

基于模糊控制的温室加热器的研究

朱伟兴¹, 毛罕平², 李萍萍², 李新城², 马长华¹

(1. 江苏大学电气信息学院; 2. 江苏大学机械工程学院)

摘 要: 该文分析了现有温室加热设备的不足, 提出了将模糊控制原理应用于温室加热设备的新方法, 并成功地研制了一种工作效率高、使用方便, 基于模糊控制的温室加热器。试验结果表明, 该温室加热器性能稳定可靠, 自适应能力强, 节能效果显著, 具有较好的推广价值。

关键词: 温室; 加热器; 模糊控制; 节能

中图分类号: 625.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0320072204

冬季加温是温室运行费用的重要组成部分, 加温的方法有锅炉加温、燃油加热器加温、电热加温、太阳能加温等。对面积较大的温室来说, 锅炉和燃油加热器是使用较为广泛的设备。就燃油加热器而言, 控制方式几乎都是开关量控制。我校购置的燃油加热器, 其控制原理就是最简单的开关控制, 即加热到设定值的上限时就停机, 当温度降到设定值的下限时就开机, 而且供热量只有一种规格(出厂时设定好, 如用户使用不合适时, 可通知厂方来调整), 这样, 既使用不便又会造成能源浪费。为此, 作者采用了模仿人的思维的模糊控制策略, 即当需要加温的温差较大时, 就用较大的供热量来升温 and 保温, 当加温温差较小时, 就提供较小的供热量。这样, 既能控温又能节省燃油, 降低运行成本。

1 控制系统硬件结构

本系统采用性能价格比较高的 8031 单片机为核心器件, 外加输入输出接口电路、存储器扩展电路、键盘和显示器、AD590 电流型集成温度传感器、步进电机及其驱动电路和变频器。结构框图如图 1 所示。加热器的供热量的控制是通过步进电机调节它的供油阀门的开度来实现的。变频器根据供热量的大小通过调节加热器的排风电机的电源频率来控制适当的排风量。这样既可使加热器运行合理, 又可以节省较多的电能。另外, 本系统设计了一个 RS485 串行通信接口, 可与上位机进行通信, 作为集散控制系统的一个智能控制设备。看门狗电路为系统提供保护作用。当系统受到不可预测的故障, 导致程序

执行发生混乱, 即通常所说的“飞程序”时, 看门狗电路可使系统复位, 重新开始执行正常的程序, 使系统恢复正常工作。8279 是一种通用的可编程键盘/显示器接口器件, 可对键盘进行自动扫描, 接受键盘上的输入信息, 存入内部的 FIFO 缓冲器。在本系统中, 8279 的中断信号经过反相后作为 8031 INT1 的外中断源。在有键输入时向 CPU 请求中断, 执行键盘中断服务程序。

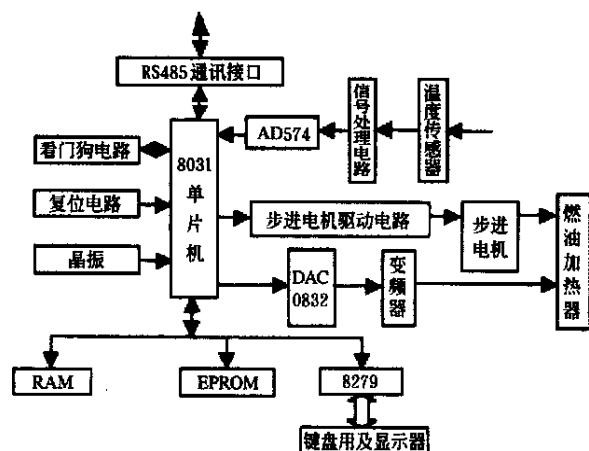


图 1 基于模糊控制的燃油加热器控制系统框图

Fig 1 The control system figure of fuel heater based on fuzzy control

2 软件设计

系统软件主要包括: 主程序、键盘中断服务程序和数据采集及控制程序等, 现分别介绍如下。

1) 主程序

主程序首先完成单片机系统的初始化工作。当按下运行键后, 在系统时钟的节拍控制下, 定时数据采集和保存, 然后根据采集到的数据实现模糊控制, 其中数据采集和模糊控制通过相应的子程序来实现。主程序框图如图 2 所示。

收稿日期: 2001209206 修订日期: 2002202204

基金项目: 江苏省“九五”重大攻关项目(BG9850221); 国家自然科学基金项目(39870153)

