

基于经济社会活动视角的城市空间演化过程模型

牛方曲^{1,2}, 王志强^{1,2}, 胡月^{1,2,3}, 宋涛^{1,2}, 胡志丁^{1,2,4}

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029;

4. 中国西南地缘环境与边疆发展协同创新中心, 昆明 650500)

摘要:中国的快速城市化带来了诸多问题,亟需制定合理有效的城市空间政策以确保城市发展的可持续性。因此,开展城市空间发展过程模拟、实施政策检验对于推进新型城镇化和城市的健康发展具有重要意义。本文基于“土地利用/交通相互作用模型”(Land Use/Transport Interaction Model, LUTI),以经济社会活动为切入点,构建了城市空间演化过程模型(Urban Activity Spatial Evolution Model, UASEM),并进一步给出了UASEM模型各子模型的具体实现和模块之间衔接的逻辑结构,从可操作层面给出了模型的实现方法。该模型可用于模拟城市空间演化过程、检验政策实施等,将成为城市空间可持续发展模拟分析研究的重要工具。

关键词:模型模拟;土地利用/交通相互作用模型;城市空间;可达性

1 引言

目前,中国正处于城市化快速发展阶段,城市建设用地的快速增长与人口规模的迅速膨胀是其主要特征。快速的空间(土地)城市化不仅给资源环境带来了巨大压力,而且引发了尖锐的社会矛盾。在2013年12月中央召开城镇化工作会议上,国家主席、国务院总理均出席会议并发表了重要讲话,突显国家对城镇化的高度重视。会议指出,城镇化是现代化的必由之路,并明确提出:紧紧围绕提高城镇化发展质量,坚持以人口城镇化为核心、以城市群为主体形态、以综合承载能力为支撑,全面提升城镇化的质量和水平。会议还提出了推进农业人口市民化、提高城镇建设用地利用效率、优化城镇化布局和形态、建设多元化可持续的资金保障机制、提高城镇建设水平、加强对城镇化的管理等推进城镇化的六大任务。因此,既要积极推进城市化,又要确保提高城市土地利用效率,实现城市化可持续发展,这就需要科学合理的城市空间政策作

保障。目前限制城市空间无序蔓延扩张成为政策的着眼点。为保障城市空间政策的合理性,实施政策检验势在必行。政策检验用于回答不同的空间政策下城市未来态势,即回答“What-if”问题。而政策检验需要有力的、可操作的工具来模拟城市空间发展过程。因此,通过构建模型,模拟城市空间发展过程,预测不同政策下城市空间未来发展,对制定合理的城市空间政策,有效推动中国新型城市化进程具有积极意义。

国外在城市空间演化方面已经开展了大量的研究。1964年Lowry系统提出了城市土地利用/交通相互作用模型(Landuse/Transport Interaction Model, LUTI),即称作Lowry模型(Lowry, 1964; Horowitz, 2004)。Lowry认为,城市经济部门可分为两大类:一类是基础生产部门(基础部门),生产的商品和劳务超越城市边界,销往城市外部,为城市带来收益,是一个城市能够存在的基础;另一类是服务部门,也称为非基础部门,生产的商品和劳务在城市内部消费,即服务于城市正常的运转。基础部

收稿日期:2014-03;修订日期:2014-12。

基金项目:国家自然科学基金项目(41101119);国家科技支撑计划项目(2012BAJ15B02);区域可持续发展模型集成与共享研究项目(41371536)。

作者简介:牛方曲(1979-),男,安徽淮南人,博士,助研,主要研究方向为城市与区域可持续发展, E-mail: niufq@lreis.ac.cn。

引用格式:牛方曲, 王志强, 胡月, 等. 2015. 基于经济社会活动视角的城市空间演化过程模型[J]. 地理科学进展, 34(1): 30-37. [Niu F Q, Wang Z Q, Hu Y, et al. 2015. A model of urban spatial evolution process based on economic and social activities[J]. Progress in Geography, 34(1): 30-37.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.01.004

