

The CA model of the Impact on Surrounding Traffic Capacity by Residential area Opening

Fei Yuan^a, Weiwei Zheng^b, Yunfeng Ma^c, Pingji Deng^d and Chunjing Liu^{e*}

School of Hubei University of Medicine, Shiyan 442000, China.

^a527345109@qq.com, ^b1142741610@qq.com, ^c2781356051@qq.com,

^d1049549106@qq.com, ^elcj1368@126.com

*The corresponding author

Abstract. In the case of the increasingly serious urban traffic problems, our state had issued a relevant policy on the opening of the district recently. Firstly, this paper established a suitable evaluation index system and vehicle traffic CA model; and then through the use of MATLAB programming, we finally proved that the district opening can ease the pressure on the surrounding road traffic to a certain degree.

Keywords: Road access; Community opening; Analytic hierarchy process; Cellular automata model

小区开放对周边道路通行能力影响的 CA 模型

袁飞², 郑韦韦², 马云凤², 邓平基¹, 刘春景^{1*}

¹湖北医药学院公共卫生与管理学院, 湖北十堰, 442000; ²湖北医药学院药学院, 湖北十堰, 442000

摘要: 在现代城市交通问题日益严重的情况下, 国家发布了有关小区开放的相关政策, 本文首先通过建立合适的评价指标体系和车辆通行 CA 模型等, 然后通过 MATLAB 编程求解, 研究得到小区开放在一定程度上缓解了周边道路通行的压力。

关键词: 道路通行; 小区开放; 层次分析法; 元胞自动机模型

中图分类号: O29 文献标志码: A

引言

2016 年 2 月 21 日, 国务院发布《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》^[1], 其中第十六条关于推广街区制, 原则上不再建设封闭住宅小区, 已建成的住宅小区和单位大院要逐步开放等意见, 引起了广泛的关注和讨论。

除了开放小区可能引发的安保等问题外, 议论的焦点之一是: 开放小区能否达到优化路网结构, 提高道路通行能力, 改善交通状况的目的, 以及改善效果如何。一种观点认为封闭式小区破坏了城市路网结构, 堵塞了城市“毛细血管”, 容易造成交通阻塞。小区开放后, 路网密度提高, 道路面积增加, 通行能力自然会有提升。也有人认为这与小区面积、位置、外部及内部道路状况等诸多因素有关, 不能一概而论。还有人认为小区开放后, 虽然可通行道路增多了, 相应地, 小区周边主路上进出小区的交叉路口的车辆也会增多, 也可能会影响主路的通行速度。

据此为了研究小区开放对周边道路通行的影响, 为科学决策提供定量依据, 本文建立了层次分析模型以及元胞自动机模型 (简称 CA 模型)^[2], 通过 MATLAB 编程求解, 从不同角度定量的评价了小区开放对周边道路通行的影响。并根据研究结果, 对小区开放进行了可行性分析, 并给出了合理化建议。

1 小区开放对周边道路通行影响的评价指标体系的建立

首先我们模拟最理想的三岔路口模型，推导出路段流量和路段行驶时间的关系，得出小区开放对周边道路车流量确实存在着影响，进而我们又运用层次分析模型，得出层次分析图，确定各影响因素的权重，进行一致性矩阵检验，由于 $CR=CI/RI<0.1$ ，不一致程度在容许范围内，所以本文所选取的车流量是对道路通行能力有一定影响的。

1.1 理想模型的建立与求解

在城市道路的路段通行能力承受范围下，我们将未开放小区时的主干道的流量设为 Q ，当小区开放后，我们建立了最简单的三岔路模型，如图 1：

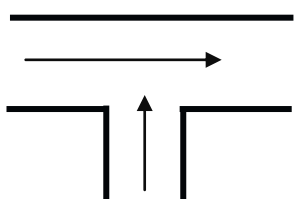
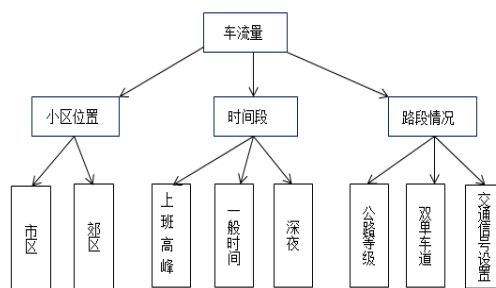


图 1 最简单的三岔路图



由交通流理论^[3]，速度—密度的线性，可知路段车流量(Q)和路段车流密度(K)之间的关系为 $Q = KV$ ，其中 V 为行车速度， V_f 为自由流行驶的行车速度， K_{\max} 为路段车流密度的最大值，则有

$V(K) = V_f - \frac{V_f}{K_{\max}} K$ ，于是有 $Q(K) = V_f K - \frac{V_f}{K_{\max}} K^2$ ，再令 $\frac{dQ}{dK} = 0$ ，令最大值路段的通行能力 C ，则有

$C = \frac{1}{4} V_f K_{\max}$ ，假定某路段 a 的长度为 L ， t_0 为在自由流状态下的路段 a 的行驶时间，

$Q = -\frac{K_{\max}}{V_f} \left(\frac{l}{t}\right) + K_{\max} \frac{l}{t}$ ，解之得 $\frac{t_0}{t} = \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 - \frac{Q}{C}}$ ，于是得到路段流量与行驶所需时间的表达关系式

