

基于自适应模糊免疫 PID 的轧花自动控制系统

董全成^{1,2}, 冯显英^{1*}

(1. 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室, 济南 250061; 2. 济南大学机械工程学院, 济南 250022)

摘 要: 轧花自动控制是棉花加工过程自动化的重要环节, 对棉花加工质量、产量等有着重要影响。以轧花机喂花辊的转速作为控制量, 在含潮率、籽棉等级等因素发生变化时, 通过调节喂花辊转速, 来实时控制喂花量大小, 以保持合适的籽棉卷的密度, 来达到轧花自动控制的目的。根据轧花工艺特点, 用模糊控制、免疫控制与传统 PID 控制相结合, 设计了自适应模糊免疫 PID 控制系统来控制喂花辊的转速, 通过实时修正 PID 参数来保持控制系统的稳定性。用 Matlab 对自适应模糊免疫 PID、模糊免疫 PID 和自适应模糊 PID 3 种控制系统进行了仿真比较分析, 同时对基于自适应模糊免疫 PID 控制的轧花实时运行数据进行了分析, 仿真及运行结果表明所设计控制系统在轧花自动控制中是有效和可行的, 其在稳定性、鲁棒性上比其他 2 种智能控制系统性能优越。该控制方法为轧花自动控制提供了一种新的控制策略。

关键词: 棉花, 模糊控制, 加工, 轧花, 免疫控制, PID

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.005

中图分类号: TP2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0030-08

董全成, 冯显英. 基于自适应模糊免疫 PID 的轧花自动控制系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 30—37.

Dong Quancheng, Feng Xianying. Cotton-gin automation by using adaptive fuzzy immune PID controller[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 30—37. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

棉花加工过程比较复杂, 加工过程不稳定, 故障或事故频发, 而轧花作为棉花加工过程中的重要环节更是如此。由于受回潮率、籽棉等级等因素的影响, 轧花机工作时锯齿辊筒负荷不稳定, 籽棉卷密度大小变化频繁。籽棉卷密度过大可能会产生堵塞, 密度过小则会导致生产效率降低, 皮棉产量下降, 衣亏增加。这些因素对棉花加工质量、加工的顺利进行和生产效率的提高都有着重要影响。因此, 实时准确地判断籽棉卷密度及其运动情况, 在此基础上进行有效控制, 是轧花自动控制的关键, 它不仅有利于提高轧花产量、质量, 而且对搞好安全生产也有十分重要的意义。

轧花工作过程是一个非线性且有大延时的复杂系统, 难以建立精确的数学模型, 又由于棉花具

有可压缩性, 所以即使精确的数学模型也会随棉花的性状变化而发生参数改变, 所以轧花自动控制较难实现。国内外许多专家对其进行了研究, 随着控制理论的发展, 很多专家将智能控制引入到了棉花加工的自动控制中, 并取得了一定的效果^[1-8]。例如: 美国的 Holt G 等^[9]采用了田口鲁棒设计法, 优化了轧花机锯齿辊筒转速、喂花辊转速等, 以保持合适的皮棉纤维长度; 山东大学的张承慧等^[10]提出了利用模糊输出来进行 PID 参数的实时整定, 以适应复杂多变的轧花过程, 弥补了精确的轧花模型难以建立的缺点, 并应用于工业实践, 取了良好的效果; 上海理工大学的王少林等^[11]引入了智能专家系统控制策略用于轧花自动控制, 对轧花系统参数的多变具有较强的适应性。本文在对多种智能控制算法比较的基础上, 设计了自适应模糊免疫 PID 控制系统来对轧花过程进行自动控制, 充分利用了模糊控制、免疫控制和自适应 PID 控制的优点。该控制系统的 3 个 PID 参数通过模糊输出可根据实际加工状况进行自适应调节, 同时利用免疫反馈算法增加了影响系统快速响应的比例系数的串级控制。该控制系统已应用于山东大学与山东天鹅棉业机械股份有限公司联合开发的棉花加工智能控制中, 实践表明, 该系统既满足了轧花加工过程的复杂性, 又适应了棉花加工时具有可压缩性的特点。

收稿日期: 2013-04-12 修订日期: 2013-10-29

基金项目: 科技支疆专项计划资助项目 (2011ABO17); 济南“泉城学者”建设工程资助项目 (201109)

作者简介: 董全成 (1980—), 男, 河北献县人, 博士生, 主要从事机电一体化、智能检测与控制方面的研究。济南 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室/济南大学机械工程学院, 250061。

Email: d-q-c@163.com

*通信作者: 冯显英 (1965—), 男, 山东济宁人, 教授, 博士生导师, 主要从事数字化制造、智能检测与控制方面的研究。济南 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室, 250061。Email: fxying@sdu.edu.cn

