

利用约束性 CA 制定城市增长边界

龙瀛^{1,2}, 韩昊英³, 毛其智¹

(1. 清华大学建筑学院, 北京 100084; 2. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045;

3. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310029)

摘要: 作为控制城市蔓延的重要工具之一, 城市增长边界 (UGBs) 已经在国际学术界得到了广泛的关注和研究。从控制机制来看, 由于规划城镇建设用地边界具有控制城市增长的法律地位, 与西方国家的 UGBs 较为相似, 因而可以被视为中国特有的一种 UGBs。该边界的制定在我国经过了长期的实践, 然而以往的方法往往缺乏充分的科学依据。因此, 本文提出一种基于约束性元胞自动机来制定城市增长边界的方法, 该方法考虑了城市发展的综合因素, 能够较为客观、全面地反映城市增长的时空动态变化过程, 并能体现众多城市发展政策的影响效果。利用约束性元胞自动机模型, 以北京市域为研究区域, 制定了中心城、新城和乡镇三个层次的 UGBs。实证分析表明, 利用该方法与传统方法所制定的 UGBs 存在一定的差异, 因此在拟定新的 UGBs 或改进现有的 UGBs 过程中, 应当充分考虑这一情况, 参考该方法的模拟结果建立更为科学合理的 UGBs。

关键词: 元胞自动机; UGBs; 约束条件; 城市增长模拟; 限建区; 北京

1 引言

城市快速发展过程中产生的城市蔓延等问题, 已经对城市的可持续发展形成了巨大挑战。因而, 如何对城市增长进行科学有效的控制, 成为城市规划编制中必须考虑的重要内容。在城市增长的相关控制政策中, 以提高城市土地使用密度和保护开放空间为基本目标的容纳式城市发展政策 (Urban Containment Policy) 是被广泛采用的一项政策^[1]。该政策通常包含三种形式: 绿带 (Greenbelts)、城市增长边界 (Urban Growth Boundaries, UGBs) 和城市服务边界 (Urban Service Boundaries, UCBs)^[2]。其中, UGBs 是目前在学术界讨论最为广泛的一种工具。它通过划定城市区域和农村区域之间的界限, 利用区划、开发许可证的控制和其他土地使用调控手段, 将合法的城市开发控制在边界之内, 从而达到控制城市地区增长规模、时序和形态的作用^[3]。

在中国, 城市增长边界的类似概念也开始逐渐被重视。2006 年 4 月 1 日开始实施的《城市规划编制办法》要求总体规划和中心城区规划应“提出禁建区、限建区、适建区范围, 研究空间增长边界, 提出建设用地规模和建设用地范围”。禁建区和限建区因而成为城镇建设用地边界制定的重要参考依据, 主要起到控制城市增长的作用。根据这一要求, 2006 年龙瀛等提出了北京市禁建区和限建区划分的标准和原则^[4]。此外, 规划城镇建设用地对于城市增长控制的重要作用也不容忽视。2008 年 1 月 1 日开始实施的《中华人民共和国城乡规划法》明确赋予规划城镇建设用地以控制城市增长的法律地位, 城镇建设用

收稿日期: 2008-10-24; 修订日期: 2009-05-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50808112); 中国博士后科学基金资助项目 (20080430210) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.50808112; Postdoctoral Science Foundation of China, No. 20080430210]

作者简介: 龙瀛 (1980-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为规划支持系统、城市系统微观模拟。

E-mail: longying1980@gmail.com

通讯作者: 韩昊英, E-mail: hanhaoying@zju.edu.cn

地边界内外的开发活动便被划分为“合法”和“非法”两类，规划建设用地的边界是城市规划行政主管部门核发建设用地规划许可证的基本依据。

从控制机制来看，中国目前的禁建区、限建区和城镇建设用地边界与美国的UGBs都是通过划定城市发展控制线，依靠区划、开发许可证等土地使用调控手段加以实施的，二者具有很大的相似性。因此从广义上，可以将它们统称为中国的UGBs。而由于规划城镇建设用地边界控制拥有更为明确的法律保障，因此，从狭义上，则可以将规划城镇建设用地边界定义为中国的UGBs(如无特殊说明，本文的UGBs皆为狭义概念)。UGBs的制定需综合考虑影响城市空间发展的多种因素。在我国城市中，传统的规划城镇建设用地边界的制定所采用的方法往往缺乏充分的定量分析和科学依据，很难有效地控制城市发展建设。2008年Han和Dang^[5]在其近期的研究中，应用多时相遥感对规划城镇建设用地边界在控制城市用地增长方面的有效性进行检验，发现1983-1993年和1993-2005年两个阶段的北京六环内UGBs外的实际城镇建设用地增长规模都要高于UGBs内的增长规模。此外，2008年田莉等^[6]和2009年徐毅松等^[7]分别就深圳和上海的城市规划方案进行了实施评估，结果显示大量的城市发展位于规划城镇建设用地边界之外。这也说明在UGBs的制定中需要在传统方法的基础上采用新的方法来支持。