门和服务部门的概念构筑了Lowry模型中城市土地利用研究的基础。基础部门空间的分布决定着服务部门及居民人口的空间分布。如能给定城市基础部门的空间分布和交通网络数据,Lowry模型将输出居民点、服务部门的空间分布(即城市土地利用状况)。Lowry模型简洁易操作,被认为是最具可操作性的空间相互作用模型(朱玮等, 2003)。之后,学者们对Lowry模型进行了大量的扩展应用。近年来,欧美国家城市规划常用的交通与土地利用模型系统大多建立在Lowry模型的理论框架之上。如Echenique等(1969)在Lowry模型的基础上增加了区域的建筑空间、交通限制,用于预测居民人口分布。Cripps基于Lowry模型开发了计算机模拟模型,根据基础部门模拟评估居民点和服务部门的位置及各个空间组成部分的相互作用,并利用Bedfordshire地区数据进行了验证(Cripps et al, 1969)。1980年代,英国交通部门基于MEPLAN软件开发了LASER(London and South East Region)模型(Echenique, 1994; Williams, 1994),用于模拟输出伦敦及其周围地区未来多个年份的人口与工作岗位的空间分布,以及不同交通模式、目的、线路的交通流,在此基础上进行城市发展的可持续性评估。LASER模型经过了一段时间的检验与完善,已发展到2012年的第4个版本,目前用于模拟分析不同空间政策对伦敦及其周围地区人口、交通、产业分布的影响,对该地区空间政策的制订起到了良好的支撑作用(David, 2014)。例如为帮助英国政府制定合理的城市空间战略,以阻止城市蔓延,Gordon等(2011)、Echenique等(2012)利用LASER模型,以英国泰茵(Tyne)、剑桥(Cambridge)、伦敦(London)城市区域为案例,模拟评估了不同发展战略的可持续性的结论,得出城市形态并非决定因素,紧凑型城市形态并非更具可持续性,并给出了实施可持续空间战略的建议。Feldman等(2009)建立了奥克兰LUTI模型,Dobson等(2009)建立了曼彻斯特地区LUTI模型,模拟分析不同交通或土地政策对该地区城市空间结构的影响。此外,其他多个国家也有大量成功的应用案例。例如澳大利亚应用的TOPZA和TRACKS模型,美国的ITLUP模型,荷兰的AMERSFOORT模型,日本的CALUTAS和OSAKA,德国的IRPUD模型,瑞典的SASLOC模型,委内瑞拉的TRANUS模型等等(Oryani et al, 1997)。上述模型将土地利用/交通相互作用的思想框架应

用于具体城市或区域的实践,为城市的发展决策提供了很好的支持。

国内学者分别从城市增长模拟(黎夏等, 2007; 伍少坤等, 2008; 龙瀛等, 2009)、工业空间增长模拟(杨青生等, 2009)、居住空间选择模拟(陶海燕等, 2009; 刘小平等, 2010; 党云晓等, 2011; 董冠鹏等, 2011)、土地利用变化模拟(杨青生等, 2007)及交通流和城市形态模拟(戴技才等, 2009; 陈逸敏, 2010)等方面对城市空间发展进行了研究,取得了一些进展。但上述研究成果内容分散,且侧重于微观层面,缺乏综合各领域研究成果的集成模拟研究。其中涉及的城市空间多指物理意义上的土地利用(如建设用地、农用地等),缺乏对经济、人口等城市重要指标的集成。城市土地利用变化模拟方法多采用元胞自动机(Cellular Automata, CA)。CA是一种通过简单的局部运算模拟空间上分散、时间上离散的复杂性现象的模型(Batty et al, 1997),最早由Von Neuman在1948年提出(Batty, 1994),其基本运算法则是:某元胞在下一时刻($t+1$)的状态是该元胞上一时刻(t)的状态及周围邻近元胞状态的函数。20世纪80年代,Wolfram对其进行发展(Wolfram, 1984),之后众多学者将其用于城市土地利用变化模拟。国内学者利用CA进行的大量城市扩展模拟研究(Li et al, 2000; 黎夏等, 2007; Zhan et al, 2013),大多侧重于物理意义上的土地利用变化模拟分析,缺乏对城市演化内在驱动力的挖掘。关于LUTI模型,早在1997年国内学者就已经对Lowry模型进行了关注(杨吾扬等, 1997),并开始尝试对其进行应用研究。梁进社等人基于该模型对北京城市扩展进行了分析,认为北京城市发展体现了Lowry模型所考虑的因素(梁进社等, 2005)。周彬学等借用了Lowry模型理论中关于经济部门划分的相关概念框架,用于研究城市空间结构,其研究思路为:在探讨城市各要素之间(交通、区位、土地利用)相互作用关系的基础上,利用已知数据计算未知要素的空间分布状况(周彬学, 2011, 2013)。该研究对Lowry理论的概念有了初步应用,但未涉及未来城市发展的趋势预测,因此包含无限循环递归思想的Lowry模型还未得到真正意义上的应用。可见,国内学者对LUTI模型的关注,仍停留在对模型的认识、梳理和理论探索阶段(周彬学, 2013),而将LUTI模型应用于模拟城市乃至区域空间演化、预测发展趋势的核心功能尚未开发。这也为该研究提供了机遇与挑战。

