

基于约束点的曲线一致简化

应 申¹ 李 霖¹

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 详细探讨了基于平面上的特征约束点(无论在曲线上还是在曲线外)的曲线化简, 并针对各种情况提出了一致性化简的方法。

关键词: 制图综合; 曲线化简; 约束点

中图法分类号: P283.1; TP311.12

经过几十年的发展, 已有很多计算曲线化简的方法, 如 Douglas-Peucker(DP)算法^[1]、Reumann-Witkam 法、Strip-Tree 法^[2]、BLG (binary line generalization tree)树^[3~5]等, 这些算法都是基于要素个体的化简方法, 针对地图目标个体, 单纯从曲线要素个体的几何特征出发, 利用曲线的几何特征点, 通过特征点的取舍来进行化简。

基于地理特征约束的化简逐渐成为制图综合研究的重点, 在地理特征约束中, 以空间特征约束点最为突出。地图制图中的特征约束点有自然特征点和人文特征点两类。当然, 在这里有许多面状要素被抽象成了点。在进行曲线化简时, 人们总是预先假设不产生自相交和拓扑不一致来回避此类问题, 但事实上该问题会因化简时阈值设置不当或化简的不同步, 而严重影响数据的准确性和地图数据库性能, 有关内容可参见文献[6]。

基于地理特征(本文主要指特征约束点)的曲线化简中, 首先是拓扑关系的处理, 其次是几何精度, 并且在一般情况下, 由于特征约束点的定位意义、人文意义、军事意义等, 人们对它的精度要求要比曲线的精度要求高。因此, 在后面的分析处理中, 总是要求约束点不能位移。

一般情况下, 曲线化简要求综合后的曲线含有较少的内部结点来满足几何化简条件, 并且不产生自相交。考虑到约束点的制约, 还要求平面上的点与化简前后曲线的拓扑关系(位置关系)保持一致, 即要求曲线综合前后不改变平面划分中点的分布情况。

如果一个曲线的化简不产生自相交, 既满足化简的几何标准, 又不改变其与平面上的点的拓扑关系, 就称此化简为一致性化简。许多学者对曲线的一致性化简进行了研究探讨^[4~9]。

本文应用制图综合领域中常用的 DP 算法和 BLG 树等曲线化简方法, 结合点线面的拓扑关系, 来解决基于特征约束点的曲线一致性化简, 计算简单, 实用性强。

1 约束点在曲线上的 consistency 化简

对于约束点在曲线上的情形, 如道路上的居民点、河流上的桥梁、境界上的界址点等, 由于其定位意义一般是不允许位移的, 必须确保它们在化简后仍在曲线上, 即要求化简后的曲线要通过这些人文学特征约束点。

1.1 分割法

将曲线在约束点处分割, 这样约束点就成了新曲线的开始点或结束点, 然后用 DP 算法或其他曲线化简的方法进行化简。如图 1 所示, P_3 和 P_7 是约束点, 图 1(a)为全局使用 DP 算法, 图 1(b)是曲线在约束点 P_3 、 P_7 处断开, 分段执行 DP 算法。但应注意的是, 由于曲线化简时的初始点不同, 使得化简后选择的点不同, 图形也不同, 这是 DP 算法过分依赖初始点的一个弊端。该方法的缺点是, 将曲线分割会增加曲线存储时的标识信息, 给地图数据库带来一定的复杂性。

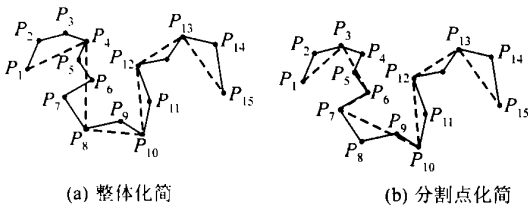


图 1 分割点法

Fig. 1 Constraint Points Segmentation

1.2 BLG 树法

BLG 树是基于 DP 算法来构建曲线上点的层次结构的。用 BLG 树进行曲线化简时, 既可以减少曲线化简中 DP 算法的重复调用, 提高数据的处理速度, 又可以根据比例尺或细节要求来逐层减少或增加曲线 (或部分曲线段) 上的点, 从而能在不同比例尺精度下进行实时化简综合。

