

加热炉燃气火焰模式分类分析

龙昭华¹,付三强²

(1. 重庆邮电学院, 重庆 400065; 2. 重庆钢铁集团 电子公司, 重庆 400080)

摘 要:将燃气火焰的大小、形状、颜色等进行分类是评价钢铁厂加热炉燃气气氛的一种直接途径,也是解决对燃气气氛自动控制设备研制的关键问题。在基于模式识别理论和方法的基础上对加热炉燃气火焰分类进行了分析,并提出了实现模式分类的具体方法。火焰模式分类的设计思想可以为钢铁厂进行加热炉炉膛燃气气氛自动控制设备的技术改进解决其关键性的问题,也可以适合于其它类似工业行业的有关设备的火焰模式分类。

关键词:火焰分类;加热炉;模式识别;Visual C++

中图分类号:TF055 **文献标识码:**A

Classification Analysis of Flame Pattern of Burning Gas in Heating Furnace

LONG Zhao-hua¹, FU San-qiang²

(1. Institute of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 2. Eelectron co. ,ltd., Chongqing Steel-iron Group, Chongqing 400080, China)

Abstract: According to the size, shape and color, the flame of burning gas can be classified. It is a direct way of evaluating atmosphere to burning gas of steel-iron factory, and also a solution to problems in making automatic equipment of burning gas atmosphere. This paper analyzes the flame classification of burning gas in heating furnace on the base of the theory and method of pattern recognition, and presents the specific method of making its classification. This classification can be applied to other similar situation.

Key words: flame classification; heating furnace; pattern recognition; Visual C++

0 引 言

钢铁厂加热炉炉膛燃气气氛的好坏是直接影响加热炉经济效益和产品质量提高的重要因素。长期以来,对炉膛燃气气氛的控制是由生产工人凭经验肉眼观察后,在控制设备上手工设置数据进行的,加热炉采用混合煤气加热,波动较大。对炉膛燃气气氛

的自动控制必然是科技人员努力的方向。然而,炉膛燃气气氛自动控制设备的研制必然涉及到对燃气气氛的检测评价问题。炉膛气氛实际上是受加热炉自身的多项复杂参数制约的,对炉膛气氛的检测评价一直还没有较科学的定量的指标。在多项参数中,如残氧检测、热值检测等较传统的方法均不同程度存在不稳定、价格高等缺点。尝试对燃气火焰的大小、形状、颜色等参数进行检测是一种评价炉膛气氛的

收稿日期:2001-02-08

基金项目:2001年重庆市科委应用基础项目(编号:6799)。

作者简介:龙昭华(1962-),男,贵州遵义人,副教授,研究方向为计算机语言、模式识别。

直接手段;也能为其自动控制设备的研制解决关键问题。本文目的是对加热炉炉膛燃气火焰分类进行分析及实现方法研究,起抛砖引玉作用。

1 分析研究思路

加热炉火焰分类处理系统应包括摄像、采集板、计算机及软件(算法)等组成。采集板采集的数据经数字化处理之后,进入计算机,并以计算机特定的格式保存;然后进行预处理、特征提取以及模式分类,并根据分类结果控制执行设备等(见图1)。显然,图像预处理、特征提取、模式分类是系统的关键。

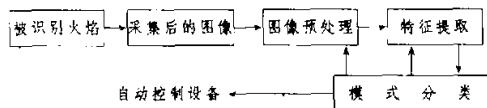


图1 加热炉分类处理系统框图

Fig.1 Diagram of processing system in furnace classification

(1) 火焰图像预处理。对不同的应用目的,其图像的处理方法(理论)不尽相同,但其相应成熟的方法(理论)较多,应根据分类目的对比反复选择(图1中虚线所示)。加热炉火焰图像分类要求应充分考虑其混合煤气控制设备的性能及生产要求,才能按分类的结果有效控制执行。为了使特征量的提取尽可能准确,燃气火焰图像预处理至少应考虑噪音的消除和区域的增强,其中包括平滑、锐化、细化等,还要重点将图像中在空域上与火焰区域重叠的烟雾区域等成分剔除(频域滤波),最后还需要区域轮廓跟踪。轮廓跟踪的区域结果可作为特征量的计算依据。

