

# 基于规则建模

Rule based Modeling



龙 瀛

清华大学建筑学院

2018年3月13日

# 《城市模型概论》教学大纲

1. 2月27日W1: 城市模型概论之概论
2. 3月06日W2: 模型基础数据
3. 3月13日W3: 基于规则建模
4. 3月20日W4: 城市空间分析方法
5. 3月27日W5: 模型开发语言 (Python)
6. 4月03日W6: 元胞自动机模型 (栅格)
7. 4月10日W7: 元胞自动机模型 (矢量)
8. 4月17日W8: 大数据时代的城市模型展望

2017-2018 学年度春季学期和夏季学期

周次	日 星期	月						
		一	二	三	四	五	六	日
0	2018	19	20	21	22	23	24	25
1	二	26	27	28				
2	三	5	6	7	8	9	10	11
3		12	13	14	15	16	17	18
4		19	20	21	22	23	24	25
5		26	27	28	29	30	31	
6	四							1
7		2	3	4	5	6	7	8
8		9	10	11	12	13	14	15
9		16	17	18	19	20	21	22
10		23	24	25	26	27	28	29
11	五	30						
12		1	2	3	4	5	6	
		7	8	9	10	11	12	13
		14	15	16	17	18	19	20

清华大学

2017-2018 学年度校历

春季学期(2018年)

1. 2月24日、25日教职工照常上班，本科生、研究生2月25日前完成注册。
2. 2月26日全校本科生、研究生开始上课。
3. 妇女节: 3月8日正常上课, 女教工放假半天。
4. 清明节: 4月5日-7日放假调休, 共3天。
5. 校庆及“五一”: 4月28日、29日(校庆日)教职工照常上班; 4月30日-5月4日放假调休, 共5天。
6. 端午节: 6月18日放假, 与周末连休。
7. 第8周期中测验。第17周、18周末考试。

# 考核方式：考查

• 成绩构成：出勤及过程（30分）+大作业（70分）

• 大作业（任选一种形式）：

• 形式1：每人撰写某一类城市模型综述的课程论文

• 形式2：每人撰写城市模型发展趋势与未来展望的课程论文

• 形式3：利用课程发放的北京五环内数据，开发一个地块尺度的轻量级城市模型（straight forward and light-weight），并附模型介绍（建议2-3人一组）

• 建议选题：城市开发密度模拟

• 欢迎与任课教师讨论（建议OPEN OFFICE HOUR时间）

• 提交方式：W13周末（5月27日）前提交给助教陈婧佳

• W8结课后也同样欢迎约任课教师讨论大作业

2017-2018 学年度春季学期和夏季学期

日	星期	一	二	三	四	五	六	日
周次	月							
0	2018	19	20	21	22	23	24	25
1	二	26	27	28				
2		5	6	7	8	9	10	11
3	三	12	13	14	15	16	17	18
4		19	20	21	22	23	24	25
5		26	27	28	29	30	31	
6		2	3	4	5	6	7	8
7		9	10	11	12	13	14	15
8	四	16	17	18	19	20	21	22
9		23	24	25	26	27	28	29
10		30						
11		1	2	3	4	5	6	
12		7	8	9	10	11	12	13
13	五	14	15	16	17	18	19	20
14		21	22	23	24	25	26	27
15		28	29	30	31			
16	六	4	5	6	7	8	9	10
17		11	12	13	14	15	16	17
18		18	19	20	21	22	23	24
19		25	26	27	28	29	30	
20								
21								
22	七	2	3	4	5	6	7	8
23		9	10	11	12	13	14	15
24		16	17	18	19	20	21	22
25		23	24	25	26	27	28	29
26		30	31					
27								
28								
29								
30								
31								

清华大学  
2017-2018 学年度校历

春季学期(2018年)

- 2月24日、25日教职工照常上班，本科生、研究生2月25日前完成注册。
- 2月26日全校本科生、研究生开始上课。
- 妇女节：3月8日正常上课，女教工放假半天。
- 清明节：4月5日-7日放假调休，共3天。
- 校庆及“五一”：4月28日、29日（校庆日）教职工照常上班；4月30日-5月4日放假调休，共5天。
- 端午节：6月18日放假，与周末连休。
- 第8周期中测验。第17周、18周期末考试。

夏季学期及暑假(2018年)

- 7月2日-9月16日（共11周）本科生夏季学期及暑假。
- 参加社会实践的研究生7月2日-8月12日（共4周）进行社会实践，8月13日-9月9日（共4周）暑假。
- 7月7日上午研究生毕业典礼，7月8日上午本科生毕业典礼。
- 7月23日-8月19日，从事一线教学和科研的教师、不参加社会实践的研究生暑假（共

# 用于大作业的数据发放

- 北京五环内
- 空间数据（多个GIS图层）
  - 最好熟悉GIS操作（W4初步介绍）

# 模拟的逻 (tao4) 辑 (lu4)

- 模拟单元不变
  - 更适合存量空间（完全城市化）
- 模拟单元变化
  - 更适合增量空间
  - 如地块或街道的合并、分割等
  - 较为复杂，本课程不涉及（也可转为单元不变的情形）



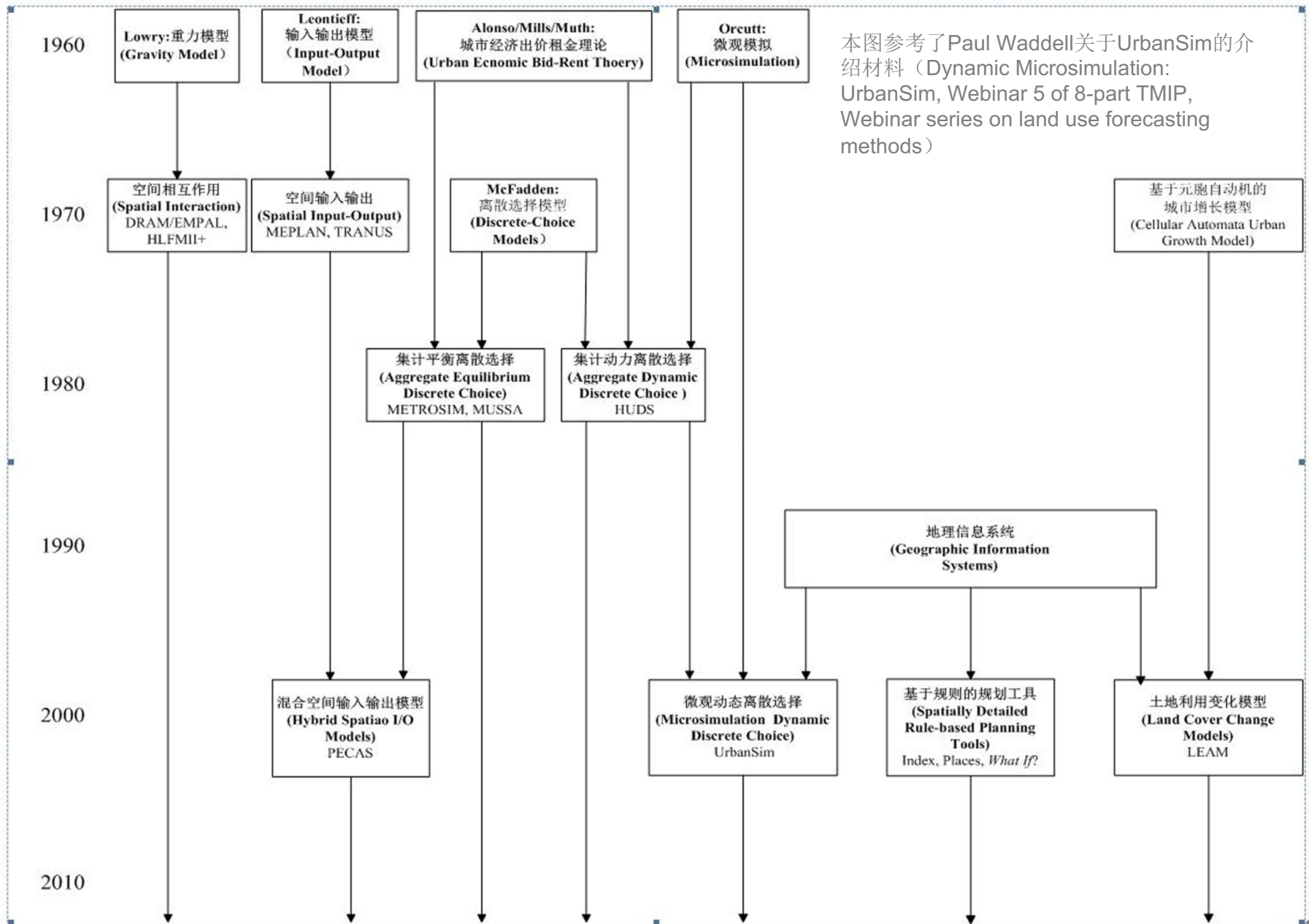
Figure 8. Change in property boundaries during the simulation: (a) beginning of the simulation and (b) end of the simulation.

