

# 基于物联网的水肥精准管控系统设计

王高弟, 白皓然, 宋晨勇, 郭若皓, 付小波, 张 凯, 付 杰

( 青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 为了解决农业灌溉过程中管路流速幅动过大、设备受控距离较短等问题,结合水肥一体化灌溉、LoRaWAN 远距离传输通讯、PLC 的 PWM 占空比及 PID 闭环控制等多种技术,设计了一个水肥精准管控系统。该系统在工作时可以实现水肥流量的恒速控制、肥料间的精确配比及环境参数的实时监测等功能,实现了农业生产的精细化、网络化、智能化管理。

关键词: 水肥精准管控系统; 物联网; 肥料配比; LoRaWAN; PID 闭环控制

中图分类号: S224; S126

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2020)08-0207-05

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2020.08.038

## 0 引言

农业自古以来作为我国的基础行业,“三农”问题一直是关系国计民生的根本性问题。2019 年的中央一号文件明确指出:必须坚持把解决好“三农”问题作为全党工作的重中之重。

在很长的一段时期内,我国的农业种植大多遵循的是农民经验,生产方式落后一直是制约我国农业发展的重要因素之一。随着社会综合实力的不断提升,我国的农业生产逐步与现代科技相融合,发展了一系列新型农业技术,并取得了一定的成效。

水肥一体化技术是一种节水节肥的重要灌溉方式,实现了水分、养料的综合协调和一体化管理,有效地提高了资源利用率和农业综合生产能力<sup>[1]</sup>。国外水肥一体化技术起步比较早,自 20 世纪 30 年代开始将喷灌技术用于庭院花卉、草坪的灌溉<sup>[2]</sup>,现在已形成了较为完善的设备生产、肥料配置、推广服务体系。我国水肥一体化技术的起源可追溯到 20 世纪 70 年代从墨西哥引进滴灌设备开始<sup>[3]</sup>,几十年的时间内已由小范围示范发展为大面积推广,应用在设施栽

培、大田生产和蔬菜、花卉及果树等多种作物中<sup>[4]</sup>。

21 世纪以来,物联网技术的兴起为传统农业提供了新的发展道路<sup>[5]</sup>。农业物联网是我国农业从传统迈向现代的重要环节,运用了各类传感器对环境信息进行采集,通过特定的协议建立起通讯传输,然后将获取的数据进行处理后控制相应的智能化终端,最终实现对整个产业链的优化控制<sup>[6]</sup>。目前,应用较广的信息传输通信标准有 ZigBee 技术、蓝牙(Bluetooth)传输、无线宽带(Wi-Fi)及 4G 网络等<sup>[7]</sup>。这些技术虽然各有优势但也存在着一定的问题:如 ZigBee 通讯信号穿透能力弱、抗干扰能力低;蓝牙与 Wi-Fi 的传输距离较短、稳定性较差<sup>[8]</sup>。为了解决上述问题,最终采用 LoRaWAN 通讯协议作为本设计的数据传输媒介,以此来构建农业物联网的系统架构。

## 1 系统的整体设计

整个系统共分为上位机和下位机两大部分:上位机主要是开发设计的网站界面;下位机包含节点、PLC、单片机、变频器、水泵电机及传感器等部件。用户可在上位机界面监测到传感器传送回的实时数据,并可操作相应的开关来控制下位机的工作,达到了远程监测与控制水肥灌溉系统的目的。

低功耗广域网(Low Power Wide Area Network, LP-WAN)技术产生之后,一定程度上解决了远距离和低功耗之间的矛盾问题,最大程度地实现更长距离通信和更低功耗<sup>[9]</sup>,其主要代表有 LoRa、NB-IOT、Sigfox 等技术。

LoRa 是一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案,主要由终端(可内置 LoRa 模块)、网关(也称基站)、云服务器和客户端等部分组成<sup>[10]</sup>,其网络架构

