

Beijing City Lab

Long Y, Zhang Y, 2014, Methods and applications of Planner Agents for supporting land use pattern scenario analysis. Beijing City Lab. Working paper # 25

利用规划师主体制定用地规划方案的方法及应用

Methods and applications of Planner Agents for supporting land use pattern scenario analysis

龙 瀛, 张永平

LONG Ying, ZHANG Yongping

【摘要】用地规划方案的制定是城市总体规划编制的核心内容之一,传统的规划编制过程中,用地规划方案往往依赖于规划师的经验认识,规划师综合能力的高低、要求和偏好的合理性,对方案质量有着直接影响。除了规划师,政府和居民等主体也是规划制定的主要参与者,且对用地规划方案也有不同的要求和偏好。本文旨在已有的规划支持系统研究基础上,提出利用规划师主体(Planner Agents)支持用地规划方案制定的方法框架,明确规划师的角色,强调不同主体间的沟通与协调,通过已有规划方案的数据挖掘等方法识别规划师的规划规则,结合综合约束条件和专项规划制定用地规划方案。该方法首先在虚拟空间进行验证,然后运用于北京实例中。结果表明,该方法具有可行性和实用性,能促进用地规划方案的制定更科学、合理化。

【关键词】规划师主体; 规划支持系统; 用地规划方案; 北京

ABSTRACT: Land use pattern, or land use layout, is one of the key issues in the compilation of an urban master plan. Establishing land use patterns using traditional planning means depending largely on the planners, comprehensive abilities of planners and the reasonability of their requirements and preferences have direct influence on the land use pattern. Government and residents, all with various requirements and preferences, are also the main agents participating in this process in China. In this paper, we propose the Planner Agent framework to support land use pattern scenario analysis (LUPSA), based on the existing Planning Support System (PSS) research. Planner Agents are divided into three types: Non-spatial Planner Agent (NPA), Spatial Planner Agent (SPA) and Chief Planner Agent (CPA). The NPA is responsible for formulating special plans (such as transport, municipal public facilities or nature reserve plans) that correspond to available data (such as road network, public facilities and nature reserve patterns) from LUPSA. The SPA is responsible for establishing and evaluating land use patterns. The SPA considers constraints of local development conditions, communicates and coordinates with the NPA to confirm special plans formulated by the NPA that can support implementation of the established land use pattern. The CPA is responsible for determining the final land use pattern after a public participation process involving local residents. In the Planner Agent framework, we emphasize the importance of planners, and the negotiation of different agents. This framework was initially tested in a hypothetical city, followed by an experiment in Beijing. Results show that the proposed Planner Agent theory is suitable for LUPSA, and can improve the efficiency and reasonability of LUPSA.

KEYWORDS: Planner Agent; planning support system (PSS); land use pattern; Beijing

1 引言

城市总体规划(简称总规,下同)是政府进行城市空间管制、引导城市增长的重要手段,用地规划方案的制定是总规编制的核心内容之一。传统的城市规划编制过程中,用地规划方案往往依赖于规划师的经验认识,规划师综合能力的高低、要求和偏好的合理性,对方案质量有着直接影响。在我国现行制度下,除了规划师,政府和居民等主体(Agent)也是制定用地规划方案的主要参与者。其中,政府是规划目标的制定者,主导确定城市空间管制的总体目标;居民则是规划制定须考虑的核心利益者,为政府、规划师提供前期意见和后期反馈。不同主体对用地规划方案有不同的要求和偏好,如政府希望同时满足经济发展和环境保护目标,居民希望住处靠近公园和购物中心,规划师则可能希望将特定的理念融入方案。现实情境下,社会制度、居民意识和经济发展阶段等因素会强化或弱化部分主体(如政府、居民)的要求和偏好,但好的用地规划方案必须综合考虑不同主体的意愿。规划师既是规划方案的具体制定者,又有机会或需要和不同主体沟通与协调,因此构建一套以规划师为出发点,明确规划师的角色,强调不同主体间沟通与协调的方法,是能促进用地规划方案制定更科学、合理化的有意义的探索。

规划支持系统(Planning Support Systems, PSS)是为促进规划工作开展而设计的一系列计算机软件工具的集合,主要建立在地理信息系统、规划模型、可视化等理论和技术的基礎上^[1-2]。和传统的规划方法相比,规划支持系统能更高效地处理和分析规划数据,协助设计规划流程和评估规划成果,促进不同主体参与规划制定,为城乡规划提供了强大的技术支持。目前,规划支持系统正成为城乡规划领域中的研究热点^[3-11],并出现较多和用地规划方案制定有关的研究。如城市未来模型(California Urban Futures Model, CUF)^[12]能根据土地利用开发的潜力确定适合城市建设的范围; *What If?*^[13]能有效反映规划管理的影响,可用于土地利用预测、城市管理政策评价等方面^[14-15]; Criterion Planner开发的INDEX^[16]能评价不同规划方案对环境、能源、交通和公共财政等方面的影响;基于矢量元胞自动机(Cellular Automata, CA)的iCity^[17]能模拟和评价城市空间增长情景;Long等^[18]实现自动制定城市限建区的规划方案,该方法可用于获取用地规划方案的约束条件;钮心毅等^[19]和秦贤宏等^[20]则基于情景规划(Scenario Planning)或城市未来模型制定总规或用地布局方案,并通过目标达成矩阵法评价方案。但是,上述研究并非完全面向用地规划方案制定的应用,通常只能完成部分工作,如划定城市建设区范围、评价方案、获取约束条件等,缺少从规划师的角度理解规划制定的过程,在模型参数获取、评价方法、考虑的规划影响因素等方面有待进一步完善。

目前,国际相关研究中,已有少量采用了规划师主体(Planner Agents, PA)或相关的概念,如Ligtenberg等^[21]将规划师的意图和决策归纳为主体规则(Agent rule),利用元胞自动机(Cellular Automata)实现用地规划方案的制定; iCity的升级版Agent iCity^[22]利用多智能体系统(Multi-agent System, MAS)分析规划师、开发商、居民和零售企业等主体作用下的用地布局情景。在考虑规划师主体的基础上,部分研究还引入了沟通与协调机制,如Ligtenberg等^[23]基于前期研究^[21],进一步考虑规划师之间的知识共享,由协调者(Facilitator)负责协调不同规划师的意见; Saarloos等^[24]将专家(expert)作为主体,每个专家依据各自偏好制定方案,通过协商给出最终方案。但是,上述研究多处于试验阶段,实证研究较少,信息沟通多限于规划师之间,没有考虑用地规划和其他类型规划的协调。在国内,规划师主体研究还处于空白状态。

本文旨在已有的规划支持系统研究基础上,提出利用规划师主体支持用地规划方案制定的方法框架,明确规划师、政府和居民主体的角色和相互作用,利用已有规划方案的数据挖

掘和调查问卷方法识别规划师的规划规则（Planning Rules, 反映规划师的要求和偏好），结合综合约束条件和专项规划制定和评价用地规划方案。本文第二部分重点介绍规划师主体的概念、规划规则识别方法、方案制定及评价方法等，第三、四部分给出虚拟空间试验和北京实例，最后在第五部分进行总结和讨论。