1 轧花工作原理

轧花自动控制的关键是要保持合适的籽棉卷密度,通过实时调节喂花辊的转速,保持适当的籽棉喂入量,可使籽棉卷保持合适密度恒定不变。

轧花机的喂花辊为一对刺钉辊,通过旋转将籽棉自控箱内的棉花喂入轧花机,然后通过一个刺钉辊筒进行开松。刺钉辊筒将开松后的棉花送入籽棉清理装置,从清理装置出来的棉花通过拨棉刺辊和锯齿辊筒的共同作用,形成籽棉卷。锯齿辊筒通过锯齿勾拉带动籽棉卷同时旋转,以此对籽棉进行清理,排出棉籽,形成皮棉。

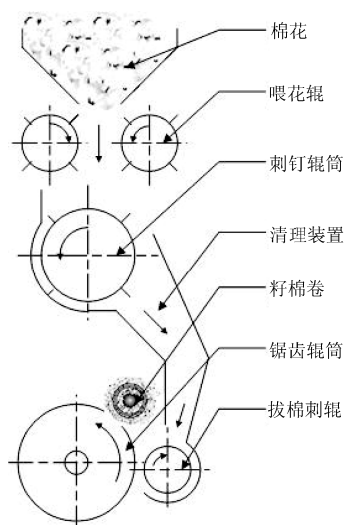


图 1 轧花机结构示意图

Fig.1 Structure schematic diagram of cotton-gin stand

由图 1 可以看出,籽棉卷的旋转是靠压在锯齿辊筒上产生重力和挤压力,锯齿辊筒才能带动籽棉卷旋转,放置籽棉卷的工作厢空间大小一定,所以籽棉卷的密度大小可通过压在锯齿辊筒上力的大小表现出来,即锯齿辊筒的负荷。

在轧花过程中,工作厢中的籽棉卷密度与锯齿辊筒负荷成正比关系。当棉卷密度增加时,棉卷对工作厢内壁及锯齿辊筒挤压力加大,锯齿辊筒的旋转阻力以及锯齿辊筒电机的负荷也会加大。当电机负荷增加,电机工作电流也会相应增加,即籽棉卷密度的大小,或者锯齿辊筒的电机负荷大小可通过电机电流大小来指示。所以轧花自动控制是根据检测到的锯齿辊筒电机的电流大小实时调节喂花辊转速,以此来保持合适的籽棉卷密度恒定。

2 控制系统工作原理

轧花控制系统由上位机、PLC、DA 模块、AD 模块、变频器、电流变送器等组成。电流变送器将检测到的锯齿辊筒电机电流值经 AD 模块发送给

PLC, PLC 再将电流值传送给上位机。在上位机中,将采集到的电流值跟所设定的电流值进行对比分析,然后用智能控制器的输出量对喂花辊进行转速控制。轧花控制系统组成框图如图 2 所示。

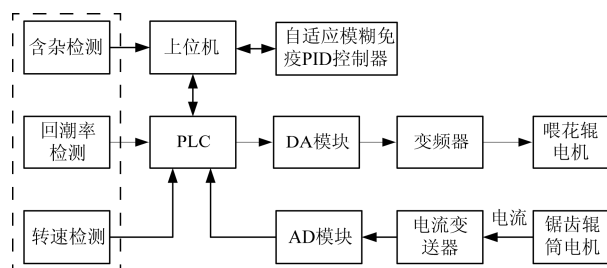


图 2 控制系统组成框图

Fig.2 Composition diagram of control system

轧花控制系统为棉花加工智能控制系统的子系统,图 2 虚线框中的检测部分为总控制系统提供检测数据,用于棉花加工生产线的整体控制。图 3 为所设计棉花加工智能控制系统。



图 3 棉花加工智能控制系统

Fig.3 Intelligent control system of cotton production

在控制系统的上位机中,设定合适的籽棉卷密度时锯齿辊筒电机的电流为 $u_s(k)$ 。电流变送器实时采集到的锯齿辊筒电机电流为 $u_i(k)$,通过 AD 模块和 PLC 将 $u_i(k)$ 传送给上位机。在上位机中,通过自适应模糊免疫 PID 等智能控制器计算出控制量 $u(k)$,将其传送到喂花辊电机变频器,进而调节喂花辊转速,保持合适的喂花量,以实现籽棉卷的恒定密度控制。

3 控制系统设计

轧花自动控制过程是一个具有延迟和惯性的系统。根据系统检测到的电流变化,从对喂花辊转速进行调节到籽棉卷密度发生变化有一定的延时时间和惯性,它可以近似简化为一个一阶延迟惯性环节。

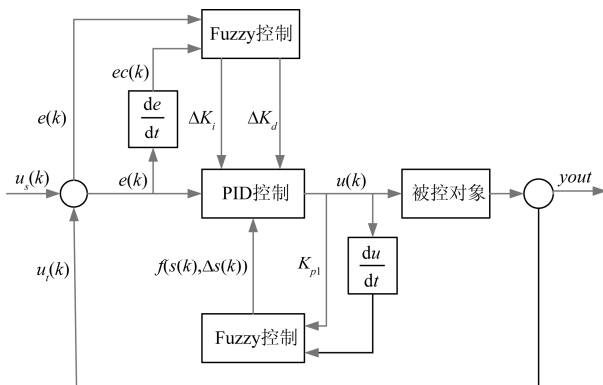
$$G(s) = \frac{I(s)}{n(s)} = e^{-\tau s} \cdot \frac{K}{Ts + 1} \quad (1)$$

