

茶叶杀青机双模糊控制系统设计与试验

曹成茂 吴正敏 梁闪闪 葛良志

(安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

摘要:为实现茶叶加工机械智能化控制,在分析茶叶加工工艺的基础上,提出基于模糊控制的茶叶杀青机控制方案。通过检测杀青滚筒内的鲜叶投叶量和鲜叶等级,应用模糊控制规则决策,实时调整杀青时间和杀青温度的设定值,并在杀青温度中嵌入模糊PID控制,实现杀青温度的精确控制。利用NI USB-6215数据采集卡、西门子PLC等构建数据采集与控制硬件系统,并用LabVIEW虚拟仪器测试双模糊控制系统的输出效果。试验分析了该控制系统输出量对茶叶杀青效果的影响,试验结果表明:该控制系统输出的茶叶加工工艺参数杀青效果理想,杀青温度偏差低于1℃,杀青时间偏差小于5 s。该控制策略减少了制茶过程中人为因素的干扰,提高了茶叶加工机械的智能化水平。

关键词: 茶叶杀青机; 杀青温度; 模糊控制; 模糊PID控制

中图分类号: S226.9; TP29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)07-0259-07

Design and Experiment of Double Fuzzy Control System for Tea Cylinder Water-removing Machine

Cao Chengmao Wu Zhengmin Liang Shanshan Ge Liangzhi

(College of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: On the basis of analysis on processing technology of tea, the fuzzy algorithm was applied to realize the intelligent control of traditional tea cylinder water-removing machine. By detecting the weight and grade of fresh tea leaves in the tea cylinder water-removing machine, the fuzzy control rule of decision-making was used to adjust time and temperature of tea water-removing real-timely; at the same time, fuzzy proportion-integration-differentiation (PID) controller was used to adjust temperature of tea water-removing to realize the accurate control. Data acquisition and double fuzzy control system hardware were made up with NI USB-6215 data acquisition card and Siemens programmable logic controller (PLC), etc. In addition, output effect of double fuzzy control system model was tested by laboratory virtual instrument engineering workbench (LabVIEW). Finally, the possibility of the double fuzzy control system was proved by the substantial evidence and the result of tea water-removing was tested. Experiment result show that this control system output parameters are ideal for the water-removing of tea, the temperature departure of water-removing is less than 1℃ and the time deviation of water-removing of tea is less than 5 s. This control system can reduce the human factors in the process of tea-making. What's more, it will improve the intelligent level of the machine for tea-making.

Key words: tea cylinder water-removing machine; temperature of water-removing; fuzzy control; fuzzy PID control

引言

茶叶生产控制过程自动化和智能化是茶叶加工

设备发展的趋势,而茶叶杀青是茶叶生产的初制工序之一,直接决定了茶叶成品的质量,因此茶叶杀青机的智能控制尤为重要。茶叶杀青是茶叶形状和品

质形成的关键工序^[1],传统的茶叶杀青方式受人为因素影响,无法实现精确控制,也无法建立具体的数学模型。近些年,模糊控制在农业机械智能化控制进程中起到了很好的推动作用^[2-8],同时在茶叶加工领域中也有了越来越多的运用^[9-11]。但目前模糊控制在茶叶加工领域的应用仅实现了对部分茶叶加工工艺参数的模糊控制,还未将模糊智能引入茶叶加工机械整机控制。经过对茶叶加工机械智能控制的探索,本文建立茶叶杀青机的模糊控制模型,并对杀青温度进行模糊 PID 控制,实现茶叶杀青机的双模糊智能控制。

1 总体控制方案设计

1.1 模糊控制原理

模糊控制主要包括模糊化、模糊推理和去模糊化^[12],在茶叶杀青机控制过程中,将人工判定的鲜叶等级和实时检测到的鲜叶投叶量两个精确量转变成模糊量,根据控制规则和知识库做出判决,再将模糊判决输出的模糊量精确化,最后输出杀青时间和杀青温度用于系统控制,原理如图 1 所示。