2 概念和方法

2.1 基本概念

2.1.1 规划师主体

以支持用地规划方案制定为目的，根据规划师的工作内容和分工，将规划师主体分为专项规划师主体（Non-spatial Planner Agent, NPA）、空间规划师主体（Spatial Planner Agent, SPA）和总规划师主体（Chief Planner Agent, CPA）。其中，NPA负责开展专项规划，如交通规划、公共服务设施规划、自然保护区规划等，对应路网、市政基础设施、公共服务设施、自然保护区等规划影响因素的布局，专项规划是用地规划方案制定的基础变量。SPA负责制定和评价用地规划方案；考虑政府主体（Government Agent, GA）确定的约束条件；和NPA沟通与协调，确保专项规划能支持用地规划方案的实现；和CPA沟通与协调，根据其反馈修改方案等。CPA负责和居民主体（Resident Agent, RA）沟通与协调，了解其要求和偏好；协调制定的方案并向SPA反馈修改意见；负责确定最终的用地规划方案等。

2.1.2 规划规则

我们认为，规划规则是指规划师在规划制定时遵循的思考和行动的规范准则。规划师考虑的规划影响因素及其影响程度（或权重）构成规划规则的核心内容。规划影响因素有很多，如地块附近的道路级别、噪音、河流、公园等，其影响程度也各异，如规划师A认为公园对居住用地规划特别重要，而规划师B认为一般重要。规划师会根据考虑的影响因素及其影响程度制定用地规划方案，由此形成一套独特的规划规则，这套规则能反映规划师的要求和偏好。本文中规划规则可以用于指代规划师的要求和偏好。

根据内容分类，用地规划方案制定的规划规则主要包括地块划分、用地类型确定和开发强度确定三类。鉴于本文是规划师主体方法的首次探索，暂时只探讨如何确定用地类型，主要考虑规划师对地块大小、街道尺度、是否临街、地块紧凑度、滨河开发、交通引导开发（Transit-oriented Development, TOD）、紧凑城市（Compact city）、混合使用（Mixed use）等方面的要求和偏好。

2.2 支持用地规划方案制定的流程

利用规划师主体支持用地规划方案制定的流程如下（图1）：

- (1) 政府主体制定综合约束条件；
- (2) 利用已有规划方案的数据挖掘、调查问卷等方法识别规划规则；
- (3) NPA制定相应的专项规划（暂不考虑如何制定专项规划，而将其作为外生变量引入）；
- (4) 结合综合约束条件、识别出的规划规则和专项规划，由SPA制定用地规划方案；
- (5) SPA和NPAs沟通与协调，确保专项规划能够支持用地规划方案的实现。如不能，则SPA、NPAs单方面或同时修改相应规划，直至满足要求（暂不考虑）；
- (6) SPA评价制定的方案；
- (7) CPA协调制定的方案，确定最终的用地规划方案；
- (8) 居民主体对最终方案进行满意度评价，也可提前和CPA沟通与协调，确保最终方案能充分反映居民主体的要求和偏好（暂不考虑）。

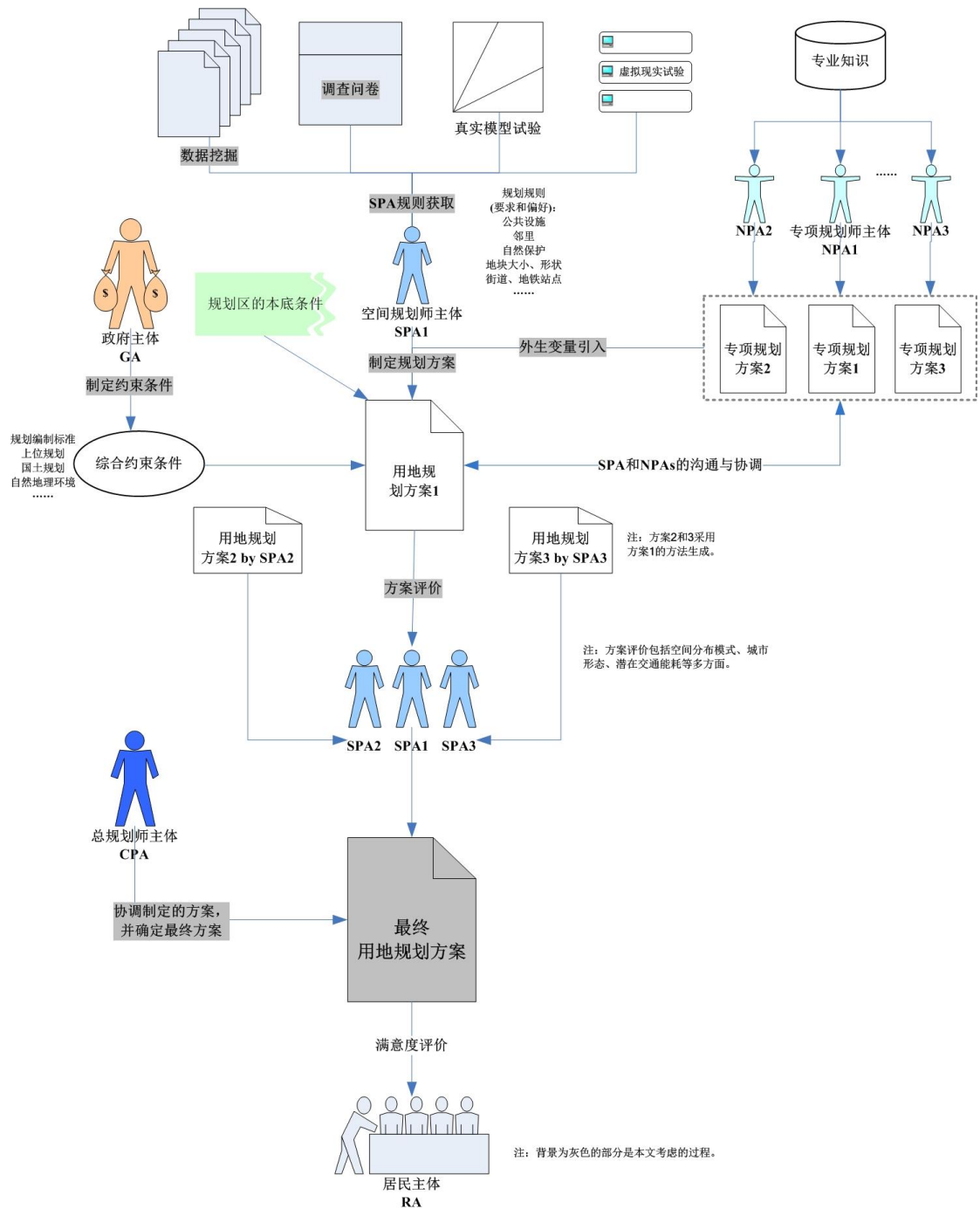


图 1 利用 Planner Agents 支持用地规划方案制定的流程

Fig.1 Flow diagram of land-use pattern scenario analysis using Planner Agents

2.3 获取综合约束条件

政府主体确定城市空间管制的总体目标时，需要考虑相关法律法规、上位规划、国土规划、自然地理现状等因素对规划制定的约束作用，以确保方案能促进社会经济发展和保护资源环境等。上述约束条件可称为用地规划方案制定的综合约束条件，内容主要包括用地类型约束（不同地块的用地类型限制）、用地总量约束（不同用地类型的需求总量），以及建设高度约束、地下活动约束、城市活动约束等。本文暂时只考虑前两种约束内容，通过均一属性分析单元（Uniform Analysis Zone, UAZ）方法可识别用地类型约束^[25-26]，通过城市发展目标确定用地总量约束，如居住、商业用地的增长面积应符合某标准。

