

丘陵地区DEM与坡度的尺度效应分析

杨存建¹, 赵曦琳¹, 周其林², 倪静¹, 王琴¹

(1. 四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室遥感与GIS应用研究中心, 成都 610068;

2. 四川省遂宁市林业局, 遂宁 629000)

摘要: 为了揭示丘陵地区海拔高程和坡度的尺度效应特征, 本文以丘陵地区遂宁市船山区为试验区, 以1:1万比例尺的矢量数据生成多尺度DEM及相应的坡度数据。通过比较不同尺度下的高程频率和坡度频率分布, 揭示出丘陵地区高程和坡度的尺度效应特征和规律。提出了用于测定尺度转换精度损失的标准频率差的概念, 揭示了高程误差和坡度误差分别与尺度在0.01水平上存在着显著正相关关系, 并对其进行了拟合建模, 其模型分别为: $y = -0.0004x^2 + 0.0058x - 0.0042$ 和 $y = -0.0001x^2 + 0.0032x - 0.0025$, 模型均在0.01的水平上显著。该研究对丘陵地区地形分析中最佳尺度的选取具有重要意义, 对丘陵地区土地的精细利用决策也具有重要意义。

关键词: 丘陵地区; DEM; 坡度; 标准频率差; 尺度效应

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00814

1 引言

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟或者说是地形表面形态的数字化表示^[1]。由于DEM描述的地域对象尺度和复杂性不同, 以及生成DEM的数据源、方法等不同, DEM表达地表形态的精度也有差异, 其精度评价是DEM质量检查的主要内容之一, 是整个数字高程模型建立过程中的核心问题。

国内外许多学者从多方面对DEM精度评价进行了深入的研究。DEM数据及其衍生数据具有多尺度特点, 地形地貌特征具有宏观性和区域分异性。在对DEM及相应的坡度、坡向、剖面等研究中, 常需要选取特定的地形和尺度。如陈楠等以黄土高原为表达的地域, 李娟等以西北干旱地区的平原和丘陵地为试验样区。在尺度选取和不同数据源方面, 有学者以1:1万和1:5万的DEM为数据源, 通过提取地面坡度分级、剖面及平面曲率分级, 提出坡谱信息熵空间分异特征及尺度效应并分析与沟壑密度的关系, 这对于DEM应用精度估算和误差纠正有一定的指导意义^[2-3]。有学者提出了栅格的坡度准确程度评价指标: 分级正确率指标和坡

度数值误差指标, 并以单个栅格分析了15~75m分辨率的DEM提取坡度的准确程度, 所得到的函数模型对选取适宜分辨率提供了依据^[4]。汤国安等采用比较分析的方法, 研究了DEM地形描述误差的成因、影响因素、量测方法, 以及误差的数学模拟途径。在黄土高原研究了栅格分辨率与地形粗糙度对地面平均坡度的精度影响, 分析出了5m分辨率是保证1:1万地区地形描述精度的理想尺度^[5-7]。有学者对1~8km的DEM变化对径流模拟的影响进行分析, 研究结果表明: 径流总量、洪峰、水文响应时间对DEM分辨率的变化非常敏感^[8]。杨勤科、郝振纯等分别以1:25万、1:5万、1:1万的数字地形图和150~950m的9组DEM为数据源, 以DEM在水文水利方面的应用为基点, 研究了不同尺度DEM反演水文信息, 通过提取信息含量进行了不同尺度DEM的精度评价^[9-11]; GAO J、Theobald等从地形表达方面研究DEM精度^[12-13]; Martz、Rieger、Hutchinson等针对洼地的尺度问题进行了探测与处理, 提出了不同的改进方法^[14-16]; 杨存建和张增祥探讨了矢量数据栅格化中的多尺度问题, 得出了其精度损失模型^[17]。本文以四川盆地典型丘陵地区为试验样区, 通过不同尺度下DEM和坡度的频率分布情况对其尺度效应进行了定性分析, 提出了用于测定

