矢量和栅格数据土地利用结构分维值比较
——以苏州为例

张 晶[1],濮励杰[1,2],朱 明[1],许 艳[1],李 鹏[1]
(1. 南京大学地理与海洋科学学院,南京 210023; 2. 国土资源部土地利用重点实验室,北京 100029)

摘 要:分形理论对处理土地利用结构之类的非线性对象具有较强实用价值,分维值作为该理论的重要测度指标,其计算常基于栅格数据,由此导致了土地结构边界信息的损失,也减弱了分维值对土地利用空间结构特性的揭示作用。本文以苏州市1:10万土地利用数据为例,对研究区的土地利用空间格局进行分形分析,通过分析不同栅格大小的土地利用分维值,建立分维值与栅格粒度之间的定量关系,并通过栅格数据推算矢量分维值,分析推算误差及其原因。结果表明,苏州市土地利用格局符合分形理论的一般规律;苏州市整体土地利用程度较高,耕地、建设用地结构较为简单,而未利用地、林草地结构较复杂,水域斑块结构复杂性较低;随着栅格粒度的增加,土地利用分维值呈现增加趋势,且粒度与分维值之间存在二次函数的定量关系,可以通过此关系式在一定误差范围内推求矢量数据的土地结构分维值,斑块数量与整体规模是影响推求精度的重要原因。

关 键 词:分维值;粒度;数据类型;土地利用;苏州
doi: 10.11820/dlkxjz.2013.06.010

1 引言

由Mandelbrot(1967)于20世纪60-70年代提出的分形理论,主要揭示和研究自然界中常见的、变幻莫测的、不稳定不规则的现象所隐藏的规律性,为非线性研究提供了很好的切入点,在地形地貌(朱晓华等, 2002; 孙祝友等, 2010)、遥感图像处理(李厚强等, 2001; 何凯等, 2008)、地质分形(张洪恩等, 2002)、土壤粒度特征(丁文峰等, 2002; 张威等, 2010)等诸多地学领域(Goodchild, 1987)发挥了重要作用,在城市形态(Batty et al, 1987; 陈彦光等, 2007; 成功等, 2012; 冯健, 2003)和土地利用结构(Jenerette, 2001; 贾文臣等, 2009; Mohammad et al, 2010; 朱晓华等, 2005)等研究领域也取得了一系列成果。

地球表层系统作为人类赖以生存的维持系统,最突出的景观标志是土地利用与覆盖(黄秉维等, 1999)。土地利用系统是典型的复杂非线性动力系统,其格局从时间和空间维度受自然因素和社会经济因素的影响,结构具有高度的多维性,用分形理论对土地利用系统进行探讨具有较强的理论价值(陈彦光, 2001);大量研究表明,区域土地利用结构具有近似的或者统计意义上的分形特征(Batty et al, 1987; 刘晓辉等, 2008; 朱晓华等, 2006)。

土地利用边界分维值所揭示的是土地利用形态的边界信息,矢量数据对于反映土地空间结构信息具有更高的真实度和准确度(崔步礼等, 2009)。由于以矢量数据为基础,借助SPSS或Excel等统计软件进行大批量数据的分维值计算时(吴浩等, 2008),过程繁琐且速度较慢、可移植性差,因此目前对于分维值的计算多采用栅格化数据,借助相关程序或已有软件包进行计算,由此导致了计算精度的损失和不规则信息的缺失。空间数据粒度或幅度的改变均会对地理现象的表达、分析的抽象程度、清晰程度、空间与时间结构模式造成一定影响(Jelinski et al, 1996; 刘凯等, 2010; 邬建国, 2000),矢量数据的栅格化所造成的影响尤为明显,长期以来受到众多学者的关注,不同粒度水平下的地理信息

收稿日期:2012-12;**修订日期:**2013-04.
基金项目:国家自然科学基金重点项目(41230751);国家"十二五"科技支撑计划项目(2012BAC01B01)。
作者简介:张晶(1988-),女,湖北黄冈人,硕士研究生,主要研究方向为土地利用生态效应。E-mail: zhangjing5043@126.com
通讯作者:濮励杰(1965-),男,江苏吴江人,博士,教授,博士生导师,主要从事土地利用与生态效应研究。
E-mail: ljpu@nju.edu.cn

的差异化也为许多研究所揭示(白燕等, 2011; 陈粲等, 2011; Wu, 2004; 赵文武, 2003);作为景观生态学指标之一,分维值出现在众多生态学研究中,许多研究表明,其值随着栅格粒度的变化呈现明显的变化(赵文武, 2003)。

