



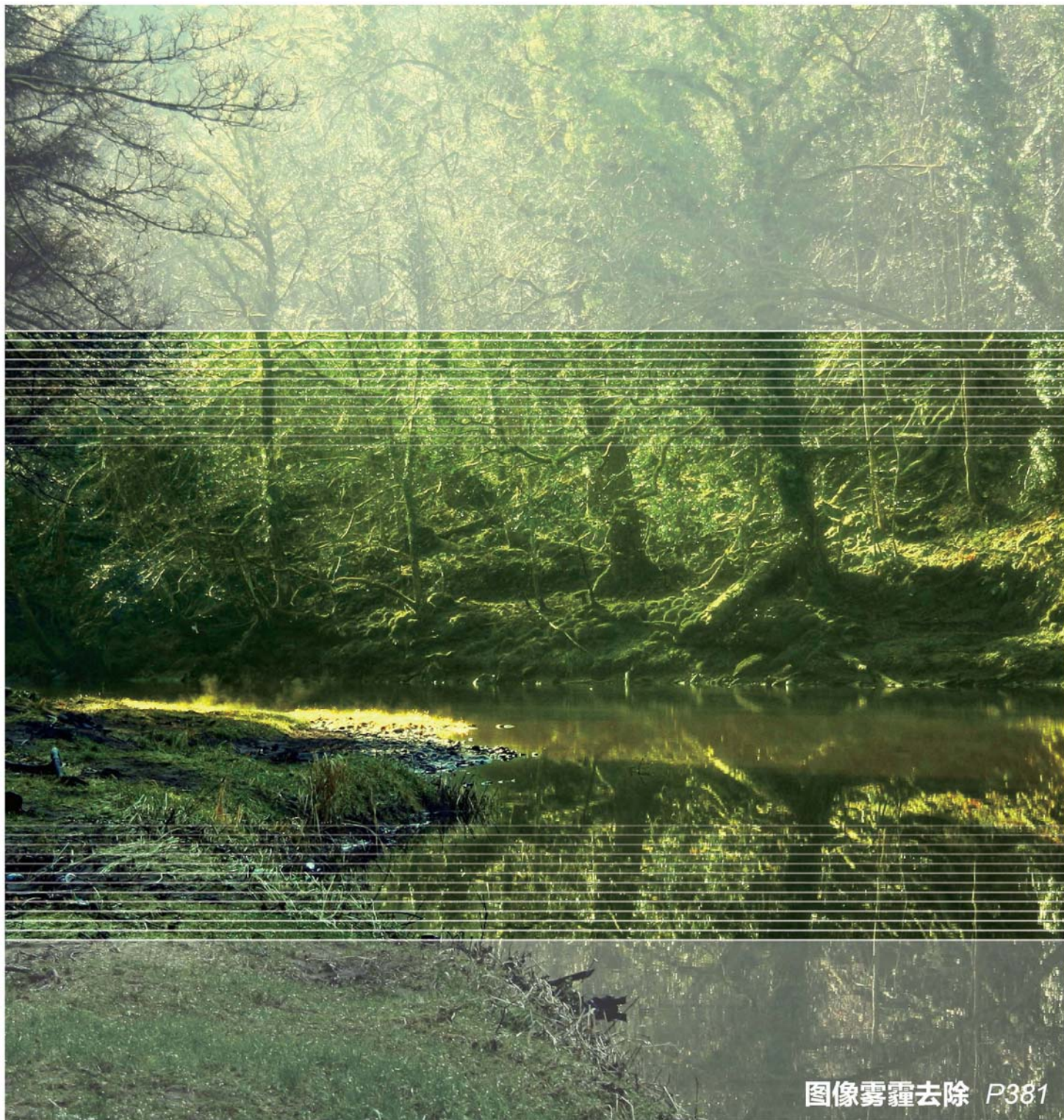
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

2014
03
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像雾霾去除 P381



第19卷第3期（总第215期）

2014年3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

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@irsa.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@irsa.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

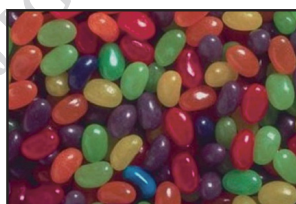
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



控制关键帧选择的H.264熵编码加密算法(第358页)



显著性检测指导的高光区域修复(第393页)



由灭点进行径向畸变的自动校正(第407页)

