

文章编号: 1008-2786-(2019)1-129-08

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000406

基于 DEM 分形特征的坡度尺度变换模型

刘 飞¹, 范建容^{2*}, 崔兆岩¹, 程多样¹, 唐嘉寅¹

(1. 四川测绘地理信息局测绘技术服务中心, 四川 成都 610081;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 利用 DEM 提取坡度具有明显的尺度依赖性, 探求 DEM 在不同尺度下表现出的规律关系, 建立多尺度变换模型, 以实现不同尺度间的转换是地形分析研究的热点和难点。本文阐释了 DEM 表面与地表粗糙度分形维数值的地学意义及内在关系, 并利用分形对象的自相似性原理, 建立了一种基于 DEM 分形特征的坡度尺度变换模型。选取四川丘陵地区某小流域为研究区, 进行坡度尺度变换实验和误差分析, 结果表明该模型能有效实现坡度尺度变换: 在非平坦地区(坡度 $> 1^\circ$)一般重采样方法变换得到的坡度误差为该方法的 1.86 倍; 从信息熵理论分析, 经该方法转换后的坡度信息得到了显著恢复。对于无 1:1 万及以上精度地形数据的西南山区, 利用该方法获取高精度坡度数据具有重要的理论价值和现实意义。

关键词: 坡度; 尺度变换; 分形; 地形表面

中图分类号: P208

文献标志码: A

坡度作为基本的地形因子, 深刻地影响着地球表面物质的迁移和能量流动, 是分布式水文模型(TOPMEDL)和土壤侵蚀模型(USLE)最基本的参数^[1-2]之一。目前, 利用数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)提取坡度^[3-6]是比较常用和成熟的方法。然而, 不同分辨率 DEM 提取的坡度具有明显的尺度效应^[7-10], 即: 随着 DEM 分辨率的降低, 在其上求取的坡度不断趋于平缓。由此, 对坡度的尺度变换研究^[4, 10-15]已经成为流域水文和土壤侵蚀模拟、DEM 数据资源高效利用等必须面对和研究解决的重要理论问题。

目前, 对坡度进行尺度变换主要有重采样法、图示法、分形法等方法。重采样法利用原始 DEM 数据重新采样为目标分辨率大小的 DEM 数据, 然后利用

新 DEM 提取坡度, 该方法简单易行, 但是由于原始 DEM 栅格值表示的是一个综合后的高程数值, 经重采样后, 其高程及提取的坡度精度难以保证; 图示法有基于坡谱的变换^[16]和基于直方图匹配^[13]两种方法, 其特点是直观性强, 能可视化地表现出不同尺度下地形属性变化的格局和过程变化规律, 该类方法本质上是一种统计方法; 分形法利用分形对象局部与整体之间存在的自相似性, 实现不同尺度之间的坡度变换^[6, 12, 17-18], 但已有的研究主要基于统计分形法进行坡度变换, 分形维数表达的地学意义尚不明确。

本文在假设“坡度尺度变换前后地表空间结构保持稳定”^[12]的基础上, 分析了 DEM 的分形特征, 论证了 DEM 分形与地表粗糙度分形的定量关系及

收稿日期(Received date): 2017-09-19; 改回日期(Accepted date): 2018-09-29

基金项目(Foundation item): 国家重点研发计划课题(2017YFC0505104)。[National Key R&D Plan (2017YFC0505104)]

第一作者(Biography): 刘飞(1985-), 男, 四川简阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 资源环境遥感与应急测绘。[LIU Fei (1985-), male, born in Jianyang, Sichuan province, M. Sc. candidate, research on resource environment remote sensing and Emergency surveying and mapping]
E-mail: 617495845@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 范建容(1969-), 女, 四川井研人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 山地环境遥感。[FAN Jianrong (1969-), female, born in Jingyan, Sichuan province, professor, Ph. D. supervisor, research on mountain environment remote sensing]
E-mail: fjrong@imde.ac.cn

地学意义,确立了坡度与 DEM 分辨率及分形维数值的函数表达式,并利用分形对象的自相似原理,建立了一种基于 DEM 分形特征的坡度尺度变换模型。研究选取四川某丘陵地区小流域为试验区,进行了坡度尺度变换实验和误差分析,结果表明该方法能较好地实现坡度尺度变换,且变换后坡度信息得到显著恢复。

1 DEM 表面分形与地表粗糙度分形

1.1 基于 DEM 的地形表面分形特征

DEM 是通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的定量化模拟,是对地表形态的数字化表达,随着 DEM 分辨率和精度的提高,DEM 越趋同于真实的地形表面。

