

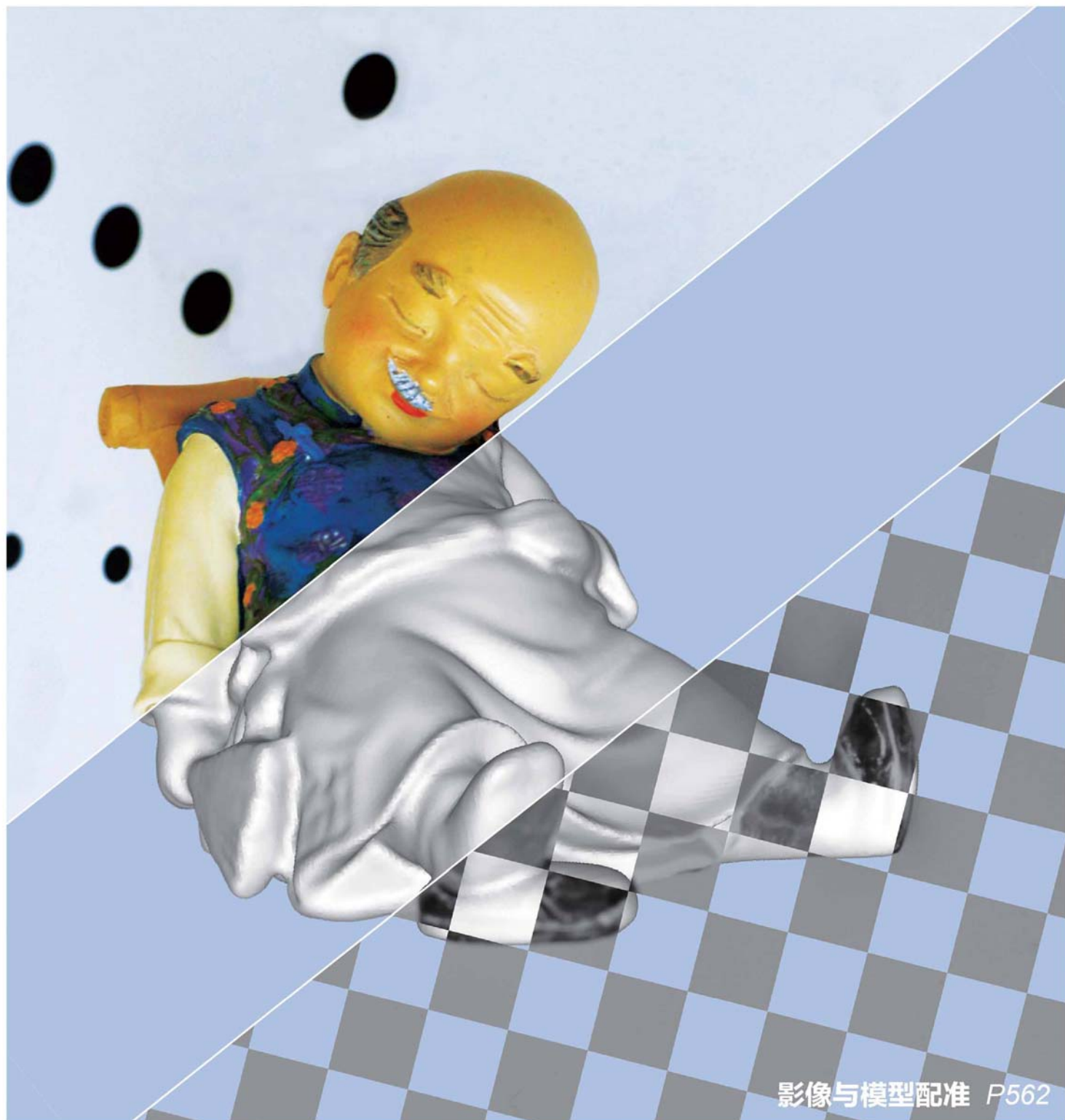


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
04
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



影像与模型配准 P562



第19卷第4期（总第216期）

2014年4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

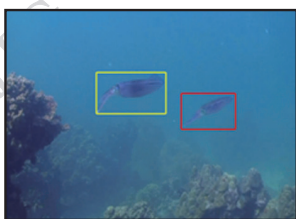
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

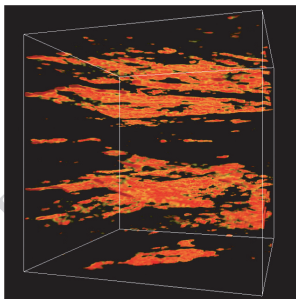
国内定价 50.00元



面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理(第512页)



融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪(第534页)



针对全空子数据体的GPU体绘制(第577页)

