

基于智能解耦补偿的绿茶烘焙改进模糊控制

刘玫星

(湖南邮电职业技术学院 经济管理系, 长沙 410015)

摘要: 针对绿茶烘焙生产过程中, 物质交换和热交换复杂, 温、湿度变化耦合性强、设备性能易变的问题, 提出了一种基于解耦补偿的改进模糊控制方法; 首先采用模糊控制器对温、湿度独立控制, 为了抑制参数漂移, 利用遗传算法对模糊隶属度进行在线优化; 同时引入神经元学习算法, 实现对温度和湿度控制量解耦关系的学习, 对控制量进行补偿, 从而保证改进模糊算法计算的控制量相互独立; 结果表明采用文章方法处理的 3 种绿茶样本, 橙花叔醇成分平均提升 15.7%, α -法呢烯成分平均提升 21.4%, 芳樟醇成分平均提升 13.4%。

关键词: 绿茶烘焙; 解耦; 神经元; 模糊控制

A Improved Fuzzy Control Based on Intelligent Decoupling Compensator for Green Tea Baking

Liu Meixing

(Economics and Management Department, Hu'nan Post and Telecommunication College, Changsha 410015, China)

Abstract: In the baking process of green tea, material exchange and heat exchange complex, temperature and humidity changes and strong coupling, equipment performance variable problem, we propose a compensation based on improved fuzzy decoupling control method. First, the fuzzy controller on the temperature and humidity control, in order to suppress parameter drift, genetic algorithm fuzzy membership for online optimization; while introducing neuron learning algorithm to achieve the decoupling of temperature and humidity control volume relationship of learning, the control amount of compensation. Thus ensuring improved fuzzy control algorithm to calculate the amount of mutually independent. The results showed that three kinds of Green Tea samples treated by this method, the average increase of 15.7% tertiary alcohol ingredient orange flower, alpha farnesene component increased an average of 21.4%, linalool increased an average of 13.4% components.

Keywords: green tea baking; decoupling; neurons; fuzzy control

0 引言

我国饮用绿茶历史悠久, 是绿茶的主要生产和加工区。近年来随着经济的发展, 人们对绿茶的需求总体呈上升趋势, 对绿茶品质的要求也不断提高。绿茶品质由品种和初、精制的工艺水平^[1-2]。烘焙是绿茶加工精制关键工序, 一方面, 烘焙后的成品绿茶含水量控制在 3%~4%, 便于贮藏; 另一方面, 茶叶受热后, 内含物质会发生变化, 其特有的芳香得以增强。

烘焙工艺的本质是温、湿度控制, 主要分为木炭焙笼烘焙(简称炭焙)和电烘箱烘焙(称机焙)两种。目前炭焙主要由人工操作, 对茶叶质量起决定作用的炭火温度及烘烤时间, 主要依赖于制茶师傅的经验, 随意性大, 导致茶叶质量不够稳定, 不利于标准化生产。

机焙在我国使用较为广泛, 其设备大都采用 PID 方法, 对温度、湿度进行独立控制。由于没有考虑系统温、湿度的相互影响, 加上烘焙系统模型的不确定性以及过程参数受环境影响变化大, 导致简单的 PID 方法, 对温、湿度控制的精度不理想。

针对机焙过程中温、湿度变化的耦合性强, 以及传感器性能曲线受外界干扰较大等问题, 为更好满足茶叶烘焙过程对温、湿度指标的工艺要求, 采用神经元对温湿度控制进行解耦, 同时采用变参数模糊控制, 提升控制系统自调节能力, 提

高茶叶品质。

1 工艺原理及算法结构

机焙所使用的电烘箱, 通常采用电热丝作为热源进行加热, 利用鼓风机产生负压, 实现热风传导, 对绿茶进行烘焙^[3], 其传热方式属于传导加热。

1.1 工艺原理

电烘箱主要由支架、箱体、加热、排湿、控制系统等部分组成, 其原理如图 1 所示。

电加热管对加温管道进行加热, 使箱体内部的温度快速升高, 同时鼓风机向箱体吹入冷风, 带出箱体内的水分, 实现对绿茶的干燥。这一烘焙加工过程本质是一个复杂的物质交换和热交换过程, 绿茶半成品在烘焙过程中, 随着水分的散失而形成的特殊茶香成分, 温度变化速度和排湿速度对绿茶芳香成分有重要影响, 因此, 绿茶烘焙是一种工艺性很强的热加工技术。

