

文章编号: 1009-6000(2016)11-0002-08

中图分类号: TU984 文献标识码: B

doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2016.11.001

作者简介: 龙瀛, 清华大学城市规划工学博士, 清华大学建筑学院副研究员, 剑桥大学国家公派访问学者, 主要研究方向为城市空间量化研究及其规划设计响应。

## 北京城乡空间发展模型 :BUDEM2 Beijing Urban Developing Model: BUDEM2

龙瀛

LONG Ying

### 摘要:

自 2009 年北京空间发展模型第一阶段顺利完成以来,北京市范围内的地块尺度的空间数据(地块和建筑)和精细化的社会经济数据(居民和企业等)均有了大量的积累;同时,在技术方法层面也有了一定程度的发展,具备了进行微观尺度模型研究的条件。因此本文以北京市空间发展的大量数据为依托,直接面向北京城乡规划实践,对空间发展模型的理论和技术架构进行了深入研究,建立了一套多尺度、多维度的城乡空间发展模型:BUDEM(Beijing Urban Development Model)。该模型由土地开发模块(宏观与微观)、人口空间化与属性合成模块、居住区位选择模块、企业区位选择模块以及基于活动的交通出行模块构成,可以对城市扩张与再开发进行模拟,并进行相应空间政策的评估。

### 关键词:

BUDEM; 城市增长; 土地开发; 人口合成; 区位选择; 交通出行; 北京

**Abstract:** Since the accomplishment of Beijing Urban Developing Model (Phase 1) in 2009, we have accumulated more spatial data (include parcels and buildings) and socioeconomic data (residents and companies) in fine-scale level. Meanwhile, research methods developed to a certain extent. We have met the requirements of conducting micro-scale model researches. This article conducted deep studies in spatial development model theories and technical frameworks based on abundant spatial data in Beijing, and faced Beijing urban & rural planning practices. Under this circumstance, BUDEM (Beijing Urban Developing Model), which has multi-scale and multi-dimension research methods, is established. BUDEM (Phase 2) is composed of land development module (macro-level and micro-level), spatial & attribute of population synthesis module, residential location selection module, enterprise location selection module, and activity-based transportation module. These modules can be applied for simulating urban land expanding & redevelopment, as well as evaluating correlated spatial policies.

**Key words:** BUDEM; urban growth; land development; population synthesis; location selection; transportation; Beijing

### 0 引言

2009年,北京城乡空间发展模型(Beijing Urban Development Model, BUDEM)第一阶段已经顺利完成,在多个规划项目中得到成功应用<sup>[1]</sup>。近年来,BUDEM项目组积累了大量地块尺度的空间数据(地块和建筑)和精细化的社会经济数据(居民和企业等),在技术方面也进行

了大量积累<sup>[2]</sup>。考虑到北京市没有微观尺度的城市模型,而市政和交通等方面的已有模型多为地块等微观尺度,因此在相应尺度的土地模型上,我们开发完成了微观尺度的BUDEM模型(即BUDEM2)。模型的定位如下:(1)精细化的城市模型:以居民家庭、企业、地块为基本研究单元,关注多少人、什么人、在哪里及相应的城市

活动、出行和影响; (2) 北京市域全覆盖的微观模型: 而不是像多数已有研究, 只针对典型区域; (3) 应用阶段为现状和近期: 考虑到数据粒度和预测周期的折衷, 该研究暂不考虑远景预测; (4) 支持精细化规划的开展。

为了进一步明确 BUDEM2 的定位, 表 1 简要地将 BUDEM 与本研究所建立的后续模型 (BUDEM2) 进行对比。

BUDEM2 填补了规划领域地块层面的城市模拟系统研究的不足, 对规划支持系统的发展具有重要的理论意义; 支持了城乡规划中的关键研究内容, 提高了规划的科学性, 具有重要的实践意义; 利用 GIS 平台整合城市模拟系统和专业模型, 进而扩展了城市模拟系统的应用; 探索了稀疏数据环境下建立精细化城市模拟系统的方法。

## 1 城市模型简要综述

城市模型研究始于 20 世纪初期, 20 世纪初到 50 年代中期是城市模型发展的初级阶段, 主要是对城市空间分布模式进行描述的研究; 1950 年代末, 计算机的出现和推广给城市和区域模型带来了新的生机, 这一时期计算机辅助城市模型系统被引入规划, 城市模型迅速发展; 1960 年代是城市模型研究的高潮阶段, 哈佛大学出现了以区位理论为基础的城市生长模型, 和以空间相互作用为理论基础的劳瑞 (Lowry) 模型<sup>[3]</sup>。但是, 当时也有不同意见, 如 Lee 对大尺度的综合城市模型提出质疑<sup>[4]</sup>。从 1990 年代开始, 随着计算机硬件技术和 GIS 技术的日益成熟, GIS 在城市模型研究中的应用及其与城市模型的集成已经成为城市模型发展的重要趋势。总体来说, 城市模型的发展主要包括了形态结构模型、静态模型和动态模型三个阶段<sup>[5]</sup>。

