

基于滤波方法的 DEM 尺度变换方法研究

杨勤科^{1,2}, David Jupp³, 郭伟玲^{1,2}, 李锐^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 澳大利亚联邦科学与工业研究组织大气与海洋研究所 澳大利亚 堪培拉)

摘 要: 针对水土流失评价中地形因子的尺度效应问题, 引入数字图像处理中的滤波分析方法, 对 5 m 分辨率 DEM 进行了滤波处理, 并通过地形综合特征分析, 坡度、曲率制图统计分析, 派生等高线与河流提取统计分析等方法, 对滤波处理的综合效果进行了分析论证。结果表明, 利用滤波方法可以实现对高分辨率 DEM 的综合, 利用比例尺因子为 5 或者 10 的处理, 其结果与 10 m 分辨率 DEM 或 1:5 万地形图在反映地形起伏方面相似。

关键词: 数字高程模型; 尺度变换; 滤波; 制图综合

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2008)06—0058—05

中图分类号: P283.8

Generalizing the Fine Resolution DEMs with Filtering Method

YANG Qin-ke^{1,2}, David Jupp³, GUO Wei-ling^{1,2}, LI Rui^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. CSIRO Division of Marine and Atmospheric Research, GPO Box 3023, Canberra ACT 2601)

Abstract: Oriented to examine the impacts of scales of topographic parameters in regional soil erosion assessment, filtering method was applied to generalize fine resolution DEM (cellsize = 5 m) in ERDAS and ArcGIS systems. The effects of generalization have been assessed by comparing the general topographic characters, statistical analyzing of derived slopes and curvatures, as well as resultant contours and streams. The results show that fine resolution DEMs can be generalized, and the generalized DEMs, with a scaling factor of 5 or 10, and a 3 * 3 filtering window, are comparable to 10 m resolution DEMs and 1:50 000 topographic maps in representing ground reliefs.

Keywords: digital elevation models; scaling; filter; generalization

坡度是影响土壤侵蚀的重要因素^[1],也是土壤侵蚀预报的重要参数^[2-3]。对于较大流域或区域尺度,坡度指标只能基于中低分辨率 DEM 提取^[4-6]。多种分辨率 DEM 的建立,为较大区域坡度信息的提取和应用提供了丰富的数据基础^[7-9]。然而国内外众多研究表明,随着 DEM 分辨率降低(栅格尺寸增加),其上直接量取的坡度趋于平缓,因而不能直接、有效地反映地形起伏特征,也不能满足区域土壤侵蚀模型开发的需要^[10-13]。为此,研究者进行了一系列探索,包括坡谱变换^[14]、分形计算^[15]、坡度变换^[12,16-17]和 DEM 制图综合等^[18-19]。但已有研究并没有十分清楚地认识到坡度衰减的基本规律和量化关系,其原因之一是缺少具有相同空间定位基础的多

分辨率 DEM 数据。本文引进了数字图像处理方法,对基于 1:10 000 地形图建立的高分辨率 DEM 进行滤波处理,生成与 1:50 000 地形图等效的 DEM,为坡度的尺度效应分析研究和中低分辨率 DEM 坡度的变换提供依据。

1 数据基础和研究方法

1.1 研究区域与数据基础

本研究工作是在黄土高原中部延河流域的二级支流县南沟流域内进行的。统计表明,该区约 50% 的地面坡度大于 25°。分析研究坡度随 DEM 分辨率变化,对黄土高原土壤侵蚀定量评价和水文模拟等,具有较好代表意义。

收稿日期:2008-10-01

修回日期:2008-10-21

资助项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助(2007CB407203);水利部公益性行业科研专项“黄土高原多沙粗沙区产沙经验数学模型研究与应用”(2007011035-1)

作者简介:杨勤科(1962—),男(汉族),陕西省陇县人,研究员,主要从事基于遥感和地理信息系统技术的区域水土流失评价研究。E-mail: qkyang@ms.iswc.ac.cn。

研究所用数据为:(1) 1 : 10 000 和 1 : 50 000 数字化地形图,包括等高线、河流和高程点 3 个专题层。等高线间距分别为 5 m 和 20 m。(2) DEM,用上述数字化地形图在 ANUDEM 支持下插值生成,分辨率分别为 5 m^[20] 和 10 m^[21],插值结果标记为 DEM10k5 和 DEM50k。

