

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **5**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年5月 第17卷 第5期(总第193期)

目次

综述

- 中国图像工程:2011 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 范春年,张福炎(676)

图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 李倩,吉晓民,林文周(715)

遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 孟天佑,汪云甲(729)

地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5月16日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
 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
 北京9718信箱 邮编 100101
 电子信箱:jig@irsa.ac.cn
 电话:010-68407995 010-82614429
 网 址:www.cjig.cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第0346号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国国际书店)
 (北京399信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
 CAS China Society of Image and Graphics
 Institute of Applied Physics and Computational
 Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
 of Journal of Image and Graphics
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
 E-mail:jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
 and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 5 May 2012

Contents

Review

- Image engineering in China: 2011 Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0707-08

论文引用格式: 于昊, 赵乃良, 陈小雕. 类曲率在曲线相似性判定中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 707-714

类曲率在曲线相似性判定中的应用

于昊, 赵乃良, 陈小雕

杭州电子科技大学计算机学院, 杭州 310018

摘要: 提出一种基于类曲率的方法, 并以其作为判定曲线相似程度的依据。该方法对基于曲率的方法进行了改进, 在旋转、平移及等比例缩放变换下均有效。同时提出一种计算样条曲线匹配段落参数的方法, 并应用于图像拼接、图像修补、图像中的物体检索等。实验结果表明了该方法的有效性。

关键词: 类曲率; 相似性; 图像处理; 样条曲线

Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves

Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao

Department of Computer Science, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China

Abstract: The similarity of curves has wide applications in computer graphics. In this paper we provide a quasi-curvature based method for measuring curve similarity. In principle, the new method works under rotation, translation and proportional zooming. The parameter intervals of the similar sections between two different curves can be calculated at the same time. Experiments illustrate the effectiveness of the new method in applications such as image stitching and image object retrieval.

Key words: quasi-curvature; similarity; image processing; spline curve

0 引言

随着信息社会的高速发展, 计算机图形逐步被应用于考古、安保、医学等多个领域。而对于曲线的处理是计算机图形学的重要组成部分之一。曲线在自然界及日常生活中是一种常见的几何形状, 在将自然曲线抽象成为样条曲线之后, 就可以用图形学的方法对其进行操作^[1]。在曲线的操作中一个需要优先解决的问题就是对曲线进行对比和匹配。能准确快速地判定两条或多条曲线是否相似, 并进一步判断相似的程度及有区别的段落位置可以说是曲线应用的重要一步。

关于曲线的匹配和相似性, 国内外学者做了很

多研究。例如由朱延娟等人提出的结合曲率和挠率计算全曲率, 并藉由全曲率值来判定曲线轮廓的特征点, 进而进行曲线的匹配复原的方法^[2-3]; 由刘爽等人提出的利用曲线特征段曲率的 Hausdorff 距离匹配的方法^[4]; 由周石林等人提出的利用角点及各角点之间的曲线段曲率进行不规则曲线匹配的算法^[5]; 由 Kuragano 等人提出的利用曲率半径的方法对比两条曲线^[6]; Mosig 等人利用 Fréchet 距离对多边形曲线进行了近似匹配^[7]; 而张智广等则提出了微似点的概念, 并以此为基础讨论曲线相似性的问题^[8]。

对于空间曲线, 其不变特征之一就是曲率。曲率就是针对曲线上某个点的切线方向角对弧长的转动率, 通过微分来定义, 表明曲线偏离直线的程

收稿日期: 2011-07-04; 修回日期: 2011-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(60803076); 浙江省钱江人才计划资助项目(2007R10011); 浙江省自然科学基金项目(Y1090004)

第一作者简介: 于昊(1986—), 男, 杭州电子科技大学计算机应用技术专业硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形学。E-mail: richardnight2002@yahoo.com.cn

度^[9]。曲率不会受到平移和旋转变换的影响,在判断曲线等同的场合下有相当好的效果。然而,由于曲线的曲率会受到等比例缩放变换的影响,不能完全处理两条曲线相似的情形。

