

文章编号: 1674-8085 (2021) 06-0058-06

红壤丘陵区农业环境自动监测系统建设研究

付 青^{1,2,3}, 吴 玄¹, *郭 晨^{1,2}, 肖 蓉^{1,2}, 曾 寰^{1,2}

(1. 井冈山大学电子与信息工程学院, 江西, 吉安 343009; 2. 江西省农作物生长物联网技术工程实验室, 江西, 吉安 343009

3. 同济大学测绘与地理信息学院, 上海 200092)

摘 要: 针对红壤丘陵区农业环境自动监测系统建设的实际需求, 主要研究开发红壤丘陵区农业环境自动监测系统, 采用了物联网、数据挖掘等技术, 使用 Java 语言, 结合 Spring, SpringMVC, MyBatis, Spring Boot 以及 Quartz 等相关应用框架进行开发, 建立一套稳定、易用的红壤丘陵区农业环境自动监测系统, 实现红壤丘陵区农业环境参数自动监测、设备自动调控等功能, 进而减少人工干预、提升作业效率。并进一步发展红壤丘陵区智慧农业建设方案, 具有重要的科学价值和实际意义。

关键词: 红壤; 丘陵区; 农业环境; 自动监测; 系统

中图分类号: TQ324.3

文献标识码: A

DOI:10.3669/j.issn.1674-8085.2021.06.011

CONSTRUCTION OF AGRICULTURAL ENVIRONMENT AUTOMATIC MONITORING SYSTEM IN RED SOIL HILLY REGION

FU Qing^{1,2,3}, WU Xuan¹, *GUO Chen^{1,2}, XIAO Rong^{1,2}, ZENG Huan^{1,2}

(1. School of Electronics and Information Engineering, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009, China;

2. Jiangxi Engineering Laboratory of IoT Technology for Crop Growth, Ji'an, Jiangxi 343009, China;

3. College of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In view of the actual demand of agricultural environment automatic monitoring system construction in red soil hilly region, the automatic monitoring system of agricultural environment in red soil hilly region was studied and developed by using the technologies of Internet of things (IOT), data mining and Java language, and combined with Spring, Spring MVC, MyBatis, Spring boot and Quartz and other related application frameworks. A stable and easy-to-use automatic monitoring system of agricultural environment in red soil hilly region was established, the functions of automatic monitoring of agricultural environmental parameters and automatic regulation of equipment in red soil hilly area were realized, which could reduce manual intervention and improve operation efficiency. It showed important scientific value and practical significance.

Key words: red soil; hilly region; agricultural environment; automatic monitoring; system

当前正是我国全面建设小康社会的紧要关头, 农业形势的稳固, “三农” 战略大力推动以及农业供

给侧结构性改革, 已经成为确保国家发展和社会稳定并实现第一个一百年奋斗目标的基础^[1-2]。习近平总书

收稿日期: 2021-06-28; 修改日期: 2021-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61862035); 江西省红壤丘陵区农业环境污染防控重点实验室开放基金项目(JXKL2021003); 井冈山大学服务地方专项项目(JFD2015)

作者简介: 付 青(1990-), 男, 江西抚州人, 实验师, 硕士, 主要从事智慧农业系统开发及应用方面等研究(E-mail:fvqing@163.com);

吴 玄(1998-), 男, 江西吉安人, 井冈山大学电子与信息工程学院 2016 级通信工程专业本科生(E-mail:554350076@qq.com);

*郭 晨(1979-), 男, 江西吉安人, 教授, 博士, 主要从事计算机软件设计与开发方面等研究(E-mail:519670255@qq.com);

肖 蓉(1979-), 女, 江西吉安人, 讲师, 硕士, 主要从事计算机软件设计方面等研究(E-mail:635607085@qq.com);

