

文章编号: 2095-4980(2016)02-0270-07

## 麦冬田间环境监测和自动灌溉系统设计与实现

陈 君<sup>1</sup>, 周达夫<sup>1</sup>, 王 飞<sup>1</sup>, 张 骏<sup>2</sup>, 汪文勇<sup>2</sup>

(1.四川九洲电器集团有限责任公司, 四川 绵阳 621000; 2.电子科技大学 计算机科学与工程学院, 四川 成都 611731)

**摘 要:** 设计并实现了基于无线传感器网络技术的模块化和低功耗的麦冬多元环境数据监测与自动灌溉系统, 提出了传感器节点功能与电源相互独立的模块化节点硬件方案, 构建了多维度的麦冬田间环境数据监测无线传感器网络以及针对麦冬的灌溉决策模型。系统将采集的麦冬农田环境数据(土壤湿度、地表温度等)结合气象台的温度、湿度以及降雨量等气象数据作为灌溉模型的输入量, 进行灌溉决策分析, 实现了对麦冬生长环境参数的精确监测和自动灌溉控制。通过在麦冬大田的实际测试结果表明, 系统各项功能运行稳定可靠, 适用于大中型中药材种植的田间环境连续监测与灌溉控制。

**关键词:** 麦冬; 无线传感器网络; 灌溉决策模型

**中图分类号:** TN929.5

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201602.0270

## Design and implementation of field monitoring and automatic irrigation system for radix ophiopogonis

CHEN Jun<sup>1</sup>, ZHOU Dafu<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>2</sup>, WANG Wenyong<sup>2</sup>

(1.Sichuan Jiuzhou Electric Group co., Ltd., Mianyang Sichuan 621000, China;

2.University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

**Abstract:** System for environmental monitoring and automatic irrigation in the growing field of radix ophiopogonis based on wireless sensor network technology is designed and implemented. The system features the design of hardware modularity which separates the power supply unit from the sensor nodes, the in-field wireless sensor network to monitor the diversifying field environmental data, and the integrating decision-making model for the irrigation control of the field of radix ophiopogonis. In the system, the collected field data, such as the humidity and temperature of the soil, combined with the weather data including the air temperature, humidity, and rainfall from meteorological observatory, are served as the input of the decision-making model to make the decision of irrigation. The decisions actuate the feedback loops to reach the goal of field monitoring and automatic irrigation control. The operation results show that the functions of our system running in the field have high stability and reliability, and the system can be suitably applied to the large area of farmland of medicinal herbs.

**Key words:** radix ophiopogonis; wireless sensor network; irrigation decision-making model

麦冬是百合科沿阶草属多年生常绿草本植物, 具有很高的药物价值。四川三台县是麦冬的原产地和主产区之一, 其麦冬种植面积和产量占全国的 60%, 出口量占全国的 80%。麦冬生长需要湿润潮湿的土壤环境, 适宜的土壤含水量是麦冬健康生长的保证, 而土壤含水量过高会导致麦冬的根部腐烂, 并带走大量肥料造成资源浪费。因此在麦冬的大规模农田栽培过程中, 合理灌溉是麦冬高产、高效益的保证。

近年来, 国内外学者对农业的智能灌溉系统进行了较深入的研究, 例如韩华峰<sup>[1]</sup>等设计了远程温室环境的监控系统; 靳兆荣等<sup>[2]</sup>设计了基于单片机的模糊控制的自动节水喷灌控制器; 谢守勇等<sup>[3]</sup>设计了用于温室育苗的模糊控制灌溉系统; 张伟等设计了无线传感器网络与模糊控制的精细灌溉系统<sup>[4-5]</sup>; José L Chávez 和 Francis J Pierce 等人设计了基于分布式无线传感器的网络远程控制灌溉系统<sup>[6]</sup>。这些系统存在以下一些问题: a) 数据来源单一, 只考虑土壤湿度信息, 而忽略了作物与环境信息, 导致决策的精确度降低; b) 决策模型不成熟; c) 灌溉用时

