

文章编号: 1007-4619 (2003)02-0136-06

土地利用类型的分维分析

刘纯平¹, 陈宁强², 夏德深¹

(1. 南京理工大学 计算机系 603 教研室, 南京 210094

2. 苏州联创图讯软件有限公司, 苏州 215021)

摘 要: 利用分形几何学对土地利用类型分维公式进行了应用分析。实验结果表明: 土地利用类型的分维值介于 1 到 2 之间, 土地利用类型与分维值有密切关系。土地利用类型的分维值反映了土地利用的复杂程度、稳定程度和变化趋势。分维值 D 为 1.5, 是土地利用变化的临界值点, 代表该土地利用类型处于布朗随机运动状态。分维值越接近该临界值, 该土地利用类型的稳定性越差, 复杂程度越高; 反之, 则该土地利用类型的稳定性较强, 复杂程度较低。不同时相不同土地利用类型的分维值的大小变化反映了土地利用类型的变化趋势, 分维值增大, 则土地利用类型扩张, 反之, 则缩小。

关键词: 分形; 土地利用类型; 分维值

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

分形(Fractal)概念是法国数学家曼德尔勃罗特^[1](B. Mandelbrot)于大约 20 年前提出的。主要研究被传统几何学认为是病态的、不予理睬的那些不够光滑和不够规则的集合函数(如凸凹不平的海岸线、山脉轮廓、地层断面、河网水系、沙丘形态等)。由于分形理论可以通过少量信息重现原来的研究对象,不但具有信息压缩的优点,而且可以借助计算机使研究对象可视化,促使研究更加直观和深入。20 世纪 90 年代以来,地理学中的分形研究迅速发展,在河流、水系、地貌、地形,古气候,冰雪与云,地图与投影,城市规划,沙漠动态变化等方面都开展了许多尝试性的工作^[2-9]。

土地利用类型是一种在自然和人类双重作用下的产物,具有不规则、相对不稳定性和复杂性特征,可以利用分形方法进行探讨。本文的目的就是基于分形理论和已经存在的土地利用图形库对土地利用类型的分维值进行分析,同时探讨土地利用类型的复杂性、稳定性与变化趋势同分维值间的关系。

2 研究区域和土地利用图形库

吴县市位于江苏省南部、长江三角洲中部、太湖之滨。是典型的经济快速发展、土地利用矛盾突出的地区。地处东经 $119^{\circ}55'$ 到 $120^{\circ}54'$, 北纬 $30^{\circ}56'$ 到 $31^{\circ}33'$ 。全县总面积 1634km^2 (不包括太湖水面)。地形相当平坦,水网密布。作为一个经济快速发展的城市,耕地和自然资源被快速转换成居民地、工业和商业用地。研究区域包括了广泛的土地利用类型,同时也展示了明显的变化。所以被选作为详细分析和测试的试验区。

吴县市土地利用图形库由两类图形和统计数据组成。两类图形包括土地利用现状图和土地利用变化图。统计数据以该区域环境变化的典型代表,在所研究的 10 年间发生了明显变化的面积为主。为了建立土地利用图库,选择 1985 年、1990 年和 1995 年 1:10 万陆地卫星 TM 资料为主要信息源,以同比例尺地形图为空间定位、定量的基础图件,建立土地利用图形库的过程见图 1;此外,为更能说明土地利用类型分维值的变化,对土地利用图形库中的内容

收稿日期: 2001-10-15; 修订日期: 2002-12-10

作者简介: 刘纯平(1972—),女,分别于 1996 年 7 月和 1999 年 7 月获得兰州大学地理科学专业理学学士,中国科学院寒区旱区环境工程研究所地理科学专业理学硕士学位。现为南京理工大学智能控制与模式识别专业博士研究生,主要研究方向为图像处理,人工神经网络及模式识别,数据融合等。发表论文 10 余篇。

进行合并, 得到以下几种土地利用类型: 农村居民点、城镇、耕地、林地、园地、交通用地、水面、滩地和鱼池, 同时形成多边形拓扑关系。在分形计算的过

程中, 选取其中的农村居民地、城镇、耕地、林地、园地、水面和鱼池并分别标代码为 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9 进行分维值的计算。

