

文章编号 : 0253-9721(2006)11-0063-04

基于鲁棒 H_{∞} 多步预测的染色控制

周晓慧, 薛安克, 王俊宏, 鲁仁全

(杭州电子科技大学 信息与控制研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要 提出一种基于模型算法多步预测的鲁棒 H_{∞} 控制方法,并用该法控制染色机的压力、温度和转速,改变前处理后坯布性能参数不稳定导致染色机生产的压力、温度和转速完全依靠工程师凭借经验确定的状况。建立预测模型和基于模型算法多步预测的鲁棒 H_{∞} 控制,根据在线采集的压力、温度、转速和半成品的色度值,调整压力、温度和转速,并通过数值仿真例子验证了该方法。

关键词 染色;不确定颜色模型;鲁棒;预测;控制

中图分类号:TS193.3 文献标识码:A

Dyeing control based on robust H_{∞} multi-step prediction

ZHOU Xiao-hui, XUE An-ke, WANG Jun-hong, LU Ren-quan

(Institute of Information and Control, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract The robust multi-step prediction control method based on an uncertain color model in dyeing process is presented to control the pressure, temperature and speed of the dyeing machine, previously, due to the unstable parameters of the grey fabric after pretreatment, its control was utterly depended on the engineers' experience. Having developed the robust multi-step prediction control method, the pressure, temperature and speed of the dyeing machine can be adjusted according to the acquired data by on-line detection of the pressure, temperature, and speed of the machine and the color value of the semi-finished goods. Examples were also given to verify the result of this approach.

Key words dyeing; uncertain color model; robust; prediction; control

传统的染色工艺存在以下缺点:前处理后坯布的性能参数不稳定,染色工序各环节的重演性差,同样的配方、压力、温度、转速第一次和第二次生产会出现颜色的偏差,导致染色的工艺参数难以控制。目前,对于传统的染色生产线,染色各环节只是利用微处理器进行控制^[1],还没有先进的控制方法,完全依赖技术人员的经验来确定染色机生产的压力、温度、转速。产品出现颜色偏差,一般要调整 3 次左右,因此,使生产成本增加,生产周期加长,影响客户满意度。

在日本、意大利等发达国家,印染机械自动化程度相当高。在生产过程中,系统从坯布进入加工开始内部的自动控制就能由识别条形码进行标识,各

个加工环节均有自动控制系统进行实时测试监控。基于以上的工艺和自动化水平,在染色环节,国外一般使用 2 种方法来实现颜色达标:一种是前处理后坯布的性能参数稳定,根据人工经验只要调整 1 次染色机的压力、染色温度和转速,就可使颜色达标;另一种方法是全部实现在线实时、闭环的控制,在染色后的坯布上安装传感器阵列,检测经染色机染色后半成品的色度值,如果测得的色度值不符合要求,再调整压力、染色温度、转速,直至颜色达标,控制算法一般是用神经网络的方法。

为了减少不确定因素对颜色的影响,本文提出了一种基于模型算法多步预测的鲁棒 H_{∞} 控制染色机的生产压力、转速、温度的在线校正方法,该方法

收稿日期:2005-11-22 修回日期:2006-05-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60434020);浙江省科技厅资助项目(2005c11029-01)

作者简介:周晓慧(1963-),男,副教授,硕士。主要从事智能控制的研究。

弥补了传统控制器的不足,保证闭环系统的稳定性,同时满足 H_∞ 性能,使得性能指标不超过给定的衰减度。引入预测控制的基本原理,首先预测系统未来的输出状态,然后确定当前时刻的控制动作,即先预测后控制,整个系统具有预见性,明显优于先有反馈信息,再产生控制动作的经典反馈控制系统。

1 优化控制系统的架构

由于染色机生产时压力、温度和转速的求解没有确定的算法,专家的经验难以归纳成规则和一般知识,因此,完全基于规则的专家系统很难建立;但是,由于印染企业已经积累了大量的生产案例和经验,为采用基于范例和规则的混合推理系统提供了条件。用基于案例和规则的混合推理系统来求解染色机生产的初始压力、温度和转速,再通过基于模型算法多步预测的鲁棒 H_∞ 在线校正染色机台的压力、车速和温度,从而使颜色达到要求。图 1 是优化控制系统的逻辑架构。

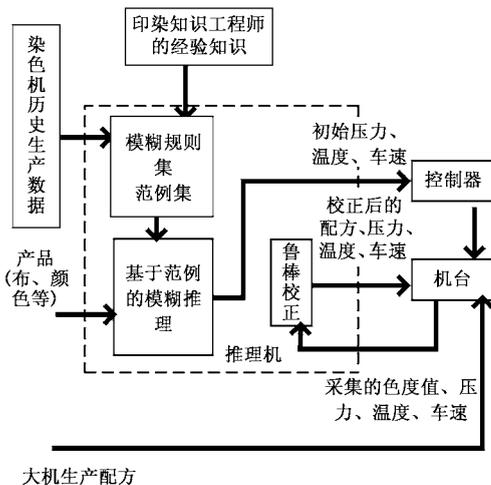


图 1 优化控制系统的逻辑架构

首先,把大量的染色机生产实例形成范例,把技术人员控制染色机生产的压力、温度和转速的经验知识总结为规则,通过基于范例和规则的混合推理获得染色机生产的初始压力、温度和转速,然后,通过在线采集的压力、温度、转速和半成品的色度值作为鲁棒 H_∞ 控制器的输入,由鲁棒 H_∞ 控制器校正压力、温度和转速,再把压力、温度和转速输入到工控机,由组态软件去控制压力、温度和转速。本文主要介绍基于模型算法多步预测的鲁棒 H_∞ 在线校正方法。

