

基于计曲线的 DEM 生成与地形分析 ——以在黄土高原的试验为例

杨昕, 汤国安, 刘咏梅, 张友顺, 陈卫荣
(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 数字高程模型 (DEM) 是水土流失监测与水土保持中地形分析不可缺少的空间数据, 但是, 目前国家测绘部门 1:1 万比例尺 DEM 的完成尚待时日。提出了利用计曲线快速生成 DEM 的技术方法, 并以黄土丘陵区为试验样区, 评定其精度特征与应用适宜性。实验结果表明, 该方法生成的 DEM 同首曲线数字化生成的 DEM 相比, 建立的效率大为提高, 精度有保证, 能够满足黄土高原地区一般地形分析的需要, 不失为一种快速、简洁、有效的技术方法。

关键词: 计曲线; DEM; 建立; 精度

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2003)03-0048-03

中图分类号: P208

Accuracy Analysis and Production of DEM Based on Index Contour

YANG Xin, TANG Guo-an, LIU Yong-mei, ZHANG You-shun, CHEN Wei-rong

(Dept. of Urban and Resources Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China)

Abstract: DEMs play an important role in the supervision and preservation of soil and water conditions, but at present, it is difficult to construct large scale DEMs. An idea and technical method to construct a DEM based on index contour is put forward for the first time. Using loess hilly and gully area as test sites, the authors assessed the accuracy and application feasibility of this type of DEM. The experiment shows that although there are some certain errors in these simplified DEMs, as well as in the terrain features derived (i.e. slope, aspect, surface curvature, donga density, surface roughness and undulation), these DEMs can satisfy the application and analysis of terrain. It is a quick, concise and effective technical method.

Keywords: index contour; DEM; construction; accuracy

当前, 国家 NSDI 建设已成为国家信息化建设的重点, 国家测绘部门已经完成了多种比例尺的数字高程模型 (DEM), 但是, 由于我国国土面积大、地形复杂, 规划中 1:1 万比例尺 DEM 的完成尚待时日, 这对正在黄土高原地区所开展的“山川秀美”等生态环境工程, 带来了一定的困难。按照国家的技术规范与标准, 地形图等高线 (首曲线) 数字化的方法是建立 DEM 的基本方法。而在诸如高山以及黄土丘陵沟壑区等复杂地形区, 地形图上等高线非常密集, 采集全部等高线数据的工作量大, 耗时多, 且出错率高。如果能在短期内生产出满足水土流失监测与水土保持规划精度要求的 DEM, 不但节约了人力、物力和财力, 而且有效解决了当前应用之急需。本文提出了利用地形图上的计曲线为依据, 建立数字高程模型的新方法, 并以在陕西省延安地区的实验样区为例, 对

DEM 在所提取的地形因子精度进行了解剖分析。结果证明, 对于地面高差大、坡度陡峻、地形变化规律性较强的地区, 基于计曲线的 DEM 可以满足一般地形分析的应用需要, 为一种快速、简洁、有效的技术方法。

1 实验样区及 DEM 建立

实验区位于陕西省延安地区的雁门关, 地处东经 $109^{\circ}52'30''$ — $109^{\circ}56'15''$, 北纬 $36^{\circ}45'00''$ — $36^{\circ}47'30''$ 之间。面积 24.6 km^2 ($5.43 \text{ km} \times 4.53 \text{ km}$) 平均海拔 1103.2 m , 平均坡度 32.2° , 属于典型的黄土丘陵沟壑区。

采用地形图首曲线建立的 DEM 为基准数据, DEM 分辨率为 5 m 。按照国家的 DEM 生产技术规范, DEM 的生产首先是地形图首曲线与骨架点 (离散高程点) 的数字化, 在此基础上, 构建不规则三角网

