

城市规划空间形态情景分析

龙瀛

导师：毛其智

(清华大学建筑学院, 北京市, 100084)

摘要：约束性元胞自动机 (Constrained cellular automata, Constrained CA) 在模拟城市增长方面已有诸多实践, 已有文献常利用各种反映土地利用需要、区位影响、管理制度等的政策参数, 设定不同的城市空间发展情景以反映未来的城市形态。在基于约束性 CA 进行城市形态情景分析时, 以各种政策参数作为情景条件的研究实例较多, 然而在中国的城市规划实践中, 城市规划用于建设管理的审批, 对应明确的城市形态, 因而如何利用城市形态作为情景条件分析所需政策, 也有实践意义, 可以解决一些广为关注的重要问题, 例如已有的发展政策是否与期望的城市形态相匹配, 不同规划方案所需采取的政策有什么区别等。本文提出了以城市形态作为情景条件, 应用约束性 CA 方法, 一改传统的约束性 CA 情景条件的设置方法, 以期望的城市形态为目标, 寻找出相应需要的发展政策, 即形态情景分析的新方法。笔者将北京市城的四个规划城市形态作为情景条件进行了实证分析, 对多个规划方案实施的可能性和政策参数进行对比分析, 证明该方法具有较好的适用性和可行性, 是将约束性 CA 的应用扩展到城市规划领域的又一尝试。

关键字：元胞自动机; 城市形态; 城市规划; 约束条件; 北京

Scenario Analysis for Planned Urban Forms

LONG Ying

(School of Architecture, Tsinghua University, Beijing, 100084, China)

Abstract: Urban form in future is hard to be accurately predicted and simulated because of existing uncertainty in urban development. Scenario analysis has been widely applied in the realm of urban and regional planning. In most of current scenario analysis of urban growth, developing policies are set as the input scenario conditions to generate various urban forms, which can be referred by policy makers and planners. The perspective of this paper has reversed the line of current scenario analysis for urban growth, in which the term of form scenario analysis (FSA), a spatially explicitly approach, is novelly defined, employing urban form as scenario condition and aiming to identify whether any policies set can be implemented to realize the form. If yes, what the detailed policy implications are for the scenario form. A constrained cellular automata model (CA) is developed for FSA, which is similar with constrained CA calibration using historical observed forms. Four planned schemes of Beijing Master Plan 2020 for Beijing metropolitan area are empirically analyzed using constrained CA to test FSA approach, and corresponding required policy parameters are generated, together with policy implications. FSA is proved to be suitable for urban planning practice.

Keywords: Cellular automata; Urban form; Urban planning; Constraint, Beijing

引言

在城市增长分析、模拟和预测中, 为了反映未来城市形态发展的不确定性, 常采用情景分析 (Scenario Analysis, SA) 的方法, 以拟采用的发展政策作为情景条件, 给出多个未来城市形态的可能方案, 作为决策参考的依据 (Klosterman, 1999; Landis, 1994, 1995, 1998a, 1998b)。而本文与以发展政策作为情景条件的城市增长情景分析的思路相反, 提出了形态情景的概念和分析方法。形态情景采用城市形态作为情景条件, 探讨在以空间规划为发展前提的国家与地区, 分析配套的城市空间发展政策的科学性, 及不同情景所对应的发展政策的区别。在规划实践中, 某种城市形态的政策依托是广为关注的问题, 因此探讨形态情景这一问题具有重要的实践意义。针对形态情景, 本文提出了约束性 CA 为理论基础的形态情景的分析方法, 分析所需要的发展政策并识别其政策参数。

在中国, 区域规划一般以经济为主导, 而城市规划的形式多以空间规划为主, 有时甚至是在没有社会经济发展规划条件下制定城市规划方案。这样, 反过来大家甚至习惯于先有合理的空间规划设想, 再来考虑社会和经济需要的可能性, 研究可以容纳多少社会经济的开发需求, 以及需要采取哪些配套政策来保障方案的实现。另外在规划实践中, 城市规划部门所

