

基于 GIS 的流域地貌形态分形盒维数测定方法研究

崔灵周^{1,3}, 肖学年², 李占斌^{3,4}

(1. 温州师范学院 生命与环境科学学院, 浙江 温州 325027; 2. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093;
3. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 4. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 流域地貌形态分形维数测定是目前地貌分形研究的薄弱环节, 对于流域水土流失预报模型中地貌因子量化具有重要科学意义。依据分形盒维数测定原理, 结合流域地貌的复杂三维立体特性, 提出了以地形等高线为基本数据源, 以 GIS 技术作为主要实现手段的流域地貌形态分形盒维数测定方法, 编制出了相关测算程序, 并以岔巴沟流域为例进行了实证研究。结果表明, 该方法快速、准确、数据可靠, 可实现不同尺度流域地貌形态分形盒维数的测定。

关键词: 流域地貌; 分形盒维数; GIS 技术; 测定方法

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2004)02—0038—03

中图分类号: P208

GIS-based Approach for Measuring the Fractal Box Dimension of Watershed Topography

CUI Ling-zhou^{1,3}, XIAO Xue-nian², LI Zhan-bin^{3,4}

(1. School of Life and Environment Science, Wenzhou Normal College, Wenzhou 325027,

Zhejiang Province, China; 2. Department of Urban and Resource, Nanjing 210093, Jiangsu Province, China;

3. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi Province, China; 4. Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: The fractal dimension measure of watershed topography is the unsubstantial part of topography fractal study, and it is very important for the prediction model of soil and water loss in small watershed. Based on the principle of measuring the fractal box dimension and the character of watershed topography, the approach for measuring the fractal dimension of watershed topography is put forward by the technique of GIS, whose data is from contour line. We operated demonstration research by taking Chabagou watershed as an example. The results show that this approach is fast, exact, credible and can get the fractal box dimension of watershed topography of different scope.

Keywords: watershed topography; fractal box dimension; technique of GIS; measure approach

分形理论是由法裔美国科学家曼德尔布罗特 (B. B. Mandelbort) 于 1967 年创立的一门新兴学科。对于那些不可微的、杂乱的、支离破碎的和形状极不规则的物体、现象和过程(如山脉、河流和海岸线等), 分形理论可根据其局部与整体所具有的某种相似或完全相似的性质, 实现对其的定量刻画和描述, 揭示其内在的本质量化特性。Feder^[1]曾如此评价分形理论在地貌学中的意义: “人们必须相信分维总能抓住地表形态的本质”。可以说, 分形理论和分形方法的形成与发展为地貌学的非线性研究开辟了一个新思路, 成为处理复杂性的、特别是涉及空间现象的地貌系统的有力工具^[2-4]。

地貌形态具有的显著分形特征, 其分形维数测定方法目前主要有 2 种, 即曲线维数测定方法和盒维数测定方法。前者主要适用于可概化为线状的地貌现象, 如海岸线、水系、山脊线等, 其方法简单、实现较为容易, 是河网、水系和海岸线等地貌现象分形维数测定的主要方法^[7-10]。后者主要适用于可概化为面状的具有三维立体特性的地貌现象, 如山脉、沟谷^[11]及包括山丘、河道和沟网的综合流域地貌等, 这类地貌现象由于涉及空间范围较大, 利用盒维数测定其分形维数时, 所需计算的数据量很大, 人工方法根本无法完成; 到目前为止, 还没有一个快速、准确、规范的用于此类地貌现象分形维数测定方法^[12]。

收稿日期: 2003-07-18

资助项目: 国家自然科学基金(40301026); 中科院知识创新工程重大项目(KZCX1-10-04); 国家博士后科学基金(2003033518)和温州师范学院重点基金(2002Z28)

作者简介: 崔灵周(1971—), 男(汉族), 陕西蓝田人, 博士后, 从事流域地貌分形、降雨侵蚀产沙过程等方面科研工作, 发表论文 12 篇。电话(0577)88753652, E-mail: dlingzhou@163.net。

为此, 本文以流域地貌形态为研究对象, 依据盒维数测定原理及流域地貌形态表示方式, 提出了基于 GIS 技术的流域地貌形态分形维数测定方法, 并以黄土高原丘陵沟壑区第一副区岔巴沟流域的地貌形态为例进行了实证研究, 以推动流域地貌形态分形研究的深入开展。

1 分形盒维数测定原理

盒维数又称计盒维数 (Box Dimension, Box-counting), 是应用最多的维数之一^[5]。该方法的具体计算过程是取边长为 r 的小盒子 (可以理解为拓扑维为 d 的小盒子), 把分形客体覆盖起来, 由于分形客体内部有各种层次的空洞和缝隙, 有些小盒子是空的, 有些小盒子覆盖了分形的一部分。数出非空小盒子的数目, 记为 $N(r)$ 。然后缩小盒子的尺寸 r 所得 $N(r)$ 自然要增大。当 $r \rightarrow 0$ 时, 得到数盒子法定义的分维:

$$D_0 = - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\lg N(r)}{\lg r} \quad (1)$$