根据分形几何学^[19]及有关研究结果^[20],DEM 刻画的地形表面与 DEM 分辨率之间存在分形关系,可用如下关系式表达:

$$area = a * r^b \quad (1)$$

式中, $area$ 表示地表面积, r 表示 DEM 分辨率, a 为大于 0 的常数, $b = 2 - D$, D 表示分形维数(取值范围:2~3)。变换得到公式:

$$area = a * r^{2-D} \quad (2)$$

1.2 DEM 表面与地表粗糙度分形维数的关系

已有研究^[21]曾推导了地表粗糙度的地学意义,并建立了地表粗糙度与 DEM 地形表面面积的定量关系:

$$地表粗糙度 = \frac{S_{DEM}}{S_{level}} = \overline{sec\theta} \quad (3)$$

即地表粗糙度为地表单元的曲面面积 S_{DEM} 与其在水平面上的投影面积 S_{level} 之比^[22],反映了地形起伏变化和侵蚀程度,表示的是研究区内所有坡度取正割后的均值,是坡度的函数。

对于公式(2)和公式(3),顾及到 $area = S_{DEM}$,可以得到:

$$S_{level} \times \overline{sec\theta} = a * r^{2-D} \quad (4)$$

在一个标度空间内,考虑到水平投影面积 S_{level} 变化极小,可以视为常数,与常数 a 的比值仍是常数,定义为常数 a_1 ,做如下变换得到:

$$\overline{sec\theta} = \frac{a * r^{2-D}}{S_{level}} = a_1 * r^{2-D} \quad (5)$$

该方程表示了地表粗糙度(坡度正割运算的平

均值)与 DEM 分辨率之间存在分形关系,且分形维数与地表面积分形维数相等,均为 D 。从幂函数的特性审查公式(5),不难发现 D 越大, $\overline{sec\theta}$ 越大,即地表分形维数越大,地表越粗糙复杂。分形维数 D 代表了地形表面充满空间的能力,也是度量地形表面复杂程度的一个参数。

2 坡度尺度变换方法推导与模型建立

2.1 分形对象的自相似原理

自相似原理认为分形对象的局部和整体之间存在着自相似关系,即再小的部分里都存在着整体的结构^[19]。在一个标度空间内,有研究者提出了“从周围栅格计算得到的坡度在尺度下推过程中维持了坡度空间关系”^[12],即对于每个栅格的坡度正割值与整体坡度的正割平均值在尺度变换前后保持一致或基本一致。对于本研究来讲,不同分辨率的地表粗糙度(坡度正割值)也满足自相似原理,即不同分辨率下的局部与整体之间是自相似的。依据自相似原理和“变换前后结构稳定”假设,建立每个栅格坡度正割值与平均坡度正割值之间的变换前后的表达式:

$$\frac{\overline{sec\theta}_i}{\overline{sec\theta}} = \frac{\overline{sec\theta}_{i,scaled}}{\overline{sec\theta}_{scaled}} \quad (6)$$

式中, $\overline{sec\theta}$ 表示原始分辨率 DEM 的坡度正割平均值, $\overline{sec\theta}_i$ 表示第 i 个栅格上的坡度正割值; $\overline{sec\theta}_{scaled}$ 表示目标分辨率 DEM 的坡度正割平均值, $\overline{sec\theta}_{i,scaled}$ 表示尺度变换后的第 i 个栅格上的坡度正割值。

2.2 坡度尺度变换模型

在相同尺度变换范围内,公式(5)适用于尺度变换前后情形。结合公式(5)与(6),消去常数 a_1 ,整理得到公式(7):

$$\overline{sec\theta}_{i,scaled} = \left(\frac{r_{scaled}}{r} \right)^{2-D} * \overline{sec\theta}_i \quad (7)$$

式中, r 和 r_{scaled} 分别表示原始 DEM 分辨率和尺度变换后的分辨率。式中的分形维数值 D 即可以是一个区域的整体分维值,也可以是研究区域内细部区域的分维值。那么,对于每个栅格也对应着一个地形表面分维值 D_i ,即每个栅格的真实表面积也对应着一个空间分形维数,表达了其填充空间的程度。这样,可以把公式(7)变换为:

$$\sec\theta_{\text{iscaled}} = \left(\frac{r_{\text{scaled}}}{r}\right)^{2-D_i} * \sec\theta_i \quad (8)$$

到这里,我们对 $\sec\theta_{\text{iscaled}}$ 进行反三角运算就可以得到坡度尺度变换后每个栅格的坡度值,由此,建立了一种基于 DEM 分形特征的坡度尺度变换模型。

3 实验方法

3.1 实验区域及研究数据

丘陵地区地表破碎,异质性强,其基本地貌总是和“坡”紧密联系在一起,很少有高山峡谷地区的断崖等问题,也不存在平原地区地形起伏小,对 DEM 尺度的反应弱等问题。本研究以四川某丘陵区小流域为研究对象,流域面积为 0.35 km^2 。经实测,得到 1:500 地形数据。

