

基于 ZigBee 技术的棉田滴灌监测与控制系统

薛涛 杜岳峰 田纪云 朱忠祥 毛恩荣 刘守荣

(中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 设计开发了基于 ZigBee 无线传感网络技术的棉田滴灌监测与控制系统。该系统通过无线传感网络实时采集土壤环境信息,使用自适应加权融合算法对各节点土壤湿度数据进行融合,根据融合数据发送电磁阀控制命令,完成实时监测自动灌溉;结合棉花不同生育期对需肥量和施肥浓度的要求,根据灌溉水量设置注肥比例,系统通过无线传感网络实时采集液态肥流量,实时监控施肥量,并根据施肥量发送施肥电磁阀控制命令,完成水肥一体化灌溉。工作过程中,系统可以将传感器采集的数据通过 ZigBee 无线网络协调器传输给上位机并实时显示和存储。通过试验验证,该系统可以按照设计要求实现灌溉和施肥的自动控制与检测。

关键词: 棉田; 滴灌; 施肥; 监测与控制; ZigBee

中图分类号: TP273+.5; S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0261-06

Drip Irrigation Monitoring and Control System of Cotton Based on ZigBee Technology

Xue Tao Du Yuefeng Tian Jiyun Zhu Zhongxiang Mao Enrong Liu Shourong

(Beijing Key Laboratory of Optimized Design for Modern Agricultural Equipment, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: A monitoring and controlling system of drip irrigation in cotton field was designed and developed based on ZigBee wireless sensor network technology in order to save water resources and use fertilizer effectively. The system collected soil environment information in real-time through a wireless sensor network. And an adaptive weighted fusion algorithm was used to fuse soil moisture data for each node. According to the fusion data, the control commands were transmitted to the solenoid valve to perform real-time monitoring and automatic irrigation. The proportion of fertilizer injection was set based on irrigation water amount, and different requirements of fertilizer amount and fertilizer concentration at different growth stages of cotton. The flow rate of liquid fertilizer was acquired in real-time by using wireless sensor network, thereby realizing the monitoring of fertilizer amount instantly. Meanwhile, the control commands of solenoid valve were sent according to the amount of fertilizer, thus the integration of water and fertilizer irrigation was accomplished. During operation, the data collected by the sensors could be sent to the host computer through ZigBee wireless network coordinator, which was displayed and stored in real-time. Test results showed that the system could achieve automatic control and detection of irrigation and fertilization in accordance with the design requirements.

Key words: cotton field; drip irrigation; fertilization; monitoring and controlling; ZigBee

引言

节约水资源和有效利用肥料是安全、高效灌

溉管理措施的重要研究内容^[1],滴灌技术作为现代化精准农业的一种主要技术措施与施肥结合起来形成一种更加新型的农业技术——滴灌施

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA102307)

作者简介: 薛涛(1988—),男,博士生,主要从事智能控制研究,E-mail: xuexintao@126.com

通信作者: 朱忠祥(1976—),男,副教授,博士生导师,主要从事车辆电子控制与智能化技术研究,E-mail: zhuzhongxiang@cau.edu.cn

肥^[2-3],可以有效利用水资源和肥料。然而,我国大多数滴灌系统还是依靠人工经验控制灌溉和施肥,具有较大的随意性和不确定性,无法根据实时环境信息与农作物需求进行精准控制。而有线网络滴灌控制系统存在布线复杂、维护困难和经济成本较高等问题^[4]。无线传感网络技术越来越地被应用于滴灌系统中,多传感器技术可以实时采集环境和农作物信息,通过无线技术传输到上位机,组成一个能够实时监测与控制的无线传感器网络^[5-8]。在农业发达国家,如美国、以色列、加拿大和墨西哥等,结合当前应用广泛的计算机控制、神经网络控制和一些先进的控制算法,对滴灌无线传感网络技术进行了更加深入的研究^[9-11]。

本文以滴灌系统中的一个灌水小区为单位,研究并设计一套基于 ZigBee 无线传感网络技术的棉田滴灌监测与控制系统。并通过试验验证该系统是否可以按照设计要求实现灌溉和施肥的自动控制与检测。

