

李 扬,王建春,吴华瑞,等. 基于 LoRa 与模糊控制的温室环境调控系统设计[J]. 江苏农业科学,2021,49(20):210-216.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.20.034

基于 LoRa 与模糊控制的温室环境调控系统设计

李 扬¹,王建春¹,吴华瑞^{2,3,4},孙 想^{2,3,4}

(1. 天津市农业科学院,天津 300192; 2. 北京农业信息技术研究中心,北京 100097;

3. 国家农业信息化工程技术研究中心,北京 100097; 4. 农业农村部农业信息技术重点开放实验室,北京 100097)

摘要:针对北方日光温室普遍配备的电动卷帘设计了基于 LoRa 与模糊控制的温室环境调控系统。系统采用 STM32 作为微控制器,配置限位开关确保卷帘运行安全,通过 LoRa 和 4G-LTE 实现与服务器的通信和交互,采集温度、湿度、光照度等环境数据,运用模糊控制算法对风口开合宽度进行自动调节,使用卷帘覆盖风口方式实现对温室环境的调节。农户可以使用现场旋钮或远程 APP/WEB 控制设备的运转,也可以通过设置规则达到批量自动控制设备的效果。本系统实现了日光温室卷帘的自动控制,使用卷帘对上风口开口宽度进行调整,进而调控温度,实际运行结果表明,该系统可以有效保证卷帘的安全运行,延长光照时长。上风口不覆盖卷膜情况下,夜间温度无明显差别,日间温度波动更小,减轻了劳动强度,改善了温室环境管控效果,可以为日光温室现代化、智能化改造提供一种快速改造方式,提升设施农业信息化水平。

关键词:日光温室;LoRa;模糊控制算法;环境调控;限位保护

中图分类号: S625.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)20-0210-07

研究表明,温室环境优化调控方法和技术能有效改善温室作物的生产条件,提高光能资源的利用效率,从而实现温室作物的高产、高效、优质生产^[1-5],而物联网技术、自动控制技术的发展,为便捷化、远程温室环境调控奠定了技术基础^[6-8]。目前国外关于物联网的农业生产控制系统研究已经较为成熟^[9],但由于我国小规模农业生产为主的现

状,相应技术难以推广应用。现阶段国内设施温室环境调控系统研究主要使用 ZigBee(紫蜂,一种短距离无线传输技术)和 4G 通信技术,结合空气温度、土壤湿度等数据,对灌溉、卷膜、风机、补光灯等设备进行控制,控制设备种类虽然比较丰富,但整体成本偏高,难以大规模应用。事实上我国北方日光温室通常仅配备卷帘电机,风口卷膜以挂绳拉拽或机械摇臂开启为主,农户凭水银温度计和经验判断,人工对卷帘、卷膜进行控制,生产管理较为粗放。

针对目前温室生产现状及主流温室配置,本研究设计了一种基于远距离无线电(long range radio, LoRa)与模糊控制的温室环境调控系统。系统结合 LoRa 和 4G-LTE 技术通过对设施温室卷帘电机增加控制设备并配置限位保护,实现卷帘电机的远

收稿日期:2021-08-01

基金项目:天津市企业科技特派员项目(编号:20YDTPJC00200);天津市蔬菜现代农业产业技术体系项目(编号:ITTVRS2021021);天津市农业科学院青年科研人员创新研究与实验项目(编号:2021005)。

作者简介:李 扬(1982—),女,天津人,硕士,助理研究员,主要从事农业信息化与人工智能研究。E-mail:liyang_tas@126.com。

通信作者:王建春,硕士,研究员,主要从事农业信息化研究。E-mail:wangmiaol15@126.com。

2011:1224-1229.

[10]张继成,陈海涛,欧阳斌林,等. 基于光敏传感器的精密播种机监测装置[J]. 清华大学学报(自然科学版),2013,53(2):265-268,273.

[11]窦钰程,欧阳斌林,陈海涛. 光敏式气吸播种机监测装置研究[J]. 东北农业大学学报,2010,41(9):133-137.

[12]陈 满,施印炎,汪小昆,等. 基于光谱探测的小麦精准追肥机设计与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(5):26-32.

[13]Tola E, Kataoka T, Burce M, et al. Granular fertiliser application rate control system with integrated output volume measurement[J].

Biosystems Engineering,2008,101(4):411-416.

[14]左兴健,武广伟,付卫强,等. 风送式水稻侧深精准施肥装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(3):14-21.