从对于城市增长形态和规律的描述方面来看，元胞自动机(Cellular automata, CA)作为一种复杂系统时空动态模拟的工具，已经在城市空间增长模拟中得到了较为普遍的应用^[8-14]。鉴于城市增长的复杂性，需要在仅考虑邻域(Neighborhood)影响的简单CA(Pure CA)模型的基础上，考虑其他影响城市增长的因素，部分学者开始关注在CA中引入约束条件(即约束性CA, Constrained CA)来控制模拟过程，以模拟更为真实的城市增长^[12,15-23]。

利用约束性CA模拟的城市增长结果，是对未来不同发展情景模式下的城市空间布局的判断，可以作为我国UGBs制定的基础。到目前为止，已有的文献中，还没有文献基于约束性CA模拟城市增长以生成UGBs的相关研究，本文作为龙瀛等^[4]的后续研究，将在禁建区、限建区划定的基础上，考虑侧重于城市增长控制的限建区规划的成果，建立约束性CA(Constrained CA, CC-CA)，考虑综合约束条件^[24,25]，其中包括近邻、宏观社会经济、空间性和制度性4类，并基于CC-CA模拟城市增长形态，进而根据模拟结果制定UGBs。

本文方法部分将对所开发的约束性CA进行定义，并对基于CA制定UGBs的具体方法进行介绍；应用部分将以北京市为实例，分析约束性CA在制定北京UGBs中的具体应用；最后，将对分析的结果进行总结和讨论，并提供相应的政策建议。

2 方法

2.1 城市增长过程

要基于对未来城市增长的模拟结果制定UGBs，首先需要对中国的城市增长过程进行分析，这一过程既有自上而下的政府行为，又有自下而上的基层个体的自发开发。对于前者，根据宏观社会经济条件，政府通过一系列政策，如存量及增量土地供应计划、近期建设规划、年度实施计划等，制定宏观发展目标；开发商持有指定的开发项目，由政府根据客观的土地综合评价(自然地形、规划控制等)，寻找适宜的开发地区。对于后者，即自下而上发展，基层土地使用权持有者具有自发的开发行为，这种行为受到制度性的约束(如城市规划、生态保护政策等)和自然条件的约束(如坡度、灾害等)。

2.2 约束性CA

参考中国城市增长的现实特点，CC-CA的模拟思路总体上分为两个步骤：首先在宏

观上由政府根据宏观社会经济约束条件(外生变量)确定每一阶段的待开发土地的总量;之后在微观层面采用约束性 CA 方法考虑其他约束条件(Constraints),模拟不同阶段的所有元胞的城市增长概率,并基于其进行拟开发总量的空间定位,给出与开发总量相对应的土地的空间分布。参考 Hedonic 模型的理论框架,同时考虑数据的可获得性,选择下列影响城市增长的要素作为 CC-CA 的空间变量:

(1) 区位变量(空间性约束): 各级城镇中心的吸引力(中心城 f_{tam} 、新城 f_{city} 、乡镇 f_{town})、河流的吸引力 f_{river} 、道路的吸引力 f_{road} (区位变量的选取可根据研究范围和重点的不同有所改变);

(2) 邻里变量(邻域约束): 邻域内的开发强度 neighbor (即 Moore 邻域内不包括自身的城市建设元胞数目与邻域内邻近元胞的数目 8 的商);

(3) 政府变量(制度性约束): 土地等级 $agri$ 、禁止建设区 $conf$ 。

基于上述约束条件,采用多指标评价(Multi-criteria Evaluation, MCE)作为 CC-CA 状态转移规则的具体形式(公式 1),式中 $LandAmount$ 为元胞总增长数目, $stepNum$ 为每次循环元胞增长数目, s_{ij}^t 为土地利用适宜性, w 为变量系数, p_g^t 为变换后的全局概率, p_{gmax}^t 为每次循环中全局概率最大值, α 为扩散系数(1~10), p^t 为最终概率, $inStepID$ 为子循环 ID, V_{ij} 为元胞状态, p_{gmax}^t 为每次循环不同子循环内最终概率最大值,其数值在子循环内不断更新。

$$1. LandAmount = \sum_t stepNum^t$$

$$2. s_{ij}^t = w_0 + w_1 * f_{tam}_{ij} + w_2 * f_{city}_{ij} + w_3 * f_{town}_{ij} + w_4 * f_{river}_{ij} + w_5 * f_{road}_{ij} + w_6 * conf_{ij} + w_7 * agri_{ij} + wN * neighbor_{ij}^t$$

$$3. p_g^t = \frac{1}{1 + e^{-s_{ij}^t}}$$

$$4. p^t = \exp \left[\alpha \left(\frac{p_g^t}{p_{gmax}^t} - 1 \right) \right]$$

