



农业水肥一体化智能灌溉控制系统开发与应用

曹靖, 宋娇红, 王冰

(腾色智能科技(南京)有限公司, 江苏南京 211100)

摘要:【目的】以物联网技术为支撑的水肥一体化智能灌溉控制是农业灌溉中节约水资源、省工、智能控制和提高水肥利用效率的重要方法。【方法】文章基于智能控制、传感器、无线自组网等物联网信息技术, 针对传统农业灌溉面临的诸多问题, 开发应用于农业水肥一体化管理的智能灌溉控制系统。该系统主要包含控制系统、水肥混合系统、水肥灌溉系统以及数据采集和分析系统, 其中控制系统为工作人员提供了移动终端应用和远程用户终端系统2种终端作业管理系统来实现远程灌溉控制操作。【结果】该智能灌溉控制系统在浙江金华的香榧种植区进行了示范应用, 结果表明该系统能够适用于复杂地形, 使用过程中无需布线, 无需外接电源, 通过装置间自组网, 可以实现大面积灌溉控制。【结论】智能灌溉控制系统操作方便、控制灵敏度较高, 能够实现远程控制、省工、便捷的目的, 有效提高了农业水肥一体化智能灌溉的控制水平, 具有一定的应用前景和推广价值。

关键词: 智能灌溉; 水肥一体化; 节水; 节肥; 远程控制; 自组网

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190612

0 引言

中国用占世界6%的淡水资源和9%的耕地, 以及30%左右的化肥, 生产出了占世界26%的农产品, 养活了世界近20%的人口^[1]。中国人均水资源占有量仅为世界的1/4, 被列为世界上21个贫水和最缺水的国家之一^[2]。在中国, 为了获得高产而大量施肥的问题普遍存在, 致使单位面积施肥量是世界平均水平的3倍左右^[3], 而当季肥料有效利用率平均只有30%左右, 比发达国家低20%左右^[4]。水资源短缺, 肥料用量巨大且利用效率低, 资源浪费严重, 同时造成了严重的土地污染, 水肥的不合理利用产生的问题成为我国农业发展中不可避免的现实问题。为此, 节水灌溉水肥一体化技术迅速发展, 成为解决水肥有效利用的重要技术方法。

随着现代化农业的发展, 物联网作为热点技术在农业领域的应用越来越广泛^[5]。物联网技术应用广泛, 在大田种植、温室管理、水产养殖、农机化设施等方面都取得了诸多应用成果。如在农业生产中, 通过物联网技术能实现采集土壤湿度、土壤养分含量、农业气象等农业生产关键信息^[6], 使农业生产者全面充分地掌握作物生产过程信息, 提高对农业生产过程的干预和控制能力, 为提高农业生产效率、实现农业智慧化发展提供了有力的技术支撑。目前农业生产劳动力越来越缺乏, 农业生产智能化是应对劳动力现

收稿日期: 2019-09-06

第一作者简介: 曹靖(1970—)。研究方向: 农业物联网。Email: cao.james@tensoritec.com

2019年12月

状的发展趋势。以节约水肥等资源的投入、减少劳动力、减轻土壤污染和提高作物产量为目的,文章基于物联网技术开发了一种智能灌溉控制系统,实现了对农田水肥一体化的智能管理。

1 水肥一体化技术发展

水肥一体化技术是将灌溉和施肥融为一体,通过管道灌溉系统把水溶性肥料均匀、准确地直接输送到作物根部,适时适量地满足作物水肥需求的现代农业新技术^[7]。具有节水节肥,提高水肥利用率,提高作物产量,改善土壤环境等优点。Sinha等^[8]通过研究发现利用水肥一体化技术种植向日葵,其水分和能量的利用率高于传统技术,具有更高的产籽量。Jayakumar等^[9]研究表明水肥一体化技术可以极大地提高椰果的产率和盈利能力。

