



# 城市空间规划和交通规划之有机联系：

## 基于二次分配模型的数学理论框架

——国家自然科学基金《城市交通治理现代化理论研究》梳理

准 备 人：付佳璐、佟路、周学松

汇报时间：2019年3月23日

C

# 目录 ontents

1

城市交通治理

2

交通与土地利用发展演化

3

模型

4

如何运用现有软件简化计算

5

应用

6


讨论



# 01

## 城市交通治理

---

- 一. 城市交通问题与特征演变
  - 二. 城市交通发展技术路线图简明解析
  - 三. “三元空间”理念
  - 四. 城市划定区域有机更新与城市减少机动车污染物排放
  - 五. 主要理论贡献
  - 六. 城市公共交通服务优化方法
- 

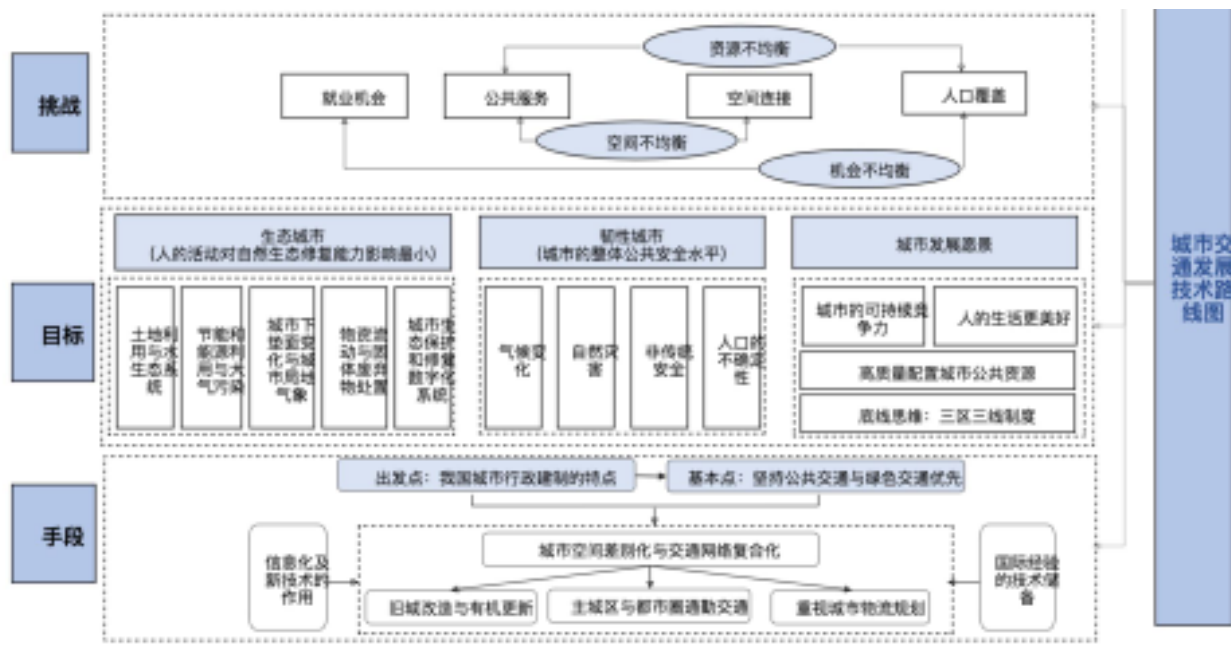
# (一) 城市交通问题与特征演变

核心关注	问题焦点	解决问题的学科知识	解决问题的核心理念与价值	解决问题的基本手段
交通资源配置	交通功能冲突	工程科学	功能合理，效率优先	政府管理
交通需求-供给匹配关系	交通政策选择	公共管理	公共选择，社会秩序	
多元交通需求间的矛盾	多元交通主体利益冲突	管理学、社会学	利益协调,公平优先	协同治理

- ◆ 城市交通治理三类重点场域：聚焦城镇化国家战略、城市公交优先发展现实困境、共享交通服务创新。
- ◆ 两大界面关系：
  - 第一，城市交通对新型城镇化的支撑关系。发挥交通引导城市发展的作用，通过交通治理落实以城市群为主体形态、以公交优先组织城市空间布局等国家确定的重大城市发展战略，并对新技术发展趋势下城市未来发展前景提出前瞻性引导策略。
  - 第二，城市交通内部多元主体间的合作关系。基于公共服务的基本属性定位，改变当前政府为主体的交通管理模式，构建政府主导，企业、社会组织、公众等多元主体“价值-信任-合作”新型关系，通过参与主体重组、权益关系重构、行为模式重塑与治理绩效重估，提升交通服务共建、共治能力与共享水平。

## （二）城市交通发展技术路线图简明解析

建立城市交通的数学模型的复杂性应该足够估计，特别影响因素错综复杂，愈烦琐可能愈无解。综合分析城市交通发展的技术路线图（如图所示），认为可以城市运行效率和减少机动车排放二个视角分别来研究，结合实践来分析评价，期望的结果是相互对比，甚至相互印证。



➤ 所谓“挑战”，人进入城市生存的选择。

➤ 所谓“目标”，人的活动愿望和城市发展（人的集聚地）应遵循规律性。

➤ 所谓“手段”，分析在行政制度和城市形态演变中人如何实现就业与居住以及休憩交通优化。

城市交通发展技术路线图

- 归结起来，城市集中建成区域与居住地区交通的通勤为主要内容的超大城市特大城市的都市圈交通。或者讲，**简洁为城市交通与土地利用的目标函数成本、时效、价格的优化。**

### (三) “三元空间”理念

信息化和大数据发展的背景下，促进城市交通治理人的理念和方法变化 ➡

杨东援：城市交通治理理论  
(同济大学交通工程学院教授)

城市交通治理是三元空间中的行动：

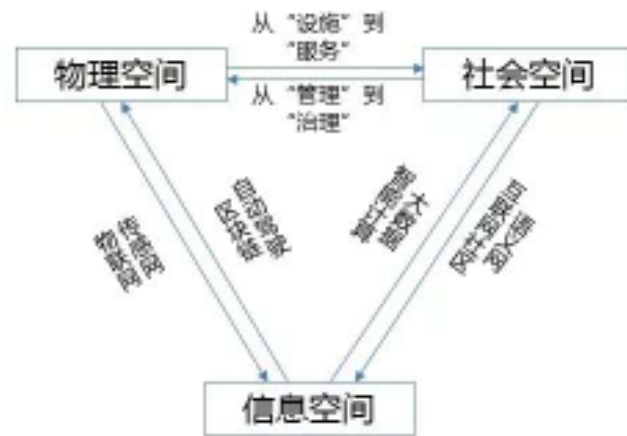
- 由管理到治理，并非只是在传统对策体系上贴上新标签，也不是传统技术的新瓶装旧酒；
- 将传统物理空间中的对策思维，扩展到社会空间和信息空间；
- 社会空间的思考：在政策建议中，通过建立价值共识，推动社会的共享共治；
- 信息空间的思考：在大数据环境下，围绕治理中的沟通要求，提出智能治理的概念，并对引发的技术问题加以解决。

同济大学交通运输工程学院 COLLEGE OF TRANSPORTATION ENGINEERING, TONGJI UNIVERSITY



#### 城市交通在“三元空间”中发生革命性变化

传感网、物联网等技术发展，使得信息不再依赖人类社会，直接来源于物理系统，从而形成具有很强独立性的一极；物理空间与社会空间的关系正在发生深刻的变化，从关注“效率”到关注“公平”，从关注“设施”到关注“服务”，从“管理”到“治理”；自动驾驶、车联网等技术，在扩大机动能力的同时，也产生了空间资源再分配问题，以及社会阶层生活质量进一步分化的可能性。



以沟通为基础的城市交通治理，需要研究在三元空间中的对策技术。

源于2018年中国城市交通规划年会杨东援教授  
《城市交通治理与大数据支撑技术》的报告

## （四）城市划定区域有机更新与城市减少机动车污染物排放

### 城市划定区域有机更新（如城市设计区域或划定限行区域）与城市减少机动车污染物排放

以NO<sub>2</sub>等为主度量，利用车载差分吸收光谱技术，基于被动DOAS原理，可获取高时空分辨率的大气中痕量气体柱浓度及柱浓度分布。进一步耦合柱浓度和风场数据，可得到监测点或区域的污染源排放通量。既可实现交通运行状态与交通排放的关联解析，又能从整体角度把握交通排放与区域总排放的关系，为制定城市低污染、生态发展政策提供技术支撑。





## （四）城市划定区域有机更新与城市减少机动车污染物排放

### 1、研究目标

- 基于实测数据，高时空分辨率解析交通流运行状态与交通排放间的动态耦合关系；
- 基于交通排放与城市污染的关系，建立面向空气质量控制的城市排放功能分区划分技术；
- 从交通治理的角度，构建面向城市排放功能分区的交通供给、需求协同调控技术。

### 2、研究方案设计

- 基础案例选择：《基于车载光学遥测技术的北京及京津冀大气面污染排放特征研究》的区域作为案例，深度分析已有数据，对比相关模型和方法，开展区域大气污染与交通治理协同研究。
- 适当时机选择中等规模城市或区域数据系统采集：利用车载光学遥测技术观测获取大气中痕量气体柱浓度、柱浓度分布以及排放通量，同步采集交通流运行数据（流量、车型车种、车速等）以及城市社会、经济数据，建立“城市发展-交通运行-污染排放”的动态闭环关系链。
- 技术手段：现场实际观测与理论建模仿真相结合，用实测数据标定理论模型，用仿真模拟测试多情景政策方案（如污染排放功能区划分、交通供需调控等）。



## (五) 主要理论贡献

城市交通学导论

张衡 编

同济大学出版社



<b>5 城市交通网络的构建和运行</b>	135
5.1 城市交通网络的层次结构	136
5.1.1 城市交通基础设施网络	137
5.1.2 城市交通路权分配网络	139
5.1.3 公交服务网络	143
<b>5.2 城市交通网络的技术构建</b>	148
5.2.1 城市交通网络的构成要素	148
5.2.2 地面道路系统	150
5.2.3 快速路系统	154
5.2.4 公共交通系统	157
5.2.5 停车系统	161
<b>5.3 城市交通网络的空间延展</b>	168
5.3.1 都市圈、城市群、城市网络与城市交通网络延展	168
5.3.2 城市交通网络在都市圈内的延展	169
5.3.3 城市对外交通枢纽的布局	178
5.3.4 城市交通网络与对外交通枢纽的衔接	181
参考文献	184