动态城市模型是当今研究的热点, 基于不同的研究视角可以划分为不同的类

型。从建模的方法看, 常用的方法有基于空间相互作用理论 (Spatial Interaction) 的重力模型<sup>①</sup> (Gravity Model)、最大熵理论模型 (Entropy Maximizing), 来自经济学的 Alonso/Mills/Muth 地租理论 (Rent Models)、离散选择模型 (Discrete Choice Model)、空间投入产出模型 (Spatial Input-output Model)、回归分析 (Regression), 来自复杂科学的元胞自动机 (CA)、基于个体建模 (Agent-based Modelling, ABM)<sup>②</sup>, 以及微观模拟 (Microsimulation Model, MSM) 和地理信息系统 (GIS) 等技术<sup>[6]</sup>。从模型应用的具体领域看, 有区域模型、城市土地模型、土地使用与交通模型、土地使用—交通—环境模型等<sup>[7]</sup>。从模型的空间尺度上看, 又可分为宏观模型<sup>③</sup>和微观模型, 宏观模型 (或分区模型) 的研究尺度是地理网格<sup>④</sup> (Grid) 或小区 (Zone), 一般小区可以是交通分析小区 (Traffic Analysis Zone, TAZ), 也可以是统计小区 (Census Tract), 在这种情况下, 城市活动主体一般选用小区内的居民、家庭或企业的统计特征, 即以一类活动主体作为分析对象, 而不是个体。而微观模型, 一般基本空间单元较小, 如街区、地块或建筑, 相应的, 城市活动主体一般对应居民、家庭和企业的个体, 其原理与方法更加清晰直观。

基于离散动力学的动态城市模型作为目前的研究热点, 同时也是未来的重要发展方向; 国际上典型的城市模型多基于宏观尺度, 基本研究单元为地理网格或小区, 对城市活动主体进行分类<sup>[8]</sup>, 这方面理论和实证都有较多探究; 近年来随着微观数据获取途径的日益增多与研究尺度的需要, 基于微观尺度的城市模型在国际上发展迅速, 但全面应用在真实城市中的案例仍然有限; 在国内, 土地使用与交通模型和侧重于城市扩张模拟的城市模型都有一定研究, 都属于宏观模型范畴, 微观模型的研究较少。

根据上述对城市模型发展趋势和已有典型模型的分析, 精细化的城市模拟将成为未来的研究热点。精细化城市模型作为一种时空动态的微观模型, 基本模拟对象为地块、居民、家庭、企业等微观个体, 主要用于研究城市的土地开发、居民的居住区位选择、企业的区位选址、城市活动的时空分布等空间问题, 用于支持空间政策的制定和评估<sup>[8]</sup>。多种微观模拟的研究方法都可以用于精细化城市模拟, 如微观模拟、元胞自动机和基于个体建模等。据国际国内该领域的研究现状显示, MSM、CA 和 ABM 已经成为典型的微观模型研究方法, 在各个研究尺度都有了一定的探索, 但是这些研究更多侧重于地理学、社会学, 距离空间规划的研究需求还有较大的空白, 很多关键问题还有待解决。因此该领域的研究以后应该根据空间规划的具体研究内容和需求, 并需要考虑到我国数据稀缺的客观环境 (更为详细的文献综述以及未来城市模型的走向<sup>[9]</sup>)。BUDEM2 正是将以上几点作为研究切入点, 通过多种定量方法的集成应用, 提出面向城乡规划的精细化城市模拟的理论方法, 并进行了实证研究。

## 2 研究框架

### 2.1 主要研究内容

(1) 对国际上的精细化城市模拟模型进行文献调研, 了解主流研究方法和典型模型;

(2) 通过运用各种技术方法, 收集、处理和构建用于地块尺度的城市模型数据库, 一方面是地块尺度的空间数据, 如土地使用功能、容积率、建筑量、规划条件、居住人口数、就业人口数、企业数、地籍情况等, 一方面是居民、家庭、企业等全样本微观个体数据 (可借助现状模型的数据基础);

(3) 技术方法研究方面, 将主要探索微观数据合成的方法、精细化模型的参数

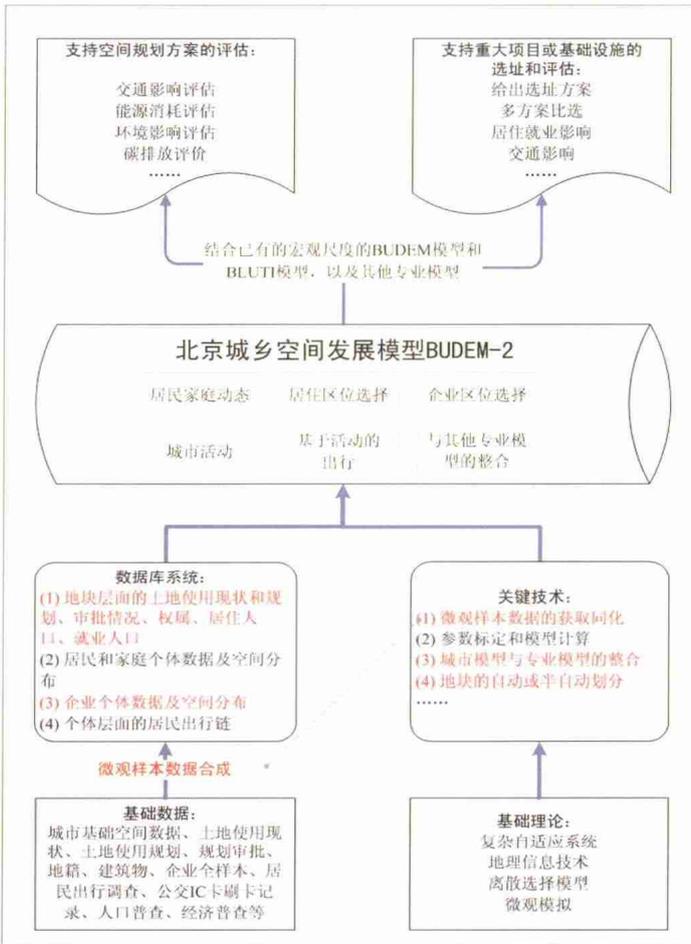


图1 BUDEM2技术路线图

表1 BUDEM与BUDEM2 定位对比表

	BUDEM	BUDEM2
基本空间单元	500m网格	地块
关注重点	物理空间	物理空间和社会空间并重
研究范围	市域范围	市域范围
时间尺度	远景预测	现状评价和近期预测
主要建模方法	元胞自动机	多智能体和微观模拟
规划支持对象	战略规划/总体规划	详细规划/项目选址
模型类别	过程模型	行为模型
	动态模型	静态/准动态模型

