

doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2021.02.013

# 基于模糊控制的智能浇灌系统设计

邱意敏<sup>a,b</sup>, 李 炜<sup>a,b</sup>, 欣 龙<sup>a</sup>, 罗 丹<sup>a</sup>, 周 颖<sup>a</sup>

(安徽工程大学 a. 电气工程学院; b. 检测技术与节能装置安徽省重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**灌溉用水占用水总量的比例较大,提高灌溉用水的利用率可节约大量的水资源。针对目前灌溉系统存在的灌溉用水利用率低、浪费人力和易灌溉过量等缺点,设计了一个智能灌溉系统。该系统将检测到的土壤湿度和设置土壤湿度下限进行比较,若检测值低于设置的下限值则直接灌溉一个灌溉周期,若高于下限值则利用构建的两级双层模糊控制器对灌溉时长进行决策,实现对灌溉用水量的智能控制。仿真结果表明,该系统能够根据作物所处生育期和灌溉时间点是否适宜自动调节灌溉时长,能够较好地满足作物的生长规律,对提高灌溉用水的利用率和作物产量有促进作用。

**关键词:**灌溉系统;模糊控制;灌溉决策;灌溉时长

**中图分类号:**S374.2;TP273+.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2021)02-0073-05

## The Design of Intelligent Irrigation System Based on Fuzzy Control

QIU Yimin<sup>a,b</sup>, LI Wei<sup>a,b</sup>, XIN Long<sup>a</sup>, LUO Dan<sup>a</sup>, ZHOU Ying<sup>a</sup>

(a.School of Electronic Engineering; b. Anhui Key Laboratory of Detection Technology and Energy Saving Devices, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

**Abstract:** Irrigation water takes up a large proportion of the total water consumption, so increasing the utilization rate of irrigation water can save a lot of water resources. This paper designs an intelligent irrigation system to solve the problems in the current irrigation system, such as low utilization rate of irrigation water, waste of manpower and overirrigation. The system compares the detected soil moisture content with the set minimum level of soil moisture content. If the detected value is lower than the set minimum value, the irrigation system starts irrigating for one irrigation period. If the detected value is higher than the set minimum value, the system uses its double level bilayer fuzzy controller to make decisions on the irrigation duration to realize intelligent control of the irrigation water consumption. The simulation results show that the system can automatically adjust the irrigation duration according to the growing period of the crops and the timing of the irrigation, so it matches the growth law of the crops and improves the utilization rate of irrigation water and crop yield.

**Keywords:** irrigation system; fuzzy control; irrigation decision; irrigation duration

## 0 引言

随着我国社会和经济建设的迅速发展,水资源的供需矛盾日益凸显,如何提高水资源的利用率迫在眉睫。据水利部的《2019 年中国水资源公报》<sup>[1]</sup>统计显示,我国 2019 全年用水量为 6 021.2 亿 m<sup>3</sup>,其中农业用水 3 682.3 亿 m<sup>3</sup>,占总用水量的 61.16%。从这些数据可以看出,节约 10% 的农业用水量就能够节约 368.23 亿 m<sup>3</sup> 的水,无疑在一定程度上能够缓解水资源的供需矛盾。而农业灌溉用水作为农

业用水重要组成部分,提高农业灌溉用水的利用率就能大大减少农业用水量。

传统的农业灌溉方式为人工灌溉,这种方式是根据农民的经验进行灌溉,费工费时,难以精确控制浇灌的水量,易造成水资源的浪费。随着科学技术的发展,浇灌系统逐渐向自动化、智能化的方向发展<sup>[2]</sup>。目前,比较常用的浇灌系统有以一定时长为控制的灌溉系统、以土壤湿度为阈值的浇灌系统和以智能控制为核心的浇灌系统<sup>[3]</sup>。其中,以一定时长为控制的浇灌系统相较于人工灌溉减少了农

收稿日期:2021-01-04

基金项目:安徽工程大学国家自然科学基金预研项目(2017yyzr01);安徽工程大学检测技术与节能装置安徽省重点实验室开放研究基金资助项目(2017070503B026-A04);安徽工程大学青年基金项目(KZ00315012);安徽省大学生创新创业训练计划项目(S202010363209)。

