



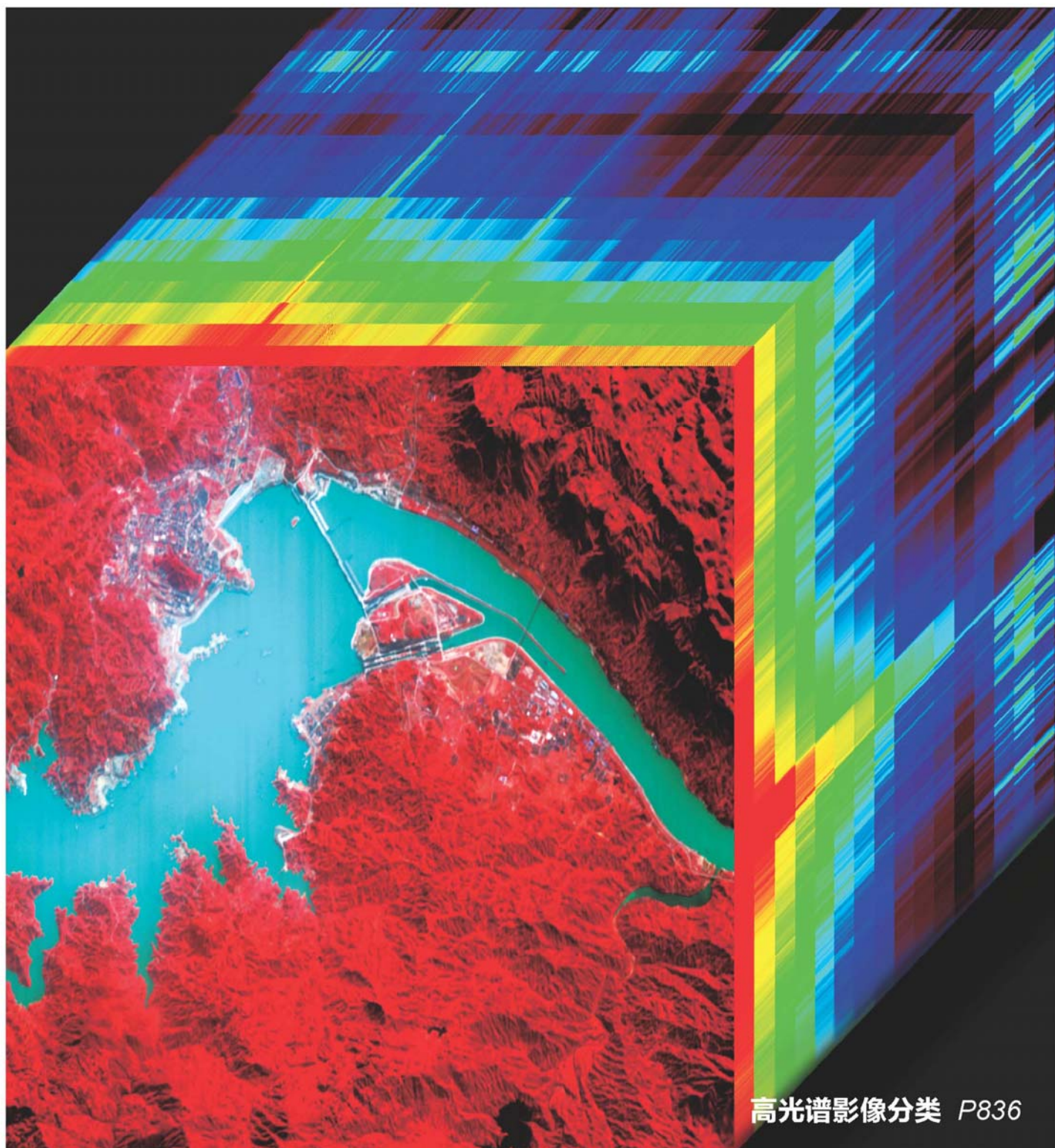
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

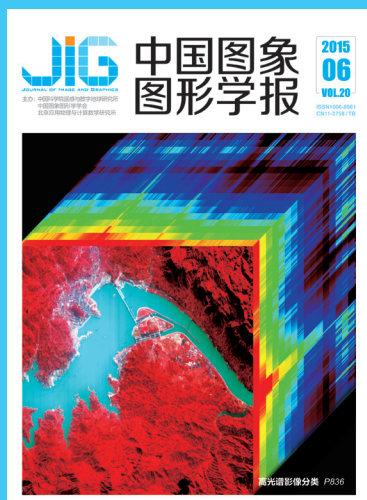
中国图象图形学报

2015
06
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



高光谱影像分类 P836



第20卷第6期（总第230期）

2015年6月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of

Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

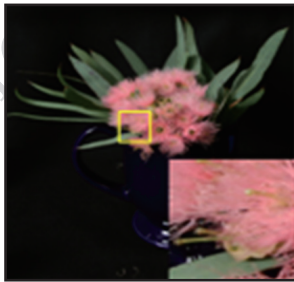
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