烘焙过程中温度和湿度的变化相互影响, 耦合性较强, 如图 2 所示。电加热管工作时, 使温度升高, 随着茶叶内部水分的释放, 湿度也同时升高, 这时开启排湿装置, 输入负压, 会同时将外部冷空气吸入, 降低茶叶温度^[4]。因此, 绿茶烘焙过程的温、湿度交叉耦合严重。

不同绿茶品种, 对烘焙加工工艺要求有所不同, 通常温度保持在 70℃, 相对湿度保持在 30%, 将茶叶含水率控制在 3%~4%, 有利于保持绿茶的色泽和香味。因此, 绿茶烘焙过程的控制要求就是实现系统解耦, 稳定温、湿度控制指标。

1.2 算法结构

为了解决绿茶烘焙过程中, 温度和湿度相互制约, 相互影

收稿日期:2014-05-10; 修回日期:2014-06-11。

基金项目:湖南省教育厅科研项目(08C933)。

作者简介:刘玫星(1966-),女,湖南新华人,讲师,主要从事应用数学方向的研究。

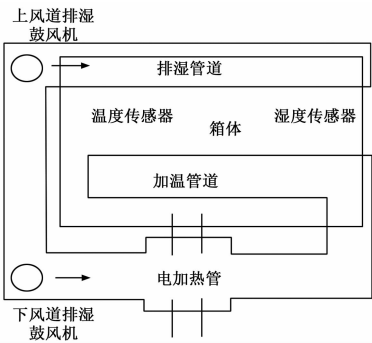


图 1 烘焙机原理示意图

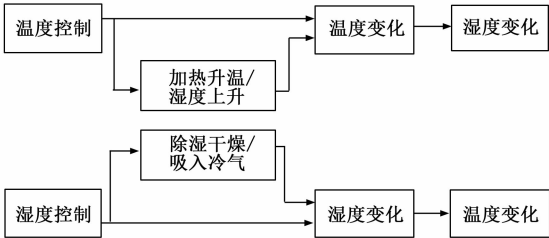


图 2 温湿度耦合关系示意图

响的问题，需要对系统温、湿度变化进行解耦，然而烘焙过程的数学模型难以直接获取，导致常规的解耦方法无法使用。

针对具有双输入双输出的绿茶烘焙系统，本文提出了一种基于神经元解耦的变参数模糊制方法，其结构如图 3 所示。

整个控制系统由基于改进模糊算法的温、湿度独立控制，以及基于神经元的解耦补偿两部分组成。

基于改进模糊算法，首先利用模糊控制器根据温、湿度设定值和系统检测反馈值，实现对温、湿度独立闭环控制，同时为了解决传感器漂移和固定参数模糊算法环境适应性差的问题，采用遗传算法对模糊隶属度进行在线优化。

神经元解耦补偿器，位于模糊控制器与控制对象之间，利用神经元的自学习特性，实现对温度和湿度控制量耦合关系的学习，利用解耦结果对控制量进行补偿。从而保证改进模糊算法计算的控制量相互独立，无需关心耦合关系。

