仪两侧的分流和减少集沙仪两侧及尾部形成较高的静压梯度。在集沙盒内放置称重传感器，通过变送器与终端节点相连接，测量收集到的沙子的重量，获得风蚀量数据。



1. 气流管;2. 支撑座;3. 旋风分离器;4. 集沙盒和称重传感器
1. Airflow tube;2. Supporting seat;3. Cyclone separator;
4. Sand box & weighing sensor

图 6 旋风分离式集沙仪

Fig. 6 Cyclone separation type sand sampler

3 系统软件设计

草原风电场的土壤风蚀监测中心将无线传感器网络的逻辑视图与网络的物理实现分离开来，使得无线传感网络的内部结构和工作原理对用户透明，用户不必关心数据采集和网络组建的技术细节，而只需远程监测节点的运行状态、查询感兴趣的参数数据，降低了使用人员的素质要求，为用户提供一个简洁、易用的图形化的管理界面。

上位机管理系统以 C#.Net 作为系统开发平台，实现对 ACCESS 数据库的信息处理，采集参数包含空气的温湿度、风速、土壤的温度水分和风蚀量 6 个参数，为了监听 GPRS 节点通过以太网发来的数据，系统提供一个网络监听模块线程，用于监听以太网数据。当有数据到来时，通过事件中断方式通知系统内核，并按照约定的数据包格式取出传送的数据，然后保存到数据库中，系统的设计采用功能模

块化的思想,各功能模块如图7所示。

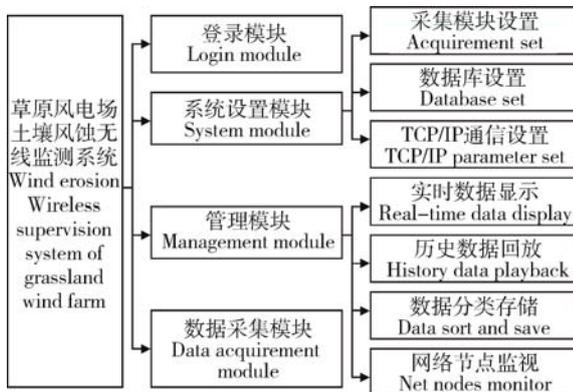


图7 草原风电场土壤风蚀无线监测系统功能模块

Fig. 7 Function block diagram of wind erosion wireless supervision system of grassland wind farm

4 试验测试

无线传感网络的通信距离问题,由很多因素决定,如硬件电路设计的合理性、发射功率、干扰的大小,甚至天气的好坏。由于节点间收发数据的出错率跟链路质量具有负相关性,所以只要保持链路质量稳定就可以保持网络的出错率稳定。

本试验在内蒙古农业大学农业科技园区草场上进行。部署10个不同距离的终端节点与协调器无线通讯进行土壤风蚀信息采集,连接传感器组的终端节点的数据采样时间间隔设为10 min,采集信息传送到协调器,经GPRS移动无线通信网络上传至上位机。试验中各终端节点每天应发送数据包146个,试验共7 d,节点数据报发送总数为 $146 \times 7 = 1\,022$,根据上位机接收到的各终端节点发送的数据包计算其数据包发送的丢包率

$$P = \frac{N_T - N_R}{N_T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为终端节点数据包发送丢包率; N_R 为上位机接收正确数据包总数; N_T 为终端节点数据包总数。当上位机接收到GPRS终端发送过来的数据包时,对收到的数据包CRC循环校验,如果收到的数据包数据正确无丢失,会立即回送一个确认信息,表示数据包已经成功接收。采用式(2)计算终端节点发送数据包的耗时 T ,ms。

$$T = \frac{T_R - T_S}{2} \quad (2)$$

式中: T_R 为上位机收到返回的确认信息的时间; T_S

为终端节点发送数据包的时间。对7 d的终端节点发送数据包的耗时和丢包率进行统计,结果见表1。可以看出,系统整体运行情况良好,工作性能稳定,具有较强的可靠性。当终端节点与协调器节点距离在600 m以内,数据包发送丢包率为0,数据包发送耗时也在80 ms以内;当距离超过800 m,随着无线传感网络信号的衰减,终端节点数据包发送丢包率明显上升,发送数据包的耗时也直线上升。由此可见当没有路由节点的时候,传感器节点和协调器的距离应该在600 m以内才能达到比较好的试验效果,当终端节点和协调器的距离超过1 300 m,应该在它们之间部署路由节点降低终端节点的数据包发送丢包率。

表1 数据发送测试统计结果

Table 1 Statistics of packet delivery test

距离/m Distance	耗时/ms Time-consuming	接收包个数 Receive packet number	丢包率/% Packet loss ratio
200	45.6	102 2	0
400	52.8	102 2	0
600	79.3	102 2	0
800	151.1	100 1	2.1
1 000	239.4	983	3.8
1 100	373.7	942	7.8
1 200	558.4	891	12.8
1 300	957.8	637	37.7

