

城市元胞自动机模型的构建及其应用研究进展

李亚丽^{1,2}, 秦耀辰¹

1. 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475001
2. 华北水利水电学院资源与环境学院, 郑州 450011

摘要 元胞自动机(CA)模型对模拟和预测城市空间变化以及进行城市规划具有重大的现实意义。对中国知识基础设施工程(CNKI)中出现城市CA研究以来的期刊文献的年度分布、期刊分布进行统计分析,概述了城市CA模型的构建思路,回顾和总结了城市CA中土地利用、交通、疾病和灾害方面的相关研究成果。同时,分析了城市CA模型应用研究中的主要特点,并根据其存在问题探讨了城市CA未来的发展趋势。研究表明,城市CA在中国的应用研究前景良好,尽管近12年中研究情况存在波动,但整体呈增长态势。

关键词 城市CA模型;土地利用;交通;疾病;灾害

中图分类号 G201

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.02.011

The Urban Model Based on Cellular Automata

LI Yali^{1,2}, QIN Yaochen¹

1. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, Henan Province, China
2. School of Resources and Environment, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China

Abstract The Cellular Automata (CA) can be used to simulate and predict the urban spatial change in urban planning. This paper reviews the urban CA, its construction, and applications in land use, traffic, diseases and disaster controls, analyzes the characteristics of the applications of the urban CA, and the trend of the urban CA in the future. It is shown that CA has good application prospects in China. The number of researches in recent twelve years is increasing though with some fluctuations. With the development of the urban CA model, the applications will gradually increase in the filed of diseases and disaster. The multi-agent would make up the unmovability characteristic of the urban CA for its applications in land use and traffic control.

Keywords urban CA model; land use; traffic; disease; disaster

0 引言

元胞自动机(Cellular Automata, CA)模型在城市土地变化模拟中的成功应用推动了城市模拟的发展。CA是一种时间、空间、状态都离散,空间相互作用和时间因果关系都为局部的网格动力学模型^[1]。CA具有的高度灵活性、开放性,以及强大的复杂性计算能力、时空离散特征和“自下而上”的构模方式成为城市空间复杂系统演化动态模拟的主要方法^[2]。城市发展政策和城市发展模拟中不确定性的特点同样决定了用CA方法来进

行模拟研究的可行性和必要性。标准CA和地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的栅格组织都是基于离散的规则格网,并且属性或状态的组织同样基于层,所以CA易与GIS、遥感(Remote Sensing, RS)等空间技术融合,可以充分利用GIS的空间分析、可视化能力和RS的快速数据获取能力来增强其动态模拟能力,并能将城市空间的分异性引入模型中。因此,利用CA对城市扩展动态过程的模拟与预测可以为区域发展、城市规划和管理等提供决策依据,为城市可持续发展提供

收稿日期:2010-12-24;修回日期:2012-01-10

作者简介:李亚丽,讲师,研究方向为GIS空间分析与系统建模,电子信箱:liyali@ncwu.edu.cn

技术支持。但是 CA 应用于模拟真实地理时空过程时还存在着一定的不足。CA 通过局部规则可以有效地模拟许多地理现象的演变过程,但目前缺乏很好定义 CA 转换规则的方法。CA 的空间尺度、时间对应,以及与 GIS 和其他空间模型的集成等也存在一定的局限性。在实际应用中如何针对不同的具体问题进行因地制宜的修正是目前 CA 研究的重点。本文通过文献研究,从中国知识基础设施工程 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 的期刊文献视角总结国内外尤其是国内城市 CA 在土地利用、交通、疾病、灾害方面的研究现状,对城市 CA 模型应用研究中的特征进行分析,并探讨城市 CA 未来的发展趋势。

1 城市 CA 模型的构建

1.1 基于标准 CA 的城市模型

标准 CA 是散布在规则网格中的每一细胞为有限的离散状态、遵循同样的作用规则、依据确定的规则作同步更新,大量细胞通过简单的相互作用而构成系统的演化,通常包括元胞、元胞空间、邻居和转换规则 4 个要素。用数学符号表示的 1 个标准 CA 的 4 元组为

$$A=(L, S, N, f)$$

其中, A 代表 1 个 CA 系统; L 表示元胞空间; d 是正整数, 表示 CA 内元胞空间的维数; S 是元胞有限、离散的状态集合; N 表示所有邻域内元胞的 1 个组合 (包括中心); f 是基于邻近函数实现的转换规则, 根据转换规则, 元胞可以从一种状态转换为另一种状态。

