



武汉大学学报(信息科学版)

*Geomatics and Information Science of Wuhan University*

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

## 《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目: 栅格 DEM 山顶点提取的坡向分布特征法  
作者: 周访滨, 肖智文, 刘学军, 马国伟, 张珊珊  
收稿日期: 2021-09-06  
网络首发日期: 2022-03-08  
引用格式: 周访滨, 肖智文, 刘学军, 马国伟, 张珊珊. 栅格 DEM 山顶点提取的坡向分布特征法[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版).  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1676.TN.20220304.1605.005.html>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

## 引用格式：

周访滨, 肖智文, 刘学军, 等. 栅格 DEM 山顶点提取的坡向分布特征法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis.20210479 (ZHOU Fangbin, XIAO Zhiwen, LIU Xuejun, et al. ZHANG Shanshan. Method for Mountain Peak Extraction of Grid DEM Based on Aspect Distribution Feature [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis.20210479)

# 栅格 DEM 山顶点提取的坡向分布特征法

周访滨<sup>1,2</sup> 肖智文<sup>1</sup> 刘学军<sup>3</sup> 马国伟<sup>1</sup> 张珊珊<sup>4</sup>

1 长沙理工大学交通运输工程学院, 湖南 长沙, 410114

2 特殊环境道路工程湖南省重点实验室(长沙理工大学), 湖南 长沙, 410114

3 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京, 210023

4 云南省交通规划设计研究院有限公司, 云南 昆明 650041

**摘要：**山顶点提取方法决定着山体部位划分结果的正确性和微地形自动分类效率。以高程和等高线为参考提取山顶点方法存在伪山顶点剔除不完全和局部山顶点丢失的问题，依据山顶点邻域坡向呈均匀分布规律提出了基于坡向分布特征的山顶点提取方法，构建了以山顶点为中心的邻域坡向顺时针逐渐递增模型，并以山脊线拟合和深度优先搜索（Depth First Search, DFS）算法的递推思想，剔除提取结果中的伪山顶点。顾及实体 DEM 地形破碎对提取方法的影响，采用了模拟 DEM 和实体 DEM 分别实验和分析。实验结果表明，坡向分布特征法避免了传统基于封闭等高线提取山顶点时主观选取阈值的不确定性；模拟 DEM 因其连续、光滑，山顶点提取准确率可达到 100%，而实体 DEM 沿用模拟 DEM 机制因其地形破碎导致不可适性，通过调整坡向分布约束条件可予以改善，实验提取准确率平均可达到 96.1%。

**关键词：**数字地形分析；栅格 DEM；坡向；山顶点；分布特征

中图分类号：P217

文献标识码：A

山顶点作为构成地形轮廓骨架关键性特征点，也是山体范围内几何形态特性最明显的地形特征点。中国作为山区面积占全国土地面积 2/3 以上的多山大国，切实深入对山地地区山顶点的识别提取研究，对于自然地貌分布、生物地理分布、自然环境变迁研究等具有重要的自然科学意义<sup>[1-2]</sup>。

栅格数字高程模型(digital elevation model, DEM)

是用于多种实体地面模型特征分析的基本数据集，

如地貌特征分析等等，其中涵盖的丰富地形特征信息，是绘制和提取特征地形的重要数字资源，广泛应用于计算各类地形特征，为快速准确地提取山顶点提供了重要的数据支持<sup>[3-6]</sup>。

当前山顶点识别与提取研究主要从断面高程极值<sup>[7-8]</sup>、邻域分析<sup>[9-10]</sup>、地表水文模拟<sup>[11]</sup>和几何形态特征分析<sup>[12-13]</sup>四个方面出发。根据山顶点定义，通过将地形属性信息量化来表示山顶点特征，利用了不同形式的地形特征指标来减少提取过程中出现的噪声点，比如反地形填充阈值<sup>[11]</sup>、最大起伏度阈值<sup>[13]</sup>等等，在准确提取山顶点研究上取得了一定的成果。但是由于 DEM 自身不可避免的存在误差<sup>[14]</sup>，以及局部凸起地区和实验设计方法对提取结果影响，获得的山顶点结果会存在一定的伪山顶点和山顶点丢失等问题。传统最常用的解决方法是设置邻域分析窗口，基于封闭等高线设定高差阈值，进而对窗口内的山顶点进行提取，但该方法缺少有效的理论依据，高差阈值的设定存在主观不确定性等问题，影响了山顶点的

收稿日期：2021-09-06

项目资助：国家自然科学基金(41671446, 41371421)；湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30702)；长沙理工大学特殊环境道路工程湖南省重点实验室开放基金资助项目(kfj140502)

第一作者：周访滨，博士，主要研究方向为数字地形分析。Arthur1975@126.com

通讯作者：肖智文，硕士研究生。Ar7cher@163.com

提取结果。在实际地理应用中，山体常常被抽象映射为具有多尺度的地理实体，同时其边界范围也难以定义<sup>[15]</sup>，因此通过山体边界范围来获取山体相对高差，进而提取山顶点的方法仍有待探讨。

