

doi:10.11937/bfyy.20180422

基于双模糊控制器的温室智能控制系统设计

邢希君, 宋建成, 吝伶俐

(太原理工大学 煤矿电气设备与智能控制山西省重点实验室,
矿用智能电器技术国家地方联合工程实验室, 山西 太原 030024)

摘 要:该研究开发了一套基于双模糊控制器的温室多变量智能控制系统。该系统采用分布式网络结构,并以可编程逻辑控制器(PLC)作为控制核心;利用 ZigBee 无线传感技术采集温室环境参数,采用双模糊逻辑控制器对多种环境变量进行调控;基于组态王软件开发了智能信息集中监控平台,实现了数据的显示、储存和分析,并经过了示范基地的现场调试和运行。结果表明:所开发系统可对温室内多种环境变量进行准确采集,并进行自适应智能化调控,从而达到温室作物生长的环境适宜性,对今后温室作物智能化种植的研究工作具有一定的参考价值。

关键词:温室;多变量;模糊控制;ZigBee;分布式控制

中图分类号:S 24 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)18-0062-07

温室是一种集约型现代农业生产方式,是我国农业的重点研究方向。温室控制可以为作物创造最佳的生长环境,并最大限度地降低农业生产成本,从而带来了可观的经济效益、社会效益和生态效益。近几十年来,西方发达国家在温室生产上投入较多,温室设施比较完备,智能控制技术也较为先进,其中荷兰、意大利、美国等国家相关技术最为发达。20 世纪 90 年代以来,我国加大了温室环境智能控制方面的科研力度,并对国外先进技术进行借鉴和学习,温室控制系统有了较快发展,设施面积和技术水平大幅度提高^[1]。目前,国内温室控制系统存在的问题主要表现在:依赖

经验管理,农业生产智能化不足;未能综合考虑温室内多种变量的优化控制问题,大部分研究仅局限于温湿度控制;通讯方式落后,传统的有线数据采集方式造成能耗高、部署困难等;调控手段不够先进,缺乏集中监控平台和先进的管理技术^[2-3]。

针对以上问题,该研究以模糊控制技术、无线传感技术和物联网技术为核心,开发了一套实时性强、可靠性高的温室多变量智能控制系统。该系统可以实现温室内多种环境变量的集中管理和智能监控,满足温室对现代化、科学化和智能化的需求。

1 系统总体结构

此系统考虑到温室环境的特殊性,结合物联网技术的具体要求,以可编程逻辑控制器(PLC)为核心,设计了温室多变量智能控制系统,总体框架如图 1 所示。其中,PLC 接收和处理 ZigBee 无线传感器采集的环境参数,并将系统多种控制模式得出的控制指令传递给相应的执行机构,执行机构进而执行相应的动作来完成温室内空气温湿度、光照强度、二氧化碳浓度等环境因子的调节。

第一作者简介:邢希君(1991-),女,山西太原人,硕士,研究方向为设施农业温室大棚智能控制技术。E-mail:370760959@qq.com

责任作者:宋建成(1957-),男,山西运城人,博士,教授,博士生导师,研究方向为设施农业温室大棚智能控制技术。E-mail:sjc6018@163.com

基金项目:山西省科技厅重大专项资助项目(20131101029);太原市科技支撑新农村建设资助项目(120157);山西省科协调研课题资助项目(kxkt1605)。