作者简介:邱意敏(1988—),女,安徽芜湖人,助理实验师,硕士,研究方向:人工智能、电子技术。

民的工作量,但难以对作物进行适时适量的浇灌,易对作物的生长造成不良影响;以土壤湿度为阈值的浇灌系统通过对土壤湿度的监测能够实现对作物的适时浇灌<sup>[4-5]</sup>,但由于土壤湿度具有较大的滞后性和惯性,易灌溉过量,不利于作物的生长;以智能控制为核心的灌溉系统利用神经网络<sup>[6-7]</sup>、模糊逻辑<sup>[8-10]</sup>和专家系统<sup>[11]</sup>等理论预测灌溉用水量,能够较好地解决土壤湿度滞后性带来的过度灌溉问题,提高农业灌溉用水的利用率,但未将作物不同生长周期用水量不同的情况考虑进去,易造成作物营养器官的冗余生长。因此,研究与设计一个考虑作物生长需求的智能灌溉系统,对提高农业灌溉用水的利用率、增加作物产量和缓解水资源短缺的问题有一定的帮助。

### 1 系统总体设计

针对目前灌溉系统存在的问题,结合我国国情和浇灌系统功能需要,设计了一个如图 1 所示的智能浇灌系统,主要包括处理器模块、信息采集模块、ZigBee 模块、电源模块、显示模块和执行模块。其中,处理器模块主要根据收集的信息进行灌溉决策;信息采集模块主要负责收集土壤湿度、环境温度和光照强度等信息;ZigBee 模块主要负责与上位机进行通信;电源模块为其他各模块供电;显示模块主要用于显示土壤湿度、环境温度和等信息;执行模块主要用于控制水泵的开关。

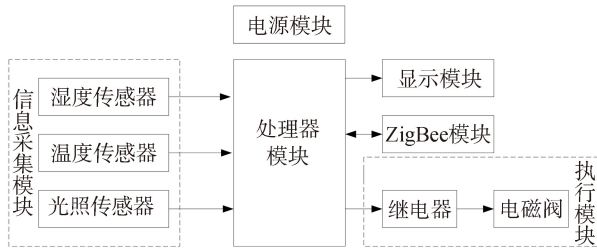


图 1 系统硬件架构

### 2 硬件设计

#### 2.1 处理器模块

处理器模块是整个浇灌系统的核心,应结合浇灌系统的总体设计和维护成本对其进行选型。STM32F103ZET6 是一款基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 位微处理器,工作频率为 72 MHz,内置高 512 kb 的 Flash 和 64 kb 的 SRAM,具有 3 个 12 位的 ADC、2 个 12 位的 DAC 和多个不同类型的通信接口,自带一个低功耗且精确的实时时钟<sup>[12]</sup>,能够满足浇灌系统内部存储空间大、运行速度快、外设丰富、精准计时的需求。

#### 2.2 电源模块

电源模块是保证灌溉系统能够正常运行的保障。结合上述的总体设计,该浇灌系统需要 3 种不同的电源电压为各个模块供电。其中,处理器模块和 ZigBee 模块需要 3.3 V 供电电压,信息采集模块和显示模块需要 5 V 供电电压,执行模块需要 12 V 供电电压。考虑到系统的适用环境和使用便捷性,用充电锂电池提供 12 V 电压对执行模块供电,再利用 LM2575 芯片将 12 V 转换为 5 V 对信息采集模块和显示模块供电,最后利用 AMS1117-3.3 芯片将 5 V 转换为 3.3 V 对处理器模块和 ZigBee 模块供电,具体电路如图 2~3 所示。

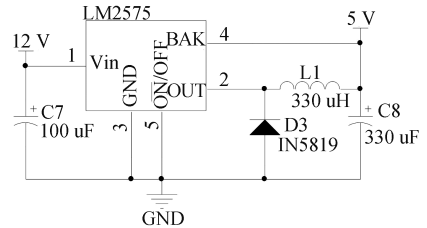


图 2 12 V 转 5 V 电路原理

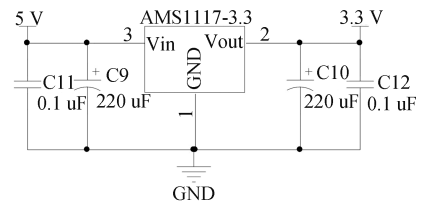


图 3 5 V 转 3.3 V 电路原理

#### 2.3 信息采集模块

信息采集模块是浇灌系统进行灌溉决策的数据来源,由湿度传感器、温度传感器和光照传感器组成的,分别对土壤湿度、环境温度和光照强度的数据进行收集。

湿度传感器根据工作原理的不同,可以分为电阻型、电容型、离子型、时域反射型、频域反射型等。由于该系统主要用于测量土壤湿度,故选用受土质影响较小、响应速度快、性价比高的 FDS-100 频域反射型湿度传感器。该传感器的测量区域为中央探针周围直径和高分别为 7 cm 的圆柱体,通过测量土壤的介电常数,进而得到土壤体积的含水量,测量范围为 0%~100%,测量精度为 ±2%,其电路原理如图 4 所示。

