

城市建设用地增长预测主要模型类型及特征

张 靓¹, 曾 辉^{1,2*}

(1. 北京大学城市规划与设计学院, 广东 深圳 518055; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:在概括现有主要城市建设用地增长预测模型类型和特征的基础上,总结了不同模型类型间的相互关系,分析现有模型在建构和实际应用中存在的主要问题,以期今后城市建设用地增长预测的方法论研究和实践提供参考。分析总结表明,现有常用的城市建设用地增长预测模型可以分为细胞自动机模型、多智能体模型、马尔可夫模型和综合模型4类,不同模型在建构机理和科学问题切入点选择方面差异较大,还没有出现适用所有研究目的的普适性模型方法。今后应围绕建设用地扩张的基础理论研究、合理确定城市系统简化路径与方法、提炼和总结建设用地增长预测的关键科学问题、模型手段的整合与创新四方面进行深入研究,推进城市建设用地增长模型建设和相关方法论实践研究。

关键词:城市; 建设用地; 增长预测; 模型

中图分类号:F293.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-0504(2014)01-0050-06

随着城市化进程的推进,建设用地持续扩张导致各类自然和农业用地不断减少,并由此产生了一系列资源供给和生态环境保护矛盾^[1,2]。寻求合理的技术手段,有效监控城市建设用地扩张过程及特点,为可能出现的各类资源环境问题寻求安全预案,成为城市化研究的热点领域^[3,4]。其中,对城市建设用地进行增长模拟和多情景预测是解决上述问题的一个有效途径。近年来,国内外学者在这方面进行了大量研究,也产生了许多用于城市建设用地增长预测的模型^[5-14],目前常用的大致可以分为细胞自动机模型、多智能体模型、马尔可夫模型和综合模型4类。依托上述模型手段的城市建设用地增长预测研究报道数量繁多,但几乎均为案例研究成果,关于模型手段本身的比较和总结研究尚不多见。本研究试图依托国内外最新研究报道,对现有主要城市建设用地增长预测模型类型及特征进行综合分析,解析不同模型手段的特征差异,总结现阶段模型研究和实践工作中的不足,探讨今后研究的重点领域和方向,以期今后城市建设用地增长预测研究提供借鉴。

1 模型主要类型与特征

1.1 细胞自动机模型

细胞自动机(Cellular Automaton, CA)模型^[15,16]通常基于空间相邻微观单元的相互作用,专注于模拟空间格局及其动态变化过程,一般难以很好地处

理城市较复杂的社会、空间格局和过程的细节,具有一定局限性;此外,该模型的关键在于确定转换规则^[7]。因此,关于CA模型的研究重点从转换规则的确定及模型的改进两方面展开。

1.1.1 CA模型转换规则确定方法 目前,细胞自动机转换规则的确定方法主要有人工神经网络(ANN)法、逻辑回归(LR)法和层次分析(AHP)法3种。其中,人工神经网络法^[17-19]主要通过机器学习与训练自动获取土地利用变化驱动因素的空间交互规则,将训练产生的参数值输入细胞自动机即可模拟和预测建设用地的变化过程;Logistic回归^[20-23]是概率型线性回归模型,在城市建设用地增长预测中通过研究过去城市建设用地增长与影响因素间关系来确定土地变化规则,进而利用细胞自动机对未来城市建设用地增长进行预测;层次分析法^[24-28]为多准则决策过程,其中每个因素的重要性通过评估因素的权重值决定。上述3种方法各具特色(表1),在应用中可以根据实际情况选取合适的转换规则确定方法。

1.1.2 CA模型的改进研究 细胞自动机仅基于土地单元本身的相互作用,在具体应用过程中逐渐凸显不足。因此,近年来许多以细胞自动机为基础的城市建设用地增长预测模型^[8-12,29]被开发。目前细胞自动机改进模型主要有SLEUTH模型、约束型细胞自动机、基于遗传算法和支持向量机的元胞自动

收稿日期:2013-05-29; 修回日期:2013-08-07

基金项目:国家自然科学基金项目(41071117)

