

适应性和灵活性。

## 1 织物图像的采集及预处理

织物疵点检测系统的处理对象是由高速摄像机或数字照相机拍摄的图像<sup>[5]</sup>,因此系统的关键技术都集中在数字图像的处理和分析上。

### 1.1 图像灰度化

本系统用 CCD 摄像机采集的织物图像是位图文件格式,即彩色 BMP 图像文件。BMP 格式的图像是以像素的形式记录图像的,它的每个像素点(pixel)由红、绿、蓝三元色组成。因为彩色图像文件占用的存储量十分巨大,并且处理这样的大图像需占用大量机器资源,所以必须将彩色图像灰度化。灰度图像只含亮度信息,是具有 256 个灰度级的黑白图像,通常将亮度量化为 0~255 共 256 个级别,0 最暗(全黑),255 最亮(全白)。对于 24 位 BMP 位图,可使用经验公式  $Y=0.299 \times R+0.587 \times G+0.114 \times B$ ,由  $R, G, B$  3 个分量计算出当前像素的亮度值,然后  $R, G, B$  取此相同值,位图变成了灰度图像,不再含有色彩信息<sup>[6]</sup>。

### 1.2 制作标准背景灰度图像

标准背景图像是指从一匹没有任何疵点的布上获取的图像。一般情况下,同一匹布的质地、色泽、纹理、疏密等指标是基本一致的。如果背景灯的亮度恒定,光照均匀,周围空气流动及灰尘等客观环境不变,那么用摄像头采集多幅高质量的无疵点布匹图像,经图像均衡化处理之后,就可得到一匹布的标准背景图像。

图像的均衡化处理过程是,首先在同样的环境下,采集同一匹布的多幅同样大小图像(根据实际情况可随机采集 10 幅),然后计算这多幅图像中各点像素的颜色值之和求平均值,那么复合图像就是一匹布的标准背景图像。这幅标准背景图像是进行图像疵点检测的判断标准和依据。在系统开始工作前由系统自动采集完成,经运算处理之后存储到计算机中,以备后续疵点图像识别步骤调用。该标准背景图像也是经过灰度化处理的。

## 2 疵点图像距离差算法设计

### 2.1 生成被检图像的距离差图像

经过长期的算法分析和对比,笔者提出了图像距离差算法作为系统的疵点检测算法。图像距离差算法的工作原理非常简单:如果 2 幅图像来源于同一背景,那么 2 幅图像的相减之差就是图像的距离差,它反映出 2 幅图像的不同之处。在实际环境中,只要给出合适的误差估计,就能得到比较合理的结果。

在实际应用中,系统预先求出一匹布的标准背景灰度图像,然后用它和实际采集到的可能含有疵点的灰度图像进行图像差运算,两者的图像差就是可能含有疵点的灰度图像。利用这一算法可以检测出 2 幅图像中 1 个单位亮度的灰度差别。因此在织造过程中通过实时采集织物的灰度图像,计算出它和标准织物灰度图像的差值,所有的疵点都包括在 2 幅图像相减之后的差图像中。

需要说明的是距离差图像还只是一幅灰度图像,它还不能直接进行图像测量,也不适合直接提取疵点的特征值,这是因为差值图像中可能含有部分噪声,例如由于光照不均匀、空气流动、织物自身薄厚不均、空气灰尘等产生噪声,它们不是疵点。在进行图像测量和特征提取前还需要对图像进行二值化和噪声处理。实验证明,疵点的图像距离差算法不仅能克服近年来各种疵点检测算法只能较好地检测某几类疵点的缺陷,还具备快速检出 30 余种常见疵点的能力,而且这种算法在计算过程产生的中间数据包括疵点的位置信息等,可作为后续疵点二值化和图像测量之用。

### 2.2 用动态分区阈值法二值化疵点距离差图像

对图像进行二值化处理实际上就是使用某一阈值对图像进行区域分割,所有灰度值大于某个阈值的像素被当作疵点,其余被当作背景。由于灰度阈值的取值对疵点的特征参量的计算影响较大,所以二值化图像的关键是怎样确定合适的阈值。由于织物面积大而疵点相对较小,那么织物图像全幅面灰度变化较小,用一个灰度门限分割整幅图像就不合适了,而且经过验证,如果对大尺寸图像一次调入内存进行处理反而使处理速度减慢。因此本系统把经过距离差算法得到的整幅差值图像划分为多幅尺寸大小为  $m \times n$  像素的区域分别处理,而且在各个局部区域内分别选择不同阈值  $T$  进行二值化,所有区域处理完之后就得到整幅图像的二值化图像<sup>[7]</sup>。实验证明,用动态分区阈值算法处理疵点的差值图像不仅能较好地分离出图像中的疵点

