

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0009.020

基于模糊 PID 中药材干燥温度控制系统设计及仿真*

赵昌友

(亳州职业技术学院 电子系,安徽 亳州 236800)

摘要:中药材的干燥不同于其他物料,温度的稳定控制是保证药材的性味与有效成分的关键因素;此处提出的控制系统综合 PID 控制与模糊控制的优点,提高了控制系统稳定性和调节的平稳性;系统仿真结果表明,温度系统抗干扰性和鲁棒性强,超调量小。

关键词:模糊 PID 控制;温度;仿真;模块

中图分类号:TP273

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2015)09-0081-06

干燥是中药材加工与生产中不可缺少的环节,中药的有效成分不少具有热敏性,过高的温度直接影响药材的外形、色泽、气味、制品的酶等物性变化。在干燥过程中,时间与温度是温度控制中的重要参量,控制恰当的量值大小与有效成份损失和劣质程度有密切关联。因此干燥设备类型的选择与控制条件的设定对中药生产加工尤其重要。干燥温度控制系统是一个较为复杂的控制系统,干燥过程中温度与设定值有过分大变动,会造成药物的有效成分流失,药性降低。中药材现代干燥控制技术正朝着机械化和自动化方向迈进。在热风干燥设备中,引入新的控制技术,调节不同药材的控制温度范围,不仅提升了干燥速度,而且保持传统干燥中所具有的四气五味的药性^[1]。

1 PID 模糊控制

传统控制系统主要由 3 部分组成:控制器、被控制对象和反馈传感器通道。PID 控制是具有比例、积分和微分控制规律的控制,是工业生产过程中常用的控制系统,能及时反映出偏差信号,快速产生控制作用,且能消除系统误差,使控制系统的过渡过程平稳,减少振荡与波动,改善系统的动态响应速度,从而即时保持其稳定性。

控制对象的复杂化、滞后性、耦合性和非线性增加,促使建立系统的清晰数学模型变得更加困难,传统精确控制实现的可能性减小^[2]。模糊控制是集模糊集合理论与模糊逻辑推理与经典控制理论相结合,模拟人的思维方式进行智能控制的一种方法。模糊规则和模糊逻辑推理是主要组成部分,它是进行模糊控制的基础。模糊控制是基于模糊逻辑的描述一个过程的控制算法,不需要被控制对象的精确模型,仅依赖于专家和现场操作人员的经验和自觉判断,更加方便、快捷应用。

模糊控制器以误差 e 及误差的变化率 e_c 作为输入,利用模糊控制规则对 PID 参数进行在线修改,以满足不同的 e 和 e_c 对参数的整定,参数自整定的模糊控制系统结构如图 1 所示^[3]。

收稿日期:2015-03-15;修回日期:2015-04-28.

* 基金项目:安徽省自然科学基金项目(KJ2014A170).

作者简介:赵昌友(1975-),男,安徽庐江人,讲师,硕士,从事控制系统设计研究.

模糊 PID 控制器被设定为一个二维输入三维输出的系统,输入中有温度偏差 e , 和偏差变化率 e_c , 输出的为 PID 的 3 个调节量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$.PID 控制器将经调整后的 PID 参数对被控制对象实行实时控制,其中有

$$K_p = K_{p0} + \Delta K_p; K_i = K_{i0} + \Delta K_i; K_d = K_{d0} + \Delta K_d$$

其中参量 K_{p0}, K_{i0}, K_{d0} 是根据 ITSE 准则整定 PID 的初始参数.根据实践经验,把温度偏差的基本论域设定为 $[-5, 5]$, 温差变化率 e_c 基本论域为 $[-1, 1]$, ΔK_p 基本论域为 $[-0.005, 0.005]$, ΔK_i 基本论域设定为 $[-0.005, 0.005]$, ΔK_d 基本论域设定为 $[-0.16, 0.16]$, $e, e_c, \Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的模糊集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$, 模糊论域均取 $[-3, 3]$, 选择各变量的隶属函数均为三角函数(图 2), 这样可提高系统的鲁棒性和灵敏度,增强系统的稳定性.

