

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **2**
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 2 月 第 17 卷 第 2 期(总第 190 期)

目 次

综述

内容感知图像缩放技术综述 施美玲,徐丹(157)

图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 潘林,魏丽芳,郑炳锟,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的 3 维物体识别 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 王丽英,宋伟东(279)

计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊) 第 17 卷 第 2 期 2012 年 2 月 16 日出版

主管单位	中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
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	Sponsored by	Institute of Remote Sensing Application, CAS China Society of Image and Graphics Institute of Applied Physics and Computational Mathematics
主 编	李小文	Chief editor	LI Xiaowen
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	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
印刷装订	北京北林印刷厂	Distributed by	Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
广告经营许可证	京朝工商广字第 0346 号	Domestic	All Local Post Offices in China
总 发 行	北京报刊发行局	Foreign	China International Book Trading Corporation (P. O. Box 399 ,Beijing 100044 ,China)
订 购	全国各地邮局	Printed by	Beijing Beilin Printing House
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)		

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

Contents

Review

Survey on content-aware image resizing techniques Shi Meiling, Xu Dan (157)

Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data Wang Liying, Song Weidong (279)

Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图法分类号: P283.7 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0241-08

论文引用格式: 黄志坚, 张金芳, 徐帆江. 关键点检测的线要素综合算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 241-248

关键点检测的线要素综合算法

黄志坚^{1,2}, 张金芳², 徐帆江²

1. 国防科技大学电子科学与工程学院空间信息技术研究所, 长沙 410073;
2. 中国科学院软件研究所综合信息系统技术国家级重点实验室, 北京 100190

摘要: 提出一种基于关键点检测的线要素自动综合算法。利用角点检测器检测出所有角点, 并从中筛选出关键点作为必须保留的点, 以保证线要素的基本形态得到保持; 线要素在关键点处分段后, 各段分别采用 Li-Openshaw 算法进行综合。实验结果表明, 该算法较传统算法能够更好地保持线要素的形状特征, 且具有更高的位置精度。
关键词: 线要素综合; 角点检测; 自适应门限; 关键点检测; Li-Openshaw 算法

Algorithm of line generalization with key point detection

Huang Zhijian^{1,2}, Zhang Jinfang², Xu Fanjiang²

1. SPDF, School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. IIST Key Lab, Institute of Software, Chinese Academic Science, Beijing 100190, China

Abstract: A new automatic algorithm for line generalization based on key point detection is presented in this paper. An adaptive threshold corner detector is used to detect all corner points, from which key points are selected. To keep the shape characteristic of lines, all key points must be reserved. For the segmented lines at these key points, each sub-line is generalized with the Li-Openshaw algorithm. Compared with conventional algorithms, the results of our experiments show that the shape of lines is better preserved and the positions are more accurate.
Key words: line generalization; corner detection; adaptive threshold; key point detection; Li-Openshaw algorithm

0 引言

线要素综合是指在保持线要素弯曲特征、复杂程度的前提下, 尽量减少线要素的存储量, 以获取其在更大尺度上的表示^[1-2]。几十年来, 线要素作为地图中最重要、最丰富的部分^[3-4], 一直是地图制图学研究的重要方向, 吸引着众多学者的关注, 但由于其种类多样、形态复杂, 到目前为止其自动综合算法的研究仍然是一个具有挑战性的课题^[3,5-6]。1973

年提出的 Douglas-Peucker^[7] (DP) 算法, 被认为是迄今为止最成功的线要素综合算法^[8], 该算法计算简单, 且能够在一定程度上保持曲线的形态, 但是依然存在如下缺陷: 存在自相交^[9]; 非关键点被简单地移除, 其位置信息没有得到充分利用^[10]; 部分关键点丢失, 不利于整体形状的保持; 采用单一容限, 难以适用于不同类型不同复杂程度的线要素^[11]。因此, 研究无自相交、位置精度更高、形态特征保持更好、自适应容限设置或无需容限设置的算法是有关线要素综合研究的方向和目标^[12-13]。

收稿日期: 2011-02-21; 修回日期: 2011-05-26

基金项目: 中国科学院国防科技创新基金 (CXJJ-11-M07)

第一作者简介: 黄志坚 (1983—), 男, 国防科技大学信息与通信工程专业博士研究生, 主要研究方向为遥感图像处理、遥感制图。E-mail: zhijian07@iscas.ac.cn

张青年等人^[9]针对自相交问题提出改进措施,即通过逐步降低容限,直到消除自相交。这是一种权宜之计,不能从根本上解决自相交的问题。Gold 等人^[14]则提出了基于骨架提取的综合算法,骨架能够较好地保持目标的拓扑结构,降低自相交的风险,但仍需提取关键点。