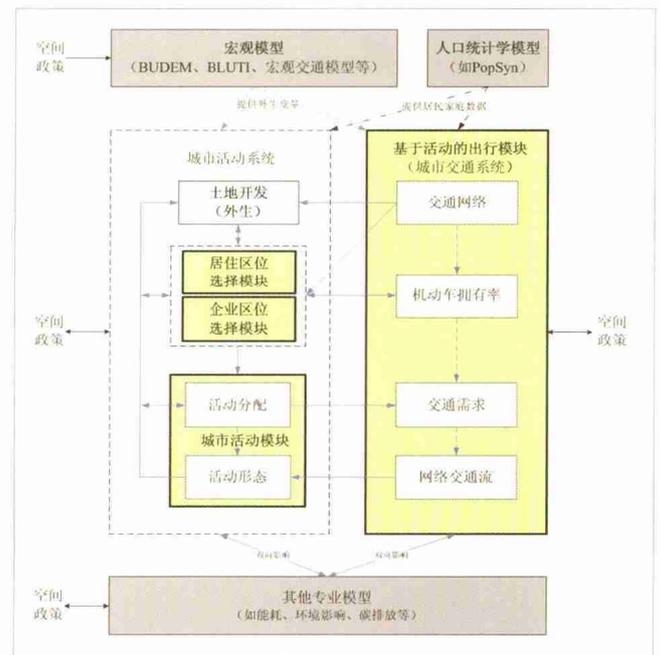


图2 模型模块构成及各模块关系图

标定和验证、城市模型与专业模型链接等方面的研究内容。开展六个模块的研究工作：土地开发模块（宏观）、土地开发模块（微观）、人口空间化与属性合成模块、居住区位选择模块、企业区位选择模块以及基于活动的交通出行模块，见图1；

（4）模型应用方面（有望从以下几方面支持城乡规划）：

应用1：基于精细城市模型所构建的数据库。在模型内开发一个小的子模块，用于提供精细化的数据服务和简单的统计分析功能，支持选址、城市改造、控规调

整等项目的开展；

应用2：从居住区位选择、就业区位选择和企业区位选择几个方面，利用地块尺度城市模型进行规划方案和其他空间政策的评估，这覆盖了城市规划几个比较核心的方面，可用于城市扩展和城市再开发等项目；

应用3：研究地块尺度城市模型与已有的北京市城市规划设计研究院微观的市政和交通模型以及外界可获得的环境模型链接的可行性，并基于整合的模型进行能耗、水耗和环境影响的评估（适用于整个

城市、分区以及小的研究范围）；

应用4：该模型有望与现状综合分析模型一同作为北京市城市规划设计研究院规划模型框架的重要基础设施和底层模型，支持北京市城市规划设计研究院“十二五”科技发展规划七大模型中的五个模型的开发。

## 2.2 具体技术方案

本研究的具体技术方案见图2。外部宏观模型为各模块提供外生变量条件，外接的人口统计学模型（Demographic Model），用于反映居民和家庭的状态和变

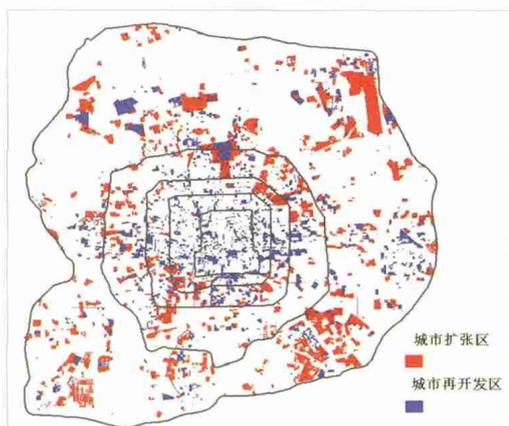


图3 城市扩张与再开发的空间分布

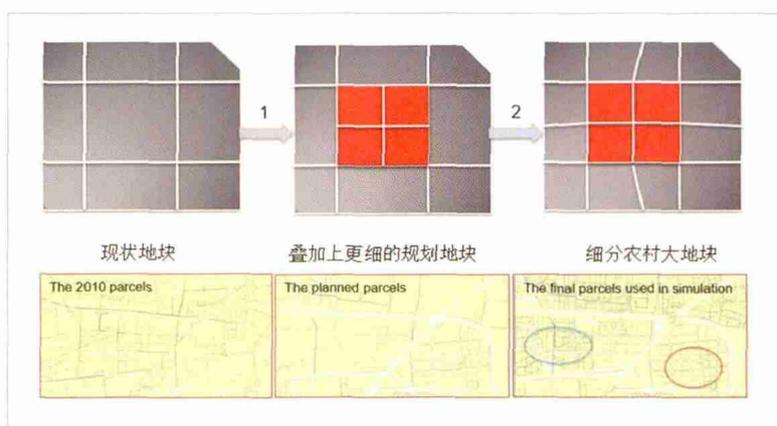


图4 地块划分步骤示意

动过程,如居民的出生、年龄增长和死亡;家庭的生成、合并和拆分等,这是城市活动和交通两个系统的重要数据,在本研究中不单独开发该模型,而是借用已有模型(如PopSyn)的方式进行。精细化城市模型主要包括精细化的城市活动系统<sup>⑤</sup>和基于活动的(Activity-based Travel)城市交通系统,二者之间存在紧密的反馈关系,是城市模拟的重要基础和核心内容。城市活动系统部分主要包括土地市场行为(开发商的投资开发)、房地产市场行为(居民的居住区位选择和企业的选址行为)和城市活动(主要表现为以自然人为媒介表达出来的基于生活需求及个人属性表现出来的特定活动,如基于就业地的上班、基于学地的上学、基于商场的购物等)。而上述各类行为都将导致交通需求,但主要表现为城市活动的交通需求,将个人的一日城市活动链接起来即组成出行链,出行链中需进行出行目的地选择、出行时段选择、出行方式选择等,最终将交通需求所构成的交通量分配到交通网络上,进而完成交通分配模型。交通分配计算得出的交通可达性反馈出影响居民的区位选择和企业的选址等行为,可达性进而对区域房价