[15]苑严伟,张小超,吴才聪,等. 玉米免耕播种施肥机精准作业监控系统[J]. 农业工程学报,2011,27(8):222-226.

[16]祝清震,武广伟,罗长海,等. 基于姿态实时监测的多路精准排肥播种控制系统研究[J]. 农业机械学报,2018,49(增刊1):155-163.

[17]宋少龙,张东超,汤智辉,等. 基于离散元法的分层施肥靴参数优化与试验[J]. 中国农业大学学报,2020,25(10):125-136.

程、安全运行,并以环境数据为基础,结合模糊控制模型,使用卷帘压风口的方式完成日光温室的温度调节,系统同时支持策略绑定功能,在连片温室区域可以只部署少量传感器,批量操控全部园区温室,达到节省成本、统一操作的效果。通过试验对比,该系统调控效果较好,可以满足日常农业生产需求。

1 系统总体设计方案

该系统主要对日光温室卷帘进行控制,通过传感器完成现场环境数据采集,由 LoRa 模块将数据

汇聚至网关,再由网关通过 4G-LTE 模块将数据上传至服务器,服务器经过模糊控制算法的综合判断决策,下发控制指令进行设备控制,外部通过行程开关告知下位机进行限位保护。具体结构如图 1 所示。系统整体由下位机和服务器端 2 个部分组成。其中,下位机包括节点和网关,两者之间通过 LoRa 进行通信,主要由通信模块、环境采集模块、限位保护模块和设备控制模块组成,网关主要负责汇聚节点数据并连接服务器;服务器端包括数据处理、设备控制和决策分析 3 个模块。

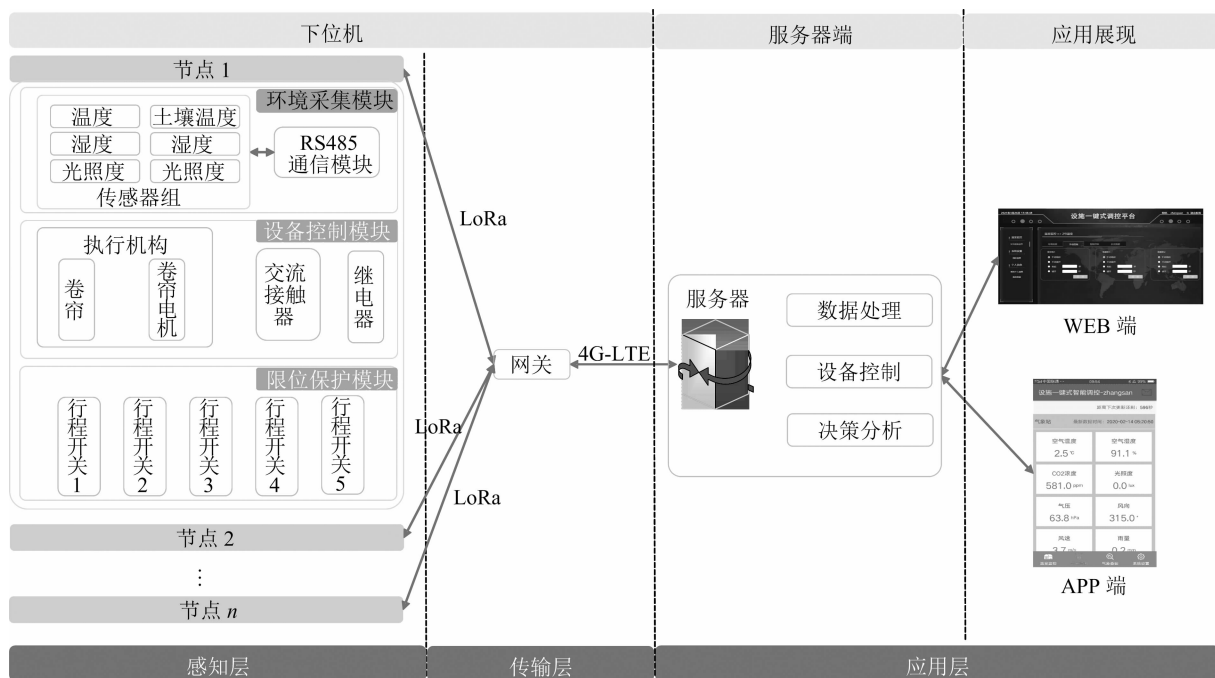


图1 系统整体结构

2 下位机设计

下位机微控制器 (MCU) 选择意法半导体公司 (ST) 的 STM32F103RCT6 芯片,其接口丰富,操作简单,搭配实时时钟模块 (RTC) 用于本地控制。节点采用 RS485 与传感器进行数据通信,通过继电器和交流接触器完成卷帘的控制和行程开关状态的信号接收,负责将采集到的多路传感器数据按照自定义规范形成文本数据并由 LoRa 发送给网关。网关通过 LoRa 汇聚多个节点的数据并使用 4G-LTE 将数据发送给服务器,同时接收服务器发回的控制指令,并告知节点进行设备控制。节点程序流程如图 2 所示。