基于标准 CA 设计城市动态模型的思路: 元胞代表地理空间中相应的栅格或像元, 元胞空间可以模拟城市环境、空间结构、交通网络、基础设施、土地利用等。元胞状态体现了特定研究目的下元胞的本质属性, 可将城市的属性灵活嵌入到模型中。邻域影响包括单个步行者的行走范围、市场辐射区、不同活动类型的分界线等。转换规则是城市用地类型转换时各种规则、参数的确定方法, 用以了解现实世界如何运动。在模型中将规则与算法结合起来, 由局部元胞状态的不断演化上升到全局状态的变化, 最终可以模拟城市扩展。

CA 在城市动态模型研究中的应用已将近 40 年, 在城市增长、扩散和土地利用演化模拟方面的研究最为深入, 理论和实践也最为丰富。但是 CA 在地理系统 (尤其是在城市空间系统) 模拟方面存在一些不足, 其局限性的实质是元胞地理特征表达不够, 无法描述更深层次的地理属性信息。为了更真实、有效地模拟城市空间系统, 必须扩展标准 CA 和基于标准 CA 的城市模型^[3]。

1.2 基于扩展 CA 的城市模型

针对标准 CA 模型的局限, 国内外研究者在实践中对基于 CA 的城市空间动态模型进行了大量改进与扩展, 主要体现在 2 个方面。

(1) CA 复合模型。包括与宏观尺度模型相结合、与 GIS 集成研究、与其他空间模型结合而构建的 3 类模型。其中, 构建的

第 1 类模型更多地考虑了宏观外部因素的影响, 将城市发展看作受宏观因素限制和不断进行修改的局部尺度上元胞的自组织过程。Wu^[4]运用多标准评价模型在 CA 模型中引入多种约束因素; 何春阳等^[5]将经济学的 Titenberg 模型和 CA 模型相结合, 对北京地区的城市发展过程进行了模拟重建和不同情景预测。第 2 类模型的构建是基于 GIS 的强大空间数据处理功能, 可以为 CA 模型准备数据、定义转换规则、提供模拟结果的可视化。目前, CA 与 GIS 的集成主要包括松散结合和紧密结合 2 种方式, 而紧密结合是研究者采用的主要方式。Batty 等^[6]采用面向对象的方法建立了 CA 与 GIS 紧密结合的系统并进行城市模拟。黎夏等^[7]以紧密结合的方式, 将 CA 作为模块构建了地理模拟优化系统 GeoSOS。第 3 类模型在国内外广泛应用, 如 Wu^[8]结合多层次分析法和 CA 构建了 Simland 模型; 黎夏等^[9]采用神经网络 CA 模拟复杂的土地利用系统, 获得了理想的模拟结果, 并提出了综合地理学、复杂系统理论、地理信息科学、元胞自动机、多智能体系统等为一体的地理模拟优化系统; 李军等^[10]以复杂适应系统理论为基础, 通过集成多智能体、GIS 和 CA 建立城市发展模型, 并以广州市番禺区为例进行了仿真试验。

(2) 构造规则扩展的 CA 模型。许多研究在尝试发展更通用灵活的 CA, 如对元胞空间、元胞邻域、时间概念、转换规则和元胞状态的扩展等。Couclelis^[11]提出应扩展 CA, 使每个元胞占有自己的邻居和转换规则; Takeyama^[12]提出基于地图代数理论扩展的 Geo-Algebra 模型; Shi 等^[13]提出基于 Voronoi 的 CA 扩展模型; 张显峰等^[14]提出 CA 应从其 4 个构成要素扩展, 并基于此思路建立了城市土地利用演化过程模拟预测 LESP (Landuse Evolution Simulation and Prediction Model) 模型, 对包头市的城增长进行了有效模拟; 刘耀林等^[15]对标准元胞自动机模型的元胞含义、规则定义等进行了扩展, 提出的 Grey-CA 模型采用摩尔邻域, 每个决策目标矩阵的构成方式不同; 陈健^[16]针对矢量数据处理的便捷与快速性质, 提出基于生态位矢量 CA 进行了农村居民点用地整理的适宜性评价。冯永玖等^[17]从不同邻域分析发现, 元胞邻域及其空间构型会对转换规则的挖掘与空间直观模拟结果的可靠性产生显著影响。