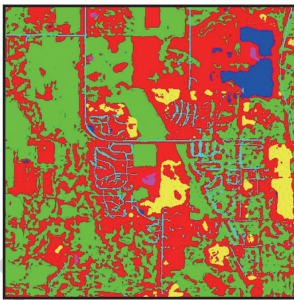
国内定价 50.00元



边缘结构保持的加权BDTV
全光场图像超分辨率重建
(第0733页)



基于超像素的多主体图像交
互分割(第0764页)



谐波分析光谱角制图高光谱
影像分类(第0836页)

图像处理和编码

边缘结构保持的加权BDTV全光场图像超分辨率重建

张旭东, 李梦娜, 张骏, 胡良梅, 王一 0733

基于Arnold映射的分块双层自适应扩散图像加密算法

徐亚, 张绍武 0740

结合梯度信息的特征相似性图像质量评估

苗莹, 易三莉, 贺建峰, 邵党国 0749

图像分析和识别

复杂场景下自适应背景减除算法

邵奇可, 周宇, 李路, 陈庆章 0756

基于超像素的多主体图像交互分割

伯彭波, 袁野, 王宽全 0764

采用金字塔纹理和边缘特征的图像烟雾检测

李红娣, 袁非牛 0772

结合手指检测和HOG特征的分层静态手势识别

刘淑萍, 刘羽, 於俊, 汪增福 0781

形状角计算改进及其在矩形目标识别中的应用

孟伟荣, 李辉, 方黎勇, 白金平 0789

融合图像感知哈希技术的运动目标跟踪

李子印, 朱明凌, 陈柱 0795

利用快速傅里叶变换的目标尺度自适应回归跟踪

张浪, 侯志强, 余旺盛, 许婉君 0805

基于点云属性信息的平面标靶特征提取

刘燕萍, 贾东峰 0815

融合局部思想和协作表达的鲁棒分类

楼宋江, 赵小明, 于海涛, 张石清 0822

计算机图形学

草绘3维人体建模的模板形变方法

李毅, 刘兴川, 孙亭 0828

遥感图像处理

谐波分析光谱角制图高光谱影像分类

杨可明, 刘飞, 孙阳阳, 魏华锋, 史钢强 0836

倾斜航空影像的城区DSM生成

吴军, 程门门, 姚泽鑫, 彭智勇, 李俊, 马峻 0845

封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所高光谱遥感应用技术研究室张霞研究员提供

CONTENTS

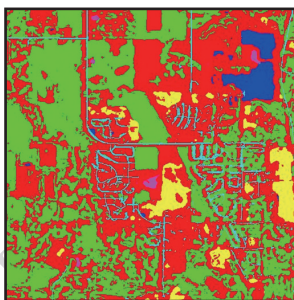
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Edge preserved light field image super-resolution based on weighted BDTV model (P0733)



Interactive multiphase image segmentation based on superpixels (P0764)



Classification algorithm of hyperspectral imagery by harmonic analysis and spectral angle mapping (P0836)

Image Processing and Coding

Edge preserved light field image super-resolution method based on weighted BDTV model

Zhang Xudong, Li Mengna, Zhang Jun, Hu Liangmei, Wang Yi 0733

Encryption algorithm of image blocking and double adaptive diffusion with Arnold mapping

Xu Ya, Zhang Shaowu 0740

Image quality assessment of feature similarity combined with gradient information

Miao Ying, Yi Sanli, He Jianfeng, Shao Dangguo 0749

Image Analysis and Recognition

Adaptive background subtraction approach of Gaussian mixture model

Shao Qike, Zhou Yu, Li Lu, Chen Qingzhang 0756

Interactive multiphase image segmentation based on superpixels

Bo Pengbo, Yuan Ye, Wang Kuanquan 0764

Image based smoke detection using pyramid texture and edge features

Li Hongdi, Yuan Feiniu 0772

Hierarchical static hand gesture recognition by combining finger detection and HOG features

Liu Shuping, Liu Yu, Yu Jun, Wang Zengfu 0781

Improved shape angle computation and its application in detection of rectangular

Meng Weirong, Li Hui, Fang Liyong, Bai Jinping 0789

Object tracking algorithm based on perception hash technology

Li Ziyin, Zhu Mingling, Chen Zhu 0795

Scale adaptive regression tracking method based on fast Fourier transform

Zhang Lang, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng, Xu Wanjun 0805

Feature extraction of flat target based on point cloud attribute information

Liu Yanping, Jia Dongfeng 0815

Locality constrained collaborative representation classification for robust classification