收稿日期: 2019-03-07

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2017NC212003 2017CXGC0213); 山东省研究生教育质量提升计划项目(SDYY18168); 国家重点研发计划项目(2016YFD0701204-2); 山东省农机装备创新计划项目(2018013003016); 广东省科技计划项目(2018B020241003-09); 山东省高等学校国家级大学生创新创业训练计划项目(201810435050X)

作者简介: 王高弟(1994-),男,山东潍坊人,硕士研究生,(E-mail)996700595@qq.com。

通讯作者: 白皓然(1968-),男,山东青岛人,副教授,硕士生导师,工学博士,(E-mail)baihaoran111@126.com。

如图 1 所示。

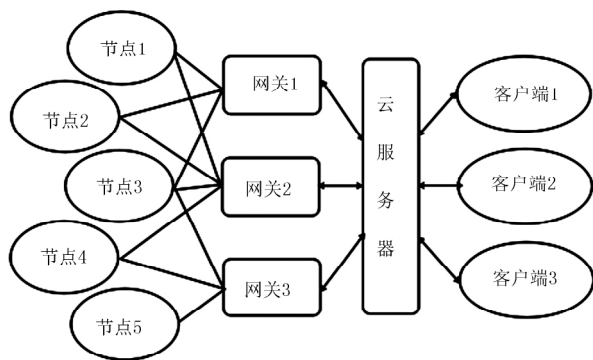


图 1 LoRaWAN 网络架构

Fig.1 LoRaWAN network architecture

LoRaWAN 网络是一个典型的星形拓扑结构,各节点通过点到点的方式连接到 1 个中央节点上,由中央节点向各个目的节点进行信息的传送<sup>[11]</sup>。因 LoRaWAN 传输协议具有功耗较低、通信距离远、稳定性好等优势<sup>[12]</sup>,所以选择其作为本水肥灌溉控制系统的通讯控制策略。

## 2 上位机设计与实现

设备的上位机部分主要是自主开发的基于 LoRaWAN 的智慧农业管理系统网站,该网站使用 Eclipse 软件、Apache Tomcat 服务器开发搭建,应用 JavaWeb 中的 MVC 架构,主要包括前台搭建、后台搭建及数据交互 3 个部分。

### 2.1 前台搭建

本网站设计中,前台的搭建主要应用了 CSS 和 Bootstrap 框架,通过 form 表单等形式将后台数据显示在前台,前台主要包含登录、注册、主控、查询等界面。操作人员从登陆界面的登录,进入主控界面,输入正确的登录信息后网站会跳转到主控页面,主控面显示水肥灌溉设备采集到的各种环境参数及控制组件。在 JavaScript 中判断 Java Server Pages 页面是否支持 WebSocket,然后创建 WebSocket 连接到 LoRaWAN 云平台的 WebSocket 接口。

主界面连接成功后网站会通过 WebSocket. Onmessage() 方法接收来自云平台的数据帧,并通过 JSON.parse() 方法解析并提取数据,然后将信息显示在前台页面,通过 WebSocket.send() 方法向私有云平台发送控制指令数据帧,实现上位机对下位机的操作。

### 2.2 后台搭建

MySQL 数据库中创建了分别用来存储用户登录信息、下位机采集上传信息、用户对下位机的操作信

息 3 个数据库。建立 JavaBean 实体类、DAO 接口类及 DAOImpl 接口实现类,通过 DBUtils 操作 C3P0 数据连接池连接数据库,来对 MySQL 数据库进行增、删、改、查等操作,实现对用户历史操作记录的管理。

### 2.3 前后台数据交互

网站使用 Servlet 处理前台 JSP 页面的 post 请求,来实现对数据库的操作和跳转显示页面,Servlet 使用 request.getParameter() 方法来接受从前台传递来的参数,并通过实体类方法对 MySQL 数据库进行操作。页面通过 request.getAttribute() 方法获取信息,并使用 form 表单等形式将信息在前台界面显示,使用 Session 来进行网站各个页面之间的数据传输。