及地价产生影响。

### 3 模型开发与模拟结果

#### 3.1 土地开发模块(宏观与微观)

##### 3.1.1 宏观层面

土地开发模块分为宏观和微观两个部分。宏观层面中采用的主要数据包括2003年北京市土地使用数据、2003-2010年规划用地许可证和交通分析小区(Traffic Analysis Zones、TAZs)分布数据。基于已有数据,我们针对每个规划用地许可证,识别了其在2003年的用地性质。其中,土地变化的关系包含两类:1)城市扩张,此类地块在2003年为农村用地许可;2)城市再开发,此类用地在2003年为城镇用地许可。

图3显示了基于用地规划许可和2003年土地使用现状的2003-2010年用地变化情况。市扩张用地主要分布于五环以外地区,而城市再开发主要集中于四环以内。

##### 3.1.2 微观层面

在进行土地利用模型的微观模拟时,第一步是进行地块划分。主要包括两个步骤,首先,叠加2010年现状和2020年规划地块,将现状地块依照规划地块进行划

分,具体操作是用已规划地块替代同空间位置的现状地块;其次,将得到的大地块(主要在农村地区)进一步细分,可以使用专门的地块划分工具(Land Subdivision tool)进行。本研究中用规划道路划分农村大地块,然后用方格网划分剩余的农村地块,使之变为200m见方的小地块。对于处于限建区的地块,在后续土地利用模拟的过程中始终保持用地性质不变。最终生成的地块个数为:市域内677428个,六环内76252个,见图4。

在确定扩张和再开发比例方面,首先,各TAZ的总开发规模是外生的,由宏观经济模型确定。确定了各TAZ开发规模之后,再确定城市扩张和再开发的比例。主要方法有两种:第一,参考土地开发模块(宏观)的结果,以此作为基准情境。第二,设定扩张比例, $r=EX/(EX+RE) \times 100\%$ ,其中,EX=扩张,RE=再开发。但需要注意的是,用该比例做基准情境设置也存在局限,比如某内城分区,历史上再开发比例较高,不一定对应未来也持续如此。图5显示了以城市扩张为标准的比例分布情况,可见开发主要集中于五环至六环间的区域。

基于以上研究,我们进行了用地布局

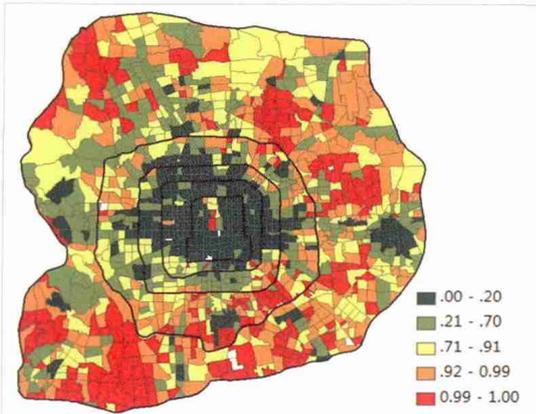


图5 北京六环内各交通小区开发扩张所占比例

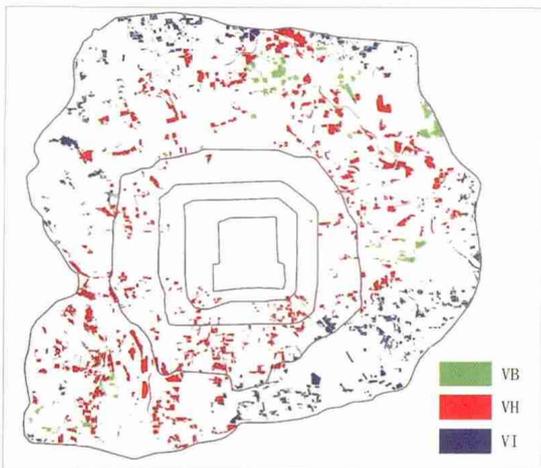


图6 城市扩张模拟布局

注：VB:农村到商业；VH:农村到居住；VI:农村到工业。

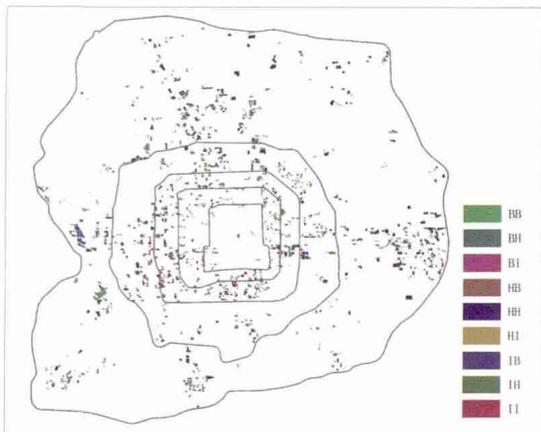


图7 城市再开发模拟布局

注：BB:商业到商业；BH:商业到居住；BI:商业到工业；HB:居住到商业；HH:居住到居住；HI:居住到工业；IB:工业到商业；IH:工业到居住；II:工业到工业。

的模拟。图6显示出扩张区域主要分布在六环区的外围地区，VB主要发生在区域的东北部，VH主要在五环六环的中间地带，而VI主要在区域的北部和南部地区。三种变化类型中，VH的地块数量和相应的扩张面积均为最大，而VB则为最小。

