

文章编号: 1007-4619 (2003)04-0292-07

基于 Delaunay 三角网模型的 等高线地形特征提取及谷地树结构化组织

艾廷华, 祝国瑞, 张根寿

(武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北武汉 430072)

摘 要: 基于 Delaunay 三角网模型在矢量等高线基础上通过弯曲特征分析, 给出了一种地形结构特征提取及谷地树组织的方法, 与传统的基于 DEM 或 TIN 数据结构提取地形特征的方法相比, 该方法不仅得到了谷地系统在平面图上的拓扑结构, 还获得了河谷在空间分布上的汇水范围, 依托矢量线、多边形的几何关系判断, 增强了谷地树组织中的结构化, 避免了 DEM 方法中的噪音干扰, 方法的核心是 Delaunay 三角网在单根等高线弯曲深度表达上的层次结构识别。基于系统地实验详细讨论了 3 种树的结构化组织: 等高线弯曲特征嵌套结构表达的二叉树、谷地系统拓扑关系表达的平面结构树、水文意义上主流河谷表达的语义层次树。

关键词: Delaunay 三角网; 地形特征; 谷地系统; 空间分析; 地图综合

中图分类号: P23 **文献标识码:** A

1 引 言

峰、洼地、山脊、谷地、鞍部等地形特征是地形地表在空间分布、延展的具有骨架化控制作用的重要结构化信息, 在地图制图、地貌形态识别、水文分析、DEM 建立等领域具有重要的支持作用^[1-4], 该问题的研究一直是 GIS、水文数据处理感兴趣的。对山脊、谷地等形态特征的定量化分析可追溯到 Horton^[5]对谷地系统的编码及其对谷地分支自相似特征表达的 Horton 法则的建立, 该法则以后经过多名研究者的发展, 使其应用到更广范围地理特征的拓扑性质及统计关系的表达^[6,7]。在地形特征数据结构的研究中, 文献[7, 8]运用二值位串表达谷地河系被认为是一种高效的存储结构, 它十分方便拓扑信息的提取。

随着 GIS、DEM 等分析技术的发展, 用于地形特征存储及编码的数据结构已不是问题, 研究的注意力逐步转移到自动提取地形特征的模型、算法上来。GIS 对地形的表达采用了矢量等高线、栅格 DEM 和不规则三角网 TIN 3 种模型, 3 种表达中地形结构特征均为隐含的, 需要特定的算法提取。其中基于 DEM 数据应用图像处理的方法获取地形结构特征

是研究的热门领域, 产生了众多的算法^[1-3,9-12], 归纳起来可分为两类: 一是采用滑动窗口对其覆盖栅格进行参量计算, 与邻域栅格比较判断极高点、极低点, 通过极值点跟踪搜索出结构线; 二是对每个网格计算坡降方向得到坡度连通矩阵, 判断低洼区域, 运用面积阈值提取谷地特征。基于 TIN 的地形特征提取则是利用了最陡坡降线的原理通过三角形边的内插获取谷地、山脊的分布路线^[13]。相对而言, 直接基于等高线提取地形特征的算法要少得多, 文献[14]基于等高线 Delaunay 三角网模型通过平三角形(三顶点高程相同)判断并运用三角网骨架线原理建立了谷地、山脊地形特征提取的方法, 从实验效果看, 十分破碎、结构性不强。文献[15]基于等高线弯曲曲率的计算, 进行了地形特征点识别的实验, 但没有见到进一步对谷地树结构组织的结果。

由于历史的原因, 掌握在我们手头的地形数据更多的是等高线, DEM 建立的数据来源也主要是等高线, 这样直接从等高线提取地形结构特征便成为一个感兴趣的问题。DEM 建立或向其他数据形式转化中, 需要地形结构特征的支持, 对于基于等高线建立 DEM 的内插算法, 如果有地形结构特征作辅助信息, 其 DEM 的数据质量会大大提高。为适应这一需求, 本文给出一种从等高线提取谷地结构特征的

收稿日期: 2001-11-13; 修订日期: 2002-08-07

基金项目: 自然科学基金资助, 项目号 40101023, 测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金资助, 项目号: 03(0201)

