

基于 GIS 的不同精度 DEM 提取地形指标误差分析 ——以盐池县南部山区为例^{*}

杨 光¹,李庆和²,孙保平³

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院,呼和浩特 010019; 2. 内蒙古水事监理服务中心,呼和浩特 010020;
3. 北京林业大学 水土保持学院,北京 100083)

摘 要:以 1:50 000 和 1:100 000 地形图制作的 DEM 为研究对象,分别提取地面坡度及坡向、地表粗糙度、沟壑密度、坡长 5 种地形指标,并进行对比分析。实验样区为盐池县南部山区,基本技术平台为 ARC/INFO 地理信息系统软件。研究表明,两种精度 DEM 在提取地面坡度与地表粗糙度不同程度存在着误差,提取沟壑密度与坡长存在误差较小。提出了运用地理信息系统软件结合 DEM 提取沟壑密度与坡长的方法。研究成果对于 DEM 精度估算与误差纠正有一定的指导意义。

关键词:数字高程模型;地形指标;不确定性分析;地理信息系统

中图分类号:TP79;P941.75

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)05-0057-04

An Uncertainty Analysis of Terrain Features Derived from DEM with Different Precision Based on GIS - Taking the South Mountain Areas of Yanchi County as Example

YANG Guang¹,LI Qing-he²,SUN Bao-ping³

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China; 2. Inner Mongolia Water Supervision Service Center, Huhhot 010020, China; 3. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Taking DEMs which were made from the topographic maps of 1:50 000 and 1:100 000 map scaled as study cases, five indices including the terrain slope and aspect, soil roughness, ravine density, slope length from DEMs are derived, compared and analyzed. Taking the south mountain area of Yanchi county as a test area and ARC/INFO as a main working platform, the results show different errors can be found in terrain slope and soil roughness derived from two precision DEM, but in ravine density and slope length the difference is not significant. A kind of method is brought forward to derive ravine density and slope length from DEM with geographic information system software. The results of this study can be used to guide the error-rectifying and the accuracy-evaluation of the DEMs in practical applications.

Key words: Digital Elevation Model (DEM); terrain features; uncertainty analysis; geographic information system (GIS)

数字高程模型(Digital Elevation Model,简称 DEM),是以数字的形式按一定结构组织在一起,表示实际地形特征空间分布的模型^[1]。它是进行地形分析的有力工具,能模拟地貌形态,直观显示地貌特征和地形部位^[2]。DEM 在测绘、资源与环境、灾害防治、国防等与地形分析有关的科研及国民经济各领域发挥着巨大作用^[3]。利用 DEM,可以提取一系列的原生或次生地地形模型^[4]。这些地形指标是最基本的自然地理要素,也是对人类的生产和生活影响最大的自然要素。

以地形图作为基本信息源建立 DEM 是最常用的方法之一^[3],制作 DEM 的地形图比例尺选取适当,既能达到理想的分析结果,又能节省大量工作量。然而在目前的科学研究中,DEM 主要用来派生不同地形模型辅助完成各种专题

研究。而利用不同精度 DEM 提取的地形指数进行精度评价相对来说研究较少。该文主要利用盐池县 1:50 000 及 1:100 000 地形图(等高距分别为 10 m 和 20 m)矢量化后制作的 DEM,提取不同地形指标进行不确定性分析,以期对 DEM 数据采集及精度评价提供技术支持和科学依据。

1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部,地势南高北低,海拔 1 295 ~ 1 951 m,北部与毛乌素沙地相连,南部与黄土高原相靠,在地理位置上是从黄土高原向鄂尔多斯台地过渡地带,在气候上是从半干旱向干旱区过渡地带,在植被上是从

^{*} 收稿日期:2007-05-18

基金项目:“十一五”防沙治沙项目:宁夏河东沙地退化草地植被恢复与利用技术研究与试验示范(2006BAD26B0702)

作者简介:杨光(1974-),男,内蒙古人,博士,研究方向为遥感和 GIS 在荒漠化防治中的应用。E-mail:yg331@126.com

干草原向荒漠草原过渡地带,在资源利用上是从农区向牧区过渡地带^[5]。由于盐池县北部大部分为缓坡滩地,高差变化小,不同精度 DEM 提取出来的地形指标间差异小,因此选取南部黄土丘陵沟壑区为提取地形指标的研究区域。该区域是我国黄土高原西部边缘部分,也是陇东黄土地貌北部边缘,山峦起伏,沟壑纵横,水土流失严重。