式中, $G(s)$ 为锯齿辊筒电流与喂花辊转速的传递函

数; $I(s)$ 为锯齿辊筒电机电流函数; $n(s)$ 为喂花辊转速函数; K 为比例系数; T 为时间常数; τ 为延时时间, s 。

由于棉花具有可压缩性, 在简化的一阶控制系统中, K 、 T 2 个参数会跟随棉花的性状参数实时变化, 数学模型是可变的。因此控制系统不能完全依赖于轧花过程的数学模型进行自动控制。模糊控制、免疫控制等智能控制的发展, 为解决这种没有精确数学模型的系统提供了新的思路, 将模糊控制、免疫控制与传统的 PID 控制相结合构成自适应模糊免疫 PID 控制, 则是解决此类问题的一个新的探索。

自适应模糊免疫 PID 控制是以增量式 PID 控制为基础, 通过模糊控制和免疫控制对 PID 的 3 个参数进行实时在线整定。本文所设计控制系统可根据加工实际状况, 自动进行 PID 参数的自适应整定, 快速响应, 可满足轧花自动控制的需求。所设计的自适应模糊免疫 PID 控制系统, 可分解为模糊免疫 PID 控制和自适应模糊 PID 控制 2 部分。模糊免疫 PID 控制将模糊控制器作为免疫 PID 控制的免疫因子来调整比例系数 $K_p(k)$, 可达到快速响应的目的; 自适应模糊 PID 控制是运用模糊推理策略在线调整积分系数 $K_i(k)$ 和微分系数 $K_d(k)$, 以达到最佳控制效果。控制系统结构图如图 4 所示。为验证所设计控制系统的实用性, 本文分别设计了自适应模糊免疫 PID 控制、模糊免疫 PID 控制和自适应模糊 PID 控制 3 种控制系统用于比较。



注: $u_s(k)$ 、 $u_i(k)$ 为电流信号设定值、采样值; $e(k)$ 、 $ec(k)$ 为电流信号误差和电流信号误差变化率; ΔK_i 、 ΔK_d 为模糊控制器输出的 PID 微分调节量、积分调节量; K_{pi} , 即 $f(s(k), \Delta s(k))$ 为模糊免疫控制器输出的 PID 比例调节量; $u(k)$ 为控制量; $yout$ 为电流。

Note: $u_s(k)$, $u_i(k)$ were current signal setting value and sampling value; $e(k)$, $ec(k)$ were current signal error and error change ratio; ΔK_i , ΔK_d were PID integral and differential regulating variable from fuzzy controller; K_{pi} that was the same as $f(s(k), \Delta s(k))$ was PID proportion regulating variable from fuzzy immune controller; $u(k)$ was control variable; $yout$ was current.

图 4 控制系统结构图

Fig.4 Schematic structure of control system

3.1 模糊免疫 PID 控制

模糊免疫 PID 控制是运用免疫反馈原理构成的

非线性控制器, 它和模糊控制器相结合, 能够根据模糊控制器的输出自动调节 PID 的比例系数, 从而达到自适应调节的目的^[12-13]。它由基本的 P 型免疫反馈控制器, 二维模糊控制器和一个增量 PID 模块组成^[14-17]。

在免疫系统中, 假设第 k 代的抗原数量为 $\varepsilon(k)$, 由抗原刺激的 T_H 细胞输出为 $T_H(k)$, T_S 细胞对 B 细胞的影响为 $T_S(k)$, 则 B 细胞接收的总刺激 $S(k)$ 为

$$S(k) = T_H(k) - T_S(k) \quad (2)$$

式中, $T_H(k) = k_1 \varepsilon(k)$

$$T_S(k) = k_2 f(S(k), S(k) - S(k-1)) \varepsilon(k)$$

则有

$$S(k) = (k_1 - k_2 f(S(k), S(k) - S(k-1))) \varepsilon(k) \quad (3)$$

式中, k_1 为激励系数, k_2 为抑制系数。

把 $\varepsilon(k)$ 作为偏差 $e(k)$, B 细胞接受的总刺激 $S(k)$ 作为控制输入 $u(k)$, 根据比例控制器规则, 则可得如下 PID 反馈控制规律

$$u(k) = K(1 - \eta f(u(k), u(k) - u(k-1))) e(k) = K_{pi} e(k) \quad (4)$$

式中,

$$K_{pi} = K(1 - \eta f(u(k), u(k) - u(k-1)))$$

$K = k_1$, 为比例参数, 用于控制反应速度

$\eta = \frac{k_2}{k_1}$, 为抑制参数, 用于控制稳定效果

本文用模糊控制器对非线性函数 $f(u(k), u(k) - u(k-1))$ 逼近。模糊控制的 2 个输入量分别为免疫控制器的 2 个输出 $u(k)$ 和 $u(k) - u(k-1)$, 输出量则为 $f(u(k), u(k) - u(k-1))$ 函数。根据经验, 每个输入量用 2 个模糊集模糊化, 分别是 P 和 N, 输出量用 3 个模糊集模糊化, 分别是 P、Z、N, 隶属度定义在整个 $(-\infty, +\infty)$ 间。

