

基于 PSO-CA 的景德镇南河流域窑址景观演变模拟*

刘陶, 肖绚

(景德镇陶瓷学院 信息工程学院, 江西 景德镇 333403)

摘要: 利用 PSO 算法在空间上能快速搜索和寻优的特点, 在 MATLAB 7.0 环境下利用改进的粒子群算法从 $N \times M$ 个栅格空间中确定 K 个目标栅格的位置, 使得目标点距离南河、南山及瓷土矿的平均距离是最小的 K 个, 然后结合这 K 个目标栅格自身土地适宜性条件及邻域土地利用情况来判定该目标栅格是否能演变为窑址。通过此模型模拟了五代至北宋这段历史时期景德镇南河流域窑址景观的演变过程, 并对比分析了不同 K 值和概率阈值下的模拟情况, 得出合适的取值。在此取值下, 模拟结果得到的 Moran's I 指数与实际情况下的 Moran's I 指数比较接近, 说明该模型在古代缺失 GIS 空间数据的情况下模拟窑址景观的演变同样有效; 同时, 为研究 GIS 空间数据缺失下的景观演变提供了新的解决方法。

关键词: 粒子群算法; 元胞自动机; 景德镇; 窑址; 景观演变

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0462-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.039

Kiln landscape evolvement of Jingdezhen Nanhe river basin based on PSO-CA

LIU Tao, XIAO Xuan

(School of Information Engineering, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen Jiangxi 333403, China)

Abstract: By taking advantage of PSO algorithm's characteristics of quick searching and optimizing in space, this paper used improved particle swarm algorithm in MATLAB 7.0 environment to determine the location of K target grids from $N \times M$ grid space, made the average distance the smallest from the target grid to Nanhe, Nanshan and the clay mine. Then, by combining the K target grids' land suitability with the neighboring land utilization, this paper concluded whether target grid could evolve into a kiln site. This model simulated the evolvement of kiln landscape along Nanhe river of Jingdezhen, from the Five Dynasties to Northern Song Dynasty. Through a comparative analysis of different evolutions with different K value and probability threshold, it got the right value. With the right value, the simulated Moran's I index was close to the actual Moran's I index. It is proved that the model is effective in simulating kiln landscape evolvement of ancient times. At the same time, this paper gave a new solution to study landscape evolution without GIS spatial data.

Key words: PSO; cellular automata; Jingdezhen; kiln; landscape evolvement

自 Tobler 首次将元胞自动机 (cellular automata, CA) 模型引入地理学领域后^[1], 近几十年来许多学者利用 CA 理论对景观格局的时空演变进行了深入研究, 这些研究证实利用 CA 模型来模拟地理景观的演变是可行的。而利用 CA 进行地理景观模拟的关键在于转换规则的定义, 它描述模拟过程的逻辑关系, 涉及众多的空间变量, 决定空间变化的结果^[2]。为此, 许多学者都对 CA 转换规则进行了深入研究, 特别是其中一些研究人员将人工智能算法引入 CA 转换规则参数的优化问题当中, 取得了不错的效果, 如杨青生等人^[3]提出利用遗传算法获取最佳参数形成转换规则; 黎夏等人^[4]提出利用 See 5.0 决策树的方法获取 CA 的参数值。但这些方法多数都要在 GIS 空间数据的支持下完成, 并没有讨论 GIS 信息缺失情况下的结果。本文利用 PSO 算法在空间上能快速搜索和寻优的特点, 在 MATLAB 7.0 环境下利用改进的粒子群算法从 $N \times M$ 个栅格空间中确定 K 个目标栅格的位置, 使得目标点距离南河、南山及瓷土矿的平均距离是最小的 K 个; 结合这 K 个目标栅格自身土地适宜性条件及邻域土地利用情况来判定该目标栅格是否能演变为窑址。通过模拟结果得到 Moran's I 指数与实际情况下的 Moran's I 指数比较接近, 说明该模型在古代缺失

