

基于细胞自动机与多主体系统理论的城市模拟原型模型

刘妙龙¹, 陈 鹏^{1,2}

(1. 同济大学测量与国土信息工程系, 上海 200092 2 辽宁工程技术大学
地理空间信息技术与应用重点实验室, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 文章从城市地理学模拟模型研究发展相对滞后的现实出发, 分析了传统城市模型模拟存在的问题与不足, 讨论了计算机科学、复杂性研究、地理信息科学与技术、新发展的地学计算方法等作为计算城市模型发展基础的可行性, 提出了一个基于细胞自动机与多主体系统理论与方法、包容了多尺度(宏观、中观、微观)层次的综合可计算城市模拟原型模型框架, 对以邻里社区为基础的居住区位微观模拟模型作了概念上的讨论, 分析了地学计算方法在城市模拟模型研究中的发展前沿。

关键词: 地学计算; 细胞自动机; 多主体系统; 城市模拟原型模型; 微观居住区位模拟

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2006)03-0292-07

模型模拟是 GIS 空间分析研究与发展的重要领域, 但其发展相对滞后, 一些用于城市科学研究的模型, 在现有的设定条件下, 有可能已经接近了其功能与用途的极限^[1]。当今发展迅速的城市, 其时间、空间演化的力度与强度远远超过了地理学家与城市学家们在理论与实际两大领域对其认识与研究的能力, 对城市模拟与模型研究提出了新的要求与挑战。

自 20 世纪 80 年代开始, 计算机科学、复杂性研究等一些新的理论、方法与技术正在逐步被引入、应用到城市系统的计算与模拟研究中。90 年代以来, GIS 空间分析研究的新方法论——“地学计算”的理论与方法, 应用于城市演化过程及驱动机制的模型表达与模拟, 取得了迅速发展; 新一代高分辨率空间资料的获取, 地理信息系统技术对资料的有效管理与操作处理, 有可能探讨作为复杂自适应系统与自组织系统的城市系统的动态时空演化, 地学计算为城市系统模拟提供了新的思路与方法^[2]。

本文分析了传统城市模型模拟存在的问题, 介绍了计算城市模拟模型发展的基础, 讨论并提出了一个基于细胞自动机与多主体理论与方法, 包容了

多尺度(宏观、中观与微观)层次的综合的可计算城市模拟原型模型框架, 给出了作为该原型模型基础的微观层次上的以邻里社区为基础的居住区位模拟模型的概念设计; 讨论了地学计算方法在城市模型模拟研究中的可应用性和研究前沿。

1 城市模型

1.1 传统城市模型: 问题与挑战

众所周知, 以空间互作用、空间选择理论为基础的传统城市模型, 在城市研究的发展过程中, 曾取得了巨大的成功^[3]。但其发端于数十年前的开创性工作, 对城市运行的理解、计算工具与能力的不足、资料集合的难以获取性与有效性等成为传统模型的固有缺陷和发展桎梏, 具体表现在:

1) “中心化”处理方法: 传统城市模型, 将城市描述为由一个占有支配地位、经常是单一中心并有集聚活动的卫星城(镇)所围绕的组织构型, 由中心化模式所表达的城市社会、经济活动, 其强度遵循距离单调递减规律。空间互作用模型成为城市系统中心化概念与处理方法的最典型体现与描述。中心化处理方法对大城市发生发展的机理描述并不适合, 城市的活动、结构, 不断地出现逆中心

收稿日期: 2004-11-15 修订日期: 2005-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49971031)、辽宁工程技术大学地理空间信息技术与应用重点实验室开放基金资助。

作者简介: 刘妙龙(1944-), 男, 上海市人, 教授, 博士生导师, 主要从事数量地理学、城市地理学与 GIS 研究。E-mail: lium@mail.tongji.edu.cn

化的现象; 作为城市增长基础之一的服务经济活动, 不断地配置或重新配置于城市郊区和一些边缘的区位; 城市的新基础设施, 明显地偏向于边缘区位发展。作为核心的城市中心或城市系统中的中心城市的形态呈现多中心的特征, 支撑传统城市模型的“中心化”处理方式与城市系统迅速发展的现实相冲突^[4, 5]。

