ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴 宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄 翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李 宁, 王 征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘 璐, 闫 浩, 李 诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨 宇, 胡 飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林 柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李 凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋 敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周 宏, 张恒嘉, 莫 非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈 莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张 娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高 光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴 浩, 李 岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳 翔, 徐 庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04

封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306061378

吴浩, 李岩, 史文中, 陈晓玲, 付东杰. 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别. 生态学报, 2014, 34(7): 1822-1830.

Wu H, Li Y, Shi W Z, Chen X L, Fu D J. Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1822-1830.

遗传算法支持下土地利用空间分形特征 尺度域的识别

吴 浩^{1,2}, 李 岩¹, 史文中^{2,*}, 陈晓玲³, 付东杰⁴

(1. 武汉理工大学 资源与环境工程学院, 武汉 430070; 2. 香港理工大学土地测量与地理资讯学系, 香港 999077;

3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 针对土地利用空间分形特征只存在于有限尺度域的现象, 采用无标度区内离散点拟合的离差平方和平均值最小作为目标函数, 提出了一种基于遗传算法的土地利用空间分形特征尺度域的识别方法, 用于准确计算分形维数的有效区间范围。以武汉市武昌区水域空间分形特征为例, 利用 Quickbird 多光谱遥感影像提取土地利用空间信息, 重点讨论了基于遗传算法识别土地利用空间分形特征尺度域范围的总体思路、适应度函数和遗传算子等环节; 然后分别从测定系数、标准差和无标度区间 3 个角度, 将其同人工判断法、相关系数法以及强化系数法进行对比讨论; 并结合研究区域实际的水域空间分布格局, 分析不同方法计算所得半径维数的合理性。结果表明, 土地利用分形特征尺度域的范围对分形维数计算结果有较大影响; 相对于传统计算方法来说, 遗传算法在尺度无标度区间识别上具有更高的精度, 可以为土地利用空间格局分形特征的研究提供客观指导意见。

关键词: 土地利用; 空间结构; 分形特征; 尺度域; 遗传算法

Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm

WU Hao^{1,2}, LI Yan¹, SHI Wenzhong^{2,*}, CHEN Xiaoling³, FU Dongjie⁴

1 School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

2 Department of Land Surveying and Geo-Informatics, Hong Kong Polytechnic University, Hongkong 999077, China

3 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

4 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: The spatial pattern of land use is one of the most profound human-induced alterations to the Earth's surface. Its change can lead to severe problems in urban ecological environments, such as heavy traffic, the heat island effect, and the spread of epidemics. An accurate examination of urban land use characteristics is helpful both in understanding quantitatively and comprehensively urban land use spatial patterns, and in discovering the potential rules of urban land use change. Because of its advantages in describing randomness and self-similarity, the fractal dimension has been used widely to analyze spatial patterns, and great achievements have been made in recent decades. However, the scale domain is largely ignored when the value of the fractal dimension is used to explain spatial patterns. To some extent, this leads inevitably to analysis uncertainty, because the spatial self-similarity characteristics of land use exist within a specific scale range rather than across a geographic scale range. Hence, the identification of the scale domain related to the fractal dimension is more important than the computation itself.

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (2013M531749); 香江学者计划 (XJ2012036); 国家自然科学基金 (40901214); 武汉市青年科技晨光计划 (201150431093); 中央高校基本科研业务费专项资金 (2013-IV-040) 联合资助

收稿日期: 2013-06-06; 修订日期: 2013-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lswzshi@polyu.edu.hk

In addressing this problem, this paper presents a model for scale domain recognition, based on a genetic algorithm, to provide a meaningful range of fractal features existing in nature. Its objective function is to minimize the average from the sum of squared residuals that is derived from the result of the fitting of a scale-free region using discrete points. It can improve the computation accuracy of the fractal dimension significantly. Because of its abundant water resources, this study took the scale domain of the water fractal feature in Wuchang district as an example. A cloud-free image obtained by the Quickbird satellite, was classified and used to extract land use information by using a combination of the decision tree method and supervised classification. A general framework and three genetic operators for the scale domain recognition of the land use spatial fractal feature were designed to identify the scale domain of the radius of the fractal dimension for water. To validate our model, its results were compared with three other methods used commonly for scale domain recognition: the artificial judgment method, the correlation coefficient method, and the strengthening coefficient method.