作者简介: 艾廷华(1969—), 男, 研究方向为 GIS 数据综合与数据挖掘、移动 GIS、空间数据不确定性。

方法, 同样采用了 Delaunay 三角网模型, 但与文献 [14] 的方法不同。

2 Delaunay 三角网模型支持下的地形特征提取及结构化组织

Delaunay 三角网是计算几何的一种几何构造, 在对空间剖分中, 其三角形单元具有外接圆规则, 或最大最小角规则^[16], 这一性质使其成为空间邻近分析的有力工具, 广泛用于地图综合、空间分析的冲突探测、邻近关系处理、分布范围搜寻、目标聚合^[17-23]。由于三角网基本单元三角形是二维的, Delaunay 三角网支持下的模型、算法设计多集中于多边形对象上。文献[23]基于曲线上的弯曲特征分析, 引入 Gestalt 原则在 Delaunay 三角网上建立了曲线单侧弯曲深度层次结构表达的二叉树, 描述了不同分辨率下弯曲特征间的嵌套关系。该二叉树表达是对传统的基于拐点定义弯曲方法的改进, 拐点法描述弯曲对于诸如等高线谷地提取是不适宜的, 违背了 Gestalt 对称性、层次性原则。本文是对这一研究的发展, 将基于弯曲的二叉树结构应用到成组等高线的弯曲特征分析中, 通过剖分谷底片断提取地形结构特征线, 并进一步对河谷流域作树结构化组织。

2.1 数据预处理及单根等高线弯曲特征二叉树建立

等高线是将三维地形投影到二维平面的一种表达模型, 地理意义上的谷地、山脊在这种投影模型中表现为几何特征上的弯曲组合。单根等高线上的弯曲可看作是谷地在某一高度水平面上的投影片断, 提取水平面上的“谷地片断”后, 根据水流方向、坡降方向在纵向上将其连接便可得到谷地结构, 这是本文从等高线提取谷地特征的基本思想。该思想的关键是等高线上弯曲特征的剖分及“谷地片断”弯曲的选取。

由于考察的是等高线上的单侧弯曲, 为保证一致需要对成组等高线坐标串方向作规范化处理, 使得所有等高线坐标串进行方向的左侧均为高或为低(重要的是关系一致), 该调整通过缓冲区检索判断实现。对单根等高线上的平面点集建立 Delaunay 三角网, 选取位于谷地所在单侧的三角形子集, 根据三角形间邻近关系搜索获取弯曲段之间层次包含关系的二叉树结构, 这里二叉树的结点定义为三角形边在曲线上所截取的坐标串的一段, 详细的建立方法

见文献[23], 图 2 用多级灰色表达了在图 1 三角网基础上建立的弯曲二叉树层次结构。

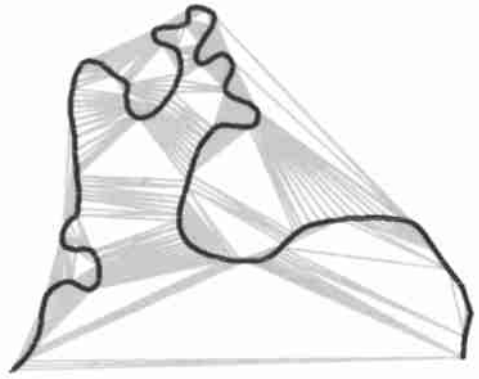


图 1 在曲线覆盖区域建立 Delaunay 三角网
Fig. 1 Delaunay triangulation construction in single contour coverage.

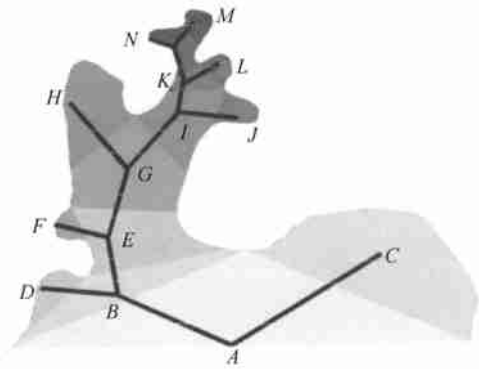


图 2 弯曲嵌套层次结构二叉树表达
Fig. 2 The binary tree representation of bend hierarchical inclusion