5. for $inStepID = 1$ to $stepNum$

$$if p_{ij}^t = p_{max}^t then V_{ij}^{t+1} = 1$$

$$p_{ij}^t = p_{ij}^t - p_{max}^t$$

p_{max}^t update

next $inStepID$

公式 1

这种形式的转换规则不同于 Wu (2002) 提出的 $p_c^t = p_g^t * con(s_{ij}^t = suitable) * \Omega_{i,j}^t$ 形式的状态转换规则,本文把邻域作用以加权的方式并入土地利用适宜性的计算中,同样能够反映约束条件对简单 CA 模拟结果的约束,并能够将邻域作用与其他空间变量的权重系数进行对比,进而可以了解邻域作用在城市增长过程中所起到的作用,也可以使得邻域作用的时空对比成为可能。同时根据 Long 等^[24,25]邻域作用的权重系数对模拟结果比较敏感,这也说明其权重系数如果采用传统的主观赋值方法,则会对模拟结果有较大的影响。

对于 MCE 形式的 CA 状态转换规则的参数识别,通过 Logistic 回归方法确定除 neighbor 变量之外的空间变量的权重参数 w_{0-7} 之后^[26],保持这些参数不变,采用单一参数循环(MonoLoop)的方法^[24,25]识别 neighbor 的权重系数 wN ,从 0 到 wN_m (最大权重系数,

可通过经验设定) 根据等差的原则调整 $neighbor$ 的权重系数 wN , 分别利用不同数值的 wN 和固定数值的 $w_{0.7}$ 作为模型的输入参数用于 CC-CA 的模拟, 得到相应的模拟形态, 将其与历史形态进行点对点对比, 计算 $Kappa$ 指数。将具有最高 $Kappa$ 指数的 wN 数值作为 $neighbor$ 变量的权重系数识别结果 wN^* 。 $w_{0.7}$ 和 wN^* 即为参数识别的结果, 可以用于模拟城市增长。

2.3 城市增长模拟

基于所建立状态转换规则, CC-CA 模型的模拟流程如图 1 所示。首先设置模型的环境变量、空间变量及相应系数, 并基于宏观社会经济条件计算 $stepNum$ 参数, 在 CA 环境中计算土地利用适宜性、全局概率和最终概率等变量, 最后在 Allocation (空间定位) 过程中进行最终概率最大的 $stepNum$ 个元胞的空间识别, 完成一个 CA 离散时间的模拟。根据模拟的目标时间, 确定循环次数, CA 模型不断循环, 最终完成整个模拟过程。

2.4 UGBs 制定

在模型中, 政府可以制定城市增长的控制、引导政策, 将政策作为 CC-CA 的输入参数, 模拟不同政策下的 UGBs。通过宏观社会经济约束条件的设置, 可以模拟不同空间增长速度对应的 UGBs。如果政府所采取的城市增长策略有所变化, 则可以通过调整模型的输入参数以生成相应的城市形态, 便于对城市增长的政策进行评估, 进而可以根据条件的不同, 科学地对 UGBs 进行调整。

CC-CA 的模拟结果, 直接或经过少量修改, 可以作为中国的 UGBs。CC-CA 不同时间阶段 (iteration 或 step) 对应的模拟结果, 即为不同阶段的城市增长方案, 可以作为不同时间阶段的 UGBs。具体地, 将基于栅格格式格式的模拟结果矢量化, 删除紧凑度低和面积较小 (1 hm^2 以下) 的不适合开展规模城镇建设的地块, 根据最终得到的矢量图层, 可以给出不同城镇等级 (如中心城、各新城、各乡镇) 的 UGBs。从 UGBs 扣除现状的城镇建设用地, 即为各个城镇等级的增长空间。另外需要强调的是, 我国城市增长受到很多因素 (约束条件) 的制约, 这也会导致某个城镇等级的行政范围内 (如某新城) 最终制定的 UGBs 并不是一个或少数几个完整的多边形范围, 而是多个多边形 (Polygon) 地块, 这点与美国的 UGBs 有所不同。