图7显示出相比于城市扩张，再开发地区多靠近市中心，五环与六环之间的再开发地区主要分布于北部和东部。

### 3.2 人口空间化与属性合成模块

城市系统微观模拟的样本，根据模拟的对象和研究层次，可以分为个人、家庭、建筑、车辆、地块等，也可以是子行政区域，样本是微观模拟中最为基本的研究对象。个体样本一般具有相应的社会、经济等方面的基本属性，例如人口样本的年龄、收入、教育程度、职业等属性，家庭样本的家庭成员数量、收入、地址等属性，地块样本的面积、产权单位、使用类型、高度等属性。这些属性又可以分为空间类属性和非空间类属性，如地块样本的面积、形状和位置，以及人口样本的所在街区等便属于空间类属性。

空间化的人口数据及其必要属性，是BUDEM2模型的重要参数输入，目前，一些研究已尝试对大尺度范围内的调研数据进行权重调整来生成个别数据信息<sup>[10]</sup>。在发展中国家存在着数据获取的困境，主要表现为精细化的人口数据普遍难以获得，同时官方统计的数据资料受到严格管理，均不利于开展相关科研项目<sup>[11]</sup>。基于此，我们在“人口空间化与属性合成模块”提出了一套利用开放数据、自动空间化和合成人口属性的方法，鉴于其全开放的特点，可以为其他城市模型所复制使用。

具体地，首先基于OpenStreetMap识别并描述地块，并基于元胞自动机的矢量模型，通过众包获取的兴趣点数据推断地块属性。利用住房相关的网络签到数据区别普通地块和居住地块，并推测居住地块的开发密度，进而利用公开的区县尺度的人口数据实现人口的空间化<sup>[12]</sup>。人口属性数据的合成，是建立在人口空间化的基础上进行的。首先利用龙瀛等所建立的Agenter模型<sup>[13]</sup>，实现在没有微观样本的前提下，利用《2000年第五次全国人口普查主要数据公报》等合成北京市的人口微观全样本。此外，该模块还结合了美国亚利桑那州立大学开发的人口合成器PopGen，其中Agenter实现合成样本中不包括的样本属性，而PopGen实现样本放大的功能。将两个工具结合起来，能充分利用现有的统计资料等，合成北京市人口全样本。图8为北京市的数据生成，其结果已经过北京城市规划设计研究院的实际地面数据验证<sup>[12]</sup>。

采用本模块生成的人口微观样本，因为个体样本的不确定性，即使保持数据的统计特征，仍然不是符合已知宏观数据的唯一一组。利用反演结果作为微观模拟模型输入时，可以利用本方法生成多组的个体样本数据，分别输入模型进行模拟，取模型结果的平均值作为最终的模型输出，有望降低因为输入的数据问题带来的模拟结果的不确定性。

### 3.3 居住区位选择模块

居住选址是指居民综合考虑自身的消费需求与经济能力等多种因

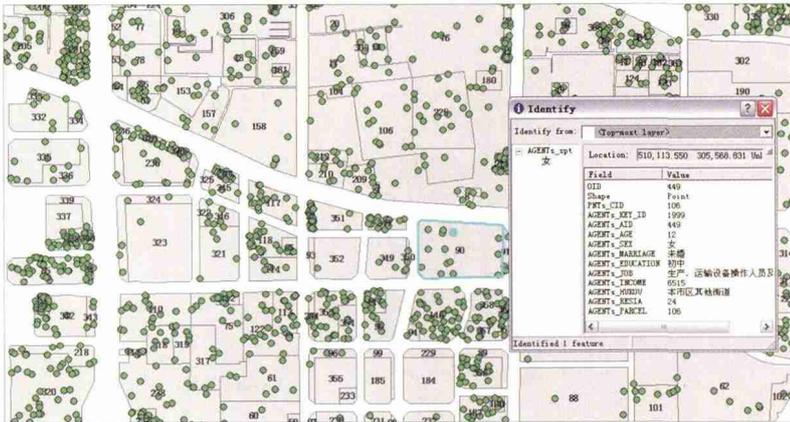


图8 反演的个体样本的空间分布图

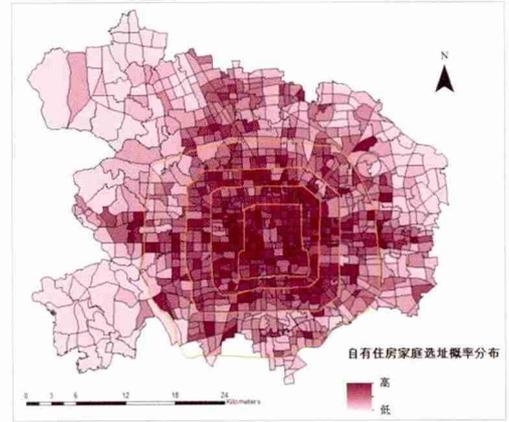


图9 自有住房家庭选址概率分布

素,选择最适宜居住的区位的过程。基于微观经济学的消费者效用理论,不同商品对人们的效用不同,人们在进行居住区位选择的时候,会选取能带来总效用最大的区位。一般意义上,居民自身的差异性因素主要来源于居民自身三个方面的属性:家庭结构、收入水平、个体偏好。这三个方面的差异性因素导致了居民对居住区位选择的不同偏好。本模型结合了这三种特征,对家庭内部进行细分,以此更精确地度量以需求为导向的居住区位选择概率。

本研究从整体上将影响居民居住选址的微观因素分为选择对象因素(即区块特征)和选择人因素(即居民家庭特征)两个基本层面,区块特征包括该区块的地理位置、居住区位周边环境以及交通可达性,居民特征体现的是选择主体自身的属性,包括家庭年龄结构、收入水平、生活方式等。

