

DEM 提取坡度产生的边缘效应分析

宋佳^{1,2}, 汤国安¹, 王春¹, 肖晨超¹

(1. 南京师范大学 地理信息科学 江苏省重点实验室, 江苏 南京 210097;

2. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 由 DEM 提取地形因子时一般采取 3×3 窗口分析运算, 导致得到的地形因子矩阵在边缘上存在明显边缘误差。以黄土高原不同地貌类型区坡度的提取为例, 研究基于 1:10 000 和 1:50 000 比例尺 DEM 提取坡度时所产生的边缘效应, 分析了边缘效应与 DEM 分辨率、区域面积及区域地貌特征之间的关系, 提出了解决或改善边缘效应的方法。用 2 个指标量化了边缘效应: 一是平均坡度的变化值; 二是边缘部分坡度提取的中误差。试验结果显示: 平均坡度的变化值与 DEM 分辨率、区域面积及区域地貌特征之间有较明显的相关关系, 即分辨率越高、区域面积越大, 地面起伏越小, 则边缘效应对整个区域平均坡度的影响就越小; 而边缘部分坡度提取的中误差与区域面积没有明显的稳定相关关系, 但与 DEM 分辨率和区域地貌特征之间存在较明显相关关系, 即分辨率越高, 地面起伏越大, 则边缘上坡度提取的中误差越大。

关键词: DEM; 坡度; 边缘效应; 中误差

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)03-0082-04

中图分类号: P284

Edge Effect Analysis on Deriving Slope from Grid DEM

SONG Jia^{1,2}, TANG Guo-an¹, WANG Chun¹, XIAO Chen-chao¹

(1. Pivot Laboratory of Geographical Science in Jiangsu Province, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, Jiangsu Province, China; 2. Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China)

Abstract: Neighborhood analysis calculation with 3×3 window is usually adopted to derive slope from Grid DEM. This method produces errors on the edge of terrain factors matrix. This paper takes slope as an example, three areas with different terrain characteristics as test areas, studies the edge effect on deriving slope from DEM with different scale, analyses the relationship between the edge effect and DEM resolution, region area and terrain characters, puts forward some methods to solve or decrease impact of the edge effect. It is important for digital terrain analysis with high precision. There are two indexes to express edge effect: the first is the change value of mean slope; the second is root mean square error on the edge when deriving slope. The result shows that, the change value of mean slope is related to DEM resolution, region area and terrain characteristics, RMSE on the edge when deriving slope is related to DEM resolution and terrain characteristics.

Keywords: DEM; slope; edge effect; RMSE

基于 DEM 提取地形因子是数字地形分析的重要方法。栅格 DEM 提取地形因子时一般采取窗口分析运算, 如坡度的提取采用 3×3 窗口分析运算。当窗口移动到 DEM 边缘时, 一般是将该 DEM 外扩一圈, 对 DEM 外部的栅格赋以中心栅格的高程值, 使每一个栅格都参与计算。这种方法导致得到的地形因子矩阵在边缘上的值是不准确的, 也就使得这些数据在进行下一步的统计分析时存在误差。尤其是对于方向数据, 如坡向、流向、可视性分析等, 边缘效应的存在会使得边缘部分方向不准确, 甚至与实际方向完全不符, 严重影响了用户的分析决策。

这种现象称之为基于 DEM 提取地形因子时产生的边缘效应。

在遥感数字图像处理中也有类似的现象, 利用 3×3 模板进行卷积运算时, 为了保持得到的图像大小不变, 可以在卷积运算前, 在原图像的上下左右各加一行和一系列, 亮度值与相邻像元的亮度值相同, 然后再计算; 或者在卷积运算后的结果图像上下左右各加一行和一系列, 亮度值与相邻像元的亮度值相同或全部为 0^[1-2]。

由于卷积运算是用于遥感图像的增强处理, 使遥感图像便于解译, 所以, 图像边缘一圈的像元上出现

收稿日期: 2005-09-14

基金项目: 国家自然科学基金 (40271089)

作者简介: 宋佳 (1978—), 女 (汉族), 云南省个旧市人, 研究生, 主要从事基于 DEM 的黄土高原数字地形分析研究。E-mail: zj_long11@126.com。