2) 演化的动力学问题: 传统城市模型缺少动态演化的功能, 一般以非直接的和蕴含的方式、利用跨部门的、在一个特定的时间间隔上收集的资料集合作为动态演化的表征或“替代”, 这是一种“近似”的动态, 离开实时或准实时演化的理想系统动力学表述要求甚远。

3) 分辨率: 传统城市模型模拟以统计和调查资料为基础, 分辨率和精度不高, 表达与处理细节的实际能力薄弱。模型空间分辨率的基本单位, 往往在地理学意义上已是一个十分复合的层次; 相对应的社会经济的聚合体, 往往以离散社会经济群组(部门等)来划分, 尚不是基本单元(家庭、人类个体或群集等)的细节表征, 模型详细程度与模型运行有效性矛盾的解决一直是城市模型模拟研究的难题。

4) 模型可应用性: 传统城市模拟建模时, 建模者与用户(决策者和广大公众)相分离, 用户将模型作为一种“黑匣子”来接受, 虽可通过资料数据输入, 计算与运算结果输出而为用户服务, 但模型的内部运行对用户永远可能是一个“谜”, 大大降低了模型作为探索工具的能力。

5) 模型可变性: 模型的可变性涉及到比例尺度与模式两个方面, 传统城市模型无法满足随时进行修正与拓展、进行参数调整、准确及时地反映城市系统及城市内部的结构与关系演化的可变性要求; 现有一些模型在城市区域层次上较为成功, 但难以适应社区乃至人群或个体等微观尺度上的行为与现象表征, 传统城市模型无法解决多尺度问题。

6) 模型现实性: 传统城市模型中心化的表达方式与城市的现实构型明显相左; 建模中所采用的城市系统简化方法, 将模型的概念结构, 图解表达为层次分级流程图, 将对城市与城市系统的理解从聚合的总体分解成局部组分的“由上而下”等级形式来实施, 难以确切表达城市系统演化运行的动力与机制, 缺少现实性。

1.2 模型新发展基础

城市模拟模型从 20 世纪 90 年代初开始进入被称为“复杂性模型”、“地学模拟模型”或更一般地称为“地学计算模型”的新时代。这一新发展的基础, 得益于:

1) 地理信息科学的进展: 海量地理信息与资料的可获取性是地学计算模型发展的最有力支撑, 这些以各种介质形式为载体的信息与资料, 具有各种比例尺度与最佳的分辨率, 较好解决了获取的准实时性问题, 可直接并有效地解决传统城市模型的不足。地理信息科学与技术成为城市建模与模拟运算的最佳环境。

2) 面向对象技术: 构成城市的所有独立个体, 如土地地块、建筑物、行政区、家庭与个体人群, 是城市模型模拟的直接对象, 利用以对象为基本单位的成熟的面向对象编程(OOP)技术, 可以模拟人们对作为具有相关属性和行为对象的现实世界的思考方法, 改善传统城市模型的缺陷, 使城市的表达更为现实。

3) 复杂性研究: 城市是以人(群)为主体的最复杂系统, 是复杂性研究理论与方法应用的最好范例。城市中大量的独立对象在局部尺度上的相互作用行为, 结构与有序类型的聚合形式, 社会经济群组的大尺度空间集聚; 大尺度聚合的城市经济现象, 局部尺度上的非聚合经济扰动等是城市复杂性的直接体现; 城市外形特征所蕴含的分形分维、跨越尺度的自相似性、自组织现象更是城市复杂性的直接显现。复杂性研究直接面向城市系统的主体与细节、以动态与演化的观点审视城市的运行, 在城市整体与个体的相互作用、演化中间寻求从城市的底层向上逐级聚合进行城市的模型模拟, 成为真正科学意义上的模型生成方法^[6~10]。

4) 细胞自动机与多主体系统理论: 从城市模拟的角度, 细胞自动机(CA)可能是表示人类活动扩散和城市离散空间单元基础设施特征演化的最好方法与模型^[11, 12], 而多主体系统(MAS)是描述与模拟具有意识行为、能够实施空间移动与信息交换的城市人群群体特征与行为的最佳工具^[13, 14]。CA 是一个以某种格网状细胞空间形态存在的有限的状态集合, 一种自运行的、处理信息的机械, 由 CA 格网、细胞、细胞状态、邻里、转换原则和时间 6 个组分构成。MAS 在城市演化研究中, 是表示群体移动主体(人口、家庭等)迁移和重新确定区位

