

基于图像识别在线推断烧结矿产量的研究

邱道尹¹, 张咏梅², 王龙辉¹, 徐 昉¹, 沈宪章¹

(1. 郑州工业大学电气信息工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省济源中等工业学校, 河南 济源 454650)

摘 要 :运用数字图像处理技术,对烧结机尾的断面图像进行了处理和分析,并结合工艺研究成果、专家经验和常规仪表数据,解决烧结矿产量的在线推断问题。安阳钢铁公司烧结厂的现场实验结果表明,通过适当的图像模糊增强,采用 Marr-Heldreth 算法着重对烧成带、燃烧带和生料层进行边缘检测等处理,系统达到了接近于 1 级的预测精度。该方法还可用于解决烧结终点的闭环控制,以及与纹理和颜色相关的质量指标的预报。

关键词 :图像处理 ; 烧结 ; 模糊增强 ; 边缘检测

中图分类号 :TP 274.5 文献标识码 :A

0 引言

烧结生产是一个机理复杂、参数繁多的动态过程。目前对于烧结矿产量的检测与控制大多依据经验进行,严重地影响到烧结生产的优质、高产和低耗,因此烧结过程的产量监控一直是冶金科技界十分关注的重要课题之一。为了实现以产量为目标的优化控制,许多学者分别对烧结统计模型、机理数学模型和终点控制进行了大量研究^[1]。但由于简化假设太多,导致建立的模型精度不高,模型的求解时间冗长,难以满足实时性的要求,而且由于存在诸多难以在线检测的变量,使这些模型的工程使用价值受到了影响。

烧结反应过程与烧结矿产量的大量信息在机尾的断面上可得到最直接、最丰富的反映。本文试图依据工艺研究成果及生产经验,利用数字图像处理技术解决烧结矿产量的实时在线预报问题。

1 机尾断面图像采集及预处理

针对烧结生产的特点,建立如图 1 所示的基于图像识别在线推断烧结矿产量的流程框图。为了无畸变、清晰地获得机尾断面图像,在烧结机尾与台车高度基本一致的正后方开了一个观察孔,将摄像机固定在距离台车终点 2 m 处,实时地采

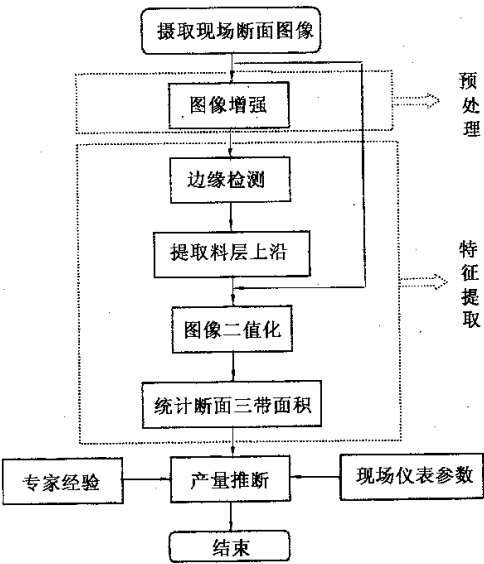


图 1 基于图像识别在线推断烧结矿产量的流程框图

集到稳定的烧结断面图像。

在图像预处理中,图像增强技术对于提高图像质量有着重要意义。然而,由于烧结图像本身的变化和不同灰度的动态特性,传统的增强方法得不到预期的效果。随着模糊数学理论不断完善和发展,考虑到图像所具有的不确定性往往具有模糊性,所以一些学者将模糊集理论应用到增强

技术中来^[2~4]。

本文提出的快速自适应适度模糊增强算法^[5]发展了已有的算法,具体工作要点如下:

(1) 选择最佳阈值:用类别方差自动门限法寻找最佳阈值^[6]。

(2) 生成模糊特征 U 平面:令 x_{mn} 表示图像第 (m, n) 个像素的灰度级; x_{\max} 表示最大灰度级,则模糊特征 u_{mn} 由空域 (x_{mn}) 按下式提取得到。

$$u_{mn} = G(x_{mn}) = x_{mn}/x_{\max}. \quad (1)$$

式中: $u_{mn} \in [0, 1]$ 。

采用式(1)所定义的隶属函数形式,将空域图像转换为模糊特征平面,以后进行的图像增强工作均在特征平面上进行。

(3) 图像的模糊增强^[4]:模糊增强是对 u_{mn} 进行非线性变换。为了实现对任意灰度级进行对比度的增强运算,给出下面的变换算子:

$$u'_{mn} = T_r(u_{mn}) = T_r(T_{r-1}(u_{mn})), r = 1, 2, \dots \quad (2)$$

其中,

$$T_r(u_{mn}) = \begin{cases} \frac{u_{mn}^2}{u_c} (0 \leq u_{mn} \leq u_c); \\ \frac{1 - (1 - u_{mn})^r}{(1 - u_c)} (u_c < u_{mn} \leq 1). \end{cases} \quad (3)$$