1 系统结构设计

棉田滴灌监测与控制系统由上位机、首部枢纽、ZigBee 无线传感网络、灌水小区组成,如图 1 所示。上位机包括一台计算机和上位机软件,负责系统监测与控制。首部枢纽主要包括水泵、混肥装置、施肥泵和过滤器等。ZigBee 无线传感网络包括 1 个 ZigBee 协调器和 5 个 ZigBee 节点:3 个传感器节点(土壤湿度、温度和光照传感器),2 个控制器节点(流量传感器和继电器);在监控室中,协调器通过 RS-232 与计算机相连,ZigBee 节点分布于首部枢纽、支管和田间地块中^[12]。

2 数据融合与灌溉控制

2.1 湿度传感器数据融合

本系统中,棉田一个灌水小区中各参数信息的采集均由多个传感器节点采集,各个节点采集到的数据可信度不同。为此,采用自适应加权融合算法对 3 个节点采集到的土壤湿度测量值进行融合,以增加数据精度。多传感器融合具体过程如图 2 所示。

土壤湿度融合数据和加权因子满足^[13-15]

$$F(h) = k_1 f(x_1) + k_2 f(x_2) + k_3 f(x_3) \tag{1}$$

其中 $k_1 + k_2 + k_3 = 1$

式中 $F(h)$ ——土壤湿度传感器融合数据
 $f(x_i)$ ——各节点土壤湿度测量值, %
 k_1, k_2, k_3 ——加权因子

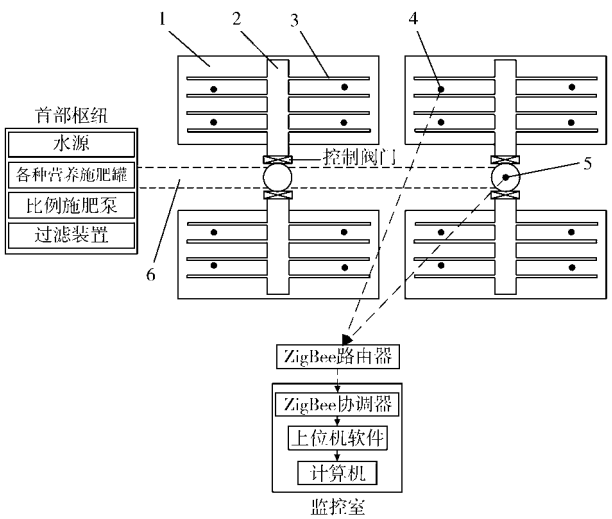


图 1 系统结构

Fig.1 Framework of system

1. 灌水小区 2. 支管 3. 毛管 4. 传感器节点 5. 控制器节点
6. 主管

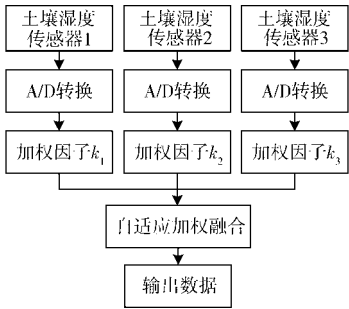


图 2 传感器融合过程

Fig.2 Sensor fusion process

总均方误差为

$$\sigma^2 = k_1^2 \sigma_1^2 + k_2^2 \sigma_2^2 + k_3^2 \sigma_3^2 \tag{2}$$

为使得到的传感器融合数据更精确,通过求取 σ^2 的最小值来得到最优加权因子。根据多元函数极值理论,当加权因子为

$$k_i = \frac{1}{\sigma_i^2 \sum_{i=1}^3 \frac{1}{\sigma_i^2}} \tag{3}$$

时 σ^2 最小,且

$$\sigma_{\min} = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \frac{1}{\sigma_3^2}} \tag{4}$$

由式(4)可知,依靠各个节点传感器的方差 σ_i^2 即可求得加权因子和总体方差 σ^2 ,从而得出最优化的土壤湿度融合数据 $F(h)$ 为

$$F(h) = \frac{\frac{f(x_1)}{\sigma_1^2} + \frac{f(x_2)}{\sigma_2^2} + \frac{f(x_3)}{\sigma_3^2}}{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \frac{1}{\sigma_3^2}} \tag{5}$$