令 $u(k) - u(k-1) = \Delta u(k)$, 按照“细胞接受的刺激越大, 则抑制能力越小”和“细胞接受的刺激越小, 则抑制能力越大”的人体免疫系统原则, 构造出以下 4 条模糊控制规则^[18-22]

1) 免疫应答处于促进阶段

If $u(k)$ and $\Delta u(k)$ is P then $f(u(k), \Delta u(k))$ is N.

2) 从促进阶段向抑制阶段转化

If $u(k)$ is P and $\Delta u(k)$ is N then $f(u(k), \Delta u(k))$ is Z.

3) 应答处于抑制阶段

If $u(k)$ is N and $\Delta u(k)$ is P then $f(u(k), \Delta u(k))$ is Z.

4) 从抑制阶段向稳定阶段转化

If $u(k)$ and $\Delta u(k)$ is N then $f(u(k), \Delta u(k))$ is P.

综上所述, 可得到模糊免疫 P 控制器

$$u(k) = u(k-1) + K_{p1}((e(k) - e(k-1)) + \frac{K_i}{K_p}e(k) + \frac{K_d}{K_p}(e(k) - 2 * e(k-1) + e(k-2))) \quad (5)$$

在轧花控制系统中，电流设定值为 $u_s(k)$ ，实测电流值为 $u_t(k)$ ，则有

$$e(k) = u_s(k) - u_t(k) \quad (6)$$

因为电流设定值 $u_s(k) = u_s(k-1) = u_s(k-2)$ ，所以控制量 $u(k)$ 为

$$u(k) = u(k-1) + K_{p1}((u_t(k-1) - u_t(k)) + \frac{K_i}{K_p}(u_s(k) - u_t(k)) + \frac{K_d}{K_p}(2u_t(k-1) - u_t(k) - u_t(k-2))) \quad (7)$$

此模糊免疫 P 控制器在模糊 PID 控制的基础上，从控制器输出到比例输入部分引入了一个闭环，它不仅仅能够通过模糊输出调节比例系数 K_p ，

也对积分系数 K_i 和微分系数 K_d 产生了影响。

3.2 自适应模糊 PID 控制

自适应模糊 PID 控制是以 PID 控制作为基础，以控制系统的偏差 $e(k)$ 和偏差变化率 $ec(k)$ 作为模糊控制器的输入，通过满足不同时刻的 $e(k)$ 和 $ec(k)$ ，利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改^[23-29]。本模糊控制器有 2 个输入分别为 $e(k)$ 和 $ec(k)$ ，2 个输出分别为积分系数 K_i 和微分系数 K_d 的变化量 $\Delta K_i(k)$ 、 $\Delta K_d(k)$ 。所设计控制器中， $e(k)$ 、 $ec(k)$ 、 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$ 的论域均为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ，其模糊子集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。根据轧花控制的实际操作经验，以及 $K_i(k)$ 和 $K_d(k)$ 2 个系数在控制系统中的所起作用，制定出了 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$ 的模糊控制规则表。模糊控制规则表如表 1 所示。

表 1 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$ 的模糊控制规则表
Table 1 Fuzzy control rule table for $\Delta K_i(k)$ and $\Delta K_d(k)$

		偏差变化率 $ec(k)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
偏差 $e(k)$	NB	NB/PS	NB/NS	NM/NB	NM/NB	NS/NB	ZO/NM	ZO/PS
	NM	NB/PS	NB/NS	NM/NB	NS/NM	NS/NM	ZO/NS	ZO/ZO
	NS	NB/ZO	NM/NS	NS/NM	NS/NM	ZO/NS	PS/NS	PS/ZO
	ZO	NM/ZO	NM/NS	NS/NS	ZO/NS	PS/NS	PM/NS	PM/ZO
	PS	NM/ZO	NS/ZO	ZO/ZO	PS/ZO	PS/ZO	PM/ZO	PB/ZO
	PM	ZO/PB	ZO/NS	PS/PS	PS/PS	PM/PS	PB/PS	PB/PB
	PB	ZO/PB	ZO/PM	PS/PM	PM/PM	PM/PS	PB/PS	PB/PB

注：NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB 分别表示负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。

Note: NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB correspond to negative big, negative middle, negative small, zero, positive small, positive middle, positive big, respectively.