式中: $u_c = G(x_c)$ 。

$T_r(u_{mn})$ 的效果是增大(当 $u_{mn} \geq u_c$)或减小(当 $u_{mn} < u_c$) u_{mn} 的值。这里称 x_c 为广义渡越点。采用式(2)(3)所示增强算子,观察图像灰度直方图,根据要求选取合适的 u_c 和 r 进行增强运算。

(4) 逆变换:对 u'_{mn} 进行逆变换,得到经过模糊增强后的图像 X' , X' 中的像素 (m, n) 的灰度级

$$x'_{mn} = G^{-1}(u'_{mn}) = x_{\max} u'_{mn}. \quad (4)$$

在上述变换过程中,第二步和第三步的运算采用查表方法来实现,这样就大大减少了增强过程的运算时间,运算速度得到了显著的提高。从文献[6]所做的大量对比实验可看出,快速自适应适度模糊增强算法保留了更多的灰度信息,增强方式更加灵活,能充分满足人们的视觉要求。

因文中下一步工作的目的是进行边缘检测,并提取机尾断面图像料层上沿直线,为了减少干扰(小的边、角),这里的模糊增强可以有目的的加强灰度区信息,以便后面能尽可能多地检测出连续的边缘,从而降低对断续、分散点的灵敏度。

2 断面图像特征提取

图像的特征就是图像场明显可分的、本原的

特性或属性。本文提取断面三带(生料层、燃烧带和烧成带)的面积特征。下面第一步工作就是在对模糊增强后的图像施行边缘检测之后,提取出料层上沿;然后,去掉料层上沿以上的图像,只对剩余部分进行快速二值化,最终统计出三带的面积。

2.1 边缘检测

在分别采用 Sobel 算子、Prewitt 算子、Roberts Cross 算子和 Marr-Heldreth 算法^[6]对上节模糊增强后的图像进行边缘检测运算。通过几种方法的对比,可以发现 Marr-Heldreth 算法可得出令人满意的结果:“虚边缘”少,线段缝隙小^[5]。与其他方法比较,该算法更有利于下文直线的提取。

2.2 料层上沿的提取

用一阶算子检测边缘,在连接或拟合以形成线特征之前,需要编组、细化,找出能代表此边缘区的“真正”边缘。而用类似 Marr 的二阶导数过零检测边缘,要做的就是滤出有关边缘并按一定的规则连接之。这也是前一步选择 Marr-Heldreth 法检测边缘的主要原因之一。因为要提取的断面图像料层上沿是一条直线,所以简单的 Hough 变换便能满足要求。

2.3 图像快速二值化

通过对剔除料层上沿的断面图像的直方图进行分析发现,其具有明显的双峰性质。为了提高图像处理的速度,这里采用处理过程相对比较简单二值化图像。结合烧结机尾断面图像的处理工作,通过对多种图像处理算法进行比较,发现使用直方图同高斯滤波相结合的方法来求取二值化阈值,对图像进行二值处理,速度特别快,精度也完全能够满足生产的要求^[6]。

2.4 三带面积统计

由二值化图像可直接得到燃烧带(灰度值为“1”)的面积(像素总数) S_1 ;然后,我们计算烧成带的面积 S_2 ;最后,从总的像素数中减去以上两部分之和得到生料层的面积 S_3 。

上面得出图像中各带所占“面积”(像素数目)不是真实的面积,只是像素的点数。实际目标大小与摄入图像大小成正比关系,比例系数为

$$k = S_{\text{实}}/S_{\text{图}} = b \cdot h/(M \cdot N). \quad (5)$$

式中: b, h 分别等于台车截面的宽度和高度; M, N 为图像中目标的宽度和高度。因此,实际面积 $S_{\text{实}} = S_{\text{图}} \times k$ 。

3 烧结矿产量推断

为了简化产量推断的复杂性,根据烧结生产

的实际情况,我们设定烧结原料成分稳定,混料、布料均匀.下面给出近似计算公式:

$$Q = m \times t \lambda (l/v).$$
 (6)

式中: $m = S \times l \times \rho$; ρ 为每节台车装料的密度; S 为断面烧成带的面积; m 为每节台车相应的烧成矿的重量; l 为每节台车的长度; v 为台车运行速度; t 为计算产量的时间; Q 为 t 时间内的产量.