作者简介:张靓(1989-),女,硕士研究生,研究方向为城市与区域规划、生态规划。*通讯作者 E-mail: zengh@pku.edu.cn

表 1 转换规则确定方法比较
Table 1 Comparison of approaches for the land transformation rule

方法	优点	不足
人工神经网络法(ANN)	具有强大的处理冗余和丢失数据能力;可以很好地解决土地利用变化及其驱动因素之间的非线性关系	十分复杂,需要有良好数学和计算机基础
逻辑回归法(LR)	是建立土地利用变化及其影响因子间关系的有效工具,并可进行定量分析	影响因素选择的主观性与盲目性会对模拟精度产生一定负面作用
层次分析法(AHP)	灵活,可以和不同技术集成;能够从广泛的意见中提取所需信息	衡量影响因素评价等级数据的方法只依靠少数专家意见,主观性较强

机以及 CLUE-S 模型等。SLEUTH 模型^[30-32]的基本原理是对参数分别赋值,通过多组预测、筛选能够模拟出最接近实际历史数据的一组参数,用这组最

表 2 主要细胞自动机改进模型特点
Table 2 Features of main improved cellular automata models

模型	改进机理	优点	不足
SLEUTH 模型	用计算机自动获取最佳参数组合	通过计算机自动判断模拟结果与实际情况的吻合度获得最佳参数组合;结构简单,易于理解;可结合大型空间数据库及多种分辨率的遥感数据,适用于各种时空尺度	不能很好地解决突变因素作用问题
约束型细胞自动机	在经典 CA 模型中引入约束条件	能更真实地模拟;可对约束因子进行专门的情景分析	一般所需数据量较大
基于遗传算法的细胞自动机	改进搜寻方法	能在解空间高效找到全局最优解;计算范围广,考虑了转移规则所有可能的组合	一般只适用于小镇尺度
基于支持向量机的细胞自动机	改进转换规则获取方法	能反映城市系统非线性特征;可高效处理大量数据且能确保获得整体最优解;不易受小噪音影响,能较好处理影响因素多而复杂的区域问题	无参数方法,不清楚影响因素之间的关系
CLUE-S 模型	改进构模方式	具有综合性、开放性、空间性和竞争效率性等特点;可进行多情景预测	仅在区县尺度上有较高精确度;预测的时间尺度对准确度有影响;最佳耦合模型尚不确定

1.2 多智能体模型

城市模拟系统中智能体^[50,51]行为是推动城市发展和土地利用变化的基本动力^[52,53],不同智能体会根据其目的最大化自身利益^[54]。多智能体模型就是基于上述博弈观点,通过智能体选择、行为确定、智能体间对选择行为协商等过程而建立的城市建设用地增长预测模型。它融合了复杂适应系统理论、人工生命和分布式人工智能技术^[55],运用“自下而上”的推理模式,重点从微观和中观层面探讨城市建设用地增长模式及规律,并从宏观角度分析其内在驱动因素^[56-58]。使用多智能体模型进行预测时,既考虑环境对土地利用的影响,又考虑环境中智能体行为对城市建设用地增长的作用,一定程度上弥补了其他模型中不能充分考虑人类决策行为对土地利用变化影响的不足。但基于可操作性原则,一般都会简化智能体行为,这就降低了模型模拟结果的仿真能力。目前,基于多智能体模型对城市建设用地增长的预测还处于初级阶段,如何合

优参数预测城市建设用地增长类型;约束型 CA 模型是将邻域外其他影响因素^[33,34]纳入转换规则体系的模型;基于遗传算法的细胞自动机^[35-38]根据现有的可能约束条件和城市发展特点,设定因子和参数对城市空间发展的可能情况进行预测,也可根据城市发展目标的不同,获得多种预测结果;基于支持向量机^[39,40]的细胞自动机^[41,42]将转换规则的获取转化为分类问题,以达到反映城市系统非线性特征的目的;CLUE-S^[43-49]由空间和非空间模块组成,非空间模块主要用于在宏观尺度确定各土地利用类型变化的总需求,空间模块则在综合分析的基础上,对土地利用的数量变化进行空间配置,从而实现对城市建设用地增长的模拟与预测。各模型特点详见表 2。