✓ 经典QAP（二次分配模型）的挖掘与应用

✓ IMLSP模型（集成多层交通和土地利用空间图的构建与分析）

✓ 拉格朗日计算模型（市场和政府调控手段）

✓ 融入劳动力市场的模型（可根据居住和就业岗位的数量变化寻求最优布局）

## （六）城市内部公共交通服务优化

### ➤ 城市公共交通服务协作共建与优化

#### 主要研究内容

政府主导的城市公共交通服务提供规制

市场化资源配置导向的公交服务生产机制

建立公共交通服务共建绩效评估方法


公共交通服务的网络协同优化与仿真技术研究



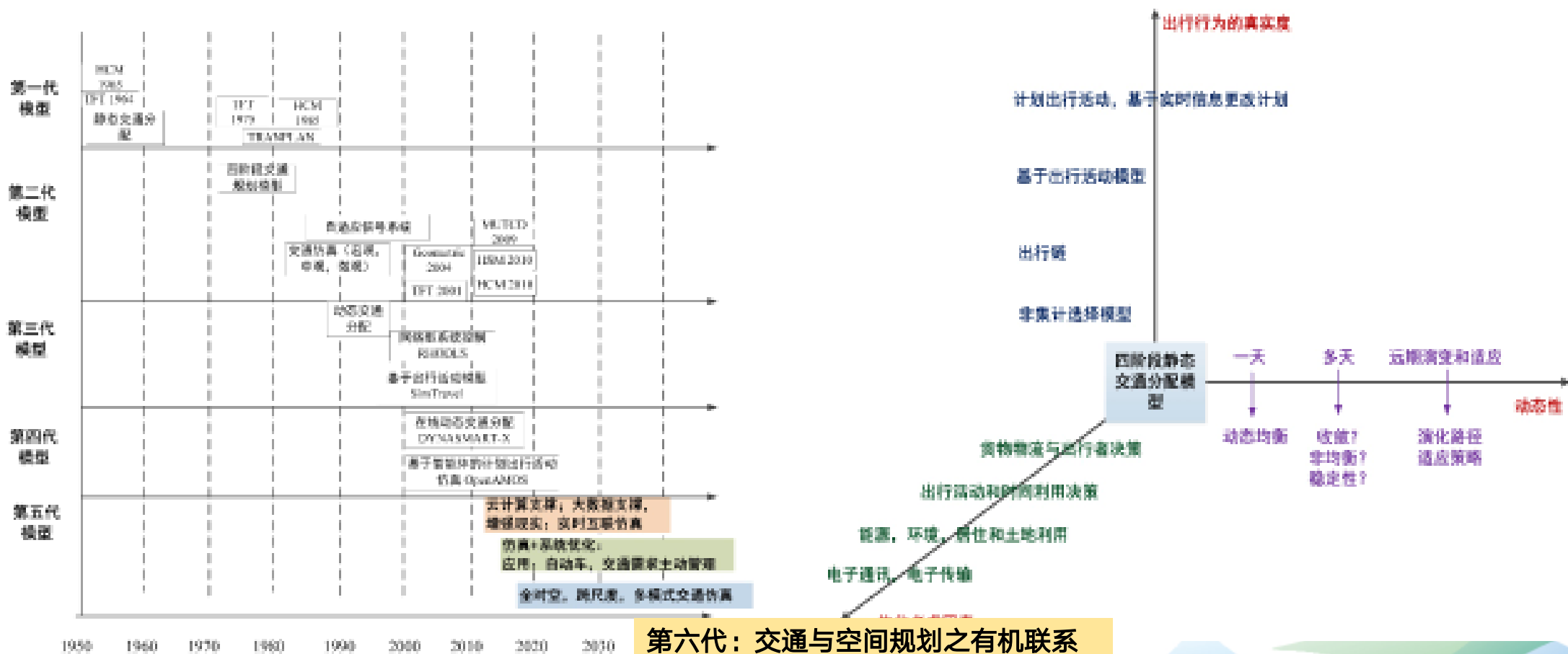
# 02

## 城市交通与土地发展演化

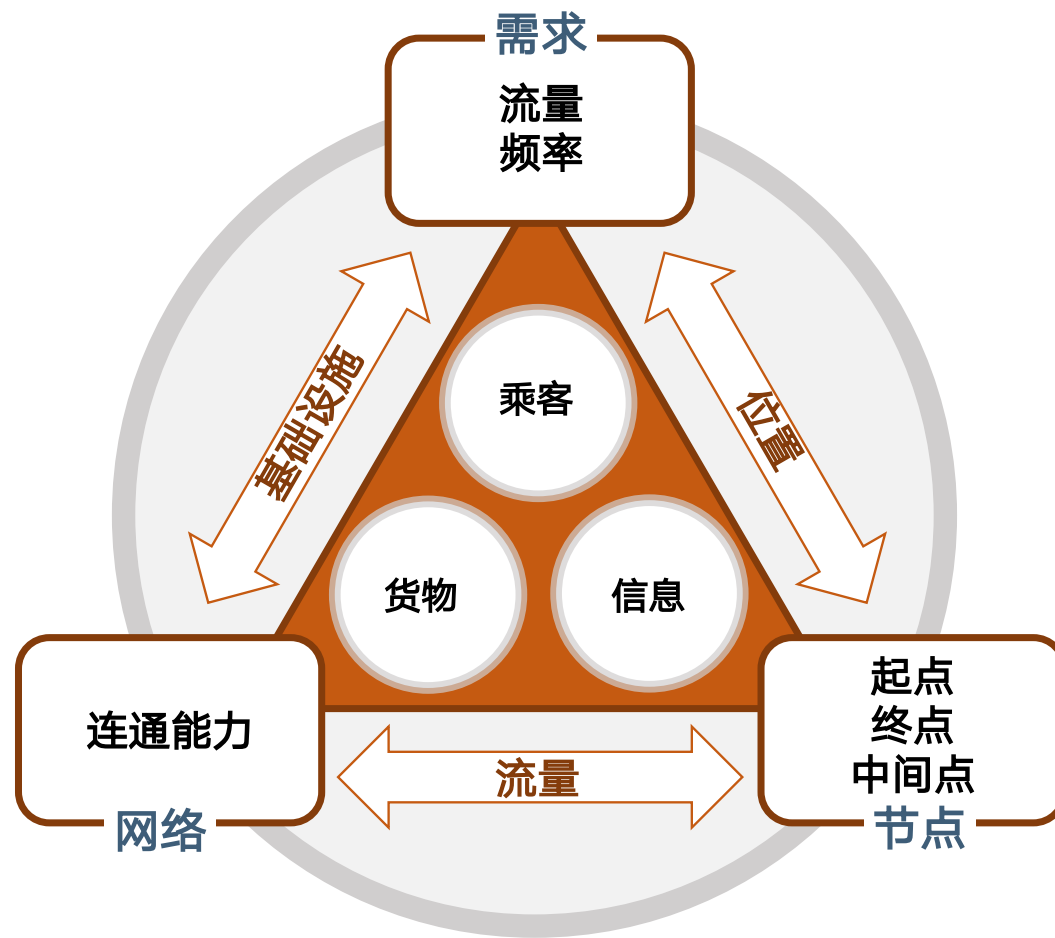
---

- 一. 历代交通模型技术演化历程
  - 二. 交通系统
  - 三. 交通与土地利用系统
  - 四. 城市动态变化
- 

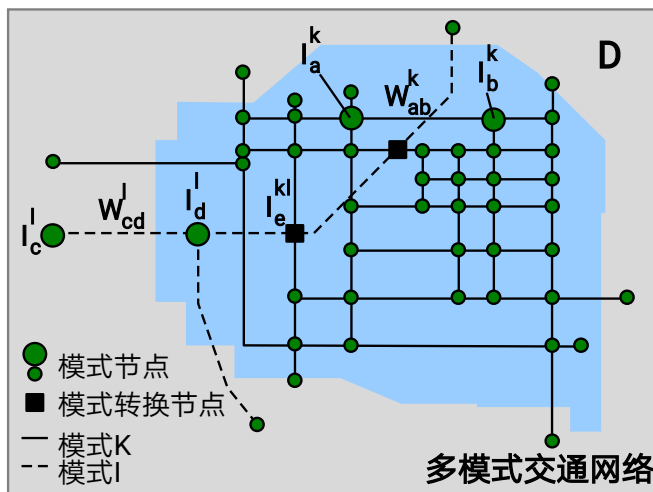
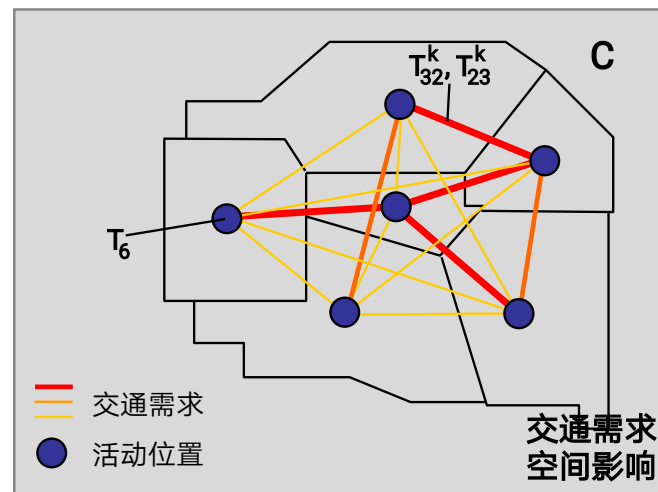
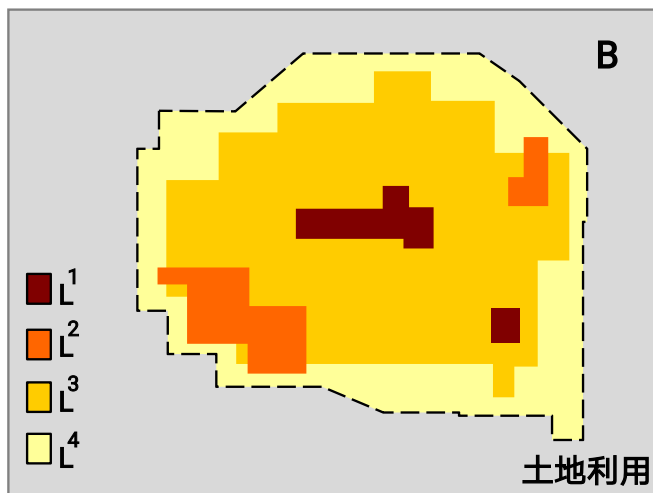
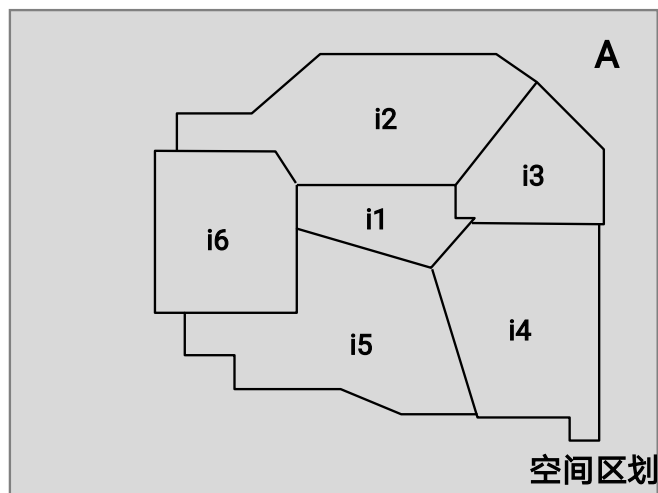
# (一) 历代交通模型技术演化历程