Wickramasuriya et al. 2013 IJGIS

- 模拟单元变量的未来状态（如功能、密度、品质等），取决于：
  1. 模拟单元的当前状态
  2. 模拟单元所处的环境（可达性、设施、政策环境等）
  3. 周围单元的状态（多周围？）
  4. 模拟单元所在更大区域的发展历史（变量形式）
  5. 模拟单元所在更大区域的政策环境（变量形式）


城市模型  
需要什么  
样的数据

# 城市模型发展历程一览



# 基于规则建模

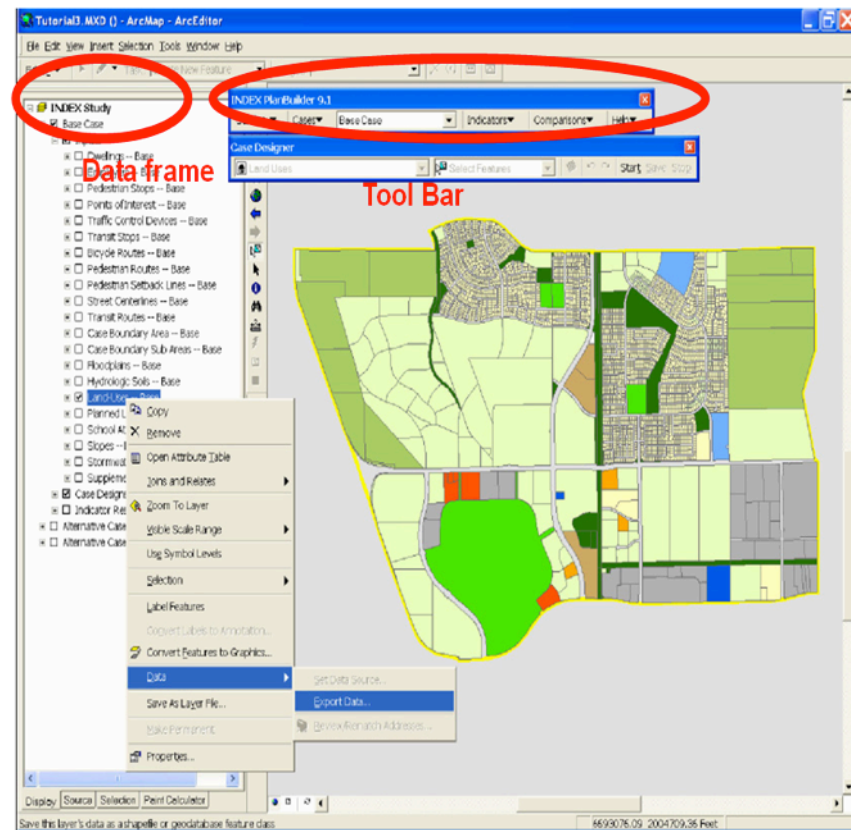
- Rule-based modeling is a modeling approach that uses a set of rules that indirectly specifies a mathematical model.
- The rule-set can either be translated into a model such as Markov chains or differential equations, or be treated using tools that directly work on the rule-set in place of a translated model, as the latter is typically much bigger.
- Rule-based modeling is especially effective in cases where the rule-set is significantly simpler than the model it implies, meaning that the model is a repeated manifestation of a limited number of patterns.
- An important domain where this is often the case is biochemical models of living organisms. Groups of mutually corresponding substances are subject to mutually corresponding interactions.
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Rule-based\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Rule-based_modeling)

- 
- $y = a + b * x$ 
    - $y$  模拟的城市状态
    - $a$  常数项
    - $x$  城市基础状态
    - $b$  模型系数（即为规则）
  
  - $b$  系数如何获得？
    - 开放讨论



# INDEX——系统简介

- INDEX是目前美国使用最广泛的商业性分布式规划支持系统之一。该系统由ESRI公司于1994年开发完成，开发平台是ArcGIS 9.0和ArcIMS。
- 目前有面向不同领域客户的三个版本，分别是绘图版（Paint the Region）、规划设计版（PlanBuilder）以及定制版（Client-specific custom versions）
- 主要用于土地利用规划、交通运输规划、建筑设计、环境规划等领域，此外，在水资源规划、能源利用规划、公共财政规划、非点源污染控制规划、洪涝灾害防治规划等方面也有应用。



# INDEX——应用案例1

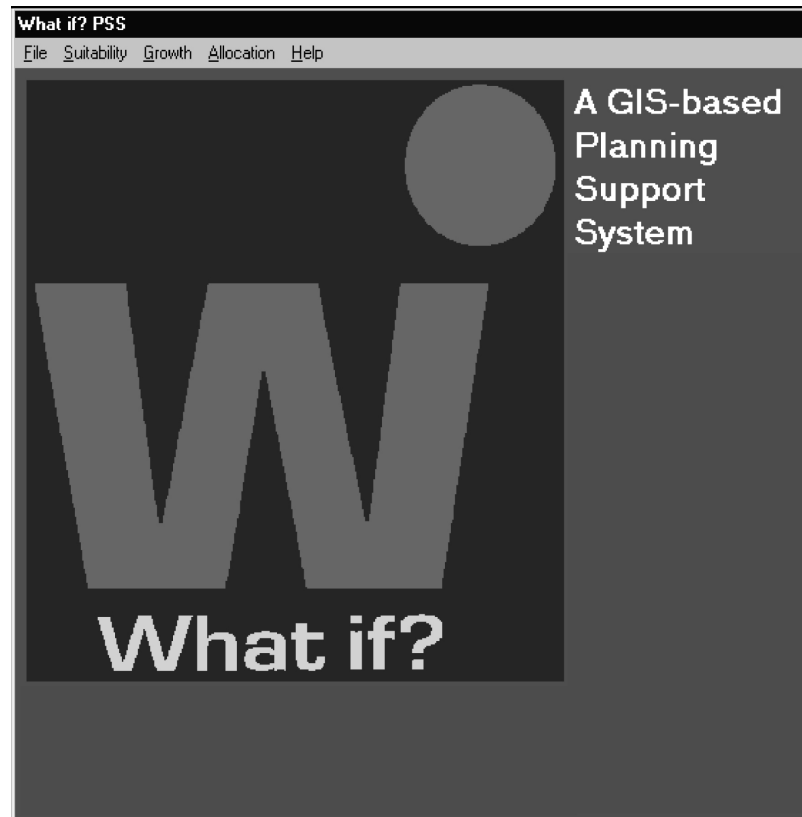
- 2006年3月APH杂志上刊登了N.E.伊利诺斯州区域规划获年度最佳规划的消息，该规划所应用的就是INDEX系统；佛罗里达州的Indian River郡、马萨诸塞州的South Weymouth郡等都在其城市规划中采用INDEX作为规划支持系统。
- INDEX的数字化研讨设计工具决定了其广泛的社区和市民参与性，甚至孩子们都可以参与城市的规划设计。在2004年11月13日举行的社区规划节上，美国俄勒冈州波特兰市的500个儿童和青少年应用INDEX，通过触摸屏的方式，参与了14个街区的规划活动，孩子们不仅了解了他们的城市，而且在专家的指导下，通过INDEX很快就能参与社区规划规划方案的选择，为他们所居住的社区贡献意见。在美国第四届理性增长会议上，INDEX被作为一种专家研讨工具参与到城市的理性增长讨论中。