2.4 识别规划规则

本文利用已有规划方案的数据挖掘和调查问卷方法识别规划规则。此外，真实模型试验和虚拟现实试验等方法也有望应用于此，如Hatna和Benenson^[27]通过现场搭积木的方式识别了建设“城市”的规则，Crompton^[28]通过现场参与调查的方式，利用LEGO模型识别不同建筑物在视觉表现上的多样性。

利用多项Logistic回归（Multinomial logistic regression, MLR）方法实现已有规划方案的数据挖掘识别规划规则。以地块作为研究样本，地块对应的用地类型为因变量，规划影响因素为自变量，识别每种用地类型受各因素的影响权重。不同影响因素及其权重构成规划师的规划规则，如规划是否考虑河流及考虑程度反映滨河开发的要求和偏好等。具体公式如下：

$$T = \{t_k | k = 1, 2, 3, \dots, K\} \quad (1)$$

$$F = \{f_i | i = 1, 2, 3, \dots, I\} \quad (2)$$

$$P = \{p_n | n = 1, 2, 3, \dots, N\} \quad (3)$$

$$W = \{w_{ik} | i \in [1, I], k \in [1, K]\} \quad (4)$$

$$P_{nk} = \frac{e^{r_k + \sum_{i=1}^I w_{ik} \times f_i}}{1 + \sum_{k=1}^{K-1} e^{r_k + \sum_{i=1}^I w_{ik} \times f_i}} \quad (5)$$

式中， t_k 表示地块用地类型， K 表示用地类型总数； f_i 表示规划影响因素， I 表示因素总数； p_n 表示地块， N 表示地块总数； w_{ik} 表示 f_i 对 t_k 的影响程度权重； P_{nk} 表示把地块 p_n 规划成 t_k 类用地的概率， r_k 为对应常数项。

对于已有规划方案， T （如居住、工业、商业用地）、 F （对应专项规划）、 P 和 P_{nk} （值为0或1）都是已知的，所以可识别 W ， W 和 F 构成规划规则。

同时，可以利用调查问卷识别规划规则。通过分值大小，如0-9，反映各因素对规划制定的影响程度，如工业用地规划时，需要特别考虑邻近城市主干道，则“城市主干道”的影响程度为9，不考虑则为0。综合一定数量的资深规划师的调查问卷结果，可获得贴近实际情况的规划规则。

2.5 制定用地规划方案

根据识别的规划规则和制定的专项规划，即已知 T 、 F 、 P 和 W ，可计算 P_{nk} ，结合综合约束条件制定用地规划方案。以 T 包含 R （居住）、 C （商业）、 M （工业）三类用地为例，具体流程如下：

- (1) 根据识别的规划规则、制定的专项规划和用地类型约束，计算同一地块规划成不同用地类型概率（ P_r 、 P_c 、 P_m ）的大小（如果某地块受用地类型约束，相应的概率值变小或为0）；
- (2) 比较同一地块被规划成不同用地类型概率（ P_r 、 P_c 、 P_m ）的大小，将概率最大的用地类型赋予新建字段CompType，其值为 R 、 C 或 M ；
- (3) 比较所有地块的同一用地类型，如 R 类，的概率大小，以满足用地总量约束为目标，由大至小确定哪些地块可以规划为 R 类。当某一地块符合条件时，新建字段RList的值为YES，反之值为NO；
- (4) 如果某一地块对应的字段RList、CList、MList中，有一个值为YES，如RList（另外两个值为NO），则该地块规划的用地类型FinalType为 R ；
- (5) 如果某一地块对应的字段RList、CList、MList中，至少有两个值为YES，即存在用

地规划冲突，则根据Pr、Pc、Pm大小判断FinalType；

- (6) 计算已规划各用地类型的地块面积，如果某用地类型，如R类，的规划面积小于用地总量约束，则从剩余地块中选取CompType为R的规划为R类，直至符合约束；
- (7) 步骤（6）完成后，仍不满足总量约束目标时，则采取随机分配方式确定剩余地块的用地类型，直至符合约束。

2.6 SPA 和 NPAs 沟通与协调

龙瀛等^[30]和Long等^[31]提出的形态情景分析（Form Scenario Analysis）方法，能识别实现特定城市形态所需要的发展政策及其政策参数。NPAs制定的专项规划可理解为纳入考虑的城市发展政策，如交通规划对应交通发展政策；SPA制定的用地规划方案对应需要实现的城市形态。通过形态情景法分析在已纳入考虑的城市发展政策下，是否存在至少一组政策参数解，能实现制定的用地规划方案。如果不存在，则说明专项规划不能支持用地规划方案的实现，SPA或NPAs需要修改相应规划，直至满足要求。

形态情景分析是以栅格约束性元胞自动机为理论基础的，仅考虑了城镇建设用地的空间布局，而本文中的基本研究单元是矢量地块，需要考虑不同用地类型的空间分布，所以有待进一步完善，才能应用于规划师主体的研究中，本文暂不考虑。

2.7 评价用地规划方案

SPA对制定的方案进行城市形态、社会经济、资源环境等多方面评价。如用空间聚类方法（Moran’s I自相关等）分析方案的空间分布模式，用景观格局评价工具FRAGSTATS^[29]评价方案的城市形态，用龙瀛等^[32]开发的FEE-MAS模型（Urban Form-Transportation Energy Consumption-Environment MAS model, FEE-MAS）计算方案的潜在交通能耗等。表1列出部分指标，具体评价时应根据评价目标进行选择。

表 1 评价指标

Tab.1 Evaluation index

指标名称	意义	指标名称	意义
Total Perimeter	地块总周长	Moran’s I index	空间自相关性
Total Number of Parcels	地块总数	Nearest Neighbor Distance	最近邻距离
Average Perimeter	地块平均周长	Average Center	地块平均中心
Average Area	地块平均面积	Edge density	地块密度
Largest Parcel’s Perimeter	最大地块周长	Division index	地块分离度
Smallest Parcel’s Perimeter	最小地块周长	Dimension index	地块分维数
Largest Parcel’s Area	最大地块面积	Shannon’s diversity index	香农多样指数
Smallest Parcel’s Area	最小地块面积	Shannon’s evenness index	香农均匀指数
Perimeter-Area Ratio	周长面积指数	Connectance index	地块连接度
Potential transport energy consumption	潜在交通能耗	Contagion index	地块蔓延度

2.8 协调用地规划方案

协调用地规划方案时，CPA首先查看是否和综合约束条件相冲突；其次，根据居民效用最大化等原则协调各方案，重点协调有差异的部分；第三，基于协调结果确定最终的用地规划方案。本文CPA在技术层面会综合各方案的评价结果，根据综合评分进行排序，确定相对最优的方案。具体公式如下：

$$S = \sum_{n=1}^N \alpha_n \times p_n \quad (6)$$

其中， N 表示参与评价的内容总数； α_n 表示参与评价内容的权重； p_n 表示参与评价内容的得分； S 表示用地规划方案的总得分。

2.9 居民满意度评价

居民作为城市构成的基本经济和社会单元，是用地规划方案制定时，其他主体需要考虑的核心利益者。因此，除了在方案的前期调研和制定过程中需要保持和居民主体的充分沟通与协调，也有必要在方案制定完成后，由居民对其进行满意度评价，并根据反馈意见修改方案。