确定的城市规划方案,往往和实际的城市发展有偏差,屡见被突破的现象,而规划部门对此又往往缺乏政策指导,不知道规划的城市形态需要哪些政策来支持以辅助其实现,这些政策又与现行的城市发展政策有何不同,以及从现状到规划期末之间不同阶段的城市空间的可能形态,都是城市规划部门所关心的重要问题。从这些角度来说,城市形态作为模拟的情景条件这种方式也是有实际意义的。

情景 (Scenario) 被定义为“是对一些有合理性和不确定性的事件在未来一段时间内可能呈现的态势的一种假定”(Kahn 和 Wiener 等, 1967; Pearman, 1988), 而情景分析是“预测这些态势的产生并比较分析可能产生影响的整个过程, 其结果包括对发展态势的确认、各态势的特性、发生的可能性描述, 并对其发展路径进行分析”(Ratcliffe, 1999)。情景分析方法承认未来的发展是多样化的, 有多种可能发展的趋势, 其预测结果也将是多维的(Schoemaker, 1995; Ringland, 1998)。鉴于城市空间发展的不确定性, 往往很难对未来的城市形态进行准确的预测, 因此情景分析在城市增长模型中的应用较为普遍, 一般根据不同的政策参数设置给出相应的城市形态。城市增长情景分析或土地使用情景分析 (Janssen 等, 2008) 是对远景城市形态的判断。

在常规的城市增长情景分析中, 空间发展政策 X 及其作用的强度 A 是情景条件, 基本的方法是根据不同城市发展偏好所设置的 A 变量和 X 变量, 求取相应的城市形态 y , 对于任意 X 和 A , 在数学上都可以有相应的情景 y 对应, 即不同的发展政策都可以得到相应的城市形态。需要指出的是, 在已有的城市增长情景分析的研究中, 多数都是调整政策作用力度 A , 而政策本身 X 保持不变。而本文提出的形态情景, 可以看作常规的城市增长情景分析的逆过程。其以城市形态 (y) 作为情景条件, 分析不同的城市形态方案所对应的城市发展政策 (X 和 A) 的可能性和差别。在数学上, 对于作为情景条件的城市形态 y , 则可能有以下两种情况: (1) 无解, 没有 X 、 A 满足条件, 即该形态不满足当前的政策设置; (2) 多个解, 有多组 X 和 A 满足情景条件 y , 即要实现该城市形态, 可以有多个政策和政策参数的组合。

利用约束性 CA 的方法, 通过不同的期望城市形态 y (即形态情景) 和已知政策 A , 可以验证政策参数 X 的可行性, 以及不同形态政策参数组间的对比, 进而定量地识别政策参数的需求影响。这样对约束性 CA 的应用是一个创新, 结合城市规划, 特别是土地利用规划的多个方案进行模拟, 可以提高约束性 CA 在规划实践、城市增长分析方面的实用性。如上所述, 本文尝试提出了基于约束性 CA 进行形态情景分析, 进而给出发展政策建议, 这一探索不同于约束性 CA 的传统应用, 其从规划实践的需求出发, 分析在有具体的政策和方针的条件下, 规划师从综合的角度制定的多个规划方案, 其形态实现的可能性。

1 方法

有关约束性 CA 的应用研究, 并没有将城市形态作为情景条件来设置的先例研究。约束性 CA 可否用于形态情景分析, 城市形态能不能作为情景条件? 先回顾一下约束性 CA 的状态转换规则的获取方法。早期的约束性 CA 方面的研究, 多侧重于研究如何识别并设置 CA 的状态转换规则, 然后据此规则进行模拟(Li 和 Yeh, 1998, 2002, 2004)。状态转换规则确定的过程中, 往往根据某个历史阶段的城市形态 (y), 以及已知的约束条件 (A), 识别约束条件的参数 (X)。本文的形态情景分析也是根据 y 和 A 求取 X 的过程, 与前者不同点在于, 城市形态是未来形态, 不是历史数据。