从地貌几何表达的角度，高程、坡度和坡向是最简单的地貌表达参数，参数表达重点在于概念模型的建立和对地形因子的探索性分析<sup>[16]</sup>。坡向数据作为最直观的方向性数据，在数字地形分析中具有典型的代表意义<sup>[17-19]</sup>，可用于表达地形形态特征。鉴于此，本研究通过分析山顶形态结构特征，以山顶范围坡向分布为基础，设计了一种利用坡向分布特征提取山顶点的方法。通过坡向值在以山顶点为中心方向上呈递进式规律分布的特征，在分析窗口内设定相应约束条件并提取特征点。同时将研究设为模拟 DEM 和实体 DEM 实验两部分，分别从科学理论和实际应用上验证本实验方法的正确性。结果表明，利用坡向分布特征提取山顶点的方法能够准确地识别并提取出山顶点，且能较好地避免提取结果中出现伪山顶点 and 局部山顶点丢失等问题。

## 1 山顶坡向分布特征分析

在地理学当中，我们通常定义山顶点是局部区域内高程极大值点。从形态上，山顶可以被划分为尖顶、平顶和圆顶。文献[20]指出了山体具有一定的相对起伏高度，但是山体在地貌当中的分布是不规则的，且实际面积难以衡量。在目前研究中，对山体整体范围的划分尚未有明确的指标界定，难以划分出山体与山体之间的位置分布界线，所以通过划分单个山体，提取山体范围内最大高程点作为山顶点的方法是非常困难的。依据封闭等高线和相对高程虽在一定程度上能辅助提取山顶点，但在同一研究区域内，采用不同大小的分析窗口提取的相对高程和山顶点结果又会大相径庭，对于复杂且地形破碎度高的实体地形，势必会牵扯到一系列复杂的阈值问题。但是不论从何种角度定义山体来确定山顶点，山顶点在几何形态上的分布特征都是一定的，这为我们的研究提供了初始的判别依据。

从位置来看，山顶点是分布在局部区域内的高程极大值点。根据此特性，以山顶点为中心，周围地形点高程在一定范围内向边缘逐渐递减，

这也是山顶点周围等高线向周围凸出发散的原因。山体地貌复杂多样，利用高差阈值这一种约束条件并不能达到良好的山顶点识别和提取效果，利用坡度又不能准确地表达出山顶特征并进行识别。这时我们可以利用山顶的坡向分布特征对山顶点进行识别提取。

## 2 基于坡向分布特征的山顶点提取法

### 2.1 山顶点提取原理分析

山顶点与周围坡向分布特征存在着密切联系，有利于精确提取出潜在山顶点。坡向是一个矢量，用来表示山体表面坡体的走向，坡向数值矩阵中的每个坡向值都代表着其特定的方向<sup>[21-22]</sup>。如图 1(a)所示，对于山体曲面  $\varepsilon$  上的任意一点 A，设过 A 垂直于割曲面  $\varepsilon$  于 A 点割面的垂线为 L，垂线 L 方向为 A 点在曲面  $\varepsilon$  的坡向方向，A 点在空间三维坐标 XOY 平面上的投影为 a，过 a 点 L 在 XOY 平面的投影为  $L_1$ ，那么  $L_1$  与 X 轴 N 方向的夹角  $\theta$  即为 A 点在曲面  $\varepsilon$  的坡向值。坡向是具有方向性的，如图 1(b)所示，坡向坐标系表示地形点在不同位置的坡向分布情况，也可以认为是理想情况下，以原点为山顶点的山顶坡向分布<sup>[23-24]</sup>。

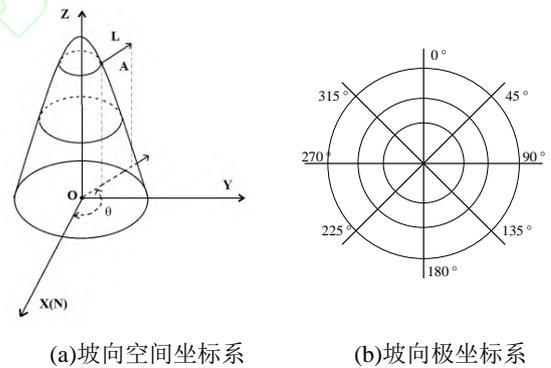


图 1 坡向表达

Fig.1 Aspect Schematic

从正北方向开始，栅格点的坡向值会以某个地形特征点为中心，在顺时针方向在周围格网中呈明显的递增趋势，此时该地形特征点即是所需要提取的潜在山顶点，且具有明显独特性区别于其他地形特征点。山顶，山脊，洼地和鞍部地区地形特征点在  $3 \times 3$  窗口内的坡向分布表达如图 2 所示。在利用坡向分布特征提取山顶点时，考虑到山顶点是地貌特征中的一个点，所以需要通过对分析窗口内的栅格数据集进行约束来识别判断。