2 国内城市 CA 模型的应用研究现状

2.1 总体分析

自从 20 世纪 70 年代 Tobler 首次采用 CA 概念模拟美国 5 大湖地区底特律的城市增长以来, 国内外一些研究者也进行了相似研究, 构建了多个基于 CA 的城市动态模型。利用 CNKI 中国期刊全文数据库, 本文以元胞自动机、细胞自动机、城市等为主题, 检索反映国内城市元胞自动机研究的期刊文献, 截至 2011 年 7 月 8 日共检索出 471 篇文献, 时间范围为 1992—2011 年共 20 年。从年度分布来看, 国内有关城市 CA 研究的文献数量在 2007 年以前逐年增长, 此后先降后升, 但自 2009 年达到峰值后至今仍呈下降态势 (图 1)。相关研究文献分布于 58 种期刊中, 其中, 地理学、计算机、运输类刊物占 66.8%, 农业、经济、建筑类刊物占 33.2%; 核心期刊占 86%。研究采用的模型包

括 CA 复合模型和构造规则扩展的 CA 模型,内容主要集中在土地利用、交通、疾病和灾害 4 个领域。

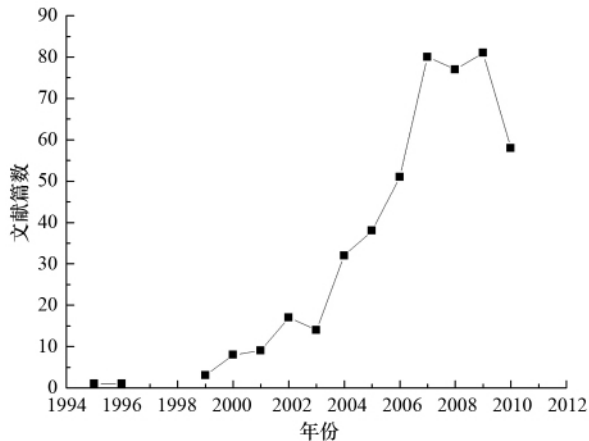


图 1 国内城市 CA 研究文献的时间分布

Fig. 1 Time distribution of papers on urban CA development

2.2 城市 CA 模型应用研究现状

2.2.1 土地利用

利用 CNKI 中国期刊全文数据库,本文以元胞自动机、细胞自动机和土地利用等为主题,检索反映国内城市 CA 在土地利用领域的应用研究文献,截至 2011 年 7 月 8 日,共检索出 298 篇文献,时间范围为 1999—2011 年共 13 年。从年度分布来看,国内相关研究文献除 2001 年、2006 年和 2008 年有小幅下降外,其他年份的数量呈逐年增长趋势,截至统计时间 2011 年已发表 19 篇,但 2007 年后增幅相对减小(图 2)。这些文献分布于 37 种期刊中,其中,农业类、地理学、计算机类占 60.7%,环境、经济、建筑类刊物占 23.5%,其他类期刊占 15.8%;核心期刊占 66.7%。

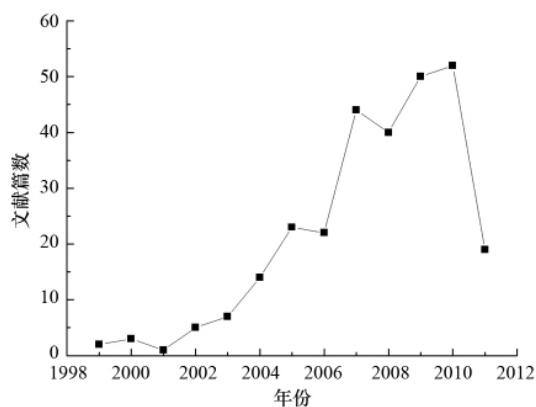


图 2 国内城市 CA 土地利用领域的研究文献时间分布

Fig. 2 Time distribution of papers on urban CA development in land use

在土地利用领域采用 CA 复合模型是 CA 应用于城市土地利用研究的核心方法,主要由 CA 与 GIS、粒子群算法、神经网络、多目标决策、马尔科夫、地理实体、核主成分分析、多智能体等耦合得到,可以深刻挖掘出土地利用的相关规律。主要从元