## (二) 交通系统

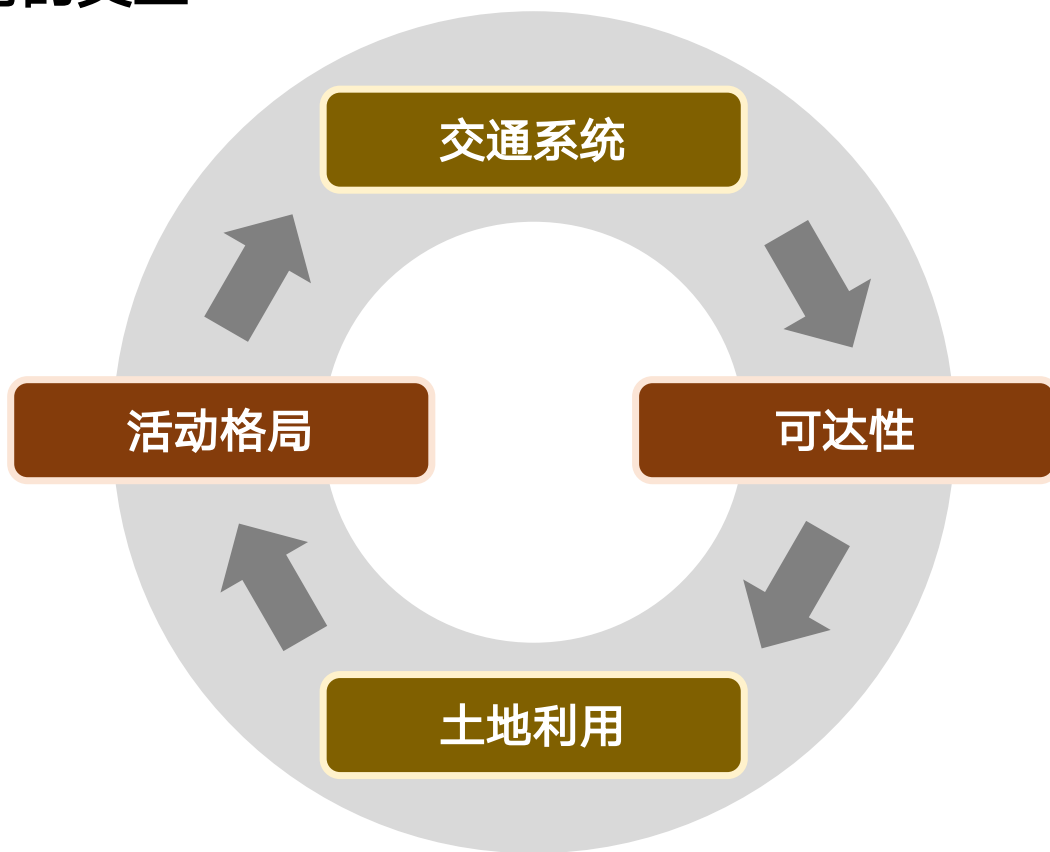


### (三) 交通和土地利用系统



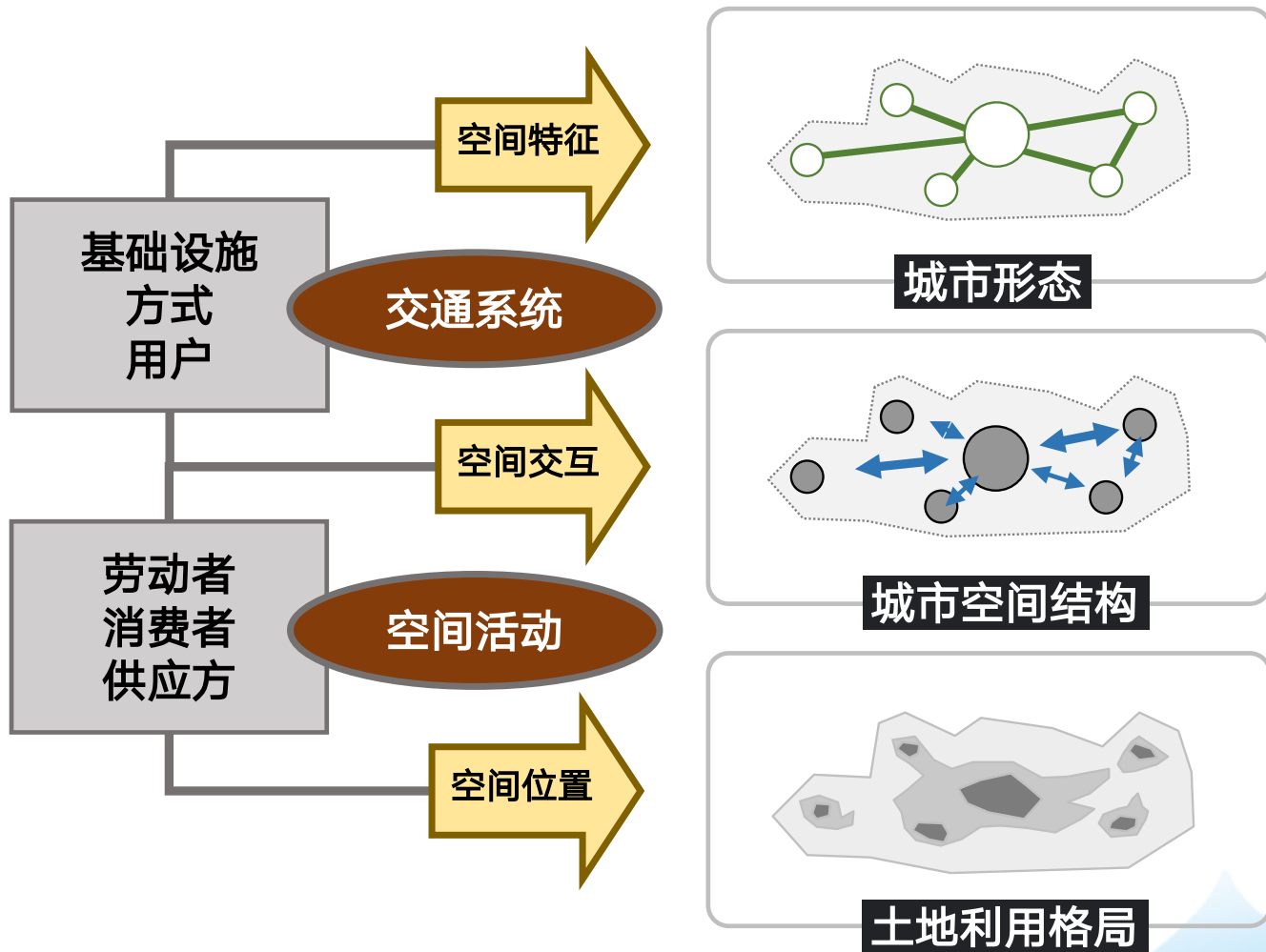
### (三) 交通和土地利用系统

#### 交通与土地利用的交互

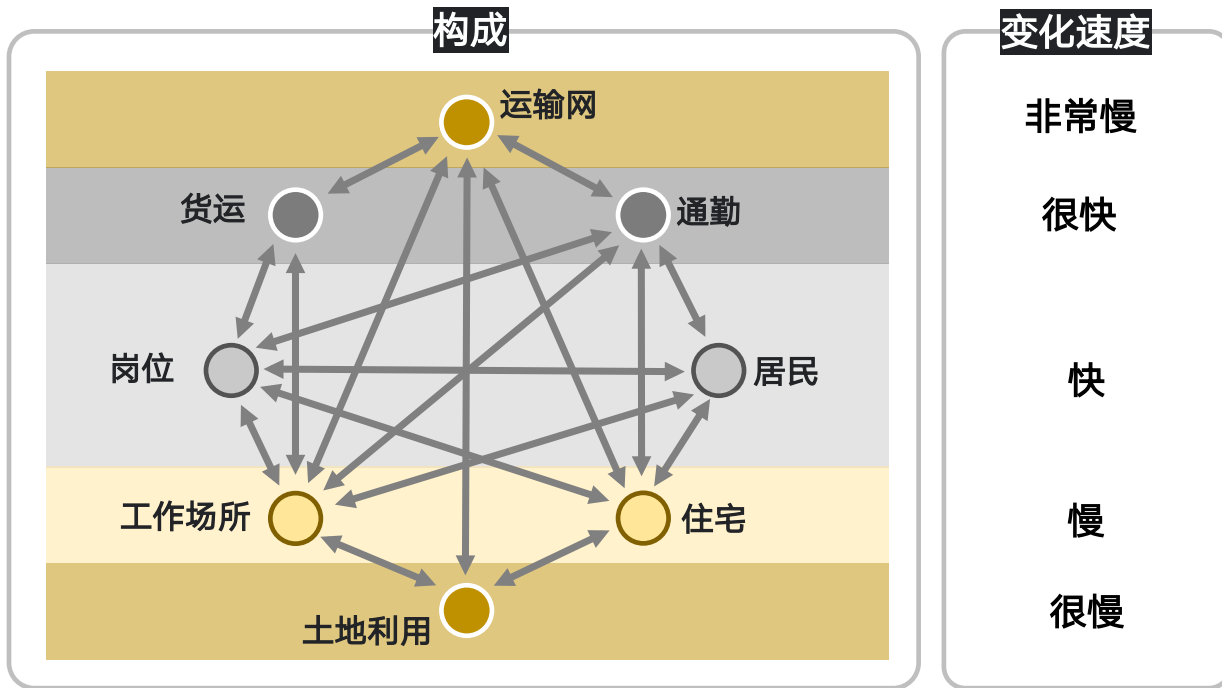




### (三) 交通和土地利用系统



## (四) 城市动态变化






# 03

## 模型

---

- 一. 城市交通科学发展理论脉络
  - 二. 经典QAP模型
  - 三. 集成多层次空间规划模型 (Reformulation of classical QAP)
  - 四. 考虑路段能力的集成多层次空间规划模型
- 

# (一) 城市交通科学发展理论脉络

## 从经典理论的观点看

治堵问题是困难的经济学问题，也是行为学问题和运筹学问题。

资源的最佳利用理论-空间经济学



特亚林·科普曼斯

诺贝尔奖获得者，1975

有限理性行为个体的选择问题



赫伯特·西蒙

诺贝尔奖获得者，1978

不对称信息中的博弈问题



约翰·纳什

诺贝尔奖获得者，1994

瓶颈资源下的定价问题



威廉·维克瑞

诺贝尔奖获得者，1996

基于离散选择模型的交通四阶段法



丹尼尔·麦克法登

诺贝尔奖获得者，2000

网络中的动态优化问题



理查德·贝尔曼

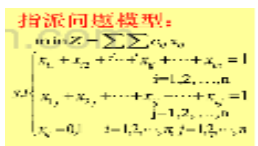
IEEE荣誉勋章获得者，1979

# (一) 城市交通科学发展理论脉络

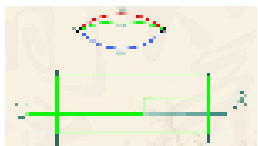
## 城市交通相关运筹理论发展脉络



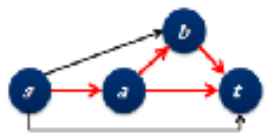
Transportation Problem  
运输问题



Assignment Problem  
指派问题



Traffic Assignment Problem  
交通分配问题



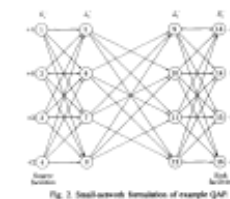
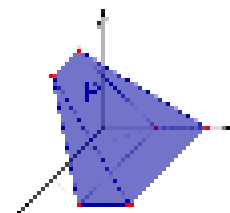
Multicommodity Flow Problem  
多商品流问题



