

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.01.011

基于机器视觉的图像形状特征提取方法研究进展

葛 杰, 曹晨晨, 李 光

(天津科技大学 包装与印刷工程学院, 天津 300222)

摘 要: 基于机器视觉的图像形状特征提取应用的常见方法有阈值处理法、基于轮廓的形状特征提取法和基于区域的形状特征提取法3种。阈值处理法是常见的图像分割提取方法, 具备操作简单、速度快等优势, 但对于需精确提取图像形状和目标图像形状较为复杂的工况不适用; 基于轮廓的形状特征提取方法, 处理速度较快, 但当处理复杂目标图像形状时, 容易出现较大的偏差或错误; 基于区域的形状特征提取方法, 在提取形状特征时更加容易实现, 且在处理复杂图像时更加准确, 但需要的内部存储空间较大。由此可知, 目前形状特征提取方法的应用局限性较大, 而发展图像特征提取方法意义重大。

关键词: 机器视觉; 阈值处理; 轮廓形状特征提取; 区域形状特征提取

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2015)01-0054-07

Research Progress in Shape Feature Extraction Methods Based on Machine Vision

Ge Jie, Cao Chenchen, Li Guang

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: There are three common shape feature extraction methods based on machine vision including threshold processing method, contour-based extraction method and region-based extraction method. Threshold processing method is one common method of shape segmentation and extraction and is easy to manipulate with high speed, but it is not suitable for complicated target shape features with high accuracy; Contour-based extraction method could process with high speed but is more likely to bring about bias or error while dealing with complicated target shape features; Region-based extraction method requires enormous internal memory though it could be easily and accurately implemented to extract shape features. However, the limitation in extraction methods in application is still obvious and it is of significance in developing new extraction method.

Key words machine vision; threshold processing method; contour extraction method; region extraction method

1 研究背景

近几年, 机器视觉技术在国内外的发展速度非常快。机器视觉就是用各种成像系统代替视觉器官作为输入手段, 由智能机器代替大脑完成对信息的处理和解释世界, 具有自主适应环境的能力。典型

的视觉系统能依据视觉敏感和反馈, 以某种程度的智能完成一定的任务。机器视觉技术目前主要被应用在工件的自动检测与识别、产品质量的自动检测、食品的自动分类、智能车的自主导航与辅助驾驶、签字的自动验证、目标跟踪与制导、交通流的检测、关键地域的保安监视等领域^[1-6]。

收稿日期: 2014-05-12

作者简介: 葛 杰(1990-), 女, 山东聊城人, 天津科技大学硕士生, 主要研究方向为包装过程视觉检测技术,

E-mail: gejie1990@126.com

将机器视觉技术引入图像采集处理系统中,利用机器代替人眼进行测量和判断,通过图像摄取装置将需要检测的目标转换成数字信号,通过图像处理系统对检测到的图像数字信号进行处理、判断,从而提取需要的信息或控制现场的设备动作,这在当前的机器视觉技术发展中有重要应用^[7]。

图像特征是标识一个图像最基本的属性或特征,利用不同图像的属性特征差异可以和其他图像进行区分。为了获取不同图像的特征差异需进行特征提取,在特征提取过程中,经常用到的图像特征有颜色特征(灰度)、纹理特征、形状特征和空间特征4类。颜色是图像直观的视觉特征,纹理是图像的表面特征,形状则描述了图像轮廓的特征,而空间特征则表征了图像的对象所在的位置和对象之间的空间关系。由于颜色只与色彩关联,不能反映图像在方向及尺度上的变化;纹理受图像分辨率、光照、反射等因素的影响;空间不能有效准确地表达场景信息。因此,在这些视觉特征中,形状被公认为是最重要的视觉特征^[8]。

图像特征提取的核心是如何在计算机图像里找出目标形状。比如在人脸识别中,就需要提取眼睛、耳朵和鼻子等部位的特征。而这些特征可以利用它们的形状找到,形状提取意味着找出它们的位置、朝向和尺寸等。这个提取过程与我们感知世界的方式很相似,更加复杂的图形可以分解为许多简单形状的结构单元。在许多应用中,还可以通过对形状进行排列以帮助分析^[9]。

