

Technology and Application Research of Contours' Holistic Generalization

Hehui Liu, Songbai Zou

32022 Troops, Wuhan Hubei
Email: gis_seek@126.com

Received: Jan. 4th, 2018; accepted: Jan. 22nd, 2018; published: Jan. 29th, 2018

Abstract

Contours generalization is a key task of the geography information's comprehensive approach, but there are many difficulties with existing tools, such as it cannot maintain the basic morphological characteristics of topography, and also cannot take into account the harmonization between the contour lines. This paper puts forward a technology of contours' holistic generalization that gradually eliminates valleys based on the hierarchical level of the terrain feature lines and can control the generalization in the mass. The method of synthesis algorithm based on the relationship between the characteristic line levels, reasonably selects lower-grade characteristic line for valley generalization. It can goodly maintain the basic characteristics of topography, consider the harmonization between the contour lines, and be fit for quickly contours generalization.

Keywords

Terrain Feature Lines, Hierarchical Relationships, Maximum Cumulative Amount, Holistic Generalization

等高线整体综合方法研究

刘合辉, 邹松柏

32022部队, 湖北 武汉
Email: gis_seek@126.com

收稿日期: 2018年1月4日; 录用日期: 2018年1月22日; 发布日期: 2018年1月29日

摘 要

等高线制图综合因其关系复杂, 处理难度大, 现有软件的等高线综合手段实用化水平不高、效果不理想,

本文提出一种等高线整体综合方法: 根据谷地的主次关系, 从整体上控制谷地的逐步综合。该方法研究了基于特征线层次关系的综合算法, 合理控制等高线谷地的综合次序, 通过依次选取次要特征线删除谷地, 实现了等高线渐次综合, 满足了等高线制图综合要求, 能够较好地保持地貌基本形态特征, 同时兼顾了等高线间的协调性, 较好弥补了现有GIS软件在地貌综合方面的不足, 适合等高线快速综合处理与编辑。

关键词

特征线, 层次关系, 最大累积量, 整体综合

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于地貌自然变化频率、范围不大, 且已完成国内系列比例尺等高线的综合与生产, 因此国内只涉及到少量区域等高线的更新与综合, 工作量较小; 但随着全球信息化建设的迫切需求, 必然要涉及到境外, 特别是热点区域与重点区域的地理信息需求。对于境外等高线数据, 目前只能获取前苏联、美国等生产的 1:100 万地形图数据, 大比例尺等高线数据尤其矢量数据则少之又少。因此, 如何利用现有资源获取一定比例尺的等高线(主要是指从高精度的 DEM 获取大比例尺等高线), 然后通过等高线综合技术手段, 生成其它中小比例等高线, 在满足等高线综合精度的前提下, 完成全球等高线信息获取与处理, 适应地理信息全球化应用需求, 这对地理信息特别是等高线的快速综合处理提出了新的需求。

由于等高线是通过相邻间的关系整体表现地形特征, 因此等高线综合方法不同于其它要素, 它要顾及地形的整体形态特征和等高线之间的协调套合关系, 采用“压负扩正”原则消除次要谷地, 以保持地貌形态与等高线清晰度之间的合理平衡, 进而增加了等高线综合的难度。等高线综合要在全局上掌控谷地的压缩程度与优先压缩顺序, 是地图自动综合的重难点之一。

当前国内外学者对等高线综合方法进行了广泛的研究[1] [2] [3], 为解决等高线综合提供了思路和算法, 并部分应用于生产实际, 从而推动了相关技术的发展。其主要方法有基于 DEM 的综合法、单根等高线综合方法、成组综合法和渐进式综合法等。法国 Anne Raus 研究了基于 Arc/Info 的地图综合问题[4], ArcGIS 目前主要采用 Bend 算法和 DouglasPeucker 算法, 但二者都没有考虑等高线间的空间关系, 其结果, 一是不能正确反映地形原有特性, 二是易引起等高线的相交。因此不少学者从地形特征骨架来控制等高线的综合, 如 Christopher Gold 的中轴线方法[5], 郭庆胜、毋河海等提出的渐进式综合法, 这些方法主要是依据地形特征点的重要程度, 从小到大逐级控制地形特征点的删除, 间接地实现结构线控制的等高线综合[6] [7], 费立凡提出等高线的成组综合法[8], 但这些研究成果没有较好地转化到实际生产应用中。基于 DEM 化简的综合方法是通过 DEM 或 TIN 的精度或密度压缩, 实现地形特征的删减, 最后通过等高线的生成获取所需的等高线, 完成综合处理过程[9], 体现制图综合的地形特征选取思想, 国内外专家学者对此进行了大量的研究, 如 Klemen Zaksek (2005) [10]对 DEM 综合的理论与技术进行了相关研究, Song Dunjiang (2009)进行了基于地形特征构建 DEM 的研究[11] [12], 但在 DEM 压缩过程中特征信息损失严重, 导致综合成果精度达不到应用要求[13]。