误差不会对整幅图像的识别判读带来影响,可以忽略不计。

本文以提取坡度为例,研究不同地貌特征地区的不同比例尺 DEM 提取坡度时产生的边缘效应。坡度是地表形态的重要示量之一,影响着地表物质流动与能量转换的规模与强度,制约着水土保持、土地利用规划、土地资源评价、水利、交通建设以及城市规划的实施。

前人对于由 DEM 提取坡度的方法和精度进行了大量研究:高精度的 DEM 能提取精度相对高的坡度数据^[3-4];坡度数据精度随 DEM 分辨率的增大而降低,坡度与 DEM 高程值的标准偏差和平均高程之间呈线性相关^[5];不同的计算方法可以得到不同的坡度值,由高分辨率 DEM 提取的坡度值更为准确,坡度与土壤侵蚀密切相关,提取坡度时产生的误差给土壤侵蚀分析带来很大影响^[6];坡度误差来源于数学模型误差、DEM 误差和 DEM 格网分辨率,在实际计算中推荐使用三阶不带权差分模型^[7];通过对地形复杂度与坡度关系的研究,发现坡度误差主要分布在平坦地区^[8]。

这些研究主要是针对坡度的提取算法、影响坡度数据精度的各种要素以及坡度误差的分布等。但是,大家都忽略了提取坡度时所产生的边缘效应。实际上,边缘效应是一个普遍存在但又被普遍忽视的现象,它的存在使得基于 DEM 的窗口分析方法提取的定量地形因子数据模型在边缘上是不可靠的,给下一步地学分析带来了很大的不确定性。

因此,研究边缘效应的产生和变异规律,对解决或者改善边缘效应,获得更为准确的定量地形因子数据模型,完成高精度的数字地形分析具有十分重要的指导意义。

1 坡度提取算法

地面某点的坡度是过该点的切平面与水平地面的夹角,表示了地表面在该点的倾斜程度。利用栅格 DEM 数据提取坡度时,一般采用 3 × 3 移动窗口进行邻域分析运算,窗口在 DEM 数据矩阵中连续移动后完成整个区域的计算工作。最为常见的 2 种提取方法是最大坡降法和差分算法。

最大坡降法是利用中心栅格点与周围 8 个格网点的高程差计算坡度,其最大者为该点坡度,该算法简单、执行效率高,但高程误差对坡度影响较大。为了克服其缺点,结合 DEM 的规则格网分布特点,围绕差分原理产生了多种坡度差分算法(图 1)。

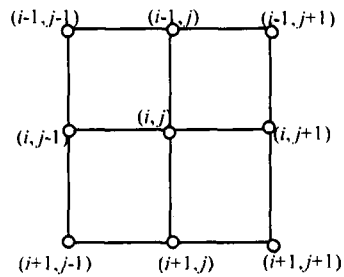


图 1 差分算法示意图

在本研究中利用 ArcView 软件提取坡度,采用的坡度提取算法是三阶反距离平方权差分^[9]。该算法考虑了不同距离上的点对中心格网点偏导数计算的影响。

$$p = 1 / D^m \tag{1}$$

式中: P ——权重; m ——任意常数,一般取 1 或 2; D ——到中心点的距离,取值为 d 或 (设格网的间距为 d)。

如图 1 所示,设中心格网点为 (i, j) ,相应坐标为 (x_i, y_i) ,局部地形曲面设为 $z = f(x, y)$, d 为格网间距, S 是坡度,可以得到三阶反距离平方权差分的计算公式:

$$f_x = (z_{i+1,j-1} + 2z_{i+1,j} - z_{i-1,j-1} - 2z_{i-1,j} - z_{i-1,j+1}) / 8d \tag{2}$$

$$f_y = (z_{i+1,j+1} + 2z_{i,j+1} - z_{i-1,j+1} - 2z_{i,j} - z_{i+1,j-1}) / 8d \tag{3}$$

$$S = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \times 180 / \tag{4}$$

2 产生边缘效应的原因

如图 2 所示, X_1 是 DEM 中第一个参与窗口分析的窗口中心栅格, X_2 是窗口移动后参与窗口分析的栅格。窗口在 DEM 数据矩阵中连续移动后完成整个区域的计算工作。