3.2 样点采集与数据处理

为了使坡度的尺度变换更准确,需求取小流域的地表面积分形维数值图。首先,确定采样点 74 个,其分布见图 1,采样点均匀分布于各类地形。然后利用 1:500 地形数据制作五种分辨率(1、2、3、4 及 5 m)DEM,分别计算出坡度,得到坡度正割值图,计算 74 个采单元的分形维数值,并利用简单 Kriging 插值方法得到地表分形维数值图,见图 2。

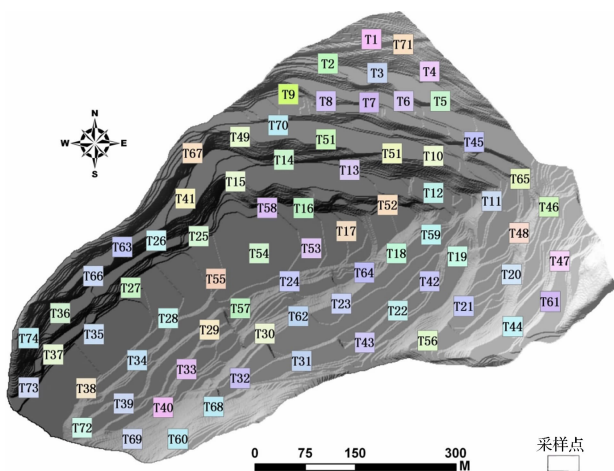


图1 地表分形维数采样单元分布

Fig. 1 Distribution of sampling units of terrain surface fractal dimension

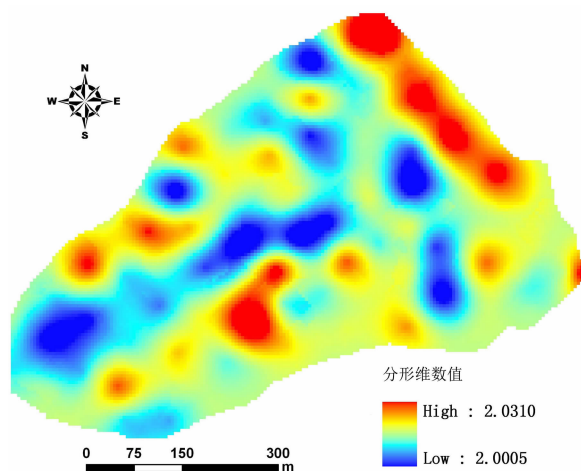


图2 试验区地形表面分形维数值

Fig. 2 Fractal dimension of terrain surface in test area

的对比效果,图 3b 显示了变换后原始“坡度衰减”得到了恢复。

4.2 变换结果对比

坡度尺度变换(特别是尺度下推)的关键是对坡度衰减的恢复(或者叫自相关增强)。图 4 表示了坡度尺度变换前后的频率直方图,原始不规则坡度频率分布曲线变换成了具有单峰的坡度频率分布曲线,在 18° 左右达到最大值;坡度小于 56° 的区域得到了明显恢复。信息熵理论认为:对于尺度下推,需要加入新的知识信息,使小尺度下所表达的信息得到增强。本研究中的地表分维值正是这种知识信息,其使得变换后的坡度具有了小尺度坡度具有的细部信息。

4.3 误差及主要影响因素分析

(1) 误差分析

以 1 m 分辨率 DEM 提取的坡度作为真值,分别利用一般重采样方法和本文方法得到的坡度与真值相减,得到两种方法的坡度误差空间分布,见图 5。从图中看出:一般重采样的误差绝对值最大为 75,本文方法为 56;一般重采样方法的误差较为集中。为了更好研究误差分布情况,绘制误差直方图,见图 6。

从图 6 看出:一般重采样在 0° 附近误差分布最密集,其他各值误差均较小,但在 $\pm 30^\circ$ 范围内出现多处大于 10 000 点的大误差区;本文方法得到的误差分布出现双峰分布,在 -8° 和 17° 两个地方出现高分布区,大于 10 000 点的误差集中在 $16^\circ \sim 18^\circ$ 。为了更进一步研究误差产生原因,提取出一般采样

