

文章编号: 1672-8785(2014)03-0012-05

基于自适应模糊PID算法的窑筒体红外测温与制冷的精确控制

许博文

(重庆邮电大学信号与信息处理重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 工业温度控制系统的非线性、时变性和滞后性等特性常严重影响温度控制的快速性和准确性, 这会给实际生产等带来巨大的危险隐患。本文将探讨对基于红外测温的窑筒体如何实现精确测温以及如何利用自适应模糊PID算法进行相应控制的情况, 并通过 Matlab 仿真展示部分成果。结果表明, 该类算法在窑筒体红外测温制冷中对于提高系统性能起到关键性作用。

关键词: 窑筒体; 工业温度控制系统; 红外测温; 模糊PID算法

中图分类号: TP273+.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.03.003

Infrared Temperature Measurement and Accurate Refrigeration Control of Kiln Body Based on Adaptive Fuzzy PID Algorithm

XU Bo-wen

(Chongqing Key Laboratory of Signal and Information Processing, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Some characteristics such as nonlinearity, time variant and time delay of an industrial temperature control system have great influence on the fastness and accuracy of temperature control. This may result in great danger in practical production. How to realize accurate infrared temperature measurement of a kiln body and how to use an adaptive fuzzy PID algorithm for corresponding control are presented. Some results simulated by Matlab are shown. The results show that this kind of algorithms can play a critical role in the performance improvement of an infrared temperature measurement system for a kiln body.

Key words: kiln body; temperature control system; infrared temperature measurement; fuzzy PID

0 引言

窑筒体是冶金和化学工业普遍使用的装置, 在众多领域有着极其重要的作用, 例如用回转窑筒体将氢氧化铝焙烧成氧化铝; 用回转窑

筒体生产苏打, 煅烧磷肥、硫化钡等; 在碳素制品生产中, 用窑筒体煅烧原料; 在水泥生产过程中, 用窑筒体煅烧水泥熟料、粘土、石灰石和进行矿渣烘干等。在化学工业和耐火材料等工业部门, 窑筒体同样有着广泛的应用, 其工艺过程主

收稿日期: 2014-02-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61275099, 61102131); 信号与信息处理重庆市市级重点实验室建设项目 (CSTC2009CA2003); 重庆市自然科学基金资助项目 (CSTC2010BB2411, CSTC2010BB2398; CSTC2006BB2373)

作者简介: 许博文 (1989-), 男, 吉林长春人, 硕士, 主要从事红外图像处理方面的研究。E-mail: ocean8590@163.com

要是通过在空气中燃烧产生热量, 从而保持窑内温度。在实际生产中, 回转窑控制系统的设计品质主要有两个标准。首先, 要充分保证在工艺规定值稳定的状态下运行; 其次, 要最大限度地提高燃烧效率, 节约能源, 减少污染, 同时实现温度的最佳控制。我们自主研发的回转窑筒体测温系统是利用红外镜头对温度的强敏感性进行观察和检测的。但在研发中出现了另一个问题, 即所有的红外镜头都有最佳的工作环境, 只有在该温度环境下红外温度检测才是最准确的。因此, 我们必须让红外镜头的环境温度迅速变为既定温度且保持稳定。本文采用 InfraRed

公司生产的红外镜头, 其最佳工作环境温度为一 53°C 。

1 窑筒体红外测温制冷装置及工作原理

窑筒体红外测温过程是一个软硬件结合的复杂过程, 如图 1 所示。由图 1 可以看出在实际环境中各个主要部分的作用与联系。通过扫描仪探头对窑筒体的表面进行线扫描, 得到体表的温度情况, 将数据传输到 PC 端, 绘制成一幅红外图像, 再按照温度的高低映射成不同的颜色, 以加以区分, 如图 2 所示。然后以此判断是否有高温点, 从而避免红窑等现象发生。其中线扫