2 染色机压力、转速、温度的校正方法

根据设定工艺参数进行生产,若在线测得的色度值达不到要求,根据烘干后半成品的左、中、右的色差,车速方向连续批次的色差,由基于模型算法的鲁棒 H_∞ 多步预测控制方法在线修正机台生产时温度、压力、转速。从而解决生产机台的控制参数,提高染色的精度,减少次品,节约染化料、能源等。

由于在整个染色工艺流程中存在很多不确定因素,比如同一规格不同厂家生产的坯布经前处理后得到的性能参数也不一样,导致了染色时颜色的不确定。为了保持色度值的稳定性并控制在一定精度范围内,传统的控制方法,比如 PID、PLC 控制已不能满足工艺的要求,必须使用先进的控制方法;针对本工艺的特点,设计了基于模型算法的多步预测鲁棒 H_∞ 控制器。

2.1 建立预测模型

以机台温度、压力、转速为输入数据,以在线采集的光谱色度值作为输出数据,以过程辨识理论为基础^[2],建立基于最小二乘法的离散差分形式的不确定受控自回归滑动平均模型(CARMA),描述如下:

$$[\hat{A}(z^{-1}) + \Delta\hat{A}(z^{-1})]y(k) = [\hat{B}(z^{-1}) + \Delta\hat{B}(z^{-1})]u(k) + [\hat{C}(z^{-1}) + \Delta\hat{C}(z^{-1})]\xi(k) \quad (1)$$

其中: $y(k) = [y_1(k), y_2(k), \dots, y_n(k)]^T$, $y_i(k) \in R^{n \times 1}$, $i = 1, \dots, n$, 表示某一种坯布不同颜色的色度值; $u(k) = [u_1(k), u_2(k), u_3(k)]^T$, $u_1(k) \in R^{m \times 1}$ 表示某一种坯布生产机台的温度, $u_2(k) \in R^{m \times 1}$ 表示某一种坯布生产机台的压力, $u_3(k) \in R^{m \times 1}$ 表示某一种坯布生产机台的转速, $\xi(k)$ 为未知不可测的误差白噪声干扰; $\hat{A}(z^{-1})$ 、 $\hat{B}(z^{-1})$ 与 $\hat{C}(z^{-1})$ 表示通过辨识得到的已知的实参数, $\Delta\hat{A}(z^{-1})$ 、 $\Delta\hat{B}(z^{-1})$ 与 $\Delta\hat{C}(z^{-1})$ 表示范数有界的参数的不确定性,其中:

$$\hat{A}(z^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^{n_a} \hat{a}_i z^{-i}$$

$$\hat{B}(z^{-1}) = \sum_{i=1}^{n_b} \hat{b}_i z^{-i}$$

$$\hat{C}(z^{-1}) = \sum_{i=1}^{n_c} \hat{c}_i z^{-i}$$

$$\Delta\hat{A}(z^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^{n_a} \Delta\hat{a}_i z^{-i}$$

$$\Delta \hat{B}(z^{-1}) = \sum_{i=1}^{n_b} \Delta \hat{b}_i z^{-i}$$

$$\Delta \hat{C}(z^{-1}) = \sum_{i=1}^{n_c} \Delta \hat{c}_i z^{-i}$$

且

$$\| \Delta \hat{a}_i \| < g_1 f(k) \tau_1, \| \Delta \hat{b}_i \| < g_2 f(k) \tau_2,$$

$$\| \Delta \hat{c}_i \| < g_3 f(k) \tau_3$$

其中: $g_1, g_2, g_3, \tau_1, \tau_2$ 和 τ_3 为已知可测的实参数, $f(k)$ 具有 Lebesgue 可测元的不确定性, 满足

$$f^T(k) f(k) \leq 1$$

上述染色控制模型是一个参数最小化模型, 为了满足预测控制算法的需要, 必须要把它转化成基于脉冲响应传递函数的不确定非参数化模型^[3], 其转换公式为

$$z^{-1} [\hat{g}(z^{-1}) + \Delta \hat{g}(z^{-1})] = z^{-1} \frac{\hat{B}(z^{-1}) + \Delta \hat{B}(z^{-1})}{\hat{A}(z^{-1}) + \Delta \hat{A}(z^{-1})} \quad (2)$$

