

湿地资源动态变化的分形研究

——以苏北里下河地区湿地资源的动态变化为例

柯长青

(南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093)

摘要:介绍了分形理论及其特点、分形维数的计算公式与它的物理意义。以苏北里下河地区湿地资源动态变化为例,探讨了分形方法在湿地资源动态变化研究中的应用。里下河地区不同年代沼泽的分形维数表明,沼泽的变化最为剧烈,稳定性最差,即湿地资源的动态变化比较大。

关键词:苏北里下河地区;湿地资源;动态变化;分形

中图分类号:P962 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2002)01-0090-03

苏北里下河地区位于江苏省中部,介于长江和淮河之间,行政上分属江苏省淮安、阜宁、盐城、建湖、兴化、高邮、宝应等县市。由于这里地处中纬度地带,东临黄海,地势低平,冬夏季风可以横贯全境,形成丰富的降水。里下河平原地势低洼,有“锅底”之称。其地势格局是四周高,中间低,由四周向中心微倾的宽浅的碟形洼地。

由于人口的增长,20世纪30~40年代就修建了一些水利工程,围垦滩地。60~70年代里下河地区在“以粮为纲”政策的指引下,人们大搞围湖垦荡。80~90年代,又把开发湖荡作为一条致富、奔小康的生财之道,湖荡湿地资源开发的范围从经济发达地区向经济基础薄弱地区扩大,导致湖荡面积减少,滞蓄能力下降。湖沼湿地的盲目开发改变了湖区的水文循环,导致了洪、涝、渍、旱等灾害的发生。围垦缩小了湖沼湿地的面积,也就减少了洪道的过水断面,致使平原湖区汛期洪水水位不断升高,使湖荡的蓄水滞洪能力减弱。不仅如此,围垦还加速了河湖淤积。圩垸的修筑使得洪水不能自由泛滥,泥沙不能在原是湖沼湿地的圩田区落淤,致使河湖水位不断壅高,加剧河床和湖底泥沙的淤积。1991年江淮大水,里下河地区遭受特大洪涝灾害的袭击就是一例。

自20世纪20年代以来,里下河地区到底减少了多少湿地,不同的年代其减少程度又是怎祥的?只有弄清了这些问题,才能对症下药,才能根治和减轻

因湖荡湿地资源减少所带来的一系列环境问题。分形的出现,无疑为我们解决这些问题提供了一个很好的定量化研究工具。

1 分形理论概述

分形(Fractal)理论是Mandelbrot于1973年创立的。它是同一时期非线性科学研究中所取得的重大成果,分形集具有精细的结构,即在任意小的比例尺下,都可呈现出更加精致的细节。它是如此的不规则,以致于它的整体、局部都不能用传统的几何语言来描述,然而它通常有着某种自相似的形式(可能是近似的,或是统计意义下的相似)。并且能用很简单的方法产生,以分维来度量^[1]。

由于经典的几何方法不适用于分形特征的描述,目前分维(Fractal Dimension)成为研究这类分形现象的主要工具。比如,分形集合中其局部与整体呈现某种相似性,如果把某图形全体缩小成 $1/a$ 的 b 个相似形,则可用 $d = \log b / \log a$ 作为计算分维的方法,其中常用的有hausdorff维数、相似维数、盒维数、容量维数等。

自然界广泛存在着分形现象。如大的波浪、云朵是由与其相似的小波浪、小云朵组成;树木的每一个分枝是整株树的缩影;海岸线、湖岸线是一小段一小段相似弯曲的岸线的整体集合;全流域的水系由主

收稿日期:2000-08-25

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK2001041);中国博士后科学基金资助项目。

作者简介:柯长青(1969-),男,陕西丹凤人,南京大学博士后,从事遥感、地理信息系统及应用研究。

干和支流,一级、再次一级河流构成;黄土高原的沟谷也是由它的形状相似的次级沟谷组成,如此等等。

尽管分形理论的提出使得许多应用学科在研究非规整体方面得到了迅速发展,但由于这一理论目前仍处于起步阶段,以至于还未找到一条适合于非规整体几何分维公式,所以现阶段分形理论的应用研究仍然是在一些基本分形理论的前提下,结合分形特点,去寻找适合于研究对象的分数维公式。