居民满意度评价可以通过访谈、调查问卷、数据反演等方法进行。本文暂不考虑具体的评价过程。

3 虚拟空间试验

为验证规划师主体方法，本节进行虚拟空间试验，基本情况如下：

- (1) 虚拟空间包含 10×10 共100个地块，每个地块是边长为1的正方形，交通网络为均质的方格网形状（对应地块边界），如图2A；
- (2) 用地类型包括R（居住）、C（商业）和O（其他）三类，已有R、C类地块数分别为5、6个，规划新增R、C类地块数为25、15个；
- (3) 用地类型约束为限制开发成R类，限制开发成C类，限制开发成R、C类和无限制四种类型，规划后已有R、C类地块仍维持不变；
- (4) 将学校规划、道路规划以及城镇中心区位作为用地规划的基础变量（对应专项规划）；
- (5) 规划规则如表1；
- (6) 选取周长面积指数（PARA_MN）、最近邻距离（ENN_MN）和边缘密度（ED）三个指标示意评价方案。

表 2 规划规则
Tab.2 Planning rules

规则权重 影响因素	规划规则 1			规划规则 2			规划规则 3		
	R	C	O	R	C	O	R	C	O
学校	0.5	0.3	0.2	0.5	0.4	0.1	0.4	0.4	0.2
城镇中心	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.2	0.6	0.3	0.1
道路	0.5	0.4	0.1	0.4	0.5	0.1	0.5	0.4	0.1

采用Python脚本语言，基于Geoprocessing开发规划师主体模型支持用地规划方案的制定。通过ArcGIS的Spatial Analyst中的Distance/Straight Line工具获取地块到规划影响因素的最短欧氏距离 $dist$ ，通过公式（7）计算距离吸引力 f ，根据经验设定 $\beta = 0.001$ 。

$$f = e^{-\beta \cdot dist} \quad (7)$$

结合综合约束条件、规划规则和专项规划，SPA制定用地规划方案，结果如图2B、C、D。方案1（对应图2B）中，新增R类位于虚拟空间东侧，离重点学校、主干道更近，新增C类主要位于南部，靠近城镇中心或主干道；方案2和方案1总体布局类似，新增R类位于东北角，新增C类位于南部；方案3则和前两者差异较大，新增R类和C类分别位于西南和东北角。

利用FRAGSTATS软件计算各方案的周长面积指数、最近邻距离和边缘密度评价制定的用地规划方案。现实中城市发展会因自身定位的不同而对上述指标反映出的要求也有所不同，为示意综合评价过程，本文假设上述指标都越小越好，将指标值标准化至0-1范围（0、1分别对应指标最大值和最小值），指标权重均为0.33，根据公式（6）计算得分，综合得分为用地类型得分的均值，如表3。根据用地类型得分可知，方案3的R类、C类规划相对最优，方案2的R类和方案1的C类规划相对最差。根据综合得分可知，方案3相对最优，方案2相对最差，CPA可确定方案3为最终的用地规划方案。

上述结果表明了利用规划师主体支持用地规划方案制定方法的可行性。

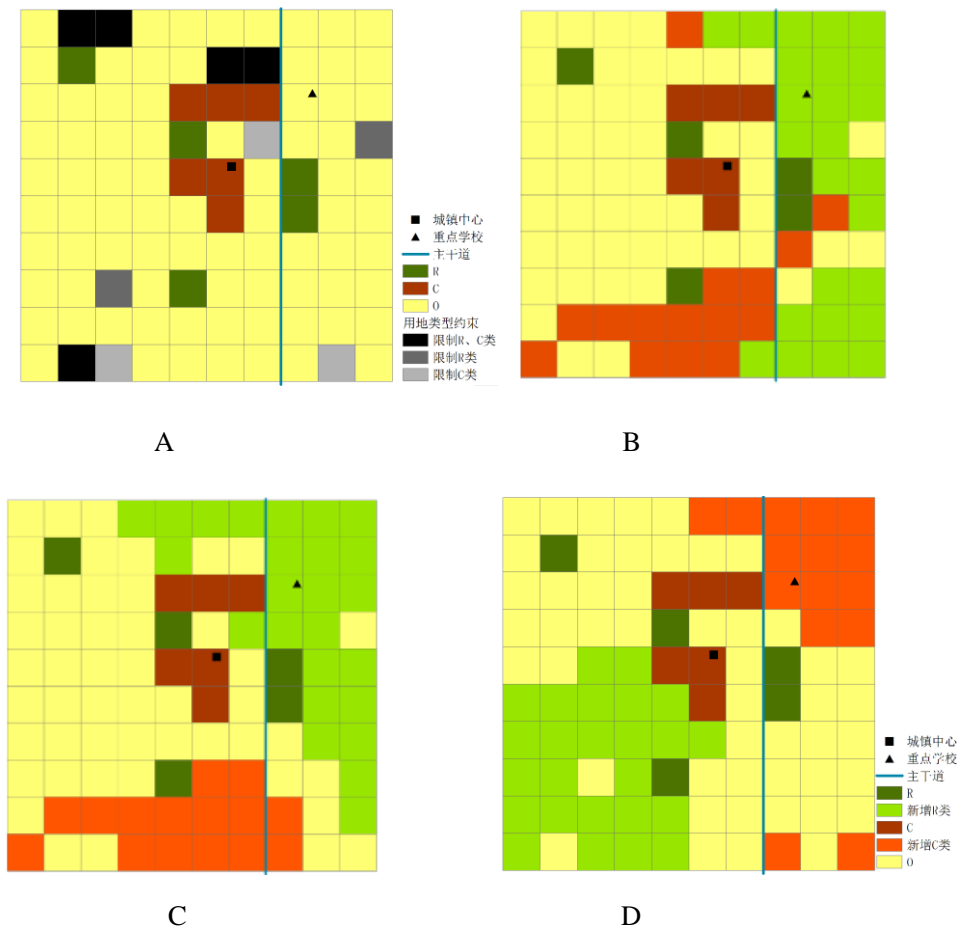


图2 虚拟空间及制定的方案（A、B、C、D分别为现状图及根据规划规则1、2、3制定的方案）
 Fig.2 Virtual space and results of land use pattern scenario analysis (A, B, C, D accordingly represent virtual space and land use pattern using planning rules 1, 2, 3)

表 3 评价结果

Tab.3 Evaluation results of land use pattern scenario analysis

规划方案	用地类型	PARA_MN	ENN_MN	ED	用地类型得分	综合得分
1	R	0.70	1.00	0.69	0.79	0.57
	C	0.96	0.00	0.06	0.34	
2	R	0.00	0.70	0.69	0.46	0.48
	C	0.82	0.67	0.00	0.49	
3	R	0.45	1.00	1.00	0.81	0.75
	C	1.00	1.00	0.06	0.68	