基于以上认识,本文探讨矢量数据栅格化过程中粒度变化对土地利用分维值的影响,重点探讨栅格数据分维值与矢量数据分维值之间的关系,在将矢量数据视作粒度为0的栅格数据这一理论假设前提下,研究通过粒度与分维值之间的关系构建栅格数据分维值、推算矢量数据分维值的可能性,并讨论其精度的影响因素。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

苏州市位于江苏省南部,长江三角洲中部,东靠上海,南连浙江,北枕长江,区位优势明显。苏州属亚热带季风海洋性气候,气候温和,四季分明,雨量充沛。全市地势低平,平原占总面积的55%,水网密布,土地肥沃,物产丰富。凭借其自然资源以及独特的交通区位优势,苏州市经济发展迅猛,成为长三角乃至全国发展势头较好的地区之一。

20世纪80年代以来,随着经济的高速增长,苏州市城镇化速度不断加快,2011年城市化率已达70.6%。在城市扩张过程中,建设用地扩张迅速,耕地面积急剧减少,土地利用结构发生了很大的改变,土地资源与城市建设的矛盾日益突出,因此对这一城市化典型地区进行土地利用结构的分析比较具有代表性与现实意义。

2.2 数据来源及处理

本文采用2008年苏州市TM遥感影像(30 m×30 m分辨率)进行人机交互解译得到的1:10万土地利用矢量数据(图1)。为便于分析,结合苏州市的土地利用特征,将原有的土地利用分类归并为耕地、林草地、水域、建设用地、未利用地等5类,并通过ArcGIS 9.3转换处理得到20~400 m之间不同粒度的栅格数据。

2.3 研究方法

Batty等(1987)最初借助分维探讨城市边界,提出城市形态的边界维数概念,后来被应用到研究城市土地利用的空间结构。边界维数的定义可从多个角度出发,本文采用面积—周长关系进行计算。

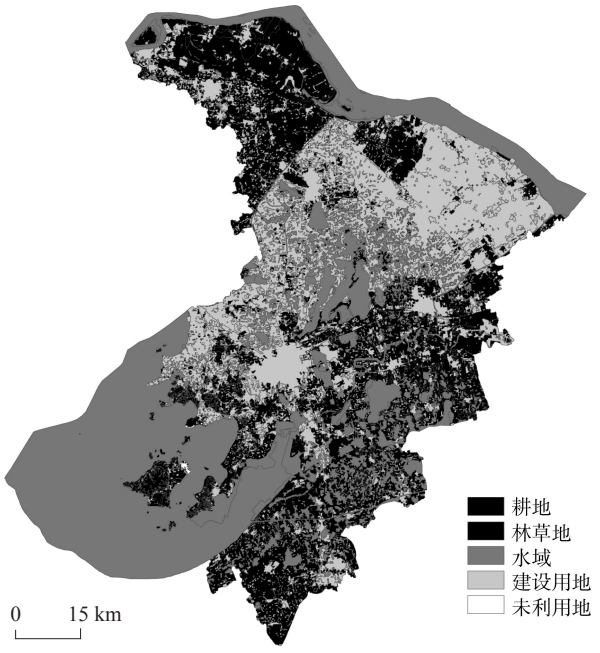


图1 2008年苏州市土地利用图

Fig.1 Land use map of Suzhou in 2008

对于周长为P,面积为A的二维图形,假定其分维值为D,根据几何测度,有如下关系:

$$P^{1/D} \propto A^{1/2} \tag{1}$$

表示成一般形式为:

$$P^{1/D} = K \times A^{1/2} \tag{2}$$

对公式(2)加以变换,同时取以自然常数e为底的对数,得到(3)式:

$$\ln A = \frac{2}{D}\ln P - \ln K \tag{3}$$

式中:对于土地利用分形研究领域,A为某一地类斑块面积,P为相应斑块周长,$\ln K$为待定常数项。根据该式,如果某一研究区域内土地利用格局具有分形结构,则$\ln P - \ln A$散点在一定标度域内的同一条直线上(符合统计规律),可以通过散点图的拟合直线斜率得到土地利用结构分维数D的值:$D=2/k$(k为拟合直线的斜率)。

城市土地利用边界维数可反映各种用地在空间上交错与渗透的复杂程度,取值在1~2之间;分维值越大,则错综复杂程度越高(Batty et al, 1988)。

本文对于土地利用结构的分维值计算主要基于以上模型,其中对于土地利用矢量数据是直接用双对数线性回归进行拟合而得出景观层次以及类型层次(耕地、林草地、水域、建设用地和未利用地)的分维值;栅格分维值是运用Fragstats 3.3软件相关模块计算得到的。

