

文献编号:1000-582X(2003)03-0122-05

最小方差自适应控制在并条机 自调匀整中的应用

陈瑞川¹, 陈国聪²

(1. 重庆大学计算机学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400044)

摘要:首先从力学和统计学的角度分析了并条机在棉条的并条过程中引起测量罗拉位移和振动的变化的不确定因素。系统的随机性和非线性影响了传统的自调匀整装置的控制效果,采用最小方差自适应控制技术是解决受控系统不确定性的理想方案。接着介绍了采用广义最小二乘法得到系统识别模型的原理和方法,并介绍了最小方差自适应调节器的设计步骤及计算机仿真的方法。试运行表明,系统的输出跟随系统输入的性能得到了较好的改善,系统对随机干扰的抑制能力得到了增强,自调匀整的效果得到了明显的改善。

关键词:自调匀整; 系统辨识; 自适应控制; 计算机仿真

中图分类号: TP391

文献标识码: A

1 概述

并条机是重要的纺织机械,棉花要经过梳棉、并条以后才能纺纱。并条的质量对成纱的质量影响很大。国内外已普遍采用自调匀整装置,保证输出棉条的粗细均匀一致。典型的系统结构图见1^[1]。

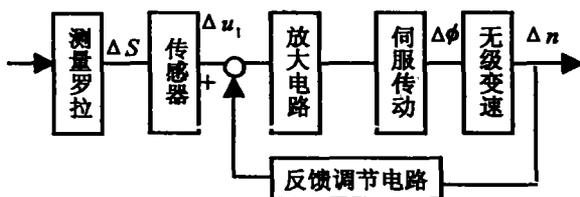


图1 典型的自调匀整系统

当棉条线密度变化时,测量罗拉的起伏 ΔS 通过传感器变为电信号 Δu_1 ,经放大驱动伺服机构,形成与棉条线密度变化成比例的角度变化信号 $\Delta\phi$,由此调节无级变速装置,控制进棉和出棉比变化 Δn 。同时反馈给放大器,形成一个闭环系统,从而达到匀整输出棉条线密度的作用。

由于棉条的粗细不匀是一种复杂不规则的波动,它由随机性的成份和具有统计性的周期成份组合而

成。可以认为棉条的断面粗细不匀的变化是一个平稳随机过程。测量罗拉在测量过程中所产生的位移,也是正态平稳随机过程;从力学角度看,对于测量罗拉的低频振动(棉条的长片段不匀)和中高频振动(接近有效匀整长度时)对传感器的影响作用是不同的。测量罗拉受迫振动的频率将会影响测量罗拉的位移量和棉条线密度之间的线性关系;此外,测量罗拉上的加压弹簧的压力负载也是波动的,这也将带来测量误差。以上这些系统的随机性、非线性、时变性等都是些不确定性的因素,它们会直接影响匀整控制的效果。要使自调匀整装置真正达到匀整的目的,必须要克服上述的系统不确定因素的影响。经过调研,反复论证,笔者先后提出多种控制方案,其中应用自适应控制技术的方案得到多数人的支持。

把上述自调匀整系统中的误差因素抽象化,可以得出以下的普遍结论,即任何受控系统都存在着不确定性。这是因为:①受控系统总是或多或少地具有非线性、时变性、分布性和随机性,所以不能只依靠理论分析确定它的动态特性,必须辅以一定的试验才能获得它的某种近似的数学模型。②环境对过程的影响是

• 收稿日期:2002-12-14

作者简介:陈瑞川(1982-),浙江瑞安人,重庆大学本科生,从事控制模型和控制算法的研究。

不可避免的,通常可等效地用许多不可测的扰动来表示。③过程本身的特性在运行中也常常会发生变化,产生动态漂移现象。自适应控制能解决受控系统的这些不确定性。

自适应控制技术发展到现在阶段,已有多种类型的系统。最小方差自适应控制系统是在理论研究和实际应用方面都比较成熟的一种。随机最优控制理论是这种控制系统的理论基础^[2]。