## 3 下位机构建与实现

本设计的下位机部分是水肥灌溉系统的主控设备,硬件主要包括 LoRaWAN 网关、终端节点模块、STM32 单片机、西门子 S7-200 型 PLC 及其 EM235 拓展模块、台达 VFD-M 变频器、DN20 及 DN25 型超声波流量计、土壤及空气温湿度传感器、24V 直流电机、0.75kW 三相交流水泵、水肥灌溉管路等系列器材。整个硬件系统的框架结构如图 2 所示。

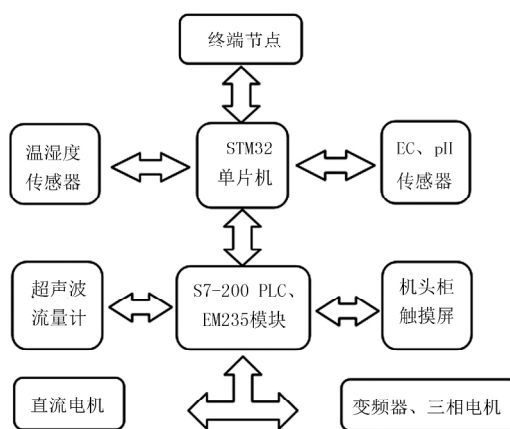


图 2 系统硬件结构框图

Fig.2 System hardware block diagram

### 3.1 LoRaWAN 网关与节点

设备采用的 LoRaWAN 工业级网关主要起数据包转发的作用,将射频模块上传的数据转发给服务器,以及将服务器发出的下行命令转发给终端节点;终端节点也称为射频模块,主要作用是负责水肥灌溉系统的数据收集及将采集完毕的数据打包上传给网关终端。

射频模块用到的主控芯片是 LPMD 系列的 STM32L151CBU6 单元,是一款高性能、低功耗、低成本、小体积的 LoRaWAN 模块,支持 CLASS A、CLASS B、CLASS C 等 3 种传输协议。使用 STM32 单片机的

串口向节点模块发送符合 LoRaWAN 协议栈的精简 AT 指令,实现下位机对上位机的数据传输。这种开发方式灵活快捷,便于用户的调试。

### 3.2 STM32 单片机

STM32F103 单片机在系统中主要起环境数据的上传和与 LPMD 节点模块通讯的作用。土壤和空气温湿度、EC 值、pH 值传感器将获取到的信息通过 485 总线的方式汇入到单片机中;之后,将信息打包通过终端节点模块发送至网关;网关再通过 WebSocket 传输到上位机网站,便于用户通过网络实时监测和管理。

单片机与 PLC 之间用 485 总线建立起通讯关系,单片机在收到上位机发送的指令时会对该控制指令数据进行解析处理,它会先向 PLC 发送数据指令帧,PLC 接收到后对其进行判别比对并返回数据响应帧,或者根据指令帧完成不同的操作。

### 3.3 西门子 PLC

西门子 S7-200 型 PLC 及其拓展模块是整个系统的中央处理单元(CPU),程序中包括水泵电机 PID 闭环控制、占空比方式控制直流电机通断时间、自由口协议设定变频器频率、MODBUS 协议读取流量计参数等若干网络,在水肥灌溉设备运行的过程中起到至关重要的作用。

安装在主输出管路上的流量计将采集到的实时流量信息传入到 PLC 中,PLC 会对其进行相应的换算并自动进行 PID 调节,然后从它的模拟量输出端子输出特定范围的电压信号。该信号传送至台达变频器的模拟量输入端,根据送入电压信号的大小调节变频器的输出频率,从而改变三相水泵电机的转速,使主管路的水肥流速控制在一个较为稳定的范围,不出现较大幅度的波动,实现给定速率下肥液的恒速输出。

### 3.4 直流与三相电机

两个 24V 直流型电动机安装在进肥管路上,每个电机控制一路肥液的输入,采用 PWM 占空比的方式控制电机的通断时间,相同的时间段内各支路以不同的速率抽取肥液,进而实现多种环境下不同肥料的精准配比功能。