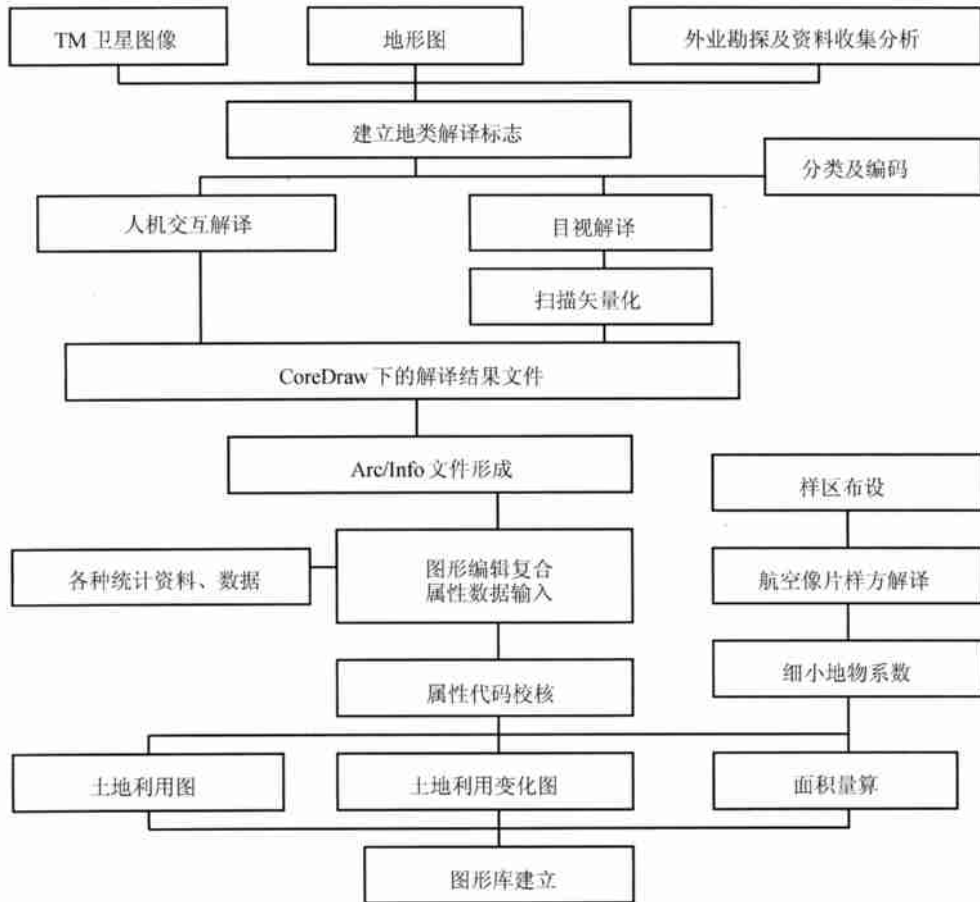


图 1 土地利用图形库建立的流程图

Fig. 1 Flow chart of land use graphic database scheme

3 土地利用分数维公式

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处于起步阶段, 以至还未找到一条适合于非规整体几何的分维公式^[7]。所以现阶段分形理论的应用研究仍是在一些基本分形理论的前提下, 结合分形的特点, 去寻找适合于研究对象的分维公式。