针对尺度不变曲线的匹配问题^[10-13],Wolfson 利用曲线特征串对曲线进行了匹配^[10],Awrang 等人利用曲率拐点等信息对曲线及折线等进行了匹配尝试^[11],Giannakou 等人利用曲率尺度空间正交化的方法进行了曲线匹配及归类^[12],相似的还有 Cui 等人的工作^[13]。这些讨论基本上都是针对尺度不变曲线的匹配,对于发生了缩放变换的曲线则难以进行处理。

针对这种情况,本文提出类曲率的概念。类曲率在平移,旋转和等比例缩放变换的情况下均可保持不变,可以用于判定曲线的相似程度,并由此计算相似部分的起止参数,在图像拼接、图像修补、图像中物体的识别等方面有着更广泛的应用。

1 利用类曲率方法判定曲线的相似性

曲率以其在平移和旋转变换下不会发生变化的特点,被广泛应用于曲线等同程度的衡量。但是,由于曲率会受到等比例缩放的影响,所以无法对比等比例缩放曲线的相似性情况。对于此种情况,本文提出类曲率的概念。

曲线 $C(t) = (X(t), Y(t))$ 上某点的曲率定义为

$$K_c(t) = \frac{X(t)'Y(t)'' - X(t)''Y(t)'}{(X(t)'^2 + Y(t)'^2)^{3/2}} \quad (1)$$

在等比例缩放下,曲线的曲率会发生变化。本文类曲率定义为

$$Q_c(t) = \frac{X(t)'Y(t)'' - X(t)''Y(t)'}{X(t)'^2 + Y(t)'^2} \quad (2)$$

类曲率与曲率公式中的分子相同,分母的次数由 $3/2$ 次变为 1 次。与传统的曲率相比较,类曲率在曲线进行了等比例缩放的情况下也可以保持不变,这个特点使得类曲率可以检测经过等比例缩放变换的曲线之间的相似程度。类曲率与曲线的参数化有关。曲线 $C(t)$ 在新的参数化 $t(s)$ 下的类曲率为

$$Q_c(s) = Q_c(t)t'(s) \quad (3)$$

当 s 为弧长参数时,不难验证,类曲率 $Q_c(s)$

等同于曲率 $K_c(s)$ 。两条曲线相似的一个充要条件是类曲率相同且曲率的比率为常数。这可以用来识别曲线在旋转、平移、等比例缩放下的相似关系。

这里举例说明使用类曲率进行取向相似性比较的过程,设待对比的曲线 $C_1(u)$ 和 $C_2(v)$,如图 1 所示。实验中 $C_1(u)$ 和 $C_2(v)$ 为 B 样条曲线,其控制顶点和节点向量(实验中数据取到小数点后 15 位,这里只给出小数点后 3 位,可能会产生些许误差,但不会明显影响实验效果,后文同)分别如下:

$C_1(u)$:控制顶点(8 个)

$[(831.46, 788.262), (698.825, 989.081), (901.798, 1665.925), (1997.539, 1577.228), (1560.496, 705.779), (2595.788, 588.974), (2702.818, 1246.037), (2564.876, 1400.548)]$

节点向量为

$[0, 0, 0, 0, 0.219, 0.442, 0.604, 0.812, 1, 1, 1, 1]$

$C_2(v)$:控制顶点(8 个)

$[(2410.662, 871.832), (2282.138, 786.946), (1848.958, 916.849), (1905.724, 1618.123), (2463.451, 1338.416), (2538.206, 2001.002), (2117.686, 2069.502), (2018.799, 1981.219)]$

节点向量为

$[0, 0, 0, 0, 0.219, 0.442, 0.604, 0.812, 1, 1, 1, 1]$

首先分别将两条曲线的参数规范到相同的区间之中,比如 $[0, 1]$ 。然后再利用式(2)分别对 $C_1(u)$ 和 $C_2(v)$ 计算其类曲率 $Q_{c_1}(u)$ 和 $Q_{c_2}(v)$,最后对两条曲线的类曲率进行对比即可清楚地看