作者简介: 朱伟兴, 博士, 教授, 镇江市 江苏大学电气信息学院, 212013

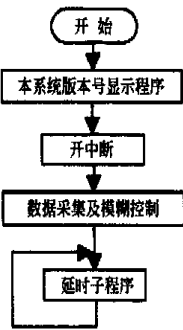


图 2 主程序流程图

Fig 2 Flow chart of the main program

2) 键盘中断服务程序

当有人按键时, 系统将产生中断, 进入中断服务程序。键盘中断程序框图如图 3 所示。图中, 键功能程序包括参数设定、参数显示、控制模式选择、开始运行、停止运行等, 因篇幅所限, 本文不再详述。

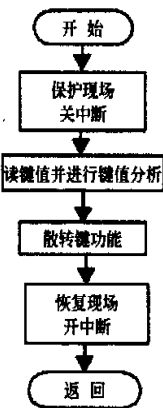


图 3 键盘中断程序流程图

Fig 3 Flow chart of keyboard interruption

3) 数据采集及模糊控制子程序

模糊控制是在模糊逻辑的基础上, 从人类智能活动的角度去考虑实施控制, 即根据大、中、小等模糊语言的描述给出评价与判断, 建立更加符合人们认识和思维的推理评价系统, 从而实现比传统控制更加有效的控制。具体方法为: (1) 确定模糊控制器的输入变量分别为温度的偏差 e 及其变化 e_c , 输出变量为控制加热器油门开度及其排风机转速的控制量 u ; (2) 将上述精确的输入量采用模糊集合理论转化为相应的模糊量; (3) 通过对温室加温控制的专家和操作人员的知识和经验的归纳, 总结出相应的模糊控制规则, 例如, 若温度偏高且温度继续加快上升, 则关小供油阀门。对应的模糊条件语句可表示为: if $E = PM$ and $EC = PM$ then $U = NM$, (E 、 EC 为输入语言变量, U 为输出语言变量, PM 、 NM 分别为语言值正中、负中), 则模糊关系式可表示为: $R = (E \times EC) \cdot (EC \times U)$ 。根据上述类似的分析, 可

以总结出模糊控制规则; (4) 根据模糊输入变量及模糊控制规则计算模糊输出变量; (5) 采用加权平均法将模糊输出变量的反模糊为精确的输出控制量, 从而实施模糊控制。本研究中, 为了减少在线计算量, 通过离线优化设计, 形成由输入量和与之对应的控制量为内容的模糊控制表, 这样在实际控制时, 模糊控制器首先把输入量量化到输入量的语言变量论域中, 再根据量化的结果去查模糊控制表, 求出相应的控制量来实施控制。这样可大大提高模糊控制的实时效果。根据以上思路, 编制了相应的程序。框图如图 4 所示。图中的 x_e 和 x_{ec} 分别为偏差 e 和偏差变化 e_c 的基本论域最大值, 而基本论域就是变量的实际变化范围, 设置 x_e 和 x_{ec} 的目的在于当系统因干扰等因素使 e 和 e_c 超出基本论域范围时可作为相应论域的最大值处理。模糊控制表采用基于遗传算法优化设计模糊控制器的方法来获得。该方法可根据被控对象的大致特征参数 (如温室的几何尺寸) 来估计其粗略模型, 根据此模型就可设计出性能较好的模糊控制器, 有关此方法的细节详见参考文献 [3]。值得注意的是, 比例因子 k_u 的选取是重要的, 它相当于系统的放大倍数, 它的取值与执行机构的灵敏度等因素有关, 执行机构的灵敏度高, k_u 可选小一些;