2.2 模型算法多步预测的鲁棒 H_∞ 控制

由于控制对象存在不确定性, 通过上述建立的不确定非参数化模型, 建立基于模型的多步预测控制算法, 得出色度的预测值, 通过与实际の色度参考值比较, 建立输出预测误差和控制量加权的 H_∞ 二次型性能指标^[4], 描述如下:

$$J = \sum_{i=1}^{\infty} q_i [y_p(k+i) - y_r(k+i)]^2 + \sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j [u(k+j-1)]^2 \quad (3)$$

其中: $y_p = [y_{1p}(k), y_{2p}(k), \dots, y_{np}(k)]^T, y_{ip}(k) \in R^{n \times 1}, i=1, 2, \dots, n$, 表示某一种坯布色度的预测值; y_r 表示色度的参考值(小样的色度值); q_i, λ_j 表示多步预测输出误差和控制量的加权系数。

对于指定衰减度 γ , 使得 $J < \gamma$, 再通过鲁棒 H_∞ 控制算法^[5], 得出鲁棒 H_∞ 控制率 $u(k)$, 最终获得最好的色度值, 色度具有渐近稳定性, 通过计算得到的最优控制律为

$$\Delta u(k+i-1) = [(A + \Delta A)^T Q (A + \Delta A) + \lambda]^{-1} \cdot (A + \Delta A)^T Q [Y_r(k+1) - A_0 U(k-1) - h e(k)] \quad (4)$$

其中 $Q = \text{diag}\{ q_1, q_2, \dots, q_n \}, \lambda = \text{diag}\{ \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \}, Y_r(k+1) = [y_r(k+1), y_r(k+2), \dots, y_r(k+p)]^T$
 $U(k-1) = [u(k-N+1), u(k-N+2), \dots, u(k-1)]^T$

式中: $e(k)$ 表示预测模型误差, p 表示预测时域, N 表示控制时域。

3 数值例子

选用源于浙江省美欣达印染集团染色车间第一号染色机组染色过程控制系统, 通过对染色过程基于过程辨识方法及染色经验, 进行参数估计, 得到其参数矩阵描述如下:

$$\hat{a}_i(k) = 2(k-1)^2 - 2, i=1, \dots, n_a;$$

$$\hat{b}_i(k) = 4k - 2, i=1, \dots, n_b;$$

$$\hat{c}_i(k) = 1, i=1, \dots, n_c, g_{1i} = 1, i=1, \dots, n_a;$$

$$g_{2i} = 0.5, i=1, \dots, n_b, g_{3i} = 0.4, i=1, \dots, n_c;$$

$$\tau_i = 0.5i^2 - i + 1, i=1, 2, \dots, n_a;$$

$$\tau_{2i} = 0.01i - 0.76, i=1, 2, \dots, n_b;$$

$$\tau_{3i} = 0.045, i=1, 2, \dots, n_c;$$

$$y_r(k) = 0.3e^k - 2$$

根据工程经验, 取

$$Q = \text{diag}\{ 0.1, 0.2, \dots, n \times 10^{-1} \},$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.8 & \dots & 2^m \times 10^{-1} \\ 0 & 0.4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

在 MatLab/Robust predictive control toolbox 下编写 M 文件, 根据式(4)得出的基于模型算法多步预测的鲁棒 H_∞ 控制算法, 得到最优控制律

$$u(k) = \begin{bmatrix} 0.15e^{k-1} - 0.26(k-1)^2 + 1 \\ 0.24k + 0.36e^{k-1} \\ 50 \end{bmatrix}$$

式中: u_{1k} 为生产的最优温度; u_{2k} 为生产的最优压力; u_{3k} 为生产的最优转速。

4 结 论

为了保持染色后半成品色度值的稳定性, 控制其在一定精度范围内, 传统的 PID、PLC 控制已不能满足工艺的要求。为了减小不确定因素对颜色的影响, 提出了一个基于模型算法多步预测的鲁棒 H_∞ 控制的染色机的压力、转速、温度的在线校正方法, 弥补了传统控制器的不足, 确保闭环系统的稳定性, 同时满足 H_∞ 性能, 使性能指标不超过给定的衰减度。

FZXB

(下转第 69 页)

(上接第 65 页)

参考文献:

- [1] Smith B, Lu J. Improving computer control of batch dyeing operations[J]. American Dyestuff Reporter, 1993, (9) : 17 - 35 .
- [2] Krstic M, Deng H. Stabilization of nonlinear uncertain systems[M]. London : Springer-Verlag, 1998 . 37 .
- [3] Cohen D S. Mathematical aspects of chemical and biochemical problems and quantum chemistry[A]. In : SIAM AMS Proc[C]. 1974 . 323 - 335 .
- [4] Lu R Q, Su H Y, Chu J. Robust H_{∞} control for a class of uncertain nonlinear singular systems with time-delays[J]. Acta Automatica Sinica, 2004, 30 : 920 - 928 .
- [5] Lam J, Xu S, Zhang L. Robust D-stability analysis for uncertain discrete singular systems with state delay[J]. IEEE Trans Circuits Syst, 2002, (49) : 551 - 555 .