收稿日期:2018-03-07

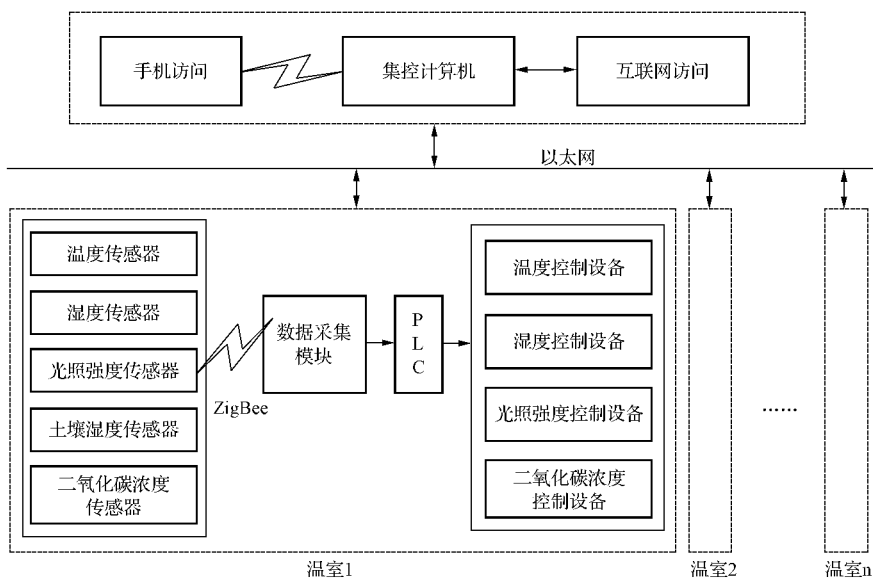


图 1 系统总体框架

Fig. 1 The architecture of overall system

系统选用一对多的上位机控制下位机的结构。上位机作为系统的中央节点,对下位机进行实时通讯和集中管理,它们之间采用以太网通信方式。下位机既可以独立工作,也可以作为上位机的分支节点联网工作。

上位机使用集控计算机,其集中监控平台采用组态王软件,智能控制部分在 Labview 软件中实现;下位机是以 PLC 为核心的现场控制器;传感器将采集到的数据通过 ZigBee 网络发送至数据采集模块,该模块将数据处理后打包成 Modbus 通信协议包并发送给 PLC;控制设备主要包括温度、湿度、光照强度控制机构和二氧化碳浓度控制机构。

2 硬件组成与设计

2.1 现场控制器

现场控制器可以实现各类模拟数字信息的处理,其核心 PLC 选用西门子 s7-200 系列中输入输出点数最多,且具有多个 RS485 通讯口的 CPU226。安装以太网通讯模块 CP243-1,以实现下位机与上位机间的通讯。西门子 PLC 具有硬件配套设施丰富,编程简单易学,灵活性大,可靠性高,稳定性强的特点,可以满足温室控制系统持续稳定运行的要求,控制效果好,对周边环境要求

较低。现场控制器配备若干按钮和指示灯,可以实现手动控制功能。现场控制器面板上装有触屏显示屏,可以直观显示实时环境参数并可以进行控制参数的设定。除此以外,PLC 还通过 RS485 接口连接了短信模块,操作者可以通过短信的方式对温室状态进行远程监控。

2.2 无线传感器

ZigBee 是基于 IEEE 802.15.4 标准的低功耗无线网络协议。相较其它无线传感方式具有易组网、低成本、低复杂性等优点,适用于温室环境下数据的传输,未来将广泛应用于农业无线领域^[4]。

温室环境变量众多且内部环境高温高湿,传统有线传感器存在布线工程量大、经济成本高、日常维护困难的弊端^[5]。为解决上述问题,此系统采用 ZigBee 无线通信技术建立无线传感网络,包含多个无线传感器和一个数据采集模块,其网络拓扑如图 2 所示。

该试验选用的无线传感器由传感器、数据处理模块和无线通讯模块组成。首先,传感器采集温室现场数据并在内部进行数据处理,处理后的数据发送给内部的无线通讯模块。多个传感器的无线通讯模块之间随之以自组网的形式形成 ZigBee 网络,进而实现短距离的信号传输。最后,采

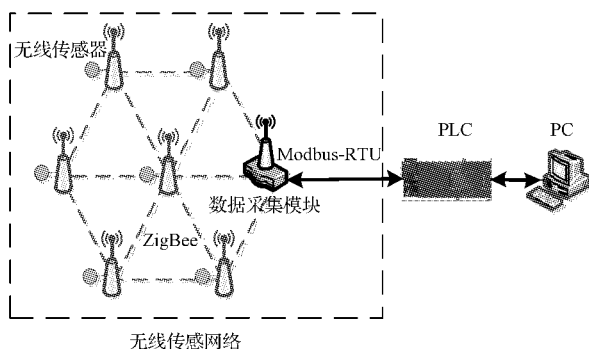


图 2 无线传感网络拓扑结构

Fig. 2 The network topology structure

集的温室现场数据通过 ZigBee 网络传送给数据采集模块。

温室中影响植物生长的环境参数很多,其中影响较大的有空气温度、相对湿度、二氧化碳浓度、光照强度和土壤环境等。为尽可能全面地采集温室内的环境因子,系统选用空气温湿度、光照强度、土壤温湿度及二氧化碳浓度传感器。传感器具体参数如表 1 所示。