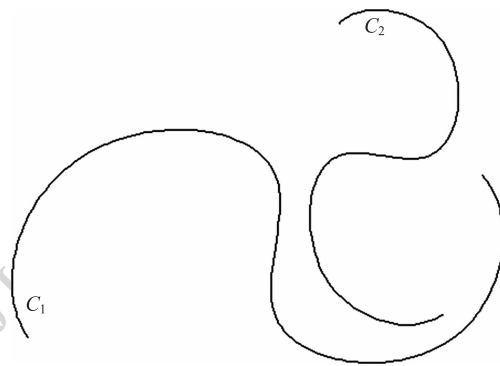


图1 原曲线图像

Fig.1 The origin curves

出两条曲线的相似程度及偏差较大的部分,如图2所示。

由图2中可以看到,曲线 $C_1(u)$ 和 $C_2(v)$ 的曲率数量级在 10^{-3} 左右,而其差的绝对值最大值约为 0.003,约为曲率自身绝对值最大值的 37.5%,而对于类曲率,其最大值约为 15,而两相似曲线的类曲率误差仅为 10^{-6} 数量级,远远小于类曲率自身的值,可以忽略不计。这表明类曲率在判定曲线的相似性方面有较大的优势。

2 利用类曲率方法计算曲线相似段的起止参数

利用第1节中提到的方法,可以采用类曲率比较两条曲线的相似程度。但是由于该方法要求两条曲线具有相同的参数区间,故先要确定相似部分的参数区间对应关系,然后将对应参数区间都标准化到 $[0,1]$,再进行类曲率的比较。