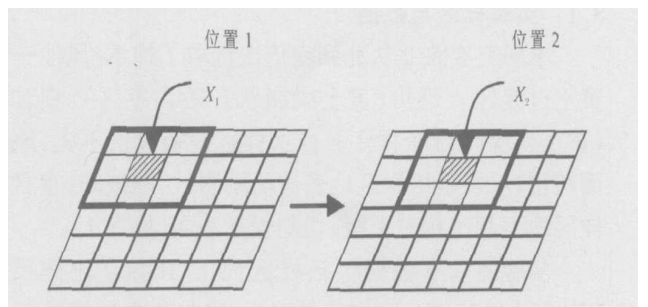


图 2 3 × 3 窗口移动

从图 2 上可以看出,当窗口在 DEM 上移动时,图像边缘一圈的栅格都未参与计算,其值未变。为了使这一圈也参与运算,一般是在 DEM 的上下左右各加一行和一列,并分别赋以窗口中心栅格的值,然后再计算坡度值^[9]。如图 3 所示, X_3 是 DEM 边缘上

左上角的栅格,当 DEM 外扩一圈后,在 DEM 外部产生 6 个无数据的栅格,它们被赋以窗口中心栅格的值; x_4 是 DEM 下部边缘上的一个栅格,当 DEM 外扩一圈后,在 DEM 外部产生 3 个无数据的栅格,它们被赋以窗口中心栅格的值。

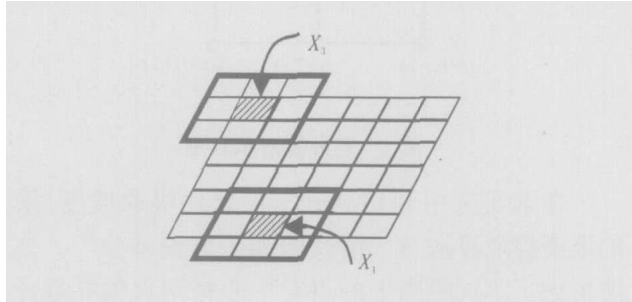


图 3 窗口外扩后的赋值示意图

这种方法使得 DEM 的每个栅格都参与了窗口分析运算,每个栅格都可以得到一个新值,但也使得提取到的坡度数据在边缘一圈上存在误差,为下一步的应用分析带来误差传播,这种现象称为 DEM 提取坡度时产生的边缘效应,而产生边缘效应的根本原因就是栅格 DEM 提取坡度时所采取的 3×3 窗口分析运算。由于存在边缘效应,边缘部分提取到的坡度值与真实坡度值或没有边缘误差时的坡度值不同,其相减的结果如图 4 所示。

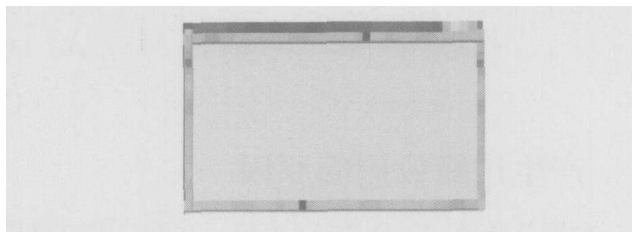


图 4 两坡度图相减后的结果图

3 实验基础与方法

3.1 实验样区与数据

本研究在陕北从北到南依次选取了神木(风沙—黄土过渡区)、延川(黄土梁峁状丘陵沟壑区)、宜君(黄土残塬区)3 个样区。神木样区地表起伏不大,地面切割轻微;延川样区地表起伏剧烈,切割破碎;宜君样区地面起伏相对平缓,切割程度减弱(见表 1)。

