

基于物联网的温室智能化灌溉系统

胡长增, 申 晨, 冯栋栋, 康 佳, 邵利敏

(河北农业大学 机电工程学院, 河北 保定 071001)

摘要: 针对目前温室灌溉水资源消耗量大、效率低以及农户缺乏有效的监控手段等问题, 本研究基于物联网技术与模糊 PID 技术设计了 1 套智能化灌溉系统, 并对其有效性进行了验证。搭建无线传感器网络, 通过手机 APP 实时监测土壤温湿度、光照强度等环境信息, 选取山东省昌乐县 3 栋甜椒温室分别进行传统模式、PID 和模糊 PID 3 种控制模式下的灌溉试验, 并对其土壤湿度值以及灌溉用水量进行记录。模糊 PID 控制模式与其它 2 种控制模式相比, 其节水率约为 27% 和 15%。试验结果表明, 物联网技术与模糊 PID 技术相结合, 有利于农户实时了解温室内的环境状况, 并能够满足节水灌溉的要求。

关键词: 灌溉系统; 物联网; 模糊控制; PID

中图分类号: S625.3

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文献标志码: A



Intelligent greenhouse irrigation system based on the Internet of Things

HU Changzeng, SHEN Chen, FENG Dongdong, KANG Jia, SHAO Limin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: Intelligent irrigation control system is used by many farmers in greenhouse planting industry with its high precision, less water consumption and other characteristics. In view of the current problems like large water resources consumption, low efficiency, farmers' lack of effective monitoring means in greenhouse irrigation, the intelligent irrigation system was designed, which was based on the Internet of Things and fuzzy PID technology, and its effectiveness was verified. The wireless sensor network was set up to monitor the change of soil moisture in real time through the mobile phone APP. Three sweet pepper greenhouses in Changle County of Shandong Province were selected to conduct irrigation experiment under traditional irrigation model, PID irrigation and fuzzy PID irrigation respectively, and the soil moisture value and irrigation water consumption were recorded. Compared with the traditional mode and PID irrigation control, the water-saving rates of fuzzy PID irrigation was about 27% and 15%. The experimental results show that the combination of the Internet of Things and fuzzy PID technology is of great significance to the development of intelligent irrigation system.

Keywords: irrigation system; the Internet of Things; fuzzy control; PID

收稿日期: 2020-08-05

基金项目: 河北省重点研发计划项目(18227209D-1)。

第一作者: 胡长增(1995-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事智能检测与控制技术研究. E-mail: 1105763104@qq.com

通信作者: 邵利敏(1979-), 男, 河北平山人, 博士, 副教授, 主要从事智能检测与自动控制技术研究。

E-mail: shaolm@126.com

本刊网址: <http://hauxb.hebau.edu.cn>

我国每年水资源用量半数以上被应用于农业灌溉,水资源利用率处于较低水平^[1-3]。传统温室灌溉管理由人工检测土壤湿度状况,并根据经验判断是否需要灌溉作业,传统模式下水资源浪费严重,为解决这一问题,亟需大力推进节水灌溉技术的发展。根据植物不同生长时期的需水规律制定科学的灌溉决策机制,合理有效地调节土壤水分含量并获得更高的作物产量,实现节约水资源与高效高产的有机统一^[4-5]。

温室种植产业是我国农村经济的重要组成部分,具有环境稳定且易于控制作物生长环境的特点^[6-7]。温室内土壤湿度调节的关键在于精准监测温室实时环境信息并进行科学的管理决策。针对这一问题,本研究通过半双工透传模块配合传感器搭建无线传感器网络(Wireless sensor network, WSN),采集温室的土壤湿度信息^[8],并通过 4G 远程模块将采集的数据上传至云平台进行数据的显示与储存,实现手机 APP 的数据监控^[9-10]。

温室灌溉系统复杂且非线性的特点使其不易建立精确的数学模型^[11],而传统的控制方式用于实际灌溉需水量大且效率低下^[12-13]。本研究引入模糊控制理论与 PID 控制相结合,根据温室管理者的经验制定模糊规则,并进行现场试验,通过实验采集的数据对系统的可行性与节水性能进行验证^[14-15]。