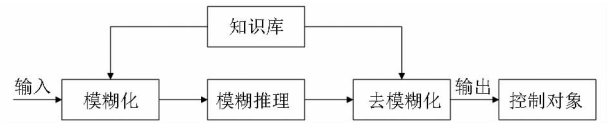


图 1 模糊控制器结构框图
Fig. 1 Structural block diagram of fuzzy controller

1.2 模糊控制茶叶滚筒杀青机工作原理

茶叶滚筒杀青机主要由电动机、传动装置、送叶装置、滚筒、出料口、加热装置、电气控制模块等组成,如图 2 所示。电动机提供动力,通过链轮带动滚筒旋转,采用模糊控制,根据鲜叶等级和投叶量确定杀青时间和温度,采用温度传感器多点测量滚筒腔内的综合环境温度,用平均值与模糊控制器输出的温度设定值进行比较,将温度偏差和偏差变化率作为温度模糊 PID 控制器的输入,输出脉冲信号调节滚筒内的温度,使筒内温度处在一个动态平衡状态,进料装置将新鲜茶叶不断输送到滚筒内,由滚筒内导叶片带动茶叶一边向前运动,一边吸收热量,待茶

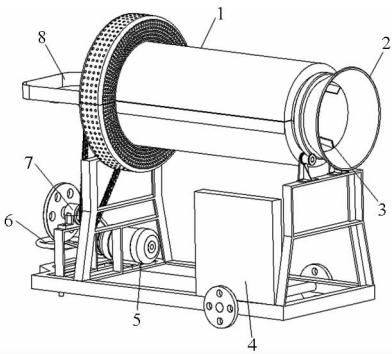


图 2 茶叶滚筒杀青机三维结构图
Fig. 2 3-D structural drawing of tea cylinder water-removing machine

1. 滚筒 2. 出料口 3. 导叶板 4. 控制柜 5. 三相电动机
6. 倾斜度调节盘 7. 传动装置 8. 料斗

叶达到杀青时间,便由出料装置将茶叶送到下一道工序。

1.3 茶叶杀青机双模糊控制方案

结合制茶工艺,将鲜叶等级和单位时间进入杀青机滚筒中的鲜叶投叶量作为模糊控制系统的输入量,其中鲜叶等级采用手动设定,鲜叶投叶量由传感器测得。茶叶杀青过程中,杀青时间和杀青温度是对杀青效果影响最大的两大因素,因此,将这两组参数作为模糊控制器的输出量,由于直接加热杀青机滚筒内的温度无法恒定,需对温度进行调节,在杀青机模糊控制系统中嵌入温度模糊 PID 控制,使杀青机滚筒内的温度处于动态平衡。模糊控制器通过 LabVIEW 上位机程序实现,频率信号经模拟量输出模块传送给变频器,从而控制电动机转速,脉冲信号用于调节固态继电器的通断,以此调节加热器状态,恒定滚筒内的温度,达到智能控制的效果。具体控制方案如图 3 所示。

2 控制器设计

2.1 杀青机模糊控制器设计

2.1.1 建立隶属函数模型

采用三角法建立鲜叶等级、投叶量、杀青时间、杀青温度的隶属函数,并用 LabVIEW 中的隶属函数编辑器建立输入、输出变量的隶属函数模型,编辑控

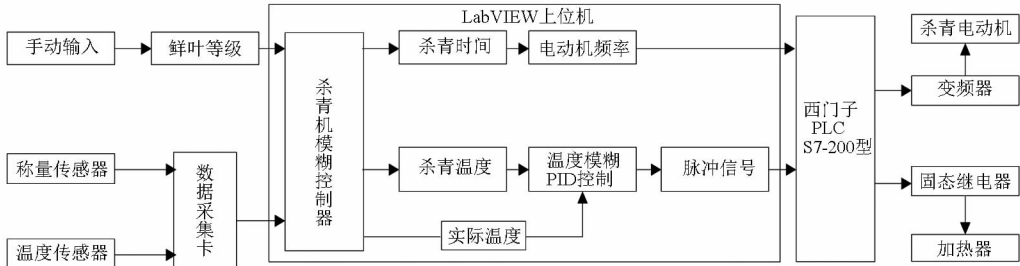
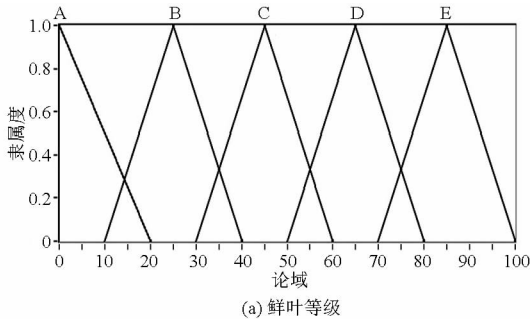