## INDEX——应用案例2

- INDEX还可以被应用于除社区规划和城市规划以外的其他很多领域，加利福尼亚州的城市Chula Vista为减少CO2的排放量，就曾应用INDEX软件对专家所提出的发展建议进行评估，作为制定更合理发展计划的有利向导，并取得了很好的效果；
- 2004年，北京市城市规划设计研究院与林肯土地政策研究院及马里兰大学理性增长国家研究中心合作，首次将INDEX系统作为计量分析支持技术引入《北京城市总体规划2004—2020年》中，辅助确定城市空间布局。

# WHAT IF?——系统简介

- “WHAT IF?”是美国Richard E. Klosterman教授与ESRI公司联合开发的商业化的交互式规划支持系统
- 该模型主要是在ESRI公司MapObject组件的基础上用VB语言编写而成的，并在开发过程中吸取了其他诸多系统的规划思想
- 主要应用于土地利用规划、城市规划等领域，此外，在财政、运输、环境等部门也有应用。

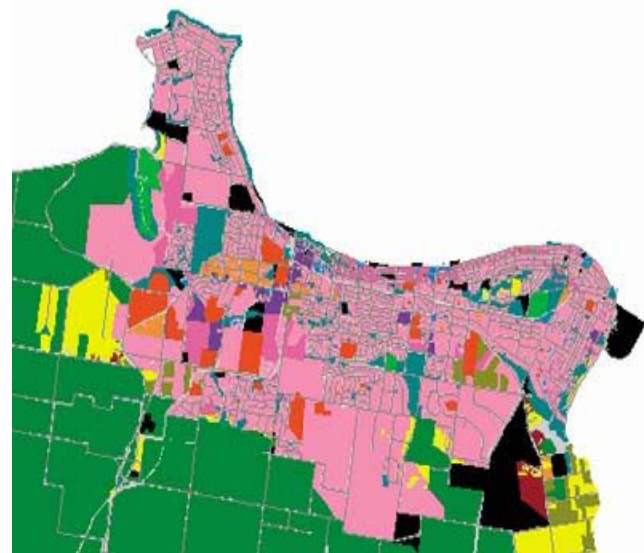
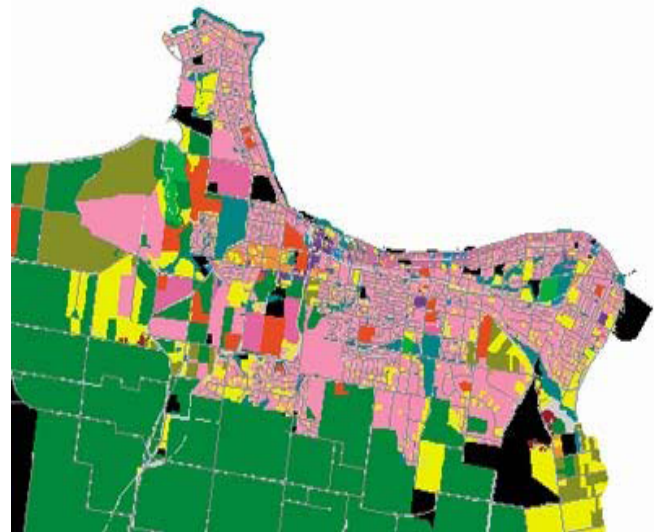


## WHAT IF?——模块设置

- **土地适宜性评价模块** (Determining Land Use Suitability)：确定土地适宜性要素及要素的权重和等级，给出土地适宜性空间分布图；
- **土地利用需求分析模块** (Projecting Land Use Demands)：分别从住宅、工业、商业、生态保护地等几方面计算土地的需求情况，根据不同分析因子的计算，得出不同用地类型的供给和需求结果；
- **土地利用需求分配模块** (Allocating Projected Land Use Demands)：在土地利用需求分析的基础上，对不同类型土地根据一定的标准进行空间分配，并通过设置优先级的方式优先满足某种土地类型的需求，得出相应的分配方案。

## WHAT IF?——应用实例

- 在国内外规划实践中，“WHAT IF?”已经有了一定的应用，较为成功的应用有**美国俄亥俄州Medina县的农田保护政策评估、澳大利亚Hervey湾土地使用规划**等。
- 右图为两幅由“WHAT IF?”生成的土地利用图，分别表示两种不同的假设方案，左图为未受土地利用规划控制的假设方案，在这种假设场景下，橙色所表示的居民区分散于整个区域，显得杂乱无章。右图为经过土地利用控制的假设方案，在这种假设场景下，密集分布的居民区显然比前一场景合理，黄色所表示的未利用土地和绿色所表示的城市边缘绿地也有较优化的配置。





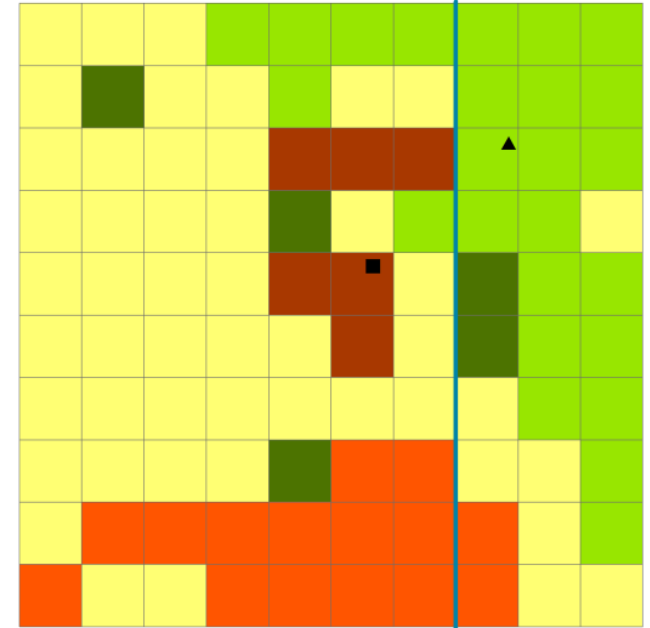
# Land use pattern scenario analysis using **Planner Agents**

张永平和龙瀛 2016 城市规划\_规划师主体



# Land use pattern,

- or land use layout, is a key part of physical plan (master or detailed)
  - Spatial distribution of land use and density
  - Hard to predict by a planning support system (PSS)
- Land use pattern scenario analysis (**LUPSA**) – most are parcel-based
  - CUF (Landis 1994)
  - What if? (Klosterman 1999)
  - INDEX (Allen 2001)
  - iCity (Stevens et al. 2007)
  - Other papers regarding land use layout optimization



# Planners in LUPSA tools

- Less attention was paid on the behavior of urban planners
- **Our research question:** How do planners compile land use pattern?
  - What are rules (*preferences*)?
  - How to identify these rules?
  - Are these rules varying among planners?
  - Could we develop a PSS for “simulating” land use patterns using the identified rules?

# Building city in a vitro

Hatner and Benenson, 2007, EPB



**Figure 1.** Seven of the fifty-two mock-ups used in the experiments (the floor tiles are of 20 cm × 20 cm size).

# The entropy of LEGO

Crompton, 2012, EPB



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Figure 4.** LEGO<sup>®</sup> models: (a) Guggenheim Museum, (b) Hancock Tower, (c) Empire State, (d) Falling Water, (e) Sears Tower, (f) Seattle Needle.

# In this model, we will identify planner rules by

- Questionnaire
  - What one planner will do
- Mining plan drawings
  - What one planner has done

## 关于用地布局规划的问卷调查

您好,非常感谢您抽出宝贵的时间参与我们的问卷调查。本调查目的在于了解不同因素对不同土地使用类型布局(总规和控规尺度)的影响程度,进而了解规划师进行城市用地布局方案制定时的规划规则与偏好。请您根据自己的真实想法作答,所填写的资料仅供学术研究使用,不作个别披露或其他用途。非常感谢您对我们的支持!