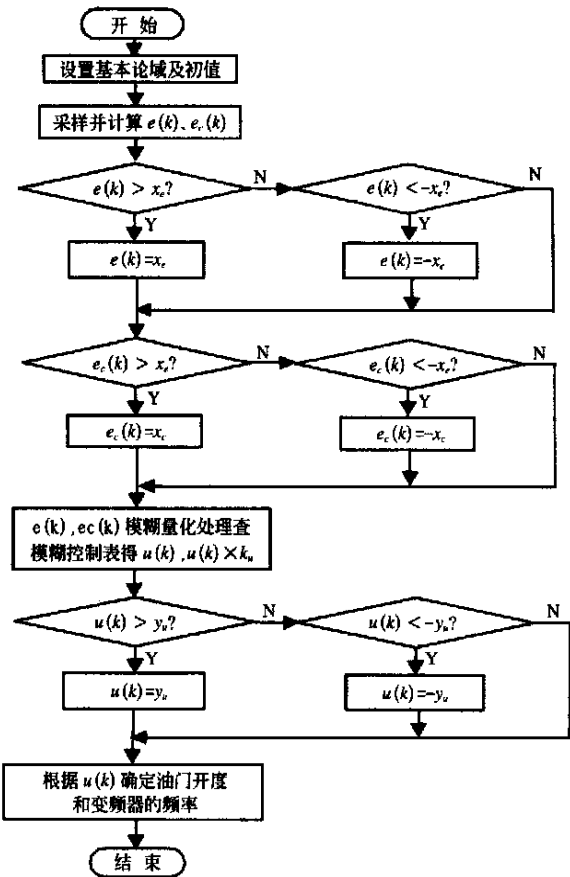


图 4 燃油加热器温度模糊控制框图

Fig 4 Flow chart of temperature fuzzy control of heater

执行机构的灵敏度低, k_u 可选大一些。因为 k_u 增大, 相当于系统总的放大倍数增大, 系统响应速度加快; k_u 过大, 会导致系统输出上升速率过大, 从而产生过大超调乃至震荡和发散; k_u 过小, 系统的前向增益很小, 系统输出上升速率较小, 快速性变差, 稳态精度变差。为了使该智能加热器能适用多个被控对象, 根据实际需要, 将多种模糊控制模式存入存储器中, 用户可根据温室的具体条件, 通过键盘选择合适的控制模式, 从而获得更好的控制效果。

3 试验结果及分析

笔者在本校的四连栋锯齿形塑料温室内进行加温控制试验, 该温室面积 520 m^2 , 高 5.2 m , 天沟高度 3.0 m 。为了进行比较, 分固定档次油门的开关量控制和模糊控制两种情况进行试验研究。

1) 固定档次油门的温度控制

将油门分成 8 个档次, 即从大到小依次分为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 档, 进行加温试验, 试验时, 室外环境温度为 4°C , 设定温度为 10°C 。上限为 11°C , 下限为 9°C 。考虑到温室的具体情况, 温室加温的快速性和过渡过程并非是最关心的主要问题, 而主要问题是稳态时的耗油量和耗电量。从试验数据可知, 当把油门调整在第 1~6 档时, 6°C 的温差加温都能实现, 为了节省篇幅, 仅给出 4 档时的加温试验曲线, 如图 5 所示。油门越大的档次, 加温速度越快, 单位时间内耗油量越大, 但加到设定温度所需的时间越短, 而耗电量就越小(因风机电机只在加温时工作)。油门调到 7 档时, 温度最高只能从 4°C 加到 9.3°C 。即这一档次提供的热量在 9.3°C 时到达热量动态平衡。8 档时, 因油门更小, 最高温度只能达到 8.1°C 。按柴油价格每公升 3.0 元, 电费为每度 0.5 元计, 8 个档次的单位小时内所消耗的柴油量、电量及总的加热费用在对应的表 1 中列出。

表 1 各固定档次的油耗、电耗及费用

Table 1 The oil and power consumption and the charge of each fixed grade

档 次	1	2	3	4	5	6	7	8
油耗 $\alpha \cdot \text{h}^{-1}$	5.62	5.32	5.07	4.67	4.50	4.47	3.96	3.82
电耗 $\beta/\text{kW} \cdot \text{h}$	0.57	0.59	0.60	0.64	0.71	0.75	0.90	0.90
费用 $\delta/\text{元} \cdot \text{h}^{-1}$	16.86	16.26	15.51	14.33	13.86	13.79	12.33	11.91

2) 温度模糊控制

将基于模糊控制的燃油加热器对上述温室进行加温试验。加温曲线如图 6 所示。图 6 中, 环境温度为 4°C , 温度设定值为 10°C (与图 5 中一样)。采用模糊控制后, 上升时间短, 超调量小, 稳态误差小, 仅为 0.2°C , 当进入稳态后, 每小时耗油为 4.15 L 。耗电