该模块基于UrbanSim系统模型,利用多元离散选择模型技术,在北京市1911个交通小区的空间范围和分辨率下设定了居住区位选择模型。选择对象覆盖了北京市全市域范围,比较之前的相关研究,即北京市中心城区的178个交通小区的划分,该模块对选择对象的考查更为全面,对选址偏好精确度的度量也更加精确。该模块

从居民居住区位选择影响因素的理论研究出发,结合规划实践经验,设定了模型中的关键变量,测度了公共服务、市政设施、交通可达性、生活服务设施、就业可达性等区位因素对居住选址的影响机制和强度,特别分析了自有住房家庭与租房家庭、保障房需求群体和商品房家庭对上述因素的敏感度差异。通过对比参数估计结果,发现各类居民的选址偏好存在差异性:普通家庭较低收入家庭更偏好生活服务设施和休闲绿地场所;自有住房家庭更偏好获得房屋产权的隐性权益,租房家庭更偏好交通可达性与就业可达性(图11)。这进一步说明,模型需要以需求为导向,按照居民实际偏好和各类居民间的偏好差异来进行居住用地的空间配置。

### 3.4 企业区位选择模块

与UrbanSim模型系统中居住选址子模型类似,企业选址子模型是针对企业的特点和行为进行模型化处理和模块,它根据企业利润最大化原则,考虑集聚经济收益、工资成本和土地成本等因素,对某一类产业或企业的空间区位决策进行分析和模拟。为了体现企业选址在空间需求上的差异性,企业选址模型对城市产业部门进行分类,对于不同类别的产业,根据

上述理论选用不同的选址模型形式和变量进行分析和模拟。

根据数据整理和变量构造情况确定实证分析中两类企业选址的具体模型形式,如下面两式所示。

现代办公类企业选址模型:

$$Utility = \beta_U \cdot PRICE + \beta_{ACC} \cdot LnACC + \beta_{D\_SUBWAY} \cdot LnD\_SUBWAY - \beta_{POTENTIAL} \cdot POTENTIAL + \beta_{O\_DUMMY} \cdot O\_DUMMY \quad (1)$$

其中U\_PRICE表示办公用地价格偏离程度,ACC表示就业者综合交通成本D\_SUBWAY表示交通小区质心到邻近地铁站距离的对数值,POTENTIAL表示办公企业选址区位潜力,O\_DUMMY表示办公用地利用现状(1:多,0:少)。

社会服务类企业选址模型:

$$Utility = \beta_{LANDPRICE} \cdot LnLANDPRICE + \beta_{ACC} \cdot LnACC + \beta_{D\_SUBWAY} \cdot LnD\_SUBWAY + \beta_{HINCOME} \cdot LnHINCOME + \beta_{POP} \cdot LnPOP + \beta_{AREA} \cdot LnAREA \quad (2)$$

其中,LANDPRICE表示企业的地租成本,POP表示区块居住人口总量(表征潜在用户、消费者群体),HINCOME表示区块内家庭平均月收入水平(表征消费者购买力),AREA表示区块面积的对数值。