综上所述, 当前等高线综合主要有以下几个方面的问题:

- 1) 无法快速获取与处理境外等高线产品;
- 2) 单根等高线综合方法无法保证综合前后等高线的相似性;
- 3) 基于地形特征的等高线各类综合方法复杂, 自动综合只能解决部分问题, 自适应性不强;
- 4) 等高线成组综合算法一直处于研究试验阶段, 部分克服了单根等高线综合算法的某些缺陷, 但无法解决等高线之间的拓扑空间关系及协调性;
- 5) 基于 DEM 的综合方法无法保留 DEM 的地形特征。

本文将参考上述学者的研究思路和成果, 并辅以交互调整的构想, 提出了整体综合算法, 一是从整体上控制地形特征从次向主逐渐综合(类似于郭庆胜的渐进式综合法); 二是同一谷地的一组等高线作为一个整体进行综合(类似于费立凡的成组综合思想); 三是模拟上述综合思想, 提供辅助的交互综合手段, 可以模拟特征线或选定特征线完成同一谷地的整体综合, 提高算法与系统的实用性, 满足实用化需求。该方法主要是结合等高线综合生产实际需求, 较好地为生产作业提供自动与交互相结合的应用成果, 契合当前的研究瓶颈与实际进展, 解决研究成果的渐次转化问题, 及时提高生产作业效率。

2. 基于特征线层次关系的等高线整体综合

2.1. 整体综合的基本思想

等高线整体综合, 一方面指同一谷地所有等高线进行同步综合, 顾及相互间协调关系, 保持谷地整体形态; 另一方面, 依据谷地的层次关系, 依次选取次要谷地进行综合, 从整体上把握综合顺序和进程, 保持地形主要特征, 简单说就是通过地形骨架线的主次关系控制谷地的取舍。具体到某一谷地的综合, 利用特征线与等高线的相交关系提取一组等高线及相关谷地, 通过谷地删除算法删除这些次要谷地, 实现等高线的成组综合, 确保等高线的快速综合与相互间的协调。

2.2. 实现步骤

基于层次特征线的等高线整体综合就是依据地形特征线的重要程度, 从低等级特征线开始, 依次选取待处理特征线, 提取与之相交的等高线及相应山谷, 进而消除这些谷地, 然后, 依次循环处理余下的特征线, 直至次要谷地的分布符合综合要求, 满足终止条件为止。主要步骤有: 地形特征线获取, 特征线层次关系建立, 低等级特征线的选取与相应等高线谷地的删除。其具体实现流程如图 1 所示。

2.2.1. 特征线获取

整体综合以特征线为基础, 首先就必须获取地形特征线。地形特征线可以基于等高线的地理特征抽取, 也可以通过 DEM 提取, 还可以通过第三方软件生成, 如 ArcGIS、Global Mapper 等。所获得的特征线可能不完整, 不能满足综合要求, 可以通过特征线向山顶方向延伸, 以便与同谷地的所有等高线相交, 为下一步同谷地综合提供基础骨架。同时, 由于河流是天然的谷底线, 它与等高线的交点必然是地形特征点, 因此, 可以利用现有的河流数据对生成的特征线进行更新、补充与修正, 河流的主支流分类也是特征线层次关系验证与调整的重要依据。

2.2.2. 特征线层次关系建立

通过特征线的层次关系可以明确各特征线所在谷地的重要性, 从而进一步明确等高线相应谷地的综合次序。

进行等高线综合之前, 需要建立特征线的层次关系:

层次关系的建立以特征线的方向、拓扑关系为基础, 自下而上或自上而下统计出特征线各节点的最大累积量。设节点 n 有 k 个源头 $m_i (i \in [0, k])$, 到各源头流经的路径权重(一般取长度)分别为 $l_{ij} (j \in [0, t_i])$,