实验的基本数据包括样区内 1:10 000 比例尺 DEM 和 1:50 000 比例尺 DEM。这些基本数据的获取主要有 2 种方式:基于 1:10 000 比例尺地形图的 DEM 是采用国家标准建立方法,利用 1:10 000 地形图等高线数字化内插法建立的高精度 DEM,空间分辨率为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$;基于 1:50 000 比例尺地形图的 DEM 数据来源于国家目前已完成的覆盖全国的 DEM 数据库,空间分辨率为 $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 。

表 1 各样区情况一览表

实验样区	基本自然状况
神木(风沙—黄土过渡区)	有连片的梁峁状丘陵沟壑分布,其上覆盖有薄层片沙河低缓沙丘,地表切割轻微,起伏平缓
延川(黄土梁峁状丘陵沟壑区)	属于典型的黄土梁峁状丘陵沟壑区,梁峁兼有,沟壑发育,地表起伏剧烈,切割破碎
宜君(黄土残塬区)	地表起伏相对平缓,塬面坡度 $3^\circ \sim 10^\circ$,沟壑密度 $2 \sim 3 \text{ km} / \text{km}^2$,切割程度减弱

3.2 研究方法

由某样区 DEM 提取出坡度,然后在这幅坡度图中截取一矩形区域,得到一幅小区域的坡度图,即为没有边缘效应时的坡度图;在 DEM 中截取同样大小的矩形区域,对这个区域也提取坡度,得到的坡度图即为有边缘效应时的坡度图。对这两幅坡度图作相减运算,得到的结果如图 4 所示,可见,边缘效应的存在使得边缘一圈的坡度值发生了变化。

本研究用 2 个指标来量化边缘效应:(1) 上述两幅坡度图的平均坡度的差值,代表了边缘效应对整个区域平均坡度的影响,称之为平均坡度的变化值。(2) 边缘上坡度提取的中误差(RMSE),反映了由于边缘效应的存在,边缘地区坡度计算的精度变化情况。边缘上坡度提取的中误差计算公式如下:

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i有} - x_{i无})^2}{n}} \quad (5)$$

式中: $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i有} - x_{i无})^2}{n}}$ ——边缘上坡度提取的中误差; n ——边缘一圈的栅格个数; $x_{i有}$ ——有边缘效应时,边缘一圈上第 i 个栅格的坡度值; $x_{i无}$ ——没有边缘效应影响时计算得到的坡度值。

本研究主要基于 1:10 000 和 1:50 000 DEM 数据,选择 3 个典型地貌类型区,采用样区几何中心分析窗口外扩方法,分别研究不同地貌特征、比例尺及区域面积下,边缘效应引起的坡度变异特征。

4 实验结果与分析

结果表明,由于边缘效应的存在,使得区域的平均坡度减小了,边缘上存在明显的坡度计算误差。图 5 是散点图,为了更好地揭示横纵坐标之间的关系,添加了趋势线。该图反映了由于边缘效应的存在,不同地貌类型、比例尺 DEM 提取坡度时,平均坡度的变化值与区域面积的关系;图 6 反映了由于边缘效应的存在,不同地貌类型、不同比例尺 DEM 提取坡度时,边缘上坡度提取的中误差与区域面积的关系。