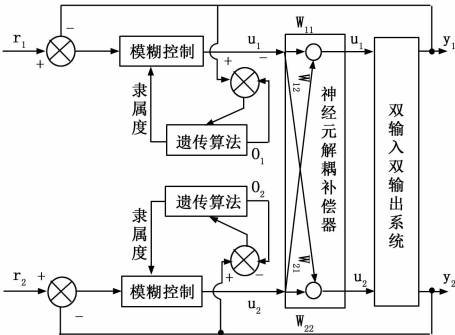


图 3 控制系统结构

2 变参数模糊控制

在绿茶烘焙生产过程中，由于温度和湿度变化都呈现大时滞、非线性特点。对于这类对象，传统控制方法在系统超调和响应时间上效果较差。模糊算法，不依赖于准确的数学模

型，在过程控制领域应用十分广泛^[5-6]。然而绿茶烘焙控制系统中，温、湿度传感器检测值、鼓风机的性能曲线会随着具体温度、气压等环境因素的变化而产生漂移，选用固定参数的隶属函数，很难满足系统对环境的自适应能力。因此本文在分别对绿茶烘焙温度和湿度控制量进行模糊推理的基础上，利用遗传算法（简称 GA）调整隶属函数，计算最优的鼓风机转速调节量和热电偶电流调节量，从而降低环境因素的干扰，进一步提升系统的自适应性。

2.1 模糊控制器的设计

温度模糊控制器采用双输入，单输出结构。输入 e_1 为绿茶烘焙温度与设定值偏差，模糊变量为 $\{NL, NM, NS, O, PS, PM, PL\}$ ，论域 $E_1 = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 。输入 e_2 为温度偏差变化率，模糊变量为 $\{NL, NS, O, PS, PL\}$ ，论域 $E_2 = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ 。输出 u 为热电偶电流调节量， U 的模糊变量为： $\{NL, NM, NS, O, PS, PM, PL\}$ ，论域 $U = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。

湿度模糊控制器，输入 e_1 为湿度与设定值偏差，模糊变量为 $\{NL, NM, NS, O, PS, PM, PL\}$ ，论域 $E_1 = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ ；输入 e_2 为湿度偏差变化率，模糊变量为 $\{NL, NS, O, PS, PL\}$ ，论域为 $E_2 = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ ；输出 u 为鼓风机转速调节量， U 的模糊变量为： $\{NL, NM, NS, O, PS, PM, PL\}$ ，论域 $U = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。

常用的隶属度函数有三角形和梯形，为了更好的抑制环境参数变化对绿茶烘焙控制系统的影响，方便参数调节，本文将三角形函数看作梯形函数的特殊形式，统一采用梯形函数，作为于温、湿度模糊控制器输入、输出变量的隶属度函数，如公式（1）所示。

$$F_{trapmf} = \begin{cases} 1 & (c \leq x \leq b) \\ \frac{a-x}{a-b} & (b \leq x \leq a) \\ \frac{c-x}{c-d} & (d \leq x \leq c) \\ 0 & (a \geq x \text{ or } x \leq d) \end{cases} \quad (1)$$

根据绿茶烘焙工艺的专家经验，温、湿度模糊控制的规则，均按照偏差较大时快速调节，偏差较小时精细调节的原则，总结出模糊控制规则，如表 1 所示。

根据所本文所设计的隶属度及模糊推理规则，同时利用 Mamdani 模糊推理方法进行解模糊，得到模糊控制查询表。通过清晰化接口和查询表，分别得热电偶电流和鼓风机转速的调节量。

表 1 推理语言规则表

E	NL	NM	NS	O	PS	PM	PL
EC	NL	NL	NM	NS	NS	O	PS
NS	NL	NM	NM	NS	O	PS	PM
O	NL	NM	NS	O	PS	PM	PL
PS	NM	NS	O	PS	PM	PM	PL
PL	NS	O	PS	PS	PM	PL	PL

2.2 基于遗传算法的隶属度选择

绿茶烘焙在生产过程中存在系统性干扰和传感器漂移的情

况,因此固定参数隶属度函数环境适应能力较差^[10]。为了保证控制精度,降低环境干扰,本文采用动态正修的方法对隶属度函数进行调节。GA 具有搜索快速、计算效率高的优点,同时具有很强的自组织和自适应能力,非常适合在绿茶烘焙控制系统中使用。因此本文采用 GA,自行组织搜索最优的温、湿度模糊控制器隶属度函数参数组合,实现对模糊算法的在线调节。