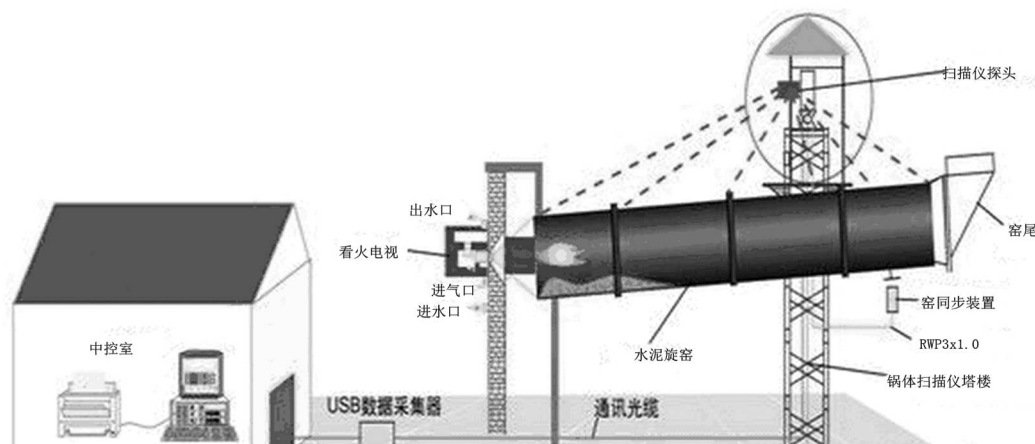


图 1 窑筒体红外测温的细节图

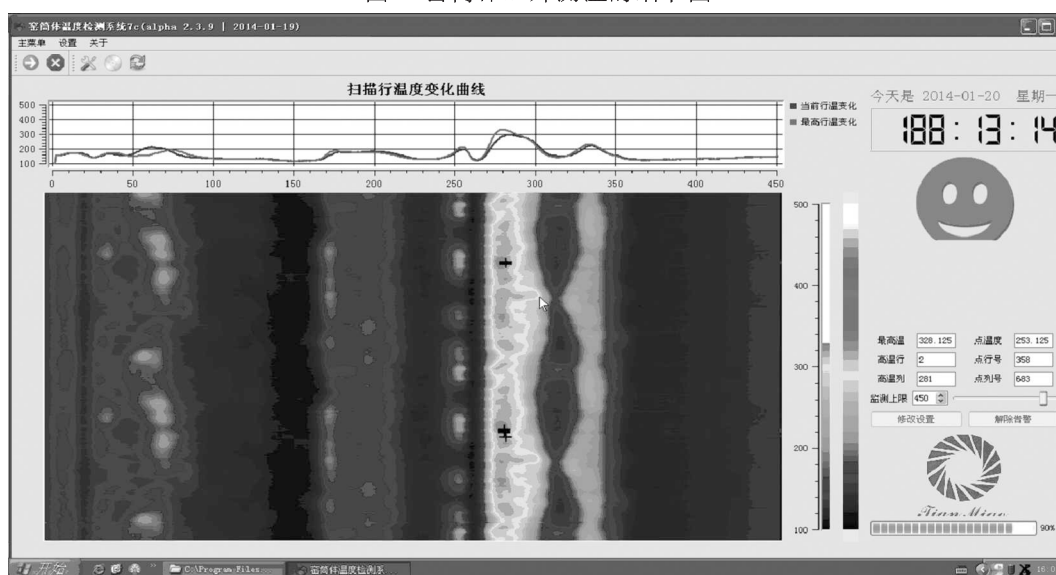


图 2 窑筒体温度检测的系统界面

描须按照一定时长进行。通过窑同步装置达到扫描与实际相符的时效性要求。目前,为了保持扫描的精度,可在扫描装置中利用光学反射等原理。精度越高,其利用的光学原理就越复杂。同时复杂的光学原理也要与扫描装置中不断转动的红外镜头的转速相适应,以产生最佳的图片效果。而红外镜头的制冷需要依靠对脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation,PWM)的调控,以激励或抑制温度升高,在研发过程中可通过专项的单片机或者 DSP 芯片来实现。

2 PID 控制算法介绍

PID 算法是比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制的算法。

在计算机中,PID 算法的离散化一定要利用数值逼近方法来进行。应用该数学思想可将连续的时域离散化为所需的 PID 算法差分方程:

$$u(k) = K_P e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] + u_0 \quad (1)$$