文献[2]在研究中,将分形理论理解为具有下述性质的集合 F :① F 具有精细的结构,亦即有任意小的比例的细节;② F 是如此的不规则,以至它的整体和局部都不能用传统的几何语言来描述;③ F 具有某种自相似的形式,这可能是近似或统计意义下的;④ 在大多数令人感兴趣的情况下, F 具有非常简单的方法来产生,例如迭代法;⑤ 通常的测度不能用来度量 F 的大小。

地理学中的分形研究,在美国、西欧和日本已迅速展开,无论在海岸、河流、地形、城镇分布等各方面都取得可喜的进展^[3]。我国分形理论在地理学中的应用研究已有很多报道,如中国湖泊的分形研究^[4]、水系的分形研究^[5]、城市体系结构的分形研究^[6,7]、以及图形分形理论在沙漠定量研究中的应用^[8]等。

计算分形维数的方法很多,本文采用文献[1]推导的二维欧氏空间的分数维公式来计算湿地资源动态变化的分形维数。

$$\ln A(r) = 2/D \ln P(r) + C \quad (1)$$

式中 $A(r)$ 代表以 r 为量测尺度的某一图斑面积, $P(r)$ 为同一图斑的周长, C 为截距, $2/D$ 为斜率。维数 D 可通过斜率除 2 求得,其值在 1 到 2 之间, D 越大代表图形形状越复杂。当 D 等于 1.5 时,则代表图形处于布朗随机运动状态,越接近该值稳定性越差。

2 湿地资源动态变化的分形研究

为了获得式(1)计算所需的面积 $A(r)$ 和周长 $P(r)$ 数据,本文选用不同年代的遥感影像和地形图两类信息源进行数字化来求得。根据收集到的资料以及分析的需要,遥感影像选用 1996 年 2 月 Landsat TM 图像,合成方案为 5,4,3。地形图有 20 年代的 1:5 万地形图,1958 年的 1:5 万地形图,1975 年的 1:5 万地形图。并且以大比例尺的土地利用图作为辅助信息源。由于选用的资料时间跨度比较长,因此能够很好地反映湿地资源的动态变化。

在 ERDAS 软件里,通过寻找地面标志物加控制点,对 TM 图像进行几何纠正,为了突出湖泊水体、沼泽等地物的遥感影像信息,对经过几何纠正后的 TM 图像,在 ERDAS 软件里再进行边缘增强、灰度变换、IHS 变换、特征提取等处理。综合使用这些处理的结果,突出了地物轮廓,产生了色彩饱和度、对比度及色调等均比较令人满意的图像产品。地形图采用 A4 彩色扫描仪扫描录入,在 ERDAS 软件里也进行简单的处理。

为研究本区湿地资源的近期变迁,该研究工作对 20 世纪 20 年代,50 年代,70 年代和 90 年代共 4 个时期的湿地资源进行图像判读与制图分析。充分考虑该区域的地理特征,如地势低洼、湖塘密布。因此湿地类型主要选择湖泊、水塘、沼泽等地物,以及城镇居民地、交通线路等辅助标志性的信息。对这些地物进行编码,以便在 Coreldraw, ARC/INFO 软件里使用。

首先要建立不同时期的湿地类型判读标志。湖泊在相应时相的遥感图像上都有直接的显示,在图像上均呈蓝黑色、蓝色调,浅水域呈浅蓝色,有挺水植物、漂浮植物时呈红色或红色斑点,图斑光滑,与陆地之间的界线十分清晰、直观,易于判读。沼泽湿地的信息也能得到很好的反映,基本上能够满足本研究的要求,能够反映湿地资源的动态变化。地形图的扫描图像可以根据图例来分析判读湖泊水体、沼泽等地物信息。