Mandelbrot 在研究动物脑褶分形结构时提出表面积 $S(r)$ 与体积 $V(r)$ 的关系公式^[8]:

$$S(r)^{1/D} \sim V(r)^{1/3} \quad (1)$$

而董连科^[8]在公式(1)的基础上, 用物理量纲分析方法进行推导, 得出了适用于 n 维欧氏空间的分维公式:

$$S(r)^{1/D_{n-1}} = k * r^{n-1-D_{n-1}/D_{n-1}} * V(r)^{1/n} \quad (2)$$

若 $n=2$ 则为二维欧氏空间面积与周长的分维公式。在土地利用变化应用中, 若令 $A(r)$ 代表以 r 为量测尺度的图形面积, $P(r)$ 为同一图斑周长, 对应的分维公式定义如下:

$$P(r)^{1/D} = k * r^{(1-D)/D} * A(r)^{1/2} \quad (3)$$

通过取自然对数公式(3)可变换为:

$$\ln A(r) = (2/D) \ln P(r) + C \quad (4)$$

公式(4)即为土地利用类型分维公式, 分维值 D 为斜率除 2, 其值介于 1 到 2 之间。

4 分维值计算与分析

土地利用类型分维值分析是从土地利用图形库中提取所需信息, 对 1985 年、1990 年和 1995 年三个

时相中,各种土地利用类型的一组面积和周长分别求自然对数,并用最小二乘法拟合出一条对数面积、对数周长的直线(图 2),根据公式(4)即可获得土地利用类型分维值 D 。从图 2 和表 1 中可以看出,各土地利用类型对数面积、对数周长之间具有相当高的相关性,相关系数都 > 0.9 ;同时 F 检验值远远大于显著性检验,说明面积与周长的这种关系并不是偶然发生的,表明分维值 D 的计算是有一定理论依据的, D 值具有一定的含义。下面结合吴县市具体实例,对土地利用类型分维值进行分析。

4.1 分维值的意义

根据 3 个时相的土地利用类型分数维计算,不同的土地利用类型的分维值各自处于一定的数据段中。当 D 为 1.5 时,则代表图形处于布朗随机运动状态^[4],离开 1.5 这个值,图形变化则逐渐趋于稳定。所以当分维值为 1.5 时,土地利用类型处于布朗随机运动状态,是土地利用类型稳定性的临界值点。分维值越接近临界值点,土地利用类型越接近布朗随机运动状态,其稳定性越差;反之,则稳定性较强。 D 越大表示土地利用类型图形形状复杂程度越高;反之复杂程度较低。不同时期不同土地利用类型的分维值大小的变化反映了土地利用类型的变化趋势,分维值增大,则该土地利用类型扩张;反之,则缩小。如果直接统计图形库中的各类土地利用类型的面积比和周长比,只能反映各类土地利用类型在整个区域内面积的扩张或缩小情况,而不能反映各种土地利用类型变化的稳定性和图形的复杂性。所以分维值比面积比和周长比能够反映更多

的隐含信息。因此分维值代表了土地利用类型图形的复杂性和变化的稳定性以及变化趋势。

4.1.1 鱼池

从各时期土地利用类型的分维值(D)可以看出,鱼池的分维值最小,在 1.2 左右,远离临界值 1.5。说明鱼池是吴县市土地利用类型中最稳定、形状最不规则的一种。由于鱼池受人类规划因素影响较大,其接近规则体的隶属度也较其它因子大。从土地利用图中也可以看出,鱼池比较规整地分布于河、湖附近,或由人工按一定的形状在原有耕地上开挖而成。

4.1.2 林地

林地的分维值也较小,分布在 1.30 左右,与土地利用类型临界值 1.50 相差较大,说明林地在一定程度上具有相当大的稳定性,其复杂程度较低。实际上林地大部分分布于山地,由于受自然、经济条件的限制,开发程度较小,较好地保持着原来状态。

4.1.3 农村居民地和城镇

土地利用类型 1 和 2(即农村居民地与城镇),分维值比较接近,这也比较符合农村居民地、城镇的形状基本接近,都受到不同程度的人类规划的影响的现实情况。分维值与临界值相差较小,说明其具有较大的不稳定性。分维值比前两种类型的增大,其复杂程度也相应增大。从表 1 中的图斑数量也可以看出,这两种土地利用类型的数量较多,特别是农村居民地,说明其图形比较细碎,星罗棋布地分布于整个区域。参照土地利用动态变化图可以看出,农村、城镇居民地的变化十分显著,城镇面积不断扩张,新农村居民地在不断建立,居民地的分布越来越