图像处理和编码

- 梯度矢量扩散控制实现边缘保持的彩色图像去噪
贾迪, 孟祥福, 张一飞, 董娜, 李思慧 0493
- 联合矩阵F范数的低秩图像去噪
刘新艳, 马杰, 张小美, 胡钊政 0502
- 面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理
周漾, 郑顺义, 黄荣永, 马电 0512
- 改进的局部方向模式纹理表示方法
刘海军, 常东超, 张凌宇 0520
- 图像插值空间大容量可逆数字水印算法
王继军 0527

图像分析和识别

- 融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪
王慧斌, 程勇, 陈哲 0534
- 融合颜色属性和空间信息的显著性物体检测
徐丹, 唐振民, 徐威 0541
- 采用人工鱼群的改进广义Hough变换目标定位
李志, 谢强 0549
- 非规则弯曲形变的不变量表示
李国祥, 夏国恩 0556

图像理解和计算机视觉

- 小物体3维重建中影像与几何模型的配准
郑顺义, 王晓南 0562
- 像素聚类改进二进制描述子鲁棒性
惠国保, 李东波 0569

计算机图形学

- 针对全空子数据体的GPU体绘制
李国和, 段忠祥, 吴卫江, 洪云峰, 刘智渊, 程远 0577

医学图像处理

- 基于无损水印的医学图像篡改检测和质量恢复
邓小鸿, 陈志刚, 毛伊敏 0583

遥感图像处理

- 特征点和不变矩结合的遥感图像飞机目标识别
曾接贤, 付俊, 符祥 0592
- 结合稀疏识别的自适应Wallis滤波在高分辨率影像控制点匹配中的应用
耿蕾蕾, 孙权森, 纪则轩, 刘佑鑫, 袁凯 0603

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

- 局部特征点的3维模型变换域水印算法
张建明, 周小梅, 王新宇, 詹永照 0613
- 足球视频搜索引擎中的用户偏好挖掘
胡雨成, 于俊清, 黄贤强, 何云峰, 管涛 0622
- 随机亮度差量化的二进制特征描述
庄东晔, 张冬明, 张勇东, 李锦涛 0630
- L_1 优化在网格去噪中的应用
王鹏, 王胜法, 曹俊杰, 李楠楠, 李波, 苏志勋 0637
- 多视点视频双向实时转码技术的设计与实现
孙立峰, 蔡飞飞, 杨士强 0645

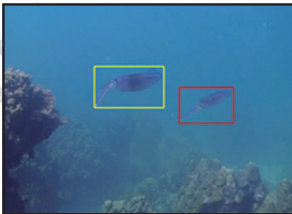
- 第五届数字地球高峰会议征文通知 封三

CONTENTS

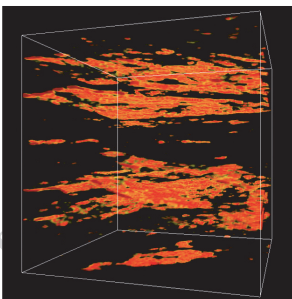
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing(P512)



Visual depth based feature calculation and underwater target tracking(P534)



GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks(P577)

Image Processing and Coding

Edge preserving denoising of color image through controlling the gradient vector Jia Di, Meng Xiangfu, Zhang Yifei, Dong Na, Li Sihui	0493
Image denoising of low-rank matrix recovery via joint Frobenius norm Liu Xinyan, Ma Jie, Zhang Xiaomei, Hu Zhaozheng	0502
Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing Zhou Yang, Zheng Shunyi, Huang Rongyong, Ma Dian	0512
Improved local directional pattern texture descriptor Liu Haijun, Chang Dongchao, Zhang Lingyu	0520
High capacity reversible watermarking for image interpolation space Wang Jijun	0527

Image Analysis and Recognition

Visual depth based feature calculation and underwater target tracking Wang Huibin, Cheng Yong, Chen Zhe	0534
Combining color names with spatial information for salient object detection Xu Dan, Tang Zhenmin, Xu Wei	0541
Improved generalized Hough transform using artificial fish swarm algorithm in target location Li Zhi, Xie Qiang	0549
The global descriptor for bending non-rigid shapes Li Guoxiang, Xia Guoen	0556

Image Understanding and Computer Vision

Images and geometric model registration in 3D reconstruction of small objects Zheng Shunyi, Wang Xiaohan	0562
Robust descriptor structured by pixel clustering Hui Guobao, Li Dongbo	0569

Computer Graphics

GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks Li Guohe, Duan Zhongxiang, Wu Weijiang, Hong Yunfeng, Liu Zhiyuan, Chen Yuan	0577
--	------

Medical Image Processing

Lossless watermarking algorithm for medical image's tamper detection and recovery with high quality Deng Xiaohong, Chen Zhigang, Mao Yimin	0583
---	------

