

从电场角度引出的基于边缘特征的 归一化形状识别算法研究

全 权¹⁾ 张 弘²⁾ 谢凤英²⁾

¹⁾(北京航空航天大学自动化学院,北京 100083) ²⁾(北京航空航天大学图像处理中心,北京 100083)

摘 要 为了从一新的角度来解决图像形状识别问题,提出了一种从电场角度引出的基于边缘特征归一化的形状识别算法,即在图像处理过程中,像素将被赋予电量,各个图像的形状信息是用带电像素在三维空间产生的电势与电场强度的值来表征。该算法处理都是基于二值图像,并先通过边缘检测技术找出图像边缘信息,然后通过对边缘进行多边形逼近来得出边缘的角点信息,最后再对归一化的观测点进行电势与电场强度的计算。由于一个图形存在着无穷的观测点,因此在实际运用中合理选择观测点是重要且必要的,因为它能更加合理地反映图形的形状信息,故更加适合计算机对图形形状的判断。实验表明,当被识别的二值图像发生旋转、位移、变形时,该方法都能取得比较好的识别效果。

关键词 电势 电场强度 多边形逼近 归一化 形状识别 观测点

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)07-0798-06

Educing a New Shape Identify Method Form Position of Electric Field

QUAN Quan¹⁾, ZHANG Hong²⁾, XIE Feng-ying²⁾

¹⁾(School of Automation Science and Electrical Engineering, BeiHang University, Beijing 100083)

²⁾(Image Processing Center, BeiHang University, Beijing 100083)

Abstract This paper resolve shape identify from a new position. In course of image processing, the pixels are endowed with electric quantity. Every shape of image is indicated by electric field strength and electric potential in 3-D space around the image. In this paper, the processing is based on binary image. Firstly, edge of the image is got by edge detection techniques and then corner points by polygonal approximation. Lastly, electric field strength and electric potential are calculated for normalizing observation points. The calculated value will indicate different images. It exists infinite observation points for one image. Therefore it's important and necessary to choose appropriate observation points in practice. Because they indicate the shape information more reasonably and fit computer for judging. The algorithm derives from physics and easily be understood in physics. The paper give necessary deduction and experiments, when the images are revolved, moved and distorted, the method also could show a better result in recognition. The key of following work is to resolve how to choose observation points, so that recognition result will be more precise and robust and can be competent for complex images.

Keywords electric potential, electric field strength, polygonal approximation, normalizing, shape identify, observation point

1 引 言

在图形的匹配识别中,人们的目的是要找到一个能表征图形特征的量,然后通过该特征量来表征两图形是否匹配。传统的匹配,对不规则图形的识别常用

以下几种方法:傅里叶描叙子^[1]的匹配识别、基于不变矩特征方法^[2,3]的匹配识别及近些年来通过神经网络学习方法^[4]的匹配识别等。其中傅里叶描叙子的识别方法是从频率域的角度进行匹配识别;不变矩特征方法是用矩表征一幅图像,并通过提取与统计学和力学中的相似特征的这一途径来进行匹配识别;神经网

络学习方法是通过对样本特征学习来进行识别;而本文则把像素点赋予电荷点的含义,从电场这个全新角度来对不规则图形进行有效的识别。经过理论推导、研究和实验,证明该方法是有有效的。

2 电场强度与电势识别形状方法

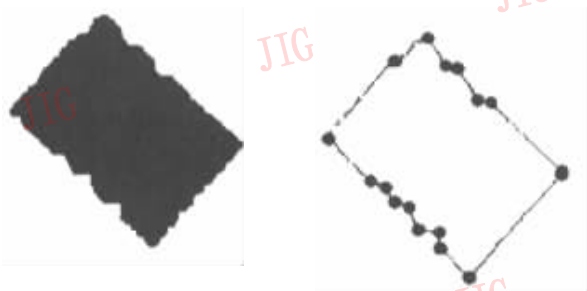
2.1 基本公式及其推导

在电学中,电荷均匀分布的任意带电体在自身周围空间中所产生静电场的分布是唯一的,而且该带电体与它在三维空间所产生的静电场是一一对应的。众所周知,静电场只与该导体大小、电荷密度大小及形状有关,这些在物理学上是较为基本的电磁学概念,并可以证明。通过以上概念可以得到如下一个结论:形状不同的均匀带电体在三维空间产生的电场分布是不相同的。