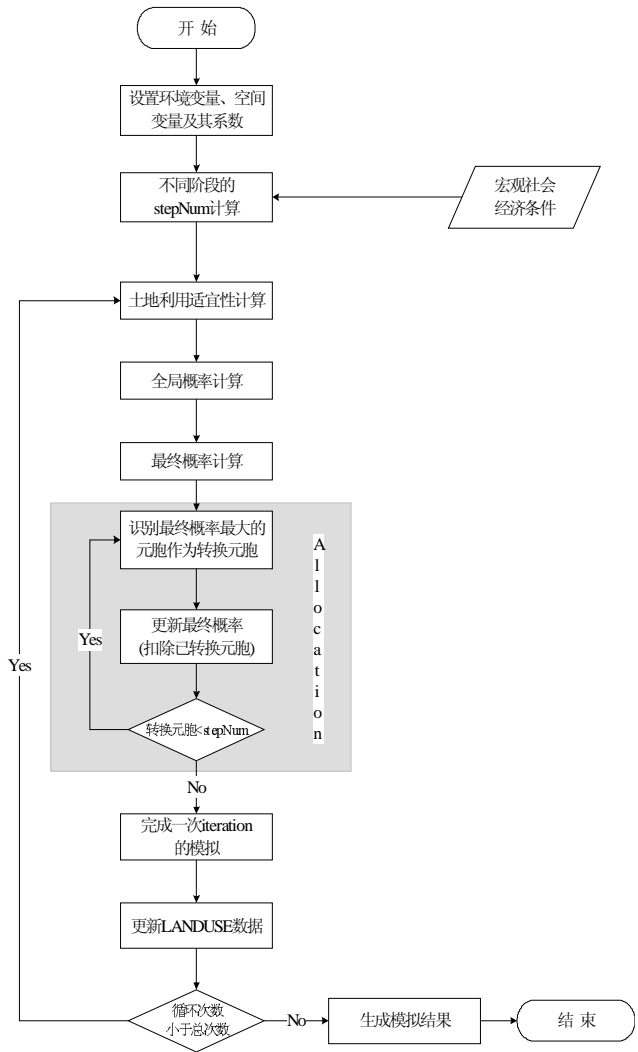


图 1 CC-CA 模拟城市增长流程图

Fig. 1 Flow diagram of CC-CA

3 应用实例

3.1 研究区域及数据

北京近年来的城镇空间扩展速度较快,有必要制定北京不同城镇的城市增长边界,以缓解城市蔓延。为了对远景的城市空间布局进行判断和预警,基于 ESRI Geoprocessing、采用 Python 脚本语言开发 CC-CA 模型,CC-CA 模型精度为 100 m (共 1640496 个元胞),离散时间的一次循环对应一个月。将 CC-CA 应用于北京市域 (16410 km², 图 2),实现了基于不同城市发展政策模拟城市空间增长的功能,模拟结果可以作为 UGBs 制定的基础。2004 年北京城市总体规划 (2004-2020 年) 中,北京市域范围已经确定

了规划城镇建设用地 (UGBs) 的空间范围^[27-29],本文将 CC-CA 用于该区域制定 UGBs,一方面旨在对该方法进行实证分析,另一方面将对两种方法制定的 UGBs 的空间形态进行对比,以其对该方法进行评价。

CC-CA 所需的数据情况见表 1 (其中 *form* 为城市形态)。对各空间变量进行了标准化处理,将其范围都统一为 0~1,数值越大表示假设被开发的概率越大,反之则概率越小。对于空间类约束条件,其原始数据为空间要素空间分布的矢量 GIS 图层,采用 ESRI ArcGIS 的 Spatial Analyst 模块,可以获取相应的直线距离数据 $dist_k$,通过公式 $f_k = e^{-\beta * dist_k}$ 可以计算吸引力 f_k ,其中 $\beta = 0.0001$ 。对于制度性约束条件,禁建区中数值为 0 表示禁止一切城乡建设,反之为 1;土地等级表示对耕作的适宜条件,数值越大表示适宜性越低。

3.2 参数识别

为了确定状态转换规则中的参数值,需要对历史数据进行分析,获得历史上的状态转换规则,作为模型预测的基础,本文以 1991-2004 年作为一个历史阶段进行模型参数识别工作。