水肥一体化在水资源贫乏的国家使用较多,且使用规模巨大,目前以色列有90%的灌溉区运用了水肥一体化施肥技术^[10]。我国虽为贫水国家之一,但是水肥一体化发展较晚,目前只有8%的灌溉面积应用了水肥一体化^[10]。水肥一体化技术在我国有较大的发展空间,原农业部办公厅制定的《推进水肥一体化实施方案(2016-2020年)》指出,到2020年水肥一体化技术推广面积达1000万 hm^2 ,新增533万 hm^2 。从实际推广应用上看,水肥一体化技术能将蔬菜、果树等经济作物的肥料利用率提高50%以上,节肥30%以上,增产10%~50%以上,并使果蔬品质有明显提升^[11]。

随着水肥一体化的发展,灌溉控制系统也应运而生。目前,关于灌溉控制系统,国内外的现有技术多为现场手动设置的模块控制器或带有远程数据接口的控制器,一个控制器和多个电磁阀组成的星型拓扑结构。即使利用无线技术实现物联网功能的控制系统,也是采用数据采集器或集中控制模块,用485总线、直流电压电流输出的方式控制试运行装置或传感器,现场往往需要将电源线和信号线部署到田间灌溉系统,并提供额外电源。此外,布线需要大量人工开槽回填施工,田间布线也有受损害、雷击等风险。有些系统的控制器与电磁阀之间布线长达几百米,布线距离过长会导致电源电压衰减,能量损耗,无法驱动电磁阀开关。

现有的灌溉控制系统通常采用星形拓扑结构的控制器模块,一个控制器或数据采集器一般最多控制20~30路设备,系统扩展时需要更多的电源布线和传感器数据线(例如,一个控制器控制20路设备,当需要增加第21路时,需要额外增加一个控制器用于控制该第21路设备),由此就造成灌溉控制系统控制的区域面积有限,电磁阀、传感器等设备的部署数量和距离受到一定限制。

随着物联网、人工智能等技术的快速发展,灌溉控制系统功能趋向智能化发展。智能灌溉控制不仅实现了精确灌溉和施肥,还可以节省劳动力,节约水肥资源,提高水肥利用率,促进了农业增产增收^[12]。余国雄等^[13]基于物联网技术,设计了荔枝园的信息获取和智能灌溉系统,应用效果表现出较强的实时性和准确率。吴秋明等^[14]利用物联网技术设计了棉花智能灌溉系统,通过应用该系统水肥利用效率提高了22.6%。目前国外的灌溉控制系统已趋于成熟,而我国智能灌溉技术还在发展中,智能灌溉系统在无线化

操作、智能化控制、精准化灌溉施肥等方面还需要更进一步的发展。

2 智能灌溉控制系统设计

2.1 系统框架

智能灌溉控制系统由软件系统和硬件系统组成，控制系统软件由移动用户界面终端应用软件和远程用户界面终端系统组成。硬件系统由水肥混合系统、数据采集分析系统和水肥灌溉系统组成。数据采集系统包含智能灌溉控制器和土壤传感器。水肥灌溉系统包含灌溉首部、管路、根区滴头和智能阀门。

(1) 控制系统：主要由移动用户界面终端应用软件和远程用户终端系统组成，实现对智能灌溉控制系统硬件设备的操作和控制。控制系统功能主要包含首页展示、资产管理、水肥程序设置、远程控制和系统诊断等功能，实现了灌溉计划的设定、在线查看、历史记录查询，灌溉系统远程操作和监管等。

(2) 水肥混合系统：由比例施肥器、施肥泵、水肥机或混液池组成，实现了水溶性肥料与水充分混合的功能。

(3) 水肥灌溉系统：包含灌溉首部、管道、根区滴（喷）头和智能阀门等，将混合液通过管道运输到作物根区，为作物进行灌溉施肥。

(4) 数据采集分析系统：由传感器和控制器组成，通过传感器采集的土壤数据，控制器控制智能阀门的开关，实现自动灌溉。其中传感器包括土壤水分、EC 值、土壤温度传感器等，实现了土壤数据的采集。控制器提供了独立输出控制和自组网功能，为即插即用类型，适用于各种灌溉控制场景。