本文将利用这个结论来推导出识别形状的方法。在推导方法时,本文将不过多考虑带电体的表面电荷密度的分布,而将着重考虑带电体的大小和形状对电场分布产生的影响。最后,还对该方法进行了仿真实验,以便从实验的角度上来验证该方法的可行性。

由于图形的形状信息主要在边缘,因此通过边缘检测和二值化后就能够得到图形的边缘像素信息,如果把这些边缘像素点看作带电体,那么就可以计算出该图形在三维空间的电势与电场强度分布,也就可以将电场和电势的分布作为判别两个图形是否相同或相似的依据。

如图 1 所示,本文采用多边形逼近的方法^[5~7],以“直”代“曲”来将图形边缘用近似多边形表示。



(a) 原图 (b) 直线段逼近效果

图 1 多边形逼近示意图

大家知道,线段是多边形的基本组成,假设 AB 为一电荷线密度为 λ 的带电导体(如图 2 所示),则可以导出线段 AB 对点 P 的电势公式为

$$u_t = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \csc\theta d\theta \quad (1)$$

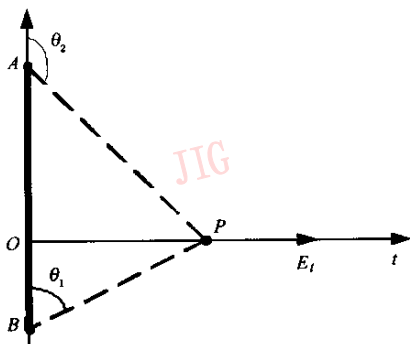


图 2 带电线段对点电势与电场强度的示意图

电场强度在 t 方向(规定为正方向)的电场强度大小 E_t 为

$$E_t = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 |OP|} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (2)$$

其中 θ_1, θ_2 可由以下余弦定理求得:

$$\cos\theta_1 = \frac{|AB|^2 + |BP|^2 - |AP|^2}{2|AB||BP|}$$

$$\cos\theta_2 = -\frac{|AB|^2 + |AP|^2 - |BP|^2}{2|AB||AP|}$$

因为每段线段产生的电势及沿 t 轴方向的电场强度总是正值,所以对 u_t, E_t 应加上绝对值符号,其积分式中的 θ_1, θ_2 就与它们先后无关,令 $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} = 1$ (下文都如同处理),则公式(1)可简化为

$$u_t = \left| \int_{\theta_1}^{\theta_2} \csc\theta d\theta \right| = \left| \ln \left| \frac{\tan \frac{\theta_2}{2}}{\tan \frac{\theta_1}{2}} \right| \right| \quad (3)$$

如图 2 所示,沿 t 轴方向的电场强度大小则可简化为

$$E_t = \left| \frac{1}{|OP|} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \right| \quad (4)$$

而 E_t 是个矢量,图 2 是其平面示意图,现转化到三维坐标系下(如图 3 所示),则 z 方向电场强度大小为

$$E_z = E_t \sin\theta_3$$

其中,

$$\sin\theta_3 = \frac{|PO_1|}{|PO|} = \frac{|PO_1|}{\sqrt{|PO_1|^2 + |OO_1|^2}}$$

P 在 xy 平面上的投影点 O_1 到直线 AB 的距离公式^[5]为

$$|OO_1| = \left| \frac{(y_B - y_A)x_{O_1} - (x_B - x_A)y_{O_1} + (y_A x_B - x_A y_B)}{((x_B - x_A)^2 + (y_B - x_A)^2)^{1/2}} \right|$$