The results indicate that different scale-less bands are derived by the four methods of scale domain identification. The scale-less band of the correlation coefficient method is significantly wider than that obtained by using the other three models. This results in a relatively small determination coefficient, indicating low accuracy. The genetic algorithm has the narrowest scale-less band and the best degree of statistical fitness of the four methods. Based on standard deviation, the four models can be ranked in the following descending order: the artificial judgment method (0.22), the correlation coefficient method (0.16), the strengthening coefficient method (0.13), and the genetic algorithm (0.08). Accordingly, the radius of the fractal dimension of water changes with the different scale-less bands derived from these four methods. The radius dimension derived from the genetic algorithm is 1.285, which suggests that the trend of the spatial distribution characteristics becomes gradually weaker moving from the center to the surroundings. This agrees with the spatial distribution of water information derived from the satellite image of Wuchang district. It reveals that it is critically important and imperative to promote the genetic algorithm for accurate identification of the scale domain of the fractal dimension. These findings are helpful for urban management departments in determining land use change, but also they provide a scientific reference for urban land use planning to ensure that land resources are used effectively.

Key Words: land use; spatial structure; fractal feature; scale domain; genetic algorithm

土地利用研究是生态学与地理学交叉研究的热点问题之一,也是当前全球变化研究的重要组成部分^[1]。深入准确了解土地利用空间结构特征,有助于全面掌握土地利用格局,达到科学合理配置有限土地资源目的^[2]。分形几何理论主要用于描述空间对象的不规则自相似特征,在定量表达复杂的空间格局方面具有一定优势,近 20 多年来它已经成为国内外学者研究土地利用的重要方法之一^[3-8]。但是,土地利用的空间自相似分形特征只存在于特定的空间尺度范围内,超出某个范围来讨论分形维数没有意义,这个范围就是分形维数的无标度区间,对于土地利用空间特征来说就是分形特征存在的尺度域^[9]。因此,准确识别分形特征的尺度域是应用分形理论来研究土地利用空间分形格局的前提条件。

无标度区间的求解一直以来都是分形几何理论研究的重要方向。传统的人工判断法和三折线法,

以空间离散点分布趋势作为出发点,凭经验来判断分形无标度区间上下界或者有效的中间段,缺乏明确客观的理论依据,存在着主观性较强和误差较大的缺点。此后, Yokoya 等以线性回归理论为基础,提出了相关系数法和强化系数法,但是上限的选取对计算的结果影响较为敏感,在应用中存在一定的局限性^[10]。党建武等采用遗传编程方法,给出了一种关联维算法来用于识别分形无标度区间的范围,较适用于无标度区较窄的情况,需要一定的人工干预^[9]。苟学强等提出利用小波变换的多尺度微分特性,通过对系统性弯曲的多尺度识别来计算出无标度区间范围。但是缺乏对搜索检验标准进行明确的讨论,包括相关系数显著性的检验、拟合标准差和剔除异常点等问题^[11]。蔡金华等根据 Richardson 曲线的“反 S”特征形成规律,提出采用基于反 S 的数学模型的无标度区自动确定方法,用于地图目标分形