曾 寰(1990-), 男, 江西吉安人, 实验师, 硕士, 主要从事计算机软件开发方面等研究(E-mail:584251395@qq.com)。

记指出,要把发展农业科技放在更加突出的位置,大力推进农业机械化、智能化,给农业现代化插上科技的翅膀。

随着大数据、云计算、人工智能、物联网等技术的不断发展,农业环境自动监测技术在我国得到了广泛的研究。随着农业环境自动监测研究的深入,我国智慧农业技术不断成熟^[3-4]。我国高校和农业科研部门开展了大量的智慧农业领域科学实验,形成了一套完整的智慧农业系统,智慧农业系统具有较强的实用性,可以满足多种农作物的生长需要^[5-7]。

学者们对智慧农业进行了广泛研究,如郭文川等^[8]开发基于无线传感器网络的温室大棚监测系统;朱鸿运等^[9]实现了基于 DTU 和 Datalogger 的农作物生长环境信息在线监控系统设计;张玮等^[10]设计了现代智慧农业设施大棚环境监测系统。上述研究在一定程度上为智慧农业的发展提供了技术支持,为智慧农业系统的开发和建设打下了基础,使中国的智慧农业得到了更好、更快地发展。

智慧农业是现代农业发展的必然趋势,是农业可持续发展的必由之路,是保证农业产量和质量的技术保障。智慧农业融合了物联网技术、信息技术、传感器计算、通信技术、大数据技术和云计算技术^[11-13]。为农业生产提供专家智慧,使农业生产更加高效灵活,达到提高农业产量、节约劳动力资源、保护土壤环境的目的,实现对农业生产环境的远程监控功能,农业现场可视化观察、异常报警及数据存储^[14-16]。

南方红壤丘陵区是我国重要的土地资源,主要分布于长江以南的低山丘陵区,在农业生产中占有重要地位^[17]。南方红壤丘陵区与我国其他地区的农业环境监测技术手段并无较大差异,其主要区别在于不同地区监测到的农业环境参数具有较大差别。针对南方红壤丘陵区采集的农业环境参数值,可进一步分析其变化规律与农作物之间的生长关系,进而提高红壤丘陵区的农作物产量。已有学者针对红壤丘陵区的农业环境监测进行了一定的研究,如文超^[18]利用卫星遥感影像数据集,研究了赣南红壤丘陵区桔园的时空格局及其土壤温湿度特征。李经纬^[19]分析了南方红壤区土壤侵蚀时空演变特征及主要驱动力。尹春梅等^[20]对 2004~2014 年桃源站红壤坡地不同利用方式下土壤含水量长期监测数据集。这些研究主要是宏观上对部分农业环境参数进

行了监测。此外,针对红壤丘陵区的农业环境自动监测系统建设的研究更不多。

鉴于此,本文旨在研究红壤丘陵区农业环境自动监测系统建设,利用智能传感器设备采集农业环境信息,通过传感器网络连接云服务存储,再结合大数据、信息通信等先进技术,使智慧农业应用到农业生产的各个环节,实现对农作物生长信息和环境的监测,以及数据的分析和处理,实现农业生产资源的合理配置,降低劳动力成本,实现农业产量最大化。

1 方法

1.1 系统总体框架

红壤丘陵区农业环境自动监测系统主要包括总监控台、控制配置、操作记录等模块,该系统总体框架如图 1 所示:

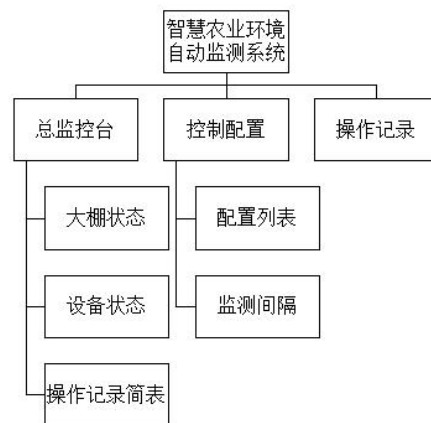


图 1 系统总体框架图

Fig. 1 The architecture of the system

1.2 系统需求分析与功能设计

功能需求表示开发工作者在开发系统时必须完成的功能,功能需求分析是软件开发中最为重要的阶段,用户可以借助这些功能实现具体的业务逻辑。本系统的目的是帮助用户随时随地的监测温室大棚的环境参数,并且当温室大棚内某一环境参数异常时,用户可以及时地进行远程控制。