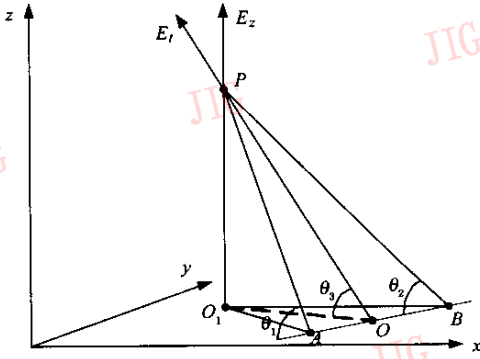


图3 三维坐标下z方向上的电场强度示意图

其中, $(x_A, y_A, 0)$, $(x_B, y_B, 0)$, $(x_{O_1}, y_{O_1}, 0)$ 分别是 A , B, O_1 3 点的空间坐标, 那么, 三维坐标下, z 方向电场强度大小为

$$E_z = E_i \sin \theta_3 \left| \frac{1}{|OP|} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \right| \left| \frac{PO_1}{|OP|} \right|$$

$$= \frac{1}{|OP|^2} |PO_1| |(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)| \quad (5)$$

由于电势是个标量, 因此各条边在空间任意一点产生的电势是可以直接代数相加。电场强度虽然是矢量, 但投影到 z 方向上, 各条边的电场强度也可以代数相加。这样通过多边形逼近后, 由于任意图形的边缘是由线段组成, 因此图形边缘对空间任意一点(下文称这种点为观测点)所产生的电势与电场强度大小为:

$$\sum_{i=1}^k u_i = \sum_{i=1}^k \ln \left| \frac{\tan \frac{\theta_{i,1}}{2}}{\tan \frac{\theta_{i,2}}{2}} \right| \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^k E_i = \sum_{i=1}^k \frac{|PO_1|}{|OP|^2} |(\cos \theta_{i,1} - \cos \theta_{i,2})| \quad (7)$$

其中 $\theta_{i,1}, \theta_{i,2}$ 分别表示组成图形边缘的第 i 条线段的(如图2所示) θ_1 与 θ_2 。

2.2 观测点的归一化

各个图形的观测点选取要求“一致”, 其目的是由于要保证相同形状图形在各自对应的观测点所产生的电势与电场强度相同, 所以先要对图形的观测点进行“一致”化, 本文称之为观测点的归一化。

这里给出一种找对应归一化观测点的方法, 并在该情况下对原来的公式做了一定的修改。在该方法下, 对应归一化观测点应满足: 从各图形的中心到各个观测点做射线, 各条射线应与图形平面相垂直或在图形平面上的投影与以各需识别图形的主方向^[5,8]为其准的偏角一致, 且射线与图形平面的夹角

相同, 则此时对应观测点到各图形中心的距离之比等于各图形面积开方之比。

为了使问题简单化, 证明如下: 如图4所示, 假设两个图形 M_1 和 M_2 , 其形状相同但大小不同, M_1 是在 M_2 图形上缘径向的扩大, B_1C_1 和 B_2C_2 分别是它们其中一组对应边, 则 M_1 和 M_2 有共同中心, 且 $B_1C_1 \parallel B_2C_2$ 。 A_1, A_2 分别是 M_1, M_2 的观测点, O, A_1, A_2 共线, OK 是一任意方向的射线。

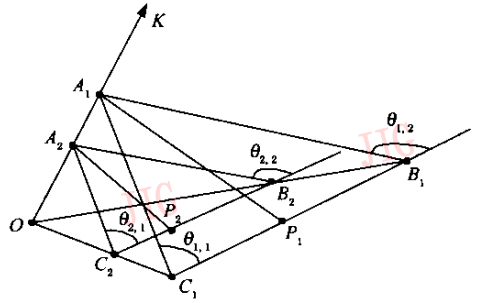


图4 归一化观测点关系示意图

由三角形相似定理

$|B_1C_1| : |B_2C_2| = |OC_1| : |OC_2| = \sqrt{S_1} : \sqrt{S_2}$
可知, 若这时候观测点满足如下关系时,