胞邻域、元胞空间和转换规则 3 方面构建规则扩展的 CA 模型,如邱建华等^[18]引入了基于焦点引力和属性的邻居模型;Ke 等^[19]采用双约束空间聚类方法对元胞空间进行分区,在此基础上对不同分区分别求取元胞转换规则,从而提高了元胞自动机的模拟精度;杨青生等^[20]利用朴素贝叶斯分类器(NBC)、高斯径向基函数和离散模型获取城市 CA 模型的非线性转换规则,提出 NBC-CA 模型并将该模型应用于深圳市 1988—2010 年城市演变的动态模拟中。

借助上述方法,该领域着重研究 3 方面的内容。(1) 探寻土地利用变化规律,预测土地利用格局并进行优化,如季民河等^[21]通过基于多代理(即多智能体)的人类系统和自然系统的耦合互动模型,研究不同土地管理策略的有效性。(2) 城市生长模拟。龙瀛等^[22]运用约束性 CA 进行了城市形态情景分析;林燕芬等^[23]模拟了 3 个情景设置(基础情景、生态优先情景和道路交通规划引导情景)下 2005—2020 年间城市拓展及其对环境的影响;范宇等^[24]模拟南京未来的城市扩张,并结合历年来南京新增储备土地占城市扩张总量的经验值比例,得出了新增储备量的测算结果,为测算南京市土地储备量提供了借鉴方案。(3) 生态类研究。于欢等^[25]以三江平原典型内陆淡水湿地为试验区,运用元胞自动机技术开展湿地景观变化过程模拟试验,模拟与预测的视觉效果均较好;刘洋等^[26]在适宜性分析与生态安全评价的基础上,通过数量结构与空间结构的双重优化以及对情景预案比较的研究,将区域生态安全格局构建方法进行了整合。

2.2.2 交通

利用 CNKI 中国期刊全文数据库,本文以元胞自动机、细胞自动机和交通等为主题,检索反映国内 CA 应用于交通方面的期刊文献,截至 2011 年 7 月 8 日,共检索出 240 篇文献,时间范围为 1995—2011 年共 17 年。从年度分布来看,国内相关研究文献数量除 2003 年有小幅下降外,2009 年前呈逐年增长趋势,但 2009 年后略有下滑,截至统计时间 2011 年发表 11 篇相关文献(图 3)。这些文献分布于 28 种期刊中,其中运输类占 60.4%,计算机、地理学、经济、建筑类刊物占 33.3%,其他期刊占 6.3%;核心期刊占 86.5%。

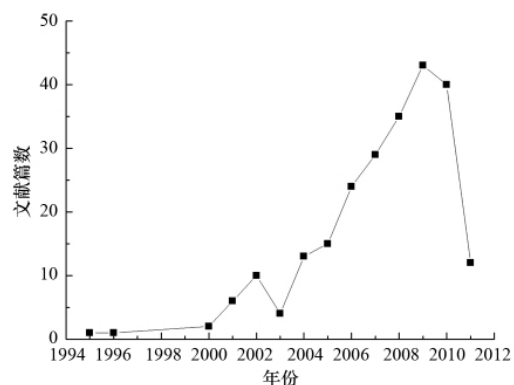


图 3 国内城市 CA 在交通领域的研究文献时间分布

Fig. 3 Time distribution of papers on urban CA development in traffic

在交通类研究中,CA 复合模型包括 CA 与多智能体、GIS、交通模型等耦合的模型,如结合 NaSch 模型和多值元胞自动机的模型^[27]。CA 扩展模型是 CA 根据交通条件设定元胞邻域、元胞状态、转换规则而得到的模型,分为一维 CA 交通模型和二维 CA 交通模型,具体包括 NS 模型、FI 模型、基于 NS 模型、BML 模型和基于 BML 的改进模型^[28]。此外,混合元胞自动机模型、Nagel-Schreckenberg 交通流模型、将交叉口控制参数引入到现有的基于元胞传输模型的应急疏散救援仿真模型等都属于 CA 扩展模型。