在实际应用中只能取有限的 r 。通常的做法是求一系列的 r 和 $N(r)$, 然后由双对数坐标中 $\lg N - \lg r$ 的直线的斜率求 D_0 , 这里要强调的是, 上式必须要求存在标度关系:

$$N(r) \propto r^{-D_0} \quad (2)$$

如果不存在这种标度关系, 就根本不能使用分维的概念。这样求出的 D_0 叫容量维。

由数盒子方法求分维的式 (1) 的主要缺点是没有反映几何对象的不均匀性, 含有 1 个点和许多点的盒子在式 (1) 具有同样的权重。为此可修改分维的定义, 并相应修改数盒子的方法。即把小盒子编号, 如果第 i 个盒子落入 $N_i(r)$ 个点, 则可知道分形中的点落入第 i 个盒子的概率

$$P_i = N_i(r) / N(r) \quad (3)$$

这里 $N(r)$ 是总的点数。然后利用信息量的公式

$$I(r) = - \sum_{i=1}^{N(r)} P_i(r) \lg P_i(r) \quad (4)$$

定义信息维:

$$D_i = - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{I(r)}{\lg r} \quad (5)$$

可以看出, 当各个盒子具有同等权重, 即 $P_i(r) = 1/N(r)$ 时, 信息量 $I(r) = \lg N(r)$, 这时信息维 D_i 等于容量维 D_0 。

数盒子方法的实质是改变粗视化程度 (successive coarsening), 在分形维数测定时, 一般先从大盒子开始, 依次减小盒子的尺度, 只计算那些“非空”盒子数。计算分形图分形的数盒子方法又称覆盖法,

它既适用于简单分形, 也适用于复杂分形。

2 基于 GIS 技术的流域地貌形态分形盒维数测定方法

依据分形盒维数的测定原理, 对于具有复杂三维立体空间特性的流域地貌形态而言, 直接对其进行盒维数测定具有较大难度。地形等高线是目前应用最为普遍和成熟的流域地貌形态表示方式, 它实现了不同精度下流域地貌形态由三维立体向二维平面的转化, 为流域地貌形态分形盒维数测定提供了科学的数据源; 同时, 目前的大多数 GIS 软件 (如 Arc/info, Arcview, Geoscan, Photoshop 和 Autocad 等) 均可实现对地形图和等高线的数字化、编辑、运算和分析处理。为此, 本文以地形等高线为基本数据源, 以 GIS 技术为主要手段, 对流域 DEM 模型和流域地形图 2 种不同表示方式下流域地貌形态分形盒维数中的容量维 D_0 和信息维 D_i 进行了测定, 并编制了相关计算程序。

2.1 基于流域 DEM 模型的分形盒维数测定

2.1.1 关键技术

(1) 通过单个盒子等高线条数的计算。在流域 DEM 模型中, 就某一尺度的正方形盒子范围内的地形而言, 由于等高线是相互平行的一组平面与真实地表相切的交线投影到某一固定的投影面上而形成的连续封闭曲线, 从单个盒子某一边进入的等高线必从该盒子同一边或其它 3 个边穿出、或在该正方形盒子范围内形成封闭等高线。在计算通过该盒子等高线条数时, 以盒子边界任一 DEM 格网点为起算点, 顺时针或逆时针逐 DEM 格网扫描盒子边界, 判断是否有等高线穿越 (相邻 DEM 格网间是否包含高程值等于等高距整倍数的线), 若有等高线穿越, 计算该 DEM 格网中穿越的等高线条数, 记为 U_i , 则通过该盒子的等高线条数 $T = (U_1 + U_2 + \dots + U_n) / 2$ 。

(2) 盒子的布置方式。对于给定的不同尺度 r 盒子, 以 DEM 模型中心为中心点布置盒子, 这样可保证盒子最大程度均匀覆盖整个 DEM 模型, 依次向四周扩散, 直至盒子完全覆盖 DEM 模型。

(3) 起算点的选择。可以以任意点盒子为起算点, 本程序以其左下角盒子为起算点, 然后依次统计通过每个盒子的等高线条数。

2.1.2 主要步骤及数据处理 (1) 建立研究流域的 DEM 模型, 启动分形盒维数测算程序, 调入格式为 ArcInfo DEM GRID 的输入数据。(2) 分别输入“比例尺分母、等高距、盒子尺度”, 指定“分形盒维数测定结果信息文件名”, 然后开始分形盒维数相关参数的测算。(3) 根据输出数据, $N(r)$ ——尺度为 r 时覆

盖整个流域地貌 DEM 模型的非空盒子总数, $N_i(r)$ —— 尺度为 r 时第 i 个盒子中穿过的等高线条数, $P_i(r)$ —— 尺度为 r 时等高线穿过第 i 个盒子的概率和信息量 $I(r)$ 。(4) 利用 Excel 将不同盒子尺度 r 时所得一系列 $\lg r$ 和 $\lg N(r)$, $I(r)$ 和 $\lg r$ 点汇成直线, 其中无标度区间内的直线斜率分别为流域地貌形态分形盒维数中的容量维 D_0 和信息维 D_i 。

