

文章编号:1001-1595(2009)03-0272-04

## 一种基于谷地填充的 DEM 综合方法

李精忠,艾廷华,王 洪

武汉大学 资源与环境科学学院,湖北 武汉 430079

## The DEM Generalization Based on the Filling Valley Coverage

LI Jingzhong, AI Tinghua, WANG Hong

School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract** : This study presents a structured approach to generalize DEM data through the identification of minor valley and filling the corresponding grids. The generalization process includes two steps: geographic decision and geometric operation. According to the hydrological significance, the unimportant valley branches are detected and then the corresponding coverage is filled by raising the terrain to make the terrain surface smoother. The motivation of this method is based on the consideration that topographic form is the integrated result of internal and external forces with the former constructing the main landform and the latter generating the minor landform. The terrain generalization is to obtain the original and main landform by reducing effects by external force. In contrast to the conventional algorithms based on the image processing, such as resample or low-pass filter, this method is able to remain the main geographical characteristics more effectively in terrain representation.

**Key words** : DEM; map generalization; terrain representation; multi-scale representation

**摘 要** : 提出一种基于次要谷地特征识别与填充的结构化 DEM 综合方法,该方法将地理层次的综合决策与几何层次综合操作整合到一起,以水文重要性作为谷地取舍的依据,对被舍弃的次要谷地填充其覆盖区域使局部地形变得平滑,从而实现 DEM 综合。该方法的原理基于如下考虑:地貌形态是内力和外力作用共同影响的结果,内力地质构造形成主要形态,外力侵蚀作用形成次要形态。旨在获得地貌主体特征简化表达的 DEM 综合可看做是一个弃除外力作用、还原内力作用的过程。通过实验及与其他基于图像处理算法(如重采样、低通滤波)的比较,发现本方法能够较好地保持地形特征的主体结构。

**关键词** : DEM; 地图综合; 地形表达; 多尺度表达

中图分类号: P283 文献标识码: A

基金项目: 国家 863 计划(2007AA12Z209, 2007AA12Z346-5(1)); 国家科技支撑计划(2006BAB10B01-C)

## 1 引 言

DEM 作为地球空间信息框架的基本内容和其他各种信息的载体,为适应多领域不同层次的应用需求,它通常需要基于同一数据源而导出不同分辨率表达,需要地图综合技术来实现其尺度变换。地图综合是对空间信息抽象、概括的过程,而不是简单的数据压缩<sup>[1]</sup>,是一种面向地理特征的、结构化的综合行为。对地理特征成因的分析将有助于综合方案的制订,就地貌要素而言,可以认为任一地貌形态都是地质构造内力与发育过程中环境侵蚀(流水、风化、风力、冰蚀、溶蚀等)外力作用共同影响的结果,地质构造决定地貌的主体形态特征,外力侵蚀作用决定地貌的细节表象。因此,当我们需要获得低分辨率条件下的地貌主体特征表达时,关注的是地质构造作用的结果,这

就需要通过“反侵蚀”作用去除外力的影响,还原到地质构造的原貌,地貌综合是一种反侵蚀的过程。

作为地图要素重要构成部分的地貌的自动综合,一直是本研究领域的热点问题。地貌综合的一些熟知方法可归为三类,即全局滤波法、选择性滤波法和结构线综合法<sup>[2-5]</sup>。对规则网格 DEM 的综合而言,前面的研究不同程度地关注了地理特征在综合中的作用,但缺乏可操作性的模型与算法将地理特征与 DEM 网格点关联起来并进行一致化的综合化简。本文将运用基本的 GIS 操作提取谷地特征,并在此基础上进行谷地的选取与填充以实现 DEM 综合。