2 研究方法

2.1 数字高程模型的建立

通常所说的数字高程模型主要是指规则格网 DEM 和不规则三角网 TIN^[6]。该文实例研究中采用的就是前者方法,即利用一系列在 X、Y 方向上都是等间隔排列的地形点的高程 Z 表示地形,形成一个规则格网 DEM。

该研究是在 ARC/INFO 地理信息系统支持下进行的,分别采用了等高距为 20 m 的 1:100 000 地形图 9 幅及等高距为 10 m 的 1:50 000 地形图 26 幅。具体方法为:利用 R2V5.5 软件数字化地形图,建立地形等高线数字化矢量线图;建立空间拓扑关系;建立矢量线图的地图投影坐标系;对各矢量线图进行边缘匹配处理及接边;采用三角化不规则网方法,将矢量线图转换成 TIN 数据结构,并进行空间插值;利用 ARC/INFO 的空间分析模块将 TIN 数据结构转成栅格数据结构形成 DEM 数字影像图,栅格大小均取 30 m × 30 m。根据地形特征,将盐池县划分为北部沙滩地和南部黄土丘陵沟壑区两部分,提取出南部黄土丘陵沟壑区面状区域作为裁剪 DEM 研究区的掩膜。利用 ARC/INFO 空间分析模块栅格计算器结合分析掩膜,对两幅 DEM 影像进行裁剪,形成研究区的 DEM 影像图(图 1、2)。

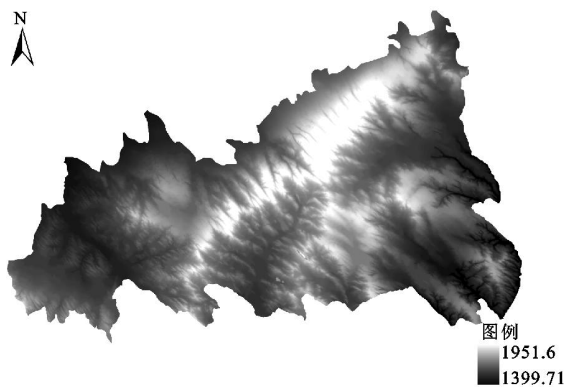


图 1 20 m 等高距地形图生成的 DEM

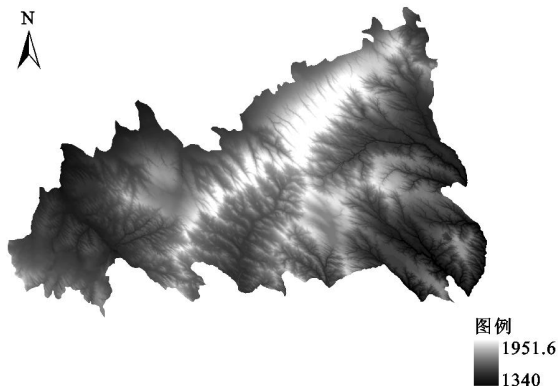


图 2 10 m 等高距地形图生成的 DEM

2.2 地形指标的提取

2.2.1 坡度、坡向

坡度定义为水平面与局部地表之间的正切值^[7]。它包含两个成分:斜度 - 高度变化的最大值比率(常称为坡度);坡向 - 变化比率最大值的方向。

本研究应用的 Arc/Info 地理信息系统软件平台采用 Burrough, P. A. (1986) 提出的窗口微分分析法。即坡度的计算在 3 × 3 个 DEM 网格窗口中进行。窗口在 DEM 数据矩阵中连续移动后完成整幅图的计算工作^[6,8]。

利用 ARC/INFO 可以自动生成坡度,图例采用的是等间距分类,并不一定满足个人需要,可以利用空间分析模块中的重分类功能,按照需要的标准来划分坡度。本研究将坡度划分为 6 类,即 0°~5°,5°~8°,8°~15°,15°~25°,25°~35°, >35°。将坡向划 9 类,即 0°(平地),337.5°~22.5°(北),22.5°~67.5°(东北),67.5°~112.5°(东),112.5°~157.5°(东南),157.5°~202.5°(南),202.5°~247.5°(西南),247.5°~292.5°(西),292.5°~337.5°(西北)。

2.2.2 地表粗糙度

地表粗糙度是指在一个特定的区域内,地球表面积与其投影面积之比。它也是反映地表形态的一个宏观指标。根据地表粗糙度的定义,求每个栅格单元的表面积与其投影面积之比,可以用如下方法来完成。如图 3,假如 AB 是一个栅格单元的纵剖面,BC 为其高程值,为此栅格的坡度,则 AB 面的面积为此栅格的表面积,AC 面为此栅格的投影面积(也即是此栅格的面积),根据公式 $\cos = AC/AB$,则可得出 AC 栅格单元的地表粗糙度 M 为: $M = \text{“AB 面的面积”} / \text{“AC 栅格单元的面积”} = (AC \cdot AB) / (AC \cdot AC) = 1/\cos$ 。