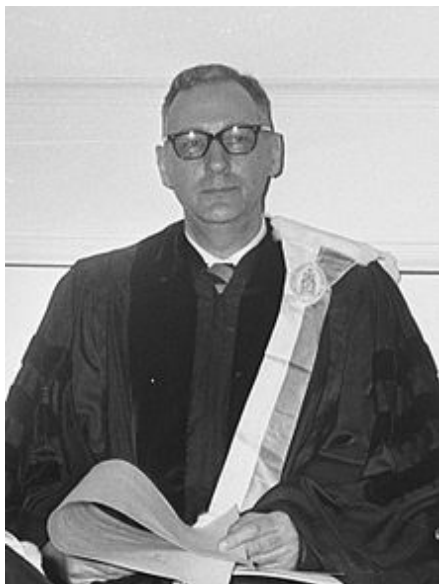
Network Design Problem  
网络设计问题

Linear Programming  
线性规划

Quadratic Assignment Problem  
二次分配模型



## (一) 城市交通科学发展理论脉络



**特亚林·科普曼斯** (1910.8.28-1985.2.26)  
荷兰经济学家  
美国经济学协会和计量经济学会会长  
**诺贝尔经济学奖, 1975**

- 特亚林·科普曼斯是1975年诺贝尔经济学奖的获奖者，第一个给出“**交通问题**”和“**指派问题**”的求解算法的人，第一个提出“**线性规划**”名称的人，与其学生M.Beckmann 共同提出**二次分配问题（QAP）**，并指导**贝克曼**写出**经典交通分配模型：系统最优平衡分配模型（SO）和用户均衡分配模型（UE）**。
- 科普曼斯早期关于哈特里-福克（Hartree-Fock）理论的工作与科普曼斯定理有关，这在量子化学中是众所周知的。考夫曼因其对资源分配领域的贡献，特别是资源的最佳利用理论，被授予诺贝尔奖（与Leonid Kantorovich合作）。获奖的工作重点是活动分析，生产投入和产出之间相互作用的研究，以及它们与经济效率和价格的关系。

## (二) 模型——经典QAP模型

### 模型一：经典QAP模型（可求解的规模小）

目标函数：

$$\min \sum_{i,j,k,l} [f_{ij}d_{kl}x_{ik}x_{lj}] + \sum_{i,k} [g_{ik}x_{ik}] + \sum_{l,j} [g_{lj}x_{lj}]$$

约束条件：

$$\sum_{k \in S} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in E \quad \sum_{i \in E} x_{ik} = 1 \quad \forall k \in S$$

$$\sum_{j \in E} x_{lj} = 1 \quad \forall l \in S \quad \sum_{l \in S} x_{lj} = 1 \quad \forall j \in E$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{功能区 } i \text{ 放在空间 } k \text{ 上} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad x_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{功能区 } j \text{ 放在空间 } l \text{ 上} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

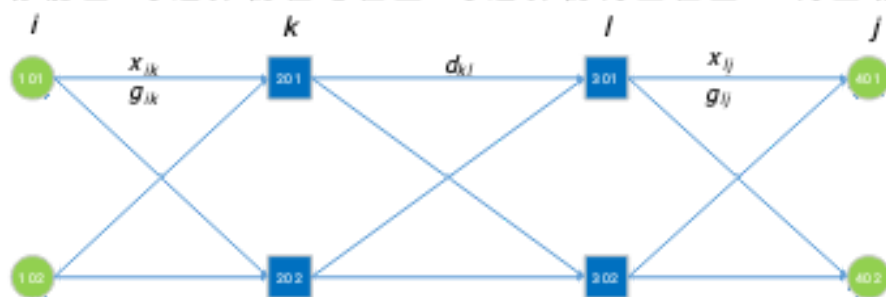
式中：  $f_{ij}$ ——功能区  $i$  和功能区  $j$  之间的交通流

$d_{kl}$ ——空间  $k$  和空间  $l$  之间的距离成本

$g_{ik}$ ——功能区  $i$  放在空间  $k$  上的成本

$g_{lj}$ ——功能区  $j$  放在空间  $l$  上的成本

住宅功能区    可选的住宅位置    可选的商业位置    商业功能区



功能区-位置匹配弧

交通网络中的实际路段





### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### 集成多层次空间规划模型(IMLSP—Integrated Multi-layer Spatial Planning Model)

目标函数:

$$\min \sum_a \sum_u \sum_v [c_{uv}(a) \times x_{uv}(a)]$$

流平衡约束条件:

对于出行者类智能体, 一个智能体代表两功能区之间的所有出行者

$$\sum_u x_{uv}(a) - \sum_v x_{vu}(a) = b_v(a) \quad \forall v, a$$

供给-需求平衡约束条件:

$$\sum_a [\alpha_{uv}(a) \times x_{uv}(a)] \leq \gamma_{uv} \quad \forall u, v$$

**决策变量**

式中:  $x_{uv}(a) = \begin{cases} 1 & \text{智能体 } a \text{ 选择在弧 } (u, v) \text{ 上通行} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$

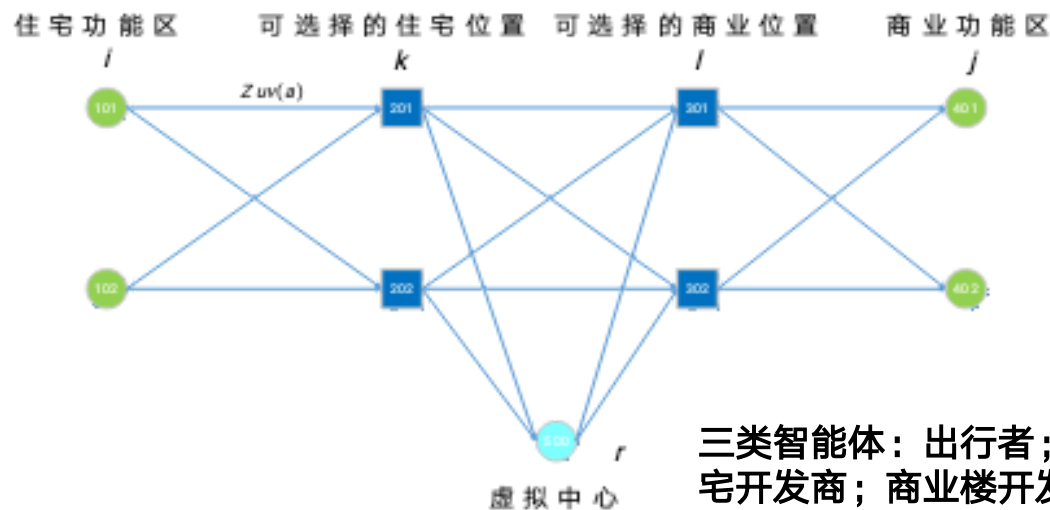
$c_{uv}(a)$ ——智能体  $a$  通过弧  $(u, v)$  的成本

$b_v(a)$ ——智能体  $a$  在点  $v$  处的网络流

$\alpha_{uv}(a)$ ——智能体  $a$  在弧  $(u, v)$  上的能力消耗/供给指数

$\gamma_{uv}$ ——参数

#### 集成多层交通和土地利用空间图



三类智能体: 出行者; 住宅开发商; 商业楼开发商



表示: (a)出行者的出行成本; (b)住宅开发商和商业楼开发商选择某一位置的成本; (c)政府允许某建筑物放在某一位置的成本

### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### 优化目标函数指标的设定

目标函数：广义 / 复合成本

出行距离

出行成本

出行时间

出行舒适度

土地价格

道路的交通状况的稳定性

道路拥堵情况

换乘次数

.....

绿色多模式

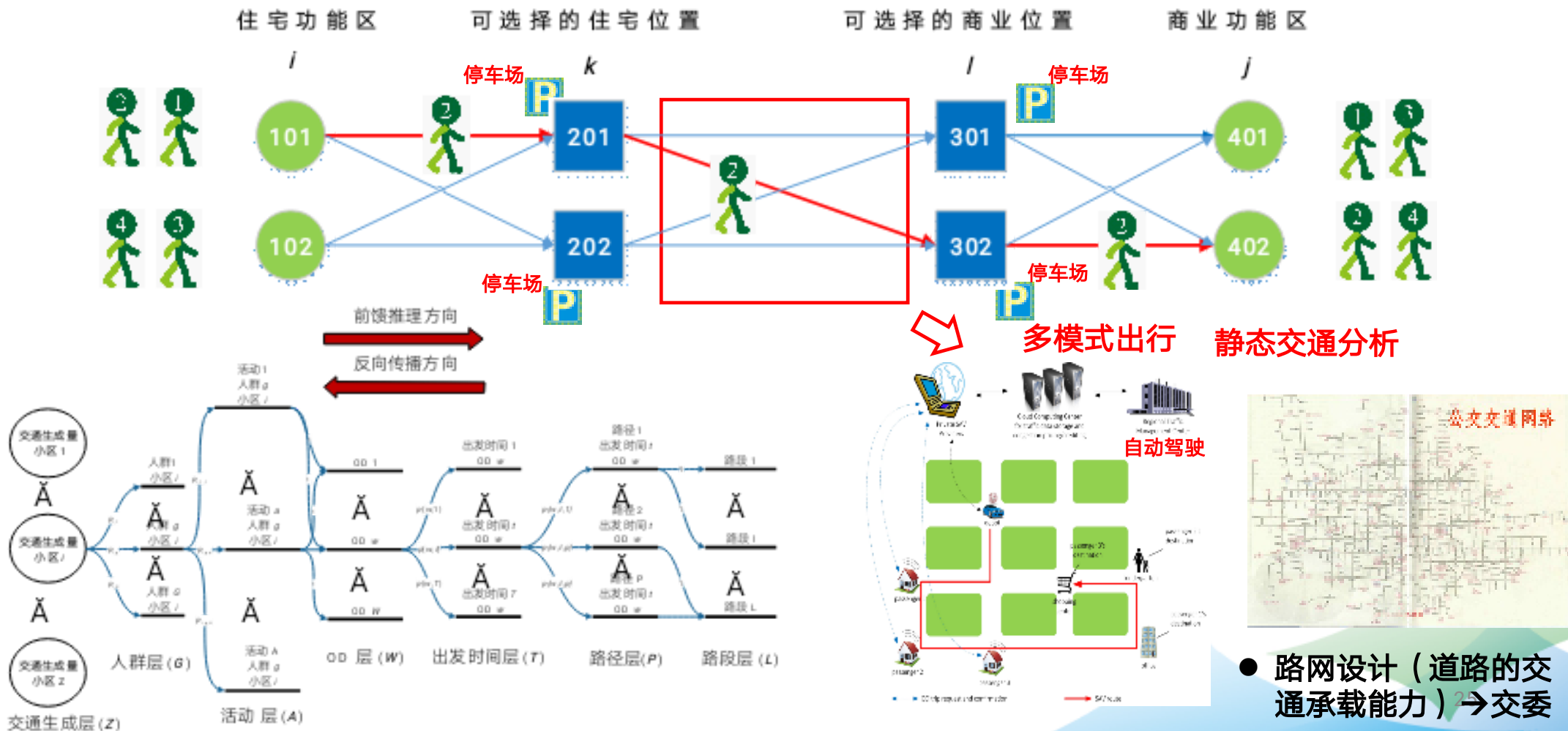
综合成本：多个指标的复合

简单成本：  
出行距离



### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### 第一层：交通流层（交通链）



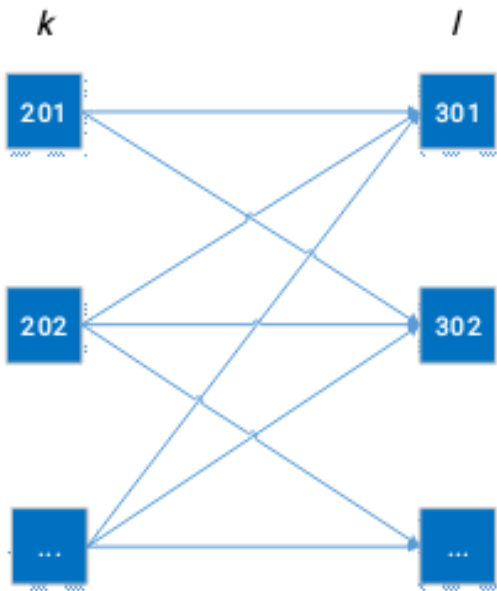


### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### IMLSP模型 (集成多层交通和土地利用空间图)