Lou Songjiang, Zhao Xiaoming, Yu Haitao, Zhang Shiqing 0822

Computer Graphics

Sketch-based method for 3D human modeling using template deformation

Li Yi, Liu Xingchuan, Sun Ting 0828

Remote Sensing Image Processing

Classification algorithm of hyperspectral imagery by harmonic analysis and spectral angle mapping

Yang Keming, Liu Fei, Sun Yangyang, Wei Huafeng, Shi Gangqiang 0836

Automatic generation of high-quality urban DSM with airborne oblique images

Wu Jun, Cheng Menmen, Yao Zexin, Peng Zhiyong, Li Jun, Ma Jun 0845

中图法分类号: TP274+.51 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)06-0789-06

论文引用格式: Meng W R, Li H, Fang L Y, Bai J P. Improved shape angle computation and its application in detection of rectangular[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(6): 0789-0794. [孟伟荣, 李辉, 方黎勇, 白金平. 形状角计算改进及其在矩形目标识别中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(6): 0789-0794.][DOI:10.11834/jig.20150608]

形状角计算改进及其在矩形目标识别中的应用

孟伟荣, 李辉, 方黎勇, 白金平

电子科技大学航空航天学院, 成都 611731

摘要: 目的 在轮廓特征识别中, 形状角理论已经被证明为一种有效方法。形状角的计算精度和时间开销取决于轮廓上各离散点处切线方向的计算效率。现有基于 Vialard 算法的切线方向计算方法在处理矩形轮廓时步骤烦琐且存在较大的误差, 导致使用形状角识别矩形时效率不高。针对此问题, 提出一种基于傅里叶拟合的离散点切线方向计算方法。方法 首先对离散点进行极坐标转化, 然后使用傅里叶级数拟合整个轮廓, 最后再对拟合之后的曲线求导, 从而计算出轮廓上各点的切线方向。结果 在本文所给出的实例中, 本文方法计算平均耗时为 1.5775 s, 传统方法平均耗时为 156.155 s, 且计算结果更加精确。结论 本文方法可以避免 Vialard 算法及其衍生方法在处理矩形轮廓时产生的过度迭代的问题, 时间复杂度降低两个数量级, 结果更加准确。最后, 将所提的改进形状角计算方法应用矩形轮廓识别中, 通过实例分析, 验证了该方法的准确性和可靠性。

关键词: 矩形目标识别; 形状角; 切线; 傅里叶拟合

Improved shape angle computation and its application in detection of rectangular

Meng Weirong, Li Hui, Fang Liyong, Bai Jinping

School of Aeronautics and Astronautics, University of electronic science and technology of China, Chengdu 611731, China

Abstract: The fast recognition and classification of objects with rectangular shapes are an essential component in the automatic detection of printed circuit board (PCB) defects, such as through automatic optical inspection or automatic X-ray inspection. The image obtained generally covers only a certain part of a PCB that contains rectangular shapes. The amount, positions, orientations, and exact shapes are almost undetermined. Most traditional algorithms for rectangular region detection are based on the Hough transform or on its derivations. In these approaches, each potential region must be voted on in a 2D or 3D domain. This process increases time complexity and lowers computation speed. By contrast, shape angle theory is an effective method for detecting rectangular regions in contour inspection. **Objective** Shape angle theory can avoid the inaccuracy and computational inefficiency induced by Hough transform. The accuracy and time complexity of shape angle calculation depend on the efficiency of the tangent calculation at discrete points on the contour. This calculation is currently performed using either Vialard's algorithm or its derived methods. These procedures can be complicated and inaccurate when applied to rectangles with relatively smooth edges. **Method** A new method based on Fourier fitting has been proposed

收稿日期: 2014-10-29; 修回日期: 2015-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51005040); 中央高校业务费基础研究项目(ZYGX2011J124)

第一作者简介: 孟伟荣(1988—), 男, 电子科技大学电子与通信工程专业硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: 516603884@qq.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (51005040); Fundamental Research Funds for the Central Universities (ZYGX2011J124)

in this paper to solve this problem. A polar coordinate system transform is first applied to the discrete points. Then, Fourier series are used to fit envelopes and to calculate the derivative of the envelope function to obtain the tangent. **Result** The integrated chip FUSION 878A is derived from a gray-scale image to verify the accuracy and reliability of this method. The average computing time of the proposed method is 1.577 5 s. By contrast, the traditional approach reports an average computing time of 156.155 s. The proposed method avoids iterations in handling rectangle contours. Therefore, time complexity is significantly reduced by two orders of magnitude. Moreover, the proposed method generated a precise outcome. **Conclusion** The improved approach is applied to rectangle region detection problems. Experimental results indicate the acceptable accuracy and reliability of this algorithm. The following conclusions are drawn: 1) the proposed method exhibits little time complexity when calculating the tangent vector of the rectangle contour. The findings of both experiments and theoretical analysis suggest that specifically, time complexity is reduced from $O(n^3)$ to $O(n)$. 2) We examine the effects of breadth-to-length ratio and rectangle dimensions on shape angle. Understanding these effects can provide reference information for template selection and data matching in industrial applications. 3) This approach improves on the shape angle method and can effectively classify rectangles in images by implementing rectangle detection based on shape angle theory.