本系统大致包含以下几个模块:实时数据显示模块、数据分析模块、报警模块和系统配置模块等。用户最关心的是温室大棚内环境参数的实时显示,以及能否对温室大棚内的设备进行有效地控制。所以这两个模块开发是本系统的重点和难点,也是影响最后开发的软件是否令用户满意的重要因素。用

户可以借助此系统提高农作物的产量和质量, 提高整体农业的从业人员的水平。

本系统的代码架构设计如图 2 所示:

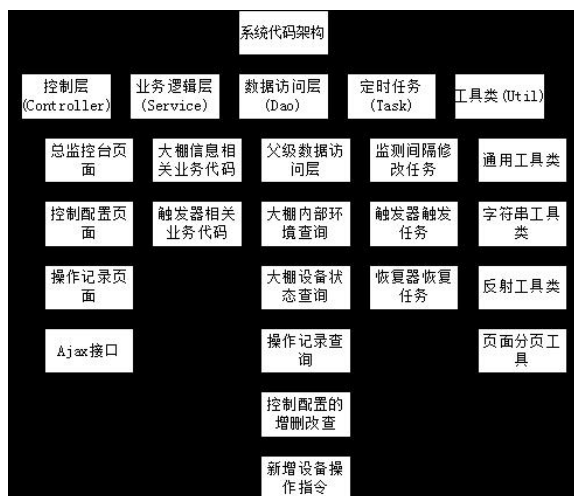


图 2 系统代码架构设计

Fig. 2 System code architecture design

①触发器

触发器是该系统的核心, 所有的自动处理功能都基于触发器的配置实现, 用户可以自定义触发器的配置。要使得触发器能够定时执行, 需要在 Quartz 配置一个 jobDetail 对象, 并至少要设置 name, group, targetObject 和 targetMethod 四个基本属性, 其中 targetObject 是要执行的类, targetMethod 是该类中要执行的方法。且在 Spring 环境中, 需要在 jobDetail 类上加入 @Bean 注解, 才会使得 Spring 容器能够扫描到该类并加载进环境中。

②恢复器

在使用触发器对设备进行操作以后, 使用线程等待确定时间再恢复设备状态的方式在触发器较多且触发器数量不确定的时候并非是一个明智的选择, 因此本系统用恢复器来恢复触发器执行的操作。由于恢复器没有动态修改扫描周期的需求, 因此使用了 Spring Boot 的 Schedule 定时器功能, 该功能需要在恢复器类上加上 @EnableScheduling 注解, 并在需要定时执行的方法上添加 @Scheduled(执行周期)注解, 此处执行周期设置为了 fixedRate = 10000, 即 10 s 执行一次。

③检测周期

检测周期由提前编写好的 Cron 表达式决定, 系统预留了 15 个常用的 Cron 表达式, 效果分别为: 暂停监测、3 s 监测一次、5 s 监测一次、10 s 监测

一次、30 s 监测一次、每分钟监测一次、3 min 监测一次、10 min 监测一次、20 min 监测一次、30 min 监测一次、每小时监测一次、3 h 监测一次、6 h 监测一次、12 h 监测一次、24 h 监测一次。

用户可以修改检测周期来决定多久扫描一次触发器。在修改监测周期时, 该系统需要调用 scheduler.rescheduleJob(cronTrigger.getKey(), trigger) 方法从将 Quartz 的 scheduler 使用修改后的 cron 表达式重新构建, 此时则完成了监测周期的修改。

