

提取地形特征线的形态学新方法

孔月萍^{1,2} 方 莉¹ 江永林³ 张跃鹏²

(1 西安建筑科技大学信息与控制工程学院,西安市雁塔路 13 号,710055)
(2 西安测绘研究所,西安市雁塔路中段 1 号,710054)
(3 西安测绘信息技术总站,西安市西影路 36 号,710054)

摘 要:以图像处理技术为手段,从格网数字高程图中自动提取地形特征线方法的效率较高,但对噪声极为敏感,且结果中存在较多的冗余信息和特征线断裂的现象。针对这些问题,提出了一种以灰度形态学算子提取山脊、山谷线的新方法。该方法着眼于山脊、山谷特征,构造了两种灰度形态学算子,对 DEM 数据进行迭代处理,再辅以筛选、细化,最终融合抽取其中的特征线。仿真实验表明,该方法既能克服小尺度噪声的影响,又能有效地保持特征线,所提取的信息与实际地形十分接近。

关键词:数字高程模型;山脊线;山谷线;形态学;Top-hat 变换

中图法分类号:P208

数字高程模型(DEM)中蕴含着各种地形地貌特征,其中的山脊线、山谷线是最为典型的结构特征信息之一,它是地形起伏变化的分界线,对地形地貌研究及工程应用都有着十分重要的意义^[1]。如何从 DEM 中自动提取出山脊线、山谷线一直是地形研究的热点。目前,从规则格网 DEM 中提取山脊线的算法多数采用地表水流模拟模型及其改进方法^[1-5],这类方法在洼地处理和确定水流方向时普遍存在着运算复杂度高、结果准确性差的问题,难以适应大规模地形数据应用的需求^[5]。此外,将规则格网 DEM 视为点阵图像,以图像处理技术获取山脊线的思想也被广泛采用,这类方法最早由 Peucker 和 Douglas^[6]提出。在此基础上,文献[7]以垂直于地面 0°、45°、90°和 135°的方向剖面与尺度可调分析窗相结合的方法识别山脊特征点,但无法抑制小山包、洼地等噪声;文献[8]使用小尺度分析窗识别山脊特征点,但其特征点的判别与连接方法过于复杂,该方法对地形变化剧烈、噪声较多的山区不适用;文献[9]则以线性分析窗进行山脊特征点识别,具有快速、高效的特点,但所提取山脊线的断裂现象较明显。针对上述问题,本文给出了两种形态学处理算子,并设计了相应的山脊线提取方案。

1 山脊点提取算子设计

数学形态学的目的在于分析目标的形状和结构。它初期主要应用于二值图像,是一种面向集合的处理过程。将形态学引入灰度图像后,即可获得目标物的灰度分布特征^[10]。设 $f(x,y)$ 表示大小为 $M \times N$ 的灰度图像, $B(i,j)$ 为形态学运算结构元素, D_f 和 D_B 分别为 f 和 B 的定义域,则灰度形态学腐蚀、膨胀算子分别如式(1)、式(2)所示,由此引申出的形态学开、闭算子如式(3)、式(4)所示:

$$(f \ominus B)(x,y) = \min\{f(x+i,y+j) - B(i,j) \mid (x+i,y+j) \in D_f; (i,j) \in D_B\}$$

(1)

$$(f \oplus B)(x,y) = \max\{f(x-i,y-j) + B(i,j) \mid (x-i,y-j) \in D_f; (i,j) \in D_B\}$$

(2)

$$f \circ B = (f \ominus B) \oplus B$$

(3)

$$f \bullet B = (f \oplus B) \ominus B$$

(4)