最小方差调节的基本思想是:由于系统中信息的传递存在着 d 步时滞,使得现时的控制作用 $u(t)$ 要滞后 d 个采样周期才能对输出产生影响。因此,要使输出误差方差最小,就必须要对输出量提前 d 步进行预测,然后根据预测值来计算适当的调节作用 $u(t)$,以补偿由于随机扰动在 $(t+d)$ 时刻对输出的影响。通过不断地预测和调节,始终保持输出量的稳态方差为最小。

2 系统辨识

要对一个系统实行最小方差自适应控制,首先需要知道被控对象的结构和参数,也就是要首先获得系统的数学模型。常用的方法是采用单输入单输出的广义最小二乘法辨识系统,以得到系统的可控自回滑动平均模型(CARMA)^[3]。当被测系统存在随机干扰或测量误差时,利用广义最小二乘法估计来辨识系统模型的参数,可得到无偏的估计^[4]。系统方框图见图 2。

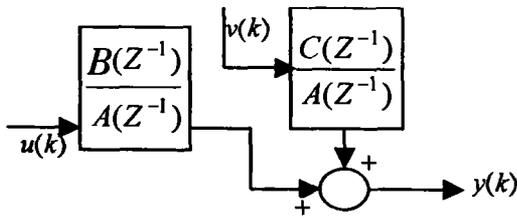


图 2 待辨识的并条机控制系统结构图

其中:

$u(k)$ ——系统输入(由计算机给出的转速)

$B(Z^{-1})/A(Z^{-1})$ ——要求解的系统离散传递函数

$V(k)$ ——白噪声序列(系统随机扰动)

$C(Z^{-1})/A(Z^{-1})$ ——要求解的白噪声传递函数

$Y(k)$ ——系统输出(棉条线密度)

系统辨识的任务是根据 $u(k)$ 和 $y(k)$ 来求解系统传递函数和白噪声传递函数。

由系统框图可得到:

$$y(k) = \frac{B(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}u(k) + \frac{C(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}V(k)$$

即:

$$A(Z^{-1})y(k) = B(Z^{-1})u(k) + C(Z^{-1})V(k) \quad (1)$$

$$\text{令: } D(Z^{-1}) = \frac{1}{C(Z^{-1})}$$

$$\bar{y}(k) = D(Z^{-1})y(k)$$

$$\bar{u}(k) = D(Z^{-1})u(k)$$

则:

$$A(Z^{-1})\bar{y}(k) = B(Z^{-1})\bar{u}(k) + V(k) \quad (2)$$

这里只要求得 $D(Z^{-1})$, 则可得到 $\bar{y}(k)$ 和 $\bar{u}(k)$, 再利用最小二乘法即可估计出(2)式的 $A(Z^{-1})$ 和 $B(Z^{-1})$ 的参数, 而 $D(Z^{-1})$ 可由迭代法求解。

用有限项近似 $D(Z^{-1})$:

$$D(Z^{-1}) = 1 + d_1(Z^{-1}) + \dots + d_q(Z^{-q})$$

并设:

$$A(Z^{-1}) = a_0 + a_1(Z^{-1}) + \dots + a_n(Z^{-n})$$

$$B(Z^{-1}) = b_0 + b_1(Z^{-1}) + \dots + b_n(Z^{-n})$$

$$\text{令 } e(k) = C(Z^{-1})V(k) \quad (3)$$

则(1)式变为:

$$A(Z^{-1})y(k) = B(Z^{-1})u(k) + e(k) \quad (4)$$

(4)式中, $y(k), u(k)$ 为已知数据, 可先用最小二乘法估计出 $A(Z^{-1}), B(Z^{-1})$ 的参数 a_i, b_i , 由(4)式可求得 $e(k)$, 根据 $e(k)$ 和(3)式, 再利用最小二乘法求得 $D(Z^{-1})$ 的参数, 并算出 $y(k), u(k)$, 再代入(2)式, 再次利用最小二乘法估计出新的参数估计值 $a_i, b_i (i=0, \dots, n)$, 如此反复迭代, 直至 a_i, b_i 收敛到近似不变为止。