4 结果与分析

4.1 变换结果

图 3 显示了从 5 m 到 1 m 分辨率坡度尺度变换

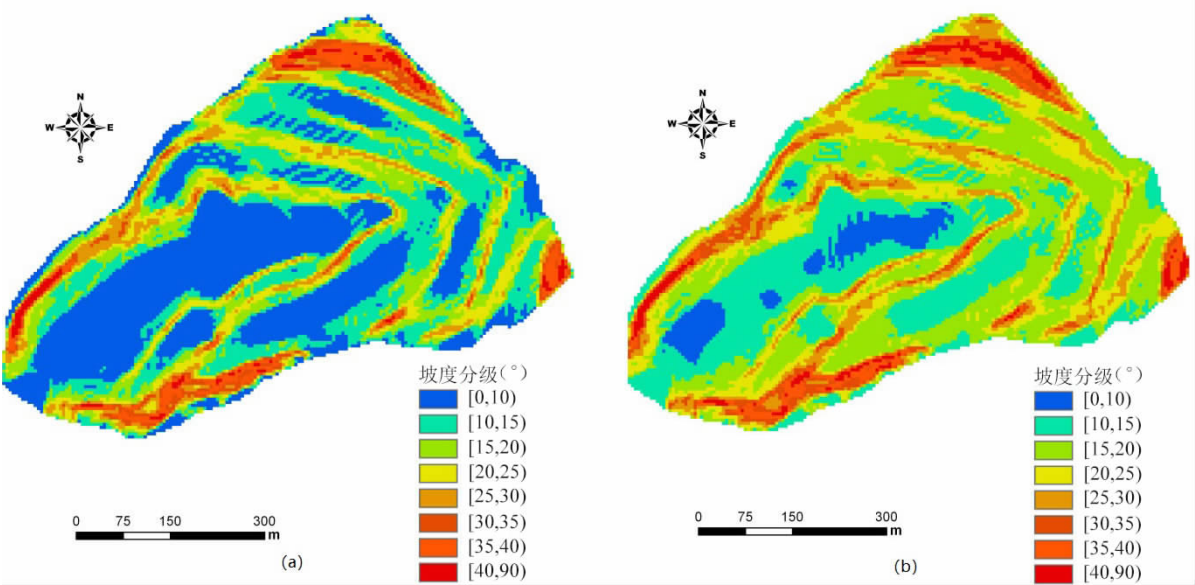


图3 尺度变换前(a)后(b)坡度

Fig. 3 Slope before (a) and after (b) by re-scaling

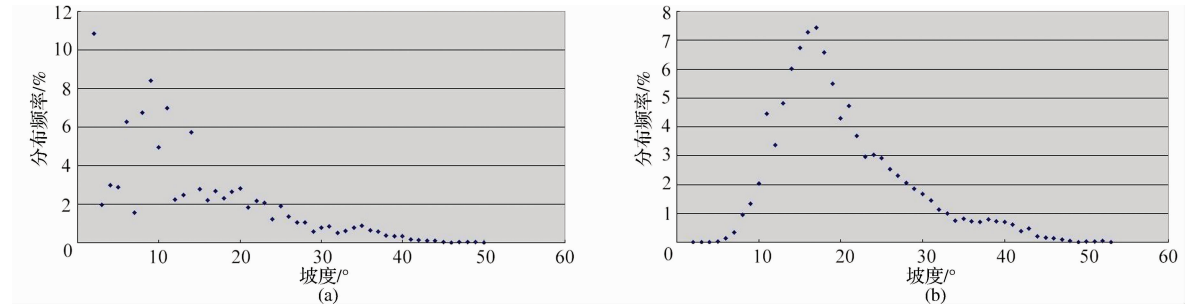


图4 尺度变换前(a)后(b)坡度频率分布直方图对比

Fig. 4 Frequency distribution histogram of slope before (a) and after (b) by re-scaling

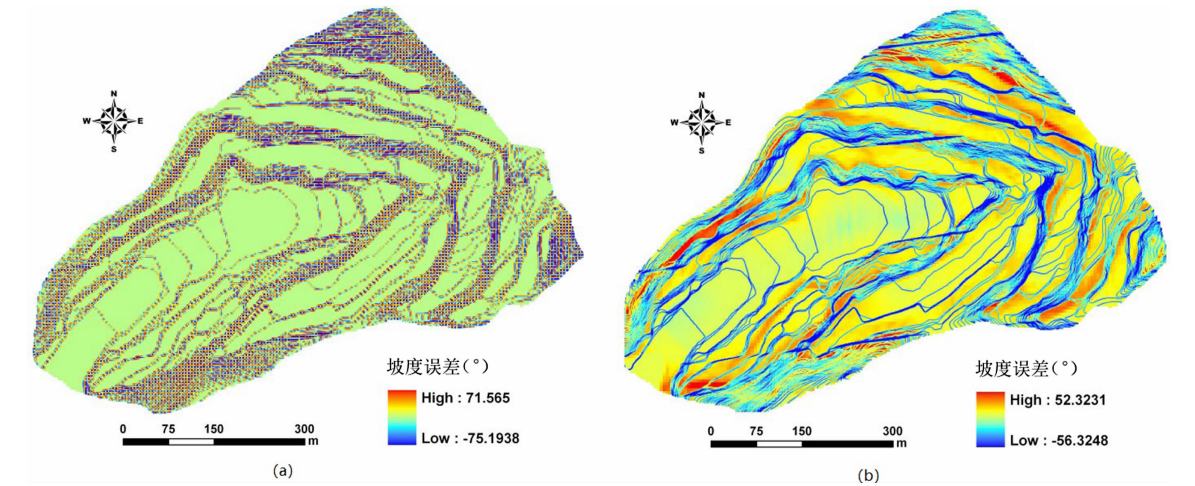


图5 误差空间分布对比 (a)一般重采样;(b)坡度尺度变换方法

Fig. 5 Error spatial distribution (a) a resampling method;(b) a re-scaling method