形状特征的提取方法包括低层次的图像形状提取方法和高层次的图像形状提取方法。其中,低层次的图像形状提取方法主要指阈值处理法,高层次的图像形状提取方法主要包括基于轮廓的图像形状提取方法和基于区域的形状特征提取方法。在高层次的形状特征提取时,常常应用形状描述子,即特定的序列来表示形状的空间信息。根据形状提取过程的形状描述子的特点,可以分为形状签名、多边形近似法、空间相关特征、不变矩、曲率尺度空间和形状变换域等。不同的形状描述子可以表示不同的形状特征形式。本文拟对已有基于机器视觉的图像形状特征提取方法研究现状进行总结,以期为在线机器视觉检测过程中图像的特征提取与处理提供一定的理论参考。

2 简单的阈值处理

阈值图像提取方法是常见的图像分割提取方法,

其关键技术是阈值的选取,因阈值的选取决定着图像特征信息的保留^[10]。其基本原理是根据图像亮度级的差异,设定一个或几个特征阈值,对图像像素点进行分类,通过分割从而找出图像形状。根据阈值处理方法的差异,阈值处理法又可分为基于点的全局阈值法、基于区域的全局阈值法、局部阈值法以及多阈值法^[11]。

2.1 阈值处理法的基本原理

阈值处理法最为简单的是图像的二值化,将图像中超过某一阈值的所有像素定义为黑色,将小于该阈值的其他像素定义为白色。如果根据一定规则选取图像阈值 Q ,然后利用灰度转换函数,将一部分(Q 值以下)强制设定为零,另一部分灰度值不变。这样的处理法称为半阈值法,其原理如公式(1)所示:

$$f'(x,y)=\begin{cases} f(x,y), & f \geq Q; \\ 0, & f < Q. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f'(x,y)$ 表示提取图像;

$f(x,y)$ 表示原始图像。

阈值处理对光照亮度的变化很敏感,即光照发生变化,目标形状的感知亮度也随之发生变化。所以,在利用阈值处理的方法提取图像形状时,应尽可能使阈值大小的设置与亮度级变化相适应,否则任何阈值处理方法都将失败。如果光照亮度呈线性变化,利用直方图均衡化可以得到不变的图像。但是,直方图均衡化的结果易受噪声、阴影和光照变化的影响。

此外,还有一种低层次的图像处理方法,它是在阈值处理之前将图像与一个已知的背景进行差分。该方法假设背景是精确可知的,否则除了目标特征之外,还有许多细节留在结果图像内。

尽管阈值处理和差分后的阈值处理具备操作简单、速度快而具有较大的吸引力,但是这两种方法的性能对部分形状、噪声、光照变化以及其他物体对目标形状的遮挡非常敏感。因此,对于一些需要精确提取图像形状和目标图像形状较为复杂的工况下,往往需要通过更高层次的信息提取方法,即在形状像素范围内研究像素的连接方式。

2.2 阈值处理法的研究进展

1983年,S. K. Pal等人^[12]提出了模糊阈值图像分割方法,通过计算图像的模糊率或模糊熵来选取阈值,并定性讨论了隶属函数窗口对阈值选取的影响。此后,C. A. Murthy等人^[13]指出阈值不仅与隶属函数有关,还与隶属函数的分布特征有关,证明了隶属函数应满足的边界条件和对称性条件。

杜晓晨等人^[14]针对传统模糊阈值进行图像提取

的窗口难以确定的困难,提出了一种自适应的模糊阈值图像分割方法。

彭丽^[15]针对照度不均匀的目标图像,在分析自适应图像分割方法的基础上,通过边缘信息控制点的简化及阈值确定和非边缘处阈值的拟合,提出了基于边缘信息的阈值图像分割技术,克服了边缘方法易受噪声影响的弱点。

刘秀兰等人^[16]依据动态阈值的常见分割方法,将图像的灰度信息与边缘信息有机结合起来,提出了一种快速有效的自适应动态阈值图像分割算法,从而可以自动高效地识别裂纹与亮区。

张思俊等人^[17]在一幅图像中根据不同区域阈值的差异,建立了局部多阈值的自适应阈值分割方法,很好地解决了不规则光照下图像的阴影和高光所造成的图像模糊难以提取有效区域的问题。

以上关于阈值处理法方面的研究,多为阈值的选取、图像提取隶属函数的窗口确定等,并通过较佳的阈值分割方法,获取准确的图像形状。阈值处理法简单而快速,具有较好的发展前景。