Remote Sensing Image Processing

Aircraft target recognition in remote sensing images based on distribution of the feature points and invariant moments Zeng Jiexian, Fu Jun, Fu Xiang	0592
Adaptive enhancement via sparse recognition for automatic control point extraction in high-resolution images Geng Leilei, Sun Quansen, Ji Zexuan, Liu Jixin, Yuan Kai	0603

Special Issue on HHME 2013

Transform domain watermarking scheme of 3D models based on local feature points Zhang Jianming, Zhou Xiaomei, Wang Xinyu, Zhan Yongzhao	0613
User preference mining for soccer video search engine Hu Yucheng, Yu Junqing, Huang Xianqiang, He Yunfeng, Guan Tao	0622
Novel binary feature from intensity difference quantization Zhuang Dongye, Zhang Dongming, Zhang Yongdong, Li Jintao	0630
The application of l_1 -optimization in mesh denoising Wang Peng, Wang Shengfa, Cao Junjie, Li Nannan, Li Bo, Su Zhixun	0637
The design and implementation of real time MVC transcoding Sun Lifeng, Cai Feifei, Yang Shiqiang	0645

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)04-0556-06

论文引用格式: 李国祥, 夏国恩. 非规则弯曲形变的不变量表示[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 556-561. [DOI:10.11834/jig.20140409]

非规则弯曲形变的不变量表示

李国祥¹, 夏国恩²

1. 广西财经学院国际教育学院, 南宁 530003; 2. 广西财经学院教务处, 南宁 530003

摘要: 目的 全局描述不变量具有低维数和相似性测量简单的特点, 针对非规则弯曲形变图形, 提出一种基于中轴骨架测地距离改进的全局描述不变量。方法 首先利用测地距离对于弯曲形变的不敏感性, 修正图像质心位置; 其次提取弯曲形变图像的中轴骨架代替图像全局域作为运算点集, 并分配权重, 降低计算复杂度, 进而以此为基础提出一种单维度全局不变量。结果 实验结果表明该不变量具有良好的 TRS (translation, rotation, scaling) 不变性和弯曲形变不敏感性, 相对其他传统特征表示方法, 能够有效表示和鉴别非规则弯曲图形。结论 本文提出的单维度全局描述不变量, 结构简单, 计算方便。对于同类图像的弯曲变形, 能够有效地进行区分, 为该类图形的识别提供一种新的方法和思路。

关键词: 测地距离; 弯曲图形; 骨架; 不变量

The global descriptor for bending non-rigid shapes

Li Guoxiang¹, Xia Guo'en²

1. School of International Education, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China;

2. Department of Academic Affairs, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China

Abstract: **Objective** Global descriptors have the future of low dimension and simple similarity measurement. An improved global invariant is proposed based on the medial axis skeletons and geodesic distance for bending deformation. **Method** First, we use the geodesic distance to correct the image centroid, and then we extract the skeleton instead of the global image domain as operational point set to reduce the computational complexity. Finally, we propose single dimension invariants. **Result** The experimental results show that compared with other traditional feature representation the invariant is bending insensitive and meets the test of TRS (translation, rotation, scaling) invariance. It can effectively represent and identify bending non-rigid shapes. **Conclusion** In this paper, we propose a novel global invariant of single dimension. Its simple structure makes it possible to use simple calculations to achieve real-time performance. This descriptor provides a new method to robustly identify objects with bending deformation.

Key words: geodesic distance; articulated shapes; skeleton; invariant

0 引言

形状匹配是机器视觉重要的组成部分, 越来越多的形状描述子得以提出来进行图形的识别与匹

配, 按照其特征提取范围主要包括全局不变量和局部不变量。全局不变量具有表达形式简单的特点, 用若干个不变量代表整个图形的特征, 而局部描述子则针对图形局部的特点分别构建特征向量来对整个图形进行标注。Hu 提出的 7 个不变矩, 作为典

收稿日期: 2013-05-23; 修回日期: 2013-10-17

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目 (210160); 广西高校科学技术研究项目 (SK13YB088, 2013YB212)

