

不同地貌起伏状况下网格尺寸与 DEM 精度关系研究

史明昌, 沈晶玉

(北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083)

摘 要: 不考虑 DEM 采样点上高程误差, 以不同地貌类型区为试验地, 运用统计分析方法, 对不同地貌起伏的样地随机抽取采样点, 比较当 DEM 网格尺寸变化时, 对 DEM 高程值计算的误差以及对剖面曲率计算结果的误差, 分析不同地貌起伏状况下 DEM 网格尺寸变化与 DEM 精度之间定量定性的关系, 得出表示地形复杂程度的平均剖面曲率和网格尺寸是影响 DEM 精度的两个重要因素。通过一系列表达式推导得出网格尺寸变化与 DEM 精度之间定量关系。由此模型, 用户可以根据不同地貌和 DEM 的精度要求选择适宜的网格尺寸范围, 进一步为生产实践中应用提供理论依据。

关键词: DEM; 网格尺寸; 精度

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0035-04

Studies on the Relations Between the Grids Size of Various Undulate Landforms and the Accuracy of DEM

SHI Ming - chang, SHEN Jing - yu

(The College of Resource and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Taken different landforms as experimental area, statistical analytical methods and random samples were applied into this experiment. While comparing the variety of the grids' size in DEM (Digital Elevation Model), the authors calculated the errors of altitudes and the cross section curvatures, analyzed the qualitative relation between the size of DEM grids and the accuracy DEM through different undulate landforms, which drawn the conclusion that there are two important factors which could influence DEM precision. They are the size of grids and the average cross section curvature which shows the topographical complexity. Through a series expression formulae, the quantitative relation between the size of grids and the DEM accuracy was got. According to this model, users may choose the suitable size of DEM in accord with different landforms and accurate demands, thus offers the theoretical foundation for further use in practices.

Key words: DEM; grid size; accuracy

自从 20 世纪 50 年代后期开始采用数字高程模型 (DEM) 以来, DEM 受到极大关注, 并且应用广泛。现在 DEM 是地理信息系统数据库中重要的空间信息资料 and 进行地形分析的核心数据系统^[1]。DEM 用数字形式 X 、 Y 、 Z 坐标来表达区域内的地貌形态, 是在某一投影平面 (如高斯投影平面) 上规则格网点的平面坐标 (X 、 Y) 及高程 (Z) 的数据集, 以缩微的形式真实地再现了地表形态的起伏变化^[2]。

在对 DEM 深入的研究和应用过程中, DEM 精度无疑是最重要的。自 20 世纪 80 年代以来, 国内外对 DEM 精度问题的研究取得了一些重要成果^[1, 3~5]。DEM 精度是指所建立的 DEM 对真实地面描述的精确程度。DEM 误差的大小被认为是衡量 DEM 准确性的标准^[6]。一般可以把它分为 DEM 采样点上高程采样误差和有限的 DEM 栅格对实际地面的近似模拟误差。DEM 误差影响着 DEM 分析与应用的可靠性, 因此 DEM 精度研究对减少 DEM 误差, 提高在实际应用中的可信度有积极意义。

1 试验地简介

本实验选择位于北京市延庆县八达岭小流域, 吉林省梅

河口倒木沟小流域和吉林省梅河口卧龙小流域 20 块不同地貌起伏的试验地作为样地。其中八达岭小流域选取 10 块样地 (编号: 1~10), 倒木沟小流域选取 5 块样地 (编号: 11~15), 卧龙小流域选取 5 块样地 (编号: 16~20), 样地基本情况见表 1。

2 研究方法

2.1 研究总体思路

本文采用三个小流域 1: 10 000 地形图, 对其进行扫描、提取等高线 (等高距均为 5 m) 并赋高程值, 运用 Region Manager 4.5 软件将高差在一定范围内的地区划分一类 (共分为 7 类), 在每一个类型中采用八方向法选择不同网格尺寸计算 DEM。以 DEM 为基础, 认为 $D=0.5$ m 时的高程值为准确值, 比较不同网格尺寸 DEM 高程值的平均标准差, 绘制不同网格尺寸与 DEM 高程值平均标准差的关系曲线。计算不同 DEM 网格尺寸剖面曲率, 比较不同网格尺寸 DEM 剖面曲率的计算结果, 对每一类地貌类型取平均值, 绘制不同网格尺寸与 DEM 剖面曲率平均值之间的关系曲线。

具体的实验操作流程如图 1:

表 1 样地基本情况

编号	高差/m	采样数	面积/km ²	编号	高差/m	采样数	面积/km ²
1	40	150	1.844	2	90	164	0.159
3	112	295	1.140	4	160	184	0.518
5	216	190	0.528	6	260	225	0.557
7	320	257	0.984	8	360	250	1.243
9	410	300	0.811	10	560	262	0.477
11	10	108	0.655	12	135	135	0.179
13	190	194	0.455	14	200	205	1.666
15	300	222	4.341	16	20	87	1.004
17	80	175	1.267	18	130	126	1.159
19	185	148	3.545	20	220	180	1.654

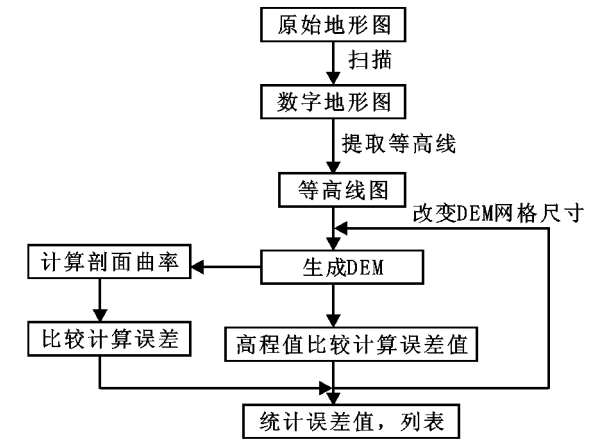


图 1 实验操作流程

2.2 计算方法

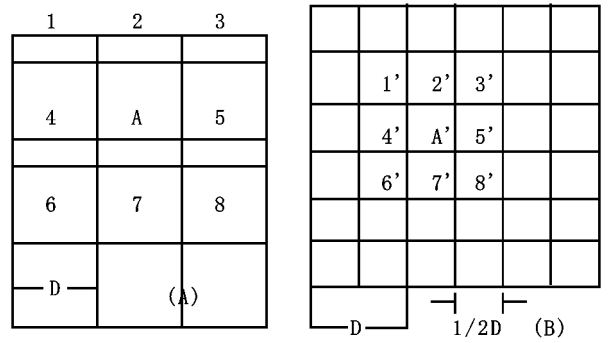


图 2 八方向算法示意图

如图 2(A) 所示, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 分别表示所求网格附近的 8 个网格高程值, D 表示网格尺寸, A 为所求网格高程值。当网格尺寸为 D 时, A 用 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 处高程值表示: $H_A = 1/8(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7 + H_8)$ 。与当网格尺寸为 $D = 0.5\text{ m}$ 时存在误差, 此误差用 E_s 表示, 即 $E_s = H_A - H_{0.5}$ 。

在不同的样地内计算每一个 E_s , 计算平均标准差 E_t ,
$$E_t = 1/n \sum_{i=1}^n \sqrt{H_A - H_{0.5}}^2 \quad (1)$$
式中: n ——采样数; H_A ——网格变化后某点 DEM 高程值; $H_{0.5}$ ——网格尺寸 $D = 0.5\text{ m}$ 时该点 DEM 高程值。以此表达式表示不同地貌起伏状况、不同网格尺寸条件下 DEM 误差。

如图 2(B) 所示, 变化网格尺寸, 如: 每个网格尺寸为 $1/2D$ 。1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 分别表示所求网格附近 8 个网格的高程值。A 为所求网格高程值。当网格尺寸为 $1/2D$ 时, A 用 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 处高程值表示。 $H_A = 1/8(H_1 + H_2 +$

$H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7 + H_8)$ 。与当网格尺寸为 $D = 0.5\text{ m}$ 时存在误差。此误差用 E_s 表示, 即 $E_s = H_A - H_{0.5}$ 。
在不同的样地内计算每一个 E_s ; 由式(1) 计算平均标准差 E_t 。
改变网格尺寸, 计算平均标准差 E_t , 以此类推。

3 结果与分析

3.1 网格尺寸与 DEM 高程值平均标准差关系

根据上述方法, 计算各样地不同网格尺寸下高程值与 $D = 0.5\text{ m}$ 时 DEM 高程值的平均标准差, 再按高差分类计算每一类地貌类型的平均值, 计算结果见表 2。