3 结果与分析

3.1 苏州市土地利用格局分形特征

根据苏州市2008年土地利用矢量数据，基于公式(3)建立景观层次以及单个用地类型层次图斑的周长—面积双对数散点图，建立各地类一元线性回归模型，计算分维值(表1)。结果显示，各土地利用类型的周长、面积对数关系式的拟合度都大于0.93，这说明面积与周长的关系并非偶然，苏州市的土地利用格局具有分形特征。

苏州地处中国经济活动最为发达的长三角地区，是中国城市化进程最为迅速的地区之一，从建设用地规模来看，2008年苏州市土地开发强度达到31.7%，超过国际惯例30%的警戒线。从表1的计算结果来看，苏州景观层次的土地利用分维值为1.3932，土地利用结构的复杂性相对较低，表明在快速的城市化进程中，苏州市土地利用格局受到了高强度的人类活动改造，其结构相对比较规则，分维值较低。

在用地类型层次，5种地类土地利用分维值的大小为：未利用地>林草地>耕地>建设用地>水域。苏州市未利用地的分维值最高，为1.5173，是复杂度最高的地类，其次是林草地。未利用地主要指的是尚未被开发利用的土地，在本研究区主要有盐碱地、裸土地、裸岩石砾地，该类用地开发潜力较小，利用较困难，且面积有限，使得这一地类上的人为开发活动比其他地类小得多，地类斑块的自然特性较高，反映在复杂程度上，就是分维值较高。苏州市林草地的面积较小，且在城市生态环境改善中起着重要作用，因此在生态文明建设大背景下，对这类土地的开发利用活动有限，分维值较高。

耕地和建设用地的分维值在所有地类中偏低。这两种用地类型在城市化建设中，随着城镇不断扩张，交通用地、工业园区等各项建设用地的增加大多是建立在耕地面积不断减少的基础上；此外，由于土地整治、小斑块合并等持续不断的对耕地结构的人为干扰，耕地形态复杂性较低；建设用地是直接用于生产和生活的土地，具有非生态性和利用方向变更的困难性，其结构人工化程度较高，因而比较规则。

水域是所有地类中分维值最低的。受人工建设的水库、沟渠等水利设施的影响，水域斑块结构的复杂性较低。需要说明的是，水域包括边界较为规则的水库沟渠等设施用地和自然特性较显著的河流湖泊，这两类用地的形态结构存在一定差别，但在本文中未进一步细分。

3.2 苏州市土地利用边界分维值的粒度效应关系

本文将苏州地区土地利用数据通过ArcGIS9.3转换，获得20~400 m之间不同粒度的栅格数据，用景观分析软件Fragstats 3.3计算不同粒度下的周长—面积分维值(PAFRAC)(表2)。相关研究显示，多种景观格局指数对粒度变化都有明显响应，变化趋势表现出明显的非线性特征(孟陈等, 2007)。对于景观指数之一的分维值，Wu等(2002)发现景观生态学中的分维值和传统意义上的分维值存在差别；在景观生态学中，双对数分维值(PAFRAC)随着粒度的增加呈上升趋势，且出现不明显转折点；另有研究指出在不同的粒度区间，分维值呈现不同的变化趋势(游丽平等, 2008)。

在本研究区内，根据景观层次以及类型层次不同粒度下分维值的计算结果，随着栅格粒度的变化，景观层次以及除未利用地以外的所有地类的土地利用分维值都呈现规律的增加趋势，在不同的粒度下出现不明显拐点，这与其他学者的研究结果类似(赵文武等, 2003; 朱明等, 2008)。矢量数据栅格化实质是对数据进行加工处理的过程，粒度的增加会导致信息损失量增加，进而改变面状结构信息，包括分维值在内的许多景观指数也发生变化。粒

表1 2008年苏州市景观层次和类型层次土地利用结构分维值

Tab. 1 Land use fractal dimensions of landscape and type levels of Suzhou in 2008

用地类型	斑块数	总面积/km^2	周长—面积对数关系式	R^2	分维值D
景观层次	7640	8636.12	$\ln A$=1.4355 $\ln P$+0.9413	0.9422	1.3932
耕地	1242	2440.26	$\ln A$=1.401 $\ln P$+1.1909	0.9445	1.4276
林草地	366	205.91	$\ln A$=1.381 $\ln P$+1.3739	0.9320	1.4482
水域	1260	3248.18	$\ln A$=1.4506 $\ln P$+0.9394	0.9339	1.3787
建设用地	4760	2737.02	$\ln A$=1.4377 $\ln P$+0.8987	0.9429	1.3911
未利用地	12	4.75	$\ln A$=1.3181 $\ln P$+1.9725	0.9666	1.5173

表2 2008年苏州不同空间粒度下景观层次和类型层次土地利用结构分维值

Tab. 2 Land use fractal dimensions of landscape and type levels with changing grain sizes of Suzhou in 2008