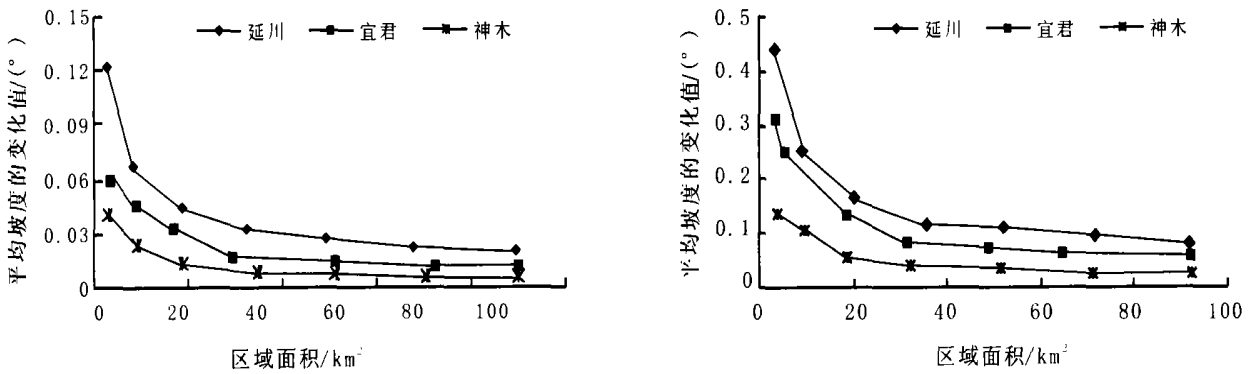


图 5 平均坡度的变化值与区域面积的关系

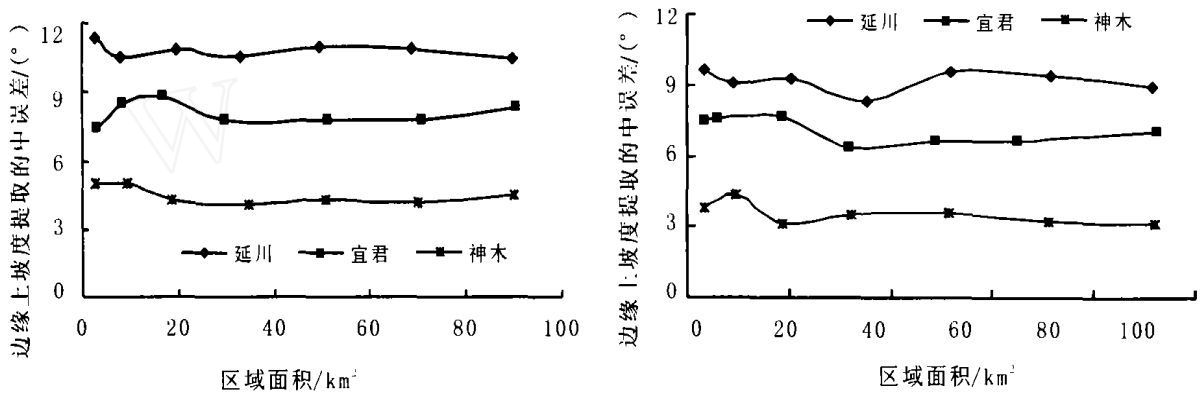


图 6 边缘上的中误差与区域面积的关系

根据图 5 可以得出:由于边缘效应的存在,样区的平均坡度减小了,且分辨率越高,区域面积越大,边缘效应对整个区域平均坡度的影响就越小。根据图 6 可以得出:由于边缘效应的存在,边缘上存在明显的坡度计算误差,它与区域面积没有明显关系,与分辨率有明显关系,即分辨率越高,中误差越大。

神木样区属于典型的风沙—黄土过渡区,平均坡度在 3 个样区中最小,地表起伏轻微,由该样区 DEM 提取坡度时产生的边缘效应对样区内平均坡度的影响最小,边缘上坡度提取的中误差也最小;延川样区属于典型的黄土梁峁状丘陵沟壑区,平均坡度在 3 个样区中最大,地形起伏较大,地表切割破碎,由该样区 DEM 提取坡度时产生的边缘效应对样区内平均坡度的影响最大,边缘上坡度提取的中误差也最大。由此可见,一般情况下,样区平均坡度越大,地形起伏越大,由样区 DEM 提取坡度时产生的边缘效应对整个区域平均坡度的影响也越大,边缘上坡度提取的中误差也越大。

当 DEM 的分辨率较低,样区面积较小时,应该考虑边缘效应的影响;而当 DEM 的分辨率较高,区域面积较大时,可以忽略边缘效应的影响,但也要视

坡度数据应用的实际情况而定。例如,在进行坡度图拼接时,如果每一幅坡度图边缘上都有较大的误差,那就无法进行精确的拼接;又如在提取到的坡度图上再提取 > 25 的区域时,由于存在边缘效应,所得到的结果图在边缘部分是存在较大误差的。坡度对于土壤侵蚀分析、滑坡监测、土地利用与规划等具有重要意义,应尽量减少边缘效应的影响,以得到准确的分析结果。