本研究的数字化工作主要用 Coreldraw 7.0 软件通过人工交互式目视解译来完成,并将数字化文件输出成 *.dxf 格式。在 ARC/INFO 里将 Coreldraw 里生成的 dxf 文件转化为相应的 ARC/INFO 的 Coverage 文件。把图上坐标转换成实际坐标,这样图斑面积或弧段长度就成了实地面积或长度值。

对不同时期的湿地资源的动态变化,利用 ARC/INFO 的 Pat 文件所提供的信息,对湿地的各个类型的所有图斑的面积与周长数据分别求出自然对数,用最小二乘法拟合出一条面积对数与周长对数关系的直线,将斜率除 2 得出维数 D 值。表 1 为计算得到的 4 个时期不同类型湿地的分形维数。

从表 1 可以看出,所有的 F 检验值远远大于 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验值 (F 分布表),这表明回归效果是显著的,不同时期湿地类型的面积对数与周长对数确实存在着一元线性回归的关系。另外,通过查相关系数检验表 (T 分布表),相关系数都通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验,这二者都表明计算

的分形维数是有一定的理论基础的。利用分形维数、复杂度、复杂程度等。可以解释不同类型湿地的变化情况,例如,稳定程

表 1 4 个时期不同类型湿地的分形维数

Tab. 1 The fractal dimensions of different type wetland during the four periods

时期	编码	湿地类型	图斑数	相关系数	维数	F 检验值	显著性检验 ($\alpha=0.05$)
20 年代	42	湖泊	16	0.933	1.301	180.8	4.67
	46	沼泽	28	0.931	1.400	349.3	4.23
50 年代	42	湖泊	15	0.899	1.094	160.7	4.41
	43	水塘	28	0.847	1.677	144.3	4.23
	46	沼泽	44	0.961	1.375	1109.5	4.07
70 年代	42	湖泊	14	0.787	1.210	55.5	4.54
	43	水塘	43	0.731	1.401	111.6	4.07
	46	沼泽	51	0.944	1.406	824.5	4.04
90 年代	42	湖泊	14	0.807	1.342	50.3	4.60
	43	水塘	174	0.930	1.473	2282.7	3.89
	46	沼泽	155	0.947	1.521	2761.1	3.90

湖泊的分形维数 20 世纪 20 年代至 90 年代分别为 1.301, 1.094, 1.210, 1.342。总体看来,离 1.5 比较远,表明湖泊都处于相对稳定状态,变化程度不大。尽管在里下河地区有过大规模的围湖造田,但围垦的大多数都是沼泽,所以现代湖泊的变化不显著。

水塘的分形维数在 20 世纪 50 年代至 90 年代分别为 1.677, 1.401, 1.473, 离 1.5 都比较近,说明其稳定性不好,变化比较大,尤其是 90 年代,其分形维数最接近 1.5,这与 80 年代以后里下河地区大量开挖水塘,迅猛发展水产养殖业有关。

沼泽的分形维数变化有规可循,在 20 世纪 20 年代至 90 年代分别为 1.400, 1.406, 1.413, 1.521, 离 1.5 都比较近,说明其稳定性最差,变化比较大,这与水利工程的建设、大量的围湖造田、水产养殖业的发展等有关。尤其可以看出随着时间的向后推移,其变化有加刷的趋势,也越来越复杂。相关系数都在 0.9 以上,表明面积对数与周长对数的相关性较好。由于沼泽在整个湿地中所占的比重比较大,它基本上能够反映里下河地区湖沼湿地的变化情况。

参考文献:

- [1] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科技出版社, 1991.
- [2] 顾其钧, 杨海浪, 赵锐. 皮亚诺扫描分形基图译码与压缩[J]. 环境遥感, 1993, 8(4): 300-305.
- [3] 赵锐, 赵宏, 何隆华. 地理现象的分形研究[J]. 地理科学, 1994, 14(1): 9-15.
- [4] 赵宏, 赵安. 中国湖泊分形特征初探[J]. 湖泊科学, 1997, 9(3): 279-283.