(TIN), 再经内插而转换成栅格形式的离散高程点数字矩阵(DEM)。工作流程如图 1 所示^[1]。

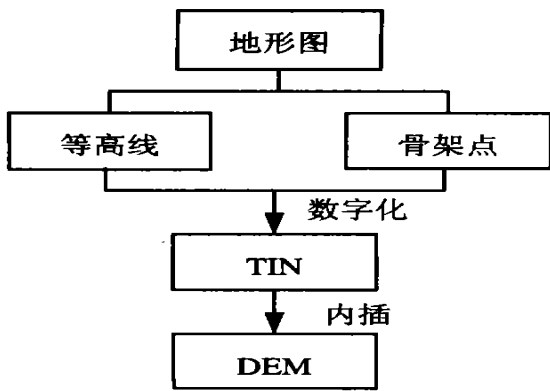


图 1 DEM 建立的技术路线

对于地面高差大, 坡面陡峻而均匀, 地形特征规律性较强的地区, 由于地面的起伏变化保持了相当的空间自相关性, 计曲线在相当大的区域已经能够反映地形的总体变化规律。因此, 本实验探讨以计曲线为信息源, 辅以高程骨架点生成 DEM 的技术方法与精度特征。由于该方法在很大程度上减少了等高线数字化的工作量, 所建立的 DEM 也具有对原始地面的一定程度的综合、取舍与简化, 因而, 我们将该方法建立的 DEM 称为简化 DEM (Simplified DEM, 简称 SDEM)。

2 实验结果与分析

本实验通过对 DEM 及 SDEM 在数据质量以及所提取的地形因子等各方面的比较, 判定其地形分析的精度与应用适宜性。

2.1 海拔高程

SDEM 高程精度评价主要针对高程内插值的精度分析^[2]。常用有任意点法、剖面法、等高线法等方法。本实验选用任意点法, 即对每个样区随机均匀布设 50 个检测点, 检查内插的高程值与原始高程值之差异, 并依据国家标准进行评价(如表 1)。

表 1 黄土丘陵沟壑区高程精度测定

项目	DEM			SDEM		
	方差 /m ²	标准差 /m	中误差 /m	方差 /m ²	标准差 /m	中误差 /m
精度	0.913	0.671	0.956	2.165	1.030	1.471

根据国家标准, 1: 1 万丘陵地区 DEM 中误差小于 1.2 m, 即达到国家一级精度标准, 在 1.21.7 m 之间为二级标准; 因此, 黄土丘陵沟壑区 1: 1 万的 SDEM 达到国家二级精度, 证明 SDEM 有着较为理

想的数据精度。图 2 显示 DEM 与 SDEM 在高程分级统计结果上也具有较高的精度。

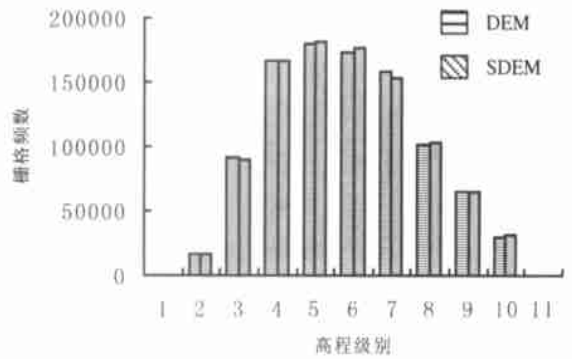


图 2 DEM 与 SDEM 高程分级误差统计结果

2.2 坡度

坡度是影响土壤侵蚀强度与水土保持措施的核心要素, 在 Arc/ Info 地理信息系统软件的支持下, 分别利用 DEM 与 SDEM 建立相应的数字坡度模型。并采用多层复合分析的方法提取两者的差值, 以此作为进行误差统计的依据。表 2 及图 3 分别为坡度误差的统计结果和坡度分级对比图。

表 2 SDEM 与 DEM 坡度误差

坡度	0°~3°	3°~5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	35°~45°	45°~90°	%
综合误差	5.67	0.20	0.04	1.43	1.10	6.33	0.04	4.60	