以什么标准作为未来城市形态能否实现的标准, 是需要确定的, 这里认为通过形态情景分析所识别的政策参数 X 作为输入条件, 模拟生成的形态以与所设置的形态情景的 $Kappa$ 系数小于 80%, 则认为无解, 即该形态情景没有可依托的政策; 反之, 如果 $Kappa$ 系数大于等于 80%, 则认为这套参数可以反映所设置的形态情景, 即有解的情况。一般情况, 对于有解的情况, 并不是仅有一组 X 满足该条件, 而是多个, 是一个集合 (或者称之为解空间): $\{X | y' = f(X, A), Kappa(y, y') \geq 80\%\}$, 其中 y 为所设置的形态情景, y' 为通过识别的政策参数利用约束性 CA 模拟生成的形态。

本文沿用 Wu(1998)、Li 和 Yeh(2000)等已建立的概念模型, 约束性 CA 的邻域采用摩尔邻域 (Moore、3*3 矩形、8 个邻近元胞), 离散时间的一次循环对应一个月, 元胞的状态受宏观社会经济约束 (A_{mac})、空间约束 (A_{spa})、制度性约束 (A_{ins}) 和邻域约束 (A_{nei}^t)

影响（其中宏观社会经济约束条件没有对应的实施力度 x ）。本文的约束性 CA 的状态转换规则如公式 1 所示，采用 MCE 作为 CA 状态转换规则的形式。式中 $LandAmount$ 为元胞总增长数目， $stepNum$ 为每次循环（Iteration）中被新开发的元胞数目， s_{ij}^t 为土地利用适宜性， p_g^t 为变换后的全局概率， $p_{g\max}^t$ 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， $p_{\max}^t$ 为每次循环不同子循环内所有元胞中最终概率的最大值，其数值在子循环内不断更新。 x_0 为常数项， a_n 表示邻域政策， x_n 表示邻域政策参数， a_k 表示除邻域之外的政策， x_k 表示除邻域之外的政策参数， s_0 表示各个步骤中适宜性 s_{ij}^t 保持不变的部分，邻域开发强度保持不断变化。

$$\begin{aligned}
 &1. LandAmount = \sum_t stepNum^t \\
 &2. s_{ij}^t = x_0 + \sum_{k=1}^{n-1} x_k * a_k + x_n * a_n^t = s_0 + x_n * a_n^t \\
 &3. p_g^t = \frac{1}{1 + e^{-s_{ij}^t}} \\
 &4. p^t = \exp \left[\alpha \left(\frac{p_g^t}{p_{g\max}^t} - 1 \right) \right] \quad \text{公式 1} \\
 &5. \text{for } inStepID = 1 \text{ to } stepNum \\
 &\quad \text{if } p_{ij}^t = p_{\max}^t \text{ then } V_{ij}^{t+1} = 1 \\
 &\quad p_{ij}^t = p_{ij}^t - p_{\max}^t \\
 &\quad p_{\max}^t \text{ update} \\
 &\text{next } k
 \end{aligned}$$

对于政策实施力度参数 X 的识别，本文对 Wu(2002)、Clark 和 Gaydos(1998)二者的方法进行综合并作一定改进，利用历史数据，将除邻域之外的政策参数 x_k 根据 Logistic 回归的方式求解，在此基础上利用单一参数循环方法（MonoLoop），以 $Kappa$ 指标最大为原则识别邻域的政策参数 x_n 。最后识别的模型参数 x_k 和 x_n （记为 X^* ）可以作为实现各个形态情景的发展政策实施力度。将模拟形态和所设置的形态情景进行点对点对比，如果 $Kappa$ 大于 80%，即为有解的情形，则 X^* 对应的是通过已有的政策 A 能够得到的具有最高形态匹配度的政策参数，此时还有其他政策参数同样能够产生与形态情景的 $Kappa$ 大于等于 80% 的模拟形态。本文仅考虑 X^* ，其他满足条件的参数集合将在后续研究中开展。