$$|OA_1| : |OA_2| = \sqrt{S_1} : \sqrt{S_2}$$

可以证明 $\triangle A_1B_1C_1 \sim \triangle A_2B_2C_2$, 则 $\theta_{1,1} = \theta_{2,1}$, $\theta_{1,2} = \theta_{2,2}$ 。电势公式(6)是个求和公式, 如果相似图形的每个对应边的 $\theta_{1,1} = \theta_{2,1}$, $\theta_{1,2} = \theta_{2,2}$, 那么相似图形的电势求和必定相等。

同理, 如果使 B_1C_1, B_2C_2 在 Z 轴上产生相同电场强度, 那么根据电场强度大小(公式(7)), 则要求

$$\frac{|A_1O|}{|A_1P_1|^2} |(\cos \theta_{1,1} - \cos \theta_{1,2})|$$

$$= \frac{|A_2O|}{|A_2P_2|^2} |(\cos \theta_{2,1} - \cos \theta_{2,2})|$$

但是, 当 $\theta_{1,1} = \theta_{2,1}, \theta_{1,2} = \theta_{2,2}$ 时, 上式是不成立的, 而下式将成立,

$$\frac{|A_1O|}{|A_1P_1|^2} |(\cos \theta_{1,1} - \cos \theta_{1,2})| \sqrt{S_1}$$

$$= \frac{|A_2O|}{|A_2P_2|^2} |(\cos \theta_{2,1} - \cos \theta_{2,2})| \sqrt{S_2}$$

因此就应在电场强度公式(7)两边同时配上 \sqrt{S} , 其在图3中就表示为

$$E = \sum_{i=1}^k E_i \sqrt{S} = \sum_{i=1}^k \frac{|PO_1|}{|OP|^2} |(\cos \theta_{i,1} - \cos \theta_{i,2})| \sqrt{S}$$

如图3所示, 根据以上推导, 可将电势与电场强度大

小公式修改为

$$U = \sum_{i=1}^k u_i = \sum_{i=1}^k \ln \left| \frac{\tan \frac{\theta_{i,1}}{2}}{\tan \frac{\theta_{i,2}}{2}} \right| \quad (8)$$

$$E = \sum_{i=1}^k E_{z,i} \sqrt{S}$$

$$= \sum_{i=1}^k \frac{|PO_1|}{|OP|^2} |\cos \theta_{i,1} - \cos \theta_{i,2}| \sqrt{S} \quad (9)$$

其中 $\theta_{i,1}, \theta_{i,2}$ 分别表示组成图形边缘的第 i 条线段的 (如图 2 所示) θ_1 与 θ_2 。

虽然修改了以上公式,但电场强度仍然保留了需要的物理意义。这样通过对观测点的归一化,就解决了大小不同形状相同图形的可比性问题。

以上两个小节仅是在理论上提出了解决识别问题的方案,本文将进一步用实验的手段进一步验证本方法的可行性与可实现性。

3 实验验证

3.1 干扰、旋转、缩放实验

本文在对简单的图形(如图 5 所示)进行实验时,取了 40 个观察点,它们是一些分布在通过重心,且垂直图形平面的射线上的,从图形的重心到距图形 $2\sqrt{S}$ 距离的不包括重心的等间隔点,本文称这些观测点的顺序组合为观测点序列。理论上,不同图形电势与观测点序列的关系是曲线走势越靠近,两者的相似度可能性就越高(见图 6,图 7,以下各图中