式中, u_0 是控制量的初值,即该类控制器要获得的输出值; $u(k)$ 是算法对第 k 个采样时间进行计算所得到的控制值, K_P 、 K_I 和 K_D 依次为 PID 算法的比例、积分和微分放大系数。这三个参数对于保证整体算法的稳定性和精确性至关重要。其中, $K_I = K_P T_S / T_I$; $K_D = K_P T_D / T_S$ 。 T_S 为控制设备在实际中设定好的采用周期。而这就是 PID 控制算法中著名的位置式表达式。基于此可以推导出

$$\Delta u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \quad (2)$$

式中, $q_0 = K_P [1 + \frac{T_S}{T_I} + \frac{T_D}{T_S}]$, $q_1 = -K_P [1 + 2\frac{T_D}{T_S}]$, $q_2 = K_P \frac{T_D}{T_S}$, 这就是 PID 算法中著名的增量式表达式^[1]。

让我们从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面来考虑, K_P 、 K_I 和 K_D 的作用如下:

(1) 比例系数 K_P 的作用是加快系统的响应速度,提高系统的调节精度。 K_P 越大,系统的响应速度就越快,系统的调节精度就越高,但易产生超调,甚至会导致系统不稳定。若 K_P 取值过小,则会降低调节精度,使响应速度减缓,从而延长调节时间,使系统的静态和动态特性变坏。

(2) 积分作用系数 K_I 的作用是消除系统的稳态误差。 K_I 越大,系统的静态误差消除越快。但若 K_I 过大,在响应初期会产生积分饱和现象,从而引起响应过程的较大超调。若 K_I 过小,系统的静态误差就难以消除,这会影响系统的调节精度。

(3) 微分作用系数 K_D 的作用是改善系统的动态特性,在响应过程中抑制偏差向任何方向变化,对偏差变化进行提前预报。若 K_D 过大,会使响应过程提前制动,从而延长调节时间,降低系统的抗干扰性能。

3 模糊 PID 控制算法

3.1 模糊控制介绍

模糊控制是一种新的控制方法,它的数学基础、理论基础、实现方法都和传统的控制方法有很大的区别。模糊控制器的功能是根据观测控制过程中的状态变量去计算作用变量的值。状态变量和作用变量之间的关系可看作为一组逻辑法则。当这个关系只能通过定性知道时,可指定许多模糊逻辑法则来完成一个近似的策略,其模糊逻辑法则即语言控制规则。其相应的实现是要把计算机观测控制过程中得到的精确量转化为模糊输入信息,按照总结人的控制经验及策略取得的语言控制规则进行模糊推理和模糊决策,求得输出控制量的模糊集,再经模糊判决得出输出控制的精确量,作用于被控对象。因此,模糊控制器通常由它的输入和输出变量的模糊化、模糊推理算法、模糊合成和模糊判决等部分组成。

3.2 模糊控制规则

设输入变量 e 和 e_c 语言值的模糊子集为 NB、NM、NS、ZO、PS、PM 和 PB, 将偏差 e 和偏差变化率 e_c 分别量化到 $[0 \ 40]$ 和 $[-0.05 \ 0]$ 。输出量的模糊子集与输入相同, 但若要将其量化到 $[0 \ 1]$ 中, 则需要在 Matlab 中应用模糊规则工具箱来设置其隶属函数, 如图 3 和图 4 所示。