通过对模型参数进行标定和对模型结果进行测算,最终得到了现代办公类企

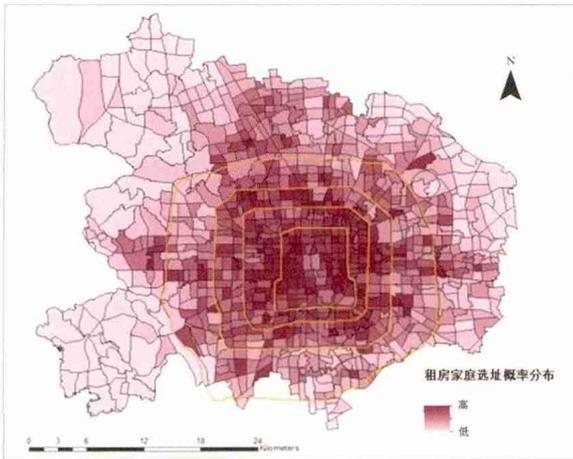


图10 租房家庭选址概率分布

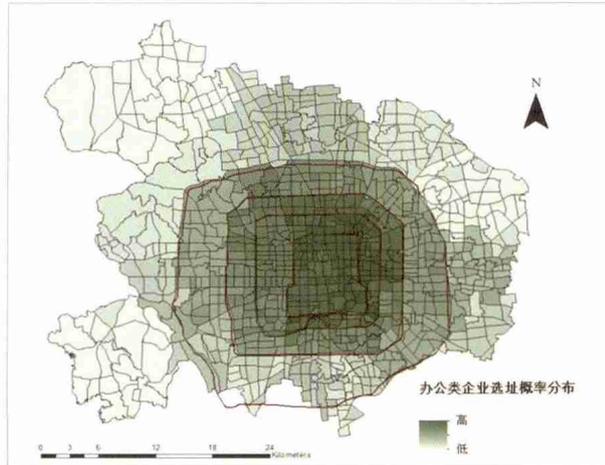


图12 现代办公类企业选址概率分布

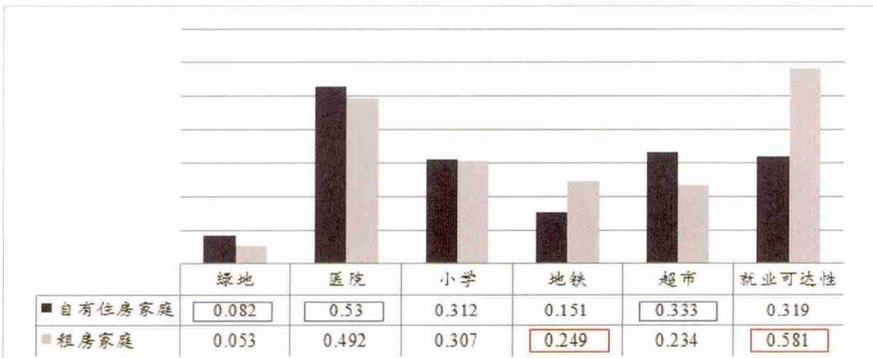


图11 自有住房家庭与租房家庭选址偏好差异（系数绝对值）

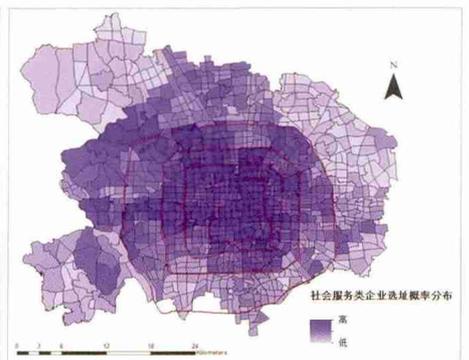


图13 社会服务类企业选址概率分布

业和社会服务类企业的选址在空间上的概率分布，如图12、图13所示。

本模块在GIS中整合北京市多个微观空间数据图层，对城市空间仿真模型系统UrbanSim中的现代办公类和社会服务业类企业选址模型进行了运行环境的设定和参数标定，通过实证结果，揭示了北京市现代办公类和社会服务业类企业选址特征。

现代办公类企业选址模型的结果表明：产业集聚、交通便利、土地成本合理以及受到政府政策支持的区域<sup>[14]</sup>，对于现代办公类企业具有较强的辐射吸引力，其中企业选址受产业集聚与交通便利的影

响则更为显著；地铁建设可增大周边区位的吸引力。现代办公类企业选址的模型结果可以进一步帮助地方政府采取更有效的措施来鼓励和支持这类企业的发展。例如，可以利用交通可达性较好的区域，尤其是轨道交通枢纽周围，成立产业园区，并给予税收等政策支持，引导办公类企业在空间上集聚，形成集聚经济效应，从而吸引更多的办公类企业，实现优势的良性循环。

社会服务业类企业选址模型的结果表明：土地成本越低、居住人口越多、收入水平越高、交通越便利的区块对于社会服务业类企业越具有吸引力；此外；地铁建设可以增大周边区块的吸引力。社会服

务类企业在空间选址上的偏好较直观地表明，政府在进行商业房地产市场土地供应时，应优先考虑靠近市中心的区块及外城中交通便利、人流量大的区块，这样可以最大程度上发挥商业房地产市场的土地配置效用，同时更好地满足商业房地产市场需求者和供给者的发展需求。

### 3.5 基于活动的交通出行模块

人们的出行行为，一般基于个人属性、家庭属性等的差异而有所不同。出行行为在一日中基本体现为由人的活动链引致出的出行链。不同个人（如有无工作或学生）、不同家庭（有车家庭、无车家庭等）的出行链长度及数量也有所不同。该模型结合

北京模型维度框架、北京 2010 年居民出行调查书等,将研究群体类别按家庭拥车情况及个人身份情况划分成六类人群分别进行出行链的统计和分析。

交通分布模型是基于出行生成模型,根据同时期交通基础设施的规模,利用交通运输费用模型计算交通费用,最后将各小区交通出行的产生量和吸引量转化为出行量。

出行方式选择模型的功能是为出发地和目的地之间的出行,估算不同出行模式的比例。它的主要依据是不同模式的出行综合费用及模式特性。与分布模型相同,方式划分模型根据不同的家庭类型和出行目的而建立,其中是否有小汽车在模式的选择当中起着重要的作用。不同交通运输方式所提供的服务水平是构成方式划分模型的重要因素,同时也反映出所采纳的交通运输战略,例如市中心与卫星城之间如何衔接的思考等。在本次模式选择模型中,考虑到自行车、电动自行车等出行方式受到出行者体能和电池容量的限制,与出行距离有直接关系,这种关系同时也因家庭类型和出行目的不同而有所差异。因此,按不同出行距离使用 NLOGIT 模型对出行方式选择进行模型参数标定,以提高模型精度。

该模块的其他部分正在继续完善中。



图14 基于活动的交通出行模块

#### 4 结论与讨论

基于多种建模方法和平台,我们建立了一套微观尺度的城乡空间发展模型(BUDEM2),包括土地开发模块、人口空间化与合成模块、居住区位选择模块、企业区位选择模块、基于活动的出行模块和环境影响模块等。结论如下:(1)土地开发模块在识别开发商行为偏好的基础上,考虑了城市扩张和再开发,实现了对近期用地布局的情景分析;(2)人口空间化与合成模块可以利用开放数据实现人口空间分布以及居民家庭社会经济属性的推算;(3)居住区位选择模块通过居民的居住区位选择偏好的识别,可以模拟近期的居住区位选择行为;(4)企业区位选择模块通过企业的区位选择偏好的识别,可以对企业的区位变化进行模拟;(5)基于活动的出行模块则是上述城市空间模块的下游交通模块,目前实现了出行链的建立和出行方式的选择。BUDEM2 与 BUDEM 等宏观模型一同,可以对未来短期的城乡空间发展模式进行情景分析,并对空间发展的相关政策进行评价,实现从宏观政策到微观模拟的模型应用。

在 BUDEM2 模型应用方面,我们已经先后将研究成果用于北京总规修改专题支持和总规修改空间模型研究等方面,此外,研究成果还用于支持北京市城市规划设计研究院内部其他科研课题,如公共服务设施选址模型、大模型及区域问题研究、微观交通模型升级等。目前正在积极将 BUDEM2 成果进行北京市城市规划设计研究院的院内应用,可能的潜在应用包括:(1)支持政策评估工作,如支持规划方案的评价(专项、选址、控论、镇中心区),以及居住、就业、交通、公共服务设施等方面的政策评价;(2)支持用地和设施选址工作,如支持小尺度的城市再开发工作(如金融街西扩、旧城改造等),支持房地产和企业项目选址,以及支持公共服务设施选址;(3)支持活动和出行的相关研究。