三相水泵电机安装在主供水管路上,根据变频器输出的实时频率从水源处进行抽水工作,直流电机抽取的肥液在供水管道中与灌溉用水混合,水肥混合液在水泵驱动力的作用下经过管路中的 pH 值、电导率传感器和超声波流量计,最终流到灌溉区。

### 3.5 超声波流量计

下位机设备使用到一个 DN25 型、两个 DN20 型超声波流量计。DN25 型流量计安装在主输出管路

上,用于监测水肥混合溶液的实时流量情况;DN20 型流量计安装在两路肥液的输入管路上,用于监测直流电机在不同的速率下运转时进肥管路的肥液流速情况。

流量计遵从 MODBUS 协议的 RTU 通讯方式,支持 MODBUS 命令码的 03H 读寄存器、06H 写单个寄存器和 10H 写多个寄存器指令。流量计的通讯线头与 PLC 的 PORT 端口之间用 RS485 串口线连接起来,通过 MODBUS 协议流量计将获取到的瞬时流量、累计流量等数据传送至 PLC,以实现闭环反馈和信息的获取。

## 4 系统运行测试

目前,水肥一体化设备的整体调试已基本完成,在此针对上位机的网站及下位机流量计的 PID 调节部分做相应的介绍。

### 4.1 上位机网站

在浏览器网址栏输入正确的地址后即可进入网站首页,在该页面用户可以进行账号的注册及登录操作,页面布局如图 3 所示。



图 3 系统网站首页界面

Fig.3 Home page interface of system website

首次进入网站的用户须注册新的账号,注册完成后点击“登录”按钮就可弹出登录对话框,如图 4 所示。



图 4 网站登录对话框

Fig.4 Website login dialog box

在输入正确的账号与密码后,网站会跳转到主控制台界面,该界面设置有控制面板、备忘录、数据汇总等若干分栏。用户可从控制面板界面读取到传感器监测到的各种环境信息(如空气温湿度、土壤酸碱度等),控制面板的网页界面如图 5 所示。该页面下部是设备的控制平台,用户可选择相应的开关实现上位机对下位机的操作,如变频器加减频率、电机启动与停止等。

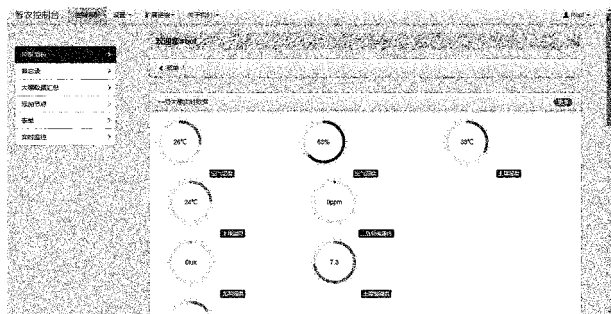


图 5 网站控制面板界面

Fig.5 Website control panel interface

本网站在备忘录分栏中可以记录重要的数据信息,为后续的生产试验提供参考;用户只需点击相应的时间节点即可弹出任务输入框,输入要记录的内容就可实现备忘录的创建。在备忘事件列表中罗列出了常用的工作任务,用户可根据实际情况选择对应的条目,使整个过程操作起来更加方便、快捷。备忘录界面如图 6 所示。

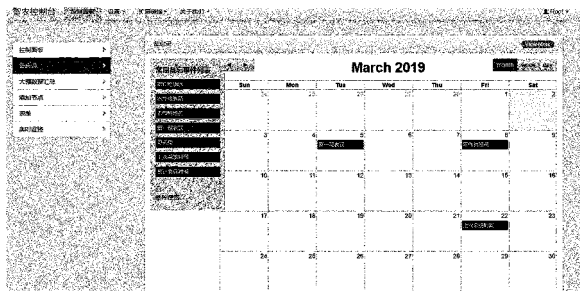


图 6 网站备忘录界面

Fig.6 Website memorandum interface

为了更直观地表现各种环境参数的变化趋势,在控制面板中设计了数据汇总页面,如图 7 所示。在该界面上各种传感器采集到信息以图线的形式表现出来,数据的变化情况一目了然。