斑块粒度/m	景观层次	耕地	林草地	水域	建设用地	未利用地
矢量	1.3932	1.4275	1.4482	1.3787	1.3911	1.5173
20	1.3708	1.3717	1.3377	1.3605	1.3886	1.5499
30	1.3913	1.4041	1.3319	1.3820	1.4068	1.5404
40	1.3983	1.4137	1.3519	1.3895	1.4108	1.5542
50	1.4072	1.4217	1.3599	1.4026	1.4191	1.5772
60	1.4072	1.4257	1.3619	1.3948	1.4218	1.5608
70	1.4117	1.4364	1.3759	1.4015	1.4213	1.5122
80	1.4183	1.451	1.37	1.4033	1.4296	1.5299
90	1.4249	1.4516	1.3741	1.4191	1.4330	1.5606
100	1.424	1.4568	1.3818	1.4158	1.4308	1.49
120	1.44	1.4726	1.4014	1.4273	1.4499	1.5421
140	1.4409	1.4834	1.3831	1.428	1.4487	1.4981
160	1.453	1.5075	1.3941	1.4331	1.461	1.5322
180	1.4663	1.505	1.4026	1.4411	1.4691	1.4565
200	1.4663	1.5173	1.4085	1.4421	1.4779	1.4871
220	1.4754	1.5178	1.4248	1.4548	1.4914	1.5047
240	1.4828	1.538	1.4342	1.4587	1.491	1.5075
260	1.4896	1.5402	1.418	1.472	1.4991	1.4937
280	1.4949	1.54	1.4236	1.4842	1.5035	1.429
300	1.5007	1.5598	1.4415	1.4748	1.5106	1.5395
320	1.5051	1.5536	1.4422	1.4806	1.5192	1.4484
340	1.5096	1.5531	1.4338	1.4896	1.5241	1.3165
360	1.5066	1.5667	1.4387	1.4779	1.5193	-
380	1.5157	1.5612	1.4371	1.5005	1.5261	-
400	1.5214	1.5661	1.4236	1.4962	1.5484	-

注：由于未利用地斑块少、面积小，当采样粒度为360 m及以上时，已无未利用地斑块数据。

度增加情况下许多景观指数的稳定区间或明显转折点往往成为景观格局分析中适宜粒度的选取依据(赵文武等, 2003)，但笔者认为，边界分维值作为表征土地利用结构边界信息的重要参数，矢量数据反映的信息较为完整，不同粒度的栅格化程度不同地损失了土地利用结构的边界信息。

3.3 苏州市矢量数据和栅格数据的土地利用结构分维值比较

从以上结果来看，栅格数据和矢量数据分维值之间存在明显的差异，且不同地类所呈现的差异也不同。矢量数据景观分维值为1.3932，与30~40 m粒度的栅格分维值接近；对于耕地而言，60~70 m栅格分维值与矢量值相近；水域和建设用地在粒度为20~30 m时两者接近；林草地矢量分维值高于研究范围内所有粒度下的分维值；而未利用地由于其分维值在粒度变化下呈现无序性，较难判断最接近矢量值的粒度。

赵文武等(2003)、徐丽等(2010)认为，部分景观指数随粒度变化的响应曲线可以用二次函数、三次函数、幂函数或者线性函数进行拟合，按照这一思路，参照分维值在粒度改变下的变化趋势，用多种函数进行拟合，最终选择拟合效果相对较好的二次函数，除未利用地外拟合度均在0.95以上，其中景观层次的拟合度达到了0.9925(图2，表3)。地学模型的主要目标之一是对现实情况的解释说明(陈彦光, 2008)，由于尚不清楚分维值随粒度变化的物理机制，因此仅从拟合效果来选取函数模型，从分维值数值的变化特征来看，该拟合方法在一定程度上可接受，此外结合本文的实际探讨范围，定义粒度变量取值为0~400 m(图2，表3)。