理协调模型复杂性和实用性的矛盾仍需探索。

1.3 马尔可夫模型

马尔可夫模型^[59,60]主要利用转移概率矩阵描述建设用地扩张过程中其他资源用地类型(如各类自然和农业用地)与建设用地之间的转换关系,从而完成土地利用变化的预测。它能够以数字形式展示土地利用类型间的流向和转化情况,但缺乏对空间分布情况的表达。此外,建设用地扩张面临复杂的政策约束,因此不同预测时段的转移概率可能会发生剧烈变化。在回顾性仿真研究中,这类变化一般会得到合理辨识和考虑,但在相对长时限预测研究中,转移概率矩阵的政策性调整往往很难进行,这在一定程度上动摇了马尔科夫模型转移概率相对稳定的前提假设,也在一定程度上阻碍了该模型的推广。

1.4 综合模型

鉴于现有主要城市建设用地增长预测模型相互间差异明显,且功能上具有较强的互补性,近年来,

一些学者开始尝试综合运用多种模型共同进行城市建设用地增长预测,以克服单一模型使用过程中存在的明显不足,使预测结果更加合理。其中,尤以细胞自动机模型与马尔可夫模型或多智能体模型的组合使用较为常见。

1.4.1 马尔可夫模型与细胞自动机结合 国外将马尔可夫模型与细胞自动机联合使用的案例较多,如 Mitsova 等^[61]和 Vaz 等^[62]分别使用该综合模型对美国 3 个州以及葡萄牙阿尔加维地区的城市建设用地增长问题进行了研究。马尔可夫模型与细胞自动机联合使用可以有效弥补马尔可夫模型的不足,提高空间预测能力;但这种组合模型方法目前仅考虑了土地单元本身对城市建设用地增长的作用,没有考虑其他因素的影响。

1.4.2 多智能体模型与细胞自动机结合 两模型结合使用的一般思路是:利用细胞自动机分析城市系统中邻域单元对城市建设用地增长的影响,利用智能体模型分析智能体行为对土地利用变化的作用^[63-65]。该组合模型的使用,既可以反映城市空间由于自组织性而形成的整体变化,又可以体现出居民智能体的选择行为、政府智能体的宏观调控行为等人类活动对城市土地利用的影响。但目前两种模型结合的方式只是简单的组合运用,还没有形成一体化的模型路径,因而具有很大的局限性。

2 模型总结及主要问题辨识

2.1 现有模型总结

综上所述,目前城市建设用地增长预测研究还没有形成一个普遍适用并得到广泛认同的模型,绝大多数分析工作是应用不同模型进行案例研究积累。不同模型在应用中均有其显著优点,同时又都存在着难以克服的缺陷。正是由于这一原因,把不同模型组合使用,进一步发挥模型优势,提高预测能力成为新的研究思路。如图 1 所示,细胞自动机是目前使用最多的城市建设用地增长预测模型,它在不断改进和完善的同时,还与另外两种模型组合形成当前最主要的两种城市建设用地增长综合预测模型。

2.2 模型应用中存在的主要问题分析

目前,城市建设用地增长预测模型研究及其应用仍不尽如人意,大量的案例积累并未形成关于城市系统土地利用动态变化的规律性归纳与总结,也未形成具有普适性指导意义的法则。造成这种局面的原因是关于城市化地区土地利用动态变化的基础理论和模型建构研究存在一些显著问题,在今后的研究工

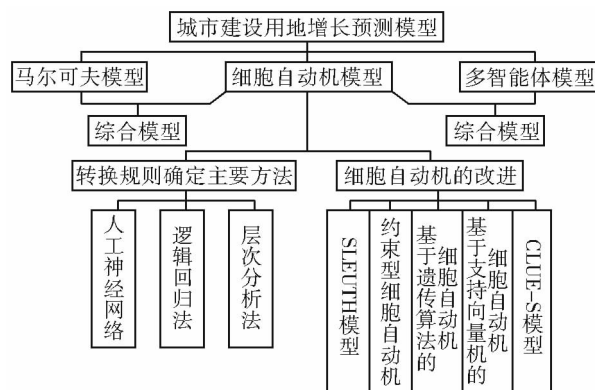


图 1 主要城市建设用地增长预测模型

Fig. 1 Major growth prediction models of urban construction land

作中应予以充分关注。这些问题主要表现在:

(1) 建设用地扩张的基础理论研究积累不足。城市建设用地增长是一个涉及因素众多的复杂理论与实践问题。到目前为止,关于建设用地扩张的过程特征、影响因素和驱动机制方面的系统化理论研究和总结还比较薄弱,没有形成一般普适性的规律和法则。由于基础理论研究方面存在上述明显缺陷,绝大多数模型只能在对历史数据仿真的基础上,运用灰箱甚至黑箱方法对城市建设用地增长进行预测,导致大多数模型出现参数含义不明、赋值依据不足、动态过程过度简化、预测精确度不理想等问题。此外,大多数模型案例研究工作只是单纯地追踪土地利用数量和结构的时空动态,对于所形成的土地利用动态格局的成因缺乏理论上的深入分析,导致众多案例研究工作不能形成一般性的规律总结。今后应加强建设用地扩张的基础理论研究,确保模型建构的合理性及科学性,进而保障模型研究和实践工作对相关理论研究形成强有力支撑。

(2) 系统简化路径不合理。现有的城市建设用地增长预测模型均不能兼顾城市系统中的所有影响因子,且对现实系统的简化路径差异较大。例如细胞自动机模型只考虑邻域内“元胞”状态的影响;多智能体模型需要简化智能体行为以确保模型建构的简单化;马尔可夫模型则基于不同时段转移概率基本稳定的前提假设进行预测。在上述系统简化过程中,无疑会导致信息的大量丢失,进而降低模型对现实世界模拟的精确度以及对变化趋势的真实反映。鉴于城市建设用地增长是一种受自然、社会、经济、人为等众多因素影响的综合性系统行为,有必要针对不同的科学问题,通过专门研究以确定合理的系统简化路径和方法,在城市用地系统简化与真实性之间寻求合理均衡,为科学建构动态预测模型和总结相关科学规律创造有利条件。

(3)关键科学问题的辨识问题。总结现有案例报道不难发现,问题导向型的模型研究及实践路径是多数案例研究工作的核心特征。不同学者围绕建设用地扩张的时空动态格局、综合影响因素的作用机理或驱动机制、用地类型间的相互转化速率及结构变化特征等分别进行模型建设和应用,导致现有城市建设用地增长预测模型各有千秋,但同时也都存在着明显不足。事实上城市建设用地扩张的时空格局、驱动机制和土地利用的结构变化特征是相互关联紧密的科学问题序列,单独进行相关模型建设研究,只能导致不同类型模型功能的离散化以及模型整合工作存在难以逾越的障碍。为此,有必要对城市建设用地扩张过程中的关键科学问题进行辨识和梳理,总结和提炼一系列综合性的建设用地动态预测研究需要解决的关键科学问题,以便从模型研究的出发点选择层面,引导相关研究工作沿着科学的路径向前推进。

(4)新的模型手段开发问题。相对于城市建设用地扩张问题的系统性和复杂性而言,现有的预测模型手段还略显贫乏,功能方面的集成程度仍有待提高。因而,今后的模型研究和应用工作不能仅停留在现有模型的改进、整合和应用深化层面,还应在强化基础理论研究、确定合理系统简化原则和思路、进一步提炼相关科学问题的基础上,采用多学科交叉方法,探索新的模型构建思路,力争能够尽快构建出复杂程度适中、功能综合、有助于进行城市建设用地动态增长科学规律认识的相对通用型模型,以推动城市建设用地增长理论和实践研究的发展。此外,城市建设用地增长不仅是城市本身的自组织过程,同一地区(或经济圈)内的城市之间也存在着复杂的相互作用,这种作用必然会影响到个体城市建设用地增长过程,在今后的综合模型构建研究中需要给予必要的关注和考量。

3 结语

建设用地动态增长是快速城市化地区最主要的地表过程,也是土地利用结构剧烈调整及各种资源环境问题产生的根源。合理预测土地利用动态变化的趋势性特征,解析其内在驱动机制并总结相关规律,对于城市土地规划与管理乃至合理应对相关资源环境问题的挑战具有重要的科学与实践价值。利用动态模型进行城市建设用地扩张的动态模拟分析,是现阶段认识城市建设用地时空格局特征及其约束因子和影响行为的主要路径。建设用地扩张过