2.1 通信模块

节点与网关之间使用 LoRa 通信,下位机与服

务器之间使用 4G-LTE 进行通信。LoRa 具有低功耗支持远距离传输的特点^[10-11],在无障碍情况下通信距离可达 15 km,有效解决了 ZigBee 传输距离较短的问题,可以在规模化农业园区进行部署。而 LoRa 模组价格仅为 4G 模组的 1/4,当批量部署时,通过网关将一定数量无线节点连接起来,统一通过 4G-LTE 模块发送至服务器端,可以有效降低设备成本。

2.2 环境采集模块

环境传感器数据作为整个环境调控系统的判断依据,需要及时准确地反映环境变化^[7]。本系统使用 RS485 接口进行传感器数据与 MCU 的通信,传感器采用赛通科技的温湿度光照度三合一传感器、土壤温湿度传感器和 CO₂ 传感器。其中,温度精度 ±0.5 ℃,测量范围 -40 ~ 80 ℃,分辨率 0.1 ℃;

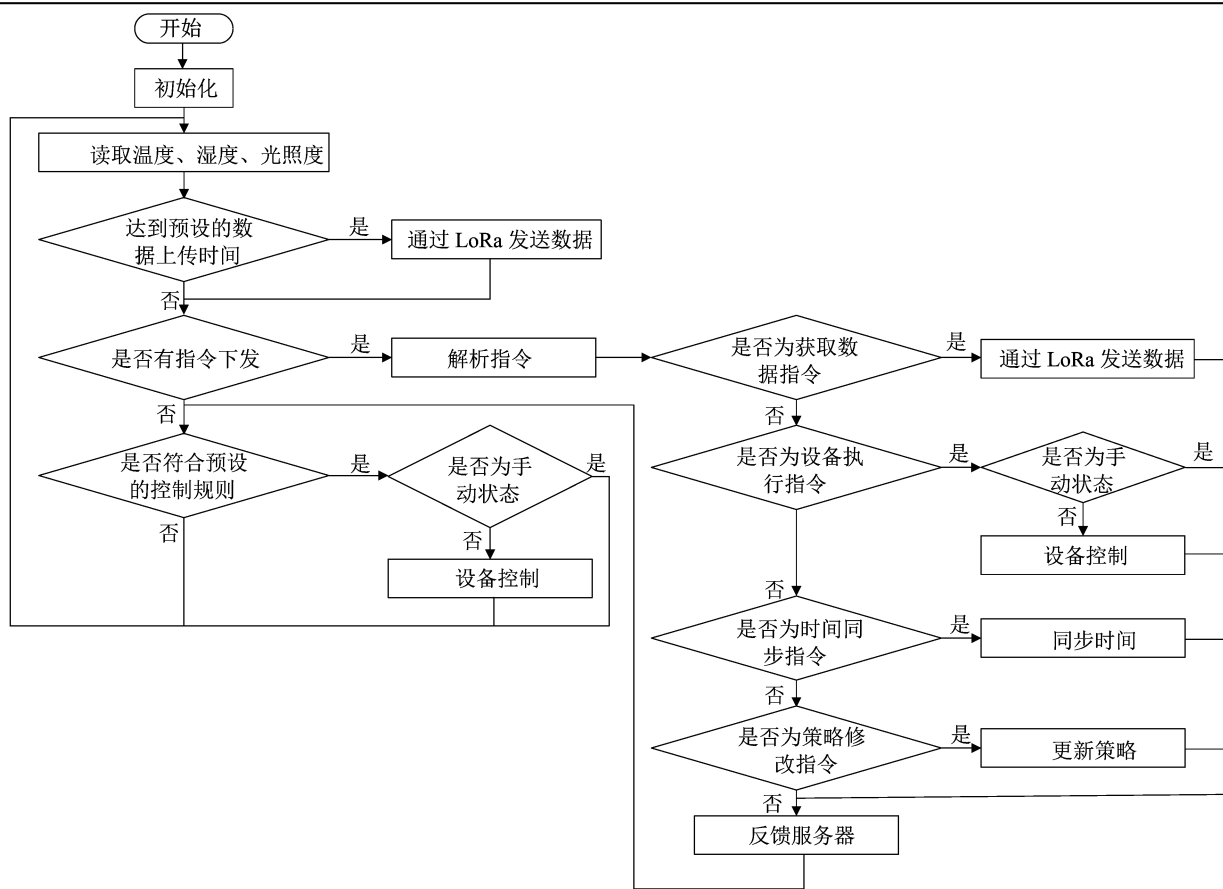


图2 节点程序流程

湿度测量精度 $\pm 3\%$ RH, 测量范围 $0 \sim 100\%$ RH, 分辨率 0.1% RH; 光照度精度 $\pm 5\%$, 测量范围 $0 \sim 65\,535$ lx, 分辨率 1 lx。节点可以支持多路传感器的接入, 共同辅助服务器决策。

2.3 限位保护模块