综述

图像场景分类中视觉词包模型方法综述

赵理君, 唐娉, 霍连志, 郑柯 0333

面向对象的高分辨率SAR图像处理及应用

张红, 叶曦, 王超, 张波, 吴樊, 汤益先 0344

图像处理和编码

控制关键帧选择的H.264熵编码加密算法

张小红, 袁春经 0358

小波域视觉密码零水印算法

曲长波, 杨晓陶, 袁铎宁 0365

双重轮廓演化曲线的图像分割水平集模型

王相海, 李明 0373

暗原色先验单幅图像去雾改进算法

孙小明, 孙俊喜, 赵立荣, 曹永刚 0381

基于双边滤波的图像去雾

王一帆, 尹传历, 黄义明, 王洪玉 0386

显著性检测指导的高光区域修复

王祎璠, 姜志国, 史骏, 张浩鹏 0393

应用DCT块标准差的自适应隐写算法

凌轶华, 蔡晓霞, 陈红 0401

由灭点进行径向畸变的自动校正

刘丹, 刘学军, 王美珍 0407

图像分析和识别

黎曼流形上的保局投影在图像集匹配中的应用

曾青松 0414

结合全局和局部信息的“两阶段”活动轮廓模型

戚世乐, 王美清 0421

图像理解和计算机视觉

基于超像素的点追踪方法

罗会兰, 钟睿, 孔繁胜 0428

遥感图像处理

结合相位一致与全变差模型的高分辨率遥感图像边缘检测

黄秋燕, 肖鹏峰, 冯学智, 王珂 0439

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

人眼视觉感知特性的非下采样Contourlet变换域多聚焦图像融合

杨勇, 郑文娟, 黄淑英, 方志军, 袁非牛 0447

面向手绘军标图形的旋转自由识别方法

吴玲达, 张友根, 邓维, 宋汉辰 0456

基于深度相机的手腕识别与掌心估测

姚争为, 潘志庚, 滕国栋 0463

多信息融合的快速车牌定位

王永杰, 裴明涛, 贾云得 0471

H.264/AVC中基于决策树的P帧快速模式选择

王萍, 张晓丹, 张磊 0476

互信息域中的无参考图像质量评价

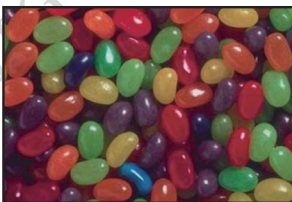
董宏平, 刘利雄 0484

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



H.264 video entropy coding encryption by controlling key frames(P358)



Algorithm for highlight area inpainting guided by saliency detection(P393)



Automatic approach of lens radial distortion correction based on vanishing points(P407)

Review

- Review of the bag-of-visual-words models in image scene classification
Zhao Lijun, Tang Ping, Huo Lianzhi, Zheng Ke 0333
- The processing and applications of high resolution SAR images with object-based image analysis
Zhang Hong, Ye Xi, Wang Chao, Zhang Bo, Wu Fan, Tang Yixian 0344

Image Processing and Coding

- H.264 video entropy coding encryption by controlling key frames
Zhang Xiaohong, Yuan Chunjing 0358
- Zero-watermarking visual cryptography algorithm in the wavelet domain
Qu Changbo, Yang Xiaotao, Yuan Duoning 0365
- Level set model for image segmentation based on dual contour evolutionary curve
Wang Xianghai, Li Ming 0373
- Improved algorithm for single image haze removing using dark channel prior
Sun Xiaoming, Sun Junxi, Zhao Lirong, Cao Yonggang 0381
- Image haze removal using a bilateral filter
Wang Yifan, Yin Chuanli, Huang Yiming, Wang Hongyu 0386
- Highlight area inpainting guided by saliency detection
Wang Yifan, Jiang Zhiguo, Shi Jun, Zhang Haopeng 0393
- Adaptive steganographic algorithm utilizing block standard deviation of DCT coefficients
Ling Yihua, Cai Xiaoxia, Chen hong 0401
- Automatic approach of lens radial distortion correction based on vanishing points
Liu Dan, Liu Xuejun, Wang Meizhen 0407

Image Analysis and Recognition

- Locality preserving projection on Riemannian manifold for image set matching
Zeng Qingsong 0414
- "Two-stage" active contour model driven by local and global information
QI Shile, WANG Meiqing 0421

Image Understanding and Computer Vision

- Method of point tracking based on superpixel
Luo Huilan, Zhong Rui, Kong Fansheng 0428

Remote Sensing Image Processing

- Edge detection from high resolution remote sensing image combining phase congruency with total variation model
Huang Qiuyan, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi, Wang Ke 0439

Special Issue on HHME 2013

- Multi-focus image fusion based on human visual perception characteristic in non-subsampled Contourlet transform domain
Yang Yong, Zheng Wenjuan, Huang Shuying, Fang Zhijun, Yuan Feiniu 0447
- Rotation free recognition of hand-drawn military marking symbols
Wu Lingda, Zhang Yougen, Deng Wei, Song Hanchen 0456
- The wrist recognition and the center of palm estimation based on depth camera
Yao Zhengwei, Pan Zhigeng, Teng Guodong 0463
- License plate detection based on multiple features
Wang Yongjie, Pei Mingtao, Jia Yunde 0471
- Fast intermode decision based on the decision tree for H.264/AVC P-frame encoding
Wang Ping, Zhang Xiaodan, Zhang Lei 0476
- No-reference image quality assessment in mutual information domain
Dong Hongping, Liu Lixiong 0484

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)03-0456-07

论文引用格式: 吴玲达, 张友根, 邓维, 宋汉辰. 面向手绘军标图形的旋转自由识别方法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(3): 456-462. [DOI: 10.11834/jig.20140216]

面向手绘军标图形的旋转自由识别方法

吴玲达^{1,2}, 张友根², 邓维¹, 宋汉辰²

1. 装备学院重点实验室, 北京 101416; 2. 国防科技大学信息系统与管理学院, 长沙 410073

摘要: 目的 在笔态势势标绘应用中, 识别手绘点状军标图形面临着图形类别多、图形类别之间相似度高、绘制方向可变等挑战。针对这些困难提出一个面向手绘军标图形的旋转自由识别方案, 以识别图形类别和方向角为目标。方法 首先通过旋转不变的粗分类缩小候选类别范围, 然后估计待识别图形与模板图形间的方向夹角并将二者旋转对齐, 最后用细化区分方法识别高相似度的图形类别。采用一种结合图形采样点空间分布和局部方向信息的方向 Zernike 矩特征描述图形样本, 通过匹配方向 Zernike 矩可实现粗分类和旋转角估计。结果 实验结果表明本文方法的分类准确率和角度估计精度均明显优于基于传统 Zernike 矩的识别方法。结论 该方法可有效应用于对在线手绘军标图形进行旋转自由识别的场合。