估计机制的使用降低了灌溉决策模型的精确度。为保证作物良好的土壤环境，借助于无线传感器网络组网灵活、自动实时连续监测的能力，设计和实现针对麦冬田的监测和灌溉控制系统成为了一种合理方案。类似于本文提出的麦冬田间环境监测和自动灌溉系统，具备低功耗、环境数据多样化、模块化硬件设计、有针对性的灌溉决策模型、长时间无人值守的野外工作能力和实时闭环反馈等优点的方案目前还未见报道。

本文介绍了麦冬田间环境监测与自动灌溉系统的体系结构，以及农田监测无线传感器网络的软硬件设计，监控中心的数据通信接口、灌溉决策模型以及灌溉控制的功能设计与实现。

### 1 系统体系结构

麦冬田间监测与自动灌溉系统的体系结构如图 1 所示。系统通过布置在农田环境中的无线传感器网络节点来采集农田环境的各项参数，包括土壤湿度和地表温度。节点将采集到的数据通过长、短距离无线技术(即 GSM 和 ZigBee)相结合的无线传输网络传送到监控中心进行进一步的处理和分析。灌溉决策模型根据环境和气象数据判断相对应的农田区域是否需要灌溉并形成灌溉决策。系统根据灌溉决策生成相应的灌溉指令，控制灌溉管道电磁阀的启闭，完成农田的按需自动灌溉。

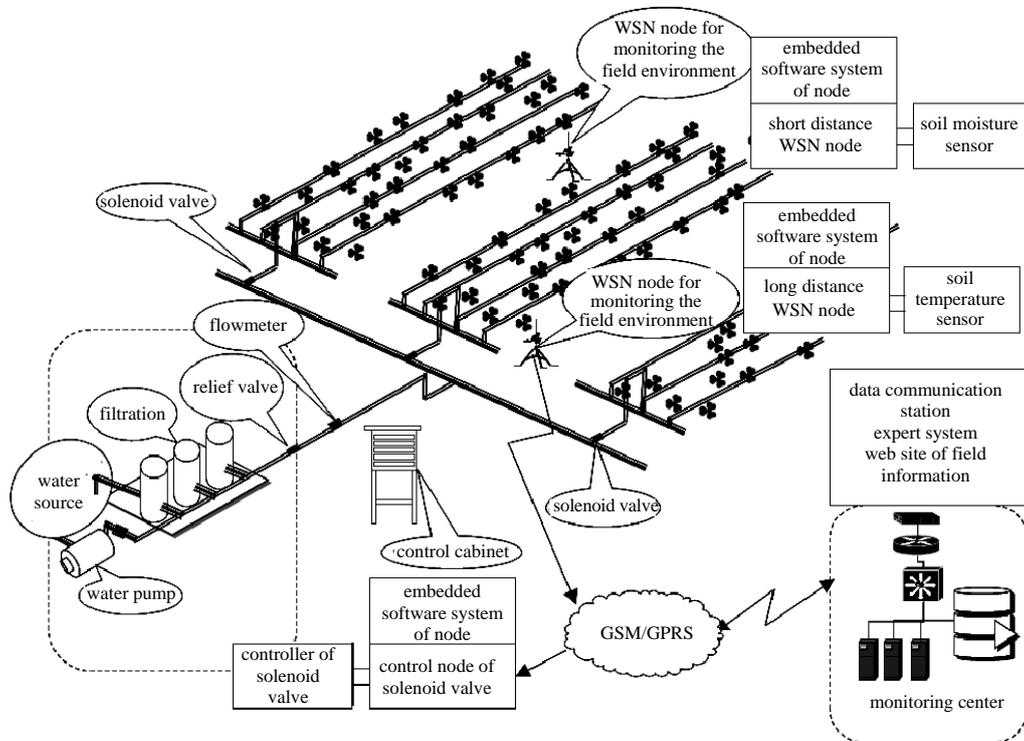


Fig.1 Infrastructure of the filed monitoring and automatic irrigation system  
图 1 麦冬田间环境监测和自动灌溉系统体系结构图