1 系统总体结构

根据功能不同,基于物联网的智能化灌溉系统划分为物理感知层、网络层和应用层 3 层结构,系统整体结构如图 1 所示。

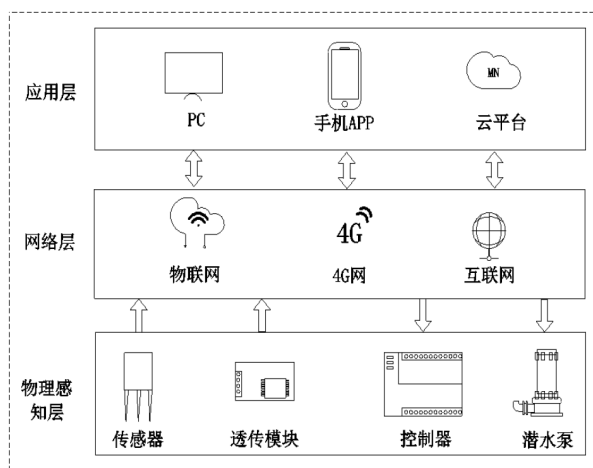


图 1 系统结构图

Fig.1 System structure diagram

物理感知层:作为温室灌溉控制系统的基础层,物理感知层可分为环境数据的采集器和灌溉策略的执行机构两部分。通过传感器采集土壤温湿度信息(温室环境监测实时性要求高,数据获取采用 MODBUS 通信协议的轮询模式),摄像头监测温室内部环境状况;执行机构根据灌溉策略以模拟量形式输出到矢量变频器控制三相潜水泵、以数字量信号控制电磁阀等电子设备。

网络层:由于温室面积较大,现场布线成本较高,所以搭建无线传感器网络作为数据的传输通道。为了满足数据的实时显示,下位机与互联网平台之间通过 4G 网络进行数据的传输。

应用层:数显终端具有多样性,可以通过 IE V3 触摸屏、手机 APP、云平台进行用户界面的数据显示与人机界面的交互。系统对温室进行环境的监测,会产生大量数据,MNGate 工业云针对环境监测产生的大量数据进行上传与保存,数据可根据用户需要在云端储存或以表格形式导出。基于 Web 进行应用程序的组态,用户可以通过手机 APP 进行数据查看与指令发送。

2 无线传感器网络与监控界面

2.1 无线传感器网络

温室面积相对较大,要想做到全覆盖式的传感器监测,传统接线方式成本高,且限制条件较多。本研究选用 DSW-T1W3 型土壤温湿度传感器与半双工射频收发器芯片 SX1278 搭建无线传感器网络进行温室数据的透传,传感器技术参数如表 1 所示。

表 1 传感器技术参数表

Table1 Table of sensor technical parameters

项目类别 Project classification	技术参数 Technical parameters
水分量程	0 ~ 100%
温度量程	-40 ~ 80 ℃
输出方式	RS485
响应时间	< 1 s
防护等级	IP68
外形尺寸	142 mm × 15 mm × 45 mm
供电电源	9 ~ 24 V DC

传感器节点具有独立的工作模式,由 12 V DC 供电,且传感器节点的部署数量可以根据用户需要进行增加或减少。传感器节点将采集的土壤湿度信息以电信号的方式打包发送到汇聚节点^[16],传感

器节点如图 2 所示。



图 2 传感器节点
Fig.2 Sensor node

温室整体铺设形状可以看作是矩形平面，根据平面镶嵌原理进行无线传感器节点的部署，用圆覆盖矩形平面，将节点放置在圆的内接正方形的中心处，使用正方形替代圆对果园区域进行覆盖，构成正方形分割部署，其结构示意图如图 3 所示。

