

文章编号:1671-8860(2008)06-0600-04

文献标志码:A

# 线要素化简算法几何精度评估

武 芳<sup>1</sup> 朱鲲鹏<sup>1</sup>

(1 信息工程大学测绘学院, 郑州市陇海中路 66 号, 450052)

**摘要:**在分析化简算法对线要素精度影响主要分为几何精度和属性精度两方面的基础上, 针对算法化简过程中曲线在几何特征和点的位置发生变化的特点, 对线化简算法的几何精度实施评估, 并提出了线的曲折度、位置误差等几何精度评估指标, 选择了几种典型的化简算法进行了评估实验, 得出了较客观的结论。

**关键词:**线化简; 几何精度; 位置误差; 缓冲区限差; 评估

**中图法分类号:**P283.1

地理空间实体自身的不稳定性、人类认知能力的局限性以及在制图综合过程中对数据的处理和不同的综合操作等都会给地图要素的精度带来变化, 而空间数据的精度大多与位置精度有关。王光霞等基于分形理论对 DEM 进行了精度评估<sup>[1]</sup>; 杜浩强对 1:5 万 DLG 空间数据位置精度作了分析与研究<sup>[2]</sup>; 曾衍伟讨论了矢量 GIS 数据位置精度的评价<sup>[3]</sup>等等。由此可见, 当前对精度的研究与评估多集中于对空间数据处理给地图要素带来的影响和变化, 而对综合操作给地图要素精度带来变化的研究相对较少。

线化简是制图学和 GIS 领域一项重要的功能, 通过有选择性地去掉待综合曲线上的冗余点和不能够依尺度表达的小弯曲, 在保持原始线划形状特征的前提下, 简化线划的形状。化简使原始曲线和化简后曲线之间产生了差异, 势必引起曲线空间精度的误差, 而这种差异对于一个制图者来说必须是必要的和合理的。如何衡量或评价不同的算法对地图线要素化简带来的差异, 以便作为制图者选择算法的参考依据, 达到最合理的化简效果, 就需要对线要素化简算法的精度实施评估。

## 1 化简算法对线要素精度的影响

GIS 的属性数据则是对点、线、多边形或遥感影像的属性值(或属性类别)的描述<sup>[4]</sup>。在综合过

程中, 线要素属性精度的变化主要归结为要素分类分级的变化。由这些变化可以看出, 属性精度的高低表明分类结果与现实世界趋近的一致与否。

在线要素精度产生的这些变化当中, 最为重要而且可量化的变化主要是要素特征、要素数量和要素位置的改变<sup>[5]</sup>。这里主要讨论算法在化简过程中对线要素几何精度的影响。

化简算法引起曲线几何精度的变化主要体现在曲线几何特征的改变和曲线上点的位置的改变上。曲线在几何特征上的变化主要体现在曲线长度和曲折度的改变; 而点的位置的变化主要体现在曲线整体或局部的位移, 亦即当对线或面域线进行化简时, 由于形状的变化或曲线的伸直, 需要对要素的某一部分进行位移。

## 2 线要素图形化简几何精度评估指标的建立

### 2.1 曲线几何特征评估指标

#### 1) 线的长度比

$$\Delta L = L'/L \quad (1)$$

式中,  $L$ 、 $L'$  分别为原始曲线和化简后曲线的长度。通过比较化简前后曲线的长度比值, 可以看出算法对曲线上的点的压缩量, 比值越小, 说明对线的压缩量越大。一般情况下, 随着比例尺的减小, 线的长度会减小; 但在特定的环境下, 一些特殊的线要素类型会出现增大的情况。也可以对比

化简前后一条曲线上不同曲线段之间的长度压缩比,如果各段的比率很接近,就说明算法化简此类曲线总体位置精度的保持比较稳定。

## 2) 线的曲折度

当化简曲线时,线的长度一般会变短,线的曲折度随之降低。如果线的长度变化越大,而曲折度变化越小,说明算法保持曲线的几何特征越好。线的曲折度可以由曲线上相邻的直线段组成的夹角累加得到,如图 1 所示。



图 1 夹角的累加计算线的曲折度

Fig. 1 Calculating the Sinuosity by Accumulating Angles

## 2.2 曲线位置精度评估指标

线的长度和曲折度的评估反映了地理要素几何特征的改变,而当比例尺改变时,还需要在算法化简过程中,对曲线位置精度的改变进行衡量或评价。为确保线要素的位移是由化简引起,假定原始图幅上的线要素不存在误差。