表 2 不同网格尺寸高程值平均标准差统计表

网格尺寸	0~ 50 m	50~ 100 m	100~ 150 m	150~ 200 m	200~ 250 m	250~ 300 m	> 300 m
$D= 1$	0.008	0.069	0.156	0.203	0.153	0.176	0.237
$D= 2$	0.020	0.132	0.375	0.376	0.347	0.354	0.465
$D= 3$	0.027	0.242	0.637	0.638	0.605	0.648	0.762
$D= 4$	0.038	0.310	0.843	0.955	0.789	0.850	1.043
$D= 5$	0.046	0.346	1.035	1.218	1.067	1.291	1.448
$D= 6$	0.056	0.503	1.389	1.454	1.217	1.673	1.815
$D= 7$	0.067	0.533	1.713	1.942	1.530	2.083	2.261
$D= 8$	0.072	0.593	1.892	2.094	1.830	2.250	2.306
$D= 9$	0.083	0.614	2.166	2.392	2.032	2.304	2.911
$D= 10$	0.091	0.644	2.617	2.692	2.175	2.878	3.199
$D= 11$	0.092	0.821	2.876	2.953	2.420	3.286	3.631
$D= 12$	0.105	0.884	3.141	3.318	2.766	3.461	3.933
$D= 13$	0.122	0.961	3.751	3.443	3.168	3.911	4.302
$D= 14$	0.140	0.918	3.842	3.597	3.293	4.126	4.747
$D= 15$	0.130	1.189	4.314	4.211	3.562	4.303	5.018
$D= 16$	0.135	1.137	4.615	4.331	3.953	4.768	5.338
$D= 17$	0.151	1.232	4.93	4.457	4.163	5.159	5.736
$D= 18$	0.160	1.479	5.197	4.878	4.477	5.526	5.735
$D= 19$	0.166	1.379	5.067	5.093	4.882	5.468	6.158
$D= 20$	0.168	1.434	5.683	5.770	5.084	6.068	6.658
$D= 21$	0.188	1.596	6.168	5.641	5.373	6.139	7.078
$D= 22$	0.207	1.536	6.757	6.443	5.760	6.914	7.099
$D= 23$	0.184	1.571	6.796	6.640	6.214	7.059	7.439
$D= 24$	0.235	1.841	6.811	6.343	6.096	7.136	7.943
$D= 25$	0.210	1.903	7.556	6.870	6.714	7.991	8.344
$D= 26$	0.232	2.370	7.734	7.052	6.899	7.960	8.382
$D= 27$	0.239	2.092	7.843	7.291	6.873	8.322	9.238
$D= 28$	0.224	2.351	8.508	8.016	7.187	8.627	9.561
$D= 29$	0.252	2.469	8.306	7.950	7.711	8.978	9.893
$D= 30$	0.269	2.528	8.998	8.698	8.061	9.378	10.425

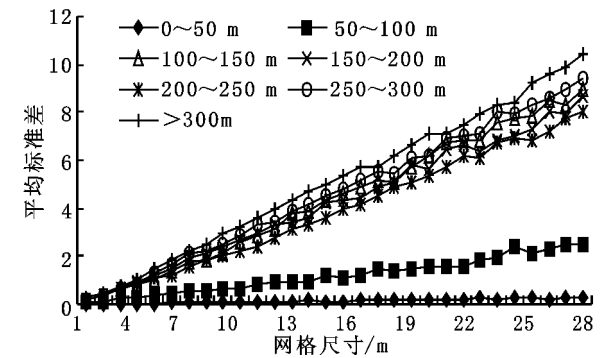


图 3 不同网格尺寸高程值平均标准差分布图

由表 2、图 3 可知, 无论何种地貌类型, 随着网格尺寸的增大, 平均标准差增大。网格尺寸与平均标准差之间存在很好的相关性。比较线性, 指数, 幂函数模型拟合后, 发现幂函数相关性最高, 回归方程见表 3。

表 3 不同网格尺寸高程值平均标准差
回归方程及回归检验

地貌起伏	表达式	回归检验		
0~ 50 m	$Y=0.0093X^{0.9857}$	$Rsq=0.995$	$F=5595.97$	$\text{Signif } F=0.000$
50~ 100 m	$Y=0.0687X^{1.0347}$	$Rsq=0.992$	$F=3322.30$	$\text{Signif } F=0.000$
100~ 150 m	$Y=0.1645X^{1.1864}$	$Rsq=0.998$	$F=17572.50$	$\text{Signif } F=0.000$
150~ 200 m	$Y=0.2007X^{1.1067}$	$Rsq=0.997$	$F=9966.15$	$\text{Signif } F=0.000$
200~ 250 m	$Y=0.1595X^{1.1540}$	$Rsq=0.999$	$F=29428.60$	$\text{Signif } F=0.000$
250~ 300 m	$Y=0.1845X^{1.1690}$	$Rsq=0.996$	$F=6793.65$	$\text{Signif } F=0.000$
> 300 m	$Y=0.2369X^{1.1148}$	$Rsq=0.998$	$F=12618.80$	$\text{Signif } F=0.000$