采用 BLG 树进行含有约束点的曲线化简, 首

先要构建曲线的 BLG 树 (约束点也是曲线的结点, 并要有特殊的标记)。在曲线化简时, 遍历 BLG 树, 从 BLG 树上自上而下取点, 若达到综合的化简要求 (垂距等) 时, 仍有约束点未被选取, 则在含有约束点的分支中继续取点, 直到既满足化简的几何条件, 又保留了所有的约束点。假设图 1(a) 中的 P_7 为约束点, 采用 DP 算法化简时, 点 P_7 未被选取; 图 2(a) 为图 1(a) 的 BLG 树, 图 2(b) 为采用从 BLG 树中沿子树 $P_4 \rightarrow P_8 \rightarrow P_7$ 取点 (直到约束点 P_7) 的化简结果。使用 BLG 树进行曲线化简, 既能保证图形结构的整体协调性、对称性和美观性, 而又不改变约束点和曲线的拓扑关系。

另外, 也可以对化简后的曲线计算出曲线上距离约束点 P 最近的点, 将此点位移到点 P 。这是后处理的方法, 一般适合于少量点的后期修正和处理 (如图 3)。

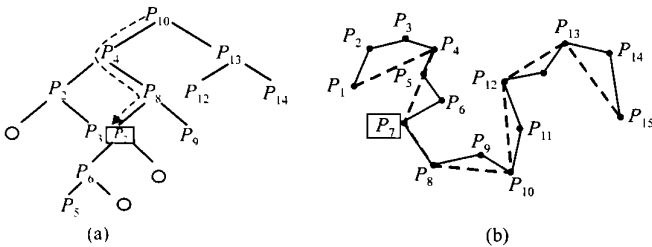


图 2 BLG 树化简

Fig. 2 BLG-Tree Simplification

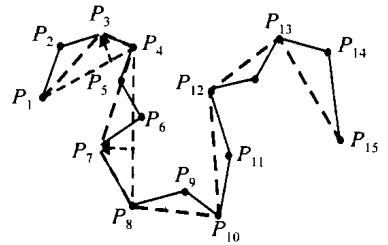


图 3 位移点方法

Fig. 3 Points Displacement

2 约束点在曲线外的一致性化简

约束点在曲线上, 可以将其作为特征点强制保留; 如果在曲线外, 数据处理要复杂得多, 它需要判断约束点与曲线的拓扑关系。为减少数据的处理, 可缩小约束点的测试范围, 通常用以下两种方法来减少测试点^[8]: ① 仅测试与曲线 (段) 相关联的邻域面元上 (一般是两个) 的特征约束点; ② 仅测试被化简曲线决定的凸壳内的约束点。

实质上, 拓扑一致性的化简就是要求曲线化简前后和约束点的拓扑关系不发生变化, 这意味着化简前后的曲线之间的区域不包含任何约束点, 因此, 这也不会改变地理目标的空间关系。通过是否有约束点落在综合前后的曲线 (段) 组成的多边形内来判断是否发生了拓扑不一致。从平面分割的观点来看, 这些多边形利用区域要比上述两种途径中的区域都要小。

分析可知, 化简前后的曲线形成多个多边形, 并且每个多边形都是由一个化简后的折线段 (或

其一部分) 和一系列原始曲线段构成。如图 4, 多边形 $P_4 P_5 P_6 P_7 P_8$ 是由原始曲线上的线段 $P_4 P_5$ 、 $P_5 P_6$ 、 $P_6 P_7$ 、 $P_7 P_8$ 和化简后的曲线段 $P_4 P_8$ 组成的复杂多边形。这可以通过判断在多边形 $P_4 P_5 P_6 P_7 P_8$ 内是否存在约束点来判断曲线的化简是否产生拓扑不一致。

2.1 追逐法

追逐法从开始点向后连接后续点, 形成新的直线段, 称之为“捷径”, 将偏差、偏角等作为几何判断条件, 将“捷径”与原始曲线形成的多边形与约束点的拓扑关系作为拓扑一致性判断条件, 在同时满足这两个条件的情况下, “捷径”即为综合后的直线段, 将开始点后移, 依次进行。