### 1) 位移标准差

位移标准差<sup>[5]</sup>为:

$$S_{\text{SMD}}(\%) = 100 \times (1 - (W - O)/W) \quad (2)$$

其中,  $W$  为化简后原始曲线上位移最大的点到曲线首末节点连成直线的距离;  $O$  为该点的实际位移观测值。由式(3)分析可知,该指标得到了曲线局部位移最大值,但对曲线整体位移情况描述得还不够精确。为此,进一步提出了用位置误差和缓冲区限差评价曲线的位置精度。

### 2) 位置误差

用化简后曲线和原始曲线围成的面积与原始曲线长度的比值作为衡量位置精度的评价指标,该值即为位置误差。

曲线的初始长度不变,不同算法化简同一曲线时,化简前后曲线围成的面积越小,说明曲线上点的位置保持得越好,该化简算法的位置精度越高。然而,这个指标仍然不完善,因为当评估某条曲线的位置精度时,该曲线的长度已经确定,这样就变成了单纯的对面积差的比较。因此,当位置误差小时,还难以直观地感受到曲线位置精度的高低。

### 3) 缓冲区限差

标准的误差理论主要讨论观察值和测量值在分布上的不同。这对于点来说实施起来较容易,

但要考虑一条曲线的位置误差就相对困难。缓冲区是 GIS 中使用频繁的一种空间分析技术<sup>[6]</sup>,是空间分析的一种重要方法。通过建立原始曲线的缓冲区,计算由算法化简后的曲线落在缓冲区内的比例,若比例大,则说明该算法化简后曲线的位置精度保持好,将这个比例值称为缓冲区限差:

$$R_{\text{LMB}}\% = 100 \times (L_{\text{IN}}/L) \quad (3)$$

其中,  $L_{\text{IN}} \in B_i, B_i = \{x: d(x, O_i) \leq d_{\text{buffer}}\}$ ;  $B_i$  为曲线的缓冲区;  $d_{\text{buffer}}$  为缓冲区的宽度。

由式(3)可知,缓冲区限差的大小直接由缓冲区大小决定,因而缓冲区的宽度就成为关键指标。当比例尺减小时,可用的地图空间随之变小,全部或部分要素就需位移,以确保要素不发生相交(接)。如果两目标之间距离相距 3 倍以上最小位移限差,则不会引发新的位移冲突<sup>[7]</sup>,即  $d_{\text{buffer}} = 3 \times d_{\text{min}}$ ,而最小位移限差可由编图规范得到,由此可以得到缓冲区的宽度。

## 3 实验结果分析比较

目前,有关数字化线划图形化简算法发展较为成熟,各种算法多达数 10 种<sup>[12]</sup>。本文结合线要素几何精度评估指标,选取几种有代表性的数字线划化简算法对不同的线要素进行化简,并对其结果进行比较。

化简力度相同时,好的算法应保持较高的几何精度。但需要说明的是,并非几何精度越高,化简效果就越好,算法的评价还要兼顾曲线形状特征、空间关系等,这里仅对其几何精度进行评估。

### 3.1 曲线化简实验

一般情况下,地图上的河流、道路和等高线占线要素的绝大部分,图 2 为 4 种算法对这 3 类要素化简的结果图(略去道路和等高线的化简结果)。4 种算法都保留原始曲线上 30% 左右的点,所以对曲线上点的压缩率基本相同。

### 3.2 曲线几何特征评估

表 1、表 2 为 4 种算法对上两种比例尺下曲线长度和曲折度变化的平均值的比较。从长度和曲折度的变化来看,Douglas-Peucker 算法最稳定,随着比例尺减小长度和弯曲度逐步减小。4 种算法对河流化简后其长度随着比例尺变小而变短,渐进式化简算法变化幅度最大,而曲折度并不一定随着比例尺变小而变小,Li-Openshaw 算法对 1:250 000 比例尺地图化简后的曲折度比 1:50 000 比例尺地图的曲折度大。比较每种算法自身对不同比例尺等级的河流化简结果,Li-Open-