根据模糊控制规则表，得出了 $e(k)$ 、 $ec(k)$ 、 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$ 的隶属度函数，参照隶属度函数，可以根据轧花过程中的棉花性状参数变化实时在线调整 $K_i(k)$ 和 $K_d(k)$ ，以达到稳定控制的目的。

$$K_i(k) = K_i + \Delta K_i(k) \quad (8)$$

$$K_d(k) = K_d + \Delta K_d(k) \quad (9)$$

3.3 自适应模糊免疫 PID 控制

自适应模糊免疫 PID 控制器中的 $K_i(k)$ 和 $K_d(k)$ 2 个系数由自适应模糊控制器输出，模糊免疫 P 控制器，专门用来控制比例系数 $K_{p1}(k)$ 的实时在线调整，从而构成一个串级控制结构。

$$u(k) = u(k-1) + K_{p1}((e(k) - e(k-1)) + \frac{K_i + \Delta K_i}{K_p}e(k) + \frac{K_d + \Delta K_d}{K_p}(e(k) - 2 * e(k-1) + e(k-2))) \quad (10)$$

应用于轧花控制系统中则有

$$u(k) = u(k-1) + K_{p1}((u_t(k-1) - u_t(k)) + \frac{K_i + \Delta K_i}{K_p}(u_s(k) - u_t(k)) + \frac{K_d + \Delta K_d}{K_p}(2u_t(k-1) - u_t(k) - u_t(k-2))) \quad (11)$$

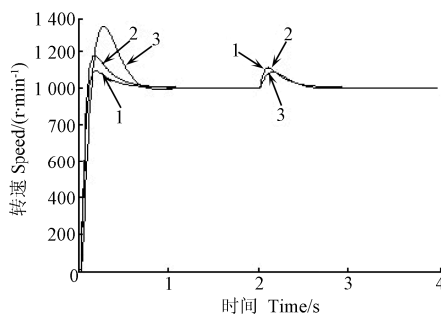
4 仿真结果及分析

在同一条件下，用 Matlab 对所设计的控制系统进行仿真，分别对自适应模糊免疫 PID、模糊免疫 PID 和自适应模糊 PID 3 种控制系统进行比较分析^[30]。采样时间为 4s，其中免疫控制中的 $K=8$ ， $\eta=0.1$ ，通过试凑法得出初始的 3 个 PID 参数为别为： $K_p=10$ ， $K_i=0.4$ ， $K_d=0.7$ 。设定喂花辊转速为 1 000 rpm，同时在 2 s 时加入一个干扰，以此来检测控制系统在喂花辊转速调节和抗干扰上的性能。

经过试验分析，得出轧花机的喂花辊转速与锯齿辊筒电流的传递函数为

$$G_1(s) = \frac{6}{3s+1} e^{-4s} \quad (12)$$

图 5 为以 $G_1(s)$ 作为数学模型时控制系统的响应曲线。由图 5 可以看出, 在上升时间上, 曲线 1 < 曲线 2 < 曲线 3, 但相差不大, 自适应模糊免疫 PID 的仅为 0.1 s, 为最优; 在超调量上, 曲线 1 超调量为 8%, 曲线 2 为 18%, 曲线 3 为 36%, 自适应模糊免疫 PID 在超调量上最低; 调节时间上自适应模糊免疫 PID 的为 0.6 s, 最优, 自适应模糊 PID 的为 1.2 s, 最差。在抗干扰性能上, 三者区别不大, 自适应模糊免疫 PID 与模糊免疫 PID 遇干扰后的峰值比自适应模糊 PID 要高, 但其调整恢复时间比其要短。结果表明自适应模糊免疫 PID 控制在动态性能上比其它 2 者具有优越性。



注: 曲线 1 为自适应模糊免疫 PID 的响应曲线; 曲线 2 为模糊免疫 PID 的响应曲线, 曲线 3 为自适应模糊 PID 的响应曲线。
Note: Curve one was response curve of adaptive fuzzy immune PID controller; Curve two was response curve of fuzzy immune PID controller; Curve three was response curve of adaptive fuzzy PID controller.

图 5 3 种控制系统的响应曲线

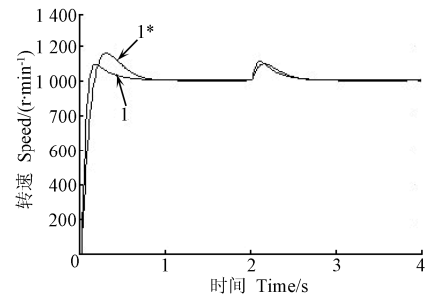
Fig.5 Response curves of three controllers