关键词: 手绘图形; 军标图形; 旋转自由识别; 旋转角估计

Rotation free recognition of hand-drawn military marking symbols

Wu Lingda^{1,2}, Zhang Yougen², Deng Wei¹, Song Hanchen²

1. Key Laboratory, Academy of Equipment, Beijing 101416, China;

2. College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

Abstract: **Objective** In pen-based military situation marking systems, recognizing hand-drawn symbols is confronted with several challenges, such as numerous classes of graphic symbols, high similarity between classes, and orientation variation of many rotatable symbols. A rotation free recognition paradigm is presented considering these difficulties and, aiming at classifying an instance of a symbol as well as estimating its rotation angle. **Method** First, rotation invariant coarse classification is performed to narrow the range of candidate classes. Then the rotation angle between the unknown instance and the template instance is estimated. They can be rotationally aligned by compensating the rotation angle between them. Finally, refining classification methods can be applied to distinguish similar symbols. A novel Zernike moments-based descriptor, called DZM, was used to represent hand-drawn symbol samples. It combines the spatial distribution of sample points and their local direction information. By matching DZM features, both coarse classification and rotation angle estimation could be accomplished. **Result** Experimental results show that the proposed method outperforms the traditional Zernike moment method in both classification and rotation angle estimation of hand-drawn military situation marking symbols. **Conclusion** This method can be applied effectively in rotation free recognition of online hand-drawn military marking symbols.

Key words: hand-drawn symbol; military situation marking symbol; rotation free recognition; rotation angle estimation

收稿日期: 2013-08-31; 修回日期: 2013-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(61103081, 61201339)

第一作者简介: 吴玲达(1962—), 女, 教授, 1999 年于国防科技大学获系统工程专业博士学位, 主要研究方向为多媒体与虚拟现实技术。

E-mail: wld@nudt.edu.cn

0 引言

态势图是辅助指挥员理解战场态势,拟定作战计划和制定决策的重要工具。基于手绘草图的笔式态势标绘系统与传统的采用 WIMP(Windows、Icons、Menus、Pointing devices)交互范式的标绘系统相比具有交互自然、高效等优点^[1],近年来逐渐得到了广泛重视和研究^[2-5]。对手绘输入的军标图形(也称队标)进行识别是这类系统要解决的一个关键问题,利用识别结果可对非精确的用户笔迹进行整饰美化,以更好地进行态势可视化表现,此外准确识别手绘军标图形也是进一步实施计算机仿真、推演等的基础。

点状军标图形用于抽象标绘战场要素的类别、位置、数量等信息,识别手绘点状军标的挑战主要体现在:1)图形类别众多,常用的点状军标图形类别多达数百类,因此手绘点状军标图形识别问题属于大类别(或称为超多类)模式识别问题。2)存在大量相似图形,许多表示相近类别(如不同类型的飞机)的图形由同一根队标衍生而来,相似度很高,要求特征和分类方法有很好的区分能力。3)标绘方向不固定,许多图形类别以朝向表达该要素的方向信息,如飞机、舰船的航向或火炮的瞄准方向等,在标绘作业中这些图形的方向是依具体情况而定的,因此识别方法需要克服方向旋转的影响。本文以手绘军标图形的类别和旋转方向角为目标,提出一种旋转自由的识别方案,采用一种能融合采样点空间分布与局部轨迹方向信息的方向 Zernike 矩特征描述和匹配方法,给出了特征构造、匹配距离度量和旋转角估计的方法。

1 识别方案

点状军标图形是军事领域用于态势表达的一种特殊符号,与文字字符(尤其是以汉字为代表的东亚字符)有许多相似之处,例如在手写汉字识别中也需要重点考虑大类别和相似字区分的问题。经过多年的研究,针对手写文字识别问题已有大量的研究成果^[6],并已达到可实用的水平。因此,手绘军标图形识别可以借鉴手写文字识别领域中的许多技术方法。然而,现有的手写文字识别方案并不能直接应用,其中的一个主要问题在于目前对手写文字

的研究大多未考虑文字方向变化的因素,所构造的识别器也通常是旋转敏感的。虽然近年来有个别研究关注了倾斜手写文字的识别问题^[7-9],但所用的文字方向校正和归一化的方法通常利用了手写文字笔画模式稳定等规律的约束,而这些约束在手绘军标图形中很难满足。

对点状军标图形的识别目标不仅包括图形类别,也包括其旋转方向角。由于既要区分存在高度相似性的大量类别,又要克服图形方向不确定性的影响,二者耦合增大了识别的难度。为此将区分相似性与克服旋转这两个耦合的子问题分解开来在多级框架下逐步分别进行处理,整体识别流程如图1所示,主要分为粗分类、方向估计与配准和细分类3个步骤:首先通过旋转不变的粗分类快速滤除相似度低的图形类别,缩小识别候选类别搜索范围;然后通过方向角估计和旋转操作配准被匹配的图形;最后利用细节特征区分相似的图形类别。点状军标集中亦包含部分绘制朝向固定的图形(如医院、码头等固定设施),可以在构造模板库时进行标记,当与这些图形模板进行匹配时便可跳过方向角估计和旋转配准处理,仅进行类别分类识别。