2.2 基于分辨率条件的谷地片断选取

基于分形原理, 谷地特征是层层凹陷无限可分的, 对谷地特征的提取必须基于一定的分辨率, 单根等高线剖分弯曲二叉树的每一个结点对应着一定分辨率下的谷地在水平方向上的投影片断。对于图 2 中的二叉树表达, 我们可以以“结点”G 对应的弯曲作为谷地片断, 当分辨率进一步提高后, 可将其分解为“结点”H“结点”I 分别对应的弯曲作为谷地片断, 而“结点”I 还可以进一步剖分。这里我们以谷地深度(在弯曲特征上表现为三角网骨架线距离)作为分辨率控制条件, 根据设定的深度阈值从二叉树上选取合适的结点作为谷地片断。

选取思想为“大中取小”。设定深度阈值 λ , 从树根到叶子结点遍历, 遇到的结点对应弯曲的深度逐步减小, 当首次遇到深度小于 λ 的结点时停止遍

历, 该结点的父结点为深度大于 λ 结点中的最小者, 选取该父结点对应的弯曲作为谷地片断。具体遍历过程叙述如下, 对等高线的弯曲二叉树进行分解, 从树根结点向下遍历, 只要其有一个子结点的弯曲深度大于阈值, 便剪断该结点与两个子结点的连接关系, 分解为两个子结点为根的新的两二叉树, 如果两个子结点的弯曲深度均小于阈值, 停止向其方向深入的分解, 否则继续向下遍历分解, 直到遍历所有树结点。最后选取所有分解后新生成二叉树的根结点作为谷地的弯曲片断(图 3)。一种特殊情形是当遍历到达叶子结点, 该叶子结点弯曲深度又小于 λ , 按照选取条件该结点不能选取, 但顾及到谷地分

支的完整性, 该结点应被选取。基于成组结构考虑, 谷地源头的弯曲深度小但向下发展可能得到整体较深的谷地, 如图版 I 图 4, A, B 弯曲小于阈值 50, 不能简单地将其弃掉, 否则会歪曲谷源, 图版 I 图 5 是基于两种不同深度阈值得到的同根等高线上的不同谷地片断选取。一般, 等高线上矢量点密集, Delaunay 三角网可探测出十分细小的弯曲(可能为矢量点抖动产生), 尽管二叉树选取方法可弃掉底层的弯曲, 隐含实施了分辨率控制下的曲线综合, 但还是建议采用 Douglas 等化简方法对多余点去除, 这一过程可选取保守的化简阈值, 对地理意义的谷地结构特征无影响。

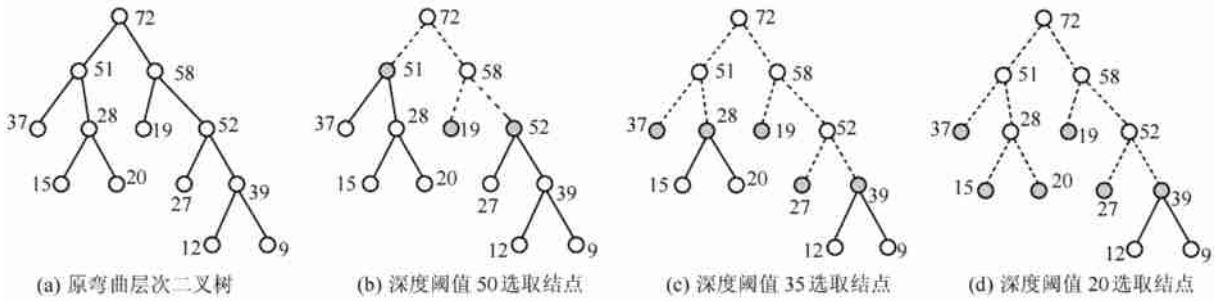


图 3 据深度阈值对二叉树分解及结点选取(虚线为剪断连接, 涂实结点为选取的, 数字为结点对应弯曲的深度值)
 Fig. 3 Binary tree separation and bend node selection based on bend depth resolution(the dashed line represents clipped link, the shades circle represents selected bend, the digit beside circle is the bend depth value)