程是一个涉及自然、经济、社会以及城市外部环境的复杂系统问题,现有动态预测模型还存在一系列明显的缺陷和不足。今后,应重点围绕城市建设用地扩张的基础理论研究、城市系统合理简化路径和原则的确定、城市建设用地动态变化的科学问题总结和提炼以及动态模型手段整合与创新等方面进行深入研究,以推进城市建设用地扩张预测模型的研究和实践工作,为城市化地区的土地资源规划和管理提供科学支持。

参考文献:

- [1] LAMBIN E F, GEIST H J. Land-use and Land-cover Change: Local Processes and Global Impacts [M]. Berlin: Springer, 2006. 25—26.
- [2] FAZAL S. Urban expansion and loss of agricultural land: A GIS based study of Saharanpur City, India [J]. Environment and Urbanization, 2000, 12(2): 133—149.
- [3] GEORGE X, MIKE C. Assessment of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(2): 203—215.
- [4] KONG F H, YIN H W, NAKAGOSHI N, et al. Simulating urban growth processes incorporating a potential model with spatial metrics [J]. Ecological Indicators, 2012, 20: 82—91.
- [5] COUCLEIS H. Cellular worlds: A framework for modeling micro-macro dynamics [J]. Environment and Planning A, 1985 (17): 585—596.
- [6] WU F L, WEBSTER C J. Simulating artificial cities in a GIS environment: Urban growth under alternative regulation regimes [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(7): 625—648.
- [7] BARREDO J I, DEMICHELI L. Urban sustainability in developing countries' megacities: Modelling and predicting future urban growth in Lagos [J]. Cities, 2003, 20(5): 297—310.
- [8] 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 B, 1997, 24: 247—261.
- [9] PIJANOWSKI B C, BROWN D G, SHELLITO B A, et al. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: A land transformation model [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2002, 26: 552—575.
- [10] VELDKAMP A, FRESCO L O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects [J]. Ecological Modelling, 1996, 85(2—3): 253—270.
- [11] VERBURG P H, VELDKAMP W S A, ESPALDON R L V, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model [J]. Environmental Management, 2002, 30(3): 391—405.
- [12] SILVA E A, CLARKE K C. Calibration of the SLEUTH urban growth model of Lisbon and Porto, Portugal [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2002, 26: 525—552.