将融合数据 $F(h)$ 作为实时监测自动灌溉的参数。

2.2 灌溉控制

该系统可以进行实时监测自动灌溉和自动水肥一体化灌溉。系统控制流程如图 3 所示。

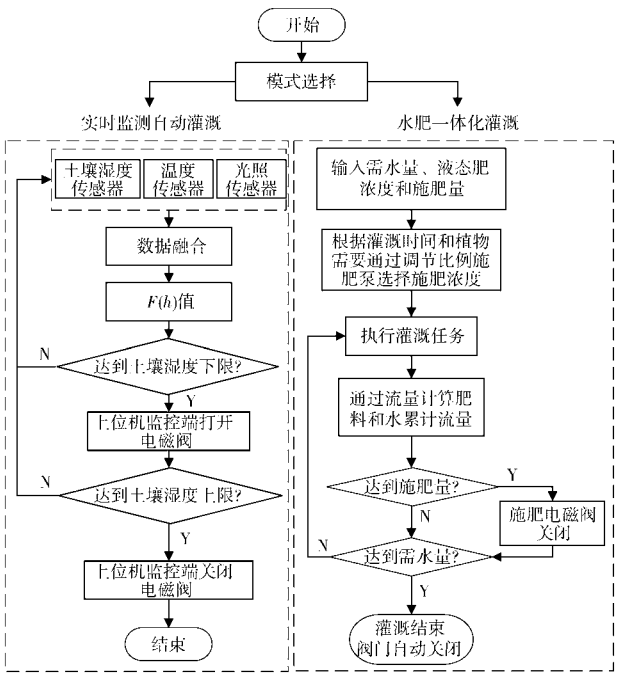


图 3 系统控制流程图
Fig. 3 Flow chart of system controlling

在实时监测自动灌溉模式下,系统采用土壤湿度融合数据 $F(h)$ 上下限自动控制灌溉。当 $F(h)$ 值达到土壤湿度下限时,上位机通过 ZigBee 网络发布电磁阀开启命令;随着灌溉的进行, $F(h)$ 值达到设定的土壤湿度上限时,系统关闭电磁阀,完成一个闭环控制。

在水肥一体化灌溉模式下,系统通过 ZigBee 无线传感网络实时采集施肥管道处的流量传感器数据,再根据施肥浓度实时监控施肥量,发布电磁阀控制命令,完成自动施肥,满足棉花不同生育期对施肥量和施肥浓度的要求。

施肥浓度根据施肥时灌溉水量和所需肥料用量来计算,其计算式为

$$C_f = \frac{m_f k_N}{m_w} \times 10^6 \tag{6}$$

式中 C_f ——施肥浓度,mg/kg
 m_f ——所需肥料用量,kg
 k_N ——肥料有效元素含量,%
 m_w ——灌溉水量,kg

3 系统开发应用

3.1 系统硬件平台搭建

由于测试条件有限,本研究设计开发了一个小区棉田滴灌监测与控制系统的测试系统,以测试真实系统的功能。测试系统的主要配置如表 1 所示。

表 1 主要配件的配置信息

Tab.1 Configuration information of main parts		
产品名称	数量	主要参数
施肥罐	1	容积:25 L
电磁阀	2	型号:FP4-180C
		型号:2W-320-32
流量传感器	2	型号:HS10PA
		型号:DN32
压力表	1	量程:0~0.6 MPa
施肥泵	1	类型:比例式施肥泵
光照传感器	3	型号:SM12SOIL
土壤湿度传感器	3	型号:GL5537-2
温度传感器	3	型号:DS18B20
节点模块	6	型号:CC2530F256

节点模块本身可以作为协调器或者路由器。节点模块主要包括 CC2530F256 型处理器、电源模块、时钟模块、通讯接口、驱动电路、继电器和传感器,完成传感器数据采集、信息传递以及电磁阀的控制^[16-17]。节点模块结构如图 4 所示,实物如图 5 所示。

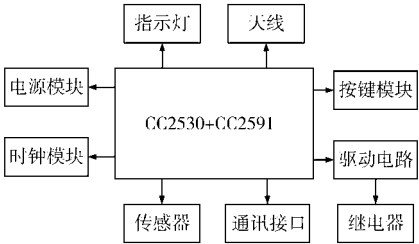


图 4 节点结构图
Fig. 4 Node structure diagram

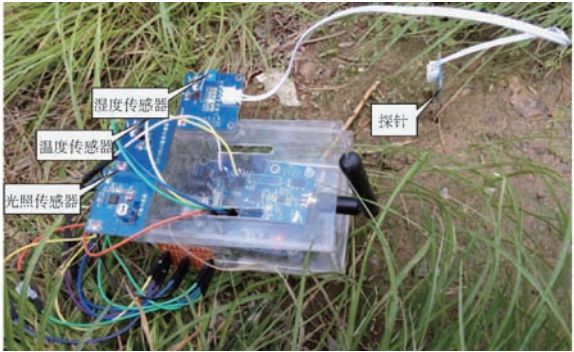


图 5 节点实物图
Fig. 5 Node physical picture

系统总体搭建如图 6 所示。在测试系统中,由于实际条件的限制,3 个传感器节点尽可能全面地布置在灌水小区中。

3.2 系统软件开发

3.2.1 系统节点软件

系统 ZigBee 无线网络中所有节点的软件设计都是基于 ZStack-CC2530-2.3.0-1.4.0 版本的协议栈,在 IAR Embedded Workbench 开发环境中用

