

文章编号 1000-5013(2000) 02-0134-04

# 图像模糊散度阈值分割法的 生料球在线检测

方 千 山

(华侨大学电气工程与自动化系, 泉州 362011)

**摘要** 生料球粒度的大小对水泥质量有直接影响, 目前尚无其粒度在线检测的有效手段. 基于计算机图像识别技术, 提出在线测定生料球粒度的新方法, 并以此组成生料球粒度在线检测系统, 实现预加水成球的闭环控制.

**关键词** 生料球, 在线检测, 图像阈值化分割, 闭环控制

中图分类号 TQ 172.6<sup>+</sup>1 : TP 273<sup>+</sup>.4

文献标识码 A

预加水成球系统是水泥生产的重要工序, 其生料球粒度大小和粒度分布对熟料的烧成质量、烧成时间, 以及能耗都具有直接影响<sup>[1]</sup>. 近年来, 许多水泥厂应用微机对预加水成球系统进行控制, 其实质为开环控制, 难以达到预期的控制效果<sup>[2]</sup>. 采用计算机图像识别技术组成的在线检测系统, 其输出可作为系统的反馈信号, 从而实现预加水成球的闭环控制.

## 1 检测系统组成和工作原理

图 1 为生料球粒度在线检测系统示意图. 它主要由摄像机、图像采集卡、微机图像分析系

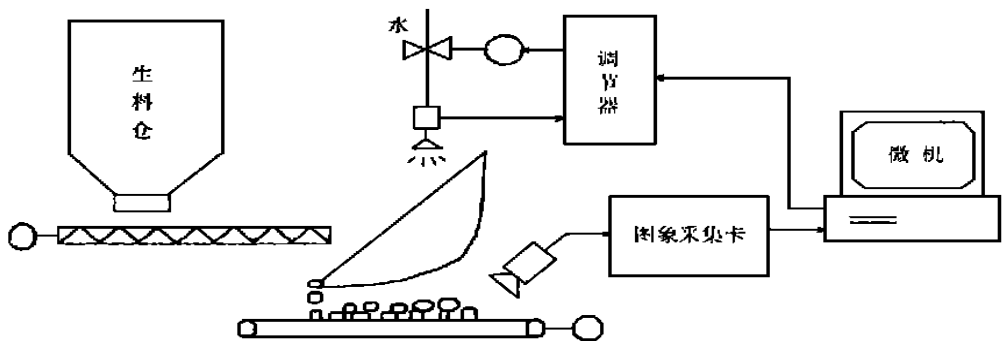


图 1 生料球粒度在线检测系统示意图

统以及调节器组成. 位于皮带上方的 CCD 摄像机, 将成球盘卸入皮带输送机上的生料球图像

转换成视频图像信号, 经视频图像采集卡转换成数字图像信号输入到计算机. 计算机将灰度图像分割成料球区域标号, 统计各料球区域象个数, 作出料球粒度分布曲线, 在监视器上显示. 将此实测结果作为反馈信号, 通过调节器预加水量, 以实现闭环控制.

## 2 生料球粒度检测方法

将料球灰度图像转换成黑白图像, 以便进行料球粒度测量. 其中, 白色表示料球截面信息, 黑色表示料球边界信息. 要求分割的料球边界是连续的、真实的, 这是料球正确检测的先决条件<sup>[6]</sup>. 传送带上的生料球图像是一种堆积的颗粒图像, 其与分散颗粒图像比较具有明显不同的特征. Weszka<sup>[6]</sup>和 Bhann<sup>[6]</sup>应用阈值方法对传送带上的颗粒图像进行分割实验, 认为阈值方法不能被使用. Zunigh<sup>[6]</sup>应用一些典型的微分算法和模板匹配算法, 对上述颗粒图像进行分割实验. 认为此算法对噪声很敏感, 并且难以在适当的滤波和边界颗粒检测之间进行平衡. Lange<sup>[7]</sup>应用纹理分析的方法进行上述实验, 认为图像模型变化太大, 不能有效处理. 本文从模糊散度的内下凸特性及相似性度量出发, 采用最小模糊散度准则, 要求最优阈值满足使原始图与分割图之间的模糊散度最小. 从而区分目标和背景图像, 实现料球粒度检测<sup>[8]</sup>.

## 3 隶属度函数与阈值化

### 3.1 隶属度函数的确定

假设图像中只有目标和背景两种模式, 并可以通过灰度特征进行分割, 论域取灰度轴, 元素  $S$  取像点的灰度  $g$ . 在一幅图像中, 目标的灰度主要集中在目标类的均值附近, 且均值的隶属度最大. 类内像素的隶属度和该像素与均值的距离成正比, 而且类内所有像素的隶属度均大于 0.5. 那么对原始图像  $G$ , 可分别构造出目标和背景的隶属函数为

$$\mu_1(g; t, G) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2} \left| \frac{g - m_1(t)}{C} \right|^\alpha & 0 \leq g \leq t, \\ \frac{1}{2} \left| \frac{g - m_2(t)}{C} \right|^\alpha & t < g \leq L, \end{cases}$$

$$\mu_2(g; t, G) = 1 - \mu_1(g; t, G)$$

式中  $t$  为待选阈值,  $L$  为灰度上界,  $\alpha$  为类内元素对均值的紧致度参数 (即模糊语义) 且  $\alpha > 0$ ,  $C$  为归一化因子,  $m_1(t)$  和  $m_2(t)$  为类内均值. 分割后的二值图  $B$  的模糊隶属度函数为

$$\mu_1(g; t, B) = \begin{cases} 1 & 0 \leq g \leq t, \\ 0 & t < g \leq L, \end{cases}$$