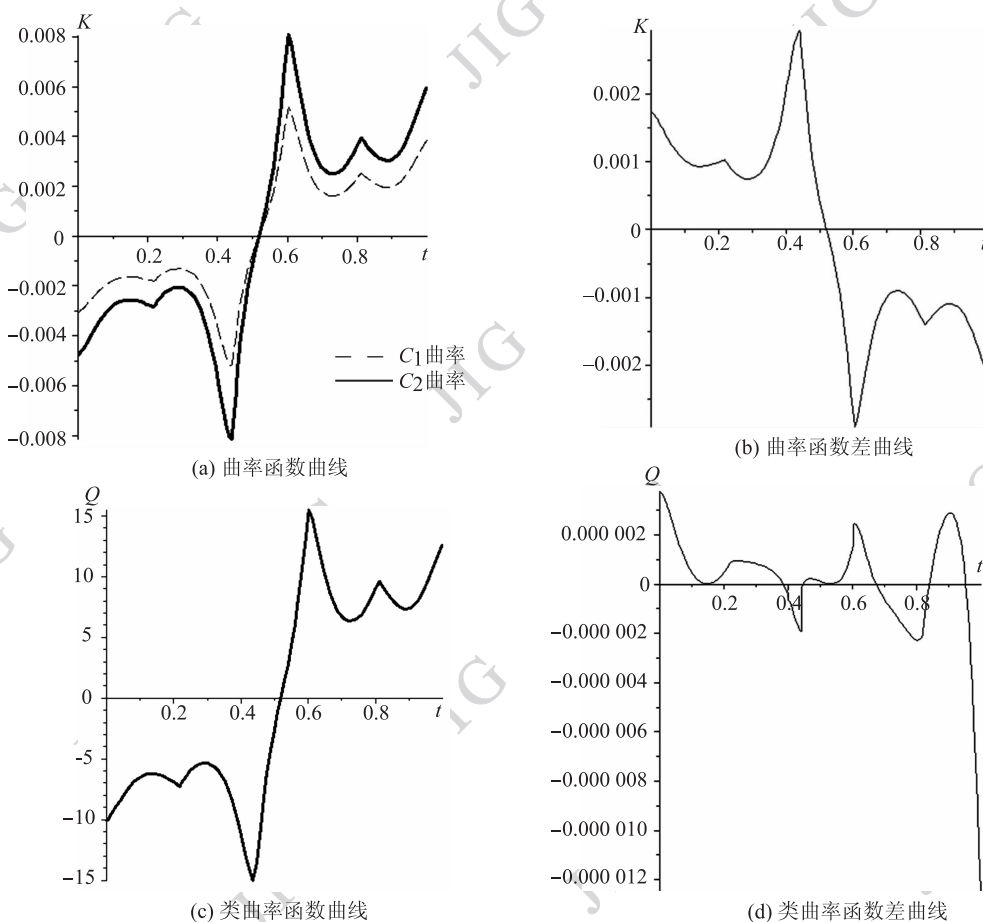


图2 曲率与类曲率的比较

Fig. 2 The compare between curvature and quasi-curvature

设两条曲线的参数区间分别为 $[a_1, a_2]$ 和 $[b_1, b_2]$ 。它们之间相似部分的对应关系可以分为如下两种:一种是包含关系,即其中一条曲线的全部与另一条曲线的部分相似,参数对应关系为 $[a_1, a_2] \rightarrow [A, B] \in [b_1, b_2]$;另一种是相交关系,即每条曲线各有 1 个端点落在另一条曲线上,对应参数关系为 $[a_i, A] \rightarrow [B, b_j]$,其中 i, j 为 1 或 2,这里的 A, B 为未知的参数。将对应参数区间都转化到

$[0,1]$,因为类曲率相同,对两种对应关系,分别得到方程组

$$\begin{cases} (a_2 - a_1)Q_{C_1}(a_1) = (B - A)Q_{C_2}(A) \\ (a_2 - a_1)Q_{C_1}(a_2) = (B - A)Q_{C_2}(B) \end{cases} \quad (4)$$

或

$$\begin{cases} (A - a_i)Q_{C_1}(a_1) = (b_j - B)Q_{C_2}(B) \\ (A - a_i)Q_{C_1}(A) = (b_j - B)Q_{C_2}(b_j) \end{cases} \quad (5)$$

式中 A 和 B 为两个未知数,代表的是两条曲线相似部分对应的首尾位置的参数值,针对所有的 i, j 组合,对方程组(4)或方程组(5)进行求解,可以解得未知数 A 和 B 的值。这里可能有多个解,分别代回到类曲率的公式以及曲率的公式验证,并选择满足条件的解。

举例进行说明,设有曲线 C_1 与曲线 C_2 如图3(a)所示。

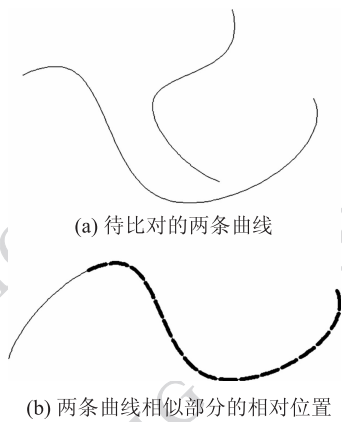


图3 曲线匹配实例1

Fig.3 Curves matching case one

图3(a)中 C_1 和 C_2 为 B 样条曲线,其控制顶点和节点向量分别如下:

C_1 :控制顶点(6个)

$[(2174.846, 983.257), (1970.54, 1047.621), (1482.636, 1607.309), (2271.762, 1645.603), (2271.082, 1947.673), (2254.512, 2020.564)]$

节点向量

$[0, 0, 0, 0, 0.464, 0.874, 1, 1, 1, 1]$

C_2 :控制顶点(6个)

$[(997.761, 1597.955), (1105.173, 1649.390), (1495.792, 1712.695), (1561.675, 355.027), (2900.664, 1119.285), (2753.064, 1454.617)]$

节点向量

$[0, 0, 0, 0, 0.142, 0.537, 1, 1, 1, 1]$

值得说明的情况是,由于本文计算方法利用的是曲线的端点类曲率信息,因此只是一种用于查找可能相似段落的计算方法,并不能由计算结果完全判定对应曲线段落相似。要进一步判定相似,还需要通过计算得到的相对应段落的完整类曲率来进行进一步判定。