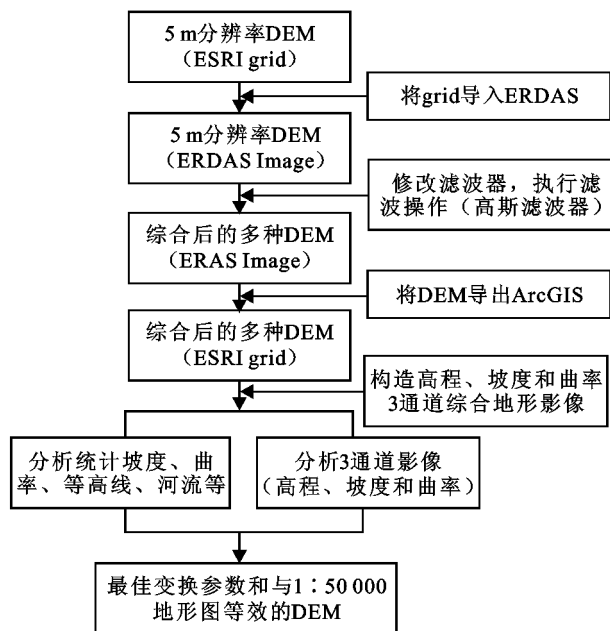


图 1 研究技术流程图

1.2 研究方法

本研究采用滤波方法进行 DEM 的制图综合,在其过程中细微的地形特征被“过滤”掉,而只保留地形的宏观、骨架性特征。滤波操作在 ERDAS 系统中,采用基于高斯分布(公式 1,2)的低通滤波器完成。通过调整参数可以得到同比例尺因子(公式 2)的滤波器。在 ERDAS 系统下,以 5 m 分辨率的 DEM 为基础,采用 2.5,5 和 10 这 3 个比例尺因子,分别进行滤波处理。输出图像被转换成 ERSI grid 格式,

求取坡度和曲率,在 ERDAS 系统中利用高程、坡度和曲率合成 3 通道影像,目视比较其变化过程;在 ArcGIS 系统中提取派生等高线和河流,并对等高线和河流求取总长度,对坡度和曲率求频率和累计频率;通过与目标比例尺(1 : 50 000)下的 DEM 进行比较,确定最佳比例尺因子等处理参数。研究技术路线如图 1 所示。

$$f(x, y) = \frac{1}{2} e^{-(x^2 + y^2) / \lambda^2} \quad (1)$$

$$f_s = (\lambda)^{1/2} = 1.772 \quad (2)$$

式中: λ ——滤波器权重矩阵的标准差; x, y ——坐标位置; π ——圆周率; f_s ——比例尺因子。

2 结果与分析

2.1 地形总体特征变化

利用高程、坡度和曲率 3 个专题层构造的 3 通道地形综合影像如图 2 所示。各种处理过程中 DEM 表面高程变化情况如表 1 所示。滤波对地形整体起伏状况、或者地形宏观结构不形成明显影响(表 1);但是对于局部起伏(高频信息)有较为明显的减少作用。从 3 通道地形综合影像看,比例尺因子为 5 或 10,窗口为 9 * 9 的操作结果与目标数据 DEM50k 比较接近(见附图 4)。

2.2 坡度和曲率的变化

坡度和曲率统计特征见表 2 和表 3。研究结果表明比例尺因子为 10,窗口为 9 * 9 的操作结果与目标数据 DEM50k 上提取的特征更接近。可以认为,比例尺因子为 10 和窗口为 9 * 9 滤波处理的结果,对地形起伏反映能力相当于分辨率为 10 m 的 DEM、或比例尺为 1 : 50 000 的地形图。

坡度和曲率的频率变化见图 2—3。从图 2—3 可见,无论是坡度还是曲率,均是比例尺因子为 10 的处理结果与分辨率为 10 m 的 DEM 接近。

表 1 各种处理过程中 DEM 表面高程变化情况

统计项	原始 DEM 数据		滤波变换后 DEM 数据		
	5 m 分辨率	10 m 分辨率	$f_s = 2.5$	$f_s = 5$	$f_s = 10$
最小值	1061.9	1071.4	1063.8	1065.9	1067.4
最大值	1337.5	1332.5	1336.9	1335.7	1334.6
平均值	1194.4	1198.0	1194.4	1194.4	1194.4
标准差	57.1	58.5	57.0	56.8	56.6
标准差/标准差 50 k	99.7	100.0	99.7	99.7	99.7
平均值/平均值 50 k	97.6	100.0	97.5	97.1	96.8