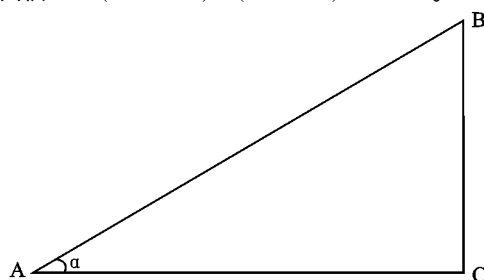


图 3 栅格单元剖面图

利用 ARC/INFO 地理信息系统软件空间分析功能的栅格计算器,根据 DEM 坡度计算结果按照上述公式计算地表粗糙度,并将其分为 8 类,即 1~1.02,1.02~1.04,1.04~1.06,1.06~1.08,1.08~1.1,1.1~1.2,1.2~1.4,>1.4。

2.2.3 沟壑密度

沟壑密度的提取可通过水文分析方法提取沟壑,然后通过统计查询,查出沟壑的长度,再除以区域面积,则得到区域的沟壑密度。具体计算方法如下:激活 DEM 数据,用水文分析模块的填充命令,对 DEM 数据中洼地进行填充,得到新的层面,记为 A;对 A 层利用水文分析模块提取水流方向,记为 B 层;对 B 层再用水文分析模块的累积流量命令,得到水流的累积量层,记为 C 层;用栅格计算器,提取出水流累积量大于某一固定值(此值需根据研究区域的土壤、植被、地形等特征及研究目的来确定,为便于比较,本研究分别取 300,600,900,1200,1500,1800 固定值进行计算),

即可得到提取出的沟壑层; 利用栅格计算器,根据下面公式计算沟壑密度(单位为 km/km^2):

沟壑密度 = 沟壑的栅格单元数/ (区域总的栅格单元数 × 栅格单元的长度 × 0.001)

2.2.4 坡长

ARC/INFO 没有直接求坡长的功能。但可以先求负地形,负地形是和真实的地表高度相反,它通过公式 ($H - \text{DEM}$),把原来高点变低, H 的取值可以给定一个远大于此区域高程值的值,把原来低点变高,再通过 ARC/INFO 的水文分析功能,求出负地形的水流方向、水流长度等(也即求出了正地形的山脊线、坡长)。坡长的具体提取方法如下: 利用 ARC/INFO 的栅格计算器,根据选定的 H 值计算该区域的负地形; 对负地形利用水文分析功能提取其流向及累积流量; 利用栅格计算器查询“累积流量 固定值”,得到新的主题层,记为 N , N 层是对累积流量层的二值化。固定

值的确定可以通过累积流量层与负地形山体阴影层共同显示来确定,选定的标准是彩色值能较好地反映山脊线,本研究选取的固定值为 100。 利用空间分析模块的路径距离功能提取 N 层的距离图层。

3 结果与分析

为了便于对比分析,将以 1 10 万 20 m 等高距地形图为基础建立的 DEM 记为 DEM20,以 1 5 万 10 m 等高距地形图建立的 DEM 记为 DEM10,并以 DEM10 作为基础数据,对比分析 DEM20 的精度变化。为了制图方便,图中的横坐标的序号分别与相应表中的不同地形指标分级相对应。

3.1 提取地面坡度、坡向精度分析

分别对 DEM10 与 DEM20 提取地面坡度,对各级别数量及相关参数进行统计的结果见表 1(统计单位为栅格数)。

表 1 坡度分级对比表

分级标准/(°)	< 5	5 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 35	> 35
DEM10	650248	221860	371370	244188	69285	12961
DEM20	879047	234848	294490	135651	21795	3073
损失量	228799	12988	- 76880	- 108537	- 47490	- 9888
损失量比率/%	14.61	0.86	- 4.90	- 6.92	- 3.03	- 062

表 1 显示,在 0 ~ 5°及 5 ~ 8°损失量为正,说明 DEM20 在 0 ~ 5°及 5 ~ 8°的栅格数增大。8 ~ 15°,15 ~ 25°,25 ~ 35°及 > 35°损失量为负,说明 DEM20 在这些坡度分级中栅格数减小。随着坡度的增大,栅格损失量绝对值总体上呈减小的趋势,只是在 15 ~ 25°间略有增大。同时可以看出,该地区的坡度大多集中在 35°以下,占全区总面积的 90%以上,说明盐池县南部山区虽然属于黄土丘陵沟壑区,地势有一定的起伏,但相对缓和。为了便于观察规律,做出坡度分级面积百分比折线图(图 4)。