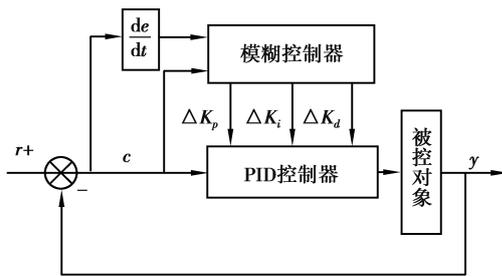


图 1 模糊 PID 控制器结构

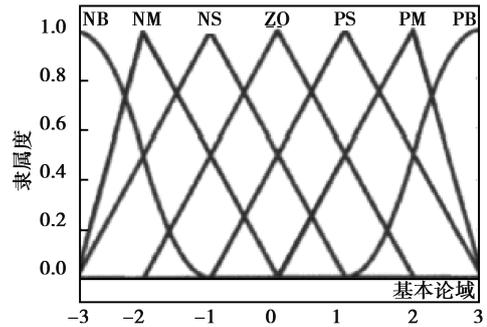


图 2 模糊论域隶属函数

- 1) 当 $|e|$ 较大时, K_p 设定也比较大, K_d 设定较小, K_i 可设为 0;
- 2) 当 $e * e_c > 0$, 误差绝对值偏大, 此时若 $|e|$ 比较大, K_p 设定比较大, K_i 设定较小, K_d 可设为中等大; 假如 $|e|$ 比较小, K_p 设定中等大, K_i 设定较大, K_d 可设为较小, 这样提高控制系统的动态特性和稳定性;
- 3) 当 $e * e_c < 0$, 误差绝对值偏小, 此时若 $|e|$ 比较大, K_p 设定中等大, K_i 设定较小, K_d 设为中等大; 假如 $|e|$ 比较小, K_p 设定较小, K_i 设定较大, K_d 可设为较小.

根据实践总结, 确定根据 e 和 e_c 不同参数的模糊控制规则如表 1 所示.

表 1 模糊控制规则

| | NB(负大) | NM(负中) | NS(负小) | ZO(零) | PS(正小) | PM(正中) | PB(正大) |
|----|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | $\Delta K_p \Delta K_i \Delta K_d$ |
| NB | PB/NB/PS | PB/NB/NS | PM/NM/NB | PM/NM/NB | PS/NS/NB | ZO/ZO/NM | ZO/ZO/PS |
| NM | PB/NB/PS | PB/NB/NS | PM/NM/NB | PS/NS/NM | PS/NS/NM | ZO/ZO/NS | NS/ZO/ZO |
| NS | PM/NB/ZO | PM/NM/NS | PM/NS/NM | PS/NS/NM | ZO/ZO/NS | NS/PS/NS | NS/PS/ZO |
| ZO | PM/NM/ZO | PM/NM/NS | PS/NS/NS | ZO/ZO/NS | NS/PS/NS | NS/PM/NS | NM/PM/ZO |
| PS | PS/NM/ZO | PS/NS/ZO | ZO/ZO/ZO | NS/PS/ZO | NS/PS/ZO | NM/PM/ZO | NM/PB/ZO |
| PM | PS/ZO/PB | ZO/ZO/PM | NS/PS/PS | NM/PS/PS | NM/PM/PS | NM/PB/PS | NB/PB/PB |
| PB | ZO/ZO/PB | ZO/ZO/PM | NM/PS/PM | NM/PM/PM | NM/PM/PS | NB/PB/PS | NB/PB/PB |

2 热风干燥设备控制系统设计

2.1 控制系统硬件构成设计

热风干燥控制系统的总体设计如图3所示,微处理器采用MC9S08JM60,其内核频率为48 MHz,具有高达60 kB可编程序内FLASH和4 KB的RAM,内置USB2.0控制器、模数转换器ADC、串行外设接口SPI、串行通信接口SCI等多种外设,更加方便对控制系统进行设计^[4]。

测温模块采用DS18B20温度传感器,该元器件支持“一线总线”接口,当测量周围温度在 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,精准度可高达 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。现场温度直接以“一线总线”的数字方式传输,大大提高了系统的抗干扰性,并且配置的电源电压范围较宽,3.0~5.5 V电源都能满足需求,如果在寄生电源方式下也可由数据线进行供电。

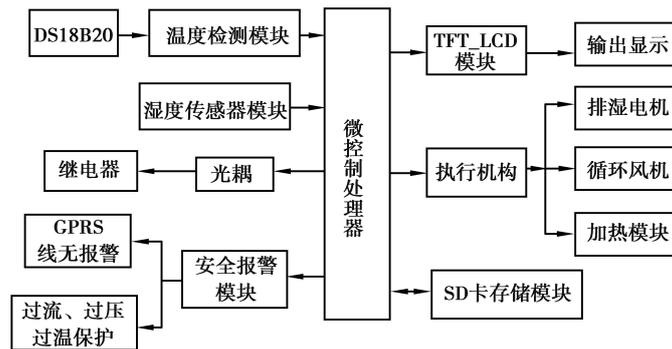


图3 控制系统模块框图

将JCJ200C1型高湿度传感器安装在箱内的排气阀门端口处,当箱内气体的湿度接近饱和时,即时反馈此信息给单片机,做相关数据处理后发出相应的指令,打开排气阀,同时排气风机进行运转,排出湿度较高的箱内空气;当内部气体的湿度降到预定值以下时,排气阀关闭,箱内的循环流动热空气继续对物料进行干燥。

