

# 50 年来太湖水网地区城市化空间过程的监测与模拟\*

## ⑦ 基于栅格单元扩展优先度的城市扩展模拟

潘贤章<sup>1,2</sup> 赵其国<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 城市空间扩展主要受水系以及道路、桥梁建设制约, 而水系、道路、桥梁都占有一定空间位置, 因此, 对城市扩展的空间模拟可以转化为分析城市扩展与水系、道路和桥梁的空间关系来解决。本研究以地理信息系统的距离分析为基础, 通过分析区域内各个栅格单元与水系、道路、桥梁(可达性)以及原城区的空间距离, 确定一定区域内各个栅格单元扩展的优先次序, 再按该次序填充, 并利用实际面积作为控制, 确定城市的空间范围。通过对宜兴城区 1984~2000 年的空间扩展模拟研究发现, 该方法模拟结果与实际城区吻合率可以达到 80% 以上; 通过考虑更多影响因素可望提高空间模拟精度。

**关键词** 城市扩展模型; 单元扩展优先度; 地理信息系统

**中图分类号** F301.24 **文献标识码** A

模型是以某种形式对一个系统本质属性的描述, 以揭示系统的功能、行为及其变化规律。城市化过程中的城市扩展模型研究主要是运用数学方法对城市扩展的空间过程进行定量模拟, 亦即对不同时期城市的空间形态进行拟合。这方面的研究已经成为近年城市化研究的一个热点, 涌现了很多模型, 比如 DLA 模型(Diffusion-limited Aggregation)、基于改进的二维 MRF(Markov Random Field)模型<sup>[1]</sup>, 以及目前得到广泛应用的元胞自动机(Cellular Automata, 简称 CA)模型及其改进型。特别值得一提的是 CA 模型, 该模型采用简单规则组进行结构递归, 对散布在规则格网(grid)中的每一元胞(cell)采用同样的作用规则进行全局同步更新, 从而获取阶段性的或者最终的空间分布形态。很明显, 这是一种时间-空间复合模型<sup>[2]</sup>。CA 模型应用到城市扩展上就是基于一定的变化规则和当前城市空间形态模拟其未来空间形态。结合了 GIS 技术以及其他技术的 CA 模型在应用上具有很大的潜力<sup>[3,4]</sup>。

本研究采用不同的思路, 主要考虑影响城市扩展主导因素的空间分布, 通过分析城市周围各个栅

格单元与这些影响因素之间的空间关系, 确定各个单元扩展的优先度, 然后以一定的面积作为阈值控制, 按扩展优先度从大到小进行填充, 从而确定城市的形状。由于影响因素在空间位置上会随着时间的推移发生变化, 因而对不同时期的城市扩展状况要分别进行模拟。这种模拟由于使用城区面积作为控制因子, 不会出现有些模型模拟时产生难以控制的情况。该模型通过结合城区面积数量预测的模型, 还可以对城区扩展的空间分布进行预测。因此, 本模型具有一定的应用前景。

## 1 模型的原理

对于一个待扩展地块而言, 离开城市越近或者离开主干道越近, 其在未来就越可能得到扩展, 但是首要条件是该区域必须可达, 如果没有桥梁, 离开城市再近也得不到发展。同样, 位于丘陵山区的地块也不容易扩展, 而且水域一般是不可扩展之地。由此可以看出, 待扩展地块扩展的优先度取决于其所在的空间位置, 而且由可以度量的离开某特定位置

\* 国家重点基础研究发展规划“973”项目(G1999011810)、中国科学院创新方向项目(KZCX3-SW-427)和中国科学院南京土壤研究所所长基金(ISSDF007)资助

作者简介: 潘贤章, 男, 副研究员, 主要从事遥感和地理信息系统应用研究。E-mail: panxz@issas.ac.cn

收稿日期: 2004-03-12; 收到修改稿日期: 2004-08-01

的距离决定的。

在地理信息系统(GIS)中解决距离之类问题的主要工具就是距离制图工具(Distance mapping tools)。距离制图工具是GIS空间分析模块中基于栅格的一种空间分析功能,对于一定空间中的某个栅格单元,通过距离分析可以获取其与某确定位置之间的空间距离。对于本研究而言,主要是计算各栅格单元与现有城区和道路的距离。显然,栅格单元的数值越小,该栅格所在地就越可能优先得到发展。