和背景,而且有利于设计多线程算法和并行算法,进而加快图像二值化处理过程。此外,如果对各个区域进行编号,那么区域本身也可作为整幅图像的相对位置,进而推算出疵点在织物表面的实际位置。

在每个区域内可以直接取图像灰度值的波谷值作为区域内的阈值  $T^{[8]}$ 。尽管每个区域的尺寸相同,但其中含有的疵点形状、数量、灰度级一般不同,因此在处理每个区域的阈值  $T$  时都必须重新计算新阈值  $T$ 。为了减少计算每个区域内阈值  $T$  的运算时间,在计算过程中,只需统计像素灰度值不为 0 的像素点即可。如果想把所有的差别都当作疵点处理,那么只需把 0 当作阈值即可,因为背景大部分是 0,而其余的点统一处理为白色点,即灰度值为 255,但这样可能会把一部分噪声当作疵点检测出来。因此,具体的阈值还需要在现场调试中合理设置,使误差更小,既要避免漏检,又要避免误检。在实际应用中,可以由程序按波谷确定一个阈值(往往是一个范围值),然后将这个(组)值用于实验中加以修正得到新阈值,用这个新阈值把原来的灰度图像转化为二值图像,即黑白图像。

以竹节原始灰度图像为例,经过和标准图像减操作并用分区阈值法进行二值化处理得到竹节疵点的二值图像,分别如图 1a)和 b)所示,图中以 0 作为阈值  $T$  分割图像,进而带有一些微小噪声,稍微增大阈值  $T$  可以只保留中间的竹节疵点,但可能会将疵点尺寸减小。

图 1 二值化疵点图像

Fig. 1 Defects image of two-valuezition

### 3 对二值化疵点图像后处理与测量

二值图像再经过图像的边缘跟踪、细化、孤立点的剔除、膨胀与收缩等图像处理步骤,会得到一幅含有一个(种)或多个(种)疵点的便于测量的二值图像。按照实际系统的要求,疵点测量的参数一般包括疵点的面积、周长、中心点位置、形状参数、偏心率、疵点朝向等。通过对这些特征值进行归一化测量,可以得到基于统计分析的疵点类型,进而识别出常见的各类疵点。

### 4 结 论

该系统可使用户根据织物的类型,自行设置相应的疵点检测控制参数,能够检测出 30 多种常见的疵点,且检出准确率高达 92%,误识率在 5% 以下。这样大大增强了系统的适应性,同时也降低了用户的购买成本和使用成本。经过实践检验,该系统具有良好的应用前景。系统目前还存在的问题:1)若织物中有折痕存在,走布过程中没有绷紧,容易发生将阴影误认为疵点的现象,需要系统加以识别和改进;2)由于图像距离差算法是基于灰度图像的,因此对于蓝色线、红色线等疵点只能检测出,但类型可能判断不准;3)目前该系统仅限于素色织物疵点的检测,对于复杂背景织物的检测还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 李立轻. 基于计算机视觉的织物疵点自动检测研究[D]. 上海: 东华大学, 2003.
- [2] 徐晓峰, 段红, 魏俊民. 基于二维小波变换和 BP 神经网络的织物疵点检测方法[J]. 浙江工程学院学报, 2004, 3(1): 15-19.
- [3] 卿湘运, 段红, 魏俊民. 基于局部熵的织物疵点检测与识别的研究[J]. 纺织学报, 2004, 25(5): 57-58.
- [4] 段红, 卿湘运. 织物疵点检测与识别的方法研究[J]. 测试技术学报, 2005, 19(1): 48-51.
- [5] 孙翠丽, 田学东, 郭宝兰. 实现基于分割窗口的位图显示与通信[J]. 河北科技大学学报, 2001, 22(3): 14-18.
- [6] 冯桂, 桂顶风, 林宗坚. 灰度图像边缘检测中的形态学方法[J]. 遥感信息, 2000, (3): 12-14.
- [7] 郑广. 数字图像处理技术及其在织物疵点检测系统中的应用[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2004.
- [8] 张燊, 吴志斌, 陈淑珍, 等. 一种新的自适应二值化方法[J]. 计算机工程, 2002, 28(5): 184-185.

文章编号:1008-1542(2006)03-0242-04

# 预测模糊自整定 PID 集成控制系统 在温度控制中的应用研究

张永立

(河北科技大学机械电子工程学院,河北石家庄 050054)

**摘要:**设计了一种基于预测的模糊自整定 PID 温度控制技术,它采用计算机模型预测与模糊 PID 自整定控制器相结合的控制技术,具有精确度高、稳定性好的特性,对非线性、时变性和大滞后性的温度控制对象具有良好的控制效果,适用范围宽。

**关键词:**温度控制;预测控制;模糊 PID

**中图分类号:**TP273<sup>+</sup>.4 **文献标识码:**A

## Application of model predictive fuzzy self-tuning PID control system for temperature regulation

ZHANG Yong-li

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050054, China)

**Abstract:** This paper introduces a method of temperature regulation, which integrates computer model predictive arithmetic and fuzzy self-tuning PID controller into one system. This system has higher stability and control precision for nonlinear, time variant processes and is very effective to processes with long dead time.