## 2 谷地选取

在常规手工地貌综合中,首要的步骤是在等

高线上勾绘谷地形结构线<sup>[6]</sup>,然后在结构线上决策删除次要谷地,同时将相应的等高线上的弯曲组拉平,即先识别次要谷地,然后对它施行“反侵蚀”操作。DEM 作为地貌形态表达数据类型的一种,也应当遵循上述综合原则。从地图综合的角度,谷地网络的选取涉及 2 个基本问题,即 ① 选取多少;② 选取哪些。

受数据模型的限制,DEM 数据显式记录了每一网格点的高程值,而具有重要意义的地形特征的信息则是隐含其中的,需要借助算法模型来提取。基于 DEM 数据提取谷底线、山脊线及汇水区是 GIS 领域研究的热点,产生了众多的算法,ArcGIS 9.2 的空间分析模块即提供了基于 D8 方法的实现<sup>[7]</sup>。

按谷间距选取和按比例选取是问题①常见的 2 种选取方案<sup>[6]</sup>。顾及到谷地系统的分形特征,文献<sup>[8]</sup>提出一种基于分维的河流网数量选取模型,本文对谷地选取数量的确定即是使用该模型。对于问题②的处理是一个带有智能性推理的决策行为,难度很大,目前尚未形成普遍适用的模型。判断谷地分支在谷地系统中的重要性需要综合考虑多方面的因素,至少包括:① 谷地分支自身的特征,如谷地深度、长度、宽度、面积等;② 与邻近分支的相互关系,如谷间距、谷地分布密度、地理分布模式等;③ 在流域中的地位,如主河源谷地与非主河源谷地。因此,在操作上很难找到一个简单的参数能够整合上述 3 个方面的因素以作为谷地重要性的判别依据。

为简单起见,选择谷地的汇水面积作为其重要性的判别依据。谷地汇水面积是一个综合性的指标,它在一定程度上是对诸多因素的集成考虑<sup>[1]</sup>,包括 3 个方面:① 局部环境下的分布密度,密度越大,汇水面积越小,同等级的谷地,分布于谷地稀疏地区的较分布于谷地密集地区的重要;② Horton 码等级,根据 Horton 码的层次结构特征,某级别谷地的汇水面积必然大于其任一分枝的汇水面积,这样就保证了父支流的优先级,不会出现父支流被删除而子支流被保留的“谷地悬空”情形;③ 谷地长度与宽度,很显然,谷地越长越宽则汇水面积越大。

关于以汇水面积作为谷地选取指标的详细论述参见文献<sup>[1]</sup>。就本文而言,从可操作性角度,在 DEM 基础上提取谷地汇水面积具有成熟的算法。因此,对于谷地的选取采用如下流程:计算各

分支的汇水面积并排序,然后依序选取重要的谷地,直到谷地数量达到应保留的谷地数量为止。

### 3 谷地填充

对于综合后的谷底线网络,可以有 2 种不同的处理策略。一是以保留的谷底线为切入点,将其作为输入数据,通过内插的方法重建较低分辨率下的 DEM,这是传统的结构线综合方法<sup>[9]</sup>。二是以舍弃的谷底线为切入点,通过“填充”其覆盖区内的低洼地带使得地表平滑以达到 DEM 简化,这是本文采用的方法。方法一严重依赖于作为输入数据的结构线,而结构线通常存在上游不达源头的情况,因此内插出的 DEM 存在谷地源头丢失的现象。而本文以汇水区域控制填充范围,不会出现源头丢失的现象。

本文对谷地填充的基本思想是抬升谷地覆盖区内各点高程改变水流方向,致使其由较高一侧的山脊平滑流向较低一侧的山脊,而非汇集于谷底。考虑到 DEM 综合中舍弃的次要谷地大多分布于上游地段,其谷底线一般较为平直,本文提出一种适于次要谷地填充的“法线填充模型”,该模型以谷底线的法线衔接左右两侧的山脊作为填充路径,以法线与汇水区边界的两个交点作为锚点(极高点 and 极低点)控制填充的幅度。

