

# 锅炉火焰动态跟踪识别算法的研究

崔天祥 黄向东 谭久彬 孙兵 黄鸿斌

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

**摘要** 采用动态跟踪火焰焰芯算法和改进的一维灰度直方图算法用于燃烧控制, 很好地解决了实时监测锅炉火焰的燃烧状态和品质问题. 1000 幅典型图像的仿真结果, 同目测判别结果比较, 此方法识别率优于 99.8%.

**关键词** 燃烧控制, 图像分割, 灰度直方图, 动态跟踪.

## A DYNAMIC METHOD USED TO RECOGNISE FLAME BURNING STATUS IN THE BOILER

CUI Tian-Xiang HUANG Xiang-Dong TAN Jiu-Bin SUN Bing HUANG Hong-Bin

(The Department of Automation Measurement and Control Harbin Institute of Technology,  
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** A dynamic tracing flame center algorithm and an advanced two-dimensional gray level histogram thresholding algorithm were adopted for the combustion control. It solves the problem of real-time inspecting the burning state and quality of boiler flame effectively. Comparing the simulative experimental results with artificial judgement on one thousand representative images, the recognition efficiency of the method is more than 99.8 percent.

**Key words** burning control, image segmentation, gray-level histogram, dynamic trace.

### 引言

火电厂锅炉燃烧状况监测的智能化是提高电力系统自动化水平的关键. 目前, 我国电厂中广泛采用的煤粉火焰检测器因视场角受到限制(一般为  $10^\circ \sim 15^\circ$ ), 只能让火焰初始燃烧区部分亮光进入探头, 在实际运行过程中, 很难做到使探头正好对准火焰着火区. 另外, 近几年在电力系统中应用的工业电视, 由于没有综合判断能力, 不能及时发出处理指令, 因此有必要开发研制智能型工业监测系统.

本文介绍了采用面阵彩色 CCD 研制的一种高性能、低成本、结构简单、可应用于火电厂中的锅炉火焰跟踪监测系统. 该系统主要由 CCD 摄像头和图像采集处理系统组成, 运行在 Windows 95 多任务操作系统环境下, 应用软件采用 VC++ 进行编程. 系统工作时, CCD 摄像头置于锅炉观火口处, 直接完成火焰的光电成像, 图像采集系统将视频信号转换成数字图像并存于内存中. 图像处理主要通过寻找火焰焰心对火焰特征区进行跟踪定位、图像分割、特征提取, 实时地分析判断火焰燃烧状况并发出报警信号.

### 1 系统软件算法原理及实现

#### 1.1 炉膛火焰特性分析

煤粉在锅炉炉膛中燃烧时, 火焰辐射出大量各种形式的能量(电磁波、热能和声能等), 构成火焰检测的基础. 煤粉首先与一次风从煤粉燃烧器喷出, 此时煤粉温度未达到燃点, 燃烧器出口处喷出一条舌形的暗黑色风煤混合物. 接着煤粉受到炉内高温辐射和火焰回流的加热, 开始猛烈燃烧, 但此时亮度未达到最亮. 随着煤粉深入炉膛, 火焰亮度达到最亮. 最后, 煤粉绝大部分燃烬, 火焰亮度和闪烁频率也逐渐降低.

由于本系统未采用价格昂贵的传像光纤, 且 CCD 摄像头外置于炉膛观火口处, 所以采集图像受到观火口的限制而不能看到火焰的横向全火, 但能够看到火焰图像的纵向全火. 因而根据该特点, 纵向设置了 3 个区域——烟火混合区、着火区和烟火混合区. 燃烧器出口处火焰图像如图 1 所示.

#### 1.2 火焰跟踪定位的基本原理

由于摄取的图像在火焰着火区的亮度最大, 而



图1 火焰图像特征示意图  
Fig.1 The sketch map of the flame image feature

在烟火混合区的亮度相对较暗. 根据目标区的能量分布特征对火焰的特征区进行跟踪定位.