3 基于轮廓的形状特征提取

基于轮廓的形状特征提取方法,是通过目标图像的边界像素点获取形状的轮廓,而不考虑内部像素点的连接与关系的形状提取方法。已有研究发现,可以采取图像分割技术获取形状轮廓上的像素点,通过对这些像素点的采集形成形状轮廓,然后获取这些像素点之间的特征,从而形成形状描述子^[18]。

3.1 基于轮廓的形状提取方法的基本原理

基于轮廓的形状描述子主要包括多边形近似描述子、Fourier描述子、小波描述子以及一些简单的描述子。多边形近似描述子由于处理简单、形状逼近精度较好,因而在图像处理领域得到了广泛的应用;Fourier描述子是一种经典的形状描述子,目前应用较为成熟,但是其无法判断轮廓的遮挡情况;小波描述子源于Fourier描述子,它虽然可以弥补Fourier描述子的不足,但是其描述子对曲线轮廓的起始点依赖程度太大。

一般而言,轮廓简单的描述子的基本参数包括轮廓的长度、轮廓的直径、离心率、斜率、曲率和角点等。

3.1.1 轮廓的长度

轮廓的长度是一种简单的区域特征,它是特征区域的最小外围轮廓的周长。图像中的特征区域可以看成是由特征区域内部点和轮廓点构成的,区域

的轮廓一般是由所有轮廓点按4个方向或者8个方向连接组成的,即4连通链码或8连通链码,其示意图如图1所示。一条边界上的像素的数目可以大约表示其长度^[19]。设外轮廓线上链码为偶数的像素点个数为 M ,为奇数的像素点个数为 N ,则连通区域的周长为 $P=M+\sqrt{2}N$ ^[8]。

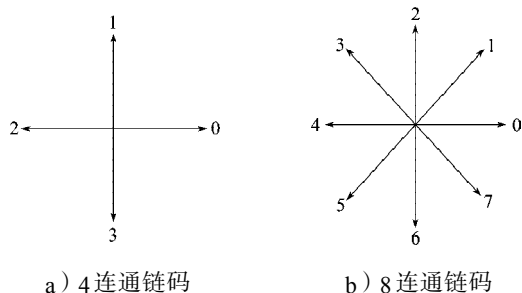


图1 2种连通链码示意图

Fig. 1 Two kinds of connectivity chain code schematic

3.1.2 轮廓的直径

目标区域中距离最远的两点之间的距离,即这两点间的直线段的长度为轮廓的直径,它可以在一定程度上表示被描述区域的特征。轮廓 B 的直径 D 可以用公式(2)来表示:

$$D = \max_{ij} [D_d(b_i, b_j)] \quad (2)$$

式中: b_i, b_j 都属于轮廓内的点;

D_d 为任意一种距离量度,不同的量度对应的 D 值也不同。

3.1.3 离心率

以连接直径2个端点的直线段为长轴,与长轴垂直的边界上2个端点间的最大距离为短轴,则长轴与短轴的比值即为离心率。离心率主要用于描述图像的大概轮廓,使得任何具有封闭轮廓的形状边界都可以用一组椭圆来模拟,解决了图像形状的规范化问题。

3.1.4 轮廓的斜率、曲率和角点

轮廓的斜率是指轮廓上各点变化的快慢程度,可以表示轮廓上各点的指向。曲率则是表示轮廓上各点沿轮廓方向变化的情况,一般情况下,曲率所描述的是轮廓在该点的凸凹性。角点是指曲率的局部极值点,它在一定程度上反映了轮廓的复杂性。

在离散图像中的区域轮廓上计算点的曲率,经常会由于离散边界的粗糙不平滑而使其变得不可靠,因此,曲率在未经特殊处理的图像特征提取中应用不多^[20]。

3.2 基于轮廓的形状提取方法的研究进展

目前,学者们在基于轮廓的形状特征提取上,主

要是从特征描述子的优化与创新,以及多种描述子相互应用等方面来进行研究的。

如周正杰等人^[21]将目标轮廓转换成一维轮廓曲线,经平滑去噪,获得曲线峰值和轮廓曲线在相邻峰谷间所含的面积;然后对面积进行离散傅里叶变换,从而得到一种基于轮廓的形状特征提取方法,但该方法只能用来处理轮廓封闭的二维目标。胡帆^[22]基于傅里叶描述子与不变矩2种轮廓识别方法,提出了一种改进的傅里叶算法——基于矩特征傅里叶描述法,并借助 Visual C++6.0 和 Open CV1.0 开发平台,设计了基于轮廓特征的图像检索系统,成功实现了网购鞋子筛选功能。束鑫^[23]基于形状签名和傅里叶变换算法的理论框架,结合轮廓弹性描述方法的特点,提出了一种既反映形状的局部轮廓特征,又能反映轮廓整体拓扑结构信息的新形状签名算法——多尺度轮廓弹性形状签名,并得到了多尺度轮廓弹性的傅里叶描述子,该描述子可以成功应用于二维封闭轮廓形状的图像检索。