5 结 论

(1) 边缘效应是由 DEM 提取地形因子通常所采用的窗口分析算法产生,这是一种普遍现象。

本文以提取坡度为例,仔细研究了边缘效应与 DEM 分辨率、区域面积以及区域地貌特征之间的相互关系:由于边缘效应的存在,使得区域的平均坡度减小了,边缘上存在明显的坡度计算误差。并且 DEM 分辨率越高,区域面积越大,地面起伏越小,则边缘效应对整个区域的平均坡度的影响就越小;而且分辨率越高,地面起伏越大,则边缘上坡度提取的中误差就越大。

(下转第 116 页)

4 结 论

(1) 退耕还林紧迫性与人均应退耕面积呈正相关,对退耕还林紧迫性大的地区来说,实施退耕还林对人均占有粮食影响的可能性会加大;退耕还林紧迫性越高,水土流失治理、石漠化防治就越迫切。因此,在退耕地还林紧迫性高的地区实施退耕还林工程,必须解决好农民的口粮与增收问题。

(2) 根据贵州省退耕还林紧迫性的划分,贵州省实施退耕还林工程必须走一条重点突破,带动一般的战略道路。其战略重点区域是占全省国土面积 56.63% 的极重点退耕类型区和重点退耕类型区。

(3) 在退耕还林工程中,必须坚持生态优先,分类分期确定林种的原则。在具体实施中应充分考虑退耕县(市)的生态现状,对水土流失严重,石漠化面

积大的极重点退耕类型区和重点退耕类型区,退耕还林实施的初期必须是生态林先行,严格控制经济林的比例。

对经济林占国土面积的比例高或经济林占有林地面积高的地区在退耕还林工程实施中,林种必须选择生态林,只有在有良好水土保持措施条件下适当发展两高一优的经济林或果木林。

[参 考 文 献]

- (上接第 85 页)
- (2) 由 DEM 提取各地形因子时产生的边缘效应大小不尽相同,各种提取地形因子的具体算法也会影响到边缘效应的大小。边缘效应是否可以忽略,是否需要校正都要视所提取的地形因子的应用目的而定。对于坡度数据,它是土壤侵蚀分析、滑坡监测、土地利用与规划等方面的基础数据,在小范围区域内,应尽量减小边缘效应的影响;提取方向数据(坡向、流向等)或进行可视性分析时,边缘效应的存在往往使得边缘部分的坡向或流向与实际不符,给用户的分析决策带来困难,这种情况下需要消除边缘效应的影响。
- (3) 解决或改善边缘效应的方法包括扩大 DEM 范围,提取地形因子后再把感兴趣的区域裁剪出来;或是根据前人研究成果,对边缘效应进行数值改正;或是在边缘部分采用简单差分的坡度提取算法来消除边缘效应的影响等。这些方法为完成高精度的数字地形分析具有重要的指导意义。
- [参 考 文 献]
- [1] 梅安新,彭望禄,秦其明,等. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社.
- [1] 安和平,周家维. 贵州省岩溶山区旱坡耕地现状与陡坡退耕对策[J]. 水土保持通报,2001,21(1):77—80.
- [2] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究——以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002. 168—182.
- [3] 贵州省统计局. 贵州统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2001. 413—478.
- [2] 汤国安,张友顺,刘咏梅,等. 遥感数字图像处理[M]. 北京:科学出版社.
- [3] Carter J. The effect of data precision on the calculation of slope and aspect using gridded DEMs[J]. Cartographica, 1992,29(1):22—34.
- [4] Florinsky I V. Accuracy of local topographic variable derived from digital elevation models[J]. INT.J. Geographical Information Science,1998,12(1):47—61.
- [5] Chang K, Tsai B. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1991,18:69—77.
- [6] Warren S D, Hohmann M G, Auerswald K, et al. An evaluation of methods to determine slope using digital elevation data[J]. Catena,2004,58:215—233.
- [7] 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.
- [8] 李天文,刘学军,汤国安. 地形复杂度对坡度坡向的影响[J]. 山地学报,2004,22(3):272—277.
- [9] Burrough P A, McDonnell R A. Principles of Geographical Information Systems[M]. Oxford UK: Oxford University Press,1998.