##### 第二层：土地利用层

可选择的住宅位置      可选择的商业位置



规划可以选择的住宅  
位置/商业位置→规委

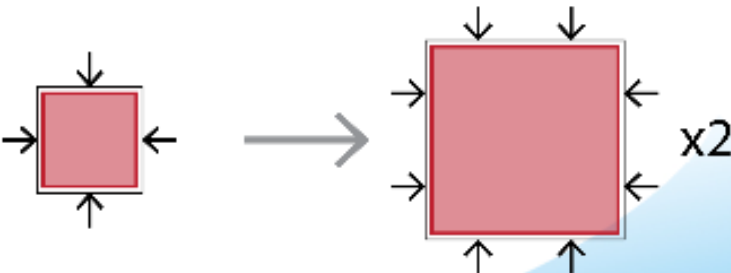
##### 交通与土地利用之间的关系

**城市病态扩张：**由于城市内部规划不合理，当人口的增加，城市内部已无存放建筑物的空间，故只能以“摊大饼”的形式往外扩张，导致中心内部的交通越来越拥堵，职住分离现象越来越明显，出行者的交通成本也越来越多。

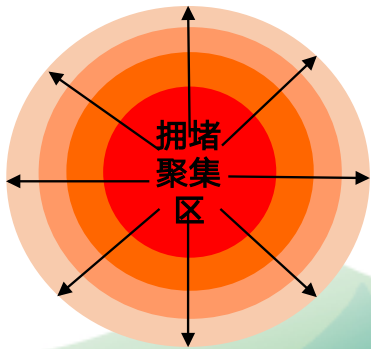
需求与面积成正比



供给与周长成正比



##### 城市病态扩张



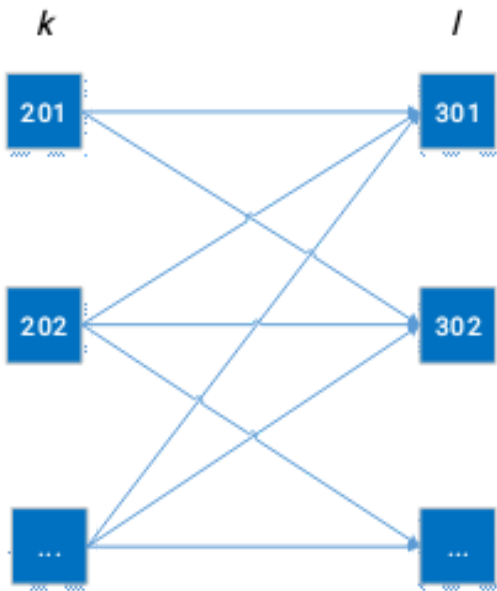


### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### IMLSP模型 (集成多层交通和土地利用空间图)

##### 第二层：土地利用层

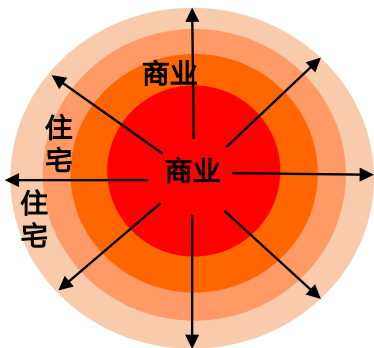
可选择的住宅位置      可选择的商业位置



规划可以选择的住宅  
位置/商业位置→规委

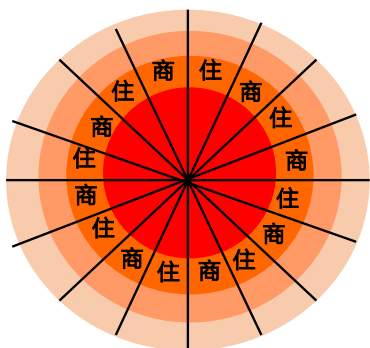
#### 交通与土地利用之间的关系

##### 城市病态扩张



不合理规划：随着商业的扩张，居住区只能越来越远离市中心

##### 合理规划扩张



合理规划：在城市内部应合理预留位置，以使用未来发展需要



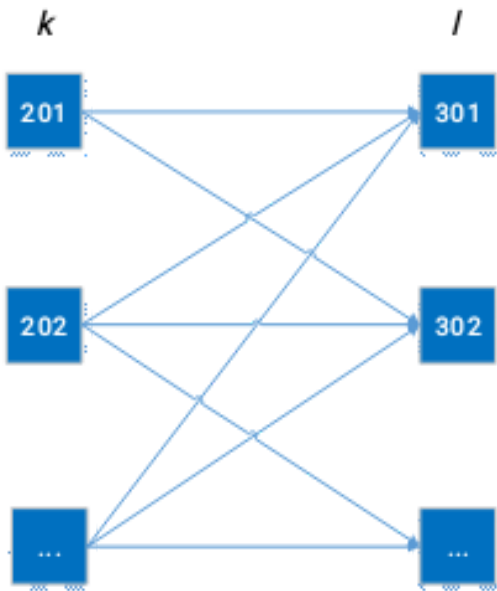
### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### IMLSP模型 (集成多层交通和土地利用空间图)

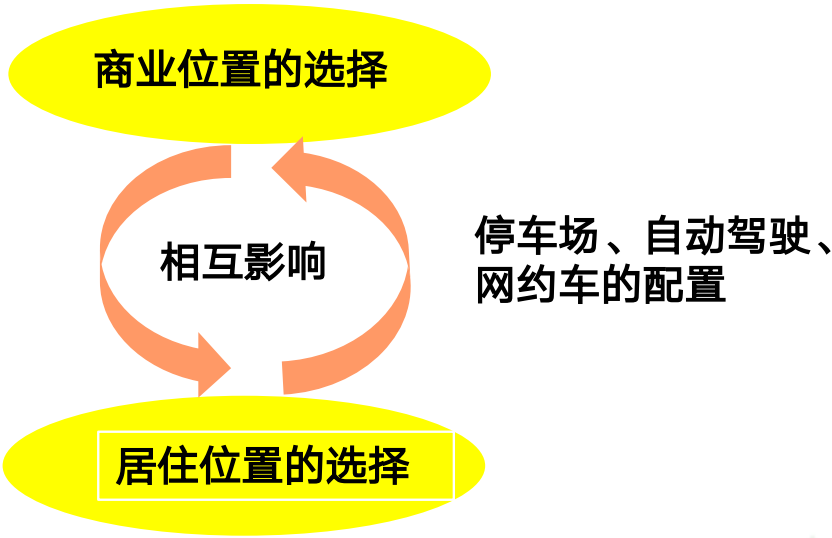
##### 第二层：土地利用层

##### 商业位置和住宅位置选取的相互影响

可选择的住宅位置      可选择的商业位置



规划可以选择的住宅  
位置/商业位置→规委





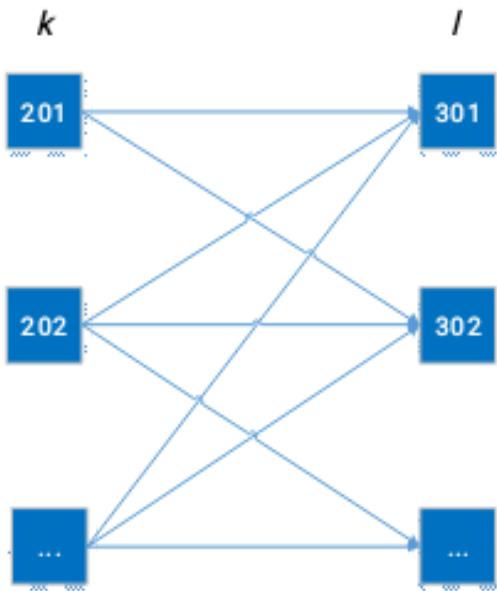
### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### IMLSP模型 (集成多层交通和土地利用空间图)