2.2.1 算法思路及步骤

本文采用了梯形结构的模糊控制器隶属度函数,每个隶属度函数,有 4 个参数待确定,因此温、湿度模糊控制器各自的输入、输出共 3 个变量的梯形隶属度函数参数,共同构成了各自 GA 的解空间^[9-10]。根据绿茶烘焙的控制指标,选择适应度函数,通过个体的不断进化,以适应度函数最为标准进行寻优,从而得到隶属度函数的最优解集。其实现步骤为:

(1) 首轮,针对梯形隶属度参数的约束要求,随机产生 n 组个体,作为初始种群;若非首轮,只保留上一代种群的最优个体,同时随机产生其余 $n-1$ 组个体,作为迭代种群;

(2) 个体适应能力采用根据烘焙过程控制指标制定的适应度函数进行评价,使最适应传感器漂移和烘焙过程的隶属度函数参数得以标识,保留至下一代种群;

(3) 包括上一代最优个体在内的种群内所有个体进行交叉变异操作;

(4) 名义收敛条件检查当前迭代结果,如果满足条件,则执行下一步,否则转向 (Step1);

(5) 给定优化条件检查当前迭代结果,满足条件,终止优化过程,否则转向 (Step1)。

2.2.2 编码表示

梯形隶属度函数如公式 (1) 所示,式中 a, b, c, d 为待优化参数。不同的参数组合,对应着不同梯形函数形状,决定了不同的模糊推理结果。当 $c = d$, 梯形隶属度函数为升半梯形函数, $b = a$ 为降半梯形函数, $b = c$ 为三角形隶属函数,但是 $c = d$ 和 $b = a$ 不会同时发生。

实数编码染色体比二进制编码的染色体长度短,编码方式简洁自然。因此,本文从减轻了遗传算法的计算负担,提高运算效率,保持种群多样性的角度出发,选用实数编码方式。 a, b, c, d 为待编码参数,每条染色体有 $4 \times n \times m$, 其中 n 为系统的维数,这里取 1, m 是温、湿度控制器中隶属度函数的个数这里取 3。任意一条染色体的编码可以表示为公式 (2):

$$D_1 = (a_{11}, \dots, a_{mn}, b_{11}, \dots, b_{mn}, c_{11}, \dots, c_{mn}, d_{11}, \dots, d_{mn}) \quad (2)$$

为了约束梯形参数 a, b, c, d 的取值,给定解空间为 $[D^{\min}, D^{\max}]$:

$$D^{\min} = (a_{11}^{\min}, \dots, a_{mn}^{\min}, b_{11}^{\min}, \dots, b_{mn}^{\min}, c_{11}^{\min}, \dots, c_{mn}^{\min}, d_{11}^{\min}, \dots, d_{mn}^{\min}) \\ D^{\max} = (a_{11}^{\max}, \dots, a_{mn}^{\max}, b_{11}^{\max}, \dots, b_{mn}^{\max}, c_{11}^{\max}, \dots, c_{mn}^{\max}, d_{11}^{\max}, \dots, d_{mn}^{\max})$$

其中: $a_{ij}^{\min}, b_{ij}^{\min}, c_{ij}^{\min}, d_{ij}^{\min}, a_{ij}^{\max}, b_{ij}^{\max}, c_{ij}^{\max}, d_{ij}^{\max}$ 是对应梯形隶属度函数参数的取值范围。

2.2.3 适应度函数

在 GA 进化迭代过程中,个体适应度不仅需要考虑到绿茶烘焙控制指标,还需要考虑模糊推理的解释性和合理性。因此 GA 的适应度由绿茶烘焙温、湿度控制效果准确性指标,和模糊推理的解释性指标共同组成。

绿茶烘焙温、湿度控制效果准确性指标分别为:模糊控制器输出的温度与设定值,以及湿度与设定值间的偏差最小。采

用公式 (3) 进行表示。

$$F_{\text{exact}} = |J_t(u) - J_t| \quad (3)$$

式中, $J_t(u)$ 表示绿茶烘焙系统的温度检测值或湿度检测值, J_t 为温度设定值或湿度设定值。

模糊隶属度函数解释性指标,需要同时考虑模糊隶属度函数的完备性,以及隶属函数可区分性。从而保证在进化寻优过程中,隶属度函数搜索的全覆盖,可解释,因此,相邻模糊集合的隶属度函数需要具有一定的交叉率 α 。模糊隶属度函数的解释性指标可用公式 (4) 表示:

$$F_{\text{mem}} = \sum_{k=1}^{M-1} |f_{FS(S_1)} - \alpha| \quad (4)$$

式 (4) 中, α 为合适的交叉率; M 为模糊推理系统的分区; $f_{FS(S_1)}, \dots, f_{FS(S_{M-1})}$ 为隶属度函数的交叉率。

