

一种基于逻辑判断的山谷型边界检测方法

苑玮琦^{1,2)} 张田文¹⁾

¹⁾(哈尔滨工业大学计算机科学与工程系, 哈尔滨 150001)

²⁾(沈阳工业大学信息科学与工程学院, 沈阳 110023)

摘要 针对特定环境目标图象的分割,提出了一种基于逻辑判断的非监督边界检测方法,该方法可直接从原始图象中提取边界,而不需要进行边界强度计算和阈值分类,其算法简单,且具有噪声滤波功能,故适合于山谷型边界检测,通过堆积类球形颗粒轮廓的提取实验证明,效果较好。

关键词 边缘检测 山谷线 逻辑判断 非监督 局部灰度

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)06-0577-05

Valley Type Edge Detection Method Based on Logic Judgement

YUAN Wei-qi^{1,2)}, ZHANG Tian-wen¹⁾

¹⁾(Dept. of Computer Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

²⁾(School of Information Science and Engineering Shenyang University of Technology Shenyang 110023)

Abstract In this paper, firstly the distribution characteristic of accumulate granule on the image gray space is analyzed under the different angles and distributions of light ray, the foundation is provided for abstracting granule contour information. A non-supervisory roof edge detection method is proposed based on a logic judgement, which includes four steps: (1) The analysis window consisting of 3×3 sub-windows is assumed, where each sub-window consist of $l \times l$ pixels, the size of sub-window is related to the size of objects. (2) The gray average value of 3×3 sub-windows is calculated. (3) The gray average values of 3×3 sub-windows is compared respectively along four directions, if the gray average value of center sub-window is smaller than one of other two sub-windows in some direction, the center or some near center pixel in the sub-window is labeled as the candidate of edge pixel. (4) Scanning original image get the edge bit-map by the analysis window. (5) The false edge pixels in the bit-map can be removed by the proposed false edge filtering method. This method need not to the conventional procedure of abstracting edge pixels through calculating edge intensity and then thresholding edge intensity, is suited to the roof edge detection. The experiment results of the granule contour abstraction in accumulate global granule image proved that the method is effective.

Keywords Edge detection, Valley line, Logic judgement, Non supervision, Local gray

0 引言

如今,许多研究者侧重于将现有复杂的数学手段用于图象分割或边缘检测,却忽略了检测结果的实际意义和实际效果,忽略了人类识别图象主要依赖于知识和经验、依赖于了一幅图象的整体效果这一

实际.虽然就目前研究状况而言,给出一个通用的图象分割算法还难以实现^[1,2].但针对特定环境,利用其特有的知识来解决实际目标图象的分割,却更有现实意义.对目标进行边缘检测的目的应该作为边缘检测效果的评定依据.

工业生产过程中的某些中间产品为近似球形颗粒,如冶金工业中的烧结球团,水泥生产中的生料

球,这些颗粒的粒度大小直接影响烧结质量,能源消耗,在线检测传送带上堆积球团或生料球的粒度大小并通过反馈,控制其成球粒度大小对于这些产品的生产具有重要意义^[3,4].但目前尚没有在线检测传送带上堆积球团粒度的方法.通过摄像机采集颗粒图象,再根据颗粒图象的视觉轮廓,来估算其粒度,已是一种简单方便经济实用的方法.由于颗粒的视觉轮廓为近似圆形,因此,可将类球形颗粒粒度的求取变为类圆形目标轮廓的提取.

1 堆积球团图象的特征研究

球团是由烧结混合料粉末加水在成球盘上滚动制成的一个近似球体,而球团表面则是一个与粉末粒度有关的粗糙曲面,由于相互碰撞而在表面形成大小和形状不一的凹凸斑痕.当图象拍摄距离较近时,若距离较近,颗粒轮廓在图象中具有较大面积,这虽有利于颗粒轮廓的提取及粒度的估算,但颗粒表面的斑痕信息也清晰地表现在图象中,这一斑痕信息可以当作噪声信息;当图象拍摄距离较远时,颗粒表面斑痕噪声信息减小,但颗粒轮廓在图象中的面积也相对减小,这将不利于颗粒粒度的计算.