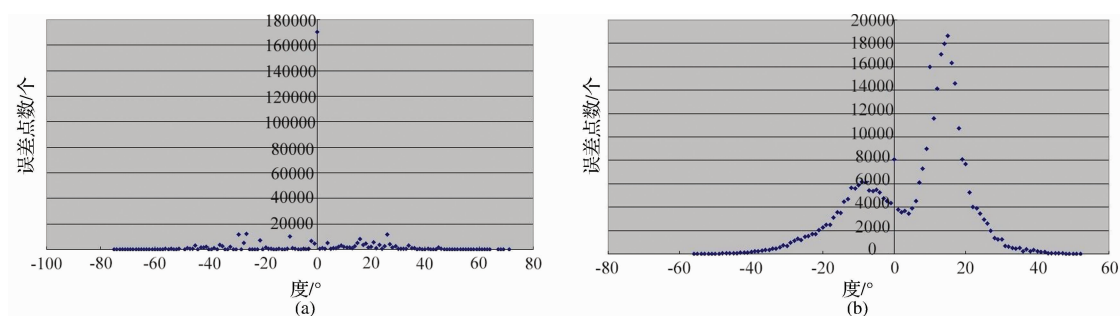


图6 误差直方图 (a)一般重采样;(b)坡度尺度变换方法

Fig. 6 Error histogram (a) a resampling method; (b) a re-scaling method

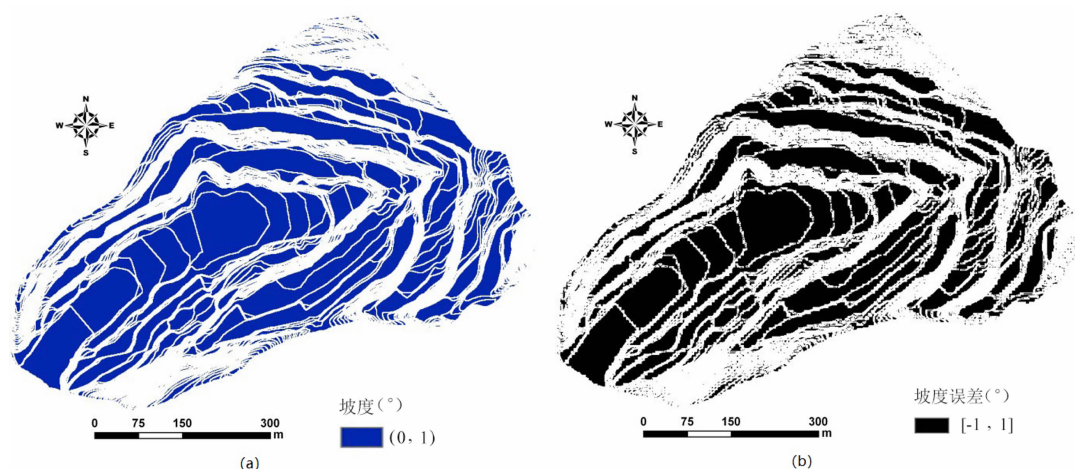


图7 平坦区与一般采样零度误差产生区域对比 (a)平坦区;(b)零度误差产生区域

Fig. 7 Flat area compared with zero error generation area by resampling method (a) flat area; (b) zero error generation area

方法 0° 误差分布区域,见图7b。

从图7中可以发现,一般重采样方法产生 0° 误差的区域和平缓区域一致。而在本研究中,1 m分辨率DEM提取的坡度在 $0^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 占到了52%。由于在该部分区域内高差很小,通过插值的方法产生高程误差也较小,提取的坡度与1 m分辨率DEM提取的坡度误差小。而对于本方法,地表分形维数值由采样单元插值计算得到,受到采样点密度影响,在平坦区域其地表分维值数可能不为2(对平面来讲,其分形维数为2),这从插值结果的最小值为2.0005可以看出。由于地表分形维数值是本文模型的指数项,坡度尺度变换的结果极易受地表分维值影响,因此,地表分维值图的准确性直接影响到坡度的尺度变换结果。从这个角度来讲,在平坦地带,重采样方法比本方法计算得到的坡度误差更小。