安全报警模块为机械设备的运行提供保护功能,当电网中电压升高或稳压电路出现问题时,提供保护功能。过流保护能防止线路干扰出现不正常电流烧坏电路板或电器设备中的元件。在过流保护电路中,用PTC热敏电阻对电路异常电流与温度作保护,当通过热敏电阻中电流小于额定电流时,热敏电阻处于正常状态,不干扰电路工作;当电流超过额定电流值较大时,热敏电阻增加较多,致使电路相当于断开状态,从而达到保护电路的目的。故障排除后,其阻值又恢复到先前值,保护电路正常工作。报警装置采用无线GPS传输方式发送预定短信给用户手机提示,并可查询机械设备工作状态,通过相关参数显示出来。光电耦合电路在电路之间信号传输时,前端与输出端完全隔离,减小了不同电路之间干扰,增加了线路安全性,如图4所示。系统采用控制阀来控制排气的动作,通过TLP521减小外界信号干扰^[5]。

2.2 控制系统流程

温度控制系统采用回路控制串级系统,能够达到较好调控效果。烘箱内采集温度量,转换成电信号,经收集整理处理由硬件进行控制,当温度传感器检测到的实际温度低于原先设定的值时,单片机发出相应指令,通过增大阀门开量增大热风流量来提高箱内的温度,以达设定值;如果温度超过原设定值时,则相应调小进入箱内的热空气流量,达到降低温度目的;如果温度过分高,降低不明显,则系统采取紧急措施停止供热,由继电器断电,以保障材料的性能和设备的安全。

电路应用串级控制系统达到对温度和湿度的控制与调节。串级控制系统采用双回路调节方式,使定值控

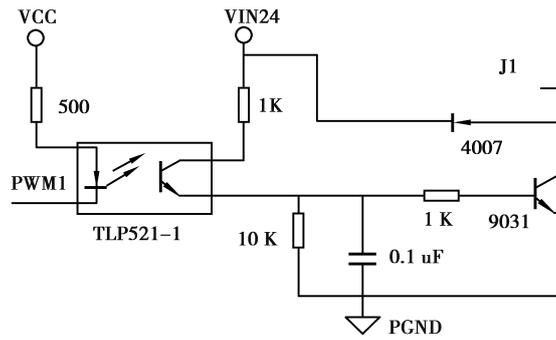


图 4 光耦隔离电路

制更加稳定,即时减小系统的动态偏差,趋向于先前设置的稳定值.主调节器与副调节器互相作用,协同工作,保障控制系统稳量的恒定性,串级控制系统实质上为定值控制系统,系统框图如图 5 所示^[6].

系统程序要对温度和湿度进行数据采集和分析,做出判别后执行设定好的执行方案,保障整个干燥过程按照预定流程走,直至达到理想的效果,主流程图如图 6 所示.

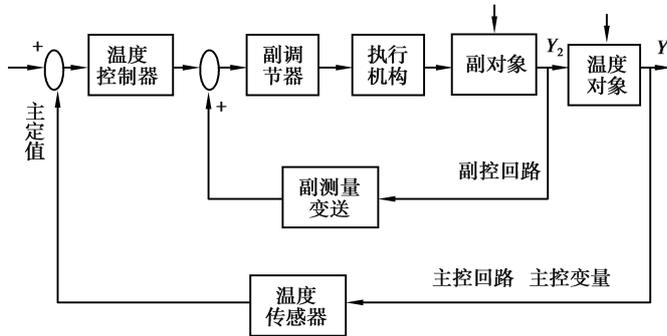


图 5 串级控制系统框图

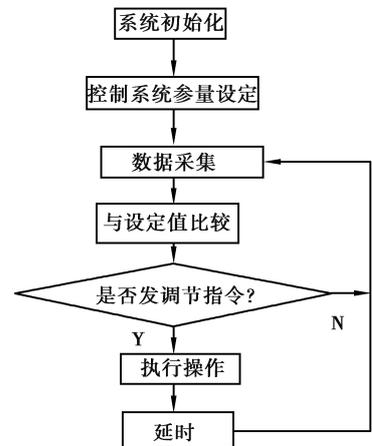


图 6 主流程图

子程序流程包括当机械设备出现故障,加热系统持续工作时,烘箱内温度会超过设定值,报警系统会自动报警并相应发出故障信息,通过预警机制及时通知相关人员进行人为操作调节,直到恢复正常的工作状态.