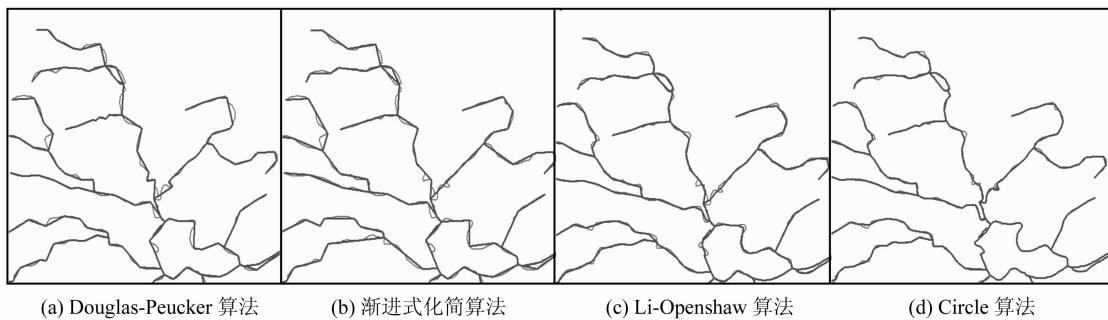


图2 4种算法对1:50 000河流化简的结果(粗线为化简后)

Fig. 2 Simplification Results to 1:50 000 Scale Rivers by Four Algorithms(Broad Lines Represent after Simplification)

nshaw 算法和 Circle 算法化简后长度变化较大,而曲折度变化较小,因而较其他两种算法更好地保持了曲线的几何特征。

表1 河流化简的长度变化比

Tab. 1 Ratio of Rivers' Length Simplified by Algorithms

比例尺	Douglas 算法	渐进式算法	Li 算法	Circle 算法
1:50 000	0.996 6	0.995 4	0.986 1	0.993 7
1:250 000	0.992 5	0.860 2	0.9765	0.942 3

表2 河流化简的曲折度变化比

Tab. 2 Ratio of Rivers' Sinuosity Simplified by Algorithms

比例尺	Douglas 算法	渐进式算法	Li 算法	Circle 算法
1:50 000	0.9851	0.973 9	0.908 2	0.982 3
1:250 000	0.968 7	0.881 5	0.910 4	0.972 8

### 3.3 曲线位置精度评估

位移标准差最适合于比较不同算法化简同一线要素时的位移值<sup>[6]</sup>。由图3中算法对不同线要素化简位移标准差比较可知,位移量并不是随着比例尺的减小线性变化的。各类线要素在不同比例尺等级上的位移变化也不尽相同,道路和河流在各个比例尺等级上都有较大的位移。需要说明的是,尽管道路和河流始终产生较大位移,但并不意味着这两类线要素上的所有点都有较大位移。地图上线要素发生较小位移的是等高线,因为一般情况下地图上的等高线都比较密集,如果位移较大,就很容易发生相交(接),破坏空间关系。

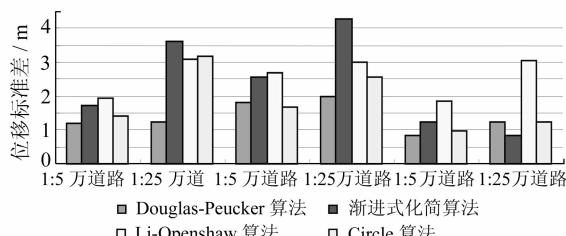


图3 算法化简不同线要素位移标准差比较

Fig. 3 Comparing the SMD of Different Linear Features Simplified by Algorithms

Douglas-Peucker 算法和 Circle 算法化简的位移标准差值小而且较稳定,渐进式化简算法对1:250 000比例尺上的道路和河流化简后的位移值偏大,而 Li-Openshaw 算法在各类线要素和不同等级比例尺上的位移标准差值都较大。从4种算法对同一类线要素化简结果的纵向比较可以看出,Douglas-Peucker 算法相对其他3种算法位移值较小。

图4是4种算法化简不同线要素的位置误差比较。从总体来看,河流化简后的位移误差要高于道路,尤其在1:250 000比例尺等级上前3种算法都出现了较高的位移误差值。由此可见,不管哪种算法,对人工线要素化简后的位移精度的保持要好于自然要素,因为相对于河流等自然要素来说,人工线要素的弯曲少,而且没有连续的小弯曲。从算法间的纵向比较看,Douglas-Peucker 算法和 Circle 算法对3类线要素化简的位置误差较小,而 Li-Openshaw 算法的误差值偏高。