当以栅格 DEM 为源数据提取山顶点时,考虑到边界处可能会出现潜在山顶点,此时通过搜索算法提取潜在山顶点时在边界处可能会因为格网数据集不足而丢失掉部分山顶点。所以提取潜在山顶点时需对 DEM 边界格网进行赋值,即在边界格网的外侧加上一组高程值略低于边界高程值的格网数据集,使提取所需的栅格数据集完整。山顶点提取步骤为:从栅格 DEM 提取出坡向数据,以坡向数据组成坡向矩阵并依次搜索判断;以待判断点为中心,通过设定的分析窗口获取待判断点周围所有格网的坡向值;然后在顺时针方向上逐一比较相邻格网的坡向值大小,并记录满足上一格

网坡向值小于下一格网坡向值的格网个数。设满足条件的格网个数为  $m$ ,分析窗口大小为  $n$ ,若  $m$  满足:

$$m \geq \frac{n+1}{2} - 1 \quad (1)$$

则认为在理想条件下,该待判断点是潜在山顶点。重复上述过程,直到处理完所有待判断点。其中,当  $m$  越大时,待判断点坡向约束条件越严格,其周围格网的坡向分布越均匀;反之,当  $m$  越小时,待判断点坡向约束条件越宽松,其周围格网的坡向分布越离散。

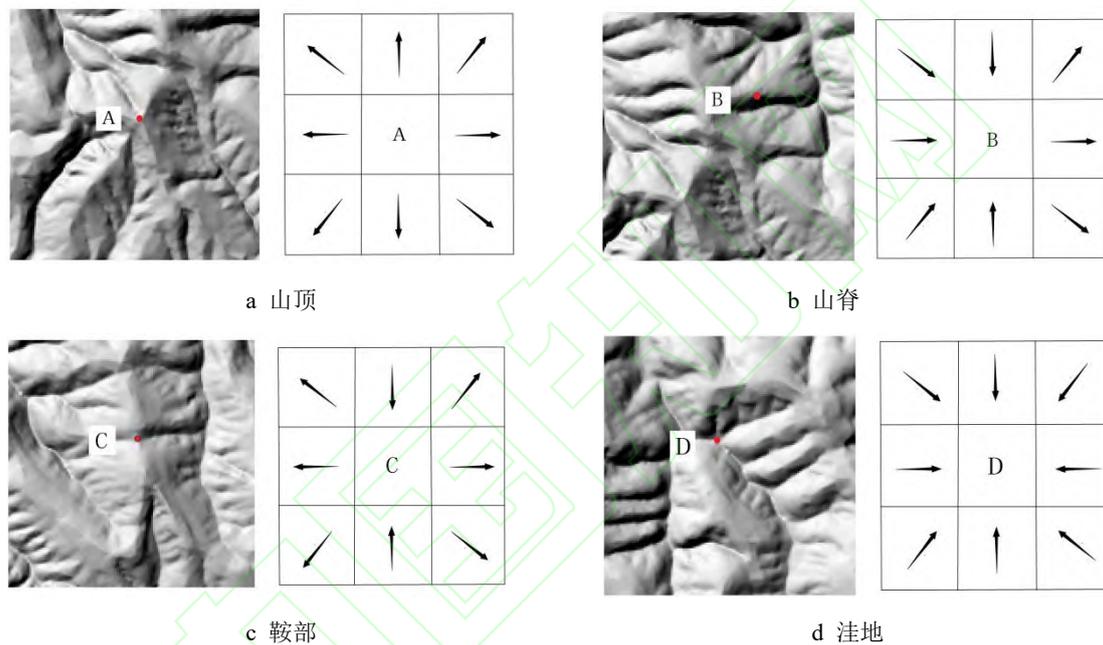


图2 地形特征点坡向分布表达

Fig. 2 Aspect Distribution of Topographic Feature Points

## 2.2 伪山顶点剔除

在利用山顶坡向分布规律提取山顶点时,由于 DEM 不可避免的会出现一定误差以及实体地貌形态复杂多样,可能导致提取结果中出现噪声点即伪山顶点。山顶点和山脊线等特征地形要素作为构成地表形态基本框架的重要组成因子,对于地表空间位置分布具有一定的控制作用<sup>[25]</sup>,在实际地形当中,山顶点也会必然分布在山脊线上。根据此特性,可在栅格 DEM 中通过水文分析获得出研究区正地形,利用流域边界线提取出山脊线<sup>[26-27]</sup>。将已经提取获得的潜在山顶点与山脊线进行拟合叠加分析,就可以剔除掉其中的伪山顶点。

当某些地区的山顶为较为平缓或山顶为平顶山时,可能会出现局部地区潜在山顶点邻接且连续分布的情况,考虑到实际山顶点应用情况,需对多余的潜在山顶点进行剔除。可根据深度优先搜索算法(Depth First Search, DFS)来剔除重复潜在山顶点:将提取到的潜在山顶点与非潜在山顶点分别赋不同值,以潜在山顶点为中心,深度遍历找出其它潜在山顶点。当搜索到的潜在山顶点相邻且连续时,随机保留其中一个潜在山顶点,并将其它剩余相邻潜在山顶点赋为非潜在山顶点值。利用坡向分布特征法提取山顶点流程如图3所示。