式 (3)、式 (4) 的指标取值越小,算法性能越好,由于指标制定的角度不一致,两者存在矛盾,因此采用加权平均方法进行综合,最终适应度函数可表示为:

$$Fit = v_1 \cdot F_{\text{exact}} + v_2 \cdot F_{\text{mem}} \quad (5)$$

其中:加权因子 v_1, v_2 均为正实数,本文取 $v_1 = 0.6, v_2 = 0.4$ 。

2.2.4 变异策略

点式交叉变异和均匀交叉变异是目前较为常用的变异策略,点式交叉对种群染色体的破坏概率较小,但搜索范围也较小;均匀交叉对种群染色体的破坏概率较大,搜索范围也随之增加,对于绿茶烘焙温、湿度模糊控制优化问题,隶属度参数为 $4 \times n \times m$ 个维度,采用点交叉容易陷入局部最优,因此,本文采用点式交叉策略。

点式交叉的方法为:首先从种群中随机选择两个个体,再随机确定一个或多个交叉位置,然后交换两个个体的对应位置基因串。为了提高遗传算法的搜索性能,本文采用公式 (6) 所示的两点交叉点法。

$$\begin{array}{|c|} \hline 01/110/110 \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|} \hline 01/101/110 \\ \hline \end{array} \quad (6)$$

$$\begin{array}{|c|} \hline 10/101/001 \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|} \hline 10/110/001 \\ \hline \end{array}$$

式中, 0、1 表示某一个体的二进制基因串,两点交叉即是将公式 (6) 中两个个体按随机交换的方式进行两次交叉。

3 自适应神经元解耦补偿器

根据绿茶烘焙的工艺分析,可知温度控制和湿度控制存在严重耦合关系,不利于控制策略的实施,为了保证温度控制策略和湿度控制策略的相互独立,需要对系统进行解耦,考虑烘焙过程的复杂非线性,本文采用神经元算法进行解耦补偿。

在图 3 所示的双输入双输出控制系统结构中^[11-12],本文采用的神经元解耦补偿算法,可用公式 (7)、(8) 对进行表示。

$$u_i^*(k) = \sum_{j=2}^2 w_{ij}(k) u_j(k) \quad (7)$$

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \eta(\bar{u}_i^*(k) - u_i^*(k)) u_j(k) \quad (8)$$

式 (7) 和 (8) 中 w_{ij} 为活化因子,初始状态下, $w_{ij} = 1(i=j), w_{ij} = 0(i \neq j)$, 此时系统处于无解耦状态; η 为神经元的学习速率, $\bar{u}_i^*(k)$ 为神经元期望输出; $u_i^*(k)$ 为神经元实际输出。

由于神经元期望输出属于未知量,难以进行数学表示,因此,采取如下方法进行处理,规避这一实际问题。

设双输入双输出绿茶烘焙控制系统可由公式（9）进行描述：

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1^* \\ u_1 \end{bmatrix}$$

(9)

式中， $\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ 为系统的温、湿度实际输出， $\begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$ 为温、湿度耦合关系。

神经元解耦补偿器与系统输出之间的关系式可以表示为：

$$\begin{bmatrix} u_1^* \\ u_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

(10)

将经元解耦补偿器与绿茶烘焙双输入双输出系统看作一个广义对象，这样神经元的训练的目标函数，就可以定义为用系统输出误差 $J_i(k) = \frac{1}{2}(r_i(k) - y_i(k))^2$ 。当误差 $(r_i(k) - y_i(k))$ 存在或未达到收敛指标时，按学习算法对连接的权值进行逐步调整，直到系统输出误差满足收敛要求，此时可以认为系统解耦性能已经达到最优状态。

