

# DEM 提取地面平均坡度误差的量化模拟

赵牡丹<sup>1,2</sup>, 陈正江<sup>1</sup>, 晋锐<sup>1</sup>

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069; 2. 中国科学院 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 研究选取陕北黄土丘陵沟壑区、黄土梁峁丘陵区、黄土低丘区以及黄土破碎塬区 4 种地貌地区作为试验样区, 采用高精度 1: 1 万比例尺 5 m 分辨率的 DEM 为基准数据, 应用比较分析、回归分析和相关分析等方法研究黄土高原不同分辨率 DEM 提取地面平均坡度精度的量化估算方法, 所得到的精度计算数学表达式经验证具有很好的应用前景, 也为建立全国范围的通用表达式提供了重要的方法依据。

**关键词:** DEM; 坡度; 分辨率; 误差; 模拟

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)03-0055-03

中图分类号: P231.5

## A Math-simulation on Accuracy of Gradient Extracted from DEMs

ZHAO Mu-dan, CHEN Zheng-jiang, JIN Rui

(1. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract** At present, the environment reconstruction project in the loess plateau area needs the support of the accurate slope gradient. The slope data are mainly detained from the digital elevation model. Four different test areas are chosen to learn the estimation way of the slope gradient from DEM and set up a slope accuracy simulation math-model by assuming 1: 10 000 scale, 5 m resolution DEM as the basis, and applying relation analysis, regression analysis. This model was testified to be available in application, which also present the important way to set up the general model of the national scale.

**Keywords** DEM; slope; resolution; topographic; parameter

### 1 引言

地面坡度是决定地表物质与能量再分配的关键地形因子,在国民经济与科学研究中具有重要意义。当前,西部大开发急需准确的地面坡度信息的支持,利用 GIS 中 DEM 自动提取地面坡度已成为重要的技术手段。问题是我国国家基础地理信息数据库所提供的 DEM,都是以地形图作为基本信息源数字化获得的,由于地形图制图综合等多种因素影响,不同空间尺度 DEM 在地形信息容量与精度上无疑存在明显差异。因此,研究 DEM 提取坡度的精度特征,实现对所存在误差的量化模拟,为有关应用项目提供科学合理的质量标准,具有十分重要的意义。

由 DEM 提取坡度诸多算法的精度与适用性的研究已较为完善。Chang, Jay Gao 以及 Tang 从不同的角度分析了地面坡度误差的成因以及误差随 DEM 分辨率减低而增加的趋势,近年来,大量研究还从地

形学的角度探讨了 DEM 提取地面坡度的精度问题<sup>[1-12]</sup>,但均未能就坡度误差值随分辨率及地形变化的规律进行量化模拟,不利于误差的具体估算与纠正。本研究采用高精度野外实测数据与高精度 1: 1 万比例尺 DEM 为基础数据,选定黄土高原多个有地貌代表性的区域为试验样区,应用比较分析和相关分析,特别是分辨率与地形特征逐步回归等方法,建立黄土高原地区不同分辨率 DEM 提取地面坡度误差的量化模型,该模型经实际验证具有很高的精度。黄土高原的地形起伏变化既具有其多样性和复杂性,又呈现由南至北渐变特征,很好地体现了差异性与一体性良好统一。以陕北黄土高原为例,建立适合黄土高原多种地貌类型的,DEM 所提取的地面坡度随分辨率与地形变化的误差模型,既能有效地估算地理空间数据的不确定性特征,又在一个新的侧面揭示黄土高原 DEM 地形信息容量变化的规律性,为建立黄土高原地形信息图谱提供重要素材。

收稿日期: 2002-04-02

资助项目: 国家自然科学基金 (49971065); 黄委会水土保持科研基金项目 (hsbkj2000-02); 西北大学科学研究基金 (00NW30)

作者简介: 赵牡丹 (1969-), 女 (汉族), 陕西富平人, 西北大学城市与资源学系讲师, 中科院水利部水土保持研究所在读博士, 研究方向为遥感与地理信息系统。电话 (029) 8302460, E-mail: zmdan@nwu.edu.cn