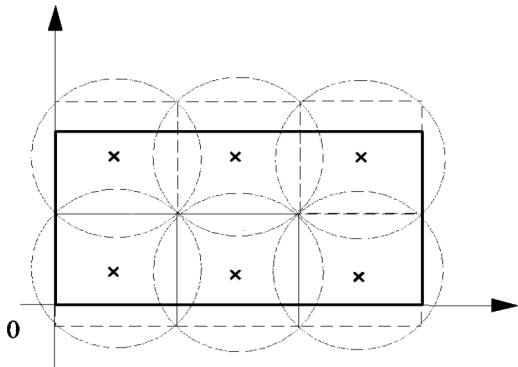


图 3 节点部署示意图
Fig.3 Node deployment diagram

2.2 监控界面

温室监控界面的客户端主要分为 IE V3 触摸屏和手机 APP 2 种方式：现场安装触摸屏可以满足温室管理者对温室的环境监测与控制；手机 APP 可以实现用户的远程监控，用户通过微信小程序“明牛云平台”发布的温室监控信息，包括地图监控、项目配置和土壤温湿度值等。系统上电工作，手机通过 4G 网络定位工作地点，如图 4 所示。

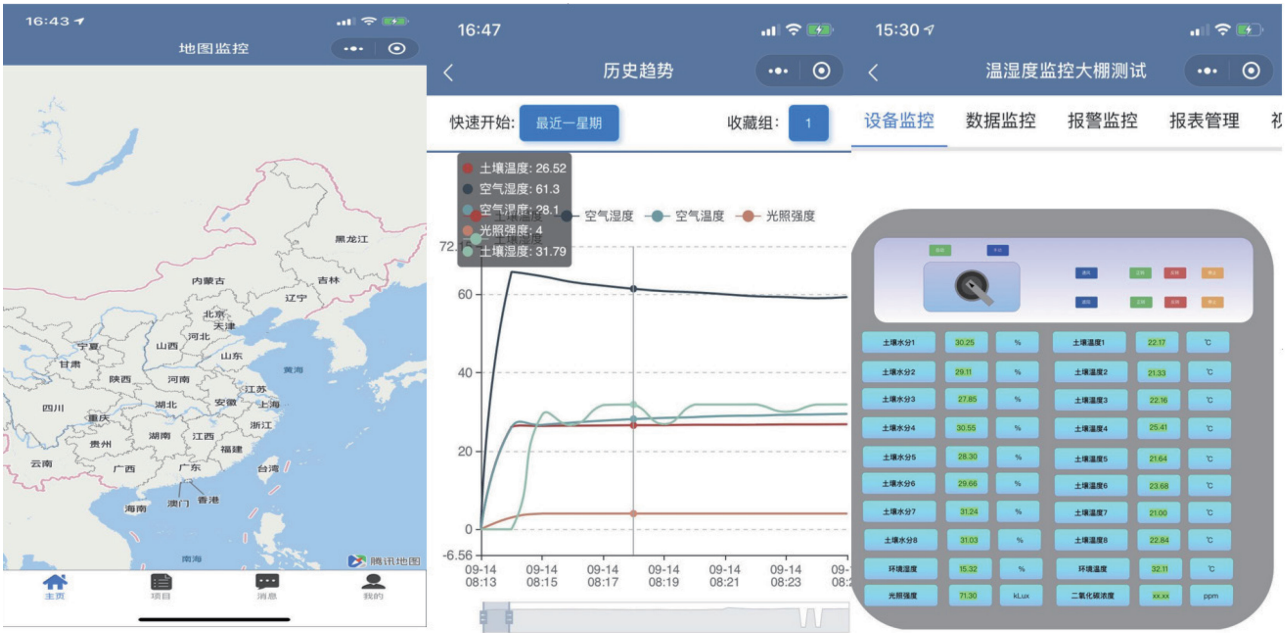


图 4 手机 APP 界面
Fig.4 Mobile APP interface

3 控制器设计

3.1 控制器结构

灌溉控制器的设计采用 PID 算法和模糊逻辑相

结合的方式，利用模糊逻辑算法对 PID 控制的比例、积分、微分系数进行实时优化，模糊控制系统结构如图 5 所示。

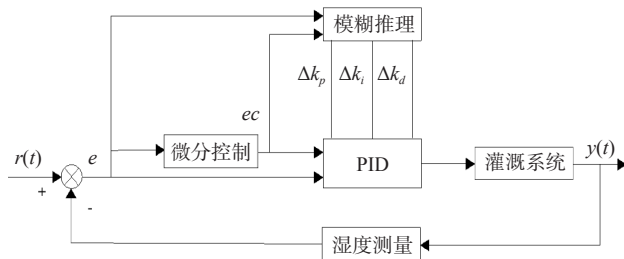


图5 模糊PID结构图

Fig.5 Structure diagram of fuzzy PID

设置的理想湿度值与湿度传感器实际测量值的偏差 e 与偏差变化率 ec 作为模糊 PID 控制器的输入量, $u(t)$ 作为输出变量, 其输出形式如式 (1) [17]。

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

根据经验制定模糊规则, 将输入量模糊化, 通过模糊规则推理得出模糊输出量, 再通过解模糊化的过程得到 PID 控制器的 3 个参数的增量 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 输出, 并根据公式 (2) 得到校正后的参数。

$$\begin{aligned} k_p &= k_{p0} + \Delta k_p \\ k_i &= k_{i0} + \Delta k_i \\ k_d &= k_{d0} + \Delta k_d \end{aligned} \quad (2)$$

3.2 隶属度函数

系统采用的是两输入三输出的模糊控制策略, e 、 ec 作为模糊推理过程的输入量, Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 作输出量 [18]。根据温室种植土壤的含水量以及以往的经验定义偏差 e 和偏差变化率 ec 基本论域为 $[-8\%, 8\%]$ 和 $[-6\%, 6\%]$, 定义其模糊语言值为 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}, 简记为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 其对应的模糊子集的论域为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。