GIS 空间数据的情况下模拟窑址景观的演变同样有效。

1 研究区的虚拟古代地图

1.1 研究区选择

景德镇市 (东经 $116^{\circ}57' \sim 117^{\circ}42'$, 北纬 $28^{\circ}44' \sim 29^{\circ}56'$) 位于江西省东北部, 从目前的考古发掘来看, 景德镇昌江水域的窑址景观主要集中在水流适量的南河和东河流域。本文以南河流域窑址景观演变为研究对象, 示意区域如图 1 所示。

1.2 研究区的虚拟古代地图

由于目前景德镇的 GIS 信息还没有建立, 那么在五代至北宋这一历史时期的景德镇更不可能有类似现在的卫星地图, 也就不可能直接获取研究区域当时的详细地形情况。但查阅相关文献可知, 景德镇历年来都没有对南河进行改道或对南山进行移山的工程, 这为研究区域的南河和南山地块定位提供了依据。在实际制图过程中, 通过谷歌地图下的研究区域截图对比, 把能定位的南河和南山地块先确定下来, 然后随机生成除山或河以外的地块信息, 利用这种方法可以有效地探讨不同地理环境下所产生的演变效果, 本文只展示了其中一种。

收稿日期: 2012-06-18; **修回日期:** 2012-07-26 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (41061020)

作者简介: 刘陶 (1975-), 男, 副教授, 硕士, 主要研究方向为模式识别、计算机应用 (ltjdz@126.com); 肖绚 (1970-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为生物信息学、模式识别、符号学。

在 FlashCS 3.0 软件下利用 ActionScript 3.0 语言把图 1 所示研究区域划分成 15 行 26 列的栅格数据,每个栅格地块区域为 30 × 30 像素,利用上述方法得到栅格化后地图,如图 2 所示。在此图中,表示闲地,表示农地,表示瓷土矿,表示灌木地,表示林地,表示河流,表示窑地。

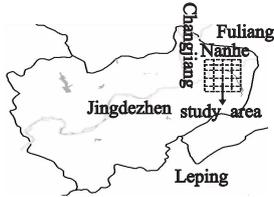


图1 实验区示意图

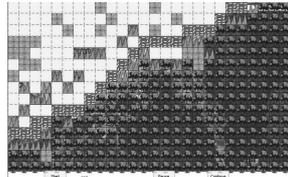


图2 研究区的虚拟古代地图

2 PSO-CA 模型

2.1 改进的粒子群优化算法

粒子群优化算法是 Kennedy 和 Eberhart 模拟鸟群觅食过程中的迁徙和群集行为时,受人工生命研究结果的启发而提出的一种基于群体智能的进化计算技术。算法原理是一群解空间下的随机粒子通过迭代不断更新自己的位置和速度来搜寻最优粒子,在每一次迭代中,每个粒子通过历史最优值 Pbest 和全局最优值 Gbest 在权重的控制下进行位置和速度的更新。由于本文是应用 PSO 算法在上述二维空间中搜寻最优的 K 个目标栅格,必须对原有的粒子群优化算法作以下改进:

a) 粒子位置整数化。初始状态下随机产生的粒子,它的位置肯定是在二维栅格空间中的某个单元上,即粒子位置的取值在整数空间中,而原有的粒子群算法是基于实数空间的,因此必须对粒子位置整数化。于是在初始状态下随机产生多个粒子,使行数 i 在 [1, 15] 上取值,列数 j 在 [1, 26] 上取值,这样起始位置就是整数,而后对粒子群优化算法的速度式进行取整修改(式(1)),得到下一时刻速度,再通过位置式(2)得到新的整数位置。

$$V_{ij}^{t+1} = \text{ceil}(\omega \times V_{ij}^t + c_1 \times \text{rand} \times (Pbest_{ij}^t - X_{ij}^t) + c_2 \times \text{rand} \times (Gbest_{ij}^t - X_{ij}^t)) \quad (1)$$