(家庭、就业等)行为的最好工具,借助遗传算法等非线性化方法、通过设定功能、时间变化规律、修改属性及行为,实施城市人口的动力学模拟^[15]。作为地学计算理论与方法重要组成部分的 CA、MAS 与中、宏观城市模型的结合是城市模拟研究的前沿。

2 城市整体原型模型设计

CA和 MAS可有效地对城市系统进行模拟,有比传统模型更多的优点,但对诸如城市规划与管理、城市公共政策等自上而下运行的宏观机制问题的表达颇为困难。现实世界中的城市,在宏观尺度上受环境影响,更受政府管理与规划的制约; CA和 MAS与中、微观层次模型的有效结合,有可能建立较为现实的可计算综合城市模型。

土地利用与交通是城市模拟的最主要对象,可以通过将 CA、MAS与传统的模拟技术相结合的方式,构筑一个综合的多尺度城市原型模型(图 1)。城市宏观尺度上的动态演化可利用“由上而下”的传统的土地利用与交通模型来处理,而“由下而上”运行的微观尺度动态演化则由地学计算模型 CA与 MAS来模拟,利用约束、反馈机制对模型进

行整合。这里的整合,实际上是传统模型与地学计算模型的有机组合,在宏观与中观尺度上,利用一些独立的传统模型,分别处理土地开发与利用(区位决策、配置、开发、市场清理等)、交通运输(潜在需求、出行生成、出行分布、模型分解、旅行指定等)所涉及到的各种行为与过程。在微观尺度上,利用 CA、MAS等较为成熟的地学计算模型,利用规划等部门广泛使用的一些成熟的模型模拟方法与技术,开发综合的模拟环境,在本质上它们是传统模型设计的逻辑扩展。模型的综合机制通过不同尺度模型之间资料交换所依据的严格概念与原则;模型之间通过由上到下或由下到上模型运行时的约束、反馈机制所建立的联系来实现。模型中的主体(人口群体、家庭等)行为利用 MAS来模拟,而空间位置的演变通过 CA来模拟。微观尺度上有关动态过程的模型设计,尽可能与规划等部门所使用的模型系统相一致,兼顾城市经济学与决策理论等的影响,使与传统模型尽可能相衔接。

模型设计充分考虑了模型的可变性要求,鉴于土地利用与交通模拟在系统的处理方法与模拟设计程序上的不同,将其设计成为两个独立的模型系统,通过反馈机制实现模型连接。图 1的原型模型