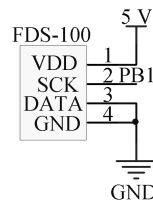


图 4 FDS-100 电路原理

温度传感器根据工作原理的不同,可以分为热敏电阻、热电偶、电阻温度、IC 温度等。由于该系统主要用于测量环境温度,且为了减少外部硬件电路的连线,故选用单总线的 DS18B20 温度传感器。该传感器的测温范围为 $-55 \sim 125^{\circ}\text{C}$ ,测量精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,且输出的温度数据为数字信号,其电路原理如图 5 所示。

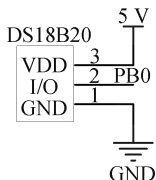


图 5 DS18B20 电路原理

光照传感器是将光照强度转变为电信号的传感器,这里选用数字型 TSL2550T 光照传感器。该传感器利用 2 个对可见光和红外线敏感程度不同的光电二极管消除红外线对环境光的影响,从而得到一个有效值为 12 位的光照强度,且功率低至 1 mW,其电路原理如图 6 所示。

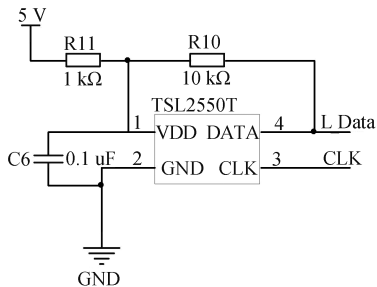


图 6 TSL2550T 电路原理

### 2.4 ZigBee 模块

ZigBee 模块负责浇灌系统与上位机之间的通信。CC2530 是一款内部集成 51 型单片机的 ZigBee 通信芯片,具有多种工作模式,短时间内能够进行工作模式的转换且功耗较低。其电路原理如图 7 所示,利用自带的串行接口 P0.2、P0.3 与处理器模块进行连接,而 LED 灯是指示 ZigBee 模块工作状态的。

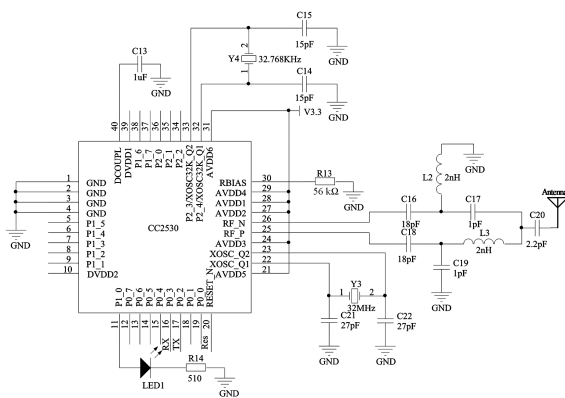


图 7 CC2530 电路原理

### 2.5 执行模块

执行模块包括继电器和水泵电磁阀,继电器根据处理器模块发送的命令来转换通断状态,进而控制水泵电磁阀的开启和闭合。其电路原理如图 8 所示,二极管作为续流二极管,主要用于防止继电器断开时反向电压对器件的损坏。