图 3 控制系统框图
Fig. 3 Block diagram of control system

制规则,生成 .fc 文件^[13-14]。

根据专家经验将绿茶鲜叶分为 5 个等级,建立模糊子集{一级(A)、二级(B)、三级(C)、四级(D)、五级(E)},论域为[0,100],采用三角形隶属函数实现鲜叶老嫩的模糊化。利用 LabVIEW 中的隶属函数编辑器建立鲜叶等级隶属函数模型,如图 4a 所示。

将进入杀青滚筒的鲜叶投叶量分为 5 个等级,建立模糊子集{少(S)、中少(MS)、中(M)、中多(MB)、多(B)},论域为[3,8]。同样采用三角形隶属函数实现鲜叶投叶量的模糊化。利用 LabVIEW 中的隶属函数编辑器建立鲜叶投叶量隶属函数模型,如图 4b 所示。



根据滚筒杀青机杀青的实践经验,当鲜叶的等级及投叶量不同时,杀青滚筒腔内的综合环境温度控制应维持在 220 ~ 260℃,且必须保持滚筒腔内温度恒定,不可忽高忽低,杀青时间应控制在 120 ~ 300 s。因此,建立杀青温度模糊子集{低(L)、中低(ML)、中(M)、中高(MH)、高(H)},论域为[220, 260],利用 LabVIEW 中的隶属函数编辑器建立杀青温度隶属函数模型,如图 5a 所示。

建立杀青时间模糊子集{短(S)、中短(MS)、中(M)、中长(ME)、长(E)},论域为[120, 300],采用三角形隶属函数将杀青时间模糊化。利用 LabVIEW 中的隶属函数编辑器建立杀青时间隶属函数模型,如图 5b 所示。

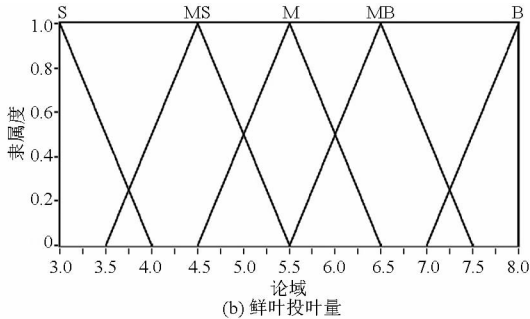


图 4 鲜叶等级、鲜叶投叶量隶属函数模型

Fig. 4 Membership function model of fresh tea leaves' grade and weight

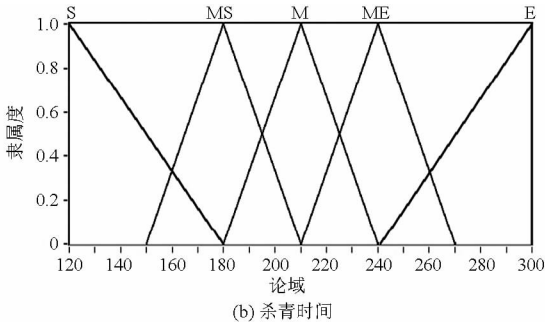
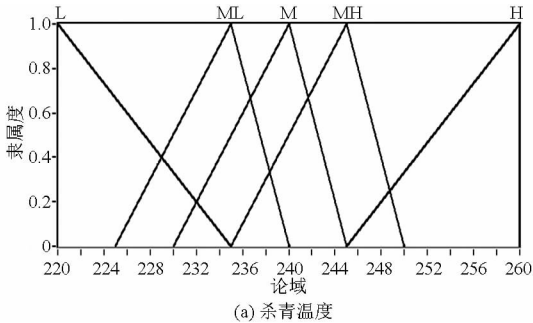


图 5 杀青温度、杀青时间隶属函数模型

Fig. 5 Membership function model of time and temperature of water-removing

2.1.2 建立模糊控制规则

根据制茶专家经验和实际操作试验设计模糊控制规则。杀青的目的是破坏鲜叶中酶的活性,抑制多酚类化合物的酶促氧化反应,散发青臭气;同时蒸发一部分水分,使叶质变柔软同时富有韧性,便于揉捻成型。

