

# 基于小波多尺度分析的 DEM 数据综合研究

于浩<sup>①</sup>, 杨勤科<sup>①②</sup>, 张晓萍<sup>①②</sup>, 李锐<sup>①②</sup>

(<sup>①</sup>西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; <sup>②</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**【摘要】**在同一地区, 随着数字高程模型 (DEM) 分辨率的降低, 或者地形图比例尺的缩小, DEM 或地形图所描述的地形表面的细节部分不断舍弃而表现出宏观的骨架特征。本文将小波多尺度分析方法和方根模型结合模拟这一过程, 由基于 1:1 万比例尺地形图建立的 DEM 生成了两种新的较小比例尺 DEM, 对比不同比例尺等高线可知, 较小比例尺保持了较大比例尺的山体轮廓、山脊、谷地走向等地貌形态的塑造。采用坡度和剖面曲率两个参数及信息论的方法, 分别对原始 DEM 和新生成的 DEM 进行分析和验证, 结果表明, DEM 经过数据综合, 不但地形表面的轮廓越来越平缓, 而且地形表面的细节也越来越平滑。利用方根模型作为小波高频系数阈值选取的依据更贴近于传统制图综合方法, 能够将比例尺的改变与综合程度结合起来, 实现任意比例尺 DEM 的自动综合。

**【关键词】**小波多尺度分析; 数字高程模型; 制图综合; 坡度; 剖面曲率

**【中图分类号】** P282

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1009-2307(2008)03-0093-04

**DOI** 10.3771/j.issn.1009-2307.2008.03.032

## 1 引言

数字高程模型 (DEM) 是地理信息系统 (GIS) 地理数据库中最为重要的空间信息资料 and 进行地形分析的核心数据系统<sup>[1]</sup>。DEM 及其地形因子尺度效应研究是数字地形分析研究热点, 也是地理尺度问题研究重要切入点, 尺度效应研究的数据基础是多尺度数据。由于用户解决的问题不同, 对地形空间数据需求的详细程度也不同。因此, 数字高程模型的综合是数字高程模型和数字地形分析研究的重要内容。这方面的研究可分为两种方式: 基于等高线的综合和基于 DEM 的综合<sup>[2]</sup>。前者是将数字高程模型通过等高线进行可视化表现, 探讨对等高线的图形综合。这种方法常常会使综合后的等高线产生相交现象, 导致地形表达上的逻辑错误。后者近年来研究的较多, 该方法生成的等高线避免了交错现象, 能够反映制图综合的本质思想, 即在可视化与信息量之间找到一种平衡<sup>[3]</sup>。

小波分析是 20 世纪 80 年代后期发展的应用数学理论, 它为 DEM 数据自动综合提供了新的途径, 借助小波的多尺度分析可以在任意尺度观察函数 (信号、图像等) 的任意细节, 并进行分析。吴凡<sup>[4]</sup>等利用小波系数的范数作为衡量相应尺度综合程度的数量化指标。吴纪桃<sup>[3]</sup>将小波多尺度分析与 Lipschitz 指数结合对地貌形态的复杂程度进行描述, 实现了多尺度的表达。刘春<sup>[5]</sup>从数据量的角度出发, 利用多尺度小波分析对数据进行综合简化。

黄土高原是世界上水土流失最强烈的地区之一, 也是侵蚀地貌最为发育的地区之一。数字地形分析已经成为研究黄土高原地貌发育、土壤侵蚀研究的基础, 地形因子的尺度效应研究引起了特别的关注<sup>[6]</sup>。本文将制图学中方根模型法和小波多尺度分析方法结合, 将方根模型法中物体

的选取定额作为小波高频系数的数量化指标, 通过小波重构实现 DEM 数据逐步简化和概括, 在此基础上研究不同分辨率 DEM 对地形表面的表达能力的差异和变化规律, 以期获得不同比例尺地形图, 为基于 DEM 的黄土高原土壤侵蚀地形因子的尺度效应研究提供方法和数据支持。