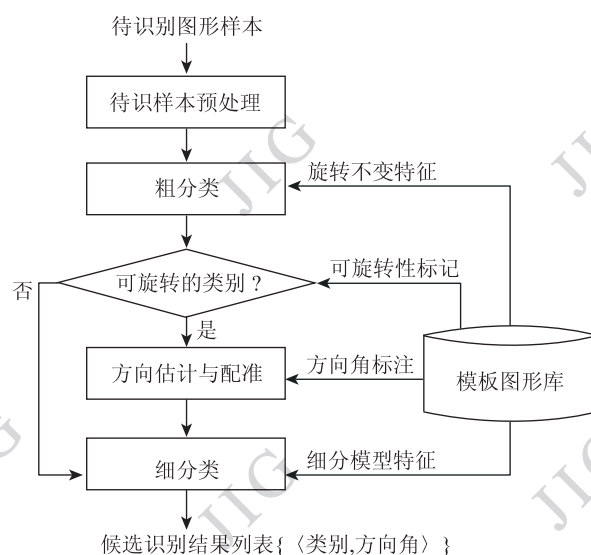


图1 手绘点状军标图形的旋转自由识别方案

Fig. 1 Rotation free recognition scheme for hand-drawn military marking symbols

针对相似文字的细化分类方法(包括特征提取和鉴别区分)已有许多研究和较有效的解决方法^[10-11],经粗分类和方向估计与旋转配准对齐后,手绘点状军标集中的相似图形亦可应用这些方法作

细化区分识别,因此粗分类和方向角估计问题是点状军标图形识别方案的关键,本文后续内容将对此进行重点探讨,提出一种面向在线手绘军标图形的方向 Zernike 矩特征描述和匹配方法,该特征融合了图形采样点的空间分布信息和局部方向信息,能很好地描述图形的结构形状和方向性,通过特征匹配,可以度量待识别样本与模板样本的相似度,并同时估计出二者间的方向夹角。

2 方向 Zernike 矩特征描述和匹配

Zernike 矩由位圆上的一组正交基函数构造而成,是图像识别领域中常用的一种特征表示方法。将一个模式旋转角度 $\alpha (0 \leq \alpha \leq 2\pi)$ 后,其第 p 阶第 q 重 Zernike 矩 Z_{pq}^α 与旋转前的矩值 Z_{pq} 之间的关系满足: $Z_{pq}^\alpha = Z_{pq} e^{iq\alpha}$ 。由此可推导出 Zernike 矩在处理旋转时的两个重要性质: 1) $|Z_{pq}^\alpha| = |Z_{pq}|$, 即 Zernike 矩模值具有旋转不变性,取矩模作为旋转不变特征也是 Zernike 矩特征最简单常见的应用方式,这种方法在手绘图形识别中也有若干应用研究^[12-14]。2) 旋转前后 Zernike 矩的幅角差异与重数 q 和旋转角度 α 相关: $\theta_{pq} = \arg\left(\frac{Z_{pq}^\alpha}{Z_{pq}}\right) = q\alpha$, 因此通过对两幅图形的 Zernike 矩进行适当匹配计算可以解算估计出二者之间的旋转夹角。近年来有若干研究利用 Zernike 矩的幅角信息对图像模式的旋转角进行估算^[15-17], 本文也将同时利用 Zernike 矩的模值与幅角信息进行识别。

作为一种基于图像的特征, Zernike 矩只描述了数据点集的空间分布信息。对手绘图形而言,除点集的空间分布外,笔画轨迹采样点之间的在线关联信息也可对识别提供重要帮助。因此采用一种新的基于 Zernike 矩的描述特征表示手绘军标图形,称为方向 Zernike 矩 (DZM), DZM 将手绘图形采样点的局部方向信息与空间分布信息融合表示,能更充分地描述图形,从而提高分类的准确率和旋转角估计的精度。

2.1 方向 Zernike 矩特征

基于 DZM 的手绘图形表示方法在文献[18]中已有简要介绍,如图 2 中示例所示,其基本思路是: 对原始笔画作空间等间距重采样; 然后提取采样点的局部轨迹走向 (称为局部方向), 通过局部方向划分将手绘图形模式分解为多个子图形, 最后在每个

子图形上分别提取 Zernike 矩特征联合组成图形的描述向量。

基于局部方向对模式进行分解表示的思想源于在手写文字识别领域中已被广泛研究并成功应用的方向场特征^[19-21]。如前所述, Zernike 矩本身具有很好的旋转自由识别能力, 为使描述方法整体上具有旋转自由识别能力, 关键在于保持基于局部方向的图形分解方式在图形旋转变换下具有稳定性。由于在手写文字识别研究中极少考虑文字方向旋转的问题, 传统的方向场特征是相对于设备坐标系构造的, 因此其方向分解方式对图形旋转具有敏感性。本文提出以旋转中心 (图 2 中的重心点 $\bar{c}$) 作为参考来定义采样点的局部方向, 即定义采样点 p_i 的局部方向 φ_i 为直线 $p_i\bar{c}$ 与直线 $\overline{p_{i-1}p_{i+1}}$ (当 p_i 为笔画端点时取 $\overline{p_i p_{i+1}}$ 或 $\overline{p_{i-1} p_i}$) 之间的夹角, 显然该夹角对图形旋转具有不变性。

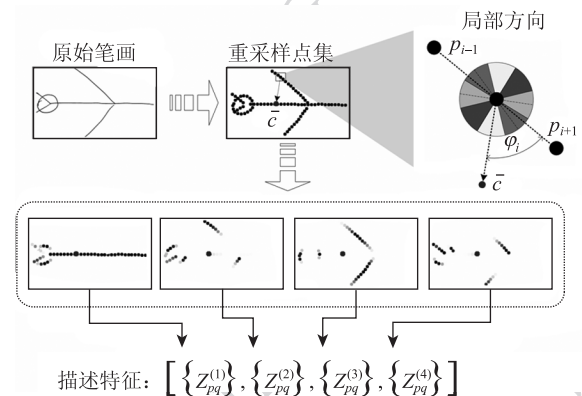


图 2 DZM 特征表示方法的原理示例

Fig. 2 An illustration of DZM feature representation

笔画重采样中设置采样间距与图形笔画总长度成比例, 使得重采样后的点数近似为固定值, 以避免因图形尺度缩放导致采样点数剧烈变化, 使得后续提取的矩特征不稳定。计算出重采样点集重心 $\bar{c}$ 后, 将所有采样点缩放至以 $\bar{c}$ 为圆心的单位圆内。然后将局部方向 φ 的取值范围 $[0, \pi)$ 均分为 K 个区间, 利用局部方向场 $\{\varphi_i\}$ 将采样点集 P 分解为 K 个与方向区间分别对应的子图: $P^{(k)} = \{(p_i, r_i^{(k)})\}, 1 \leq k \leq K$, 其中的 $r_i^{(k)}$ 表示采样点 p_i 处局部方向对方向区间 $k (1 \leq k \leq K)$ 的响应强度值, 且 $\sum_{k=1}^K r_i^{(k)} = 1$ 。