制茶中,杀青经验为:“鲜叶越嫩,投叶量越多,则杀青温度越高,杀青时间越长”,“鲜叶越老,量越少,则杀青温度越低,杀青时间越短”,“鲜叶嫩度适中,量适中,则杀青温度与杀青时间也应适当”等。杀青适度的标志为:叶色暗绿,梗弯曲、不断,用手捏起成条。据此建立模糊控制规则如表 1 所示,表中输出量为杀青温度/杀青时间。

表 1 模糊控制规则

Tab.1 Fuzzy control rules

鲜叶 投叶量	鲜叶等级				
	A	B	C	D	E
S	M/M	ML/MS	ML/MS	L/S	L/S
MS	M/M	M/M	M/M	ML/MS	L/S
M	MH/ME	MH/ME	M/M	ML/MS	ML/MS
MB	H/E	MH/ME	MH/ME	M/M	M/M
B	H/E	H/M	MH/ME	MH/ME	M/M

2.1.3 输出效果测试

模糊控制系统最终输送至执行机构的是精确量,常用的解模糊算法有最大隶属度法、中位数法和加权平均法^[15],本设计采用加权平均法解模糊,加

权平均法的算法为

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_{U_1}(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{U_1}(x_i)} \quad (1)$$

式中 x_0 ——加权平均法求得的判决结果,得出的具体杀青时间和杀青温度
 x_i ——模糊集 U_1 中的元素
 $\mu_{U_1}(x_i)$ ——隶属度
输出效果如图 6、7 所示。

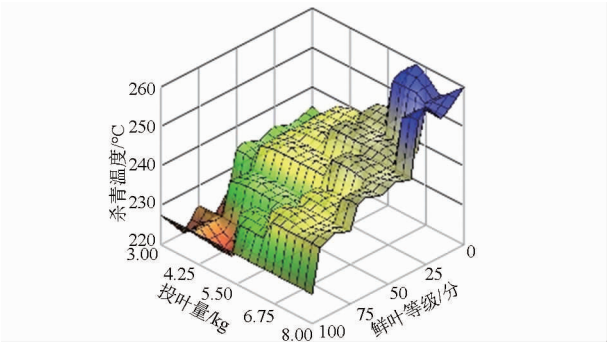


图 6 杀青温度输出结果
Fig. 6 Output result of temperature of water-removing

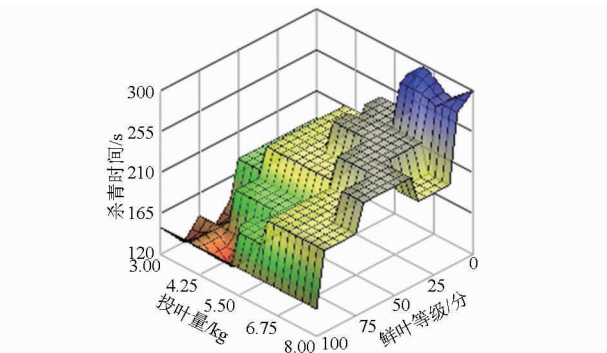


图 7 杀青时间输出结果
Fig. 7 Output result of time of water-removing

2.2 杀青机杀青温度模糊 PID 控制器设计

温度模糊 PID 控制主要包括参数模糊化、模糊规则建立、解模糊、PID 控制等几个重要环节。温度模糊 PID 控制以温度偏差量 E 和温度偏差变化率 $\dot{E}$ 作为控制输入量,并根据模糊规则进行模糊推理,最后再进行解模糊运算^[16]。

2.2.1 参数模糊化

根据专家经验,针对不同鲜叶等级和投叶量,茶叶滚筒杀青机滚筒腔内的综合环境温度应维持在 220 ~ 260℃,由于杀青机模糊系统不断调节,温度偏差变化范围应该在 -40 ~ 40℃内。为保证温度的恒定,将 $|E|$ 的论域设为 $[0, 40]$, $|\dot{E}|$ 的论域设为 $[0, 3]$,首先对参数进行模糊化,采用三角形模糊化的方法,设 E 和 $\dot{E}$ 的语言变量为 $\{Z, S, M, B\}$,分别代