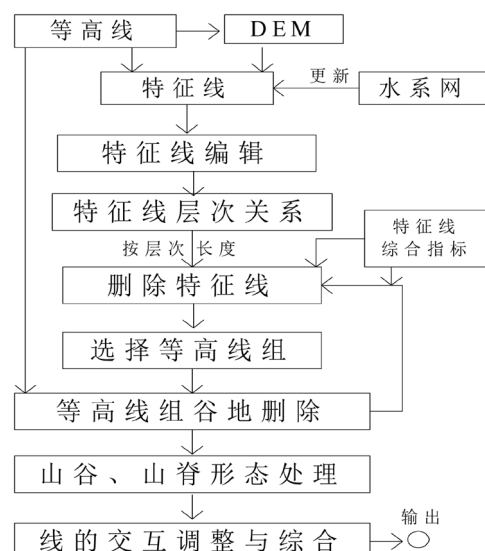


Figure 1. Flow-process diagram of contours holistic generalization
图 1. 等高线整体综合流程

t_i 为路径数), 则各源头至节点 n 的累积量 S_i 和最大累积量 S_{max} 为:

$$S_i = \sum_{j=0}^{t_i} L_{ij}$$

$S_{max} = \text{Max}(S_i)(i \in [0, k))$, 记 $i = q$ 时取最大值。

则源头 m_q 到节点 n 的路径为该节点第一层次特征线, 然后依次排序完成该节点其余各特征线的层次关系; 确定该节点的各级层次关系后, 节点向上移, 依此方法计算上一节点的特征线层次关系, 最终形成完整的特征层次关系。

2.2.3. 基于特征线层次关系取舍山谷

根据特征线的层次关系, 依次选取低等级特征线(同等级特征线依据长度或该部位分布密度的不同加以区分先后顺序); 依据选取的特征线与等高线的相交情况, 提取该谷地所有等高线; 采用谷地识别方法, 识别各等高线的谷地边缘点, 形成整个谷地的范围线, 适当平滑范围线, 并与等高线求交, 删除谷地的凹部, 完成谷地的综合, 从而实现同一组谷地削平处理。如此, 依次循环选取其它低等级特征线进行处理, 直至次要谷地的分布情况符合综合要求为止。图 2 中, 谷地 4 层次最低, 首先综合删除该谷地, 再依次处理其它谷地。

综合处理后的等高线在谷地部位折角比较明显, 可以结合山脊形态进行光滑处理, 以保持等高线良好的形态。若保留的谷地过窄, 则要对同部位的一组谷地进行夸大处理, 保持最小谷间距。

3. 关键技术

依据上述综合思想和处理方法, 等高线整体综合需要重点解决地形骨架的提取、地形特征层次关系建立、水系等地理要素对层次关系的影响、同谷地等高线的综合等几方面的问题。其中地形骨架提取算法研究有基于等高线的, 也有基于 DEM 的, 研究成果很多, 这里就不具体讨论。

3.1. 地形特征线层次关系建立技术

特征线从源头开始依上而下汇集成一棵有向的树状网络, 各支流依其汇集量的不同, 依次区分为主

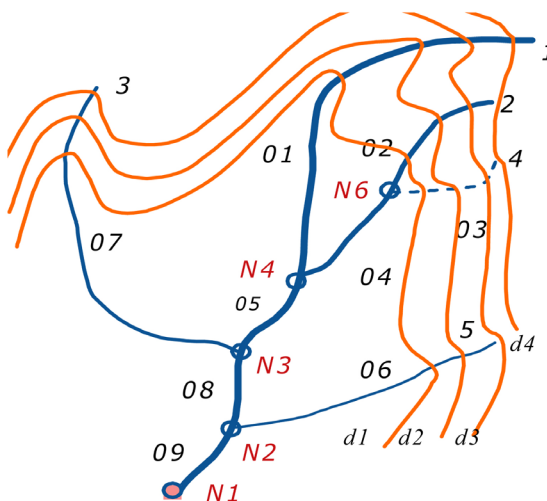


Figure 2. Characteristic lines and valley choice

图 2. 特征线与谷地取舍

流与支流, 从而构成了特征层次关系[14]。

具体算法是利用特征线的拓扑关系, 自上而下, 计算节点各支流的累积量, 取其最大值作为该节点的最大累积量, 该方向上的支流作为该节点上的主流, 从而确定该节点各支流的主次关系。该节点的下一节点的最大累积量可以在该节点最大累积量的基础上, 依此方法计算完成, 从而最终计算出所有节点的最大累积量, 获取各级主、支流及其之间的层次关系, 形成特征线层次结构。

