

基于 SLEUTH 模型的东莞市区城市增长模拟研究

冯微微^{1,2}, 夏斌¹, 吴晓青³, 杨宝龙^{1,2}, 冯里涛^{1,2}, 陈红顺^{1,2}

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东 烟台 264003)

摘要:应用 SLEUTH 城市增长模型, 借助 GIS、RS 技术, 对东莞市区 1990—2003 年的城市增长过程进行模拟, 同时预测 2003—2030 年城市增长情况。结果表明, SLEUTH 模型较好地描述了东莞市区“自下而上”的城市增长模式, 在这种增长模式下, 未来东莞市区的城市化水平将在 10~20 a 内达到临界状态。研究结果对于理解东莞市区城市增长的内在规律具有理论和现实指导意义, 同时可为政府制定相关决策提供依据。

关键词:SLEUTH 模型; 城市增长; 模拟; 东莞

中图分类号:F291.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-0504(2008)06-0076-04

元胞自动机(CA)模型强大的空间建模和运算能力以及独特的“自下而上”的构模方式, 使其在模拟复杂性系统(如城市系统等)方面表现出强大的模拟能力, 引起国内外学者的关注^[1-5]。CA 模型最核心的部分是定义适当的转换规则, 该规则由一系列空间变量控制, 这些变量对应着一系列参数, 每个变量对模型的作用取决于其对应参数的大小。对于如何获取这些参数, 国内外学者提出了不同的方法, 如 Clarke 等提出用肉眼判断的方法寻找参数^[3,4], 黎夏等提出基于案例推理及神经网络的方法获取模型参数^[1,2]。这些方法丰富了 CA 模型理论, 但也存在许多问题, 如主观性太强, 不适合处理复杂的变量关系; 计算过程太复杂, 难以普及等。

SLEUTH 模型是一新型的 CA 模型, 其最大特点是利用计算机自动判断模拟结果与实际情况吻合的程度, 寻找误差最小的组合方案, 从而得到最佳的参数组合^[6]。同时, 它结构简单, 易于理解, 因此在城市模拟中得到了广泛应用。本文引入 SLEUTH 模型, 并以东莞市区为例, 通过多阶段校正获取模型转换规则的参数, 对其城市增长过程进行了模拟与预测, 以更好地理解城市增长的内在规律。

1 SLEUTH 模型

1.1 模型介绍

SLEUTH 模型的全称是“Clarke 城市增长元胞自动机模型”, 需要 6 个输入图层(只进行城市增长模拟时不需要土地利用图层), 分别是 Slope(坡度图层)、Landuse(土地利用图层)、Exclusion(排除图

层)、Urban Extent(城市化图层)、Transportation(道路图层)和 Hillshade(山体阴影图层)^[6-9]。模型的转换规则受扩散系数、繁衍系数、蔓延系数、坡度阻碍系数和道路引力系数 5 个参数控制, 它们决定了城市增长的 4 种类型, 即自发增长、边缘增长、新扩散点增长和道路影响增长^[9]。模型模拟的基本流程如图 1 所示。

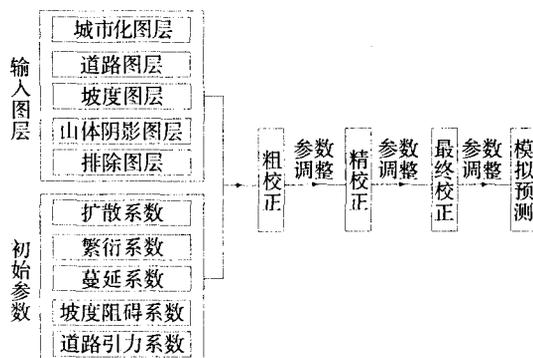


图 1 基于 SLEUTH 模型的城市增长模拟流程
Fig. 1 The process of urban growth simulation based on SLEUTH model