④Dao 层

该系统中 Dao 层使用了 MyBatis 的注解 Mapper 和封装后的 JDBC Template 两种形式。

其中 MyBatis 的注解 Mapper 形式如下:

```
@Insert("INSERT INTO " +
        "tMotoCmdInfo (vcMotoName, iActCmd, vcActName,
        iCmdStatus, vcRemark, vcTime, iOperatorId) " +
        "VALUES " +
        "({vcMotoName}, #{iActCmd}, #{vcActName},
        #{iCmdStatus}, #{vcRemark}, #{vcTime}, #{iOperatorId})")
void writeMotoCmd(MotoCmdInfo info);
```

在接口方法中使用注解, MyBatis 则可以自动生成实现类供开发者调用。在 MyBatis 注解中使用 #{ } 的形式插入参数时, 会通过给插入的参数加上单引号的形式避免 SQL 注入问题, 而当使用 \${ } 的形式插入参数时, 则不会避免 SQL 注入问题。而 @Insert 注解的作用则是表示该方法为插入方法, 此外删/改/查对应的注解分别是 @Delete, @Update 和 @Select。

而 JDBC Template 则相较于 MyBatis, 手动化程度更高, 在一些 MyBatis 注解不方便使用的场景则较为合适。本系统也在此处对 JDBC Template 进行了封装, 通过 Java 反射自动获取实体类的属性名和属性值来实现自动的增/删/改/查方法, 大幅度提高了 JDBC Template 的易用性, 所有使用 JDBC Template 的 Dao 都继承自一个基础 Dao 类, 该 Dao 类则包含了这些增/删/改/查方法。

在以上两种形式的 Dao 层中执行删除、更新、插入数据时, 要数据库操作成功时, 返回 true 代表操作成功, 否则返回 false 代表操作失败。

⑤Service 层和 Controller 层

Service 层则是常规的三层架构中的处理过程, 对数值进行了校验并处理了一些特殊情况。Controller 层在传输数据给前端时, 若不以 Json 格

式传输，则需要使用 `model.addAttribute()` 方法进行传输到 `thymeleaf` 模板引擎，而该模板引擎进行渲染时，需要在 `thymeleaf` 中使用 `th:object` 属性进行接收。

⑥Util 工具类

Util 包中包含 `CommonUtil`（通用工具类）、`StringUtil`（字符串处理工具类）和 `ReflectUtil`（反射工具类）。其中通用工具类为常规的日期格式转换方法和基本的数组操作方法，字符串处理工具类为字符串判断方法（如判断字符串是否为空字符串或为空指针），反射工具类则包含了获取实体类属性名数组和属性值数组的方法。

1.3 系统数据库结构设计

红壤丘陵区农业环境自动监测系统数据库主要包括触发器、恢复器、检测周期等表，现对这三种表属性进行详细设计，具体如表 1 至表 3 所示。

表1 触发器表
Table 1 Trigger table

字段名	数据类型	含义	取值范围
id	int	非业务主键	0-100
triggerCondition	smallint	高于/低于情况	0低于, 1高于
triggerMoto	varchar	执行的设备	0-10
triggerOperate	smallint	对设备的操作	0关闭, 1打开
motoDuration	int	设备执行多长时间后恢复, 单位分钟, 0代表不恢复	0-20
triggerAfter	varchar	生效起始时间	/
triggerBefore	varchar	生效终止时间	/
triggerStatus	smallint	是否启用	0禁用, 1启用, 2正在执行

表2 恢复器表
Table 2 Restorer table

字段名	数据类型	含义	取值范围
id	int	非业务主键	0-100
triggerId	int	触发器id	0-100
triggerMoto	varchar	执行的设备	0-10
triggerOperate	smallint	对设备的操作	0关闭, 1打开
triggerTime	datetime	触发器触发时间	/
restoreTime	datetime	触发器恢复时间	/
restoreStatus	smallint	恢复状态	0已触发, 1已恢复