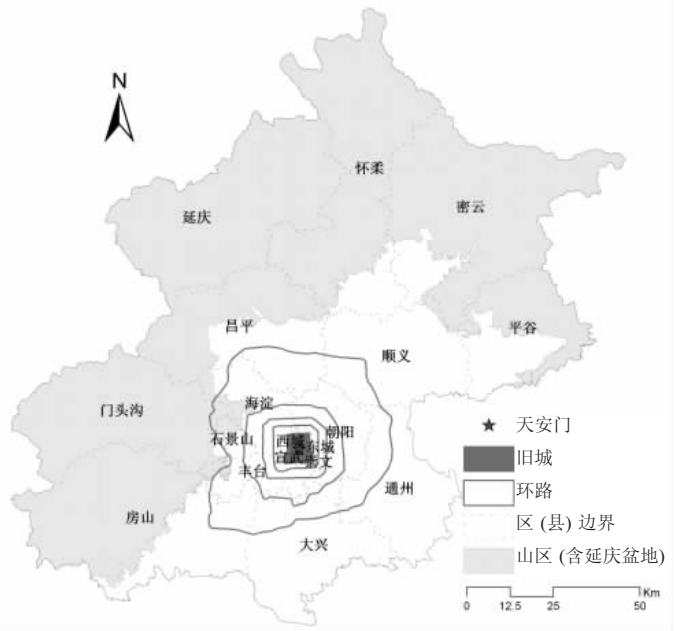


图 2 研究区域示意图

Fig. 2 Study area of CC-CA

表 1 CC-CA 变量对应的数据统计性描述表

Tab. 1 Descriptive table of datasets in CC-CA

变量名称	最小值	最大值	均值	标准差	数据来源
<i>f_tam</i>	.000	1.000	.037	.091	基础数据空间分析
<i>f_city</i>	.000	1.000	.214	.196	
<i>f_town</i>	.000	1.000	.531	.198	
<i>f_river</i>	.000	1.000	.789	.162	
<i>f_road</i> (1991)	.000	1.000	.818	.187	1991-5-16 TM 影像解译
<i>f_road</i> (2004)	.000	1.000	.827	.190	2004-5-29 TM 影像解译
<i>conf</i>	0	1	.570	.495	北京市规划委员会, 2007 (划定方法见文献 龙瀛等, 2006)
<i>agri</i>	.000	1.000	.418	.237	北京市计划委员会国土环保处, 1988
<i>form</i> (1991)	0	1	.050	.216	1991-5-16 TM 影像解译
<i>form</i> (2004)	0	1	.080	.266	2004-5-29 TM 影像解译
<i>form</i> (规划)	0	1	.150	.353	北京市规划委员会等, 2006

(1) 1991 年和 2004 年的已开发元胞数目分别为 80343 和 125928 个，这一阶段共 156 个月，则每次循环的新增元胞数量 $stepNum$ 为 292。

(2) 利用 SPSS 采用 Logistic 回归对 1991-2004 年除 neighbor 之外的 7 个空间变量的权重系数 (包括常数项) w^{0-7} 进行识别，因变量是否发生由非城镇建设用地向城镇建设用地的转变 (发生转变为 1, 不发生转变为 0)，自变量为 7 个空间变量。回归结果如表 2 所示，各变量的显著性水平都处于 0.001 水平，总精度为 (Goodness-of-fit, GOF) 为 97.539%，Kappa 指数为 43.427%。

(3) 利用 MonoLoop 方法识别具有最佳 Kappa 指数的 neighbor 的权重系数 wN 。最后选取 13 作为 wN 的权重系数，用于该历史阶段的模拟，此时 Kappa 指数可以达到 81.419%，可见邻域影响因素的引入，对模型的解释能力有大幅提高。需要指出的是， wN 系数比较大，说明邻域作用比较强，即公式 1 这种形式的状态转换规则形式并不会削弱 neighbor 的作用。

表 2 1991-2004 年参数识别结果表
Tab. 2 Calibrated parameters of CC-CA in 1991-2004

参数名称	数值
stepNum	292
w_0	-11.877
w_1	14.266
w_2	2.870
w_3	-2.595
w_4	1.149
w_5	6.743
w_6	1.084
w_7	-0.610
wN	13.000

参数识别的最终结果如表 2 所示。以 1991 年的城市形态数据作为模型模拟的初始状态，表 2 中识别的模型参数作为模型输入条件，模拟 2004 年的城市形态，具有较高的模拟精度，证明 CC-CA 在北京城市增长模拟方面具有可应用性。

3.3 城市增长模拟

下面介绍基于 CC-CA 模拟 2020 年的城市增长。2004 版城市总体规划的规划建设用地为 2388 km²，假定 2020 年的北京城镇建设用地将达到这一规划规模，对于这一阶段共 192 个月， $stepNum$ 为 588。假设 2004-2020 年的城市增长保持 1991-2004 年的发展趋势 (即包括 neighbor 在内的所有空间变量的权重系数保持不变，为基准情景，假设这种情景实现的可能性最大)，以 2004 年的城市形态作为初始状态，以 1991-2004 年的模型参数识别结果作为模型输入条件，利用 CC-CA 预测 2020 年的城市增长，则 2020 年北京的城市增长如图 3 所示。

对比 2004 年版城市总体规划中针对 2020 年的城镇建设用地规划方案，模拟结果与

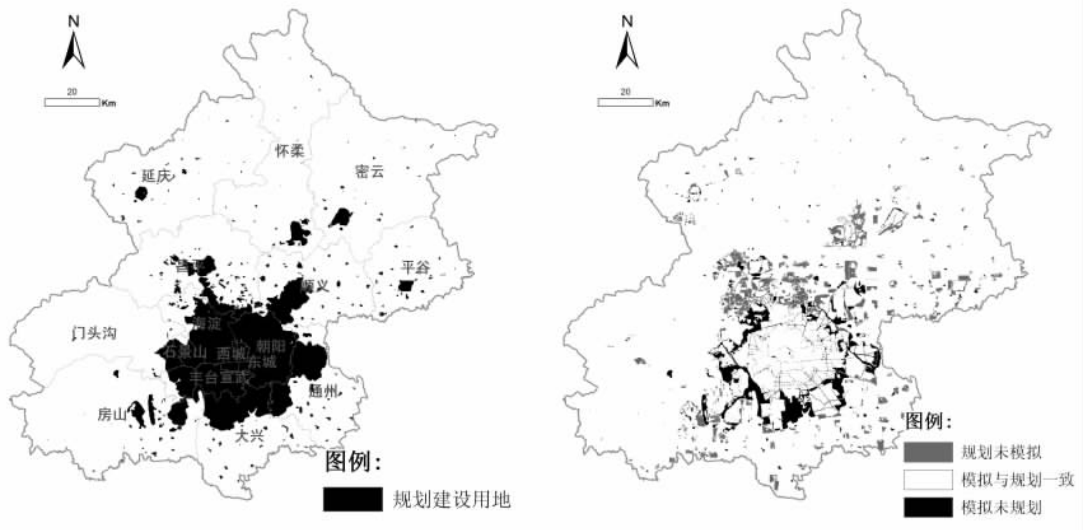


图 3 2020 年北京城市增长模拟结果及其与规划方案对比图

Fig. 3 Simulated urban form of 2020 (Left) and its comparative image with planned form (Right)

