

得到比较矩阵为：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

得到 C 的特征向量 $D = [-0.9281, -0.1747, -0.3288]$ ，标准化之后为 $D = [0.6483, 0.1220, 0.2297]^T$ 则评价模型中的权重因素记为 $A = D$ ，满足 $\sum_{i=1}^3 a_i = 1$ ，合成得：

$$\bar{B} = A \cdot R = (\bar{b}_1, \bar{b}_2, \bar{b}_3) \quad (1)$$

1即是开放小区对周边交通影响的评价结果，其中 $\bar{b}_1, \bar{b}_2, \bar{b}_3$ 分别代表主要因素对于评判等级的隶属度，归一化后我们还可以得到开放小区对对周边的影响曲艺某一个等级的程度即 $B = (b_1, b_2, b_3)$ 。

3.1.2 道路条件

开放小区会导致人流量增加

3.1.3 Braess 悖论

数学家 Dietrich Braess 在 1968 年首次提出了 Braess 悖论^[1]。考虑拓扑结构如图 1 的交通网，假设交通网中的流量为 4000，起点为 A，终点为 D 通过 $A \rightarrow B$ 与 $C \rightarrow D$ 的时间均为车流量除以 100，通过 $B \rightarrow D$ 与 $A \rightarrow C$ 的时间为固定的 45 分钟。在路径 $B \rightarrow C$ 没有开通时，从 $A \rightarrow D$

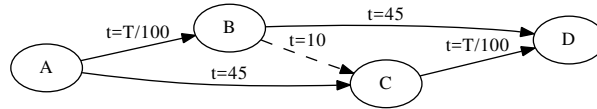


图 1: Braess 悖论的具体情况

的通过时间分别为 $\frac{A}{100} + 45$ 与 $\frac{B}{100} + 45$ ，达到均衡之后有 $A = B = 2000$ 这样每条路通过的时间都是 $\frac{2000}{100} + 45 = 65$ 分钟。

现在考虑 $B \rightarrow C$ 开通之后，其通过时间非常短，在这种情况下，所有司机都会选择 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 这条路线，因为即使所有车辆全部通过 $A \rightarrow B$ 所用时间也不超过 40 分钟，这样所有通过这条路径的时间为 $\frac{4000}{100} \times 2 + 10 = 90$ 分钟，Braess 悖论便是指这种情况。

3.1.4 基于 Braess 的评价系统

小区开放相当与在原有的交通网络中再次加入新的网路，其中必然会有某些情况导致 Braess 悖论的发生，而出现这种情况不宜开放小区。

查阅论文可知 Pas 和 Principicio 在其论文中指出了 Braess 悖论不发生的两种情况^[2]，一种时交通量低时，如 2，另一种时交通量高时 3，当交通量符合上述两种情况时，不发生 Braess 现象，如 4所示。

$$Q > \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x} \quad (2)$$

$$Q < \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{\beta_n - \beta_x} \quad (3)$$

$$\frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x} < Q < \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{\beta_n - \beta_x} \quad (4)$$

其中 Q 为交通需求，

3.2 问题二

考虑小区开放对周边道路通行的两个影响因素：道路条件、交通条件。

3.2.1 道路条件

首先，对小区周边道路条件进行分析。道路通行主要考虑从一点到另一点的实际通行时间，实际通行时间 $T = d_1 + D$ ，其中 d_1 为延误时间， D 为行程时间。

延误时间^[3] 是指，道路上通行所需时间除行走时间外，也受市政道路交通信号灯的影响，如公式 (5) 所示。

$$d_1 = \frac{0.5T(1 - \frac{t_g}{T})}{1 - [\min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T}]} \quad (5)$$

其中 T 表示信号灯周期长度， t_g 代表绿灯时间， x 代表最大交通量与基本交通量之比。

通行时间是指，在不考虑交通路口的通行状况下，通过某个路段所需时间。常用的通行时间函数美国联邦公路局函数 (即 BPR 函数) 如公式 (6) 所示。

$$t_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}f_{ij} \quad (6)$$

其中 ij 表示从 i 路段到 j 路段， t_{ij} 表示在该路段所花的时间， α_{ij} 为路段上的结合具体情况，对其改进^[4]，考虑到小区内道路上行人、自行车等非机动车较多的特点，增加行人对机动车的影响、自行车对机动车的影响。结合已有的研究成果，得到行人、自行车分别对车辆的影响系数，得到改进 BPR 函数。BPR 阻抗函数为：

3.2.2 行程时间

3.2.3 车流量

3.3 问题二

综合问题一的评价模型建立元胞自动机模型

$$A = (L, d, S, N, f) \quad (7)$$

其中 A 代表自动机模型，其中 L 为元胞空间； d 为元胞空间的维数； S 为状态集合； N 为某个邻域内所有元胞的集合； f 为局部映射或局部规则。根据问题一中的模型，建立一个二维元胞自动机模型，每个每个元胞具有几个固定的生成地点，在 L 中有确定的目的地。

参考文献

- [1] BRAESS P D D. Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung[J]. Unternehmensforschung, 1968, 12(1): 258–268.
- [2] PAS E I, PRINCIPIO S L. Braess' paradox: Some new insights[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1997, 31(3): 265–276.
- [3] 任福田, 刘小明, 荣建. 交通工程学 [M]. [S.l.]: 人民交通出版社, 2003.
- [4] 李向朋. 城市交通拥堵对策—封闭型小区交通开放研究 [D]. [S.l.]: 长沙理工大学, 2014.