3.1.1. 支流最大累积量的计算

在计算寻找主流过程中, 基本算法是递归计算各节点所在支流的最高汇聚量或长度。节点汇聚量是指节点至其所有源头流经的特征线长度或其它统计量之和, 取其最大量作为该节点的最大累积量, 图 3 中, 节点 N_6 的最大支流是 L_{02} , N_4 的最大支流是 L_{01} , 因而 N_3 的最大支流是 L_{05} 、 L_{01} , 其最大累积量应是 L_{05} 、 L_{01} 之和。具体算法参见[14]。

3.1.2. 主流的提取

在 3.1.1 中计算各节点支流最大累积量时, 同时记录节点的支流最大累积量所在的特征线(如 N_4 的 L_{01}), 通过该线可以依次向上追踪出主流所在的特征线, 依此方法提取整个主流的特征线。在抽取主流特征线后, 与主流相交而没有被选取的线段作为选取下一级主流的源头, 依此方法递归进行下去, 提取所有特征线主流和支流, 形成一个完整的主次分明的层次网络[14]。

3.2. 特征线层次的调整

以上特征线层次关系, 可以区分特征线的主次关系, 但在上述处理过程中, 主要考虑特征线的网络结构关系、连接关系及长短因素。根据制图综合要求, 需要根据特征线分布状况、目标比例地图已有要素(主要是水系与控制点要素)等其它因素, 对特征线层次关系进行调整。

3.2.1. 水系要素对特征层次的影响

1) 原比例尺地图水系要素对特征线层次划分的影响

原图水系要素是天然的特征线, 在特征线提取后, 通过位置与特征线相交或缓冲区域匹配提取相同位置特征线, 并用水系替换它们, 完成特征线的调整。一般水系要素分布在比较大的谷地, 相应部位的特征线层次要高于其它非河流特征线, 但上述形成的层次网络, 没有区分它们的层次差别, 因此在层次

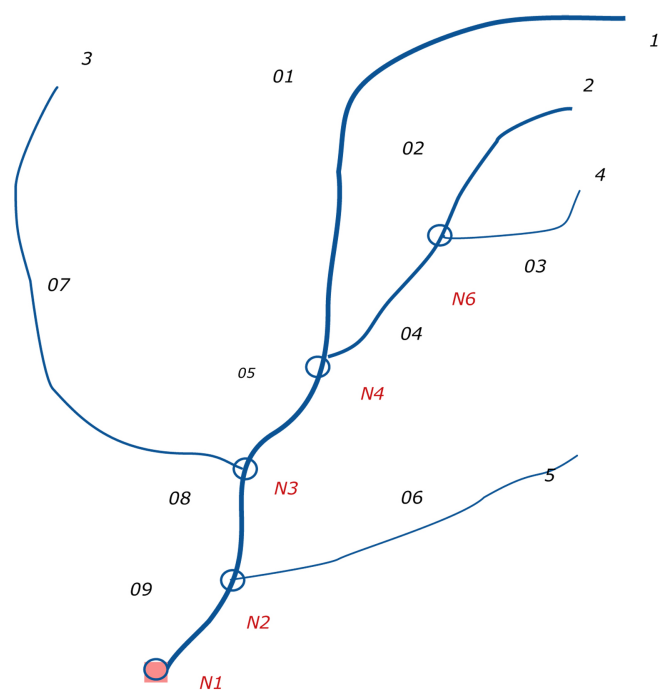


Figure 3. Valley Line Hierarchy Structure
图 3. 特征线层次结构

关系网中需要上调其特征层次等级, 这样, 在同等条件下, 方能确保优先综合其它类型的谷地。

2) 目标比例尺地图水系要素对特征线层次划分的影响

目标比例尺地图水系要素所在谷地必须保留, 因此要上调该谷地特征线的层次为最高, 确保不参与谷地的删除, 保证了综合效果, 同时顾及到水曲矛盾问题。

3.2.2. 特征线密度影响特征层次关系

谷地综合时, 一般不会将主流上所有满足综合条件的谷地都综合掉, 而是要适当保留部分较长的支流, 以及在支流间隔范围内应该保留的支流, 以反映地形特征。因此在特征线层次关系中, 应该按照支流分布间隔适当保留部分支流, 相应提升其层次等级。