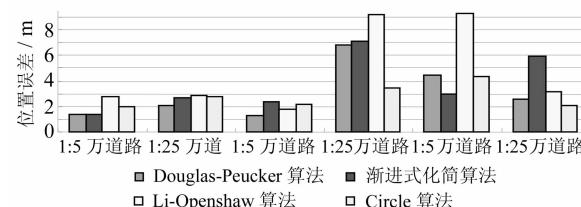


图4 算法化简不同线要素位置误差比较

Fig. 4 Comparing the Position Error of Different Linear Features Simplified by Algorithms

从图5中的数据来看,总体上各种算法的缓冲区限差都很接近,Douglas-Peucker 算法的值整体较高,即在相等的缓冲区宽度下,该算法化简后的曲线落在缓冲区内的比例最大,可见其较好地保持了曲线的位置精度。另外,Circle 算法也有较高的缓冲区限差,Li-Openshaw 算法在个别曲线上的缓冲区限差偏高。

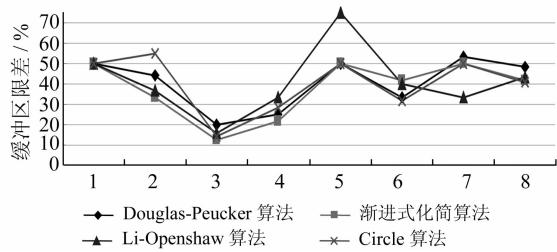


图 5 算法对 1 : 50 000 河流抽样曲线化简  
缓冲区限差比较

Fig. 5 Comparing the LMB of Sample Curves of Rivers  
in Scale 1 : 50 000 Simplified by Algorithms

## 4 结 语

- 1) 线化简算法对人工线划要素化简后的位置精度保持要好于自然线划要素。
- 2) Douglas 和 Circle 算法较好地保持了曲线的几何特征和位置精度, 具有较高的几何精度。
- 3) Li-Openshaw 算法较好地保持了曲线的几何特征, 但从整体上对曲线位置精度的保持并不好。
- 4) 渐进式化简算法对曲线位置精度的保持比较稳定, 而在对道路和河流的化简中, 容易出现位移较大的情况。

## 参 考 文 献

[1] 王光霞, 崔凯, 戴军. 基于分形的 DEM 精度评估 [J].

- 郑州测绘学院学报, 2005(2): 107-109
- [2] 杜浩强, 傅轩诚, 詹寄萍. 1 : 5 万 DLG 空间数据位置精度的分析与研究 [J]. 浙江测绘, 2006(1): 24-26
- [3] 曾衍伟. 矢量 GIS 数据位置精度评价 [J]. 测绘信息与工程, 2002(3): 20-22
- [4] 史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [5] Joao E M. Causes and Consequences of Map Generalization [M]. London: Taylor and Francis, 1998
- [6] 郭仁忠. 空间分析(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [7] 邓红艳. 基于保质设计的自动制图综合质量评估与控制 [D]. 郑州: 信息工程大学, 2006
- [8] 王家耀, 武芳. 数字地图自动制图综合原理与方法 [M]. 北京: 解放军出版社, 1998
- [9] 王家耀, 陈毓芬. 理论地图学 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000
- [10] 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
- [11] 武芳. 空间数据的多尺度表达与自动综合 [M]. 北京: 解放军出版社, 2003
- [12] 郭庆胜. 线状要素图形综合的渐进方法研究 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(1): 52-56

第一作者简介: 武芳, 教授, 博士生导师, 现主要从事自动制图综合及 GIS 开发应用研究。

E-mail: lzhiping@public. zz. ha. cn

## Geometric Accuracy Assessment of Linear Features' Simplification Algorithms

WU Fang<sup>1</sup> ZHU Kunpeng<sup>1</sup>

(1 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road,  
Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing the influence that linear features' accuracy by simplification algorithms can be divided into geometric accuracy and attribute accuracy, aiming at curves' characteristics on geometric character and position of points change in the process of simplification, considering all the change of linear features' accuracy, position accuracy is the most important and quantitative easily, a series of evaluating figures of geometric accuracy are proposed. Several typical simplification algorithms are evaluated and some credible conclusions are given.

**Key words:** line simplification; geometric accuracy; position error; limited measure of buffer; evaluation

**About the first author:** WU Fang, professor, Ph.D supervisor. Her main research interests include automatic cartographic generalization and its algorithms' quality assessment.

E-mail: lzhiping@public. zz. ha. cn