其的匹配度指标 $Kappa$ 为 68.309%, 说明模拟结果与规划方案有较大幅度的差异, 这也表明预计的城市形态与规划布局将有一定的不同, 这也印证了规划将部分失灵这一目前就存在的现象。

3.4 UGBs 制定

根据“2 方法”部分介绍的利用模拟结果制定 UGBs 的方法, 本研究制定了北京市中心城、各新城和各乡镇的 UGBs, 其中中心城和 11 个新城的 UGBs 的制定结果如图 4 所示 (篇幅有限, 142 个乡镇的 UGBs 不一一介绍)。

将所制定的 UGBs 与规划方案和 2004 年现状的城镇建设用地进行对比 (表 3), 所制定的 UGBs 与规划方案在中心城和新城的总面积规模差别不大, 都较 2004 年有较大幅度的提高。然而, 此次模拟指定的 UGBs 的用地空间布局却与总体规划有着较大的不同。如果延续 1991-2004 年的历史发展模式, 在 2004-2020 年的总体规划期间内, 北京市南部地区的城市用地扩展需求将大大超过总体规划所划定的 UGBs 范围, 而北部地区的城市用地扩展需求将小于总体规划所划定的 UGBs 范围。具体到各个新城来看, 南部新城 (如大兴新城、亦庄新城等) 的 UGBs 面积明显高于规划方案, 而北部 (如怀柔新城、昌平新城、顺义新城等) 的情况则相反。

这表明, 原有总体规划中 UGBs 配置在空间布局上不尽合理。因此, 在拟定新的 UGBs 或改进现有的 UGBs 过程中, 应当充分考虑这一特征, 以模拟的结果为基础, 对各个地区的 UGBs 的布局及面积进行调整, 建立更为科学合理的城市增长边界。

4 结论与讨论

基于我国的城市规划和管理的背景, 本研究将我国的规划城镇建设用地定义为城市增长边界 (UGBs), 并以北京市域为研究对象, 提出了基于约束性 CA 模型的 UGBs 制定

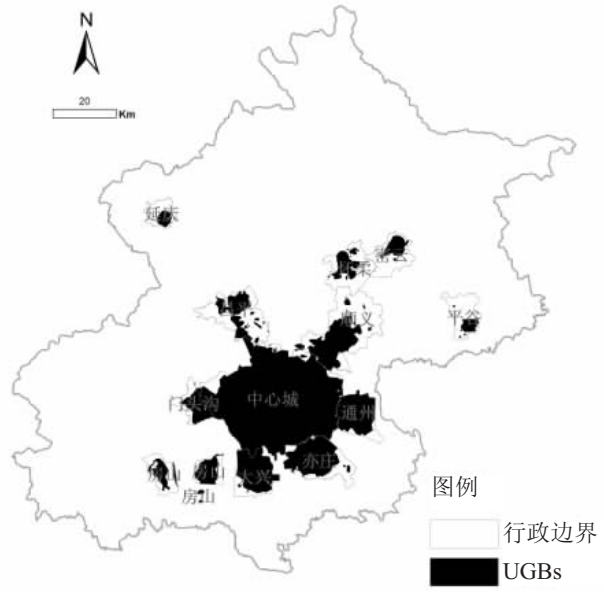


图 4 根据 CC-CA 模拟结果制定的中心城及新城 UGBs 空间分布图

Fig. 4 Constituted UGBs of central city and new cities using simulated form

表 3 中心城及各新城 UGBs 统计表 (单位: km^2)

Tab. 3 UGBs of the central city and new cities (unit: km^2)

名称	2004 年面积	模拟 UGBs 面积	规划 UGBs 面积	模拟与规划之差
中心城	708.9	1033.0	984.2	48.8
1 顺义新城	50.2	157.2	180.2	-23
2 亦庄新城	25.1	156.8	116.6	40.2
3 通州新城	42.7	133.6	109.5	24.1
4 大兴新城	55.8	132.3	84.7	47.6
5 房山新城	52.6	86.4	88.8	-2.4
6 昌平新城	35.7	82.0	109.8	-27.8
7 门头沟新城	21.2	52.9	35.5	17.4
8 怀柔新城	20.0	48.8	80.0	-31.2
9 密云新城	18.9	34.8	46.9	-12.1
10 平谷新城	13.1	19.8	31.0	-11.2
11 延庆新城	7.3	17.3	20.2	-2.9
总计	1051.7	1954.7	1887.4	67.3