若结构元素取值均为正数,则经腐蚀处理后的图像整体灰度降低,并会使小于结构元素的明

亮区域(对应于 DEM 数据中的高程较大值)收缩甚至消除;与之相反,膨胀则会使原图整体灰度增大,小于结构元素的暗细节(对应于 DEM 数据中的高程较小值)收缩甚至消除。因此,对图像进行开、闭运算可分别消除图像中的正脉冲峰值噪声和负脉冲低谷噪声。反映到 DEM 地形中,分别对应于凸出的山脊、凹陷的山谷,但设计目标与此相反,故可考虑以开、闭运算构成具有高通滤波特性的高帽(Top-hat)算子,如式(5)、式(6)所示:

$$T_{\text{open}}(f) = f - (f \circ B) \tag{5}$$

$$T_{\text{close}}(f) = (f \bullet B) - f \tag{6}$$

T_{open} 算子先对 DEM 图 f 进行开运算,去除其中小于结构元素的峰值噪声,再用原图 f 与开运算结果相减,达到提取图中山脊峰值区域的目的。类似地, T_{close} 算子则能检测出图中的低谷区域。

在实际 DEM 图中,地势的高低起伏随机,错综复杂,常常存在小山丘、洼地之类的干扰信息,若直接使用 Top-hat 算子,提取的结果中会存在大量噪声和无实际意义的伪特征线。考虑到山脊线呈随机、多向分布的特点,先以 3×3 的小尺度矩形结构元素 $B = \{1, 1, 1; 1, 1, 1; 1, 1, 1\}$ 对 f 图进行腐蚀或膨胀处理,去除那些特征较弱的小山丘、洼地,之后再进行 T_{open} 或 T_{close} 运算。因此,形

态学山脊点、山谷点提取算子 $Eri(f)$ 、 $Eva(f)$ 可设计为:

$$Eri(f) = T_{\text{open}}(f \ominus B) = (f \ominus B) - [(f \ominus B) \circ B] \tag{7}$$

$$Eva(f) = T_{\text{close}}(f \oplus B) = [(f \oplus B) \bullet B - (f \oplus B)] \tag{8}$$

2 山脊线提取方法

运用上述 $Eri(f)$ 算子对原 DEM 图进行一次处理后,图中高程大于一个格网单位的噪点依然存在,所以构建山脊线提取方案时,采取 N 次迭代使用 $Eri(f)$ 算子的策略,迭代次数可根据待处理 DEM 数据的地貌特点(如山地、丘陵、台地及平原)及其采样时的分辨率确定。随着迭代次数的增加,所提取出的山脊特征点集中的噪声越来越少,甚至消失,但也丢失了部分有用信息,仅有那些山脊特征较明显的片区被保留下来。因此,有必要参照前 $N-1$ 次的提取结果找补丢失的山脊特征点,即将各次 $Eri(f)$ 处理后提出的山脊点叠加为一个并集,再以末次 $Eri(f)$ 的处理结果作为种子,在此并集中进行区域扩张,则可将迭代过程中山脊片区丢失的山脊点补回。综上所述,自动提取山脊线的处理框架如图 1 所示。

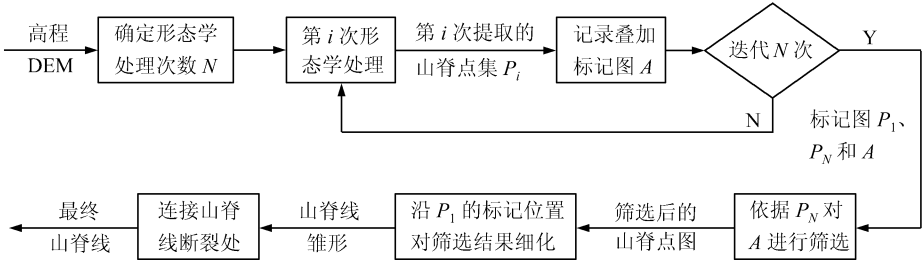


图 1 形态学算子提取山脊线方法框架图

Fig. 1 Flow Chart of Extracting Ridge-lines by Morphological Operator

因 $Eri(f)$ 算子中包含腐蚀运算,提取的特征线会产生局部断裂,故需进行山脊线断裂修补。先利用图 2 所示的模板扫描山脊线锥形图,找出特征线中的端点 P_0 ,即 P_0 的 8 邻域中仅有一个山脊特征点 $P_i (1 \leq i \leq 8)$ 与其相连,再以 P_i 的位置判断 P_0 的可能延伸方向。