得到的 CARMA 模型需要进行检验, 检验残差是否符合要求。

残差为

$$\varepsilon(k) = A(Z^{-1})D(Z^{-1})y(k) - B(Z^{-1})D(Z^{-1})u(k)$$

如果 $\{\varepsilon(k)\}$ 是近似的零均值白噪声序列, 则上述模型是较好的模型^[5]。在离线方式下, 根据样本数据尽量求得较好的模型。

3 最小方差调节系统设计及计算机仿真

为简单起见, 先考虑图 3 系统, 以求出 $R(Z^{-1})$ 。 $R(Z^{-1})$ 是最小方差自适应调节器的离散传递函数(最小方差调节律)^[6]。

$$y(k) = \frac{B(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}u(k-1) + \frac{v(k)}{D(Z^{-1})A(Z^{-1})}$$

$y(k)$ 的一步预报值为:

$$y(k+1) = \frac{B(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}u(k) + \frac{1}{D(Z^{-1})A(Z^{-1})}V(k+1) = \frac{B(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}u(k) + (1 + \frac{1 - D(Z^{-1})A(Z^{-1})}{D(Z^{-1})A(Z^{-1})})V(k+1) = \frac{B(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}u(k) + V(k+1) + \frac{1 - D(Z^{-1})A(Z^{-1})Z}{D(Z^{-1})A(Z^{-1})}V(k) \quad (5)$$

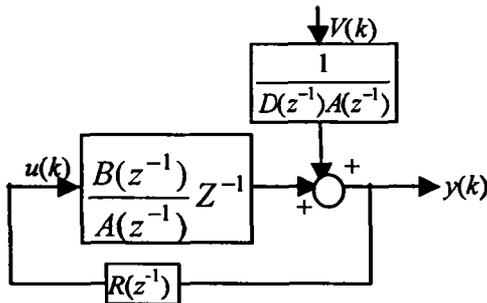


图3 为了求 $R(Z^{-1})$ 的简化的系统结构图

由于:

$$V(k) = A(Z^{-1})D(Z^{-1})y(k) - B(Z^{-1})D(Z^{-1})u(k-1) = A(Z^{-1})D(Z^{-1})y(k) - B(Z^{-1})D(Z^{-1})Z^{-1}u(k) \quad (6)$$

把(6)式代入(5)式整理得到:

$$y(k+1) = V(k+1) + [1 - D(Z^{-1})A(Z^{-1})]Zy(k) + B(Z^{-1})D(Z^{-1})u(k)$$

取广义最小二乘法性能指标:

$$J = E(y^2(k+1) + \mu u^2(k))$$

令 $\partial J / \partial u = 0$ 解得

$$R(Z^{-1}) = - \frac{b_0[1 - D(Z^{-1})A(Z^{-1})]Z}{b_0B(Z^{-1})D(Z^{-1}) + \mu}$$

为了用计算机进行仿真,在得到 $R(Z^{-1})$ 后,还要再构成如图4的闭环控制系统(为了抗干扰,在控制对象前加入PI调节器)。

该系统的闭环传递函数为:

$$\frac{y(Z^{-1})}{u(Z^{-1})} = \frac{(m - nZ^{-1})B(Z^{-1})[b_0B(Z^{-1})D(Z^{-1}) + \mu]}{M(Z^{-1})} \quad (7)$$

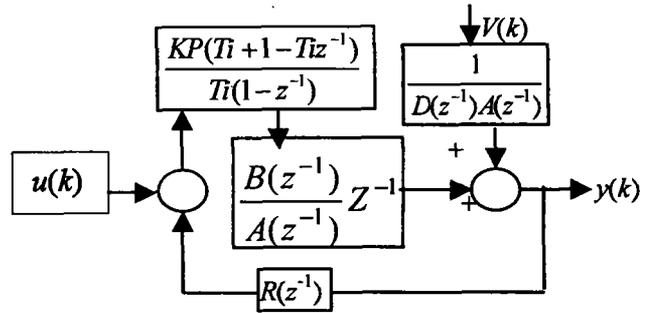


图4 采用最小方差自适应调节器的自调匀整系统结构图
其中:

$$M(Z^{-1}) = (Ti - TiZ^{-1})A(Z^{-1}) \cdot [b_0(Z^{-1})D(Z^{-1}) + \mu] + (m - nZ^{-1}) + B(Z^{-1})b_0[1 - D(Z^{-1})A(Z^{-1})] \\ m = kp(Ti + 1), n = kpTi$$