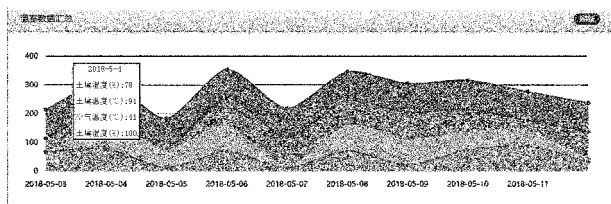


图 7 网站数据汇总界面

Fig.7 Website data summary interface

汇总图表下还有若干子图表,便于人们了解其中某一项参数的变化情况(如土壤温湿度变化曲线),如图 8 所示。

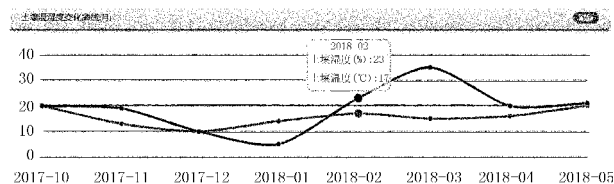


图 8 土壤温湿度变化曲线示意

Fig. 8 Indication of soil temperature and humidity change curve

#### 4.2 流量 PID 调节

由于设备进行 PID 调节的时间非常短,为了更直观地说明各类曲线的变化情况,特选取以下几个时间节点来分析其调节过程。

在上位机界面对设备的主输出管路流速进行设定,当流量设定在以 30 的速率下工作时,PLC 内部的 PID 调节曲线如图 9 所示。1 号线即给定值,代表设定的初始比率;2 号线即过程量,代表流量计监测到的管内实时流速;3 号线即输出值,代表 PLC 输出的电压信号。

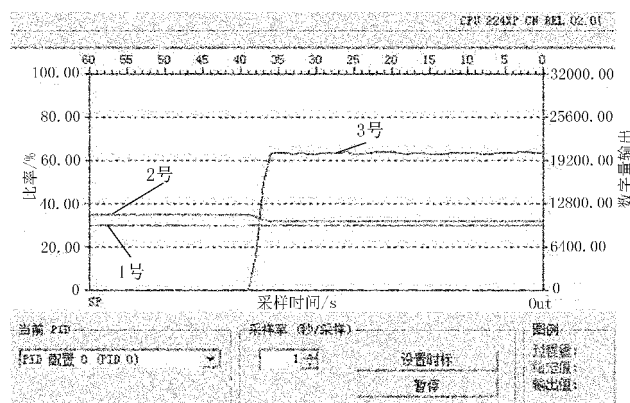


图 9 PID 调节过程示意 (30 比率下)

Fig.9 Indication of PID adjustment process ( under 30 ratio)

图 9 中,PLC 开始时输出的电压信号为 0,此时变频器会以设定好的最低频率驱动电机运转,管内水流量会下降,代表流量计监测到管内瞬时流量的过程量曲线会向设定值趋近,PLC 会即刻输出经过 PID 调节转化后电压信号。

在该电压信号下,管内水肥流速依然未达到设置值,系统则会继续进行 PID 调节,直至实时流速曲线与用户设定比率趋向重合。此时,PLC 的输出电压也渐渐趋于恒定,变频器在某个频率范围下工作,驱动三相水泵电机运转,如图 10 所示。

当系统 PID 调节完成、稳定达到输出后,用户可以重新设定水肥流速,系统在 35 比率下运行的示意曲线如图 11 所示。系统开始时,实际流速比设定值

高, PLC 的输出电压值最低, 电机转速较慢, 水肥流速下降, 过程量曲线开始向设定速率 35 靠近, PLC 在接收到管内流量下降的信息后会立刻输出经 PID 运算后的电压信号, 变频器再驱动三相电机以新的频率运转。