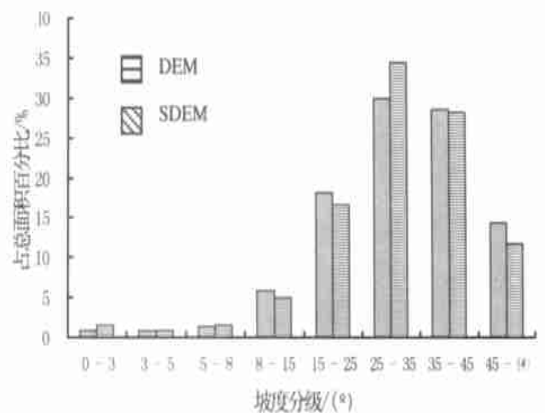


图 3 DEM 与 SDEM 提取的地面坡度对比

图 3 显示, DEM 和 SDEM 在相同的坡度分级系统^[3]下所提取的地面坡谱^[4]具有较好的吻合度。考虑误差的大小及分布情况, 本实验采用综合误差^[4, 5]对提取地面坡度的精度进行评估。如表 2 所示, 最大综合误差出现在 25°~ 35°坡度段, 达到 6.33%, 由于该区域处于栅格的峰值阶段, 从概率论的角度来看, 误差自然会偏大些; 在 3°以下的平缓坡度地区, 综合误差达到 5.67%, 这是由于 SDEM 对 DEM 的制图

综合效果造成地形描述精度降低, 导致“三角小平台”^[7]的出现, 坡度接近于 0° 的栅格数目急剧增多, 由此可见, SDEM 不适合在地面平缓地区使用。

2.3 剖面曲率

地面剖面曲率即地面坡度的变化率, 是反映地形起伏变化特征的另一重要指标。如图 4 所示, 黄土丘陵沟壑区, 剖面曲率的相对误差主要集中在第一级, 高达 83%, 而在剖面曲率值较高即地形变化较为明显的后几级, 误差很小, 均在 5% 以下。这是由于在该地区地面所存在的大量沟沿线、沟底线因采样等高线的减少而减少, 所以, 应用 SDEM 将损失部分有坡面转折的地面形态特征, 尤其在坡面转折变化较小的地区。由于剖面曲率与地面坡度的强相关性, 造成误差累积放大, 所以整个误差值偏大。

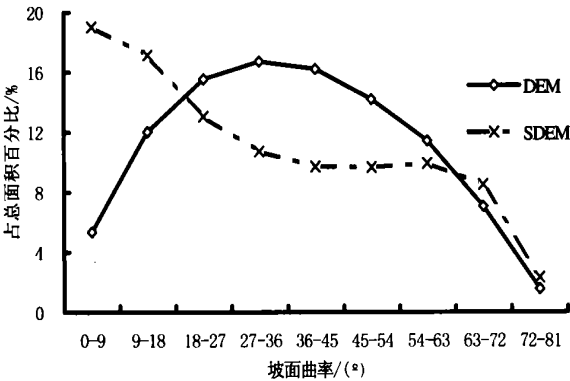


图 4 DEM 与 SDEM 提取的地面曲率对比

2.4 沟壑密度

沟壑密度是反映该地区受侵蚀程度的宏观定量指标。利用地形图或 DEM 提取地面沟壑特征, 对于水土流失监测以及水土保持规划都具有重要的意义^[5,7]。本研究利用 DEM 的水流积累 (Flow Accumulation) 方法, 提取浅沟以上 (水流累积量大于 200) 的沟壑与水系, 并计算其沟壑密度。DEM 与 SDEM 所提取的沟壑密度相当接近, 分别为 7.913 和 7.633 km/km², 相对误差仅为 3.54%。

2.5 地面光照影像模拟

DEM 地面光照影像模拟是描述一定光照条件下, 地貌受光强度与暗影变化, 在人视觉中产生的立体感影像。在地形分析与地貌特征可视化方面具有重要作用, 也可被用来进行地面接受太阳光照统计量分析。每栅格单元内受光强度系数 R 可表达为:

$$R = \frac{1 - p \cos \theta / \operatorname{tg} \phi - q \sin \theta / \operatorname{tg} \phi}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + (\cos \theta / \operatorname{tg} \phi)^2 + (\sin \theta / \operatorname{tg} \phi)^2}}$$