假设图 2 中 P_0 为端点, P_1 是与它唯一相邻的山脊点,则 P_0 的可能延伸方向依次为 P_8 、 P_5 和 P_7 ;顺序判断它们是否满足山脊点特征,即考查 $P_j (j=8, 5, 7)$ 是否在与 $\overrightarrow{P_0 P_1}$ 垂直的法线方向上为局部最大值,若某点 P_j 满足此条件,便确定 P_j 为可延伸山脊点加以连接,并作为新端点继续

按以上方法进行山脊线延伸;当无满足条件的相邻点存在时,山脊线连接处理结束。同理,以 $Eva(f)$ 算子替代 $Eri(f)$ 即可构造出山谷线提取方案。

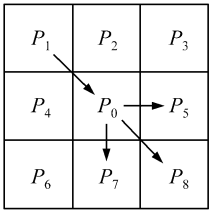


图 2 端点判别及延伸示意图

Fig. 2 End-points Judgment and Extending

3 实验结果与分析

选用 1 : 5 万的某山区高程 DEM 图验证新方法的有效性。图 3 为该区域 DEM 数据的灰度晕渲及三维透视图,可见其中含有丰富的山脊、山谷,同时也存在大量噪声。分别以传统的窗口移动法^[6]、文献[7]方法及本文方法对图 3 所示的区域进行山脊、山谷特征线提取。

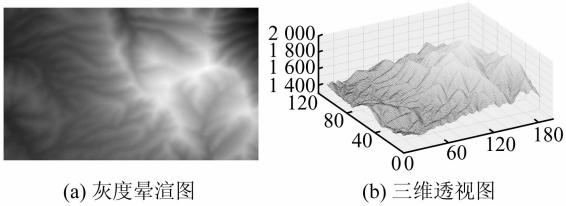


图 3 实验区域
Fig. 3 Experimental Area

图 4(a)为使用传统窗口移动法提取的山脊、山谷线晕渲图,即以 2×2 移动窗扫描 DEM 图,标记窗内的最低高程点,扫描结束后,凡未作标记

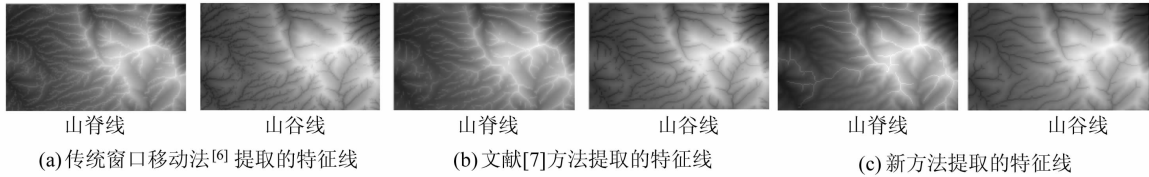


图 4 实验结果
Fig. 4 Experimental Results

4 结 语

本文将山脊、山谷的地形特征与灰度形态学处理相结合,设计了一对山脊、山谷点提取算子,在此基础上构建了一种地形特征线自动提取方法。与传统方法相比,它秉承了图像处理的基本思想,所提取的特征线清晰,连通性好,在保留主山脊、山谷线的同时,剔除了大量的伪信息和细小噪声。但对不同 DEM 地形的参数自适应选择有待改进,而且可以考虑将形态学结构元素的设计与实际地形特征结合起来,提高方法的实用性。

参 考 文 献

[1] 黄培之,陈凯辉,刘泽慧. 基于共轭地表曲面的山脊线和山谷线提取方法的研究[J]. 测绘科学, 2004, 29(5): 25-27

[2] Thibault D, Gold C M. Terrain Reconstruction from Contours by Skeleton Construction[J]. GeoIn-

formatica, 2000, 4(4): 339-373

[3] Martz LW, Garbrecht J. Automated Recognition of Valley Lines and Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models: A Review and a New Method-Comment[J]. Journal of Hydrology, 1995, 167(5): 395-396