运用城市 CA 研究交通涉及多方面内容,沿其脉络分析大致可以分为 3 个方面。(1) 交通流模拟,包括轨道交通流模拟、公交车流模拟、自行车流模拟、行人流模拟和混合交通流模拟。其中,轨道交通流模拟分为铁路交通流模拟、高速铁路交通流模拟和地铁交通流模拟;公交车流模拟重点研究公交车合理的发车频率和起讫站点的位置、停靠站在公交线路和道路交通中的影响以及公交站间距等相关问题;自行车流模拟的目的是建立自行车流微观混杂模型,以满足不同层次的模型精度需求;行人流模拟主要研究了行人过街模型、城市轨道交通枢纽行人流仿真以及人行道上行人与自行车共处模型等;混合交通流模拟是交通流模拟中的核心,其内容涉及自行车与机动车混合交通流、多速机动车混合交通流和交通瓶颈等方面,研究区域涵盖城市主干道、快速路交织区、二维城市等。(2) 交通疏散仿真。运用城市 CA 可以模拟地下空间交通疏散、行人流疏散、混合流疏散,甚至构建城市网络疏散系统。(3) 道路网系统规划。主要运用城市 CA 分析交通流的特性,从而为规划道路网提供依据。

2.2.3 疾病

利用 CNKI 中国期刊全文数据库,本文以元胞自动机、细胞自动机和疾病等为主题,检索反映国内 CA 应用于疾病方面的期刊文献,截至 2011 年 7 月 8 日,共检索出 53 篇文献,时间范围为 1997—2011 年共 15 年。从年度分布来看,国内相关研究文献除了 2005 年和 2006 年持平外,2007 年前数量呈逐年增长趋势,但 2007 年后下滑,至 2010 年又有所回升,截至统计时间 2011 年已发表 2 篇相关文献(图 4)。这些文献分布于 24 种期刊中,其中医学、计算机和数学类占 54.7%,生物、地理测绘类占 24.5%,其他期刊占 20.8%;核心期刊占 77.3%。

在疾病研究领域,采用的 CA 复合模型除包括在土地利用和交通领域应用较广的 GIS、神经网络模型此,还包括人口预测矩阵模型、元胞自动机土地开发模型和流行疾病相关模型。其中,流行疾病相关模型包括 Penna 模型、ODE 模型、SIS 模型等。采用的 CA 扩展模型是结合相关疾病机理扩展得到的模型,如 AIDS 传播模型、SARS 传播元胞自动机模型、日本血吸虫病传播动力学模型(SjCA 模型)、结核病地理元胞自动机模型、基于空间实体的传染病元胞自动机模型等。

运用城市 CA 研究流行疾病包括疾病传播模拟、图像仪器分析和疾病系统构建 3 方面内容。(1) 疾病传播模拟可以分为传染病传播模拟和非传染病传播模拟。前者包括对艾滋病

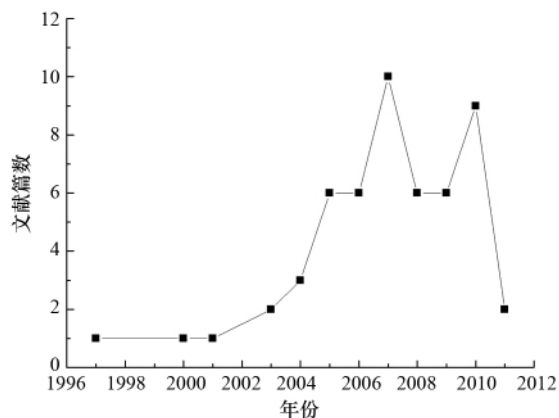


图 4 国内城市 CA 在疾病领域的研究文献时间分布图

Fig. 4 Time distribution of papers on urban CA development in diseases

(AIDS)、甲型 H1N1 流感、SARS、结核病等的模拟研究,旨在获取相关疾病传播的规律,以便对传播过程中存在的具体问题提供决策依据,其中运用城市 CA 研究甲型 H1N1 流感的文献最多;非传染病传播模拟包括对心脏病、肿瘤、生态流行病等的模拟研究。(2) 图像辅助分析。城市 CA 在流行疾病研究方面可以辅助分析图像、激发介质模型、增强图像的可信度。(3) 其他方面。除上述应用方向外,城市 CA 还可以辅助构建水产动物病害测报系统、新型农村合作医疗系统等,以模拟相关系统的运行状况。