表 1 传感器信息

Table 1 The sensors information

| 环境参数 Environmental parameters | 型号 Model | 量程 Range | 工作温度范围 Working temperature range/℃ | 精度 Accuracy |
|---|-------------|-------------------------------|--|----------------|
| 空气温度 Air temperature | SZ1911-2 | -30~70 ℃ | -35~75 | ±0.2 ℃ |
| 空气湿度 Air humidity | SZ1911-2 | 0%~100% RH | -35~75 | ±3% |
| 土壤湿度 Soil moisture | SZ2801 | 0%~100% RH | -30~70 | ±2% |
| 光照强度 Light intensity | SZ2160 | 0~200 klx | -30~70 | ±3% |
| 二氧化碳浓度 Carbon dioxide concentration | SZ3970 | 0~5 000 mL·m ⁻³ | -30~85 | ±2% |

2.3 数据采集模块

数据采集模块处于监测指令和监测数据的传递中心,是无线传感网络的中心枢纽,数据处理的工作量很大,因此也是耗能较多的节点。数据采集模块对采集的温室现场数据进行接收和处理,将采集到的数据经过模数转换成标准的电压信号,将 ZigBee 无线网络虚拟成 RS-485 网络,并把

通信协议转换成 Modbus-RTU 协议。然后,数据采集模块与 PLC 通过 RS485 接口完成数据传输,并最终通过以太网将数据传输给上位机。此系统的无线数据采集模块选用 SZ5090B,是集 ZigBee 无线通讯和协议转换于一体的数据采集产品,用户可使用任何串口通讯软件实现模块数据的查询和设置。

2.4 执行机构

温室各类执行机构直接调控各类环境因子,该系统装备的执行机构构成的控制单元包括风机单元、卷帘机单元、卷膜机单元、二氧化碳发生器单元、微灌单元、加湿单元、补光单元、加热器单元和湿帘水泵单元等^[6]。

3 软件设计

3.1 集中监控平台

此系统集中监控平台选用 Kingview 6.55 版组态软件,该软件能够为用户提供一个用于实际工程问题的开发平台,具有操作简单、扩展性好、开放性好、成本低等优点。根据系统要求,设计设施农业温室集中监控平台,总共可分为 6 个模块。其总体结构如图 3 所示。

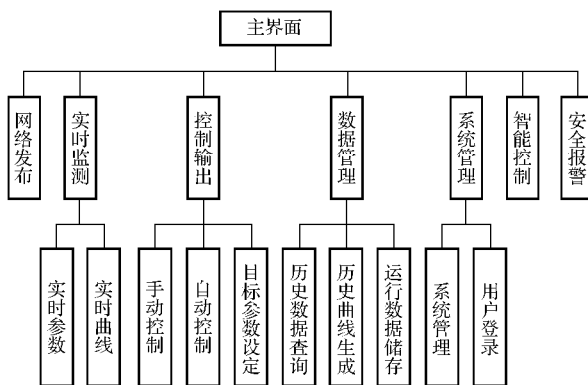


图 3 集中监控平台功能结构

Fig. 3 Block of the centralized monitoring software

其中,系统管理模块可设置多组账号及密码,并划分管理员和用户的权限等级,登陆后可进行相应操作;实时监测模块提供清晰的监测界面,以实时数值或曲线的方式显示温室内外各项环境参数,并可以直观地显示温室中设备的状态;在控制输出模块用户可以自由选择控制模式,并可以设

置阈值参数;数据管理模块提供数据的存储和查询,并可以绘制历史曲线;智能控制模块可以通过模糊控制实现温室内部多种环境变量的智能化调控;网络发布模块可以通过互联网进行实时发布,实现远程管理和控制;安全报警模块对异常的情况提供预警和报警功能。

3.2 智能控制策略

在温室内,空气温度、相对湿度、光照强度和二氧化碳浓度是对作物生长发育影响最大的环境因子。这些环境因子具有非线性、时变性和耦合性。而模糊控制可以避免建立控制对象的数学模型,并且在建立规则时可以充分利用专家知识,所以适用于多变量温室环境控制。经过对温室内 4 种环境因素变化规律的分析,选用模糊控制方法进行智能控制^[7-9]。并为简化设计,提出了一种基于双模糊逻辑控制器的智能控制方法,即根据控制变量的不同将模糊控制器分为 2 个部分,分别为模糊控制器 1 和模糊控制器 2。并依据植物的昼夜环境需求差异,设置日间模式和夜间模式。