剔除掉平坦区域,研究重采样方法和本文方法对非平坦地区的坡度表达。图8是剔除平坦地区

后,对坡度误差图层进行绝对值计算得到的结果,重采样方法和本文方法计算得到的坡度平均值为22.45和12.10,由于栅格个数相同,可以知道在非平坦地区重采样方法是坡度尺度变换方法整体误差的1.86倍。在坡度大于 1° 的坡度区域,本方法比重采样方法效果更好。

(2)分形维数值对误差的贡献

对于坡度 $<1^{\circ}$ 的平坦区域,地表面积与投影面积相等或者近似相等(分维值为2或约等于2)。在利用简单Kriging对74个采样点进行插值运算得到地表分维值图的过程中,由于受到周围采样点的影响,一些原本分维值为2的区域变成了大于2的区域。如图9中的红点,插值前分维值为2,经过插值后变为了2.0010,坡度由 0° 变成了 1.037° 。在图9中深红色区域达到了2.03以上,假设5 m分辨率DEM坡度图中该点为 0° ,分维值为2.03,由坡度尺度变换方法计算得到坡度为 17.7° ,与 0° 相差了

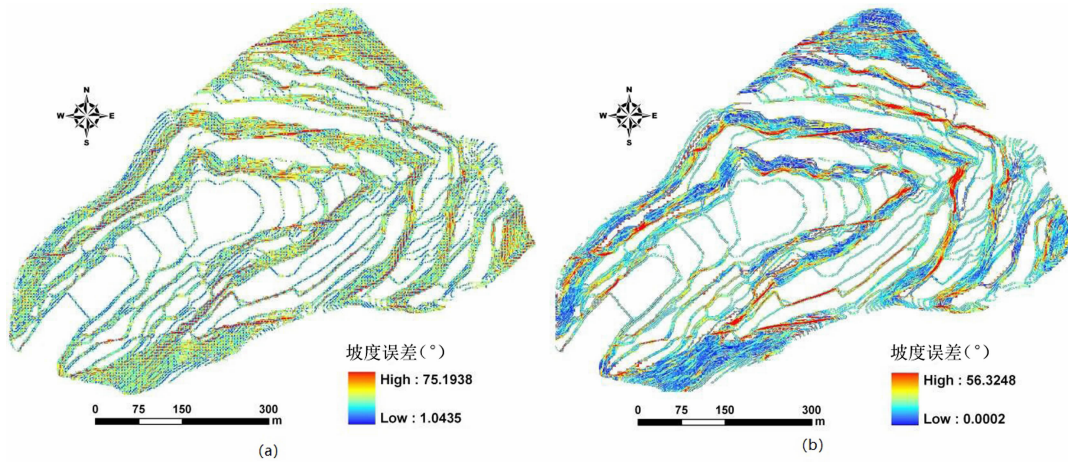


图8 非平坦区域重采样方法与本文方法误差图对比 (a) 一般重采样;(b) 坡度尺度变换方法

Fig. 8 Error distribution of non-flat area by resampling and re-scaling (a) a resampling method; (b) a re-scaling method

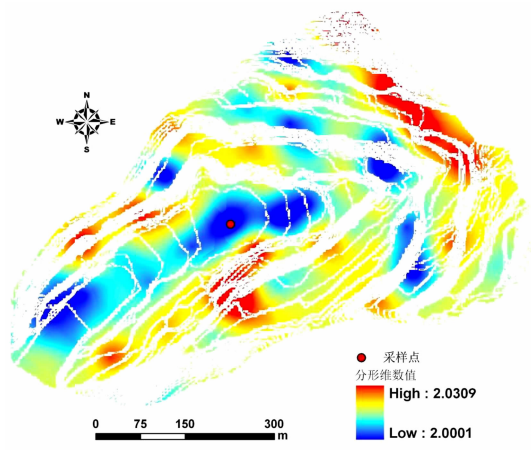


图9 插值得到的平坦地区地表分维值图

Fig. 9 The distribution of fractal dimension in flat area by interpolation

17.7°。在插值过程中,由于结果受周围点的影响,使得原本为0°的平地变成了17.7°,这也正是图6中坡度尺度变换方法得到的坡度误差直方图在-8°和17°出现双峰的内因。

由于地表分维值的输入误差使得平坦地区(坡度 $<1^\circ$)区域变换成了较大坡度区域,由此可以发现本方法进行坡度尺度变换时对地表分维值具有极强的敏感性,特别是在平坦地区变化尤为明显。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文将分形理论与地学分析相结合,建立了一

种基于DEM地表分形特征的坡度尺度变换模型,实现了对每个栅格的坡度进行尺度变换,主要结论如下:

(1)本研究揭示了DEM地形表面与地表粗糙度的定量关系,并论证了二者分形维数值的等价性,根据自相似原理,建立了坡度尺度变换模型,地学机理明确,克服了现有方法在地学阐释和数学理论结合方面的不足。

(2)从信息熵的角度讲,地表分维值是坡度尺度下推中的先验知识,从而使变换后的坡度具有小尺度坡度具有的信息。

(3)该方法能实现对栅格单元的坡度进行尺度变换,在非平坦地区(坡度 $>1^\circ$)一般重采样方法变换得到的坡度误差为该方法的1.86倍。

(4)该方法对无1:1万及以上精度地形数据的西南山区获取高精度坡度数据具有重要的理论价值和现实意义,可直接用于土壤侵蚀定量评价以及水文模型中高精度坡度值计算。

5.2 讨论

(1)本文采用地表粗糙度(坡度正割值)的平均值作为地表分形整体性的度量参数,建立坡度尺度变换模型,取得了较好的变换效果,但平均值只是度量整体性的一种参数,也是产生误差的一个重要原因。

(2)坡度尺度变换一般存在尺度阈问题。本文在分形理论和地学分析基础上建立了坡度尺度变换模型,该方法在何种尺度阈下进行坡度尺度变换能取得最佳效果,对此问题还有待研究。

(3)分形维数值作为该模型的指数项,具有很强的敏感性,以现有的插值方法来看,只能加大布点采样密度,还有如下两方面值得深入研究。一方面,需要多大的采样点密度才能有效地刻画地表分形的真实情况?另一方面,是否能找到地表分维值连续求算的方法?

版权申明: 本文是第一作者的硕士学位论文《基于DEM的小流域坡度尺度变换研究》的后续研究成果,对学位论文中所涉及的关键步骤进行了优化,使得算法推导过程简洁明了,各项参数表达的地质含义更明确。硕士学位论文版权归属中科院水利部、成都山地灾害与环境研究所。

参考文献 (References)

- [1] 刘昌明,李道峰,田英,等. 基于DEM的分布式水文模型在大尺度流域应用研究[J]. 地理科学进展, 2003, **22**(5): 437-445 [LIU Changming, LI Daofeng, TIAN Ying, et al. An application study of DEM based distributed hydrological model on macroscale watershed [J]. Progress in Geography, 2003, **22**(5): 437-445]
- [2] 范建容,刘飞,郭芬芬,等. 基于遥感技术的三峡库区土壤侵蚀量评估及影响因子分析[J]. 山地学报, 2011, **29**(03): 306-311 [FAN Jianrong, LIU Fei, GUO Fenfen, et al. Soil erosion assessment and cause analysis in Three Gorges Reservoir Area based on remote sensing [J]. Mountain Research, 2011, **29**(03): 306-311]
- [3] 汤国安,赵牡丹,李天文,等. DEM提取黄土高原地面坡度的不确定性[J]. 地理学报, 2003, **58**(6): 824-830 [TANG Guoan, ZHAO Mudan, LI Tianwen, et al. Modeling slope uncertainty derived from DEMs in Loess Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, **58**(6): 824-830]
- [4] 杨勤科,贾大伟,李锐,等. 基于DEM的坡度研究——现状与展望[J]. 水土保持通报, 2007, **27**(1): 146-150 [YANG Qinke, DAVID J, LI Rui, et al. Researches on DEM derived slope: a review and prospective [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, **27**(1): 146-150]
- [5] ZHOU Qiming, LIU Xuejun. Error analysis on grid-based slope and aspect algorithm [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004, **70**(8): 957-962
- [6] 汤国安. 我国数字高程模型与数字地形分析研究进展[J]. 地理学报, 2014, **69**(9): 1305-1325 [TANG Guoan. Progress of DEM and digital terrain analysis in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, **69**(9): 1305-1325]
- [7] ZHANG Xiaoyang, DRAKE N A, JOHN W. Comparison of slope estimates from low resolution DEMs: scaling issues and a fractal method for their solution [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1999, **2**(7): 763-779
- [8] 汤国安,杨勤科,张勇,等. 不同比例尺DEM提取地面坡度的精度研究:以在黄土丘陵沟壑区的试验为例[J]. 水土保持通报, 2001, **21**(1): 53-56 [TANG Guoan, YANG Qinke, ZHANG Yong, et al. Research on accuracy of slope derived from DEMs of different map scales [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, **21**(1): 53-56]
- [9] 刘晓,赵荣,梁勇,等. 顾及地貌与DEM分辨率的坡度算法适应性研究[J]. 测绘科学, 2017, **42**(3): 29-34 [LIU Xiao, ZHAO Rong, LIANG Yong, et al. Research of algorithms for deriving slope based on different geomorphic types and DEM resolution [J]. Science of Surveying and Mapping, 2017, **42**(3): 29-34]
- [10] 刘飞. 基于DEM的小流域坡度尺度变换研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2012 [LIU Fei. Scaling research of slope based on DEM in watershed [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2012]
- [11] 郭兰勤,杨勤科,胡洁,等. 基于分形的中低分辨率坡度降尺度变换方法研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, **39**(12): 173-180 [GUO Lanqin, YANG Qinke, HU Jie, et al. Research on method of re-scaling coarser resolution slope based on fractal analysis approach [J]. Journal of Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology (Natural Science Edition), 2011, **39**(12): 173-180]
- [12] YANG Xin, TANG Guoan, ZHANG Yong. Scale effect and transformation model of slope based on DEMs [J]. Geoinformatics 2007. International Society for Optics and Photonics, 2007: 675322
- [13] YANG Qinke, DAVID J, LI Rui, et al. Re-scaling lower resolution slope by histogram matching [J]. Advances in Digital Terrain Analysis. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2008: 193-210
- [14] CHEN Yumin, ZHOU Qiming. A scale-adaptive DEM for multi-scale terrain analysis [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, **27**(7): 1329-1348
- [15] GAO Jing, JAMES E B, ZHU Axing. Neighborhood size and spatial scale in raster-based slope calculations [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2012, **26**(10): 1959-1978
- [16] 杨昕. 基于DEM地形指数的尺度效应与尺度转换[D]. 南京: 南京师范大学, 2007 [YANG Xin. Scale effect and scale transformation based on DEM topographic index [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007]
- [17] 徐静,任立良,程媛华,等. 不受DEM空间分辨率影响的地形指数计算[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2008, **48**(6): 983-986, 990 [XU Jing, REN Liliang, CHENG Yuanhua, et al. Topographic index calculation that is independent of the DEM spatial resolution [J]. Journal of Tsinghua University: Natural Science Edition 2008, **48**(6): 983-986, 990]
- [18] PRADHAM N R, TACHIKAWA Y, TAKARA K. A downscaling method of topographic index distribution for matching the scales of model application and parameter identification [J]. Hydrological