收稿日期: 2013-11-18; 修回日期: 2013-12-01。

基金项目: 国家“973”计划项目(2007CB714401); 国家自然科学基金项目(40771144); 四川省教育厅项目。

作者简介: 杨存建(1967-), 男, 成都市人, 教授, 主要从事遥感和地理信息系统应用研究。E-mail: yangcj2008@126.com

尺度转换精度损失或误差的标准频率差的概念,并在此基础上,分析了高程和坡度精度损失与尺度之间的定量关系,本研究对特定地形分析下的最佳尺度选取具有一定的指导意义,对丘陵地区土地的精细利用决策具有重要意义。

2 实验区数据与处理

实验区为四川遂宁市船山区,该地区属四川盆地中部丘陵低山地区,地质构造简单,褶皱平缓,平均海拔在300~600m之间(图1)。实验数据有1:1万地形图的等高线数据、高程点数据、河流数据、湖泊数据。



图1 研究区

Fig.1 Study area

利用1:1万矢量地形图的等高线、高程点、河流、湖泊等数据,采用ArcGIS软件,分别生成1m、2.5m、5m、10m、15m、20m、25m和30m等多尺度DEM数据。利用这些DEM数据生成与其对应的多尺度坡度数据。

对每一种尺度的DEM,统计出其每一高程值上的频数,在此基础上,再统计出其对应的频率。对每一种尺度的坡度数据,同样先统计出每一坡度值的频数,后再统计出其对应的频率。

以1m尺度DEM或坡度数据为最高精度的标准数据,将其他尺度的数据与其比较,从而发现其精度损失或误差。将标准频率差作为其误差测定指标。标准频率差的表达式如下:

$$E_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - f_{i1})^2}$$

(j=1, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30) (1)

式(1)中, E 表示标准频率差; n 表示海拔高程值或坡度值的个数; f 表示频率; j 表示尺度; i 表示海拔高程或坡度的取值。

3 研究区DEM与坡度的尺度效应分析

3.1 不同尺度DEM的高程频率分析

利用不同尺度DEM数据的高程频率数据,制作其频率分布图,如图2所示。

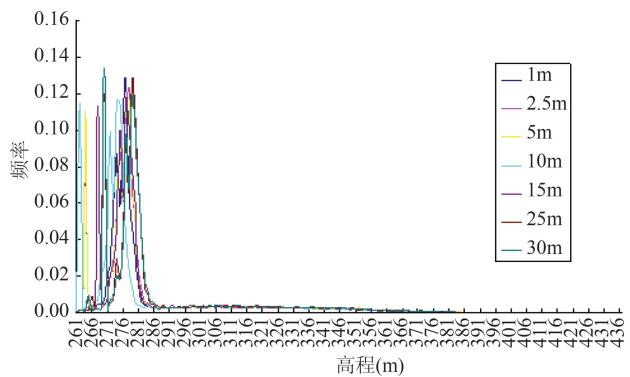


图2 不同尺度的高程频率分布

Fig.2 Frequency distribution of elevation grid with different size

从图2可以看出,其高程值主要集中在261~286m的范围内。在该范围内,不同分辨率DEM的高程频率差异较大,而在286m以上,其差异较小。大部分地面的高程在286m以下。为了进一步发现其变化特点,对其进行分组比较,如图3所示。

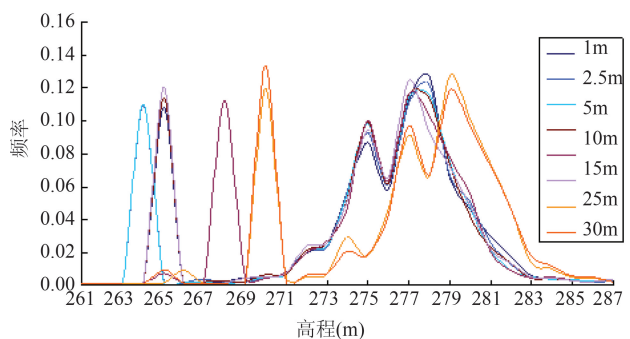


图3 261~286m高程范围内的不同尺度的高程频率分布

Fig.3 Frequency distribution of elevation grid with different size over the elevation of 261 to 286 m