(2) 特征提取。现场工人是根据各种火焰的具体情况进行人工分类,而我们可以依据其观察情况,按有导师分类进行设计。这样就可免去无导师聚类所需的计算量,对提高系统运行的实时性有好处。分类时的模式类来源为:①肉眼观察的统计结果;②肉眼无法观察到,但在对图像预处理、分类过程中,认为可作为模式类的火焰区域。特征主要包括火焰区域轮廓的面积大小、周长、颜色、形状等。

(3) 模式分类。分类算法的选择是分类准确的关键。对不同的分类应用目的,其模式的分类方法(理论)不尽相同,如统计、结构、模糊、智能(推理、神经网络)分类等。综合选用分类方法也充分考虑混合

煤气控制设备的性能、生产要求及实时性等因素。

本文基于分类方法及其算法对燃气火焰模式分类有实用价值,用统计方法定义模式分类的相似性函数以进行模式分类法和设计多区域时的分类的模糊隶属函数,限于篇幅,以下仅给出有关设计思想。

2 实现火焰模式分类的设计

设样本模式向量 X 和模式类向量 Z 分别为:

$$\begin{aligned} X &= (x_1, x_2, x_3)^T; \\ Z &= (z_1, z_2, z_3)^T \end{aligned} \quad (1)$$

设其中特征量有3个,分别为面积大小、周长、颜色(由于区域内像素各点颜色基本一致,可用区域内各像素点颜色的简单平均值)。

(1) 火焰图像区域向量 X 与给定模式类 Z 的夹角可用来度量二者之间的相似程度:

$$f(X, Z) = \cos \theta = \frac{X^T Z}{\|X\| \|Z\|} \quad (2)$$

距离函数[如用欧氏(Euclidean)距离]等也可用来度量:

$$f(X, Z) = d(X, Z) = \left[\sum_{i=1}^3 |x_i - z_i|^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

采用哪一种方法来度量二者之间的相似程度,可在实现时对比选择。如有必要,还应设计相似程度判定函数,以判断相似程度算法的优劣,这要视系统实时性的要求而具体确定。但系统非在线时设置判定函数是有必要的,有助于离线时分析。限于篇幅,在此略。

(2) 待分类火焰图像区域和给定模式类为多个时,可建立火焰图像区域对每个模式类的模糊隶属函数,即如有3个待分类火焰图像区域 X_1, X_2, X_3 向量和3个模式类 Z_1, Z_2, Z_3 向量。每个待分类火焰图像区域隶属于相应模式类,可用下列隶属函数表示。例如当待分类火焰图像区域为 X_1 向量时, X_1 分别隶属于 Z_1, Z_2, Z_3 模式类向量的隶属值为:

$$\begin{cases} \mu_{z_1}(X_1) = \frac{f(X_1, Z_1) - f_{\min}(X, Z_1)}{f_{\max}(X, Z_1) - f_{\min}(X, Z_1)} \\ \mu_{z_2}(X_1) = \frac{f(X_1, Z_2) - f_{\min}(X, Z_2)}{f_{\max}(X, Z_2) - f_{\min}(X, Z_2)} \\ \mu_{z_3}(X_1) = \frac{f(X_1, Z_3) - f_{\min}(X, Z_3)}{f_{\max}(X, Z_3) - f_{\min}(X, Z_3)} \end{cases} \quad (4)$$

保证了隶属函数值:

$$\begin{cases} \mu_{z_1}(X) \in [0, 1] \\ \mu_{z_2}(X) \in [0, 1] \\ \mu_{z_3}(X) \in [0, 1] \end{cases} \quad (5)$$