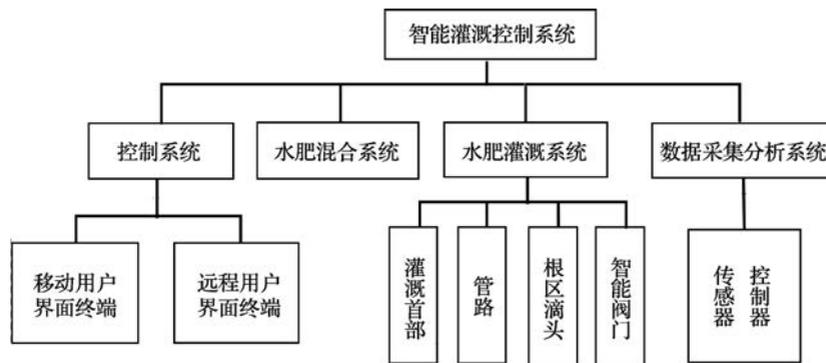


图 1 智能灌溉控制系统框架

Fig.1 Block diagram of intelligent irrigation control system

2.2 系统拓扑结构

智能灌溉控制系统包括以下硬件模块：灌溉系统应用服务器、大数据服务器、移动和远程用户终端、智能控制器和网关，其拓扑结构如图 2 所示。灌溉系统应用服务器作为边缘计算网关服务器实现协议转换和数据收集，包括运算和存储功能，通过连接到互联网或局域网，将数据上传到大数据平台或下发到系统终端装置，实现物联网、互联网

2019年12月

及移动互联的综合应用。移动和远程用户终端通过云端/大数据平台控制灌溉系统应用服务器，远程控制智能灌溉系统。灌溉智能控制器和网关可以自组网通信，实现传感器数据和控制信号的组合采集、运算和控制，通过灌溉系统应用服务器连接到云端，通过云端下发的任务，对智能阀门进行控制。

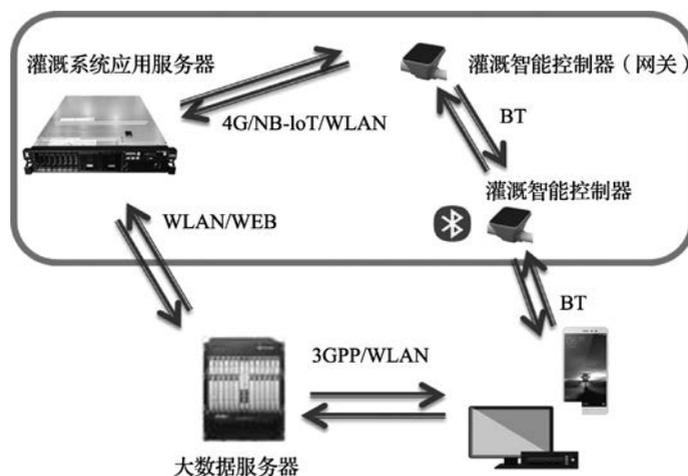


图2 灌溉智能控制系统拓扑图

Fig.2 Topology diagram of irrigation intelligent control system

2.3 系统控制模式

该系统提供了2种控制模式：半自动控制和全自动控制。

(1) 半自动控制，是通过手动设定，定时定量的一种自动控制方式。用户通过控制系统软件在现场和远程设定灌溉作业，如设定灌水时间、灌水时长、灌水周期等控制参数，系统根据设定的参数对作物进行自动灌溉。

(2) 全自动控制，是根据数据采集分析系统自行判断作物需水需肥情况，并自动进行施肥和灌溉的方式。数据采集分析系统通过自动气象站监测气象因素，通过流量传感器、土壤水分传感器、温度传感器、雨量传感器、电导率传感器、pH传感器等实时监测植物生长及各种环境信息给云端服务器，服务器根据各种实时采集的数据进行运算，计算蒸发、蒸腾引起的土壤水分损失，自动编制灌溉程序，实施灌溉或终止灌溉。