由式（10）可以看出，通过对 $w_{ij}(k)$ 进行自学习，可使得系统输出误差 $J_i(k)$ 不断降低，为此，可以采用梯度下降算法进行搜索。

$$\frac{\partial J_i}{\partial w_{ij}(k)} = -(r_i(k) - y_i(k)) \frac{\partial y_{ij}(k)}{\partial w_{ij}(k)} =$$

$$-(r_i(k) - y_i(k)) \frac{\partial y_{ij}(k)}{\partial u_{ij}^*(k)} \frac{\partial u_{ij}^*(k)}{\partial w_{ij}(k)}$$

(11)

由于对象参数未知， $\frac{\partial y_{ij}(k)}{\partial u_{ij}^*(k)}$ 不能直接计算，可以用 $y_i(k)$ 和 $u_i^*(k)$ 相对变化量的符号函数来代替，而 $\frac{\partial u_{ij}^*(k)}{\partial w_{ij}(k)} = u_i(k)$ 因此，

$$\begin{cases} w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) - \eta(r_i(k) - y_i(k)) \operatorname{sgn} \frac{y_i(k+1) - y_i(k)}{\partial u^* i(k) - \partial u^* i(k-1)} u_i(k), i \neq j \\ w_{ij}(k+1) = 1, j = j \end{cases}$$

(12)

4 实验与应用

为了验证本文提出算法的有效性，采用对比实验的方式，从系统性能，茶叶品质两个方面对系统运行的实际效果进行实验分析。

4.1 系统性能实验

选用同一批次的台湾南投县高山乌龙茶半成品各 5 Kg 作为两组对比实验的对象。采用目前常见的 PID 控制方法与本文提出的基于智能解耦的改进模糊控制方法，进行系统性能实验对比。控制目标设定为温度 70 ℃，相对湿度 30%。

在烘焙过程中温、湿度变化曲线分别如图 4 和图 5 所示。不难看出，本文的方法，由于采用了解耦补偿，温、湿度变化的耦合性得以改善，局部扰动明显减小；同时由于采用了模糊控制，相对于 PID 控制，不但提升了控制精度，同时减小了系统超调量、也加快了系统响。系统进入稳态后，采用本文方法的温度控制误差小于 1 ℃，相对湿度误差仅为 2.5%。从对比实验结果上看本文方法在控制系统性能上，优于传统的 PID 控制。

4.2 烘焙品质实验

选用台湾南投县高山乌龙茶、福建武夷山的肉桂、广东潮

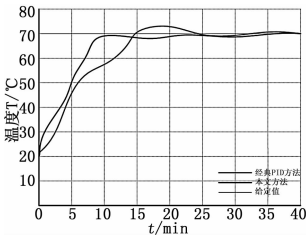


图 4 温度对比实验曲线

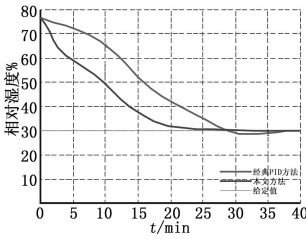


图 5 湿度对比实验曲线

安凤凰乡的凤凰水仙半成品作为品质实验的样本，每种茶样一分为二。依旧采用 PID 控制方法与本文提出的基于智能解耦的改进模糊控制方法，在 70 ℃ 的温度设定值、30% 的相对湿度设定值条件下，进行 35 min 的烘焙处理。对处理后的各品种茶叶成品进行感官和香气成分评定。

4.2.1 茶叶感官审评

茶叶感官审评，根据 NY/T787—2004 文件，所规定的通用方法进行实验^[13]，采用评语法和加权百分法对对比组茶叶成品的感官进行测试。其中：外形权重为 10%，叶底权重为 10%，汤色权重为 20%，香气权重为 30%，滋味权重为 30%。通过 5 位专家的密码审评，得到如下评审指标。