设目标图像面积为  $A$ , 位于坐标点  $(x, y)$  处的像素内的光能量密度为  $\delta(x, y)$ , 因此在这个像素内的光能量应为

$$\delta(x, y) dx dy = \delta(x, y) dA.$$

整个目标的总能量应为

$$M = \int \delta(x, y) dA.$$

相对于  $x, y$  轴的能量矩可分别表示为

$$M_x = \int y \delta(x, y) dA, \quad M_y = \int x \delta(x, y) dA.$$

因此目标火焰的重心坐标为

$$x = \frac{M_y}{M}, \quad y = \frac{M_x}{M}. \quad (1)$$

通过对火焰特性的分析知道, 火焰着火区的能量最大, 因此计算火焰重心的方法可以充分反映火焰的能量分布状况, 重心值不受火焰的面积及形状的限制. 重心算法的输出值与火焰焰心的实际位置偏差不大, 可以作为选择火焰特征区位置的依据.

然而, 该算法较复杂, 计算速度较慢. 但考虑到锅炉在运行时, 火焰位置的变化是受煤种、工作负荷、煤量、风量等因素的影响, 而这些因素的变化周期都较长; 另外, 火焰位置变化, 主要是横向的位置

变化较大, 而纵向的位置移动不大.

根据以上分析可知, 对火焰焰心定位不需始终都参与图像处理, 通过改进程序和算法, 使重心算法对系统的实时性影响有了很大改善.

### 1.3 基于二维灰度直方图的图像分割算法原理及实现

#### 1.3.1 图像分割算法原理

设图像的灰度分为  $L$  级, 那么像素的邻域平均灰度也分为  $L$  级. 在每个象素点处计算其邻域平均灰度, 由此形成一个二元组: 象素点的灰度值和它的邻域平均灰度值. 设灰度二元组  $(i, j)$  出现的频数为  $f_{i,j}$ , 其中  $i, j$  分别对应灰度值和邻域平均灰度值, 则定义相应的联合概率密度  $p_{i,j}$  为

$$p_{i,j} = f_{i,j} / N, \quad i, j = 0, 1, \dots, L - 1$$

其中  $N$  为图像中像素的总数, 并且  $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{i,j} = 1$ .

若以  $i, j$  为自变量, 且  $p_{i,j}$  为应变变量, 就可构成二维灰度直方图<sup>[1]</sup>. 设置直角坐标系  $(f, g)$ ,  $f$  轴和  $g$  轴分别表示像素点灰度概率密度和该像素点邻域平均灰度概率密度. 换句话说, 就是把二维灰度直方向  $f$  轴和  $g$  轴投影, 则分别为一维灰度直方图和一维邻域平均灰度直方图. 二维灰度直方图投影如图 2 所示.

由文献[3]的结论可知, 在实际图像中, 由于噪声干扰等因素的影响, 使得图像的灰度直方图分布不一定出现明显的峰和谷, 而应用二维灰度直方图可出现明显的峰和谷. 但二维灰度直方图的计算量较大, 若应用一维邻域平均灰度直方图, 则即可达到一维寻优的计算速度, 又可得到二维分割的计算精度.

#### 1.3.2 图像分割算法实现

基于二维灰度直方图的图像分割算法的具体步骤如下:

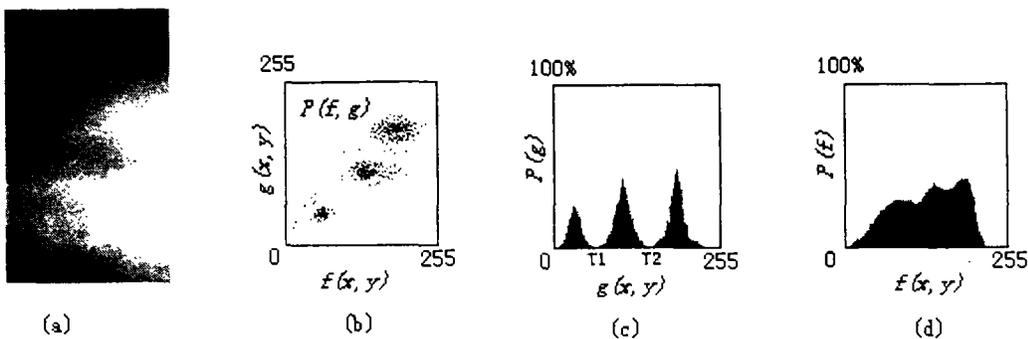


图2 二维灰度直方图投影示意图  
Fig.2 The projection of two-dimensional gray-level histogram's sketch map

1) 根据原始图像计算各点  $n \times n$  邻域的平均灰度值, 计算公式如下:

$$g(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum_{s=-n/2}^{n/2} \sum_{t=-n/2}^{n/2} f(x+s, y+t).$$

2) 对邻域平均灰度直方图, 应用传统基本一维直方图的阈值选择法, 可得阈值  $T_1, T_2 (T_1 < T_2)$ .