考虑到手绘图形的高度变异性, 为增强特征的鲁棒性, 在局部方向分解时不直接采取二值化方式划分至单个方向区间, 而是采用 S 形隶属度函数进

行模糊表示,将局部方向分解到相邻的两个区间,即

$$r^{(k)}(\omega) = \begin{cases} 1 - 2\omega^2 & \omega \in [0, 0.5) \\ 2(1 - \omega)^2 & \omega \in [0.5, 1] \\ 0 & \omega > 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\omega = \Delta\omega \cdot K/\pi$ 表示采样点局部方向与方向区间 k 的中轴方向之间(二者夹角 $\Delta\omega$)的归一化夹角。

显然局部方向越接近区间 k 的中轴($\omega \rightarrow 0$),则将其划分到该区间就越稳定合理,此时隶属度 $r^{(k)} \rightarrow 1$;反之当采样点局部方向接近方向区间边界时($\omega \rightarrow 0.5$)则为易混淆的状态,此时对边界两侧区间的隶属度均趋于 0.5。

最后,对每个子图形 $P^{(k)}$,以各采样点响应值 $r_i^{(k)}$ 为图像强度值,计算该子图形的一组满足定义域 D 的 Zernike 矩特征: $\{Z_{pq}^{(k)} \mid (p, q) \in D\}$ 。将各子图形上所得的 Zernike 矩特征联合,即构成最终的描述特征 $F_{DZM} = [\{Z_{pq}^{(1)}\}, \dots, \{Z_{pq}^{(K)}\}]$ 。

2.2 距离度量

DZM 特征由一组复数矩构成,一种简单的匹配方法是采用类似传统 Zernike 矩匹配的方式计算矩模值向量之间的欧氏距离,作为图形样本间的旋转不变距离度量。但这种方法忽略了 Zernike 矩中的幅角信息。Revaud 等人^[16]在视觉形状匹配研究中提出了一种改进的 Zernike 矩匹配方法(记为 IZMC),能结合幅角信息更准确地度量形状相似度,并能同时估计出被匹配形状之间的旋转夹角。基于该匹配方法,定义 DZM 特征描述下手绘军标图形 I 和 J 的距离为各子图形距离和,即

$$d(I, J, \phi) = \sum_{k=1}^K \sum_{(p, q) \in D} \frac{\pi}{p+1} (|Z_{pq}^{I^{(k)}}|^2 + |Z_{pq}^{J^{(k)}}|^2 - 2|Z_{pq}^{I^{(k)}}| |Z_{pq}^{J^{(k)}}| \cdot \cos(q\phi + [Z_{pq}^{I^{(k)}}] - [Z_{pq}^{J^{(k)}}])) \quad (2)$$

式中, $|\cdot|$ 和 $[\cdot]$ 分别表示矩的模值和幅角。式(2)中包含一组关于旋转角 ϕ 的 $\cos$ 项。当 $d(I, J, \phi)$ 取值最小化时,表示此时 I 与由 J 旋转 ϕ 后所得模式 $J * R_\phi$ 之间对齐程度最好, R_ϕ 表示角度为 ϕ 的旋转变换,因此通过基于 Nyquist-Shannon 采样定理的极值搜索^[16],取 $d^* = \min_{\phi} (d(I, J, \phi))$ 作为被匹配图形间的距离。若参与匹配的模板图形是已标记为不可旋转的图形类别,则可跳过上述的旋转夹角寻优过程,即直接置式(2)中 $\phi = 0$ 。

2.3 旋转角度估计

方向可旋转的图形类别在匹配时通过关于旋转

角 ϕ 的极值搜索,在求得最小化匹配距离的同时,也获得了对被匹配图形样本间的最佳旋转夹角的估值 $\phi^* = \arg \min_{\phi} (d(I, J, \phi))$ 。如果在构建模板库时对每类可旋转图形都人为指定一个“标准方向”,然后标注模板样本 T 的旋转方向角为其相对于标准方向的夹角 θ_T^L ,那么在识别未知的图形样本 U 时,就可以依据匹配中对其与模板样本 T 的夹角估值 $\phi_{U,T}^E$ 和 T 的旋转方向角标注值 θ_T^L 估算出 U 相对于“标准方向”的角度: $\theta_U^E = \phi_{U,T}^E + \theta_T^L$ 。

如果对同一图形类别存储有多个模板样本 $\{T_i, 1 \leq i \leq M\}$,可以利用这些模板样本分别与待识别图形进行匹配,获得对样本 U 方向角的多个估计 $\theta_{U,i}^E$,然后将这些估计结果加权融合,以提高估计精度。采用匹配距离反比作为权重,多模板融合估计(multi-estimation)为

$$\theta_U^{ME} = \text{atan2} \left(\sum_{i=1}^M \sin \frac{\theta_{U,i}^E}{d_i}, \sum_{i=1}^M \cos \frac{\theta_{U,i}^E}{d_i} \right) \quad (3)$$

