

基于 AHP 的元胞自动机交通流模型

曹文军 王睿铮 师松涛

华北理工大学 河北 唐山 063210

【摘要】近期中央政策的出台，要求原则上不再建设封闭式小区，已建成的住宅小区要逐步进行开放，故建立合适的模型来分析小区开放对道路通行的影响是亟需解决的问题。

针对问题一，首先，利用层次分析法，选取道路通行能力、道路安全性、道路便捷性为指标构建准则层；然后，建立车流速度、车流密度、行驶时间、交叉路口数、道路饱和度以及道路堵塞率决策层指标并计算出每个指标对应的最优权重，根据权重大小对指标进行排序；最后，确定车流密度、行驶时间、道路饱和度和道路堵塞率为影响通行能力的主要指标。

针对问题二，首先，根据车辆密度、交通流量和车辆平均速度建立元胞自动机交通流模型；其次，基于第一问的指标影响考虑道路情况，分别建立直道交通模型和弯道交通模型，其中弯道交通模型包含对交叉路口的研究；最后，量化直道通行模型和弯道交通模型，得到公式表达。

针对问题三，首先，基于第二问的直道和弯道模型，选取路旁系数、车速饱和度和服务水平饱和度定量表示直道通行能力，并随机选取 ABC 三个不同小区进行分析发现 A 小区开放后道路通行能力显著增强，B 小区开放后道路通行能力反而降低，C 小区开放后对道路通行能力无影响。

针对问题四，在第二问和第三问研究的基础上，发现对于有些小区实施开放有利于交通情况缓解，有些不利于交通情况的缓解，对那些有利于缓解交通情况的“开放小区”，可以考虑在小区的交叉路口设置交通灯，设置减速带，并且对出入量比较大的小区给与相应补偿。

【关键词】层次分析法；元胞自动机；交通流模型；饱和度

1 模型的建立与求解

1.1 评价指标的建立及检验

1.1.1 评价指标的初步确立

小区开放后路网密度提高，道路面积增加，通行能力自然会有所提升。但是考虑到由于交叉路口的增多，同时交通流量的改变，导致通行车辆有极大的可能造成

一定的安全性隐患，同时影响到主要路段的通行速度。为此本文首先根据《城市道路设计规范》分别对道路的通行能力、道路安全性、道路便捷性进行定性的分析，进而构建评价指标体系。

并根据表 1 成对比较矩阵相关标度表构建成对比较矩阵，以及表 2 来判断一致性。

表 1 判断矩阵标度及其含义

判断矩阵中各元素的含义	
标度	含义
1	表示两个因素相比，具有相同重要性
3	表示两个因素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比，前者比后者极端重要
倒数	若因素 i 与因素 j 的重要性之比为 a_{ij} ，那么因素 j 与因素 i 重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

表 2 一致性测试 RI 值

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI 值	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	0.49

因此以道路的通行能力、道路安全性、道路便捷性作为准则层构建成对比较矩阵 $M - A$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

权重向量 $w = [0.8468 \quad 0.2565 \quad 0.4660]$

$$\lambda = 3.0092$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.0046$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.0088 < 0.1$$

求得 $CR = 0.0088 < 0.1$, 故通过检验。分别构建三个决策层与准则层 $A - B$ 的判断矩阵。

准则层与道路通行能力判断矩阵 $A - B_1$ 、 $A - B_2$ 、 $A - B_3$, 其中道路便捷性直接由道路堵塞率刻画:

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ 4 & 1 & 2 \\ 4 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

同理可得,

$$w_1 = [0.1656 \quad 0.8344 \quad 0.5257] \quad w_2 = [0.3162 \quad 0.9487]$$

$$\lambda_1 = 3.0536 \quad CI_1 = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.0268 \quad CR_1 = \frac{CI_1}{RI} = 0.0515 < 0.1$$

$$\lambda_2 = 2.007 \quad CI_2 = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.0035 \quad CR_2 = \frac{CI_2}{RI} = 0.0067 < 0.1$$

均通过一致性检验。计算决策层的最终权重向量为

$$w_3 = [0.1402 \quad 0.7066 \quad 0.4452 \quad 0.0811 \quad 0.2433 \quad 0.4660]$$

1.1.2 评价指标的确立

计算得到决策层对应总权重比例, 从前往后依次对应指标为车流速度、车流密度、行驶时间、交叉路口数、道路饱和度以及道路堵塞率, 根据权重选择权重靠前的四个影响评价指标为车流密度、行驶时间、道路饱和度和道路堵塞率。