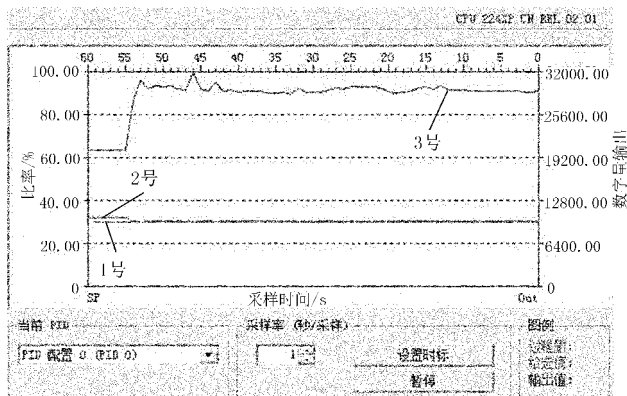


图 10 PID 调节完成示意(30 比率下)

Fig.10 Completion indication of PID adjustment ( under 30 ratio)

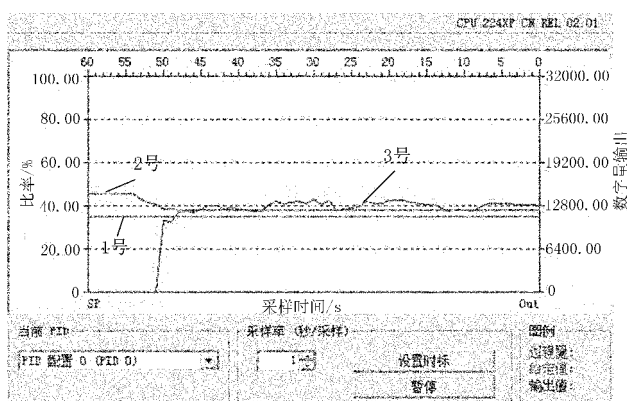


图 11 PID 调节过程示意(35 比率下)

Fig.11 Indication of PID adjustment process ( under 35 ratio)

在 PID 调节的过程中, 过程变量、输出变量曲线会不断地振荡、交错, 最终实时流速会逐渐与设定值线条重合, 而电压的输出值图线也会稳定在某一个数值左右, 如图 12 所示。

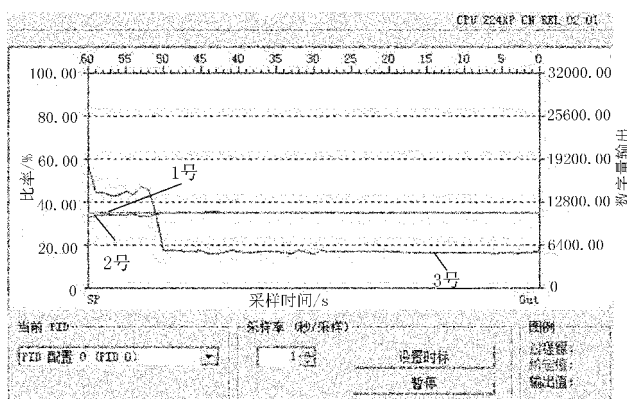


图 12 PID 调节完成示意(35 比率下)

Fig.12 Completion indication of PID adjustment ( under 35 ratio)

当过程量逐步趋进于给定值、输出电压也达到稳定后, 三相电机在变频器的稳定输出下实现了恒定运转, 不会出现较大幅度的波动, 水肥溶液达成了给定比率下的恒速输出。

若用户想继续改变流速, 只需重新设定设备工作的初始比率, 系统会重复上述 PID 闭环控制的过程, 最终依然可以实现水肥流量稳定输出。

## 5 结论

1) 设计的水肥一体化设备, 在传统的水肥一体化灌溉技术的基础上结合了 LoRaWAN 远距离传输通讯技术, 解决了先前设备受控距离比较短的问题; 运用 PID 闭环控制方法解决了水路流速幅度过大的问题; 利用 PWM 占空比的方式控制直流电机的通断时间实现了多种肥料间的均匀配比; 利用 JAVA 语言设计出网站, 并实现了上位机与下位机间的通讯。