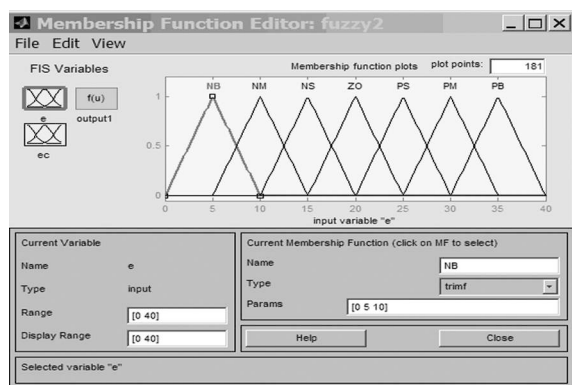


图 3 模糊控制输入量一设置图

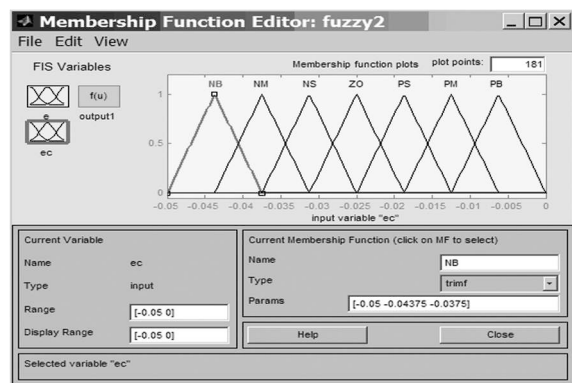


图 4 模糊控制输入量二设置图

同时可选择 Sugeno 型模糊控制器, 其相应的模糊控制规则见表 1。经过大量实验得出, 当 $K_P = 0.01$ 、 $K_I = 0.00001$ 和 $K_D = 0.5$ 时, 控制效果最佳。

3.3 自适应模糊控制结构

通过图 5 可以清楚地了解相应的自适应模糊 PID 控制的大体流程。在模糊控制器输入端采集两个输入量, 经设定的模糊规则模糊化后, 对最初的 K_P 、 K_I 和 K_D 值进行调整, 将调整后的三个参数值输出, 作用于相应的公式中, 即可达到反复自适应调节的作用。在这里也要说明, 模糊规则的设定有多种方法。规则数目越

少, 运行速度就越快, 但是效果越差。所以可根据自身的软硬件环境来进行设定。

表 1 Sugeno 型模糊控制器的模糊控制规则

U	e_c						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	0.1667	0	0	0	0	0	0
NM	0.3333	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0
NS	0.5	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.1667
e ZO	0.6667	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3333
PS	0.8333	0.6667	0.6667	0.6667	0.6667	0.6667	0.5
PM	1	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.6667
PB	1	1	1	1	1	1	0.83333

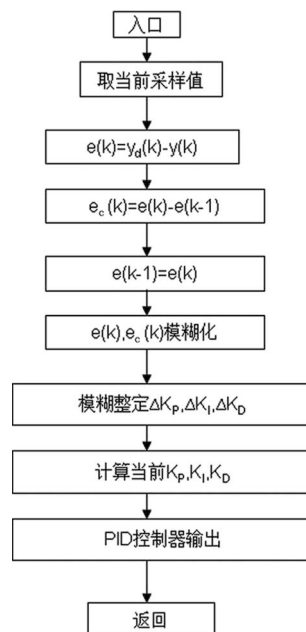


图 5 自适应模糊 PID 控制的流程图

3.4 精确制冷系统的实际方案

所有红外镜头都有其最佳的工作环境, 也只有在此环境下测得的数据与实际的目标温度最接近, 尤其在大型回转窑筒体中, 温度的任何不稳定或者不确定都可能引发虚假警告或者真实警告被忽略等情况。而这些往往会导致重大损失。要避免以上问题须注意制冷的精确性和时效性。本文采用开关控制与模糊 PID 结合的方法。由实际的生产经验可知, 制冷时常要从 25°C 降温至 -53°C (即所采用红外镜头的最佳工作环境温度), 前期采用直降法进行冷却, 可大大

缩短制冷时间; 当其与目标温度相差 20°C 时, 再采用模糊 PID 算法进行有效控制。

4 仿真结果

如图 6 所示为建立的系统的 Simulink 仿真框图^[4]。

如图 7 为 Matlab 仿真结果。通过图 7(a) 可以看出, 该算法的调控效果极快且稳定性极强。

为了证明该方法的有效性和真实性, 图 7(b) 中利用该方法跟踪了一小范围内的随机信号。可以发现, 在经历了短暂的调整期后, 其跟踪效果很快趋于准确和稳定。而图 7(c) 中是采用单纯的增量式 PID 控制来进行调控的。可以看到, 最终也会达到稳定, 但是其时间略长而且单纯的 PID 控制对参数的设定要求很高, 需要反复试验方能达到准确, 所以适用性和实用性不高。图 7(d)