Key words: rectangular object inspection; shape angle; tangent; Fourier fitting

方法。

0 引言

在 PCB (printed circuit board) 自动缺陷检测, 如 AOI (automatic optical inspection) 或者 AXI (automatic X-ray inspection) 中, 快速识别图中的矩形目标并且加以分类是一项重要的工作。在很多情况中, 设备所获得的图像是某 PCB 的局部图, 图像中的矩形数量、位置、方向和形状不能够确定。传统的矩形区域检测算法主要是基于霍夫变换及其衍生算法^[1-2]。这些方法通常需要在 2 维或 3 维空间进行投票计算, 其算法时间复杂度高、计算速度慢^[3]。

而近年来出现的基于形状角理论的矩形区域检测方法可以有效避免霍夫变换在识别矩形可能引起的精确性和计算效率低等问题^[4]。但形状角计算的准确程度受限于各离散点切线计算结果的准确性。当前的切线计算方法主要是 Vialard 算法^[5]及其改进算法, 如文献[6]在 Vialard 算法的基础上, 提出了一种计算边缘点切线的计算方法, 该方法在处理非平整轮廓 (如圆形轮廓) 时有较高的准确率和较快的收敛速度。但在处理矩形的相对平整的边缘时, 此方法收敛速度并不理想。针对问题, 提出了一种基于傅里叶拟合的离散点切线方向计算方法, 该方法首先对离散点进行极坐标转化, 然后使用傅里叶级数拟合整个轮廓, 再对拟合之后的曲线求导, 从而计算出轮廓上各点的切线方向。最后, 在新的形状角计算方法基础上, 提出了一种矩形区域识别

1 形状角基础理论

形状角最初是由 Teutsch 等人^[4]提出的, 针对如图 1 所示的轮廓, 其形状角为

$$D_{\alpha} = \frac{1}{j} \sum_{i=0}^{j-1} \alpha_i = \frac{1}{j} \sum_{i=0}^{j-1} \arccos(\mathbf{g}_i, \mathbf{m}_i) \quad (1)$$

式中, $\mathbf{m}_i$ 为轮廓上第 i 个点指向轮廓质心的向量, $\mathbf{g}_i$ 为该点对应的法向量, α_i 为 $\mathbf{m}_i$ 和 $\mathbf{g}_i$ 的夹角, j 为轮廓上离散点的个数。

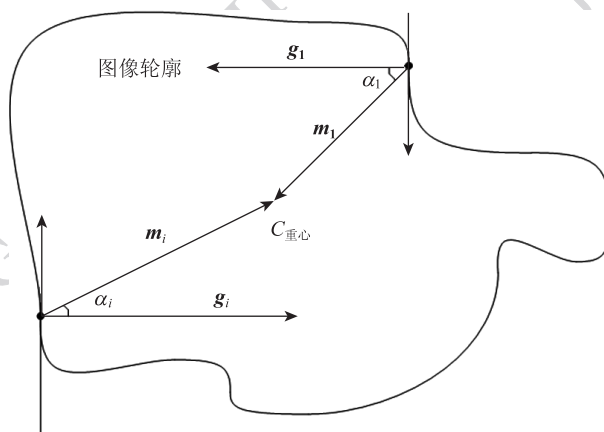


图 1 形状角定义

Fig. 1 Definition of shape angle

这些参数中, $\mathbf{m}_i$ 容易获得, 而 $\mathbf{g}_i$ 要根据轮廓上点的切线方向进行计算。因此, 切线方向计算的精度直接决定了 D_{α} 的精度。

2 改进的形状角计算

形状角计算的效率取决于计算轮廓上各离散点的切线方向计算效率。Vialard 算法及其衍生算法的核心在于同时判定一组点所能拟合成的直线的厚度与方向^[7]。当厚度允许且方向没有发生改变时, 则从该组点的两侧加入新的点, 继续拟合并重复上一步的方向与厚度的判定。因需要判断直线的厚度, 故其计算过程的每一步都要进行线性拟合。以文献[6]所提算法为例, 只有当左右新加入的点都发生了方向变化或者是超过了厚度阈值时, 线性拟合的迭代才会停止。该算法应用于处理矩形轮廓时, 每个点切线方向的迭代计算只有在将该点所在的一边上全部点都加入拟合后才会完成。迭代次数过多导致效率低下。因此, 提出了一种基于傅里叶拟合的形状角计算方法, 具体步骤如图2所示。