- Processes, 2006, **20**(6): 1385–1405
- [19] BENOIT B M. The Fractal Geometry of Nature [M]. New York: W. H. Freeman and Company, 1983: 247–276
- [20] 曹颖. 基于 DEM 的地貌分形特征研究——以陕北黄土高原部分样区为例[D]. 西安: 西北大学, 2007 [CAO Yin. A research on fractal dimensions characteristics of landform based on DEM — sampled on several regions of Loess Plateau [D]. Xi'an: Northwestern University, 2007]
- [21] 曾珍, 罗怀斌, 范建容, 等. 四川宝兴森林分布及受损特征[J]. 山地学报, 2014, **32**(3): 284–292 [ZENG Zhen, LUO Huaibin, FAN Jianrong, et al. Calculating surface area of forest vegetation and distribution characters of damaged forest in Baoxing of Sichuan, China [J]. Mountain Research, 2014, **32**(3): 284–292]
- [22] HUNTER G J, GOODCHILD M F. Modeling the uncertainty of slope and aspect estimates derived from spatial databases [J]. Geographical Analysis, 1997, **29**(1): 35–49

A Model of Re-Scaling Slope Based on DEM Fractal Feature

LIU Fei¹, FAN Jianrong^{2*}, CUI Zhaoyan¹, CHENG Duoxiang¹, TANG Jiayin¹

(1. Surveying and Mapping Technology Service Center, Sichuan Bureau of Surveying, Mapping and Geo-information, Chengdu 610081, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: Gradient slope, as a basic topographic parameter, has an important influence on the transfer of the land surface material and energy in watershed. It is one of the most important model parameters for distributed hydrological models and soil erosion models. However topographic parameters extracted from DEMs have distinct scale effect, which can lead strong uncertainty to application results of those models. It is a hotspot and a difficult point in terrain analysis to explore the regularity of DEM at different scales and additionally establish re-scaling model between different scales. This research expounded the geological significance and intrinsic relationship of fractal dimension between the DEM surface and the surface roughness. Moreover, a slope re-scaling model based on the fractal features of DEM was established using the self-similarity principle of the fractal object. A small watershed in the hilly area of Sichuan Province in China was selected as the study area. The slope re-scaling experiment and error analysis were carried out. The results showed that the model could effectively achieve the slope re-scaling; in the non-flat area (slope > 1°), the slope error obtained by general resampling method was 1.86 times of the re-scaling method. From the perspective of information entropy theory, the slope information converted by the re-scaling method had been significantly recovered. This method had important theoretical and practical significance for obtaining high-precision slope data in the southwestern mountainous area for scale of 1:10 000 and more accurate terrain data.

Key words: slope; re-scaling; fractal; terrain surface