系统中有两类节点部署在麦冬田中，通过所连接的传感器进行农田环境参数的监测与采集，分别是短距离无线传感器网络节点(简称短距离节点)和长距离无线传感器网络节点(简称长距离节点)。农田区域中布置多个短距离节点，以长距离节点为中心组成一个监测组。多个监测组构成田间数据采集无线传感器网络，完成对大面积农田的监测。每个监测组中的短距离节点采用 ZigBee 通信将监测数据上传到长距离节点，长距离节点将数据汇总后按照预定规则通过 GSM 网络传输到远程的监控中心。在农田中还有一种电磁阀控制节点，不参与环境感知和采集任务，仅仅通过 GSM 网络接收监控中心下发的灌溉控制指令，执行对管道阀门的启闭控制。

系统有 2 个闭环反馈子系统，如图 2 所示：一个是监控中心的通信接口—数据通信站将长距离节点上传的农田环境数据递交给灌溉决策模型，模型做出决策后将结果反馈给数据通信站；另一个是由长距离节点采集农田环境数据传输到数据通信站，而后数据通信站发送灌溉控制命令反馈到麦冬田的电磁阀控制节点进行灌溉控制。

## 2 系统设计与实现

### 2.1 网络架构

田间每个监测组中的若干短距离节点以长距离节点为中心构成星型拓扑的无线传感器网络。长距离和短距离节点间的网络内部通信采用低功耗短距离 ZigBee 无线传输协议。长距离节点将本组数据汇聚后,通过 GSM 网络上传到远程的监控中心。监控中心接收数据后进行解析和入库操作。灌溉决策模型依据输入数据做出决策,监控中心根据决策结果发送灌溉命令到电磁阀控制节点,控制灌溉。

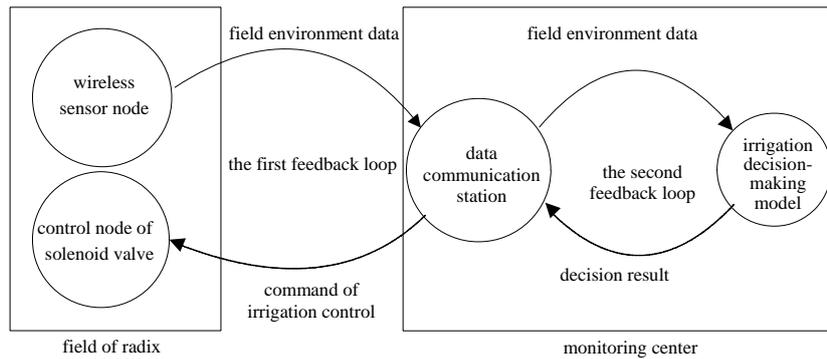


Fig.2 Schematic diagram of feedback loop  
图 2 闭环反馈机制示意图

### 2.2 模块化硬件设计

系统中的短距离节点、长距离节点和电磁阀控制节点均存在多种不同的功能需求,如节点模块的新旧更换、传感器功能的扩展、不同传感器对电源以及数据精确度的不同要求等,因此节点硬件采用模块化设计思想<sup>[7]</sup>。模块化设计主要体现在 2 点: a) 电源模块从节点中分离出来,形成由节点主板和电源模块构成的模块化结构。电源模块根据节点的不同用电需求进行电源分配。b) 节点主板统一采用以 MC13224 芯片为硬件架构的核心模块。不同节点依照功能需求可扩展相应的外围功能模块,包括 ZigBee 无线通信模块、串行通信接口、AD 转换模块、GSM 模块、GPIO 接口等模块。

### 2.3 电源设计

能耗一直是无线传感器网络的瓶颈问题。除了在软件层面上对休眠机制的设计外,节点电源模块的设计是无线传感器网络稳定性、健壮性和可靠性的前提。考虑到本系统应用场景—三台县麦冬大田的日照和天气等因素,节点电源部分采用市电、太阳能和锂电池供电相结合的方式。根据节点类型和部署地点,选用 2 种供电方式:

1) “市电—锂电池”供电方式。考虑到电磁阀工作电压为 DC12 V,额定功率 20 W,功率较大,同时电磁阀控制节点在农田中的部署位置便于铺设供电线路,故电磁阀控制节点的电源模块采用“市电—锂电池”的供电方式。市电经电源管理电路直接给继电器供电,同时给锂电池充电;锂电池经电源管理电路给节点其他模块供电。

2) “太阳能—锂电池”供电方式。长距离节点和短距离节点的部署位置不固定且功率低,故电源模块给节点供电采用“太阳能—锂电池”的供电方式。在该方式中,锂电池通过电源模块给整个节点供电,太阳能板采集的电能直接给锂电池充电。太阳能板电能输出的大小随天气和日照强度变化,若直接向节点供电,会造成系统不稳定,而锂电池有限流、过充、短路保护和供电稳定等特点,因此太阳能给锂电池充电后再经电源模块向节点供电能提高系统的稳定性。

### 2.4 软件设计

本系统的软件系统包括多个子系统,即节点嵌入式软件子系统、数据通信站软件、数据分析决策软件子系统(专家系统)、农田生态信息发布软件子系统。这些软件子系统分别运行于不同的硬件环境和平台上,协同工作,构成一个有机整体,共同实现农田环境信息采集、传输、数据处理和决策、信息发布、以及灌溉控制的完整过程与功能。软件系统的架构如图 3 所示。

节点嵌入式软件和数据通信站软件属于输入层。节点嵌入式软件运行于无线传感器网络节点上,通过协调节点各个组件的运行,完成数据采集、组网与数据传输任务。

数据通信站软件运行于监控中心服务器,是监控中心与农田监测无线传感器网络节点通信的接口,是系统实现闭环反馈控制的关键。在图 2 所示的第一闭环反馈子系统中,数据通信站负责接收长距离节点上传的环境数据,并将其解析入库;负责将数据采集命令和灌溉控制命令分别下发到长距离节点和电磁阀控制节点。在第 2 闭环反馈子系统中,数据通信站将入库数据提交决策模型,并接收模型反馈的决策结果和控制指令。