总之,在国外可持续发展模拟分析研究方法日臻成熟的背景下,LUTI模型在许多国家已得到了很好的应用,为城市乃至区域空间决策提供了良好支撑。目前,国内仍缺少集成土地利用、交通于一体的城市空间发展过程模拟工具。因此,将LUTI模型框架应用于中国城市,建立适用于中国城市的LUTI模型,模拟城市空间发展过程、实施政策检验,对于制定合理的空间政策,有效推进新型城镇化具有重要意义。本文基于LUTI模型架构认为,城市土地利用反映的是经济社会活动的空间分布,城市的扩张及其内部土地利用变化过程实质上是各种经济社会活动通过交通相互作用,致使其空间分布不断变化的过程。基于此,本文提出基于经济社会活动的城市空间演化过程模型(Urban Activity Spatial Evolution Model, UASEM),并详细给出各个子模型的具体实现和模块的衔接。

2 UASEM模型框架

城市经济社会活动通过交通不断地相互作用,表现为各类社会经济活动总量的变化及其空间区位的变化。因此,城市空间演化过程模拟涉及两项工作:一要预测各经济社会活动的数量,二要预测各经济社会活动的空间区位。而每年只有一部分经济社会活动需要选择空间区位,称之为流动经济社会活动。区位模型用于确定流动经济社会活动的空间区位。

由于经济社会活动相互作用是持续不断的过程,相应的模拟模型包含着不断循环递归的处理过程。因此该模型构建的基本思想为:经济社会活动趋向于效用更高的区位,而交通可达性、房租影响着经济社会活动的空间区位效用,进一步影响着城市空间分布;而经济社会活动的空间分布又反过来影响到房租区位效用,如此不断作用,趋向于平衡。可见在UASEM中,由房租决定的区位效用是影响经济社会活动的关键,而房租的变化受供求变化影响。因此,预测房产数量供给应为模型的重要模块。本文将以经济社会活动作为切入点,分类预测城市经济社会活动数量、房产数量的变化;基于交通可达性、房租等因素构建经济社会活动区位模型,预测经济社会活动空间分布。由此,模型涉及多个子模型,包括经济社会活动变迁模型(数量预测)、房产数量(室内面积)预测模型、交通模型(可

达性评价)、区位模型等,如图1所示。

UASEM用于预测城市经济社会活动的空间分布,其具体实现需要针对不同的城市进行经济社会活动分类。为便于阐述,本文根据活动性质的不同,将经济社会活动分为家庭和非家庭活动两大类。依据家庭的变迁周期可进一步对家庭(居住活动)分类,如:单身年轻家庭、两口家庭、三口家庭和退休家庭等;家庭以外的经济社会活动称作“非家庭活动”,包括办公、零售业、工业企业、娱乐服务业等。非家庭经济社会活动计量方法是:消费服务部门以其面积计算,就业部门以其提供的就业岗位数量计算。总之,各经济社会活动需使用不同的室内建筑空间(房产数量),根据使用对象对房产进行分类,其分类与经济社会活动分类相同。

UASEM模型需要将城市空间划分成不同的空间单元,称之为区块;各类经济社会活动均需使用室内空间,按照经济社会活动类型对室内空间分类,称作房产类型,UASEM采用面积计算的各类室内空间,如居住用房 x 万 m^2 、办公类用房 y 万 m^2 ,以便于数据的获取和研究的需要。