罗磊^[24]利用矢量数据压缩和离散曲线演化算法简化目标图像的轮廓,并根据极小值规则将形状划分为有视觉意义的部分,然后对目标轮廓进行全局和局部采样,构造了视觉部件的全局和局部形状上下文,对 Kimia 形状数据集的实验结果表明,该算法在视觉匹配上效果较好。

潘珍^[25]在分析现有形状轮廓方法的基础上,结合极坐标系在形状表示中的应用,将形状上下文和极模型形状矩阵结合,形成了全局形状上下文的简单形状描述子,同时提出以角度梯度简化形状边界上离散像素点对描述子的影响。

4 基于区域的形状特征提取

基于区域的形状描述方法不同于基于轮廓的形状描述方法,它是将闭合的轮廓曲线所形成的一个区域当作一个整体来看待,有效地整合了该区域内的所有像素点,因而可以很好地获取形状的特征。基于区域的形状描述方法可以分为基于全局的形状描述方法和基于结构化的形状描述方法。前者一般区分能力弱,不能精确分辨;后者是目前应用最多的方法,其中研究较多的是凸壳和中轴。

4.1 基于区域的形状特征提取方法的基本原理

为了提取图像形状,基于区域的描述方法同样具有许多描述子,主要包括偏心率(或伸长度)、几何不变矩、Zernike 矩、角半径变换(angular radial transformation, ART)、广义 Fourier 描述子及一些简

单区域描述子。其中:偏心率描述子关注的是局部的紧凑度,在形状的平移、旋转、缩放上具有不变性;几何不变矩虽具有缩放、旋转、平移不变性,但信息冗余,具有不可逆性,无法重构图像;Zernike 矩不仅克服了几何不变矩的缺点,还保持了几何不变矩的优点;ART 描述子不仅具有旋转不变性,而且对噪声具有一定的鲁棒性;广义 Fourier 描述子是基于改正了的平面极坐标下的 Fourier 描述子,一般具有平移不变性,但没有缩放、旋转不变性。

目前,基于区域的形状提取的简单描述子主要包括区域面积、区域重心和区域的形状特征,一般要利用所有属于特征区域的像素集合来计算。

4.1.1 区域面积

特征区域面积是区域的一个基本特性,它表示了区域的大小,即统计特征区域内的像素数目,对一个区域 R 来说,它的面积 A 可以利用公式(3)进行计算:

$$A = \sum (x, y) d(x, y) \quad (3)$$

式中 (x, y) 表示像素点的坐标。

这种计算方法不仅简单,而且是对原始区域面积的无偏和一致的最好估计。

4.1.2 区域重心

区域重心是对特征区域的一种全局描述符,也是一种形状特征,是根据所有属于区域的点计算出来的坐标。由于区域内的点一般数量比较多,因此区域重心的坐标一般不为整数。区域重心坐标可用如下公式(4)表示:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} x; \\ \bar{y} = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} y \end{cases} \quad (4)$$

4.1.3 形状参数

区域的形状参数一般用于描述目标区域的形状,它是根据区域周长和面积来计算的。形状参数在一定程度上描述了区域的紧凑性,但对区域大小的变化并不敏感。

4.2 基于区域的形状特征提取方法的研究进展

有许多学者对基于区域的形状特征的提取方法进行了相关研究,主要包括相关算法研究与应用实例方面的研究。

苗静等人^[26]利用三角函数法构造并且证明了 Hu 不变矩描述子,针对商标、烟草等图案的检索需求,研究了 Hu 形状不变矩的图像全局形状特征的提取,试验结果表明,该算法具有对平移、旋转和尺度变化的不变性。

马超^[27]根据花卉图像提取的特点,分析了基于阈值、轮廓、区域的形状特征提取方法,根据提取需求,并利用花卉分割后的图像特征(包括梯度特征、像素特征等),设计开发了花朵的图像处理系统,用于提取花卉特征。