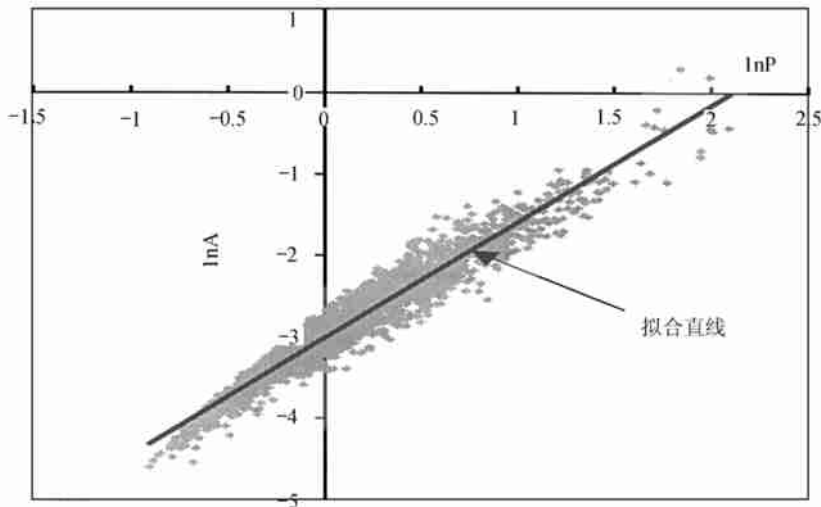


图 2 1995 年农村居民点面积与周长自然对数的拟合曲线

Fig. 2 The fitting line of natural logarithm area and perimeter of rural residential area in 1995

表 1 三个时相的各土地利用类型分数维*

Table 1 The fractal dimension (D) of all land use types in three time stages

时期	代码	土地利用类型	图斑数(个)	相关系数	维数(D)	F 检验值	显著性检验(0.05)	面积百分比/%	周长百分比/%	
1985	1	农村居民点	2556	0.934	1.386	36309	6.63	4.51	23.84	
	2	城镇	144	0.941	1.453	2252	6.81	2.60	5.02	
	3	耕地	145	0.971	1.528	4727	6.81	29.98	39.92	
	5	林地	54	0.961	1.308	1290	7.17	3.53	3.68	
	6	园地	94	0.957	1.723	2040	6.90	2.06	5.40	
	8	水面	122	0.901	1.532	1238	6.84	55.38	17.66	
	9	鱼池	189	0.921	1.210	2166	6.76	1.64	3.66	
	1990	1	农村居民点	2580	0.940	1.390	40470	6.63	4.83	23.88
		2	城镇	135	0.950	1.463	2515	6.83	3.51	6.08
3		耕地	160	0.970	1.554	5140	6.80	28.38	38.87	
5		林地	54	0.961	1.308	1290	7.17	3.53	3.52	
6		园地	99	0.958	1.710	2201	6.19	2.22	5.50	
8		水面	128	0.900	1.530	1181	6.84	54.44	16.89	
9		鱼池	208	0.928	1.188	2658	6.76	2.50	4.26	
1995		1	农村居民点	2575	0.947	1.400	46185	6.63	5.345	23.73
		2	城镇	116	0.948	1.482	2091	6.87	4.69	6.99
	3	耕地	207	0.974	1.582	7553	6.67	26.14	37.94	
	5	林地	54	0.961	1.308	1290	7.17	3.53	3.30	
	6	园地	102	0.956	1.712	2198	6.90	2.25	5.23	
	8	水面	130	0.900	1.515	1196	6.83	53.15	15.56	
	9	鱼池	246	0.935	1.220	3488	6.74	3.60	5.33	

*表 1 的数据为直接图上数据, 未经比例尺转换

广泛。特别是城镇的分维值又稍大于农村居民地, 表明城镇的不稳定性更大些, 城镇的扩张速度更快。

4.1.4 耕地

耕地的分维值为 1.52—1.58 之间, 最接近 1.5, 是所有土地利用类型中最不稳定的因素, 并具有很大的潜在运动趋势。城镇的不断扩张, 新的农村居民地的建立, 园地的开发, 交通用地的占用等, 都是建立在耕地面积不断减少的基础上, 使耕地的形态不断遭到破坏。耕地所占的面积百分比和周长百分比分别在 30%和 38%左右, 说明其在整个区域的土地利用中具有重大决定性因素, 决定了该区域的土地利用发展趋势。