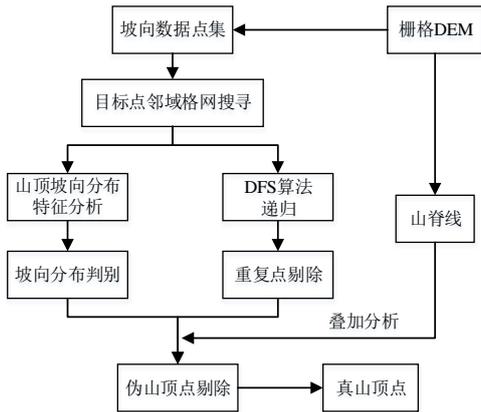


图3 栅格DEM山顶点提取流程图

Fig. 3 Grid DEM Mountain Peak Extraction Flowchart

### 3 实验与分析

#### 3.1 实验数据

为了更好地研究利用坡向分布特征提取山顶点的理论科学性和坡向约束条件在实际应用当中的可适性,本研究实验区分别采用了模拟DEM和实体DEM进行实验和验证。模拟区DEM根据改写的山体peaks函数,生成三维示意图如图4所示。模拟DEM大小为 $100 \times 100$ ,空间分辨率为5m,最大高程点和最低高程点分别为216m和40m,相对高差为176m。实体DEM选用陕西丘陵黄土地形区,该研究区内具有较为完整的山地地貌特征,能够较为完整的反映山地地貌的细部特征。裁剪1:10000栅格DEM某区域作为坡向约束条件实验研究源数据,最大高程点和最低高程点分别为1078.9m和902m,相对高差为176.9m;分别裁剪河流峡谷,丘陵低山和中、高山地形作为实验样区进行山顶点提取对比验证实验,实验样区像元大小为 $5m \times 5m$ ,每个实验样区各160000个像元。

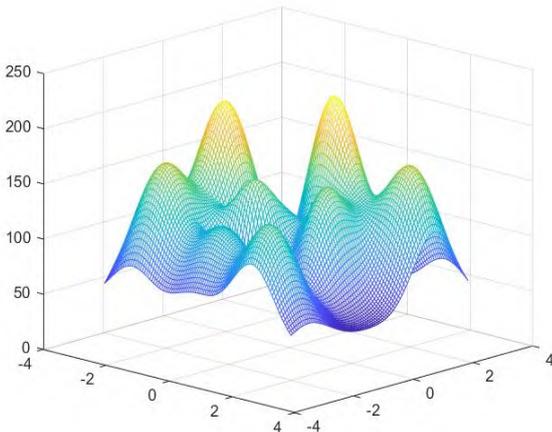


图4 模拟DEM山体示意图

Fig. 4 Schematic Diagram of Simulated DEM Mountain

#### 3.2 提取结果与分析

根据函数模拟生成的DEM山体曲面连续且光滑,在DEM理想无差的情况下,验证通过坡向分布特征提取山顶点理论方法的正确性和科学性。本实验选用了 $3 \times 3$ 大小分析窗口进行实验,在剔除重复点之后,提取得到山顶点数量为8。通过生成模拟DEM的peaks函数极值解算,同样可得到实际山顶点数量为8,且提取得到的山顶点都满足模拟山体的高程极大值位置点,符合实际山顶点的定义。由此可知,利用坡向分布特征提取山顶点的方法在科学理论上具有一定可行性,提取出的山顶点结果如图5所示。

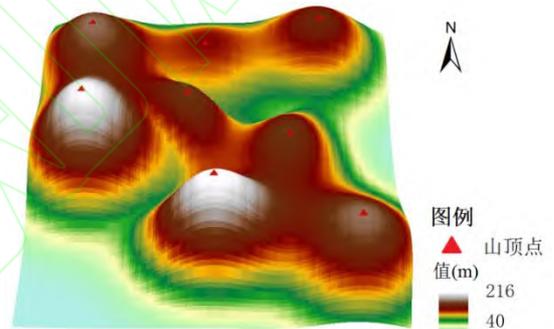


图5 模拟DEM山顶点提取结果

Fig. 5 Simulated DEM Mountain Peak Extraction Result

由于实体DEM存在一定的破碎,若严格依据山顶点坡向分布特征提取潜在山顶点,则有可能造成局部特征点的丢失。对于实体DEM的潜在山顶点提取,则需要适当调整山顶点坡向的约束条件<sup>[28]</sup>。按照坡向分特征约束条件的严格程度对提取出的潜在山顶点分为第1级、第2级、第3级,当约束条件等级越高时,提取出的潜在山顶点的坡向分布越均匀,分析窗口内满足山顶范围坡向分布规律的栅格点越多;当约束条件等级越低时,分析窗口内满足山顶范围坡向分布规律的栅格点越少,提取出的局部凸出点越多。在剔除掉伪山顶点以及重复的潜在山顶点之后,实验结果如图6所示。利用坡向分布特征法提取山顶点结果和人工标