第一作者简介: 李国祥 (1984—), 男, 讲师, 2010 年于广西师范大学获计算机应用技术硕士学位, 主要研究方向为模式识别、人工智能。

E-mail: masterlgx@163.com

型的全局不变量,具有尺度、平移和缩放不变性^[1]。而近年来机器学习的研究,则主要集中在局部描述算子上,诸如:SIFT (scale-invariant feature transform)^[2], shape context^[3], shape mask^[4]等,这些局部描述子能够有效地提供图像的细节信息,来进行形状的匹配,并取得较好的配准效果。然后高维细节的特征向量,又对配准的时间复杂度和配准率提出了新的挑战,为此,一系列的相似性测量方法也相继提出: Earth Mover's Distance^[5], Wasserstein Distance^[6], Spectral Distance^[7]等。上述的局部描述子和测量方法主要集中在对常规图形的识别上,但对于一些特殊形变的弯曲图形,识别效果却不尽人意。因此,非规则图形的配准识别成为近些年的研究重点。Ling 对于 shape context 方法进行了改进,利用内距离代替欧氏距离计算样本点的上下文^[8]。Bronstein 深入研究了当前2维非规则图形的识别方法^[9]。Elad 使用测地距离构建了3维非规则图形的不变量^[10], Ling 将2维图形映射到3维空间计算测地距离对变形图像进行匹配^[11]。上述研究在非规则图形匹配方面有了较大的提高,但是目前的匹配方法仍是以局部描述算子的改进为主,虽然提取的特征精细,但是后期特征的相似度测量方法的选择也成为衡量整个算法优劣的重要组成部分,且复杂度较高^[3,12-13]。

基于以上问题,提出了针对弯曲这一类特殊形变的单维全局描述子。首先论证了测地距离对于弯曲形变的不敏感性。其次利用中轴骨架作为运算点集,对其均匀采样,分配权重,从而代替传统不变量中图像全局域的计算方式,降低计算复杂度。最后利用快速进行算法计算不同权值骨架点的测地距离,构建弯曲图形的不变量,实现该类图形的有效检索和识别。

1 测地距离

测地距离在科学工程领域,诸如机器视觉、地形漫游、运动规划、3维模型参数化等方面有着广泛的应用,其实质为约束于既定域内的两点之间的最短路径。对于平面域 $\Omega \subset \mathbf{R}^2$, $x_1, x_2 \in \Omega$ 平面上两点,则该两点间的测地距离 $d_g(x_1, x_2)$ 定义为曲线 $\gamma: [a, b] \rightarrow \Omega$ 约束于图形范围内的两点之间的最短路径长度 $L(\gamma) = \int_a^b \|\gamma'(t)\| dt$, 其中, $\gamma(a) = x_1$, $\gamma(b) = x_2$ 。当图形为非凸面图形的时候,测地距离

等同于欧氏距离,即

$$d_g(x, y) = \min_{\gamma(a)=x, \gamma(b)=y} L(\gamma) \quad (1)$$

2 测地距离对于弯曲形变的不敏感性

根据第1节定义可以看出,测地距离是约束于既定域内的最短路径,因此弯曲形变并不会改变图形内两点间的距离,除非图形出现了剪切或缺失,否则测地距离对于弯曲形变是不敏感的。这也是构建非规则弯曲图形不变量的关键前提。

对于图像 $O \subset \mathbf{R}^2$, 其弯曲形变后图像 $O' \subset \mathbf{R}^2$, 可以分别被相应链接关节 J_{ij} 及形变后关节 J'_{ij} 分为 n 个闭区间 O_i 和 O'_i (统一使用“'”符号来进行图像形变后的物理量表示)。

$$O = \left\{ \bigcup_{i=1}^n O_i \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i \neq j} J_{ij} \right\} \quad (2)$$

式中, $O_i \cap O_j = \emptyset$, $\forall i \neq j, 1 \leq i, j \leq n$, 在链接部分存在的情况下 $J_{ij} \cap O_i \neq \emptyset, J_{ij} \cap O_j \neq \emptyset$ 。

令 $d_g(x, y; O_i)$ 表示在域 O_i 范围内两点间的测地距离,则

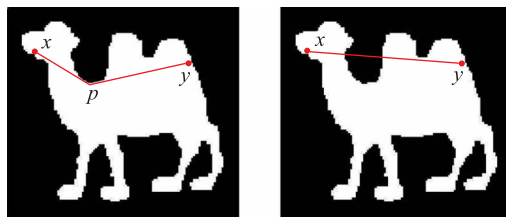
$$d_g(x, y; O_i) = d_g(x', y'; O'_i) \quad (3)$$

全局域内 O 两点间测地距离为

$$d_g(x, y; O) = d_g(x, p_1; O_1) + d_g(p_1, p_2; J_{12}) + d_g(p_2, p_3; O_2) + \cdots + d_g(p_l, y; O_l), \text{ 即}$$

$$d_g(x, y; O) = \sum_{1 \leq i \leq l} d_g(p_{i-1}, p_i; O_i | J_{(i-1)i}) \quad (4)$$