采用基于 PID 方法的烘焙的 3 种绿茶成品的感官评定，平均分为 83.7 分，采用基于智能解耦的改进模糊控制的 3 种绿茶成品的感官评定，平均分为 94.7 分。由此可见由于减少了耦合，烘焙过程温、湿度条件稳定，本文方法在感官审评上，远远优于 PID 控制方法。

4.2.2 香气成分测定

本文采用香精油提取方法，对 3 类绿茶样本进行氧气成分对比实验。

首先，将 60 g 茶样，加入 750 mL 的 100 ℃ 热蒸馏水进行稀释，进行 60 min 的蒸馏萃取；然后用无水硫酸钠对提取物进行干燥；最后，利用微机对过滤后浓缩液气相色谱分析^[14-15]。3 种成品绿茶中，橙花叔醇、α-法呢烯、芳樟醇，是主要的赋香物质，气相色谱分析主要针对这 3 种物质开展。

温、湿度的控制精密对于绿茶赋香化合物影响较大。根据实验结果的统计分析发现，相对于 PID 方法处理，采用本文方法处理的 3 种绿茶样本，橙花叔醇成分平均提升 15.7%，α-法呢烯成分平均提升 21.4%，芳樟醇成分平均提升 13.4%。

5 结论

本文在对绿茶烘焙设备工作原理和控制目标深入分析的基础上，针对绿茶烘焙过程中，物理化学复杂，温、湿度耦合严重的问题，提出了一种基于智能解耦的改进模糊控制方法。采用模糊控制器对温、湿度独立控制，利用遗传算法对模糊隶属度进行在线优化；同时引入神经元学习算法，实现对温度和湿

度控制量解耦关系的学习,对控制量进行补偿。从而保证改进模糊算法,能够互相独立计算的温、湿度调节量,性能和品质实现证明了本文方法的有效性。

参考文献:

[1] 林荣川,林清娇,林河通. 铁观音茶烘焙机温度小超调模糊—PID 控制 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2011, 40 (5): 474—477.

[2] 敖存,龚淑英,张俊. 烘焙技术对中高档绿茶滋味品质改善的研究 [J]. 茶叶, 2010, 10 (1): 52—57.

[3] 林文土. 清香型安溪铁观音特殊品质形成的加工工艺 [J]. 安徽农学通报, 2005, 15 (5): 194—198.

[4] 顾敏明,潘海鹏. 湿度专家控制系统的设计与实现 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2007 (4): 20—22.

[5] Mann G K I, Gosine R G. Three-dimensional min-max-gravity based fuzzy PID inference analysis and tuning [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2008, (2): 300—323.

[6] Wang H L, Kwong S, Jin Y C Multi-objective hierarchical genetic algorithm for interpretable fuzzy rule-based knowledge extraction [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2005, 149 (1): 149—186.

(上接第 2759 页)

设无故障的执行器有增益 $\theta_H = 1$, 则故障可由下式建立:

$$\theta(t) = \begin{cases} 1, t < 7 \\ 1.4, t \geq 7 \\ 0.7, t > 20 \end{cases}$$

构造观测器如下

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}_m(t) &= \begin{pmatrix} 0.65 & -2.45 \\ 0.3 & -0.9 \end{pmatrix} \bar{x}_m(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \tan^{-1} \\ &(\hat{\theta}(t)u(t)) + \begin{pmatrix} -1 \\ -2 \end{pmatrix} ((-3.5 \quad 5.5) \bar{x}_m(t) - y(t)) \end{aligned}$$

2.2 实验结果

根据上一章节提出的改进的算法,利用 Simulink 进行仿真建模,对故障状态的轨迹进行预估计测试,实验结果如图 1 所示,图 1 所示的是为定常量噪声的情况下系统故障估计结果。实验对比了本人算法和文献 [12] 方法。

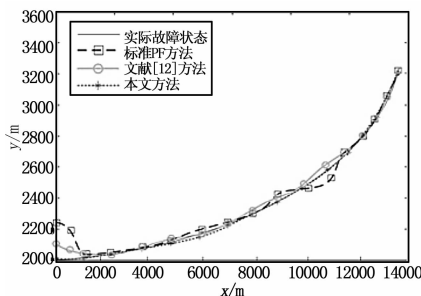


图 1 故障跟踪检测结果对比图

从图 1 中可以看出,本文提出的方法能够实时的跟踪故障,具有较高的精确性。

3 结论

复杂系统故障诊断一直是国内外研究的难点热点问题,本文给出了一种新的基于噪声例子滤波的故障诊断方法,方法给

[7] 郭文川,程寒杰,李瑞明,等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统 [J]. 农业机械学报, 2010, 41 (7): 181—185.