记点山顶点结果如表 1 所示。由表 1 可知，当适当调整坡向约束条件后，能够比较准确地识别并提取出真山顶点。

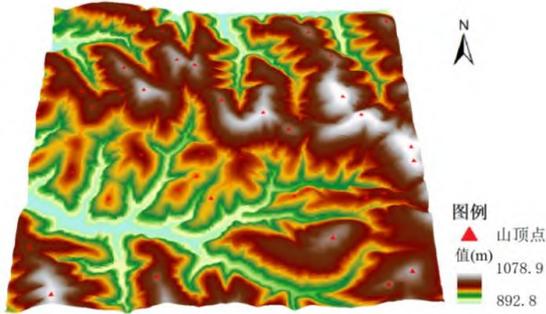


图 6 实体 DEM 山顶点提取结果

Fig. 6 Entity DEM Mountain Peak Extraction Result

当约束条件为第 1 级时，山顶点的坡向约束条件最严苛，在理论上符合光滑规则山顶的坡向分布规律，但是由于实体 DEM 不可避免的存在误差以及实体地形分布的复杂多样性，会导致部分山顶点的丢失；当适当调整山顶点的坡向约束条件时，能够较为准确地提取出第 1 级坡向约束条件中遗漏的部分山顶点，且随着约束的逐渐放宽，提取出的伪山顶点也逐渐增多。

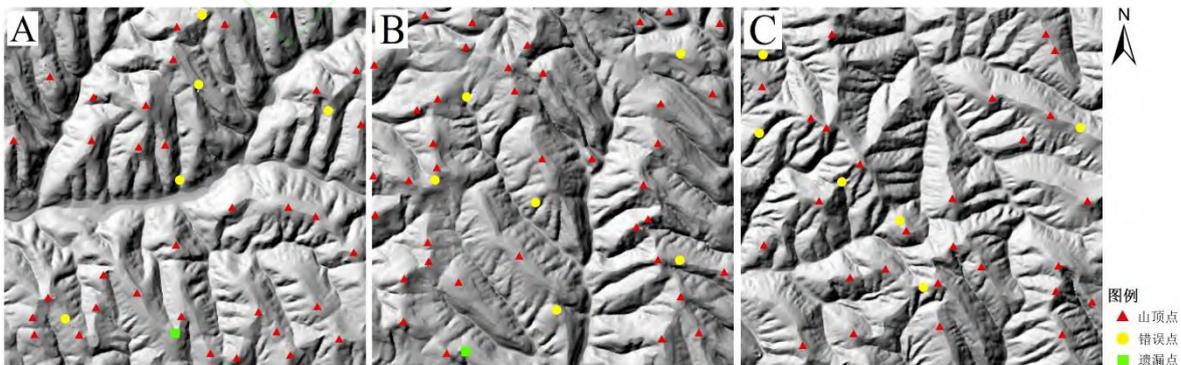
表 1 不同约束等级山顶点提取结果统计

Tab. 1 Statistics of Mountain Peak Extraction Results with Different Constraint Levels

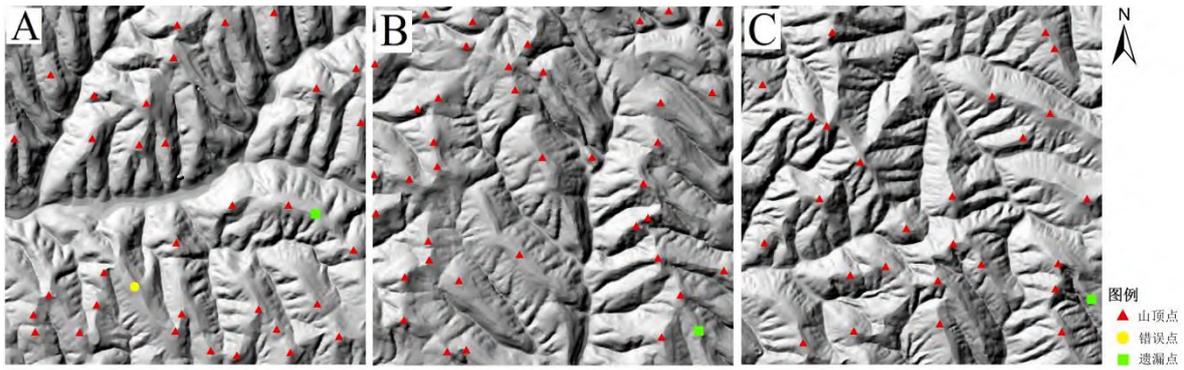
约束等级	山顶点数	人工标记山顶点数	正确点数	遗漏点数	错误点数	提取准确率
第 1 级	40	44	40	4	0	90.9%
第 2 级	43	44	43	1	0	97.7%
第 3 级	48	44	44	0	5	91.7%