模糊控制器选用较为简单实用的 Mamdani 推理方法。由于模糊规则的定义是模糊控制器设计的核心,综合考虑各种影响因素和设计要求,根据生产经验和专家知识制定各个模糊控制器的规则。智能控制策略在 LabVIEW 软件中实现^[10]。

3.2.1 模糊控制器 1

模糊控制器 1 是针对温室内部二氧化碳浓度的 P(比例)和 PD(比例导数)控制器。其输入 e_c 和 Δe_c 分别代表二氧化碳浓度误差和二氧化碳浓度变化率。其控制设备为燃烧式二氧化碳发生器,由于该装置原料天然气的成本较高,为减少操作的总成本,对输出采用微调控制,这种高分辨率输出是通过增加隶属函数和控制规则来实现的。二氧化碳设定值选取 $1\ 150\ \text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$, e_c 的隶属度函数选用三角形和梯形相结合的形状(图 4)。该模糊控制器的输出为设备的动作占空比,即二氧化碳发生器启动时间占系统周期时间百分比为 $0\% \sim 100\%$ 。例如,如果控制器的输出是 0.5,这意味着发生器将运行 50% 的系统周期。其输出隶属度函数如图 5 所示,分别为 C(关闭)、OL(短时间运行)、OM(中等时间运行)和 OH(长时间运行),控制规则如表 2 所示。

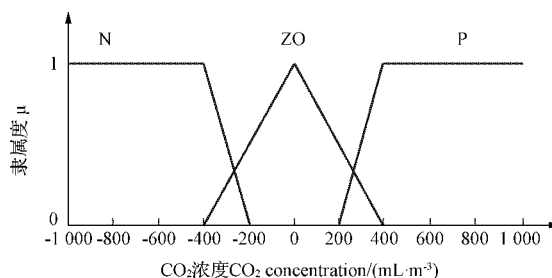


图 4 二氧化碳浓度误差的隶属度函数

Fig. 4 The membership function of CO_2 concentration error

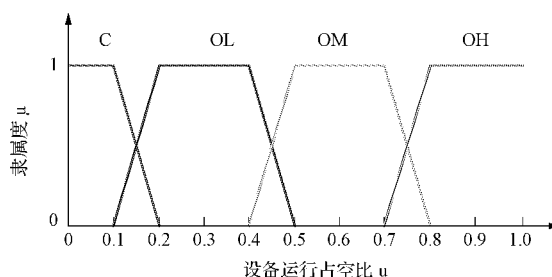


图 5 二氧化碳发生器的隶属度函数

Fig. 5 The membership function for CO_2 enrichment output

表 2 二氧化碳控制规则

Table 2 The rule base of the CO_2 regulation

| 误差变化率 Δe_c | 误差 e_c | | |
|-----------------------|----------|----|----|
| | N | ZO | P |
| N | C | C | OL |
| ZO | C | C | OM |
| P | C | OL | OH |

3.2.2 模糊控制器 2

模糊控制器 2 使用相同的方法调节室内温度、相对湿度和光照强度,其输入为室内温度误差、相对湿度误差、室内外温度误差和光照强度误差,控制原理如图 6 所示。其中, T_0 和 H_0 根据专家经验确定的温湿度预设值, T 和 H 为温室内部实测温湿度值, e_T 和 e_H 为室内温度误差和相对湿度误差, e_{in-out} 为室内外温度差, e_L 为光照强度误差。 e_T 将 e_H 和分割为 5 级模糊空间,分别为 NB(负大), NS(负小), ZO(零), PS(正小)和 PB(正大), e_{in-out} 和 e_L 分为 N(负)、ZO(零)、P(正) 3 个等级。其中, e_T 和 e_H 的隶属度函数均选择三

角形, e_{in-out} 和 e_L 的隶属度函数形状与二氧化碳浓度误差 e_c 相同。该试验定义 e_T 、 e_L 和 e_{in-out} 的论域为 $[-5, 5]$, e_H 的论域为 $[-12, 12]$ 。为了实现温室内温湿度目标值周围参数的精确调整, 提高了原点附近模糊空间的分布密度, 温度误差 e_T 的隶属度函数如图 7 所示, 湿度误差 e_H 的隶属度函数采用相同的设计方法。