$$X_{ij}^{t+1} = X_{ij}^t + V_{ij}^{t+1} \quad (2)$$

b) 定义适应度函数。由于古时景德镇陶瓷生产需要用瓷土做原料、用木柴做燃料,成品后还需要通过河流运输出去,因此一块区域发展成窑址在很大程度上受离河的距离、离山的距离、离瓷土矿的距离等影响。根据这个特点定义 PSO 算法的适应度函数如下:

$$f(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^3 ((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2) \quad (3)$$

其中: (x_1, y_1) 表示离当前栅格最近的河流坐标, (x_2, y_2) 表示离当前栅格最近的山地坐标, (x_3, y_3) 表示离当前栅格最近的瓷土矿坐标, (x, y) 表示当前栅格坐标; N 的取值为 2 或 3, 当河距、山距、矿距都不为 0 时为 3, 当河距、山距、矿距其中一个为 0 时为 2; 坐标原点在左上角。

2.2 粒子群智能 CA 模型

本文把研究区域视为一个孤岛,以四方网格的 CA 空间划分作为实验基础,采用 Moore 型邻域,定值边界。设地图 $_maps$ 是 $N \times M$ 的栅格图,每个栅格单元为 30 × 30 像素,元胞空间 $L = \{ _maps_{i,j} | 0 \leq i \leq N, 0 \leq j \leq M \}$, 维数 $d = 2$, 状态集 $s = \{ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 \}$, 0 ~ 6 分别对应闲地、河流、山地、灌木区、农田、制瓷生产用地(即窑址)、瓷土矿。中心元胞 $_maps[i][j]$ 的邻居共有 8 个,即 $N = \{ _maps_{i-1,j-1}, _maps_{i,j-1}, _maps_{i+1,j-1}, _maps_{i-1,j}, _maps_{i,j}, _maps_{i+1,j}, _maps_{i-1,j+1}, _maps_{i,j+1}, _maps_{i+1,j+1} \}$ 。转换规

则 f 采用改进的粒子群算法,具体描述如下:

a) 通过改进的粒子群优化算法从 $N \times M$ 个栅格空间中确定 K 个目标栅格的位置,使得目标栅格距离南河、南山及瓷土矿的平均距离是最小的 K 个,这 K 个区域将是发展成为窑址的候选地块。

b) 判断这 K 个候选地块自身的适宜性条件,如果适宜性条件允许则能演化为窑址,否则不能演化。适宜性条件函数(式(4))将返回 0 ~ 1 的数,如地块本身是河流则为 0,是山地则为 1,是灌木地则为 0.8,是农田则为 0.2,是闲地则为 0.5。

$$\text{con}(S_{ij}^t = \text{suitable}) \quad (4)$$

c) 某地块是否能发展成窑址除受自身条件影响外,还受周围邻胞的影响,由邻域函数(式(5))表示。

$$\Omega_{ij}^t = \frac{\sum_{3 \times 3} \text{con}(S_{ij} = \text{suitable})}{3 \times 3 - 1} \quad (5)$$

d) 本文的研究时期跨越了不同的朝代,而每个朝代的经济繁荣情况、政局稳定性等限制性因素都不可能相同,为突出窑址发展的随机性,引入模型的调整参数 A , 那么一块区域能否发展成窑址就可以通过式(6)求出,然后设定概率阈值 P , 大于 P 的就可演化为窑址,小于 P 的则不演化。

$$P_{ij}^t = A \times \text{con}(S_{ij}^t = \text{suitable}) \times \Omega_{ij}^t \quad (6)$$

