

# 减少细胞自动机城市空间演化模型中待定参数的一种方法\*

## A Method to Reduce the Number of Unknown Parameters Existing in the Cellular Automata-Urban Space Model

梁宗经<sup>1</sup> 旷芸<sup>2</sup> 刘慕仁<sup>1</sup>  
Liang Zongjing<sup>1</sup> Kuang Yun<sup>2</sup> Liu Muren<sup>1</sup>

(1. 广西师范大学物理与信息工程学院 桂林市育才路 3号 541004;

2. 桂林师范高等专科学校计算机电教中心 桂林 541001)

(1. Coll. of Phy. & Info. Engi., Guangxi Normal Univ., 3 Yucailu, Guilin, Guangxi, 541004, China;

2. Comp. & Elec. Tech. Center, Guilin Normal College, Guilin, Guangxi, 541001, China)

**摘要** 针对目前细胞自动机城市空间演化模型中存在较多待定参数的情况,通过引入定量描述土地功能值的方法,有效地减少模型中的待定参数,提高模型的实用性.该模型用于桂林市区 1973~ 1993年城市空间演化的重建过程,模拟结果与实际的卫星图片基本符合.

**关键词** 细胞自动机 城市空间演化 待定参数 计算机模拟

中图法分类号 P208

**Abstract** A cellular automaton urban space (CAUP) model is proposed by introducing quantitative function value for each block of lands. This method can effectively reduce the number of unknown parameters in the CAUP model, and increase the possibility of using the model in the simulation process. By applying our model to the rebuilding process of urban space evolvement of Guilin urban area from 1973 to 1993 and then comparing this experimental result with the real satellite pictures of the city, this paper finds that the solution is right and suitable for the real application.

**Key words** cellular automata, urban space evolvement, unknown parameters, computer simulation

在城市的研究领域,城市空间的演化问题是一个非常活跃的研究方向<sup>[1~9]</sup>,如何建立适当的数学模型来描述模拟和分析城市空间在发展变化中表现出来的复杂动态行为,是研究城市问题的最基本课题之一.揭示城市空间演化的一般规律及影响城市空间发展的主要影响因素,将对城市化的建设有着非常重要的现实意义和科学意义.

目前,基于细胞自动机 (Cellular Automata, 下简称 CA) 的城市空间动态模型的研究目前主要集中在两个方面<sup>[4,10]</sup>: 一是对虚拟城市发展演变过程的模拟;二是对城市实际发展过程进行重建和对城市未来可能的发展趋势进行预测.但是,目前建立的模型中,待定的参数很多,要模拟重建城市的空间演化需要不断的调整参数,从而降低了模型的实用性.

本文通过引入城市已开发土地功能值的定量描

述,可以减少 CA城市空间演化模型中的待定参数的个数,使模型的演化更具操作性.文中还应用该模型模拟了桂林市城市空间发展,模拟结果和卫星观测结果比较基本符合.

### 1 细胞自动机城市空间演化模型及待定参数

本文的模型建立在一个规则的二维四方格子上,每一个格子代表一定面积的土地,格子的大小根据研究的条件和需要来确定.在本文的研究中,主要是观察城市用地的开发、利用情况,因此格子的状态只有2种,一是已开发的土地,包括建筑、道路土地等,二是未开发土地,包括已规划为开发用地的农用地、荒地等.为简单起见,本文用 1来表示已经开发了的土地对应的格子的状态,已经开发了的土地对应的格子简称为已开发格子.另外,用 0表示未开发土地对应的格子的状态,未开发土地对应的格子简称为未开发格子.在格子之间,也就是一块土地和一块土地之间,是存在着相互作用的,一块土地的开发状态会影响另一块土地的开发.在考虑土地之间的影响时,也就是

2003-10-20收稿

\* 国家自然科学基金 (10062001 70371067)、广西自然科学基金 (0007017)、教育部重点研究项目计划、广西新世纪“十百千”人才工程资助项目.

确定格子之间的相互作用时,考虑一种简单的影响邻域,即一个格子只对邻近的 8 个格子有影响.这种影响邻域称为 Moore 邻居<sup>[11]</sup>,如图 1 所示,其中黑色格子表示是本文考察的格子,灰色格子表示受其影响的格子.

由于格子之间的相互作用,因此格子的状态随时间发生改变.格子状态的变化依据一定的演化规则进行.规则的制定来源于城市对土地的政策、规划、定价等等因素.如将影响土地开发的各种因素转化成数学表达方式后,就可以根据规则对模型进行演化,给出城市空间的发展情况.