1.2 模型校正与自调节

运用 SLEUTH 模型进行城市增长模拟前需进行校正处理, 这是一个迭代处理过程, 根据模型 5 个参数的初始范围, 通过反复计算不同的参数组合所产生的模拟结果与实际情况的拟合度, 逐步缩小参数范围, 最终确定最优的参数组合。

由于城市增长并非简单的线性增长过程, 为更有效地模拟城市增长过程, Clarke 等在城市增长的速率和参数间引入了正向反馈关系^[9], 通过模型自调节模块, 当城市增长速率超过给定的阈值时, 各个系数都将乘上一个大于 1 的系数, 以符合城市的快

收稿日期: 2008-09-04; 修订日期: 2008-11-04

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40534019)

作者简介: 冯微微(1986-), 男, 硕士, 主要研究方向为 GIS 与空间动态模拟。E-mail: fenghuihui1986@163.com

速增长;反之,则各个系数都将乘上一个小于 1 的系数,以控制城市增长规模。

1.3 模拟过程

模型校正后,模型参数即被确定。在此基础上,某一位置的未城市化元胞下一时刻被城市化的概率将由以下 4 个转化规则相互作用决定^[9,10]:1)自发城市化。根据元胞所处位置的坡度大小,判断未城市化元胞在下一时刻是否转化为城市用地。一般以 21%为阈值,坡度小于阈值的元胞都有被城市化的可能,模型运行时将根据扩散系数及坡度大小决定元胞下一时刻被城市化的概率。2)产生新的扩散中心。对一个新产生的城市元胞,若其 3×3 的 Moore 邻域空间中包含 2 个或 2 个以上的城市化元胞时,模型将根据繁衍系数决定该元胞在下一时刻成为新的城市扩散中心的概率。3)城市边缘增长。对于扩散中心,如果邻域内有 3 个或 3 个以上城市化元胞,那么对于其他坡度小于 21%的未城市化邻域元胞,模型将根据蔓延系数决定其下一时刻被城市化的概率。4)道路影响型扩散。主要是根据道路影响因子,在现有的交通状况下模拟交通线对城市增长的影响。

2 模型应用及结果分析

2.1 数据预处理

选取东莞市中心城区作为研究区域(图 2 阴影部分),该区域位于东莞市西北部,主要包括东莞市区及高埗、茶山、厚街等周边城镇的一部分。研究区东部接近东江河滨,陆地和河谷平原分布其中,为易于积水的埔田区;西北部是东江冲积而成的三角洲

平原,是地势低平、水网纵横的围田区;中南部低山丘陵成片,为丘陵台地区。

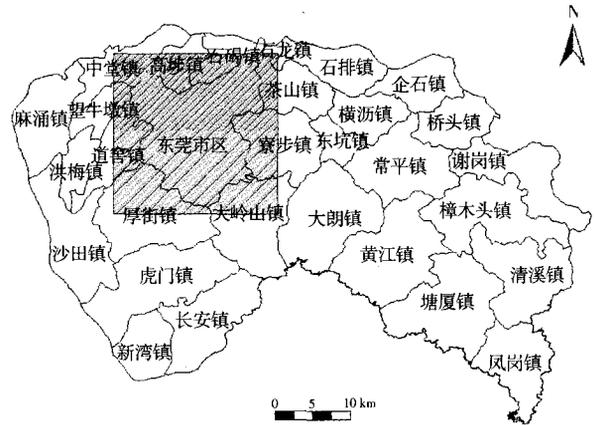


图 2 研究区示意
Fig. 2 Study area

模型所用数据包括:1990 年、1995 年东莞市 TM 影像和 2000 年、2003 年东莞市 ETM+ 影像以及东莞市的数字高程数据(DEM)、东莞市统计年鉴等。实验采用的软件是 ArcGIS 9.2 和 Erdas Image 9.1。数据处理时,通过 Erdas 软件对遥感影像分类,得到研究区 4 个时期的城市化图层,同时提取主要河流、湖泊等作为模型的排除图层;在 AcrGIS 中数字化遥感图像得到研究区 4 个时期的道路图层,并通过 DEM 数据获得百分比坡度图层和阴影图层。最后将所有数据层转换成 8 位灰度的 gif 格式文件,分辨率为 30 m。这些数据将作为 SLEUTH 的输入图层参与模型的运行。