下面基于所建立的约束性 CA 实现形态情景分析的实例，以北京 2020 年城市总体规划为例，分析根据所设置的多个形态情景和确定的政策，求取政策参数在模拟上是否有效，对实现其进行横向对比给出政策释义。

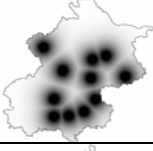
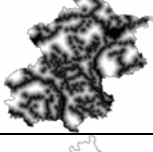
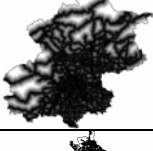
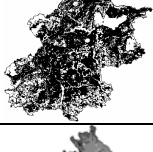
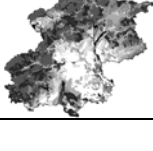
2 应用

2.1 研究区域与数据

约束性 CA 模型的应用范围为北京市域，总面积为 16410 km²，2006 年城镇建设用地面积为 1324 km²。约束性 CA 模型的政策变量（A）及相应的数据如表 1 所示。宏观约束条件中，增长速度参数 $stepNum$ 作为一个控制指标，反映为土地开发的总量，对应社会经济发展规划的目标；空间约束条件主要反映了城镇体系、防洪、交通发展等方面的规划政策（或专项规划）；制度性约束条件主要反映了生态保护、灾害防治、耕地保护等方面的规划政策（或专项规划）；而邻域约束条件则反映了对开发规模的控制政策。

表 1 约束性 CA 模型变量及相应数据一览表

类型	变量	政策	数值	数据	数据来源
宏观约束条件	$stepNum$	增长速度	>0		土地利用数据

类型	变量	政策	数值	数据	数据来源
空间约束条件	a_1	天安门 (城镇体系)	0-1		基础数据 空间分析
	a_2	新城 (城镇体系)	0-1		基础数据 空间分析
	a_3	镇 (城镇体系)	0-1		基础数据 空间分析
	a_4	河流 (防洪)	0-1		基础数据 空间分析
	a_5	2006 年道路 (交通发展)	0-1		2006-11-01 TM 影像解译
制度性约束条件	a_6	禁止建设区 (环境保护、 灾害防治等)	0、1		北京市规划 委员会, 2007
	a_7	针对农业用地适宜性 的土地等级 (耕地保护)	0-1		北京市计划委员会 国土环保处, 1988
邻域约束条件	a_n^t	邻域开发强度	0-1		土地利用数据 及模型生成

2.2 形态情景的设置

自 1958 年行政区划调整形成目前的市域范围以来,北京市域范围内开展的总体规划主要有五次,1958 年、1973 年、1982 年、1992 年和 2004 年(北京市规划委员会等, 2006), 其中 2004 年版总体规划的规划目标为 2020 年, 确定了 1800 万的人口发展规模(对应建设用地为 2300 km²), 以及“两轴—两带—多中心”的城市空间结构, 进而形成中心城-新城-镇三级的城镇结构。在该规划的制定中, 制定了四个规划方案(图 1), 各个规划方案的总用地规模基本一致, 只是城市布局有较大差别(反映了规划师或领导的不同偏好), 但当时并没有对这些方案政策实施的可能性进行分析就进行了方案比选。本文拟对这些形态情景进行分析, 分析其政策参数的可行性, 进而对城市形态与相关政策、专项规划的协调性进行识别。

各个形态情景的基本情况如下:

- 情景 A (y_A): 规划情景, 即为最后选取的、被国务院所批复的城市形态(北京市规划委员会等, 2006), 其主要特点是控制中心城的继续蔓延, 大力发展新城;
- 情景 B (y_B): 蔓延情景, 继续在中心城周边开发, 新城的开发规模较小, 即为所谓“摊大饼”的城市形态;
- 情景 C (y_C): 葡萄串情景, 大力发展小城镇及沿交通走廊的开发, 新城和中心城基本保持原有规模, 进而形成指状、葡萄串状的城市形态;