式中, p_l 为测地距离计算的标志点,见图1。



(a) 测地距离 (b) 欧氏距离

图1 测地距离与欧氏距离对比

Fig. 1 The comparison of geodesic distance and euclidean distance

同理,弯曲形变后在 O 域内测地距离为 $d_g(x', y'; O'_i)$ 。

对于任何连接 O_i 和 O_j 的关节部分 J_{ij} , 其范围内的最大直径定义为

$$\text{diam}(J_{ij}) = \max_{x, y \in J_{ij}} \{d_g(x, y; J_{ij})\} \quad (5)$$

由于 $|\text{diam}(J_{ij}) - \text{diam}(J'_{ij})| \ll d_g(x, y; O_i)$, 结合

式(3), 则 $|d_g(x, y; \mathbf{O}) - d_g(x', y'; \mathbf{O}')| \leq \varepsilon$, 其中 $\varepsilon \geq 0$, 是一个相对于测地距离而言的小数值。

在极端的状态下, 连接弯曲图像的关节部分只有一个点, 即 $\varepsilon = 0$, 如图 2(a) 所示, 当图形发生弯曲形变之后, 点 A 到点 B 的测地距离并没有因为物体的形变而产生变化。同样对于关节部分由点集构成时, 测地距离的改变只会受到关节点集直径的影响, 其点集的直径也会远远小于其他点到该关节的距离, 否则该关节部分则不可称之为关节。Bronstein 在对非规则图形的研究中也提到这种弯曲形变的影响^[9], 对于一般的弯曲形变, 关节部分相对于整个平面图像一般包含非常有限个像素, 所以对于同一物体的不同弯曲情况下, 测地距离具有明显的不变性。Ling 也对此作了详细的证明^[8]。

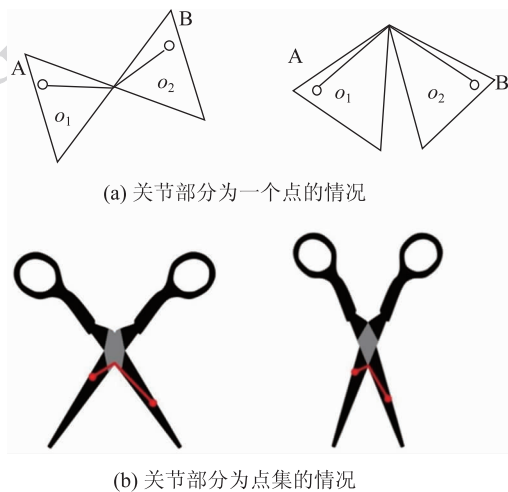


图 2 弯曲形变的关节部分对于测地距离的影响
Fig. 2 Geodesic distance under influence of joint part

3 测地距离的计算方法

对于平面域 $\Omega \subset \mathbb{R}^2$, 点 $x_i \in \Omega (i \geq 0)$, 令 $U(x)$ 为点 x 至初始点的测地距离函数, P 为平面域 Ω 内度量函数, 测地距离的计算即为 $U(x) = \min(L(\gamma) = \int_a^b \|\gamma'(t)\| dt)$ 的最小化过程, 利用 $\frac{\delta \xi_t}{\delta t}(x) = \frac{1}{P(x)} \mathbf{n}_x$ 对水平集曲线 $\xi_t = \{x | U(x) = t\}$ 进行演化, 其中 $\mathbf{n}_x$ 是点 x 在曲线外部单位向量, 使得 $U(x)$ 满足非线性 Eikonal 方程

$$\|\nabla U(x)\| = P(x) \quad (6)$$

这里使用快速行进法的有限差分^[14]来得到平面域图像网格内给定点 $x_{i,j}$ 的测地距离 u , 即

$$\begin{aligned} & \max(u - U(x_{i-1,j}), u - U(x_{i+1,j}), 0)^2 + \\ & \max(u - U(x_{i,j-1}), u - U(x_{i,j+1}), 0)^2 = \\ & h^2 P(x_{i,j})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

式中, h 为常量。利用式(7)解决传统水平集方法中计算成本高的问题, 该算法复杂度为 $O(N \log(N))$, 其中 N 为平面图像采样点个数。Robin 利用快速行进算法计算求得图形的测地距离, 快速构建样本点距离分布直方图^[15]。所得测地距离如图 3 所示。

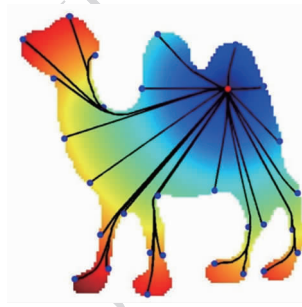


图 3 快速行进算法计算测地距离
Fig. 3 The fast marching algorithm for computing the geodesic distance

4 非规则弯曲图形的不变量表示

矩是一种非常重要的表示目标总体形状的特征量。2 维图形的几个关键特征均直接与矩有关, 如图像的大小、形心等。不变矩由于概念清晰, 识别率稳定, 对具有旋转和缩放变化的目标有良好的不变性及抗干扰性, 能有效地反映图像的本质特征。