3 实验模拟与分析

本文在 MATLAB 7.0 软件下编程实现改进的粒子群算法,快速搜索出候选的目标地块,随后把候选地块坐标位置代入 FlashCS 3.0 软件,利用 ActionScript 3.0 语言编程实现元胞自动机模型。模型建立后,把时间间距值设为 1, 每运行 1 s 表示过了一年,随着时钟计时器的启动,模拟了公元 907 年—1127 年这段历史时期景德镇南河流域窑址景观的演变。

能否模拟出已存在的客观事实,是判断一个模型是否合理的基本条件,但模型更重要的用途在于它能预测或推断未知事实^[5]。在本文设定的演变规则中认为有 K 的取值和概率阈值 P 两个最为主要的因素影响窑址演变的过程,于是在其他相关因素不变情况下,调整这两个因素中之一来进行实验考察,从中选取五代和北宋两个时期的模拟结果进行对比,对比结果如表 1 所示。

表 1 不同取值下的模拟结果

K 值	概率阈值 P		模拟结果	
	五代	北宋	五代	北宋
7	1.2	0.8	图 3	图 4
9	1.2	0.8	图 5	图 6
9	0.8	0.4	图 5	图 7
7	0.8	0.4	图 8	图 9
6	0.8	0.4	图 10	图 11
6	1.2	0.8	图 12	图 13

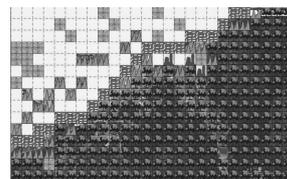


图3 (k=7, p=1.2时)五代窑址演变模拟结果

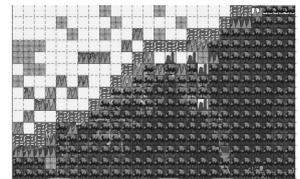


图4 (k=7, p=0.8时)北宋窑址演变模拟结果

目前,模型检验的方法一般有逐点对比和整体对比两种^[6]。逐点对比是将模拟的结果和实际情况叠合,然后逐点对比计算其精度;整体对比所关注的是模拟出来的整个空间格局与实际空间格局的相似度,常采用 Moran's I 指数进行对比。Moran's I 指数是基于统计学相关系数的共变数关系推算