- 情景 D (y_D): 生态保护区情景, 在开发的过程中尽量避免对禁建区的占用和对优等农田的蚕食, 进而形成所谓的可持续城市形态, 从布局上看, 鉴于考虑了较为零散的禁止建设区, 这种形态较为分散。

2.3 政策参数识别

我们基于 ESRI Geoprocessing、采用 Python 脚本语言开发了约束性 CA 模型, 模型精度即元胞大小为 500 m*500 m (研究区域共 65628 个元胞)。对于 X 的识别, 采用 Logistic 回归和 MonoLoop 集成的方法实现。Logistic 回归的结果如表 2 所示, 其中情景 B、C 和 D 的 $Kappa$ 系数均超过 80%, 自变量的显著性均为 0.001, 回归结果可以接受, 说明已有的政策可以解释所设定的形态情景, 而情景 A 的 $Kappa$ 系数仅为 42.9%, 说明除邻域外的已有政策不能够解释所设定的形态情景。通过 Logistic 回归方法确定 x_i 之后, 保持这些政策参数不变, 采用 MonoLoop 方法识别 a_n 的系数 x_n , 最终结果参见表 2。 $Kappa_{最终}$ 低于 80% 的形态情景, 不能够通过形态情景的有效性检验, 而高于 80% 的形态情景, 通过了有效性检验, 被证明有政策参数能够满足所设置的形态情景以较高的精度实现。

表 2 形态情景分析结果 (政策参数)

变量	情景 A	情景 B	情景 C	情景 D	历史
总规模	9254	9270	9895	10679	1892-5011
stepNum	25	25	29	34	9
x_0	-8.700	-30.696	-63.599	-55.624	-12.263
x_1	15.268	54.558	15.106	20.849	11.782
x_2	3.575	10.294	10.046	9.701	2.490
x_3	-0.717	5.272	31.639	7.807	-1.872
x_4	4.105	8.765	24.348	11.622	7.574
x_5	1.368	6.027	7.627	8.113	0.917
x_6	1.193	3.672	4.078	23.000	1.535
x_7	-2.396	5.066	6.094	12.003	-1.179
x_n	15	17	9	7	20
$Kappa_{回归}$	42.9	76.0	79.7	71.3	41.9
$Kappa_{最终}$	69.4	91.8	85.0	85.8	67.5
是否通过有效性检验	否	是	是	是	否

3 结论与讨论

规划实践中, 规划空间形态是由规划师制定, 规划师的想法因人而异, 有主观的因素, 很难在 CA 中有所体现。规划师所制定的规划空间形态可以反映 CA 无法反映的因素, 如经济的发展、产业结构的调整、领导等人的规划意图等。本文是对以城市形态作为情景分析条件的初步尝试, 能够探讨所设置的城市形态情景在目前政策框架下的可行性。这一探索从规划实践的要求出发, 分析在有具体的规划政策和方针的条件下, 规划师从综合的角度制定的规划空间形态, 从地理条件、发展需要来看, 其形态实现的可能性, 是 CA 应用的突破, 对于促进解决规划行业所面临的常见、棘手的问题具有一定的作用, 并可以用于评估规划形态与各个专项规划或政策的协调程度。

参考文献

1. Clark, K C., and 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, 1998, 12(7), 699-714.
2. Kahn, J., and Wiener, A J. The year 2000: a framework for speculation on the next 33 years. New York: MacMillan Press, 1967.
3. Landis, L D. The California urban future model: a new generation of metropolitan simulation models.

Environment and Planning B, 1994, 21(4), 399-420.

4. Landis, L D. Imaging land use futures: applying the California urban future model. Journal of American Planning Association, 1995, 61(4), 438-457.

5. Landis, L D., and Zhang, M. The second generation of the California urban future model, Part1: Model logic and theory. Environment and Planning B, 1998a, 25(5), 657-666.