式(4)中 $f_{\min}(X, Z_1)$, $f_{\max}(X, Z_1)$ 为 3 个待分类火焰图像区域 X_1, X_2, X_3 分别与模式类 Z_1 的相似度的最小值、最大值。即:

$$\begin{cases} f_{\min}(X, Z_1) = \min[f(X_1, Z_1), f(X_2, Z_1), f(X_3, Z_1)] \\ f_{\max}(X, Z_1) = \max[f(X_1, Z_1), f(X_2, Z_1), f(X_3, Z_1)] \\ f_{\min}(X, Z_2) = \min[f(X_1, Z_2), f(X_2, Z_2), f(X_3, Z_2)] \\ f_{\max}(X, Z_2) = \max[f(X_1, Z_2), f(X_2, Z_2), f(X_3, Z_2)] \\ f_{\min}(X, Z_3) = \min[f(X_1, Z_3), f(X_2, Z_3), f(X_3, Z_3)] \\ f_{\max}(X, Z_3) = \max[f(X_1, Z_3), f(X_2, Z_3), f(X_3, Z_3)] \end{cases} \quad (6)$$

当任一待分类火焰图像区域 X 满足式(7)时,

$$\mu_{z_1}(X) = \max[\mu_{z_1}(X), \mu_{z_2}(X), \mu_{z_3}(X)] \quad (7)$$

则认为待分类火焰图像区 X 域应属于模式类 Z_1 。

以上模糊隶属函数适当处理后,可用于无导师时聚类分析。

(3)“形状”的度量,加热炉喷嘴原因,其火焰“形状”大多“像”扇形,可以具此向量为增加 2 个特征; θ 和 R 作为模式分类的辅助参考。 θ 和 R 的值可以由式(8)求出。

$$\begin{cases} (2 + \theta)R = \text{扇形周长} \\ \frac{1}{2}R^2\theta = \text{扇形面积} \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中 θ 为夹角(弧度), R 为半径。 θ 和 R 对应向量的另外 2 个特征。由于其形状只是“像”扇形,所以在 $S(X, Z)$ 或 $d(X, Z)$ 中,对 θ 和 R 应加入权值以适当进行调整,其权值大小由实验确定。

3 设计还应考虑的一些问题说明

(1) 带有灰度的图像信息量大,对其进行预处理时,处理速度较低,实时性较差。有些场合(如文字识别、指纹识别,以及本文涉及的加热炉图像等)按二值图像处理丢失的信息不会较多,对提高实时性有好处。

(2) 在具体程序设计实现时,也应对火焰图像区域样本进行聚类,以作进一步分析,并可以将聚类

结果与工人观察的统计结果对比。这既考虑了无导师分类,也兼顾考虑了有导师分类。这样对分类的准确性有一定的提高,但这将牺牲系统的实时性,增加开发时程序设计的复杂度和难度为代价(如在线运行情况时,采用多线程编程等)。

(3) 图像预处理至少应进行彩色图像转换为灰度图像、锐化、二值化(微分直方图法)以及轮廓跟踪。二值化后的图像区域成分的轮廓找出是实现分类的前提。轮廓跟踪记录的像素位置值是计算图像区域面积、周长的依据。轮廓跟踪基于使用甲虫算法,考虑一个连接区域成分是封闭轮廓,跟踪边缘值为“1”的像素,即为轮廓。

(4) 颜色特征值的计算是在彩色图像内进行。彩色图像的计算区域像素坐标与灰度图像内已分类的轮廓区域坐标完全相同。

4 实验

重钢五段步进式加热炉(年加热量 30 万吨)采用我们的设计思想,并用 Visual C++ 作为工具编制计算机程序试验,涉及的主要内容如下。

(1) 在建立项目时,用 MFC AppWizard(exe) 及 MDI 选项可使设计的程序能对多幅图像进行处理。即起到图像窗口直观、形象,对系统的运行、分析有较大的帮助。

(2) 试验前,必须将已摄像的现场火焰图像转化为 Windows BMP 文件格式存放,并转换为灰度图像。转换为灰度图像的算法步骤为:先将 RGB 颜色转换为 YUV 颜色,再将 Y 分量分别赋值给 RGB(调色板)。

(3) 将二值化、轮廓跟踪、特征提取、分类等算法的函数及其值用 CDocument 类的派生类封装;二值化、轮廓跟踪等的图像结果用 CView 类派生类的 OnDraw() 函数显示。火焰图像处理各步骤结果的存储和显示的分利于算法试验比较时,能减少修改程序代码的工作量。对多幅图像进行处理,视需要而建立各算法的相应线程(Thread)运行,用以提升系统的整体效果。