棉花在加工过程中, 具有可压缩性, 所以轧花自动控制的传递函数中参数是可变的, 根据实际加工经验, 可将式 $G_1(s)$ 的传递函数改变为

$$G_2(s) = \frac{5}{4s+1} e^{-4s} \quad (13)$$

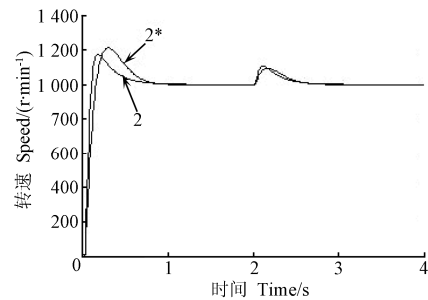
通过改变传递函数的参数来验证 3 个控制系统的鲁棒性。

图 6 为 3 种控制系统不同传递函数时的响应曲线。由图 6 可以看出, 传递函数参数改变后, 自适应模糊免疫 PID 和模糊免疫 PID 的上升时间发生了改变, 超调量有所增加, 但调整时间几乎没有变化, 而自适应模糊 PID 的上升时间和超调量也发生了改变, 但变化量较小, 其调整时间明显增加, 约为 $G_1(s)$ 时的 1.5 倍, 受参数变化的影响较大。由此可见, 增加了免疫反馈的 PID 控制, 对于数学模型的变化敏感度较小, 依赖性较弱, 在实际生产控制中, 不会因棉花的性状参数变化而受到较大的影响, 鲁棒性较强, 而自适应模糊 PID 则对模型变化较为敏感。



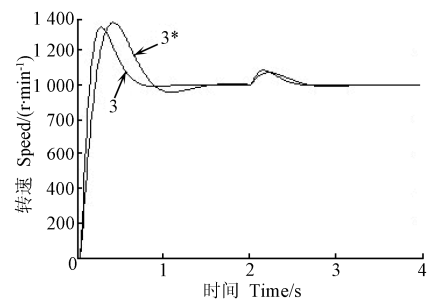
a. 自适应模糊免疫 PID 控制

a. Adaptive fuzzy immune PID controller



b. 模糊免疫 PID 控制

b. Fuzzy immune PID controller



c. 自适应模糊 PID 控制

c. Adaptive fuzzy PID controller

注: 曲线 1、2、3 分别为传递函数 $G_1(s)$ 时, 自适应模糊免疫 PID、模糊免疫 PID 和自适应模糊 PID 的响应曲线; 曲线 1*、2*、3* 分别为传递函数 $G_2(s)$ 时, 自适应模糊免疫 PID、模糊免疫 PID 和自适应模糊 PID 的响应曲线。
Note: Curve one, two and three were response curves of adaptive fuzzy immune PID controller, fuzzy immune PID controller and adaptive fuzzy PID controller respectively with function $G_1(s)$; Curve 1*, 2* and 3* were response curves of adaptive fuzzy immune PID controller, fuzzy immune PID controller and adaptive fuzzy PID controller respectively with function $G_2(s)$.

图 6 3 种控制系统不同传递函数时的响应曲线

Fig.6 Response curves of three controllers in different transfer functions

5 实测数据分析

棉花在实际加工过程中, 轧花机中籽棉卷密度受籽棉的回潮率影响较大。监测系统所采集到的数据分析发现, 同一批次的籽棉回潮率相差不大, 轧花控制系统根据电机电流所调节的喂花辊转速基本不变, 但不同批次的棉花回潮率却有较大的差异。表 2 为采用自适应模糊免疫 PID 控制系统时, 10 个批次的棉花在加工过程中所检测到的抽样回潮率, 以及相应延时 30 s 后的喂花辊转速和锯齿辊筒电机的电流数据。

表 2 轧花过程监测数据
Table 2 Data collected of cotton-gin process

批次 Number	回潮率 Moisture regain/%	转速 Speed/(r·min ⁻¹)	电流 Electricity/A
1	9.47	912	148
2	10.11	792	150
3	9.03	948	150
4	9.32	924	148
5	9.42	912	151
6	8.15	1032	152
7	10.29	780	149
8	8.51	984	149
9	8.34	1012	150
10	9.4	912	148

由表 2 数据可以看出, 轧花自动控制系统采用自适应模糊免疫 PID 控制器来控制喂花辊转速, 当回潮率发生变化时, 喂花辊转速迅速进行了自适应调整, 虽然锯齿辊筒电机电流有一定的波动, 但波动范围在 3% 以内, 不会对轧花生产的自动控制产生影响。

6 结 论

将免疫控制、模糊控制和 PID 控制相结合, 利用自适应模糊免疫 PID 控制实现轧花机的自动控制, 满足了轧花自动控制的复杂性和棉花性状参数易变的特点。结果表明: 自适应模糊免疫 PID 控制系统动态性能良好, 超调量仅为 8%, 上升时间和调节时间分别为 0.1 和 0.6 s, 均最小, 对单纯的自适应模糊 PID 控制和模糊免疫 PID 控制有明显的改善作用, 能取得较好的控制效果, 尤其在棉花加工控制等方面, 受参数变化影响较小, 鲁棒性较高。此控制系统在实践中也进行了检验, 已应用于轧花机的自动控制中。