- [13] AN L, LINDERMAN M. Exploring complexity in a human-environment system: An agent-based spatial model for multidisciplinary and multiscale integration[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2005, 95(1): 54—79.
- [14] GUZY M R, SMITH C L. Policy research using agent-based modeling to assess future impacts of urban expansion into farmlands and forests[J]. *Ecology and Society*, 2008, 13(1): 37.
- [15] CHEN J, GONG P. Assessment of the urban development plan of Beijing by using a CA-based urban growth model[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2002, 68(10): 1063—1071.
- [16] WARD D, PHINN S R, MURRAY A T. Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data[J]. *The Professional Geographer*, 2000, 52(3): 371—386.
- [17] 匡文慧, 刘纪远, 邵全琴, 等. 区域尺度城市建设用地增长时空动态模型及其应用[J]. *地理学报*, 2011, 66(2): 178—188.
- [18] PARK S, JEON S, KIM S, et al. Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 99(2): 104—114.
- [19] THAPA R B, MURAYAMA Y. Scenario based urban growth allocation in Kathmandu Valley, Nepal[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105: 140—148.
- [20] MCFADDEN D. Conditional logit analysis of quantitative choice behavior[A]. ZAREMBKA P. *Frontiers in Econometrics*[C]. New York: Academic Press, 1973. 105—142.
- [21] CHENG H Q, MASSER I. Urban growth pattern modeling: A case study of Wuhan City, PR China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 62(4): 199—217.
- [22] LUO J, YU D L, XIN M. Modeling urban growth using GIS and remote sensing[J]. *Giscience & Remote Sensing*, 2008, 45(4): 426—442.
- [23] PARK S, JEON S, CHOI C. Mapping urban growth probability in South Korea: Comparison of frequency ratio, analytic hierarchy process, and logistic regression models and use of the environmental conservation value assessment[J]. *Landscape and Ecological Engineering*, 2012, 8(1): 17—31.
- [24] DAI F C, LEE C F, ZHANG X H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: A case study[J]. *Engineering Geology*, 2001, 61(4): 257—271.
- [25] VAIDYA O S, KUMAR S. Analytic hierarchy process: An overview of applications[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 169(1): 1—29.
- [26] BANTAYAN N C, BISHOP I D. Linking objective and subjective modeling for landuse decision-making[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 43(1—3): 35—48.
- [27] SAATY T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. *Journal of Mathematical Psychology*, 1977, 15(3): 234—281.
- [28] SAATY T L, VARGAS L G. Prediction, Projection and Forecasting: Applications of the Analytic Hierarchy Process in Economics, Finance, Politics, Games and Sports[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991. 251.
- [29] TOBLER W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit Region[J]. *Economic Geography*, 1970, 46: 234—240.
- [30] FENG H H, LIU H P, LU Y. Scenario prediction and analysis of urban growth using SLEUTH model[J]. *Pedosphere*, 2012, 22(2): 206—216.
- [31] 何丹, 金凤君, 蔡建明. 近20年京津廊坊地区城市建设用地增长模拟和预测研究[J]. *经济地理*, 2011, 31(1): 7—13.
- [32] RAFIEE R, MAHINY A S, KHORASANI N, et al. Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH Model (UGM)[J]. *Cities*, 2009, 26(1): 19—26.
- [33] WHITE R, ENGELEN G, UIJEE I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24(3): 323—343.
- [34] LIU Y. Modelling sustainable urban growth in a rapidly urban region using a fuzzy constrained cellular automata approach[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(1): 151—167.
- [35] HOLLAND J H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems* [M]. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Press, 1975.
- [36] COLONNA A, DISTEFANO V, LOMBARDO S, et al. Learning urban cellular automata in a real world: The case study of Rome metropolitan area[A]. BANDINI S, SERRA R, SUGGILIVERANI F. *Proceedings of ACRI'98 Third Conference on Cellular Automata for Research and Industry*[C]. 1998.
- [37] SHAN J, ALKHEDER S, WANG J. Genetic algorithms for the calibration of cellular automata urban growth modeling[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2008, 74(10): 1267—1277.
- [38] 于卓, 吴志华, 许华. 基于遗传算法的城市空间生长模型研究[J]. *城市规划*, 2008, 32(5): 83—87.
- [39] USTUN B, MELSEN W J, OUDENHUIJZEN M, et al. Determination of optimal support vector regression parameters by genetic algorithms and simplex optimization[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, 544(1—2): 292—305.
- [40] VAPNIK V. *The Nature of Statistical Learning*[M]. New York: Springer, 1995.
- [41] HUANG B, XIE C L, RICHARD T. Support vector machines for urban growth modeling[J]. *Geoinformatica*, 2010, 14(1): 83—99.
- [42] YANG Q S, LI X, SHI X. Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines[J]. *Computers & Geosciences*, 2008, 34(6): 592—602.
- [43] VELDKAMP A, FRESCO L O. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica[J]. *Ecological Modelling*, 1996, 91(1—3): 231—248.
- [44] ZHENG X Q, ZHAO L, XIANG W N, et al. A coupled model for simulating spatio-temporal dynamics of land-use change: A case study in Changqing, Jinan, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 51—61.
- [45] BATISANI N, YARNAL B. Urban expansion in centre coun-