另外,对于循环函数曲线或一些可能出现等长

参数段两端类曲线相等的曲线段,该方法可能会出现多解或错误解的情况,这里需要利用前文中提出的方法判定解的正确性,并根据实际需要选择曲线的匹配位置。

对于曲线包含的情况,类似地可以得到实例如图4所示。

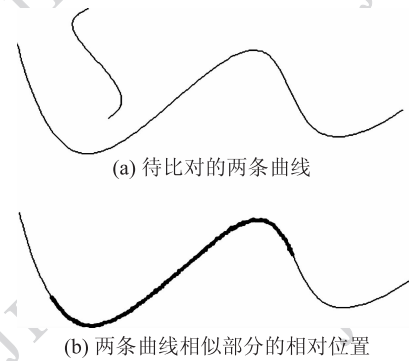


图4 曲线匹配实例2

Fig.4 Curves matching case two

利用算法中提出的方法进行计算,可解得 $A = 0.1518, B = 0.7265$,将计算得到的结果参数带回原曲线验证,误差较小,匹配结果如图4(b)所示。

类曲率受参数化的影响很大。理论上,甚至两条不相似的曲线,在特定的参数化选择下,对应的类曲率曲线也可能相同。假设 $\varphi(t) = Q_c^{(1)}(t)/Q_c^{(2)}(t)$, $s(t) = \int_0^t \varphi(x) dx$ 在区间 $[0, 1]$ 内单调递增且 $s(1) = 1$,其中 $Q_c^{(1)}(t)$ 和 $Q_c^{(2)}(t)$ 为两条曲线的类曲率。则可以验证第2条曲线在新参化 $s(t)$ 下的类曲率曲线和 $Q_c^{(1)}(t)$ 重合。这种情况在实际应用中很少见,本文暂不作进一步的考虑。

3 应用实例

与基于曲率的相似性判断方法相比,本文基于类曲率的方法不受等比例变换的影响。实例表明该方法具有更广泛的应用范围。

3.1 曲线修补

本文方法可以分析求得较短曲线在较长相似曲线中的相对位置,利用得到的相对位置信息,可以就对应点的坐标求出相对的仿射变换矩阵,从而模拟一条曲线对不完整的另外一条曲线进行修补。

