

曲线弯曲多叉树模型及其在地图综合中的应用*

刘鹏程, 杨文博, 李 畅

(华中师范大学 城市与环境科学学院, 武汉 430079)

摘 要: 针对曲线弯曲二叉树在曲线形态表达上的不足,以弯曲作为曲线形态的单元,探讨了曲线的多尺度表达与弯曲树状结构间的关系,提出了曲线的弯曲多叉树模型以及探测方法,并利用曲线弯曲多叉树模型制定了基于弯曲的曲线综合化简策略。该模型在等高线化简上的应用表明,其无论在线要素的整体形态保持上,还是在地理特征的一致性保持上都非常有效。

关键词: 曲线弯曲; 曲线化简; 地图综合

中图分类号: P285.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)07-2793-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.108

Multi-branch tree model of bend for curve and its application in map generalization

LIU Peng-cheng, YANG Wen-bo, LI Chang

(College of Urban & Environmental Science, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper researched the relation between bend multi-branch tree of curve and multi-scale map representation based on bends as a basic structure unit of curve, and proposed the model of multi-branch tree of bend for curve shape, which was based on bend binary tree, whose defects had been pointed out. Furthermore, it brought up a generalization strategy for curve multi-branch tree of bend. The experimental results that the model is used in contour simplification show the algorithm proves very effective in the aspects of holding the shape of line feature, geographic-feature consistency.

Key words: curve bend; curve simplification; map generalization

0 引言

纵观地图多尺度表达建立的各种数据模型,发现众多学者都试图将数据模型表达成树状结构^[1]。究其原因,是由于综合任务的抽象化特征与树的结构类似,对空间表达从高分辨率到低分辨率的转换都具有归并的过程。树结构中,每一深度的节点可以与一定分辨率下的空间表达建立对应,由叶子节点到根的上升过程对应着化简、粗化、归并等综合所要求的抽象化。一个好的模型往往建立在一个高质量的数据结构基础上,通过数据结构的建立,不但能充分地原始数据的特征进行表达,而且还能够从中挖掘出更深一层的知识。另外,最理想的自动综合就是同一数据源在不同尺度下适宜的表达式。地物要素结构层次描述是其实现的途径之一。

线状要素是地图内容中最重要的组成部分。对线状要素层次结构的研究目前已有了一些模型,其中基于几何特征的层次模型有 BLG 树^[2]、条带二叉树^[3]。BLG 树是将 Douglas 等人^[2]对曲线化简算法执行的中间步骤记录下来,其实质是通过采用判断顶点到边界段的紧凑度(closeness)来决定顶点的层次关系。条带二叉树与 BLG 树类似,其以一定的判断条件将曲线段不断地二分成分段。条带二叉树在每个节点处记录所在线段的六元组(首末点的横纵坐标、左右边界点到首尾点

连线的距离以及左右子段指针)^[3]。地图的多尺度表达并非是一个几何变换过程,是需要顾及地图要素地理特征的智能推理过程。面向地理特征的多尺度表达,需要从空间认知意义上解析地图要素蕴涵的空间知识。对曲线而言,其蕴涵的地理特征上的结构化信息主要是通过弯曲特征来表达的。为此,对曲线弯曲特征的识别、结构描述及操作成为目前线状要素多尺度表达研究的热点^[4]。传统对曲线弯曲的识别是基于对拐点、起止端点、极值点、方向绕动奇异点、迂回曲线分界点的判断,在这些特征之间形成一个弯曲^[4,5]。利用特征点识别的弯曲均为同一层次的线性排列结构,没有顾及弯曲的嵌套、层次关系等特征,不便于直接应用到地图的多尺度表达中。文献[6]利用约束 Delaunay 三角网模型提出了一种曲线深度层次二叉树模型,相对于传统基于拐点划分曲线形态的方法,弯曲的划分更加符合人的视觉感受;借助曲线剖分三角形的特点,利用二叉树表示弯曲间的嵌套与深度层次关系。该模型能够直接用于曲线要素的综合化简,是对曲线形态层次结构的有效表达,具有重大的意义。但曲线要素弯曲结构是复杂且多样的,将曲线不断地二分仅仅是基于约束 Delaunay 三角网的排列顺序关系,有时与实际的曲线弯曲形态结构并不相符,因此本文在弯曲二叉树的基础上提出了曲线的弯曲多叉树模型,并将其应用到地图的多尺度表达中。