于新文等人^[28]在进行昆虫图像几何形状特征的识别和提取上,采用判别分析方法,筛选了6个具有判别意义的特征,分别为区域面积、偏心率、形状参数、周长、似圆度、叶状性。实验结果表明,上述形状特征参数直观而易于提取,能准确地反映并提取出昆虫的形态图像。

李震^[29]利用具有7个中心矩的Hu不变矩描述子,对槟榔、苍术、地榆、甘草、黄芪等5种药材切片的形状特征进行基于区域的形状特征提取,通过实验分析发现,该方法对于这5种药材的分类精度可以达到82%。

郭云飞^[30]在分析各种古钱币形状特征的基础上,首先采用了基于轮廓的形状描述子——质心距离直方图,以大致确定古钱币的类别;然后又采用了基于区域的形状描述子——改进的几何不变矩和角半径变换,可以在外轮廓一样的情况下,通过古钱币的区域信息来区分各种古钱币。

薛定宇等人^[31]在对人的身份识别研究中,采用静脉图像二值化处理后得到静脉的骨架信息,然后标注4连通区域,利用最小距离法逼近区域边缘获得若干条线段,将线段角度作为特征,最后利用改进的最长公共子序列算法进行处理。测试结果表明,该算法识别效果较为理想,准确率较高。

5 分析与展望

通过如上分析可知,已有基于机器视觉的图像形状特征提取方法各具优势:

阈值图像提取方法是常见的图像分割提取方法,具备操作简单、速度快等优势,但该方法的性能对部分形状、噪声、光照变化及其他物体对目标形状的遮挡非常敏感。因此,对于一些需要精确提取图像形状和目标图像形状较为复杂的工况下,往往需要通过更高层次的信息提取方法。

基于轮廓的形状特征研究方法主要是从边界信息来提取图像形状,而不考虑内部区域的信息。处理信息相对较少,提取的维度一般较少,所以处理速度较快,但是由于其忽略了内部信息,当处理内部带有中空区域、部分区域被遮挡以及带有不连续区域的复杂目标图像的形状时,容易出现较大的偏

差或错误。

基于区域的形状特征提取方法,利用了目标图像的边界信息以及内部信息,相比基于轮廓的形状特征提取法,它在提取形状特征时更加容易实现,而且在处理复杂图像,尤其是含有内部空心区域的图像时更加准确。但是,基于区域的形状特征提取方法提取的特征维数较大,信息处理量较大,需要的内部存储空间更大。

虽然在图像形状特征的提取方面,许多学者做了不同方法、不同领域的探索与研究,但不可否认的是,目前基于图像形状特征的应用一般仅限于比较容易辨识的目标物体;同时,这些方法对于目标图像预处理的要求比较高,而且大规模的图像数据集以及高维度的图像特征提取时,对于系统的性能要求非常高。

形状特征提取的关键,在于如何通过形状的轮廓信息和区域信息挖掘图像的内在特性,从而获得具有抗仿射变换、抗投影变换、抗噪声、抗非刚性变换和鲁棒性特征^[32]。

图像特征提取是模式识别中最普遍和最基础的问题,提取特征的充分程度往往是解决问题的关键。形状特征作为图像特征最重要的方面,其提取质量的好坏程度将直接影响目标识别的准确与否。随着图像识别技术、产品外观检测、包装品缺陷检测领域对于基于形状特征提取的机器视觉的需求越来越大,不断研究并促进特征提取技术的发展,具有重要的理论意义和应用意义。

参考文献:

- [1] 张强. 基于机器视觉的产品检测技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005.
Zhang Qiang. Product Defect Detection Research Based on Machine Vision[D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2005.
- [2] 吴雪. 计算机视觉技术在农产品和食品检测中的应用[J]. 粮油加工与食品机械, 2002(3): 38-39.
Wu Xue. Application of Computer Vision Technique in Agriculture Products and Food Detection[J]. Machinery for Cereals, Oil and Food Processing, 2002(3): 38-39.
- [3] 蔡健荣, 方如明, 张世庆, 等. 利用计算机视觉技术的烟叶质量分选系统研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 118-121.
Cai Jianrong, Fang Ruming, Zhang Shiqing, et al. Application of Computer Vision Technique to Research on Classifying System of Tobacco Leaves[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16