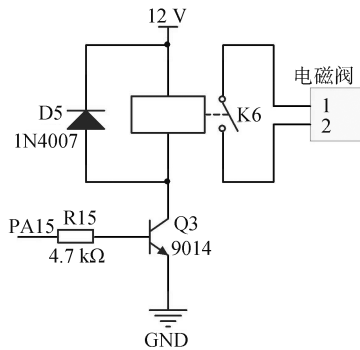


图 8 执行模块电路原理

## 3 软件设计

### 3.1 灌溉决策算法的设计

#### 3.1.1 灌溉决策模糊控制器总体设计

为了提高灌溉用水的利用率,提升水对作物生

长的促进作用,需制定一个较为合理的灌溉决策,这就必须要了解灌溉对作物生长过程的影响因素。

土壤湿度是影响作物生长的重要因素之一,适宜的土壤湿度能够促进作物的生长,反之,则易对作物生长产生抑制作用,因此,系统在进行灌溉决策时需考虑土壤因素。根据环境温度和作物蒸腾作用之间的关系可知<sup>[13]</sup>,当外界温度较高时,作物的蒸腾作用较强。此时若进行灌溉,土壤即从高温突然降至低温,导致作物的吸水作用减弱,而远远赶不上作物蒸腾作用失去的水分,造成作物萎蔫死亡。此外,根据调亏灌溉理论可知,作物在不同的生长期所需的水分量是不同的,若对作物的生长期不加区分,仅以单一生长期的需水量确定灌溉量,易造成作物营养器官冗余生长,甚至降低作物的产量<sup>[14]</sup>。为了避免上述 2 种情况的发生,该灌溉系统在进行灌溉决策时,除了考虑土壤湿度,还需考虑灌溉时间点是否适宜作物所处的生育期。

据统计<sup>[15]</sup>,同类作物从一个生长期到下一生长期所需的天数相差不大,因此,可以将作物的种植天数作为判断作物处于何种生长期的依据。而利用环境温度和日照强度 2 个数据可以推算出季节和昼夜,可以将此作为灌溉时间点是否适宜的依据。故该灌溉系统将土壤湿度、环境温度、光照强度和

作物种植天数作为影响系统灌溉决策的条件,但它们的数据变化十分缓慢,且具有一定的滞后性和惯性,难以建立一个精确的数学模型。而模糊控制具有能够应用于非线性、滞后性和难以建模系统的特点,故可以利用其构建一个灌溉决策结构。

为了降低模糊控制规则的计算维度,将影响灌溉决策的条件分级分层进行输入,以构成一个 2 级双层模糊控制结构,具体架构如图 9 所示。其中,第一级模糊控制分为 2 层,一层是灌溉适宜度模糊控制器,它以光照强度和环境温度作为输入用来推算当前时刻是否适宜浇灌,一层是最佳土壤湿度的适宜土壤湿度模糊控制器,它以作物种植时间作为输入用来推算作物当前生长阶段;第二级模糊控制是灌溉时长模糊控制器,它以第一级模糊控制的 2 层输出作为输入,即以当前土壤湿度与最佳土壤湿度的差值和灌溉适宜度作为输入用来推算灌溉时长。

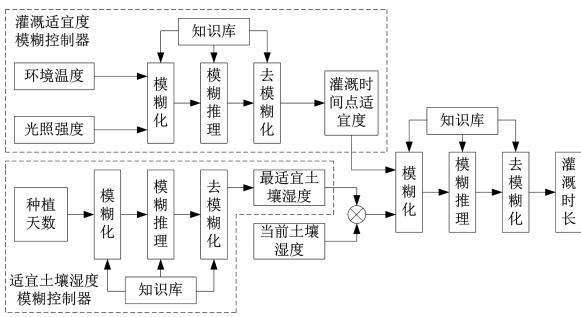


图 9 灌溉系统模糊控制器的架构

### 3.1.2 各模糊控制器设计

适宜土壤湿度模糊控制器主要是根据作物的种植时间推算作物的生育期,以此得出相应生育期的最适宜土壤湿度。下面以冬小麦为例,说明适宜土壤湿度模糊控制器的设计过程,若是对别的作物进行灌溉只需将相应数据做替代即可。根据文献[16]可知,冬小麦各生育期阶段天数和适宜土壤湿度范围如表 1 所示。据此,适宜土壤湿度模糊控制器的输入作物种植天数变化范围为[0,217],输出最适宜的土壤湿度论域为[73,80]。首先对作物的种植天数和最适宜的土壤湿度范围定义模糊集合,并列出的隶属度表;然后,设计模糊规则;最后,对输出结果进行解模糊处理,就能得出当前作物所处生育期的最适宜土壤湿度。