2.2 模型校正及结果分析

模型 3 个校正阶段的参数设置及参数最优值如表 1 所示。

表 1 SLEUTH 模型各校正阶段的参数设置及参数最优值
Table 1 The parameters setting and final best values of each calibration of SLEUTH

模型参数	粗校正阶段		精校正阶段		最终校正阶段		参数最优值
	范围	步长	范围	步长	范围	步长	
扩散系数	1~100	25	75~100	5	85~90	1	87
繁衍系数	1~100	25	75~100	5	75~85	2	81
蔓延系数	1~100	25	75~100	5	90~95	1	94
坡度阻碍系数	1~100	25	1~25	5	1~5	1	1
道路引力系数	1~100	25	25~100	25	75~100	5	72
Monte_carlo 迭代次数	4		8		9		
总模拟次数	3 125		6 480		5 184		
Lee-Sallee 指数	0.62077		0.63124		0.62057		

校正结果可通过形状指数(Lee-Sallee)检验^[11],它表示模拟结果与实际情况的匹配度,公式如下:

$$Lee-Sallee = (A \cap B) / (A \cup B) \quad (1)$$

式中:A 表示模拟结果,B 表示实际结果。通过表 1 可知,3 次校正的 Lee-Sallee 指数分别达 0.62077、0.63124 和 0.62057,均在 0.62 以上,表明模型校正效果理想。同时,模型最优参数也在一定程度上反

映了东莞市区自 1990 年以来城市增长的基本特征:

(1) 模型参数坡度阻碍系数非常小,而其余参数数值均较大,蔓延系数甚至接近临界值。说明在过去十余年间,研究区的城市用地扩展所受阻碍很小,4 种类型的城市增长都获得较大规模的发展,呈现飞速增长的态势。这与实际情况相符,原因是改革开放以来,特别是 1992 年邓小平同志南巡之后,由于国家政

策的引导,珠三角地区经济迅速发展,城市化水平迅速提高,城市用地在短期内得到迅速扩张。

(2) 模型中扩散系数和蔓延系数很高,说明东莞市区的城市化过程中地域分散性很强,而且每个扩散点开始自我增长周期的程度很高。表明研究区城市用地存在严重的粗放型发展问题,主要体现在城市范围无限制的外延扩展以及空间无序蔓延,在空间上则表现为城市用地增长以各村为基础,分散式集中,并沿主要的交通干道扩展^[12]。

2.3 模拟及结果分析

本实验同时采用形状指数和面积比指数(Area-

Ratio)两个指标对模拟精度进行评定。面积比指数是指模拟的城市用地面积与实际面积的比值,公式如下:

$$\begin{aligned} & \text{if}(A_0 < A_1) \\ & \quad \text{Area-Ratio} = A_0/A_1 \\ & \text{else if}(A_0 > A_1) \\ & \quad \text{Area-Ratio} = 2 - A_0/A_1 \end{aligned} \quad (2)$$

式中: A_0 表示模拟城市用地面积, A_1 表示实际面积。从表 2 的统计结果可以看出,3 个年份的形状指数分别是 51.10%、57.20%和 70.40%,均超过 50%;面积比指数分别达 92.70%、93.10%和 95.80%,说明模拟结果与实际情况基本吻合,模型对城市增长数量的拟合优于对空间位置的表达。

表 2 模拟结果统计
Table 2 Statistics results of the simulation

年份	实际城市密度		模拟城市密度		形状指数(%)	面积比指数(%)
	城市像元数	城市密度(%)	城市像元数	城市密度(%)		
1990	55 772	10.80	55 772	10.80	—	—
1995	158 781	30.60	170 362	32.90	51.10	92.70
2000	215 380	41.60	230 279	44.40	57.20	93.10
2003	287 942	55.60	299 905	57.90	70.40	95.80