##### 第二层：土地利用层

##### 城市发展模式

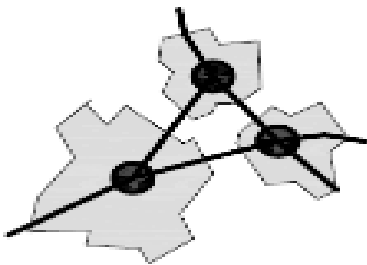
可选择的住宅位置      可选择的商业位置



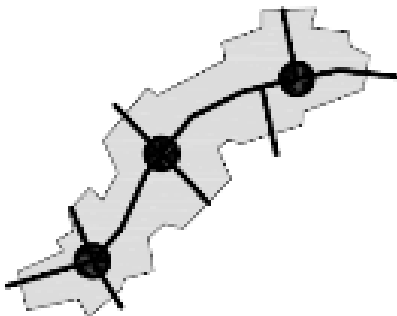
规划可以选择的住宅  
位置/商业位置→规委



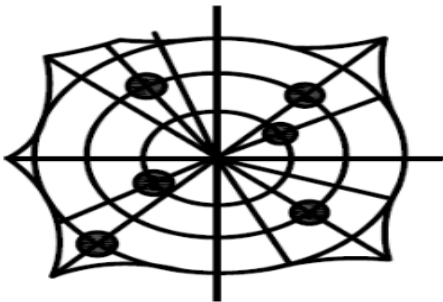
##### 多中心组团式结构



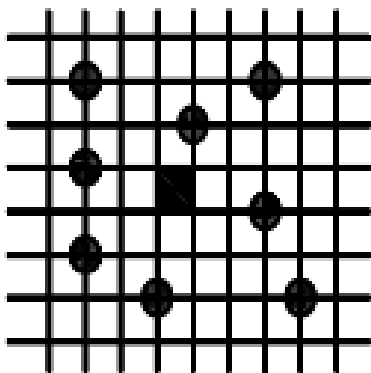
##### 带状结构



##### 环形放射状结构



##### 网格状结构







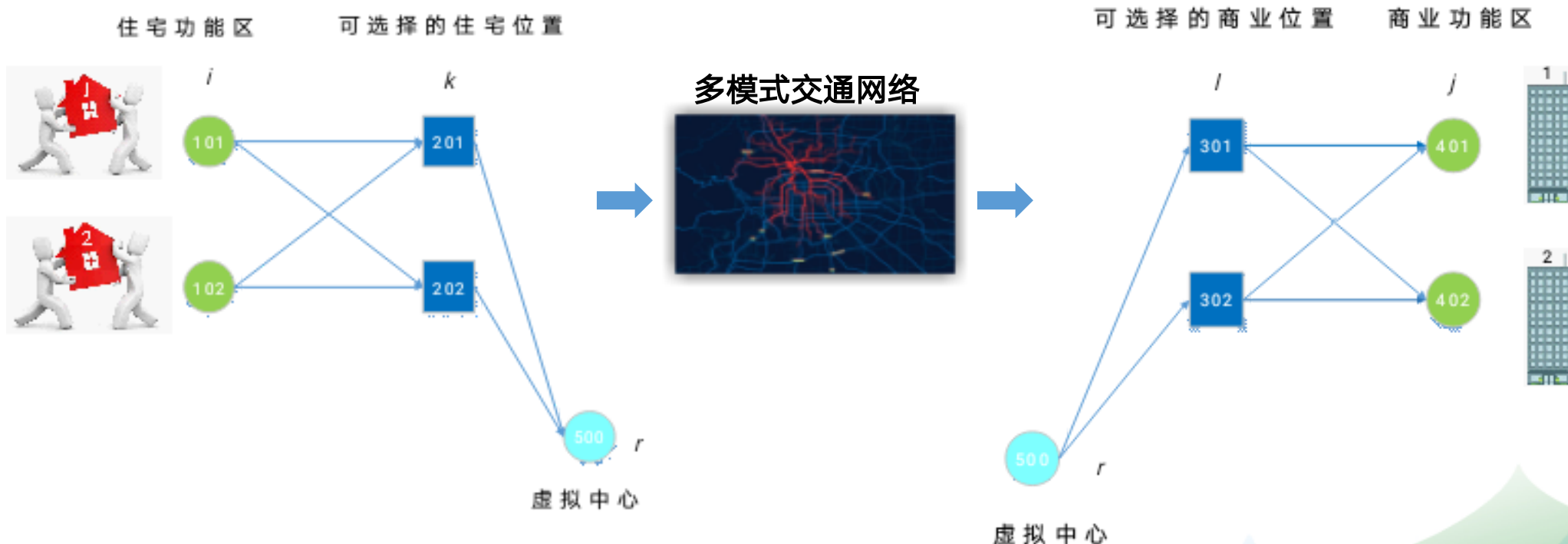
### (三) 模型二——集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

#### IMLSP模型 (集成多层交通和土地利用空间图)

第三层：住宅开发商选址

多元主体化

商业区开发商选址



代表人物：王石-万科 (住宅)

虚拟中心：政府

代表人物：王建林-万达 (商业)

## (四) 模型三——考虑路段能力的集成多层次空间规划模型 (IMLSP)

对于出行者类智能体，一个智能体代表一位出行者

目标函数：

$$\min \sum_a \sum_u \sum_v [c_{uv}(a) \times x_{uv}(a)]$$

流平衡约束条件：

$$\sum_u x_{uv}(a) - \sum_u x_{vu}(a) = b_v(a) \quad \forall v, a$$

供给-需求平衡约束条件：参数取值与前述模型不同

$$\sum_a [\alpha_{uv}(a) \times x_{uv}(a)] \leq \gamma_{uv} \quad \forall u, v$$

式中：决策变量  $x_{uv}(a) = \begin{cases} 1 & \text{智能体 } a \text{ 选择在弧 } (u, v) \text{ 上通行} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$

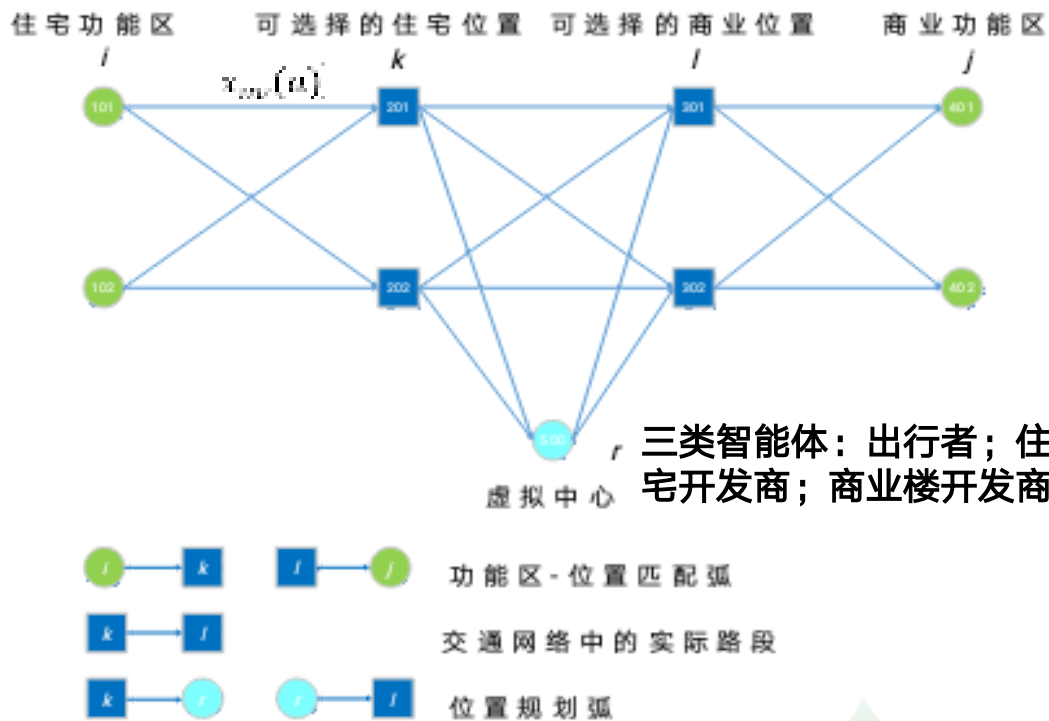
$c_{uv}(a)$ ——智能体  $a$  通过弧  $(u, v)$  的成本