μ ——可调参数,调整 μ 值,保证闭环函数分母为 HURWITZ 多项式,确保系统稳定。

根据(7)式可以对系统进行计算机仿真,以检验设计结果。把系统辨识得到的 $A(Z^{-1}), B(Z^{-1}), D(Z^{-1})$ 的具体表达式代入(7)式,得到一个具体的输入输出关系式: $\frac{y(k)}{u(k)} = \frac{y(Z^{-1})}{u(Z^{-1})}$ 及残差:

$$\varepsilon(k) = u(Z^{-1})y(k) - y(Z^{-1})u(k)$$

通过计算机仿真可以得到残差序列 $\{\varepsilon(k)\}$ 。比较 $\{\varepsilon(k)\}$ 和输入输出数据之差的序列,将会发现残差的方差和大幅度地下降了。仿真结果见图5。

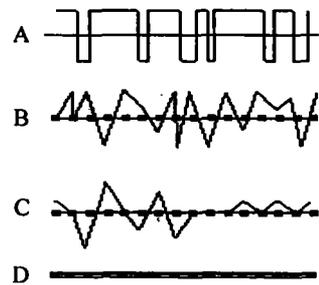


图5 最小方差自适应调节效果图

A 图为伪随机序列作为系统输入信号, B 为未加自适应调节器的系统输出实测信号, C 为未加自适应调节器的系统输入和输出数据之差, D 为经最小方差自适应调节后的残差。C 的方差和为 656.0, D 图的方差和为 30.17, 方差和下降了 95%, 其物理意义是输出棉条线密度更加匀整了。

4 结论

这种自适应控制系统,需要在线离线结合建模,在线实现控制,需要实时检测控制对象的输出,并在线进行提前一步预测预报控制,计算量较大,必须采用迭推算法。对测控硬件的要求较高。本系统已在 PII 微机上,用 VB6.0 语言实现。经最小方差自适应调节后,系统输出跟随系统输入的性能得到较好的改善,系统对随机干扰的抑制能力得到增强,自调匀整的效果能得到明显的改善。

参考文献:

- [1] 祝柏荣. 自调匀整装置 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.
- [2] 韩曾晋. 自适应控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [3] 冯雅群, 彭态瑾. 某随动系统的动态模型——最小二乘辨识 [D]. 北京: 清华大学, 1996.
- [4] 方崇智, 萧德云. 过程辨识 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [5] 杨建华. 数控伺服系统动态特性识别及自适应控制的研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 1993.
- [6] 宋主民. 机加过程的计算机识别与控制 [D]. 重庆: 重庆大学, 1989.

Minimum Error Variance Adaptive Controlling Technique Applied on the Auto Regulation System of the Draw Frames.

CHEN Rui-chuan¹, CHEN Guo-cong²

(1. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Firstly, the uncertain factors in drawing process, which cause the changes of the sensor's displacement and the sensor's vibration, are analyzed in terms of mechanics and statistics. Systemic randomness and non-linearity affect the performance of traditional auto regulation equipment. Using the minimum error variance adaptive controlling technique to solve the uncertainty of controlled system is the ideal method. Secondly, using generalized least square method to achieve the principle and method of the system identifying model is described. Thirdly, the design steps of the minimum error variance adaptive adjustor and the method of the computer simulation are discussed. The result of test-running shows that the output of the system follows the input of the system better, the system restrains the random disturbance more efficiently, and the performance of auto regulation is improved apparently.

Key words: auto regulation, system identify, adaptive control, computer simulation.

(责任编辑 张小强)