3 实验与分析

3.1 实验数据

从常用军标图形集中选取了一组点状军标图形类别,其中既包括方向可变的图形类别,也包括方向固定的图形类别,针对这些图形采集了一个手绘图形样本实验数据集。方向可变类型的军标图形包括 220 种图形类别(记为 Set1-Rotatable),如火炮、飞机、直升机、舰船、车辆等机动要素;方向不可变类型的军标图形包括 100 种图形类别(记为 Set2-NonRotatable),如指挥所、医院、码头等固定设施。图 3 给出了部分实验图形的示例。

以一台 ThinkPad X200 Tablet 作为手绘图形输入设备采集实验数据,对每个图形类别给出一幅标准模板图形作为参考,分别绘制 5 个图形样本。其中对于方向可变的图形类别,绘制时使各样本朝向多个不同方向,然后借助在图形样本重心处显示的一个方向角刻度盘作为参考,以人工方式标注该图形样本相对于某指定“标准方向”的旋转角度,该角度标注值将作为方向角估计测试中精度分析的真实数据(Ground Truth)来源。对于方向不可变的图形类别,也人工标注其为“不可旋转”。从每类图形中选取一个代表样本作为该类的模板样本:计算每个样本与同类其他各样本之间的距离,取距离和最小者作为代表样本加入模板集。

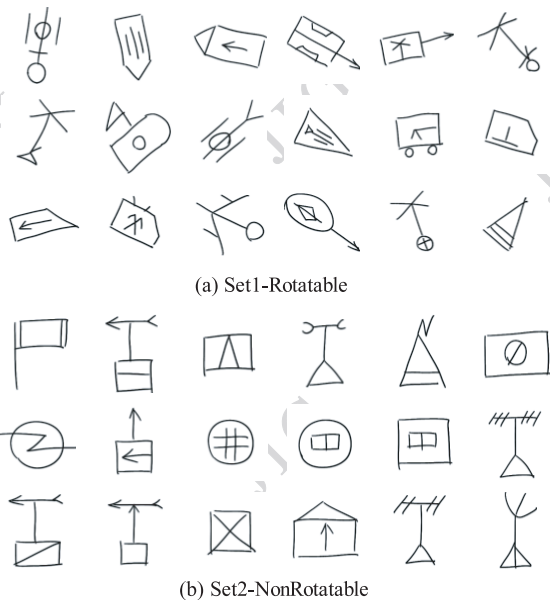


图3 部分实验图形示例

Fig. 3 Examples of experimental symbols

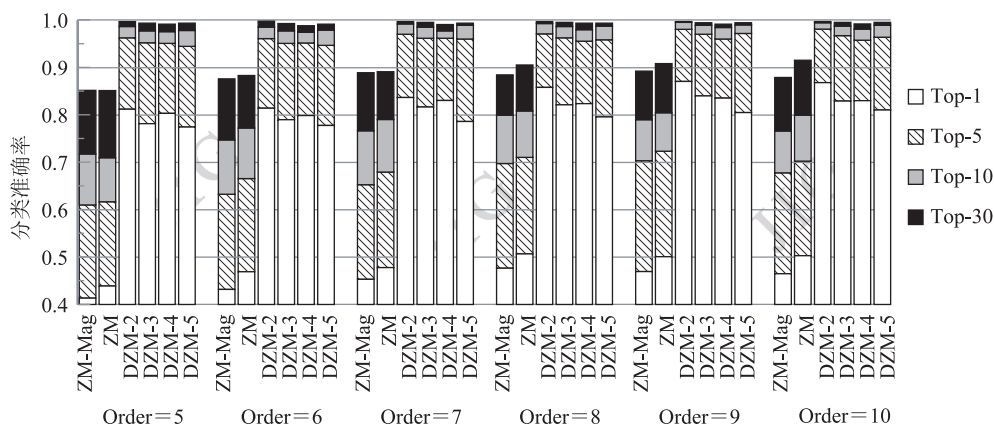
3.2 实验结果分析

3.2.1 分类准确率

实验比较了3种方法的识别效果:1)文献[12]

的方法,提取 Zernike 矩的模值作为旋转不变特征,用欧氏距离进行匹配,记为 ZM-Mag;2)文献[16]的 IZMC 方法,提取 Zernike 矩特征,结合利用矩的模值和幅角信息进行匹配,记为 ZM;3)本文方法,提取包含局部方向信息的 DZM 矩特征,并用式(2)(源于 IZMC 方法)进行匹配,记为 DZM。测试了不同 Zernike 矩阶数(Order = 5, 6, 7, 8, 9, 10)下的实验结果。DZM 特征的另一个重要参数是局部方向量化分解时设置的局部方向量化级数 K , K 越大对局部方向的描述就越精细,但也更易受噪声形变的影响,且在数据存储和匹配计算时的开销也越大。实验中测试了参数 $K = 2, 3, 4, 5$ 下的实验结果,分别用 DZM- K 表示。

采用4级候选列表(Top- n , $n = 1, 5, 10, 30$)的准确率(即按匹配相似度降序排列后前 n 个候选类别中包含被识别样本真实类别的比例)衡量上述识别方法的识别效果。实验结果如图4所示,结果表明 ZM 方法的识别准确率略高于 ZM-Mag 方法,本文 DZM 则明显优于前两种方法,表明融合局部方向信息后的 DZM 特征的识别区分能力有较大幅度的提升。

图4 分类结果的 Top- n ($n = 1, 5, 10, 30$) 候选准确率Fig. 4 Accuracies of the top- n candidate list in classification