C 语言编写^[18-20]。节点软件流程如图 7 所示。

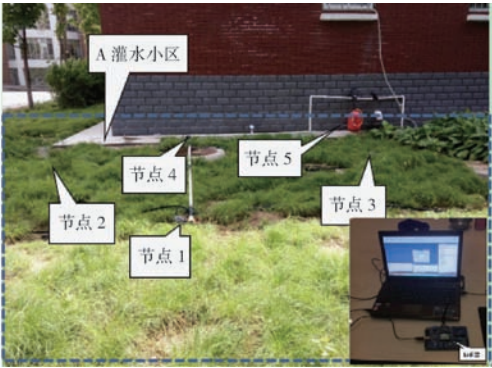


图 6 系统总体图
Fig. 6 Overall diagram of system

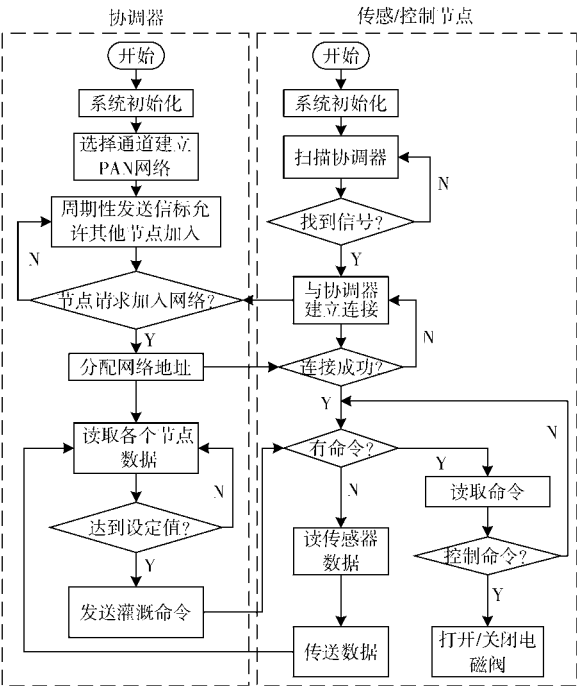


图 7 节点软件流程图
Fig. 7 Flow chart of node software

本系统中 ZigBee 网络协调器的主要功能是建立、维护网络,控制终端节点的加入,汇总、缓存和转发土壤湿度、土壤温度、光照强度和流量等数据,及传递上位机控制命令。

系统中传感器节点连接土壤湿度、温度和光照传感器,控制器节点连接流量传感器和继电器,其主要功能是采集数据和执行电磁阀控制命令。

3.2.2 上位机软件

上位机软件是在 Visual Studio 2013 开发环境中,采用编程语言 C# 开发完成。

上位机软件可以实现土壤湿度、温度和光照强度数据的实时采集,以及对支管和施肥管道中的流量数据的实时采集;根据系统控制策略实现灌溉控制;存储数据,方便用户查询;设置相应的参数,能够实时显示采集的实时数据。设计如图 8 所示,界面

如图 9 所示。

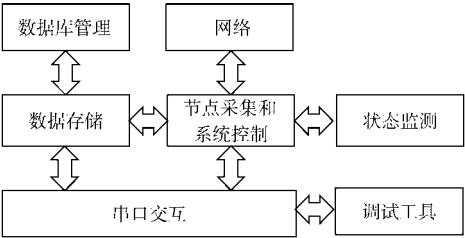


图 8 上位机软件设计框图
Fig. 8 Design block diagram of upper computer

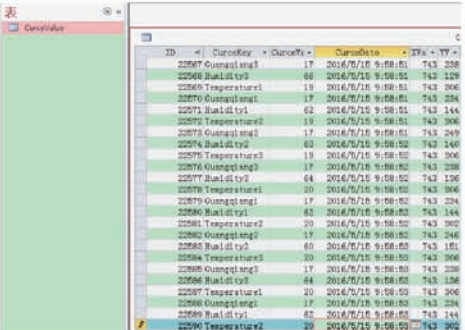
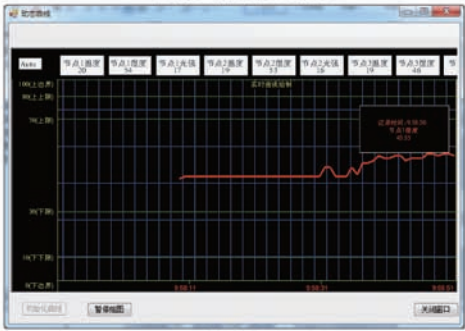