【参 考 文 献】

- [1] 王雪, 丁天怀, 刘旭平. 基于遗传模糊神经网络算法的棉花轧花过程智能监控方法研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 204—208.
Wang Xue, Ding Tianhuai, Liu Xuping. Quality intelligent monitor controlling of cotton gin process based on genetic fuzzy neural network algorithms[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1998, 14(1): 204—208. (in Chinese with English abstract)
- [2] Gillum M N, Armijo C B. Computer-aided roller ginning[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1991, 34(2): 529—533.
- [3] Nagle H T, Irwin J D. Cotton gin efficiency monitoring system[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1976, 23(3): 218—222.
- [4] Gillum M N. Roller gin stand feed control by minicomputer[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1983, 26(6): 1837—1841.
- [5] Mcalister D D. Gin process control and the resultant textile yarn and knit fabric quality[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(6): 761—764.
- [6] Gvili M. Real time lint properties measurement, moisture and flow helps adjust gin operating parameters for improved performance[R]. USA: National Cotton Council, 2005, 348—352.
- [7] Pelletier M G, Steele D. Real-time sensing of lint quality[R]. USA: National Cotton Council, 2006, 243—248.
- [8] Murali S, Lieberman M A, Prasad N R. Automation in cotton ginning[J]. International Journal of Intelligent systems, 2004, 19(2): 111—129.
- [9] Holt G, Laird W. Screen for optimal operating parameters for the powered roll gin stand using taguchi's robust design[J]. Engineering and Ginning, 2007, 11(1): 79—90.
- [10] 张承慧, 王兰菊, 张承智. 轧花机变频调速参数自调整模糊控制系统[J]. 农业机械学报, 1997, 28(3): 47—51.
Zhang Chenghui, Wang Lanju, Zhang Chengzhi. A self-tuning fuzzy control system for variable-frequency variable-speed drive for cotton-gin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 1997, 28(3): 47—51. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王少林, 茅忠明, 伍贻文. 棉花加工自动控制系统的设计[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1): 54—56, 59.
Wang Shaolin, Mao Zhongming, Wu Yiwen. Design of an automatic control system for cotton processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 54—56, 59. (in Chinese with English abstract)
- [12] 周国雄, 蒋辉平. 基于分层结构模糊免疫 PID 的孵化过程控制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 167—170.
Zhou Guoxiong, Jiang Huiping. Fuzzy-immune PID algorithm with hierarchical structure for incubation and hatching process control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(12): 167—170. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王学伦, 程志, 付磊, 等. 伺服控制系统中模糊免疫 PID 控制器设计[J]. 微特电机, 2011, 39(4): 58—61.
Wang Xuelun, Cheng Zhi, Fu Lei, et al. Design of fuzzy-immune-PID controller in servo control system[J]. Small & Special Electrical Machines, 2011, 39(4): 58—61. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王斌, 李爱平. 模糊免疫非线性 PID 控制的优化设计[J]. 控制工程, 2007, 14(S1): 81—83, 95.
Wang Bin, Li Aiping. Optimal design of fuzzy immune nonlinear PID control[J]. Control Engineering of China, 2007, 14(S1): 81—83, 95. (in Chinese with English abstract)
- [15] 沈刚, 丛大成, 韩俊伟. 模糊免疫 PID 控制在淀粉生产线中的应用[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 109—112, 118.