## 2 研究方法

### 2.1 小波的分解与重构

空间  $L^2(\mathbb{R})$  中的一列闭子空间  $\{V_j\} \quad j \in \mathbb{Z}$ , 称为  $L^2(\mathbb{R})$  的一个多分辨率分析, 令  $\{V_j\}$  是一给定的多分辨率分析,  $\phi$  和  $\varphi$  分别为相应的小波函数和尺度函数,  $W_j$  是  $V_{j+1}$  在  $V_j$  中的正交补子空间, 即有  $V = V_{j+1} + W_{j+1}$ ,  $f(x)$  可以用  $V_{j+1}$  中的一组规范正交基  $\{\varphi_{j+1,k}\} \quad k \in \mathbb{Z}$  和  $W_{j+1}$  中的一组规范正交基  $\{\psi_{j+1,k}\} \quad k \in \mathbb{Z}$  表示:

$$f(x) = \sum_n c_n^{j+1} \varphi_{j+1,n} + \sum_n d_n^{(j+1)} \psi_{j+1,n} \quad (1)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} c_k^{j+1} &= \sum_n h_{n-2k} c_n^j \\ d_k^{j+1} &= \sum_n g_{n-2k} c_n^j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

上式即为离散信号的有限正交小波分解公式, 其中  $j$  表示小波分解的层数,  $h_{n-2k}$  是多尺度分析的尺度系数,  $g_{n-2k}$  是多尺度分析的小波系数, 它们分别有低通特性和高通特性。小波重构的表达式为:

$$c_n^j = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_{n-2k} c_k^{j+1} + \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_{n-2k} d_k^{j+1} \quad (3)$$

其中,  $c_k^{j+1}$  是低频分量序列,  $d_k^{j+1}$  是高频分量序列,  $c_n^j$  是小波重构后的序列,  $c_k^{j+1}$  和  $d_k^{j+1}$  序列长度分别是  $c_n^j$  序列长度的二分之一;  $h_{n-2k}$  是小波重构的低通滤波器系数;  $g_{n-2k}$  小波重构的高通滤波器系数。

以上为离散信号的小波正交小波分解与重构公式, 为 DEM 数据综合提供了理论基础。

### 2.2 小波函数的选择

在基于小波的 DEM 网格数据处理中, 选择合适的小波函数非常关键。常常要求小波函数能够使分解后的小波系数的低频部分与原信号有更强的相关性, 高频部分有高度的局部相关性, 而整体相关性被大部分甚至完全解除<sup>[2]</sup>。因而在选取小波函数时应做如下几点考虑: ①  $h, g$  具有有限冲激响应, 即其对应的生成系数与基本小波具有紧支集;

作者简介: 于浩 (1979), 男, 新疆人, 在读硕士, 主要研究方向: 遥感图像处理。

E-mail yhaofly@163.com

收稿日期: 2007-07-12

基金项目: 国家 973 重点基础研究发展计划项目 (2007CB407203)



② $h$ 具有较好地对称性,而且能量集中在中央,可以避免相移;③ $g$ 具有较大的消失矩,其对应的高频系数的不相关性越强;④边界问题的处理,可采用补零模式,平滑模式和对称延拓模式。

考虑到 DEM 格网数据综合是对局部细小地形平滑的过程,我们可以选用满足上述条件且正则性好的小波函数,如本文采用  $\text{bib3}_9$  双正交小波。

### 2.3 基于方根模型的阈值选取

制图综合是指随着比例尺变小,对地图所表示的地理现象进行简化、取舍的过程,达到取主舍次,取大舍小的目的,是保证主要地理现象和要素的表达,并使地图清晰易读<sup>[7]</sup>。从地理空间认知角度看,地图综合主要目的是满足不同尺度地理建模、空间分析地图显示(生产)的需要<sup>[8]</sup>。著名的方根模型就体现了这种思想,它已成为多年来人工制图综合所遵循的基本原则,本文选用方根模型作为 DEM 格网数据的自动综合中的基础。方根模型是德国制图学家 Topfer 提出,主要用于计算制图物体的选取定额<sup>[7]</sup>。其表达式为:

$$N_b = N_a (M_a / M_b)^{1/2} \quad (4)$$

式中,  $N_a$  原图地物数量,  $M_a$  原图比例尺的分母,  $M_b$  新图比例尺的分母,  $N_b$  新编图上应选取的地物数量。在这里,将待处理的较大比例尺的 DEM 的小波高频系数的个数与  $N_a$  对应,将新的 DEM 的比例尺的分母与  $M_b$  对应,将新的 DEM 的小波高频系数的个数与  $N_b$  对应。

对于小波各尺度分解的高频系数而言,由于高频系数的大小对应着原 DEM 格网数据细节部分的重要程度不同,按照自动综合的原则,选取高频系数绝对值较大的系数,舍弃绝对值较小的系数。同时,随着尺度的增大,高频系数刻画地形表面特征的能力依次减小,由此确定小波系数选取时的重要性等级:第一层高频系数作为重要等级,第二层高频系数作为一般等级,第三层以后高频系数作为次要等级<sup>[10]</sup>。

表达式为:

$$\left. \begin{aligned} n_2 &= n_1 (m_1 / m_2)^{1/2} && \text{(重要等级)} \\ n_2 &= n_1 (m_1 / m_2) && \text{(一般等级)} \\ n_2 &= n_1 (m_1 / m_2)^{3/2} && \text{(次要等级)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中,  $n_1$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $n_2$  分别与 (4) 式中的  $N_a$ ,  $M_a$ ,  $M_b$ ,  $N_b$  表示相同的含义。

阈值选取的过程如下:首先选择一个小波函数并确定分解的层次  $N$ ,对信号进行  $N$  层小波分解;按照公式 (5) 求各层高频系数不同等级需要选取的数量;将每一层高频系数从小到大排序,将选取的数量所对应的小波系数值作为该层的阈值,将绝对值小于该阈值的小波系数置零;最后将低频部分与经过处理后的高频部分进行重构。从阈值的选取过程可知,当 DEM 比例尺由大到小变化时,该阈值随着比例尺变化相应的变化;当新的 DEM 比例尺一旦确定,随着分解层次不断增加,每层阈值的大小也相应的变化;这正体现了阈值的自适应能力,这种自适应能力较好地保证了综合前后 DEM 所描述的地形结构特征、分布特征的一致性,使得综合的结果有较好的连续性。

### 2.4 模型试验

研究区位于黄土高原延河流域二级支流县南沟流域,属典型的黄土丘陵沟壑区。该区域地形破碎,沟壑密布,25°到 45°坡地占流域面积的 62.4%。本研究所用的数据是基于比例尺 1:1 万地形图(等高线、高程点与河流等信息)和利用 ANUDEM 软件插值生成的 DEM,分辨率为 2.5m<sup>[11]</sup>。

由原始 1:1 万比例尺 DEM 生成等高距为 10m 等高线图,利用上述算法生成两个不同分辨率的 DEM,在本模型

中,相当于 1:5 万和 1:10 万比例尺地形图生成的 DEM,对应的等高距分别为 20m 和 40m,选取相同部分生成等高线图,如图 1 所示。由等高线可以看出,较小比例尺保持了较大比例尺的山体轮廓、山脊、谷地走向等地貌形态的塑造。

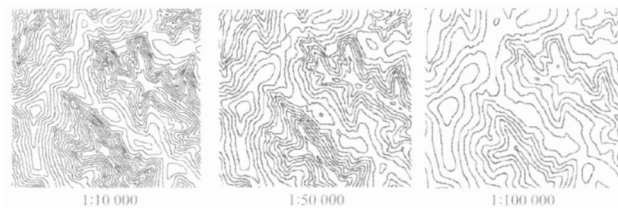


图 1 三种比例尺的等高线图

## 3 模型检验及对比分析

长期以来,制图综合质量主要采用人工视觉评价,至今没有理想的数量化表达方法。本文先采用衡量高程精度常用的指标对比三种比例尺 DEM 的表现能力,然后用两个重要的地形因子:地面坡度、剖面曲率作为研究对象对比分析,并从信息论的角度进一步验证和评价。

