

基于机器视觉和神经网络的烧结质量预测

孙铁强^{1,2}, 尹怡欣², 董洁², 涂序彦²

(1. 河北理工大学信息学院, 唐山 063009; 2. 北京科技大学信息工程学院, 北京 100083)

摘要:应用机器视觉和人工神经网络理论提出了对烧结质量在线判断的一种模式识别方法。以某烧结厂为研究背景,分析影响烧结质量的视觉特征,从烧结机机尾摄取断面图像并进行处理,用图像的空间低阶矩描述目标的视觉特征,从而可以选出对分类识别最有效的特征作为人工神经网络的输入,构造改进的BP神经网络分类器,实现在线判断烧结质量,实验证明了该方法有效可行。

关键词:视觉特征;图像处理;烧结;人工神经网络

Sintering Quality Prediction Based on Machine Vision and ANN

SUN Tie-qiang^{1,2}, YIN Yi-xin², DONG Jie², TU Xu-yan²

(1. College of Information, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009;

2. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

【Abstract】 According to the theory of machine vision and ANN, a pattern recognition method for online prediction of sintering quality is put forward. Based on some sintering plant, the vision characteristics which affect sintering quality are analyzed. And the images of sintering at the end of the sintering machine are processed. Images' spatial lower order moments are used to describe those vision characteristics. As a result, most effective characteristics for classification and recognition are selected as the input of ANN. An improved BP classifier is proposed to realize sintering quality online prediction as well. Experimental result shows that the proposed method is feasible.

【Key words】 vision characteristic; image processing; sintering; ANN

1 概述

烧结生产过程存在大时滞、变时滞等诸多不确定因素,建立完整、准确描述烧结过程机理的模型是非常困难的。烧结机尾是烧结过程的终节点,烧结机尾断面图像是烧结过程工况信息最终、最全面的反映,它含有产量、质量、能耗等丰富的信息。在烧结机的操作及控制中,对烧结机机尾断面工况的观测是获取烧结产品质量信息以及烧结过程动态信息的重要手段,可利用机尾断面红火层的明暗、大小、分布和位置等来预测烧结矿的质量信息和各种操作参数的合理性,对于提高烧结产品质量、降低能耗起着十分重要的作用。

长期以来烧结操作一直是靠有经验的操作工对机尾断面的观察来获得有关烧结反应过程的信息,然后根据其经验和有关知识来对烧结过程及烧结矿质量的变化做出大概的估计和判断。由于看火工经验的差异,对同一烧结机尾断面,不同的看火工往往给出不同的判断结果,这对烧结生产效果的影响很大;另外根据看火工的判断需要人为地进行生产控制,这也使得更高层次上的烧结生产自动控制无法实现。本文提出一种利用视觉特征和人工神经网络在线检测烧结质量的模式识别方法。

2 相关工作

国内外的一些企业以及科研机构的研究者已尝试将图像处理与人工智能技术应用于烧结质量的检测,并取得了一定的效果。日本川崎钢铁公司开发了烧结机尾断面图像分析仪,该系统已用于干岛烧结厂^[1]。福山烧结厂也在烧结机尾安装了类似的电视摄像机,通过机尾截面图像测量机尾断面高温带的分布,该系统结合台车下面热电偶的测温数据以及混合

料密度测定值一起用于烧结矿断面均匀性的测定^[2]。北京科技大学冶金学院刘克文和周取定利用图像处理与人工神经网络技术,根据烧结机尾断面图像特征,实现了对烧结矿 Feo 含量的分类判别。东北大学的姜宏洲博士在烧结机机尾图像的模糊聚类、平滑处理和边缘检测方面做了研究并取得一定的成果,提出了利用图像处理技术和烧结看火工经验知识的烧结综合质量人工智能检测方法,并开发了实验检测装置^[3]。

3 系统组成及特征提取

3.1 系统组成

烧结机尾烧结质量图像检测系统由红外 CCD 摄像机、滤光片、图像采集卡和工业计算机组成。图像采集系统的附属设备包括风反吹水冷套,空气过滤器,控制摄像时刻的采样开关,照明光源等。当台车每次到达预定位置时,采样开关发出信号给计算机,计算机控制图像采集系统捕捉烧结机尾段面图像。在图像处理阶段,对烧结机尾段面图像进行平滑、分割和特征提取,利用提取的视觉特征作为人工神经网络的输入来判断烧结质量。