例如有待修复结构如图 5(a)所示,图像的一部分被矩形方块遮挡,利用 CAD 的方法将该结构中曲

线轮廓提取得到 5(b)所示的情况,这里取两条曲线为例进行修补。

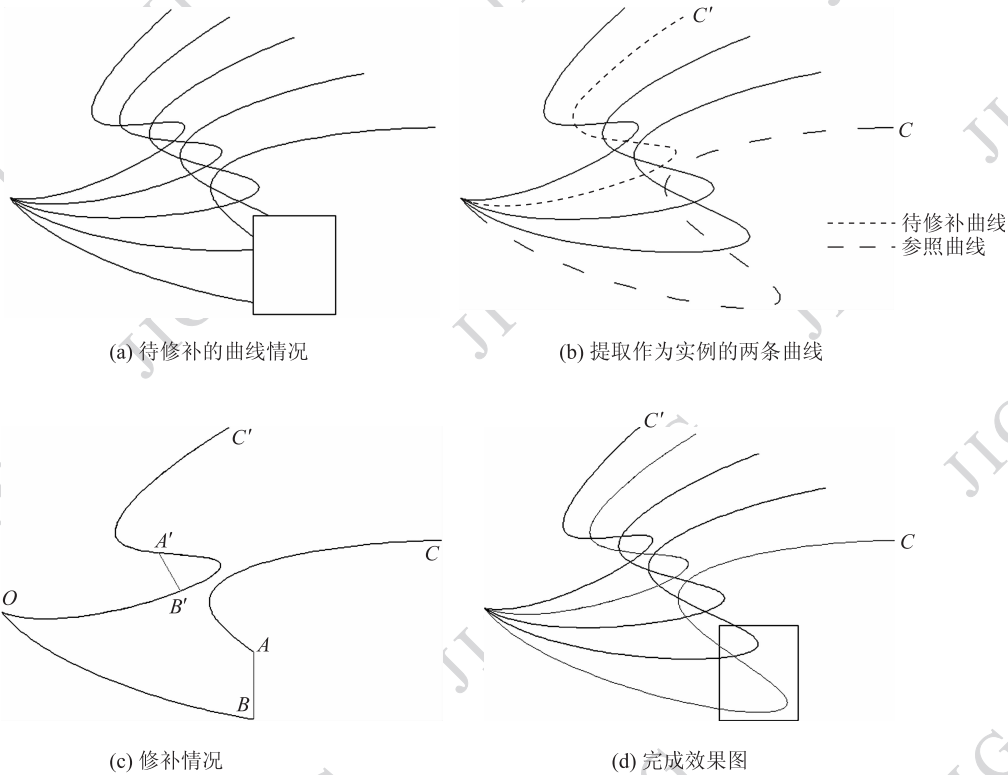


图 5 曲线修补实例
Fig.5 Curve recovering

首先提取出参考曲线 OC' 及待修补曲线片段 OB 及 AC ,对曲线对 OC' 和 OB 及 OC' 和 AC 分别利用式(4)中的方法,求取残片 OB 和 AC 在 OC' 中的相对位置参数。本例中,求得 OB 的相对参数为 $[0, 0.284\ 897]$, 而 AC 的相对参数为 $[0.580\ 269, 1]$ 。根据点 A 和 B 的相对位置参数,可以求出其在曲线 OC' 中对应的点 A' 和 B' 。再根据 AB 两点的距离与 $A'B'$ 两点的距离之比,求得 $A'B'$ 到 AB 的缩放比例,利用对应的点坐标,可以求出从曲线 $A'B'$ 到曲线 AB 的平移和旋转量,进而求得仿射变换矩阵。最后只需要截取曲线中的 $A'B'$ 段,并利用之前得到的仿射矩阵信息,就可以复原原本曲线的缺失部分,如图 5(d)所示,矩形框中的曲线即为根据参考曲线修补得到的结果。

3.2 图像分析

除了照片的拼接融合,类曲率的方法亦可以用于图像的分析识别,使用边缘提取的方法得到图像的边缘信息后,可以利用这些信息辅助类曲率的方

法识别图像中的物体。

举例说明,如图 6(a)所示是一幅静物画,现欲



(a) 静物图



(b) 欲寻找的勺子

图 6 静物图的匹配实例

Fig.6 The matching of spoon in the image

分析子图 6(b) 所示的勺子是否在原图中存在。

首先提取勺子上边缘的加粗边界,并在原图像中将类似物体的边缘曲线信息提取出来(原图中的加粗曲线),这里利用改进的 Canny 算子^[14]对图片进行边缘提取,并人工的对结果进行修正连续和光顺,进而利用相关的 CAD 软件进行参数化操作,最后使用类曲率式(2)对两条加粗边缘曲线求类曲率并进行对比,得到结果如图 7 所示。

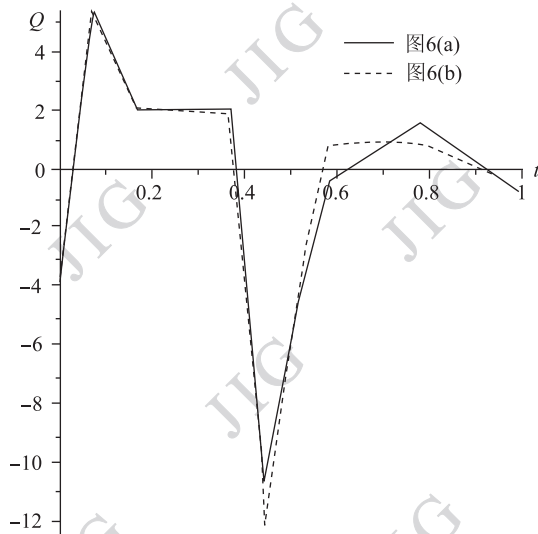


图 7 类曲率对比结果图

Fig. 7 The quasi-curvature of two curves

若设定的容忍阈值合适,则可以接受这个结果,认为两条加粗边缘曲线相似,进而可以推测子图 6(b) 中的勺子出自子图 6(a)。

3.3 碎片组合

类曲率的方法也可以求得曲线在端点处的类曲率,利用这种信息配合图像的边缘提取方法可以对一些有图形等辅助信息的碎片进行重新组合,如下例:

首先,对碎片上的图像进行边缘提取,以利用这些边缘的端点处的类曲率作为组合的依据,提取边缘后的碎片效果如图 8 所示。

利用类曲率式(2),对这些碎片边缘处的曲线求取其类曲率,而后可以根据类曲率的相近程度,匹配各点,重新组合图像,如图 9 所示。

值得指出的是,利用传统的曲率方法也可利用碎片的图形辅助信息对碎片进行拼合,但是实际中可能出现的由于视点距离造成的碎片缩放,对曲率

方法影响相当大,但由于类曲率在等比例缩放变换下的稳定性,利用类曲率的方法可以起到更加稳定的效果,且由于类曲率的计算量小于传统曲率,故求解速度也有一定的提高。

3.4 图像组合

类曲率的方法也可利用图像中的边缘轮廓信息对图像进行组合,例图 10 中的 3 张照片欲进行组合。

这是拍摄的 3 张照片,照片反映了同一场景,但镜头角度不够广,故需要组合照片。这里,提取照片中丘陵的边缘(红线)为例,提取方案与 3.2 节类似。利用红色曲线的类曲率信息结合第 2 节所给出的方法,可以求得子图 10(a) 中曲线在子图 10(b) 中曲线里的相对位置及子图 10(c) 中曲线与子图 10(b) 中曲线的相对关系,并利用对应位置的坐标数据做出相对应的仿射变换矩阵,进而利用仿射矩阵所提供的变换将照片进行组合,结果如图 11 所示。

4 结 论

曲率在平移和旋转变化下具有几何不变性,但是会受等比例缩放的影响,导致无法应用于相似但不全等曲线的判定。本文类曲率方法,同时保留了平移、旋转、等比例缩放下的几何不变性。同时提出了相似区间参数对应的计算方法,继而求得仿射变换矩阵进行曲线的修补,或利用抽取出的曲线信息应用于图像修补、图像组合,图像分析等。从计算效率上来看,类曲率的计算比曲率的计算显得更为简单,计算量略有降低。

在某些情况下,如图 12 所示,由于类曲率的方法对等比例缩放不敏感,图中沿直线截断的 3 条左半段曲线都与虚线曲线相匹配,这种多解的情况下,结合曲率信息即可选取最优的匹配结果。

曲率、类曲率的方法比较适用于处理连续的情况。而图像往往是由不连续的像素信息组成,而且可能还带有噪声干扰等。在有些时候,曲率或者类曲率的计算受噪声的影响很大。噪声干扰的消除,以及参数化选择可能引发的相似性的错误判断等情况的处理,都将成为下一步工作的研究内容。