表3 检测周期表
Table 3 Test cycle table

字段名	数据类型	含义
id	int	检测周期id
cron	varchar	检测周期对应Cron表达式
note	varchar	检测周期对应中文解析

1.4 数据流向图

红壤丘陵区农业环境自动监测系统主要包括数据显示模块、数据分析模块、报警模块，各模块间数据的流向如图 3 所示：

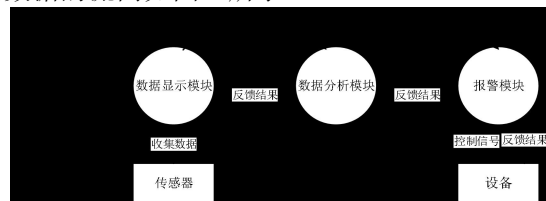


图3 数据流向图

Fig.3 Data flow direction

1.5 系统模块开发与测试

红壤丘陵区农业环境自动监测系统采用主流的 `Spring Boot + Spring + SpringMVC + MyBatis` 的框架配置，并辅以 `Quartz` 框架实现触发器功能，使用 `Java` 代码编写，数据库支持 `MySQL`，可对代码进行微调后支持 `SQLServer`，开发使用 `IntelliJ IDEA`。整个系统可以运行在 `Windows Server` 和 `Linux` 服务器中，已在 `Windows Server 2008`、`Windows10 Profession`、`Cent OS 7.5`（其中一种 `Linux` 发行版，是国内主流使用的服务器 `Linux` 系统）进行测试。由于代码为前后端分离设计，在经过接口处理的情况可以匹配主流的前端代码。

①触发器测试

阈值的数值单位基于其关键字对应的触发器，如空气温度 1 的阈值数值单位则是摄氏度，空气湿度 1 对应百分比，光照强度对应 `Lux`；操作时间的默认单位为分钟，具体触发器配置如表 4 所示。

表4 测试的触发器表
Table 4 Test trigger table

id	关键字	阈值	高/低于	设备	操作	时间 (分)	起始	终止	状态
2	空气湿度1	57	低于	喷雾器	打开	30	08:00	18:00	1-启用
3	空气温度1	31	高于	2#天窗	打开	0	08:00	18:00	1-启用
7	光照强度1	900	低于	1#补光灯	打开	5	08:00	18:00	1-启用
8	光照强度1	1400	高于	侧帘	打开	20	10:00	14:00	0-禁用
9	土壤温度1	15	高于	灌溉出水阀	打开	5	08:00	20:00	1-启用

触发器成功触发的标志是在 `tMotoCmdInfo` 表写入一条 `iCmdStatus` 的值为 0 的数据库数据（输出大棚内的系统会自动扫描 `tMotoCmdInfo` 表中 `iCmdStatus` 的值为 0 的操作操作设备），并且日志文件中会记录触发器触发的时间和触发器 `id`，当以上三个事件同时发生时代表该触发器已经成功执行。

此处测试触发器是否只有在启用状态才会触

发、是否会在起始时间和终止时间内触发、是否在判断到传感器达到触发器条件后才会触发、触发后操作设备是否正常。

②恢复器测试

此处测试恢复器是否会正常恢复触发器操作的设备、对操作时间为 0（也就是不恢复）的触发器是否能正常还原。

2 系统运行与测试

2.1 运行环境

该系统主要基于 Java1.8 实现，结合 MySQL 进行开发，服务端只需要安装 jre1.8 和 MySQL 8.0.16 并导入基本数据即可运行。该系统的原型界面如图 4 所示。

2.2 系统测试

实验测试环境自建大棚内，里面布设了 4 个传

感器，其采集的对应传感器数值如表 5 所示。



图 4 系统原型界面

Fig.4 System prototype interface

表5 传感器数值和对应触发状态表

Table 5 Sensor values and corresponding trigger status table

传感器	数值	对应触发器	恢复时间
空气温度1	31.8° C	3号触发器	∞
空气湿度1	64.7%	2号触发器	不触发
土壤温度1	16.9° C	9号触发器	5分钟
光照强度1	758Lux	7号触发器	5分钟