- Shen Gang, Cong Dacheng, Han Junwei. Application of fuzzy immune PID control in starch production line[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2008, 39(10): 109—112, 118. (in Chinese with English abstract)
- [16] 何景峰, 沈刚, 丛大成, 等. 模糊免疫 PID 控制在淀粉浓度控制中的应用[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 137—142.
- He Jingfeng, Shen Gang, Cong Dacheng, et al. Application of fuzzy immune PID control in density of starch production-line[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 137—142. (in Chinese with English abstract)
- [17] 冯冬青, 张志娟. 预估模糊免疫 PID 在房间温度控制中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(19): 4479—4482.
- Feng Dongqing, Zhang Zhijuan. Application of predictive fuzzy immune PID in control of room's temperature[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(19): 4479—4482. (in Chinese with English abstract)
- [18] 苏建元. 免疫控制算法与应用研究[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2005, 5(4): 29—33.
- Su Jianyuan. Study on immune control algorithm and application[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2005, 5(4): 29—33. (in Chinese with English abstract)
- [19] Takabashi K, Yamada T. Application of an immune feedback mechanism to control system[J]. JSME International Journal Series C, 1998, 41(2): 184—191.
- [20] Perelson A S. Immune network theory[J]. Immunological Reviews, 1989, 110(1): 5—36.
- [21] 袁桂丽. 人工免疫系统及其在电站控制中的应用研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2010.
- Yuan Guili. Artificial Immune System and Its Application Research for Power Plant Control[D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2010. (in Chinese with English abstract)
- [22] Farmer J D, Packard N H. The immune -system, adaptation and machine learning[J]. Physica, 1986, 22(1): 187—204.
- [23] 匡迎春, 沈岳, 段建南, 等. 模糊控制在水稻节水自动灌溉中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 18—21.
- Kuang Yingchun, Shen Yue, Duan Jiannan, et al. Application of fuzzy control to automatic water-saving irrigation of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 18—21. (in Chinese with English abstract)
- [24] 宋乐鹏, 董志明, 向李娟, 等. 变量喷雾流量阀的变论域自适应模糊 PID 控制[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 114—118.
- Song Lepeng, Dong Zhiming, Xiang Lijuan, et al. Variable universe adaptive fuzzy PID control of spray flow valve[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(11): 114—118. (in Chinese with English abstract)
- [25] 金立生, 赵丁选, 丁德胜, 等. 液压挖掘机节能参数自适应模糊 PID 控制器研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 18—21.
- Jin Lisheng, Zhao Dingxuan, Ding Desheng, et al. Energy-saving PID fuzzy controller with self-tuning parameters of hydraulic excavator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(6): 18—21. (in Chinese with English abstract)
- [26] 宋淑然, 阮耀灿, 洪添胜, 等. 果园管道喷雾系统药液压力的自整定模糊 PID 控制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 157—161.
- Song Shuran, Ruan Yaocan, Hong Tiansheng, et al. Self-adjustable fuzzy PID control for solution pressure of pipeline spray system in orchard[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(6): 157—161. (in Chinese with English abstract)
- [27] 丁珠玉, 陈建, 李云武, 等. 基于模糊 PID 的花椒烘房温度自动控制系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(S1): 32—36.
- Ding Zhuyu, Chen Jian, Li Yunwu, et al. Automatic temperature control system of zanthoxylum drying room based on fuzzy-PID[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(S1): 32—36. (in Chinese with English abstract)
- [28] 刘志壮, 洪添胜, 李震, 等. 基于模糊控制的流量控制阀仿真[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 83—86.
- Liu Zhizhuang, Hong Tiansheng, Li Zhen, et al. Simulation of flow control valve based on fuzzy control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(2): 83—86. (in Chinese with English abstract)
- [29] 郭伟斌, 陈勇. 基于模糊控制的除草机器人自主导航[J]. 机器人, 2010, 32(2): 204—209.
- Guo Weibin, Chen Yong. Autonomous navigation for a weeding robot[J]. Autonomous Robots, 2010, 32(2): 204—209. (in Chinese with English abstract)
- [30] 仇成群, 刘成林, 沈法华, 等. 基于 Matlab 和模糊 PID 的汽车巡航控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 197—202.
- Qiu Chengqun, Liu Chenglin, Shen Fahua, et al. Design of automobile cruise control system based on Matlab and Fuzzy PID[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 197—202. (in Chinese with English abstract)

Cotton-gin automation by using adaptive fuzzy immune PID controller

Dong Quancheng^{1,2}, Feng Xianying^{1*}

(1. Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, Ministry of Education, Shandong University, Ji'nan 250061, China; 2. School of Mechanical Engineering, University of Jinan, Ji'nan, 250022, China)

Abstract: The cotton-gin automation is an important component in the cotton production process and also can affect cotton production quality, output, and profit etc. If keeping a constant seed cotton feed rate, a jam would appeared likely between the rotary knife and ribs of the cotton-gin stand when the moisture regain or seed cotton grade changed. In this paper, the automatic control system was designed that monitored and adjusted the seed cotton feed rate to produce a pre-selected load level on the cotton-gin stand rotary knife while automatically compensating for differences in the seed cotton such as trash and moisture regain content. In this automatic control system, an electrical transducer that is part of the automatic control system measured the input signal from a motor driving the rotary knife, and then proportionately converted and sent this signal as a direct current to the PLC by the AD module. Then the PLC sent the numerical signal to the upper computer. The intelligent controller in upper computer output the signal to the frequency changer that operated the rotational speed of feeding-cotton-rollers when the load changed on the cotton-gin stand rotary knife. According to the ginning characteristic, the adaptive fuzzy immune PID controller had been designed as the intelligent controller. And it was used to control the rotational speed of feeding-cotton-rollers with the purpose of suitable seed cotton feed rate. It was composed of the fuzzy controller, immune controller, and the traditional PID controller, and attempted to keep the system stable by adjusting the PID parameter in real time. So in this paper, three intelligent controllers (adaptive fuzzy PID controller, immune fuzzy controller, and adaptive fuzzy immune PID controller) were designed and analyzed respectively to compare the advantages and disadvantages of the three controllers. The modeling and simulation analysis in the Matlab were carried on, as well as the operational data was analyzed in actually using the process of the cotton-gin stand. The simulation results showed that the adaptive fuzzy immune PID controller was effective, feasible, and was superior to the other two intelligent controllers in stability, robustness, and especially in system response. The results of analyzing the operational data showed that the adaptive fuzzy immune PID controller could properly control the seed cotton feed rate to keep the cotton-gin stand working continuously without jam. In sum, by the use of the automatic control system with the adaptive fuzzy immune PID controller, the seed cotton feed rate could be controlled in real time to keep a suitable seed-cotton-roll density for the cotton-gin automation objective, when the moisture regain and seed cotton grade changed.

Key words: cotton, fuzzy control, processing, cotton-gin, immune control, PID

(责任编辑: 刘丽英)