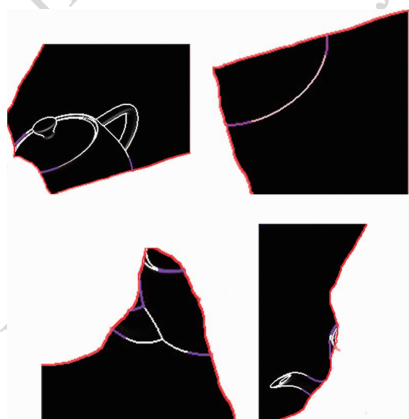


图8 4张碎片

Fig.8 The four pieces of the original images

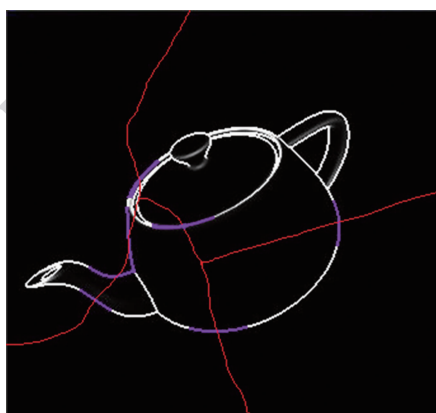


图9 拼合后的碎片

Fig.9 The recovered teapots

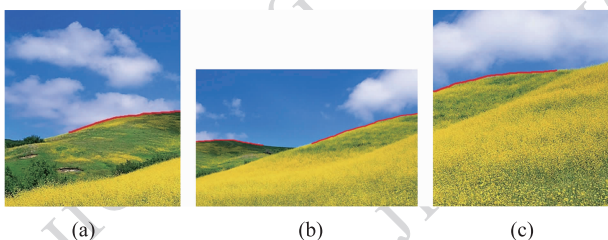


图10 拍摄的3张照片

Fig.10 Three origin pictures

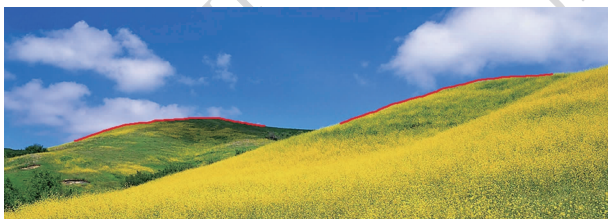


图11 完成效果图

Fig.11 The recovered picture

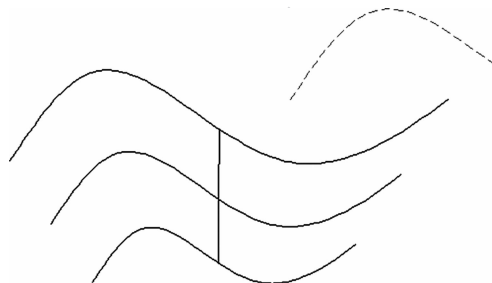


图12 等参数待匹配曲线

Fig.12 Origin curve and curves to be matched

参考文献 (References)

[1] Shi F Z. CAGD & NURBS [M]. Beijing: Press of BUAA, 1994. [施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1994.]

[2] Zhu Y J, Zhou L S, Wang J. Contour extraction and feature point detection for 3-D fragment reassembly [J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2005, 22(1): 25-29. [朱延娟, 周来水, 王坚. 三维碎片拼合的轮廓提取和特征点检测 [J]. 南京航空航天大学学报, 2005, 22(1): 25-29.]

[3] Zhu Y J, Zhou L S, Zhang L Y. Algorithm for three-dimensional fragments reassembly [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(1): 164-170. [朱延娟, 周来水, 张丽艳. 3 维碎片拼合的算法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(1): 164-170.]

[4] Liu S S, Zhu Y J, Zhang L Y. Research on the algorithm for matching 2D contours [J]. Electrical Technology and Automation, 2005, 34(2): 60-63. [刘爽, 朱延娟, 张丽艳. 二维碎片轮廓曲线的匹配算法 [J]. 机械制造与自动化, 2005, 34(2): 60-63.]

[5] Zhou S L, Liao W H, Yin J P. Study of method for planar fragmented objects matching [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(31): 151-153. [周石林, 廖文和, 尹建平. 平面碎片匹配算法的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(31): 151-153.]

[6] Tetsuzo K. Curve shape modification and similarity evaluation [C] // Proceedings of International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents Web Technologies and International Commerce, Sydney, Australia: IEEE Computer Society Press, 2006: 227-232.

[7] Axel M, Michael C. Approximately matching polygonal curves with respect to the Fréchet distance [J]. Computational Geometry, 2005, 30(2): 113-127.

[8] Zhang G Z, Zhao X M. Preliminary study on similarity of plane curves [J]. Transactions of Tianjin Normal University, 1998,

- 18(2):65-72. [张智广,赵学敏.平面曲线相似性初探[J].天津师大学报,1998,18(2):65-72.]
- [9] Song W D. Differential Geometry [M]. Beijing: Science Press, 2009. [宋卫东.微分几何[M].北京:科学出版社,2009.]
- [10] Haim J W. On curve matching [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence,1990,12(5):483-489.
- [11] Awrangjeb M, Lu G J, Murshed M. An affine resilient curvature scale-space corner detector [C]// Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Honolulu, USA: IEEE Computer Society Press, 2007:1233-1236.
- [12] Giannakou V, Tzouveli P, Avrithis Y, et al. Affine invariant curve matching using normalization and curvature scale-space [C]// Proceedings of 2008 International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing. London, UK: IEEE Computer Society Press, 2008:208-215.
- [13] Cui M, Femiani J, Hu J, et al. Curve matching for open 2D curves [J]. Pattern Recognition Letters,2009,30(1):1-10.
- [14] Xue L X, Li T, Wang Z C. Adaptive Canny edge detection algorithm [J]. Application Research of Computers, 2010, 27(9):3588-3590. [薛丽霞,李涛,王佐成.一种自适应的Canny边缘检测算法[J].计算机应用研究,2010,27(9):3588-3590.]