为验证在最优坡向约束下山顶点提取的准确性，实验样区选用了 3 种不同地貌类型区域，并结合传统邻域分析的等高线辅助判别方法进行对比验证。样区 A 为河流峡谷地区，以峡谷微地形为主；样区 B 为丘陵低山地区，地形相对起伏度较缓；样区 C 为中、高山地区，地形相对起伏度较大。设定等高线辅助判别方法高差阈值为 10m，分析窗口为 3×3，根据等高线辅助判别方法和坡向分布特征方法提取山顶点结果分别如图 7(a)和图 7(b)所示，样区山顶

点提取结果统计如表 2 所示。从提取结果我们可以知道，利用邻域分析的等高线辅助判别方法虽然能在一定程度上解决部分山顶点遗失的问题，但是仍在存在一定的伪山顶点。利用坡向分布特征法山顶点提取准率在样区 A 为 94.4%，样区 B 为 97.6%，样区 C 为 96.4%，平均准确率为 96.1%，较利用等高线辅助判别方法的准确率有所提高，克服了主观选取高差阈值的不确定性。



(a)传统闭合等高线辅助提取结果



(b)坡向分布特征法提取结果

图 7 实验结果对比

Fig. 7 Comparison of Experimental Extraction Results

表 2 各样区山顶点提取结果统计

Tab. 2 Statistics of Mountain Peak Extraction Results in Various Areas

研究区 编号	人工标记 山顶点数	传统闭合等高线辅助法			坡向分布特征方法		
		遗漏点数	错误点数	准确率	遗漏点数	错误点数	准确率
A	36	1	5	83.3%	1	1	94.4%
B	41	1	6	82.9%	1	0	97.6%
C	28	0	6	78.6%	1	0	96.4%

## 4 结束语

随着栅格 DEM 数据的不断丰富以及数字地形分析技术的不断发展,山顶点作为数字地形中关键性的特征点,在研究地貌特征和微地形中发挥着至关重要的作用。本文根据山顶在实际地貌中的形态结构特征,提出了利用坡向分布特征的山顶点提取方法。通过生成理想的模拟 DEM,验证了利用坡向分布特征法提取山顶点的理论正确性;在地形复杂多变的实体 DEM 中,通过对比不同等级的坡向约束条件下实体 DEM 的山顶点提取结果,确定了最佳的坡向约束条件。实验结果表明,利用坡向分布特征法提取山顶点在实际运用当中是行之有效的,能够较好地改善断面极值法的局部山顶点丢失和邻域分析法主观选取阈值的问题,为地形特征点的提取研究提供了一种思路。但是本研究中针对伪山顶点剔除方法中尚未涉及相对起伏度的条件约束,在实际生产活动中,当需要通过山体范围来获取山体相对起伏度时,就需要定义重新山体范围,提取的山顶点结果也会产生相应差异,此时的约束条件及机理亟待更进一步研究。

## 参考文献

- [1] Cang Xuezi, Tang Guoan, Zhong Teng, et al. Classification of peaks and digital expression of their spatial pattern[J]. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition)*, 2010, 33(1): 136-140(苍学智, 汤国安, 仲腾, 等. 山顶点类型及其形态特征数字表达[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2010, 33(1): 136-140)
- [2] Wu Lun, Liu Yu, Zhang Jing, et al. Geographic information system-principle, method and application[M]. Beijing: Peking University Press, 2001(邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统—原理、方法和应用[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001)
- [3] Mukherjee S, Mukherjee S, Garg R D, et al. Evaluation of topographic index in relation to terrain roughness and DEM grid spacing[J]. *Journal of Earth System Science*, 2013, 122(3): 869-886.
- [4] Li Zhenhong, Li Peng, Ding Dong, et al. Research Progress of Global High Resolution Digital Elevation Models[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 1927-1942(李振洪, 李