注:标准差/标准差 50 k 和平均值/平均值 50 k 分别为各处理高程标准差和平均值与 10 m 分辨率 DEM 相应属性间的比例关系(下同)。

表 2 坡度的统计特征

统计项	原始 DEM 数据		滤波变换后 DEM 数据		
	5 m 分辨率	10 m 分辨率	$f_s = 2.5$	$f_s = 5$	$f_s = 10$
最小值	0.18	0.18	0.05	0.14	0.04
最大值	59.45	48.94	58.04	55.08	52.62
平均值	29.68	26.57	28.91	27.68	26.72
标准差	10.64	10.13	10.41	10.00	9.77
标准差/标准差 50 k	100.00	95.19	97.82	93.93	91.77
平均值/平均值 50 k	100.00	89.51	97.40	93.25	90.03

表 3 曲率的统计特征

统计项	原始 DEM 数据		滤波变换后 DEM 数据		
	5 m 分辨率	10 m 分辨率	$f_s = 2.5$	$f_s = 5$	$f_s = 10$
最小值	0.10	0.01	0.09	0.13	0.03
最大值	76.77	61.06	75.87	72.15	69.56
平均值	29.30	20.27	27.23	24.10	22.28
标准差	16.02	11.64	16.00	15.17	14.33
标准差/标准差 50 k	100.00	72.67	99.89	94.68	89.45
平均值/平均值 50 k	100.00	69.17	92.93	82.26	76.03

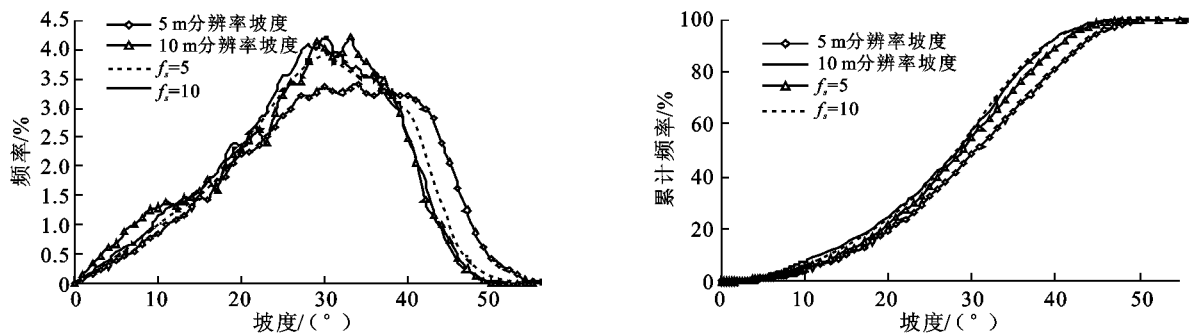


图 2 各种处理坡度的频率分布

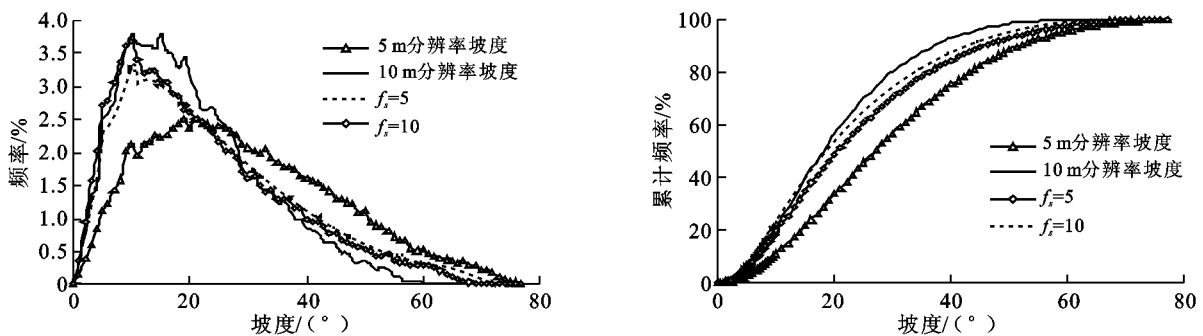


图 3 各种处理曲率的频率分布

2.3 等高线和河流的变化

等高线的长度与地形复杂程度相联系,地形复杂程度与比例尺相适应。因而通过比较等高线的总长度,可以间接判断 DEM 的综合程度。5 m 分辨率的

DEM 经过制图综合后,提取的等高线总长度统计见表 4,等高线形态变化见图 4。表 4 表明,不同等高距的统计所得结论不尽相同。根据 10 m 间距等高线的统计,比例尺因子为 10 的变换较佳,而根据 20 m