[4] 吴艳兰,胡鹏. 几何特征与流线追踪相结合的地形特征线提取法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(12): 1 115-1 119

[5] 朱庆,赵杰,钟正. 基于规则格网 DEM 的地形特征提取算法[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 77-81

[6] Puecker T K, Douglas D H. Detection of Surface-Specific Points by Local Parallel Processing of Discrete Terrain Elevation Data[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1975(3): 375-387

[7] 陈永良,刘大有. 一种新的山脊线和山谷线自动提取方法[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(A12): 1 230-1 234

[8] 郭明武,吴凡. 基于规则格网 DEM 自动提取地形线的一种简便方法[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30

formatica, 2000, 4(4): 339-373

[3] Martz LW, Garbrecht J. Automated Recognition of Valley Lines and Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models: A Review and a New Method-Comment[J]. Journal of Hydrology, 1995, 167(5): 395-396

[4] 吴艳兰,胡鹏. 几何特征与流线追踪相结合的地形特征线提取法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(12): 1 115-1 119

[5] 朱庆,赵杰,钟正. 基于规则格网 DEM 的地形特征提取算法[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 77-81

[6] Puecker T K, Douglas D H. Detection of Surface-Specific Points by Local Parallel Processing of Discrete Terrain Elevation Data[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1975(3): 375-387

[7] 陈永良,刘大有. 一种新的山脊线和山谷线自动提取方法[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(A12): 1 230-1 234

[8] 郭明武,吴凡. 基于规则格网 DEM 自动提取地形线的一种简便方法[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30

(2): 33-34

版, 2011, 36(2): 167-170

[9] 周毅, 汤国安, 张婷, 等. 基于格网 DEM 线状分析窗口
的地形特征线快速提取方法[J]. 测绘通报, 2007(10): 67-69

[10] 沈晶, 刘纪平, 林祥国. 用形态学重建方法进行机
载 LiDAR 数据滤波[J]. 武汉大学学报·信息科学

第一作者简介:孔月萍,教授,博士,主要研究方向为数字地形分
析、半色调图像处理。
E-mail:annie_kyp@sina.com

A New Method of Extracting Terrain Feature Lines by Morphology

KONG Yueping^{1,2} FANG Li¹ JIANG Yonglin³ ZHANG Yuepeng²

(1 School of Information & Control, Xi'an University of Architecture & Technology,
13 Yanta Road, Xi'an 710055, China)

(2 Xi'an Research Institute of Survey & Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an 710054, China)

(3 Xi'an Technical Division of Surveying & Mapping, 36 Xiyang Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: There are some fast and effective methods related to image processing technique. But they are unsatisfactory in resisting the noise and in reducing the redundant information. For this situation, a new method of extracting terrain feature lines is proposed by the mathematical morphology. Considering the characteristics of the ridges and valleys, two kinds of operators are designed by basic morphological operation. Then the new method is built on the operators with iterative forms. The experimental results show that the ridge-lines and valley-lines extracted by the method fit the real terrain. And it can resist some small-scale noise.

Key words: DEM; ridge-lines; valley-lines; morphology; Top-hat transform

About the first author: KONG Yueping, professor, Ph. D, majors in digital terrain analysis and halftone processing.
E-mail: annie_kyp@sina.com

(上接第 910 页)

ined area camera, the digital image error is proposed, which includes the errors of focal length, principle point coordinate and optical distort etc, and the error of the size of area CCD and the camera assembly are considered, and the camera self-calibration is done by bundle adjustment, the effect of the quality on surveying and mapping can be deceased. The method is tested by aerial photogrammetry in Hanzhong field, and the effectiveness of the proposed method is validated by the test result.

Key words: in-field-of-view vombined; area CCD camera; digital image error; self-calibration; system geometric processing

About the first author: FANG Yong, researcher, Ph. D, majors in digital photogrammetry.
E-mail: yong.fang@vip.sina.com