2.2.4 灾害

利用 CNKI 中国期刊全文数据库,本文以元胞自动机、细胞自动机和灾害等为主题,检索反映国内 CA 应用于交通方面的期刊文献,截至 2011 年 7 月 8 日,共检索出 62 篇文献,时间范围为 2003—2011 年共 9 年。从年度分布来看,国内相关研究文献除了 2006 年和 2007 年持平,2009 年稍有下滑外,整体呈逐年增长趋势(截至统计时间 2011 年无相关文献发表,图 5)。这些文献分布于 21 种期刊中,其中建筑、计算机和灾害防治类刊物占 50.8%,地质学、环境资源、运输类刊物占 30.2%,其他期刊占 19.0%;核心期刊占 70.1%。

在灾害类研究中,CA 复合模型是 CA 与一般模型和灾害类模型分别耦合得到的模型。其中,一般模型包括在其他领域应用较广的 GIS、多智能体、马尔可夫、神经网络、遗传算法、蚁群算法;灾害类相关模型则指应急救援人员疏散时间模型、社会力学模型、林火蔓延模型、应力-渗流耦合模型、格构模型等。通过采用这些方法,学者们试图将 CA 模型与可视化方法、计算系统、地理数据相结合来进行灾害模拟研究。CA 扩展模型是结合灾害特点而扩展得到的模型,可以基于元胞空间、元胞邻域和转换规则进行扩展。例如黄光球等^[29]提出了用元胞自动机模型描述地下矿巷道网络系统;用瓦斯元胞来描述从工作面煤壁、采落的煤堆、围岩和采空区渗出的瓦斯能量单元;用格子元胞描述巷道格子及其状态,这些格子元胞均用瓦斯运移速度和瓦斯含量等状态参数来描述。

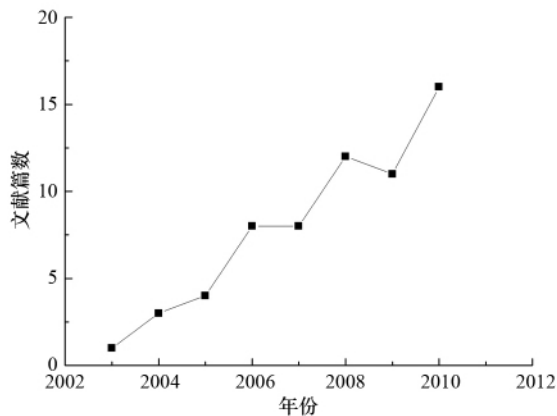


图5 国内城市CA在灾害领域的研究文献时间分布
 Fig. 5 Time distribution of papers on urban CA development in disaster

采用城市CA研究灾害时重点集中在火灾、生态灾害、地质灾害等。(1) 火灾,涉及森林火灾、城市地震次生火灾、地下矿巷道火灾、教学楼火灾等多方面。CA主要用于构建火蔓延模型以模拟火灾系统演化态势,如柳春光等^[9]基于CA基理,利用大量的简单元件,通过简单的连接和运算规则建立了城市地震次生火灾蔓延模型,从宏观角度对某小区进行了模拟,得到了某几个时刻的火灾蔓延情况及面积图。(2) 生态灾害,主要包括林业有害生物灾害、石漠化灾害、荒漠化灾害和灾难对种群进化的影响等内容。借助CA可以构建林业有害生物灾害预测模型,进而预测林业灾害影响范围,还可以模拟和预测石漠化的空间格局。基于CA对荒漠化的研究较多,基本上通过构建荒漠化动态模拟模型来预测其发展趋势。(3) 地质灾害,基于CA的地质灾害研究涉及火山灾害、滑坡、工程安全等。其中,火山灾害研究侧重构建熔岩流动过程的CA模型,通过模拟熔岩流生长过程而进行相关灾害防治研究;滑坡研究侧重用CA模拟滑坡的过程;工程安全研究侧重岩体流变、岩石破裂过程、岩体非线性变形等。