未利用地由于斑块少，面积小，统计意义不明显，在栅格化过程中信息损失较大，分维值在粒度

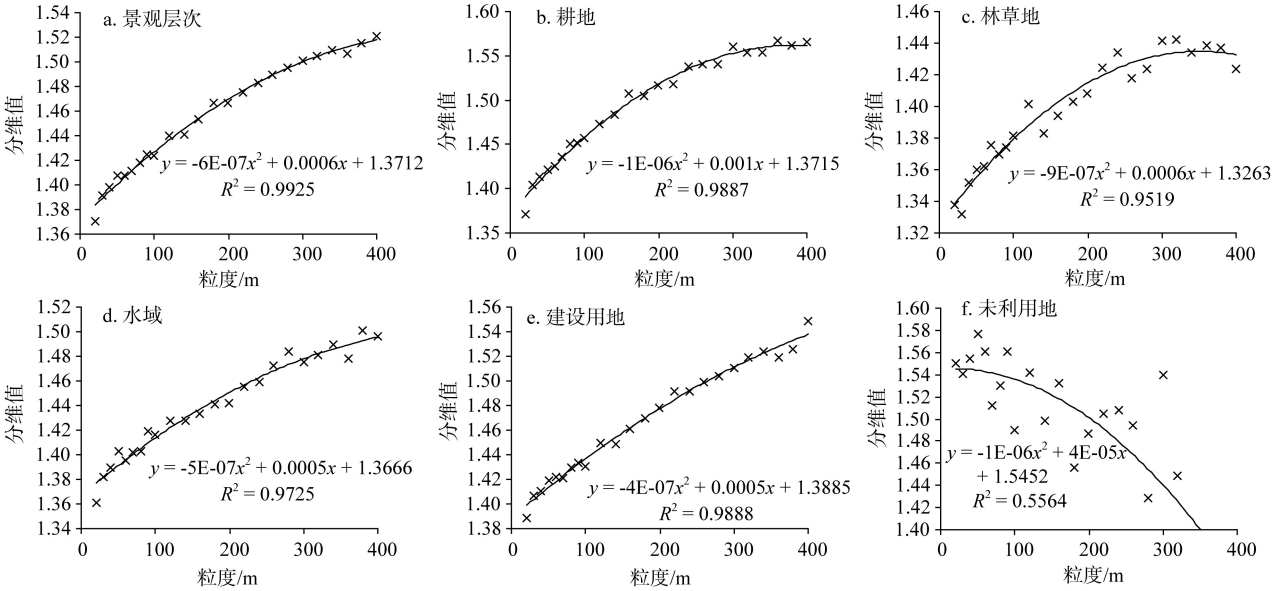


图2 苏州市景观层次及类型层次土地利用分维值与粒度的关系

Fig. 2 Relationships between land use fractal dimensions and grain sizes of landscape and type levels

表3 基于关系式推求矢量分维值与利用矢量数据计算值的对比

Tab. 3 Comparision between vector fractal dimensions based on quadratic-polynomial-model and vector data

用地类型	斑块数	总面积/km²	分维值—粒度关系式	R^2	推求值(C)	矢量值(V)	误差率δ/%
景观层次	7640	8636.12	y=-6E-07x^2+0.0006x+1.3712	0.9925	1.3712	1.3932	-1.579098
耕地	1242	2440.26	y=-1E-06x^2+0.001x+1.3715	0.9887	1.3715	1.4275	-3.922942
林草地	366	205.91	y=-9E-07x^2+0.0006x+1.3263	0.9519	1.3263	1.4482	-8.417346
水域	1260	3248.18	y=-5E-07x^2+0.0005x+1.3666	0.9725	1.3666	1.3787	-0.877638
建设用地	4760	2737.02	y=-4E-07x^2+0.0005x+1.3885	0.9888	1.3885	1.3911	-0.186902
未利用地	12	4.75	y=-1E-06x^2+4E-05x+1.5452	0.5564	1.5452	1.5173	1.838793

变化情况下变化规律不明显。

理论上,当栅格粒度无限逼近0 m时,栅格数据的边界信息也应无限接近矢量图形。根据这一假设,基于表3中的关系式计算栅格粒度为0 m时的分维值(即推求值),与根据原始矢量数据进行计算的土地利用分维值进行比较,其中δ%=100%×(C-V)/V。表3结果显示,在一定误差水平内,通过栅格数据推求矢量数据的分维值具有可行性。

误差率的结果表明,当地类斑块数量多且分布规模相对较大时,误差较小,即在相同处理过程下,对地类斑块数量多、总体规模大的矢量数据进行栅格化带来的信息损失量比其他地类要小,这也解释了斑块数少、面积小的未利用地在进行多尺度拟合时呈现出的规律性较不明显的现象。此外,构建分维值与粒度之间的关系模型可能不仅限于二次关系式,但更为精确有效的方式有待深入研究。

目前土地利用矢量数据多是根据遥感图像借助ArcGIS等相关软件进行矢量化得到,土地结构信息经过加工处理,与自然结构信息存在一定的差别,因此讨论数据的表达方式或处理程度对了解其自然状态下的结构信息具有一定的价值。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文通过2008年苏州市TM遥感影像数据得到的1:10万土地利用数据,对研究区的土地利用结构进行分形分析。研究表明,苏州市土地利用结构的分形特性非常明显,运用分形理论对该地区进行分析具有一定的可靠性。由于苏州市社会经济高度发展,该地区土地利用强度较大,受人类活动影响较大的耕地、建设用地的分维值较小,结构相对比较简单;受水利设施等工程的影响,水域地类结构较为规则;未利用地和林草地受人类影响相对较