表:零、小、中、大,可以采用三角形隶属函数实现温度参数的模糊化。并利用 LabVIEW 中的隶属函数编辑器建立温度偏差和偏差变化率的隶属函数模型。

2.2.2 建立模糊规则

由模糊 PID 控制的原理框图(图 8)可知,模糊控制器是以温度偏差量 E 、温度偏差变化率 $\dot{E}$ 为输入,以 PID 的调节参数 K_p 、 K_i 、 K_d 为输出的两输入三输出控制器,常规 PID 控制器的输出公式为

$$U(n) = K_p E(n) + K_i \sum E(n) + K_d \dot{E}(n) \quad (2)$$

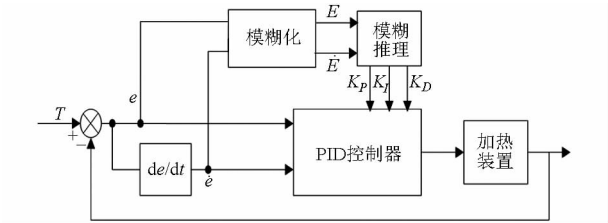


图 8 模糊 PID 控制器原理图
Fig. 8 Schematic diagram of fuzzy PID controller

基于式(2)中的 PID 控制规律,应用模糊理论建立温度模糊 PID 控制器输出参数 K_p 、 K_i 、 K_d 与温度偏差 E 、偏差变化率 $\dot{E}$ 的函数关系^[17]为

$$\begin{cases} K_p = f_1(|E|, |\dot{E}|) \\ K_i = f_2(|E|, |\dot{E}|) \\ K_d = f_3(|E|, |\dot{E}|) \end{cases} \quad (3)$$

根据茶叶杀青机温度 PID 调节和模糊算法控制规律,总结出茶叶杀青机温度模糊 PID 控制规律如下:

- (1)当 $|E|$ 较大时,应取较大的 K_p ,较小的 K_d ,并对积分作用加以限制。
- (2)当 $|E|$ 处于中等大小时, K_p 要小些, K_d 、 K_i 要适中。
- (3)当 $|E|$ 较小时, K_p 、 K_i 要取得大些,使系统具有较好的稳定性能,当 $|\dot{E}|$ 较大时, K_d 可取小些,当 $|\dot{E}|$ 较小时, K_d 可取大些。

根据温度 PID 调节规律,建立针对杀青温度模糊控制输出 K_p 、 K_i 、 K_d 的模糊控制规则如表 2 所示。

表 2 K_p 、 K_i 、 K_d 的模糊控制规则
Tab. 2 Fuzzy control rules of K_p 、 K_i 、 K_d

$\dot{E}$	E			
	Z	S	M	B
Z	Z/B/B	M/B/B	M/S/S	B/Z/M
S	S/B/B	M/B/B	M/S/M	B/Z/M
M	B/B/M	B/B/M	M/S/S	M/Z/S
B	M/B/M	B/M/M	S/S/S	M/Z/Z

2.2.3 温度模糊 PID 输出效果测试

选用加权平均法进行解模糊,得出温度模糊 PID 控制的参数,在茶叶杀青机温度控制系统测试过程中取得了较好的效果。

3 控制系统软件设计

系统采用 LabVIEW 软件平台设计^[18-20],控制程序包括后面板和前面板,后面板是图形控件组成的程序框图,前面板是可以直接操作和直观显示的界面。

3.1 程序框图设计

茶叶杀青机双模糊控制系统程序框图包括:数据采集及保存子程序、模糊控制子程序、温度模糊 PID 控制子程序、数字量与模拟量输出子程序等,如图 9 所示。数据采集子程序利用 DAQ 助手创建虚拟通道,读取输入参数的电压值,经过数据处理,将输入参数实时显示在波形图表控件上,并用 TDMS 大数据流保存实时检测到的数据;模糊控制子程序将处理后的参数作为模糊控制器的输入,加载建立好的 fs 文件,通过模糊匹配和解模糊处理输出茶叶杀青工艺相关参数;温度模糊 PID 控制子程序将杀青机模糊控制器输出的经过温度处理得到的温度偏差和偏差变化率作为系统输入,加载建立好的 fs 文件,通过模糊匹配和解模糊处理输出温度 K_P 、 K_I 、 K_D 相关参数,接入 PID 控制控件,输出脉冲信号;数字量与模拟量输出子程序将脉冲信号和杀青电动机频

率发送至 PLC 控制器。

3.2 前面板设计

软件设计前面板是人机交互的友好界面,可以进行参数设定和数据显示等,本系统前面板可以对数据采集及串口通信相关参数进行设定,实时显示茶叶加工工艺的相关参数。如图 10 所示。