### 3.1 对地面高程的表现

统计三种比例尺的 DEM 数据的精度(如表 1 所示),结果表明,经过两次综合后,高程的变化均在原始数据高程的精度数量级范围内,各项指标变化不大。在一定的综合程度下,可以认为综合不会引起明显的高程变化异常。

表 1 DEM 数据综合前后的精度对比

DEM 比例尺	最大值	最小值	均值	标准差
1:10 000	1337.78	1056.73	1194.44	57.08
1:50 000	1337.12	1057.69	1194.45	56.97
1:100 000	1337.01	1057.57	1194.33	56.84

### 3.2 基于地面坡度及剖面曲率对比分析

坡度为地表水平面和实际地形表面之间夹角的正切值,是描述地表形态及获取其他地形因子的重要基础数据。因此研究不同比例尺的坡度变化可以反映 DEM 综合的可信度。

传统的地面坡度统计采用分级方法,由于地形表面的坡度在空间上具有较大的相关性,因此这种分级方法掩盖了坡度的连续变化特征。本文将坡度作为一个连续变化的过程,统计各坡度面积比重,并生成直方图曲线(如图 2a)来描述不同比例尺坡度变化情况。由图 2a 可知,随着 DEM 的比例尺不断变小,坡度面积比重曲线的峰值不断向左侧,即小坡度方向移动。同时峰值所对应的面积比重在增加,说明通过 DEM 数据综合,小比例尺相对于大比例尺小坡度的面积增大。当坡度大于 36°时,1:1 万坡度面积比重占有优势,说明较大比例尺 DEM 地形起伏大,陡坡较多。在 0°~36°坡度区间,1:5 万的面积比重大于 1:1 万,在 0°~35°坡度区间,1:10 万面积比重大于 1:1 万和 1:5 万,这说明随着 DEM 综合程度的不断增加,由小波分析检测出的地形变化高频部分被逐渐剔除,使得地形起伏趋于平缓。

坡度仅仅描述了地形变化率,地表的光滑程度还需要用剖面曲率来描述,即剖面曲率描述地形坡度的变化。对上述坡度计算结果求导,统计各剖面曲率对应的面积比重,如图 2b 随着 DEM 比例尺不断变小,其剖面曲率的直方图曲线的峰值不断向左侧,即剖面曲率较小的方向移动,且较小的剖面曲率对应的面积比重在增加。说明经过 DEM 数据综合,不但地形表面的轮廓越来越平缓,而且地形表面的细节也越来越平滑。

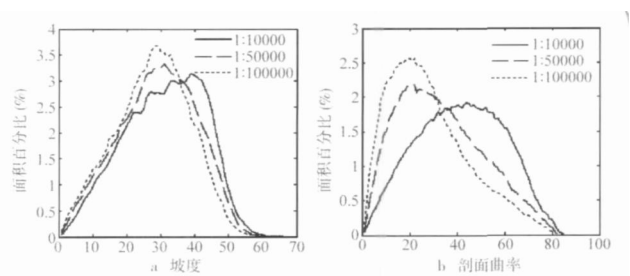


图 2 不同比例尺 DEM 坡度、剖面曲率的面积比重对比

3.3 基于信息量对比分析

近年来, 信息论越来越多的应用于地理科学中, 本文尝试从这一角度对上述地面坡度和剖面曲率作进一步对比分析。自信息的定义为: 设  $S$  是随机事件  $E_1, E_2, \dots, E_n$  的一个系统, 其中  $P(E_k) = P_k, P_k$  指事件  $E_k$  出现的概率, 在  $[0, 1]$  上,  $\sum_{k=1}^n P_k = 1$ , 则事件  $E_k$  的自信息量定义为:

$$I(E_k) = -\log_2 P_k \quad \text{单位 bit(位)} \quad (6)$$

将图 2 中单位坡度和剖面曲率的面积比重视为整个样区出现的概率  $P_k$ , 由公式分别计算各自的自信息量, 如图 3 所示。在图 3a 中, 不同比例尺的自信息量曲线相交的位置与图 2a 中面积百分比曲线的交点非常接近, 有略微的误差是由于取坡度最小单位为 1 时造成的。在交点左侧, 较小比例尺小于较大比例尺的自信息量, 交点右侧正好相反。由信息论可知, 事物的信息量越小, 则出现概率越大。由此可知在交点左侧较小坡度区间, 比例尺越小, 其对应的信息量越小, 微观上体现为随机栅格是该区域的概率越大。同时在该区间, 较小比例尺的曲线更加陡峭, 说明在该区域信息集中程度提高, 宏观上表现为小坡度描述的地形起伏部分较多的集中在小比例尺 DEM 中, 当然这是以偏离真实地形为代价。同理, 在交点右侧区间大比例尺的曲线更加陡峭, 说明较大坡度描述的细节部分较多的集中在大比例尺 DEM 中。

由剖面曲率的自信息量曲线 (图 3b) 可知, 在交点左侧, 比例尺越小, 剖面曲率在该区间出现的概率越大。同时在该区间, 较小比例尺的曲线更加陡峭, 说明在该区域信息集中程度提高, 表现为小剖面曲率描述的地形平滑部分较多的集中在小比例尺 DEM 中。在交点右侧区间, 大比例尺的曲线更加陡峭, 说明较大剖面曲率描述的细节部分较多的集中在大比例尺 DEM 中。

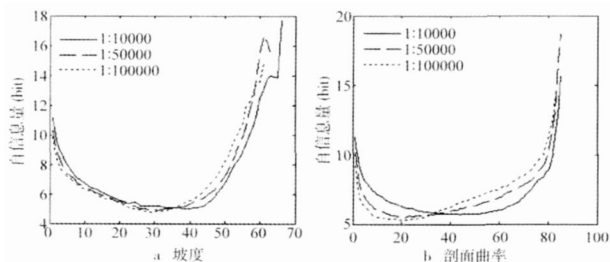


图 3 不同比例尺 DEM 坡度、剖面曲率的自信息量对比

4 结论与讨论

1) 基于小波多尺度分析的 DEM 数据综合是将多尺度上的近似和细节 DEM 信息实施综合。随着比例尺的减小, DEM 分辨率降低, 地貌细节特征逐渐舍去, 这是一个连续的自适应的过程。本文采用方根模型作为小波高频信息阈值选取的依据, 模拟 DEM 综合过程, 能够得到一系列任意比例尺 DEM。

2) 通过不同比例尺 DEM 生成的等高线图可知, 较小比例尺保持了较大比例尺的山体轮廓、山脊、谷地走向等

地貌形态的塑造, 局部细小的地形被平滑。

3) 利用两个重要的地形因子坡度和剖面曲率, 对比分析不同比例尺 DEM 所描述的地形表面特征, 结果表明, 随着 DEM 数据不断综合, 不仅地形表面的轮廓越来越平缓, 而且地形表面的细节也越来越平滑。

4) 从信息论的角度, 进一步对地面坡度和剖面曲率进行对比分析和验证, 结果表明, 在较小比例尺的 DEM 中, 较小的坡度和剖面曲率出现的概率越大, 由此可以得到与结论 3) 相同的结论。

将传统的方根模型与小波多尺度分析结合进行 DEM 数据综合, 更容易理解, 易于计算机实现, 是对传统制图综合方法的进一步扩展。但是, 经过综合后生成的 DEM 及其对应的等高线, 在对地形表达方面是否与 1:5 万和 1:10 万比例尺地形图相同, 尚须进一步的试验进行论证。