无标度区间的识别,因其要求观测尺度必须具有足够宽的取值范围才能进行识别运算,所以不具备较强的广泛应用性^[12]。由此可见,无标度区间的求解方法很多,且因领域不同也存在差异性。对于遗传算法来说,其用于无标度区解算的相关研究也取得了积极的进展。陈遵德依据自动确定无标度区原则,采用多段折线最优逼近方法找到标度不变区,并引入遗传算法找到全局(或近似)最优解,从而提高了确定无标度区的计算速度^[13];费斌等提出了一种基于遗传算法截取无标度区间的方法,并将此方法应用于磨削表面的分形研究,证明在获得同等精度的计算结果条件下,大大缩短了无标度区间计算时间^[14];巫兆聪在系统分析上述两类无标度区间识别方法的缺点后,提出基于标准偏差的自适应无标度区确定方法,并初步引入遗传算法进行对比分析,以验证其有效性;但是遗传算法随机产生的种子可能存在负值,结果缺乏稳定性^[15]。范玉红利用分形插值理论模拟了塌陷区的分形地形生成,并引入遗传算法进行无标度区间最优解和分形特征参数的求解^[16]。虽然上述无标度区间识别方法主要是针对一些特定领域来展开算法设计,但已经证明遗传算法在识别无标度区间上具有一定的潜力,然而对于土地利用这一类空间尺度特征尤为显著的问题来说,需要引入能够适应遥感影像的大尺度范围的分析策略^[15],并根据土地利用空间格局实际分析的需要,对适应度函数和遗传算子开展针对性设计,才能

确保无标度区间的快速精确寻优。

本文以武汉市武昌区水域半径维数的计算为例,应用遗传算法来计算分形维数的无标度区间范围,并同传统的方法进行对比,验证其识别土地利用空间分形特征尺度域的优势,有助于客观地理解城市土地利用空间格局,进而指导土地利用规划的修编,辅助城市土地利用规划以达到用地合理配置目的。

1 研究区与数据

1.1 研究区域概况

本文所选择的研究区域是武汉市武昌区(图1),地处武汉市城区东南部,位于长江南岸,与汉口、汉阳隔江相望,北至余家头罗家港与青山区毗邻;东、南与洪山区洪山乡、青菱乡交错接壤,西临长江。全区面积 82.4 km²,户籍人口达 100.34 万,是武汉市人口最为稠密的行政区。其辖区除长江外,还有中国最大的城中湖东湖和大型濒江湖泊沙湖,水域是其最重要的土地利用类型。这些水域不仅能够丰富城市景观格局,还可在防涝减灾、减缓城市热岛效应和保护生物多样性等方面发挥重要的作用^[17]。但是,自 20 个世纪 90 年代以来,人为活动对武昌区水域的空间分布影响较大,水域空间格局特征的快速变化和生态功能的严重退化,已经得到 2009 年第 13 届世界湖泊大会等国内外学术组织机构的广泛关注。

图1 武昌区地理位置示意图

Fig.1 Location of Wuchang district in Hubei province

1.2 数据来源与预处理

本文选取武汉市武昌区 2012 年 3 月 27 日获取

的无云 Quickbird 多光谱遥感影像,其多光谱空间分辨率为 2.4 m。根据遥感图像的可识别度及武昌区

地域性等基本原则,参照中东部地区生态环境现状遥感调查土地利用/土地覆被分类系统^[18],采用决策树方法结合监督分类方法对影像进行分类,结合由影像提取出的植被指数和监督分类的初步结果,将武昌区的土地划分为未利用地、林地、农业用地、水域、草地和建设用地六种地类(图2)。其分类结果经精度验证,该影像分类的总体精度为87.5%,能够满足后续土地利用分形维数的计算精度。

图2 武昌区土地利用分类结果

Fig.2 Land use classification results of Wuchang district

在上述处理基础上,以武昌区几何中心为圆心,利用 ArcGIS 软件以等间隔逐渐递增的尺度为半径建立分级同心圆,从而形成缓冲区来切割土地利用分类图,以提取水域用地在不同半径范围内的面积数据,作为分形维数计算的基础。

2 研究方法

遗传算法是借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的优化随机搜索算法,它采纳了自然进化过程中的选择、交叉、变异、迁移等模型^[19],通过在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识,控制自适应搜索过程,得到最优解或准最优解,具有简单、通用以及鲁棒性强等特点^[20]。

2.1 流程思路

利用遗传算法来识别土地利用空间分形特征尺度域,其主要思路是:首先利用遥感影像提取土地利

用分类信息,并统计出不同尺度内各类用地的面积;然后建立不同尺度范围下的水域半径 r -面积 s 的双对数散点映射关系;接着通过设计合理的适应度函数和有效的遗传算子,运用遗传算法来计算水域分形特征的尺度域;最后利用位于该尺度域范围内的离散点,计算出半径维数。