4 北京实例

4.1 研究区域

北京市位于华北大平原的北端，西以西山和山西高原相接，北以燕山和内蒙古高原相接，东南面向平原，距渤海西岸约 150 km，总面积为 16410 km²。目前北京市下辖 16 区，中心城区（Beijing Central Area, BCA）主要覆盖东城、西城、海淀、朝阳等区。2010 年中心城区城镇建设用地面积为 987.5km²，居住、商业、工业用地面积分别为 194.6km²、129.2km²和 64.3km²。

北京实例中，将用地类型分为R、C、M、O四类，即考虑支持居住、商业和工业用地的用地规划方案制定。为全面反映专项规划对规划制定的影响，其数据范围覆盖整个北京市域。为便于后续的方案比较和评价，除了位于整个中心城区的地块样本外，还选择了位于城区内的片区A和B的地块样本，基于不同地块样本识别的结果作为规划规则1、2、3。具体规划制定时选取北京市海淀区的某片区作为试验区域，各范围及片区分布如图3。本文不考虑地块划分，北京实例也不考虑用地现状的影响，所以将试验区域看成是和已有规划方案地块划分一致的、没有现状用地布局的“空地”。表4、图4为该片区的已有规划方案，共计336个地块，总面积为107.67km²，其中R和C类面积最大，各占总量的41%，M类面积最小，占总量的0.4%。

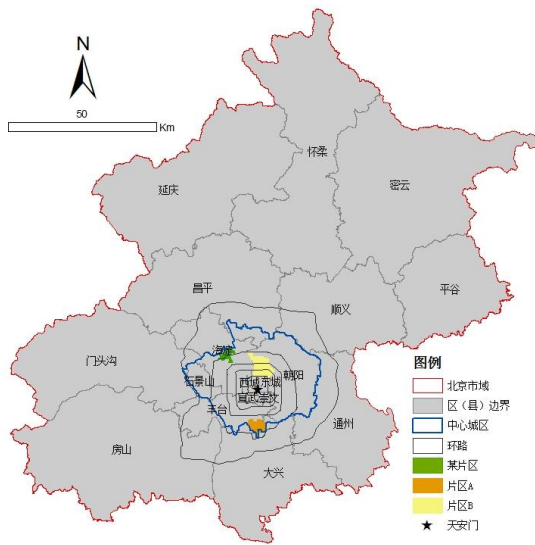


图 3 北京市空间结构图

Fig.3 The Beijing Metropolitan Area

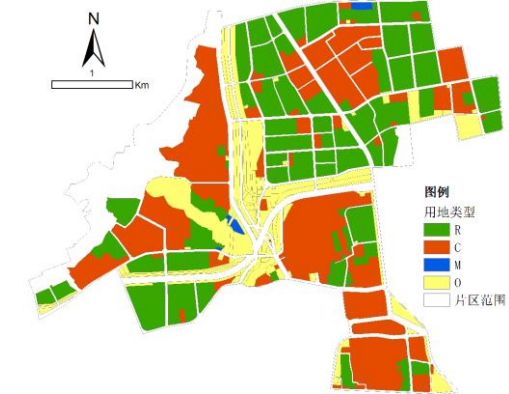


图 4 海淀区某片区用地规划方案

Fig.4 Land use pattern of certain area in Haidian

表 4 海淀区某片区用地规划方案

Tab.4 Land use pattern of certain area in Haidian

用地类型	地块分布		规划地块	
	数目	面积 (km ²)	面积 (km ²)	比例
R	114	43.85	43.85	0.41
C	97	44.41	44.41	0.41
M	4	0.47	0.47	0.004
O	121	18.94	18.94	0.18
总计	336	107.67	107.67	1.00

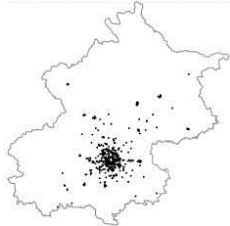

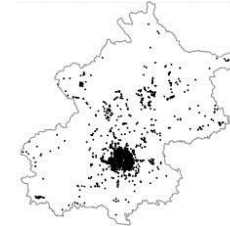
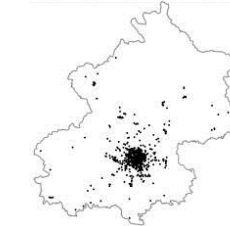
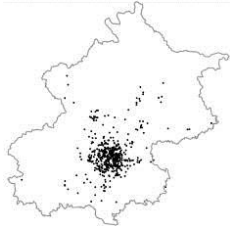
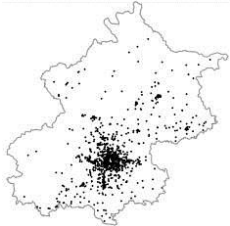
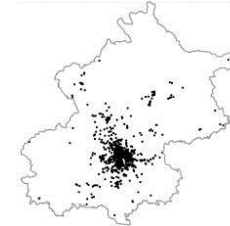
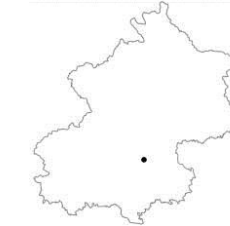
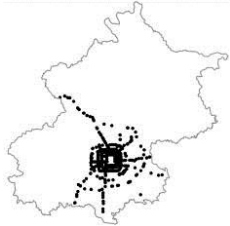
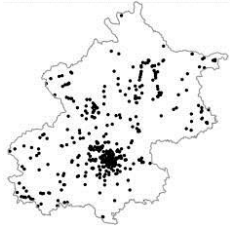
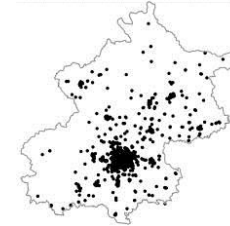
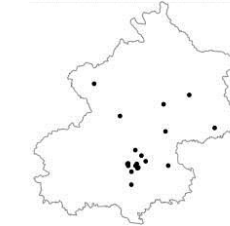


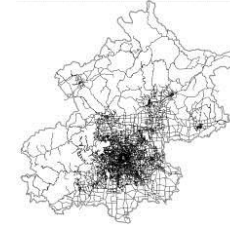
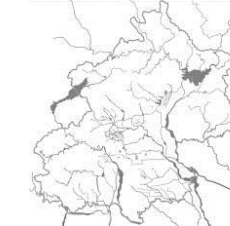
4.2 获取综合约束条件和制定专项规划


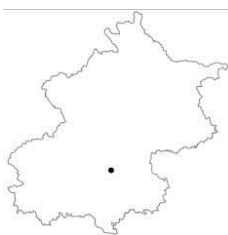
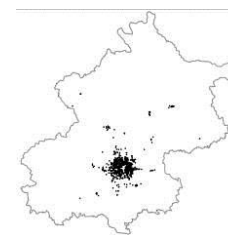
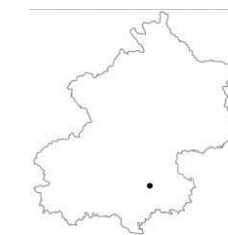
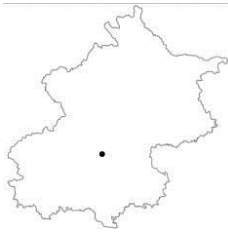
政府主体根据北京市限建区规划^[25]确定用地类型约束,如图 5。根据已有规划方案确定总量约束,即规划期内 R、C、M 类用地分别不超过 43.85km²、44.41km²和 0.47km²。