随着所提取 Zernike 矩的阶数增加, ZM-Mag 和 ZM 方法的准确率整体呈上升趋势,在阶数增至8后趋于平缓。DZM 方法的准确率亦随着 Zernike 矩阶数增加而呈整体上升趋势,但幅度较小,因为相比前两种方法而言, DZM 方法在取5阶矩时即可获得很高的准确率(尤其是从 Top-5、Top-10 和 Top-30 来看)。在取9阶矩时 DZM 方法取得了最佳的分类效果。提取的 Zernike 矩阶数越多,则3种方法的特征描述向量维度越高,因此结合计算开销方面考虑,设

置阶数 Order = 8 较为合理。

对于参数 K , 图4中结果表明 DZM 方法在 $K = 2$ 时即可取得最佳分类效果,可见仅将局部方向划分为2个区间表示即可增加丰富的类别区分信息。随着 K 的增大,分类准确率不仅未见增长,反而呈轻微下降趋势,分析原因在于对局部方向作进一步细化描述受到了噪声和形变的影响。因此就分类任务而言,无论从分类准确率还是从效率来考虑,设置参数 $K = 2$ 即可。

3.2.2 旋转角度估计精度

估计待识别图形样本与模板样本之间的旋转夹角是手绘军标识别中的另一个重要目标。旋转夹角是针对同类图形样本而言的, 实验中取可旋转图形子集(Set1-Rotatable)的每个样本, 采用前述的 ZM 方法和 DZM 方法分别估算该样本与同类别的其他各样本之间的旋转夹角。由于在采集构造数据集时对 Set1-Rotatable 中每个类别的每个样本 I , 已人工标注其相对于该类别“标准参考方向”的方向角 θ_I^L 。因此, 对同类图形中的任意两个样本 I 和 J , 以二者被标注方向角的差值作为它们之间夹角的真实数据(Ground Truth): $\phi_{I,J}^G = \theta_I^L - \theta_J^L$, 旋转夹角估计值 $\phi_{I,J}^E$ 的误差定义为 $\Delta = |\phi_{I,J}^E - \phi_{I,J}^G|$ 。通过统

计所有误差值 Δ 中落入 $[0^\circ, 5^\circ)$ 、 $[0^\circ, 10^\circ)$ 和 $[0^\circ, 20^\circ)$ 3 个区间中的比例来衡量旋转角估计结果的精度。

旋转角度估计的误差分布统计如图 5 所示, 实验结果表明: DZM 特征描述方法在旋转角度估计中的精度明显优于 ZM 方法。与分类任务类似, 两种方法的旋转角度估计精度也随着 Zernike 矩阶数(5~10)的增加而略有提高, 而且也均在 8 阶矩时达到最高值。DZM 方法中局部方向量化级数 K 对旋转角估计精度有一定影响, 整体而言 $K=4$ 时的精度最高, 但与 $K=2, 3$ 时的差异并不明显(尤其是从误差区间 $[0^\circ, 10^\circ)$ 和 $[0^\circ, 20^\circ)$ 来看)。

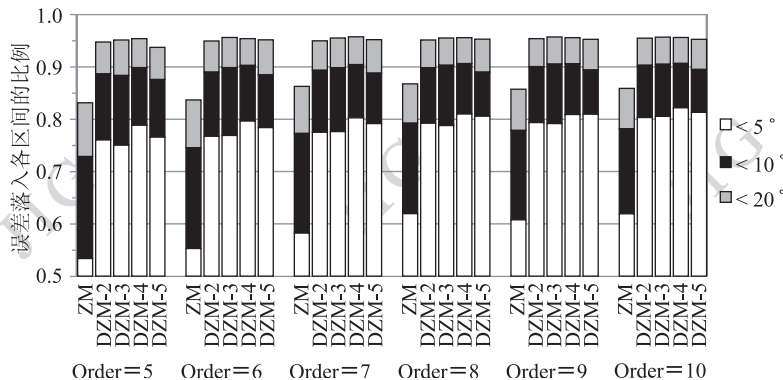


图 5 旋转角度估计结果的误差分布

Fig. 5 Error distribution in rotation angle estimation

综合考虑分类准确率和旋转角估计精度作为识别效果指标, 通过对比不同特征参数下的识别效果, 并结合计算开销方面来考虑, 较为合理的参数设置是取 Zernike 矩阶数 Order = 8, DZM 局部方向量化级数 $K=2$ 。在 Order = 8, $K=2$ 的参数设置下, 对式(3)所示的多模板融合的方向估计方法进行了实验, 对 Set1-Rotatable 中的每个样本, 取同类别的其他样本分别与其进行匹配, 然后将多个估计结果融合并与标注的方向角比较。实验结果表明融合后的估计精度有一定程度的提高, DZM 方法误差落入 3 个区间中的比例分别为 84.2%、92.2%、96.9%, ZM 方法则为 68.4%、83.1%、90.8%。

在识别速度方面, 实验中 8 阶矩的 DZM-2 方法识别单个测试样本的平均耗时约为 19.51 ms (特征提取 5.97 ms + 匹配 13.54 ms), 8 阶矩的 ZM 方法则为 11.03 ms (特征提取 3.66 ms + 匹配 7.37 ms), 可见 DZM 方法的识别速度能很好地满足交互实时

性的要求。虽然在计算开销上 DZM 方法较 ZM 方法有一定程度的增大, 但从识别精度的提升效果来看这种额外开销是值得的。

4 结 论

针对基于草图的态势标绘应用中手绘点状军标图形的特点提出了一种旋转自由的识别方法, 重点研究了基于方向 Zernike 矩特征的粗分类和方向角估计方法。方向 Zernike 矩特征融合了图形采样点的空间分布和局部轨迹方向信息, 在手绘点状军标图形识别中能取得明显优于传统 Zernike 矩的识别效果。该特征描述和匹配方法也可应用于手绘建筑图等其他手绘图形在线识别的场合。下一步的主要工作是在本文粗分类和方向估计配准方法的基础上, 借鉴手写相似字区分方法对部分易混淆图形进行区分。