(4) 试验时,由于对实时性要求不高,我们尽量用 MFC 的类库,其目的是为了提提高设计程序的进

度,如CList(链表类)用于存放轮廓数据。当轮廓位置值找到时,为了建立有序链表,使用Clist的成员函数:Find(),InsertBefore()等比自行设计的代码较灵活,程序调试中发现的错误也相对较少。

(5) 试验必须对灰度火焰图像按灰度值进行排序,并用相应的链表对象存放,以计算灰度图像的二值化所需的阈值。

限于篇幅,实验中涉及到的其它细节略。

实验结论表明:由于实验条件的限制,试验以分类一幅200×200像素火焰图像(一个模式类向量)为例,在PII微型计算机运行大约耗时10min,且结果正确。火焰图像像素数减少时,识别时间将大幅度减少。

总之,结合适用于火焰图像区域分类的有关算法,并反复试验,精心设计,对加热炉火焰模式分类特定目的的图像处理,作到了处理成本相对低廉,实时性高,分类基本正确,效果直观可行。

5 前景展望、意义

上述火焰模式分类设计思想可为钢铁厂进行加热炉炉膛燃气气氛自动控制设备的技术改造解决了

(上接9页)带, u_j 为没有排队的业务组获得额外带宽业务组 j 在没有排队时,申请带宽与实际获得带宽之间的差值带宽。

①找出满足 $u_{j+1} \leq 0$ 并且 $u_j > 0$ 的最大 j 值。当 $u_j > 0$ 时,设置 $j=k$; 当时 $u_j \leq 0$ 时,设置 $j=0$ 。根据上述算法所得的 j 用 j_0 表示。②当 $j_0=0$ 时,表示缓冲空闲,故输出链路带宽 C 足够大。③当 $j_0 > 0$ 时,输出链路带宽 C 必须足够大,以确保没有数据包丢失,下面关系式就必然成立:

$$N_1 R t_{on} \leq X + B_{j_0} t_{on}$$

$$\sum_{i=1}^k N_i R t_{on} \leq (t_{on} + t_{off}) C \quad (10)$$

参 考 文 献

[1] ROMANOW A, FLOYD S. Dynamics of TCP traffic over ATM networks[J]. Selected Areas Commun, 1995, 13(4): 735-742.

其关键性的问题,并且设计思想也可适合于其它类似工业行业的有关设备的火焰模式分类。

对加热炉火焰图像的锐化、二值化、区域轮廓跟踪实现,并采用上述思想设计的分类器进行分类,理论上是可行的。实验室试验初步表明,也能取得好的效果。

参 考 文 献

[1] 崔 论. 数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
 [2] 张远鹏, 董海, 周文灵. 计算机图像处理技术基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1989.
 [3] 沈清, 汤霖. 模式识别导论[M]. 黄启昌译. 长沙: 国防科技大学出版社, 1991.
 [4] 陈建春. Microsoft Visual C++ 图形系统开发技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
 [5] 吴锡修, 林正敏. Visual C++ MFC Windows 程序设计[M]. 成都: 西南交大出版社, 1998.
 [6] 区奕勤, 张先迪. 模糊数学原理及应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1993.

(编辑: 龙能芬)

[2] JADOON T, HARLE D. Performance comparison of peak rate and bursty traffic specification and allocation policer functions[C]. Proceedings of Singapore ICCS. 1995 (2): 525-529.
 [3] ZHENG L. Enhanced timed round-robin traffic control schemes for ATM networks [C]. Proceedings of the 21st IEEE Conference on Local Computer Networks, 1996, 249-258.
 [4] 黄立群, 黄载祿. FQLP: ATM 网中一种新的实时业务调度算法[J]. 电子学报. 2000, 28(4): 20-23.
 [5] 戴礼森, 洪佩琳. 高速信元交换调度算法研究[J]. 电子学报. 2000, 28(5): 96-98.

(编辑: 郭继笃)