1 黄土低丘区 2 黄土丘陵沟壑区  
3 黄土梁峁丘陵区 4 黄土破碎塬区

图 1 样区位置示意图

## 2 实验样区与信息源

在陕北黄土高原选择 4 个不同地貌类型区域作为试验区,按照地形起伏程度的由高至低依次为:黄土丘陵沟壑区、黄土梁峁丘陵区、黄土低丘区以及黄土破碎塬区。具体地形指标见表 1

表 1 实验区主要地形指标

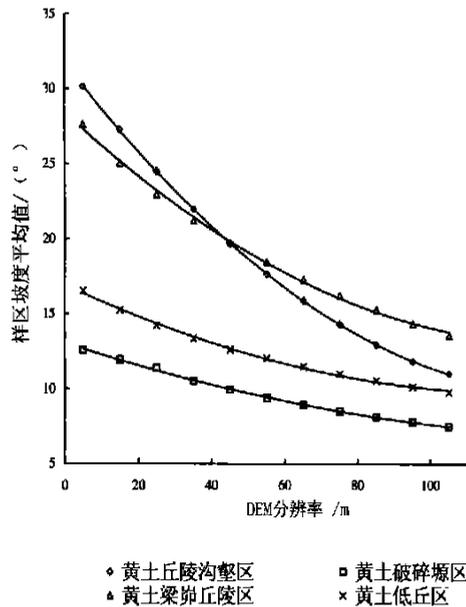
主要地貌因子	黄土破碎塬	黄土低丘	黄土梁峁丘陵	黄土丘陵沟壑
平均海拔 /m	1 145	1 770	1 549	1 032
地面平均坡度 /( $^{\circ}$ )	11.23	16.47	23.83	30.16
河网密度 /( $\text{km}^{\circ} \text{km}^{-2}$ )	2.48	3.45	4.51	6.44
地形起伏度	1.0704	1.0751	1.1719	1.4664
地面曲率 /( $^{\circ}$ )	14.22	19.43	26.20	34.92

实验所用的 DEM是由 1:1 万比例尺地形图等等高线数字化,再经高程内插获得。采用国家测绘部门编制的 1:1 万地形图作为基本信息源建立 DEM,栅格分辨率均为 5 m,经测定,地形描述误差的均方差值在 0.337 m 以下,具有很高的地形描述精度,能较准确地提取地面坡度。本试验视此 DEM 数据为基准,测定其它各级较粗数字坡度模型的误差。

采用 ARC/Info, ARC/View 为主要的 GIS 分析软件平台,实现 DEM 建立、坡度要素提取与分析。

## 3 实验

在 ARC/Info 地理信息系统软件支持下,通过改变 DEM 分辨率并记录各样区平均坡度,得到表 2 的统计结果。表 2 显示,在各地貌类型实验区,DEM 所提取平均坡度呈随分辨率的降低(栅格边长增加)而降低的态势。为了实现不同空间分辨率的 DEM 提取的地面坡度一一对应,保证数据之间的一致性,在 5 m 分辨率 DEM 基础上,利用 ARC/View 软件分别提取分辨率为 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105 m 的 10 组数字坡度模型 DSM 来进行分析。由 DSM 可得到各样区不同分辨率的坡度平均值(见图 2)



$y = 0.0012x^2 - 0.3218x + 31.786 \quad R^2 = 1$  (黄土丘陵沟壑区)  
 $y = 0.0009x^2 - 0.2311x + 28.455 \quad R^2 = 0.9982$  (梁峁丘陵沟壑区)  
 $y = 0.0003x^2 - 0.0801x + 13.078 \quad R^2 = 0.9985$  (黄土破碎塬区)  
 $y = 0.0004x^2 - 0.1141x + 16.921 \quad R^2 = 0.9978$  (黄土低丘区)

图 2 地面平均坡度均值随 DEM 分辨率变化规律及模拟方程

图中每个模型方程可表示为以下的通用表达式:

$$S = aR^2 + bR + c \quad (1)$$

试验中发现,每个公式的系数 a, b, c 均与地形因子呈二次线性相关,选取沟壑密度、地形起伏度、坡度标准方差值,剖面曲率分别与系数 a, b, c 进行回归拟合,发现系数 a, b, c 与剖面曲率及沟壑密度呈最好的相关(相关系数均在 0.97 以上)将 a, b, c 的回归模型代入(1)有:

$$\begin{aligned}
 S = & 0.000002X^2 - 0.0004X + 0.0005R^2 + \\
 & (-0.0005X^2 + 0.014X - 0.1788)R + \\
 & (-0.0163X^2 + 1.8627X - 13.449) \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$S = (-0.0005V^2 + 0.014V - 0.1788)R^2 + (-0.0642V + 0.0841)R + (-1.0174V^2 + 14.189V - 17.004) \quad (3)$$