从图3可以看出,在整个范围内,2.5m和5m尺度的DEM频率分布基本一致;10m和20m尺度的DEM频率分布比较一致;25m和30m尺度的DEM频率分布比较一致。在271m以上,25m和30m尺度的DEM频率分布基本一致;1m、2.5m、5m、10m、

15m和20m的DEM频率分布比较一致。

3.2 不同尺度的坡度频率分析

利用不同尺度坡度数据的坡度值频率数据,制作其频率分布图,如图4所示。

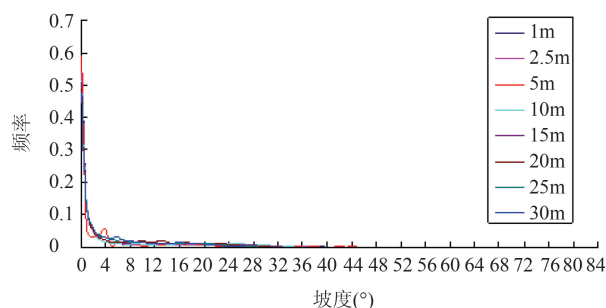


图4 不同尺度的坡度频率分布

Fig.4 Frequency distribution of slope grid with different size

从图4可以看出,除5m尺度坡度数据的坡度频率分布在0到8的坡度范围内,与其他尺度坡度数据的坡度频率分布存在较大差异外,其余均趋于一致。为了进一步发现其变化特点,对该范围进行放大,如图5所示。

从图5可以看出,1m和2.5m尺度的坡度频率分布比较一致;5m尺度的频率分布较异常;10m和

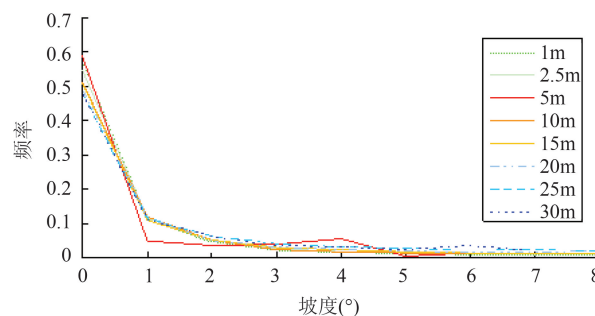


图5 0~8°范围内不同尺度的坡度频率分布

Fig.5 Frequency distribution of slope grid with different size in slope of 0 to 8°

15m尺度的坡度频率分布较一致;20m、25m和30m尺度的坡度频率分布比较一致。

3.3 不同尺度的高程误差分析

以1m尺度高程数据的高程频率分布作为基准,分别计算出其他尺度高程数据的高程标准频率差,以此作为该尺度下的高程误差指标,其结果如表1所示。通过相关性分析,发现高程误差与尺度之间在0.01水平上存在着显著正相关关系,其相关系数为0.863。利用回归分析对高程误差进行拟合,其结果如图6所示。

其拟合模型:

表1 不同尺度的高程误差

Tab.1 The altitude error of multi-scale DEM

尺度(m)	1	2.5	5	10	15	20	25	30
高程误差	0.0000	0.007726	0.007679	0.016648	0.013961	0.015034	0.018197	0.019073

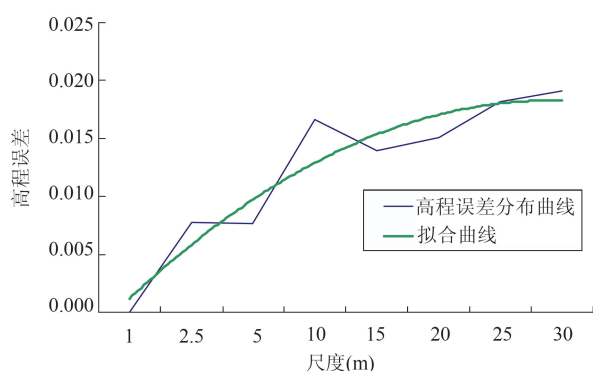


图6 不同尺度下的高程误差情况及其拟合

Fig.6 Elevation error under different scales and their fitting

$$y = -0.0004x^3 + 0.0058x - 0.0042 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.9014$$