“法线填充模型”在具体实施过程中可能遇到 2 个问题:① D8 算法在提取谷底线时,地形高处的点因其汇水量较小而常被遗漏,存在谷底线不到源头的问题(如图 1(c)所示),致使其垂线族不能完全覆盖汇水区;② 谷底线穿越的网格点其流向各不相同,致使法线方向也不尽相同。为达到较好的综合效果,针对问题①,延伸谷底线至谷地源头;针对问题②综合谷底线的方向得出一个主方向。基于上述考虑,谷地填充采用以下步骤:

1. 延伸谷底线。基于 D8 流向矩阵和汇水量矩阵,当前点的上游谷底点可按如下 2 个步骤追踪出来:① 所有流向当前谷底点的网格点为候选上游点,② 候选点中汇水量最大者为当前点的上游点,若不止一个最大者则取流向最接近的为上游点。递归此过程直到候选点为 0,则谷底线延伸完毕。如图 1 所示,图 1(a)是原始 DEM 矩阵,图 1(b)是基于 D8 算法的汇水量矩阵(上)和流向矩阵(下),图 1(c)是以 10 为阈值提取的谷底线(图中虚线部分),显然谷地源头丢失,图 1(d)是按照上述算法延伸的结果图。

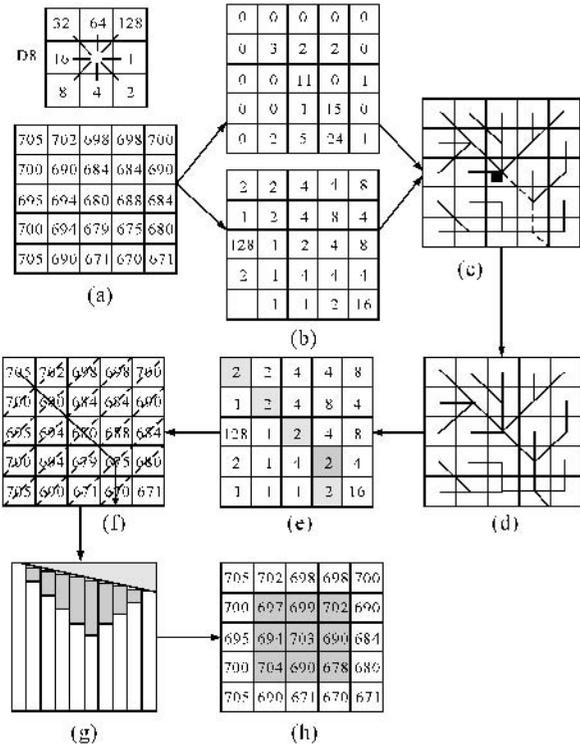


图 1 谷地填充的流程

Fig. 1 The flow chart of filling valley coverage

2. 生成谷底线主方向。统计谷底线穿越各点的流向,以 8 方向中出现频率最高者为谷底线的主方向。如图 1(b)及图 1(e)所示,综合前谷底线穿越的网格点存在 2 和 4 两种流向,综合后图 1(e)中灰色的网格点方向由 4 变为 2。

3. 基于主方向对谷底线穿越各点作垂线获得填充路径。主方向为 2 的谷底线的法线走向为东北-西南向,图 1(f)中虚线族即为填充路径。

4. 谷地填充。以各条路径的两端点为控制点,以线性内插的方法填充中间各点。图 1(g)为使用线性内插方法填充的剖面图,图 1(h)为填充后的结果矩阵(灰色部分为高程发生改变的网格)。

图 2 为基于真实地理数据的谷地填充过程的实例,以进一步说明谷地填充的思想。其中图 2(a)为等高线与原始谷底线的叠加图,不同的灰度表示不同的汇水区,显然,谷底线没有到达汇水区的顶部;图 2(b)为谷底线延伸的结果图;图 2(c)中箭头表示谷底线主方向,黑色线段表示基于主方向的填充路径;图 2(d)为填充的结果,通过与图 2(a)中的等高线对比,不难发现等高线表达中与谷地对应部分的弯曲组被删除了。值得注意的