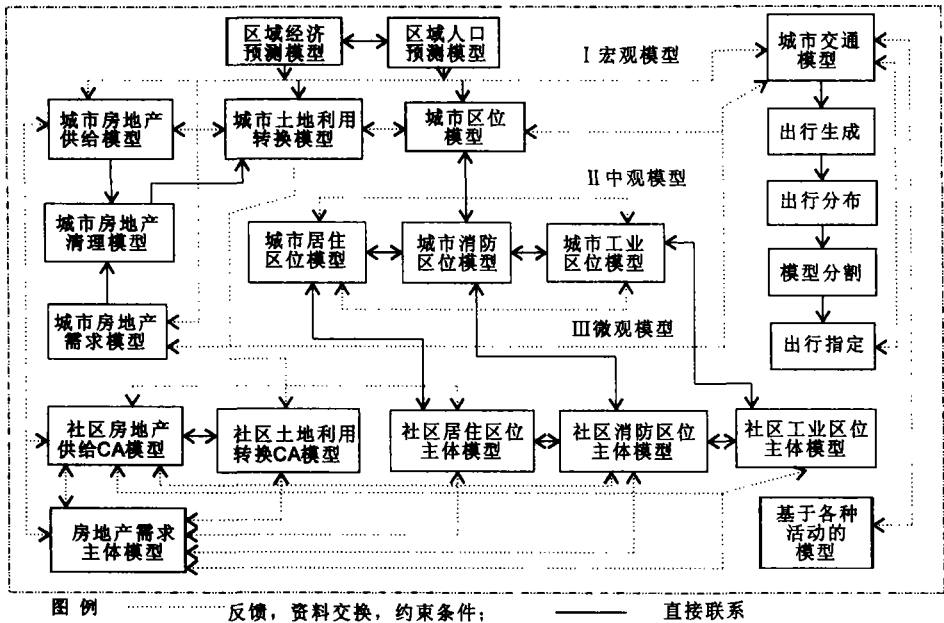


图 1 综合多尺度城市原型模型框架设计

Fig 1 A conceptual design for integrated multi scale urban computational model

Batty M. Agent-based pedestrian modeling Working paper series No 61, 2002 CASA. <http://www.casa.ucl.ac.uk>.
Torrens P.M. Can geocomputation save urban simulation? Throw some agents into the Mixture simmer and wait Working paper series No 32 2001 CASA. <http://www.casa.ucl.ac.uk>

中,土地利用模型系统分设为处理宏观、中观和微观 3 个不同尺度层次的子系统。宏观尺度上的土地利用模型是一些“经典”的城市与区域科学模型,以大尺度土地利用为背景的人类社会经济活动与大区域人口迁移活动为基础,在一个相对较低的空间与社会经济分辨率水平上运行;在城市或区域集合水平上广泛应用的是中观尺度上的土地利用模型,其基础是社会经济活动不同产业部门所进行的就业与经济活动,与中等水平的空间与社会经济分辨率相对应;在城市街区、社区、交通分析网络(带、区)等局域性经济子市场尺度水平上,房地产开发活动、土地利用转换、家庭区位决策、金融、保险、商业等以“区位”、“主体”的行为为特征的模型,是微观层次上的模拟,以高分辨率、高置信度的资料为基础,在宏观、中观高层次模型的双重约束下运行。宏观、中观尺度模型对微观模型的约束是对微观“区位”或“主体”层次上的所有行为单元直接产生的限制;而微观层次模型运行的结果与对上一级尺度层次的反馈作用,成为上一级层次模型运行的条件。宏观、中观和微观 3 个不同尺度层次上的模型始终以“作用-反馈”的双向互动方式运行、共进、构筑完整的城市演化综合模型。在微观尺度上,区位与基础设施可表示为某种细胞自动机的形式,在生命或似生命主体的作用下,对土地利用影响的各种构成要素:房地产供给与需求,土地利用转换,家庭、办公室、产业重新定位等进行动态模拟。作为微观模型的一个部分,下文以居住区位的运行过程设计为例,探讨微观尺度基础原型模型的构筑与实施。

3 居住区位微观模型设计

微观尺度基于 CA-MAS 组合的居住区位模型,以房屋买卖交易行为为基础,从行为主体(买房者与售房者)双方“或买或卖”身份、住房“或无或有”地位相互转换的角度,模拟居住区位的形成与演化过程^[10],它与中观尺度的居住区位模型直接相联系,受中观尺度模型条件的限定。模拟运行的基本条件是,不同邻里社区各有关房产子市场的全部房产信息与购房者信息都已明示,成为模型运行的约束和检核。作为一种简化,模型设计中仅考虑了位置(城市房产设施)、主体(房产设施中居住或对其参观访问的人们)、和总量(保证模型运行所需条件的各种存量)3 个主要组件^[15]。

位置利用 CA 的格网形式表示,每一个格网单元表示一个特定的房地产(住房),配以各种相关属性(坐标位置、位置关系、住房类型、房间数量、住房存量、住房使用期长度、密度、土地利用、租金、贴现折扣率等)进行标记,配赋确定的量值,作为交易关键的价格则是与房屋建筑相关联的所有属性的综合体现。为与中观模型相连接与微观模拟自身的需要,还应配赋有与该房地产及所在邻里社区相关联的特征参数,如至城市中心、次中心、商贸休闲中心、高速公路网络的距离与通达性等。

模型的行为主体分为买房者(移动主体)和房屋销售者(非移动主体)二类,用收入、年龄、孩子数、家庭规模、民族、期望居住持续期、群居喜好、生命周期阶段、使用权偏好、住房偏好、住房预算、离开子市场的愿望、社会经济偏好、主体类型等属性参数来标记。两类行为主体的属性理应不同,但为了简化而处理为属性相同,通过属性赋值的不同对两类主体与它们的不同行为进行区分。