**Key words:** temperature control; model predictive control; fuzzy-PID

工业中的温度过程往往具有非线性、大时滞性、时变性、强耦合性等特点,采用常规 PID 控制有时效果并不理想,其原因是常规 PID 控制器主要针对具有准确数学模型的控制对象,在线整定参数的能力差,不能满足系统在不同条件下对参数自整定的要求,从而限制了控制效果的进一步提高。为了克服常规 PID 控制的不足,笔者在计算机模型预测控制技术的基础上,采用预测模糊自整定 PID 集成控制技术实现温度控制,其主要思想是利用系统模型的预测输出,结合常规 PID 的控制经验,采用模糊推理方法,对控制器算法进行改进。

模糊控制是一种语言控制,不依赖于精确的数学模型,对参数的变化不敏感,根据不同的偏差  $E$  和偏差变化  $EC$  实现 PID 参数自整定,适应性强,有较好的鲁棒性;另外,由于计算机模型预测控制具有良好的跟踪性能,能有效地提高系统的稳定性和消除误差,对滞后过程有明显控制效果,更加符合工业温度控制的实际要求,从而大大提高了温度控制系统的性能,许多实践也证明了这一点<sup>[1,2]</sup>。

### 1 系统构成

控制系统原理组成见图 1,采用 R 型热电偶测温,通过温度变送器,经 12 位 ADC 输入计算机,其测温范围宽,误差小,抗干扰能力强,适用于比较准确的温度测量。对电热系统的功率调节的控制选用晶闸管控制元件,采用过零触发的方法实现。

图 1 控制系统原理示意框图

Fig. 1 Block diagram of the control system

## 2 控制原理

该系统以计算机作为控制核心,采用预测模糊集成控制器实现温度控制,其原理见图 2。预测技术是一种基于模型的计算机控制算法,该系统的模糊自整定 PID 控制器不同于常规的模糊 PID 控制器。常规模糊自整定 PID 控制器的输入通常是过程当前和过程过去的输出测量值与设定值的偏差和偏差变化;而本系统的控制器输入则是利用预测模型预估出的过程未来的输出值与设定值之间的偏差和偏差变化。预测控制对数学模型要求不高,能直接处理具有滞后的对象,具有良好的跟踪性能,并对模型误差具有较强的鲁棒性<sup>[3]</sup>。模糊自整定 PID 控制器采用以偏差  $E$  及偏差变化  $EC$  为输入的模糊推理系统, $E$  和  $EC$  来自预测模型的输出。再通过模糊控制器,对  $K_p, K_i$  和  $K_D$  3 个参数进行在线调整,以满足在不同  $E$  和  $EC$  时对控制参数的不同要求,使被控对象具有良好的动态和静态性能。

图 2 控制算法原理框图

Fig. 2 Block diagram of the control principle

### 2.1 预测控制算法

该预测算法采用阶跃响应模型,见图 3<sup>[4]</sup>。

利用线性系统的叠加原理,在采样时刻可得到该过程的输入与输出的关系

$$y_m(k) = \sum_{i=1}^N (a_i - a_{i-1})u(k-i) = \sum_{i=1}^N h_i u(k-i), \quad (1)$$

式中: $h_i$  为脉冲响应系数, $h_i = a_i - a_{i-1}$ ;  $a_i$  为过程的阶跃响应系数; $N$  为模型时域长度,是阶跃响应的截断点, $N$  的选择能使过渡过程基本上完成,即  $h_N \approx 0$ 。

对于  $P$  步的预测输出可写为

$$y_m(k+j) = \sum_{i=1}^N h_i u(k+j-i), \quad j = 1, 2, \dots, P. \quad (2)$$

图 3 阶跃响应曲线

Fig. 3 Step response curve

在预测控制中,当  $k$  时刻对系统施加控制  $u(k)$

时,利用式(1)即可得出未来时刻输出的预测值  $y_m(k)$ 。但由于实际存在的模型时变、非线性等因素以及环境干扰等的影响,预测值会偏离实际值,因此,采用当前的过程输出测量值  $y(k)$  与模型的预估计计算值  $y_c(k)$  进行比较,用其差  $c(k)$  来修正模型输出的预估值。设修正后的输出预估值为

$$y_c(k+j) = y_m(k+j) + \beta c(k), \quad j = 1, 2, \dots, P,$$

$$c(k) = y(k) - y_c(k),$$