- (3): 118-121.
- [4] 邢帅. 多源遥感影像配准与融合技术的研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2004.
- Xing Shuai. Research on Multi-Sensors Remote Sensing Image Registration and Fusion Technology[D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2004.
- [5] 赵鹏. 基于机器视觉的药品包装检测技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- Zhao Peng. The Research of Pharmaceutical Packaging Inspection Technology Based on Machine Vision[D]. Changsha: Hunan University, 2009.
- [6] 黄干, 徐学军. 基于机器视觉的汽车智能驾驶系统研讨[J]. 微计算机信息, 2004, 20(6): 4-6.
- Huang Gan, Xu Xuejun. The Discussion for the Intelligent Driving System Based on Machine Vision[J]. Control & Automation, 2004, 20(6): 4-6.
- [7] 杨雪. 机器视觉中图像检测算法的研究与应用[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Yang Xue. Research on Image Detection Algorithm in Machine Vision and Its Application[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [8] 史颜玲, 王忠义. 基于形状特征的图像特征提取方法及其在医学图像分析中的应用[J]. 许昌学院学报, 2011, 30(2): 69-71.
- Shi Yanling, Wang Zhongyi. Image Feature Extraction Method Based on Shape Characteristics and Its Application to Medical Image Analysis[J]. Journal of Xuchang University, 2011, 30(2): 69-71.
- [9] Mark S Nixon, Alberto S Aguado. Feature Extraction & Image Processing[M]. 2nd ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2010: 147-149.
- [10] 黄莅辰, 张剑, 周游, 等. 基于非均匀光照下文本图像二值化改进算法[J]. 湖南工业大学学报, 2013, 27(6): 11-17.
- Huang Lichen, Zhang Jian, Zhou You, et al. An Improved Image and Text Binarization Algorithm Based on Non-Uniform Illumination[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2013, 27(6): 11-17.
- [11] 杨星, 陆宇平. 一种用于彩色图像目标识别的自适应阈值分割方法[J]. 计算机与数字工程, 2006(8): 15-17.
- Yang Xing, Lu Yuping. An Adaptive Threshold for Color Image Segmentation and Object Recognition[J]. Computer and Digital Engineering, 2006(8): 15-17.
- [12] Pal S K, King R A, Hashim A A. Automatic Grey Level Thresholding Through Index of Fuzziness and Entropy[J]. Pattern Recognition Letters, 1983, 1(3): 141-146.
- [13] Murthy C A, Pal S K. Bonds for Membership Function: A Correlation-Based Approach[J]. Information Science, 1992, 65(2): 143-171.
- [14] 杜晓晨, 刘建平. 改进的模糊阈值图像分割方法[J]. 光电工程, 2005, 32(10): 51-53.
- Du Xiaochen, Liu Jianping. Improved Method for Image Thresholding Based on Fuzzy Index[J]. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(10): 51-53.
- [15] 彭丽. 基于边缘信息的阈值图像分割[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- Peng Li. Threshold Image Segmentation Based on Edge Information[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [16] 刘秀兰, 马丹, 刘兵, 等. 一种新的快速动态阈值图像分割算法[J]. 北京工业大学学报, 1999, 25(2): 92-96.
- Liu Xiulan, Ma Dan, Liu Bing, et al. A New Fast Dynamic Threshold Image Segmentation Algorithm for Fluorescent Flaw Detection[J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 1999, 25(2): 92-96.
- [17] 张思俊, 王乐乐, 宦海, 等. 基于自适应阈值的非规则光照下图像提取方法[J]. 电子科技, 2012, 25(7): 10-11, 14.
- Zhang Sijun, Wang Lele, Huan Hai, et al. Image Extraction in Irregular Light Based on Self-Adaptive Threshold Value[J]. Electronic Science & Technology, 2012, 25(7): 10-11, 14.
- [18] 余江. 基于轮廓的形状匹配方法研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2013.
- Yu Jiang. Research on Contour Based Shape Matching[D]. Hefei: Anhui University, 2013.
- [19] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 128.
- Rafael C Gonzalez. Digital Image Processing[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2007: 128.
- [20] 常昌. 图像特征提取方法研究及应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- Chang Chang. The Study on Feature Extraction of Image and Application[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [21] 周正杰, 王润生. 基于轮廓的形状特征提取与识别方法[J]. 计算机工程与应用, 2006(14): 92-94.
- Zhou Zhengjie, Wang Runsheng. A Contour-Based Method of Feature Extraction and Shape Recognition[J]. Computer Engineering and Applications, 2006(14): 92-94.
- [22] 胡帆. 基于轮廓的物体识别算法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- Hu Fan. Research on Contour-Based Object Recognition Algorithm[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [23] 束鑫. 形状分析新方法及其在图像检索中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- Shu Xin. Research on Novel Shape Analysis Techniques and Their Applications in Image Retrieval[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [24] 罗磊. 基于轮廓的形状匹配方法研究[D]. 长沙: 国防

