

SLEUTH 城市扩展模型的应用与准确性评估

吴晓青^{1, 2} 胡远满¹ 贺红士¹ 布仁仓¹

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳市文化路 72 号, 110016)
(2 中国科学院研究生院, 北京市玉泉路甲 19 号, 100049)

摘 要:基于多时相 TM 遥感影像, 利用 SLEUTH 模型对沈阳市 1988~2004 年间的城市扩展过程进行了模拟。采用 ROC 曲线、多分辨率误差估算和景观指数 3 种方法对 SLEUTH 模型在总体预测能力、城市扩展数量、空间位置和空间格局上的模拟准确性给予全面定量评估。结果表明, SLEUTH 模型具有可信精度, 对城市扩展总体趋势拟合较好, 但是对城市扩展空间位置的预测和城市空间格局的表达还有待于提高。

关键词:SLEUTH; 模拟准确性; 多分辨率误差估算; 景观指数

中图法分类号:P237.9

SLEUTH 城市扩展模型因其简洁性和普适性在世界范围内广泛应用^[1], 并在城市增长与景观变化模拟及预测、区域开发政策与城市规划方案评估以及环境影响评价方面表现出重要的应用价值^[2-4]。模型校正与准确性评估是模型应用的重要组成部分, 目前针对 SLEUTH 模型实际应用过程中的准确性评估多是单方面的^[2, 4-7], 其分析过程缺乏与地方城市发展特征的深入结合。本研究利用 SLEUTH 模型对沈阳市区 1988-2004 年的城市扩展过程进行了模拟。

1 数据与方法

1.1 数据与处理

本研究数据包括 TM 遥感影像、地形图(1:10 万)、DEM、城区航空影像图(1997、2001)、沈阳城区图(2000、2005)、沈阳市地区图(1:21 万, 2004)及相关社会经济统计年鉴。在航空影像图、沈阳城区图的辅助下, 目视解译 TM 遥感影像获得市辖区五期城市建设用地图即城市观测图, 并通过实地调查进行检核。利用 DEM 获得百分比坡度图层和阴影图层。参考 1988 年遥感影像、地形图和沈阳市地区图提取主要河流、湖泊、水库及主要公园等要素, 并将其作为排除要素输入模型的排除图层中。此外, 参考相关资料绘制了沈阳

市开发区及发生行政建制变化的镇区图, 并作为掩膜图层用于模型准确性评估。

1.2 模型校正与模拟

SLEUTH 模型基于地方历史城市扩展过程进行未来城市发展预测, 充分考虑了地形、交通网络、现存城镇分布、随机因子等影响城市扩展的重要因素^[1, 8]。本研究利用 SLEUTH 模型进行城市扩展模拟, 关于模型校正和模拟的运行设置见表 1。模型校正采用“强力校正”方法, 即利用计算机反复计算不同参数组合所产生的模拟结果与

表 1 SLEUTH 模型运行阶段与参数设置

Tab. 1 Operation Phases and Settings of Coefficients in SLEUTH Model

项目		校正阶段	预测阶段
输入数据	模拟期	1988~2004	1988~2004
	分辨率/m	60	60
	城市图层	1988, 1992, 1997, 2000, 2004	1988
	道路图层	1988, 1992, 1997, 2000, 2004	
	排除图层	排除不可被城市化的区域(0~100%)	
	坡度图层	来自 DEM 的百分比坡度图层, 保持不变	
增长系数	阴影图层	来自 DEM, 保持不变	
	扩散系数	1-100, 30	30
	繁衍系数	1-100, 72	72
	传播系数	1-100, 36	36
	坡度阻抗系数	1-100, 29	29
道路引力系数		1-100, 52	52
蒙特卡罗迭代次数		20, 100	100

实际情况的拟合度,以获得最优系数集^[5]。

校正完成后,利用最优系数集初始化模型的预测模块,执行过去到现在的历史模拟,所输入的排除图层与模型校正阶段相同。模型模拟输出的城市扩展年概率图,按照 50% 的概率阈值重分类为二值的城市范围图即模拟图。