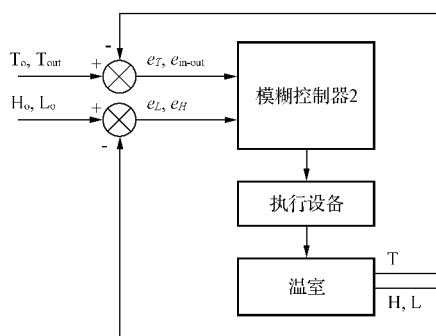


图 6 模糊控制器 2 结构

Fig. 6 The structure of fuzzy controller 2

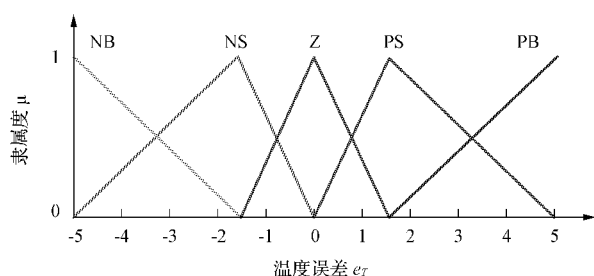


图 7 温度误差的隶属度函数

Fig. 7 The membership function of temperature error

模糊控制器 2 的输出变量选择 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7$ 和 U_8 , 分别为加热器、卷帘机、卷膜机、风机、湿帘、加湿器、遮光帘、补光灯。为了简化后续模糊推理和反模糊的过程, 输出变量的隶属度函数形状均选择脉冲函数型。 U_1 的隶属度函数如图 8 所示, 其它输出变量的隶属度函数同理。

3.2.3 夜间模式

植物接受的光照时间越长, 通过光合作用积累的产物则越多, 越有利于其生长。但是过长时间光照, 致使缺少夜间休息时间也会导致植物生长紊乱而减产。科学的做法是将每日的光照时间应当维持在一个适宜的数值, 即每日补光 8~

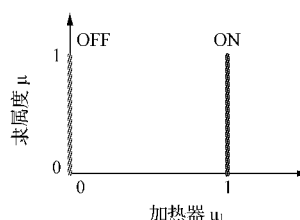


图 8 加热器的隶属度函数

Fig. 8 The membership function of the heater

10 h。在无光照的夜间休息时, 光合作用处于休眠状态, 植物利用白天光合作用积累的养分用于细胞的生成和生长, 仅需要将空气湿度维持在适宜的范围, 并将温度维持在适宜的较低设定值附近, 无需二氧化碳浓度进行控制, 故应对控制规则进行适当调整进而降低其能量消耗, 仅启动模糊控制器 2, 改变目标温湿度设定值, 并保持遮光帘和补光灯处于关闭状态, 从而实现夜间模式温室内温湿度的调控。

3.3 下位机软件设计

此系统中的 PLC 程序采用梯形图的方式在 STEP7 MicroWIN V4.0 SP9 软件中进行编写。主要实现系统初始化、数据轮询采集、数据运算处理和设备自动控制。由于温室环境控制系统在生产 and 实践中的需求, 该程序设计了滞环控制和时间控制 2 种程序, 根据控制设备的类型进行自动选择。PLC 程序设计流程图如图 9 所示。

1) 初始化过程主要完成寄存器的初始化以及参数目标值、上限值、下限值和时间参数的设定工作。

2) 数据采集过程主要通过 Modbus-RTU 协议实现数据采集模块和 PLC 之间的通信连接。PLC 首先在子程序中调用 MBUS_CTRL 完成主站的初始化, 设置校验方式、通讯波特率和相关串口参数。然后, 通过调用西门子 Modbus RTU Master 协议指令库, 依次激活多个主站读写 MBUS_MSG 子程序。PLC 采用轮询的方式逐一发送 Modbus RTU 指令, 访问每一个传感器中对应参数值的寄存器地址。轮询过程中 PLC 作为主站, 无线传感器作为从站, 而数据采集模块采用进行透传。