3 模糊推理系统的设计

模糊控制系统和经典控制系统、PID 控制系统间主要是控制器不同,其他相似, MATLAB 中设有专门模糊逻辑工具箱.模糊推理系统编辑器是与系统的框架、结构等大局总体设计相关的编辑器,可以增减系统输入、输出变量的个数,并且可对范围进行设置,调整模糊系统的维数.参量选择中有两个推理系统, Mamdani \ Sugeno,在 MATLAB 的命令窗口输入 fuzzy,按 enter 后,屏幕会出现“FISEditor”模糊推理系统编辑器界面.设置推理类型,编辑 FIS 的维数,编辑输入、输出量的名称,选择推理类型中模糊逻辑的具体算法,如图 7 所示.

FIS 编辑界面上有双输入和一个输出,选定变量对其取值范围和显示范围进行设定,根据实践经验,把温度偏差的基本论域设定为 $[-5,5]$,温差变化率 e_c 基本论域为 $[-1,1]$.

在 Rule 编辑器中设定规则,如果测量温度与设定值正好,则气流量不增加;如果温度偏低,则增加气流量;如果测量温度偏高,则减小气流量;如果温度正好,而气流量大,则减小阀门开度,如果温度正好,而气流

量小,则增大阀门开度,增加气流量.根据这几条操作规律,在编辑器中把模糊规则加入其中,如图 8 所示^[7].

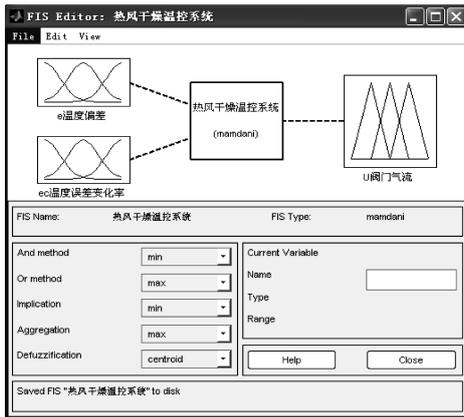


图 7 双输入-单输出模糊推理编辑器



图 8 模糊规则编辑器界面

利用输出量曲面观测窗口,看曲面是否光滑,有利于对模糊控器进行设计改进,研究每一个输入量对输出的影响,确定合适的取值范围和逻辑算法。

4 建立仿真模型

打开 MATLAB 7.0 软件,单击工具栏中的 Simulink 图标按钮,运行后出现 Simulink Library Browser 窗口,从左侧子目录“Fuzzy Logic Toolbox”中把模糊逻辑控制器“Fuzzy Logic Controller”拖放到仿真模型窗口,把设计的 FIS 结构性文件嵌入到模糊控制器中,从 Sinks 模块库找示波器,在数学运算(Math operation)查获微分、积分、函数传递模块,从其模块库中找到相应的模块拖到仿真窗口中,建立仿真模型(图 9),温度控制系统的模型传递函数为

$$G(s) = \frac{10}{150s + 0.65}$$

设定控制温度为 50 ℃,对不同的中药材要设定不同合适值,仿真时间定为 3 000 s,仿真得到如图 10 所示阶跃响应,从结果上可得,模糊 PID 控制能够有效抑制超调,调节所需的时间更短,具有更好的抗干扰能力,温度控制更稳定,适应的范围更广。