表 1 冬小麦各生育期天数和适宜土壤湿度范围

	播种期	出苗期	拔节期	抽穗期	乳熟期	成熟期
天数	9	30	108	21	32	17
土壤相对湿度/%	73	75	78	80	78	75

灌溉适宜度模糊控制器主要是根据环境温度和光照强度来确定灌溉时间点的适宜度,其输入分别是环境温度和光照强度,输出为灌溉时间点的适宜度。根据常识,夏天中午温度高,最高可达 40℃,光照强度强,最强可达 5 000 klx,因此,可将环境温度变化范围设置[-10,40],光照强度的变化范围设置为[0,5 000]。而灌溉时间点的适宜度主要是根据百分数的大小来确定时间点是否能够进行灌溉,取值范围为[0,100]。确定好环境温度、光照强度、灌溉适宜度的变化范围后,分别对它们进行模糊化处理,再制定相应的模糊规则,最后对输出结果解模糊即可得到灌溉时间点的适宜度。

灌溉时长模糊控制器主要是根据最佳土壤湿度与当前土壤湿度的差值、灌溉时间点的适宜度来确定灌溉时长。以冬小麦为例,设定土壤湿度的灌溉下限为 40%,再结合表 1 可知,冬小麦的最佳土壤湿度与当前土壤湿度的差值范围为[0,40],而根据灌溉适宜度模糊控制器的输出,可知灌溉时间点适宜度范围为[0,100]。深度在 0~20 cm 的土壤水分对冬小麦生育期的影响最大<sup>[17]</sup>,以浸润至土壤深 20 cm 为基准,经测试若是利用流量为 15 m<sup>3</sup>/h 的水泵可在 40 min 内将土壤湿度从 40% 提升至 80%,故灌溉时间范围可取[0,40]。利用 Matlab 软件自带的模糊控制工具箱对土壤湿度差、灌溉时间点适宜度和灌溉时长的隶属度函数进行设置,结果如图 10~11 所示,灌溉时长模糊控制器的模糊控制表如表 2 所示。

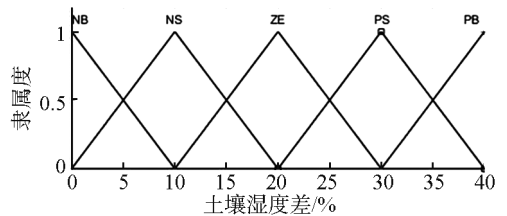


图 10 土壤湿度差隶属度函数

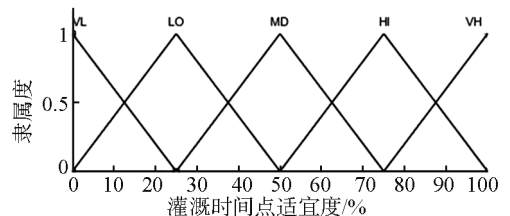


图 11 灌溉时间点适宜度隶属度函数

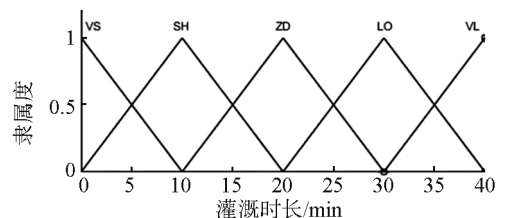


图 12 灌溉时长隶属度函数

表 2 灌溉时长模糊控制器的模糊规则

灌溉时长	灌溉时间点适宜度					
	VL	LO	MD	HI	VH	
土壤湿度差	NB	VS	VS	VS	VS	SH
	NS	VS	VS	VS	SH	SH
	ZE	VS	VS	SH	SH	ZD
	PS	VS	VS	SH	ZD	LO
	PB	VS	SH	ZD	LO	VL