从模拟结果(图 3,见封 2)可以看出,1990—1995 年城市增长方式主要是道路影响增长和边缘增长,同时未城市化地区出现了许多孤立的扩散点;1995 年以后,基于城市化元胞及新扩散点的边缘增长成为研究区主要的增长方式。模拟过程较好地反映了研究区城市增长的内在规律,改革开放以来,东莞市经历了由外资和“三来一补”模式带动的“自下而上”的工业化,进而实现快速城市化过程,在空间上则表现为由村落到镇区、再到中心城区的扩展历程^[12,13]。

根据统计结果,研究区 3 个时段实际城市增长的像元数分别是 103 009、56 599、72 562;增幅分别是 19.8%、11.0%、14.0%。模拟结果比实际情况略高,城市增长的像元数分别是 114 590、59 917 和 69 626,增幅分别是 22.1%、11.5%和 13.5%。从图 3 可以看出,这种高估主要发生在研究区东北方向(主要是高埗、茶山、寮步镇辖区内),尤其到了后期,该区域实际未城市化部分大多成了新的扩散点。实际上,该地区主要是易于积水的埔田区和东江冲积而成的三角洲平原,地势较平坦,分布着大量优质水田和农用地。由于模型只提取了主要河流和湖泊作为排除图层,导致城市增长未能避开这些限制区域,模拟效果受到一定的影响。

2.4 未来研究区城市增长预测

以 2003 年为起点,预测 2030 年的城市增长状况(图 3)。结果表明,2010 年、2020 年和 2030 年的城市像元数分别是 376 117、430 667、430 932,密度分

别是 72.6%、83.0%、83.2%,3 个时段(2003—2010 年、2010—2020 年、2020—2030 年)的城市增长面积分别是 68.6 km²、49.1 km²、0.2385 km²,表明研究区城市增长呈锐减趋势,而 2020—2030 年城市增长几乎为零,表明在 2020 年前后研究区的城市化水平已接近临界状态^[13-15]。

此外,由于模拟的城市增长没有很好地避开农业用地,从预测图可以看出,未来研究区将在城市边缘进行扩散增长,不断占用农业用地。到 2020 年,高埗、茶山、寮步三镇的农业用地将消失殆尽,成为城市用地。因此,在编制未来土地利用规划时,应加大对这些农业区域基本农田的保护力度,避免城市化过程中占用过多的优质农田。

3 结论

本文运用 SLEUTH 模型,结合 GIS、RS 技术,对东莞市区 1990—2003 年城市增长情况进行历史重建,同时预测到 2030 年的城市增长情况。结果表明,SLEUTH 模型较好地描述了东莞市区“自下而上”的城市增长模式;未来一段时期,城市化速度将放缓,到 2030 年东莞市区城市化水平达 83.2%,高埗、茶山、寮步三镇的优质农业用地将被侵占,迫切需要采取相关措施引导和控制城市扩展过程,保护基本农田,促进区域可持续发展。

SLEUTH 模型还有待进一步改进。由于城市增长不仅是自身土地单元相互作用的结果,同时受社会、经济、文化等方面的影响,因此如何将宏观经

济、人口模型等动态地嵌入 SLEUTH 模型是提高模拟效果的一个重要方面。此外,一些突变性的因素(如国家政策、军事战争和自然灾害等)往往会使城市产生跳跃式或断裂式的发展,由于 SLEUTH 模型是根据城市历史数据的校正结果获取转换规则的参数,因此如何从突变前后的历史数据中获取转换规则的各个参数值,是模拟该类地区城市增长过程至关重要的环节。而对这些问题的深入研究,必将使得 SLEUTH 模型在城市增长模拟领域发挥巨大的作用。