是,矢量填充路径在栅格化的过程中,可能存在漏掉网格或同一网格多次栅格化的问题,这就导致某些网格没有被填充或填充多次。对于没有填充的情况可以通过后处理的方式探测并以邻近网格的高程内插出该点高程,对于重复填充的情况可取多次填充的平均值代替。

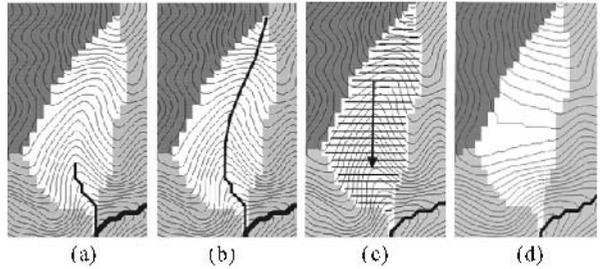


图 2 谷地填充

Fig. 2 The process of filling valley coverage

### 4 实验与结论

整个实验包括两大部分,即数据预处理部分和 DEM 综合部分。其中数据预处理部分(谷底线、汇水区提取)利用 ArcGIS9.2 的空间分析模块完成;DEM 综合部分(谷地选取和填充)在作者开发的交互式地图综合软件 DoMap 上完成,由 Visual C++ 编程实现。为了验证上述方法的有效性,在 ArcGIS 软件下,利用重采样及低通滤波方法做了相同的实验。实验结果如图 3 所示。为了便于比较,从 DEM 派生出等高线来观察综合效果。从等高线图可以看出,重采样方法只能去掉一些琐碎的地形变化,综合效果甚微。低通滤波方法能够生成光滑的等高线,但所有的谷地源头都被丢弃了。通过对比不难发现,本文的方法综合效果明显,次要谷地被丢弃的同时主体谷地得以保留,并且通过引入谷底线作控制谷地源头也能够较好地得以保留。

本文是基于“反侵蚀”的思想对规则网格 DEM 进行自动综合的尝试。其关键问题是次要谷地的判断与填充。在谷地选取过程中,谷地汇水面积作为一个综合性指标,被作为判别谷地重要性的依据。理论上沟谷深度、分布模式也是谷地选取时应予以顾及的因素,其算法更为复杂<sup>[10]</sup>,这是作者拟进一步研究的目标。