遗传算法的设计是求取水域用地空间分形特征尺度域的关键所在(图3),其核心内容包括参数编码、初始群体的设定、适应度函数的设计、遗传算子设计4个方面^[20]。对不同尺度下的水域参数进行二进制编码,依据随机产生的初始种群,计算各个体的适应度,并判断是否符合优化标准。若符合,则输出最佳个体及其代表的最优解,并结束计算;否则,根据适应度选择再生个体,此时适应度较高的个体被选中的概率较高,而适应度低的个体则有可能被淘汰^[21]。其中,新生成的个体是根据土地利用分形维数计算的需要,设计其交叉和变异的概率数值大小及优化方法,以便产生新一代的种群,然后返回计算适应度,如此循环直到输出最优个体为止。

图3 整体流程图

Fig.3 The overall flow chart

2.2 适应度函数

适应度函数的设计对运用遗传算法来识别土地利用空间分形特征尺度域至关重要,它是进行遗传操作中选择算子的前提。适应度越大表示离散点连续区间越好,也表示分形维数的存在是有意义的;反之适应度越小,则对应的离散点连续区间越差,其分形维数存在的意义不大。所以,根据适应度的大小对离散点对应的连续区间来进行选择,才能保证适应性能较好的连续区间有更多的机会进行循环,从而计算出正确的无标度区间,即分形特征的尺度域。

本文是以无标度区间离散点拟合的离差平方和平均值最小作为目标函数,原则是其目标值越小所对应的适配值越大,此时该个体就优越。由于适应度函数的设计通常求取最大值,而此时目标函数的离差平方和平均值为最小,故设计如下适应度函数:

$$f = -G \quad (1)$$

式中, G 是位于某一连续区间内离散点的实测值和拟合值之间离差平方和的平均值,其表达式为:

$$G = \frac{\sum_{i=s}^l (\tilde{Y}_i - \alpha - \beta X_i)^2}{l - s + 1} \quad (2)$$

式中, α, β 为离散点拟合直线方程 $Y = \alpha + \beta X$ 的系数,离散点 i 的观测点坐标记为 $(X_i, \tilde{Y}_i)$, 对应拟合直线上的坐标为 (X_i, Y_i) , $i = 1, 2, 3, \dots, s, \dots, l, \dots, n$ (X_s, Y_s) 是第 s 个点,是拟合直线连续区间的起点; (X_l, Y_l) 是第 l 个点,是拟合直线连续区间的终点,且满足 $1 \leq s \leq l \leq n$ 。当 G 具有最小目标值时,适应度值 f 即为最大值,此时所对应的连续区间 $[s, l]$ 就是无标度区间,即存在土地利用空间分形特征的尺度域。为了避免局部最优的假象出现,必须要求无标度区间是由一定数量的连续离散点组成;此时根据样本的个数,可以加入连续区间 $[s, l]$ 不小于某个固定常数作为约束条件,当搜索空间中某些点不符合上述约束条件时,则将其淘汰。

2.3 遗传算子设计

遗传算子包括选择、交叉和变异 3 种基本形式。在适应度函数的基础上进行选择算子的设计,本文采用轮盘赌模型,计算出连续区间内各个离散点对应的适应度值,并求和得到该区间内全部点的适应度总值,此时适应度总值即为整个轮盘,最后依据离散点所占区间的比例来决定其被选择进入到下一

代离散点连续区间群体中的概率^[22]。对于交叉算子的设计,本文采用单断点交叉法,随机选择一个断点,交换双亲离散点区间中断点的右端,生成新的连续区间。应用该方法,交叉概率越大,代表交换的基因数越多,其值变化就越快,故迭代解算过程的收敛速度就越快。变异算子的设计则通过改变某些基因,使子代保持一定的遗传,又具有一定的进化,本文采用高斯变异算子进行变异,可以改善遗传算法的局部搜索能力,维持群体的多样性,并可防止出现早熟现象,特别适合土地利用在空间尺度采样上具有离散的特点。综合运用 3 种算子,通过返回适应度函数进行计算来判断是否满足优化标准,如此循环直到输出最优个体为止,即求得土地利用空间分形特征的尺度域。