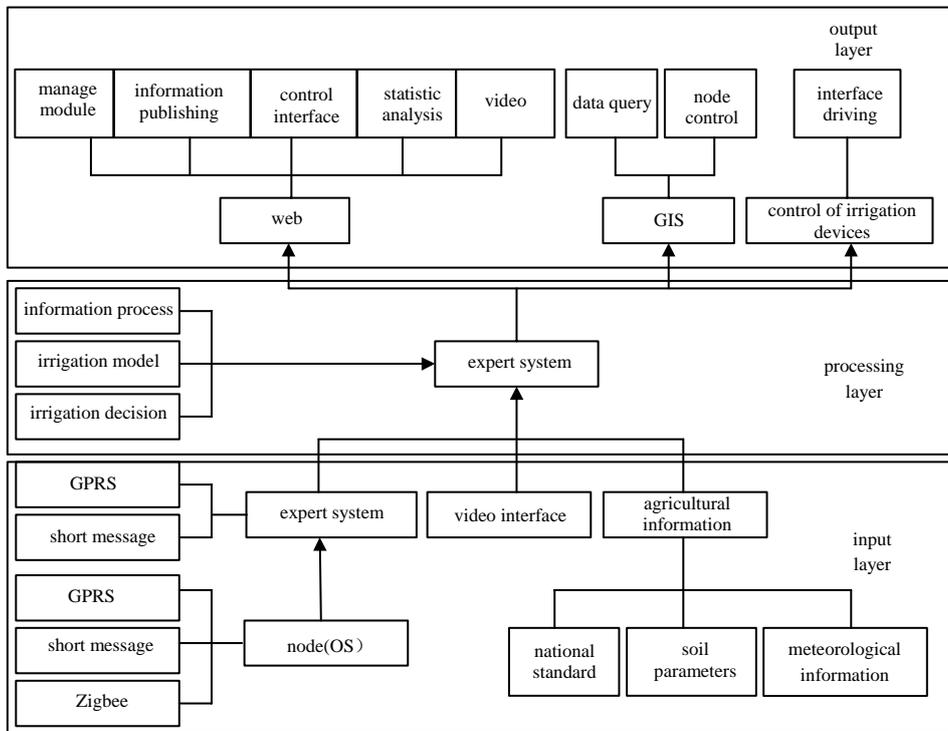


Fig.3 Architecture of the software system

图 3 软件系统架构图

输入层还包括当地的物候信息(即近期的天气信息)、本地的土壤信息以及当地和国家的相关标准。

数据分析决策子系统软件(专家系统)属于处理层,运行于监控中心服务器,是本系统的智能决策机构。在第 2 个闭环反馈子系统,专家系统对农田环境数据以及其他输入数据进行接收和存储后,灌溉决策模型根据环境数据判定农田区域的需水状态,结合气象数据形成该区域是否需要灌溉的决策。专家系统的输出包括农田环境的相关统计信息和灌溉决策。灌溉决策以指令方式发送到灌溉控制子系统,通过驱动接口和电磁阀控制器,实现对灌溉供水的通断控制。

在输出层,农田环境观测与相关统计信息由农田生态信息发布子系统以网页和地理信息系统(Geographic Information System, GIS)形式发布,并提供用户界面。

## 2.5 灌溉决策模型设计

灌溉决策是农田自动灌溉系统的核心,直接影响农田灌溉的精确性、可行性和高效性。灌溉决策是决策模型根据环境数据对农田区域是否需要灌溉的判断结果。农田灌溉决策受土壤的多种环境参数影响,例如土壤湿度、含水量、温度等。但考虑到可行性和操作性,本系统的决策模型以土壤湿度参数为主,以土壤表面温度、气象情况以及降雨量为辅的方案进行决策。

决策模型设定土壤湿度上限  $H_{Upper}$  和下限  $H_{Low}$ , 根据当前监测的土壤湿度值  $H_{Now}$  与湿度上下限的关系,结合当前天气情况,做出灌溉决策。灌溉过程中决策模型根据区域实时土壤湿度  $H_{Now}$  的变化做进一步分析和判断,以确定灌溉计划和任务的停止时间。具体流程如图 4 所示。

如流程所示,土壤的  $H_{Upper}$  和  $H_{Low}$  是整个灌溉决策模型的关键,直接决定当前区域是否进行灌溉操作。在决策模型中,是通过当前区域组号获取作物、生育期以及土壤类型进而查找到预设的湿度上下限,故  $H_{Upper}$  和  $H_{Low}$  是由作物、生育期以及土壤类型决定。

根据农业科学研究结果<sup>[8-9]</sup>,土壤的  $H_{Upper}$  和  $H_{Low}$  与多种因素有关,例如作物种类、作物的生育期、土质、

作物生长的地域以及其他不可估量的因素等。这些因素给  $H_{Upper}$  和  $H_{Low}$  的精确化和具体化增加了困难,使得农田灌溉中土壤的湿度上下限趋于经验化和模糊化。要想精确地定位土壤湿度上下限值,只有排除影响因子。本系统各项运行参数的确定是以四川省三台县麦冬大田实际测试情况为依据,其中排除了作物和土壤等影响因子。根据测试数据,三台县的麦冬在开花期的土壤  $H_{Upper}$  为 23.2%,  $H_{Low}$  为 15.6%。