图 9 实时监测自动灌溉模式测试结果
Fig. 9 Test results of automatic irrigation mode in real time

3.3 系统应用测试

基于以上开发的测试系统进行实际系统应用测试。实时监测自动灌溉模式的测试结果如图 9 所

示。

从图 9 可以看出,系统开始时土壤湿度融合数据小于理想值,系统打开电磁阀开始灌溉,此时支管处流量为 4.44 L/min。灌溉一段时间后可以通过监控界面明显观察到土壤湿度的变动。当湿度传感器融合数据达到 65% 理想值时,灌水小区支管的电磁阀关闭,支管流量为零,试验过程中数据的采集和传输正常,控制命令发布正常,表明系统可以进行实时监测自动灌溉。

试验选择 N 元素的施肥来验证系统自动水肥一体化模式的功能。试验时参数界面如图 10 所示。

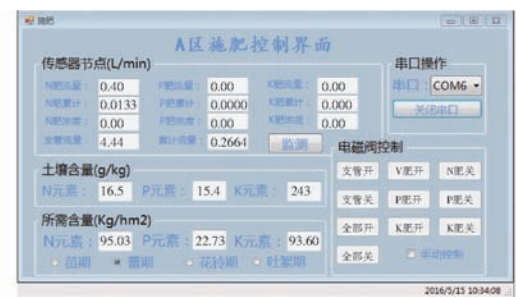


图 10 水肥一体化灌溉自动控制界面

Fig. 10 Automatic control interface of integrated water and fertilizer irrigation

从图 11 中可以看出液态肥流量稳定在 0.4 L/min

附近,表明系统采集到液态肥流量,并可以以恒定浓度进行混肥,实现水肥一体化灌溉。

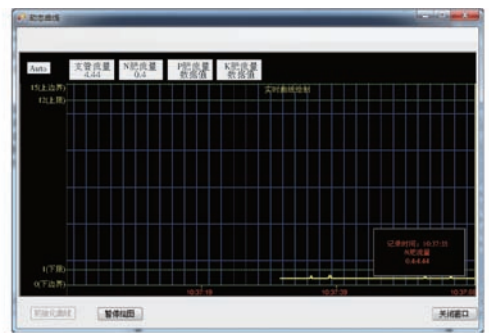


图 11 液态肥流量曲线

Fig. 11 Curves of liquid fertilizer flow

4 结论

(1) 基于 CC2530 芯片组成 ZigBee 无线传感网络设计了一套棉田滴灌监测与控制系统,该系统可以通过无线传感网络采集棉田信息,完成灌溉和施肥自动控制与监测。