3) 自动控制、智能控制和远程控制均通过 PLC 对设备被进行控制^[11]。当上位机选择自动

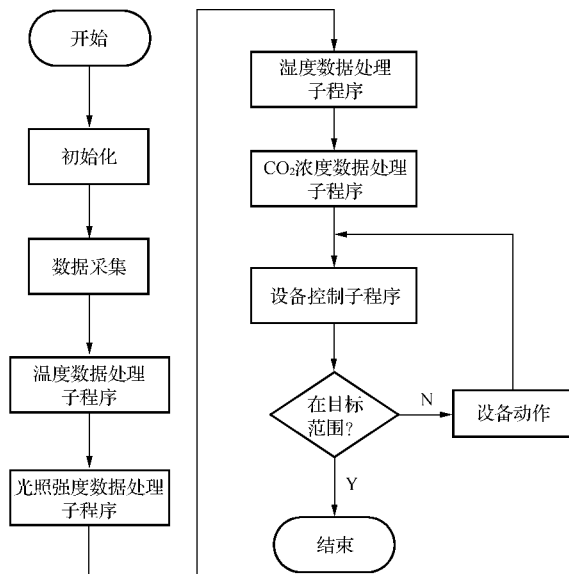


图 9 PLC 程序设计流程

Fig. 9 The flow of the PLC program

控制模式时,系统运行 PLC 中预设的自动控制程序。自动控制程序根据控制设备不同又分为滞环控制子程序和时间控制子程序。滞环控制策略,即将采集到的参数与设定的上下限值进行比较,自动控制加热器、风机、湿帘、卷膜机、加湿器、遮光帘、补光灯的启停,使环境参数保持在适宜的范围内。时间控制主要针对补光灯、二氧化碳发生器和卷帘机这 3 种执行机构,依据系统初始化过程设置的启停时间,在规定时间内自动开启,在其它时间段关闭。

4 系统应用分析

此系统已在示范种植基地的日光温室中投入运行,温室现场控制器现场运行状态如图 10 所示,温室内温湿度和二氧化碳浓度的智能控制结果如图 11 所示。使用该试验设计的智能控制方法,空气温度的偏差小于 0.5°C ,空气湿度偏差小于 $3\%\text{RH}$,二氧化碳在目标值附近相对波动小于 2.5% ,且控制光照强度的设备可以准确运行。

试验结果分析可得,温室内多种环境参数采集准确,无线网络稳定可靠,监控平台简单易操作,智能控制变量多、误差小、精度高,可以在短时间内达到目标值,满足温室内作物的生长环境需求。该多变量智能控制系统在温室的科学管理、