5 结论

利用ZigBee无线传感网络和GPRS无线通讯技术,实现了草原风电场土壤风蚀信息的远程实时监测,系统中的传感器、终端节点、协调器、GPRS终端等设备相对独立,使得系统升级、重组、维护的优势更加突出。系统采用ZigBee无线传感网络和GPRS移动无线通信技术,不再铺设用于通信的有线线路,缩短了系统的开发周期,也降低了系统的总体成本。

无线传感网络是多学科高度交叉、知识高度集成的高科技技术,在草原风电场土壤风蚀参数的远程监测系统的研究工作中,尚存在一些需要完善的地方,总结如下:

1) 草原上电能获取不方便, 而能量是传感器和无线网络节点最宝贵的资源, 决定了系统的工作寿命。节点的能量主要消耗在数据采集和数据传输部分, 其中数据传输消耗能量最大。系统节能的设计工作还有很大的研究的空间, 如芯片级的发送功率控制, 睡眠模式的引入和调度, 以及从整个系统通信的角度来加强功耗的管理。

2) 无线通信在信号抗衰减、抗干扰和抗屏蔽等性能方面存在很多不足, 目前的研究和实验表明大型遮挡物、金属物体、草原上的风速都会对无线信号有很强的干扰作用。因此, 在系统设计与实施过程中, 要充分考虑终端节点部署区域环境复杂、遮挡物较多等因素。

参 考 文 献

- [1] 侯佑华, 齐军, 王小海, 等. 大规模风电场的建模及其在内蒙古电网安全稳定运行的研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 71-78
- [2] 李秀芬, 张建成, 迟永. 内蒙古风电发展存在的问题及解决方案分析[J]. 内蒙古电力技术, 2010, 28(5): 1-4
- [3] 潘艳秋, 李璐. 辉腾锡勒风电场对区域生态环境影响初探[J]. 北方环境, 2011, 23(10): 80-82
- [4] 褚建. 风力发电对青海生态环境的影响[J]. 青海环境, 2006, 16(3): 123-124
- [5] 王飞宇, 白志峰, 李秋萍, 等. 风力发电对内蒙古草原生态影响及对策[J]. 北方环境, 2011, 23(10): 90-91
- [6] 孙春顺, 王耀南, 李欣然, 等. 风力发电工程对环境的影响[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(2): 19-23
- [7] 赵宗慈, 罗勇, 江滢. 风电场对气候变化影响研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(6): 400-406
- [8] Roy S B, Traiteur J J. Impacts of wind farms on surface air temperature[J]. PNAS, 2010, 107(42): 17899-17904
- [9] Wang C, Prinn R G. Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms[J]. Atmos Chem Phys, 2010, 10(4): 2053-2061
- [10] Maria M R V S, Jacobson M Z. Investigating the effect of large wind farms on energy in the atmosphere[J]. Energies, 2009, 2(4): 816-838
- [11] Frandsen S T, Jorgensen H E, Barthelmie R, et al. The making of a second-generation wind farm efficiency model complex[J]. Wind Energy, 2009, 12(5): 445-458
- [12] Keith D W, DeCarolls J F, Denkenberger D C, et al. The influence of large-scale wind power on global climate [J]. PNAS, 2004, 16(46): 16115-16120
- [13] Zhang Qian, Yang Xiang-long, Zhou Yi-ming, et al. A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology [J]. Journal of Zhejiang University: Science A, 2007, 8(10): 1854-1857
- [14] 包长春, 石瑞珍, 马玉泉, 等. 基于 ZigBee 技术的农业设施测控系统的设计[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 160-164
- [15] 胡培金, 江挺, 赵燕东. 基于 ZigBee 无线网络的土壤墒情监控系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 230-234
- [16] 樊志平, 洪添胜, 刘志壮, 等. 柑橘园土壤墒情远程监控系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 205-210
- [17] Qiu Qin-long, Zhang Dong-mei, Ma Jian, et al. Redundancy elimination in GPRS network [J]. Journal of Zhejiang University: Science A, 2006, 7(4): 477-482
- [18] 刘春红, 张漫, 张帆. 基于无线传感器网络的智慧农业信息平台开发[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(5): 151-156
- [19] 赵永来, 麻硕士, 陈智. 旋风分离式集沙仪的标定[J]. 农机化研究, 2007(4): 95-98
- [20] 付丽宏, 赵满全. 旋风分离式集沙仪设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2007(10): 102-105, 136
- [21] 冬梅, 赵士杰, 范贵生. 旋风分离式集沙仪性能试验研究[J]. 农机化研究, 2012(6): 138-140, 222

责任编辑: 刘迎春