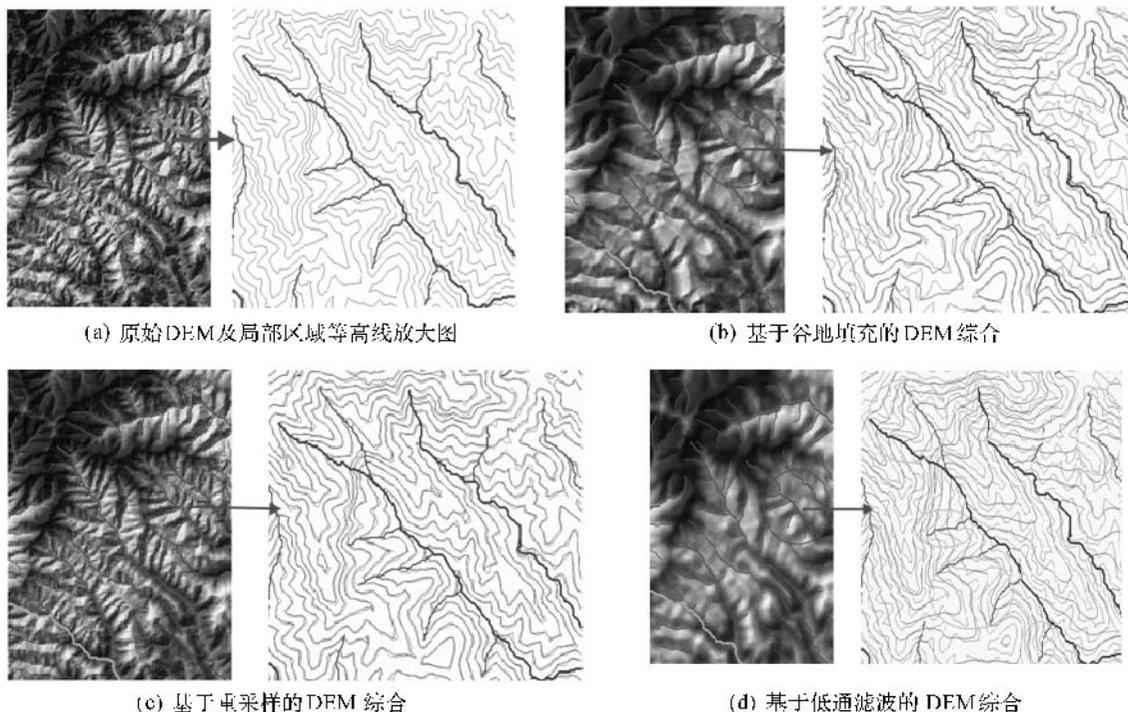


图3 不同算法综合效果对比

Fig. 3 The effects with different DEM generalization approaches

## 参考文献:

- [1] AI Tinghua, LIU Yaolin, HUANG Yafeng. The Hierarchical Watershed Partitioning and Generalization River Network[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(2):231-236. (艾廷华,刘耀林,黄亚峰. 河网汇水区域的层次化剖分与地图综合[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 231-236.)
- [2] WEIBEL R. Models and Experiments for Adaptive Computer-Assisted Terrain Generalization[J]. Cartography and Geographic Information System, 1992, 19(3):133-153.
- [3] FEI Lifan, HE Jin, MA Chenyan, et al. Three Dimensional Douglas-Peucker Algorithm and the Study of Its Application to Automated Generalization of DEM[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2006, 35(3):278-284. (费立凡,何津,马晨燕,等. 3维 Douglas-Peucker 算法及其在 DEM 自动综合中的应用研究[J]. 测绘学报, 2006, 35(3):278-284.)
- [4] FEI Lifan. Experiments of Group-generalization of Contour Lines on Topographic Maps[J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1993, 18(Sup): 6-22. (费立凡. 地形图等高线成组综合的实验[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1993, 18(增刊):6-22.)
- [5] YANG Zuqiao, GUO Qingsheng, NIU Jiping, et al. A Study of Multi-scale DEM Representation and Topographic Feature Line Extraction [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 34(2):134-137. (杨族桥,郭庆胜,牛冀平,等. DEM 多尺度表达与地形结构线提取研究[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 134-137.)
- [6] ZHU Guorui. Cartography[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004. (祝国瑞. 地图学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.)
- [7] 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.
- [8] WANG Qiao, WU Jitao. Fractal Transformation of Square Root Model in Cartographic Generalization[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1996, 25(2):104-109. (王桥,吴纪桃. 制图综合方根规律模型的分形扩展[J]. 测绘学报, 1996, 25(2):104-109.)
- [9] ZAKŠEK K, PODOBNIKAR T. An Effective DEM Generalization with Basic GIS Operations[C]//Proceeding of 8th ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation. Ljubljana: [s. n.], 2005.
- [10] AI T. The Drainage Network Extraction from Contour Lines for Contour Line Generalization[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(2): 93-103. (责任编辑:丛树平)

收稿日期:2008-03-28

修回日期:2008-07-23

第一作者简介:李精忠(1983-),男,博士生,主要研究方向为地图综合及空间数据多尺度表达。

E-mail:lilideyx@126.com

First author: LI Jingzhong(1983-), male, PhD candidate, majors in map generalization and spatial data multiple representation. E-mail:lilideyx@126.com