本文以安阳钢铁集团总公司烧结厂 5 号 24 m²烧结机为对象,推断烧结矿的产量.详细数据参见表 1.

表 1 烧结产量推断参数

| 图像 编号 | 成品域 面积/m ² | 台车速度/ (r/min) | 推断产 量/t | 实际产 量/t | 相对误 差/% |
|----------|--------------------------|------------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.110 | 2.14 | 13.54 | 55.60 | 1.091 |
| 2 | 0.102 | 2.26 | 13.26 | | |
| 3 | 0.107 | 2.15 | 13.23 | | |
| 4 | 0.095 | 2.05 | 11.20 | | |
| 5 | 0.081 | 2.37 | 11.04 | 47.48 | 1.021 |
| 6 | 0.078 | 2.37 | 10.63 | | |
| 7 | 0.075 | 2.27 | 9.79 | | |
| 8 | 0.081 | 2.50 | 11.65 | | |
| 9 | 0.092 | 2.50 | 13.23 | 54.60 | -0.727 |
| 10 | 0.088 | 2.65 | 13.41 | | |
| 11 | 0.087 | 2.50 | 12.51 | | |
| 12 | 0.083 | 2.32 | 11.08 | | |
| 13 | 0.098 | 2.27 | 12.80 | 53.40 | -1.091 |
| 14 | 0.110 | 1.96 | 12.40 | | |
| 15 | 0.083 | 2.37 | 11.32 | | |
| 16 | 0.087 | 2.50 | 12.51 | | |
| 17 | 0.076 | 2.56 | 11.19 | 58.56 | -0.756 |
| 18 | 0.100 | 2.45 | 14.09 | | |
| 19 | 0.110 | 2.40 | 15.19 | | |
| 20 | 0.090 | 2.65 | 13.72 | | |

安钢烧结厂平均每 96 min 呈报一次产量指标,每 24 min 采集一幅机尾断面图像,共取了 20 幅,并记录了对应的台车速度等参数,按前面介绍的方法算出了燃烧带、烧成带和生料层的面积.利用本文方法实际推断出来的产量与实际产量相比,可以为现场生产及时提供正确的信息,使生产趋于更加高效的运作工况.

另外,利用数字图像处理技术,能在线地提取燃烧带的位置和宽度特征,为烧结终点闭环控制的实现提供了一种新思路:利用图像序列特征多步递推预报烧结终点,并通过调节台车速度、风箱负压和点火时间等参数实现终点控制.

参考文献:

[1] 徐瑞图.烧结过程基础理论研究[D].北京:北京科技大学,1988.

[2] PAL S K, KING R A. Image enhancement using smoothing with fuzzy set[J]. IEEE Trans on SMC, 1981, 11(7): 949 - 951.

[3] LAW T, ITOH H, SEKI H. Image filtering, edge detection and edge tracing using using fuzzy reasoning[J]. IEEE Trans on PAMI, 1996, 18(5): 481 - 491.

[4] TADROWS P J. A simple and sensitive method for derctional edge detection in noisy images[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(10): 1575 - 1586.

[5] 王龙辉, 邱道尹, 沈宪章. 一种适度增强的模糊增强算法[J]. 郑州: 郑州工业大学学报, 1998, 19(4): 29 - 32.

[6] 王龙辉. 基于图像识别在线推断烧结矿产量的研究[D]. 郑州: 郑州工业大学, 1999.

Study of On - line Inference Sintering Production Based on Image Recognition

QIU Dao - yin¹, ZHANG Yong - mei², WANG Long - hui¹, XU Fang¹, SHEN Xian - zhang¹

(1. College of Electrical & Information Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Jiyuan Middle Industry College, Jiyuan 454650, China)

Abstract: This paper applies digital image processing technique to analyze and process sinter image. Meanwhile, according to the expert's experience and traditional instrument data, its aim consists in solving the problem of on - line deducing sinter production. With the processing of moderate image fuzzy enhancement, this paper uses Marr - Heldreth algorithm to detect the edges of combustion zone, the buming zone and raw layer etc. The result of Anyang Iron & Steel Company's experiments indicates that this system has been up to and close to 1 - grade predicting precision. Moreover, this research may be used to solve sintering terminal loop control and predict quality indicatrix relating to color and grain.

Key words: image processing; sintering; fuzzy enhancement; edge detection