本系统在温室侧墙上部和下部分别设置 2 组限位保护模块, 其中一组连接 MCU, 通过 MCU 触发控制设备停止, 称为软限位 (SL1、SL2), 另一组连接控制设备中的继电器, 直接触发控制设备停止, 称为硬限位 (HL1、HL2)。硬限位是为了保障设备在 MCU 或软限位出现故障时的第二重保护。为保证设备有效运行, 硬限位安装位置的触发时间会略晚于软限位安装位置。而限位 SL3 则用来告知服务器风口下沿位置, 便于卷帘进行上风口覆盖控制时判断使用。限位保护模块安装位置如图 3 所示。

2.4 设备控制模块

目前日光温室的卷帘机普遍使用 380 V 交流供电, 为强电设备, 在控制方面需要通过 MCU 的 I/O 口输出高低电平结合继电器、交流接触器, 来控制卷帘电机的正转、反转和停止, 卷帘电机控制模块

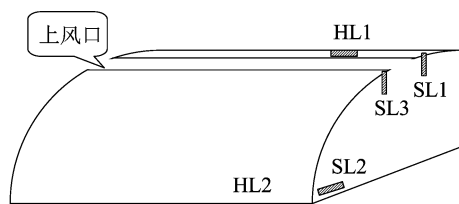


图3 限位保护模块安装位置

电路见图 4。设备控制包括手动控制和策略控制 2 种模式。

2.4.1 手动控制模式 手动控制主要用于农户现场根据温室情况手动调节卷帘位置。系统设计有本地、智能切换旋钮, 避免本地与远程同时发送反向控制信号造成的设备损坏。手动控制模块及箱体内部结构如图 5 所示。

2.4.2 策略控制模式 策略控制模式将服务器下发的控制策略存储在 MCU 的 flash 中, 可以根据实时温度、湿度、光照度或时间进行设备控制, 可以作为无网络情况下的补充, 最多可以设置 10 个调控规则。