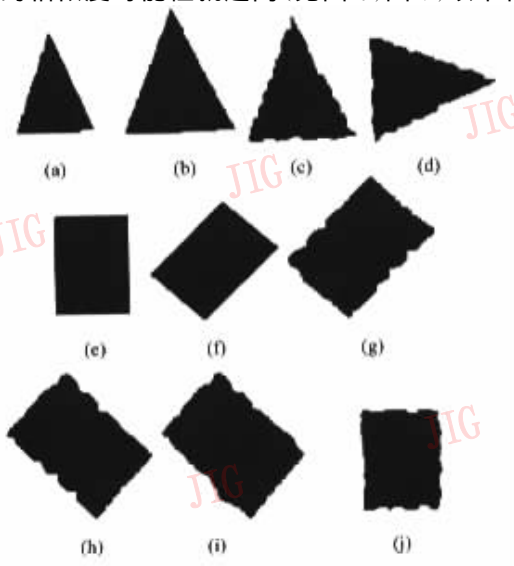


图 5 简单实验图形

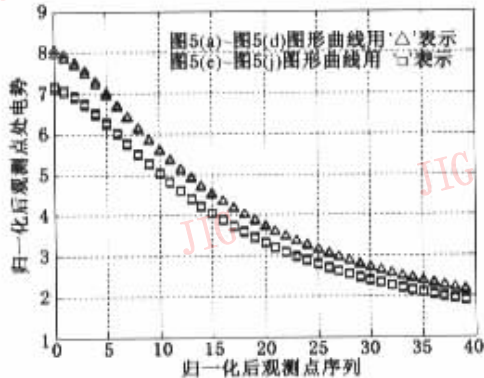


图 6 不同图形电势与观测点序列的关系曲线

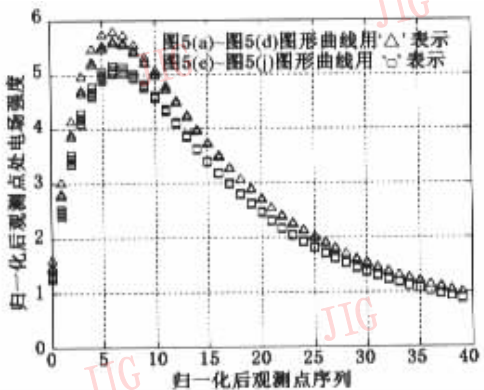


图 7 不同图形电场强度与观测点序列的关系曲线

数据只是相对大小,不考虑具体量纲)。

从图 6 和图 7 的实验结果可以看出,若两个图形的电场与电势曲线越逼近,则它们的相似度越高,这也进一步说明了可以将图形的电势及电场强度在各个观测点的一致性作为判别两图形是否匹配的依据,这一结果与本文上一节推导所希望得到的结果相吻合。

3.2 较复杂的图形实验

本文选取了 40 个观察点对较复杂图形(图 8)进行了实验,它们是一些通过图形重心,且垂直于图形平面的射线上的,从图形的重心到距图形 $2\sqrt{S}$ 距离的不包括重心的等间隔距离点。

如图 9、图 10 所示,5 种图形中,图 8(c)、图 8(d)图形与图 8(e)、图 8(f)图形实验曲线的区别很小,而与其余各组的区别则较大,其原因在于观测点的选取上。以图 8(c)、图 8(e)图形为例,通过归一化以后,虽然图 8(c)、图 8(e)图形在各自周围空间产生的电场分布不同,但通过 Z 轴的观测点所产生的电场强度比较一致。为了准确判断此类图形,最好选用其他的观测点序列。