3 UASEM模型实现

根据图1所示的模型架构,UASEM模型的实现包括:①经济社会活动变迁模型,预测经济社会

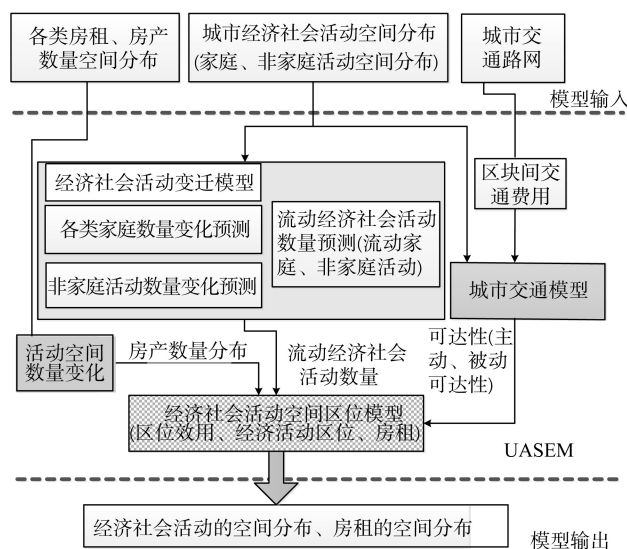


图1 UASEM模型框架

Fig.1 Structure of the urban activity spatial evolution model (UASEM)

活动数量变化;②房产数量变化模型,预测经济社会活动空间的数量分布;③交通模型,评价各区块的交通可达性;④区位模型,预测各类经济社会活动的空间分布。

3.1 经济社会活动变迁模型(Activity Transition Model, ATM)

经济社会活动变迁模型用于预测各类经济社会活动的总量变化以及其中流动的经济社会活动数量。其中家庭的数量变化最为复杂,涉及到家庭类型之间的变迁。

(1) 家庭数量的变化预测。确定家庭数量及流动家庭数量。家庭是社会组成的基本单元,家庭分布影响到交通和住房需求的空间分布。家庭数量的变化来自两个方面:本地家庭的变迁和外来移民。其中,部分家庭需要选择居住区位,成为流动家庭。本地家庭的数量变化需要根据历年的变迁情况确定。家庭的变迁涉及各类家庭之间的转化,各类结构的家庭构成复杂的变迁关系,可以归为家庭的组建、成长、拆分、消失。流动家庭数量来自以下3部分:一是未变迁的家庭(人口结构未变化),有较低的比例需要迁居;二是变迁家庭,有较高比例需要迁居;三是移民家庭(迁入),均为流动家庭。

(2) 非家庭活动数量变化预测。确定家庭活动数量及流动活动的数量。每年有部分非家庭活动需要选择区位,影响非家庭活动的空间分布,成为流动活动。需要预测各类活动数量变化及其中流动活动的数量。

3.2 房产数量变化预测模型(Estate Development Model, EDM)

城市经济活动的空间分布变化受各类房产开发的影响。EDM模拟房产开发商决策行为,根据各类房产数量开发影响因素预测城市各类房产数量变化。EDM的构建基于以下影响因素:房租($V1$),建设成本($V2$),工作岗位空间分布($V3$),现有房产数量(F_t^u)。其预测公式为:

$$F_{t+1}^u = f(F_t^u, V1, V2, V3, \dots) \quad (1)$$

式中: F_{t+1}^u 为在 $t+1$ 时段开工建设的 U 类房产面积; F_t^u 为 t 时刻房屋的面积。

3.3 交通模型(Transport Model, TM)

交通可达性决定了经济社会活动的空间分布,交通同时也影响着环境质量。交通模型在评价区块间交通费用的基础上,辅以经济社会活动的空间分布作加权评价区块的可达性。

3.3.1 交通费用评价

交通费用评价常用指标是时间费用和经济费用,本文拟对二者进行综合,建立“综合费用”(generalized cost, gc)指标,以表征区块间的交通便捷度。根据区块间交通距离、自驾车平均速度、单位里程的通勤费用来评价两两区块间的综合费用。城市存在着不同的交通模式(公交、自驾等),因此,交通费用评价需要根据不同的交通模式分别进行,见下式:

$$gc_{ij} = f(cost_t, cost_m) \quad (2)$$

式中: gc_{ij} 为 i 与 j 区块间的综合费用; $cost_t$ 和 $cost_m$ 分别表示时间和费用成本。

3.3.2 城市区块交通可达性评价

交通可达性反映了区块自身的交通优势度,表征的是区块到达各类“目标”的便捷度。UASEM根据经济社会活动类型将可达性分为主动可达性、被动可达性。主动可达性针对的是家庭活动,被动可达性针对的则是非家庭活动。