BUDEM2 模型的创新点主要体现在,(1)建立了一套城乡空间发展模拟的框架体系,适应了当前“以人为本的新型城镇化”、“存量规划”等发展形势;(2)土地开发模块基于用地证识别开发商的规则,既考虑了增量的城市扩张,又考虑了存量的再开发;(3)针对中国数据情况,建立并整合了自主开发的 Agenter 和美国 PopGen 的人口空间化与属性合成模块;(4)所建立的居住和企业选择模块,突出了以需求为切入点的特点,充分考虑了居民和企业的空间选择偏好。

由于研究时间和精力有限,本研究在若干方面还有待细化,主要体现在以下几个方面:(1)人口合成部分,没有考虑用人口动力学模型来分析人口社会经济属性变化;(2)土地模块没有考虑密度因素;(3)居住和企业区位选择,是根据现状人口来进行的;(4)城市活动和环境影响模块还比较初步;(5)多个模块是松散且未整合的状态,没有完整的交互界面;(6)需要更多实践应用来检测模型的可用性。

#### 注释:

- ①或劳瑞模型。
- ②也有研究将 ABM 模型称为多主体系统或多智能体系统(Multi-agent System, MAS),本文沿用 ABM 的说法。
- ③或集计模型(Aggregated Models)。
- ④或元胞(Cell)。
- ⑤对应土地模型。

#### 参考文献:

- [1] 龙瀛,韩昊英,毛其智.利用约束性 CA 制定城市增长边界[J].地理学报,2009,64(8):999-1008.
- [2] 龙瀛.面向空间规划的微观模拟:数据,模拟与评价[D].北京:清华大学,2011.
- [3] 赵强,胡连生.略论城市模型研究的发展趋势[J].现代城市研究,2006(6):30-32.

(下转 27 页)



图12 北京六环内的全局整合度核心（蓝绿）与南城局部整合度核心（绿）

着政策实施前后多个时间节点的对比分析。建议高度重视城市历史数据的存储和开放，尽可能多地采集和保留城市发展过程中的阶段数据，尤其是原始数据，为后续的对比分析、新数据分析方法应用等奠定数据基础。

#### 参考文献：

[1] 北京市发展和改革委员会. 未来的“新北京富有活力的地区”：《促进城市南部地区加快发展行动计划》解读 [J]. 前线, 2009(12):29-31.

[2] 北京市发展和改革委员会. 关于促进城市南部地区加快发展第二阶段行动计划(2013-2015)[EB/OL]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/ghxx/qtgh/t1303285.html>.

[3] 王静远, 李超, 熊璋, 等. 以数据为中心的智慧城市研究综述 [J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(2):239-259.

[4] 王德, 王灿, 谢栋灿, 等. 基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较：以南京东路、五角场、鞍山路为例 [J]. 城市规划学刊, 2015(3):54-64.

[5] 王静文, 毛其智, 党安荣. 北京城市的演变模型：基于句法的城市空间与功能模式演进的探讨 [J]. 城市规划学刊, 2008(3):86-92.

[6] 冷彪, 赵文远. 基于客流数据的区域出行特征聚类 [J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(12):2653-2662.

[7] Bram J, McKay A. Evolution of commuting patterns in the New York city metro area [J]. Social Science Electronic Publishing, 2005(11):113-124.

[8] 高志刚, 唐小勇, 赵必成. 手机信令数据分析在城市规划中的应用：以重庆市城乡总体规划深化为例 [J]. 重庆山地城乡规划, 2014(2):42-49.

[9] Bill Hillier, Julienne Hanson. Social logic of space [M]. Cambridge University Press, 1984.

[10] 李云飞. 基于空间句法的网络城市评价体系研究 [D]. 长沙：中南大学, 2009.

[11] 赵方忠. 收官之年, 再看城南 [J]. 投资北京, 2013(5):67-70.

(上接 9 页)

[4] Lee D B. Requiem for large-scale models [J]. Journal of the American Institute of Planners, 1973, 39(3):163-178.

[5] 龙瀛, 毛其智, 沈振江, 等. 北京城市空间发展分析模型 [J]. 城市与区域规划研究, 2010, 3(2): 180-212.

[6] Pagliara F, Wilson A. The state-of-the-art in building residential location models, in F. Pagliara et al. (eds.), residential location choice: models and applications, advances in Spatial Science Springer-Verlag [M]. Berlin: Heidelberg, 2010.

[7] 郑思齐, 霍焱, 张英杰, 等. 城市空间动态模型的研究进展与应用前景 [J]. 城市问题, 2010 (9):25-30.

[8] 龙瀛, 茅明睿, 毛其智, 等. 大数据时代的精细化城市模拟：方法、数据和案例 [J]. 人文地理, 2014 (3):7-13.

[9] 刘伦, 龙瀛, 麦克·巴蒂. 城市模型的回顾与展望：访谈麦克·巴蒂后的新思考 [J]. 城市规划, 2014 (8): 63-70.

[10] Wu B M, Birkin M H, Rees P H. A spatial microsimulation model with student agents [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2008, 32(6): 440-453.

[11] Tatem A J, Linard C. Population mapping of poor countries [J]. Nature, 2011(474):36-46.

[12] Long Y, Shen Z. Population spatialization and synthesis with open data [R]. ArXiv Preprint ArXiv, 2014.

[13] 龙瀛, 沈振江, 毛其智. 城市系统微观模拟中的个体数据获取新方法 [J]. 地理学报, 2011b, 66(3): 416-426.

[14] 霍焱. 基于 UrbanSim 的北京写字楼市场空间模型标定和模拟 [D]. 北京：清华大学建筑学院, 2011.