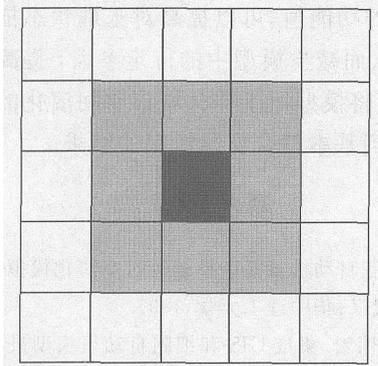


图 1 Moore 邻居<sup>[5,11]</sup>

Fig. 1 Moore neighbor

本文提出了演化规则:

(1) 在城市中建立坐标系.根据已开发格子的功能和功能值大小以及该格子到坐标系原点的距离,确定城市各种功能的质心位置或等值线.如商业的质心位置,河流、道路的等值线.

(2) 确定各未开发格子的潜在功能值.其值由距离的梯度函数来表示.假设功能质心或等值线的功能值为 1,则未开发格子的功能值为<sup>[2]</sup> $I_k(i,j) = \exp[-U_k d(i,j)/d_{\max}]$ . $U_k$ 是第  $k$  种功能的衰减系数, $d(i,j)$ 是到功能质心或等值线的最短距离, $d_{\max}$ 为考察空间中距离功能质心的最大距离.如果能确定城市空间中第  $k$  种功能的最小值,则可确定该种功能的衰减系数.

(3) 确定各未开发格子的综合开发效益.将未开发格子的各种潜在功能值求和,然后被功能的数目  $N$  除,给出该格子的综合开发效益.

$$b(i,j) = \sum_{k=1}^N I_k(i,j) / N.$$

(4) 确定开发概率.未开发格子的周边如果有已开发格子,则该未开发格子被开发的可能性就大,因此可以用已开发格子的数目和一定范围的总的格子数目之比来描述该未开发格子的被开发可能性  $E_d / E_s$ .考虑该格子的综合开发效益,则该未开发格

子的开发概率为  $p(i,j) = b(i,j) \times E_d / E_s$ .当开发概率得到满足后,该未开发格子则可能转化为已开发格子.

(5) 开发速度概率.由于土地的开发受到如经济、文化等因素的影响,因此开发的速度具有一定的随机性.这里引入一个随机数  $R$  ( $R$ 是 0~1 之间的随机数),结合蒙特卡罗方法最终确定未开发格子变成已开发格子的演化速度.

## 2 应用实例

本文将上述模型应用于桂林城市的重建模拟.模拟和演化的基础数据是桂林市经多时相卫星数据识别的 1973 年(图 2a)、1983 年(图 2b)和 1993 年(图 2c)的建筑、交通用地分类图<sup>[12,13]</sup>.这三幅分类图为卫星摄像图,所用陆地卫星 MSS 4, 5, 6 三个波段的地面分辨率为  $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ ,实测的范围为  $10.24 \text{ km} \times 10.24 \text{ km}$ .本文在模拟中将土地空间划分为规则的正方形网格,每一个格子代表的土地面积的大小和卫星地面分辨率相对应,即每一网格对应实际用地的面积为  $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ ,整个网格对应实际面积范围大小为  $10.24 \text{ km} \times 10.24 \text{ km}$ ,格子数目为  $128 \times 128$ .在图 2a~图 2c 中,能分辨的城市功能结构主要是代表环境功能的河流和已经开发的建筑物.因此,考虑未开发格子的功能值时,只考虑环境和城市建筑被开发可能性 2 种因素.在考虑格子的影响邻域时,采用 Moore 邻居.在模拟图形中,用白色网格代表未开发土地,用红色网格代表已开发土地.

鉴于卫星数据图只能分辨出城建用地和河流,故模型的演化过程具体可表述为:

(1) 逐个判断各未开发格子  $(i,j)$  到河流的距离.通过多次模拟得出距离河流最远处环境功能值,从而得出衰减系数  $U$ ,由此算出各个未开发格子的潜在功能值  $I(i,j)$ .

(2) 确定各未开发格子的被开发可能性,即算出  $b(i,j)$ .

(3) 给出未开发格子的开发概率,  $p(i,j) = b(i,j) \times E_d / E_s$ .

(4) 将模拟的结果和 1983 年的城市用地网格图相比较后得出模型的相关系数,随后以此参数为基准模拟演化 1993 年的用地空间形状.

图 3a 图 3b 图 3c 分别是 1973 年、1983 年、1993 年的网格图,图 3d 图 3e 分别为 1983 年、1993 年的模拟图.