(注 Y: DEM 高程值的平均标准差; X: 网格尺寸)

分别计算 20 块样地 DEM 高程值平均标准差与 DEM 网格尺寸之间关系, 两者相关性很高 ($R^2=0.960\sim 0.998$)。将 20 块样地 DEM 高程值平均标准差与 DEM 网格尺寸之间关系的回归方程统一表示为:

$$Y=AX^B; \tag{2}$$

式中: Y——DEM 高程值的平均标准差, X——网格尺寸 (m), A、B——系数 $A=0.009\sim 0.259$ 、 $B=0.946\sim 1.401$ 。

由图 3 可知, 地貌高程变化愈大的地区, 随着 DEM 网格尺寸的增大, 高程值平均标准差增大。说明随着高差变化增大, 地形起伏加大, 增加网格尺寸时, 使这种地形起伏弱化, 因而造成计算的高程值偏小, 误差增大。

综上, 当用户根据 DEM 精度的要求选择网格尺寸时, 可由模型(2)估算网格尺寸范围。对于高差变化小的区域, 网格尺寸取上限, 对于高差变化大的区域, 网格尺寸取下限。

3.2 网格尺寸与剖面曲率平均值关系

剖面曲率即求坡度的导数^[7]。它是反映地形复杂程度的因子。本实验在求坡度的基础上再计算一次坡度作为剖面曲率值, 统计出整个区域的平均剖面曲率。试验数据见表 4。

表 4 不同网格尺寸平均剖面曲率统计表

网格尺寸	0~ 50 m	50~ 100 m	100~ 150 m	150~ 200 m	200~ 250 m	250~ 300 m	> 300 m
D= 1 m	12.271	43.196	50.689	53.447	54.087	56.698	72.041
D= 5 m	5.742	28.332	31.542	30.619	34.035	34.838	38.714
D= 10 m	3.274	14.865	15.904	16.303	17.981	19.260	22.431
D= 15 m	1.977	10.606	10.653	10.960	12.083	13.312	15.644
D= 20 m	1.245	8.163	8.296	8.363	8.996	9.927	11.847
D= 25 m	0.952	6.247	6.746	6.897	7.249	8.062	9.394
D= 30 m	0.888	5.547	5.776	5.870	6.118	6.917	8.511

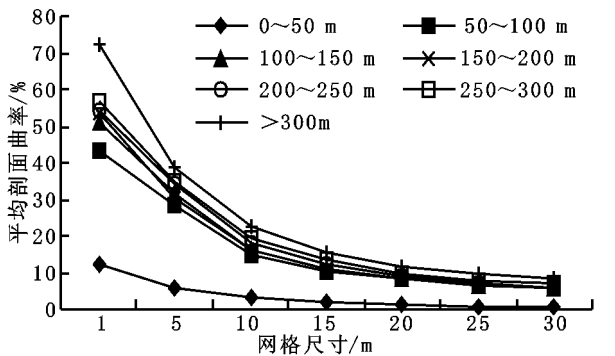


图 4 不同网格尺寸平均剖面曲率分布图

由图 4 可知: 无论何种地貌类型, 随着网格尺寸的增大, 平均剖面曲率减小。即随着网格尺寸的增加, DEM 对地形复杂程度的描述愈来愈粗糙。在 $D=10\text{ m}$ 之前, 随着网格尺寸的增加, 平均剖面曲率迅速减小, 在 $D=10\text{ m}$ 之后, 随着网格尺寸的增加, 平均剖面曲率变化缓慢。 $D=10\text{ m}$ 是一个拐点。当 DEM 网格尺寸 $<10\text{ m}$ 时, 由于增加网格大小所造成的地形信息的遗缺情况严重, 数据损失率大。当 DEM 网格尺寸 $>10\text{ m}$ 时, 由于增加网格大小所造成的地形信息的遗缺维持在一定水平线上, 数据损失率小。由于增加 DEM 网格尺寸而造成地形信息的减少率统计数据见表 5。