致谢: 本研究在澳大利亚联邦科工组织地地观测中心前主任、国际著名遥感图像处理专家 David Jupp 先生指导下完成。

参考文献

- [1] 周启明. 数字地形分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 何宗宜. 地图数据处理模型的原理与方法 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [3] 吴纪桃, 王桥. 复杂地貌形态多比例尺表达的二维小波分析研究 [J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 93-97.
- [4] 吴凡, 祝国瑞. 基于小波分析的地貌多尺度表达与自动综合 [J]. 武汉大学学报, 2001, 26(2): 170-176.
- [5] 刘春, 王家林. 多尺度小波分析用于 DEM 网格数据综合 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(3): 340-344.
- [6] 汤国安, 刘学军, 房亮, 等. DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述 [J]. 武汉大学学报, 2006, 31(12): 1059-1066.
- [7] 王家耀. 地图学原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2006-2, 149-153.
- [8] 郭庆胜. 地图自动综合问题的分解和基本算子集合 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, (2): 149-153.
- [9] 孙延奎. 小波分析及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [10] 李晨钊, 舒红. 等高线小波综合中的阈值选取方法 [J]. 测绘信息与工程, 2006, (10): 45-46.
- [11] 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.
- [12] 陈楠, 林宗坚, 李成名, 等. 基于信息论的不同比例尺 DEM 地形信息比较分析 [J]. 遥感信息, 2004, (3): 5-8.
- [13] 杨族桥, 郭庆胜, 牛冀平, 等. DEM 多尺度表达与地形结构线提取研究 [J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 134-137.
- [14] 毋河海. 地貌形态自动综合问题 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(增刊).
- [15] WU Hehai Principle and Method of Automated Generalization of Relief Forms [J]. Bulletin of Surveying and Mapping 1982, 85: 163-174.
- [16] WEBEL R. Models and Experiments for Adaptive Computer Assisted Terrain Generalization [J]. Cartography and GIS 1992, 19(3).
- [17] 王光霞, 等. DEM 精度评估方法的研究实践 [J]. 测绘科学, 2006, 31(3). (下转第 115 页)

水体和海洋底质的一体化模拟, 实现数字海洋整体重现, 为人类认知和开发海洋服务。

#### 参考文献

- [1] Victor JD, Alan P. Delaunay tetrahedral Data Modeling for 3D GIS Application [C]. //Proc. GIS/LIS '93, 1993.
- [2] SHIW er zhong. Development of a hybrid model for three-dimensional GIS [J]. GeorSpatial Information Science, 2000, 3(2): 612.
- [3] Mark Jessell Three-dimensional geological modeling of potential field data [J]. Computer & Geosciences, 2001, 27(3): 455-465.
- [4] Janos Kahar DEM-based Surface and Volume Approximation—Geographical Applications [J]. Computer & Geosciences, 1995, 21(2): 147-163.
- [5] Tsai Delamay V J D. Triangulations in TN Creation an Overview and a Linear-time Algorithm [J]. Int J of GIS, 1993, 7(6): 501-524.
- [6] 任建武, 孙亚梅, 李海宇. 海底地形及其变化可视模型的研究 [J]. 测绘学报, 1996, 25(4).
- [7] 李军. 利用 OPENGL 构建海洋三维景观的方法研究 [J]. 海洋测绘, 2003, 23(5).
- [8] 宋志明, 康凤, 阎晋屯, 等. 海洋环境视景仿真方法研究 [J]. 计算机仿真, 21(6).
- [9] 刘海行, 于卫东, 周玉斌, 等. 海洋观测航线断面数据的三维可视化实现 [J]. 海洋科学进展, 2004, 24(4).
- [10] 毛可飞, 路辉. 基于多层 B 样条的海底地形生成方法 [J]. 计算机仿真, 2005, 22(4).
- [11] 马建林, 金菁, 来向华. 多波束测深海底数字地形模型的建立 [J]. 海洋测绘, 2005, (5).
- [12] 刘开周, 刘健, 封锡盛. 一种海底地形和海流虚拟生成方法 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5).
- [13] 苏天赞, 刘保华, 翟世奎, 等. “数字海底”数据库: 海底多源综合数据的集成与管理方法研究 [J]. 海洋科学进展, 2005, (4).
- [14] 郑彦鹏, 梁瑞才, 王勇, 等. 数字海底的理论基础和技术实现——以渤海油田工程地质示范区系统为例 [J]. 海洋科学进展, 2004, (3).
- [15] 杨刚, 杜德文, 吕海龙. 数字海底地形分割算法 [J]. 海洋科学进展, 2004, (2).
- [16] 张政民, 薛荣俊, 苏天赞, 等. ArcSDE 在数字海底系统中的应用 [J]. 海洋技术, 2004, (2).
- [17] 刘展, 李津, 杨作升, 等. 适于“数字海底”的 GIS 数据仓模型初探 [J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, (1).
- [18] 高金耀, 金翔龙, 吴自银. 多波束数据的海底数字地形模型构建 [J]. 海洋通报, 2003, (1).
- [19] 田宜平, 袁艳斌, 李绍虎, 等. 建立盆地三维构造—地层格架的插值方法 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(2).
- [20] 翁正平, 吴冲龙, 毛小平. 基于平面图的盆地三维构造—地层格架建模技术 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2001, 16(增刊).
- [21] 靳海亮, 高井祥. 三维地形可视化技术研究进展 [J]. 测绘科学, 2006, (6).
- [22] 田宜平, 刘海滨, 刘刚. 盆地三维构造—地层格架的矢量剪切原理及方法 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3).
- [23] 魏振华. 基于 Geoview 的三维数字地质体曲面组合剪切技术研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2006.

