

黄土丘陵沟壑区不同数据结构 DEM 转换精度研究

刘咏梅^{1,2}, 汤国安¹

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

摘要: 栅格 DEM 与 TIN 是 DEM 表面建模主要的 2 种方法。应用 DEM 进行地形分析时, 栅格 DEM 与 TIN 的相互转换非常必要, 但在转换中所产生的误差直接或间接地影响到分析结果的准确性。以陕北黄土丘陵沟壑区的绥德县韭园沟流域为实验区, 采用高精度的 1:1 万 DEM 为基准数据, 探讨不同转换参数对转换精度的影响。实验结果表明, 所建立的栅格 DEM 表面高程误差随着 TIN 的转换阈值的增大而增大, 所提取的地面坡度、沟壑密度的精度随之降低。TIN 的转换阈值以 5 m 为较为理想的指标。

关键词: 栅格 DEM; TIN; 阈值; 误差

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)02-0040-03

中图分类号: P283.7

Conversion Accuracy Between DEMs of Different Data Structure in Loess Hill and Gully Area

LIU Yong-mei^{1,2}, TANG Guo-an¹

(1. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;)

Abstract: The conversion between Grid DEMs and TINs is of critical significance in digital terrain analysis which is a key work in the watershed planning of the loess plateau region. Taking Jiuyuan watershed in Suide county of northern Shaanxi province as a test area and 1:10 000 Grid DEM as a criterion, applying overlay comparative laws and mathematical statistics as basic research methodology, a research on the accuracy of conversion between Grid DEMs and TINs is made. The experiment shows that the conversion accuracy between Grid DEMs and TINs affected by conversion tolerance of TINs directly. The accuracy of Grid DEMs on describing terrain variables (i.e. elevation, slope gradient, channel network etc) decreases with conversion tolerance of TINs increasing, compared to Grid DEM of 1:10 000. Five meters should be a rational conversion tolerance in the loess hill and gully area.

Keywords: Grid DEM; triangulated irregular network; TIN; tolerance; error

数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM) 是 GIS 中进行三维空间数据处理与地形分析的核心数据, 在国防建设与国民生产中有很高的利用价值。在黄土高原地区, 以高精度的 DEM 为基础数据, 在 GIS 平台支持下, 快速准确提取坡度图、坡向图、断面图, 进行地形分析, 对于西部大开发与黄土高原生态环境的建设, 特别是土壤侵蚀预报、水土流失监测与水土保持规划工作的开展具有重要的意义。

DEM 的表面建模主要有 2 种方法: 基于格网的建模方法和基于三角形的建模方法。基于格网的建模方法以一系列相互邻接的正方形格网表示地形表面, 简称栅格 DEM (Grid DEM)。Grid DEM 结构简单、数

据存储量小、分析与计算非常方便, 是应用最广泛的 DEM 建模方法。基于三角形的建模方法则通过不规则分布的数据点生成的连续的不规则三角网 (Triangulated Irregular Network 简称 TIN) 来逼近地形表面 (见图 1)。与 Grid DEM 相比, TIN 模型具有许多明显的优点, 它能以不同的空间尺度来描述地形表面, 在某一特定空间尺度下 TIN 模型能用更少的空间和时间更精确合理地表示更加复杂的地形表面, 因而受到越来越多的重视。由于栅格模型与 TIN 模型各自具有的优点, 在黄土丘陵地区应用 DEM 进行各种复杂地形分析时, 经常需要进行两者之间的相互转换。因此, 研究不同转换参数对 Grid DEM 与 TIN 相互

收稿日期: 2002-10-30

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40271089); 教育部科研基金重点项目; 测绘遥感信息工程国家重点实验室高级访问学者基金项目

作者简介: 刘咏梅 (1970—), 女 (汉族), 陕西西安人, 讲师, 中国科学院水土保持研究所在职博士; 主要从事 GIS 与遥感应用研究。E-mail: liuyym-1@sina.com。