3 结论

(1) 城市CA模型包括基于标准CA的城市模型和基于扩展CA的城市模型2类。其中,标准CA的城市模型是将城市要素嵌入标准CA的各个组成部分;基于扩展CA的城市模型则是将CA与模型、GIS进行耦合,包括宏观尺度模型和其他空间模型。此外,还有部分基于扩展CA的城市模型是通过CA本身的构造规则扩展得到的。

(2) 基于CNKI对城市CA在中国的应用研究进行总体分析和分领域分析,结果表明城市CA在中国的应用研究前景良好,尽管近12年中研究情况存在波动,但整体呈增长态势。多智能体方法的出现更弥补了城市CA的不可移动性,因此多智能体与CA的结合会促使城市CA在城市时空研究中继续占据重要地位,发挥其优势。

(3) 城市CA的应用领域主要集中在土地利用、交通、疾病

和灾害方面。其中,研究最为成熟的是土地利用,其次为交通。目前城市CA研究中还存在一定的局限性,灾害、疾病方面的研究相对较少。随着城市CA模型的日益完善,城市CA在灾害、疾病方面的研究将逐渐增多,并且多智能体的应用会促使CA在土地利用、交通领域的研究更细化,研究范围更广泛。

参考文献 (References)

- [1] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Zhou Chenghu, Sun Zhanli, Xie Yichun. Research on geographical cellular automata[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [2] Li X, Yeh A G O. Data mining and geographical cellular automata[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2004, 34(9): 865-872.
- [3] 罗平. 地理特征元胞自动机及城市土地利用演化研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
Luo Ping. Research on the cellular automata based on geographic feature and urban land use evolution[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- [4] Wu F. A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1996, 20(6): 367-387.
- [5] 何春阳, 陈晋, 史培军, 等. 大都市区城市扩展模型——以北京城市扩展模拟为例[J]. *地理学报*, 2003, 58(2): 294-304.
He Chunyang, Chen Jin, Shi Peijun, et al. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 294-304.
- [6] Batty M, Couclelis H. Urban system as a cellular automata[J]. *Environment and Planning A*, 1997, 24(2): 159-164.
- [7] 黎夏, 李丹, 刘小平, 等. 地理模拟优化系统 GeoSOS 及前沿研究[J]. *地球科学进展*, 2009(8): 899-907.
Li Xia, Li Dan, Liu Xiaoping, et al. *Advances in Earth Science*, 2009(8): 899-907.
- [8] Wu F. Simland: A prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-driven transition rules[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12(1): 63-82.
- [9] 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]. *地理研究*, 2005, 24(1): 19-27.
Li Xia, Yeh Anthony Gar-On. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 19-27.
- [10] 李军, 肖德渊, 聂云峰, 等. 基于多智能体与 GIS 的城市土地利用动态模拟系统[J]. *南昌大学学报: 理科版*, 2009, 33(2): 195-199.
Li Jun, Xiao Deyuan, Nie Yunfeng, et al. *Journal of Nanchang University: Natural Science*, 2009, 33(2): 195-199.
- [11] Couclelis H. Cellular worlds: A framework for modeling micro-macro dynamics[J]. *Environment and Planning A*, 1985, 17(5): 585-596.
- [12] Takeyama M. Building spatial models within GIS through Geo-Algebra [J]. *Transactions in GIS*, 1997, 2(3): 245-256.
- [13] Shi W Z, Pang M Y C. Development of voronoi-based cellular automata -an integrated dynamic model for geographical information systems [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2000, 14(5): 455-474.
- [14] 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[J]. *测绘学报*, 2001, 30(2): 148-155.
Zhang Xianfeng, Cui Weihong. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2001, 30(2): 148-155.
- [15] 刘耀林, 刘艳芳, 明冬萍. 基于灰色局势决策规则的元胞自动机城市扩展模型[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2004, 29(1): 7-13.
Liu Yaolin, Liu Yanfang, Ming Dongping. *Geomatics and Information*