小,保持了较高的自然属性,分维值较大,斑块结构复杂程度较高。

对苏州市不同土地利用类型在栅格粒度改变情况下的分维值变化进行探讨,并通过二次函数来拟合土地利用边界分维值随粒度的响应曲线;进一步将矢量数据看作取样粒度为0 m的栅格数据,根据拟合关系式计算粒度为0 m的分维值;与直接用矢量数据进行计算得到的分维值进行比较,结果显示两者较为接近。

4.2 讨论

矢量数据栅格化是地学研究中常用的数据处理方法,栅格化程度导致的信息变化也为众多学者所重视。近年来,对土地利用边界维数的研究较多,均反映出不同数据类型所表征的土地利用结构边界信息存在差异。通过将矢量数据看作粒度大小为0的栅格数据这一假设,可以为矢量和栅格数据分维值的研究探索新的途径,同时对获取土地利用形态结构在自然状态下的结构信息具有一定价值。

由于目前对包括边界分维值在内许多景观指数随粒度变化而变化的内在机理尚缺乏有效合理的解释,因此在模型的选择上,本文以响应曲线的拟合精度为出发点。如何根据响应曲线的数学或者物理过程进行更为精确的建模,以及如何根据这种机理模型准确高效地获取土地斑块的自然结构信息,并为土地利用空间格局的优化调整提供信息支撑,是值得思考的方向。

参考文献(References)

Batty M, Longley P A. 1987. Urban shapes as fractals. Area, 19(3): 215-221.

Batty M, Longley P A. 1988. The morphology of urban land use. Environment and Planning B, 15(4): 461-488.

Bai Y, Liao S B, Sun J L. 2011. Evaluating methods and scale effects of attribute information loss in rasterization: A case study of 1:250000 land cover data of Sichuan. Acta Geographica Sinica, 66(5): 709-717. [白燕, 廖顺宝, 孙九林. 2011. 栅格化属性精度损失的评估方法及其尺度效应分析: 以四川省1:25万土地覆被数据为例. 地理学报, 66(5): 709-717.]

Chen C, Zhang Z Q, Shi X Z, et al. 2011. Relationship of soil vector maps of different classification grades and the smallest dividable raster. Acta Pedologica Sinica, 48(3): 470-478. [陈粲, 张忠启, 史学正, 等. 2011. 不同分类级别土壤矢量图与最小可分栅格的关系研究. 土壤学报, 48(3): 470-478.]

Chen Y G, Liu J S. 2001.An index of equilibrium of urban land-use structure and information dimension of urban form. Geographical Research, 20(2): 146-152. [陈彦光, 刘继生. 2001. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维. 地理研究, 20(2): 146-152.]

Chen Y G, Liu J S. 2007. On fractal dimension calculation and analysis of urban form. Human Geography, 22(3): 98-103. [陈彦光, 刘继生. 2007. 城市形态分维测算和分析的若干问题. 人文地理, 22(3): 98-103.]

Chen Y G. 2008. On the building and selection criteria of models in geography: Impacts of non-Euclidean Geometry on geographic methodology. Journal of Subtropical Resources and Environment, 3(4): 1-7. [陈彦光. 2008. 地理学的模型建设及其选择标准: 简析非欧几何学对地理学研究方法的影响. 亚热带资源与环境学报, 3(4): 1-7.]

Cheng G, Li R J, Zhang J H, et al. 2012. The spatial fractal characteristics of teahouse's random aggregation in Chengdu City. Progress in Geography, 31(6): 701-710. [成功, 李仁杰, 张军海, 等. 2012. 成都茶馆空间随机聚集分形特征研究. 地理科学进展, 31(6): 701-710.]

Cui B L, Chang X L, Zuo D H, et al. 2009. Rasterizing vecter data and its scaling effect for a sand landscape. Acta Ecologica Sinica, 29(5): 2463-2472. [崔步礼, 常学礼, 左登华, 等. 2009. 沙地景观中矢量数据栅格化方法及尺度效应. 生态学报, 29(5): 2463-2472.]

Ding W F, Ding D S. 2002. The fractal features of soil granule structure before and after vegetation destruction on Loess Plateau. Geographical Research, 21(6): 700-706. [丁文峰, 丁登山. 2002. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征. 地理研究, 21(6): 700-706.]

Feng J. 2003. Spatial-temporal evolution of urban morphology and land use structure in Hangzhou. Acta Geographica Sinica, 58(3): 345-353. [冯健. 2003. 杭州市城市形态和土地利用结构. 地理学报, 58(3): 345-353.]