3 智能灌溉控制系统应用分析

3.1 应用案例

该智能灌溉控制系统在浙江金华 6.67 hm² 香榧种植示范田的水肥一体化滴灌工程上进行了部署应用。

系统部署如图3所示，在管路上共设14个电磁阀和控制器，控制器之间通过自组网通信。系统采用半自动工作方式，根据香榧各生育时期需水肥规律，工作人员制定灌溉计划下发给每个控制器进行灌溉作业。控制器将灌溉计划执行后的数据传输到灌溉系统应用服务器。

该示范田为山地丘陵，在应用水肥一体化滴灌技术前，该区域的水肥施用主要靠人工开沟施肥，需要投入大量人力物力，每年施有机肥约 99 kg/hm^2 ，使用智能灌溉控制系统后，每年施用的水溶肥降低到约 33 kg/hm^2 。同时使用该系统后，整个示范区只需要 1 个种植经理即可完成所有的灌溉施肥作业。



图 3 系统应用示范区及部署

Fig.3 System application demonstration area and deployment

3.2 系统特点

3.2.1 系统末端装置自组网通信

智能灌溉控制系统的末端装置包括控制器、网关、传感器，可以部署到田间灌溉系统，能解决田间布线麻烦和布线杂乱的问题。系统终端装置传感器以及阀门独立供电，能突破部署数量和部署距离的限制，并且不需要额外提供电源，节省电能，操作安全方便。系统终端装置可以独立输出控制，又具备自组网功能，组网站点数量可达数百，能够随着种植面积扩大组网，实现大面积控制。同时，系统提供了末端装置之间互相识别通讯功能，实现了传感器数据和控制信号的组合运算和控制，从而实现数据的就近运算和处理，无需集中到控制器。当系统没有接入互联网时也可以通过自组网方式独立运行，数据存储于本地终端装置。系统终端装置之间通过互相识别通讯功能实现传感器数据和控制方法的组合应用。系统终端装置自动负载均衡，减小了管道尺寸，可以降低系统的成本。随着灌溉和施肥数据的记录和水肥系统应用管理数据的积累，系统可通过硬件数据采集系统，实现全自动控制。

3.2.2 便捷的灌溉终端作业系统

控制系统提供了运行在智能手机终端的移动用户界面终端应用软件和运行于电脑终端的远程用户界面终端 2 种灌溉终端作业管理系统，通过智能手机或个人电脑上安装的系统可以随时随地查看并进行程序设置，即时调整轮灌和施肥参数，还可以通过手动启动灌溉程序实现定时定点灌溉作业。末端装置具有数据储存功能，数据可同步储存在本地和服务器，为用户提供了根据需求调节运行时间、调整水量预算、灵活

2019年12月

确定灌溉程序和施肥方案的功能。移动终端应用软件获取灌溉区域内多个末端装置的编码,通过末端装置编码确定灌溉区域位置信息,用户可以在现场土壤旱情实时控制灌溉。

4 结论

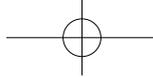
该文采用物联网信息技术设计了一种智能灌溉控制系统。该系统由控制系统、水肥混合系统、水肥灌溉系统和数据采集分析系统组成;具有独立供电、自组网和数据采集、记录、分析处理的功能,实现了农业水肥一体化的远程智能控制和监管的功能。系统终端装置之间通过两两互通实现传感器信号和控制信号的组合就近运算和处理数据,无需集中控制器运算。终端装置的控制器和传感器之间采用自组网方式连接,不受部署距离和数量的限制,也不受地形的影响,只需新增末端装置,即可增加系统的控制范围,覆盖大面积区域。

智能灌溉系统在实际应用实现了水肥一体化的远程和自动灌溉,达到减少劳动力投入,减轻土壤负担的效果。随着软硬件的升级和水肥施用记录的积累,灌溉系统可以对作物实现智能灌溉和精准灌溉,符合我国未来农业发展的愿景,对农业生产具有重要作用。