转换精度的影响以及合理的转换参数指标,是该地区 DEM 应用中亟待解决的关键问题。

以黄土丘陵沟壑区为实验区,以高精度的 1:1 万 DEM 为基准值,分别以不同的转换阈值将此 1:1 万

Grid DEM 数据转换为 TIN 数据。通过叠置比较与统计分析,研究以不同阈值转换而成的 TIN 建立的 DEM 表面产生的误差及分布规律,同时探讨了 Grid DEM 转换为 TIN 时应采用的合理转换阈值指标。

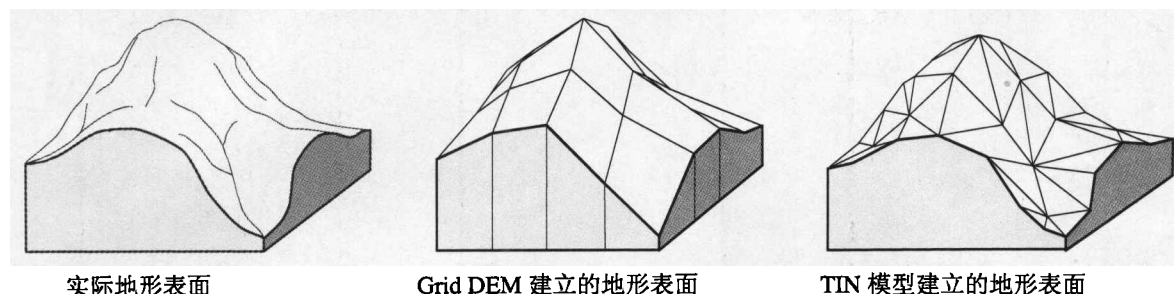


图1 实际地形表面及 Grid DEM, TIN 模型建立的地形表面

1 实验基础与方法

1.1 实验区简介

实验区位于陕西省绥德县韭园沟、刘家沟流域内,地理坐标为东经 $110^{\circ}15'00''$ — $110^{\circ}18'45''$,北纬 $37^{\circ}35'00''$ — $37^{\circ}37'30''$,面积 25 km^2 ,最高海拔高程为 1103.5 m 。该地区属于典型的黄土丘陵沟壑区,沟壑密度为 6.80 km/km^2 ,地面平均坡度 28.7° ,地面平均粗糙度 1.18。地表支离破碎,沟谷纵横,水土流失严重,为国家水土流失重点治理区(图 2)。

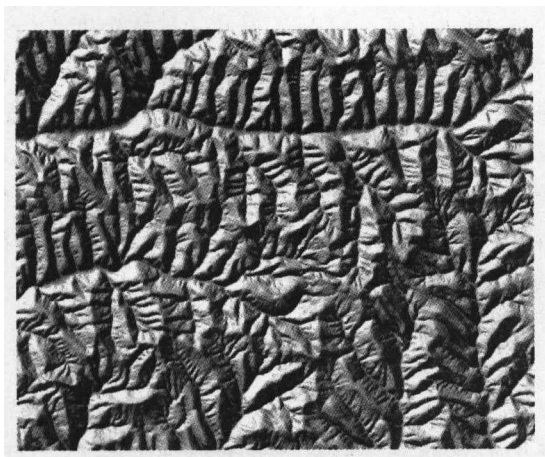


图2 实验区地形光照模拟图

1.2 实验方法

(1) 实验以高精度的 1:1 万 Grid DEM(栅格分辨率为 5 m ,即地面单元大小为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$)为数据基础,以 ARC/VIEW 3.2 地理信息系统软件为平台,采用基于 GIS 的叠置比较分析和数理统计分析方法。

(2) 阈值是指在以 TIN 模型模拟地形表面时,模拟三角面与地形表面之间的最大垂直限差(见图 3)。本实验在 ARC/VIEW 软件中,将作为基准的 1:

1 万 Grid DEM 分别以 2, 4, 6, 8, 10 m 的阈值转换为 TIN;以不同阈值转换而成的 TIN 为基础,分别生成不同精度的 Grid DEM(栅格分辨率均为 5 m)。

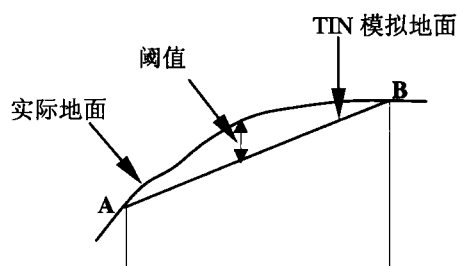


图3 TIN 转换阈值示意图

将不同精度的 Grid DEM 与作为基准的 1:1 万 Grid DEM 进行叠置与比较(在 ARC/VIEW 的 Map Calculator 功能中执行相减运算),采用统计方法对其高程误差及提取地面坡度、沟壑密度等地形因子的差异进行分析,研究在不同阈值参数下 Grid DEM 与 TIN 的转化精度。

2 实验结果与讨论

2.1 高程误差分析

首先,将转换阈值为 2, 6, 10 m 的 TIN 生成的 Grid DEM 与 1:1 万 Grid DEM 派生的等高线进行对比如图 4 所示(L 表示转换阈值,实线表示 1:1 万 Grid DEM 派生的等高线,虚线为不同转换阈值的 TIN 生成的 Grid DEM 派生的等高线)。

其次,对 2, 4, 6, 8, 10 m TIN 生成的 Grid DEM 与 1:1 万 Grid DEM 之间的高程误差进行分析,其误差分布规律如下。

随着 TIN 转换阈值增大,生成的 Grid DEM 与作为基准值的 1:1 万 Grid DEM 之间等高线差异增加、高程误差增大。其中,2 mTIN 生成的 Grid DEM

数据高程误差绝对值小于 3 m,达到 100%;4 mTIN 生成的 Grid DEM 达 97.42%;6 mTIN 生成的 Grid DEM 达到 86.54%,转换精度较高。

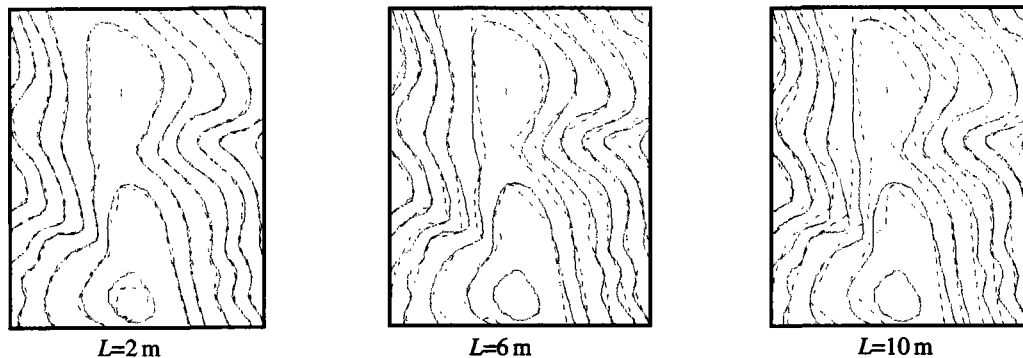


图 4 不同转换阈值 TIN 生成的 Grid DEM 与 1:1 万 Grid DEM 提取的等高线对比

2.2 坡度误差分析

目前,在 GIS 中利用 DEM 自动提取地面坡度已经成为最重要的技术手段,DEM 的精度直接影响到提取的地面坡度的精度。因此,分析以不同阈值参数转换的 TIN 建立的 Grid DEM 提取地面坡度的误差是研究 Grid DEM 与 TIN 相互转化精度的另一个重要指标。不同转换阈值 TIN 生成的 Grid DEM 与 1:1 万 Grid DEM 提取地面坡度相比较,其误差统计结果如表 1 所示。