1.3 准确性评估方法

采用 3 种方法对 SLEUTH 模型的模拟准确性进行全面定量评估。首先引用 ROC(relative operating characteristic)统计方法^[9]对模型的总体预测能力给予评估,ROC 取值在 70% 以上时,模型具有可信精度^[10]。运用基于列联表的多分辨率误差估算方法对城市范围模拟图与观测图的一致性进行全面分析,以考察 SLEUTH 模型在城市扩展数量、位置以及空间邻域关系表达上的模拟准确性^[11]。运用景观指数对 SLEUTH 模型在城市空间格局上的模拟准确性给予定量评估。选择平均斑块大小(MPS)、最大斑块指数(LPI)、平均最近邻体距离(MNN)和平均形状指数(MSI)4 个指数。

此外,对模拟图与观测图分别进行掩膜处理,并再次采用以上 3 种方法进行统计比较,以考察沈阳市开发区建设与乡转镇的行政建制变化对 SLEUTH 模拟准确性的影响。

2 结果与分析

2.1 ROC 曲线评估结果

按照不同的概率阈值将 1988~2004 年城市扩展模拟图分为 12 个图(阈值为 1、5、10、20、30、40、50、60、70、80、90、95%),然后与观测图进行空间叠加,建立每个概率阈值上的列联表,计算 ROC 统计值。结果显示,ROC 统计值达到 75.7%,掩膜分析后为 80.6%(图 1),这说明

SLEUTH 模型具有可信精度,地形、交通、现有城市分布等因子对市区过去 16 a 间的城市扩展过程具有较强的解释能力,而开发区建设和行政建制的变化在一定程度上降低了模型的总体预测能力。ROC 方法特别适合评估模型输出为概率值的土地利用变化模型^[9],能将不同概率阈值上的模拟准确性合并为一个指标值,从而给 SLEUTH 的总体预测能力提供一个客观的评价,便于模型之间预测能力的比较。但是,该方法不能评估模型在城市扩展空间格局上的准确性。

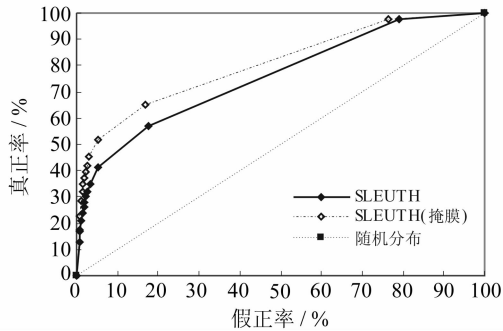


图 1 1988~2004 年城镇扩展模拟的 ROC 曲线验证
Fig. 1 ROC Curves to Validate the Urban Growth in the Shenyang Between 1988 and 2004 Based on the SLEUTH Model

2.2 多分辨率误差估算结果

将 2004 年的城市范围模拟图与观测图的一致性进行误差估算(图 2(a)、2(b)),以考察 SLEUTH 模型在城市扩展数量、位置上的模拟准确性。结果显示,60 m 分辨率水平上,两幅图的总体一致性达到 95.13%,其中数量上和位置上的一致性分别为 27.66% 和 17.47%;位置上的不一致性为 3.90%,数量上的不一致性为 0.97%,说明 SLEUTH 模型对城市扩展数量的模拟精度高于对空间位置上的模拟精度。掩膜分析后,两幅图的一致性大大提高,总体一致性达到 96.68%,