式(2)中,y为高程误差;x为尺度;该模型的复相关系数为0.9014,在0.01的水平上显著。

从图6可以看出,在整个范围上,2.5m和5m尺度的高程误差比较接近;10m和20m尺度的高程误差比较接近;25m和30m尺度的高成误差比较接近。

3.4 不同尺度的坡度误差分析

以1m尺度坡度数据的坡度频率分布作为基准,分别计算出其它尺度的坡度标准频率差,以此作为该尺度下的坡度误差指标,其结果如表2和图7所示。通过相关性分析,发现坡度误差与尺度之间,在0.01水平上存在显著正相关,其相关系数为0.855。

表2 不同尺度下的坡度误差情况

Tab.2 The slope error under multi scales

尺度(m)	坡度误差	尺度(m)	坡度误差
1	0.00	15	0.007722
2.5	0.001795	20	0.011395
5	0.010740	25	0.013354
10	0.006924	30	0.014330

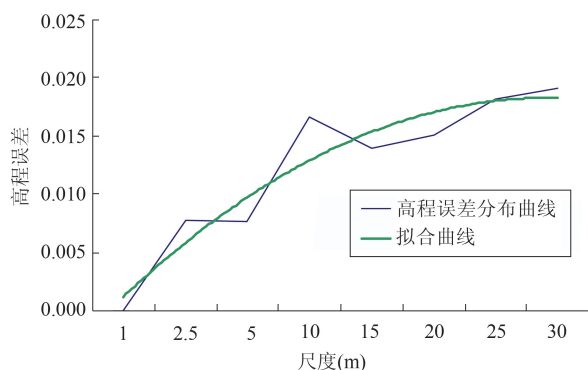


图7 不同尺度的坡度误差及其拟合

Fig.7 Slope error under different scales and their fitting

其拟合模型:

$$y = -0.0001x^2 + 0.0032x - 0.0025 \quad (3)$$

式(3)中, y 为坡度误差; x 为尺度,该模型在0.01的水平上显著,其复相关系数为0.8253。

从图7可以看出,2.5m尺度的坡度误差很小,与1m尺度比较接近;5m尺度的坡度误差比10m和15m尺度的坡度误差大;10m和15m尺度的坡度误差比较接近。

5 结论

本文以1m尺度作为基础,计算了各尺度下的高程和坡度的频率差,并用于测定各尺度下的高程或坡度精度损失或误差。

在整个范围内,2.5m和5m尺度的DEM频率分布基本一致;10m和20m尺度的比较一致;25m和30m尺度也比较一致。2.5m和5m尺度的高程误差比较接近;10m和20m尺度的高程误差比较接近;25m和30m尺度的高成误差比较接近。总体上,高程误差与尺度之间在0.01水平上存在着显著正相关关系,其相关系数为0.863。其关系可以用模型: $y = -0.0004x^2 + 0.0058x - 0.0042$ 表示,该模型在0.01的水平上显著。

在整个范围内,1m和2.5m尺度的坡度频率分

布比较一致;10m和15m尺度的坡度频率分布比较一致;20m、25m和30m尺度的坡度频率分布也较一致。2.5m尺度的坡度误差很小,与1m尺度比较接近;10m和15m尺度的坡度误差比较接近。总体上,坡度误差与尺度之间在0.01水平上存在着显著正相关关系,其相关系数为0.855。其关系可以用模型: $y = -0.0001x^2 + 0.0032x - 0.0025$ 予以表示,该模型在0.01的水平上显著。本研究揭示出高程或坡度随尺度变化的精度损失特征和规律,这对尺度选取和土地的精细应用决策均具有重要意义。

参考文献:

- [1] 汤国安,刘学军,闫国年,等.数字高程模型及地学分析的原理与方法[M].北京:科学出版社,2005.
- [2] 李发源,汤国安,贾旖旎.坡谱信息熵尺度效应及空间分异[J].地球信息科学,2007,9(4):13-18.
- [3] 陈楠,汤国安,刘咏梅.基于不同比例尺的DEM地形信息比较[J].西北大学学报(自然科学版),2003,33(2):237-240.
- [4] 陈楠,王钦敏,汤国安.基于单个栅格的DEM坡度与分辨率关系研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(4):499-504.
- [5] 汤国安,龚健雅,陈正江.数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J].测绘学报,2001,30(4):361-365.
- [6] 贾敦新,汤国安,王春. DEM数据误差与地形描述误差对坡度精度的影响[J].地理信息科学学报,2009,11(1):43-49.
- [7] 汤国安,赵牡丹,李天文. 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.
- [8] 魏林宏,郝振纯,李丽.不同分辨率DEM的信息熵评价及其对径流模拟的影响[J].水电能源科学,2004,22(4):1-4.
- [9] 杨勤科,师维娟, Tim R. Mc Vicar. 水文地貌关系正确DEM的建立方法[J].中国水土保持科学,2007,5(4):1-6.
- [10] Hao Z C, Chi C X, Wang L. A preliminary analysis of DEM space data resolution[J]. Advance in Earth Sciences, 2007,5(4):1-6.
- [11] 杨邦,任立良,王贵作.基于尺度转换的数字水系提取方法及应用[J].中山大学学报(自然科学版),2009,48(4):101-112.
- [12] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a Micro2scale[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1997,11(2):199-212.
- [13] Theobald D M. Accuracy and bias issues in surface representation[C]. Accuracy of Spatial Databases, Bristol, PA, 1989
- [14] Martz L W, Garbrecht J. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models[J]. Hydrological Processes, 1998 (12):843-855.

- [15] Rieger W. A phenomenon-based approach to up slope contributing area and depressions in DEMs[J]. *Hydrological Processes*, 1998(12):857-872.
- [16] Hutchinson M F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models[C]. *The 3rd International Symposium on Spatial Data Handling*, Columbus, 1988.
- [17] 杨存建,张增祥. 矢量数据在多尺度栅格化中的精度损失模型探讨[J]. *地理研究*, 2001,20(4):416-422.

Analysis of Scale Effect Characteristics of DEM and Slope in Hilly Areas

YANG Cunjian^{1*}, ZHAO Xilin¹, ZHOU Qilin², NI Jing¹ and WANG Qin¹

(1. *Research Center of Remote Sensing and GIS Applications, Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest of China, Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China;*

2. *Suining Forestry Bureau, Suining 629000, China*)

Abstract: In order to reveal the scale effect characteristics of DEM and slope grid with different size in hilly areas, the paper uses the typical hilly areas in Chuanshan County in Suining City as the pilot-area. Multi-scale DEM and slope with the resolution of 1m, 2.5m, 5m, 10m, 15m, 20m, 25m and 30m are generated by using contours, elevations, rivers and other data from 1:10000 scale maps. The qualitative scale effect of elevation and slope is revealed by comparing the frequency distribution of multi-scale elevation and slope. The concept of standard frequency error for testing the loss or error of accuracy created by scaling is proposed here. The correlation between altitude error(y) and scale(x) is positively significant at 0.01 confidence level, and its coefficient is 0.863. The model: $y = -0.0004x^2 + 0.0058x - 0.0042$ can be used to significantly describe the quantitative scale effect of altitude at 0.01 confidence level. The correlation between slope error(y) and scale(x) is positively significant at 0.01 confidence level, and its coefficient is 0.855. The model: $y = -0.0001x^2 + 0.0032x - 0.0025$ can be used to significantly describe the quantitative scale effect of slope at 0.01 confidence level. The research has important implication for selecting the optimal scale in specified terrain analysis of hilly areas.

Key words: hilly areas; DEM; slope; standard frequency error; scale effect

* **Corresponding author:** YANG Cunjian, E-mail: yangcj2008@126.com