2) 该水肥精准管控系统实现了农业的精细化、网络化、智能化管理, 具有十分重要的现实意义。

## 参考文献:

- [1] 吴勇, 高祥照, 杜森, 等. 大力发展水肥一体化 加快建设现代农业[J]. 中国农业信息, 2011(12): 19-22.
- [2] 李寒松, 贾振超, 张锋, 等. 国内外水肥一体化技术发展现状与趋势[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(6): 13-16.
- [3] 刘文忠. 水肥一体化技术应用的现状及发展前景[J]. 科技与企业, 2013(14): 334.
- [4] 陈广锋, 杜森, 江荣凤, 等. 我国水肥一体化技术应用及研究现状[J]. 中国农技推广, 2013, 29(5): 39-41, 28-30.
- [5] 刘宝, 向丽, 周杰. 农业物联网技术与水肥一体化技术[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(23): 64-65.
- [6] 林珂. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 智慧城市, 2018, 4(23): 130-131.
- [7] 蒋丽丽, 姜大庆, 于翔. 物联网技术在我国农业领域的应用研究综述[J]. 信息通信, 2016(7): 86-88.
- [8] 胡小平. 基于物联网的监控系统的应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [9] 杨磊, 梁活泉, 张正, 等. 基于 LoRa 的物联网低功耗广域系统设计[J]. 信息通信技术, 2017, 11(1): 40-46.
- [10] 张攀, 杨扬. 基于 LoRa 的物联网温室监控系统的设计与实现[J]. 现代信息科技, 2018, 2(9): 187-189.
- [11] 李潇杨. 基于 LoRa 技术的农业环境监测平台的设计与实现[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2018.
- [12] 刘映江, 胡泽. 基于 LoRaWAN 物联网技术的农田监测系统设计与实现[J]. 数字通信世界, 2017(12): 120.

(下转第 217 页)

## Research of English Verb Clustering on the Control of the Rice Direct Seeder

Liang Jing

( Henan Finance and Economics School Public Basic Education Department , Zhengzhou 130118 , China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of the rice direct seeder operation , the concise and standardized operation mechanism of verb clustering in English language understanding was integrated into the study of rice seeding control. On the basis of emphatically understanding the mechanism of verb clustering control , considering the intrinsic relationship between execution events and core events , and taking the similarity of events as the criterion , an English verb clustering control model was established in the control and positioning link of rice direct seeder , and a database of key seeding verbs based on the action instructions of rice direct seeding operation was formed. From the angle of software configuration and hardware execution of the control system , the rice direct seeding control experiment was designed and carried out. It showed that by the feature extraction of control information based on scale invariance in verb clustering application , the adjusting speed of direct seeding control parameters could be increased from 90.2% to 94.6%. The positioning accuracy of the whole direct seeding control was 5.4% higher than that of the traditional direct seeding control , which was more than 90%. The experiment was feasible and would broaden the idea of operation control positioning design and optimization of the same kind of agricultural machinery , which would be some generalization significance.

**Key words:** rice direct seeder; verb clustering; similarity; control accuracy

( 上接第 211 页)

Abstract ID: 1003-188X( 2020) 08-0207-EA

## Design of Precision Management and Control System of Water and Fertilizer Based on Internet of Things

Wang Gaodi , Bai Haoran , Song Chenyong , Guo Ruohao , Fu Xiaobo , Zhang Kai , Fu Jie

( College of Mechanical and Electrical Engineering , Qingdao Agricultural University , Qingdao 266109 , China)

**Abstract:** In order to solve the problems of excessively large pipe flow velocity and short controlled distance of equipment during agricultural irrigation , in this paper combines water and fertilizer integrated irrigation , LoRaWAN long-distance transmission communication , PLC PWM duty cycle and PID closed-loop control and other technologies to design a water and fertilizer precision control system. The system can realize the functions of constant speed control of water and fertilizer flow , accurate ratio of fertilizers , and real-time monitoring of environmental parameters during work , and achieves refined , networked and intelligent management of agricultural production.

**Key words:** precision management and control system; Internet of Things; fertilizer ratio; loRaWAN; PID closed-loop control