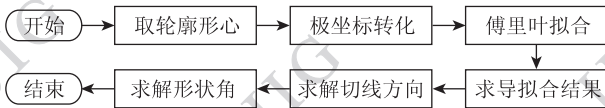


图2 基于傅里叶拟合的形状角计算流程

Fig. 2 Flow diagram of the proposed algorithm

2.1 拟合前的预处理

矩形轮廓是由4条线段组成的多值函数, 直接拟合矩形轮廓必然需要分段, 故而不能一次性完成。处理方式是进行极坐标转换, 取轮廓的形心为原点, 将轮廓上各点转化为极坐标上的一组离散点。极坐标转化后, 多值函数转化为单值函数。

定义矩形极坐标表达式为 $r(\theta)$ 。当矩形的一条对角线水平时, 它由4条线段的极坐标表达式组成, 即

$$r(\theta) = \sum_{i=1,2,3,4} r_i(\theta), \theta \in [0, 2\pi] \quad (2)$$

式中, $r_i(\theta)$ 是矩形的第 i 条边 $r_i(\theta) = d(\cos(\theta - \theta_i) + \cot(\varphi)\sin(\theta - \theta_i))$, θ 是变量, θ_i 是第 i 条边的起始角度, $\theta \in (0, \pi)$, $\theta_i \in [0, 2\pi)$, $\theta_1 = 0$, 即矩形的一条对角线水平。 d 是矩形对角线长度的二分之一, $\cot \varphi$ 是矩形较短边与较长边长度之比 (下文简称宽长比), $\cot \varphi \in (0, 1]$ 。

2.2 拟合原理

理想的拟合方法是将函数分为4段, 使用 $r_i(\theta)$

的表达式分别拟合。由于检测误差、加工误差等原因造成实际应用中的矩形轮廓一般带有不同程度的倒角, 且对角线不一定是垂直或水平方向的, 因此分段困难。故本文采取拟合整个轮廓的方法, 即

$$r(\theta) = \tilde{r}(\theta) + o(\theta) \quad (3)$$

式中, $\tilde{r}(\theta)$ 是拟合结果, $o(\theta)$ 是误差。

傅里叶拟合可以提高阶数以无限接近原函数, 拟合结果可导, 且傅里叶拟合的结果为三角函数多项式, 求三角函数一阶导的过程是一次相移, 计算机中求三角函数值的过程是一次查表, 简单快速。故采用傅里叶拟合方法拟合极坐标变化后的整个轮廓, 以便在此基础上通过求导计算出各点的切线方向。

傅里叶拟合基本原理为

$$\tilde{r}(\theta) = \sum_{i=0}^k a_i \cos(i\theta) + b_i \sin(i\theta) \quad (4)$$

$$a_i = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N r(\theta) \cos(i\theta)$$

$$b_i = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N r(\theta) \sin(i\theta)$$

式中, k 是拟合的阶数, N 为离散点个数。

对拟合结果 $\tilde{r}(\theta)$ 求导得到 $\tilde{r}'(\theta)$ 。在 k 足够大时, 式(3)中的 $o(\theta)$ 可忽略不计, 有 $r'(\theta) \approx \tilde{r}'(\theta)$ 。

最后, 通过直角坐标与极坐标的转换, 可以得到轮廓在直角坐标下任一点切线的方向。

$$\frac{dy}{dx} = \frac{r'(\theta) \sin \theta + r(\theta) \cos \theta}{r'(\theta) \cos \theta - r(\theta) \sin \theta} \quad (5)$$

由此可得 g_i , 代入式(1)可直接得出轮廓的形状角。

3 矩形形状角与宽长比、尺寸关系

3.1 形状角与宽长比的关系

式(1)中, 令 $j \rightarrow +\infty$, 将轮廓上的离散点变成连续的曲线, 则式(1)变化为

$$D_\alpha = \frac{1}{j} \int_0^j \alpha_i di = \frac{1}{j} \int_0^j \arccos(g_i, m_i) di \quad (6)$$

此时, j 的物理意义由点的个数变成了矩形的长度。取轮廓上某一位置为起始位置, 下角标 i 表示该标量/向量的位置以某固定方向偏移距离 i 。对于宽、长分别为 $2a$ 、 $2b$ 的矩形, 有

$$D_\alpha = \frac{1}{b} \int_0^b \arctan\left(\frac{i}{a}\right) di + \frac{1}{a} \int_0^a \arctan\left(\frac{i}{b}\right) di \quad (7)$$

用 n 表示矩形宽长比 $n = a/b$, 将 n 代入式(7), 求解积分, 有

$$D_{\alpha} = \frac{1}{n} \arctan \frac{1}{n} + n \arctan n - \ln(1 + n^2) + \ln(n) \quad (8)$$