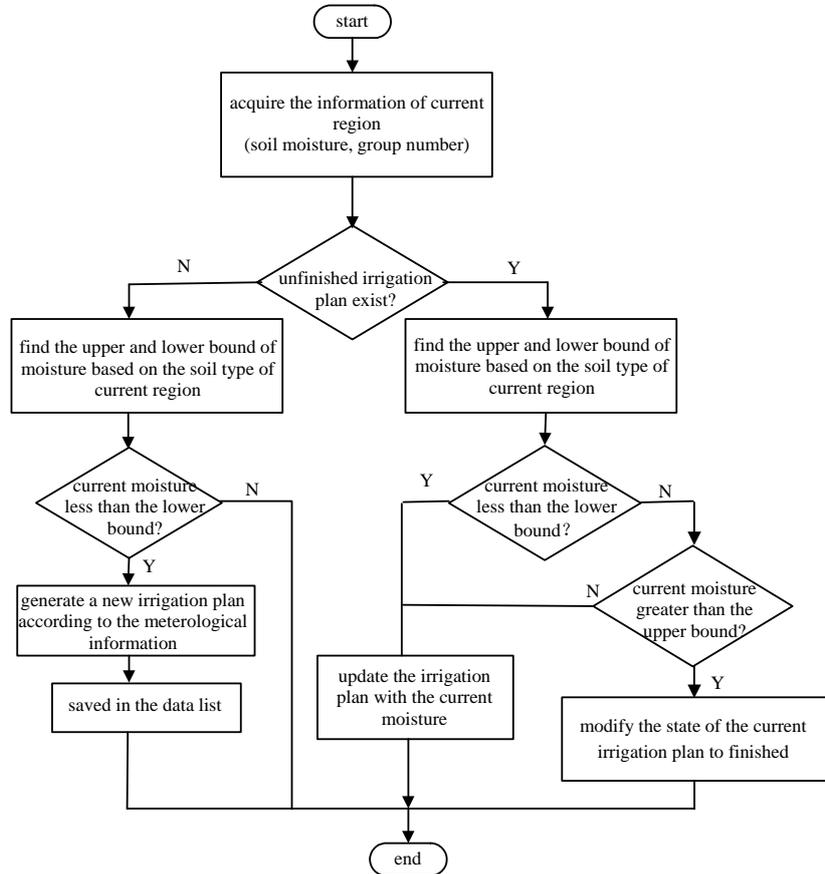


Fig.4 Flow chart of the irrigation decision making  
图 4 灌溉决策流程图

### 3 系统实现与测试

麦冬田间环境监测和自动灌溉系统是专门针对三台县麦冬大田环境而开发的,系统的运行测试场地选址在三台县麦冬种植基地,开展麦冬生长环境生态参数的监测与农田灌溉控制实验。

长距离和短距离节点、电磁阀控制节点被部署在麦冬田中,实现农田监测和管道阀门的控制。节点硬件的模块化设计使得节点功能部分实现了模块化管理,节点能够按照自身功能需求进行扩展,与传统的无线传感器网络节点相比更具灵活性和扩展性。节点样机和田间部署情况如图 5 所示。

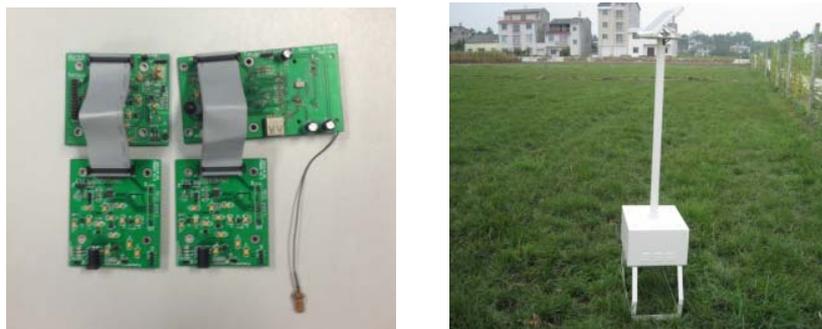


Fig.5 Example of the sensor nodes and their distribution in the field  
图 5 传感器节点及田间部署展示图

麦冬田间环境监测与自动灌溉系统的用户界面是通过 web 形式为用户提供农田展示地图和灌溉控制操作等交互功能。农田展示地图是一个基于 webGIS 的地理信息展示和管理的服务平台。结合地理信息为用户直观地提供农田监测参数,并提供实时数据查询、数据下载、数据汇总等功能。