由图 4 可以看出,DEM10 与 DEM20 所提取的坡度分级面积百分比总体变化趋势一致,在第 1 级分类中二者差异较大,相差 14.61%。其它几级分类中差异相对较小。主要是

由于坡度较缓的地区,其等高线间的水平距离较大,在进行空间插值建立 DEM 时误差增大,较低精度的 DEM 对地形的概括作用也较大。

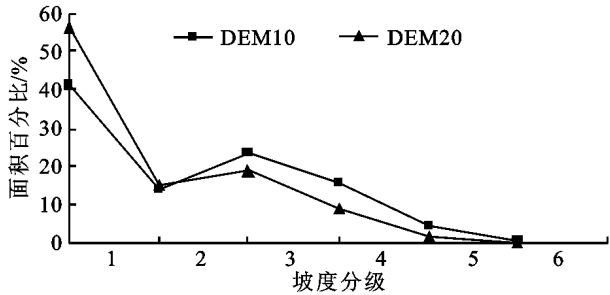


图 4 坡度分级对比图

表 2 坡向分级对比表

坡向分级	平地	北向	东北向	东向	东南向	南向	西南向	西向	西北向
DEM10	163235	179109	278757	126516	114309	158094	255529	138746	155617
DEM20	273607	160442	246349	132563	117766	142534	217560	121732	156351
损失量	110372	- 18667	- 32408	6047	3457	- 15560	- 37969	- 17014	734

表 2 为不同精度 DEM 提取坡向分级对比表(统计单位为栅格数)。由表 2 可以看出,平地、东向、东南向、西北向栅格损失量为正,其它坡向栅格损失量为负,平地处栅格损失量最大,其原因是随着 DEM 精度的降低,其对地形的概括作用增大,对于较缓和的坡度,概括成了平地,导致平地栅格损失量大幅度增加。

从图 5 可以很直观地看出,第 1 级代表的平地差异较大,相差 7.04%,其它各级指标相差相对较小。除平地外,DEM20 提取的坡向与 DEM10 提取的坡向相比,整体上呈偏小的趋势,但差距较小。因此,对于地形起伏较大地区,为节省工作量,在一定的精度范围内,可以用 DEM20 近似代替 DEM10。

3.2 提取地表粗糙度对比分析

分别对 DEM10 与 DEM20 提取地表粗糙度,表 3 为不同精度 DEM 提取地表粗糙度对比表(统计单位为栅格数)。DEM20 在地表粗糙度为 1 ~ 1.02 时栅格损失量为正值,其余粗糙度分级下,栅格损失量为负,栅格损失量绝对值在粗糙度为 1.02 ~ 1.04 时达到最大。表现为当地形平坦时,精度越低的 DEM 对地形的概括作用越大,地形复杂时,精度越低的 DEM 越容易丢失地表的细节信息。

从图 6 可以直观地看出 DEM10 与 DEM20 提取的地表粗糙度面积百分比间变化趋势相同,且二曲线相距较近,用 DEM20 代替 DEM10 提取地表粗糙度,丢失的信息较少。

3.3 提取沟壑密度对比分析

由图 7 可以看出,随着阈值的增大,沟壑密度呈平稳的下降趋势。在利用不同精度 DEM 提取沟壑时,沟壑处其坡

度一般较陡,等高线密集,进行空间插值生成 DEM 时插值误差较小,因此,DEM10 与 DEM20 在不同阈值下提取的沟壑密度差异很小,二者的沟壑密度变化曲线接近重合。

表 3 地表粗糙度对比分表

粗糙度分级	1~1.02	1.02~1.04	1.04~1.06	1.06~1.08	1.08~1.10	1.1~1.2	1.2~1.4	>1.4
DEM10	1076305	203883	109026	58178	35592	68716	17472	740
DEM20	1284347	147854	63292	30209	16348	22523	3916	415
损失量	208042	- 56029	- 45734	- 27969	- 19244	- 46193	- 13556	- 325