式中: θ —— 太阳方位角; ϕ —— 太阳高度角;

$$p = \frac{\partial h}{\partial x}; q = \frac{\partial h}{\partial y} (\partial h \text{ 为 DEM 所记录的地面海拔高程; } \partial x, \partial y \text{ —— 栅格边长})。$$

图 5 为实验区 DEM 晕渲图与 SDEM 晕渲图, 对比可以发现, 除了一些微小的细沟外, 两者在总体上并无多大的差别, 因此, 两者可相互替代。

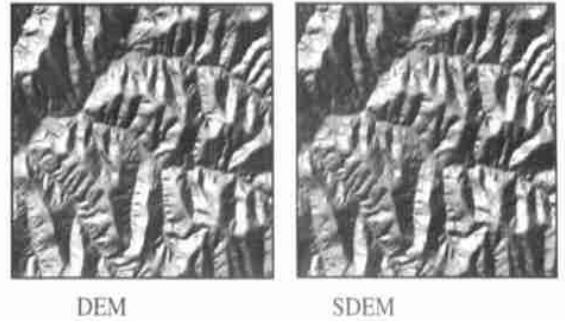


图 5 DEM 与 SDEM 提取光照模拟的影像对比

2.6 其它

表 3 显示, 对于一次性地形因子 (如海拔高度、地面坡度、地面起伏度、地面粗糙度) 误差值相对较小, 而二次性地形因子 (如剖面曲率、平面曲率) 的误差较大, 这与 SDEM 综合了些许细微的地形变化有关, 由于剖面曲率与坡度的强相关性, 导致误差的传递扩大。平面曲率是地面任一点位地表坡向的变化率, 其大小是决定坡面水平方向的坡形变化, 是通过求取坡向的坡度得到的, 它也是一个与坡向相关的量, 同样有误差传递放大的因素。

表 3 所提取地形因子统计均值与生产 DEM 效率对比

项目	高程	坡度	剖面曲率	平面曲率	地面起伏度	地面粗糙度	建 DEM 需时/h
DEM	1 103	32.25	36.90	57.64	2.22	1.24	41
SDEM	1 103	31.65	31.47	54.65	2.22	1.22	8

地面起伏度和地面粗糙度都是在宏观区域内反映地面的起伏特征, 其误差值非常小, 说明从宏观角度, SDEM 与 DEM 具有很强的替代性。此外, SDEM 效率比标准方法提高近 5 倍。

3 结论与讨论

(1) 总体来讲, SDEM 大大提高了生产速度, 且具有相当的精度, 基本上可满足水土流失监测与水土保持规划地形分析的需要。具有相当的应用前景。

(2) 本研究只对黄土丘陵沟壑区为实验样区进行分析, 认为该方法在地形起伏变化较为一致的山区有更高的效果。可在该方面进行深入的实验和探索。

(下转第 54 页)

2.3.3 数据查询和显示 数据查询包括库查询、图形查询和属性查询及其显示等。库查询包括系统中所有的数据库名称的查询、当前数据库的访问权限、数据库地址以及 TILES 和 LAYERS 等的查询。数据查询是对某图属性表中某字段值的查询(IDENTITY)或是图上某些图斑面积和线段值的量算(MEASURE)等。

2.3.4 数据库安全性保护 为了保护数据安全性及其在维护上的一致性,需要设置数据库的访问权限。LIBRARIAN 数据库访问权限有 5 种类型: ADMINISTRATOR, MANAGER, OPERATOR, BROWSE, LOOK, NONE; 权限范围设置可在 LIBRARIAN, TILE 和 LAYER 3 个层次上进行。LIBRARIAN 的访问权限可通过 REVOKE 命令取消。