2.4 半径维数

半径维数最初由 Frankhauser 等在 1991 年提出的,直到 1993 年 White 和 Engelen 才开始将其用于城市土地利用空间格局的分析中。当前,主要体现在用它来表达城市活动强度^[23],本文选用半径维数来描述水域用地空间密度由城市中心到四周郊区的分布变化规律。

对于城市的某一类用地,假设以城市中心作为圆心,半径 r 范围内的该类型用地的面积为 $S(r)$,则 $S(r)$ 的关系满足:

$$S(r) = \eta r^D \quad (3)$$

式中, η 为常数, D 为半径维数。半径维数 D 反映了该类用地的密度从城市中心向四周变化规律。由于该维数是根据“面积-半径”关系来定义的,所以它被称为半径维数^[24-25]。

对公式(4)两边取自然对数,则将其化简为:

$$\ln S(r) = \ln \eta + D \ln r \quad (4)$$

根据上述回归模型,只要测量出不同半径 r 范围的该类土地斑块的面积 $S(r)$,就可以利用最小二乘法来求出半径维数 D 。本文以水域的半径维数计算为例,采用公式(4)来开展土地利用空间分形特征尺度域的识别研究。当 $D < 2$ 时,表示水体的空间分布从中心向四周逐渐衰减,呈非线性、不均匀变化,越往四周衰减速度越快;当 $D = 2$ 时,表示水体从中心向四周是均匀变化的;当 $D > 2$ 时,表明水体空间分布从中心向四周非线性逐渐增大。

3 结果与讨论

3.1 武昌区水域用地空间信息

以武昌区的边界重心作为几何中心、半径步长 r 为 300 m 来建立圆形缓冲区,利用 ArcGIS 的叠置分析来分割土地利用分类图,从中提取不同半径范围 r 中的水域面积 $S(r)$ 。为了计算水域半径维数 D ,分别对半径和面积取自然对数,得到其双对数 $\ln r$ 和 $\ln S(r)$,作为利用遗传算法求解土地利用空间分形特征尺度域的直接实验数据,见表 1。当不考虑无标度区间存在时,可以根据表 1 中的数据和公式(4)计算水域的半径维数为 3.006,测定系数为 0.946,标准差为 0.21。

表 1 武昌区不同半径 r 对应的水域用地面积 $S(r)$

Table 1 The corresponding water areas r within different radiuses $S(r)$ of Wuchang district

半径 Radius r/m	面积 Area $S(r)/\text{m}^2$	半径 Radius r/m	面积 Area $S(r)/\text{m}^2$
300	7413	4200	136302366
600	45482	4500	148985669
900	3539418	4800	161593994
1200	7149926	5100	174135193
1500	10630344	5400	186626712
1800	26381159	5700	204758319
2100	42049310	6000	222891541
2400	57794830	6300	241036514
2700	73564639	6600	259135437
3000	86194272	6900	276822373
3300	98867634	7200	282172805
3600	111327380	7500	287530961
3900	123762828	7800	292885376

3.2 分形特征尺度域识别结果

在运用遗传算法识别水域半径维数的过程中,

利用 MATLAB7.0 软件的遗传算法工具箱,选择尺度域约束条件为 $l-s \geq 5$,变量个数设置为 2,种群大小为 26,初始范围设为 $[1, 26]$,选择算子为轮盘赌算法,复制参数/交叉概率设为 0.9,交叉算子设为单点交叉类型,变异算子选择高斯模型。根据公式(1)和(2)编制相应的适应度函数,加载表 1 中数据后,利用遗传算法工具箱对其进行调用,得到水域半径维数空间尺度的最优解,即为无标度区间。为了验证遗传算法识别土地利用空间分形特征尺度域的效果,本文选择人工判断法、相关系数法、强化系数法 3 种传统方法同遗传算法进行对比。4 种方法识别尺度域的结果如表 2 所示。