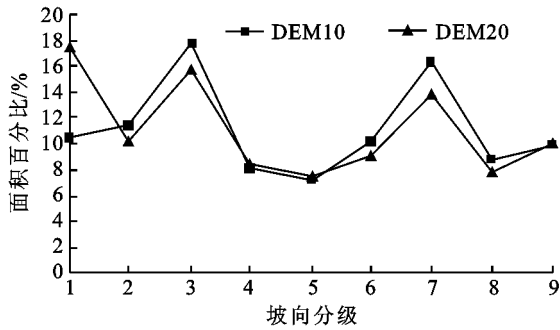


图 5 坡向分级对比图

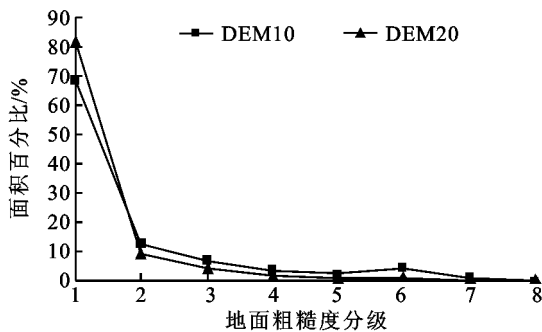


图 6 地表粗糙度分级对比图

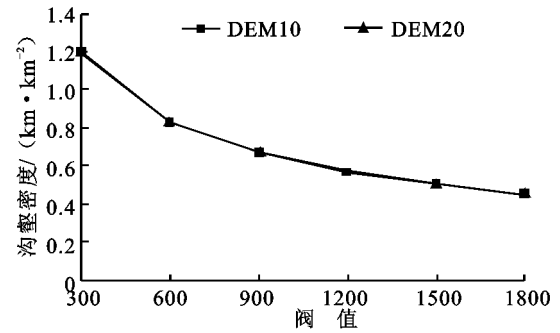


图 7 不同阈值下沟壑密度对比图

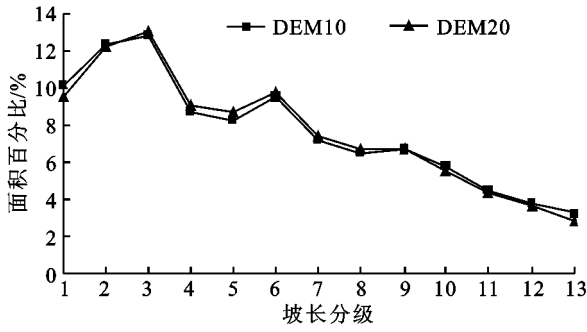


图 8 坡长分级对比图

3.4 提取沟长对比分析

将由 DEM 提取出来的坡长分为 13 级,即 0~30,30~

60,60~90,90~120,120~150,150~180,180~210,210~240,240~270,270~300,300~330,330~360,360~390 m。图 8 中横坐标的序号分别与 13 级坡长分类相对应。由图 8 可以看出,曲线 DEM10 与 DEM20 非常接近,说明 DEM20 提取出来的坡长与 DEM10 提取出来的坡长相比,信息损失量较小。

4 结论与讨论

通过对不同精度 DEM 提取的地面坡度及坡向、地表粗糙度、沟壑密度、坡长 5 种地形指标比较分析,得出:两种精度 DEM 在提取地面坡度与地表粗糙度时有一定的误差,且地势越平坦的地方其误差越大。

虽然 1:10 万地形图制作的 DEM 中有些地形指标损失较大,但这些信息损失都是有规律可循的,可以用图谱方式表示其规律性,并可望推导出数学公式。

因为水流的方向不是严格的和山脊线成 90°,大多数的水流方向只是接近 90°,实际的坡长应是沿水流方向的长度,所以求得的坡长值只是实际坡长的近似值。

另外,仅利用 1:5 万和 1:10 万两种比例尺地形图制作的 DEM 为研究对象,而且样区仅仅是黄土丘陵沟壑区,使研究结果具有片面性。今后,在多种地貌类型区选样时,用各种不同比例尺 DEM 作分析,将会得到更全面、更有价值的研究成果。

参考文献:

[1] 吴信才.地理信息系统原理与方法[M].北京:电子工业出版社,2002:168-169.

[2] 傅伯杰,汪西林.DEM 在研究黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀类型和过程中的应用[J].水土保持学报,1994,8(3):17-21.

[3] 陈楠,汤国安,刘咏梅,等.基于不同比例尺的 DEM 地形信息比较[J].西北大学学报,2003,33(2):237-240.

[4] 梁天刚.GIS 在半干旱区集水农业水资源评估中的应用研究[D].兰州:兰州大学,1998.

[5] 盐池县县志编纂委员会.宁夏盐池县志[Z].银川:宁夏人民出版社,1986.

[6] 郭伦,刘瑜,张晶,等.地理信息系统:原理、方法和应用[M].北京:科学出版社,2002.

[7] 汤国安,陈正江,赵牡丹,等.Arc View 地理信息系统空间分析方法[M].北京:科学出版社,2002.

[8] 武法东,付宗堂,王小牛,等.地理信息系统基本原理[M].北京:电子工业出版社,2001.