在今后研究应用中,应进一步分析水肥一体化模式下土壤水分供给、肥力运筹对作物生长发育及产量品质等方面的影响,研究土壤中水肥迁移运动状态,结合作物、水分、肥力等因素,确定不同作物、不同地区的水肥配比模型,建立专业化水肥数据库,提高水肥一体化灌溉控制的智能化、精准化水平。

参考文献

- [1] 高祥照,杜森,吴勇,等.水肥耦合是提高水肥利用效率的战略方向.农业技术与装备,2011(3): 14~15.
- [2] 王焘,王湛,杨文涛,等.中国水资源现状及其未来发展方向展望.环境工程,2014,32(7): 1~5.
- [3] 赵秉强.传统化肥增效改性提升产品性能和功能.植物营养与化报,2016,22(1): 1~7.
- [4] 王艳语,苗俊艳.世界及我国化肥施用水平分析.磷肥与复肥,2016,31(4): 22~23.
- [5] Kaloxylou A, Eigenmann R, Teye F, et al. Farm management systems and the future internet era. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, 89(5): 130~144.
- [6] 肖立.信息技术在农机技术推广中的应用研究.中国农业信息,2017(15): 80~81.
- [7] 高祥照.水肥一体化是提高水肥利用效率的核心.中国农业信息,2013(14): 3~4.
- [8] Sinha I, Buttar G S, Brar A S. Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower(*Helianthus annuus L.*) in Indian Punjab. *Agricultural Water Management*, 2017(135): 58~64.
- [9] Jayakumar M, Janapriya S, Surendran U. Effect of drip fertigation and polythene mulching on growth and productivity of coconut(*Cocos nucifera L.*), water, nutrient use efficiency and economic benefits. *Agricultural Water Management*, 2017(132): 37~93.
- [10] 杨林林,王成志,韩敏琦,等.我国水肥一体化技术发展前景及技术要点分许.北京农业,2016(1): 50~51.
- [11] 师志刚,刘群昌,白美健,等.基于物联网的水肥一体化智能灌溉系统设计及效益分析.水资源与水工程学报,2017,28(3): 221~227.
- [12] 赵勇,翟家齐.京津翼水资源安全保障技术研发集成与示范应用.中国环境管理,2017(4): 113~114.
- [13] 余国雄,王卫星,谢家兴,等.基于物联网的荔枝园信息获取与智能灌溉编辑决策系统.农业工程学报,2016,32(20): 144~152.
- [14] 吴秋明,缴锡云,潘渝,等.基于物联网的干旱区智能化微观系统.农业工程学报,2012,28(1): 118~122.



Development and application of intelligent irrigation control system in agricultural water and fertilizer integration

Cao Jing, Song Jiaohong, Wang Bing

(Tengse Intelligent Technology (Nanjing) Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: [**Purpose**] The integrated intelligent irrigation control of water and fertilizer based on Internet of Things technology is an important method to save water and labor, to provide intelligent control and to improve the efficiency of water and fertilizer utilization in agricultural irrigation. [**Method**] Based on the information technology of Internet of Things such as intelligent control, sensors and wireless ad hoc network, this paper develops an intelligent irrigation control system applied to the integrated management of agricultural water and fertilizer to solve problems of traditional agricultural irrigation. The system mainly includes a control system, a water and fertilizer mixing system, a water and fertilizer irrigation system and a data acquisition and analysis system. The control system provides two patterns of terminal operation software system such as APP and desktop system for workers to realize remote irrigation control. [**Result**] The intelligent irrigation control system has been applied in Chinese Torreya planting area of Jinhua, Zhejiang Province. The results show that the system can be applied to complex terrain without wiring and external power supply. Large area irrigation control can be realized by self-organizing network between devices. [**Conclusion**] The intelligent irrigation control system has the advantages of convenient operation and high control sensitivity, which can realize the purpose of remote control, labor saving and convenience. It improves the control level of agricultural water and fertilizer integrated intelligent irrigation, and has a certain application prospect and promotion value.

Key words: intelligent irrigation; water and fertilizer integration; water saving; fertilizer saving; remote control; Ad-Hoc Network