3.2.3. 特征线的人为调整

通过上述特征线层次处理与调整, 可以建立较好的特征层次关系, 但用户可以根据实际地形进行调整, 提升或降低特征线的层次关系, 控制谷地的保留与删除, 满足实际生产应用需求。

3.3. 同谷地综合处理

同谷地综合处理是针对同一谷地所涉及的一组等高线的综合, 是等高线整体综合的基本方法, 特征线层次综合法就是通过选择不同的特征线调用该方法实现谷地的综合; 在删除谷地时, 将所涉及的等高线一并进行处理, 可以保持等高线平滑协调, 是单线综合方法的扩展与延伸。

具体方法可以根据特征线来查找同谷地等高线, 单独针对各线进行谷地删除, 也可以划定等高线首末两等高线谷地分界点的连线, 直接删除夹在其中的各等高线坐标点, 达到删除同组谷地的目的。如图 4 所示, 在特征线相交检测出同谷地的 4 条等高线, 并识别出各自谷地后, 左图分别按自己的谷地分界点进行谷地的删除, 右图先检测首末两等高线谷地分界点 a 、 c 和 b 、 d , 连接 ab 、 cd , 再计算两线与其它两等高线交点 e 、 f 和 g 、 h , 连接 ac 、 ef 、 gh 、 bd 完成同组谷地的删除, 图 5 为处理效果。