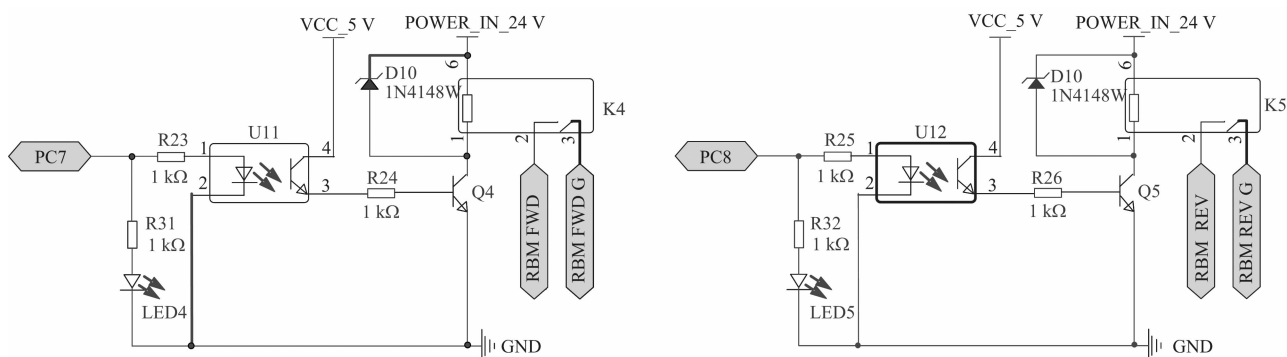


图4 卷帘电机控制模块电路

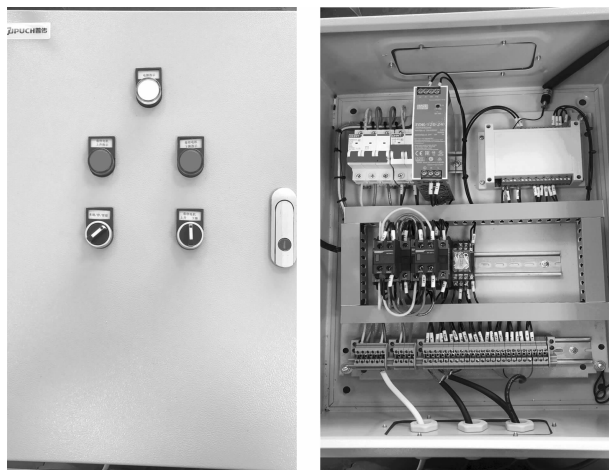


图5 手动控制模块及箱体内部结构

3 服务器端设计

服务器端通过网络收集下位机上传的数据,通过决策分析确定执行操作后再下发给下位机;也可通过 WEB 或 APP 前端接收用户控制指令下发给下位机执行。服务器端数据处理均通过数据库进行交互,相应流程见图 6。

3.1 数据处理模块

服务器通过 TCP/IP 协议与下位机进行通信,对每一个请求建立连接,负责执行数据的收取和指令的下发。采集到的传感器数据存入数据库中,通过 WEB 前台或 APP 进行实时数据查询和历史数据统计分析,如图 7 所示。