1) 主体生命周期阶段划分:购买者的决策通过设定的喜好函数来描述,对于一个特定的区位(住房),依据喜好函数,购房主体被划分为喜欢与不喜欢两类。确定对住房是否喜好的关键变量,应是主体所处的生命周期阶段,依据主体(个人或家庭)是否年轻,有没有家庭,是否已经退休等特征来划定生命周期阶段;而购房决策还应考虑住房类型,住房特征(面积、房间数,住房构型)等。

原型模型参照 CA 模拟的惯例,简单划定了 3 个生命周期阶段:青年、中年与老年。“青年”阶段的主体是一些可能已经离开了家庭、正在学习,或学校毕业步入社会不久,或正在为第一次完全与独立的工作而辛劳的年轻个体,年龄段可定为 22~35 岁;他们喜欢年轻人的群体,可能更喜好靠近娱乐设施的一些中心位置,喜欢在公寓居住而不是在家里。“中年”阶段上的主体,有自己的家庭,大多有了自己的孩子,他们为事业、家庭、孩子而辛劳,他们有与其他主体不同的居住区位要求,可能更愿意寻找能有较好的学校,适应孩子教育要求的区位,即便是在离开了城市中心的郊区,他们有 35~60 岁的较大年龄区间。“老年”是那些正在进入到退休年龄的主体,他们有孩子但已离开了家庭、或者是没有孩子,收入的变化将严重影响他们居住区位行为,他们可能更喜好具有良好就医条件的区位,即便远离自己的子女。通常超过 60 岁都被归

属于“老年”。对 22 岁以下的青少年主体,因居住住房大都尚未独立,模型中可不予顾及。

除生命周期阶段,居住区位模型的另一重要属性变量是“价值平台”:即一个主体能直接化费于住房“购买”、“租赁”或“抵押支付”的资金量,可简单地用主体的收入水平来代替。

2) 喜好函数: 模型中主体的喜好仅考虑“住房位置、邻里关系、住房类型”3 个因素。住房类型喜好依据主体的生命周期阶段设定为: 青年主体对于公寓有更多的喜好; 已有了家庭的主体对公寓或个人住房的喜好差别不明显; 有了孩子的中年主体喜好住房, 而没有孩子的中年, 则喜好公寓。住房使用权(租借或自有)的喜好: 年轻人喜好“租用”, 而中年与老年主体则喜好自己拥有住房。

邻里喜好: 对邻里的喜好, 实质上是买房人和卖房者把居住子市场的一些条件作为区位决策的因子, 主要是邻里社区的建筑与环境体系、包括消遣、零售、娱乐与休闲设施的可获取性, 环境与绿化率等设施因子, 还有在发达国家被普遍重视的主体民族属性等。

喜好函数实际上是移动主体(买房者)的决策表现; 买房者进入到子市场, 首先就是评价房屋的

价格是便宜或是昂贵。如果昂贵, 主体移动到其它子市场; 如果价格可以接受, 开始对在子市场中的每个住房进行估价, 进行价格与支付能力的比对。喜好的计算可简单地设定为:

$$S_n = f(c, e) \Leftrightarrow c \in \{0, 1\}; e \in \{0, 1\};$$
$$c = 1 \text{ 如果 } V_{min} \geq (I_m / 2); \text{ 其它 } c = 0$$
$$e = 1 \text{ 如果 } I_m < V_{min}; \text{ 其它 } e = 0;$$

这里的 S_n 是对市场 n 的社会经济喜好, c 是对子市场是否便宜进行评价的评价因子, e 则是昂贵与否的评价因子; V_{min} 是市场中住房的最低价, I_m 则是移动主体(买房者) m 的收入。

对于邻里喜好中的环境因子、休闲设施可获取性、绿化率等条件因子, 亦可作相似的处理。

主体对于邻里的民族特征, 社会阶层结构等的喜好判断与选择, 可以考虑在模型中, 对主体指定一个相应的社会、阶层等的结构比例关系宽容度, 在给定的取值范围内作出喜好判断与选择。

3) 模型运行: 可以设想将模型分解为一系列的“事件”(图 2), 模型参数的确立与初始化, 区位过程的模拟, 模型参数更新等模型模拟主要子事件通过“迭代”运行的方式进行求解与决策。