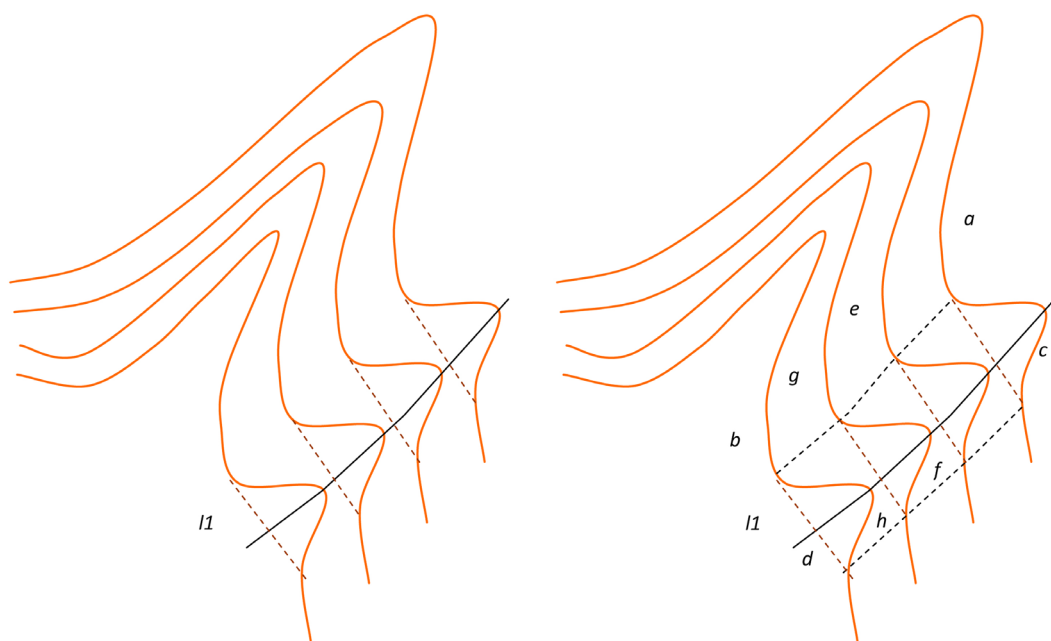


Figure 4. Contours generalization of a valley
图 4. 同谷地等高线综合方法

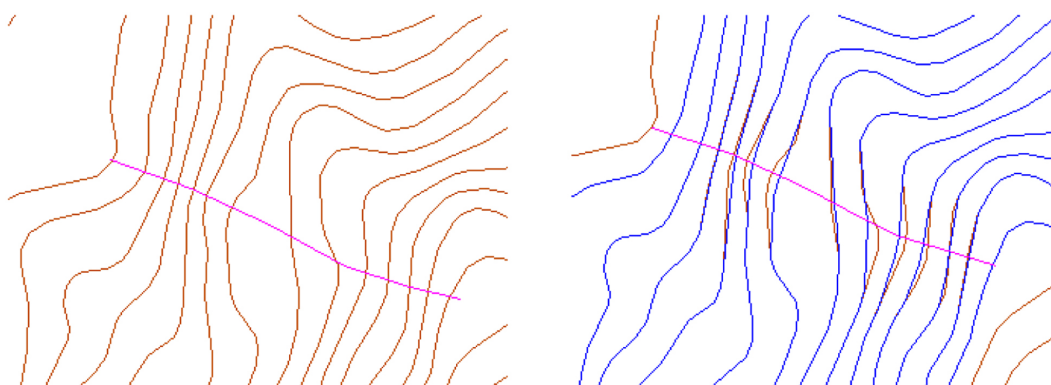


Figure 5. Generalization results of a valley
图 5. 同谷地综合效果

4. 交互综合方法研究

以上研究针对自动综合处理而言的, 但等高线的综合十分复杂, 很难通过一种算法或一次处理就能解决, 因此在生产实践中, 通常要辅助大量的交互编辑处理才能实现等高线的综合。下面结合生产实践, 讨论两种高效实用的交互综合方法: 指定谷地综合、参照综合法。

4.1. 指定谷地综合法

在地形层次分明, 特征线完备的情况下, 通过特征层次关系实现等高线整体综合, 能达到较好的效果。但在局部区域或整体综合条件不具备的情况下, 通过模拟手工综合方式, 辅助实现整体综合, 是不错的选择。

具体操作, 可以交互选取一条特征线实现谷地的删除, 也可以模拟一条特征线实现谷地综合(如图 6 中的 l_1), 两种方法综合处理算法相同。另外, 还可以通过绘制谷地的两条边缘范围线对谷地进行分割,

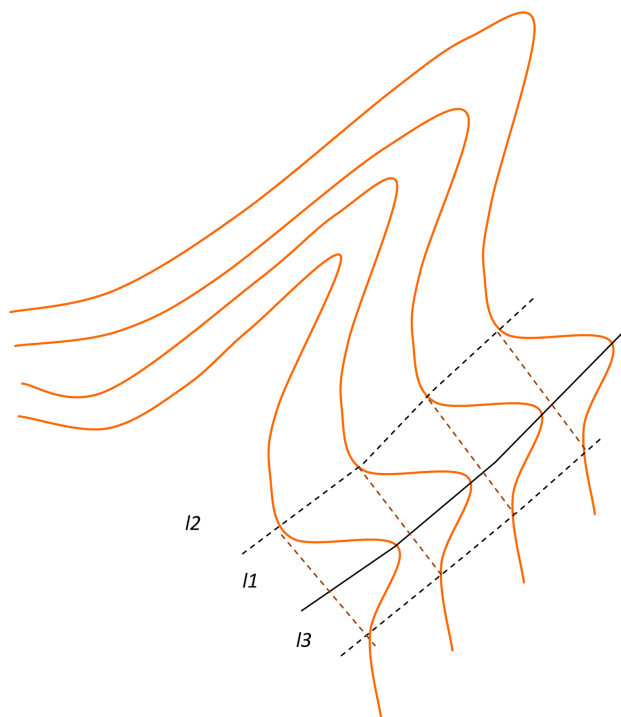


Figure 6. Generalization method with selected a valley
图 6. 选择谷地综合法

从而实现谷地的删除, 如图 6 所示, l_2 , l_3 给定了删除谷地的范围及相关等高线, 这样系统就可以快速实现谷地的成组删除, 加快作业效率。

4.2. 参照综合法

相邻等高线在谷地走向相似, 综合前后相对位移大致相似。综合时, 首先确定一条等高线的综合效果, 而其它相邻等高线可以比照其前后变化情况按比例进行移动, 从而完成各自的综合。如图 7 所示, 首先手工完成等高线 l_0 的综合, 然后, 其余的线 l_1 、 l_2 、 l_3 比照模仿 l_0 在各个法方向上的位置变动距离 d , 计算出各自在该方向上的变动, 完成各等高线的参照综合。

5. 实验比较

研究的整体综合成果, 应用于等高线整体综合系统开发, 解决了等高线综合整体协调问题, 提高了等高线综合处理效率。下面通过实验对比, 主要从等高线综合质量、综合生产效率两个方面进行对比分析, 以验证算法与系统的有效性。