Tong 等人^[10]在 DP 算法的基础上提出了基于最小方差直线拟合的改进算法,使得非关键点信息得到利用,从而降低了位置误差,但是该算法仍然没有解决容限设置的问题。

Nadia 等人^[12]提出一种自适应容限设置的解决方案,该方案对数据集进行预分析,即用所有可能的容限值去测试数据集中的每个线要素,分别得到“位置误差-容限”曲线,根据用户允许的误差上限解算出各线要素的容限值,最后利用该容限值进行综合。由于容限的取值范围较宽且线要素种类多样、复杂程度不一,故预分析过程十分困难,甚至超过线要素综合问题本身,不具备可行性。

Li 等人^[8]提出一种基于客观综合自然规律的自适应综合算法(Li-Openshaw),根据人类视觉的最小可视对象(SVO)尺寸进行综合,无需容限设置,可得到较合理真实的综合结果。但该算法没有保留线要素上的局部极大值点,即丢失了部分关键点,不利于曲线整体形状的保持,位置精度不高^[14]。

提出一种基于关键点检测的线要素逐段综合算法(PG)。该算法利用自适应门限角点检测算法检测出所有角点,从中筛选出关键点,并据此对线要素进行分段,各段依次采用 Li-Openshaw 算法进行综合。采用多组线要素进行实验,并与 Douglas-Peucker 和 Li-Openshaw 进行对比,采用面积差、弯曲度和关键点比率 3 项技术指标进行评估,结果表明本文算法尽可能多地保留了关键点,并使非关键信息得到充分利用,能够更好地保持线要素的形态特征,具有较高的位置精度。

1 线要素综合与关键点分析

关键点集中了曲线的信息^[15],是反映线要素形态最关键的元素,保留了关键点则保证了线要素的基本形态。以往的线要素综合算法如 DP 算法和 Li-Openshaw 算法都没有很好地保留并利用关键点,使得综合前后线要素的基本形状没有得到很好的保持,位置发生了一定的偏移,综合精

度不高。如果根据曲线各部分的形状特征,提取关键点,对曲线各部分进行逐段综合,必将取得更好的综合效果。

1.1 DP 算法与关键点分析

根据 DP 算法,由于点 C 到直线 BD 的距离小于容限 T,故 C 点将被删除,但是 C 点正好是曲线上的关键点,如图 1 所示。其中红线为原始线要素,蓝线为经 DP 算法简化后的线要素,红点为手动标绘的关键点。图中显示点 A、C 和 E 均为线要素的关键点,但都被删除了。这将使得简化后曲线的形状发生较大的改变,降低了位置精度。当线要素上某点存在较明显的弯曲,且该点前段与后段都较为均匀时,往往发生这种情况,这是因为 DP 算法没有从空间位置的角度对线要素上各点的重要程度加以区分,事实上各点在空间位置上的重要程度并不是一样的,少数点往往决定着线要素的基本形态,这些点即为关键点,应该单独加以考虑。此外,DP 算法的结果还与线要素上各节点的处理顺序有关。如果对图 1 中的初始线要素逆序进行简化,则 C 点将被保留,而 B 点将被删除。

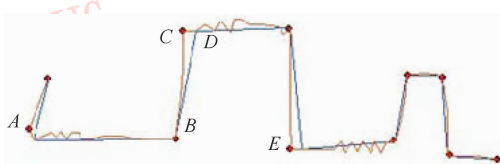


图 1 DP 算法示例图

Fig. 1 Example of DP algorithm

1.2 Li-Openshaw 算法与关键点分析

Li-Openshaw 算法^[5]是一种基于人的视觉原理的自然算法。首先根据比例尺和最小可视目标(SVO)的直径 D 计算目标比例尺上的地面实际距离

$$F_c = S_t D \left(1 - \frac{S_f}{S_t} \right) \quad (1)$$

式中, D 为最小可视目标直径,是一个经验值,实验证明 D 取 0.3 ~ 0.5 mm 时比较合适^[5],取 0.4 mm。S_t 与 S_f 分别为目标图和源图比例尺分母。

如图 2 所示,以原始线要素上点 1 为圆心, F_c 为半径做 SVO 圆,与原始线要素交于点 3,于是综合后用线段 1-4-3 代替曲线段 1-2-3。从头到尾依次追踪原始线要素即得到综合后的线要素。图中显示,局部极大值点 2 将被删除,从而造成了曲线整体形状失真,违背了线综合的原则^[3]。