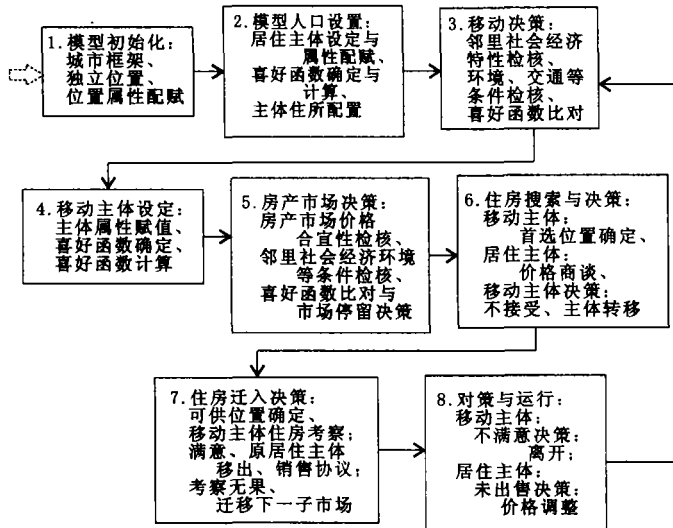


图 2 居住区位选择模型运行中的一些关键事件与决策

Fig 2 Key events and decision making in the running processes of a residential location choice model

初始化(1, 2): 建立模拟基础构架, 确定房产区位置, 指定基础设施属性; 模型人口与居住主体赋值, 指定所有者与占有者, 完成居住主体的形象建立; 主体生命属性指定, 喜好函数确立与计

算; 模拟运行主体独立家庭指定, 完成并确立居住区位模型模拟运行迭代的初始与约束条件。

移动主体的引入与市场决策(3~5): 通常假设, 仅有一个移动主体在模拟运行的某一个阶段访

问给定的居住子市场。移动主体的访问, 导致住房竞争购买的环境以复杂的买卖叫牌游戏方式出现, 为此需进行包括移动主体 (购房者) 确认、属性资料指定、喜好函数确立与计算等一系列的运算。移动主体依据计算结果对一些独立的位置进行总体性评判, 判定市场区位适宜程度; 检查价格与主体支付能力的匹配程度; 结合对邻里社区社会经济因子、环境、绿化、各种通达性条件的判定, 移动主体将决策是留在该子市场或是向其他子市场转移。

住房决策 (6 7): 一旦移动主体决定留在子市场, 主体就开始住房搜寻, 参观模型空间 (子市场) 内每一个可供销售的住房, 与居住主体“商谈”销售问题。如果房屋的价格双方主体都能接受, 且房屋的特征与买方主体的喜好匹配, 买方主体就会决策买房与“入住”; 否则, 移动主体将参观下一个可供挑选的位置。如果买房主体参观而没有能找到自己希望的住房, 那么他将离开该市场而开始在其他地方新的搜寻。一旦主体决定购买或租用符合各种约束条件的这一房屋, 移动买房主体和卖房主体实施地位互易, 移动主体入住, 卖房主体移出子市场, 该房屋将在可供住房中“清除”。

模型迭代决策 (8): 这是迭代运行的最后阶段决策, 没有如愿获取住房的移动主体向它子市场转移; 没有实现房屋销售的房屋销售主体, 决策房产价格调整, 进行新一轮的房屋买卖交易。以所有移动主体遍历迭代全过程, 或购 (房) 或移离决策确定为模型迭代运行结束的标志。

这一框架模型, 正是旧城区改造与日益发展的二手房交易市场管理信息系统设计的构架, 其运行与实施可借助广泛应用于社会与生态过程模拟的基于主体的模拟技术与运算平台——SWARM 与 STARLOGO, 作者与同仁完成的大都市区县房屋土地资源信息管理与交易信息集成系统中较为成功地应用了本文的设计理念与思路。

4 结 论

本文提出的基于细胞自动机与多主体系统的居住区位原型模型, 在实际应用时, 应首先考虑对喜好函数进行改进, 如设计为概率表达形式; 对于居住区位行为的特征描述, 除了一些常用的模型表达方式外, 应探索有可能包容市场运行、空间认知、

微观经济等理论与行为表达的模型, 设计相应的更具似生命特征的算法; 对于子市场模型, 应突出多个独立子市场的联系, 实现主体在子市场中间的流转与交换; 应研究居住微观模型与其它一些有关工业区位与城市开发模型等的连接, 实现以多主体系统为基础的微观模型与中规、宏观模型的综合。