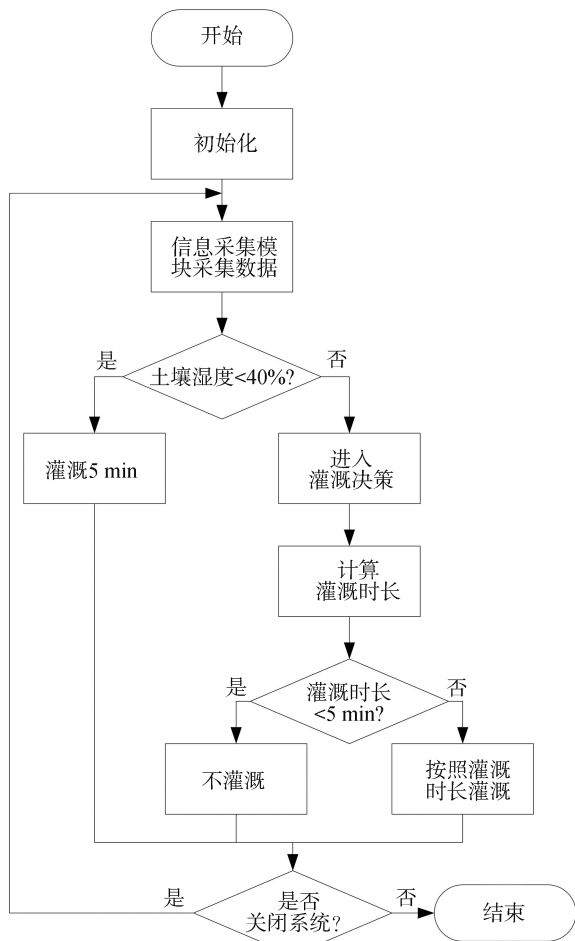


图 13 软件流程图

### 3.2 程序设计

该灌溉系统的软件流程如图 13 所示。具体步骤如下:(1)信息采集模块将采集到环境温度、土壤湿度和光照强度的信息发送至处理器模块;(2)若当前土壤湿度低于灌溉下限的设定值 40%,则进行浇灌 5 min,转至步骤(1);若检测的土壤湿度高于设定值 40%,则转至步骤(3);(3)处理模块结合自身的实时时钟信息和信息采集模块的数据,进行灌溉决策,计算灌溉时长,若灌溉时长小于 5 min,则不浇灌,转至步骤(1);若大于 10 min,则根据输

出的灌溉时间进行浇灌,浇灌结束转至步骤(1)。

## 4 仿真与分析

在 Matlab 软件中的 Simulink 模块中,先搭建如图 14 所示的灌溉系统的仿真模型,再将根据建立的 3 个模糊控制器文件导入至 Simulink 环境下的模糊控制器中,最终灌溉时长的仿真结果如图 15 所示。

从仿真结果可以看出,当检测土壤湿度值和最佳土壤湿度值相差小,且灌溉时间点适宜度低时,该系统不灌溉;当检测土壤湿度值和最佳土壤湿度值相差大,且灌溉时间点适宜度高时,该系统灌溉时长最长。也就是说,该系统的灌溉时长是根据灌溉时间点的适宜度和土壤湿度的差值共同决定的,能够符合系统设计的需要。

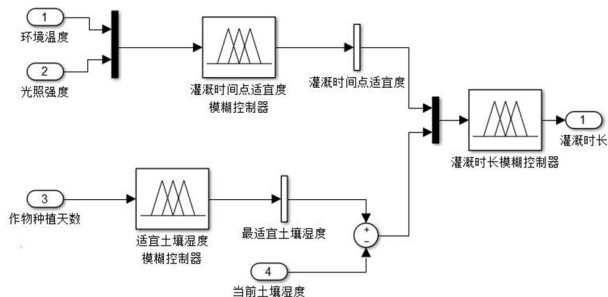


图 14 灌溉系统的仿真模型

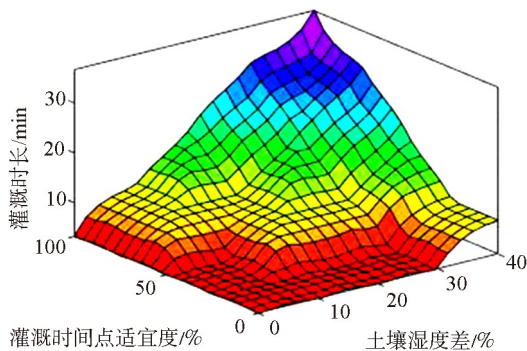


图 15 灌溉系统输出特性曲面

## 5 结论

为了缓解水资源短缺问题,提高灌溉用水利用率,该文设计了一个基于模糊控制的智能灌溉系统。该系统将土壤湿度、环境温度、光照强度和作物种植天数作为 2 级双层模糊控制器的输入数据,使作物所处的生育期和灌溉时间点的适宜度成为除土壤湿度之外影响灌溉决策的条件,这不但能够对作物的精确浇灌,节约灌溉用水,还因符合作物生长灌溉的规律,对作物成长有一定的促进作用。