3.2 视觉特征

根据看火工的经验,在烧结机尾断面中,如果红火层的面积小于整个断面面积的 1/3,其重心坐标的纵坐标大于断面料层高度的 2/3,则烧结过程为欠烧。如果红火层的面积小于

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60374032)

作者简介:孙铁强(1966-),男,博士研究生,主研方向:智能控制,人工生命;尹怡欣,教授、博士生导师;董洁,博士研究生;涂序彦,教授

收稿日期:2007-06-19 **E-mail:** suntieq@163.com

整个断面面积的 1/3,其重心坐标的纵坐标小于断面料层高度的 1/3,则烧结过程为过烧。如果红火层的面积与整个断面面积之比大于 1/3 且小于 1/2,其重心坐标的纵坐标小于断面料层高度的 1/3,则烧结过程正常。与烧结矿质量有关,而且能够从图像中提取的视觉特征为红火层的面积、红火层的平均亮度、烧结气孔面积的平均值、烧结气孔内部火焰亮度的平均值、重心 x 坐标、重心 y 坐标、红火层灰度方差、红火层中心高度方差、红火层宽度方差和惯性主轴方向。

使用目标的空间低阶矩描述目标的视觉特征。对于数字图像函数 $f(x,y)$, 如果它分段连续且只在 XY 平面上的有限个点不为零,则可证明它的各阶矩存在。因为各个区域的矩是用所有属于区域内的点计算出来的统计量,所以对噪声不敏感。若再从中选取恰当的矩使其在某些变换下保持数值不变,就可以认为该矩具有提取图中物体固有特征的能力,从而可以作为识别与匹配的依据。

对灰度图像上坐标为 (x,y) 的像素 $f(x,y)$ 求矩,得到的 $(p+q)$ 阶原点矩 m_{pq} 和中心矩 μ_{mn} 的离散形式为

$$m_{pq} = \sum_x x^p y^q f(x,y) \quad (1)$$

$$\mu_{mn} = \sum_x (x-m_G)^m (y-n_G)^n f(x,y) \quad (2)$$

其中, (m_G, n_G) 为一阶矩 m_{01} 和 m_{10} 标准化后求得的重心坐标,

$$\text{即 } m_G = \frac{m_{10}}{m_{00}}, n_G = \frac{m_{01}}{m_{00}}。$$

定义标准化中心矩为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{r+1} \quad (3)$$

$$r = \frac{p+q}{2} \quad (4)$$

标准化的中心矩不但具有平移变换的不变性,而且还具有比例变换的不变性。如果还想得到旋转变换的不变性,则可以利用标准化的 2 阶和 3 阶中心矩来导出不变特征的集合。这个矩组对于平移、旋转和大小比例变化都是不变的^[4]。

可以应用矩提取的图像特征如下所示:

红火层的面积(零阶矩)为

$$m_{00} = \sum_x \sum_y f(x,y) \quad (5)$$

红火层的平均亮度为

$$\bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^{m_{00}} f(x,y)}{m_{00}} \quad (6)$$

烧结气孔面积的平均值为

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{00}^i}{n} \quad (7)$$

其中, n 为烧结气孔的个数; m_{00}^i 为气孔图像的零阶矩。

烧结气孔内部火焰亮度的平均值为

$$\bar{b} = \left(\sum_{k=1}^n \frac{\sum_{i=1}^{m_{00}^k} f_k(x,y)}{m_{00}^k} \right) / n \quad (8)$$

目标的位置(重心坐标)为

$$m_G = \frac{m_{10}}{m_{00}}, n_G = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (9)$$

红火层灰度方差为

$$\delta_g^2 = \frac{1}{m_{00}} \sum_{i=1}^{m_{00}} (f(x,y) - \bar{b})^2 \quad (10)$$

将红火层的图像纵向等分 20 份,在每个纵向等分位置,

取红火层中心坐标 h_i , 求其平均值 \bar{h} , δ_h^2 表示红火层中心高度方差,并求每个位置红火层的宽度 w_i , 求其平均值 \bar{w} , δ_w^2 表示红火层宽度方差,则红火层中心高度方差为

$$\delta_h^2 = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{21} (h_i - \bar{h})^2 \quad (11)$$

红火层宽度方差为

$$\delta_w^2 = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{21} (w_i - \bar{w})^2 \quad (12)$$