定义 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 的模糊语言值为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 其对应的模糊子集论域为 $\{-0.3, -0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2, 0.3\}$ 、 $\{-0.03, -0.02, -0.01, 0, 0.01, 0.02, 0.03\}$ 和 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。

甜椒的结果期最佳土壤湿度应保持在 50% 到 60% 之间, 试验采用滴灌方式, 53 mm 深度土壤湿度从 50% 上升至 60% 需要 8 min, 设置输出量的基本论域为 $[0, 8]$ 。温室灌溉主要由三相潜水泵供水提高土壤湿度, 定义模糊 PID 控制器控

制潜水泵功率对应的模糊子集论域为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, 其偏差 e 和偏差变化率 ec 量化因子 $k_e = 3/0.08 = 37.5$, $k_{ec} = 3/0.06 = 50$, 输出的比例因子 $k_u = 8/5 = 1.6$, 输入输出变量均采用三角隶属度函数。

3.3 模糊 PID 控制规则

温室灌溉系统需要满足“过干快速灌溉, 微干慢速灌溉, 不干停止灌溉”的要求, 根据温室管理者实际的操作经验制定模糊控制规则, 达到减小误差、避免超调的目的, 具体制定规则如下:

(1) 当偏差 $e(t)$ 较大时, 通过增大 Δk_p 、减小 Δk_d , 加快调节速度, 快速提高土壤湿度, 系统反应较快需减小 Δk_i 值, 达到防止超调的目的。

(2) 当偏差 $e(t)$ 中等速度变化时, Δk_p 应该适当调小, 而 Δk_i 、 Δk_d 取值适中, 以保证系统工作状态稳定。

(3) 当偏差 $e(t)$ 较小时, 土壤湿度接近预设值, 增加 Δk_p 、 Δk_i 值, 增加系统的容错性, 适当调整 Δk_d 值, 系统不发生振荡即可。

模糊 PID 逻辑规则表如表 2 ~ 4 所示。

表 2 Δk_p 的模糊规则表Table 2 Fuzzy rule table of Δk_p

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	ZO
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NM
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NS	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NB
PM	PS	ZO	NS	NS	NM	NB	NB
PB	ZO	NS	NM	NM	NB	NB	NB

表 3 Δk_i 的模糊规则表Table 3 Fuzzy rule table of Δk_i

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NM	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB	PB