球团表面是单一黑色的,有利于颗粒轮廓的识别.

在堆积球团图象中,颗粒之间是点接触,或确切地说是小面积接触,因此颗粒之间有间隙,从堆积颗粒上方观测颗粒之间的间隙,观测到的是下层颗粒表面信息.

在一束平行光线垂直照射下,单个球体表面的灰度级分布是不相同的,如在球体的顶端表面因为与光线垂直,其对光线起全反射作用,反射角为 0° ,亮度最大,图象灰度级最高,但随着光线反射点位置从球体顶端移向球体轮廓处时,由于反射角增加,因此亮度减小,图象灰度级也逐渐减小(如图1所示).

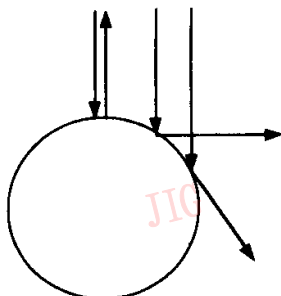


图1 光线在球体上的反射情况

由此可见,在一束平行光线垂直照射下,堆积球体表面的灰度级分布类似于单个球体表面(如图2所示),但实际球体的大小是不均匀的,而且无论球体是否在一个水平面上,若从球体上方观测,则球体相接触部分均具有较低的灰度级,则表现为一条山谷线,而上层球体表面与下层球体表面具有接近的灰度级.

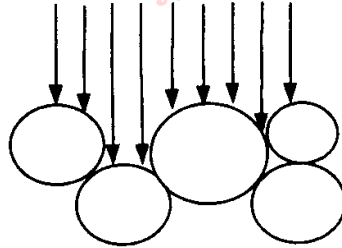


图2 光线照射情况

在一束平行光线的倾斜照射下,堆积球体表面灰度级的分布将与光线垂直照射下有所区别.

如果光线倾斜照射到堆积球体颗粒表面,将有两种情况.第1种情况是光线直接照射到的下层球体表面(如图3所示),其灰度与上一层接近,且在上下两球体交界处为一条山谷线;而在光线不能直接照射到的部分,下层球体表面的灰度级将低于上一层球体,且在上下两球体交界处将呈现为梯度线,下层球体一部分被照射,一部分未被照射,因此在交界处将呈现梯度变化,其灰度级分布由一个梯子型和一个山谷线组成;第2种情况是倾斜的光线只能照射到上层球体表面(如图4所示),下层球体将呈现阴影,相对两个球体来说,应该成为一个梯子型.由于生球为黑色,其

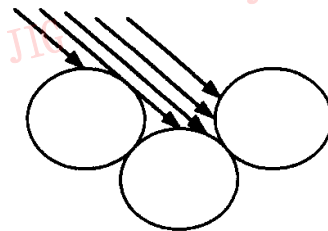


图3 光线斜射情况1

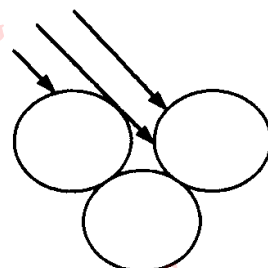


图4 光线斜射情况2

光线反射效果较差,下层球体将不会因反射而得到充足的照度,故在图象中将呈现较低的灰度。

以上所讨论的条件是一束人工平行光线照射的情况,但通常情况下,生产过程是在室内进行的,如果是在白天,光线是通过窗户斜射进入室内,并且仅照射到堆积球体的表面。此时由于光线的强度与天气晴朗程度有关,而与堆积球体表面灰度级分布规律关系不大,因此,在没有特殊加入人工光源的情况下,可以直接利用自然光的照射作用来拍摄堆积球团图象,其图象拍摄效果与图 4 的情况相类似。

如果加入一个人工光源,且设其垂直照射在堆积球体的表面上,此时要求光源应具有足够的功率,以使光线具有足够的强度,以便能抑制室外光线对堆积球体表面的光线影响。如果光线照射强度不足,那么堆积球体表面灰度分布将受室外光线的影响。