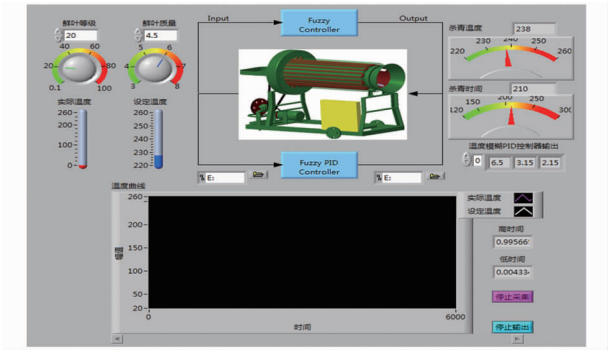


图 10 控制系统前面板
Fig. 10 Block panel of control system

4 试验

4.1 模糊 PID 温度控制效果验证

构建硬件平台,对茶叶滚筒杀青机温度模糊控制效果进行验证,模糊控制程序由 LabVIEW 虚拟仪器实现,温度模糊控制器输出脉冲由采集卡计数器输出给固态继电器,从而控制茶叶杀青机上的加热装置,运行控制系统程序,分别输入鲜叶等级评分为 20、60,鲜叶投叶量为 4.5 kg,此时杀青机模糊控制系统输出的温度分别为 238℃ 和 234℃,即为杀青温度模糊 PID 控制的设定温度。采用模糊 PID 控制,获取了茶叶杀青机温度系统的输出特性,如图 11 所示。

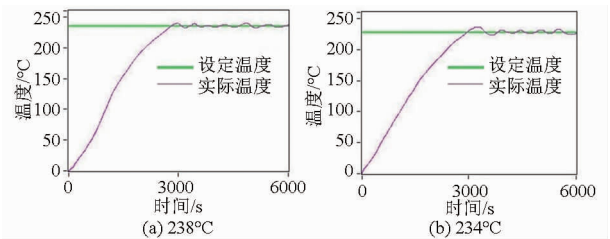


图 11 温度曲线
Fig. 11 Temperature curves

从图 11 中可以看出,模糊 PID 控制方法调节得到的温度曲线,基本没有超调量、稳定误差也较小,并且在系统稳定后,温度曲线平滑,温度偏差小于 1℃,能够满足茶叶高质量杀青对温度的要求。

4.2 茶叶滚筒杀青机杀青试验

以双模糊控制的茶叶杀青机为载体,分别对明前茶和雨前茶进行了杀青试验,来验证该控制系统的准确性。试验中,温度传感器在滚筒内多点布置,

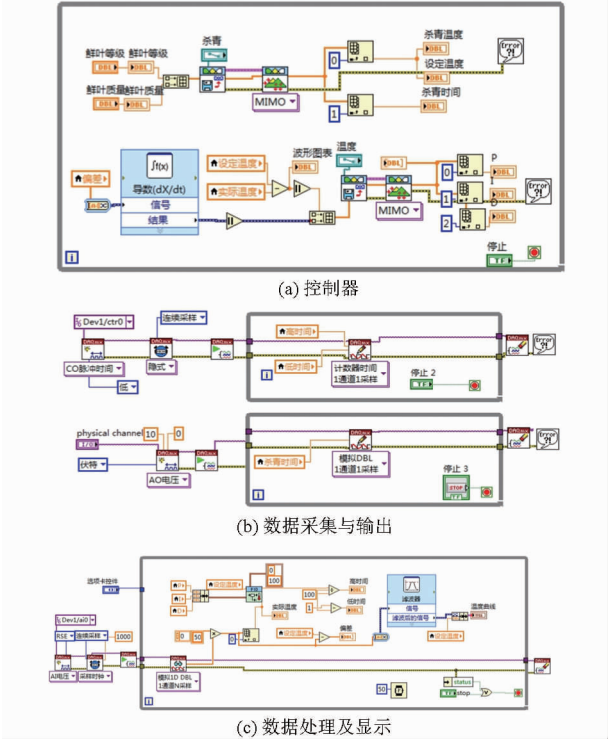


图 9 控制系统程序框图

Fig. 9 Block diagram of control system program

称量传感器固定在进叶口,通过手动输入鲜叶等级评分和实时检测单位时间内的鲜叶投叶量,完成控制系统的输入。选取鲜叶等级评分为 20 分的明前茶和评分为 60 分的雨前茶,分别取 3.5、4.5、5.5、6.5、7.5 kg 5 组不同质量的茶鲜叶进行杀青试验,