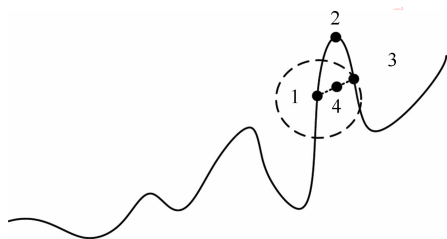


图2 Li-Openshaw 算法示例图

Fig. 2 Example of Li-Openshaw algorithm

1.3 逐段综合与关键点

不同的曲线具有不同的形态特点,同一曲线的不同部分仍具有不同的形态特点^[9]。线要素种类多样、复杂程度不一,如果把不同的线要素或线要素的不同部分同等对待,采用统一的处理方法和阈值,必然造成形状失真。若根据曲线的形态变化进行结构分析,以反映曲线各部分的形态特点,不同部分分别对待,必将能取得更好的简化效果^[9,16]。如果能够检测出图一中包括点A、C和E在内的关键点,图2中的点2,保留这些关键点,并在关键点处对线要素进行分段处理,一定能最大程度地减少形状失真,提高综合精度。直观来看,线要素上的关键点处曲率较大,往往是局部极大值点。

Mokhtarian 等人^[17]提出一种计算二值边缘图像上各点曲率的方法,文中定义曲率为

$$K(u, \sigma) = \frac{\dot{X}(u, \sigma) \ddot{Y}(u, \sigma) - \ddot{X}(u, \sigma) \dot{Y}(u, \sigma)}{[\dot{X}(u, \sigma)^2 + \dot{Y}(u, \sigma)^2]^{1.5}} \quad (2)$$

式中 $\dot{X}(u, \sigma) = x(u) * \dot{g}(u, \sigma)$, $\ddot{X}(u, \sigma) = x(u) * \ddot{g}(u, \sigma)$; $\dot{Y}(u, \sigma) = y(u) * \dot{g}(u, \sigma)$, $\ddot{Y}(u, \sigma) = y(u) * \ddot{g}(u, \sigma)$ 。 $g(u, \sigma)$ 是宽度为 σ 的高斯核函数, $\dot{g}(u, \sigma)$, $\ddot{g}(u, \sigma)$ 分别是其一阶二阶导数。借鉴该方法同样可以求得线要素上各节点的曲率。由于线要素上各节点间距离不一,不能直接利用式(2)求各节点曲率,因此在此之前线要素必须进行重采样,使得各节点间距一致。采样步长设置应综合考虑计算效率和位置精度,步长太长显然容易造成与原线要素之间的偏离,太短则会增加不必要的计算负担。

2 基于关键点检测的综合算法

本文算法由角点检测、关键点筛选、线要素分

段、逐段综合4部分构成。角点检测采用一种自适应门限的检测算法,通过滤除圆角点和虚角点,获得正确率较高的角点。关键点筛选是一个优化过程,实际上是在最小误差准则下从角点中筛选出关键点。线要素在关键点处分段,形成一组首尾相连(不一定闭合)的子线要素。各子线要素依次采用经典的 Li-Openshaw 算法进行综合。算法框图如图3所示。下文主要对自适应门限角点检测和关键点筛选算法进行介绍。

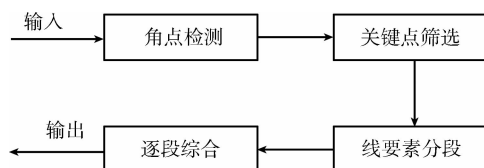


图3 PG 算法框图

Fig. 3 Scheme of PG algorithm

2.1 自适应门限角点检测

角点较线要素的其他节点含有更多的信息,因此可以检测出角点以作为候选关键点。文献[18-19]提出一种自适应门限角点检测算法,能够较好地检测出曲线上各角点,且无需任何门限设置。对其步骤简要介绍如下:

1) 据式(2)计算曲线上各节点曲率,并以所有曲率极大值点作为候选角点。

2) 移除圆角点 根据所得各点曲率,有一类点称之为圆角点,如图4中的A点。尽管在该点邻域中其曲率最大,但是与邻近各点的差别并不大,不考虑为角点应该移除。图4(a)各点的曲率如图4(b)所示,在A点两侧曲率下降缓慢,该段曲线的平均曲率值高。