表 1 不同转换阈值 TIN 生成的 Grid DEM 提取地面坡度误差统计结果

转换阈值/m	坡度误差最小值	误差最大值	误差平均值(绝对值)	均方差
2	-18.52°	15.98°	0.3706°	2.6684°
4	-33.95°	27.41°	0.6414°	4.5999°
6	-36.11°	35.83°	0.8281°	5.8902°
8	-44.26°	38.38°	1.0144°	6.8394°
10	-47.27°	41.41°	1.1782°	7.6084°

从表 1 可见,TIN 的转换阈值增大,生成的 Grid DEM 提取地面坡度的误差增大。2 mTIN 生成的 Grid DEM 提取的地面坡度与 1:1 万 Grid DEM 提取的地面坡度相比,其小于 6°的误差值占总误差的 96.66%;4 mTIN 生成的 Grid DEM 占 81.76%;6 mTIN 生成的 Grid DEM 占 71.36%,提取地面坡度的精度相对较高。

2.3 沟壑密度

在黄土丘陵沟壑区,沟谷纵横,细沟、浅沟、切沟、冲沟分别发育在不同的坡面部位,因此,沟壑密度是反映该地区受侵蚀程度的重要指标。

以不同转换阈值 TIN 生成的 Grid DEM 及 1:1 万 Grid DEM 数据为基础提取本实验区的沟壑密度见表 2。

表 2 不同转换阈值 TIN 生成的 Grid DEM 及 1:1 万 Grid DEM 提取的沟壑密度

转换阈值/m	2	4	6	8	10	1:1 万 DEM (基准值)
沟壑密度/(km ² ·km ⁻²)	6.822	6.840	6.775	6.747	6.683	6.804

以 1:1 万 Grid DEM 提取的沟壑密度作为基准值,点绘不同转换阈值 TIN 生成的 Grid DEM 提取沟壑密度的误差分布图。从误差分布图中可以发现,TIN 的转换阈值不同,生成的 Grid DEM 数据提取的沟壑密度值有一定的差异。随着 TIN 的转换阈值增大,沟壑密度具有逐渐变小的趋势,同时所提取沟壑密度的误差也随之增大。

3 结 论

(1) 在 Grid DEM 与 TIN 的相互转换过程中,TIN 的转换阈值参数直接影响到转换精度。TIN 的转换阈值不同,所建立的 DEM 表面在黄土丘陵沟壑区地形描述精度上存在明显的差异。

(2) 与作为基准值的 1:1 万的 Grid DEM 数据相比,不同转换阈值 TIN 生成的栅格 DEM,其地形描述精度随着 TIN 的转换阈值增大而降低。TIN 的转换阈值越大,所建立的 DEM 表面的高程误差越大,同时提取地面坡度、沟壑密度的精度降低,其在地形分析中的应用精度降低。

(下转第 45 页)

3.3 数据自动采集、分析、输出及查询子系统

数据自动采集功能主要是由PC104工控机完成。PC104工控机实时、在线地采集定标器输出的数据并保存、显示,并可作简单的数据处理;同时,它将数据实时上传到上位管理机,在上位管理机上通过专门的数据处理软件将数据进行多种运算处理、分析判断,并且可实时动态地显示测量时间、泥沙含量、径流量以及累积产沙量等参数。上位管理机还可同时实时地对多台径流泥沙含量与流量测量仪进行数据管理和监控工作,通过网络联接进行远程数据传输。操作人员通过多种查询模式查询多年历史记录。

3.4 控制操作系统

径流泥沙含量与流量动态测量仪的操作界面设计友好,人机交互设计合理,根据界面菜单提示,可掌握整个测量系统操作使用。该系统操作控制系统分2种模式:监测和实验模式。监测模式运用在长年野外监测场合,测量仪在无人干预下可长年连续监测工作。实验模式一般用在室内或野外进行土壤侵蚀试验研究,参数设定、修改灵活方便,可根据不同研究的测量需要,进行多次坡面径流泥沙含量与流量的测量。