Goodchild M F, Mark D M. 1987. The fractal nature of geographic phenomena. Annals of the Association of American Geographers, 77(2): 265-278.

He K, Zhao H Y, Liu J J, et al. 2008. Shadow removal of city's remote sensing image based on fractal and texture analysis. Journal of Tianjin University, 41(7): 800-804. [何凯, 赵红颖, 刘晶晶, 等. 2008. 基于分形及纹理分析的城市遥感影像阴影去除. 天津大学学报, 41(7): 800-804.]

Huang B W, Zheng D, Zhao M C, et al. 1999. Modern physical geography. Beijing, China: Science Press. [黄秉维, 郑度, 赵名茶, 等. 1999. 现代自然地理. 北京: 科学出版社.]

Jelinski D, Wu J G. 1996. The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. Landscape Ecology, 11(3): 129-140.

Jenerette G D, Wu J G. 2001. Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA. Landscape Ecology, 16(7): 611-626.

Jia W C, Jia X Y, Li F Y, et al. 2009. Dynamic changes of land use fractal characteristic in Weihai, China. Progress in Geography, 28(2): 193-198. [贾文臣, 贾香云, 李福印, 等. 2009. 威海市土地利用分形特征动态变化. 地理科学进展, 28(2): 193-198.]

Li H Q, Liu Z K, Lin F. 2001. Aerial image classification method based on fractal theory. Journal of Remote Sensing, 5(5): 353-357. [李厚强, 刘政凯, 林峰. 2001. 基于分形理论的航空图像分类方法. 遥感学报, 5(5): 353-357.]

Liu K, Qin Y C. 2010. On scale characteristics of geographic information. Geography and Geo-Information Science, 26 (2): 1-5. [刘凯, 秦耀辰. 2010. 论地理信息的尺度特性. 地理与地理信息科学, 26(2): 1-5.]

Liu X H, Lv X G, Dong G H. 2008. Application of fractal dimension model for land use study. Scientia Geographica Sinica, 28(6): 765-769. [刘晓辉, 吕宪国, 董贵华. 2008. 分维模型在土地利用研究中的应用. 地理科学, 28(6): 765-769.]

Mandelbrot B B. 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractal dimension. Science, 156: 636-638.

Meng C, Li J X, Zhu Y, et al. 2007. Effects of changing grain size on urban landscape pattern analysis of Shanghai. Chinese Journal of Ecology, 26(7): 1138-1142. [孟陈, 李俊祥, 朱颖, 等. 2007. 粒度变化对上海市景观格局分析的影响. 生态学杂志, 26(7): 1138-1142.]

Mohammad A, James C, Douglas R, et al. 2010. Effects of spatial and spectral resolutions on fractal dimensions in forested landscapes. Remote Sensing, 2(3): 611-640.

Sun Z Y, Du G Y, Zhu D K, et al. 2010. Fractal features of rivers in eastern coast of Laizhou Bay and evolution of region fluvial landform. Scientia Geographica Sinica, 30 (5): 755-759. [孙祝友, 杜国云, 朱大奎, 等. 2010. 莱州湾东岸河流的分形特征与流域地貌发育研究. 地理科学, 30(5): 755-759.]

Wu H, Chen X L, Cai X B, et al. 2008. Research on spatial-temporal evolution of land use based on compositive fractal model. Journal of Wuhan University of Technology, 30(1): 154-157. [吴浩, 陈晓玲, 蔡晓斌, 等. 2008. 基于组合分形模型的土地利用时空演变研究. 武汉理工大学学报, 30(1): 154-157.]

Wu J G. 2000. Landscape ecology: Pattern, process, scale and hierarchy. Beijing, China: Higher Education Press. [邬建国. 2000. 景观生态学: 格局、过程、尺度和等级. 北京: 高等教育出版社.]

Wu J G. 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations. Landscape Ecology, 19(2): 125-138.

Wu J G, Shen W J, Sun W Z, et a1. 2002. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. Landscape Ecology, 17(8): 761-782.

Xu L, Bian X Q, Qin X L, et al. 2010. Effects of grain size change on landscape pattern indices of Hefei City. Chinese Journal of Applied Ecology, 21(5): 1167-1173. [徐丽, 卞晓庆, 秦小林, 等. 2010. 空间粒度变化对合肥市景观格局指数的影响. 应用生态学报, 21(5): 1167-1173.]

You L P, Lin G F, Yang C Z, et al. 2008. The effects of spatial scales on landscape indices: A case study of the landuse pattern of Xiamen Island. Geo-Information Science, 10 (1): 74-79. [游丽平, 林广发, 杨陈照, 等. 2008. 景观指数的空间尺度效应分析: 以厦门岛土地利用格局为例. 地球信息科学, 10(1): 74-79.]