NPA 制定相应的专项规划。限于数据的可获取性,本文将 2007 年北京市公共服务设施分布专题数据库和北京市城市规划设计研究院空间数据库中获取的数据作为制定的专项规划数据,如表 5。表 5 以规划影响因素的形式显示了专项规划的空间分布 GIS 数据图层,根据公式(7)可计算各因素的距离吸引力 f (暂时只考虑可达性影响)。

表 5 制定的专项规划（也是已有专项规划）

Tab.5 Special plans (also existing special plans)

编号	1	2	3	4
变量数据				
名称	c21 商场	c22 银行、保险	c25 宾馆	c3 文化娱乐设施
编号	5	6	7	8
变量数据				
名称	c4 体育设施	c5 医疗卫生机构	c6 教育科研机构	cbd 中央商务区
编号	9	10	11	12
变量数据				
名称	exit 快速路出口	g 公园、景点	gov 政府部门	hwst 长途汽车站
编号	13	14	15	16
变量数据				
名称	newcty 城镇中心	railst 火车站	rd06 06年现状道路	rvr 河流
编号	17	18	19	20

变量数据				
名称	subst 地铁站	tam 天安门	xzl 写字楼	yizhg 亦庄开发区
编号	21			
变量数据				
名称	zgc 中关村			

4.3 识别规划规则

以识别规划规则 1 为例，即地块样本位于整个中心城区时，用地规划方案的空间分布数据来自北京市中心城区控制性详细规划，如图 6，限于数据的可获取性，已有专项规划和制定的专项规划一致(规划规则基于不同样本进行识别，可以保证制定的规划方案具有差异性)，如表 5。

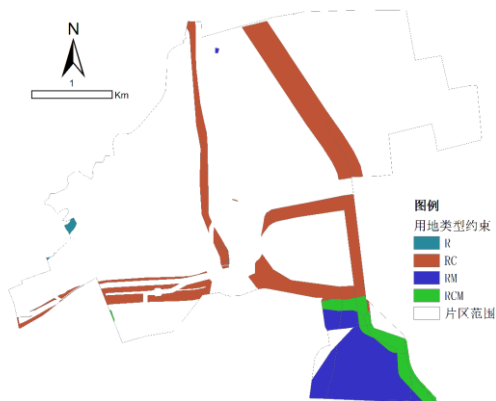


图 5 海淀区某片区限制开发类型

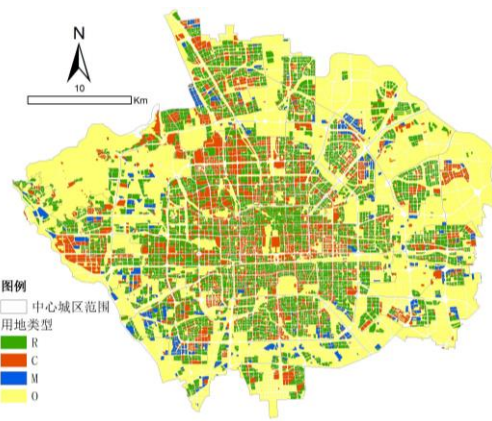


图 6 北京市中心城区控制性详细规划方案

Fig.5 Land use constraints of certain area in Haidian Fig.6 Controlling detailed planning in BCA

利用SPSS中的Multinomial Logistic Regression工具识别规划规则1。中心城区共计29779个地块参与识别，占总数的100%，其中R类地块9594个，占总数的32.2%，C类地块7516个，占总数的25.2%，M类地块753个，占总数的2.5%。表6为识别的回归参数，即影响程度权重，参数为正，表示距这类要素越近，越有可能规划成该用地类型；参数为负，表示距这类要素越近，越不可能规划成该用地类型。回归结果的-2对数似然值由只含截距时的69795.728降至62575.235，似然比检验的显著性为0.000，说明回归模型在整体上是显著的。

表 6 多元 logistic 回归结果

Tab.6 Results of multinomial logistic regression

参数	R	C	M
截距	-.70203***	-2.24992***	-1.78990***
c21	.59824***	.10866	-1.50529***
c22	1.69092***	1.98993***	1.48453***
c25	.27165***	.63531***	-1.50131***
c3	.54465***	.53033***	.09401
c4	.19670**	.20072**	.34227
c5	1.01238***	.71570***	-.37010
c6	.59667***	.83476***	.57046***
cbd	-3.13736***	-.73107***	-7.74911***
exit	-.77072***	-.81033***	.21059
g	.06680	.14353*	-.52322**
gov	-.22590***	.11004	.78724***
hwst	-.08708	-.28315**	-.95491*
newcty	-8.33651**	-.01048	-1.21120
railst	-.29179**	-.14296	.79214***
rd06	-2.09906***	-1.19993***	-1.10308**
rvr	-.26074***	-.71772***	-1.32691***
subst	.36312***	.57882***	-.41520**
tam	.52299	1.24361***	-39.32950***
xzl	.31318***	.52759***	1.24840***
yizhg	-91.77109***	-101.64079***	33.57548**
zgc	-1.49658***	.16891	-23.24940***

注:***p (显著性) = 0.01; **p = 0.05; *p = 0.10

利用调查问卷识别规划规则时,在获得规划领域专家的建议和确认后,将规划影响因素分为五类:基础地形、可达性、地块属性、社会经济特征和环境,以及28个二级分类因素。最后,获得北京市城市规划设计研究院规划师和北京大学城市与区域规划专业硕士生的调查问卷各10份,表7为规划影响因素及标准化处理后的具有规划背景人士的规划规则。结果表明,对R类规划影响最大的因素为教育设施,影响最小因素为开发区,对C类规划影响最大的因素为CBD,影响最小因素为教育设施和医疗卫生机构,对M类规划影响最大的因素为开发区和高速公路,影响最小因素为地铁站和CBD,结果和一般认识基本一致。