间距等高线的统计,比例尺因子为 5 的变换较佳。结论不尽一致。其可能原因是利用 20 m 等高距损失了部分高频信息。图 4 表明,基于比例尺因子为 10 的变换结果提取的等高线,其弯曲状况更加接近基于 10 m 分辨率 DEM 提取的等高线。

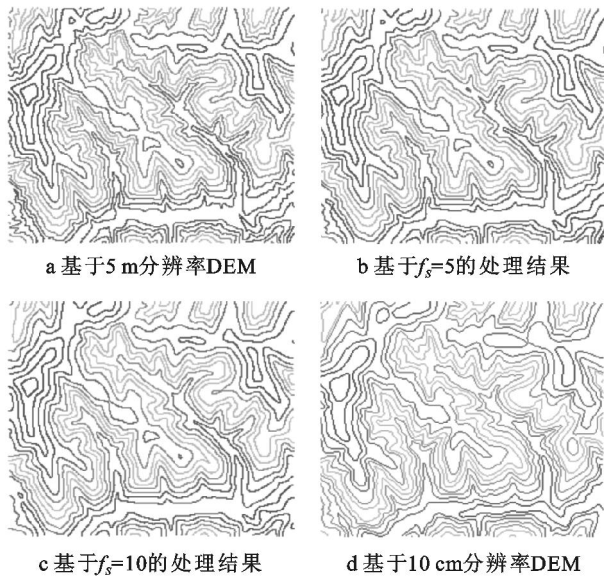


图 4 各种处理的派生等高线

基于 DEM 提取的河流总长度,也在一定程度上与地形复杂程度和比例尺相适应。利用不同阈值提取的河流总长度统计见表 5。结果表明,与 10m 分辨率 DEM 提取河流总长度比较接近的是利用比例尺因子为 10 和 5 的处理结果提取的河流。由此也得出结论认为,最佳比例尺因子为 5 和 10 之间。

3 结论与讨论

3.1 基本结论

(1) 利用低通滤波方法对高分辨率 DEM 的处理,一方面明显降低了地形的局地起伏,另一方面各种处理过程中 DEM 表面高程特征值并没有发生明显变化,表明地形的基本骨架得到较好的保留,这正是传统制图综合理论所要求的。因而利用低通滤波方法可实现对高分辨率 DEM 的综合,使之在地形表达能力方面接近较小比例尺地形图基础上建立的 DEM。

(2) 基于 DEM 提取的派生等高线和河流,其长度和弯曲程度均与地形复杂程度和地形图比例尺相适应。对派生等高线、河流总长度的统计,和对等高线的弯曲程度的比较分析可见,最佳比例尺因子介于 5 和 10 之间。

表 4 各种处理 DEM 派生等高线的比较

统计项目		等高距为 10 m 等高线		等高距为 20 m 等高线	
		长度/ m	长度/ %	长度/ m	长度/ %
原始数据	5 m 分辨率	155 475.7	100.00	77 426.95	100.00
	5 m 分辨率	136 652.1	87.89	70 528.45	91.09
变换结果	$f_s = 2.5$	150 374.8	96.72	75 042.29	96.92
	$f_s = 5$	142 300.4	91.53	71 517.41	92.37
	$f_s = 10$	136 050.3	87.51	68 628.40	88.64

表 5 不同处理 DEM 提取的河流总长度

统计项目		汇流面积 = 200		汇流面积 = 300		汇流面积 = 400		汇流面积 = 600	
		长度/ m	长度/ %	长度/ m	长度/ %	长度/ m	长度/ %	长度/ m	长度/ %
原始数据	5 m 分辨率	16 562.0	100.00	13 737.16	100.00	12 135.19	100.00	10 346.36	100.00
	5 m 分辨率	14 519.0	87.66	12 516.16	91.11	11 287.94	93.02	9 875.98	95.45
	$f_s = 2.5$	16 279.1	98.29	13 333.42	97.06	11 688.68	96.32	9 866.32	95.36
变换结果	$f_s = 5$	15 208.5	91.83	12 580.59	91.58	10 851.62	89.42	9 439.13	91.23
	$f_s = 10$	15 206.9	91.82	12 390.82	90.20	10 686.12	88.06	9 368.92	90.55