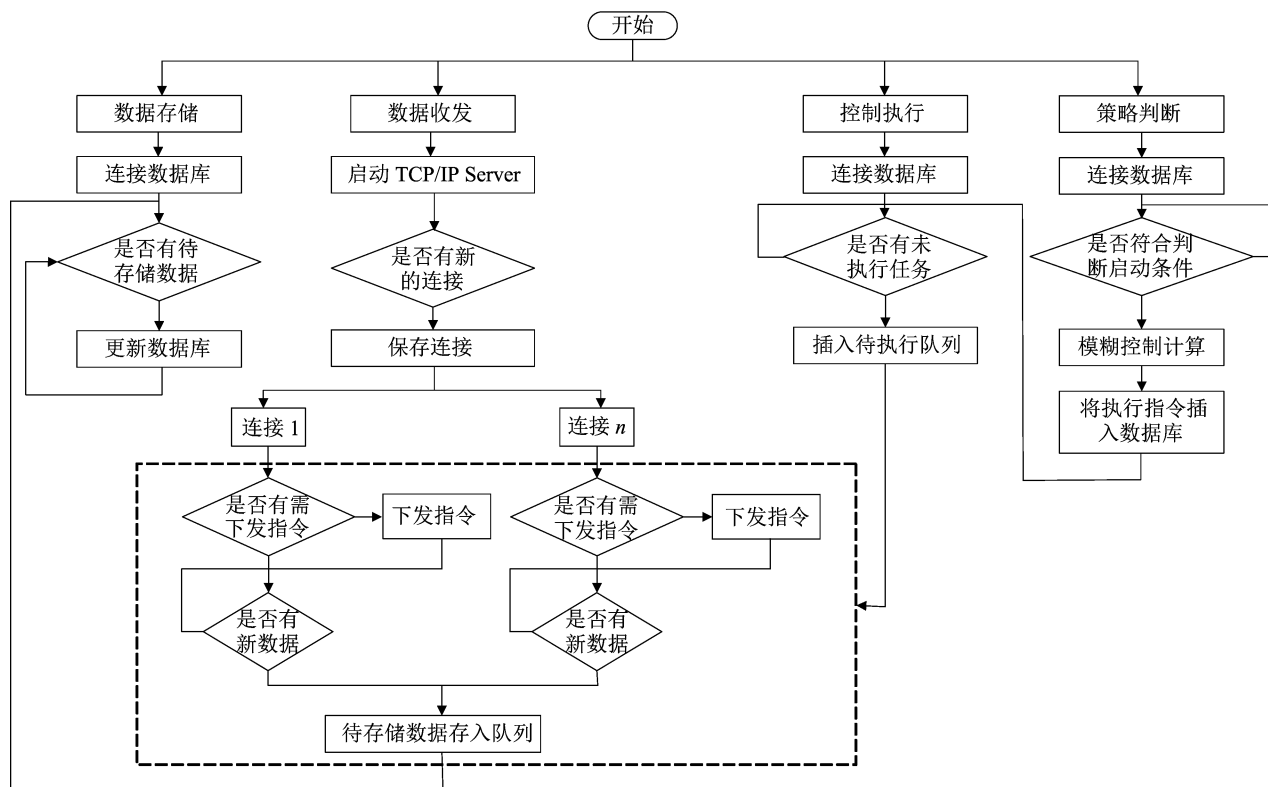


图6 服务器端流程



图7 Web 和 APP 端数据展示

3.2 设备控制模块

远程设备控制模块除了控制卷帘电机正转、反转、停止外,还可以叠加执行时间限制,控制设备运

转时长,从而达到 1 条指令对设备运转位置微调的效果,通过试验设备远程控制响应时长小于 1 s,控制界面如图 8 所示。



图8 Web 和 APP 端控制界面

3.3 决策分析模块

3.3.1 联动控制 决策分析模块可以实现 1 个园区对多个温室的远程统一控制,节省传感器成本。在园区内选取不同温室部署 1~2 组传感器,使用统一策略进行绑定控制。以图 9 为例,在园区内选取下位机 1 和下位机 5 部署 2 组传感器,调控执行绑定下位机 1~5,服务器通过算法综合判断 2 组传感器的温度、湿度、光照度,确定执行策略,同时通知到下位机 1~5,实现少量传感器部署,批量控制的效果。

3.3.2 决策模型 不同作物在不同生理期对温度的要求不同,本研究以天津 1 月份草莓田间生产为例进行探讨,此阶段草莓茎叶生长和开花坐果同时进行,是温室草莓管理较为困难、关键的时期。白天控制温度为 18~25℃,湿度保持在 60% 以下,降

湿要以先保温为原则^[12]。早晨卷起卷帘后不急于放风,等温度逐步上升后再打开风口,一般温度超过 28℃ 时打开风口进行放风降温,下午降低到 20℃ 时要逐渐关闭风口。由于温度滞后性强、非线性的特征,难以确定准确的数学模型^[13],所以采用模糊控制的方法^[7,14-17],当卷帘处于 SL3 和 SL1 之间时,对卷帘覆盖上风口幅度进行控制,温度模糊控制流程如图 10 所示。

以实时温度与理想温度差值(E)和差值变化率(EC)为输入量,风口开合宽度(U)作为输出量。其中,温度差值 E 的物理论域为 $[-6, 6]$,模糊语言变量分 7 个等级,记为{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}。温度差值变化率(EC)的物理论域为 $[-4, 4]$,模糊语言变量分 5 个等级,记为{NB, NS, ZE, PS, PB}。风口开合宽度(U)按照全关、1/4开、半开、3/4开、