3.3 结果分析与精度评定

针对 4 种方法识别分形特征尺度域的范围,本文采用最小二乘法对位于该范围内部的离散点进行线性拟合,计算得到水域的半径维数依次为 1.375、2.118、1.310 和 1.285,如图 4 所示。它们同不考虑无标度区间所计算出来的半径维数(3.006)相比,在反映分形特征上均有较大的差别,甚至是截然相反的趋势。例如,图 4 中人工判断法、强化系数法及遗传算法计算得到的结果均小于 2,说明武昌区水域空间分形特征从中心向四周都是非线性的减弱趋势,这同图 2 遥感影像解译出的水域空间分布信息是十分吻合的:武昌区的水域空间分布主要集中在中部的沙湖和东北部的东湖,从中心向四周发散的其它大部分方向都是减弱趋势的。但是,当没有考虑无标度区间存在情况下,如果直接利用其计算出来的半径维数去解释武昌区的水体空间分布格局,其趋势应该是从中心向四周其密度不断增大,这完全同水域实际空间分布相背离。因此,分形维数的计算应该要充分考虑无标度区间的存在,这对土地利用空间分形特征的研究十分必要。

表 2 分形特征尺度域识别结果

Table 2 The results of scale domain recognition for fractal feature

识别结果 Identify results	人工判断法 Artificial judgment	相关系数法 Correlation coefficient	强化系数法 Strengthening coefficient	遗传算法 Genetic algorithm
无标度区间/m Scale-free region	[2400, 7800]	[900, 7800]	[3000, 5400]	[3600, 5100]

当然,采用不同方法去识别分形无标度区间范围也存在一定的差异,其对应分形维数拟合计算的

结果也不尽相同,导致利用它们来评价水体空间密度的变化趋势也有较大出入。由表 2 和图 4 可以看

图4 四种方法无标度区间分形拟合结果

Fig.4 The fitting results of scale-free region based on four methods

出,相关系数法所得到的半径维数为 2.118,相对于不考虑无标度区间所计算得到结果而言,二者的值都大于 2;从半径维数的意义来看,它们表明武昌区的水域空间分布特征从中心向四周是非线性增加趋势,但这与实际情况是不相符合的,是错误的结果。另一方面,虽然人工判断法、强化系数法和遗传算法计算得到的结果均小于 2,反映水域空间分布的趋势同实际情况相符合,但是其准确性也有一定差别。

为了进一步验证遗传算法相对于传统方法在分形无标度区间识别上的优势,根据测定系数和标准差等拟合指标来展开对比分析。从图 4 可以看出,遗传算法相对于其它 3 种算法来说,具有更好的分形无标度区间识别效果。其中,人工判断法较为简便而直观,在整体上比较准确,但局部精度不够。相关系数法在选择无标度区间上较人工判断法更为客观;但该方法是将双对数点图上所有可能的点对的

组合(一般不小于 3 个点)进行线性相关系数检验,以置信度最高或线性范围最宽为标准来确定无标度区间。然而,采用取置信度最高为标准通常难以使其标准合理化,因为在数学上点数较少的组合在很大程度上对应着置信度最高的区间范围,这也就导致该方法常常会陷入局部最优的假象。在本文的对比实验中,采用一定置信度条件下线性区间范围最宽作为计算准则,其识别结果为 [900, 7800],基本上就等于整个实验区分析范围,得到的检验结果过于宽松,不能准确反映出分形无标度特征,这在识别离散点分布的弯曲性方面尤为明显;同时,该方法由于属于穷举法,存在着计算量过大和速度较慢的缺点。强化系数法相比于前面两种方法,其无标度区间较为准确,拟合效果好,结果也更客观。虽然它在一定程度上改进了相关系数检验法,可以有效解决无标度区间范围过宽的问题,但本质上仍是一种经

验性方法,理论上不够严密,对离散点弯曲的分布(如 Poisson 分布)的识别能力仍不高。遗传算法在求取无标度区间时得到的标准差最小,拟合度的测定系数也最高,反映出遗传算法在精度上较其它方法具有优势。此外,由于采用非线性搜索策略,从而具有更高的效率,一般迭代在 30 次以内就可以达到最佳拟合度。因此,在土地利用空间分形特征的研究过程中,不仅要考虑到无标度区间的存在,而且要能够准确地识别其范围,才能确保土地利用空间分形特征研究的有效性。