参考文献:

- [1] 黎夏,叶嘉安,刘小平,等.地理模拟系统:元胞自动机与多智能体[M].北京:科学出版社,2007.53-56.
- [2] 黎夏,叶嘉安.基于神经网络的元胞自动机及模拟复杂土地利用系统[J].地理学报,2005,24(1):19-25.
- [3] HEROLD M, GOLDSTEIN N C, CLARKE K C. The spatiotemporal form of urban growth: Measurement, analysis and modeling[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 286-302.
- [4] CLARKE K C, HOPPEN S, GAYDOS L. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area[J]. Environment and Planning, 1997, 24: 247-261.
- [5] SILVA E A, CLARKE K C. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2002, 26(6): 525-552.
- [6] 吴晓青,胡远满,贺红士,等. SLEUTH 城市扩展模型的应用与准确性评估[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(3): 293-396.
- [7] 张岩,李京,陈云浩. 利用 SLEUTH 模型进行北京城市扩展模拟研究[J]. 遥感信息, 2007, 1(2): 50-54.
- [8] 尹长林,张鸿辉,刘勤志. 城市规划 CA 模型及其应用[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(3): 71-74.
- [9] USGS. Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling[EB/OL]. http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/project_gig.htm, 2008-05-27.
- [10] DING Y C, ZHANG Y K. The simulation of urban growth applying SLEUTH CA model to the Yilan delta in Taiwan[J]. Jurnal Alam Bina, 2007, 1: 96-99.
- [11] LI X, YE H A G O. Constrained cellular automata for modeling sustainable urban forms[J]. Acta Geographical Sinica, 1999, 54(4): 289-298.
- [12] 崔功豪,马润潮. 中国自下而上城市化的发展及其机制[J]. 地理学报, 1999, 54(2): 106-115.
- [13] 方远平,袁奇峰. 快速城市化地区城乡之变: 过程、问题及对策——以东莞市东城区为例[J]. 珠三角, 2008(4): 32-42.
- [14] 杨青生,黎夏. 珠三角中心镇城市化对区域城市空间结构的影响——基于 CA 的模拟和分析[J]. 人文地理, 2007, 94(2): 87-91.
- [15] 黄靖. 东莞城市化过程中若干问题研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 73-76.

Study on Urban Growth Simulation of Dongguan City Based on SLEUTH Model

FENG Hui-hui^{1,2}, XIA Bin¹, WU Xiao-qing³, YANG Bao-long^{1,2}, FENG Li-tao^{1,2}, CHEN Hong-shun^{1,2}

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: Based on SLEUTH model and technology of GIS and RS, the process of urban growth of Dongguan city from 1990 to 2003 was simulated, and then the form of urban growth of Dongguan city from 2003 to 2030 was predicted. The result illuminated that SLEUTH model could depict urban growth mode of Dongguan city "From Bottom To Up". Under this mode, the study area would reach critical state of urbanization between 10 and 20 years. It would be helpful to understanding the inner rule of urban growth on theoretic and practice and also provide useful information for city planner to make policy.