- 鹏,丁咚,等. 全球高分辨率数字高程模型研究进展与展望[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1927-1942)
- [5] Ibrahim M, Al-Mashaqbah A, Koch B, et al. An evaluation of available digital elevation models (DEMs) for geomorphological feature analysis[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2020, 79(13): 1-11.
- [6] Tang Guoan, Na Jiaming, Cheng Weiming. Progress of Digital Terrain Analysis on Regional Geomorphology in China[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1570-1591(汤国安, 那嘉明, 程维明. 我国区域地貌数字地形分析研究进展[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1570-1591)
- [7] Huang Peizhi, Liu Zehui. Study of Extraction of Ridge and Valley from DEM Data[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2005(4):11-13(黄培之, 刘泽慧. 地形断面高程极值法的理论研究[J]. 测绘通报, 2005(4): 11-13)
- [8] Zou Kun, Wo Yan, Xu Xiang. A Feature Significance-Based Method to Extract Terrain Feature Lines[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(3): 342-348(邹昆, 沃焱, 徐翔. 利用特征显著度提取地形特征线的方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(3): 342-348)
- [9] Chen Panpan, Zhang Youshun, Wang Chun, Ge Shanshan. Method of Extracting Surface Peaks Based on DEM[J]. *Modern Surveying and Mapping*. 2006, 29(2): 11-13(陈盼盼, 张友顺, 王春, 葛珊珊. 基于 DEM 的山顶点快速提取技术[J]. 现代测绘, 2006, 29(2): 11-13)
- [10] Zou Baoyu, Dong Chengyan, Gou Jiaojiao, Luo Mingliang, LIN Yebin. Extraction and Spatial Pattern of Landform Peaks Based on DEMs[J]. *Remote Sensing Information*. 2016, 31(2): 124-128(邹宝裕, 董丞妍, 苟娇娇, 等. 数字高程模型提取山顶点及空间格局差异[J]. 遥感信息, 2016, 31(2):124-128.)
- [11] Luo Mingliang, Tang Guoan. Mountain peaks extraction based on geomorphology cognitive and space segmentation[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2010, 35(5): 126-127(罗明良, 汤国安. 地貌认知及空间剖分的山顶点提取[J]. 测绘科学, 2010, 35(5): 126-127).
- [12] Wood J. The geomorphological characterisation of digital elevation models[M]. *University of Leicester (United Kingdom)*, 1996.
- [13] Gu Liuwan, Wang Chun, Li Peng, et al. A model of extracting surface peak height precision based on DEM[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016,41(1):131-135. (顾留碗, 王春, 李鹏, 等. 利用 DEM 提取山顶点精度研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(1): 131-135)
- [14] Deng Y, Wilson J P. Multi-scale and multi-criteria mapping of mountain peaks as fuzzy entities[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, 22(1-2):205-218.
- [15] Lee J, Fisher P F, Snyder P K. Modeling the effect of data errors on feature extraction from digital elevation models[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1992, 58(10): 1461-1461.
- [16] Sofia G. Combining geomorphometry, feature extraction techniques and Earth-surface processes research: The way forward[J]. *Geomorphology*, 2020, 355: 107055.
- [17] Zhou Fangbin, Liu Xuejun. Improved Hill-position Classification Decision and Experiment of Micro Landform Classification Based on DTA[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2008, 17(3): 343-346(周访滨, 刘学军. 基于 DTA 山体部位分类决策方案的改进与微观地形自动分类研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 343-346)
- [18] Liu Aili, Ding Hu, Tian Dan, et al. A DCT DEM Digital Watermarking Algorithm Based on the Analysis of Slope and Aspect[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. 2016, 41(7): 903-910(刘爱利, 丁浒, 田丹, 等. 基于坡度和坡向分析的 DCT 域 DEM 数字水印算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(7): 903-910)
- [19] Zhou Fangbin, Zou Lianhua, Liu Xuejun, Meng Fanyi. Micro Landform Classification Method of Grid DEM Based on Convolutional Neural Network[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(8): 1186-1193(周访滨, 邹联华, 刘学军, 孟凡一. 栅格 DEM 微地形分类的卷积神经网络法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(8): 1186-1193)
- [20] National Key Laboratory of resource and environmental information system, Institute of Geographical Sciences and resources, Chinese Academy of Sciences. 1: 1000 000 digital geomorphological

*classification and coding system of China*[S]. 2005(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室.中国 1:100 万数字地貌分类与编码体系[S]. 2005)

- [21] Li Runchao, Yuan Linwang, Li Shuo, et al. A Vector Field Template Matching Method of DEM Slope Extraction[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 2013, 42(6): 922-928(李润超, 袁林旺, 李硕, 等. DEM 坡向提取的向量场模板匹配方法[J]. 测绘学报, 2013, 42(6): 922-928)
- [22] Liu Xuejun, Zhang Ping. Effective Scale of Slope and Aspect Derived from Grid-Based Digital Elevation Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(12): 1254-1258(刘学军, 张平. DEM 坡度, 坡向的有效尺度范围[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2008, 33(12): 1254-1258)
- [23] Hu Guanghui, Xiong Liyang, Tang Guoan. Vector geometry based method for the extraction of slope of aspect by using DEMs[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2019, 48(11): 1404-1414(胡光辉, 熊礼阳, 汤国安. DEM 地表坡向变率的向量几何计算方法[J]. 测绘学报, 2019, 48(11): 1404-1414)
- [24] Liu Xuejun, Gong Jianya, Zhou Qiming, et al. A Study of Accuracy and Algorithms for Calculating Slope and Aspect Based on Grid Digital Elevation Model(DEM)[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2004, 33(3): 258-263(刘学军, 龚健雅, 周启鸣, 等. 基于 DEM 坡度坡向算法精度的分析研究[J]. 测

绘学报, 2004, 33(3): 258-263)