表 5 不同网格尺寸条件下地形信息损失率统计

网格尺寸	0~ 50 m	50~ 100 m	100~ 150 m	150~ 200 m	200~ 250 m	250~ 300 m	> 300 m	平均值
1~ 5 m	0.532	0.344	0.378	0.427	0.371	0.386	0.463	0.414
5~ 10 m	0.430	0.475	0.496	0.468	0.472	0.447	0.421	0.458
10~ 15 m	0.396	0.287	0.330	0.328	0.328	0.309	0.303	0.326
15~ 20 m	0.370	0.230	0.221	0.237	0.255	0.254	0.243	0.259
20~ 25 m	0.235	0.235	0.187	0.175	0.194	0.188	0.207	0.203
25~ 30 m	0.067	0.112	0.144	0.149	0.156	0.142	0.094	0.123

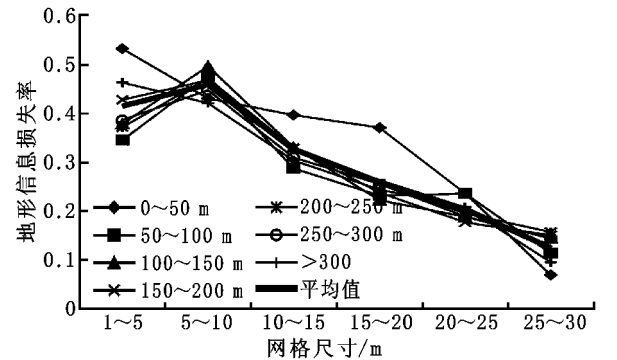


图 5 不同网格尺寸地形信息损失率

由图 5 的平均值曲线可知, 当网格尺寸从 $D=5\text{ m}$ 到 $D=10\text{ m}$ 变化时地形信息损失率最大。当网格尺寸 $D>10\text{ m}$ 时, 随着网格尺寸的增加, 地形信息损失率减小。因此, 当用户根据 DEM 高程精度的要求寻找 DEM 适宜的网格尺寸时, 不应该忽视 DEM 由于网格尺寸的增大, 对地形信息的损失量。

由图 4 可知, 网格尺寸与平均剖面曲率之间存在很好的相关性。比较线性, 指数, 幂函数模型拟合后, 发现幂函数相关性最高, 回归方程见表 6。

分别计算 20 块样地平均剖面曲率与 DEM 网格尺寸之间的关系, 两者相关性很高 ($R^2=0.963\sim 0.999$)。将 20 块样地平均剖面曲率与 DEM 网格尺寸之间的关系回归方程统一表示为:

$$Z=aX^b \tag{3}$$

表 6 不同网格尺寸平均剖面曲率回归方程

地貌起伏	表达式	回归检验
0~ 50 m	$Z=13.798x^{-1.431}$	$Rsq=0.988$
50~ 100 m	$Z=48.924x^{-1.087}$	$Rsq=0.981$
100~ 150 m	$Z=57.441x^{-1.181}$	$Rsq=0.983$
150~ 200 m	$Z=58.953x^{-1.188}$	$Rsq=0.990$
200~ 250 m	$Z=62.514x^{-1.180}$	$Rsq=0.982$
250~ 300 m	$Z=64.121x^{-1.135}$	$Rsq=0.986$
> 300 m	$Z=77.063x^{-1.145}$	$Rsq=0.995$

(注 Z: 平均剖面曲率; X: 网格尺寸)

式中: Z ——平均剖面曲率($^{\circ}$), X ——网格尺寸(m); a 、 b ——系数, $a=13.798\sim 93.327$ 、 $b=-1.431\sim -1.002$ 。

3.3 平均剖面曲率与 DEM 高程值平均标准差关系

平均剖面曲率作为反映地形复杂度的影响因子。当网格尺寸一定时,由于平均剖面曲率的变化,对系数 A 、 B 的影响,间接影响着 DEM 高程的精度。

表 7 当网格尺寸一定时由于平均剖面曲率的变化对系数 A 、 B 的影响

高差范围/m	1	5	10	15	20	25	30	A	B
0~ 50	12.271	5.742	3.274	1.977	1.245	0.952	0.888	0.009	0.986
50~ 100	43.196	28.332	14.865	10.606	8.163	7.247	5.547	0.069	1.035
100~ 150	50.689	31.542	15.904	10.653	8.296	6.746	5.776	0.165	1.186
150~ 200	53.447	30.619	16.303	10.960	8.363	6.897	5.870	0.201	1.107
200~ 250	54.087	34.035	17.981	12.083	8.996	7.249	6.118	0.160	1.154
250~ 300	56.698	34.838	19.260	13.312	9.927	8.062	6.917	0.185	1.169
> 300	72.041	38.714	22.431	15.644	11.847	9.394	8.511	0.237	1.115