设一幅 $m \times n$ 的 2 维离散图像灰度函数用 $f(x, y)$ 表示, 其 $p+q$ 阶矩定义为

$$m_{pq} = \iint_{\Omega} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (8)$$

两个一阶矩 (m_{10}, m_{01}) 表征了图像的灰度重心位置, 其中坐标 $x_c = m_{10}/m_{00}$, $y_c = m_{01}/m_{00}$ 表示图像的灰度重心坐标, 但是对于非均匀分布的弯曲形变图像, 基于图像质量的计算方法却不能很好地标注图形质心, 如图 4 所示。基于上述测地距离对于弯曲变形不敏感性的讨论, 使用测定距离来完成弯曲图形质心的修正^[16]

$$X_c = \arg \min_{x_j \in \Omega} \sum_{x_i \in \Omega} d_g(x_i, x_j) \quad (9)$$

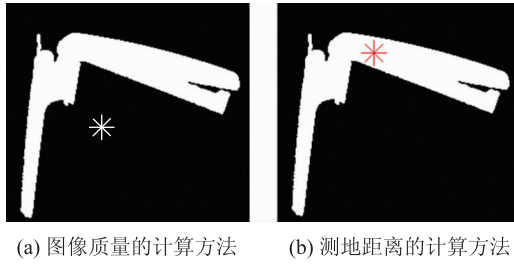


图4 弯曲图像的质心计算

Fig. 4 Centroid calculation of bending shapes

提取弯曲图像的中轴骨架结构特征^[17-18],如图5所示,主要包括一般骨架点、骨架链接点和骨架端点。由于骨架的链接点和端点部分反映了图像的主要结构特征,可以提高其相应计算权重。对剩余骨架点部分,以 Δ 为距离均匀采样提取像素点,作为后期不变量计算点集,从而避免传统不变量在图像全局域中计算的复杂性。

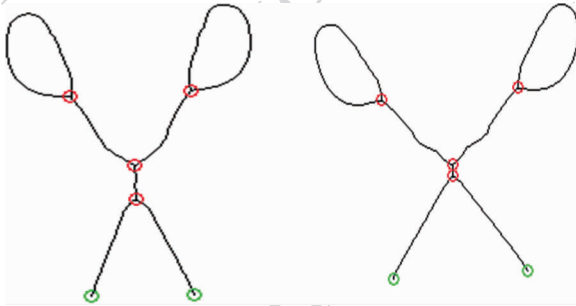


图5 弯曲图像的骨架点和节点

Fig. 5 Skeleton points and nodes of bending images

由此定义出非规则弯曲图形的全局不变量表示,即

$$\theta_k = \frac{\alpha \sum_{x_k \in \Omega_k} d_g(x_k, x_c) + \beta \sum_{x_a \in \Omega_k} d_g(x_a, x_c)}{m_{00}} \quad (10)$$

式中, x_k 为骨架点, x_a 为骨架节点, x_c 为修正后的图形质心。这里取权值 $\alpha=0.4, \beta=0.6, \Delta=5$ 。

5 实验结果

实验1 不变量的 TRS (translation, rotation, scaling) 检验。为了验证全局不变量最基本的旋转、平移、缩放不变形,随机选取 MPEG7 库中的两幅图像,并对其进行镜像、旋转和缩放平移变化,提取不变量如图6所示。

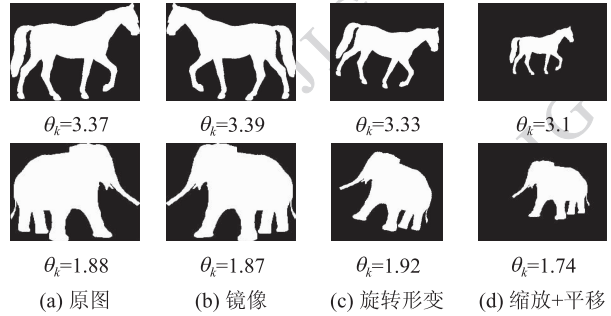


图6 全局不变量的 TRS 检验

Fig. 6 TRS test of global invariants

通过实验可以看出 θ 作为全局不变量具有旋转、缩放、平移不变性。

实验2 非规则弯曲形变的不敏感性检验。使用 Ling 和 Jacob 的弯曲图像数据库作为测试源,该库包含8类共40幅弯曲图像样本。计算同类弯曲图像全局不变量,如图7所示。