表 4 Δk_d 的模糊规则表
Table 4 Fuzzy rule table of Δk_d

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

4 试验与分析

4.1 试验方法

本灌溉控制系统于 2020 年 7 月在山东省潍坊市昌乐县连栋温室大棚中进行试验测试。7 月 1 日天气晴, 选取 3 栋甜椒种植温室大棚, 布置好传感器网络进行灌溉试验: 1 号温室采用人工灌溉方式, 2 号温室采用 PID 灌溉方式, 3 号温室采用模糊 PID 灌溉方式。通过手机监控界面每 8 min 人工记录 1 次土壤湿度信息, 记录 4 h 内土壤湿度的变化状况。自 7 月 1—31 日, 记录 1 个月内 3 种灌溉方式的实

际用水量。

4.2 结果与分析

2020 年 7 月 1 日 3 栋甜椒温室内的土壤湿度变化曲线如图 6 所示。

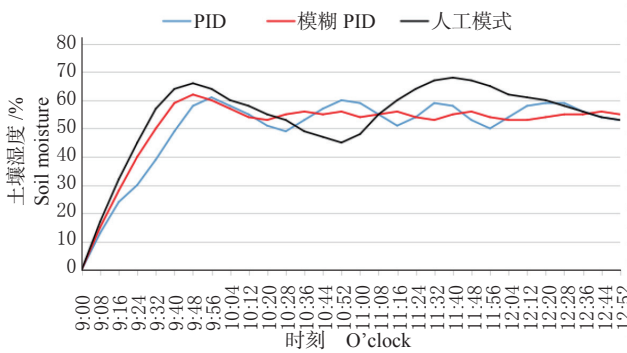


图 6 土壤湿度曲线

Fig.6 Soil moisture curve

由图 6 可知, 传统的人工灌溉方式粗犷, 对于土壤湿度的调节不够精确, PID 方式与模糊 PID 方式调节效果更佳, 而模糊 PID 调节的土壤湿度长期保持在 55% 左右, 调节效果更加稳定。2020 年 7 月 1—31 日的日耗水量如图 7 所示。

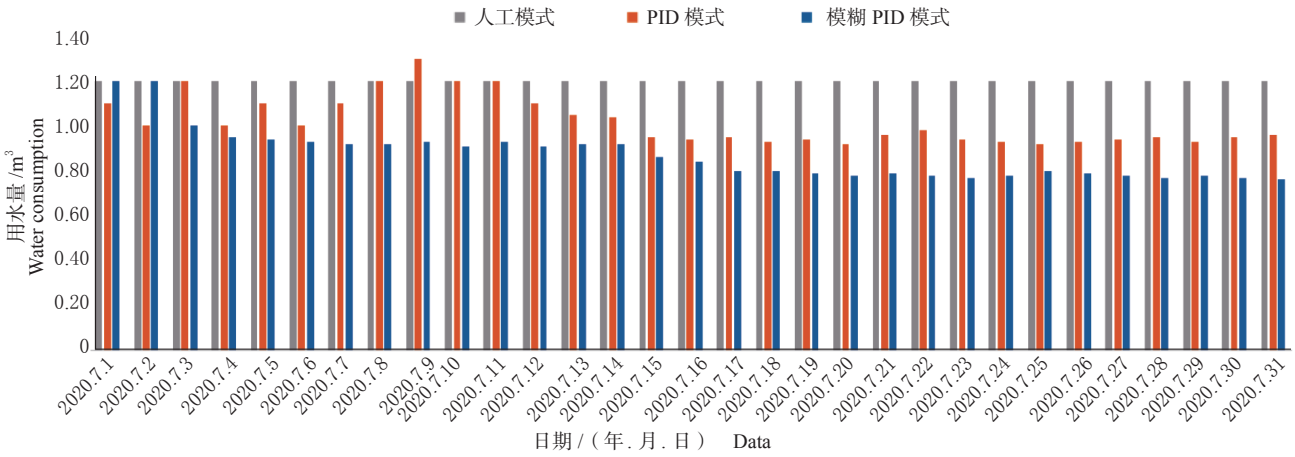


图 7 灌溉用水量

Fig.7 Irrigation water consumption

传统人工浇灌 1 栋温室日耗水量约为 1.2 m³, PID 灌溉方式下日耗水量约为 1 m³, 模糊 PID 灌溉方式下日耗水量约为 0.87 m³。与传统灌溉模式和 PID 灌溉方式相比, 模糊 PID 灌溉方式节水率分别为 27% 和 15%。试验结果表明, 本课题组设计的模糊 PID 灌溉控制器在温室灌溉过程中具有良好的应用效果。