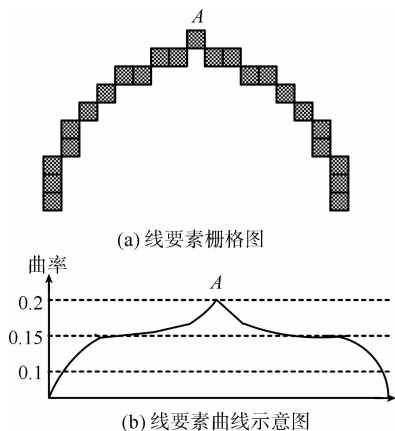


图4 圆角点示意图

Fig. 4 Round corner

圆角点在线要素上往往处于过渡阶段,如图 5 中的点 2 和点 4,其存在与否对线要素形状的影响并不大。

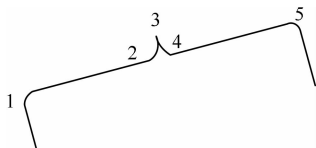


图 5 虚角点

Fig. 5 False corner

可以采用一种自适应门限的方法进行圆角点移除,门限定义为

$$T(u) = R \times \frac{1}{L_1 + L_2 + 1} \sum_{i=u-L_2}^{u+L_1} |K(i)| \quad (3)$$

式中, L_1 为当前候选角点(曲率极大值点)到下一个曲率极小值点的长度, L_2 为当前候选角点到前一个极小值点的长度。前一个极小值点到下一个极小值点之间所有点称为一个 ROS (region of support)。如果当前点曲率小于 $T(u)$, 则认为是圆角点, 应该删除。由于圆角点在 $L_1 + L_2$ 内下降缓慢, 而真实角点则下降迅速, 因此在圆角点处 $T(u)$ 比较大, 真实角点处 $T(u)$ 较小。即圆角点处因为其自身门限高, 将被滤除。

3) 移除虚角点 这一步的 ROS 的定义为前一个候选角点到下一个候选角点之间所有的点。图 5 中点 2 和 4 是圆角点, 在上一步被删除, 点 3 的 ROS 从 2-3-4 扩大为 1-3-5。从这个较大的范围内来看, 点 3 应该是噪声或其他干扰造成的。对于曲线形状来说, 该点的存在与否意义并不大, 并非真正的角点, 定义为虚角点, 应该简化掉。

为了移除虚角点, 定义切向角, 如图 6 所示。过当前角点 C 与前一角点 L , 以及中点 M 可以拟合出一段圆弧, 圆弧的圆心 Co 。过 C 点做圆的切线, 其与水平方向的夹角即为切向角 γ_1 。同理 C 与其后一角点也可以得切向角, 设为 γ_2 。于是, 可得切线夹角

$$\angle C = \begin{cases} |\gamma_1 - \gamma_2| & \text{若 } |\gamma_1 - \gamma_2| < \pi \\ 2\pi - |\gamma_1 - \gamma_2| & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

用该切线夹角做阈值判断当前点是否为虚角点, 即若 $\angle C > \theta_{\text{obtuse}}$, 则该角点为虚角点, 否则为真实角点。其中 θ_{obtuse} 是真实角点所允许的最大钝角,

一般取值在 $150^\circ \sim 170^\circ$ 。

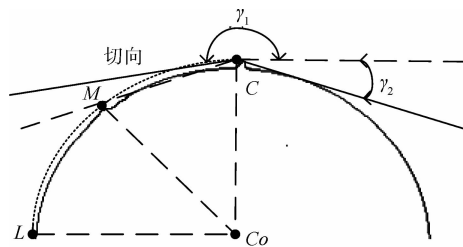


图 6 切向角定义图

Fig. 6 Tangent angle definition

虚角点移除之后, 其相邻候选角点的 ROS 范围扩大, 其切线夹角 $\angle C$ 也随之变化, 这意味着从更大范围更大尺度来考察当前候选角点是否为虚角点。例如小范围小尺度下的真实角点只在局部范围内影响曲线形状, 而在更大大尺度下或更大大范围内则可能表现为“毛刺”或噪声, 应该判为虚角点。因此移除虚角点, 就会使得 ROS 范围变大; 在新的范围的 ROS 内考察各候选角点, 可能又有新的候选角点被认为是虚角点。如此反复迭代, 直到角点数目不再变化。该过程一般迭代两到三次即可收敛。

2.2 关键点筛选

角点是曲线上曲率取得局部极大值的点, 在一定程度上关系着曲线的基本形状, 是曲线信息的集中点^[15]。但是角点并不能在更高层次上控制曲线的形状, 如连续起伏的波浪形曲线, 会有一串连续的密集角点, 显然它们并不都是曲线形状的关键信息, 而只有其中部分才发挥着关键作用。因此, 关键点是角点中“地位”更高, 更重要的点, 需要通过对角点进行进一步的筛选获得。本节提出一种关键点筛选算法。该算法是一种最小误差准则下的优化过程, 无需任何门限设置。