4 流量测量系统的主要性能指标

通过大量的试验对LTW-1型全自动径流泥沙含量与流量动态测量系统严格测试,该测量系统均可达到以下性能指标:(1)含沙量测量精度:误差小于2%(kg/m³);(2)径流量测量精度:误差小于6%(ml/s);(3)最小采样间隔2s;(4)径流泥沙测量范围0~1000 kg/m³;(5)径流量测量范围0~20 L/min;(6)工作模式:监测模式、实验模式;(7)系统

功率平均为60 W;(8)工作时间可长期连续工作;(9)防辐安全性采用中国原子能科学研究院同位素研究所生产的CX109G型¹³⁷Cs γ 辐射输出器。该输出器设计安全,操作方便,性能稳定,准直孔定位准确,具有防水功能。罐体表面辐射剂量小于36 μ Sv/h,离罐体0.5 m处辐射剂量低于1 μ Sv/h,符合国家安全标准;(10)机架设备均采用不锈钢材或高强度有机玻璃制作而成,可适应在潮湿环境长期工作。

LTW-1型 γ 射线法全自动径流泥沙含量与流量动态测量仪是集核技术、电子技术、机械工程技术 and 计算机网络通讯技术为一体的测量系统。该系统既可适合于室内试验泥沙含量静态快速测量,更合适于野外试验监测小区坡面径流泥沙含量与流量的长期监测。但目前该系统还有许多不完善地方,例如机械加工精度、现场安装适应性以及野外试验条件适应性还有待进一步提高和改进,功能还需进一步扩充和完善。但是,这套系统成功研制为从事土壤侵蚀的研究工作者提供了使用便利、性能可靠的先进测试设备。促进了我国的水土保持研究工作和监测手段现代化,为水文、地理、水土保持、土壤侵蚀等科学的研究提供了可靠的、全自动化的测试手段。

[参考文献]

- [1] 方彦军,张红梅,程瑛.含沙量测量的新进展[J].武汉水利电力大学学报,1999,32(3):55—57.
- [2] 雷廷武,赵军,袁建平,等.利用 γ 射线透射法测量径流含沙量及算法[J].农业工程学报,2002,18(1):18—21.
- [3] 汪志荣.射线法测量土壤含水量[M].见:王文焰主编,动力水文实验研究.西安:陕西科学技术出版社,1991. 89—97.
- [4] Tang Guoan. A research on the accuracy of digital elevation models[M]. Science Press, Beijing, 2000.
- [5] Bolstad P V, Stowe T. An evaluation of DEM accuracy: Elevation, Slope, and Aspect[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, 60(11): 1327—1332.
- [6] Carter J. The effect of data precision on the calculation of slope and aspect using gridded DEMs[J]. Cartographica, 1992, 29(1): 22—34.
- [7] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale[J]. Geographical Information Science, 1997, 11(2): 199—212.
- [8] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.
- [9] 李国忠.关于DEM的高程、坡度、坡向精度评估[J].黑龙江测绘,1996,19(2):87—89.
- [10] 汤国安.DEM地形描述误差空间结构分析[J].西北大学学报(自然科学版),2000,20(4):349—352.

(上接第42页)

(3)从实验结果可见,TIN的转换阈值在2~6 m之内转换精度较高,但实验验证当TIN的转换阈值小于4 m时,数据量过大,不利于数据处理。通过试验分析可得出,5 m TIN生成的Grid DEM与1:1万Grid DEM相比,高程误差绝对值小于3 m的达到92.39%;坡度误差绝对值小于6°达到75.98%,沟壑密度为6.83,精度较高;并且数据量适中,处理方便。因此,在黄土丘陵地区,TIN的空间转换阈值为5 m比较合理。

[参考文献]