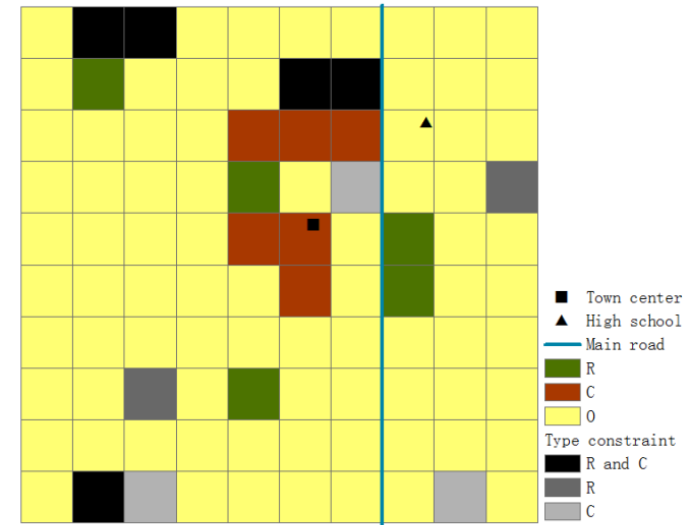
问卷中将土地使用类型分为四类:居住用地、商业用地、工业用地和其他用地。通过分值大小(0-9)反映各因素对规划师制定方案的影响程度,如对于工业用地布局,如果需要特别考虑邻近城市主干道,则打分为9,如果不需要考虑城市主干道,则用0表示。

影响用地布局的因素		评分(0-9分:没有影响-影响很大)		
因素类别	因素名称	居住(R)	商业(C)	工业(M)
1.基础地形	高程	4	4	4
	坡度	6	6	4
2.可达性	飞机场	2	2	2
2.1交通设施	火车站	4	7	6
	高速公路	1	1	7
	城市主干道	6	4	7
	地铁站	9	9	3
	公交车站	9	9	7
	2.2公共服务设施	政府机关	6	3
	体育娱乐设施	9	9	1
	生活便利设施(商场、超市等)	9	9	1
	医疗卫生机构	9	3	3
	教育设施(学校、科研机构等)	9	5	6
	银行、保险机构	7	9	5
	公园、景点	9	7	1
2.3区位	CBD	5	8	3
	城镇中心	8	8	3
	开发区(如优惠产业政策区)	4	4	9
	河流、湿地	9	3	9
3.地块属性	现状土地使用类型	6	6	6
	地块面积	3	3	7
	土地价格	6	6	6
4.社会经济特征	人口密度	5	9	3
	就业率	4	7	3
5.环境因素	空气质量	9	8	3
	交通噪音	9	8	3
	植被覆盖率	9	8	3
	邻避设施(高压站、垃圾场等)	9	9	3

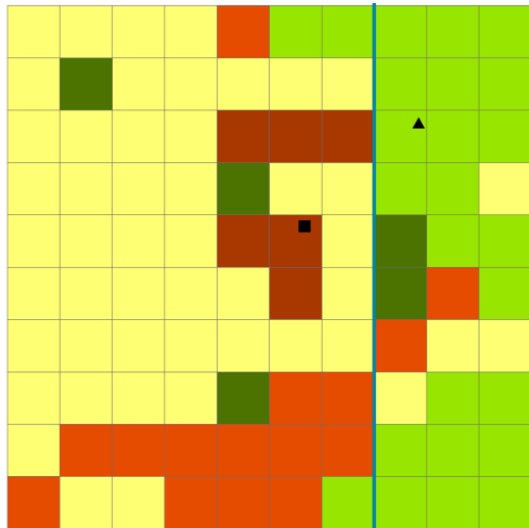




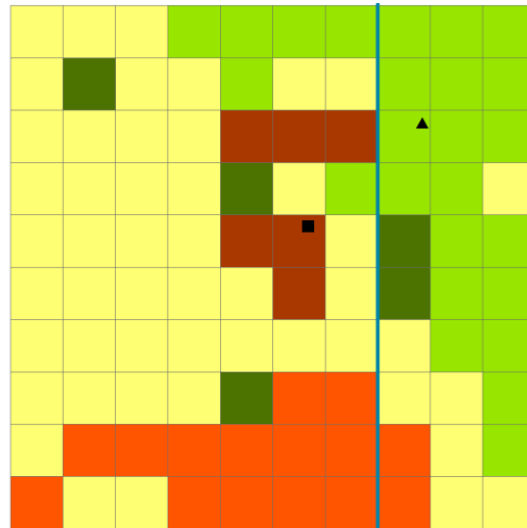
Then we will develop a model (**Planner Agents**), for simulating land use pattern using identified rules.



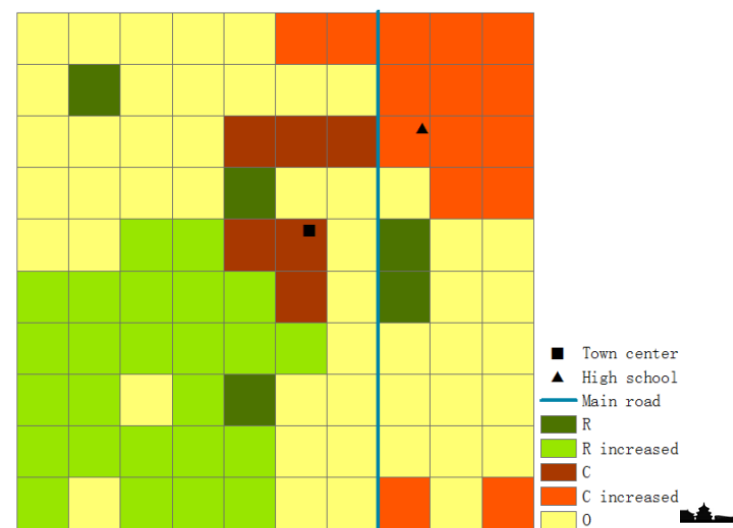
Planner A



Planner B



Planner C



# Ideally and hopefully to

- save planner's time and promote plan compilation efficiency.
- E.g.
  - A plan area
  - Identified rules of 20 planners
  - Generate 20 patterns in one minute by using Planner Agent
  - The principal investigator chooses a perfect one
  - All 20 planners focus on it and propose the final drawing



# Planner types

- **Non-spatial planners**
  - Infrastructure, transportation
  - Not directly with land use pattern
- **Spatial planners**
  - Responsible for preparing land use pattern
- **Chief planner**
  - Confirm the final plan scheme





# Spatial planner: the general process

## 1. Totals in area

- For each type of land use (e.g. residential, commercial and industrial)
- From decision makers or forecasted by macro models

## 2. Constraints

- Geographical context: *slope, eco space*
- Institutional constraints: *development restrictions*

## 3. Negotiating with non-spatial planners (**factors**)

- Assume planned facilities, roads, city centers, CBD, etc., are ready prior to plan a land use pattern
- **Weight factors**

## 4. Negotiating with citizens (public participation process)

- Not accounted in our current research

## Spatial planner: simplified rules

- The taste (*weight*) of each land use on factors is different.
- The weight could be calibrated using questionnaire or data mining on existing plan archives (land use with the highest probability would be selected for a parcel).
  - E.g., industrial parcels tend to be located along main transportation network, commercial parcels around amenities.