2.3 谷地顶点探测

在选取的谷地片断弯曲中, 考察其包含的局部三角形, 作骨架线得到以弯曲开口中点为根的骨架树, 比较根到叶结点的路径距离, 取其中最长的叶结点所在位置作为谷地片断的顶点, 取最长路径距离作为谷地片断的水平方向深度。如图 6, 比较 O 到 4 个叶结点 A, B, C, D 的骨架线距离, 得到最远处的 C 点为谷地顶点。有关研究^[12, 15]由曲线曲率探测谷地顶点, 将谷地顶点定义为等高线上单侧极大曲率点, 由于矢量数据的对诸如坐标点的抖动等产生的曲率高敏感性, 在实际应用中很难得到理想的结果, 谷地顶点的探测不仅要考虑矢量点在局部几何性质上的变化, 还要考虑矢量点两侧范围的上下文环境。本方法从 Delaunay 三角网对弯曲剖分层次结构出发, 在限定弯曲范围条件下选取谷地顶点, 从图版 I 图 7 实验样图看, 视觉效果与人工识别相一致。

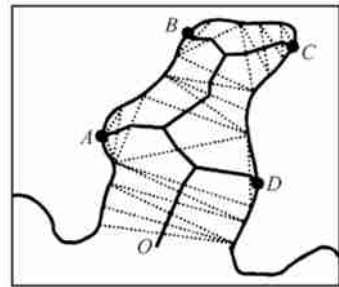


图 6 由骨架线最长分支确定谷地顶点为 C
 Fig. 6 The branch end point C is regarded as valley bottom point according to the longest skeleton branch principle

2.4 谷地特征平面结构树建立

谷地特征是典型的树结构, 具有大谷地套小谷地的层次性, 体现了谷地系统中水流方向及汇合关系。谷地树中的顶点集包括“出口”(outlet)根结点、“源头”叶结点, 及各分枝谷地的汇合交叉点; 边集包括与源头叶结点相关的连接, 汇合口之间的及出口

与最邻近支流汇合口之间的连接, 文献[11] 将前者称为外连接(exterior links), 后者称为内连接(interior links)。山脊线的连接也具有树结构形式^[4], 不过没有谷地那样明显, 其根结点位于山峰处。

在水文意义上, 谷地分枝的汇合形成了主流、支流之分, 具有语义重要性差异, 形成了每一谷地分枝“拥有”若干汇入支流的包含层次关系。将谷地分枝

定义为结点, “拥有”关系定义为连接, 可得到语义层次上的另一种形式的树, 为了区分将这种树称为语义层次树, 而将前面叙述的谷地树称为平面结构树, 两种树的组织结构如图 8 所示, 对于图 8(b) 的谷地系统, 对应图 8(c) 平面结构树, 其结点为谷地分支的汇合点、谷源和流域出口, 图 8(a) 树的结点为完整的河谷分支。

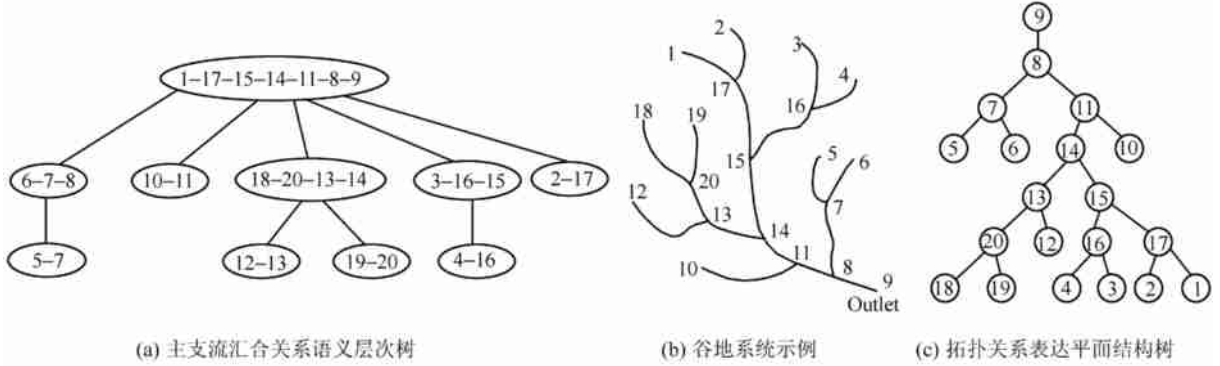


图 8 谷地系统示例及两种树组织结构

Fig. 8 An Illustration of drainage system and two kinds of tree organization

平面结构树表达了平面图结构上的谷地分枝间的拓扑关系, 而语义层次树经过抽象表达了地理上的重要性差异。语义层次树是对平面结构树的进一步组织, 它直接回答谷地系统中谁为主干谷地(河流), 该问题是水文研究中感兴趣的。Horton^[5] 提出的分级编码, 即是一定程度上对该问题的问答。本小节讨论平面结构树的建立, 2.5 节讨论语义层次树。