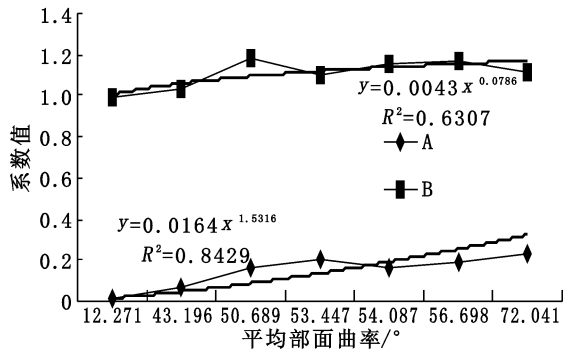


图 6 平均剖面曲率变化曲线与系数 A 、 B 的回归方程

由图 6 可知,平均剖面曲率与系数 A 相关性较大,与系数 B 相关性较小。进行多组对比实验,结果相同。因此,平均剖面曲率与系数 A 的回归方程:

$$A=0.0164Z^{1.6316} \tag{4}$$

参考文献:

[1] 朱红春,张友顺,汤国安,等. 基于 DEM 的黄土地貌类型提取与制图——以黄土高原丘陵沟壑实验样区为例[J]. 地球信息科学,2003, (4): 110~ 113.

[2] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社,2001.

[3] ChangK, TsaiB. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1991, 1: 69~ 77.

[4] FlorinskyI. V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation model[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(1): 47~ 61.

[5] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEM satamicroscale[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1997, 11(2): 199~ 212.

[6] 汤国安,龚健雅,陈正江,等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟[J]. 研究测绘学报, 2001, 30(4): 361~ 365.

[7] 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(自然科学版), 2003, 3(2): 237~ 240.

[8] 汤国安,赵牡丹,曹蓓. 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, 30(4): 349~ 352.

[9] 周云轩,王磊. 基于 DEM 的 GIS 地形分析的实现方法研究[J]. 计算机应用研究, 2002, (12): 50~ 53.

[10] 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, 55(3): 7~ 10.

式中: A ——模型(2)中系数; Z ——平均剖面曲率,将表达式(4)代入表达式(2):

$$Y=0.0164Z^{1.6316} \cdot X^B \tag{5}$$

由模型 5 中得知:表示地形的复杂程度的平均剖面曲率和网格尺寸是影响 DEM 精度的两个重要因素。将表达式(3)代入表达式(5),得:

$$Y=0.0164a \cdot X^{1.6316+ B} \tag{6}$$

由模型 6,用户可以根据 DEM 的精度要求选择适宜的网格尺寸范围。

4 结论与建议

本实验不考虑 DEM 采样点上高程误差,以不同地貌类型区为试验地,运用统计分析方法,对不同地貌起伏的样地随机抽取采样点,比较当 DEM 网格尺寸变化时,对 DEM 高程值计算的误差以及对剖面曲率计算结果的误差,分析不同地貌起伏状况下网格尺寸的变化与 DEM 精度之间定量定性的关系,得出以下结论:

(1)无论何种地貌类型,随着网格尺寸的增大,平均标准差增大。网格尺寸与平均标准差之间存在很好的相关性。其中幂函数相关性最高。

(2)地貌高程变化愈大的地区,随着 DEM 网格尺寸的增大,高程值平均标准差增大。

(3)无论何种地貌类型,随着网格尺寸的增大,平均剖面曲率减小。即随着网格尺寸的增加,DEM 对地形复杂程度的描述愈来愈粗糙,地形数据的损失愈大。

(4)网格尺寸与平均剖面曲率之间存在很好的相关性。其中幂函数相关性最高。

(5)表示地形的复杂程度的平均剖面曲率和网格尺寸是影响 DEM 精度的两个重要因素。通过一系列的表达式推导得出网格尺寸变化与 DEM 精度之间定量关系: $Y=0.0164a \cdot X^{1.6316+ B}$ 其中: $a=10\sim 100$, $B=0.5\sim 1.5$ 。用户可以根据 DEM 的精度要求选择适宜的网格尺寸范围。由于样地面积均小于 5 km^2 ,因此对于具有复杂地形的小流域来说,不同地貌起伏状况下网格尺寸的变化与 DEM 精度之间定量定性的关系仍需进一步探讨。