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

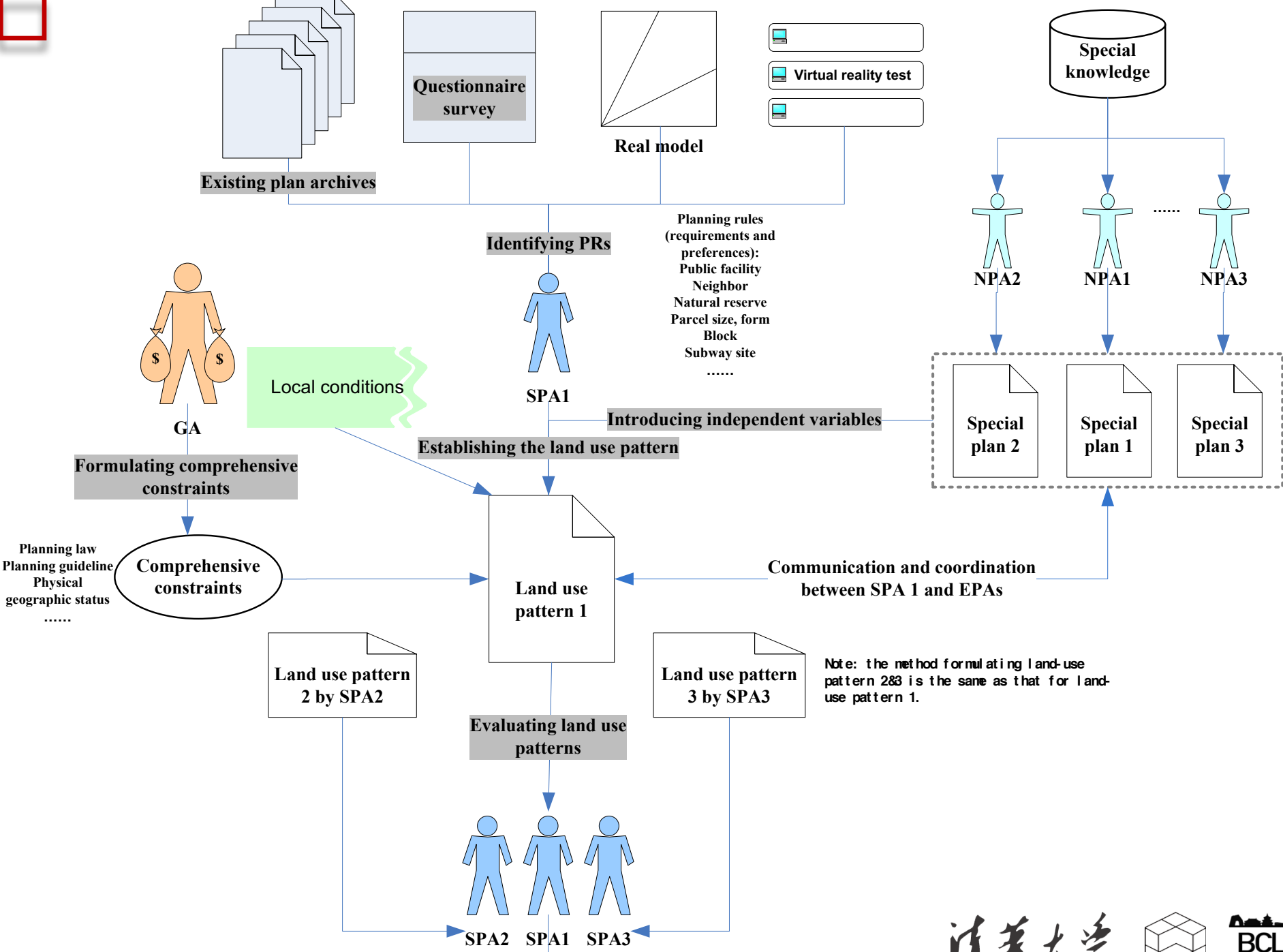
$$F = \{f_i | i = 1, 2, 3, \dots, I\} \quad (2)$$

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

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

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

re  $t_k$  is the planned land use type,  $K$  is its number,  $f_i$  is the PIF,  $I$  is its number, parcel,  $N$  is its total amount,  $w_{ik}$  is the weight of  $f_i$  for  $t_k$ ,  $P_{nk}$  is the probability of  $t_k$ , and  $r_k$  is the corresponding constant term.



Physical geographic status

Comprehensive constraints

Land use pattern 1

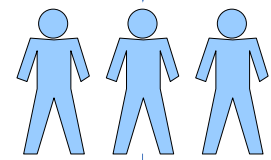
Communication and coordination between SPA 1 and EPAs

Land use pattern 2 by SPA2

Land use pattern 3 by SPA3

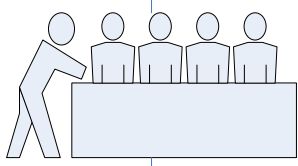
Note: the method for formulating land-use pattern 2&3 is the same as that for land-use pattern 1.