平面结构树是在谷底顶点基础上的连接关系表达, 根据相邻关系搜索跟踪, 分为 3 步: 由谷地顶点到谷地分枝的连接、由谷地分枝到树结构的连接、谷地树的重组织。

2.4.1 谷地顶点到分枝的连接

谷地顶点的连接要考虑最短距离、法线方向、相交性等几何条件, 并要协调处理好不同约束条件之间的矛盾。某些条件约束过强, 导致连接结果破碎; 条件放松, 造成连接路径的牵强。图 9 左 AC 连接只满足距离最短, 图 9 中 AC 满足最接近弯曲开口法线方向, 图 9 右 AC 与 C 所在的弯曲段相交, 三种情形下的 AC 连接均不合理。相邻谷地顶点的连接应保证不穿越任何等高线, 如果逐条比较, 是一个相当耗时的过程。我们采用如下的条件寻找谷地顶点 A 的下一个连接点 B。



图 9 谷地线搜索中的几何约束条件示例(AC 为不正确连接, AB 正确)

Fig. 9 Cases of wrong link from high valley vertex to low in valley line detection. (AC wrong, AB correct)

设所有谷地顶点集为 b_0 , 则

(I) 在 b_0 中寻找顶点高程值比 A 点的高程值小一个等高距的顶点子集 b_1 ;

(II) 在 b_1 中寻找与 A 连接距离小于预设阈值 d 的子集 b_2 , $b_2 = \{B_i | B_i \in b_1 \ \& \ |AB_i| < d\}$;

(III) 在 b_2 中寻找位于 A 所在弯曲及其开口围成的多边形内的顶点集 b_3 , 如果 b_3 不为空, 则选取 b_3 中与 A 连接距离最短的点 B 结束, 否则转 IV;

(IV) 在 b_2 中寻找与 A 所在弯曲开口线段相交的顶点集 b_3' ;

(V) b_3' 中寻找与 A 所在弯曲段不相交的顶点集 b_4 , 在 b_4 中寻找与 A 连接距离最短的点 B 。

以上 II 或 V 的得到的 B 点即为所求, 有 $B \in b_4 \subset b_3' \subset b_2 \subset b_1 \subset b_0$ 或 $B \in b_3 \subset b_2 \subset b_1 \subset b_0$ 由 I, II, III, IV, V 顺序条件逐步加强, 子集 b_i 的元素逐步减少, 且收敛速度由快到慢, 尽量将线段求交判断压缩在最小范围内。对于图 9, 条件 IV 可识别 (a), 条件 V 可识别 (b), (c) AC 连接的不合理性。条件 II 是根据经验和研究区域地形分布特征选取距离阈值, 过滤一批明显不需要经过后继步骤判断的谷地点, 图版 I 图 10 中的黄色线即为谷地顶点连接的结果。

2.4.2 谷地分枝到树结构的连接

要得到树状的连通的谷地结构, 需要对谷地分枝进一步连接, 建立谷地汇合关系, 该连接条件较前者要放松, 可跨越多根等高线, 一个重要的约束条件是该连接不能穿越任何谷地分枝。实地中谷地汇合处可能无明显的地表凹陷, 在等高线上表现为无弯曲特征, 但根据整体结构趋势, 认为其间存在连通关系, 汇集成流域系统。图版 I 图 10 中棕色线划为分枝到树结构连接的结果, 犹如对各分支的“焊接”。

2.4.3 平面结构树组织

谷地分枝的中部可能接受了其他分枝的连接汇合, 需要在汇合点将原谷地分枝分解, 得到最基本的分枝段, 在此基础上按照节点匹配连通关系及水流方向组织建立平面结构树。根节点为汇合水流的总出口, 叶子节点则为分枝谷地的源头。文献[11]认为平面结构树节点的度为 0 或 3, 但在分析中可以发现节点的度可能超过 3。即有多于 2 条河谷汇合产生下游河谷的情形。地貌类型冰碛盆地接受三面汇水, 便可产生这种情形。平面结构树构成了地表区域汇水区域单元 (catchment), 弯曲所在的多边形