方法。根据历史数据对模型进行参数识别后,本研究对延续目前城市增长趋势的未来城市形态进行了模拟,并通过对模拟结果的修订,给出推荐的UGBs布局方案。应用约束性CA模型所进行的模拟以及UGBs制定结果显示,模拟得到的UGBs与北京市总体规划(2004-2020年)中所制定的UGBs相比,在用地空间布局上存在较大差别,主要体现在,南部地区的UCBs面积大大超过总体规划中的面积,而北部地区则相反。因此,在拟定新的UGBs或改进现有的UGBs过程中,可以充分考虑这一特征,建立更为科学合理的UGBs边界。

相比传统的UGBs制定方法,基于约束性CA所制定的UGBs考虑了城市发展的综合因素,能够较好地反映城市空间增长的时空动态变化,并能体现众多城市发展政策的影响效果。本研究的结果可以为北京城市规划中UGBs的确定提供直接的决策支持,研究方法可以为今后我国城市的UGBs制定和改进提供理论指导和技术支持,并可以在其他类似的城市中加以应用。

同时,本研究在一些方面还存在一定不足,需要在后续的工作中进行改善。如在模型中没有考虑转换规则的空间分异,即在不同的区域建立相应的转换规则,如果考虑这点,有望模拟更为真实、可靠的城市形态;同时,本文仅利用模型模拟了基于现状发展趋势的城市形态,在实际应用中也可以模拟不同城市发展策略侧重下的其他城市增长情景,在基于对各个情景进行判断的基础上,选择合适的情景并进行修正,作为相应推荐的UGBs方案,并进而提出实现该城市增长边界的相应发展政策建议。

参考文献 (References)

- [1] Nelson A C, Duncan J B. Growth Management Principles and Practices. Chicago, IL; Washington D.C.: Planners Press; American Planning Association, 1995.
- [2] Han Haoying, Feng Ke, Wu Cifang. Urban containment policy: A global experience. Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences), 2009, 2(3): 162-171. [韩昊英, 冯科, 吴次芳. 容纳式城市发展政策: 国际视野和经验. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2009, 39(2): 162-171.]
- [3] Pendall R, Martin J, Fulton W. Holding the line: Urban containment in the United States. Washington D.C.: The Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy, 2002.
- [4] Long Ying, He Yong, Liu Xin et al. Planning of the controlled-construction area in Beijing: Establishing urban expansion boundary. City Planning Review, 2006, 30(12): 20-26. [龙瀛, 何永, 刘欣等. 北京市限建区规划: 制订城市扩展的边界. 城市规划, 2006, 30(12): 20-26.]
- [5] Han H, Dang A R. Assessment of the implementation of urban construction boundaries in Beijing City by Using Remote Sensing Data, 2008, in the 16th International Conference on Geoinformatics & Joint Conference on GIS and Built Environment. Guangzhou, China.
- [6] Tian Li, Lu Chuanting, Shen Tiyan. Theoretical and empirical research on implementation evaluation of city master plan: A case of Guangzhou City Master Plan (2001-2010). Urban Planning Forum, 2008, (5): 90-96. [田莉, 吕传廷, 沈体雁. 城市总体规划实施评价的理论与实证研究: 以广州市总体规划(2001-2010年)为例. 城市规划学刊, 2008, (5): 90-96.]
- [7] Xu Yisong, Shi Song, Fan Yu. Methodology of Shanghai urban master planning in new position. Urban Planning Forum, 2009, (2): 10-15. [徐毅松, 石崧, 范宇. 新形势下上海市城市总体规划方法论探究. 城市规划学刊, 2009, (2): 10-15.]
- [8] Tobler W R. A computer movie simulating population growth in the Detroit Region. Economic Geography, 1970, 42: 234-240.
- [9] White R W, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: A cellular modeling approach to the evolution of urban land use patterns. Environment and Planning A, 1993, 25: 1175-1193.
- [10] Xie Y. Analytical models and algorithms for cellular urban dynamics. Unpublished Ph.D. Dissertation, State University of New York at Buffalo, Buffalo, N.Y., 1994.
- [11] White R W, Engelen G. Cellular automaton as the basis of integrated dynamic regional modeling. Environment and Planning B, 1997, 24: 235-246.
- [12] Clark K C, Gaydos L J. Loose-coupling a cellular automation model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. Geographical Information Sciences, 2008, 12(7): 699-714.
- [13] Li Xia, Yeh A G O. Neural-network-based cellular automata for realistic and idealized urban simulation. Acta