灌溉控制操作界面为用户提供灌溉管理和与灌溉相关参数的查询。灌溉管理提供了 4 种操作,分别为开启灌溉、正在灌溉、关闭灌溉以及完成灌溉。这 4 种操作能直接地控制农田环境中的电磁阀和查看灌溉进度、灌溉状态、灌溉用时以及灌溉量等参数,具体示例如表 1 所示。

表 1 灌溉控制信息表  
Table1 Information table of the irrigation control

plan ID	group number	valve number	soil moisture	progress of irrigation plan	state	date of plan
50	7	1	15.42	100.00	finished	2013-12-19
49	1	1	17.80	100.00	finished	2013-11-08
48	8	1	22.54	19.00	in progress	2013-11-08
46	7	1	15.42	100.00	finished	2013-11-01
47	4	2	0.00	0.00	not started	2013-11-01
45	3	1	12.80	4.59	in progress	2013-10-30
44	10	1	0.00	0.00	not started	2013-08-15
43	3	1	60.00	100.00	finished	2013-08-11
40	1	1	60.00	100.00	finished	2013-08-07
38	1	1	60.00	100.00	finished	2013-08-07

运行实验显示:节点的功耗范围为 370.28 mW~380.76 mW,平均功耗 378.76 mW,与系统指标要求相比降低 148%。系统监测与控制的农田区域面积为 60 亩~86 亩/套,平均面积为 72 亩/套,高于系统指标要求 140%。

#### 4 结论

绵阳三台县具有悠久的麦冬种植历史和重要的产业优势地位。为了更有效地为该地区的麦冬田提供生长环境监测与灌溉控制,本文提出了一种基于无线传感器网络技术和闭路反馈机制的麦冬田间监测和自动灌溉系统的设计方案。

该系统通过采集并分析麦冬种植区域的土壤湿度和地表温度可以精确地获取麦冬田的需水状态,并能实现自动、实时的有效灌溉控制。运行测试结果表明,该系统运行可靠、灌溉控制精准,具有较高的实际应用价值。同时,该系统提出了无线传感器网络节点的模块化设计思想和具体的模块化方案,从而使得无线传感器节点和网络在功能上具有了更加灵活的扩展性,为无线传感器网络的应用研究提供新的思路。

#### 参考文献:

- [1] 韩华峰,杜克明,赵伟. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009,25(7):158-162. (HAN Huafeng,DU Keming,ZHAO Wei. Design and application of ZigBee based telemonitoring system for greenhouse environment data acquisition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009,25(7):158-162.)
- [2] 靳兆荣,徐敏杰,魏学良.等. 基于模糊决策的自动节水喷灌控制器的设计[J]. 排灌机械, 2004,22(5):26-28. (JIN Zhaorong,XU Minjie,WEI Xueliang,et al. Study and design of spraying irrigation automatic controller based on fuzzy decision [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2004,22(5):26-28.)
- [3] 谢守勇,李锡文,杨叔子,等. 基于 PLC 的模糊控制灌溉系统的研制[J]. 农业工程学报, 2007,23(6):208-210. (XIE Shouyong,LI Xiwen,YANG Shuzi,et al. Design and implementation of fuzzy control for irrigating system with PLC[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(6):208-210.)
- [4] 张伟,何勇,裘正军.等. 基于无线传感器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(2):7-11. (ZHANG Wei,HE Yong,QIU Zhengjun,et al. Design of precision irrigation system based on wireless sensor network and fuzzy control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009,25(2):7-11.)
- [5] 周国祥,周俊,苗玉彬,等. 基于 GSM 的数字农业远程监控系统研究与应用[J]. 农业工程学报, 2005,21(6):87-91. (ZHOU Guoxiang,ZHOU Jun,MIAO Yubin,et al. Development and application on GSM-based monitoring system for digital agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005,21(6):87-91.)
- [6] JOS é L C,FRANcis J P,TODD V E. A remote irrigation monitoring and control system for continuous move systems[J]. Precision Agriculture, 2010,11(1):11-26.

(下转第 281 页)