(1) 主动可达性:区块作为起点的可达性

对于居民来说,其关注的是从居住地出发,到达某类目标(如就业岗位)的便捷度。居民自主决定出行的方式与目标,因此称作主动可达性。主动可达性影响着家庭的空间分布。UASEM以家庭为基本单元评价可达性,称作家庭可达性。不同家庭成员有不同的出行需求,如:工作出行、消费出行,各种可达性构成了家庭可达性。家庭可达性由各家庭成员的出行需求共同决定。根据各类家庭人口结构不同确定家庭的出行需求,可评价各类家庭的可达性。

(2) 被动可达性:区块作为终点的可达性

对于非家庭活动,其选址倾向于靠近劳动力市场、消费者等不同人群,考虑的是到达的便捷度,因此称作被动可达性。被动可达性影响着非家庭活动的空间分布。构建被动可达性需根据不同城市的自身情况对城市的经济部门进行分类,在分类的基础上评价各类活动的可达性。各类经济活动的被动可达性取决于其周围各类居民的空间分布和该区块与其他区块间的综合费用。

3.4 经济社会活动区位模型(Activity Location Model, ALM)

经济社会活动区位模型是UASEM的核心部分,用于将流动经济社会活动分配到不同的区块中。区位模型的运算思想为:房租影响经济社会活

动区位效用,进而导致其空间分布发生变化;而空间分布反过来影响房租,如此不断相互作用,趋于稳定,如图2所示。由此,模型的运算是一个循环处理的过程,涉及区位效用计算、经济社会活动区位的确定、房租变化预测、区位模型算法的实现。

(1) 区位效用模型

区位效用表征了经济社会活动区位选择的倾向性,区位效用计算需根据不同城市的具体情况确定效用的影响因素,建立区位效用模型。而即便是同一区块,不同的经济社会活动区位效用也不相同。因此,需分析城市不同社会经济活动的区位效用的影响因素,对各区块分别评价各类活动的区位效用。

(2) 空间区位模型

上述经济社会活动变迁模型(ATM)预测了经济社会活动的数量及其中流动活动的数量,进而需要确定流动活动的区位。流动经济社会活动空间分布在不同的城市略有差异,主要受以下因素影响:流动经济社会活动总量,区块内房产数量(总量与可用数量),现有经济社会活动数量分布,区位效用。本子模型的目标是根据影响因素,预测流入各区块的经济社会活动的数量。

(3) 房租估算模型

经济社会活动空间分布的变化将导致房租变化。因此,需在确定影响因素的基础上构建房租评估模型。房租的主要影响因素包括:区块的当前房租、区块经济社会活动的数量、住房数量空间分布。

(4) 区位模型算法

如前文所述,区位模型是一个循环运行的计算机模型,模型流程如图2所示。模型中,房租与经济社会活动空间分布循环相互作用,直至平衡(房租与经济社会活动分布变化很小或无变化)。具体算法步骤:①计算当前经济社会活动密度(第一次运行使用上一年的房租);②根据当前房租、经济社会活动密度、可达性、环境质量等区位影响评价各区块的经济社会活动区位效用;③根据各区块的区位效用确定分配到各区块经济社会活动的数量;④根据区块经济社会活动数量变化计算用房需求;⑤如果房产需求量与目前可用数量不匹配,则调整房租,重复上述步骤,直至房租和经济社会活动分布变化很小或无变化。

上述算法涉及“区位效用评价模型”、“流动经济社会活动空间分布模型”、“房租估算模型”,在上述(1)、(2)、(3)步中均已实现。

4 UASEM 模型讨论

本文根据LUTI模型思想,基于经济社会活动视角给出了城市空间演化过程模型UASEM。模型以家庭为单元,根据人口结构对家庭进行分类,预测不同类型家庭的空间分布,这将有助于进一步研究具有不同社会经济特征的群体空间分布。而不同群体的出行方式不同,对交通有不同的影响,为交通状况的预测奠定基础。同时,根据出行需求的家庭可达性评价,可实现更准确的城市人口空间分布预测。

模型的时空尺度方面,空间上可根据不同城市大小划分不同的区块,例如可将街道或街区作为空间单元来预测城市经济社会空间分布,区块内部被认为是均质的,也可根据获取的数据情况确定空间尺度;时间轴上可以选取不同的尺度,如1、2或5年进行预测。但不论选择何种时间尺度,都需要利用历史数据进行校准,使得模型在该尺度下模拟预测尽可能地逼近真实值。

UASEM模型是包含着循环递归思想的计算机模型。模型包含多个子模型,需要根据各城市具体情况分别予以实现,并将各个子模块进行衔接集成,形成城市空间演化模拟系统。模型的运行需要解决收敛问题(边界问题),否则模型会陷入死循环。例如,模型预测家庭数量增加很快,并有最小

