

文章编号:1001-5132 (2008) 03-0297-04

基于形状及边界参数的凸形图像公制周长的计算方法研究

赵攀, 陈 愚, 汪一聪, 杨任尔

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 基于二值凸形图像的形状及边界参数, 提出一种以毫米为度量单位进行周长计算的方法。需首先进行毫米/单位像素的换算, 然后对凸形图像的原始灰度图进行二值化处理以便于边界识别, 再基于边界来进行图像形状及边界参数的提取。将这些参数作为回归变量建立多元线性回归模型, 用以估算凸形图像的周长偏移率, 进而估算其周长。实验结果表明: 本算法具有精度高、易实现等特点, 为相关图像图形分析提供一定的理论参考。

关键词: 度量换算; 公制单位; 特征参数提取; 周长模型

中图分类号: TP391

文献标识码: A

像素点计算目标区域周长得到的结果具有明显的方向可变性, Imre A R 等的研究表明同一形状目标图像旋转 45° 后引起的周长误差可达 20%^[1,2]。基于公制单位的弧长算法也有一定的理论研究, 在现行弧长算法原理中, 弧长的计算算法仅适用于单调、缓变的曲线, 同时也受到格网密度的影响, 且弧长算法的结果误差较大, 最大可达 29.3%^[3]。

通过对大量数据进行分析, 本文假定周长与图像形状及边界参数存在某种线性函数关系, 建立长宽比、圆度和边齿度这些参数与欲求周长的多元线性回归模型, 并通过检验回归方程及其系数的显著性, 理论上证明了所建模型的有效性。为将算法应用于颗粒分析, 进行相应颗粒平面二维图像周长的求取, 采用代表一般颗粒形状信息的 8 种基本几何图形进行测试, 实验结果精度均在 $\pm 5\%$ 以内。

1 像素的公制度量换算

为了得到基于公制单位的周长, 先要对像素进行度量换算, 计算出毫米/单位像素的数值, 因为此数值的大小与相机本身工作参数以及相机与被摄对象的空间相对位置有关, 所以硬件的空间位置及相机参数设置为常数(例如照相机镜头距被摄对象的距离为 524 mm, 照相机分辨率为 640×480 等)。整个实验装置如图 1 所示。



图 1 实验取图装置

收稿日期: 2008-03-13.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 国家教育部留学回国基金(2006699); 宁波市自然科学基金(2006A610016).

第一作者: 赵攀(1983-), 男, 河南周口人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 计算机视觉和图像处理. E-mail: buxizhihuo@126.com

为了有效地描述图形形状,须先对被摄对象进行边缘检测.用1个内置光源盒来协助图像真实边缘的提取,其上表面为光可透过的白色聚乙烯塑料薄板,将被摄对象置于其上,利用发光背景就会产生对比度极强的灰度图像,并利用双峰法可在灰度直方图上选择阈值^[4,5],从而将其转化成为二值图,同时也更方便地进行边缘的检测与获取.

用直径分别为18.94 mm、22.46 mm、24.94 mm的3种硬币来求取度量换算系数,每种共取9枚,在取图背景上排列成约等距的 3×3 形式,利用最小平方曲线拟合法可求得mm/pixel的比值^[6].本实验的结果为 x (水平)方向 $0.9420 \text{ mm} \cdot \text{pixel}^{-1}$, y (垂直)方向 $0.8615 \text{ mm} \cdot \text{pixel}^{-1}$.

2 定义形状及边界参数

本文将使用长宽比、圆度、边齿度这3个形状及边界参数,这些参数都为无量纲参数,且与平移、旋转以及缩放比例无关,对它们定义如下.

长宽比为 $D_{\text{maj}}/D_{\text{min}}$,其中 D_{maj} 和 D_{min} 分别为区域图像的主直径和次直径,单位各为mm.区域图像的长宽比可以通过对颗粒边界点用主元分析法(Principal Component Analysis)求得.其具体算法为:首先求出1个基于边界点的 2×2 协方差矩阵,再求出该协方差矩阵的特征向量,该特征向量标注了主元和次元的方向,亦即主轴和次轴的方向.并迫使主轴和次轴通过形心,两轴与边界的交点为主次直径的两端点,而主次直径的比值用作区域图像的长宽比.

圆度为 $2M_{\text{sig}}/D_{\text{maj}}$,其中 M_{sig} 为区域图像轮廓波形平均值,即从形心到区域图像所有边界点长度之和的平均值.当区域形状愈趋向圆形,则该值越接近于单位长度1.