- ty, pennsylvania; Spatial dynamics and landscape transformations[J]. Applied Geography, 2009, 29(2): 235—249.
- [46] 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. CLUE-S 模型应用进展与改进研究[J]. 地理科学进展, 2012, 31(1): 3—10.
- [47] LIN Y P, CHU H J, WU C F, et al. Predictive ability of logistic regression, auto-logistic regression and neural network models in empirical land-use change modeling—a case study[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2011, 25(1): 65—87.
- [48] BATISANI N, YARNAL B. Uncertainty awareness in urban sprawl simulations: Lessons from a small US metropolitan region[J]. Land Use Policy, 2009, 26(2): 178—185.
- [49] 周锐, 苏海龙, 王新军, 等. 基于 CLUE-S 模型和 Markov 模型的城镇土地利用变化模拟预测——以江苏省常熟市辛庄镇为例[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2262—2270.
- [50] TORRENS P M, O'SULLIVAN D. Cellular automata and urban simulation: Where do we go from here[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2001, 28(2): 163—168.
- [51] TIAN G J, OUYANG Y, QUAN Q, et al. Simulating spatio-temporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—a case study of the Phoenix Metropolitan Region, USA[J]. Ecological Modelling, 2011, 222(5): 1129—1138.
- [52] BENENSON I, OMER I, HATNA E. Entity-based modeling of urban residential dynamics: The case of Yaffo, Tel Aviv[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2002, 29(4): 491—512.
- [53] BENENSON I, TORRENS P M. Geosimulation: Automata-Based Modeling of Urban Phenomena[M]. London: John Wiley & Sons, 2004.
- [54] 全泉, 田光进, 沙默泉. 基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2875—2887.
- [55] CHEBEANE H, ECHALIER F. Towards the use of a multi-agents event based design to improve reactivity of production system[J]. Computers & Industrial Engineering, 1999, 37: 9—13.
- [56] MANSON S M. Agent-based Dynamic Spatial Simulation of Land-Use/Cover Change in the Yucatan Peninsula[R]. Paper Presented in the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4), 2000.
- [57] VELDKAMP A, VERBURG P H. Modeling land use change and environmental impact[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 72(1—2): 1—3.
- [58] JENNINGS N R, SYCARA K, WOOLDRIDGE M J. A roadmap of agent research and development[J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1998, 1(1): 275—306.
- [59] ROBERT V H. On the dynamics of vegetation: Markov Chains as models of succession[J]. Vegetation, 1979, 40(1): 3—14.
- [60] DADHICH P N, HANAOKA S. Spatio-temporal urban growth modeling of Jaipur, India[J]. Urban Technology, 2011, 18(3): 45—65.
- [61] MITSOVA D, SHUSTER W, WANG X. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 99(2): 141—153.
- [62] VAZ E D, NIJKAMP P, PAINHO M, et al. A multi-scenario forecast of urban change: A study on urban growth in the Algarve[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 104(2): 201—211.
- [63] 刘小平, 黎夏, 艾彬, 等. 基于多智能体的土地利用模拟与规划模型[J]. 地理学报, 2006, 61(10): 1101—1112.
- [64] VANCHERI A, GIORDANO P, ANDREY D, et al. Urban growth processes joining cellular automata and multiagent systems. Part 1: Theory and models[J]. Environment and Planning B-Planning & Design, 2008, 35(4): 723—739.
- [65] VANCHERI A, GIORDANO P, ANDREY D, et al. Urban growth processes joining cellular automata and multiagent systems. Part 2: Computer simulations[J]. Environment and Planning B-Planning & Design, 2008, 35(5): 863—880.

Major Growth Prediction Models of Urban Construction Land: Types and Characteristics

ZHANG Jing¹, ZENG Hui^{1,2}

(1. College of Urban Planning and Design, Peking University, Shenzhen 518055;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Based on generalizing types and characteristics of major existing urban construction land growth prediction models, this paper summarized the relationship of different models and analyzed main problems of them in construction and practical applications in order to provide a reference for future methodology research and practice of urban construction land growth prediction. Analysis and summary have shown that currently common models of urban construction land growth can be divided into four categories: cellular automata models, multi-agent models, Markov model and integrated models, and that existing models of urban construction land growth are constructed for specific research purposes based on distinct theoretical perspectives so there is no certain model equipped with absolute advantage for application. Further studies of prediction models for urban construction land should focus on four aspects: 1) basic theory in the expansion of construction land, 2) reasonable path and method for urban system simplification, 3) extraction and summary for key issues of construction land growth prediction, 4) integration and innovation of models. So that the building of urban construction land growth models and the practical research of related methodology can be promoted.

Key words: urban; construction land; growth prediction; models