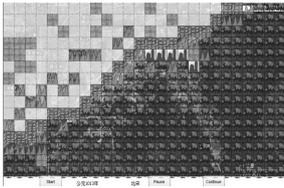


图5 (k=9, p=1.2时)五代窑址演变模拟结果

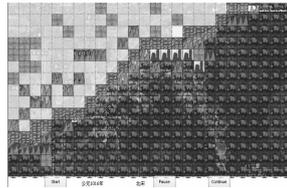


图6 (k=9, p=0.8时)北宋窑址演变模拟结果

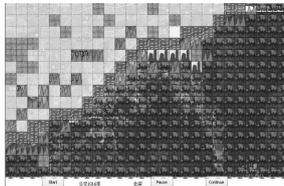


图7 (k=9, p=0.4时)北宋窑址演变模拟结果

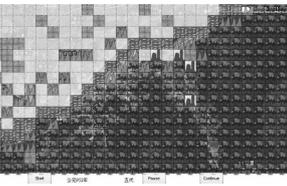


图8 (k=7, p=0.8时)五代窑址演变模拟结果

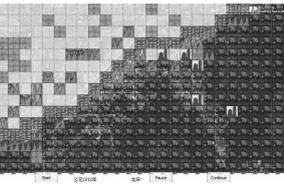


图9 (k=7, p=0.4时)北宋窑址演变模拟结果

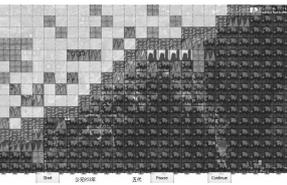


图10 (k=6, p=0.8时)五代窑址演变模拟结果

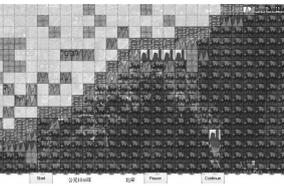


图11 (k=6, p=0.4时)北宋窑址演变模拟结果

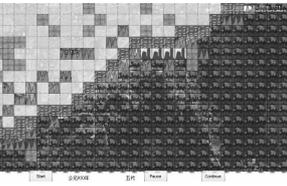


图12 (k=6, p=1.2时)五代窑址演变模拟结果

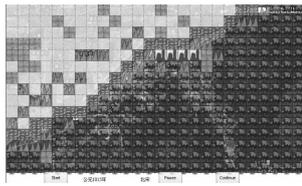


图13 (k=6, p=0.8时)北宋窑址演变模拟结果

得来,常用来描述空间的自相关性,其计算公式为

I = (n / sum_{i=1}^n sum_{j=1}^n W_{ij}) * (sum_{i=1}^n sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - x_bar) (x_j - x_bar) / sum_{i=1}^n (x_i - x_bar)^2) (7)

其中:n是参与分析的空间单元数;x_i和x_j分别表示某属性特征在空间单元i和空间单元j的观测值;W_{ij}是研究范围内空间单元i与j的空间相邻权重矩阵,如相邻则为1,不相邻则为0.本文采用Moran's I指数进行模型检验,表1结果检验后如表2所示.

从表2中不难发现,当K=7时得到的结果(图3、4)和(图8、9)与实际情况吻合最好,这表明候选目标的选取应与该研究区域窑址数量成两倍左右关系,过高易产生过多的窑址,过低又可能丢失窑址;另外,尽管图3、4和图8、9的Moran's I指数相同,但演变过程是从前往后的,因此应把两个朝代模拟结

果图片联系起来,结合专家推断湖田窑与杨梅亭窑于五代开始兴烧,延续至北宋以后,得出图8、9优于图3、4.五代概率阈值高于北宋概率阈值符合梯度选址的实际情况,地理条件最为便利的地点(即转换概率阈值最大的)首先被选做窑址,而后因为最优地点已被用做窑址,所以在下一朝代只能选地理条件相对便利的地点(即转换概率阈值较大的)做窑址.

表2 Moran's I指数对比

Table with 5 columns: Moran's I index, Year (Five Dynasties, Northern Song), K value, and Probability threshold P. It compares actual and simulated values for various parameters.

4 结束语

本文尝试利用PSO算法在空间上能快速搜索和寻优的特点,结合CA模型对景德镇南河流域窑址景观在五代至北宋这段历史时期的演变进行了模拟,对比分析了不同K值和概率阈值下的模拟情况,最终确定了适合的取值,在此取值下,模拟结果得到的Moran's I指数与实际情况下的Moran's I指数比较接近,证明模拟的空间格局与实际情况吻合较好.说明该模型能解决GIS空间数据缺失下的景观演变问题.

参考文献:

List of 10 references including works by GALE S, OLSSON G, TOBLER W R, LIU Xiao-ping, LI Xia, LIU Lin, etc., covering topics like cellular geography, GIS, and landscape evolution.

(上接第461页)

References 12-14: [12] 董隽. 基于时间Petri网的工作流建模及应用[D]. 金华:浙江师范大学, 2010. [13] XIAO Zhi-jiao, ZHONG Ming. A method of workflow scheduling based on colored Petri nets[J]. Data & Knowledge Engineering, 2011, 70(2): 230-247. [14] 李海凌, 史本山, 刘克剑. 基于Petri网的建设工程项目实施阶段资源建模与仿真[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12): 4593-

References 15-17: [15] 韩立岩, 刘慧, 韩璐. 基于多层次Petri网的复杂产品分布协同研发体系设计方法[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(6): 1276-1282. [16] 景熠, 王旭, 李文川. 广义随机Petri网在生态产业园区性能分析中的应用[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(6): 2133-2136. [17] 王永磊. 基于Petri网的工作流模型在物流管理系统中的应用[D]. 成都:西南财经大学, 2008.