1) 假设从端点 P_i ($i \in [1, n-2]$, n 为结点数) 开始, 向后连接 P_{i+j} ($j \in [i+2, n]$, n 为结点数), 得到由线段 $P_i P_{i+j}$ 和原始曲线段 $P_i P_{i+1}$ 、 $P_{i+1} P_{i+2}$ 、 \dots 、 $P_{i+j-1} P_{i+j}$ 组成的多边形 $P_i P_{i+1} \dots P_{i+j}$, 在满足化简的几何限制条件 (如偏差、偏角)

的情况下,判断约束点是否在多边形 $P_i P_{i+1} \dots P_{i+j}$ 内,如不在其内,继续将被连接点后移,即连接点 P_i 和点 P_{i+j+1} ;否则,取“捷径” $P_i P_{i+j}$ 为折线 $P_i P_{i+1} \dots P_{i+j}$ 化简后的直线段。在图 5 中,假设从 P_4 点开始,“捷径” $P_4 P_7$ 和 $P_4 P_8$ 就均满足几何化简标准,但是“捷径” $P_4 P_8$ 产生了拓扑不一致,因此,取“捷径” $P_4 P_7$ 为化简后的线段。

2) 从点 P_{i+j} 开始,连接 $P_{i+j+2}, P_{i+j+3} \dots$, 循环步骤 1), 直到曲线上最后一点。

选择满足几何精度和使约束点与曲线的拓扑关系发生变化的“临界点”作为综合选取的特征点。使用该方法对“临近”曲线的约束点进行分段判断,能有效地减少约束点的测试范围,从而减少运算的数据量和复杂度。

2.2 BLG 树法

化简后的直线段和原始曲线的部分曲线段可能会组成一个或多个多边形(如图 5(a)中的 $P_1 P_4$ 和 $P_4 P_8$, P 和 P' 为约束点),要保证化简前后约束点与曲线的拓扑关系保持一致,就必须保证

约束点不在这些多边形内。为避免重复调用 DP 算法,采用 BLG 树法,对曲线构造 BLG 树,在树中查询得到含有研究区域的分支子树(或仅对研究区域构造 BLG 树),在分支子树中逐级取点,判断约束点和新构成的多边形的拓扑关系,直到满足拓扑一致性为止。如图 5(a)中,约束点 P 位于多边形 $P_4 P_5 P_6 P_7 P_8$ 中,从 BLG 树中得到产生拓扑不一致的多边形的区域为 P_8 的左子树,然后在子树中逐级取点 P_7 ,判断点 P 是否在 $P_4 P_5 P_6 P_7$ 组成的多边形 Q 内,若不在其内,则 P_7 点被选择;否则继续取 P_6 点。图 5(a)中约束点 P' 位于多边形 $P_1 P_2 P_3 P_4$ 内,可采用同样的方法进行拓扑一致性化简,图 5(a)拓扑一致性化简结果如图 5(c)。

此处的多边形与约束点的拓扑关系判断与追逐法中的判断有所不同,它是随着 BLG 树中的取点来减小判断区域,若约束点在被减掉的多边形内,则约束点肯定不在新的约束区域中,这是一个补的概念。该方法既照顾了曲线整体和局部的化简要求,又较好地保持了图形的协调性。

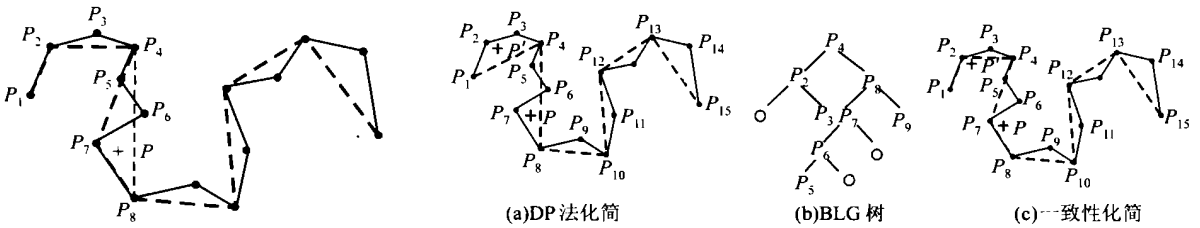


图 5 BLG 树进行基于线外约束点的一致性化简

Fig. 5 Using BLG-Tree to Simply Polylines with Constraint Points out of Polylines