Evaluating land use patterns

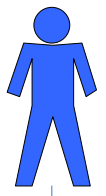


SPA2 SPA1 SPA3

RA evaluation



RA



CPA

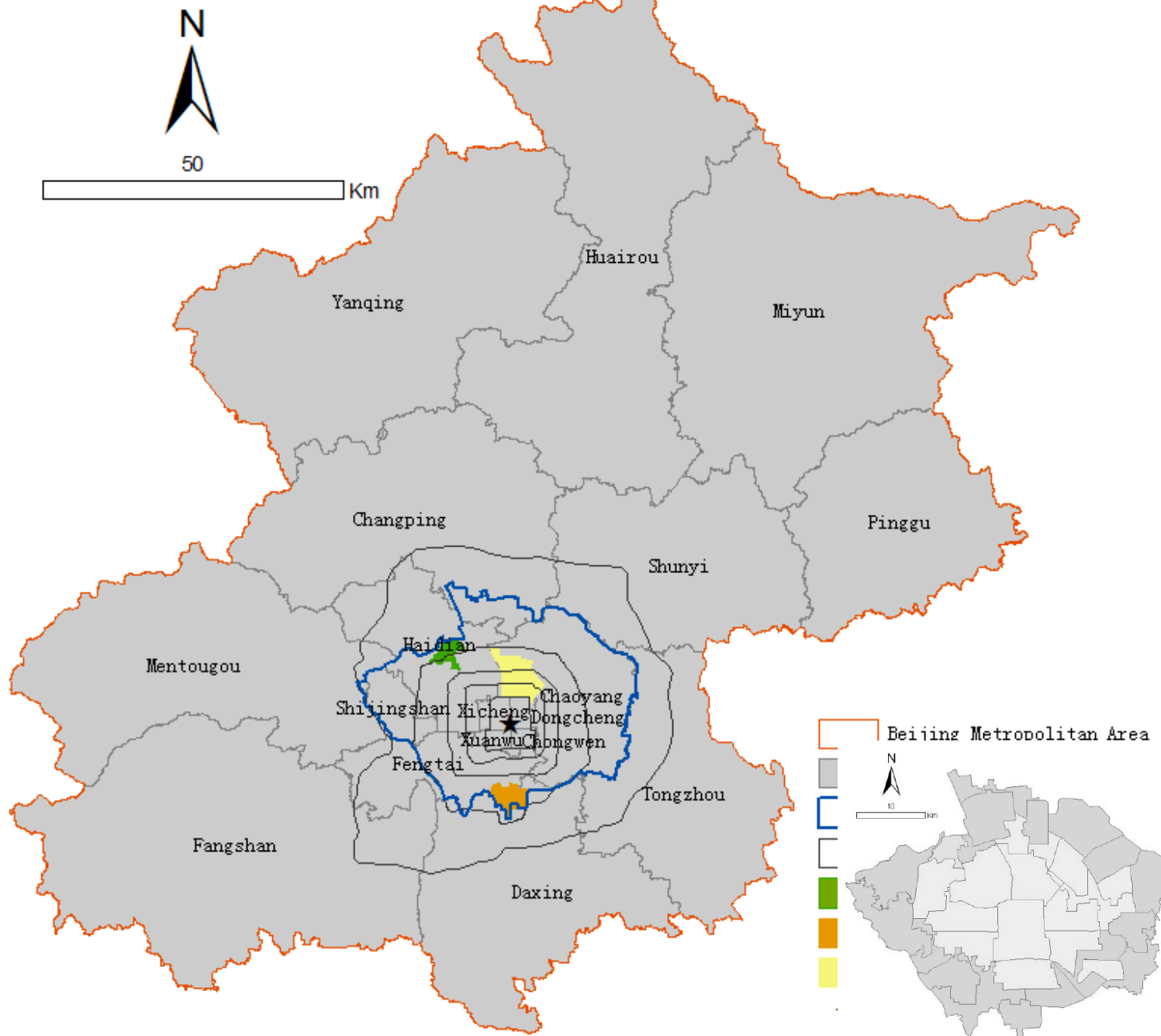
Coordinating land use patterns

The ideal land use pattern

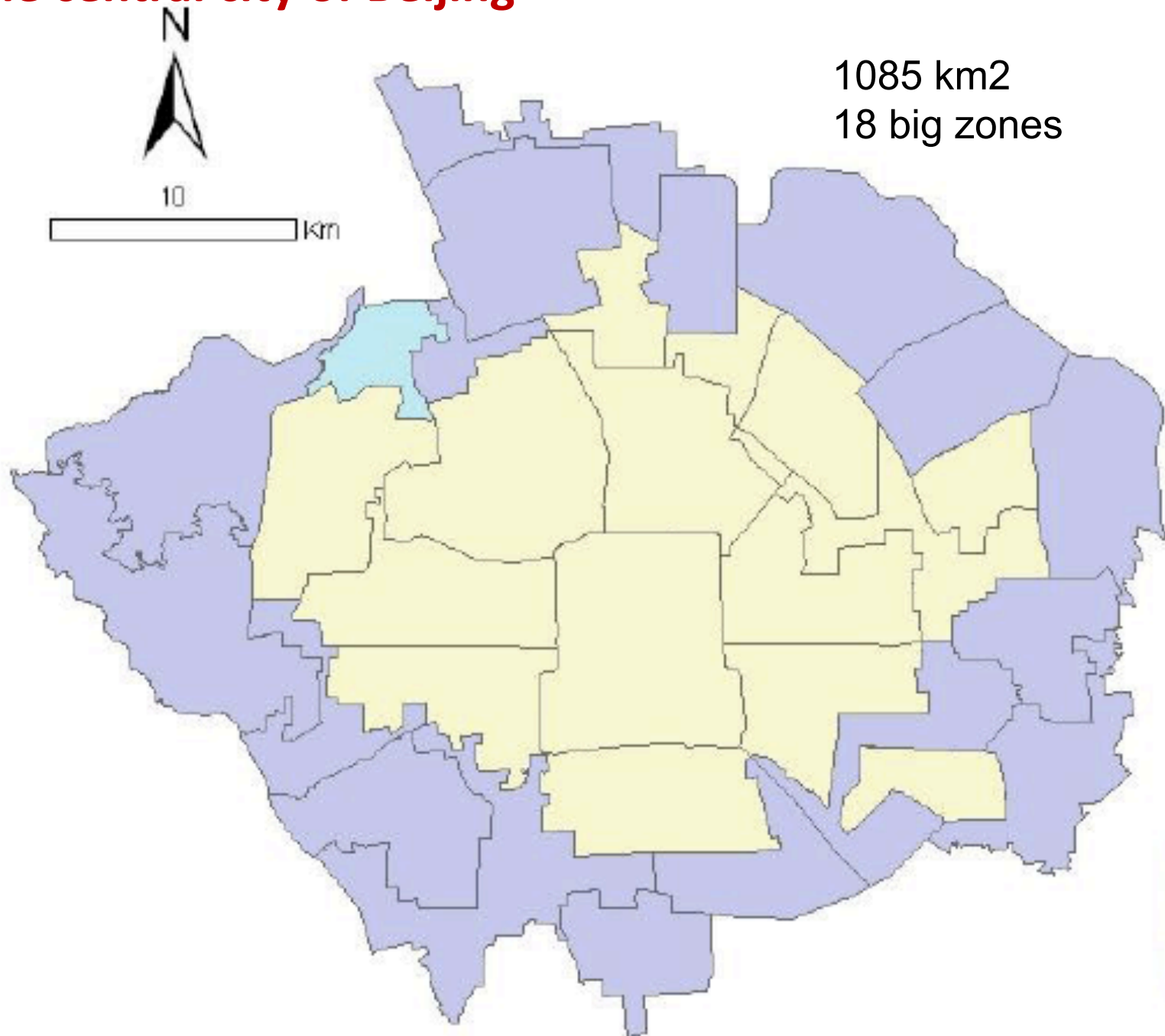
- Land use pattern evaluation
  - Spatial autocorrelation (Moran's I and LISA)
  - Landscape metrics using FRAGSTATS
  - FEE-MAS model (Long 2011)
    - Calculating potential transport energy consumption

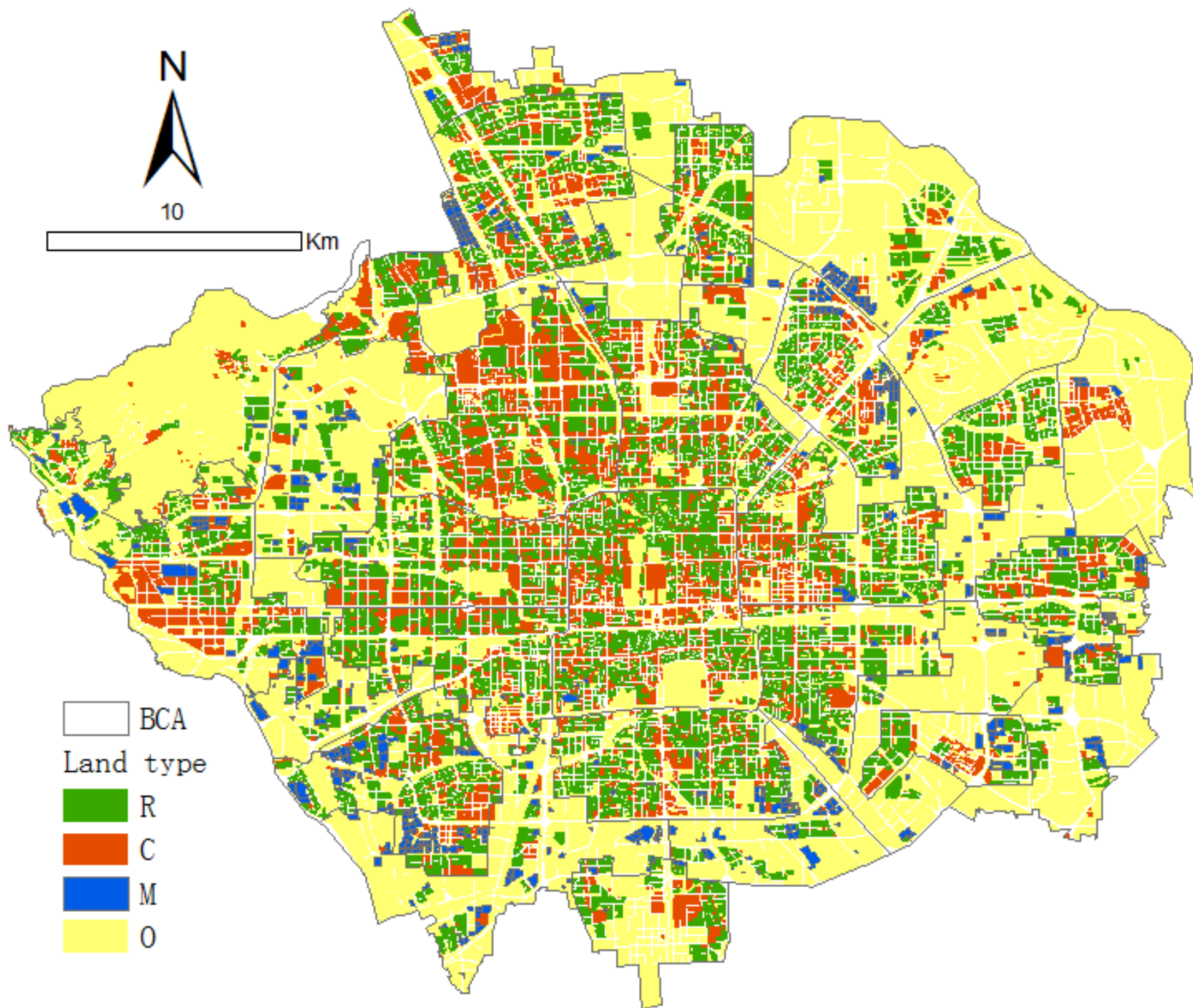
Note: the steps, for which the background is gray are considered in this article.