3 结 论

自分形理论诞生以来,在很多领域都有成功的应用,在地理学领域的应用也有不少成功的例子,但在湿地动态变化的应用研究中,尚处于起步阶段。通过本文的实例研究,并进行了相关的显著性和可信度校验均达到要求,与实际情况也比较一致,表明分形理论在湿地动态变化研究中大有用武之地,并在以下两个方面有着广阔的应用前景。

1) 湿地动态变化的研究中,利用已有的不同时期的地形图、专题地图,通过分形维数值的变化来研究湿地的动态变化,为资源的合理利用与可持续发展提供决策参考依据。

2) 湿地一般都是比较低洼的集水区,易受洪水灾害的侵袭。在遥感、地理信息系统技术高度发达的今天,通过分形维数的变化并结合遥感与 GIS 技术对湿地所在地区进行洪水灾害易损性评估,做到防患于未然,以减少洪涝灾害的损失。

代等的数据库。这样,就可利用动态分段技术,动态地将属性值分配于不同的管段。

运用 GIS 技术可以有效地对城市管网的管线类别、容量、截面、平面、高程、架设高度、埋设深度、管线之间的平行关系和交叉关系进行管理。建立城市管网信息系统是一项庞杂的系统工程,其中空间

数据库的有效建立尤为重要。研究表明,利用动态分段技术设计建立城市管网空间数据具有数据冗余低、数据维护方便、高效、简便和定位准确的特点。实践表明,该方法是比较实用的,可达到事半功倍的效果。该技术还可应用于公路、铁路、河流、海岸线、海运、空运和油气勘探等领域,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] MOUTAL HP, BOWEN D R, WENDY D. GIS: New York's pipe dream[J]. *Civil Engineering*, 1992, 62(2): 66-67.
 [2] 于海龙, 谢刚生, 邹时林. 基于 Mapinfo 的城市综合管网信息系统的开发[J]. *江苏地质*, 1999, 23(3): 156-161.
 [3] 阎正, 蒋景瞳. 城市地理信息系统标准化指南[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 55-56. (编辑 徐象平)

Spatial database design for urban distribution networks based on dynamic segmentation

PENG Wen-xiang, XUE Hui-feng, ZHANG Hong-cai, LI Xi-ning

(Automatic Control Department, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A method to set up a spatial database for urban distribution networks was presented by means of dynamic segmentation techniques in order to overcome the shortcomings that the conventional arc-node topological model faces in modeling the linear features. Three basic concepts, namely route, measure and event, relating to dynamic segmentation techniques were given in detail. A spatial data model for urban distribution networks is proposed systematically. Finally, a prototype spatial database for urban distribution networks, which is of low redundancy for data storage, easy maintenance and high efficiency for database management, is designed and implemented by integrating dynamic segmentation techniques with the urban distribution network model.

Key words: GIS; dynamic segmentation; underground pipeline; spatial database

(上接第 92 页)

- [5] 何隆华, 赵宏. 水系的分形维数及其意义[J]. *地理科学*, 1996, 16(2): 124-128.
 [6] 刘继生, 陈彦光. 城镇体系等级结构的分形维数及其测算方法[J]. *地理研究*, 1998, 17(1): 82-89.
 [7] 刘继生, 陈涛. 东北地区城市体系空间结构的分形研究[J]. *地理科学*, 1995, 15(2): 136-143.
 [8] 赵永平, 王一谋. 图形分形理论在沙漠化定量研究中的应用[J]. *中国沙漠*, 1995, 15(2): 175-180. (编辑 徐象平)

Fractional research on dynamic variation of wetland resources:

A case study of wetland resources in Lixiahe region, north of Jiangsu province

KE Chang-qing

(Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, 210093)

Abstract: Fractional theory and its characteristics were introduced, so were the computational formula of Fractal dimension and its physical significance. The applications of fractional method on the dynamic variation of wetland resources were investigated, wetland resources in Lixiahe region, north of Jiangsu province, as an example. The fractional dimensions of marshes in Lixiahe region during the different period showed their changes were very severe, and their stability was the poorest one. Basically, the variation of marshes can represent that of wetland because of the very large proportion of marshes in the whole wetland resources in the Lixiahe region.

Key words: Lixiahe region; wetland resources; dynamic variation; fractal