图 4 追逐法保持拓扑一致

Fig. 4 Consistent Simplification with Shortcut

3 结 语

利用 BLG 树的化简处理时要注意,当仅仅处理约束点所在的树的分支时,随着点的不断提取,树的分支亦越来越小,这对提高系统数据处理速度很重要。另外,若约束点出现在曲线较小的细部上时,可对细部进行适当的人工夸大处理。图 6 是基于曲线上和曲线外的约束点(十字丝)采用 BLG 树进行一致性化简和 DP 方法化简的示例。

由于空间目标本身形态的多样性和地理目标之间的空间关系的复杂性,使得跨目标多要素的空间分析具有较大的复杂性和难度,而制图综合作为空间分析基础之上的决策过程,要解决各地理目标之间的空间约束和空间冲突,还需进一步的研究。

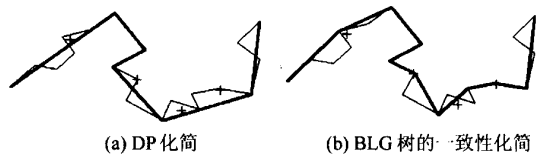


图 6 一致性化简的示例(十字丝为约束点)

Fig. 6 An Example for Consistent Simplification

参 考 文 献

- 1 Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Line or Its Caricature. The Canadian Cartographer 1973, 10(2): 112~ 122
- 2 Battenfield B P. Digital Definitions of Scale-Dependent Structure. Auto-Carto., 1986. 497~ 506
- 3 van Oosterom P, Schenkelaars V. The Development of an Interactive Multi-scale GIS. International Journal

- of Geographical Information Systems, 1995, 9(5): 489~507
- 4 Zhan F, Mark D M. Conflict Resolution in Map Generalization: a Cognitive Study. *Auto-Carto.*, 1993(13): 406~413
- 5 Saalfeld A. Topologically Consistent Line Simplification with the Douglas-Peucker Algorithm. *CGIS*, 1999, 26(1): 7~18
- 6 Berg M, Kreveld M, Schirra S. Topologically Correct Subdivision Simplification Using the Bandwidth Criterion. *CGIS*, 1998, 25(4): 243~257
- 7 应 申, 郭仁忠, 闫浩文, 等. 制图综合中等高线自相交的判断与消除. *测绘科学*, 2001, 26(4): 39~41
- 8 郭庆胜. 点状要素与线状要素、面状要素的关系处理. *武汉测绘科技大学学报*, 1993, 18(增刊): 68~71
- 9 Liu Y L, Molenaar M, Ai T H, et al. Frameworks for Generalization Constraints and Operations Based on Object-Oriented Data Structure in Database Generalization. *Geospatial Information Science*, 2001, 4(3): 42~49
- 10 艾廷华. 城市地图数据库综合的支撑数据模型与方法的研究:[博士论文]. 武汉: 武汉大学, 2000

第一作者简介: 应申, 博士生. 现从事制图综合、空间分析、GIS 应用和系统开发等研究。

E-mail: senying@sina.com

Consistent Line Simplification Based on Constraint Points

YING Shen¹ LI Lin¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract: This paper develops some algorithms to simplify polylines consistently based on the constraint points, whether they are on or out of lines.

Key words: map generalization; line simplification; constraint point

About the first author: YING Shen, Ph. D candidate. He is engaged in the research on map generalization, spatial analysis and GIS applications etc.

E-mail: senying@sina.com

(责任编辑: 燕子)

(上接第 487 页)

Technical Method of Collecting Desertificated Land Spectrum Data

LI Haiping¹ ZHUANG Dafang¹ XIONG Liya¹

(1 Institute of Geographical Sciences and Resources, CAS, 917 Building, Anwai Datun Road, Beijing, China, 100101)

Abstract: According to the field spectrum data collecting within Beijing area, some technical methods in data acquisition are discussed, which include environment condition, analysis of the character of desertificated land, strategy of sampling and selecting of instrument. Spectrum data collected by the ASD-FR field spectroradiometer has been used as an example to show how the errors in data collecting can be eliminated. Ancillary data that effect spectrum data sharing are also discussed.

Key words: desertificated land; field spectrum; measuring method; data sharing

About the first author: LI Haiping, Ph. D candidate. She is interested in the research on GIS and remote sensing application in natural resources and environment.

E-mail: lih@reis.ac.cn

(责任编辑: 涓涓)