(2) 采用自适应加权融合算法对多个土壤湿度传感器数据进行融合,并将融合结果作为实时监测自动灌溉的参数。

(3) 验证试验表明,该系统可以按照设计要求实现灌溉和施肥的自动控制与检测。

参 考 文 献

- 1 李久生,栗岩峰,王军,等. 微灌在中国:历史、现状和未来[J]. 水利学报,2016,40(3):372-381.
LI Jiusheng, LI Yanfeng, WANG Jun, et al. Microirrigation in China: history, current situation and prospects[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 40(3):372-381. (in Chinese)
- 2 刘永华,沈明霞,蒋小平,等. 水肥一体化灌溉施肥机吸肥器结构优化与性能试验[J]. 农业机械学报,2015,46(11):76-81.
LIU Yonghua, SHEN Mingxia, JIANG Xiaoping, et al. Structure optimization of suction device and performance test of integrated water and fertilizer fertigation machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11):76-81. (in Chinese)
- 3 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等. 柑橘园水肥一体化滴灌自动控制装置的研制[J]. 农业工程学报,2012,28(10):91-97.
LI Jianian, HONG Tiansheng, FENG Ruijue, et al. Development of automatic control device for integrated water and fertilization drip irrigation of citrus orchard[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(10):91-97. (in Chinese)
- 4 赵春江,屈利华,陈明,等. 基于 ZigBee 的温室环境监测图像传感器节点设计[J]. 农业机械学报,2012,43(11):192-196.
ZHAO Chunjiang, QU Lihua, CHEN Ming, et al. Design of ZigBee-based greenhouse environmental monitoring image sensor node [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(11):192-196. (in Chinese)
- 5 蔡义华,刘刚,李莉,等. 基于无线传感器网络的农田信息采集节点设计与试验[J]. 农业工程学报,2009,25(4):176-178.
CAI Yihua, LIU Gang, LI Li, et al. Design and test of nodes for farmland data acquisition based on wireless sensor network[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4):176-178. (in Chinese)
- 6 张伟,何勇,裴正军,等. 基于无线传感网络与模糊控制的精细灌溉系统设计[J]. 农业工程学报,2009,25(增刊2):7-12.
ZHANG Wei, HE Yong, PEI Zhengjun, et al. Design of precision irrigation system based on wireless sensor network and fuzzy control[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Sup. 2):7-12. (in Chinese)
- 7 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 Yuxuan, 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)
- 8 刘阳春. 变量配肥施肥精准作业装备关键技术研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2012.

- LIU Yangchun. Key technology on variable rate application system[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2012. (in Chinese)
- 9 EL-KADER S M A, EL-BASIONI B M M. Precision farming solution in Egypt using the wireless sensor network technology[J]. Egyptian Informatics Journal, 2013, 14(14): 221 – 233.
- 10 GARCIA-SANCHEZ A J, GARCIA-SANCHEZ F, GARCIA-HARO J. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2011, 75(2): 288 – 303.
- 11 GOUMOPOULOS C, O'FLYNN B, KAMEAS A. Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2014, 105: 20 – 33.
- 12 吴秋明, 缴锡云, 潘渝, 等. 基于物联网的干旱区智能化微灌系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 118 – 122.
WU Qiuming, JIAO Xiyun, PAN Yu, et al. Intelligent micro-irrigation system based on internet of things in arid area[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 118 – 122. (in Chinese)
- 13 郑德忠, 周颖慧. 加权实时数据融合在线阵 CCD 测温中的应用研究[J]. 光学技术, 2007, 33(2): 230 – 232.
ZHENG Dezhong, ZHOU Yinghui. Research on weighted fusion algorithm in temperature measurement system based on linear CCD[J]. Optical Technique, 2007, 33(2): 230 – 232. (in Chinese)
- 14 邵林. 多传感器数据融合技术在畜禽舍环境监测系统中的应用研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
SHAO Lin. The multi-sensor data fusion technology research in animal building environmental monitoring system[D]. Baoding: Agriculture University of Hebei, 2013. (in Chinese)
- 15 廖惜春, 丘敏, 麦汉荣. 基于参数估计的多传感器数据融合算法研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(1): 193 – 197.
LIAO Xichun, QIU Min, MAI Hanrong. The study on data fusion algorithms of multi-sensor based on parameter-estimation[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(1): 193 – 197. (in Chinese)
- 16 贾洪雷, 李杨, 齐江涛, 等. 基于 ZigBee 的播种行表层土壤坚实度采集系统[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 39 – 46.
JIA Honglei, LI Yang, QI Jiangtao, et al. Design and test of soil compaction acquisition system for sowing line surface based on ZigBee[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 39 – 46. (in Chinese)
- 17 史兵, 赵德安, 刘星桥, 等. 基于无线传感网络的规模化水产养殖智能监控系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 136 – 140.
SHI Bing, ZHAO Dean, LIU Xingqiao, et al. Intelligent monitoring system for industrialized aquaculture based on wireless sensor network[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 136 – 140. (in Chinese)
- 18 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.
HU Peijin, JIANG Ting, ZHAO Yandong. Monitoring system of soil water content based on ZigBee wireless sensor network[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 230 – 234. (in Chinese)
- 19 赵政华. 基于 ZigBee 技术的无线温、湿度监测系统的设计与实现[D]. 北京: 北方工业大学, 2010.
ZHAO Zhenghua. A wireless monitoring system of temperature and humidity based on ZigBee technology[D]. Beijing: North China University of Technology, 2010. (in Chinese)
- 20 杨婷. 基于 ZigBee 无线传感器网络的自动滴灌系统设计[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
YANG Ting. Design on automatic drip irrigation system based on ZigBee wireless sensor network [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009. (in Chinese)