以 CA 与 MAS 等为核心的地学计算理论、方法与技术有可能使城市系统的模型模拟研究进入新的发展时期, 但要真正在现实世界得到实际应用还有不少壁垒, 计算能力将是最大的障碍, 当模型在整个大都市区域尺度上进行模拟, 需要进行的计算, 只能依赖于高性能超大规模分布式计算机阵; 另一个大的障碍是资料限制问题, 不仅仅涉及到资料是否可以广泛获取, 获取资料的精度与分辨率, 还将涉及到资料的个体属性与使用上的道德与规等问题。

微观尺度的模型, 作为事件与行为的动态与过程模拟, 即便资料可以获取, 标定也十分困难。微观模型标定的尺度置于个体或个体的集合, 这就需要进行一系列从模型认知开始到模型表达直至模型求解的深层次研究, 它们将构成城市系统模型模拟未来研究的最重要领域。

参考文献:

[1] 刘妙龙, 李 乔. 地理计算——数量地理学的新发展 [J]. 地球科学进展, 2000 (6): 679~ 683.
[2] 陈述彭. 城市化与城市地理信息系统 [M]. 北京: 科学出版社, 1999
[3] 许学强, 周一星, 宁越敏. 城市地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002
[4] 王士君, 高 群, 王 丹. 城市相互作用关系的一种新模式——近域城市整合研究 [J]. 地理科学, 2001 (6): 558~ 563.
[5] 陈彦光, 刘继生, 房艳刚. 效用最大化、 $\lg i$ 变换和城市地理学的数量分析模型 [J]. 地理科学, 2002 22(5): 613~ 618
[6] 梁进社, 王 旻. 城市用地与人口的异速增长和相关经验研究 [J]. 地理科学, 2002 22(6): 649~ 654
[7] 陈彦光, 刘继生. 城市系统的异速生长关系与位序-规模法则——对 Steind 模型的修正与发展 [J]. 地理科学, 2001 21 (5): 412~ 416
[8] 陈彦光, 刘继生. 城市体系时空演化的广义维数分析——刻划城市资源分享空间的理论基础、计算方法与应用实例 [J]. 地理科学, 2003 23(5): 526~ 534
[9] 常 静, 李雪铭. 修正后的城市系统异速生长方程实证研

究——以大连市为例 [J]. 地理科学, 2004, 24 (4): 406 ~ 412

[10] 刘妙龙, 黄蓓佩. 上海大都市交通网络分形的时空特征演变研究 [J]. 地理科学, 2004, 24 (2): 144~ 149

[11] 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

[12] Batty M, Y Xie. Possible Urban Automata [J]. Environment and Planning (B), 1997, (24): 175 ~ 192

[13] Batty M, Bin Jiang. Multi-agent simulation: computational dynamics within GIS [A]. In Atkinson P, D Martin (eds). GIS and Geocomputation [C]. London: Taylor & Francis, 2000: 55~ 71.

[14] 江 斌, 黄 波, 陆 锋. GIS环境下的空间分析与地学可视化 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002

[15] Francesco L, P Alessandro. Agent-based methods in economics and finance — simulation in SWARM [M]. London: Kluwer Academic Publishers, 2002

A Prototype of Urban Simulation Model Based on the Theories and Methodologies of Cellular Automata (CA) and Multi-Agent System (MAS)

LU Miao-Long¹, CHEN Peng^{1, 2}

(1. Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092;

2. Geomatics and Applications Laboratory, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract Faced upon the fact of relatively lagged development in urban simulation and modeling, the problems and inadequacies consisted in traditional urban simulation have been analyzed in this paper. This paper discussed the possibility using a lot of theories and methods originated from computational science, complex researches, geographic information science and geocomputation developed recently as the foundation of computational urban models. A prototype of computational urban simulation model, which integrated the activities on the macro, meso- and micro-level scales, has been put forward based on the theories and methodologies of cellular automata and multi-agent system. The formation method and structure of a residential location choice model on the neighborhood scale, which as a base of the prototype, have been discussed conceptually. At last, the paper analyses the future development in the field of urban simulation and modeling.

Key words geocomputation; Cellular Automata (CA); Multi-Agent System (MAS); prototype of urban simulation model; micro-residential location modeling