叠置区域构成了树状汇水缓冲区, 实验结果如图版 I 图 11 所示。

2.5 语义层次树组织

在平面结构树上选取合适的谷地分枝生成主河谷, 并建立主、支流汇合关系, 是从语义上对谷地分支重组。根据水流方向, 在平面结构树的中间结点处, 多条上游河谷汇合产生惟一下游河谷, 满足下列条件的上游谷地有更多的可能性与惟一下游谷地组合得到主干河谷:

(I) 几何上连接方向是连续的;

(II) 至叶节点的路径长;

(III) 坡降缓和;

(IV) Horton 码值高。

这些条件在某种情形下具有较高相关性, 根据任一条件组织语义层次树会得到相同的结果, 但在某些情形下不能保持一致, 如水流方向连续的 (接近 180°) 可能是从距汇合点很近的源头叶节点发源的谷地分枝, 在坡降差异不明显情况下也难于判断主河谷。通过多次实验, 我们发现运用条件 II 得到的结果较好, 由根到叶节点的每一条路径, 选取其中最长的为主谷地, 然后以主谷地的分界点向下同样根据最长路径判断下一级的主谷地。反复进行直至所有谷地分支均被遍历。图版 I 图 11 为判断实验可视化结果, 图中谷底线深浅反映谷地的级别, 线划粗细变化反映了河流谷地水流方向, 它与从源头到该处的距离成正比。至此完成了谷地系统完整的结构化组织, 图版 I 图 11 实验结果包含了 3 项信息内容, 谷地系统的平面图上的拓扑关系、平面分布上的汇水范围和语义上的层次关系。

3 结论与讨论

地形结构特征提取是空间数据挖掘的重要内容, 从 DEM 数据提取该特征已经有较成熟的方法, 而从等高线上挖掘谷地、山脊结构特征数据有待于进一步发展。基于矢量等高线提取地形特征, 关键是弯曲的剖分, 本文运用 Delaunay 三角网模型提取不同分辨率条件下的弯曲, 作为谷地组织的特征片段, 顾及了弯曲的层次结构。在平面结构树和语义层次树组织上, 依托于矢量点线面的几何关系判断, 使得结点、弧段、路径等元素的结构化组织有辅助信息支持。本文研究的实验在作者自行研制的交互式地图综合软件 DoMap 上完成, 由 Visual C++ 编程

实现。本研究需要进一步完善的内容有:

(1) 在弯曲二叉树上选取合适谷地片段“结点”的条件需进一步优化, 寻找决定谷地分辨率的几何特征描述, 目前仅仅根据弯曲在水平投影上的深度条件不够, 需考虑三维几何特征。

(2) 在语义层次树组织上, 主谷地提取的条件应综合考虑, 引入水文意义上的条件因素。

(3) 与基于 DEM 提取地形特征的方法比较, 吸收某些优势, 使本方法进一步优化。DEM 提取地形特征具有多年研究历史, 众多学者提出了各种算法, 其中关于坡度计算、地形特征点识别、结构线跟踪方法等可引进到本方法的研究中。

参考文献 (References)