设以过重心的倾角为 θ 的直线为 $y=xtan\theta$, 围绕这条直线的 2 阶矩为 $M_{f\theta}$ 。改变 θ 使 $M_{f\theta}$ 最小得到 θ_m , 这个角度称为惯性主轴角度,则惯性主轴方向为

$$\theta_m = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \quad (13)$$

3.3 人工神经网络判断烧结质量

采用 BP 神经网络进行烧结质量的判断,人工神经网络共分 3 层,分别是输入层、隐含层和输出层。其中,输入层的 10 个节点分别为烧结断面图像的 10 个视觉特征。隐含层根据经验和试验效果选用了 14 个节点。输出层为 3 个节点,分别表示烧结均匀、过烧和欠烧 3 种状况,即输出矩阵 Y 为

$$Y = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

输入层和隐含层之间的激励函数使用 Sigmoid 函数。隐含层和输出层之间使用的是线性函数^[5]。针对网络可能陷于局部最小值和网络训练时间较长的缺陷,采用了附加动量法和自适应调整速率法。网络结构如图 1 所示, I 是输入; W 为权重; S 表示输出是输入和的 Sigmoid 函数; L 表示隐含层和输出层之间使用的是线性函数。

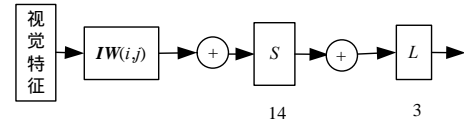


图 1 人工神经网络判断烧结质量的结构

4 实验结果

为了提取图像特征,在图像处理阶段,采用了如下处理方法:采用自适应滤波器平滑烧结机尾断面图像,最小模糊测度阈值法分割烧结机尾断面图像, Sobel 微分算子提取边缘,其中一次采集的图像及处理结果见图 2。

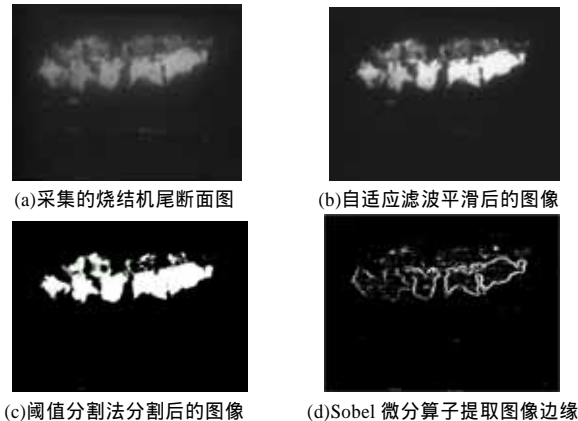


图 2 现场采集的图像及处理结果

图像处理完毕后,根据第 3 节介绍的视觉特征的提取方法提取图像的特征,根据专家经验,确定在该视觉特征时的

烧结质量,将提取的特征进行归一化处理,和质量结果一起作为学习样本,对神经网络进行学习,并存储学习结果,作为烧结质量的预测模型。在摄取一幅新的图像后,计算特征值作为神经网络的输入,通过网络计算得到预测结果。其中3次的预报结果见表1。

表1 神经网络输入及输出试验结果

特征	1	2	3
红火层的面积	0.972 3	0.984 2	0.937 6
红火层的平均亮度	0.548 2	0.784 6	0.387 6
烧结气孔面积均值	0.486 7	0.389 7	0.765 8
气孔火焰亮度均值	0.663 4	0.689 7	0.467 8
重心x坐标	0.459 4	0.607 8	0.471 9
重心y坐标	0.547 2	0.441 6	0.678 6
红火层灰度方差	0.515 2	0.647 7	0.397 8
中心高度方差	0.489 6	0.431 5	0.765 6
红火层宽度方差	0.532 1	0.465 5	0.665 4
惯性主轴方向	0.497 8	0.675 4	0.768 9
判断结果	均匀	过烧	欠烧
正确结果	均匀	过烧	欠烧

5 结束语

本文通过大量的现场调研和对烧结看火工观察烧结机尾断面图像经验的学习,确定了识别烧结机尾断面图像的视觉

(上接第233页)

下面分层介绍其各自的功能:

(1)用户界面层为用户提供与质量管理系统交流的接口。

(2)请求接收层用于接收从客户端传来的请求并将请求交给底层进行处理,通过Java Applets以及Servlet对数据进行一些简单的逻辑处理。

(3)业务逻辑层是车间计算机辅助质量管理系统的核心,它负责处理请求接收层传来的客户请求并对它进行处理,同时将处理后的请求结果返回给请求接收层。

(4)数据存储层为业务逻辑层提供质量相关数据服务,如存储应用逻辑层的处理结果、返回应用逻辑层检索的数据结果。

6 结束语

本文对车间制造过程数字化管理进行研究,提出以制造品质BOM为质量数据的载体,使得数据的存储和提取更为合理,实现了车间制造质量信息、功能和过程的完整集成,成功地使车间所有有关制造质量活动的信息流能够有效、有序地运转,突破了以往质量过于理论化和形式化的弊端。该

(上接第236页)

[2] Stanford V. Pervasive Computing Goes the Last Hundred Feet with RFID Systems[J]. Pervasive Computing, 2003, 2(2): 9-14.

[3] Finkenzeller K. 射频识别技术[M]. 陈大才,译. 北京: 电子工业出版社, 2001.

(上接第239页)

[3] Krishna A. Optimizing the ORB Core to Enhance Real-time CORBA Predictability and Performance[C]//Proc. of the 5th International Symposium on Distributed Objects and Applications. Catania, Sicily, Italy: [s. n.], 2003: 43-58.

[4] Pyarali I. Optimizing Thread-pool Strategies for Real-time CORBA[C]//Proc. of the ACM SIGPLAN Workshop on Optimization of Middleware and Distributed Systems. Snowbird,

特征,并详细介绍了提取方法。针对烧结机尾断面图像的处理,进行了图像平滑、分割、特征提取以及应用神经网络进行图像识别方法的研究。试验表明,在原料、点火温度等变化不大的情况下,正确率可达95%以上。该系统可用来直接指导生产,也可将判断结果送给过程控制计算机,进行更进一步的自动控制。

参考文献

[1] Katsuyuki M, Hideaki U, Hiroshi S, et al. Instrumentation and Control System for Sinter Plants[R]. Kawasaki Steel Corp., Tech. Rep.: 16, 1987.

[2] Dawson P R. Recent Developments in Iron Ore Sintering[J]. Iron and Steelmaking, 1993, 20(2): 135-159.

[3] 姜宏洲. 烧结机尾烧结质量智能检测仪的研制[D]. 沈阳: 东北大学, 2000.

[4] 曾鹏鑫, 陈鹏, 杨晨辉, 等. 一种动态场景多运动目标的综合检测方法[J]. 控制与决策, 2006, 21(3): 331-335.

[5] 周芳. 在线判断烧结矿烧结点的图像识别法[J]. 自动化与仪表, 2005, 20(4): 7-10.

计算机辅助质量管理系统已在某航天企业中进行了实际应用,验证了其有效性。

参考文献

[1] 宋宗峰. 市场竞争环境下的企业信息化建设[J]. 中国信息导报, 1999, 12(3): 19-20.

[2] 张根保. 现代质量工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[3] 李树良, 王连友. 网络时代的新型管理模式——数字化管理[J]. 电子标准化与质量, 2000, 5(4): 8-9.

[4] 黄宁. 面向对象分布式BOM系统的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2005.

[5] 冯波涛. 面向制造企业的BOM管理研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2002.

[6] 胡敏. 企业集成环境下的BOM研究[J]. 计算机工程, 2001, 27(6): 22-24.

[7] 徐羽中, 马玉林. 先进制造环境下的集成质量保证系统[J]. 机械与电子, 1998, 15(5): 37-38.

[4] 包起帆, 张文渊. 有源RFID的性能及其应用前景[J]. 微型电脑应用, 2006, 22(4): 1-3.

[5] 沈宇超, 沈树群. 一种用于多目标实时识别的防撞算法[J]. 北京邮电大学学报, 1999, 22(1): 10-14.

Utah, USA: [s. n.], 2001: 51-62.

[5] 周明辉, 周健. CCM构件配置与管理的研究与实现[J]. 计算机工程与科学, 2001, 23(3): 81-84.

[6] Schmidt D C, Vinoski S. Object Interconnections: The CORBA Component Model: Part 1, Evolving Towards Component Middleware[EB/OL]. (2004-02-16). <http://www.ddj.com/cpp/184403884>.