现有道路和城区对城市扩展的影响是不同的,需要对二者赋予不同的权重,再加权求和确定各栅格单元的综合距离。还要考虑可达性问题,也就是某栅格单元与城市的连通性问题,也可以将其转化成权重问题来解决。为此,首先按照水系以及其他相关因子将研究区域划分为不同的亚区,并赋予不同的数值表征其与城区联通的程度。通过桥梁直接与城区相连的亚区赋值最小,对于通过多个桥梁与城市相连的亚区赋予一个比较大的值,对于无桥梁可达的地块,包括水域赋予一个更大的值,对于丘陵山区也赋予大值。将这个图作为权重,与上面的综合距离图相乘,获得一个考虑了可达性问题的栅格扩展次序图。

将亚区联通程度图定义为A图,通过距离分析分别建立的城区距离图和道路距离图定义为Dfc和Dfr,并分别赋予权重系数b和c,为此,栅格单元扩展优先次序图:

$$Pri = A \times (b \times Dfc + c \times Dfr) \quad (1)$$

其中  $b + c = 1$ , b和c值通过比较模拟图 and 实际城区图来确定。

在此基础上,按照优先次序进行栅格填充,数值小的优先填充作为城区,这样一直填充下去,直至模拟的面积与被模拟时间段的实际面积相等或者接近为止,这样就可以得到城区空间分布模拟图。

## 2 模型的实例研究

根据研究,城市的扩展分为4种类型,即密集型密集发展、交通轴线带状发展、分散式一城多点发展以及多向交通走廊式发展<sup>[5]</sup>。本研究选取宜兴市作为研究区域,该城区地处平原,城市发展总体来说属于多向交通走廊式发展,城区沿周围几条主干道扩展,但是受限于水系,城市形状受到挤压,同时由于南部为丘陵山区,城市在该区域的发展也受到限制,因而城市呈现不规则的形状。

从文献[6]分析可以看出,宜兴城市扩展主要在1984年之后快速展开,为了研究方便,我们将1984年作为模拟起始年,1984~1992年作为第一个模拟阶段,1992~2000年作为第二个模拟阶段,这样划分并不是反映城市发展的阶段性规律,只是受制于数据资料等情况所作的主观性的规定。

模型分析是在Arcmap软件系统中进行的。Arcmap系统为空间分析提供了强大的模块,其中距离制图工具提供了直线距离分析功能,用于计算各个栅格单元离开特定位置的直线距离。以1984年实际城区和道路为对象可以分别获得Dfc<sub>84</sub>和Dfr<sub>84</sub>图,同样,以1992年实际城区和道路为对象可以得到Dfc<sub>92</sub>和Dfr<sub>92</sub>图。

对于A图,我们着重考虑的是栅格与城市的联通性以及地形因素等,通过12座桥(可通行汽车)与城区相连接的亚区赋值1,超过2座桥的赋值2,不能通达的区域,包括无桥梁的区域赋值10。对于水域和位于丘陵山区的栅格同样赋值10。当然不同时间段道路、桥梁等通行状况会发生变化,需要重新分析制作A图,再通过栅格化处理就生成了亚区联通程度图A<sub>84</sub>和A<sub>92</sub>。

宜兴城区解译图主要来自于Landsat TM遥感图像,地面分辨率是30m,实际计算时考虑到计算量以及解译精度等等问题,选取栅格大小为50m×50m。然后以1984年Dfc<sub>84</sub>、Dfr<sub>84</sub>和A<sub>84</sub>图作为基础模拟1992城市形态,再以实际的1992年的Dfc<sub>92</sub>、Dfr<sub>92</sub>和A<sub>92</sub>图为基础模拟2000年城市形态。

为了求算方便,我们以宜兴市区为中心划定一个9km×7km大小的研究区域,首先运用公式(1)求算整个研究范围内各栅格单元的综合数值,然后按数值从小到大依次将栅格属性转换为城区,直至模拟城区面积与该时期的实际城区面积相同或者接近为止,这样形成一个城区空间分布拟合图。通过检验拟合图与实际图栅格重叠程度可以检验模拟的精度,就是将实际城区的空间范围与模拟图进行比较,查看二者的吻合程度。

## 3 结果与讨论

通过反复比较,确定公式(1)中的两个系数b和c分别为0.15和0.85。经过ArcMap软件系统的栅格计算和阈值取舍,获取1992年和2000年城市空间分布的拟合图。为了更直观,又将1992年和2000年的实际城区空间分布图与此相减,分别获取这两