- Science of Wuhan University*, 2004, 29(1): 7-13.
- [16] 陈健. 基于 CA 的城乡结合部农村居民点用地整理适宜性评价研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
Chen Jian. Suitability evaluation of rural settlements' consolidation in para-urban region by cellular automata [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.
- [17] 冯永玖, 韩震. 元胞邻域对空间直观模拟结果的影响 [J]. 地理研究, 2011, 30(6): 1056-1067.
Feng Yongjiu, Han Zhen. *Geographical Research*, 2011, 30(6): 1056-1067.
- [18] 邱建华, 陈习森, 郭志花, 等. 基于扩展的生命机制概念的城市土地利用演变 CA 模拟[J]. 江西科学, 2009, 27(3): 445-450.
Qiu Jianhua, Chen Xisen, Guo Zhihua, et al. *Jiangxi Science*, 2009, 27(3): 445-450.
- [19] Ke X L, Deng X Z, Chen Y. A partitioned GeoCA based on dual-constraint spatial cluster and its effect on the accuracy of simulating result[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2011(3): 512-523.
- [20] 杨青生, 黎夏. 贝叶斯概率与元胞自动机的非线性转换规则[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007(1): 105-109.
Yang Qingsheng, Li Xia. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007(1): 105-109.
- [21] 季民河, Monticino Michael, Acevedo Miguel. 基于多代理模型的城市土地利用博弈模拟[J]. 地理研究, 2009, 28(1): 85-96.
Ji Minhe, Monticino Michael, Acevedo Miguel. *Geographical Research*, 2009, 28(1): 85-96.
- [22] 龙瀛, 沈振江, 毛其智, 等. 基于约束性 CA 方法的北京城市形态情景分析[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 643-655.
Long Ying, Shen Zhenjiang, Mao Qizhi, et al. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 643-655.
- [23] 林燕芬, 陈蔚镇, 余琦, 等. 上海城市拓展及其环境影响的模拟研究 [J]. 环境科学学报, 2011, 31(1): 206-215.
Lin Yanfen, Chen Weizhen, Yu Qi, et al. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(1): 206-215.
- [24] 范宇, 杨桂山, 涂小松. 基于城市扩张的土地储备数量预测研究-以南京市为例[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 53-59.
Fan Yu, Yang Guishan, Tu Xiaosong. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(1): 53-59.
- [25] 于欢, 何政伟, 张树清, 等. 基于元胞自动机的三江平原湿地景观时空演化模拟研究[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(4): 90-94.
Yu Huan, He Zhengwei, Zhang Shuqing, et al. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(4): 90-94.
- [26] 刘洋, 蒙古军, 朱利凯. 区域生态安全格局研究进展 [J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6980-6989.
Liu Yang, Meng Jijun, Zhu Likai. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(24): 6980-6989.
- [27] 谢东繁. 基于微观模型的城市道路交通流若干典型问题研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
Xie Dongfan. Analyzing of typical problems of urban road traffic flow based on microscopic models [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [28] 陈军华, 赵凛, 张星臣. 基于元胞自动机理论的交通流模拟研究进展 [J]. 管理学报, 2005, 2(1): 12-15.
Chen Junhua, Zhao Lin, Zhang Xingchen. *Chinese Journal of Management*, 2005, 2(1): 12-15.
- [29] 黄光球, 刘宏东, 马亮. 地下煤矿瓦斯渗出, 运移与积聚过程仿真方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(22): 5277-5282.
Huang Guangqiu, Liu Hongdong, Ma Liang. *Journal of System Simulation*, 2007, 19(22): 5277-5282.
- [30] 柳春光, 王碧君, 潘建伟. 基于元胞自动机的城市地震次生火灾蔓延模型[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 152-157.
Liu Chunguang, Wang Bijun, Pan Jianwei. *Journal of Natural Disasters*, 2010, 19(1): 152-157.

(责任编辑 孙秀云, 代丽)

· 学术动态 ·

2012 年第 6 届中国老年肿瘤学大会

由中国老年学学会老年肿瘤专业委员会、中国医学科学院肿瘤医院/肿瘤研究所与中国中医科学院广安门医院共同主办的第六届中国老年肿瘤学大会, 定于 2012 年 4 月 20—22 日于北京召开。

征稿范围: 老年肿瘤的流行病学(国际和国内)、发病特点、临床诊治、并发症处理、中西医结合治疗、改善老年肿瘤患者生存质量、老年肿瘤的防治策略等。

论文截稿: 2012 年 3 月 10 日

联系电话: 010-67472601

电子邮箱: cgosoffice@sina.com

大会网站: <http://www.cgos.com.cn/>