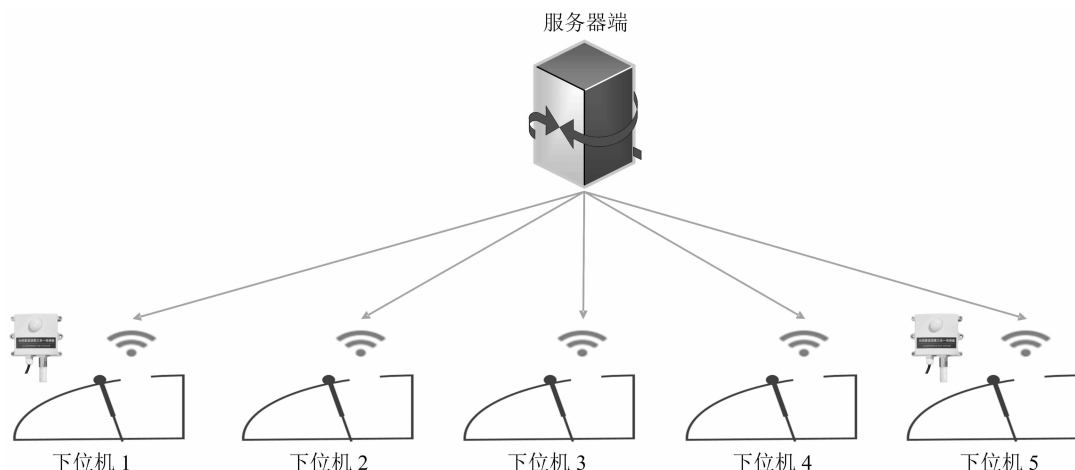


图9 服务器端与多下位机联动

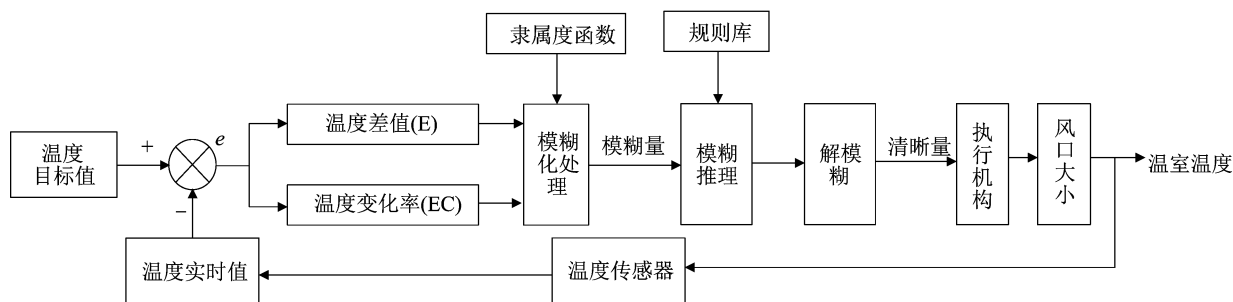


图10 模糊控制流程

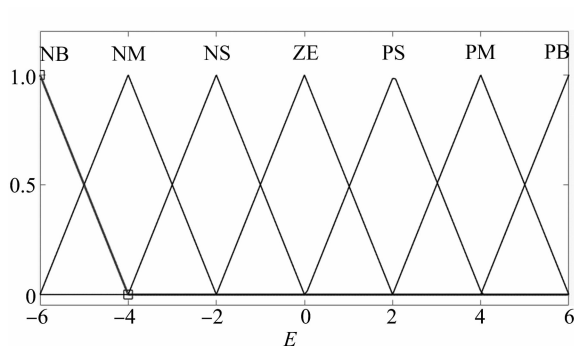
全开分为 5 个等级,记为{NB,NS,ZE,PS,PB}。模糊规则采用 if - then 语句,控制规则见表 1,Matlab 实现见图 11。

表 1 风口大小控制规则

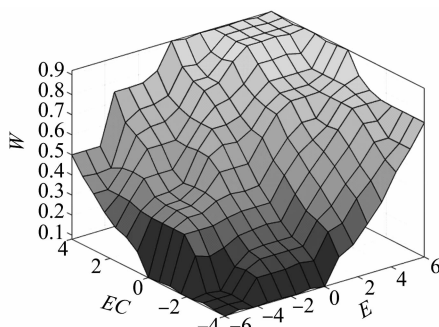
EC	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NB	NS	ZE	ZE	PS	PS	PB
PS	NS	ZE	ZE	PS	PB	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PB	PB	PB	PB

4 试验设计与分析

为验证本研究设计系统的可靠性,于 2021 年 1 月在天津市鼎牛农业科技园(117°23'E、37°32'N)进行日光温室卷帘环境调控系统试验,温室设置有卷帘和卷膜 2 种装置,分别控制卷帘和上下风口,本研究内容仅涉及上风口,因此下风口由农户操控,试验期间采用统一操作。选取室外环境相近的 6 d 开展对比试验,其中 3 d 由农户按照日常生产规律进行卷帘、卷膜开合控制,3 d 上卷膜调整到打开状



a. 温度隶属度函数



b. 特性曲面

图11 Matlab 规则

态,由系统根据策略进行卷帘控制。控制效果对比见图 12。从对比图中可以看出,使用卷帘覆盖上风口控制与人工控制在夜间温度差别不大,在日间系统控制的温度波动更小。同时由于温室采用系统批量远程控制,设置当时间大于预设时间时统一启动,整体日照时间较人工操控状态延长 30 min 左右,设备远程控制响应时长小于 1 s。