设定的监测间隔为 1 min 一次。经过实际测试，得到的生成日志如图 5 所示。

```

2020-04-03 15:29:38.776 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : -----
2020-04-03 15:29:38.777 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : 自动控制系统此次检测和操作开始
2020-04-03 15:29:38.777 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : 本次扫描时间: 2020-04-03 15:29:38
2020-04-03 15:29:38.857 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : 3号触发器于 2020-04-03 15:29:38 触发
2020-04-03 15:29:38.972 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : [操作设备]2#天窗开
2020-04-03 15:29:39.049 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : 9号触发器于 2020-04-03 15:29:39 触发
2020-04-03 15:29:39.228 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : [操作设备]灌溉出水阀开
2020-04-03 15:29:39.391 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : 7号触发器于 2020-04-03 15:29:39 触发
2020-04-03 15:29:39.391 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : [操作设备]1#补光灯开
2020-04-03 15:29:39.391 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : 自动控制系统此次检测和操作完毕
2020-04-03 15:29:39.391 INFO 14720 --- [eduler_Worker-6] com.bpss.agriculture.task.TriggerTask : -----
  
```

图 5 生成日志

Fig. 5 Generating log

从图 5 可以看出三个触发器的触发时间为：15 时 29 分 38(39)秒，说明系统在 1 s 之内完成了触发器的扫描和执行工作；2 号触发器因为大棚内环境不满足触发条件所以没有触发；3 号触发器在触发后会一直保持正在执行状态直到用户手动关闭 2#

天窗；而 7 号、9 号触发器设定的恢复时间为 5 min，理论上恢复时间应为 15 时 34 分 38 秒左右，但由于恢复器扫描周期为 10 s，存在最多 10 s 的延迟。恢复器日志如图 6 所示。

```

2020-04-03 15:34:48.833 INFO 14720 --- [pool-2-thread-1] com.bpss.agriculture.task.RestoreTask : [操作设备]灌溉出水阀关
2020-04-03 15:34:48.929 INFO 14720 --- [pool-2-thread-1] com.bpss.agriculture.task.RestoreTask : 恢复了9号触发器操作的设备
2020-04-03 15:34:49.064 INFO 14720 --- [pool-2-thread-1] com.bpss.agriculture.task.RestoreTask : [操作设备]1#补光灯关
2020-04-03 15:34:49.160 INFO 14720 --- [pool-2-thread-1] com.bpss.agriculture.task.RestoreTask : 恢复了7号触发器操作的设备
  
```

图 6 恢复器日志

Fig. 6 Restorer log

如图 6 可以看出恢复器在 15:34:48 秒恢复了 7 号和 9 号触发器的设备操作，此外，恢复器在误差

允许的范围内将 7 号触发器和 9 号触发器进行正常恢复。恢复后查询操作设备记录如图 7 所示。

id	vcMotoName	iActCmd	vcActName	iCmdStatus	vcRemark	vcTime	iOperatorid
7650	iLightStatus1	1	1#补光灯开	0	触发器自动下发指令	20200403153500	2
7649	iWaterMotoStatus1	1	灌溉出水阀开	0	触发器自动下发指令	20200403153500	2
7648	iLightStatus1	0	1#补光灯关	0	恢复器自动下发指令	20200403153448	2
7647	iWaterMotoStatus1	0	灌溉出水阀关	0	恢复器自动下发指令	20200403153448	2
7646	iLightStatus1	1	1#补光灯开	0	触发器自动下发指令	20200403152939	2
7645	iWaterMotoStatus1	1	灌溉出水阀开	0	触发器自动下发指令	20200403152939	2
7644	iWindowStatus2	1	2#天窗开	0	触发器自动下发指令	20200403152938	2
7643	iLightStatus1	0	1#补光灯关	0	恢复器自动下发指令	20200403152448	2
7642	iLightStatus1	1	1#补光灯开	0	触发器自动下发指令	20200403151942	2
7641	iLightStatus1	0	1#补光灯关	0	恢复器自动下发指令	20200403151909	2