5 结论

针对目前温室灌溉耗水量大、农户缺乏有效监控手段等问题, 本研究提出将物联网技术与模糊 PID 技术相结合应用于温室灌溉系统。将模糊控制理论与 PID 控制相结合, 根据温室管理者的经验制定模糊规则, 实现科学的管理决策。试验结果表明:

(1) 基于模糊 PID 算法的灌溉控制器, 应用于温室灌溉作业, 与传统人工灌溉方式相比, 节水率可达 27%, 与采用 PID 控制系统的灌溉方式相比, 节水率可达 15%。

(2) 基于物联网的温室监控平台利用触摸屏以及手机 APP 等设备, 进行数据显示与设备状态监测, 实现了控制系统的精细化、智能化。

参考文献:

- [1] He Fei, Shi Yaojiang, Luo Renfu, et al. Irrigation investment in China: trends, correlates and impacts[J]. China Agricultural Economic Review, 2015, 7(3): 344-359.
- [2] Zhang Panpan, Zhang Xianke. Analysis of evolution trend of water resources based on spearman and R/S methods: a case study of agricultural water source in Jinghui irrigation area[J]. Journal of Landscape Research, 2020, 12(3): 30-32.
- [3] 薛鹏飞. 中国水资源与可持续发展[J]. 丝路视野, 2017 (19): 187.
- [4] Swaney D P, Jones J W, Boggess W G, et al. Real-Time Irrigation Decision Analysis Using Simulation[J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(2): 0562-0568.
- [5] K. Srinivasa Raju, D. Nagesh Kumar. Multicriterion decision making in irrigation planning[J]. Irrigation and Drainage, 2010, 54(4): 455-465.
- [6] 乔红丽. 传统农业技术之温室栽培[J]. 农民致富之友, 2017 (14): 142.
- [7] 华净, 王秀娟, 王浩宇, 等. 基于物联网的日光温室环境监测在线校准[J]. 中国农学通报, 2020, 36(5): 120-124.
- [8] 唐献全, 陈联诚. 温室土壤湿度信息的自动采集与监控[J]. 天津农学院学报, 2005, 12(4): 28-30.
- [9] 孙龙霞, 保智敏, 马立新, 等. 基于 GSM 的温室手机监控系统[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(6): 80-82+98.
- [10] 陈大鹏, 毛罕平, 左志宇. 基于 Android 手机的温室环境远程监控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 375-379.
- [11] 顾寄南, 毛罕平. 温室环境智能化控制数学模型的研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(6): 63-65+80.
- [12] 李永海. 设施农业节水灌溉微灌技术在温室中的应用[J]. 河北农业, 2006 (8): 21.
- [13] 丁平, 李崇光, 李瑾. 我国灌溉用水管理体制改革发展趋势[J]. 中国农村水利水电, 2006, (4): 18-20.
- [14] 於沈刚, 马明舟, 岳雪峰, 等. 模糊 PID 智能灌溉控制器的设计及 MATLAB 仿真[J]. 节水灌溉, 2018 (5): 86-89.
- [15] 叶志祥, 殷志祥, 刘振辉. 基于模糊 PID 在土壤湿度中的研究[J]. 仪表技术, 2017 (11): 6-8.
- [16] 孙晓阳, 苏新彦, 姚金杰, 等. 一种分布式无线传感器节点监控系统设计[J]. 测试技术学报, 2019, 33(1): 67-73.
- [17] 陈晖, 耿庆波, 彭熙伟, 等. 基于自适应模糊 PID 的智能灌溉控制研究[J]. 测控技术, 2006, 25(1): 28-31.
- [18] 束慧. 基于物联网和模糊 PID 技术的温室智能监控系统[J]. 节水灌溉, 2014 (11): 73-76.

(责任编辑: 张月清)