表 7 规划影响因素及调查问卷结果

Tab.7 Considered factors and the results of questionnaire survey

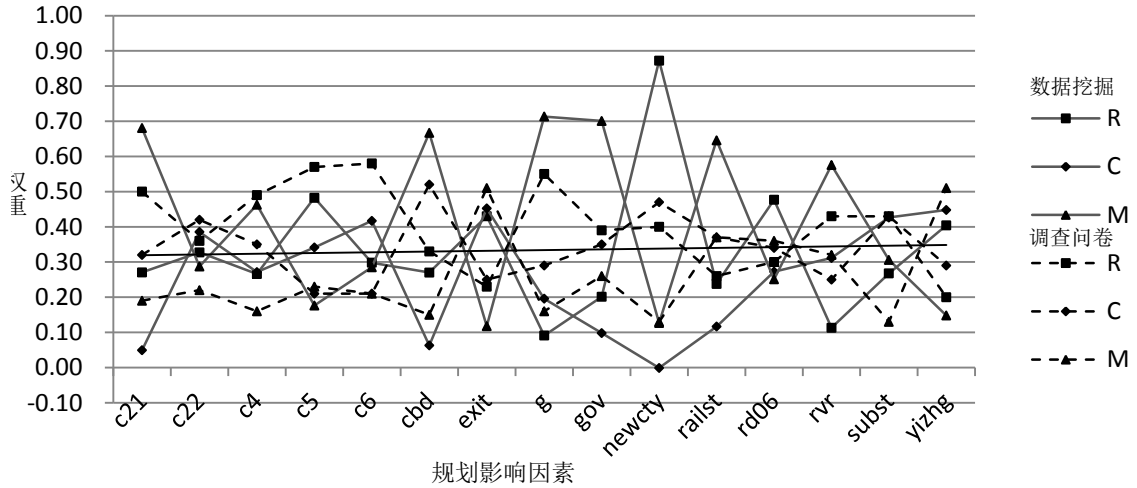
因素类别	因素名称	规则权重		
		R	C	M
1. 基础地形	1. 高程	0.32	0.31	0.37
	2. 坡度	0.30	0.32	0.39
2. 可达性				
2.1 交通设施	3. 飞机场	0.26	0.31	0.43
	4. 火车站	0.26	0.37	0.37
	5. 高速公路	0.23	0.25	0.51
	6. 城市主干道	0.30	0.34	0.36
	7. 地铁站	0.43	0.43	0.13
	8. 公交车站	0.42	0.40	0.19
2.2 公共服务设施	9. 政府机关	0.39	0.35	0.26
	10. 体育娱乐设施	0.49	0.35	0.16
	11. 生活便利设施（商场、超市等）	0.50	0.32	0.19
	12. 医疗卫生机构	0.57	0.21	0.23
	13. 教育设施（学校、科研机构等）	0.58	0.21	0.21
	14. 银行、保险机构	0.36	0.42	0.22
	15. 公园、景点	0.55	0.29	0.16
2.3 区位	16. CBD	0.33	0.52	0.15
	17. 城镇中心	0.40	0.47	0.13
	18. 开发区（如优惠产业政策区）	0.20	0.29	0.51
	19. 河流、湿地	0.43	0.25	0.32
3. 地块属性	20. 现状用地类型	0.36	0.31	0.33
	21. 地块面积	0.29	0.30	0.41
	22. 土地价格	0.33	0.32	0.35
4. 社会经济特征	23. 人口密度	0.36	0.41	0.23
	24. 就业率	0.30	0.37	0.32
5. 环境	25. 空气质量	0.46	0.34	0.21
	26. 交通噪音	0.56	0.28	0.17
	27. 植被覆盖率	0.49	0.28	0.23
	28. 邻避设施（高压站、垃圾场等）	0.46	0.36	0.18

表 8 对已有规划方案的数据挖掘和调查问卷识别中内涵相似的规划规则进行比较, 内涵相似的因素包括“亦庄开发区”（yizhg）及对应的“开发区（如优惠产业政策区）”等。结果表明, 通过前者识别的权重差异性会更明显, 容易出现高值和低值, 如前者城镇中心对应的 R、C、M 类权重分别为 0.87、0.00 和 0.13, 后者分别为 0.40、0.47 和 0.13, 部分原因是数据挖掘受数据的影响较大, 而参与调查人员的考虑会更综合; 前者 R、C 类权重一般比后者小, M 类权重比后者大, 说明数据挖掘识别的这些因素对 R、C 类规划的影响程度比参与调查人员认为的小, 而对 M 类规划的影响程度比参与调查人员认为的大。

规划规则 2、3 的识别和规划规则 1 一致，所以省略相应过程和结果。

表 8 数据挖掘和调查问卷识别的规划规则比较

Tab.8 The results' comparison between data mining and questionnaire survey



4.4 制定用地规划方案

限于调查问卷中影响因素数据的可获取性, SPA 只利用数据挖掘识别的规划规则 1、2、3 制定用地规划方案, 如图 7。如图 7 和表 9, 方案 A、B、C 的 R、C 类地块数差异较大, 但方案总体布局较为一致, 片区中部和东北部主要为居住用地, 南部主要为商业用地。方案 A、B、C 和已有规划方案也存在较多相同的布局, 差异主要集中在沿河一带, 方案 A、B、C 中沿河一带规划了较多商业用地, 而已有规划方案中主要是其他用地, 部分原因在于已有规划方案受用地类型限制更明显, 暂时采取不开发的策略, 保留为其他用地。

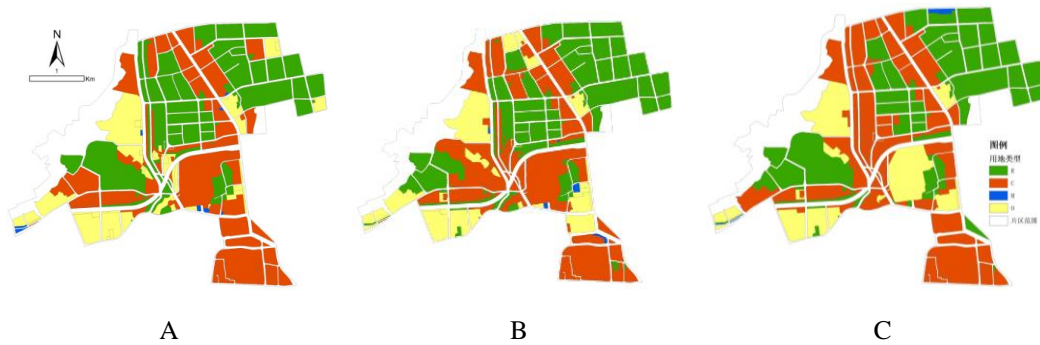


图 7 制定的用地规划方案 (方案 A、B、C 对应利用规划规则 1、2、3 制定的方案)

Fig.7 Results of land use pattern scenario analysis (A, B, C accordingly represent land use patterns using planning rules 1, 2, 3)

表 9 制定的用地规划方案地块分布

Tab.9 Results of land use pattern scenario analysis

地块类型	地块数目 (方案 A)	地块数目 (方案 B)	地块数目 (方案 C)
R	163	157	130
C	116	146	182
M	11	7	8
O	46	26	16
总计	336	336	336

4.5 评价和协调用地规划方案

为示意方案评价和协调过程, 采取和虚拟空间试验中相同的处理, 结果如表 10。根据用地类型得分可知, 方案 A 的 R 类、方案 C 的 C 类和已有方案的 M 类规划相对最优, 已有方案的 R 类、方案 B 的 C 类、方案 C 的 M 类规划相对最差。根据综合得分可知, 方案 A 相对最优, 其次为已有方案, 方案 B 和 C 相对最差。通过比较方案 A、B、C, CPA 可确定方案 A 为最终的用地规划方案, 通过和已有方案比较有助于发现潜在规律或问题, 促进制定更合理的用地规划方案。

表 10 用地规划方案评价

Tab.10 Evaluation results of land use pattern scenario analysis

规划方案	用地类型	PARA_MN	ENN_MN	ED	用地类型得分	综合得分
A	R	0.85	0.99	0.40	0.74	0.65
	C	0.71	0.97	0.23	0.63	
	M	0.60	0.13	0.99	0.57	
B	R	0.78	0.98	0.24	0.66	0.60
	C	0.79	1.00	0.07	0.61	
	M	0.65	0.00	0.99	0.54	
C	R	0.77	0.93	0.42	0.70	0.60
	C	0.91	1.00	0.36	0.75	
	M	0.00	0.11	1.00	0.37	
已有方案 (图 4)	R	0.87	0.93	0.08	0.62	0.63
	C	0.65	0.93	0.28	0.62	
	M	1.00	0.97	0.00	0.65	