参考文献 (References)

- [1] Kenneth D F, Jeffrey U, Vernell C. Sketching for military courses of action diagrams [C] //Proceedings of the 8th International Conference On Intelligent User Interfaces. Miami, Florida, USA: ACM, 2003:61-68. [DOI:10.1145/604045.604059]
- [2] Surdu J, Kitka K. Deep green; commander's tool for coa's concept [C] //Proceedings of the 6th International Conference on Computing, Communications and Control Technology. Orlando, Florida, USA: International Institute of Informatics and Systems, 2008:1-7.
- [3] Hammond T, Logsdon D, Paulson B, et al. A sketch recognition system for recognizing free-hand course of action diagrams [C] // Proceedings of the 22nd Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. Atlanta, Georgia: AAAI, 2010.
- [4] Kenneth D F, Jeffrey U, Vernell C. Nusketch battlespace: a demonstration [C] //Proceedings of the 8th International Conference On Intelligent User Interfaces. Miami, Florida, USA: ACM, 2003:322-322. [DOI: 10.1145/604045.604115]
- [5] Cummings D, Hammond T. Sketch-based interface for interaction with unmanned air vehicles [C] //Proceedings of the 2012 ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Austin, TX: ACM, 2012: 1511-1516. [DOI: 10.1145/2212776.2223664]
- [6] Liu W Y. On-line Graphics Recognition: State-of-the-art [M] // Lladós J, Kwon Y B. Recent Advances and Perspectives on Graphics Recognition. Berlin, Heidelberg: Springer, 2004:291-304. [DOI: 10.1007/978-3-540-25977-0_27]
- [7] He T T, Huo Q. A character-structure-guided approach to estimating possible orientations of a rotated isolated online handwritten chinese character [C] //Proceedings of the 10th International Conference on Document Analysis and Recognition. Catalonia, Spain; IEEE, 2009:536-540. [DOI: 10.1109/icdar.2009.84]
- [8] Du J, Huo Q, Chen K. Designing compact classifiers for rotation-free recognition of large vocabulary online handwritten chinese characters [C] //Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Kyoto, Japan; IEEE, 2012: 1721-1724. [DOI: 10.1109/ICASSP.2012.6288230]
- [9] Huang S M, Jin L W, Lv J. A novel approach for rotation free on-line handwritten chinese character recognition [C] //Proceedings of the 10th International Conference on Document Analysis and Recognition. Catalonia, Spain; IEEE, 2009:1136-1140. [DOI: 10.1109/icdar.2009.114]
- [10] Leung K C, Leung C H. Recognition of handwritten chinese characters by critical region analysis [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(3): 949-961. [DOI: 10.1016/j.patcog.2009.09.001]
- [11] Xu B, Huang K Z, Liu C L. Similar handwritten chinese characters recognition by critical region selection based on average symmetric uncertainty [C] //Proceedings of the 12th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition. Washington DC, USA: IEEE, 2010: 527-532. [DOI: 10.1109/icfhr.2010.87]
- [12] Hse H, Newton A R. Sketched symbol recognition using zernike moments [C] //Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, UK: IEEE CS Press, 2004: 367-370. [DOI: 10.1109/ICPR.2004.1334128]
- [13] Hse H, Newton A R. Recognition and beautification of multi-stroke symbols in digital ink [J]. Computers & Graphics, 2005, 29(4): 533-546. [DOI: 10.1016/j.cag.2005.05.006]
- [14] Relja A, Tefvik M S. Sketch recognition by fusion of temporal and image-based features [J]. Pattern Recogn, 2011, 44(6): 1225-1234. [DOI: 10.1016/j.patcog.2010.11.006]
- [15] Naveen K, Adam C L, Brendan E, et al. Directional descriptors using zernike moment phases for object orientation estimation in underwater sonar images [C] //Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Prague, Czech Republic: IEEE, 2011:1025-1028. [DOI: 10.1109/ICASSP.2011.5946581]
- [16] Jérôme R, Guillaume L, Atilla B. Improving zernike moments comparison for optimal similarity and rotation angle retrieval [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(4): 627-636. [DOI: 10.1109/tpami.2008.115]
- [17] Yi M, Guo B L, Zhang X. Image registration based on complex Zernike moment phase angle estimation [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(5): 1117-1125. [易盟, 郭宝龙, 张旭. 基于复合 Zernike 矩相角估计的图像配准 [J]. 光学精密工程, 2012, 20(5): 1117-1125.] [DOI: 10.3788/ope.20122005.1117]
- [18] Zhang Y G, Wu L D, Song H C. Directional zernike moments for rotation-free recognition of online sketched symbols [J]. Electronics Letters, 2013, 49(16): 989-991. [DOI: 10.1049/el.2013.1680]
- [19] Bai Z L, Huo Q. A study on the use of 8-directional features for online handwritten chinese character recognition [C] //Proceedings of the 8th International Conference on Document Analysis and Recognition. Seoul, Korea: IEEE, 2005:262-266. [DOI: 10.1109/icdar.2005.34]
- [20] Liu C L, Yin F, Wang D H, et al. Online and offline handwritten chinese character recognition; benchmarking on new databases [J]. Pattern Recognition, 2013, 46(1): 155-162. [DOI: 10.1016/j.patcog.2012.06.021]
- [21] Gao X, Jin L W, Yin J X, et al. A new stroke-based directional feature extraction approach for handwritten chinese character recognition [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2003, 31(3): 11-14. [高学, 金连文, 尹俊勋, 等. 基于笔划的手写体汉字方向分解特征提取方法 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 11-14.]