来验证模糊控制系统输出杀青时间的准确性,测试不同鲜叶等级和投叶量条件下模糊控制器输出茶叶加工工艺参数的杀青效果。通过对杀青效果(色泽、香味、条形、柔软度)进行评判,验证该双模糊控制茶叶杀青机的杀青效果。试验数据如表 3 所示。

表 3 杀青试验数据
Tab.3 Test data of water-removing

序号	鲜叶等级/ 分	鲜叶投叶 量/kg	杀青温度/ ℃	杀青时间/ s	实际时间/ s	时间偏差/ s	杀青效果
1	20	3.5	233	180	176	4	暗绿清香,叶较软形直,少量焦边
2		4.5	238	210	208	2	绿清香,叶较软形直,无焦边
3		5.5	243	240	245	-5	绿清香,叶软形直,无焦边
4		6.5	255	264	265	-1	绿清香,叶软形较直,无焦边
5		7.5	257	282	279	3	绿较清香,叶软形较直,少量焦边
6	60	3.5	224	132	130	2	暗深绿,叶较软形较直,少量焦边
7		4.5	234	168	165	3	较暗绿,叶较软形较直,少量焦边
8		5.5	236	192	194	-2	较暗绿,叶软形较直,无焦边
9		6.5	239	210	213	-3	较暗绿,叶软形较直,无焦边
10		7.5	244	240	245	-5	深绿,叶软形较弯,少量焦边

由表 3 可以看出,取同一等级、不同质量的茶鲜叶,模糊控制器按照规则匹配杀青时间,通过与实际杀青时间比较,时间偏差小于 5 s,且杀青效果好,证明该控制方案合理,能满足茶叶杀青的需求。但通过表 3 也能看出,在杀青机允许的鲜叶容量内,单位时间鲜叶投叶量过多(如 7.5 kg)或者过少(如 3.5 kg)都会对杀青效果带来一定的影响,同时不同等级的鲜叶也会呈现不同的杀青效

果,选择合适的鲜叶投叶量和等级输入会带来更好的茶叶品质。

5 结束语

结合茶叶加工工艺的参数要求,利用 LabVIEW 软件将系统整体的模糊控制与温度的模糊 PID 控制相结合,既实现了茶叶杀青环节的智能控制,也实现了茶叶杀青的恒温控制,达到了理想的制茶效果。

参 考 文 献

1 朱德文,岳鹏翔,袁弟顺.不同杀青方法对绿茶品质的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):275-279.
ZHU Dewen, YUE Pengxiang, YUAN Dishun. Effects of different fixation methods on the quality of green tea[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 275-279. (in Chinese)

2 DU R C, GONG B C, LIU N N. Design and experiment on intelligent fuzzy monitoring system for corn planters [J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2013, 6(3): 11-18.

3 MENG Q K, QIU R C, QIU Ruicheng, et al. Development of agricultural implement system based on machine vision and fuzzy control[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 112: 128-138.

4 PETKOVIC D, SHAMSHIRBAND S, ANUAR N B, et al. Input displacement neuro-fuzzy control and object recognition by compliant multi-fingered passively adaptive robotic gripper[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2016, 82(2): 177-187.

5 郭娜,胡静涛.插秧机行驶速度变论域自适应模糊 PID 控制[J].农业机械学报,2013,44(12):246-251.
GUO Na, HU Jingtao. Variable universe adaptive fuzzy-PID control of traveling speed for rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 246-251. (in Chinese)

6 苗中华,李闯,韩科立,等.基于模糊 PID 的采棉机作业速度最优控制算法与试验[J].农业机械学报,2015,46(4):10-27.
MIAO Zhonghua, LI Chuang, HAN Keli, et al. Optimal control algorithm and experiment of working speed of cotton-picking machine based on fuzzy PID[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(4): 10-27. (in Chinese)

7 陈进,郑世宇,李耀明,等.联合收获机前进速度灰色预测模糊控制系统[J].农业机械学报,2011,42(10):110-115.
CHEN Jin, ZHENG Shiyu, LI Yaoming, et al. Grey predictive fuzzy control system of forward speed for combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 110-115. (in Chinese)

8 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等.基于模糊控制的肥液自动混合装置设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(16):22-30.
LI Jianian, HONG Tiansheng, FENG Ruijue, et al. Design and experiment of automatic mixing apparatus for liquid fertilizer based on fuzzy control[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(16): 22-30. (in Chinese)

9 林荣川,林河通,林清娇.采用交叉补偿解耦的乌龙茶自动烘焙机温湿度模糊控制[J].农业工程学报,2012,28(20):80-87.