根据以上分析,在自然光线照射下,堆积球体上层颗粒表面具有较高的灰度级,而颗粒之间相接触部分以及不接触的间隙部分具有较低的灰度级,将后者当作山谷底来处理。

2 基于逻辑判断的堆积类球形颗粒轮廓提取方法

基于局部灰度极小值的边缘检测算法,其基本思想是在堆积颗粒图象中,颗粒与颗粒之间在灰度空间的侧面轮廓表现为一个山谷形状,山谷底可以表示为颗粒之间的轮廓边界,因此轮廓边界实际上位于沿某个方向(即边界的法线方向)某个区域具有灰度级极小值的地方,而与该区域的实际平均灰度级无关(如图 5 所示)。由此可见,只要能够检测出所有山谷底象素,其连线即为上层堆积颗粒的轮廓。由于该算法可以直接通过不等式逻辑判断提取边界象素,不需要进行边界强度计算和阈值选择,因此将该算法也称作基于逻辑判断的堆积颗粒轮廓提取算法。

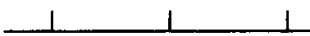


图 5 边界法线方向

设 $f(i, j)$ 表示原始图象象素在点 (i, j) 的灰度,其中, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, M$, 同时定义一个边界检测模板 X , 由 3×3 个子模板 X_m 按照正方形矩阵排列组成, 其中, $m=0, 1, \dots, 8$ 表示子模板的序号, 且 X_0 位于 9 个子模板的几何中心(如图 6 所示)。

X_1	X_2	X_3
X_8	X_0	X_4
X_7	X_6	X_5

图 6 检测模板

每个子模板由 $l \times l$ 个象素 a_{mn} 按照正方形矩阵排列组成, 其中, $l=1, 2, 3, \dots, n=0, 1, \dots, l \times l - 1$ 表示象素在子模板中排列序号; a_{mn} 表示第 m 个子模板中的第 n 个象素的灰度级。设 a_{00} 为待检测边界象素, 如果子模板由奇数个象素组成, 则定义 a_{00} 位于 X_0 的几何中心; 如果子模板由偶数个象素组成, 则定义 a_{00} 位于 X_0 中靠近几何中心的任何一个位置, 这是与其他边界检测算法中要求扫描点位于模板几何中心不一致的地方。当检测子模板 X_m 由 1×1 个象素组成时, 称为点边界检测, 所检测出的颗粒轮廓宽度为一个象素; 当检测子模板 X_m 由 $l \times l (l > 1)$ 个象素组成时, 称为区域边界检测, 所检测出的颗粒轮廓宽度为 l 个象素。需要说明的是, 这里的 a_{00} 对应于原始图象中的 $f(i, j)$ 。设 $P(i, j)$ 表示边界图象在点 (i, j) 的状态, 其中, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, M, P(i, j)$ 为由逻辑“0”“1”组成的二值函数, “1”表示对应于边界象素, “0”表示对应于非边界象素。边界图象是根据所提出的边界检测算法由原始图象影射而成。

设 \bar{F}_m 表示第 m 个子模板 X_m 中 $l \times l$ 个象素灰度的平均值, 即

$$\bar{F}_m = \frac{1}{l \times l} \sum_{n=0}^{l \times l - 1} a_{mn} \quad (1)$$

如果子模板 X_0 的象素灰度平均值 \bar{F}_0 满足下列条件之一

$$\bar{F}_1 > \bar{F}_0 < \bar{F}_5 \quad (2)$$

$$\bar{F}_2 > \bar{F}_0 < \bar{F}_6 \quad (3)$$

$$\bar{F}_3 > \bar{F}_0 < \bar{F}_7 \quad (4)$$

$$\bar{F}_4 > \bar{F}_0 < \bar{F}_8 \quad (5)$$

则将子模板 X_0 中象素 a_{00} 所对应的原始图象中 (i, j) 点在边界图象中相应点标记为边界候选象素, 即在边界图象中, 令 $P(i, j)=1$, 否则, 令 $P(i, j)=0$ 。边界候选象素由边界象素和斑点噪声等干扰信号引起的伪边界象素组成。式(2)~式(5)作为检测边界候选象素是否存在的判定准则。

用上述检测模板扫描原始图象中所有象素, 在边界图象中标记所有符合上述判定准则之一的边界

候选像素,从而完成从原始图象到边界图象的影射.