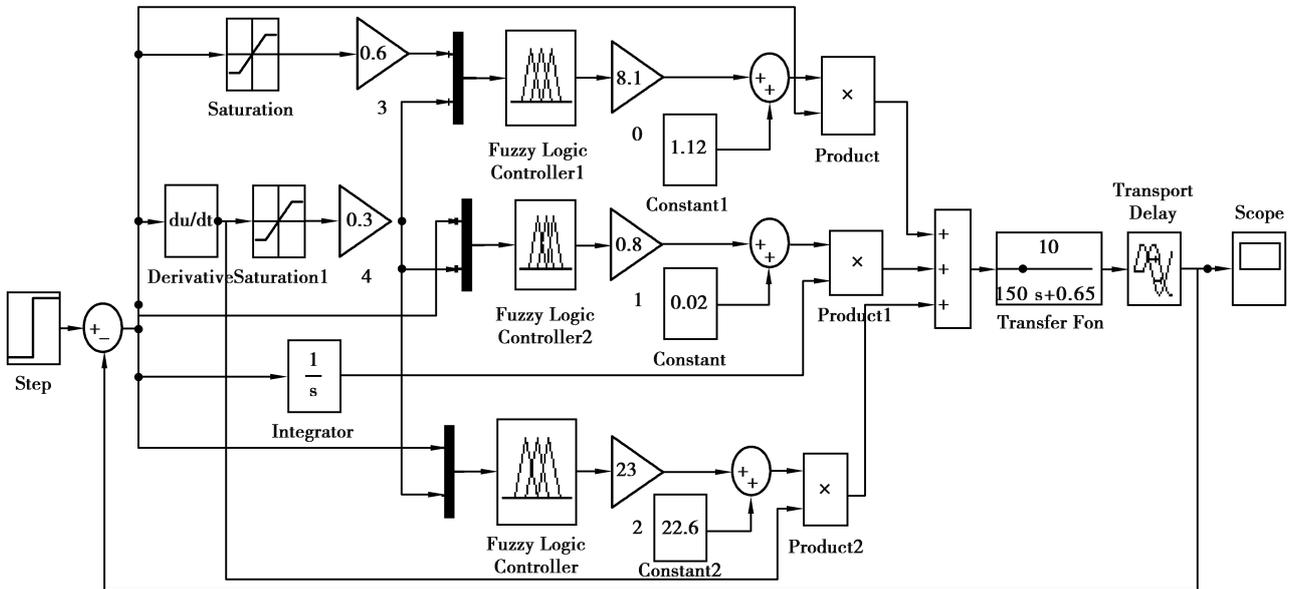


图 9 PID 控制系统仿真模型

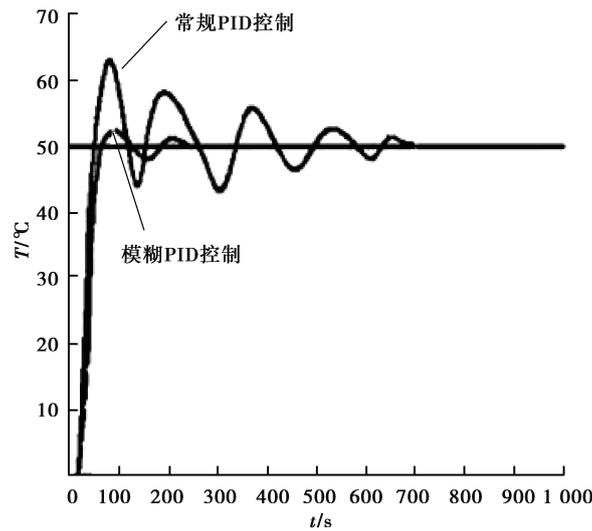


图 10 模糊 PID 控制响应曲线

参考文献:

- [1] 詹攀, 谢守勇, 陈翀. 基于模糊 PID 的烟叶烤房温度控制系统的设计[J]. 西南师范大学学报, 2014, 39(2): 99-104
- [2] 岳文杰, 谢守勇, 陈翀, 等. 基于模糊 PID 的温室温度控制器设计与仿真[J]. 农机化研究, 2014(4): 194-197
- [3] 代强. 基于模糊 PID 的电锅炉温度控制系统[J]. 工业控制计算机, 2014(11): 72-73
- [4] 卢永青. 基于模糊自适应 PID 控制的汽油发电机逆变电源设计[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2014, 31(7): 50-52
- [5] 雷勇. 温室温度系统的自适应模糊 PID 控制[J]. 控制工程, 2014, 21(50): 23-27
- [6] 石辛民. 模糊控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010
- [7] 王正林. MATLAB/Simulink 与过程控制系统仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012
- [8] 候明波, 黄伟志, 郝岩. 模糊 PID 控制器在中药提取温控系统中的应用[J]. 河南工程学院学报, 2012, 24(4): 63-67

Design and Simulation of Fuzzy PID in Chinese medicinal materials drying Temperature Controller

ZHAO Chang-you

(Bo Zhou Vocation And Technical College Anhui 236800)

Abstract: Chinese medicinal materials drying is different from other material traditional drying method. Stability control of temperature is the key factor to ensure the medicine taste and effective component. Temperature control system comprehensive advantages of PID control and fuzzy control. To improve the control system stability and smooth adjustment. Simulation results show that the fuzzy PID control system has strong anti interference capacity, good robust stability and small overshoot.

Key words: fuzzy PID; temperature control; simulation; modular