4.1.5 水面

水面计算所得的分维值不能很好地反映出该区域的水面变化情况。主要原因是: 水面包括河流与湖泊两个部分, 其在形态上具较大的差别, 而本例中将两者作为一个整体进行分维值计算。

4.1.6 园地

园地的分维值最大, 达 1.7 以上, 这是由于吴县市具体的自然地理环境影响的结果。平原地形自西向东微斜, 海拔高度自 6.5m 降至 2m 左右。吴县市东部为平原河网地区; 西部为低山丘陵, 呈“岛”状分布, 孤立分散于太湖之中或沿岸平原。而园地主要就分布于丘陵地区, 由于丘陵地区复杂的地形从而导致分维值偏大。从其偏离 1.5 较远来看, 园地还是比较稳定, 变化相对较小。

4.2 分维值的变化

从表 1 中可以看出, 吴县市土地利用变化具有耕地、湖泊面积减少, (除林地变化较少外) 其它类型土地面积不断增加的特点, 而且这种趋势在逐渐加强。1985、1990、1995 年三时期的各种土地利用类型总平均分维值分别为 1.448、1.449 和 1.460。这说明在这 10 年间, 土地利用类型变得更加复杂, 不稳

定性不断增强。特别是 1990 年至 1995 年期间,分维值变动幅度较大,土地利用类型的复杂性和不稳定性更强,土地利用变化更快。这种土地利用变化趋势也可以从统计图形库中的面积比与周长比的变化得到映证。1985 年耕地与水面的面积占总面积的 85.36%,到 1990 年降为 82.82%,而 1995 年降为 79.29%,下降的速度进一步加快。相应的周长百分比也从 1985 年的 57.58%到 1990 年的 55.76%,直至 1995 年的 53.50%。相反其它类型的土地不断侵占耕地与湖泊,面积不断扩大。

居民地包括农村居民地与城镇,在整个土地利用类型中所占比重逐渐扩大。1985、1990、1995 年的农村居民点的分维值分别为 1.386、1.390 和 1.400,分维值逐渐增大,显示出其形态更加复杂,变化更加不稳定,同时也说明农村居民点有逐渐扩张的趋势。城镇居民点的分维值大于农村居民点,三个时段的分维值分别为 1.453、1.463 和 1.482。其值随着时间变化逐渐增大,而且越来越接近临界值 1.5,表明城镇的变化比农村居民点更为剧烈,不稳定性更强,形态更加复杂。

耕地的分维值 1985、1990、1995 年分别为 1.528、1.554 和 1.582。在所有土地利用类型中最接近于临界值 1.5,显示耕地在土地利用中是变化最迅速,形态最复杂的要素。随着时间推移,分维值逐渐变大,显示其复杂程度还在增加,但分维值离开不稳定状态的临界值越来越远,具有逐渐向稳定发展的态势。

湖泊的变化主要与围湖养殖、转变为滩地有关,其中围湖养殖是湖泊减少的主要因素。从表 1 来看,其面积的变化在 1990 至 1995 期间也有加速减少的趋势,这也与分维值在 1985 到 1990 期间维持在 1.53 左右,到 1995 年时减到 1.515 相一致。

鱼池分维值的变化先减少后增加,其值分别为 1.210、1.188 和 1.220。说明鱼池形状比较规整,复杂程度较小。但分维值都远离临界值 1.5,接近规则体的分维值,表明鱼池的变化受人为活动的影响较大,基本由人类按一定的规则形状开挖而成。鱼池分维值的这一变化表明吴县市在这期间调整产业结构,使养殖业得到了较为迅速的发展。