1.2 基于元胞自动机的交通流模型

1.2.1 模型基础

交通流量: 单位时间内通过道路某横断面的车辆数, 本文只研究日流量。

车辆平均速度: 交通流内部车辆速度的算数平均值, 本文只研究空间平均速度。

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (1)$$

车辆密度: 单位长度上, 某瞬间存在的车辆数, 公式如下:

$$\rho = \frac{N}{L} \quad (2)$$

N 是车辆数, L 是路段长度。

1.2.2 模型建立

1.2.1 直道交通模型建立

任取一辆车 n , 它的速度和位置分别用 v_n 和 s_n 来表示。 v_n 可取 $\{0, \dots, v_m\}$ 里的任意一值。

$$d = s_{n+1} - s_n - l \quad (3)$$

d 代表第 $n+1$ 辆车与第 n 辆车之间的距离, l 代表车身长度。

1.2.2 弯道交通模型的建立

在弯道交通模型中, 道路上交叉路口在时间和空间上同时具有交通特性, 为了更好的描述交叉路口的交通及安全特性, 建立交叉路口交通安全评价体系, 以交通冲突、交通特性、交通物理特性三大条件作为评价体系的指标。建立交叉路口潜在威胁度的计算模型。

$$PD_s = \sum_c W_c \times PD_{sc} \quad (4)$$

PD_s 为信号交叉口潜在危险度, c 为交叉口冲突点类型, W_c 为各冲突点所占权重, PD_{sc} 为 c 类型冲突点造成的信号交叉口潜在危险度。其中, c 类型冲突点有机-机、机-非、机-人三种类型。

PD_{sc} 可以通过下面这个公式进行计算:

$$PD_{sc} = \sum_i N_i \times \frac{g_r + y_r}{T} \times GM_i \quad (5)$$

i 为 c 类型冲突点的种类, N_i 为 c 类型冲突点的个数, g_r 为 r 相位的绿灯时间 (s), y_r 为 r 相位的黄

灯时间 (s), T 为相位周期长度 (s), GM_i 为 i 种类冲突点的恶性程度。

1.3 小区开放效果分析

1.3.1 直道通行能力 C_d

路旁干扰系数 α

理论分析, 当行车速度变化大时, 即 Δv 越大, 表明行车行驶不顺畅, 反映路旁干扰系数 α 越大; 同理可知, 当行车速度变化小时, 即 Δv 越小, 表明行车行驶顺畅, 反映路旁干扰系数 α 越小。

相应车速饱和度 C_{ap} 在不违法交通规则的情况下, 行车能达到的最大车速, 比如在郊区可行驶的最大车速

与在市区可行驶的最大车速不同。

1.3.2 小区分析

在前面建立的模型基础上, 把道路通行能力量化表示, 结合实际情况, 分别找取 A 、 B 、 C 三种不同类型的小区, 对小区开放后对道路通行能力的影响进行研究。

通过前面的模型基础和建设, 得出 A 、 B 、 C 三个小区表示通行能力时所需的参数, 根据公式 7 求出 A 、 B 、 C 三个小区分别在开放前和开放后的通行能力 γ , 见下表。

通行能力数值结果

	A 小区 (开放前)	A 小区 (开放后)	B 小区 (开放前)	B 小区 (开放后)	C 小区 (开放前)	C 小区 (开放后)
γ	961.3920	1802.5	600.9656	480.7722	961.4908	961.5360

通过通行能力进行结果分析, A 小区开放后道路通行能力显著增强, B 小区开放后道路通行能力有所降低, C 小区开放后道路通行能力没有显著变化, 无影响。

2.1 合理化建议

人们对小区开放仍然存在很多顾虑, 一项政策的实行需要经过不断地探索和一步步地改进, “开放式小区”在一定程度上对城市道路交通体系有所改善。但在试行初期它难免也会存在一些弊端, 为了让“开放式小区”的政策更加完善、给人们提供更多的便利同时得到更多人的认可。

3 结束语

小区开放后路网密度提高, 道路面积增加, 通行能力自然会有所提升。但是考虑到由于交叉路口的增多, 同时交通流量的改变, 导致通行车辆有极大的可能造成

一定的安全性隐患, 同时影响到主要路段的通行速度。因此在制定和实施该政策时应该考虑多方面因素, 以及应该考虑大部分小区居民的个人意愿, 以便于在为大众提供便利是不损害他人的便利。

【参考文献】

- [1] 司守奎, 孙玺菁, 数学建模算法与应用, 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [2] 张亚平, 道路通行能力理论, 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007.
- [3] 李向朋, 城市交通拥堵对策 - 封闭型小区交通开放研究, 长沙理工大学硕士论文, 2014.