矩形形状角与宽长比的关系如图3所示。

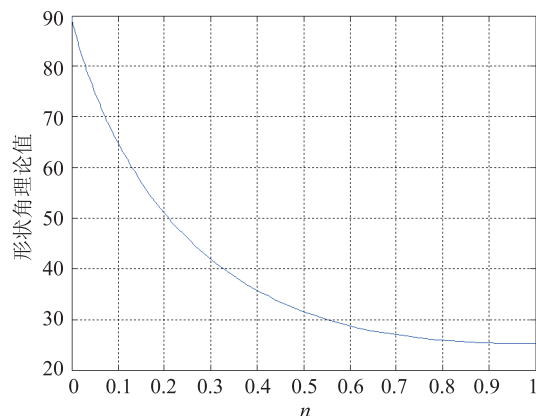


图3 形状角与矩形宽长比的关系

Fig. 3 Relationship between D_{α} and n

3.2 矩形的尺寸对形状角计算结果的影响

本文方法关键在于轮廓的拟合, 矩形轮廓上离散点个数的多少, 即矩形尺寸的大小, 会影响拟合结果, 进而影响形状角计算结果。宽长比 n 分别为 0.1、0.5、1 时, 形状角计算结果如图4所示。可以看出, 当 $n=1$, 即矩形是一个正方形时, 尺寸大小对计算结果的影响非常小。在边长大于等于 50 之后计算结果趋于稳定。当 n 为 0.5 和 1 时, 尺寸对计算结果影响较大; $n=0.5$ 且长边像素大于 100 后, $n=0.1$ 且长边像素大于 150 之后, 数值趋于稳定。

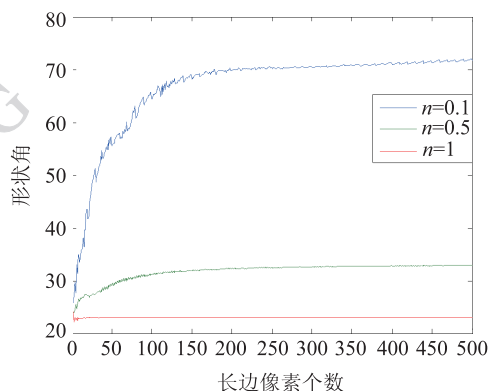


图4 $n=0.1, 0.5, 1$ 时矩形的形状角与尺寸关系

Fig. 4 Relationships between D_{α} and size when $n=0.1, 0.5, 1$

为进一步分析矩形尺寸对形状角计算结果的影

响, 对图4进行扩展, 以 x 坐标表示宽长比 n , y 坐标表示长边像素个数 L , z 坐标表示形状角计算结果, 如图5所示。可以看出, L 越小, 拟合越不精确, 误差越大; 同时, n 越小, 精确计算形状角所需的 L 越大。

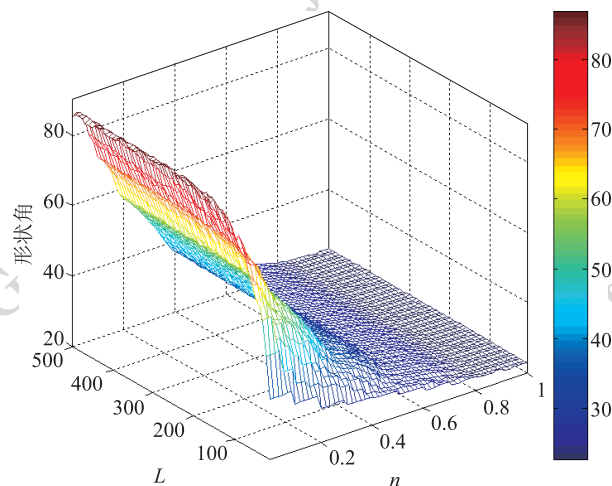


图5 形状角与矩形宽长比、尺寸的关系

Fig. 5 Relationship between D_{α} , n and size

计算图5中数据与形状角理论值(式(8))之差即可得到计算误差 error 与宽长比和尺寸的关系, 如图6所示。可以看出误差主角集中在 $L \leq 150, n \leq 0.4$ 的区域内。