4 结论与展望

本文以土地利用空间分形特征尺度域为研究对象,针对研究区水域这一典型土地利用类型,采用无标度区内离散点拟合的离差平方和平均值最小作为目标函数来设计适应度函数,提出了一种基于遗传算法的土地利用空间分形特征尺度域的识别方法,并将其结果同传统识别无标度区间方法的计算结果进行对比分析,主要得到以下结论:(1)当忽略无标度区间的存在,直接进行分形维数的计算时,所得到的分形维数并不能真实反映土地利用空间分形特征,此时分形维数将失去意义。因此,无标度区间的识别是计算分形维数的前提,它的存在对于开展土地利用空间分形特征的研究至关重要。(2)采用不同的方法所识别出的无标度区间不同,其所反映的分形特征也具有差异性。只有选择合适有效的方法才能精确地识别出无标度区间范围,有利于根据分形维数来合理解释土地利用空间格局的分形特征。(3)相对于传统人工判断法、相关系数法和强化系数法来说,遗传算法在识别分形尺度域上具有较大的优势。基于该算法识别出的无标度区间标准差最小、拟合度最高,所反映出来的分形特征与实际空间分布最吻合。

然而,分形维数的计算结果不仅同无标度区间大小有关,而且也与研究区域的范围有关^[24],因此在今后的研究中需要进一步探讨多种因素对分形计算的影响。此外,采用不同遗传选择算子(随机遍历抽样法、期望值选择方法和锦标赛选择法等)来识别土地利用空间分形特征的尺度域,其效果也值得进行深入对比分析。

References:

- [1] Cheng L, Li F, Deng H F. Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 6194-6203.
- [2] Zhu X H, Cai Y L. Fractal analysis of land use in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(6): 671-677.
- [3] White R, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, 1993, 25(8): 1175-1199.
- [4] Batty M. Fractals-geometry between dimensions. *New Scientist*, 1985, 105(1405): 31-35.
- [5] Lam N S N. Description and measurement of Landsat TM images using fractals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, 56(2): 187-195.
- [6] Torbick N M, Qi J G, Roloff G J, Stevenson R J. Investigating impacts of land-use and cover change on Wetlands in the Muskegon River Watershed, Michigan, USA. *Wetlands*, 2006, 26(4): 1103-1113.
- [7] Chen Y G, Luo J. A tentative theoretical interpretation of the fractal dimension of urban form. *Urban Studies*, 2006, 13(5): 35-40.
- [8] Deng L, Wu M, Ding S L. The research on land use types in Jinxi town by using fractal theory. *Energy Environmental Protection*, 2012, 26(6): 14-16.
- [9] Dang J W, Shi Y, Huang J G. The identification of fractal scaleless band in the study of fractal with computers. *Computer Engineering and Applications*, 2003, 39(12): 25-27.
- [10] Yokoya N, Yamamoto K, Funakubo N. Fractal-based analysis and interpolation of 3D natural surface shapes and their application to terrain modeling. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1989, 46(3): 284-302.
- [11] Gou X Q, Zhang Y J. The novel method of identifying the fractal scaleless range based on wavelet transform modulus maxima. *Journal of Northwest Normal University: Natural Science*, 2005, 41(5): 28-30.
- [12] Cai J H, Long Y, Wu H H, Chen D. Automatic determination of fractal non-scale interval of map objects based on inverse 'S' mathematical model. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(3): 249-253.
- [13] Chen Z D. The applicayion of genetic algorithm to the determination of fractal scale invariant region. *Journal of Numerical Methods and Computer Applications*, 1996, (4): 279-283.
- [14] Fei B, Jiang Z D, Wang H R. Genetic algorithm for determining scale independent fractals associated with grinding surface. *Journal of Xi'an Jiaotong Univirsity*, 1998, 32(7): 72-75, 84-84.
- [15] Wu Z C. Determination of fractal scaleless range. *Acta Geodaetica*