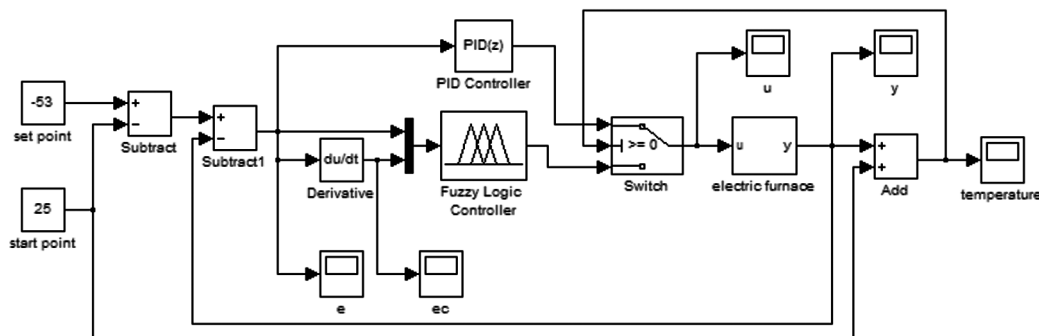


图 6 系统的 Simulink 仿真框图

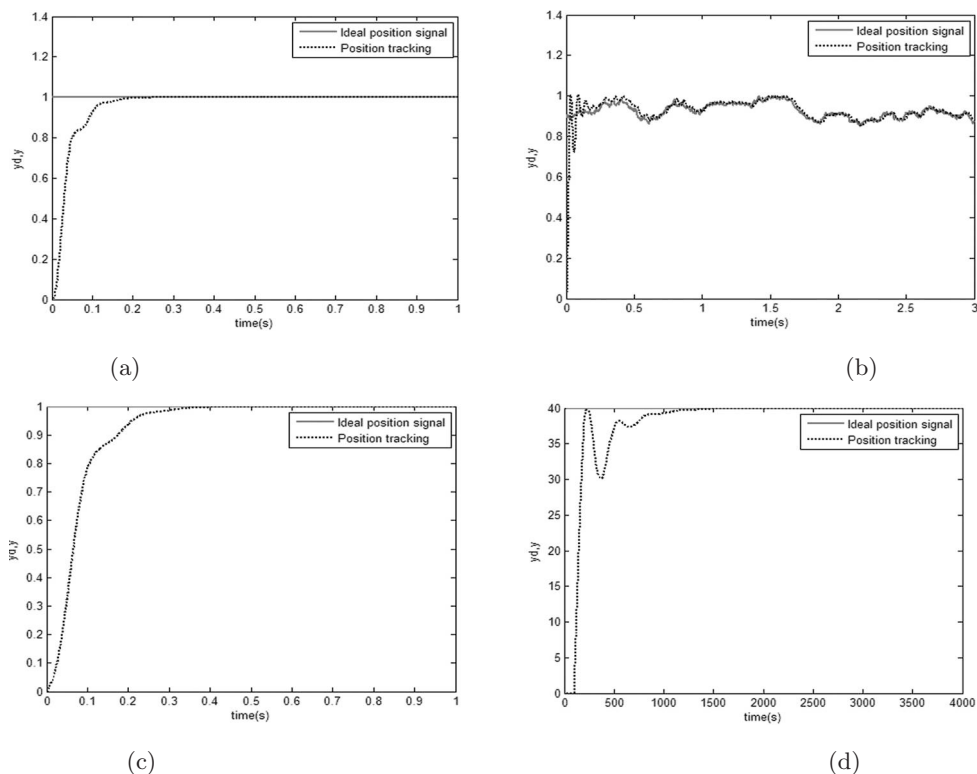


图 7 Matlab 仿真结果展示

是利用本实验室所编写的原始程序进行跟踪的效果。可以看到, 利用其它算法也会最终达到目的, 但是时间太长, 无法满足实际生产中的时效

性要求。

(下转第 22 页)