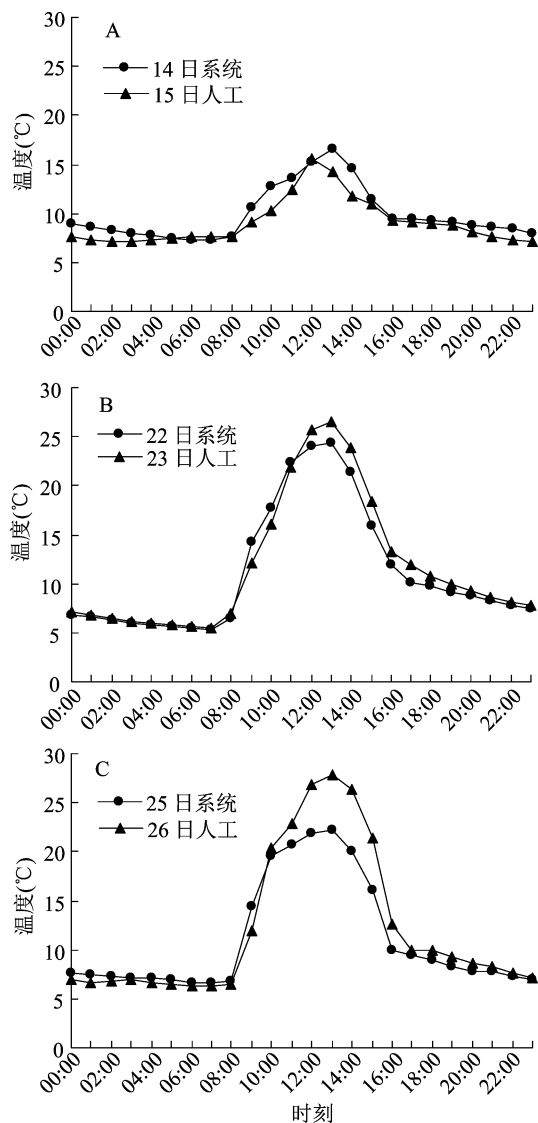


图12 控制效果对比

5 小结

本研究设计的系统采用 LoRa 和 4G-LTE 通信技术采集日光温室内温度、湿度和光照度,并通过温度模糊控制实现温室环境调控,结合限位开关有效解决了设备运行安全问题。日光温室草莓生产

环境验证试验结果表明,该系统稳定可靠,可以通过卷帘代替上卷膜对温室环境进行批量管控,节省了上卷膜的设备成本,有效提升了劳动生产率。

参考文献:

- [1]毛罕平,晋 春,陈 勇. 温室环境控制方法研究进展分析与展望[J]. 农业机械学报,2018,49(2):1-13.
- [2]McCartney L, Lefsrud M. Protected agriculture in extreme environments: a review of controlled environment agriculture in tropical, arid, polar, and urban locations[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2018, 34(2):455-473.
- [3]邢希君,宋建成,吝伶俐,等. 设施农业温室大棚智能控制技术的现状与展望[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):10-15.
- [4]高浩天,朱森林,常 歌,等. 基于农业物联网的智能温室系统架构与实现[J]. 农机化研究,2018,40(1):183-188.
- [5]单慧勇,李晨阳,张程皓,等. 有限二氧化碳资源条件下的温室光气耦合优化调控模型[J]. 江苏农业学报,2021,37(2):471-479.
- [6]李道亮,杨 昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报,2018,49(1):1-20.
- [7]Hou Y C, Li A G, Li Y E, et al. Analysis of microclimate characteristics in solar greenhouses under natural ventilation[J]. Building Simulation, 2021, 14(6):1811-1821.
- [8]Wu H R, Li Q X, Zhu H J, et al. Directional sensor placement in vegetable greenhouse for maximizing target coverage without occlusion[J]. Wireless Networks, 2020, 26(6):4677-4687.
- [9]Ferentinos K P, Katsoulas N, Tzounis A, et al. Wireless sensor networks for greenhouse climate and plant condition assessment[J]. Biosystems Engineering, 2017, 153:70-81.
- [10]史东旭,高德民,薛 卫,等. 基于物联网和大数据驱动的农业病虫害监测技术[J]. 南京农业大学学报,2019,42(5):967-974.
- [11]姚引娣,王 磊,花静云,等. 基于 B/S 架构的 LoRa 远程温室监测系统[J]. 传感器与微系统,2021,40(1):78-80,84.
- [12]宗 静,齐长红. 草莓生产精细管理十二个月[M]. 北京:中国农业出版社,2018:71-72.
- [13]李兴泽,王福平. 基于物联网的农业大棚智能管控系统[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):181-183.
- [14]王 超,孙文旭,马晓静,等. 基于模糊控制的 HVPE 生长设备温度控制系统[J]. 工程设计学报,2020,27(6):765-770.
- [15]陈 星. 基于模糊神经网络 PID 控制的花茶烘焙温控系统设计[J]. 食品与机械,2020,36(9):131-137.
- [16]杜太行,邹军军,孙曙光,等. 设施蔬菜智能灌溉控制系统的设计[J]. 节水灌溉,2020(2):92-95.
- [17]Chen Z L, Zhao C J, Wu H R, et al. A Water-saving irrigation decision-making model for greenhouse tomatoes based on genetic optimization t-s fuzzy neural network[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2019, 13(6):2925-2948.