- Et Cartographica Sinica, 2002, 31(3): 240-244.
- [16] Fan Y H. Fractal Terra in Generation and Fractal Dimension Evolution Analysis of Subsidence [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2005.
- [17] Zheng H M. On function to the city from urban lake. Journal of Nanping Teachers College, 2007, 26(2): 132-135.
- [18] SEPA (State Environmental Protection Administration). The Notification About the Present Situation Survey of the Ecological Environment in Central and Eastern Regions. (2002- 04- 11) [2013- 11- 13]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172095.htm.
- [19] Wang X P, Cao L M. Application and Software Implementation of Genetic Algorithm. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002: 7-14.
- [20] Chen G L, Wang X F, Zhuang Z Q, Wang D S. Genetic Algorithm and Its Application. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 1996: 3-12.
- [21] Michalewicz Z. Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs. New York: Springer, 1992: 5-30.
- [22] Guo J, Chen Q W, Zhang X Q, Li W F. Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7940-7947.
- [23] Chen Y G, Huang K. The fractal dimension of urban form: theoretical approach and practical significance. Journal of Xinyang Teachers College: Natural Science Edition, 2002, 15(1): 62-67.
- [24] Jiang S G, Zhou Y X. The fractal urban form of Beijing and its practical significance. Geographical Research, 2006, 25(2): 204-212.
- [25] Bai X P. Spatial pattern change research of land use based on fractal dimensions in Tianjin new coastal area. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(24): 14728-14730, 14808-14808.
- [7] 陈彦光, 罗静. 城市形态的分维变化特征及其对城市规划的启示. 城市发展研究, 2006, 13(5): 35-40.
- [8] 邓林, 吴敏, 丁桑岚. 基于分形理论的土地利用空间格局分析——以金溪镇为例. 能源环境保护, 2012, 26(6): 14-16.
- [9] 党建武, 施怡, 黄建国. 分形研究中无标度区的计算机识别. 计算机工程与应用, 2003, 39(12): 25-27.
- [11] 苟学强, 张义军. 分形无标度区的小波变换模极大识别. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(5): 28-30.
- [12] 蔡金华, 龙毅, 毋河海, 陈丹. 基于反 S 数学模型的地图目标分形无标度区自动确定. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29(3): 249-253.
- [13] 陈遵德. 遗传算法在自动确定分形标度不变区中的应用. 数值计算与计算机应用, 1996(4): 279-283.
- [14] 费斌, 蒋庄德, 王海容. 基于遗传算法求解分形无标度区的方法. 西安交通大学学报, 1998, 32(7): 72-75, 84-84.
- [15] 巫兆聪. 分形分析中的无标度区确定问题. 测绘学报, 2002(31): 240-244.
- [16] 范玉红. 塌陷区分形地形生成和分维演变分析 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2005.
- [17] 郑华敏. 论城市湖泊对城市的作用. 南平师专学报, 2007(26): 132-135.
- [18] 国家环境保护总局. 关于开展中东部地区生态环境现状调查的通知. (2002-04-11) [2013-11-13]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172095.htm.
- [19] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现. 西安: 西安交通大学出版社, 2002: 7-14.
- [20] 陈国良, 王煦法, 庄镇泉, 王东生. 遗传算法及其应用. 人民邮电出版社, 1996: 3-12.
- [22] 郭静, 陈求稳, 张晓晴, 李伟峰. 基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化. 生态学报, 2012(32): 7940-7947.
- [23] 陈彦光, 黄昆. 城市形态的分形维数: 理论探讨与实践教益. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2002, 15(1): 62-67.
- [24] 姜世国, 周一星. 北京城市形态的分形集聚特征及其实践意义. 地理研究, 2006, 25(2): 204-212.
- [25] 白新萍. 基于分形理论的滨海新区土地利用空间格局变化研究. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14728-14730, 14808-14808.

参考文献:

- [1] 程琳, 李锋, 邓华锋. 中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变. 生态学报, 2011, 31(20): 6194-6203.
- [2] 朱晓华, 蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制. 地理科学, 2005, 25(6): 671-677.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinping, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 魏辅文

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元