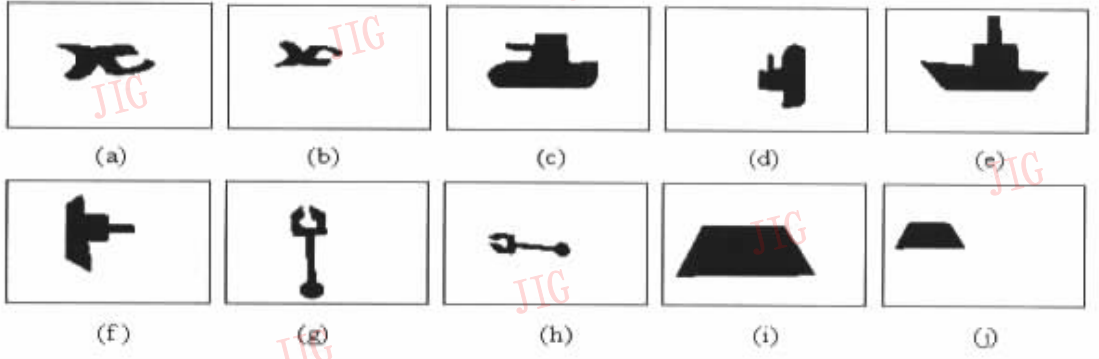


图 8 较复杂的图形

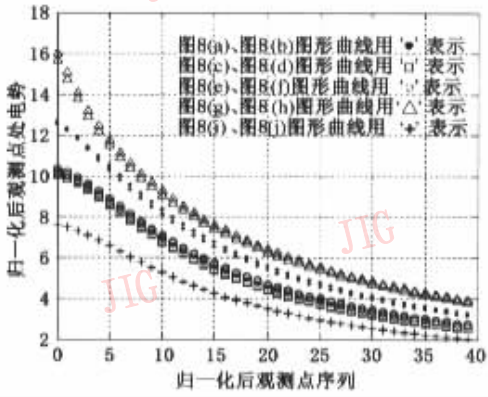


图 9 不同图形电势与观测点序列的关系曲线

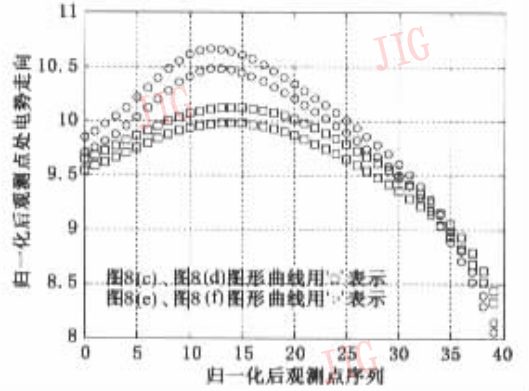


图 11 观测点改进后的电势走向

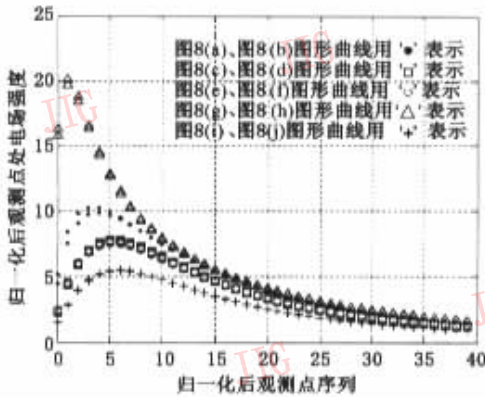


图 10 不同图形电场强度与观测点序列的关系曲线

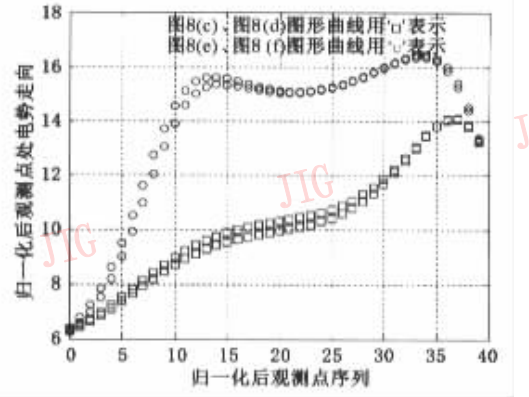


图 12 观测点改进后的电场强度走向

3.3 观测点改变实验

选择另外的观测点序列对图 8(c)、图 8(d)、图 8(e)、图 8(f) 图形进行仿真实验后, 实验结果见图 11、图 12。由图 11、图 12 明显可以看出, 两种图形的差别, 这反映了选用不同观测点序列的重要性与必要性。观测点的选取的目的是以最小的观测点数目来区分同一组图形, 并使对应观测点尽可能差异越大越好。建议观测点应选择满足点与点之间分散, 而且离图形距离适当为佳。但实际识别中, 为了更好地突出