6. Landis, L D., and Zhang, M. The second generation of the California urban future model, Part2: Specification and calibration results of the land-use change submodel. Environment and Planning B, 1998b, 25(6), 795-824.

7. Li, X., and Yeh, A G O. Principal component analysis of stacked multi-temporal images for monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River delta. International journal of Remote Sensing, 1998, 19(8), 1501-1518.

8. Li, X., and 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.

9. Li, X., and Yeh, A G O. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. International Journal of Geographical Information Science, 2002, 16(4), 323-343.

10. Li, X., and Yeh, A G O. Data mining of cellular automata's transition rules. International Journal of Geographical Information Science, 2004, 18(8), 723-744.

11. Long, Y., Shen, Z., Du, L., Mao, Q., and Gao, Z. BUDEM: an urban growth simulation model using CA for Beijing metropolitan area. Proceedings of the SPIE – Geoinformatics: 71431D-1-15, 2008.

12. Janssen, R., Herwijnen, M.V., Stewart, T.J., and Aerts, J.C.J.H. Multiobjective decision support for land-use planning. Environment and Planning B: Planning and Design, 2008, 35, 740-756.

13. Klosterman, R E. The What if? Collaborative planning support system. Environment and Planning B: Planning and Design, 1999, 26(3), 393-408.

14. Pearman, A D. Scenario construction for transportation planning. Transportation Planning and Technology, 1988, 7, 73-85.

15. Ratcliffe, J S. Scenario building: a suitable method for strategic property planning? Cambridge: RICS Cutting Edge Conference, 1999.

16. Ringland, G. Scenario planning: managing for the future. New York: John Wiley, 1998, 3-15.

17. Schoemaker, P J H. Scenario planning: A tool for strategic thinking. Sloan Management Review, 1995, 25-40.

18. 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.

19. Wu, F. Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. International journal of Geographical Information Science, 2002, 16(8), 795-818.

20. 北京市规划委员会. 北京市限建区规划（2006年-2020年）, 2007.

21. 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.

22. 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

23. 龙瀛, 何永, 刘欣, 杜立群. 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.

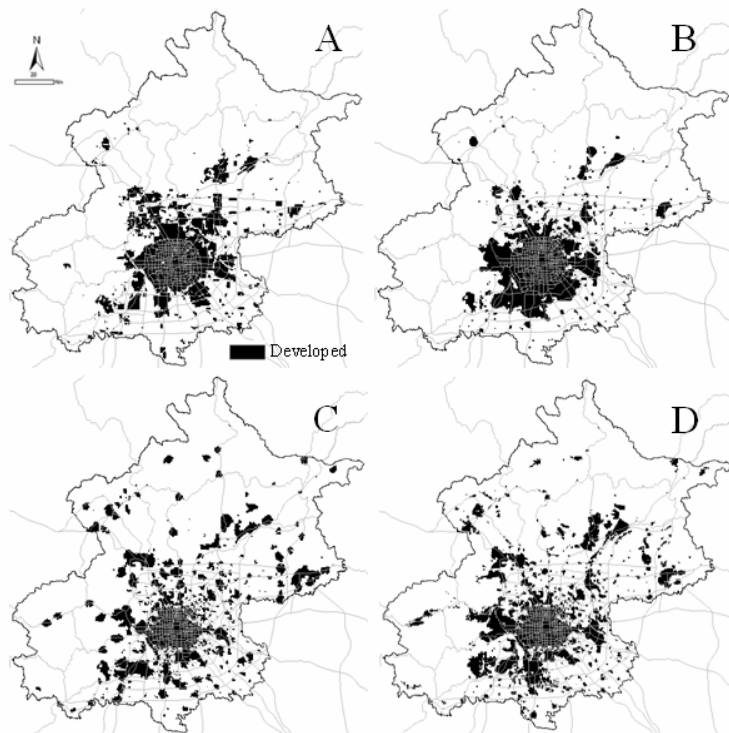


图 1 形态情景设置图