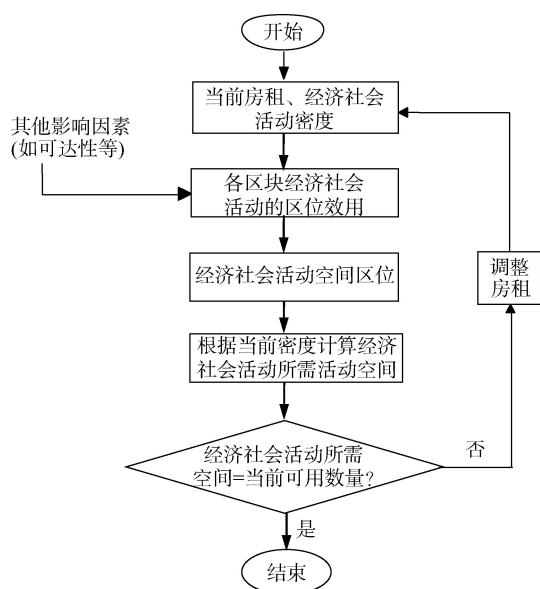


图2 经济社会活动区位模型
Fig.2 Activity location model (ALM)

的住房面积需求,如果住房数量不足,即使在最大的密度下也达不到收敛条件。模型的收敛需要根据不同城市的具体情况(数据),在参数设定上予以把控,确保数学逻辑无误。

5 结论

本文基于经济社会活动视角构建了城市空间演化过程模型 UASEM,给出了各子模型的构建方法和各模块的衔接。UASEM 模型能够根据一般市场规律来模拟城市空间演化过程,可通过对经济活动区位模型输入数据和参数的干预来实现空间政策的检验。例如,检验“修建城市道路”、“控制房产开发数量”、“家庭或产业的数量”等政策,可通过修改交通费用数据、经济活动数量、各类房屋数量,从而最终影响空间区位模型的输出结果(发展趋势)。UASEM 模型以一定的假设和概率预测为基础,并非针对特定的某个家庭、居民、公司或机构。UASEM 是基于大数据聚类分析,其预测结果与未来实际情况即使存在偏差,但并不影响模型对城市空间政策制定的参考价值,该模型将成为城市空间可持续模拟分析研究的重要工具。

由于 UASEM 模型是对整个城市空间发展过程的模拟,涉及人口、产业、区位、交通出行乃至计算机等多个领域,模型的检验与应用存在下列挑战:①各类数据的获取与合成,数据质量直接决定预测结果的质量;②模型涉及人文地理学的多个研究领域,各子模型的构建需要涉及经济、社会、生态环境等多方面知识;③由于模型的复杂性,各个模块及其逻辑关系需根据城市的实际情况,在应用中不断优化完善,提高模拟的准确性。今后将重点选取有代表性的城市(如北京)来预测城市未来家庭人口、经济部门的空间分布,实地检验不同政策对城市经济社会活动空间分布的影响。

参考文献(References)

陈逸敏,李少英,黎夏. 2010. 基于 MCE-CA 的东莞市紧凑城市形态模拟[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 49(6): 110-114. [Chen Y M, Li S Y, Li X, et al. 2010. Simulating compact urban form using cellular automata and multi-criteria evaluation: a case study in Dongguan[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 49(6): 110-114.]

戴技才,黎夏. 2009. 基于多智能体的微观交通流模拟模型

[J]. 科学通报, 54(21): 3380-3389. [Dai J C, Li X. 2009. Multi-agent systems for simulating traffic behaviors[J]. Chinese Science Bulletin, 54(21): 3380-3389.]

党云晓,张文忠,武文杰. 2011. 北京城市居民住房消费行为的空间差异及其影响因素[J]. 地理科学进展, 30(10): 1203-1209. [Dang Y X, Zhang W Z, Wu W J. 2011. Residents housing preferences and consuming behaviors in a transitional economy: new evidence from Beijing, China [J]. Progress in Geography, 30(10): 1203-1209.]

董冠鹏,张文忠,武文杰,等. 2011. 北京城市住宅土地市场空间异质性模拟与预测[J]. 地理学报, 66(6): 750-760. [Dong G P, Zhang W Z, Wu W J, et al. 2011. Spatial heterogeneity in determinants of residential land price: simulation and prediction[J]. Acta Geographica Sinica, 66(6): 750-760.]