上述实验说明 θ_k 作为一个单维的全局描述子,能够在图像发生弯曲形变的情况下很好地表征图像特征,同一类图像的形变所带来的描述子的变化非常的微小。

实验3 弯曲形变图像的检索。作为全局不变量的表示, Rosin 提出一种不变量方法^[16],以图像样本点与质心距离的 P 次方的方法构建 p 个不变量,并选着最优的5个不变量作为图形特征进行弯曲形变图像的检索。然而不同的图形最优不变量是不同的,这种具有先验知识的特征选择并不具有普遍性,因此为了单纯地评价所提取特征的有效性,对 Rosin 直接提出的9个不变量($\alpha_{1,9}$)、HU 矩、NMI 这3个全局不变量,以及 shape context 局部特征提取算法进行了对比,统一使用 KNN 分类器和 leave-one-out 交叉验证进行识别检验。图8列出了对于随机选取的两幅图像,不同方法检索出最为匹配的前4幅图像。

使用 Bullseye test^[8]进行非规则弯曲图形的识别率测量,即对于每一幅图像与其他图像进行交叉验证,选取10幅图像作为候选图像,其中正确识别图像至多5幅,最终的识别率以候选图像中正确的匹配与所有可能的匹配之比来衡量,所有可能的匹配数为 10×40 。结果如表1所示。

根据上述实验可以看出,测试图形的高度相似和弯曲形变的特殊,使得其他的识别方法的得分并不高, θ_k 作为一个单维不变量描述子,避免了类似

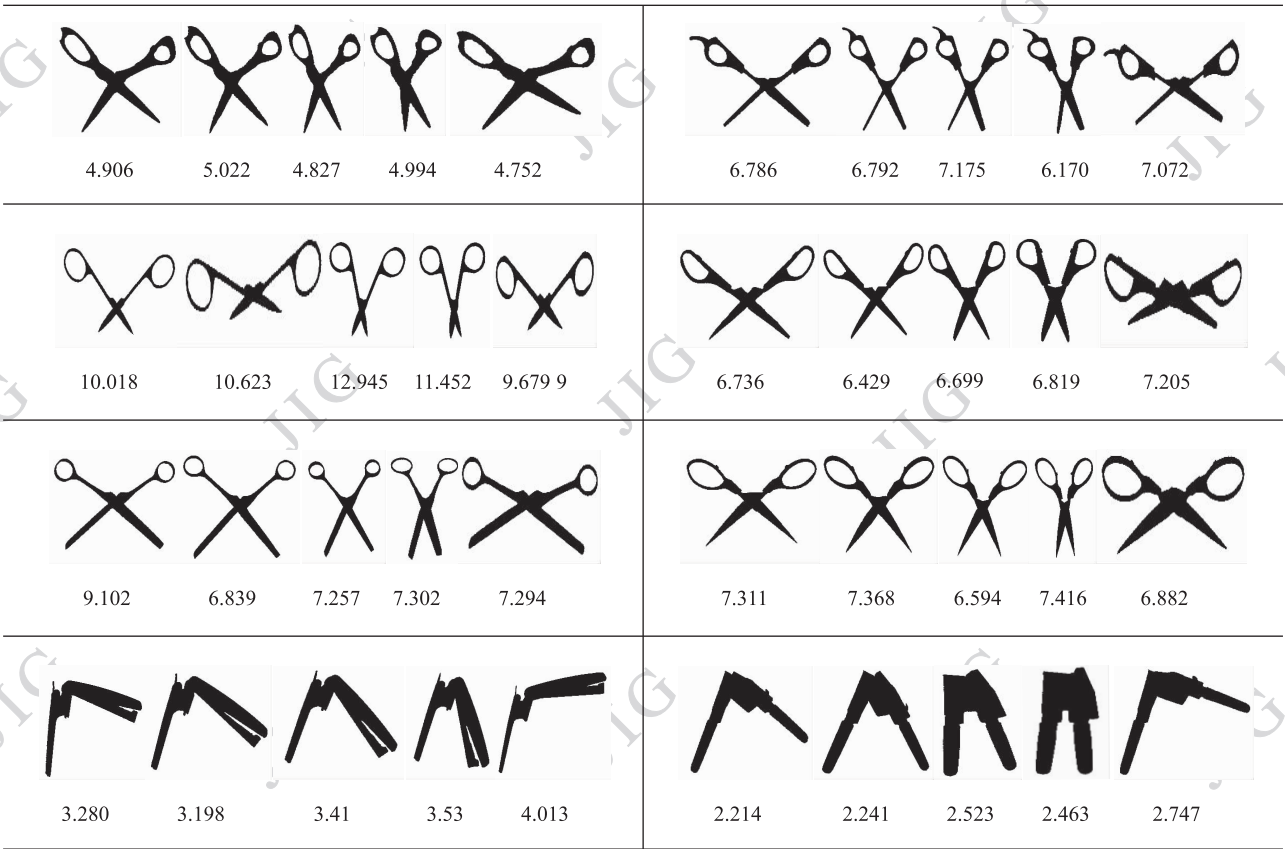


图7 弯曲形变图像的不变量表示(θ_k)
Fig. 7 Global descriptors for bending non-rigid shapes

查找图	方法	1st	2nd	3rd	4th	查找图	方法	1st	2nd	3rd	4th
	HU矩 ^[1]						HU矩 ^[1]				
	NMI ^[19]						NMI ^[19]				
	α_{1-9} ^[16]						α_{1-9} ^[16]				
	shape context ^[3]						shape context ^[3]				
	θ_k						θ_k				