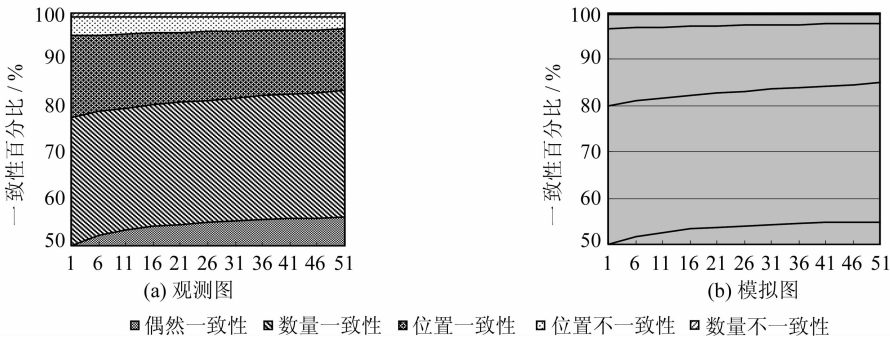


图 2 2004 年城市范围观测图与模拟图的多分辨率误差估算

Fig. 2 Multiple-Resolutions Budget for Components of Agreement and Disagreement Between the Observed and Simulated Urban Extent Map for 2004

数量上和位置上的不一致性都降低,分别为 2.99%和 0.34%,表明开发区建设和行政建制变化降低了模型模拟的准确性。

多个分辨率水平的误差估算结果显示,随着分辨率的降低,观测图与模拟图的总体一致性上升,位置上的不一致性降低(图 2),表明 SLEUTH 模型在较粗分辨率下能较好地表达空间邻域关系,适合进行区域尺度城市扩展模拟及其环境影响评估。

2.3 景观指数评估结果

景观指数评估结果显示,观测的与模拟的城市建设用地类型景观格局表现出明显差异。MPS、MNN 和 MSI 三个景观指数值相差较大,在有些时间段甚至出现相反的变化趋势(图 3(a)、3(c)、3(d));LPI 值的差别较小(图 3(b)),1992 年之后观测值与模拟值都持续降低。掩膜处理后,模拟图与观测图在城市发展空间格局上的一致性有了不同程度的提高,说明开发区建设和行政建制的变化在某种程度上降低了 SLEUTH 模型在城市空间格局上的模拟准确性。MSI 值变化不大则是因为掩膜图层中的城市斑块形状相对比较规则,在一定程度上降低了城市斑块类型的平均复

杂程度。

这些景观指数值的变化表明,模拟的城市景观格局比较紧凑,模拟期内城市扩展以现有城镇的边缘扩张为主,新城市斑块增加不多,1988 年复杂的斑块形状逐渐变得规则化,斑块之间的距离甚至出现稍微的增加,显然这与 1988~2004 年间现实的城市扩展格局不相符合。这主要与 SLEUTH 的模型结构和地方城市发展特征有关。SLEUTH 模型给予边缘增长类型绝对优势地位,使得模型模拟的城市扩展格局过于紧凑,对新城市斑块的出现不能给予较好地表达。特别是在模拟初期,这种现象非常明显,随着模拟时间的延长,城市建设用地沿道路增长的趋势日益明显,城市斑块形状开始复杂化,这时观测值与模拟值的一致性有所提高。另外,SLEUTH 模型的概率累积特性以及土地利用类型的聚合又进一步降低了模型在城市扩展空间格局模拟上的准确性。现实的原因是沈阳市开发区的大规模建设和行政建制变化导致的“蛙跳”式城市扩展格局,使得任何模型都很难准确模拟这种较强行政干预下的城市扩展过程。

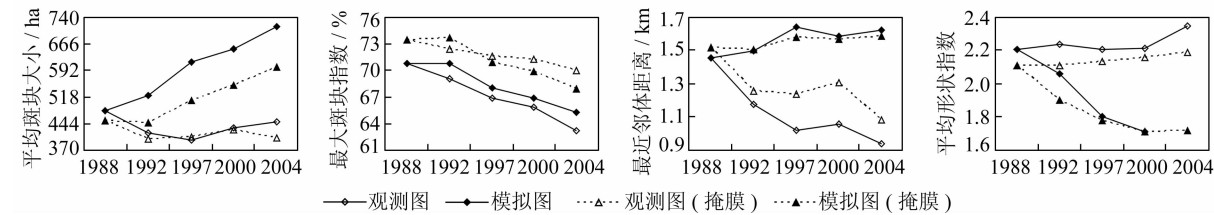


图 3 基于景观指数的城镇范围模拟图与观测图的比较

Fig. 3 Comparison Based on Landscape Pattern Metrics Between Observed and Simulated Urban Development