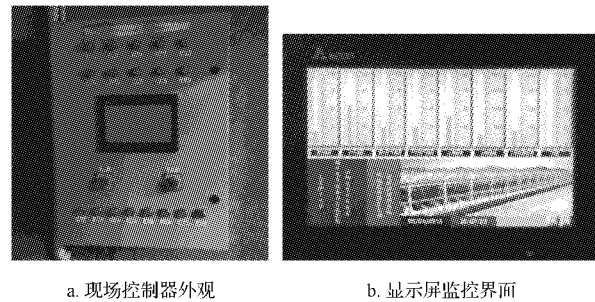


图 10 设备安装现场

Fig. 10 The running state of field controller

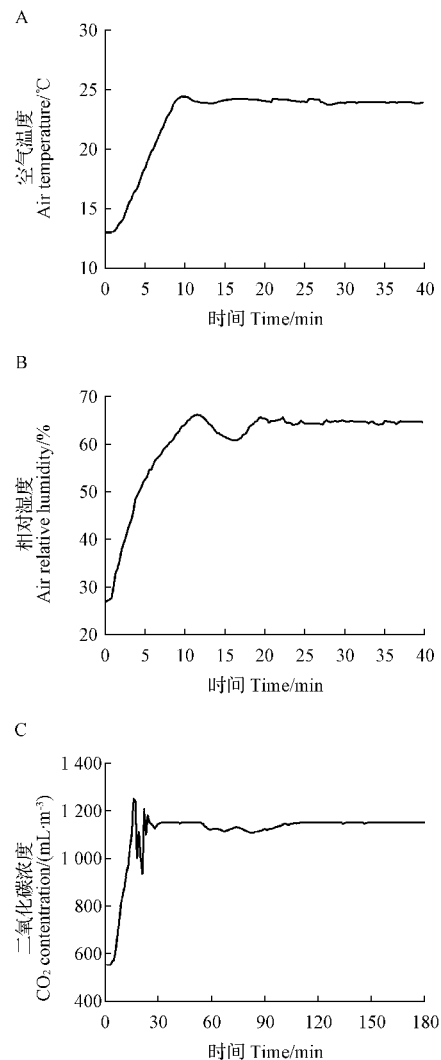


图 11 模糊控制曲线

Fig. 11 The curve of temperature and humidity fuzzy control

能源节约上取得了满意的效果。

5 结论

该试验以日光温室为研究对象,设计并实现了一种基于模糊控制的设施农业温室智能控制系统。得到以下结论:

1)提出了以 ZigBee 无线传感器对现场环境因子进行采集,无需现场布线,安装方便,减少成本,数据传输安全可靠。解决了温室中因传感器数据线数量过多、易老化腐蚀、后期维护困难的问题,实现了多种环境信息的无线采集。

2)设计了一种基于双模糊逻辑控制器的智能控制方法,并加入了分段控制的思想,实现了温室室内空气温度、相对湿度、光照强度和二氧化碳浓度的全天候自适应最优智能控制,从而达到使作物生长发育的最优环境。

3)开发了温室环境集中监控软件,实现监控中心对温室环境的统一配置和统一管理,提高了日光温室的管理水平和运行效率。

参考文献

[1] 董芳敏. 农业物联网技术及应用[M]. 北京:中国农业出版

社,2012.

[2] 王君,于海业,张蕾. 温室环境控制系统的发展[J]. 中国农学通报,2010,26(12):371-375.

[3] 何南思. 温室大棚环境参数控制[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2014.

[4] 胡衡,梁岚珍. 基于 ZigBee 和 ARM 的温室大棚多点温度采集系统的设计[J]. 江苏农业科学,2014(7):416-419.

[5] HUANG Y K, PANG A C, LIU P F. Distributed throughput optimization for ZigBee cluster-tree networks[J]. Parallel and Distributed Systems, 2011, 123(3):513-520.

[6] 王君. 基于模糊控制策略的温室远程智能控制系统的研究[D]. 长春:吉林大学,2015.

[7] MARHAENANTO B, SONI P. Development of an internet-based greenhouse control system[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2013, 22(2):72-83.

[8] NACHIDI M, BENZAOUIA A, TADEO F. Temperature and humidity control in greenhouses using the Takagi-Sugeno fuzzy model[C]//Computer aided control system design, 2006 IEEE international conference on control applications, 2006(20):2150-2154.

[9] 罗兵,甘俊英,张建民. 智能控制技术[M]. 北京:清华大学出版社,2011.

[10] 郇成. 智能温室控制算法的研究与应用[D]. 南京:南京邮电大学,2013.

[11] 韩毅,许春雨,宋建成,等. 基于物联网的日光温室智能监控系统设计与实现[J]. 北方园艺,2016(9):207-210.

Design of Intelligent Control System in Greenhouse Based on Double Fuzzy Controller

XING Xijun, SONG Jiancheng, LIN Lingyan

(Shanxi Key Laboratory of Mining Electrical Equipment and Intelligent Control, Taiyuan University of Technology/
National & Provincial Joint Engineering Laboratory of Mining Intelligent Electrical Apparatus Technology, Taiyuan,
Shanxi 030024)

Abstract: In the view of the problems existing in greenhouse control systems in China, such as few control variables, low degree of intelligence and backward communication mode, etc, an intelligent control system in greenhouse based on double fuzzy controller was designed. Distributed network structure is adopted in the system, and the PLC is used to control the system. The acquisition of environmental parameters used ZigBee wireless sensor technology. The intelligent control algorithm selected double fuzzy control method to control the temperature, humidity, light intensity and carbon dioxide concentration. The intelligent information centralized monitoring platform was designed by the development platform of Kingview, which could realize the display, storage and analysis of date. After the field debugging and operation in the demonstration base. The results showed that, the system could accurately collect various environmental variables in the greenhouse, and realize adaptive intelligent control, so as to achieve the suitable environment for greenhouse crop growth. It had a certain reference value for the research work of intelligent planting of greenhouse crops in the future.

Keywords: greenhouse; multiple variables; fuzzy control; ZigBee; distributed control