图8 图像检索实验
Fig. 8 Image retrieval experiments

表 1 Bullseye test
Table 1 Bullseye test

方法	得分/%
HU 矩 ^[1]	40.5
NMI ^[19]	60.5
$\alpha_{1-9}^{[16]}$	62.5
shape context ^[3]	50
θ_k	78.5

于 shape context 等局部描述子的后期匹配运算,其识别率也高于其他描述子,而误识别的图像主要集中在图库的第 2 类、第 4 类和第 5 类图形中,其外形的相似和 θ_k 细节特征的缺乏也是产生误识别的主要原因。鉴于该描述子的特点,可以将其作为图形弯曲变形的有效判断。在进一步的研究中,与局部描述算子结合,进一步提高非规则图形的识别效果。

6 结 论

针对于非规则图形的弯曲变形,提出一种基于中轴骨架测地距离改进的单维度全局描述不变量。其结构简单,具有 TRS 不变性,同时避免了局部描述子的相似度测量运算,充分利用了测地距离的特点,对于同类图像的弯曲变形,具有很好的不敏感性,为该类图形的识别提供一种新的方法和思路。

参考文献 (References)

- [1] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1962, 8: 179-182.
- [2] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [3] Belongie S, Malik J, Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(4): 509-522.
- [4] Marszalek M, Schmid C. Accurate object recognition with shape masks [J]. International Journal of Computer Vision, 2012, 97(2): 191-209.
- [5] Sandler R, Lindenbaum M. Nonnegative matrix factorization with earth mover's distance metric for image analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(8): 1590-1602.
- [6] Oudre L, Jakubowicz J, Bianchi P, et al. Classification of periodic activities using the wasserstein distance [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2012, 59(6): 1610-1619.
- [7] Bronstein M M, Bronstein A M. Shape recognition with spectral distances [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(5): 1065-1071.
- [8] Ling H B, Jacobs D W. Shape classification using the inner-distance [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(2): 286-299.
- [9] Bronstein A M, Bronstein M M, Bruckstein A M, et al. Analysis of two-dimensional non-rigid shapes [J]. International Journal of Computer Vision, 2008, 78(1): 67-88.
- [10] Elad A, Kimmel R. On bending invariant signatures for surfaces [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1285-1295.
- [11] Ling H B, Jacobs D W. Deformation invariant image matching [C]// Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision. Beijing, China: IEEE, 2005: 1466-1473.
- [12] Rubner Y, Tomasi C, Guibas L J. The earth mover's distance as a metric for image retrieval [J]. International Journal of Computer Vision, 2000, 40(2): 99-121.
- [13] Zheng D C, Han M. Shape context based on h-emd algorithm for shape matching [J]. Control and Decision, 2012, 27(11): 1639-1643. [郑丹晨, 韩敏. 基于 H-EMD 的形状上下文特征形状匹配方法 [J]. 控制与决策, 2012, 27(11): 1639-1643.]
- [14] Sethian J A. A fast marching level set method for monotonically advancing fronts [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1996, 93(4): 1591-1595.
- [15] Rabin J, Peyré G, Cohen L D. Geodesic shape retrieval via optimal mass transport [C]// Computer Vision-ECCV 2010. Berlin: Springer, 2010, 6315: 771-784.
- [16] Rosin P L. Shape description by bending invariant moments [C]// Computer Analysis of Images and Patterns. Berlin Heidelberg: Springer, 2011, 6854: 253-260.
- [17] Khanam S, Jang S W, Paik W. Geometrical retrieval of images using discrete shock graph-based shape features [J]. Information - an International Interdisciplinary Journal, 2011, 14(10): 3425-3438.
- [18] Sebastian T B, Klein P N, Kimia B B. Recognition of shapes by editing their shock graphs [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(5): 550-571.
- [19] Yang X G, Fu G Y, Miao D, et al. A new approach to target recognition based on image nmi feature [J]. Computer Engineering, 2002, 28(6): 149-151. [杨小冈, 付光远, 缪栋, 等. 基于图像 NMI 特征的目标识别新方法 [J]. 计算机工程, 2002, 28(6): 149-151.]