#### The preliminary study to sea base matter three-dimensional visualization simulation

**Abstract** Because of the complexity of sea's environment and the difficulty to gain data, the sea three-dimensional visual research always concentrates on the sea scene and the seabed terrain aspect, and the related visual research of seabed sediment should be strengthened. Through the establishment of seabed sediment database, the seabed sediment visual simulated environment is built. Based on water depth data and multibeam data, the basic three-dimensional seabed terrain is established and free isobaths automatic production is realized. And based on the drill hole data and the stratum drag net sample, the seabed sediment three-dimensional visualization is initially realized. Through the effective integration, the 3-D visual simulation system of seabed sediment is constructed, which can develop marine resource, sea economy and maintain country sea rights and interests.

**Key words** digital ocean, seabed sediment, three-dimensional visualization, simulation

LIU Zhi-jun<sup>①②</sup>, JIN Ji-ye<sup>②</sup>, LIU Zhen-min<sup>②</sup>, WENG Zheng-ping<sup>③</sup>, WEI Zhen-hua<sup>③</sup>, WANG Feng<sup>②</sup> (① State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079; ② National Marine Data & Information Service, Tianjin 300171, China; ③ China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

(上接第 95 页)

#### Generalization of DEM data based on multi scale wavelet analysis

**Abstract** In the same region, with reduction of DEM resolution or contraction of topographic map scale, the details of terrain described by DEM and topographic map are abandoned and only framework features are maintained. In this paper, the multi scale wavelet analysis and Square Root Model is combined to simulate the general process. Firstly, the higher resolution DEM is decomposed into the low frequency and high frequency parts by Multi scale wavelet. Secondly, according to the theory of Square Root Model, the threshold of wavelet coefficient in the high frequency is fixed by the ration of choice when the scale is transformed. Finally, all of the low frequency and high frequency is reconstructed. In order to analysis and verify the variety features of DEM, the study uses two important topographic factors slope and profile curvature, and views from Information Theory to comparative analysis. The result shows that the choice of threshold is close to the traditional cartographic generalization using the Square Root Model, and be able to join the scale variety with the degree of cartographic generalization, which realizes the automated generalization of random scale DEM.

**Key words** wavelet multi scale analysis; digital elevation model (DEM); cartographic generalization; slope; profile curvature

YU Hao<sup>①</sup>, YANG Qi-ke<sup>②</sup>, ZHANG Xiaoping<sup>②</sup>, LI Rui<sup>①②</sup> (① Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; ② Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)