5 结论和讨论

本文主要开展了两方面的研究工作。首先提出利用规划师主体支持用地规划方案制定的方法框架, 能利用多种方法识别规划规则, 结合综合约束条件和专项规划制定用地规划方案, 并对其进行城市形态、社会经济、环境影响等多方面评价, 最后 CPA 协调方案并确定最终的用地规划方案。另一方面, 本文将规划师主体方法分别应用于虚拟空间和北京实例中, 利用已有规划方案的数据挖掘和调查问卷方法识别规划规则, 计算平均周长面积指数、平均最近邻距离和边缘密度示意方案评价和协调。结果表明, 规划师主体方法明确了不同规划师、政府和居民主体在用地规划方案制定中的角色和相互作用, 突出了规划师的独特性和重要性, 提供了一个能反映不同主体要求和偏好的规划制定框架, 具有可行性和实用性。该方法在已有城镇用地覆盖范围基础上, 以地块为分析单元, 细化用地类型, 自下而上地分析整个城市

的空间形态情景。我国正处于快速发展阶段，对城乡规划提出越来越高的要求，因此本文具有较为现实的实践意义。

由于本文是规划师主体研究的首次探索，我们重点关注如何利用该方法制定出用地规划方案，对于不同主体之间的沟通与协调部分，多停留在提出方法或示意的层面。同时，虽然能通过多种方法量化识别规划规则，但仍难以全面反映其内容尤其是规划师的主观不确定部分。上述两方面的问题，有待后续进一步完善。

下一阶段，可以从以下几方面继续开展规划师主体工作。首先，考虑SPA和NPAs的沟通与协调，而非将专项规划作为用地规划方案制定的基础变量；其次，完善规划规则的识别方法，如完善考虑的影响因素及其数据的可获取性，利用真实模型和虚拟空间试验识别规划规则并比较不同方法的效果；第三，引入居民主体表征公共参与，以居民效用最大化为原则，通过数据反演等方法评估制定的用地规划方案；最后，还可以丰富规划师主体方法的应用范围，如支持容积率的制定。

参考文献 (References)

- 1 Klosterman R E. Planning Support Systems: A New Perspective on Computer-aided Planning [J]. *Journal of Planning Education and Research*, 1997, 17(1): 45-54.
- 2 Brommelstroet M. Performance of Planning Support Systems: What Is It, and How Do We Report on It? [J]. *Computers, Environment and Urban System*, 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.07.004>.
- 3 Stillwell J. *Planning Support Systems in Practice (advances in spatial science)* [M]. Berlin: Springer, 2002.
- 4 Geertman S, Stillwell J. Planning Support Systems: An Inventory of Current Practice [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2004 (28): 291-310.
- 5 Concelelis H. "Where Has the Future Gone?" Rethinking the Role of Integrated Land-use Models in Spatial Planning [J]. *Environment and Planning A*, 2005, 37: 1353-1371.
- 6 Brail R K. *Planning Support Systems for Cities and Regions* [M]. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA, 2008.
- 7 Vonk G, Ligtenberg A. Socio-technical PSS Development to Improve Functionality and Usability-Sketch Planning Using a Mappable [J]. *Landscape and Urban planning*, 2009, 94: 166-174.
- 8 Curtis C. Integrating Land Use with Public Transport: The Use of a Discursive Accessibility Tool to Inform Metropolitan Spatial Planning in Perth [J]. *Transport Reviews*, 2011, 31: 179-197.
- 9 毛锋, 王凌云, 周文生, 等. 基于GIS/RS技术的城乡空间规划支持系统[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2006, 46(9): 1495-1498.
- 10 龙瀛. *规划支持系统原理与应用* [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- 11 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.
- 12 Landis L D. The California Urban Future Model: A New Generation of Metropolitan Simulation Models [J]. *Environment and Planning B*, 1994, 21(4): 399-420.
- 13 Klosterman R E. The What if? Collaborative Planning Support System [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1999, 26, 393-408.
- 14 Klosterman R E, Siebert L, Kim J W et al. What if Evaluation of Growth Management Strategies for a Declining Region [J]. *International Journal of Environmental Technology and*

- Management, 2006, 6: 79-95.
- 15 Mccoll C, Aggett G. Land-use Forecasting and Hydrologic Model Integration for Improved Land-use Decision Support [J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, 84(4): 494-512.
 - 16 Allen E. INDEX: Software for Community Indicators [M]. In *Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems and Visualization Tools*, eds. Brail R K, Klosterman R E. California: ESRI Press, 2001:229-261.
 - 17 Stevens D, Dragicevic S, Rothley K. iCity: A GIS-CA Modelling Tool for Urban Planning and Decision Making [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22(6): 761-773.
 - 18 Long Y, SHEN Z J, Mao Q Z. An Urban Containment Planning Support System for Beijing [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2011, 35(4): 297-307.
 - 19 钮心毅, 宋小冬, 高晓显. 土地使用情景一种城市总体规划方案生成与评价的方法[J]. *城市规划学刊*, 2008,(4):64-69.
 - 20 秦贤宏, 段学军, 杨剑. 基于GIS的城市用地布局多情景模拟与方案评价[J]. *地理学报*, 2010, 65(9):1121-1129.
 - 21 Ligtenberg A, Bregt A K, Lammeren R V. Multi-actor-based Land Use Modelling: Spatial Planning Using Agents [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 56(1-2): 21-33.
 - 22 Jjumba A, Dragicevic S. High Resolution Urban Land-use Change Modeling: Agent iCity Approach [J]. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2012, 5(4): 291-315.
 - 23 Ligtenberg A, Beulens A, Kettenis D et al. Simulating knowledge sharing in spatial planning: an agent-based approach [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2009, 36(4): 644-663.
 - 24 Saarloos D, Arentze T, Borgers A et al. A multiagent model for alternative plan generation [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2005, 32(4): 505-522.
 - 25 龙瀛, 何永, 刘欣, 等. 北京市限建区规划: 制订城市扩展的边界[J]. *城市规划*, 2006, 30(12): 20-26.
 - 26 龙瀛, 沈振江, 毛其智, 等. 城市增长控制规划支持系统: 方法、开发及应用[J]. *城市规划*, 2011, 35(3): 62-71.
 - 27 Hatna E, Benenson I. Building a City in Vitro: The Experiment and the Simulation Model [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2007, 34(4): 687-707.
 - 28 Crompton A. The Entropy of LEGO® [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2012, 39(1): 174-182.
 - 29 Mcgariga K, Marks B. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for quantifying Landscape Structure [R]. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis Oregon, 1994.
 - 30 龙瀛, 沈振江, 毛其智, 等. 基于约束性CA方法的北京城市形态情景分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(6): 643-655.
 - 31 Long Y, Shen Z, Mao Q. Retrieving Spatial Policy Parameters from an Alternative Plan Using Constrained Cellular Automata and Regionalized Sensitivity Analysis [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2012, 39: 586 – 605.
 - 32 龙瀛, 毛其智, 杨东峰, 等. 城市形态、交通能耗和环境影响集成的多智能体模型[J]. *地理学报*, 2011, 66(8) : 1033-1035.