- [1] Band L E. Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models [J]. *Water Resource Research*, 1986, **22**(1): 15—24.
- [2] Mark D M. Automated Detection of Drainage Network from Digital Elevation Model [J]. *Cartographica*, 1984, **21**(3): 168—178.
- [3] Yoeli P. Computer-Assisted Determination of the Valley and Ridge Lines of Digital Terrain Models, International Yearbook of Cartography [C]. 1984, Band XXIV: 197—206.
- [4] Weibel R. Model and Experiments for Adaptive Computer-Assisted Terrain Generalization [J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1992, **19**(3): 133—153.
- [5] Horton R E. Erosion Development of Streams and Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology [J]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 1945, **56**(3): 275—370.
- [6] Strahler A N. Dynamic Basis of Geomorphology [J]. *Bulletin of Geological Society of America*, 1952, **63**(7): 923—938.
- [7] Shreve R L. Statistical Law of Stream Numbers [J]. *Journal of Geology*, 1996, **74**(1): 17—37.
- [8] Scheidegger A E. Effect of Map Scale on Stream Orders [J]. *Bulletin International Association of Science Hydrology*, 1996, **11**(1): 56—61.
- [9] O' Callaghan J F, Mark D M. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1984, **28**(3): 323—344.
- [10] Qian J, Ehrlich R W, Campbell J B. Bnesys: An Expert System for Automatic Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, **28**(1) 29—45.
- [11] Wemer C. Formal Analysis of Ridge and Channel Pattern in Maturely Eroded Terrain [J]. *Annals of the Association of America Geographers*, 1988, **78**(2): 253—270.
- [12] Wolf G W. Weighted Surface Networks and Their Application to Cartographic Generalization [A] W. Barth. Visualization Technology and Algorithm [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- [13] Jones N L, Wright S G, Maidment D R. Watershed Delineation with Triangle-Based Terrain Models [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1990, **116**(6): 1232—1251.
- [14] Tang L. Automatic Extraction of Specific Geomorphological Elements from Contours [A]. Proceedings of the 5th SDH conference [C]. Charleston, SC. 1992, Vol. 2: 554—556.
- [15] Fei L F. Experiments of Group-generalization of Contour Lines on Topographic Maps [J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 1993, **18**(supplement): 6—22. [费立凡. 地形图等高点成组综合的试验 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1993, **18**(增刊): 6—22]
- [16] Preparata F P, Shamos M I. Computational Geometry [D], 1985, New York: Springer-Verlag.
- [17] Jones C B, Bundy G L, Ware J M. Map Generalization with a Triangulated Data Structure [J]. *Cartography and Geographic Information System*. 1995, **22**(4): 317—331
- [18] Gold C M, Nantel J, Yang W. An Alternative Approach to Forest Map Digitizing [J]. *Int. Journal of Geographical Information Systems*, 1996, **10**(3)291—310.
- [19] Bader M, Weibel R. Detecting and Resolving Size and Proximity Conflicts in the Generalization of Polygonal Maps [A]. Proceedings of the 18th ICC [C]. Stockholm, Sweden, 1997, Vol. 3: 1525—1532.
- [20] Ai T H, Guo R Z. Extracting Center-lines and Building Street Network Based on Constrained Delaunay Triangulation [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 2000, **25**(4): 126—134. [艾廷华, 郭仁忠, 基于 Delaunay 三角网结构的街道中轴线提取及网络模型建立 [J]. 测绘学报, 2000, 25(4): 126—134.]
- [21] Ai T H, Guo R Z. A Constrained Delaunay Partitioning of Areal Objects to Support Map Generalization [J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, **25**(1): 35—41. [艾廷华, 郭仁忠. 支持地图综合的面状目标约束 Delaunay 三角网剖分 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(1): 35—41.]
- [22] Ai T H, Wu H H. Consistence Correction of Shared Boundary Between Adjacent Polygons [J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, **25**(5)125—130. [艾廷华, 毋河海, 相邻多边形共享边界的一致化改正 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 125—130.]
- [23] Ai T H, Guo R Z, Liu Y L. A Binary Tree Representation of Bend Hierarchical Structure Based on Gestalt Principles [A]. Proceedings of the 9th International Symposium on Spatial Data Handling [C]. Beijing, 2000.

Extraction of Landform Features and Organization of Valley Tree Structure Based on Delaunay Triangulation Model

AI Ting-hua, ZHU Guo-rui, ZHANG Gen-shou

(*School of Resource and Environment Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China*)

Abstract: Terrain landform features play major roles in such fields as geomorphology type recognition, relief map generalization, DEM construction and hydrology analysis. This paper presents an automatic method to extract terrain landform features and organize drainage system into tree structure based on bend assessment using Delaunay triangulation model. Compared with traditional DEM or TIN based methods, this pure vector approach obtains not only the topological structure of drainage system in planar graph, but also the valley distribution polygon range. Depending on geometrical computation and judgment of vector line, polygon, the structured properties in drainage representation is enhanced, avoiding the case of noise disturbance in DEM based method. The core algorithm makes use of the ability of Delaunay triangulation in detecting hierarchical structure of each contour line. Three kinds of tree structure organization are discussed: the hierarchical binary tree representing bend inclusion relationship contained in single contour line, the plane structure tree representing valley topological relationship, the semantic hierarchical tree representing valley join level from the point of view of hydrology. This paper gives systemically experiment and detailed comparative analysis.