经过图形的相似性判别,模拟图和卫星图的相似性在 76.4% 以上,结果基本符合.所产生的误差主要

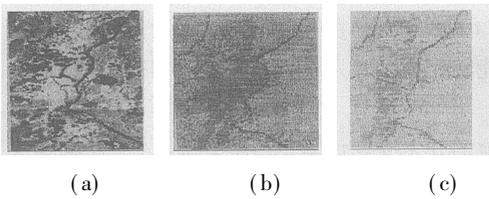


图 2 不同时间桂林城市建筑、交通用地分类图<sup>[12, 13]</sup>

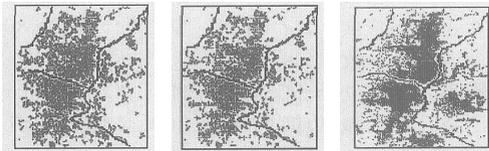
Fig. 2 The land classificate pictures of architecture and transportation of Guilin in different times

(a) 1973年桂林城市建筑、交通用地分类图; (b) 1983年桂林城市建筑、交通用地分类图; (c) 1993年桂林城市建筑、交通用地分类图

(a) The land classificate pictures of architecture and transportation of Guilin in 1973; (b) The land classificate pictures of architecture and transportation of Guilin in 1983; (c) The land classificate pictures of architecture and transportation of Guilin in 1993



(a) (b)



(c) (d) (e)

图 3 不同时间桂林城市建筑、交通用地网格图和模拟图

Fig. 3 The gridding pictures and the simulative pictures of architecture and transportation of Guilin in different times

(a) 1973年桂林城市建筑、交通用地分类网格图; (b) 1983年桂林城市建筑、交通用地分类网格图; (c) 1993年桂林城市建筑、交通用地分类网格图; (d) 1983年桂林城市模拟图; (e) 1993年桂林城市模拟图

(a) The gridding pictures of architecture and transportation of Guilin in 1973; (b) The gridding pictures of architecture and transportation of Guilin in 1983; (c) The gridding pictures of architecture and transportation of Guilin in 1993; (d) The simulative picture of Guilin city in 1983; (e) The simulative picture of Guilin city in 1993.

体现在图 3c和图 3e的右下方. 原因主要是: (1) 因为 1993年模拟图是以 1983年的卫星图为准演化而来的, 由于卫星图的分辨率问题, 模型中应有的一些城市功能没有考虑到, 如道路建设、商业、娱乐功能等; (2) 1988年桂林高新技术产业区创建于市区漓江东畔 (即是图中右下角). 由于政策性的因素, 高新区成为了当时桂林经济增长的一个亮点, 从而也带动城市化的建设. 由于模型没有能考虑到这一政策性的因素, 所以产生了上面的误差. 但是, 本文在非常少的信息下得到的模拟结果和卫星实测结果如此相

似, 如果掌握了更多的城市信息, 可以对城市空间的演化进行科学预测, 从而提高城市建设工作的科学性.

### 3 结束语

细胞自动机城市空间演化模型是一种适应范围很宽的模型, 能模拟各种情况下城市空间的发展过程. 由于城市是一个非常复杂的系统, 包含大量的相互作用关系. 如果处理这些相互作用关系的定量程度比较低时, 则会给模型中带来大量的待定参数, 从而降低模型的实用性. 本文通过运用功能质心来标度各未开发土地的功能值, 可以提高对土地状态描述的定量化程度, 从而减少模型中的待定参数, 提高模型的实用性. 通过将模型用于桂林城市空间演化的重建过程模拟, 得到基本符合实际情况的结果.

### 参考文献

- 1 李才伟. 细胞自动机及复杂系统的时空演化模拟: [博士学位论文]. 武汉: 华中理工大学, 1997.
- 2 张显峰, 崔伟宏. 集成 GIS和细胞自动机模型进行地理时空过程模拟与预测的新方法. 测绘学报, 2001, 30(2): 148 ~ 155.
- 3 黎夏, 叶嘉安. 主成分分析与 Cellular Automata 在空间决策与城市模拟中的应用. 中国科学 (D辑), 2001, 31(8): 683~ 690.
- 4 何春阳, 陈晋, 史培军, 等. 基于 CA的城市空间动态模型研究. 地球科学进展, 2002, 17(2): 188~ 195.
- 5 孙战利. 基于元胞自动机的地理时空动态模拟研究: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院, 1999.
- 6 Batty M. New ways of looking at cities. Nature, 1995, 377 (19): 574.
- 7 Markes H A, Halvin S, Stanley H E. Modelling urban growth patterns. Nature, 1995, 377(19): 608~ 612
- 8 Batty M. Possible urban automata. Environment and Planning B Planning and Design, 1997, 24 175~ 192.
- 9 Batty M. Growing cities working paper. London: Centre for Adanced Spatial Analysis, University College, 1997.
- 10 Ward D P, Murray A T, Phinn S R. A Stochastically constrained cellular model of urban growth. Computer Environment and Urban System, 2000, 24 539~ 558.
- 11 Wolfram S. Statistical mechanics of cellular cellular automata. Rev Mod Phys, 1983.
- 12 茹锦文, 高洪, 李淑莹, 等. 桂林市资源环境信息系统. 桂林: 广西师范大学出版社, 1989.
- 13 茹锦文. 太空遥看桂林巨变. 桂林日报, 2002-12-13(6).

(责任编辑: 黎贞崇)