定义目标函数为

$$F_{i,i+j} = E_{i,i+j} / L_{i,i+j} \quad (5)$$

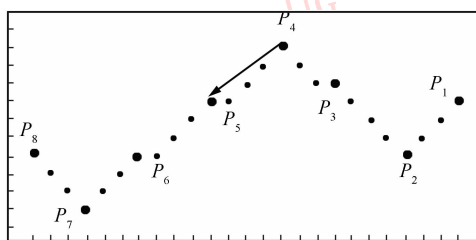
式中, $L_{i,i+j}$ 是角点 P_i 到角点 P_{i+j} 之间的距离, $E_{i,i+j}$ 是两角点之间的所有点到两角点连线的垂直距离的平方和, 称为位置误差和。故 $F_{i,i+j}$ 可以理解角点 P_i 和 P_j 之间单位长度内的位置误差。

设有角点序列 $P_1, P_2, \dots, P_n$, 筛选过程如下:

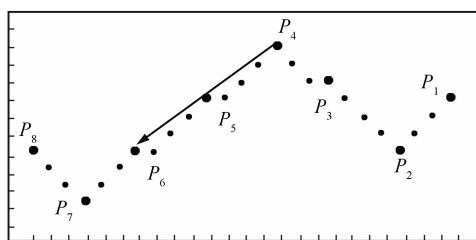
1) 初始化 $i = 1, j = 1$, 并把起始点 P_1 选为关键点;

- 2) 据式(5)计算 $F_{i,i+j}$, 并令 $F_0 = F_{i,i+j}$;
- 3) 令 $j = j + 1$, 同上计算 $F_{i,i+j}$;
- 4) 若 $F_{i,i+j} \geq F_0$, 则角点 P_{i+j-1} 选为关键点, 并令 $i = i + j - 1, j = 1$ 返回步骤2); 否则结束投票过程;
- 5) 若 $F_{i,i+j} < F_0$, 则令 $F_0 = F_{i,i+j}$, 并返回步骤3);
- 6) 终点 P_n 选为关键点。

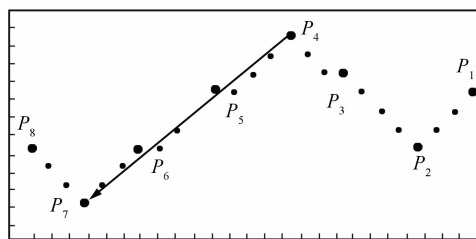
为了清晰说明整个投票过程, 举例如图7所示。



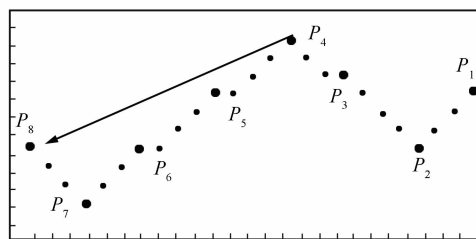
(a)



(b)



(c)



(d)

图7 关键点筛选

Fig. 7 Key points selection

就本例而言, 最后所得关键点为 P_1 、 P_2 、 P_4 、 P_7 、 P_8 , 关键点连线如图8所示。根据式(5)和整个投票过程, 可以看出关键点筛选实际是最小误差准则下的优化过程。

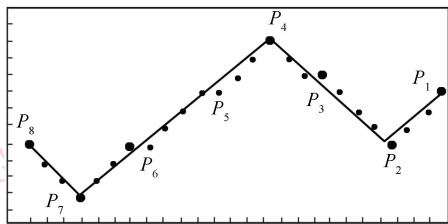


图8 筛选结果

Fig. 8 Result of selection

3 实验结果与分析

为了分析算法的性能, 截取数段局部线要素进行实验, 并分别与 DP 算法、Li-Openshaw 算法进行比较。比较分两个部分进行, 即直观的定性对比和

其中大黑点为角点, 小黑点为其他节点。假设以角点 P_4 作为初始点, 依次检查后续角点, 如图7(a)(b)所示。尽管位置误差和 $E_{4,6}$ 大于 $E_{4,5}$, 但是目标函数值 $F_{4,6}$ 仍然小于 $F_{4,5}$, 这是因为长度的增量更大。继续向前考察角点 P_7 , 如图7(c)所示。同理 $F_{4,7}$ 依然小于 $F_{4,6}$, 继续考察角点 P_8 。由于 $F_{4,8}$ 大于 $F_{4,7}$, 角点 P_7 被选为关键点, 然后从该角点出发开始一轮新的筛选过程。