按照上述算法所得到的边界候选像素由真实边界和伪边界组成.考虑到堆积颗粒轮廓是一个封闭的曲线,应用文献[5]提出的颗粒图象伪边界滤波算法,可以消除颗粒表面的斑点噪声.在消除斑点噪声之后,所得结果即为边界图象.

基于逻辑判断的边界检测算法归纳如下:

- (1) 选择由 $l \times l$ 个像素组成的子模板,并计算 9 个子模板的像素灰度平均值;
- (2) 根据边界候选像素判定准则在边界图象中确定边界候选像素;
- (3) 用检测模板扫描原始图象所有像素,获得边界图象;
- (4) 根据文献[5]提供的噪声滤波方法,消除掉边界图象中的伪边界,即得到真实边界图象.

3 实验结果与讨论

按照以上的边界检测算法,对堆积生料球图象进行了边界检测实验.图 7(a)为堆积生料球图象,图 7(b)为当子模板 X_m 由 1×1 个像素组成时,所得到的二值化堆积生料球轮廓边界图,由图 7(b)可以看到,该算法可以得到连续性较好的边界轮廓,且边界定位准确,边界宽度由一个像素构成,符合 Canny 的最佳边界响应准则.但是生料球表面斑点噪声影响比较严重,个别地方出现边界轮廓断点.分析与实验结果表明,由于该处谷底由多个相同灰度级的像素构成,因此,用单点灰度极小值判断方法无法检测,这时可以将单点谷底像素判断扩展为多点谷底像素灰度级判断,具体方法见文献[5];图 7(c)为当子模板由 2×2 个像素组成时,所得到的二值化堆积生料球轮廓边界图.其边界像素是通过将子模板 X_0 的 4 个组成像素中左上角像素作为 a_{00} 搜索而得到的,由图 7(c)可以看到,堆积生料球表面斑点噪声的影响大大减小,虽然边界宽度加大,但通过细化处理可以得到解决,且与由一个像素构成的子模板检测结果比较,边界连续性也有所改善;图 7(d)为当子模板由 3×3 个像素组成时,所得到的二值化堆积生料球轮廓边界图,其边界像素是通过将子模板 X_0 的 9 个组成像素中几何中心像素作为 a_{00} 搜索得到的,由图 7(d)可以看到,斑点噪声影响虽进一步减小,但边界宽度却进一步加大,且个别地方边界连续性变差.分析表明,该处边界灰度级虽然呈现谷底特

征,但是谷底灰度差小,在较大的子模板内对各点灰度级进行平均后,使得谷底特征不能得到体现.由此可以得到结论,在边界灰度级与周围区域没有明显差异时,用较大尺寸的子模板进行边界检测,可能会使边界信息丢失,因此,就图 7 所示的堆积球体来说,由 2×2 个像素所组成的子模板尺寸比较适合.

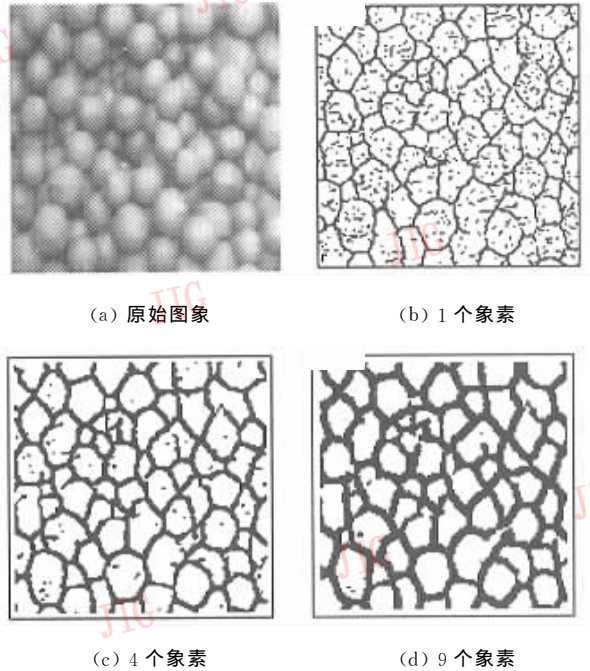


图 7 逻辑判断检测算子

以上讨论表明,随着子模板尺寸的增加,斑点噪声滤波效果增加,但所检测的边界宽度也增加,这可以通过细化处理解决.由此可见,当原始图象中颗粒尺寸比较大时,山谷相对较宽,选择尺寸较大的子模板有利于噪声平滑,和边界连续性.反之颗粒尺寸比较小时,山谷相对较窄,选择尺寸较小的子模板有利于边界的连续性.