- LIN Rongchuan, LIN Hetong, LIN Qingjiao. Fuzzy control of temperature and humidity of oolong-tea automatic roaster based on cross-compensation decoupling[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(20): 80–87. (in Chinese)
- 10 李琳,周国雄. 基于逆模型解耦的绿茶烘焙变论域模糊控制[J]. 农业工程学报,2014,30(7):258–267.
LI Lin, ZHOU Guoxiong. Method of variable universe fuzzy control base on inverse-model decoupling for green tea baking[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(7): 258–267. (in Chinese)
- 11 王小勇,李兵,曾晨,等. 基于模糊算法的茶叶理条机温度控制设计[J]. 茶叶科学,2015,35(4):363–369.
WANG Xiaoyong, LI Bing, ZENG Chen, et al. The temperature design of tea carding machine based on fuzzy controler[J]. Journal of Tea Science,2015,35(4):363–369. (in Chinese)
- 12 唐锐,王少江,侯力,等. 并联机床伺服系统双自适应模糊滑模控制[J]. 农业机械学报,2012,43(10):230–234.
TANG Rui, WANG Shaojiang, HOU Li, et al. Double adaptive fuzzy sliding mode control for hydraulic servo system of parallel machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(10):230–234. (in Chinese)
- 13 张永胜,高宏力,刘庆杰. 基于 LabVIEW 的模糊控制系统设计[J]. 仪表技术与传感器,2012(3):27–29.
ZHANG Yongsheng, GAO Hongli, LIU Qingjie. Fuzzy logic control system design based on LabVIEW[J]. Instrument Technique and Sensor,2012(3):27–29. (in Chinese)
- 14 倪军,毛罕平,程秀花. 基于 FPGA 的联合收获机脱粒滚筒模糊控制系统[J]. 农业机械学报,2009,40(7):83–87.
NI Jun, MAO Hanping, CHENG Xiuhua. Fuzzy control system of combine cylinder based on FPGA[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(7):83–87. (in Chinese)
- 15 卢佩,刘效勇. 基于 LabVIEW 的温室大棚温、湿度解耦模糊控制监测系统设计实现[J]. 山东农业大学学报,2012,43(1):124–128.
LU Pei, LIU Xiaoyong. Design on fuzzy decoupling control system of temperature and humidity for greenhouse based on LabVIEW[J]. Journal of Shandong Agricultural University,2012,43(1):124–128. (in Chinese)
- 16 王风云,赵一民,张晓艳,等. 基于分段控制策略的温室智能测控系统设计[J]. 农业机械学报,2009,40(5):179–181.
WANG Fengyun, ZHAO Yimin, ZHANG Xiaoyan, et al. Intelligent measure-control system design based on sectional-control strategy in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(5):179–181. (in Chinese)
- 17 聂乐乐,李丽娟,王劲松,等. 基于 LabVIEW 的模糊 PID 温度控制系统[J]. 长春理工大学学报,2011,34(4):59–60.
NIE Lele, LI Lijuan, WANG Jinsong, et al. The fuzzy PID system of temperature control based on LabVIEW[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology,2011,34(4):59–60. (in Chinese)
- 18 PAL A K, NASHAR L. Design of self-tuning fuzzy PI controller in LabVIEW for control of a real time process[J]. International Journal of Electronics and Computer Science Engineering,2013,2(2):538–545.
- 19 RAVI S, BALAKRISHNAN P A, MARIMUTHU C N, et al. Design of synthetic optimizing neuro fuzzy temperature controller for twin screw profile plastic extruder using LabVIEW[J]. Intelligent Automation and Soft Computing,2014,20(1):92–100.
- 20 GULER H, ATA F. The comparison of manual and LabVIEW-based fuzzy control on mechanical ventilation[J]. Proc. IMech E Part H: Journal of Engineering in Medicine,2014, 228(9):916–925.