园地与林地因受吴县市西南孤岛地形的制约变化不突出,园地的分维值变化较小,林地的分维值在本文研究的时段内没有发生变化。而园地和林地的分维值均远离临界值 1.5,说明这两种土地利用类

型变化不大,处于比较稳定的状态。园地的形态是所有土地利用类型中最复杂的一类,而林地是除鱼池以外,形态最不复杂的一类。这一结论与吴县市土地利用的实际情况也相一致。

5 讨论与结论

综上所述,土地利用类型分维值的大小和变化趋势可以分别揭示出土地利用变化稳定性和形状复杂性信息以及变化趋势。也就是说,通过土地利用图形库中数据的分维计算,土地利用动态变化特征可以从所获得的分维值的变化得到一定的反映。当分维值接近于 1.5 这一临界值时,土地利用类型处于布朗随机运动状态。分维值与临界值 1.5 相差越大,则土地利用类型越稳定,形态复杂性也越小;分维值越接近于临界值 1.5,则土地利用类型越不稳定,形态复杂性也越大。同时,不同时相间不同土地利用类型分维值的变化大小也反映出土地利用变化的趋势。分维值增大,则土地利用类型在扩张,反之,则缩减。

参考文献(References)

- [1] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature [M]. W H Freeman, New York, 1982.
- [2] Zhao R, Zhao H, He L H, *et al.* The fractal approach to geography phenomena [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 14(1): 9-15. [赵锐,赵宏,何隆华等.地理现象的分形研究[J].地理科学,1994,14(1):9-15.]
- [3] He L H, Zhao H. The fractal dimension of river networks and its interpretation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 16(2): 124-128. [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.]
- [4] Zhao Y P, Wang Y M. Graphic fractionation and its application based on quantitative research of desertification [J]. *Journal of desert research*, 1995, 15(2): 175-180. [赵永平,王一谋.图形分形利用在沙漠化定量研究中的应用[J].中国沙漠,1995,15(2):175-180.]
- [5] Lin S Y, Zhao R, *et al* (Editors), Wang J S, Zhao A, *et al.* (Translators). The fractal of Geography [M]. Beijing: Science Press, 1997. [林绍颜,赵锐等著,王嘉松,赵安等译.地理学中的分形[M].北京:科学出版社,1997.]
- [6] Zhao X P, Xu B, Huang F, *et al.* HorQin sandy area dynamic research based on the thematic cartographic database system [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 18(1): 32-38. [赵永平,徐斌,黄芳等.基于专题图形库系统的科尔沁沙地动态研究[J].地理科学,1998,18(1):32-38.]
- [7] Falconer K J. Fractal Geometry, Mathematical Foundations and Applications [M]. Wiley, 1990.
- [8] Dong L K. Fractal theory and application [M]. Shenyang: Science Publishing House of Liaoning, 1991. [董连科.分形理论及应用[M].沈阳:辽宁科学出版社,1991.]

Fractal Dimension Analysis of Land Use Types

LIU Chun-ping¹, CHEN Ning-qiang², XIA De-shen¹

(1 *Computer Vision Lab, Dep. of Computer, Nanjing Univ. of Sci. & Tech. (NUST), Nanjing 210094, China;*

2 *Suzhou Uninapper Ltd., Suzhou 215121, China*)

Abstract: Based on fractal geometry method and land use graphics database, this paper describes an algorithm for fractal dimension of land use types. The algorithm is a fractal dimension expression about area and perimeter. And this algorithm is applied to analyze the change feature of land use types. The experimental results indicate that fractal dimension (D) values vary from 1 to 2 and the certain land use types is associated with the fractal dimension D . The D of land use types reflects the degree of complexity, stability and change tendency of land use change. When the value of D is 1.5, namely D is critical value; the change mode of land use types is Brown random movement. The more the value of D is closer to the critical value, the more the stability of land use type is worse, and the complexity of land use type is higher; verse vice. Moreover, the D change or certain land use type reflects the change tendency of this type in different time periods. When the D of certain land use type increases, its area also increases; verse vice, its area decreases. The experiment has been done and supports this conclusion.

Key words: fractal; land use types; fractal dimension