收稿日期: 2011-11-11; **修回日期:** 2011-12-18 **基金项目:** 数字制图与国土信息应用工程国家测绘局重点实验室开放研究基金资助项目(CWD201005);国家自然科学基金资助项目(41101407)

作者简介: 刘鹏程(1968-),男,湖北潜江人,讲师,博士,主要研究方向为地图多尺度表达(liupe3000@qq.com);杨文博(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为地图多尺度表达;李畅(1982-),男,讲师,博士,主要研究方向为摄影测量。

1 弯曲多叉树模型

在地图数据中,曲线由顺次连接的线段组合而成,构建约束 Delaunay 三角网,由文献[5]提供的模型创建弯曲二叉树。虽然弯曲二叉树在数学上有其严密性,并且对线状要素细部的综合化简有较强的实用性,但曲线的形态由弯曲二叉树来表达有其明显的缺陷。其一,由于弯曲的识别、弯曲的层次关系完全由四类三角网排列方式所决定,但约束三角网并非具有唯一性,当三角网发生局部变化时,弯曲间的层次结构可能出现较大的差异。例如在图 1 中,四边形 2-6-11-24 选用不同的对角线构成三角网,不仅弯曲及弯曲的层次关系发生了很大的变化,而且弯曲树的深度也发生了变化,由 5 层变成了 4 层。其二,通过三角网构成的弯曲二叉树容易导致父弯曲的左右两个子弯曲的面积、周长、深度相差很远,形成严重失衡的奇异弯曲二叉树。例如在图 2 的弯曲二叉树中, A 、 B 弯曲属于父弯曲的两个子弯曲, B 弯曲围成的面积是 A 弯曲的 6 倍, B 弯曲的周长为 A 弯曲周长的 5 倍,形成不对等的弯曲二叉树。其三,现实世界曲线的弯曲是多样的,不完全是二叉树结构,一个大的弯曲可能包含若干个小弯曲。作为用于多尺度表达的层次结构,必须保证在同一层次的各个节点所描述的弯曲单元具有相同和相似的几何形状细节,即弯曲的深度或周长或面积等具有相同的规模。因此必须对按文献[5]构建的弯曲二叉树进行优化,使之更适合曲线要素在地图上的多尺度表达。鉴于此,本文提出了由弯曲二叉树改进的弯曲多叉树。

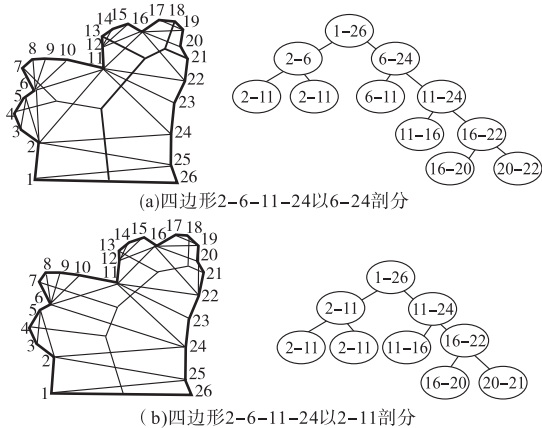


图 1 由三角网局部变化引起弯曲层次关系的变化

弯曲多叉树的构建如下:

a) 构建线状要素的约束三角网。按照文献[6]的算法将线状要素解析成弯曲二叉树,并以下面的数据结构来组织其弯曲结构。其中: $nStart$ 、 $nEnd$ 为本弯曲首尾点在曲线中的序号; $dArea$ 为本弯曲首尾点后形成多边形的面积; $dPerimeter$ 为弯曲的周长; $nBranchNum$ 为子弯曲的个数; $pSonBend$ 为本弯曲下子弯曲指针数组。在最初构建的二叉树中,除叶子节点的各节点的 $nBranchNum$ 为 2,即有两个子弯曲。

```
struct BendStruct
{
    long nStart; // 曲线上点的序号,起点
    long nEnd; // 终点
    double dArea; // 弯曲的面积
    double dPerimeter; // 弯曲的周长
    long nBranchNum; // 子弯曲的个数
    BendStruct * pSonBend; // 子弯曲指针列表
}
```