- 科学技术大学, 2008.
- Luo Lei. Research on Contour Based Shape Matching[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008.
- [25] 潘 珍. 基于轮廓的形状识别方法研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- Pan Zhen. Research on Shape Recognition Based on Shape Contour[D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [26] 苗 静, 杨 勇, 谷欣超, 等. 不变矩及其在基于形状特征图像检索中的应用[J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2009, 32(1): 126-128, 112.
- Miao Jing, Yang Yong, Gu Xinchao, et al. The Moment Invariants and Its Application of Image Retrieval Based on Shape Features[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2009, 32(1): 126-128, 112.
- [27] 马 超. 基于区域和主动轮廓的花卉图像分割与处理系统研究与开发[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- Ma Chao. The Research and Development on Image of Flowers Segmentation and Processing Based on Region and Active Contour[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [28] 于新文, 沈佐锐, 高灵旺, 等. 昆虫图像几何形状特征的提取技术研究[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(3): 47-50.
- Yu Xinwen, Shen Zuorui, Gao Lingwang, et al. Feature Measuring and Extraction for Digital Image of Insects[J]. Journal of China Agricultural University, 2003, 8(3): 47-50.
- [29] 李 震. 中药饮片特征提取和识别系统[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- Li Zhen. Chinese Herbal Medicine Feature Extraction and Identification System[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [30] 郭云飞. 基于内容的古钱币图像检索技术研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2011.
- Guo Yunfei. Content-Based Antique Coin Image Retrieval [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2011.
- [31] 薛定宇, 贾 旭, 崔建江, 等. 基于区域形状的静脉图像特征提取与匹配[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2012, 33(1): 35-38, 64.
- Xue Dingyu, Jia Xu, Cui Jianjiang, et al. Vein Image Feature Extraction and Matching Based on Regional Shapes [J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2012, 33(1): 35-38, 64.
- [32] 柴 华. 目标形状特征提取方法[J]. 计算机与现代化, 2013(4): 107-109, 124.
- Chai Hua. Methods of Object Shape Feature Extraction[J]. Computer and Modernization, 2013(4): 107-109, 124.

(责任编辑: 廖友媛)



- (上接第34页) (Propylene Carbonate)[J]. Chinese Plastic, 2011, 25(2): 72-78.
- [13] Hao Yanping, Ge Huanhuan, Han Lijing, et al. Thermal, Mechanical, and Rheological Properties of Poly(Propylene Carbonate) Cross-Linked with Polyaryl Polymethylene Isocyanate[J]. Polymer Bulletin, 2013, 70(7): 1991-2003.
- [14] 李 文. PBS-g-MAH 反应性增容 PPC/PBS 体系的相形态和性能[J]. 塑料, 2013, 42(2): 80-83.
- Li Wen. Morphology and Properties of PPC/PBS Blends Compatibilized Reactively by PBS-g-MAH[J]. Plastic, 2013, 42(2): 80-83.
- [15] Barreto C, Proppe J, Fredriksen S, et al. Graphite Nanoplatelet/Pyromellitic Dianhydride Melt Modified PPC Composites: Preparation and Characterization[J]. Polymer, 2013, 54(14): 3574-3585.
- [16] Ge Xiangcai, Zhu Quan, Meng Yuezhong. Fabrication and Characterization of Biodegradable Poly(Propylene Carbonate)/Wood Flour Composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 99(3): 782-787.
- [17] Chen Weifeng, Pang Maizhi, Xiao Min, et al. Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Glass Fiber Reinforced Biodegradable Poly(Propylene Carbonate) Composites[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2010, 29(10): 1545-1550.
- [18] 孙 斌. 德国 ZWICK/ROELL 4106E 熔融指数仪的使用与维护[J]. 分析仪器, 2011(3): 96-99.
- Sun Bin. Operation and Maintenance of 4106E Melting Index Meter[J]. Analytical Instruments, 2011(3): 96-99.

(责任编辑: 徐海燕)