# Study area of the model: The central city of Beijing



# The central city of Beijing







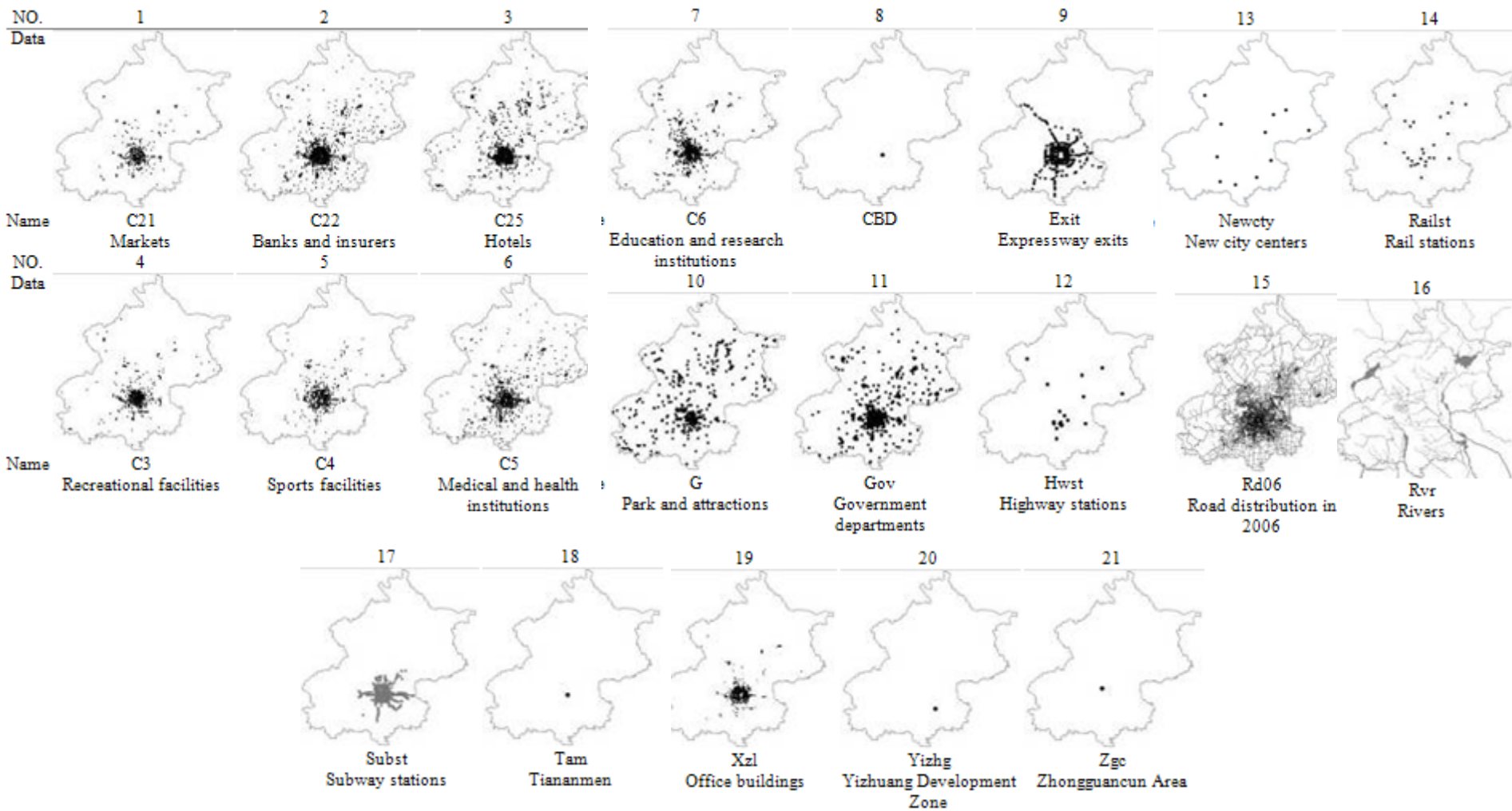
- Beijing Detailed Plan (-2020)
- Land use plan in each zone has been exclusively designed by a responsible planner, in 2007
- A perfect data for applying Planner Agents



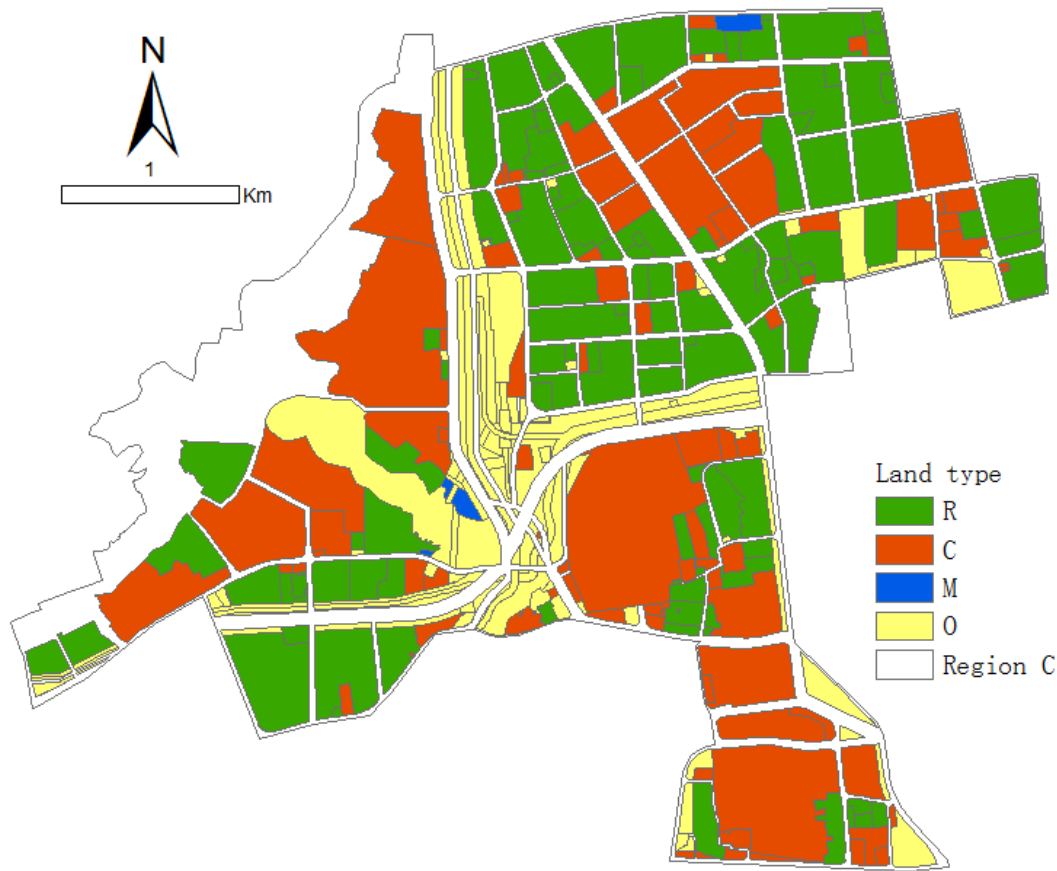




# 21 factors



# Zone 12 as an example



Land use type

	Number
R	114
C	97
M	4
O	121
Total	336

Parcel distribution

	Area (km <sup>2</sup> )	Percentage
R	43.85	0.41
C	44.41	0.41
M	0.47	0.004
O	18.94	0.18
Total	107.67	1.00



# Constraints



Extracted from Urban Containment Plan of Beijing  
See Long et al 2011 for details

# Identified rules using multinomial regression

Parameter	Weight		
	R	C	M
Intercept	-.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***