## 参考文献:

- [1] 张惠玲. 基于股吧文本的主题挖掘及其股票投资应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [2] 庄郭冕. 基于主题模型和实体识别的股市热点概念挖掘[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [3] 鲁志芳. 基于 Hadoop 技术的大数据分析应用系统的研究与设计[J]. 电子设计工程, 2019(16): 11-14.
- [4] 唐黎. 面向金融大数据的高效数据处理机制的研究与设计[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [5] 汪保友, 钱晶, 袁时金. 基于 Hadoop 的电信大数据采集方案研究与实现[J]. 电信科学, 2017, 33(1): 135-142.
- [6] 袁昌权, 胡益群, 许光, 等. 基于 Hadoop 的高可用数据采集与存储方案[J]. 电子技术与软件工程, 2019(18): 169-170.
- [7] 王悦. 基于数据挖掘算法的金融数据采集与分析研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [8] 焦继笑. 基于 Web Services 和 Quartz 的数据整合系统的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [9] 丁俊. 基于 HBase 的证券交易数据实时采集系统的应用研究[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2019(12): 42-49.
- [10] 叶刚. 基于 Quartz 的可视化定时任务管理方案[J]. 电子技术与软件工程, 2018, 1(17): 139-140.
- [11] 李艳斌. 基于数据挖掘技术的股票选择分析研究[D]. 大连: 东北财经大学, 2018.
- [12] 郭鹏程, 李迎春, 付春燕, 等. 海量日志数据采集系统的设计与优化[J]. 电子测量技术, 2018, 41(1): 12-17.
- [13] 陈民. 基于多层次数据交换的区域智慧城市公共信息平台[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(12): 67-70.
- [14] 李希尧. 基于数据挖掘技术的股票数据分析研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [15] 王凯. 基于集成学习的量化选股策略研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.

(上接第 77 页)

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 2019 年中国水资源公报[EB/OL]. (2020-08-03) [2021-05-02]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202008/t20200803\\_1430726.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202008/t20200803_1430726.html).
- [2] 张兵, 袁寿其. 成立. 节水灌溉自动化技术的发展及趋势[J]. 排灌机械, 2003(2): 37-41.
- [3] 袁寿其, 李红, 王新坤. 中国节水灌溉装备发展现状、问题、趋势与建议[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(1): 78-92.
- [4] 岳学军, 刘永鑫, 洪添胜, 等. 基于土壤墒情的自动灌溉控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 241-246+250.
- [5] 刘晓艳. 基于土壤墒情监测的农田灌溉系统研究[J]. 自动化应用, 2020(9): 1-3.
- [6] 杨波, 魏文政, 陈盟, 等. 基于神经网络的智能化节水灌溉系统设计研究[J]. 水利技术监督, 2020(5): 44-48.
- [7] 王应海. 大数据及人工智能技术在灌溉领域的应用初探[J]. 节水灌溉, 2017(3): 100-102.
- [8] 高玉芹. 基于 ZigBee 和模糊控制决策的自动灌溉系统的设计[J]. 节水灌溉, 2010(8): 52-55.
- [9] 张伟, 何勇, 袁正军, 等. 基于无线传感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(S2): 7-12.
- [10] 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(6): 208-210.
- [11] 杨伟志, 孙道宗, 刘建梅, 等. 基于物联网和人工智能的柑橘灌溉专家系统[J]. 节水灌溉, 2019(9): 116-120+124.
- [12] STMicroelectronics. DS5792\_STM32F103xC, STM32F103xD, STM32F103xE 单片机数据手册[DB/OL]. (2018-08-15) [2021-05-04]. [https://www.stmcu.com.cn/Product/pro\\_detail/cat\\_code/STM32F103/family/81/sub\\_family/124/sub\\_child\\_family/142/layout/product](https://www.stmcu.com.cn/Product/pro_detail/cat_code/STM32F103/family/81/sub_family/124/sub_child_family/142/layout/product).
- [13] 郑海雷, 黄子琛. 春小麦单叶气孔行为及蒸腾作用的模拟[J]. 高原气象, 1992(4): 423-430.
- [14] 郭松年, 丁林, 王福霞. 作物调亏灌溉理论与技术研究进展及发展趋势[J]. 中国农村水利水电, 2009(8): 12-16.
- [15] 郑永丹. 中国主要粮食作物生育期时空格局及其变化[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.
- [16] 王一罡, 徐践, 郭大鹏, 等. 北京冬小麦各生育期灌水量辅助决策模型研究[J]. 华北农学报, 2015, 30(S1): 241-244.
- [17] 宓文海, 江荣风, 刘全清, 等. 不同灌溉方式对华北冬小麦生长的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(2): 175-179.