4 结束语

本文提出一种基于逻辑判断的非监督边界检测算法,其特点在于直接从原始图象中提取边界,不需要进行边界强度计算和阈值分类,算法简单,具有噪声滤波功能,适合于山谷形图象的边缘检测,在堆积类球形颗粒轮廓提取实验中得到了较好的效果.该算法在应用中需依据图象中谷底的宽度来选择不同的子模板尺寸,即当山谷底的宽度基本确定时,子模板的尺寸也基本确定.实验结果验证了算法的有效性.除了边界像素符合山谷底条件之外,处于非边界处的

斑点噪声象素也符合山谷底条件,当检测子模板多个象素构成时,则对单点噪声和较弱的多点噪声均具有平滑功能,如果噪声较强,那么应该将噪声当作边界来提取.通过后处理即可以消除斑点噪声的影响.

参考文献

- 1 罗希平,田捷等.图象分割方法综述.模式识别与人工智能,1999,12(3):300~312.
- 2 PAL N R, Pal S K. A review on image segmentation techniques. Pattern Recognition, 1993,26(9):1277~1294.
- 3 卡佩尔 F, 文德博恩 H. 铁矿粉烧结. 北京:冶金工业出版社. 1979:122~125.
- 4 中南矿冶学院团矿教研室. 铁矿粉造块. 北京:冶金工业出版社. 1978:102~103.
- 5 苑玮琦,张宏勋.基于局部灰度极值法的水泥生料球图象边缘检测.模式识别与人工智能,1997,12(4):397~400.

苑玮琦 1960年生,博士,哈尔滨工业大学计算机科学与工程系博士后,沈阳工业大学信息科学与工程学院教授.感兴趣的研究领域包括图象处理、模式识别、检测技术.已发表学术论文40余篇.

张田文 1940年生,哈尔滨工业大学计算机科学与工程系教授,博士生导师.主要研究领域为图象信息理论、模式识别、计算机视觉、虚拟现实、人工生命.已发表学术论文数十篇.

《中国图象图形学报》文后参考文献编排格式

1. 专著、论文集、学位论文、报告

[序号]主要责任者.文献题名[文献类型标识].出版地:出版者,出版年.起止页码.

- 1 刘国钧,陈绍业,王凤.图书馆目录[M].北京:高等教育出版社,1957:15~18.
- 2 张筑生.微分半动力系统的不变集[D].北京:北京大学数学系数学研究所,1983.

2. 期刊文章

[序号]主要责任者.文献题名[J].刊名,年,卷(期):起止页码.

- 1 金显贺,王昌长,王忠东,等.一种用于在线检测局部放电的数字滤波技术[J].清华大学学报(自然科学版),1993,33(4):62~67.

3. 论文集集中的析出文章

[序号]析出文献主要责任者.析出文献题名[A].原文献主要责任者(任选).原文献题名[C].出版地:出版者,出版年.析出文献起止页码.

- 1 钟文发.非线性规划在可燃毒物配置中的应用[A].赵玮.运筹学的理论与应用——中国运筹学会第五届大会论文集[C].西安:西安电子科技大学出版社,1996:468~471.

参考文献类型及标识

参考文献类型	专著	论文集	报纸文章	期刊文章	学位论文	报告	标准	专利
文献类型标识	M	C	N	J	D	R	S	P

电子文献类型参考文献标识

电子参考文献类型	数据库	计算机程序	电子公告
电子文献类型标识	DB	CP	EB

载体类型标识

载体类型	联机网络	磁带	光盘	磁盘
载体标识	OL	MT	CD	DK