梁进社,楚波. 2005. 北京的城市扩展和空间依存发展: 基于劳瑞模型的分析[J]. 城市规划, 29(6): 9-14. [Liang J S, Chu B. 2005. Urban sprawl and spatially interdependent-development of Beijing: a analysis based on the Lowry-model[J]. Urban Planning, 29(6): 9-14.]

黎夏,叶嘉安,刘小平. 2007. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体[M]. 北京: 科学出版社. [Li X, Yeh A G-O, Liu X P. 2007. Dili moni xitong: yuanbaozidongji Yu Duo-zhinengti[M]. Beijing, China: Science Press.]

黎夏,刘小平. 2007. 基于案例推理的元胞自动机及大区域城市演变模拟[J]. 地理学报, 62(10): 1097-1109. [Li X, Liu X P. 2007. Case-based cellular automation for simulating urban development in a large complex region[J]. Acta Geographica Sinica, 62(10): 1097-1109.]

刘小平,黎夏,陈逸敏,等. 2010. 基于多智能体的居住区位空间选择模型[J]. 地理学报, 65(6): 695-707. [Liu X P, Li X, Chen Y M, et al. Agent-based model of residential location[J]. Acta Geographica Sinica, 65(6): 695-707]

龙瀛,韩昊英,毛其智. 2009. 利用约束性 CA 制定城市增长边界[J]. 地理学报, 64(8): 999-1008. [Long Y, Han H Y, Mao Q Z. 2009. Establishing urban growth boundaries using constrained CA[J]. Acta Geographica Sinica, 64(8): 999-1008.]

陶海燕,黎夏,陈晓翔. 2009. 基于多智能体的居住空间格局演变的真实场景模拟[J]. 地理学报, 64(6): 665-676. [Tao H Y, Li X, Chen X X. 2009. Simulation for evolution of residential spatial patterns in real scene based on multi-agent[J]. Acta Geographica Sinica, 64(6): 665-676.]

伍少坤,黎夏,刘小平,等. 2008. 基于城市扩张的动态选址模型: 以深圳垃圾转运站选址为例[J]. 地理科学, 28(3): 314-319. [Wu S K, Li X, Liu X P, et al. 2008. GeoCA based dynamic site selection model: Shenzhen City as a case study [J]. Scientia Geographica Sinica, 28(3): 314-319.]