式中:  $S$ ——平均坡度;  $R$ ——DEM 分辨率;  $X$ ——地面平均剖面曲率;  $V$ ——沟壑密度。设 5 m 分辨率的 DEM 所提取的地面平均误差为真值,即可以通过公式 (2)、(3) 的差值计算,得出任意分辨率 DEM 计算平均坡度的误差。

表 2 不同分辨率 DEM 提取的地面平均坡度 (°)

DEM 分辨率 /m	黄土丘陵沟壑区	黄土梁峁丘陵区	黄土低丘区	黄土破碎区
5	30.139	27.648	16.537	12.587
15	27.302	25.074	15.248	11.978
25	24.511	22.965	14.215	11.401
35	21.957	21.222	13.370	10.553
45	19.680	19.731	12.630	9.953
55	17.619	18.429	12.045	9.394
65	15.864	17.256	11.497	8.933
75	14.303	16.226	10.993	8.503
85	12.935	15.270	10.544	8.124
95	11.854	14.328	10.135	7.785
105	11.019	13.575	9.784	7.486

在实际应用中,工作区的沟壑密度指长度大于 50 m 的冲沟,可以利用 GIS 方法自动提取,也可以在大比例尺地形图上量算、统计求得。

在延安及安塞两个实验样区对以上模型进行检验,证明如果 DEM 分辨率在 70 m 以内,可以得到较为理想的误差模拟效果。

陕北黄土高原所提取的地面平均坡度随 DEM 分辨率的降低而呈线性下降的态势。DEM 所提取地面坡度的误差  $S$  与 DEM 分辨率  $R$  及沟壑密度  $V$  呈较强的相关。由于地面的沟壑密度容易利用 DEM 自动提取或者在地形图上直接量算,为该模型的应用提供了方便、有利的条件。

以上研究仅采用 4 个地形样区,建议在今后的实验中增加实验区的数量,并研究地面平均坡度稳定的地域尺度条件,在研究方法上,可以采用神经网络的量化模拟方法,以获得更为理想的研究结果。

### [参 考 文 献]

- [1] Kang-tsung Chang, Bor-wen Tsai. The Effect of DEM Resolution on Slope and Aspect Mapping [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1991, 18(1): 69-77.
- [2] Ahmadzadeh M R, Petrou M. Error statistics for slope and aspect when derived from interpolated data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(9): 1823-1833.
- [3] Bolstad P, Stowe T. An evaluation of DEM accuracy - elevation, slope, and aspect [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, 60 (11): 1327-1332.
- [4] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale [J]. INT. J. Geographical Information Science. 1997, 11(2): 199-212.
- [5] TANG Guoan, YANG Qinke, ZHANG Yong et al. A Research on The Accuracy of Slope Derived From DEMs of Different Map Scales [J]. Bulletin, 2001. 1.
- [6] Holmes K W, Chadwick O A, Kyriakidis P C. Error in a USGS 30- meter digital elevation model and its impact on terrain modeling [J]. Journal of Hydrology, 2000, 233 (1-4): 154-173.
- [7] Florinsky I V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation model [J]. IJGIS, 1998, 12(1): 47-61.
- [8] Giles P T, Franklin S E. An automated approach to the classification of the slope units using digital data [J]. Geomorphology, 1998, 21(3-4): 251-264.
- [9] By John P. Wilson, John C. Gallant. Terrain Analysis Principles and Applications [M]. Wiley Press, New York City, 2001
- [10] 汤国安,杨勤科,张勇.不同比例尺 DEM 提取地面坡度的精度研究 [J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 53-56.
- [11] 汤国安,陈楠,刘咏梅.黄土丘陵沟壑区 1:1 万及 1:5 万比例尺 DEM 地形信息容量对比 [J].水土保持通报, 2001, 21(2): 34-36.
- [12] 阎国年,钱亚东,陈钟明.基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究 [J]. 地理学报, 1998, 53(6): 562-569.