2.2 基于流域地形图的分形盒维数测定

该测定方法是以研究流域大比例尺地形图为数据来源, 在矢量 (X, Y) 坐标数据的基础上进行的。

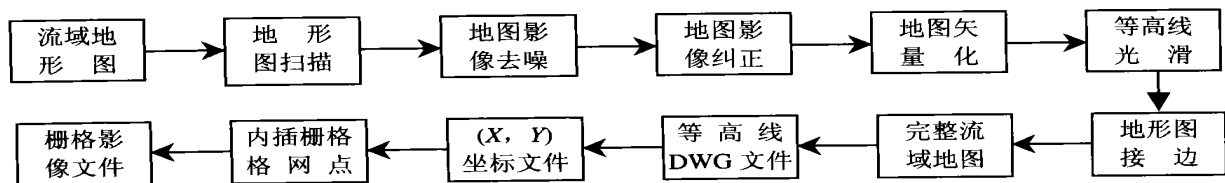


图 1 流域地形图矢量化及栅格化处理过程图

2.2.2 通过给定尺度盒子的等高线条数计算 给定盒子尺度 r , 以栅格影像中心为中心点布设盒子(这种布设方式可保证盒子尽可能均匀覆盖整个流域地形的栅格影像), 依次向四周扩散, 直至盒子完全覆盖栅格影像。以左下角盒子为起算点(也可以以任意点盒子为起算点), 依次统计通过每个盒子的等高线条数; 对于单个盒子, 以其任一点为起算点, 先行后列, 逐条采用递归算法跟踪等高线, 即可统计出该盒子所包含和穿过的等高线条数 T 。

2.2.3 输出数据的分析处理及盒维数获取 利用矢量 (X, Y) 坐标数据进行流域地貌形态盒维数测定的输出数据分析处理及盒维数求取与上文基本相同, 即在输出数据 $N(r)$ —— 尺度为 r 时覆盖整个流域地形图的非空盒子总数, $N_i(r)$ —— 尺度为 r 时第 i 个盒子中穿过的等高线条数, $P_i(r)$ —— 尺度为 r 时等高线穿过第 i 个盒子的概率和信息量 $I(r)$ 基础上, 利用 Excel 将不同盒子尺度 r 时所得一系列 $\lg r$ 和 $\lg N(r)$, $I(r)$ 和 $\lg r$ 点汇成直线, 在无标度区间内所得的直线斜率分别为流域地貌形态的容量维 D_0 和信息维 D_i 。

3 实例应用

利用上文所述的测定方法和所编制的计算程序, 对位于黄土高原丘陵沟壑区第一副区岔巴沟流域地貌形态分形盒维数进行了测定(测定结果将另文发表), 数据源采用 15 幅 1:10000 地形图。结果表明, 该方法快速、准确、数据可靠, 可实现对不同尺度流域

2.2.1 数据的矢量化及栅格化 基于流域地形图的流域地貌形态分形盒维数测定的输入数据必须为二值化 BMP 格式的栅格影像数据, 为此在盒维数测算之前必须对作为数据源的地形图进行矢量化和栅格化处理, 即利用 PhotoShop, PhotoDRG, GeoScan 和 AutoCad2002 等软件把流域地形图经过扫描、影像去噪纠正、图形矢量化、格式转换和内插栅格格网点等处理, 最后得到二值化 BMP 格式的栅格影像数据(具体见图 2)。

地貌形态分形盒维数的测算, 为进一步研究黄土高原小流域地貌形态分形特征提供了科学方法。

[参 考 文 献]

- [1] J. Feder. Fractals[M]. New York and London, 1988.
- [2] Chase C G. Fluvial landsculpting and the fractal dimension of topography[J]. Geomorphology, 1992(5): 364—374.
- [3] 高鹏, 李后强, 艾南山. 流域地貌的分形研究[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5): 63—69.
- [4] 张捷, 包浩生. 分形理论及其在地貌学中的应用——分形地貌学研究综述及展望[J]. 地理研究, 1994, 13(3): 104—111.
- [5] 陈颢, 陈凌. 分形几何学[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [6] 张济忠. 分形[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [7] 冯平, 冯焱. 河流形态特征的分维计算方法[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 324—329.
- [8] 王协康, 方铎. 流域地貌系统定量研究的新指标[J]. 山地研究, 1998, 16(1): 8—12.
- [9] 何隆华, 赵宏. 水系的分形维数及其含义[J]. 地理科学, 1996, 16(2): 124—128.
- [10] 高鹏. 流域水系的多标度分形研究及应用[J]. 中国地质灾害与防治研究, 1995, 6(2): 31—39.
- [11] 孔凡臣, 丁国瑜. 山西及邻区水系与黄土冲沟的分形几何学分析结果及其与构造活动的关系[J]. 地震地质, 1991, 13(3): 221—229.
- [12] 艾南山, 陈颢, 李后强. 走向分形地貌学[J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(1): 92—96.
- [13] 李猛, 朱令人. 地形等高线的分形特征及其动力学含义[J]. 西北地震学报, 2002, 24(2): 2—7.