3) 对于像素  $(x, y)$ , 当  $g(x, y) \leq T_1$ , 则  $f_i(x, y) = A$ ; 当  $T_1 < g(x, y) \leq T_2$ , 则  $f_i(x, y) = B$ ; 当  $g(x, y) > T_2$ , 则  $f_i(x, y) = C$ .  $f_i(x, y)$  为分割结果图像,  $A$  表示锅炉背景火焰灰度值,  $B$  表示烟火混合区灰度值,  $C$  表示着火区灰度值.

邻域平均这种简单运算能够实时实现, 邻域平均图像几乎可与原始图像同时得到, 在此条件下, 本算法的运算量与传统一维算法完全一样, 可满足工业视觉中的实时性要求.

#### 1.4 火焰燃烧状况的判别

把火焰图像由上自下分成 3 个特征区, 设这 3 个特征区的灰度平均值分别为  $G_1, G_2$  和  $G_3$ , 根据 1.1 节的分析, 可得出判别火焰有无的判据: 当  $G_2 > G_1$  或  $G_2 > G_3$  时, 则判别有火; 否则, 判别无火. 另外, 通过对图像灰度直方图的分析, 可以对火焰的燃烧状况进行评价.

## 2 实验过程及结果

实验中采用由 CCD 摄取经视频图像采集卡转换获得 RGB 图像, 对彩色信号的红色分量进行处理. 根据式(1)获得火焰焰心的位置, 以此位置作为原始图像的中心位置, 通过实验选取原始图像大小为  $128 \times 256$ , 然后根据图像分割算法将图像进行处理, 最后通过火焰判别算法进行判别, 下面检验算法的可行性和合理性.

一是用火焰定位算法对几幅典型现场图像进行处理, 选取的火焰特征区与目测的实际火焰特征区位

置基本一致; 二是用图像分割算法对 1000 幅现场图像进行处理, 用处理后的火焰图像对火焰燃烧状况进行判别, 判别结果理想; 三是正常工况下, 煤粉火焰的着火区随着投粉量的增减而相应漂移, 从显示器上看, 火焰特征区位置也相应变化. 横向变化较大, 但对本算法影响很小, 纵向变化不大, 总体判别效果良好; 四是目标燃烧器停止供粉, 当燃烧器逐渐熄灭时, 在显示器上看到的火焰特征区没有区分成 3 个区域, 而是锅炉内背景图像, 系统判别结果为无火.

## 3 结论

本系统的软件算法经多次实验证明是切实可行的. 它具有可靠性高、速度快、误判率低的特点, 完全能够满足工业应用的实时性要求. 在火电厂的应用中, 能够帮助电厂运行人员及早发现问题并及时采取措施进行处理, 不仅可以避免造成重大损失, 而且可以通过系统软件分析了解锅炉火焰的燃烧状况, 进一步对锅炉进行控制.

## REFERENCES

- [1] Abutable A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy. *Compute Vision Graphics Image process*, 1989, **47**: 22—32
- [2] LIU Jian-Zhuang, SU Wen-Qing. The automatic thresholding of gray-level picture via two-dimensional OTSU method. *ACTA AutoMatica Sinica* (刘健庄, 粟文青. 灰度图像的二维 OTSU 自动阈值分割法. *自动化学报*), 1993, **19**(1): 101—105
- [3] Chen W T. A fast two-dimensional entropic thresholding algorithm. *Pattern Recognition*, 1994, **27**: 885—893
- [4] LI Li-yuan, GONG Jian, CHEN Wei-Nan. The gray-level image thresholding method based on the optimal one-dimensional projection of two dimensional histogram. *ACTA AutoMatica Sinica* (李立源, 龚坚, 陈维男. 基于二维灰度直方图最佳一维投影的图像分割方法. *自动化学报*), 1996, **22**(3): 315—322