边齿度为 $V_{\text{sig}}/M_{\text{sig}}^2$,其中 V_{sig} 为区域图像轮廓波形的方差(即所有从形心到区域图像边界点长度与该区域图像特征圆半径差的平方和的平均值),

单位为 mm^2 .对于边界线为完全理想的平滑曲线, V_{sig} 值为0.因为求取的边齿度值都很小,所以在多元线性回归模型中取边齿度的负常用对数值.对数变换可以压缩变量值范围,使其在模型中不至于压倒其他变量.

3 建立周长估算模型及有效性检验

3.1 周长估算模型

对于任意二值凸形图像而言,把从图像形心到图像所有边界像素点距离之和的平均值定义为特征圆半径,把以此为半径的圆定义为特征圆.设特征圆周长为 L' ,则凸形图像周长 L 可表示为:

$$L = L'(1 + L''), \quad (1)$$

其中, L'' 定义为周长偏移率.因此只要估算出周长偏移率 L'' ,就可以估算凸形图像周长 L .

用上述3个形状及边界参数来建立多元线性回归模型对周长偏移率 L'' 进行估计,模型可表示为:

$$L'' = \beta_0 + \beta_1 D_{\text{maj}}/D_{\text{min}} + \beta_2 2M_{\text{sig}}/D_{\text{maj}} + \beta_3 (-\log(V_{\text{sig}}/M_{\text{sig}}^2))^{-1} + \varepsilon, \quad (2)$$

其中, ε 属均值为0,方差为常数的高斯白噪声型误差项, β_k ($k=0,1,2,3$)为回归系数.则(2)式的估计模型为:

$$\hat{L}'' = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 D_{\text{maj}}/D_{\text{min}} + \hat{\beta}_2 2M_{\text{sig}}/D_{\text{maj}} + \hat{\beta}_3 (-\log(V_{\text{sig}}/M_{\text{sig}}^2))^{-1}. \quad (3)$$

经过随机采样的115个凸形图像集合被用来求取回归系数值,如图2所示.灰度图像首先要转换为二值图像,分别求取该二值图像所对应的长宽比、边齿度和圆度,并将其列入数据库中.真实周长值 L 减去特征圆周长 L' ,将其差值与特征圆周

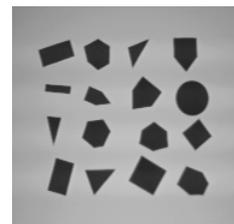


图2 用于建模的部分样本灰度图像

长 L' 相比可得到相应二值凸形图像的真实周长偏移率 L'' , 从而建立其与从相应二值图像中所提取出的参变量之间的关系. 用误差最小平方和法估算的回归系数 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$ 列在表 1 中.

表 1 多元线性回归模型的回归系数

| $\hat{\beta}_0$ | $\hat{\beta}_1$ | $\hat{\beta}_2$ | $\hat{\beta}_3$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0.219 5 | -0.067 1 | -0.252 1 | 0.864 8 |

根据(1)式与(3)式将得到周长估算模型为:

$$L = (0.2195 - 0.0671 D_{\text{maj}} / D_{\text{min}} - 0.2521 \times 2M_{\text{sig}} / D_{\text{maj}} + 0.8648 (-\log(V_{\text{sig}} / M_{\text{sig}}^2))^{-1}) \times L' + L''$$

3.2 周长估算模型的有效性检验

3.2.1 标准化绝对误差正态分布性检验

运用多元线性回归模型的假设之一就是误差应该是不相关的随机变量, 并呈均值为零方差为常数的正态分布. 为了测试绝对误差(即真实周长与估计周长之差)的正态分布程度, 绝对误差可以用下列公式对其进行标准化:

$$d_i = \varepsilon_i / \sqrt{E(MS_E)}, \quad (4)$$

其中, $i = 1, 2, 3, \dots, 115$, $\sqrt{E(MS_E)}$ 为均方差^[7].

如果误差属于正态分布, 则大约 95% 的标准化后的绝对误差值 d_i 应在 $(-2, 2)$ 的区间内. 图 3 显示了标准化绝对误差柱状分布图, 由此计算出的结果表示, 其在 $(-2, 2)$ 范围内的值占 94.78%, 这样误差可认为是呈正态分布的, 证明了模型与数据较好的相关性.

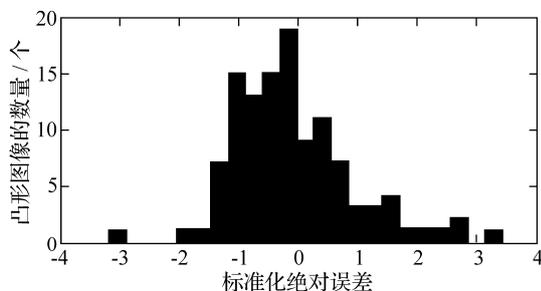


图 3 标准化绝对误差分布

3.2.2 模型回归方程及其系数的显著性检验

周长模型多元线性关系的认定也是一种假设, 这种假设是否合理还需要进行检验. 本文中的周

长多元线性回归方程的显著性检验, 即要检验假设 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ 是否成立, 只有当拒绝 H_0 时, 才能认为周长与 3 个特征参变量间确有线性关系, 即认为求得的线性回归方程与实际观测数据拟合的效果较好.