3 数据库说明文档

数据库说明文档即元数据文件。元数据是数据的数据,是关于数据内容、质量状况和其它有关特征的背景信息。是数据共享不可缺少的文件之一。

黄土高原 1:50 万数据库数据说明文档属于黄土高原水土保持元数据的一部分,是参考现有的元数据标准^[4]和一些空间数据库说明文件^[5]编制而成。该元数据说明是在 2 个层次上进行的。

(1) 区域级空间元数据,该级元数据是对黄土高原区 1:50 万空间数据库的总体说明,其内容主要包

括:标识信息数据库集成/数据分层信息、数据组织方式、数据库质量信息、数据覆盖范围、数据生产基础或数据来源信息、数据维护信息、数据共享信息等。

(2) 空间数据库级元数据,该级元数据是针对组成该数据库各图层的具体说明,其主要内容有:标识信息(所在集/库名、产品名称等)、数据质量信息、空间数据组织信息(数据格式、存储方式、路径)、空间参照系信息(坐标系统、投影信息)、共享信息(共享方式、发行信息等)、生产信息、属性数据编码信息(数据分类编码标准/原则、编码分类系统、图例系统)、以及专题信息(专题地理特征说明)等。标识信息是该级元数据和其相应的上级元数据标准联接的关键词。

[参 考 文 献]

- [1] 樊红编著. ARC/INFO 应用与开发技术[M]. 武汉测绘科技大学出版社, 1999.
- [2] 杨勤科. 论数字黄土高原建设的若干问题[J]. 水土保持通报, 2000, 20(4): 33—35.
- [3] 国家基本比例尺地形图分幅和编号. 中华人民共和国国家标准(GB/T 13989—92)[S]. 国家技术监督局, 1992—12—17 发布.
- [4] 基础地理信息数字产品元数据. 中华人民共和国测绘行业标准(CH/T 1007—2001)[S]. 国家测绘局, 2001—03—05 发布.
- [5] 全国 1:25 万地形数据库、数字高程模型数据说明[Z]. 国家基础地理信息中心, 1996 年 6 月. <http://nfgis.nsd.gov.cn>.

(上接第 50 页)

(3) 须进一步对 SDEM 的适用范围与应用中的不确定性进行深入研究,并对不同比例尺、不同分辨率、不同地形的样区进行研究实验,为我国 DEM 的生产提供一种新的思路。

[参 考 文 献]

- [1] 余鹏, 刘丽芬. 利用地形图生产 DEM 数据的研究[J]. 测绘通报, 1998(10): 16—18.
- [2] 唐新明, 林宗坚, 吴岚. 基于等高线和高程点建立 DEM 的精度评价方法探讨[J]. 遥感信息, 1999(3): 7—10.
- [3] 汤国安. 不同比例尺 DEM 提取地面坡度的精度比较研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 53—56.
- [4] 赵牡丹, 汤国安, 陈正江, 等. 黄土丘陵沟壑区不同坡度分级系统及地面坡谱对比[J]. 水土保持通报, 2002, 22(4): 33—36.
- [5] 汤国安, 龚健雅, 陈正江, 等. 数字高程模型地形描述精度量化研究[J]. 测绘学报, 2001(11): 361—365.
- [6] 蒋忠信. 流域沟壑密度理论极值数学模式商讨[J]. 地理

研究, 1999, 18(2): 220—223.

- [7] 赵帮元, 汤国安, 马安利. 不同地貌类型区 1:25 万比例尺 DEM 的建立方法[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 45—48.
- [8] Tang Guoan. A Research on The Accuracy of Digital Elevation Models[M]. Science Press, Beijing, 2000.
- [9] Li Zhilin. Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling[M]. Ph. D. Thesis, The University of Glasgow, 1990.
- [10] Ackermann F. Techniques and strategies for DEM Generation, Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry[M]. ASPRS, 1996.
- [11] Wang Ping. Applying Two Dimensional Kalman Filtering for Digital Terrain Modelling[M]. IAPRS, 1998.
- [12] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1997, 11(2): 199—212.