不同形状图形的差异, 需要适当地选取观测点的数目及位置。由于观测点的电势和电场强度是随着离图形距离增大的而减少的量, 因此如果观测点离图形太远, 则不同图形在相应观测点上因其所形成的电势与电场强度的差异变得很小, 而不利于识别; 反之, 如果离得太近, 则又因电势和电场强度受图形局部影响变大, 而使其必然受到局部噪声的影响。对同一图形的不同观测点, 各观测点之间要保持一定距离, 否则就体现不出多个观测点的优势了。

4 结 论

通过对不同图形电势和电场强度公式的推导,本文得出了图形的形状信息可以用电势与电场强度这些量来表征的这一新方法。为了解决大小不同,而形状相同图形的可比性问题,本文提出观测点的归一化方法,并最终通过一系列实验验证了最初提出的设想。通过实验证明,当被识别的二值图像发生旋转、位移、变形时,本方法都可取得较好的识别效果。本算法首先需要对图形进行边缘抽取,再用直线拟合来得到角点信息。对于输入角点数目 n ,若按电势和电场强度公式求积分,则其时间和空间的复杂性为 $O(n)$ 。本算法由于在获取图形角点信息上花费的时间较多,而后期的处理用时较少,因此很好提取角点信息也是对图形识别的关键所在。对于一个图形,由于它存在着无穷的观测点,因此在实际运用中合理选择观测点是比较重要且必要的,因为它能更加合理地反映图形的形状信息,故更加适合计算机对图形形状的判断。下一步的工作重点是如何选择观测点,以便使识别的鲁棒性更好、精度更高和能进行复杂图形的识别。

参 考 文 献

- 1 Miao Zhenjiang, Gandelin M H, Baozong Y. Fourier transform based image shape analysis and its application to flower recognition [A]. In: IEEE 6th International Conference on Signal Processing[C]. Ottawa, Canada, 2002,2:1087~1090.
- 2 Flusser J, Boldys J, Zitova B. Moment forms invariant to rotation and blur in arbitrary number of dimensions[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(2):234~246.
- 3 Edwards G. Target recognition and classification using neural networks [J]. Proceedings of MILCOM, 2002,2:1439~1442.

- 4 王波涛,孙景鳌,蔡安妮. 相对矩及在几何形状识别中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2001,6(3):296~300.
- 5 王涛,刘文印,孙家广等. 傅里叶描述子识别物体形状[J]. 计算机研究与发展, 2002,39(12):1714~1719.
- 6 Marston R E, Shih J C. Polygonal approximation of outlines by scale-based dominant point detection [A]. In: IEEE Fifth International Conference on Image Processing and its Applications[C]. Edinburgh UK, 1995:350~354.
- 7 Pinheiro A. M G, Izquierdo E, Ghanhari M. Shape matching using a curvature based polygonal approximation in scale-space [A]. In: IEEE International Conference on Image Processing [C]. Vancouver, BC Canada, 2000,2:538~541.
- 8 Shen D, Ip H H S. Optimal axes for defining the orientations of shapes [J]. IEE Transactions on Electronics Letters, 1996, 32(20):1873~1874.



全 权 1981 年生,北京航空航天大学自动化学院本科四年级学生,感兴趣的研究方向为目标的识别,视频压缩等方面。曾获北航最高荣誉金质奖章,现保送为北京航空航天大学自动化学院研究生,研究方向为模式识别与智能系统。
E-mail:qq_buaa@163.com



张 弘 1966 年生,副教授,现在北京航空航天大学图像中心从事图像分割、数据融合、目标检测和识别、图像压缩等研究工作。



谢凤英 1973 年生,2002 年获北京航空航天大学硕士学位,讲师,现在北京航空航天大学图像中心从事图像处理、识别等研究工作,主要研究方向为图像匹配及分割。