在正态线性模型的情况下(前面已证明), 检验假设 H_0 应用统计量 F , 即 F 检验, 它服从自由度为 k 及 $n-k-1$ 的 F 分布^[8].

给定显著性水平为 $\alpha = 0.05$, 查 F 分布表可得 $F_{1-\alpha}(k, n-k-1) = 2.68$ (其中 $k = 3, n = 115$). 计算出的检验统计量 $F = 59.5205 \gg 2.68$, 故拒绝 H_0 , 则认为 3 个形状与边界参数整体上对周长的影响是显著的. 在同样显著性水平条件下, 对回归模型进行回归系数的显著性检验, 即偏 F 检验, 分别证明了 3 个形状及边界参数对周长的影响是显著的.

4 周长估算模型测试

通过图像分析理论, Fridrun Podczeczek 在求取颗粒形状描述因子的算法中, 给出了代表一般颗粒形状信息的 8 种基本几何图形^[9]. 为了将算法应用于颗粒分析, 进行相应颗粒平面二维图像周长的求取, 采用上述 8 种基本几何图形进行测试, 如图 4 所示. 用模型估算的周长与相应图形的真实周长进行比较, 结果表明相对误差不超过 $\pm 5\%$, 具体数据见表 2.

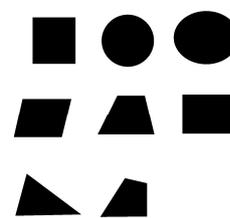


图 4 用于进行模型测试的几何图形

5 结论与展望

本文提出一种以毫米为度量单位对二值凸形

表2 周长相对误差

| | 正方形 | 圆形 | 椭圆 | 平形四边形 | 梯形 | 矩形 | 三角形 | “龙”形 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 真实值/mm | 76.00 | 70.461 6 | 87.96 | 81.94 | 74.82 | 85.80 | 79.66 | 67.96 |
| 预测值/mm | 75.068 5 | 70.881 1 | 92.034 5 | 83.763 7 | 75.529 9 | 86.444 9 | 77.328 4 | 67.243 6 |
| 相对误差/% | 1.23 | -0.60 | - 4.63 | - 2.23 | - 0.95 | - 0.75 | 2.93 | 1.05 |

图像进行周长计算的方法。本算法精度高、易实现,为图像的前期处理提供一种具有一定参考价值的理论和方法。该算法在技术上有一定的应用前景,后续相关研究工作可延伸到非凸形图像周长的求取,以及找出更多的特征信息参数以建立更加精确的凸形周长估算模型。

参考文献:

- [1] Imre A R. Artificial fractal dimension obtained by using perimeter-area relationship on digitized images[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 173(1): 443-449.
- [2] 王赟. 基于图像的周长精密测量[J]. *电脑开发与应用*, 2006, 19(4):34-35.
- [3] 王本善, 王楠. 现行弧长算法的几何探义[J]. *测绘学报*, 1993, 22(3):205-211.
- [4] 吕俊哲. 图像二值化算法研究及其实现[J]. *科技情报开发与经济*, 2004, 14(12):266-267.
- [5] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理 (MATLAB 版)[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [6] Chen Ken, Banta L E. Image profile area calculation based on circular sample measurement calibration[J]. *Journal of Electronics*, 2005, 22(5):528-533.
- [7] Hines W W, Douglas C. Montgomery, probability and statistics in engineering and management science[M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1980.
- [8] 吴孟达, 李兵, 汪文浩. 高等工程数学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] Fridrun Podczeck. A shape factor to assess the shape of particles using image analysis [J]. *Powder Technology*, 1997, 93(1):47-53.

Metric Perimeter Calculation for Binary Convex Images Based on Shape and Edge Features

ZHAO Pan, CHEN Ken, WANG Yi-cong, YANG Ren-er

(Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The paper presents an approach for computing the perimeter of the binary convex images by extracting features of shape and edge in metric unit. Firstly, the conversion is taken for calculating the ratio of mm/pixel. Several geometrical parameters concerning shape and contour are sought on the given binary image in order to construct a multiple linear regression model. The obtained model is designed to first estimate the perimeter displacement of the convex images, and eventually the desired perimeter. The test results indicate that the model achieves adequately high precision for the given samples, and is feasible for implementation. It is expected that this work can serve as an alternative approach for the related image analysis.

Key words: measurement conversion; metric unit; acquisition of characteristic parameters; perimeter modeling

CLC number: TP391

Document code: A

(责任编辑 章践立)