(3) 在滤波过程中,坡度和曲率均发生了比较大的变化,根据坡度、曲率的统计特征值和频率分布,并结合对高程、坡度、曲率 3 个专题层合成的综合地形影像特征,利用比例尺因子为 10,得到的结果与

1:50 000 地形图建立的 DEM 具有相似的坡度、曲率和综合地形特征。

3.2 存在问题

(1) 综合程度的评价标准。由于纸本地图没给

出综合程度的量化指标,因而滤波处理后,综合的程度、等效比例尺或者等效分辨率的确定,到底用什么标准,尚需要讨论。

(2) 滤波效果的评价指标。本研究利用了与目标比例尺等高线、河流长度统计、坡度和曲率比较的方法,由于这种方法还不能进行空间上的定量分析,因而空间上的比较分析方法也需要进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1981, 1(4): 13—18.
- [2] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting rainfall erosion by Water: A Guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[M]. USDA Agric. Handb. No 703. 1997.
- [3] Flanagan D C, Nearing M A, Laflen J M, USDA - Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation[M]. NSERL Report No. 10. 1995.
- [4] Armstrong R N, Martz L W. Topographic parameterization in continental hydrology: a study in scale [J]. Hydrological Processes, 2003, 17: 3763—3781.
- [5] 杨勤科, 李锐, 徐涛, 等. 区域水土流失过程及其定量描述的初步研究 [J]. 亚热带水土流失研究, 2006, 18(2): 20—23, 31.
- [6] 姚志宏, 杨勤科, 吴哲. 区域尺度侵蚀产沙估算方法研究 [J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 13—17.
- [7] 王东华, 刘建军, 商瑶玲, 等. 全国 1:250 000 数字高程模型数据库的设计与建库 [J]. 测绘通报, 2001(10): 27—29.
- [8] 王东华, 吉建培, 刘建军, 等. 论国家 1:50 000 数字高程模型数据库建设 [J]. 地理信息世界, 2003, 1(2): 12—15, 20.
- [9] Yang Q K, McVicar T R, Van Niel T G, et al. Improving terrain representation of a digital elevation model by reducing source data errors and optimising interpolation algorithm parameters: an example in the Loess Plateau, China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (JAG), 2007, 9(3): 235—246.
- [10] 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—221.
- [11] David M W, Gregory J McCabe. Differences in topographic characteristics computed from 100-and 1000-m resolution digital elevation model data [J]. Hydrological Processes, 2000, 14: 987—1002.
- [12] Zhang X, Nick A, Wainwright, et al. Comparison of slope estimates from low resolution DEMs: scaling issues and a fractal method for their solution [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1999, 24: 763—779.
- [13] 郝振纯, 池宸星, 王玲, 等. DEM 空间分辨率的初步分析 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 499—504.
- [14] 陈燕, 齐清文, 汤国安. 黄土高原坡度转换图谱研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 180—185.
- [15] 朱永清, 李占斌, 鲁克新, 等. 地貌形态特征分形信息维数与像元尺度关系研究 [J]. 水利学报, 2005, 36(3): 333—338.
- [16] Zhang X, Drake N, Wainwright J. Scaling land surface parameters for global-scale soil erosion estimation [J]. Water Resources Research, 2002, 38(9): 1180—1189.
- [17] Yang Q K, Jupp R L, Liang W. Re-scaling lower resolution slope by histogram matching[C]// Advances in Digital Terrain Analysis (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography). Springer, 2008: 193—210.
- [18] 刘敏. 基于三维道格拉斯改进算法的地貌自动综合研究: 以黄土高原的实验为例[D]. 西安: 西北大学, 2007.
- [19] 于浩, 杨勤科, 张晓萍, 等. 基于小波多尺度分析的 DEM 数据综合研究 [J]. 测绘科学, 2008, 33(33): 93—95.
- [20] 张彩霞, 杨勤科, 段建军. 高分辨率数字高程模型构建方法 [J]. 水利学报, 2006, 37(8): 1009—1014.
- [21] 师维娟, 杨勤科, 赵东波, 等. 中分辨率水文地貌关系正确 DEM 建立方法研究: 以黄土丘陵区为例[J]. 西北农林科技大学学报, 2007, 35(2): 143—148.