$b_v(a)$ ——智能体  $a$  在点  $v$  处的网络流

$\alpha_{uv}(a)$ ——智能体  $a$  在弧  $(u, v)$  上的能力消耗/供给指数

$\gamma_{uv}$ ——参数

集成多层交通和土地利用空间图






# 04

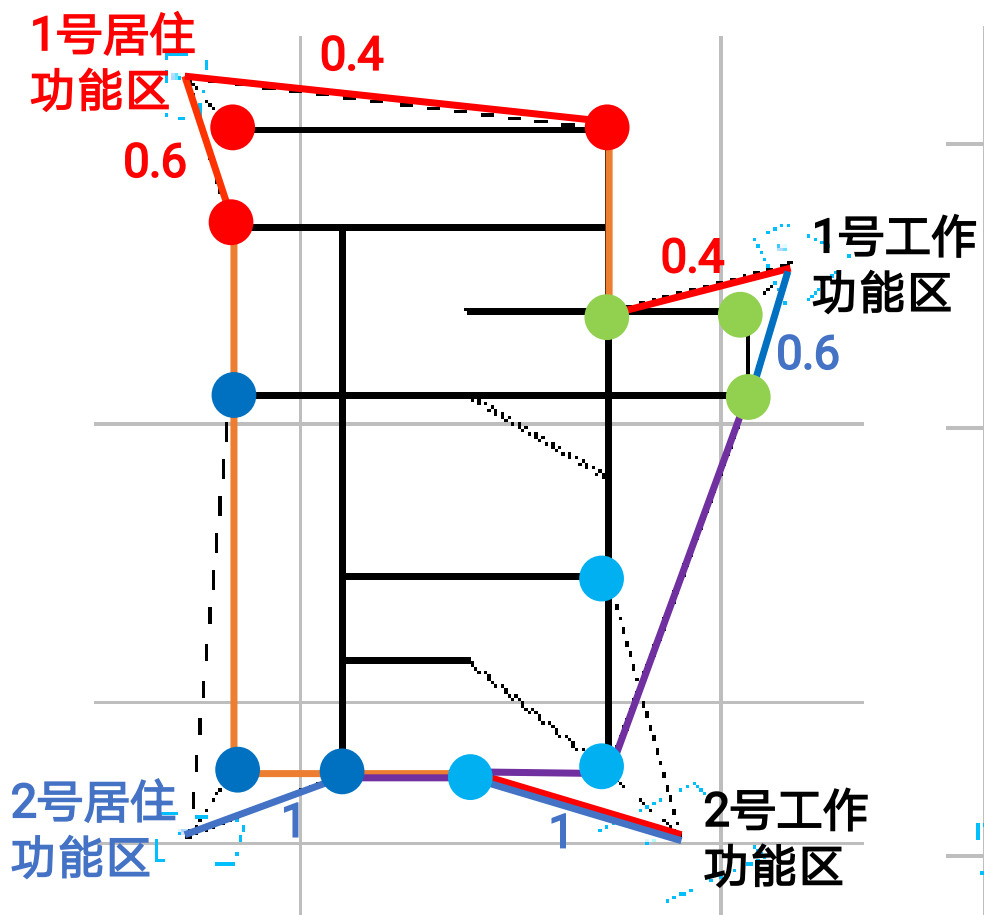
## 如何运用现有软件简化计算

---

- 一. 运用DTALite得到近似解
  - 二. 探索式求解方法
  - 三. 拉格朗日计算模型（调控手段）
- 

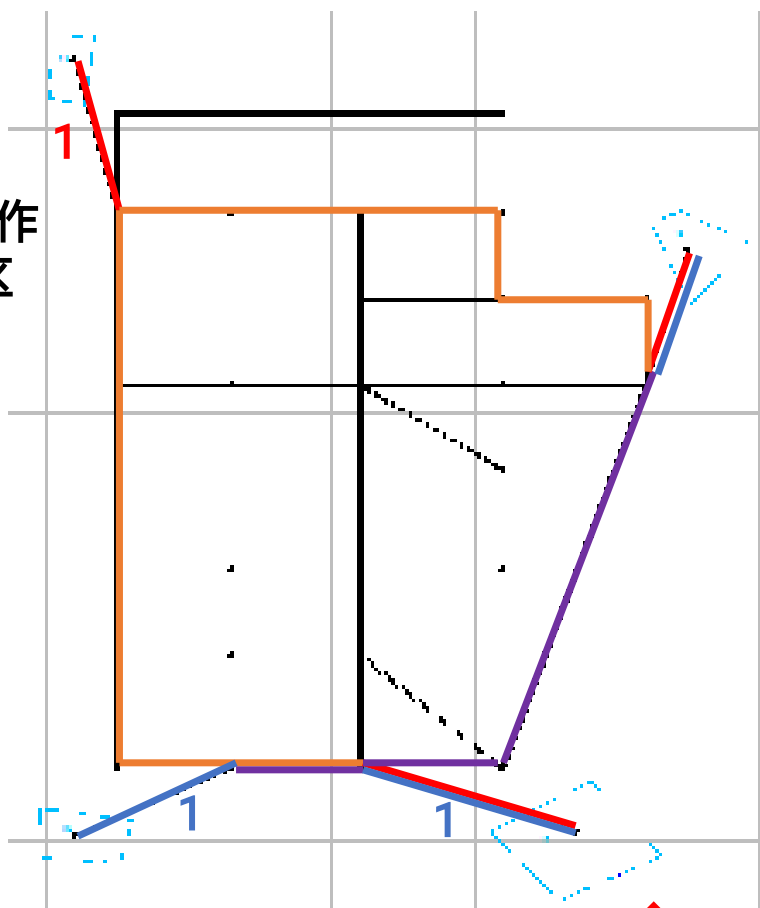
# (一) 运用DTALite得到近似解

决策准备



总出行时间：124956.24s

决策方案



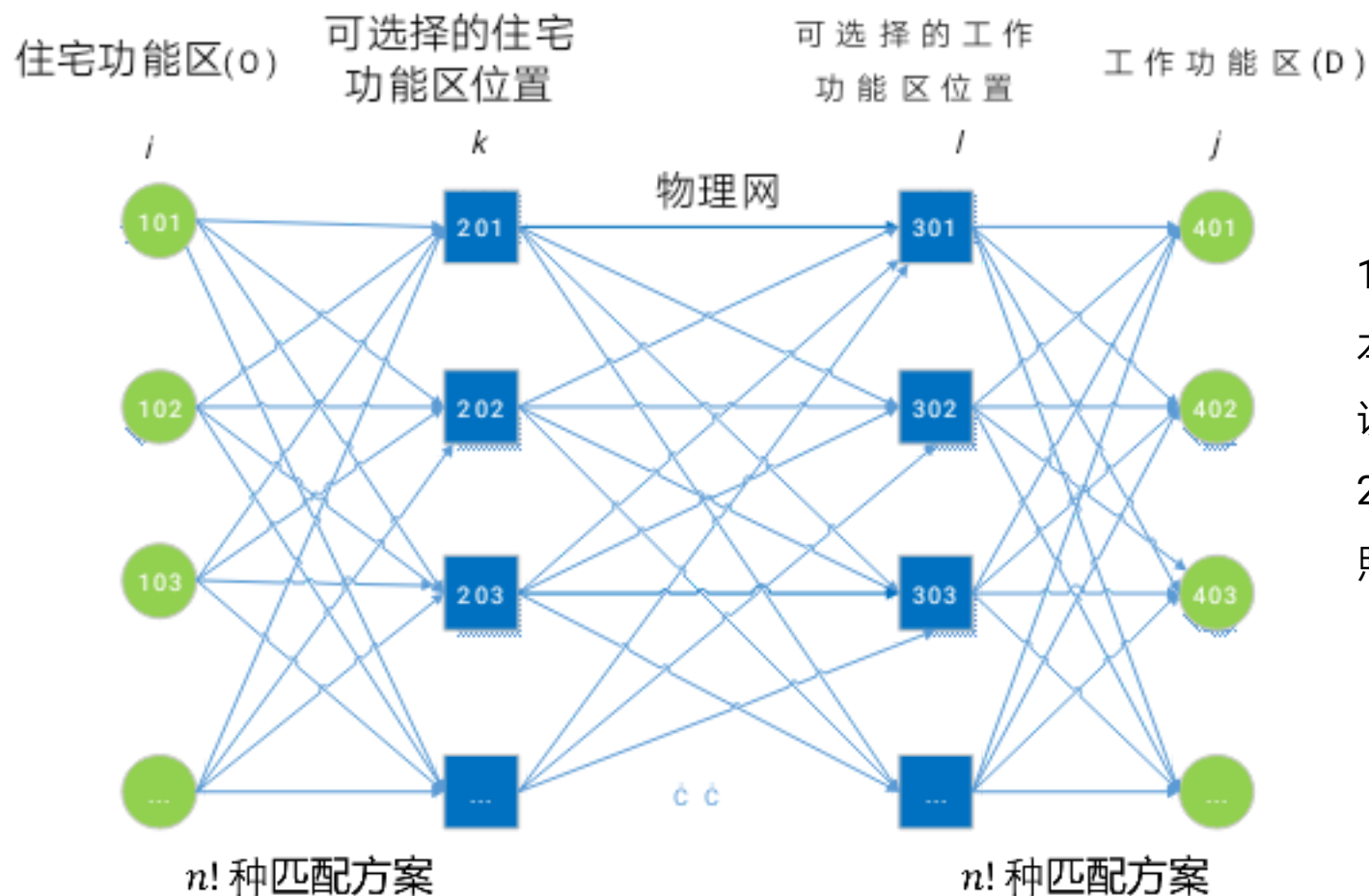
总出行时间：148959.34s

➡ 规模扩展

位置决策弧

各功能区可选择的位置

## (二) 探索式求解方法



- 1.找到OD量最大的建筑物对，和成本最小的位置对，将该对建筑物放在该位置对上。
- 2.再从余下的建筑物对和位置对，按照上述规则进行匹配。

### (三) 拉格朗日计算模型（调控手段）

求解困难：

- (1) 完全求最优解，不超过30个点。
- (2) 求近似解，无法获得更好的输入参数，以减小解的范围。

运用增广拉格朗日求解方法和ADMM，进一步转化模型求解：

✓ 目标函数：

$$\min \left[ \sum_a \sum_u \sum_v [c_{uv}(a) \times z_{uv}(a)] + \lambda \left( \gamma_{uv} - \sum_a [\alpha_{uv}(a) \times z_{uv}(a)] \right) + \frac{\rho}{2} \left( \gamma_{uv} - \sum_a [\alpha_{uv}(a) \times z_{uv}(a)] \right)^2 \right]$$

流平衡约束条件：

$$\sum_u z_{uv}(a) - \sum_u z_{vu}(a) = b_v(a) \quad \forall v, a$$

此项可转化为线性

$\lambda$ ——房价

$\rho$ ——规委和交委（政府）

ADMM：基于市场机制和政府机制和环境下，做结构化分解，转化成智能体的子问题，并且智能体之间可互相传递它们之间的信息。

# 05

## 应用

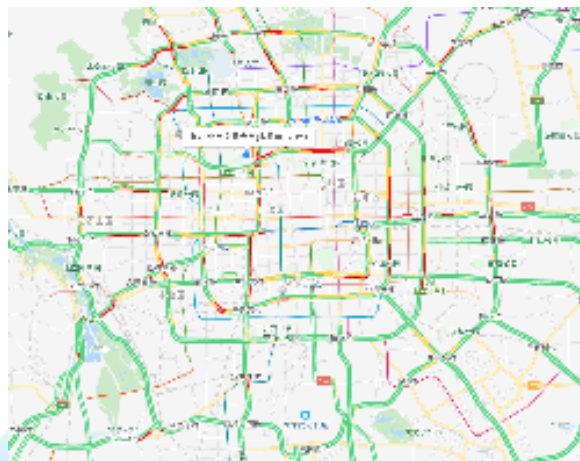
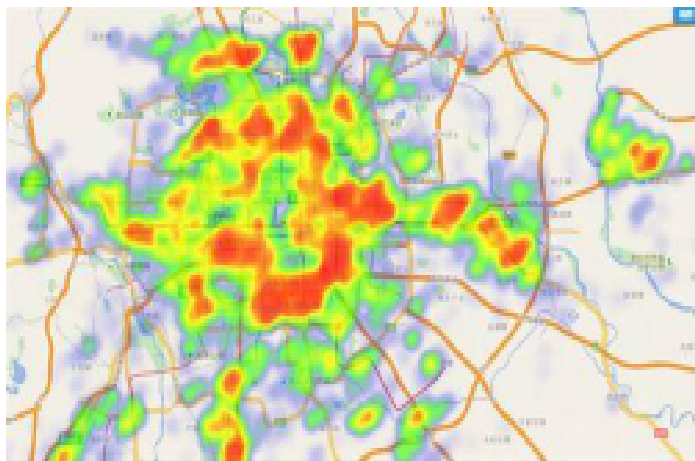
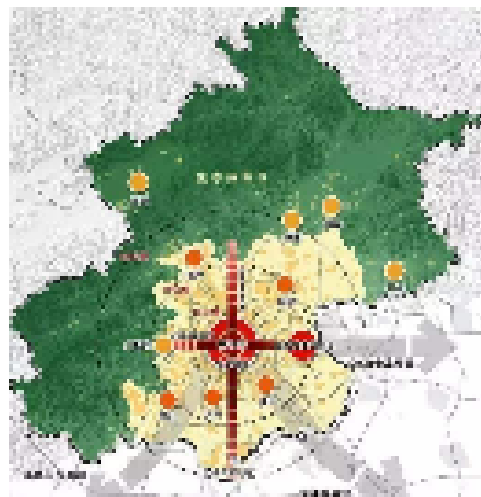
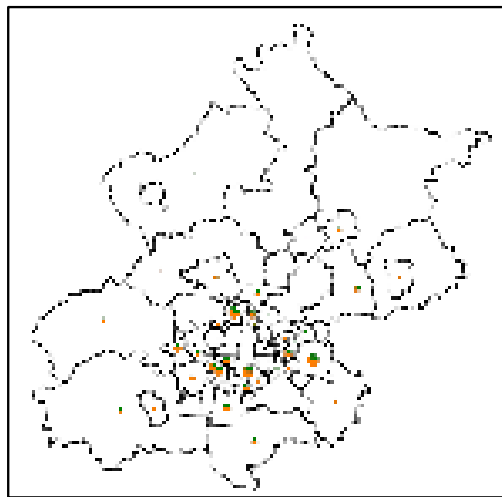
- 一. 基于K-core分析我国城市交通需求特征
- 二. 基于计算图方法的交通行为和需求估计
- 三. 多模式仿真模型框架--DTALite-S多模式仿真平台



## （一）基于K-core的复杂网络重要节点影响力研究-分析城市交通需求特征-

### □ 如何挖掘城市中的重要节点？

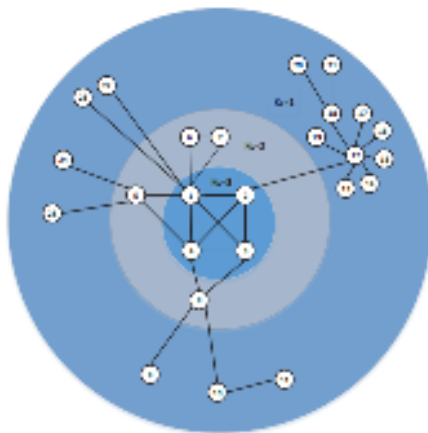
- 手机信令等大数据分析（出行活跃点）
  - 城市规划中产业规划布局（组团）
  - 居民职住地点选择（通勤OD）
  - 交通网络中的重要节点（交通瓶颈）
- 
- 把握重要节点，抓住主要问题
  - 集中力量解决主要矛盾



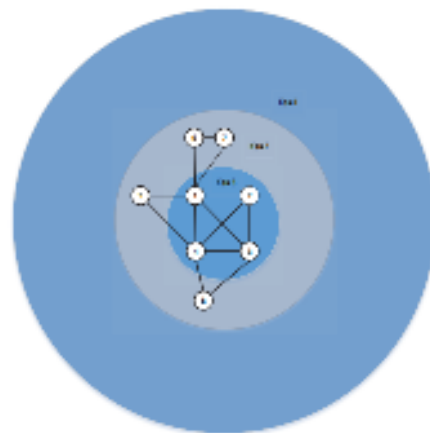
## (一) 基于K-core的复杂网络重要节点影响力研究-分析城市交通需求特征-

**K-core算法：**粗粒度划分复杂网络，把网络由边缘至中心划分成若干层，每一层有若干个节点。

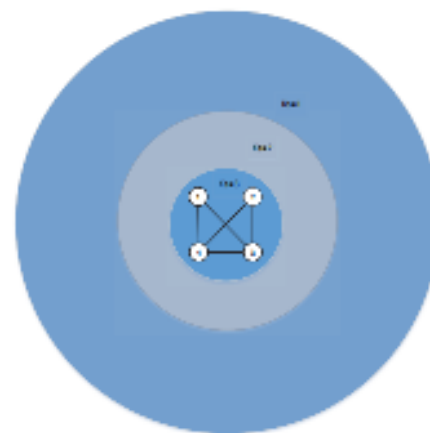
- 节点所处的层数 表明了节点在整个网络中的重要程度。
- 处于网络中心位置的节点，即便度很小，由于其位置的优势，影响力也可以很大。
- 而处于边界位置的节点，即便度很大，由于位置受限，其影响力并不大。