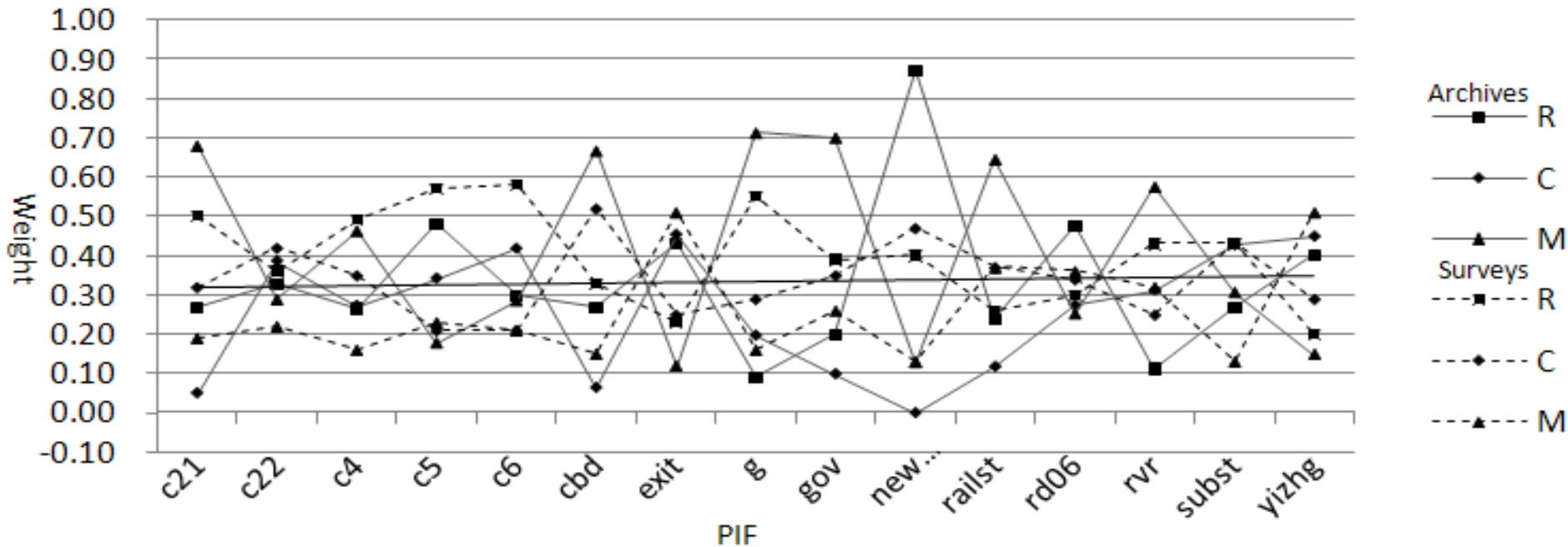
# Rules of the same planner, by questionnaire

Category	PIF	Weight			
		R	C	M	
1. Basic topography	1. Elevation	0.32	0.31	0.37	
	2. Slope	0.30	0.32	0.39	
2. Accessibilities					
2.1 Transport facilities	3. Airports	0.26	0.31	0.43	
	4. Rail stations	0.26	0.37	0.37	
	5. Highways	0.23	0.25	0.51	
	6. Main roads	0.30	0.34	0.36	
	7. Subway stations	0.43	0.43	0.13	
	8. Bus stops	0.42	0.40	0.19	
	2.2 Public facilities	9. Government departments	0.39	0.35	0.26
		10. Entertainment facilities	0.49	0.35	0.16
		11. Amenities (such as supermarkets)	0.50	0.32	0.19
		12. Medical and health institutions	0.57	0.21	0.23
		13. Educational and research institutions	0.58	0.21	0.21
		14. Banks and insurers	0.36	0.42	0.22
	2.3 Location	15. Parks and attractions	0.55	0.29	0.16
		16. CBD	0.33	0.52	0.15
		17. Town centers	0.40	0.47	0.13
18. Development zones		0.20	0.29	0.51	
3. Parcel properties	19. Rivers and wetlands	0.43	0.25	0.32	
	20. Current land use type	0.36	0.31	0.33	
	21. Parcel area	0.29	0.30	0.41	
	22. Land price	0.33	0.32	0.35	
4. Socioeconomic characteristics	23. Population density	0.36	0.41	0.23	
	24. Employment rate	0.30	0.37	0.32	
5. Environment	25. Air quality	0.46	0.34	0.21	
	26. Traffic noise	0.56	0.28	0.17	
	27. Vegetation coverage	0.49	0.28	0.23	
	28. NIMBY facilities	0.46	0.36	0.18	

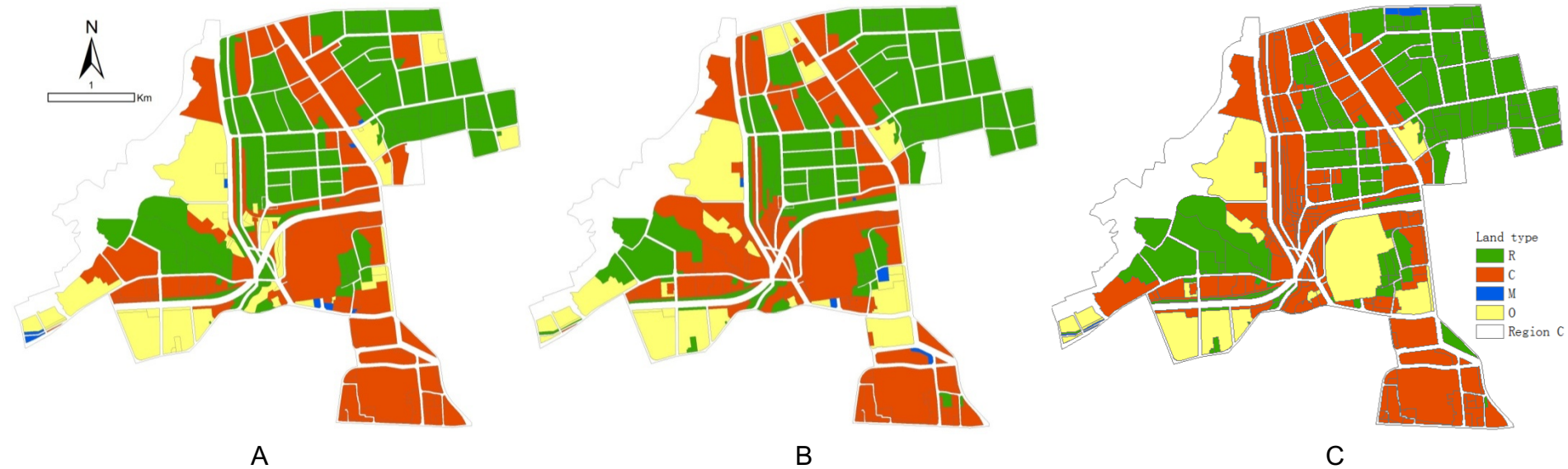
- Total 20 planners surveyed in BICP (planners) and PKU (plan students)
- Comparison to be conducted

# Comparison of mined and surveyed rules

*What has done and will do are generally different, in terms of taste of each land use on various factors.*



# Three scenarios by different planners



Land use type

R  
C  
M  
O  
Total

Parcel number  
(scenario A)

163  
116  
11  
46  
336

Parcel number  
(scenario B)

157  
146  
7  
26  
336

Parcel number  
(scenario C)

130  
182  
8  
16  
336



# Conclusions

- **Planner Agents for supporting land use pattern scenario analysis (LUPSA)**
  - Limited to land use plan in the master plan level
  - Identified rules by questionnaire and data mining
- **Tested in the hypothetical space and applied in Beijing**
  - Compile and evaluate land use plan quantitatively
- **Promising in promoting working efficiency of planners**



# 课后安排

- 阅读材料待放到课程网站
  - <https://www.beijingcitylab.com/courses/aium2018/>
- OPEN OFFICE HOUR
  - 每周二下午12:30-13:30
  - 需要提前通过info预约
  - [ylong@tsinghua.edu.cn](mailto:ylong@tsinghua.edu.cn), 新建筑馆501, 13661386623
- 答疑邮箱
  - [ylong@tsinghua.edu.cn](mailto:ylong@tsinghua.edu.cn)



北京城市实验室  
Beijing City Lab

<http://www.beijingcitylab.com>