3 结 语

ROC 曲线统计、多分辨率误差估算以及景观指数从总体预测能力、城市扩展数量、空间位置和空间格局上给予 SLEUTH 模型一个全面的评估。总体上来说,SLEUTH 模型较好地表达了沈阳市 1988~2004 年间的城市扩展总体趋势,具有可信精度。但是,在像元尺度上模型对城市扩展空间位置的预测及对城市空间格局的表达还有待于提高,这主要是受到模型自身结构和地方城市发展特征的影响。多种评估方法的运用为城市扩展 CA 模型的评估与验证提供了很好的思路,而模型准确性评估结果不但指明了 SLEUTH 模型

的改进方向,同时也对实现我国城市扩展过程的准确模拟提出了挑战。

参 考 文 献

[1] 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

[2] Jantz C A, Goetz S J, Shelley M K. Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate the Impacts of Future Policy Scenarios on Urban Land Use in the Baltimore Washington Metropolitan Area[J]. Environment and Planning, 2003, 31: 251-271

[3] Yang X, Lo C P. Modelling Urban Growth and Landscape Change in the Atlanta Metropolitan Area [J]. International Journal of Geographical Informa-

tion Science, 2003, 17(5):463-488

[4] 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

[5] Lee D R, Sallee G T. A Method of Measuring Shape[J]. The Geographical Review, 1970, 60: 555-563

[6] Herold M, Goldstein N C, Clarke K C. The Spatio-Temporal Form of Urban Growth: Measurement, Analysis and Modeling[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 286-302

[7] Herold M, Couclelis H, Clarke K C. The Role of Spatial Metrics in the Analysis and Modeling of Urban Land Use Change[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29: 369-399

[8] USGS. Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling[OL]. http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/project_gig.htm, 2006

[9] Pontius Jr R G, Schneider L C. Land-Cover Change Model Validation by an ROC Method for the Ipswich Watershed, Massachusetts, USA[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 85: 239-248

[10] Swets J A. Measuring the Diagnostic Systems[J]. Science, 1988, 240:1 285-1 293

[11] Pontius Jr R G, Huffaker D, Denman K. Useful Techniques of Validation for Spatially Explicit Land-Change Models [J]. Ecological Modelling, 2004, 179(4): 445-461

第一作者简介:吴晓青,博士生,主要从事 GIS、遥感和景观生态学研究。
E-mail: xiaolu_9708@163.com.

Accuracy Evaluation and Its Application of SLEUTH Urban Growth Model

WU Xiaoqing^{1, 2} HU Yuanman¹ HE Hongshi¹ BU Rencang¹

(1 Institute of Applied Ecology, CAS, 72 Wenhua Road, Shenyang 110016, China)
(2 School of Graduate, Chinese Academy Sciences, 19A Yuquan Road, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on multi-temporal TM data, the urban growth of Shenyang city from 1988 to 2004 was simulated by SLEUTH urban growth model. The multiple methods for map comparison and model validation were applied to evaluate the simulation accuracy of the SLEUTH model in Shenyang city. These multiple methods included the relative operating characteristic (ROC) curve, multiple-resolutions error budget, and landscape metrics. The results showed that SLEUTH had a credible precision on the whole, especially for the quantitative simulation of urban growth. However, the simulation accuracy for the spatial location of new development at the pixel scale and for the urban spatial pattern still needed to be improved greatly. Multi-methods research is important for the validation and evaluation of the urban CA models.

Key words: SLEUTH; model accuracy; multiple-resolutions error budget; landscape metrics

About the first author: WU Xiaoqing, Ph. D candidate, majors in the application of remote sensing, GIS and landscape ecology.
E-mail: xiaolu_9708@163.com.