[8] 陈俊杰,芦俊,黄惟一. 基于遗传神经网络的传感器系统的非线性校正 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 34 (2): 89—92.

[9] 韦振中,黄廷磊. 基于支持向量机和遗传算法的特征选择 [J]. 广西工学院学报, 2006, 17 (2): 103—106.

[10] Azaron A, Perkgoz C, Sakawa M A genetic algorithm approach for the time—cost trade-off in PERT networks [J]. Applied Mathematics and Computation, 2005, 168 (2): 1317—1339.

[11] 湖泽新. 基于神经网络的解耦控制新方法及其应用 [J]. 控制与决策, 2009, 18 (6): 409—412.

[12] Xue X L, Jiang C S. Trajectory linearization control of an aerospace vehicle based on RBF neural network [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2008, 19 (4): 799—805.

[13] 中华人民共和国农业部. NY/T 787—2004 茶叶感官审评通用方法 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

[14] 苗爱清,江和源,李家贤,等. 做青对黄桃乌龙茶香气与醇香香气前体分布的影响 [J]. 食品科学, 2008, 29 (4): 102—106.

[15] 金心怡,陈济斌,王秀萍,等. 做青环境调控方式对乌龙茶品质影响的试验研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19 (6): 215—219.

出了噪声粒子滤波统计模型,通过粒子滤波得到状态估计值,并得到全概率分布信息用于故障检测中。最后通过 Simulink 仿真软件进行了仿真实验,通过实验验证了本文提出的方法的有效性。

参考文献:

[1] 郭创新,朱承治,张琳,等. 应用多分类多核学习支持向量机的变压器故障诊断方法 [J]. 中国电机工程学报, 2010, (13): 128—134.

[2] 姜万录,吴胜强. 基于 SVM 和证据理论的多数据融合故障诊断方法 [J]. 仪器仪表学报, 2010, (8): 1738—1743.

[3] 马超,陈西宏,徐宇亮,等. 基于支持向量机属性约简集成的模拟电路故障诊断 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32 (3): 660—666.

[4] 范贵生,虞慧群,陈丽琼,等. 基于 Petri 网的服务组合故障诊断与处理 [J]. 软件学报, 2010, 21 (2): 231—247.

[5] 何尔利,翟正军. 基于退火 BP 神经网络的模拟电路故障诊断方法 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 67—69.

[6] 薛寒,谢利理,叶留义. 基于模糊推理的电机故障诊断专家系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 8—10.

[7] 程延伟,吕强,谢永成,等. 装甲车辆电源系统智能故障诊断方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (6): 1410—1419.

[8] 肖凡,郭阳明,马捷中. 基于参数优化支持向量机的航空电子系统故障诊断 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (3): 564—564.

[9] 王晓冬,何正嘉,訾艳阳. 滚动轴承故障诊断的多小波谱峭度方法 [J]. 西安交通大学学报, 2010, 44 (3): 77—81.

[10] 陈雪峰,李继猛,程航,等. 风力发电机状态监测和故障诊断技术的研究与进展 [J]. 机械工程学报, 2011, 47 (9): 45—52.

[11] Lu P, Xu D P, Liu Y B. Method of fault diagnosis on multilayer BP wavelet networks and its applications [A]. Proc. 3rd International Conf. Machine Learning and Cybernetics [C]. 2004.

[12] Son H I, Kim T J, Kang D W. Fault Diagnosis and Neutral Point Voltage Control When The 3—Level Inverter Faults Occur [A]. 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference [C]. 2004.