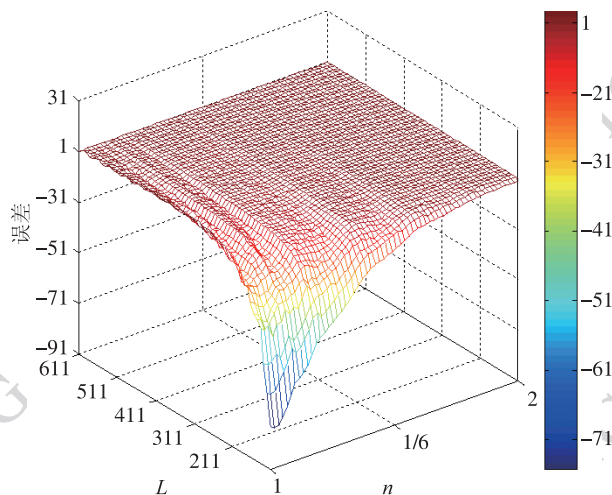


图6 计算误差与矩形宽长比、尺寸的关系

Fig. 6 Relationship between error, n and size

4 矩形目标识别

以改进的形状角计算方法和式(8)为基础, 提出一种矩形识别方案。其核心思想如下: 选取所需

识别的该类矩形标准模板,采用改进的形状角计算方法或式(8)计算其形状角值,以此为参考值 D_a^ϕ ; 根据实际检测情况,选定所需检测识别的矩形形状角偏差阈值 ε ;将所需检测的轮廓形状角 D'_a 与模板参考值进行比较,如果 $|D_a^\phi - D'_a| \leq \varepsilon$,则可以将其归为与模板同类矩形,否则属于其他。识别方法如图7所示。

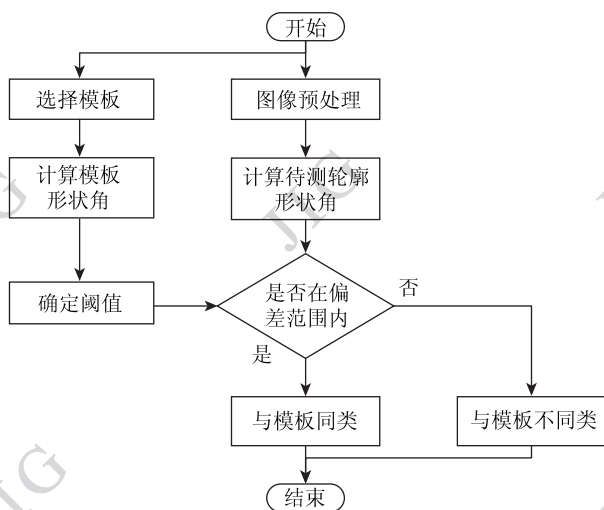


图7 矩形识别方法流程

Fig. 7 Flow diagram of the rectangular object recognition

5 实验及分析

5.1 矩形识别

实验数据为松下 DMC-GM1 获得的 2048×1536 的 PCB 图像(如图8所示),使用 Matlab 在有字母标识的芯片中识别 FUSION 878A 芯片,已知该芯片宽长比为 0.7。宽长比为 0.7 的矩形形状角为 26.928。然而该芯片封装存在倒角,其形状角真实值会略小于 26.928,不适合直接计算形状角标准值。故选取图中标示为(a)的矩形区域为模板。采用本文方法计算形状角,得 $D_a^\phi = 26.1603$ 。

分别计算模板被选取轮廓形状角,结果如下:(b):26.1927;(c):26.2011;(d):26.2790;(e):24.3508;(f):23.2679;(g):40.7111;(h):40.8328。取 $\varepsilon = 0.15$,当 $|D_a^\phi - D'_a| \leq 0.15$ 时,被测轮廓与模板轮廓为同一类矩形。经分析比较后,可将(b)(c)(d)归为与(a)同一类。

5.2 时间复杂度分析

设矩形轮廓点数目为 N ,宽长比为 n 。运算次

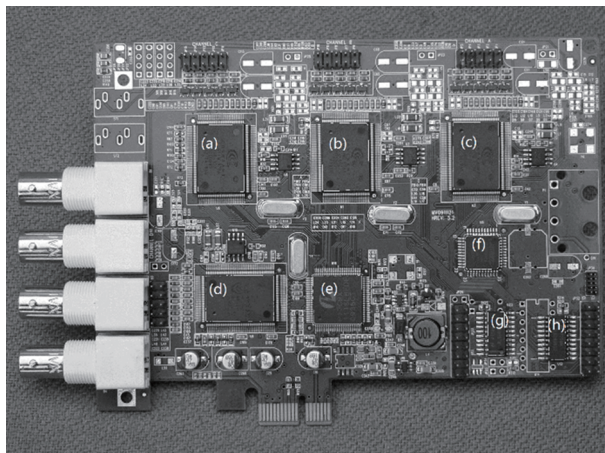


图8 PCB板图像

Fig. 8 Image of PCB

数构成如下:求轮廓形心为 $2N+2$;极坐标转化为 $4N$; k 阶傅里叶拟合为 $(2N+1-k) \cdot (k+1)$;求导拟合结果为 $2k$;求切线方向为 7。整个拟合的时间复杂度为 $6N+9+(2N+1-k) \cdot (k+1)+2k$ 。