针对位置精度的定量对比。

3.1 化简结果定性比较

图9和图10分别为本文算法与 DP 算法、Li-Openshaw 算法简化结果对比图, 其中黑线为初始线, 红线为本文算法简化结果, 蓝线分别为 DP 算法和 Li-Openshaw 算法简化结果。

对比简化结果, 在简单线要素部分3种算法的简化结果几乎一致, 但在复杂线要素中本文算法则表现出了更好的性能。尤其是在线要素急剧弯曲处, 本文算法更好地保留了线要素的形态, 位置精度更高。原因有两个: 一是本算法保留了全部关键点, 而这些点往往是代表线要素的形状特征; 二是本算法并非像 DP 算法那样简单地去除非关键点, 而是充分利用非关键点信息进行综合。本算法综合出现自相交现象风险大大降低, 原因在于是先分段再综合的, 综合只在各自的线要素段上进行, 而综合并非采用 Li-Openshaw 算法中取圆心到第1个交点的中点, 而

是直接选第一个交点作为综合后的点,故综合后产生的点都在原线要素上。此外,本算法同 Li-Openshaw 算法一样根据人类视觉的最小可视对象(SOV)尺寸进行综合,只需知道原始地图比例尺和目标比例尺,无需另外进行容限设置。

图 11 是在等高线上进行的实验结果,采用的实验数据来自网络 <http://download.csdn.net/source/>

1120169#acomment。其中黑色线条为初始线要素,蓝色线条为综合后线要素。从实验结果来看,DP 算法较好地保持了等高线的主要结构,但产生了一定的自相交。Li-Openshaw 算法和本文算法都几乎没有自相交的情况,但 Li-Openshaw 算法在有较急弯曲的地方较原线要素有较大偏离,位置精度显然不如本文算法。

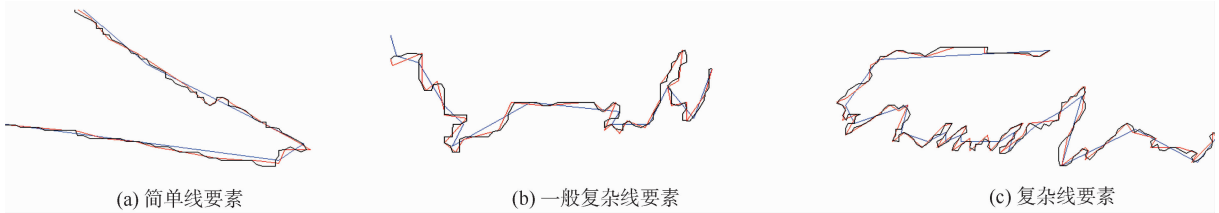


图 9 PG 算法与 DP 算法对比
Fig. 9 Comparison between PG and DP

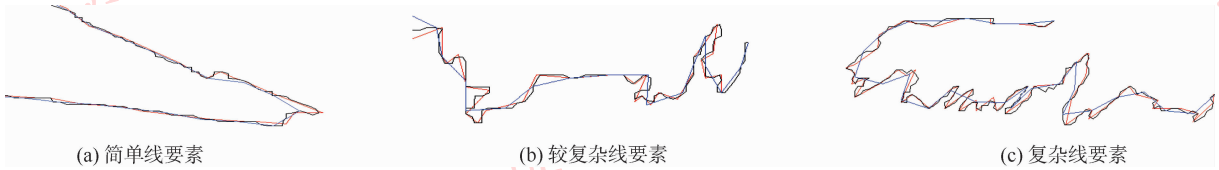


图 10 PG 算法与 Li-Openshaw 算法对比
Fig. 10 Comparison between PG and Li-Openshaw

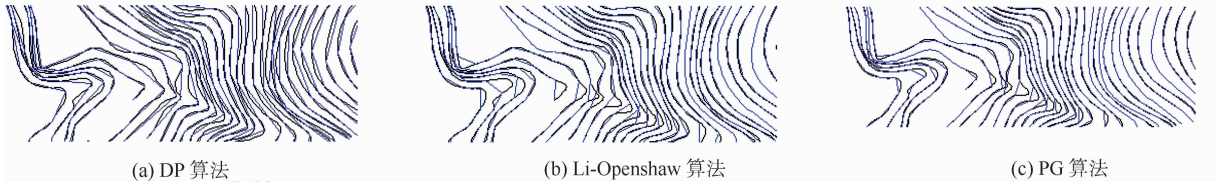


图 11 等高线实验结果
Fig. 11 Results of contour lines

3.2 位置精度评估

为了进一步分析本算法性能,采用文献[20]中提出 3 项技术指标进行评估,并分别与 DP 算法和 Li-Openshaw 算法比较。这 3 项指标分别是:

面积差 指的是综合后线要素与综合前线要素组成的多边形的面积,反映的是线要素综合后相对于综合前的总的偏移量;

弯曲度 弯曲是指线要素综合前后长度的

比值,其大小在 0~1。实际上,弯曲度并不主要用来描述线要素的弯曲程度,而是反映其迂回特性。好的综合算法能够最大程度地保留线要素的迂回特性;

关键点比率 简化后线要素保留的关键点数目与人工标绘的关键点数目的比率,取值在 0~1,比率越高,说明线要素形状特征保持越好。

为了精确评估本文算法,采用图 12 所示的线要

素进行实验。实验数据来自国家基础地理信息网,网址为 http://nfgis. nsdi. gov. cn/nfgis/chinese/c_xz. htm。该组线要素分别为地区界的一段、河流和道路,复杂程度不一,具有一定的代表性。

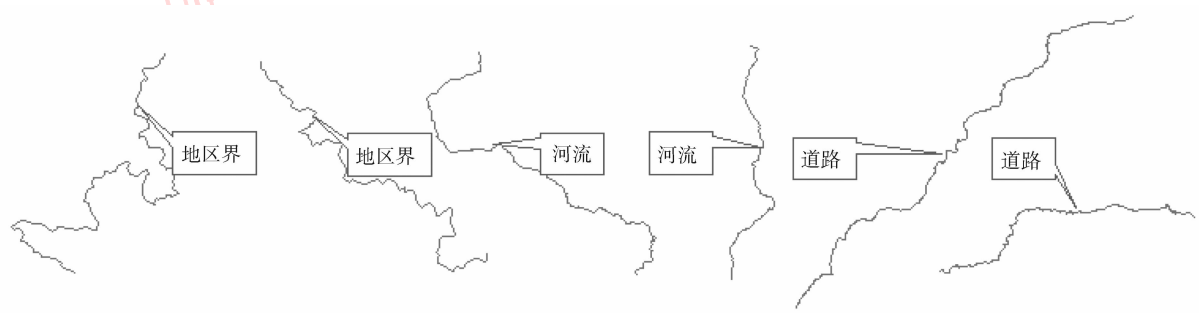


图 12 原始线要素组
Fig. 12 Original line features

如图 13 实验结果,显示本文算法面积差最小,即总的位置偏移量最小,而 DP 算法位置偏移量最大,差别的大小取决于算法线要素的长度和复杂程度。本文算法具有最大的弯曲度,即最大程度地保持了线要素的迂回特性。由于本文算法先提取了关键点,因此关键点比率相对较高,即更好地保证了线要素的基本形态。

4 结 论

由于线要素种类多样、形态复杂,到目前为止其自动综合算法的研究仍然是一个具有挑战性的问题。本文提出的基于关键点检测的线要素逐段综合算法,利用自适应门限角点检测算法检测出所有角点,从中筛选出关键点,并据此对线要素进行分段,最后各段依次采用 Li-Openshaw 算法进行综合。采用多组线要素进行实验,利用面积差、弯曲度和关键点比率 3 项技术指标进行评估,并与 Dauglas-Peucker 和 Li-Openshaw 进行对比,结果表明本文算法尽可能多地保留了关键点,能够更好地保持线要素的形态特征,具有较高的位置精度。

在自相交问题上,本文算法虽较 DP 算法有所改善(见等高线实验结果),但并没有彻底解决问题。今后的工作将围绕以下几个方面展开:

- 1) 进一步研究关键点提取,从多层次多尺度的角度建立关键点模型,以期赋予关键点更多的语义信息;
- 2) 研究关键点取舍与自相交现象之间的关系,进一步减少综合结果中的自相交情况;
- 3) 研究基于分形理论的结构特征分析,以期从把握线要素整体结构特征的角度改进综合算法,评价综合效果。

参考文献 (References)

[1] Ai T H. The drainage network extraction from contour lines for contour line generalization [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry

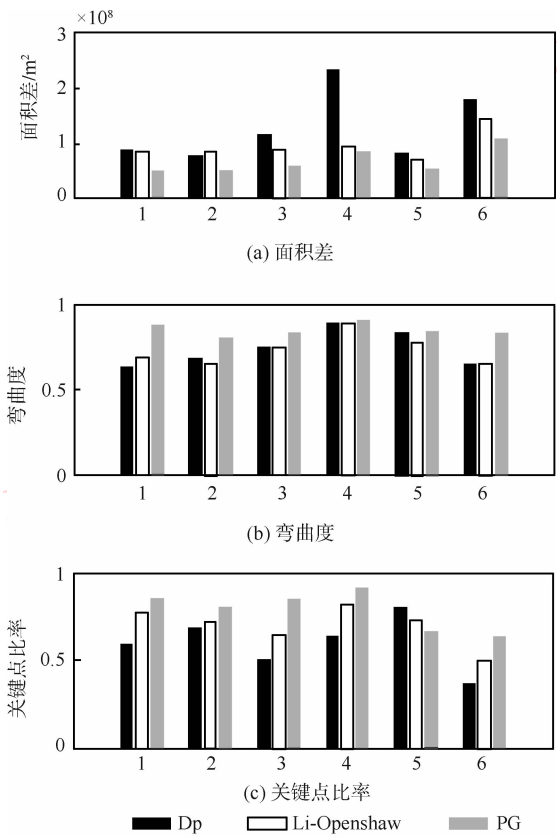


图 13 位置精度评估指标
Fig. 13 Position accuracy estimation

- and Remote Sensing, 2007, 62: 93-103.
- [2] Zhu K P, Wu F, Wang H L, et al. Improvement and assessment of Li-openshaw algorithm [J]. Cehui Xuebao/Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36: 450-456. [朱鲲鹏, 武芳, 王惠莲, 等. Li-Openshaw 算法的改进与评价 [J]. 测绘学报, 2007, 36(4): 450-456.]
- [3] Lopez A, Balboa J L, Javier F, et al. Generalization oriented road line segmentation by means of an artificial neural network applied over a moving window [J]. Pattern Recognition, 2008, 41: 1610-1626.
- [4] Wang J Y, Fan Y A, Han T C. General Principle of Comprehensive Cartography [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press. 1992: 78-84. [王家耀 范亦爱, 韩同春. 普通地图制图综合原理 [M]. 北京: 测绘出版社. 1992: 78-84.]
- [5] Li Z L, Openshaw S. Digital map generalization at the age of enlightenment: a review of the first forty years [J]. The Cartographic Journal, 2002, 44(1): 80-93.
- [6] Wang Q. Self-similarity analysis of cartographic lines and the automatic line generalization [J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1995, 20(2): 123-128. [王桥. 线状地图要素的自相似分析及其自动综合 [J]. 武汉测绘科技大学学报. 1995, 20(2): 123-128.]
- [7] Douglas D, Peucker T. Algorithm for the reduction of the numbers of points required to represent a digitized line or its caricature [J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10(2): 112-122.
- [8] Li Z L, Openshaw S. Linear feature's self-adapted generalization algorithm based on impersonality generalized natural law [J]. Translation of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1994, 1: 49-58. [Li Zhilin, Openshaw S. 基于客观综合自然规律的线状要素自动综合的算法 [J]. 武测译文, 1994, (1): 49-58.]
- [9] Zhang Q N, Liao K. Line ganeralization based on structure analysis [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2001, 40(5): 118-121. [张青年, 廖克. 基于结构分析的曲线概括方法 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 40(5): 118-121.]
- [10] Tong X H, Xu G S. A new least squares method based line generalization in GIS [J]. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 2004, 5: 2912-2915.
- [11] Carmona P A, Madrid C F J, Medina C R, et al. Polygonal approximation of digital planar curves through break point suppression [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(14): 178-187.
- [12] Nadia S, Tao V. Minimising positional errors in line simplification using adaptive tolerance [J]. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application, 2002, 4(3): 213-223.
- [13] Balboa J L, Lopez A, Javier F, et al. Generalization-oriented road line classification by means of an artificial neural network [J]. GeoInformatica, 2008, 12: 289-312.
- [14] Gold C, Thibault D. Map generalization by skeleton retraction [J]. ICA Workshop on Map Generalization, Ottawa, 2002: 78-85.
- [15] Poyato A C, García N L F. Dominant point detection: a new proposal [J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(13): 1226-1236.
- [16] White Ellen R. Assessment of line generalization algorithms using characteristic points [J]. American cartographer, 1985, 12: 17-27.
- [17] Mokhtarian F, Mackworth A K. A theory of multi-scale curvature-based shape representation for planar curves [J]. IEEE Trans. on Pattern Anal Mach Intell, 1992, 14(8): 789-805.
- [18] He X C, Yung N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support [J]. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004, 2: 791-794.
- [19] He X C, Yung N H C. Corner detector based on global and local curvature properties [J]. Optical Engineering, 2008, 47(5): 1-12.
- [20] Chen B, Zhu K P, Xue B X. Quality assessment of linear features simplification algorithms [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2007, 2(24): 121-124. [陈波, 朱鲲鹏, 薛本新. 线性要素简化算法的分析与评估 [J]. 测绘科学技术学报, 2007, 2(24): 121-124.]