Key words: SLEUTH model; urban growth; simulation; Dongguan

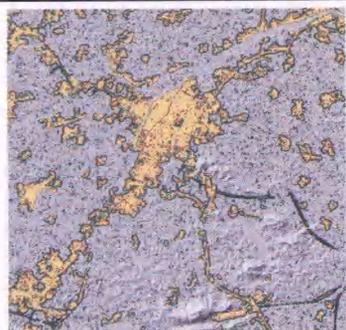
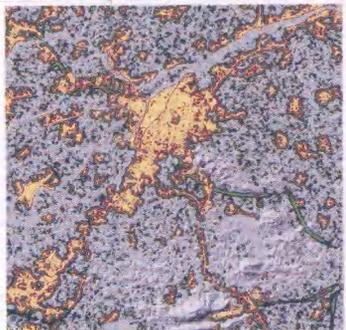
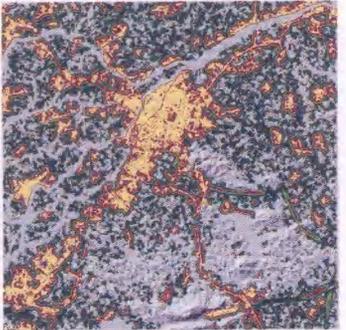
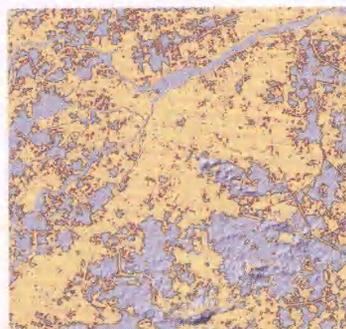
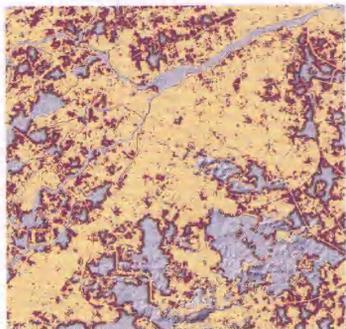
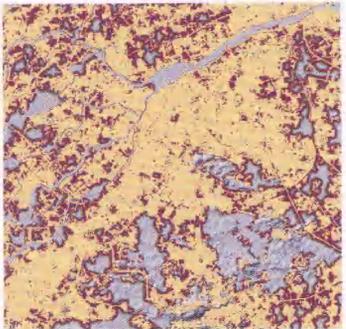
增长模拟	1995年	2000年	2003年
城市实际图			
城市模拟图			
增长预测	2010年	2020年	2030年
城市预测图			
说明	模拟图绿色像元为50%以上的城市发展概率,红色像元为90%以上的城市发展概率,黄色像元为已城市化像元		

图 3 模型模拟结果
Fig. 3 The results of calibration and prediction

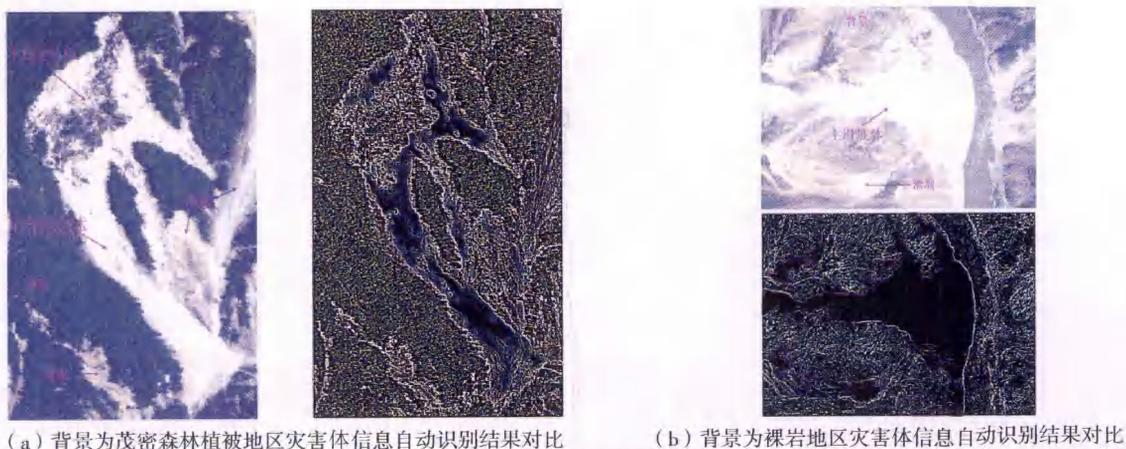


图 4 本文算法检测结果与原图对比
Fig. 4 Result of edge enhancement algorithm based on edge enhancement of mono-band multi-directional structuring elements and multi-band weighted color synthesizing