$$\mu_2(g; t, B) = 1 - \mu_1(g; t, B).$$

### 3.2 最小模糊散度阈值化

计算二值图  $B$  和未分割的图像  $G$  的目标之间与背景之间的模糊散度, 也就是说  $B$  与  $G$  之间的模糊散度. 对其进行修正后可得

$$D(G, B; t) = - \sum_{g=0}^L h(g) [1 + \mu_1(g; t, G)] \ln 2 - \sum_{g=t+1}^L h(g) [2 - \mu_1(g; t, G)] \ln 2 +$$

$$D(B, G; t) = \sum_{g=0}^L h(g) \{ [2 - \mu_1(g; t, G)] \ln[2 - \mu_1(g; t, G)] \} - \sum_{g=0}^L 2h(g) \ln 2 - \sum_{g=0}^L h(g) \{ 2 \ln[1 + \mu_1(g; t, G)] + \ln[2 - \mu_1(g; t, G)] \} - \sum_{g=1}^L h(g) \{ 2 \ln[1 + \mu_1(g; t, G)] + 2 \ln[2 - \mu_1(g; t, G)] \}.$$

于是, 取阈值为  $t$  时的模糊散度为  $D(G; B; t) = D(G; B; t) + D(B, G; t)$ . 按照最小模糊散度准则, 可使  $D(G; B; t)$  为最小的最优阈值<sup>[9]</sup>.

### 3.3 料球粒度分析方法

在一幅料球图像中, 位于物料堆栈积体上层是完整的料球, 其余的是不完整的料球. 由于料球是一个近似球体, 可通过圆形度判断料球的完整性, 因而能够剔除不完整的料球. 统计每个料球区域的边界像素总和作为该区域边界的周长, 统计每个料球区域包含的像素总和作为面积. 因此, 料球的圆形度为  $P = L^2 / 4\pi S$ . 式中  $P$  为料球圆型度,  $L$  为料球轮廓周长(mm),  $S$  为料球截面积( $\text{mm}^2$ ).

## 4 实验与分析结果

图 2, 3, 4, 5 是应用本文提出的图像模糊散度阈值化分割算法, 与其它方法作比较分析, 对

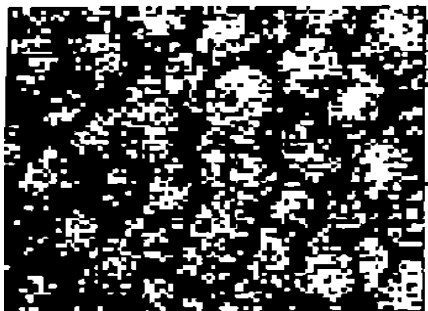


图 2 未分割的生料球图像



图 3 Sobel 算法分割结果



图 4 Robert 算法分割的结果

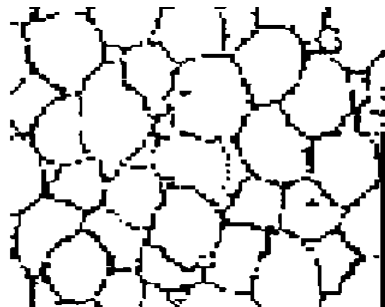


图 5 本文方法分析的结果

传送带上水泥生料球图像进行检测实验的结果. 其中, 图 2 为未分割的生料球图像, 图 3 为应用 Sobel 算法分割结果, 图 4 为应用 Robert 算法分割的结果, 图 5 为应用本方法分析的结果.

比较上述几个图形, 我们可以看出, 采用模糊集合表达图像可同时定义了新的隶属度函数形式以及分割算法, 克服了传统  $s$  函数带宽对分割效果的影响. 实验结果表明, 该算法适合于

球形物料图像的检测。同时,本检测系统输出的信号可作为预加水成球控制的反馈信号,从而可实现闭环控制。

## 参 考 文 献

- 1 商树垣. 料球粒径对立窑内传热和阻力损失的影响[J]. 山东建材学院报, 1994, (8): 57 ~ 61
- 2 袁南儿. 预加水成球计算机模糊控制[J]. 工业控制计算机, 1999, (2): 7 ~ 10
- 3 苑玮琦, 王建军. 和宏勋, 生料球粒度在线检测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 1998, 1(19): 29 ~ 33
- 4 Weszka J S. A survey of threshold selection techniques[J]. Computer Graphics Image Process, 1978, 28 (7): 259 ~ 265
- 5 Bhanu B. Segmentation of image having unimodal distribution[J]. IEEE Trans on PAMI, 1982, (4): 408 ~ 419
- 6 Zuniqa O A, Haralik R M. Integrated direction derivative gradient operator[J]. IEEE Trans on PAMI, 1987, (17): 256 ~ 265
- 7 Lange T B. Real-time measurement of the size distribution of rocks on a conveyor belt[J]. IFAC, 1988, (1): 25 ~ 34
- 8 林荣德, 杨翔翔. 在 Windows 下数值分析计算软件的编程技术[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1998, 19 (3): 193 ~ 197
- 9 薛景浩. 一种新的图像模糊散度阈值化分割算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, (1): 10 ~ 15

# On-line Detecting Material Globules of Cement Raw Based on Thresholding Segmentation of Image with Fuzzy Divergence

Fang Qianshan

(Dept. of Elec. Tech. & Auto., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** The quality of cement is directly influenced by the grain-size of material globules of cement raw. There is no effective means for their on-line detection. Based on technique of image recognition, a new method is proposed and a system is further developed. With which the closed-loop control of globule fotation by pre-watering can be realized.

**Keywords** on-line detecting material globules of cement raw, thresholding segmentation of image, closed-loop control