- [25] Xue Kaikai, Xiong Liyang, Zhu Shijie, et al. Extraction of Loess Dissected Saddle and Its Terrain Analysis by Using Digital Elevation Models[J]. *Journal of Geo-Information Science*. 2018, 20(12): 1710-1720(薛凯凯, 熊礼阳, 祝士杰, 等. 基于 DEM 的黄土峁峁提取及其地形特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(12): 1710-1720)
- [26] Guo Qingsheng, Yang Zuqiao, Feng Ke. Extracting Topographic Characteristic Line from Contours[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(3): 253-256(郭庆胜, 杨族桥, 冯科. 基于等高线提取地形特征线的研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(3): 253-256)
- [27] Hu Jinlong, Tang Menghao, Luo Mingliang, et al. The Extraction of Characteristic Elements of Mountain based on DEM. *Journal of Geo-information Science*[J]. 2020, 22(3): 422-430(胡金龙, 唐梦鸽, 罗明良, 等. 基于 DEM 的一体化山地特征要素提取[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3): 422-430)
- [28] Li Zhilin, Wang Jicheng, Tan Shiteng, et al. Scale in Geo-information Science: An Overview of Thirty-year Development[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2233-2242(李志林, 王继成, 谭诗腾, 等. 地理信息科学中尺度问题的 30 年研究现状[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 2233-2242)

## Method for Mountain Peak Extraction of Grid DEM Based on Aspect

### Distribution Feature

ZHOU Fangbin<sup>1,2</sup> XIAO Zhiwen<sup>1</sup> LIU Xuejun<sup>3</sup> MA Guowei<sup>1</sup> ZHANG Shanshan<sup>4</sup>

1 School of Traffic & Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China

2 Key Laboratory of Special Environment Road Engineering of Hunan Province, Changsha University of Science & Technology  
410114, China

3 School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

4 Yunnan Transport Planning and Design Institute Co., Ltd., Kunming 650041, China

**Abstract: Objects:** The mountain peak extraction technology determines the accuracy of the hill position classification results and the efficiency of automatic classification of micro-landform. On account of the limitations of elevation and contour lines, such as loss of local mountain peaks and incomplete removal of false mountain

peaks, it must be mined other landform factors to express the distribution feature around the mountain peaks.

**Methods:** Based on the uniform distribution feature of the aspect around the mountain peaks, an efficient mountain peak extraction model is proposed in this paper, in which the aspect is centered on the mountain peak and gradually increases clockwise. Moreover, according to the ridge line fitting method and the recursive thought of depth first search algorithm, the false mountain peaks in the extraction results are removed, while the real mountain peaks are retained. **Results:** Considering the negative influences of the terrain fragmentation of the entity DEM, this paper experiments and analyzes with simulated DEM and entity DEM respectively. The result shows that the proposed method overcomes the uncertainty of subjective threshold when extracting mountain peaks based on closed contour lines. The accuracy of extracting simulated DEM mountain peaks can achieve up to 100% due to its continuity and smoothness. Considering that the terrain fragmentation of entity DEM will make it ill-posed, we improve it by adjusting the aspect distribution constraint condition and obtain average extraction accuracy of 96.1%. **Conclusion:** An efficient mountain peak extraction model is proposed in this paper based on the digital terrain analysis technology and the uniform distribution feature of the aspect around the mountain peaks, and the topographic feature points are extracted from the perspective of terrain geometry. Compared with the traditional mountain peak extraction methods, the method based on aspect distribution feature is relatively accurate and simple, effectively reducing the false mountain peaks appearing in the results.

**Key words:** digital terrain analysis; grid DEM; aspect; mountain peak; distribution feature

**First Author:** ZHOU Fangbin, PhD, specializes in digital terrain analysis. E-mail: Arthur1975@126.com

**Corresponding Author:** XIAO Zhiwen, specializes in digital terrain analysis. E-mail: Ar7cher@163.com

**Foundation Support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41671446, 41371421; General project of Hunan Natural Science Foundation, No.2021JJ30702; The project was supported by Open Fund of Key Laboratory of Special Environment Road Engineering of Hunan Province (Changsha University of Science & Technology), No. kfj140502.

**网络首发:**

**标题:** 栅格DEM山顶点提取的坡向分布特征法

**作者:** 周访滨, 肖智文, 刘学军, 马国伟, 张珊珊

**收稿日期:** 2021-09-06

**DOI:** 10.13203/j.whugis20210479

**引用格式:**

周访滨, 肖智文, 刘学军, 等. 栅格 DEM 山顶点提取的坡向分布特征法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210479 (ZHOU Fangbin, XIAO Zhiwen, LIU Xuejun, et al. ZHANG Shanshan. Method for Mountain Peak Extraction of Grid DEM Based on Aspect Distribution Feature [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210479)

**网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别, 请以正式出版文件为准!**

**您感兴趣的其他相关论文:**

**利用 DEM 提取山顶点精度研究**

顾留碗, 王春, 李鹏, 王靖, 王壮壮

武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(1): 131-135

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20130386>