Key words: delaunay triangulation; landform features; drainage system; spatial analysis; map generalization

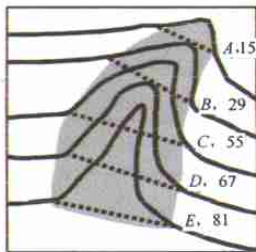
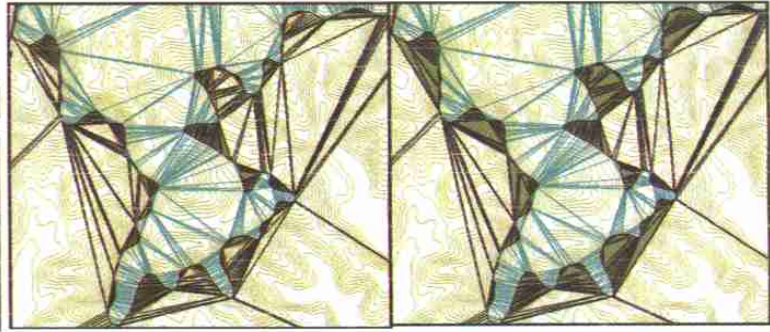


图 4 不同深度弯曲组合构成谷地



(a) (b)
 图 5 同一等高线基于不同深度阈值提取的谷地片断

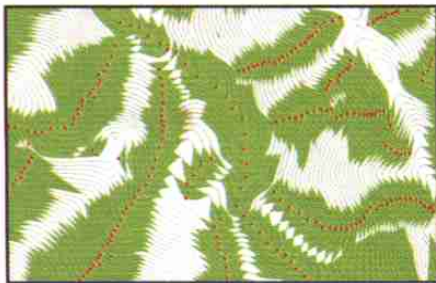


图 7 谷地顶点提取实验

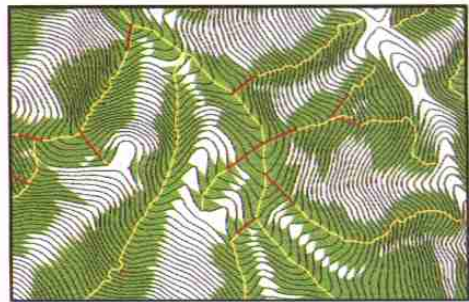


图 10 谷地线跟踪连接实验
 (黄色线为谷地分支, 棕色为分支到树结构的“焊接”)

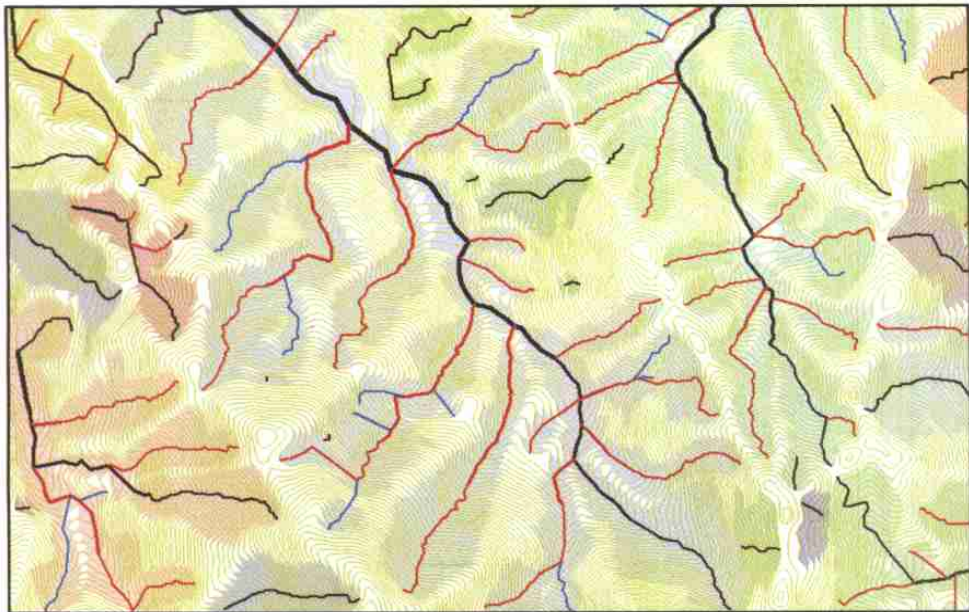


图 11 谷地语义层次树自动构建实验结果可视化
 (谷地线深浅反映其级别, 线划粗细与当前点到出口距离成正比, 反映水流方向, 随机普染色区分谷地汇水系统)