大多数情况中, $k \leq 5$ 时,拟合的可决系数已满足要求,即 k 远小于 N 。其时间复杂度为 $O(n)$ 。

为了便于对比分析,对文献[6]中的方法进行时间复杂度分析。根据线性拟合最小二乘估计的正规方程组^[8], k_o 个点进行直线拟合,运算次数为 $6k_o+3$ 。

点位于较长边时,处理单个点的切线方向运算次数为

$$\sum_{k_o=3}^{N/(1+n)} 6k_o + 3 = 3 \left(\frac{N}{1+n} \right)^2 + \frac{6N}{1+n} - 24 \quad (9)$$

点位于较短边时,处理单个点的切线方向运算次数为

$$\sum_{k_o=3}^{nN/(1+n)} 6k_o + 3 = 3 \left(\frac{nN}{1+n} \right)^2 + \frac{6nN}{1+n} - 24 \quad (10)$$

$0 < n \leq 1$,可知其算法时间复杂度为 $O(n^3)$ 。

测试的环境是 Intel 2.5 GHz 8 G 内存的 PC,使用的测试平台是 Windows7 操作系统,用 Matlab2013a 实现本文方法。同时设定直线厚度阈值为 1 并实现文献[5]方法。比较图8中(a)(b)(c)(d)四轮廓计算耗时及结果。结果如表1所示。其中 Num 为轮廓像素个数, T_1 为文献[5]方法耗时, T_2 为本文方法耗时, R_1 为使用文献[5]方法计算形状角结果, R_2 为使用本文方法计算形状角结果。由数据可知,本文方法计算平均耗时为 1.5775 s,文献[5]方法平均耗时为 156.155 s,时间复杂度降低

两个数量级。根据 3.1 节中的讨论,该芯片形状角真实值会略小于 26.928,结合表 1 数据可以得知计算结果也更加准确。

表 1 计算耗时与结果
Table 1 The computing time and results

Num	T_1/s	T_2/s	R_1	R_2
767	185.78	1.60	31.501 7	26.160 3
764	166.26	1.29	31.187 3	26.192 7
760	145.11	1.67	29.438 8	26.201 1
766	127.47	1.75	29.948 8	26.279 0

6 结 论

针对离散点数据的矩形区域识别问题,提出了一种新的离散点切线方向计算方法,提高了形状角计算效率,在此基础上提出了一种新的矩形区域识别方法。并通过实例进行验证,可以得出如下结论:

1)改进的矩形轮廓切线方向求解方法耗时减少。推导并实验证明了算法时间复杂度由 $O(n^3)$ 降为 $O(n)$ 。

2)探讨了矩形宽长比、尺寸对形状角的影响,为工程应用中模板选择和数据匹配提供了参考。

3)基于改进的形状角计算方法,提出了一种基于形状角的矩形识别方法,可以有效地对图像中的矩形进行分类识别。

鉴于一定的尺寸范围内,宽长比相同的矩形形状角相同。因此,所提矩形识别方法无法识别这种

情况,需要添加如面积、尺寸等参数进行区分。

参考文献 (References)

[1] Li Q B, Liu W Y. Fast rectangle detect base on Hough Transform [J]. Microcomputer Information, 2007, (31): 248-250. [李强兵, 刘文予. 基于 Hough 变换的快速矩形检测算法[J]. 微计算机信息, 2007, (31): 248-250.]

[2] Illingworth J, Kittler J. A survey of the Hough transform [J]. Computer vision, graphics, and image processing, 1988, 44(1): 87-116.

[3] Qin K H, Wang H Y, Zheng J T. A unified approach based on Hough Transform for quick detection of circles and rectangles [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(1): 109-115. [秦开怀, 王海颖, 郑辑涛. 一种基于 Hough 变换的圆和矩形的快速检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(1): 109-115.] [DOI:10.11834/jig.20100118]

[4] Teutsch C, Berndt D, Trostmann E, et al. Real-time detection of elliptic shapes for automated object recognition and object tracking [J]. SPIE, 2006, 6070:1-9.

[5] Vialard A. Chemins euclidiens: un modèle de représentation des contours discrets [D]. Bordeaux: Bordeaux 1, 1996.

[6] Cui Q, Xi P, Dai M. An improved method for tangent estimation of digital curves [J]. Journal of Engineering Graphics, 2006, 27(1): 70-75. [崔芊, 席平, 戴模. 对于离散曲线上逐点切线方向估计的一种改进算法[J]. 工程图学学报, 2006, 27(1): 70-75.]

[7] Freeman H. On the encoding of arbitrary geometric configurations [J]. IRE Transactions on Electronic Computers, 1961, (2): 260-268.

[8] Xu Q Z, Lv S. Probability Theory and Mathematical Statistics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 201-202. [徐全智, 吕恕. 概率论与数理统计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 201-202.]