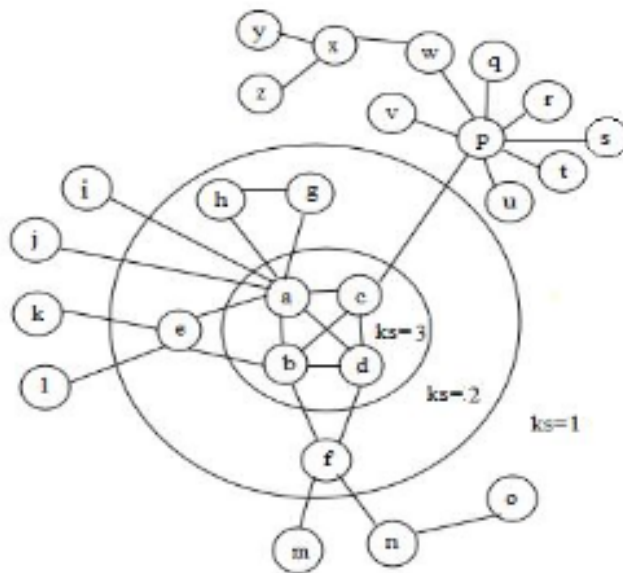
(a) 第一层分解



(b) 第二层分解



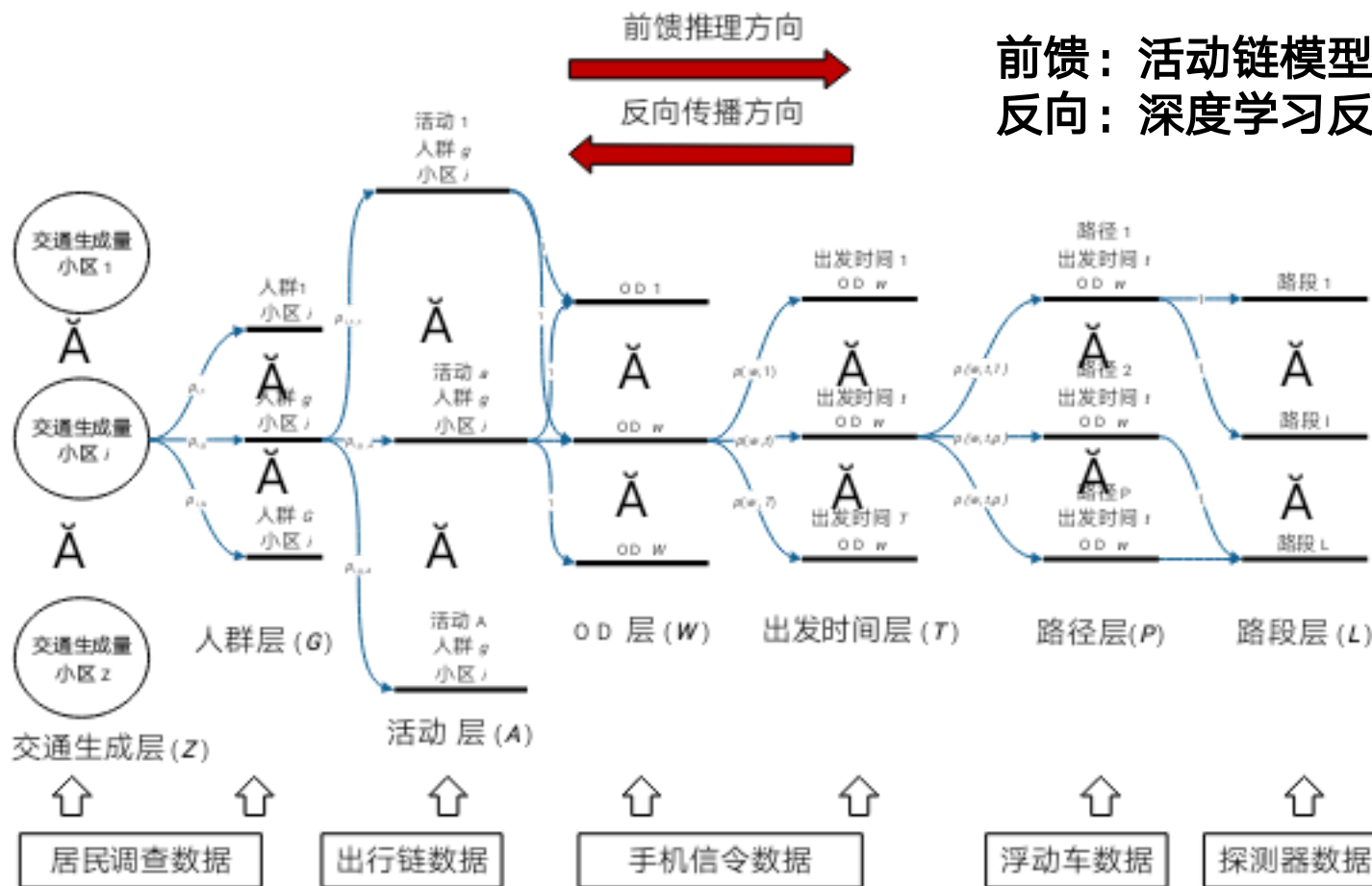
(c) 最后一层分解



**K值越高的节点，在复杂网络中的影响力越高**

## (二) 基于计算图方法的交通行为和需求估计

### 多重数据校验



运用多层次计算图，分析有限的公交资源下，公共交通需求与服务质量的关系，即公共交通的拥堵溯源。

### （三）多模式仿真模型框架-DTALite-S多模式仿真平台

#### 已发表文章

研究突破点：

- 1、多模式交通出行可达性理论
- 2、多模式出行时空流理论
- 3、堵点分析方法理论
- 4、多模式出行平衡流理论
- 5、多模式交通出行Activity-travel



[Urban Rail Transit](#)

March 2019, Volume 5, Issue 1, pp 1–18 | Cite as

#### Open-Source Public Transportation Mobility Simulation Engine DTALite-S: A Discretized Space-Time Network-Based Modeling Framework for Bridging Multi-agent Simulation and Optimization

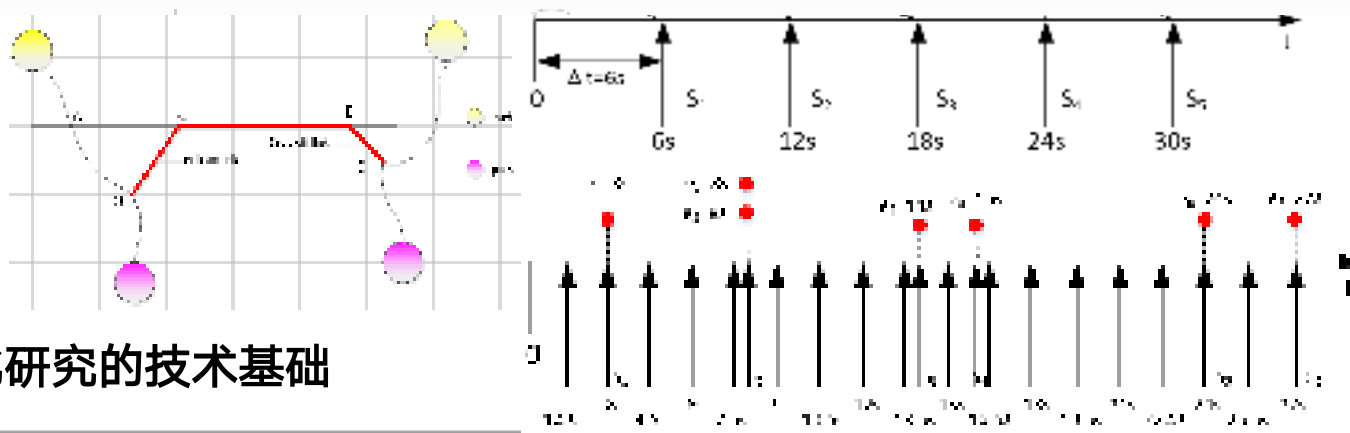
Authors

Authors and affiliations

Lu Tong, Yuyao Pan, Han Shang, Jihu Guo, Kai Xian, Xuesong Zhou

- 特点1 增加pick up弧和drop off弧
- 特点2 simulation **time variable**

多模式仿真框架，作为公交服务资源优化研究的技术基础





06

讨论

---



## 模型优势：

1. 把政府干预以虚拟中心方式加入模型，而传统规划模型没有多元主体的概念。
2. 用机器深度学习方法，通过前馈推理与反馈传播来做方案评价的工具，空间粒度能做到建筑物。

**回应：**目前模型仍主要采用传统运筹学方法求解，暂时还未用到机器深度学习方  
法，后续研究中可根据需要考虑采用。

1. 网络构建模型如何体现城市发展模式转变？能否把生态城市和韧性城市要素考虑进去，优化目标不仅仅是出行成本最小。

**回应：**将目标函数设为一种广义成本或复合成本，例如城市交通与土地利用的目标函数为成本、时效、价格等的优化，不同的目标函数体现了城市不同的发展目标导向。

2. 模型如何进行流量—方式选择—环保—拥堵之间的关系互动评价？利用模型的有限预测能力，分析政府调控（如对网约车的调控、自动驾驶等）产生的效果。

**回应：**模型能够反应“流量—环保—拥堵”的互动关系，暂时尚不能进行包含“方式选择”的关系互动评价，例如某一区域设为生态区，则开发商不能选择该区域建设其他功能区，开发商会另选地址，此时模型可以预测在设定某区域为生态区域时，整体的路网是否拥堵。

3. 当道路网中部分道路和路段通行能力下降时，能开展系统整体运行水平的反馈评估。

**回应：**通过修改模型中的 $\gamma_{uv}$ 和 $\alpha_{uv}$ 参数，即可调整路网中路段的通行能力，修改后，即可得到在通行能力条件下对应的最优布局即路网的整体运行情况。

4. 能够针对交通方式链（组合出行）进行建模仿真，当方式链中某一方式环节出现故障，出行需求能够重新分布。

回应：模型中暂时未引入多种交通方式组合出行，目前模型中能够实现的是当交通基础设施出现故障时，交通流量在路网中的重新分配；基于劳动人口的模型可以实现当交通基础设施布局出现重大调整交通需求的重新适应性分布。

5. 能否在模型中评价居住和就业岗位增量规划更合理的方案？

回应：当居住和就业岗位的需求增加时，则在模型输入阶段输入更多的需求即可；若规划区域可提供的居住位置的数量和就业岗位数量增加时，则可通过修改参数 $\alpha_{mn}(a)$ 实现，该参数可调整在功能区—位置匹配弧的通行能力，进而修改功能区可接受的最大的居住或就业岗位的数量。

6. 建议扩展至多模式交通网络的KB计算图；基于此，评估特定政策措施（如限行）下的多主体协调关系和程度。

回应：模型中暂时未实现多模式交通网络，在今后的研究中，考虑将功能区位置之间的真实物理网络扩展至多模式交通网络。





# Thanks