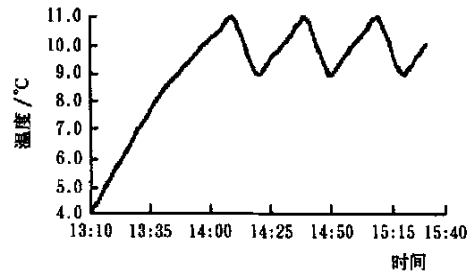


图 5 固定档次加温曲线

Fig 5 Heating curve of fixed grade

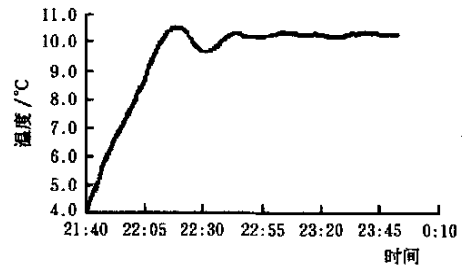
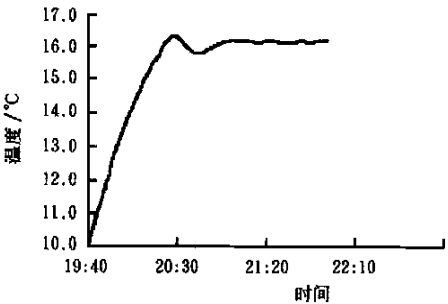
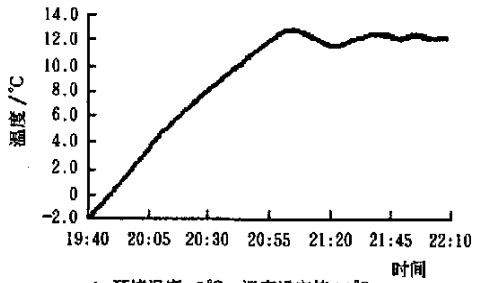


图 6 模糊控制加温曲线

Fig 6 Heating curve of fuzzy control



a. 环境温度 10°C , 温度设定值 16°C



b. 环境温度 -2°C , 温度设定值 14°C

图 7 温度模糊控制曲线

Fig 7 Curve of temperature fuzzy control

$0.45\text{ kW} \cdot \text{h}$, 比开关量控制的最小档(第 6 档)节省费用 $1.11\text{ 元}\cdot\text{h}$, 节省费用达 8% 。模糊控制之所以能改善系统的性能是因为模糊控制器能根据测得的被控量, 计算出偏差和偏差变化, 据此确定大小合适的控制量来尽快减小偏差, 最后在设定值附近选择最合适的输出控制量来实现控制。另

外, 由于当系统进入稳态后, 它能稳定在设定值上或设定值附近的某一小范围内(稳态误差很小), 并且, 最大限度地避免频繁开关状态。也就是说控制器给出了合适的控制量, 使加热器提供的热量基本上等于温室散发的热量, 即在设定值上或附近达到了热量的动态平衡, 因此具有较好的节能效果。图7为不同环境温度, 不同加温温差时的控制曲线。图7a中, 环境温度10, 温度设定值为16, 加温温差为6, 图7b中, 环境温度为-2, 温度设定值为14, 加温温差为16。试验表明, 在不同的环境温度和不同的加温温差的情况下, 模糊控制器都能实现较好的控制, 说明模糊控制器有较好的适应性。

4 结 论

1) 在相同加温温差条件下, 模糊控制节能效果显著, 一般为11.5%。

2) 不同的环境温度, 不同的加温温差, 模糊控制都能获得较好的控制效果, 说明模糊控制器的自适应能力强。

3) 模糊控制时稳态误差小, 室内温度变化小, 一般情况下, 稳态误差不超过0.3, 对作物生长有利。

本文对冬季温室加温过程与加温控制策略进行了研究, 将采用优化设计的模糊控制器用来控制燃油加热器的运行, 做到既考虑可控性, 又注意经济性。达到了温室运行高效率、低成本的目的。这种采用模糊控制的燃油加热器既是一台独立的智能型加温设备, 又可作为集散控制系统的一个智能前端设备。它功能强, 效率高, 适用面广, 值得进一步推广。

[参 考 文 献]

- [1] 何立民 单片机应用系统设计[M] 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990
- [2] 朱伟兴, 马长华, 毛罕平 比例因子对模糊控制器鲁棒性的影响[J] 江苏理工大学学报 2001, 22(2): 75~78
- [3] 朱伟兴, 毛罕平, 马长华 基于遗传算法的模糊控制器的优化设计软件研制[J] 计算机工程与应用 2001, 37(20): 148~150

Research on Greenhouse Heater Using Fuzzy Control

Zhu Weixing¹, Mao Hanping², Li Pingping², Li Xincheng², Ma Changhua¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China;

2. College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: The purpose of this paper is to develop a kind of efficient, convenient and reliable intelligent greenhouse heater. The disadvantages of present heaters used in greenhouses are analyzed. The new method of applying fuzzy control principle to greenhouse heaters is proposed, and the greenhouse heater base on fuzzy control is successfully developed. The test results show that the performance of the heater is stable and liable, its adaptability and effect of power saving are good. It is valuable to popularize this kind of heater.

Key words: greenhouse; heater; fuzzy control; energy saving