Zhang H E, Chen G H, Huang H Y. 2002. Application on GIS in study of fractal of geological: Taking the study of gold ore formation in Yunnan Province as an example. Geotectonic et Metallogenia, 26(3): 314-320. [张洪恩, 陈广浩, 黄怀勇. 2002. 地理信息系统在地质现象分形研究中的应用: 以云南金矿成矿研究为例. 大地构造与成矿学, 26(3): 314-320.]

Zhang W, Guo S L, Li Y H, et al. 2010. Grain-size fractal dimension of loess and its environmental significance in the Peninsula of East Liaoning. Progress in Geography, 29(1): 79-86. [张威, 郭善莉, 李永化, 等. 2010. 辽东半岛黄土粒度分维特征及其环境意义. 地理科学进展, 29 (1): 79-86.]

Zhao W W, Fu B J, Chen L D. 2003. The effects of grain change on landscape indices. Quaternary Sciences, 23(3): 326-333. [赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 2003. 景观指数的粒度变化效应. 第四纪研究, 23(3): 326-333.]

Zhu M, Pu L J, Li J L. 2008. Effects of varied remote sensor spatial resolution and grain size on urban landscape pattern analysis. Acta Ecologica Sinica, 28(6): 2753-2763. [朱明, 濮励杰, 李建龙. 2008. 遥感影像空间分辨率及粒度变化对城市景观格局分析的影响. 生态学报, 28(6): 2753-2763.]

Zhu X H, Cai Y L. 2005. Fractal analysis of land use in China. Scientia Geographica Sinica, 25(6): 671-677. [朱晓华, 蔡运龙. 2005. 中国土地利用空间分形结构及其机制. 地理科学, 25(6): 671-677.]

Zhu X H, Sebu L M. 2006. Fractal analysis applied to fractal character of China desertification land. Journal of Desert Research, 26(1): 35-39.[朱晓华, 色布力马. 2006. 中国沙漠化土地类型的分形研究. 中国沙漠, 26(1): 35-39.]

Zhu X H, Zha Y. 2002. On fractal mechanism of Jiangsu coastline. Marine Sciences, 26(9): 70-72, F003. [朱晓华, 查勇. 2002. 江苏淤泥质海岸海岸线分形机理研究. 海洋科学, 26(9): 70-72, F003.]

Comparison of land–use structure fractal dimension based on vector and raster data: A case study of Suzhou City

ZHANG Jing[1], PU Lijie[1,2], ZHU Ming[1], XU Yan[1], LI Peng[1]

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;
2. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, Beijing 100029, China)

Abstract: Land use system is the product of natural and human activities, and typically as a complex nonlinear dynamical system, its structure is irregular, unstable, complex and non-linear. Fractal theory, as a new technique, has been proved to be practical for analyzing irregular and nonlinear objects. The fractal dimension, one of the most important indices in fractal theory, is often calculated from raster data, but most land-use data are stored as vector data. Conversion of vector data to grid images to calculate fractal dimension may result in inaccurate values. Accuracy of the calculation on raster data is closely related to the grain size of the grid images. Taking a case study of the 1:100000 land use data of Suzhou City in 2008, this paper first analyzed the fractal characteristics of the study area by calculating the fractal dimension, investigated the scale effects of land use fractal dimension by changing the grain size of raster data, and then established a quantitative relationship between fractal dimension and the grain size, and lastly used the math model to calculate fractal dimensions from vector data based on the raster data. The results showed that land use structure of Suzhou City followed the general rules of fractal theory, which proved that this method was suitable for the analysis of the characteristics of land use system in such a rapidly urbanizing area. Furthermore, the overall land use degree of Suzhou City was high; human activities have different effects on the different land types. For example, under the influence of human activities the structures of arable land and construction land were relatively simple, but unused land and forest-grassland are quite complex. The morphology of water was less complex than other land use types, indicating that water was more affected by human activities such as water conservation facilities and irrigation ditches. The effect of the grain size on the fractal dimension in this area showed that the fractal dimension increased with expanding grain size, and the result of statistical analysis suggested that the relationship between fractal dimension and the grain size fit with the quadratic-polynomial-model which provided a bridge between the vector data and raster date for the calculation of the fractal dimension. If the vector data were viewed as raster data of 0 m grain size, vector fractal dimension can be calculated from raster data according to the quadratic-polynomial-model. The difference between the calculated results and the fractal dimension values directly using the vector data was minimal. Thus, fractal dimension of vector land use data (the grain size is 0 m×0 m) could be deduced by this relationship within the margin of error.

Key words: fractal dimension; grain size; data type; land use; Suzhou City