5.1. 等高线综合质量对比

试验选取山区平原结合部, 使用 30 米 DEM 生成等高距为 10 米的等高线作为综合处理基础, 分别通过等高线单线抽稀、DEM 化简综合和整体综合算法进行处理, 结果如图 8、图 9、图 10 所示。

实验情况进一步验证: 等高线单线综合, 只是坐标与弯曲的化简, 没有考虑相邻等高线间的相互关系, 等高线经常出现相交的情况, 并且山脊与山谷在压缩过程中同等对待(如图 8); 通过 DEM 化简方法来综合等高线, 导致地形高程变化明显, 山脊明显抬高(如图 9); 整体综合方法仅仅处理层次等级低的谷地, 没有改变原有山脊, 精度满足制图要求(如图 10)。

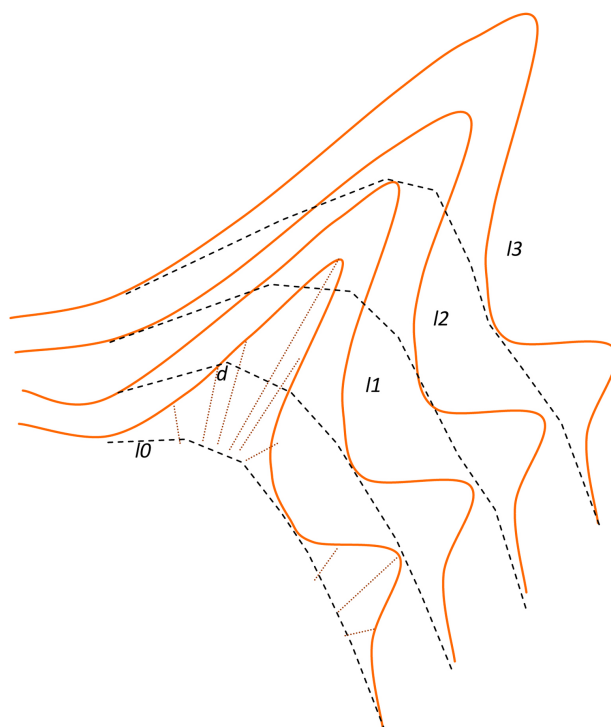


Figure 7. Generalization method with reference sample
图 7. 参照综合方法

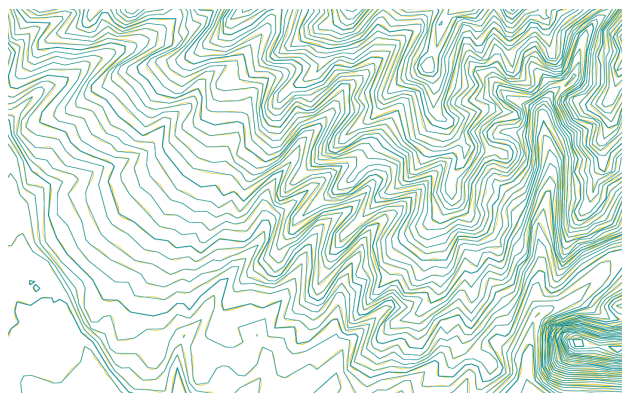


Figure 8. Contours processing with single-line generalization method
图 8. 等高线单线综合处理

5.2. 等高线综合效率对比

通过 5 幅 1:5 万等高线综合处理来试验综合成图效率, 成图比例尺为 1:10 万, 图幅区域为城乡结合部, 50%~70% 面积为山地。试验通过整体综合系统工具软件完成制图综合, 原综合时间为手工作业工期, 参照原图例薄的工时, 具体统计情况如表 1 所示。从表中可以看出, 通过整体综合系统提供的快速综合工具, 自动处理率达 50% 左右。从自动综合成果的分布区域来看, 一般山区自动处理效果较好, 平原等高线稀少, 只能通过交互处理来完成。

实验结果表明, 等高线整体综合技术通过完善已有研究成果, 针对等高线的综合应用, 提供一套有效的综合工具, 其主要优势体现在以下两个方面:



Figure 9. Contours processing with DEM generalization method
图 9. DEM 化简综合处理等高线

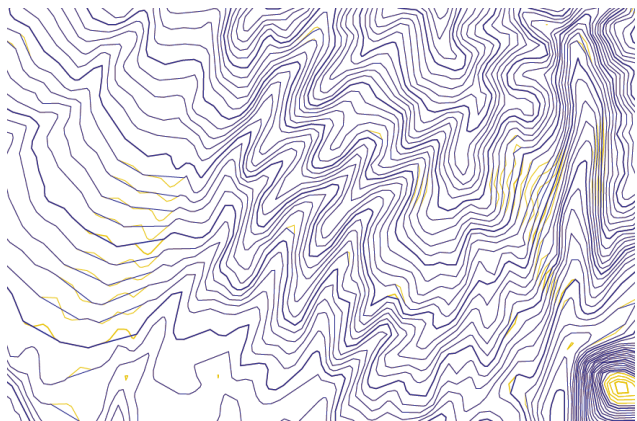


Figure 10. Contours processing with holistic generalization method
图 10. 整体综合法处理等高线

Table 1. The man-hours statistics of 1:50,000 map contour generalization
表 1. 1:5 万等高线综合工天统计(单位: 日)

| 图幅 | 原综合工时 | 整体综合工时 | 自动处理率 | 效率 |
|------------|-------|--------|-------|-----|
| H49E015023 | 3.5 | 1.2 | 53% | 2.9 |
| H49E015024 | 4.0 | 1.0 | 51% | 4.0 |
| H49E016022 | 3.5 | 1.0 | 43% | 3.5 |
| H49E016023 | 4.5 | 1.5 | 56% | 3.0 |
| H49E016024 | 3.5 | 1.1 | 45% | 3.2 |
| 平均 | 3.8 | 1.1 | 49.8% | 3.8 |

- 1) 使用地形特征线层次来控制等高线的渐次综合, 保留主要地形, 精度满足制图要求。
- 2) 研究面向生产应用, 针对性强, 处理效率提高明显, 这也是立项的初衷, 利于快速解决境外等高线缺失的问题。

6. 结论

综上所述, 等高线整体综合研究解决了目前等高线快速综合的难题, 为其提供了有效的生产工具。

但是在生产中发现其特征线的处理不能完全满足综合需求, 其处理效果有待进一步提升; 交互的灵活性有待提高; 地形类型不同, 对应等高线疏密、等高距、起伏度等也存在差异, 整体综合的适应性与参数指标的设定还有待研究。

参考文献 (References)

- [1] 贺晓晖, 陈楠, 等. 等高线自动综合方法的研究进展[J]. 遥感信息, 2014, 29(5): 125-130.
- [2] 郭庆胜, 等. 等高线图形综合策略的研究[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30(6): 16-19.
- [3] 胡茵, 陈春华, 等. 等高线综合方法的比较与分析[J]. 地理空间信息, 2014, 12(2): 141-143.
- [4] Anne, R. (1995) Multiple Paradigms for Automated Map Generalization: Geometry, Topology, Hierarchical Partitioning Triangulation. *AutoCarto*, 4, 69-78.
- [5] Gold, C. and Thibault, D. (2004) Map Generalization by Skeleton Retraction. http://www.voronoi.com/wiki/images/2/23/Map_Generalization_by_Skeleton_Retraction_GenThib.pdf
- [6] 毋河海. 地图综合基础理论与技术方法研究[M]. 北京: 测绘出版社, 2004.
- [7] 郭庆胜, 毋河海, 等. 等高线的空间关系规则和渐进式图形简化方法[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(1): 31-34.
- [8] 费立凡. 地形图等高线成组综合的试验[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1993, 18(sup.): 6-21.
- [9] 周小军, 等. 基于 DEM 化简的等高线综合研究[J]. 测绘工程, 2014, 23(2): 10-14.
- [10] Zaksek, K. and Podobnikar, T. (2005) An Effective DEM Generalization with Basic GIS Operation. *8th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, July 7-8 2005, A Coruña. https://www.researchgate.net/publication/257316178_An_effective_DEM_generalization
- [11] 龙毅, 曹阳, 等. 基于约束 D-TIN 的等高线簇与河网协同综合方法[J]. 测绘学报, 2011, 40(3): 379-385.
- [12] 刘民士, 等. 地貌与水系自动综合研究综述[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(5): 48-50.
- [13] 张毅, 等. 基于特征线层次关系的等高线综合方法研究[J]. 测绘, 2015, 38(5): 195-199.
- [14] 刘合辉. 小比例制图中河流渐变技术研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 2(1): 33-37.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org