杨吾扬,梁进社. 1997. 高等经济地理学[M]. 北京: 北京大学

- 出版社: 379-387. [Yang W Y, Liang J S. 1997. Gaodeng Jingji Dilixue[M]. Beijing, China: Peking University Press: 379-387.]
- 杨青生, 黎夏. 2007. 多智能体与元胞自动机结合及城市用地扩张模拟[J]. 地理科学, 27(4): 542-548. [Yang Q S, Li X. 2007. Integration of multi-agent systems with cellular automata for simulating urban land expansion[J]. Scientia Geographica Sinica, 27(4): 542-548.]
- 杨青生, 黎夏. 2009. 城市工业空间增长的多智能体模型[J]. 地理科学, 29(4): 514-522. [Yang Q S, Li X. 2009. Agent-based micro-simulation of urban industrial spatial evolution[J]. Scientia Geographica Sinica, 29(4): 514-522.]
- 周彬学, 戴特奇, 梁进社. 2011. 基于遗传算法的非线性 Lowry 模型模拟研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 47(6): 1097-1104. [Zhou B X, Dai T Q, Liang J S, et al. 2011. A simulation research of nonlinear Lowry model based on genetic algorithm[J]. Journal of Peking University: Natural Science Bulletin, 47(6): 1097-1104.]
- 周彬学, 戴特奇, 梁进社, 等. 2013. 基于 Lowry 模型的北京市城市空间结构模拟[J]. 地理学报, 68(4): 491-505. [Zhou B X, Dai T Q, Liang J S, et al. 2013. Simulation of urban spatial structure in Beijing based on Lowry model[J]. Acta Geographica Sinica, 68(4): 491-505.]
- Batty M, Couclelis H, Eichen M. 1997. Urban systems as cellular automata[J]. Environment and Planning B, 24: 159-164.
- Batty M, Xie Y. 1994. From cells to cities[J]. Environment and planning B, 21: 531-548.
- Cripps E L, Foot D H S. 1969. A land-use model for sub-regional planning[J]. Regional Studies, 3(3): 243-268.
- David Simmonds Consultancy Limited. DELTA application report[R/OL]. 2001-11-28[2014-03-07]. <http://www.david-simmonds.com/index.php?section=34/>.
- Dobson A, Richmond, E, Simmonds D. 2009. Design and use of the new greater manchester land-use/transport interaction model (GMSPM2) [Z]. European transport conference, Netherlands: October 5-7.
- Echenique M. 1994. Urban and regional studies at the Martin Centre: its origins, its present, its future[J]. Environment and Planning B, 21(5): 517-533.
- Echenique M, Hargreaves A J, Gordon M. 2012. Growing cities sustainably[J]. Journal of the American Planning Association, 78(2): 121-137.
- Echenique M, Crowther D, Lindsay W. 1969. A spatial model of urban stock and activity[J]. Regional Studies, 3(3): 281-312.
- Feldman O, Davis J, Richmond E. 2009. An Integrated system of transport and land-use models for Auckland and its application[Z]. Australasian transport research forum. Auckland, New Zealand: September 29-October 1.
- Gordon M, Anthony H, Anil N. 2011. Land use, transport, and carbon futures: the impact of spatial form strategies in three UK urban regions[J]. Environment and Planning A, 43(9): 2143-2163.
- Horowitz A J. 2004. Lowry-type land use models[A]//Hensher D A, Button K J, Haynes K E, et al. Handbook of transport geography and spatial systems: handbooks in transport, volume 5[C]. Oxford, UK: Elsevier Science: 167-183.
- Li X, Yeh A G-O. 2000. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS[J]. International Journal of Geographical Information Science, 14(2): 131-152.
- Lowry I S. 1964. A model of metropolis[J]. Santa Monica, CA: Rand Corp.
- Oryani K, Harris B. 1997. Review of land use models: theory and application. Sixth TRB conference on the application of transportation planning methods[M]. Washington, WA: May 19-23.
- Williams I N. 1994. A model of London and the South East[J]. Environment and Planning B, 21(5): 535-553.
- Wolfram S. 1984. Cellular automata as models of complexity [J]. Nature, 311: 419-424.
- Zhan Y H, Li X, Liu X P. 2013. Urban expansion simulation by coupling remote sensing observations and cellular automata[J]. Journal of Remote Sensing, 17(4): 872-886.

A model of urban spatial evolution process based on economic and social activities

NIU Fangqu^{1,2}, WANG Zhiqiang^{1,2}, HU Yue^{1,2,3}, SONG Tao^{1,2}, HU Zhiding^{1,2,4}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Institute of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;

4. Collaborative Innovation Center for Geopolitical Environment of Southwest China and Borderland Development, Kunming 650500, China)

Abstract: China is meeting the grand challenge while facing many problems brought by the rapid urbanization in the past decades. As a result, effective policies are called for to assure the sustainability of urban spatial development. Modeling urban spatial development process for policy test would be of great significance for decision making and the eventual realization of sustainable urbanization. The objective of this paper is to establish an operative model to simulate urban spatial evolution process that would help to formulate urban spatial policies. Land-use/transport interaction model (LUTI) is considered an important tool to model urban spatial development processes. We think that urban land use reflects the spatial distribution of urban economic and social activities, and urban expansion and land use changes reflect the changes of urban activity distribution caused by the interaction between land use and transport. Using the LUTI concept and taking economic and social activities as an entry point, we built an urban activity spatial evolution model (UASEM) and discussed the implementation of this model in details. UASEM includes a number of submodels, including an Activity Transition Model that predicts the amount of activities, an Estate Development Model that predicts the floorspace of buildings, a Transport Model that evaluates transport accessibility, and an Activity Location Model that predicts the spatial distribution of socioeconomic activities. The paper introduces the implementation of each submodel of the UASEM and maps the relationship between them, so the UASEM given in this paper is an operative model. UASEM is a computer model that includes an iterative programme, which simulates the iterative process of urban land use and transport interaction. To ensure that the model results converge, boundary condition of the model is carefully examined. UASEM is a dynamic model that takes into account the change of every activity. The spatial and temporal dimensions of UASEM need to be decided according to the urban scale and data availability. Towns are normally the basic spatial unit of analysis and the temporal scale of such analysis is often annual. UASEM results provide a reference for researches of urban modeling and analysis in China.

Key words: simulation; land use/transport interaction model (LUTI); urban space; accessibility