- Geographica Sinica, 2002, 57(2): 159-166. [黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟. 地理学报, 2002, 57(2): 159-166.]
- [14] Li Xia, Yeh A G O, Liu Xiaoping et al. Geographical Simulation System: Cellular Automata and Multi-agent System. Beijing: Science Press, 2007. [黎夏, 叶嘉安, 刘小平等. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体. 北京: 科学出版社, 2007.]
- [15] Engelen G, White R, Uljee I. Integrating constrained cellular automata models, GIS and decision support tools for urban and regional planning and policy making. Timmermans H (ed). Decision Support Systems in Urban Planning. London: E&FN Spon., 1997. 125-155.
- [16] Wu F. Simland: A prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(1): 63-82.
- [17] Ward D P, Murray A T. An optimized cellular automata approach for sustainable urban development in rapidly urbanizing regions. International Journal of Geographical Information Science, 1999, 7(5): 235-250.
- [18] Ward D P, Murray A T, Phinn S R. A stochastically constrained cellular model of urban growth. Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24(6): 539-558.
- [19] Li X, Yeh A G O. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(2): 131-152.
- [20] White R, Straatman B, Engelen G. Planning scenario visualization and assessment: A cellular automata based integrated spatial decision support system. In: Goodchild M F, Janelle D G, Shrore Z G. (eds.). Spatially Integrated Social Science. Oxford University Press, 2004. 420-442.
- [21] Guan G, Wang L, Clark K C. An artificial-neural-network-based, constrained CA model for simulating urban growth. Cartography and Geographic Information Science, 2005, 32(4): 369-380.
- [22] Zhao Y, Murayama Y. A constrained CA model to simulate urban growth of the Tokyo metropolitan area. In: Proceedings of the 9th International Conference on GeoComputation, National University of Ireland, Maynooth, Ireland, 3-5 September, 2007.
- [23] Liu Xiaoping, Li Xia, Peng Xiaojuan. Niche-based cellular automata for sustainable land use planning. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6), 2391-2402. [刘小平, 黎夏, 彭晓娟. "生态位"元胞自动机在土地可持续规划模型中的应用. 生态学报, 2007, 27(6): 2391-2402.]
- [24] Long Ying, Mao Qizhi, Shen Zhenjiang et al. Comprehensive constrained CA urban model: Institutional constraints and urban growth simulation. Urban Planning Forum, 2008, (6): 83-91 [龙瀛, 毛其智, 沈振江等. 综合约束 CA 城市模型: 规划控制约束及城市增长模拟. 城市规划学刊, 2008, (6): 83-91.]
- [25] Long Y, Shen Z, Du L et al. BUDEM: An urban growth simulation model using CA for Beijing metropolitan area. 2008, Proc. SPIE, Vol. 7143, 71431D. DOI:10.1117/12.812578.
- [26] Li Xia, Liu Xiaoping. Case-based cellular automaton for simulating urban development in a large complex region. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1097-1109. [黎夏, 刘小平. 基于案例推理的元胞自动机及大区域城市演变模拟. 地理学报, 2007, 62(10): 1097-1109.]
- [27] Beijing Municipal Planning Committee. Ecologically Limited Land-use Planning in Beijing (2006-2020), 2007. [北京市规划委员会. 北京市限建区规划 (2006-2020), 2007.]
- [28] Beijing Municipal Planning Committee, Beijing Institute of City Planning, Beijing Academy of urban Planning. Beijing Urban Planning Atlas (1949-2005), 2006. [北京市规划委员会, 北京市城市规划设计研究院, 北京城市规划学会. 北京城市规划图志 (1949-2005), 2006.]
- [29] Beijing Planning Commission. Land Resources in Beijing. Beijing: Beijing SciTech Press, 1988. [北京市计划委员会国土环保处. 北京国土资源. 北京: 北京科学技术出版社, 1988.]

Establishing Urban Growth Boundaries Using Constrained CA

LONG Ying^{1,2}, HAN Haoying³, MAO Qizhi¹

(1. *School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*

2. *Beijing Institute of City Planning, Beijing 100045, China;*

3. *College of Public Administration, Hangzhou 310029, China)*

Abstract: As an effective tool to curb urban sprawl, UGBs (urban growth boundaries) have been paid worldwide attention. According to the implementation mechanism, which is similar to their counterparts in Western countries, the planning urban construction boundaries can be defined as the Chinese UGBs, safeguarded by the latest Town and Country Planning Act enacted in 2008. There are quite a few examples in establishing UGBs. However, the determination of UGBs has not been based on sound scientific analysis in the previous cases. Especially, quantitative analysis was insufficient in the process of determining the boundaries. In this paper, the methodology of constrained CA (cellular automata) was introduced to support the establishment of the UGBs. Compared with traditional methods of establishing UGBs, constrained CA took into account more factors related to urban growth, and could make effective spatio-temporal dynamic simulation influenced by various urban development policies. Taking a case study of Beijing municipal area, we developed the UGBs in the central city, new cities and small towns. The results showed that there was large difference between the urban growth pattern simulated through constrained CA and that projected in the urban master plan. Consequently, the UGBs could be improved according to the simulation result based on constrained CA.

Key words: cellular automata; UGBs; constrained condition; urban growth simulation; construction restricted area; Beijing