个时期的拟合—实际叠加图(图 1a, 图 1b)。需要说明的是, 这两图没有考虑环城公路以外区域的居民点, 也没有考虑城市周边的乡村居民点, 包括那些没

有与城市直接相连或者通过公路相连的乡村居民点。实际上, 边缘地方的居民点本身对扩展的贡献并不大, 对城市扩展的影响是可以忽略的。



图 1 城市扩展模拟图与当年实际扩展图比较 (a. 1992 年; b. 2000 年)  
(图中实际城区是淡灰色+黑色区, 而模拟范围则是淡灰色+较黑区域)

Fig. 1 Comparison between the simulated and the real in city distribution(a. 1992; b. 2000)

(In the map, the light and darker area represents the simulated urban; the light and dark area represents the real one)

通过对模拟图与实际城区图的比较, 可以发现, 在给定的参数下, 城市扩展的形状可以较好地模拟出来, 但是在 1992 年的模拟图中, 往北的主干道上, 模拟得不好, 有一个区域不能完全模拟出来, 原因是该区域是乡镇新开发区, 同时往南边的干道周围模拟结果也不是很好, 因为该区域是市政府新的办公区, 位于低丘区。这些行政因素导致的扩展暂时还没有考虑。

由于 2000 年的模拟图是在实际的 1992 城区图上经过运算模拟出来的, 主干道和新扩展城区都模拟得比较好。但是在西北部和北部城镇的道路周围模拟得不好, 这是由于乡镇的扩展沿着公路快速展开而导致的。同时模拟图还夸大了位于西南部的工业园区的扩展速度。从总体的拟合精度来看, 1992 年和 2000 年模拟城区与实际城区的吻合程度分别为 80.4% 和 80.3%。

虽然本模型通过考虑交通对城市的扩展的影响而间接考虑了部分人为因素对城区扩展的影响, 然而这种考虑是不够的, 尤其是在开发区建设、政府办公区的迁移、乡镇的快速发展方面, 由于政府干预的力度很大, 超出了本模型的能力范围。通过考虑更多影响城市扩展的因素将有望提高模拟的精度。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Andersson C, Lindgren K, Rasmussen S, *et al.* Urban growth simulation from 'first principles'. *Physical Review E*, 2002, 66 (2): 1~ 9
- [ 2 ] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社, 1999. Zhou C H, Sun Z L, Xie Y C. *Research on Geo-Cellular Automata* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [ 3 ] Wu F L. GIS-based simulation as an exploratory analysis for space-time processes. *Journal of Geographical Systems*, 1999, 1(3): 199~ 218
- [ 4 ] Li X, Yeh A G. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *Int. J. Geographical Information Science*, 2000, 14(2): 131~ 152
- [ 5 ] 姚士谋, 帅江平. 城市用地与城市生长. 合肥: 中国科技大学出版社, 1995. Yao S M, Shuai J P. *Urban landuse and urban sprawl* (In Chinese). Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1995
- [ 6 ] 潘贤章, 赵其国. 50 年来太湖水网地区城市化空间过程的监测与模拟 I. 宜兴城区城市用地扩展的遥感监测. *土壤学报*, 2005, 42(2): 194~ 198. Pan X Z, Zhao Q G. Monitoring and modeling of urban spatial expansion in Taihu Lake area, China in the last 50 years I. A case study of Yixing city on monitoring of urban expansion (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 194~ 198

## MONITORING AND MODELING OF URBAN SPATIAL EXPANSION IN TAIHU LAKE AREA, CHINA IN THE LAST 50 YEARS

### ⊕ URBAN EXPANSION MODELING BASED ON CELL EXPANDING PRIORITY

Pan Xianzhang<sup>1,2</sup> Zhao Qiguo<sup>1</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract** The research on urban expansion in Yixing city shows that the city's growth is greatly affected by river systems and communication networks (roads and bridges). Since they occupy certain land spaces, modeling of urban expansion can be transformed into analysis of their spatial relationships with the city's growth. Based on distance analysis by using grid GIS, this paper is trying to simulate spatial distribution of Yixing city by firstly calculating spatial distances from each cell to the river system, roads, and the former city zone in the whole region to determine the priority of each cell in expansion, and then filling in the whole region according to each cell's priority in expansion. When the total area of the filled cells is near the real urban area then stop filling in and thus the simulated city distribution would be determined. The case study of Yixing city in China shows that the precision of spatial simulation can be as high as 80% as compared with the real city. The precision is expected to be improved by taking into account more factors that might affect town sprawl.

**Key words** Urban expansion modeling; Cell expanding priority; GIS