b) 将二叉树 T 转换为多叉树。其基本思路是:遍历所有

的弯曲,求出当前弯曲下子弯曲的几何参数与该子弯曲所有兄弟弯曲中最小的参数比值,将这个比值与设定的阈值进行比较,若其超过了设定的阈值,则在其父弯曲中删除该子弯曲,并在其父弯曲的子弯曲指针数组添加指向该子弯曲下子弯曲的指针。整个算法可描述如下:

算法 CreateMulti-branchBendTree(T)

输入:多叉树的根弯曲指针 T 和正数阈值 $K(K>2)$ 。

输出:调整后的多叉树的根弯曲指针 T 。

(a) 采用先序(或中序、后序方式)遍历多叉树。

(b) 对于当前弯曲节点 T ,遍历 T 的所有子弯曲,找到 T 的子弯曲中面积最小的弯曲,其面积为 A ,对任一其他子弯曲 T_{Son} (对应的面积为 B)。

(c) if $(B/A) > K$, then 在 T 中删除 T_{Son} 。

(d) 遍历 T_{Son} 的子弯曲,将每一弯曲指针 $pBend$ 添加到 T 的子弯曲指针中,如图 3 所示。

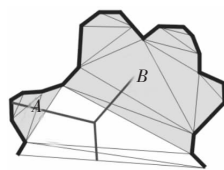


图 2 左右子树不对等的奇异弯曲二叉树

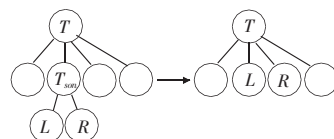


图 3 弯曲节点的删除

在图 4(a)的线状要素中,设定 5 倍周长为判断条件,弯曲 B_2 (从点 17 到点 25)的周长大于弯曲 B_1 (从点 14 到点 17)周长的 5 倍;在图 4(b)的二叉树中将 B_1 、 B_2 作为兄弟弯曲对等起来,显然不合理,根据上述算法在图 4(c)的多叉树中将 B_2 弯曲删除,并在 A 弯曲(B_2 的父弯曲)的子弯曲指针数组中添加指向 C_1 (从点 17 到点 20)、 C_2 (从点 20 到点 25)的指针。这样操作后, B_1 、 C_1 、 C_2 属于兄弟弯曲,三个弯曲在几何特征上处于同一个数量等级,具有相对合理性。

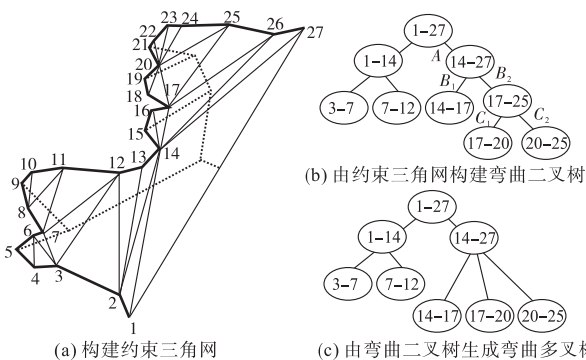


图 4 从弯曲二叉树构建弯曲多叉树的过程

2 弯曲多叉树结构在地图综合中的应用

利用弯曲进行曲线的多尺度表达,即在不同的尺度下对弯曲进行选取和化简。其核心就是删除图形中很小而且不重要的弯曲,保留大的、重要的弯曲,并夸大那些较小又重要的弯曲,保证在地图比例尺允许的条件下,反映线状地物的类型和成因^[7-9]。例如,通过对河流弯曲的化简,以显示河流不同地段的弯曲对比和弯曲的形状。利用弯曲多叉树进行多尺度表达,首先需要提取各弯曲的几何形态参数,如弯曲的面积、周长、深度、底长,并设定各参数的阈值,在一定尺度下,不同的阈值区间采用不同的综合策略。利用弯曲多叉树模型进行地图综合,主要针对叶子弯曲来处理。本文对其采取三种基本综合策略:

a) 叶子弯曲若没有兄弟弯曲且几何尺寸小于给定的阈值, 直接删除, 大于则保留该弯曲。

b) 若干个邻近的兄弟叶子弯曲大小接近且其弯曲尺寸小于给定的阈值, 则取其弯曲的中线。

c) 对弯曲的综合采用递归算法, 第一轮化简后再进行第二轮, 直至没有弯曲再能处理为止。

根据上述三项原则, 下面以图5为例进行说明。图5所示的弯曲多叉树共有5个叶子弯曲, 其中: 弯曲B、E的面积和深度所构成的复合参数大于给定的阈值, 必须保留; 弯曲A不存在兄弟弯曲, 其参数小于阈值, 删除其弯曲, 即删除点4、5、6; 弯曲C、D为相邻的兄弟弯曲, 两者的参数均小于阈值, 则将两弯曲合并处理, 取其两弯曲的中轴线。其综合过程和综合结果如图5所示。对所有叶子弯曲进行一轮处理后, 在新生成的曲线上重新生成弯曲并进行新一轮弯曲处理, 直到所有的弯曲均不能再处理为止。图6为通过弯曲多叉树进行的曲线化简。

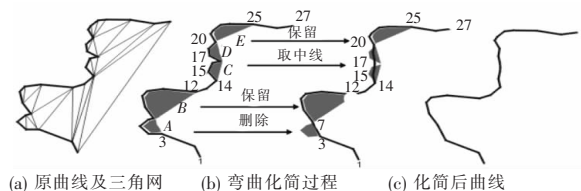


图5 弯曲多叉树综合过程和综合结果

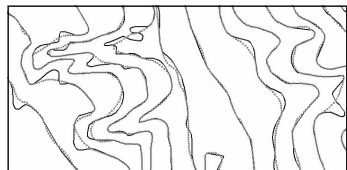


图6 通过弯曲多叉树进行的曲线化简
(实线为综合前的等高线, 虚线为综合后的等高线)

3 结束语

利用弯曲对曲线的综合并不是针对曲线的每个几何顶点, 而是对各个顶点组成的弯曲。这就将曲线的综合决策从几何特征点分析转到图形识别和弯曲分析上来, 这是曲线综合的一个新的方法, 也为曲线综合开辟新的研究领域提供了一种可能性。利用弯曲多叉树对曲线进行多尺度表达, 需要对弯曲几何参量及参量组合所蕴涵的地学分布特征进行分析, 从而制定在不同的尺度下对弯曲指定不同的综合策略, 这也是本文今后研究的方向。

参考文献:

- [1] 邓红艳, 武芳, 翟仁建, 等. 面向制图综合质量控制的数据模型——DFQR 树[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 443-456.
- [2] DOUGLAS D H, PECUKER T K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature [J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10(2): 112-122.
- [3] BALLARD D H. Strip trees: a hierarchical representation for curves [J]. Communications of the ACM, 1981, 24(5): 310-321.
- [4] WANG Z, MULLER J C. Line generalization based on analysis of shape [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1998, 25(1): 3-15.
- [5] 郭庆胜, 黄远林, 章莉萍. 曲线的弯曲识别方法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(6): 596-599.
- [6] 艾廷华, 郭仁忠, 刘耀林. 曲线弯曲深度层次结构的二叉树表达 [J]. 测绘学报, 2001, 30(4): 343-348.
- [7] 王家耀. 普通地图制图综合原理[M]. 北京: 测绘出版社, 1993: 78-84.
- [8] 翟仁健, 武芳, 朱丽, 等. 曲线形态的结构化表达[J]. 测绘学报, 2009, 38(2): 175-182.
- [9] 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, 2001, 40(5): 118-121.