图 7 设备操作记录表

Fig. 7 Equipment operation log

从图 7 可以看出触发器和恢复器已经下发指令操作设备，且时间（表中 vcTime 字段，其格式为：

年年年年月月日日时时分分秒秒毫秒，即 yyyyMMddHHmmssSSS）与触发时间、恢复时间吻合。

3 结论

针对红壤丘陵区农业环境自动监测的实际需求,建立了一套稳定、易用的红壤丘陵区农业环境自动监测系统。通过专业的传感器对农业环境中的空气温度、湿度、光照强度、二氧化碳浓度、土壤温湿度、土壤 EC 值和土壤 PH 值进行监测,并根据用户设定的控制配置实现自动操作补光灯、灌溉器、喷雾器等设备,以此自动调节农作物的生长环境。

参考文献:

- [1] 刘琴.论农村全面建成小康社会与农业产业化发展[J].泰山学院学报,2014,36(1):77-81.
- [2] 王丽娟,陈秧分,文长存.农业农村领域全面建成小康社会的问题与对策研究[J].农业经济,2020(3):25-27.
- [3] 陈玉兵.基于物联网的农田环境监测及灌溉控制系统研制[D].西安:西安邮电大学,2019.
- [4] 朱斌.基于物联网的智能温室系统设计与实现[D].武汉:武汉轻工大学,2019.
- [5] 李鑫,贾小林.基于物联网的农作物管理系统的设计与实现[J].物联网技术,2020,10(10):72-75.
- [6] 王聪,裴莉,张煜晗,等.吉林省农业机械研究院智慧农业数据可视化数字系统设计开发[J].农业与技术,2020,40(15):48-51.
- [7] 胡晓,林明星.智慧农业温湿度监控系统设计[J].机床与液压,2020,48(14):129-133.
- [8] 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.
- [9] 朱鸿运,卢小阳,肖骏祺,等.基于 DTU 和 Datalogger 的农作物生长环境信息在线监控系统设计[J].现代农业装备,2020,41(5):36-41.
- [10] 张玮.现代智慧农业设施大棚环境监测系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(8):135-138.
- [11] 张曙光.农业物联网化智能温室系统的设计与实现[D].天津:天津大学,2016.
- [12] 陈思.基于 OneNET 的农业大棚物联网环境监控系统的设计与实现[D].沈阳:辽宁大学,2019.
- [13] 黎龙卓.农业种植大棚远程监控系统设计[J].山西农经,2018(11):60-61.
- [14] 陈强.物联网技术在智慧农业中的应用与研究[J].农业技术与装备,2020(8):80,82.
- [15] 赵云山.基于农业物联网技术的智慧农业研究进展[J].农村经济与科技,2020,31(10):322-323.
- [16] 李想,李松.基于物联网技术的农业温室智能监控系统模型研究[J].信息系统工程,2018(7):121.
- [17] 范亚琳.红壤地区坡面和流域尺度产沙及其有机碳流失特征与机制研究[D].湘潭:湖南科技大学,2019.
- [18] 文超.赣南红壤丘陵区桔园的时空格局及其土壤温湿度特征[D].南昌:江西师范大学,2019.
- [19] 李经纬.南方红壤区土壤侵蚀时空演变特征及主要驱动力分析[D].武汉:华中农业大学,2020.
- [20] 尹春梅,傅心赣,魏文学,等.2004-2014年桃源站红壤坡地不同利用方式下土壤含水量长期监测数据集[J].中国科学数据,2020,5(1):117-126.