$\frac{Q}{C} = 1 - \left(\frac{2t_0}{t} - 1\right)^2$ ，由此说明开放小区后由于岔路口的增加，会增加车辆路段行驶时间，那么路段流量

也会得到减缓，即说明小区开放对路段的车流量是有影响的。

1.2 层次分析模型

我们通过建立层次分析模型^[4]用以评价小区开放对周边道路通行的影响。影响道路通行的因素有多个方面，包括周围的繁华程度，道路所处的位置等，层次分析模型把不同的影响因素概括为三级指标，其中车流量作为一级指标，小区位置，时间段，路段情况作为二级指标，小区所处位置，时间段，交通信号等作为三级指标，如上图 2：

就各级指标两两比较的得到的各级指标矩阵，利用 MATLAB 对我们所得矩阵进行数据计算，求得计算结果如下表 1：

| K | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.5071 | 0.9487 | 0.8452 | 0.5071 |
| W_K | 0.8452 | 0.3162 | 0.5071 | 0.8452 |
| | 0.1690 | | 0.1690 | 0.1609 |
| λ_K | 3 | 2 | 3 | 3 |
| CI_K | 0 | 0 | 0 | 0 |

表1 层次分析模型一

计算得到一致性比率 $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$ ，所以就本文所选取的各个指标体系来说，小区开放对周边道路

路有一定的影响，此外我们还可以建立道路网络化模型，通过比较从出发地到目的地的时间，来说明开放小区对人们出行时间的影响。

2 小区周边道路车辆通行的 CA 模型

20 世纪 50 年代, JohnvonNeuman 和 StanislawM. Ulam 提出元胞自动机后, 受到学术界重视。1992 年, 德国物理学家 Kai Nagel 和 Michael Schreckenberg 在 184 号规则基础上提出一维交通流 Nagel Schreckenberg (NS) 模型, NS 是最常用的交通流模型之一^[5], 双向单行道 NS 模型也是一个概率元胞自动机, 每辆车的状态都由它的位置和速度所表示。

通过元胞自动机 NS 模型建立车辆通行的 CA 数学模型, 以小区外的双向单行道为研究对象, 选取合适参数, 比较小区外的平均流量和速度的变化, 小区开放以后, 周边道路的平均车流量将会减少, 说明小区开放对周边道路的车辆通行压力进行了一定缓解和分担, 同时周边道路的平均速度也会降低, 说明小区的开放限制了周边道路车辆的速度。

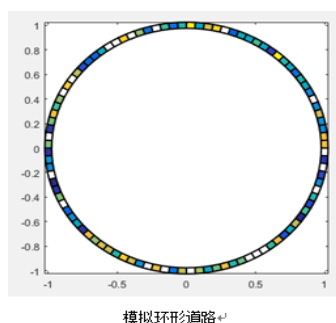
2.1 模型的建立

用计算机无法直接模拟一条无限长的车道, 本文没有特殊考虑, 利用周期性边界构造一条环路来模拟无限长车道的交通情况。相对开放边界条件, 周期性边界条件(封闭环行车道)更为简单, 更容易控制和固定车流密度, 平均速度和平均流量也不会有太大波动, 便于测试不同密度下的各种参数^[6]。

NS模型是一个最重要的单车道CA模型。Nagel在确定性模型的基础上加入随机项。车辆 n 的位置 x_n , 速度为 v_n , 速度 $v_n \in \{0, 1, 2, \dots, v_{\max}\}$ 为整数, 车辆 $n+1$ 在车辆 n 前方, 车辆间距 $d_n = x_{n+1} - x_n$, 单元格长 7.5 米, 时间步长 1 秒。状态更新规则由连续的四步构成^[6]:

- (1) 加速: 如果 $v_n < v_{\max}$ 则速度加 1. 但不超过 v_{\max} 即 $v_n := \min\{v_n + 1, v_{\max}\}$
- (2) 减速(因其它车辆): 如果 $d_n \leq v_n$, 则车辆 n 减速到 $d_n - 1$, 即 $v_n := \min\{v_n, d_n - 1\}$
- (3) 随机化减速: 如果车辆 n 速度大于 0. 则以概率 p 减 1, 否则不变. 即 $v_n := \max\{v_n - 1, 0\}$ 以概率 p
- (4) 移动: 车辆以新速度向前移动 $v_n := x_n + v_n$

第一步反映了驾驶员追求速度的一般趋势, 第二步反映了避免碰撞的意图, 第三步的随机化包含了驾驶员的不同行为模式, 车辆以概率 p 减速(有速度波动、刹车或跟驰时的过度反应、加速时的随机性三种原因)。第四步更新车辆位置, 这是能够反应真实交通现象的最小化规则集。缺少任何一条规则或改变执行顺序就不能产生真实行为。基本图包括自由流和拥挤流两个分支, 但是不能再现亚稳态, 也不能再现同步



2.2 模型的求解

当小区不开放时，通过 NS 模型对小区外的单车道进行模拟，通过选取合适的环形车道上的车辆密度，随机减速概率，环形车道长度和模拟时间步数，通过计算可求出环道上的平均流量和速度。

选取输入参数：密度 $d1=0.5$ ，随机减速概率 $p=0.15$ ，环形车道长度 $L=100$ ，模拟时间步数 $times=100$ ；通过 MATLAB 程序计算得出环道上的平均流量 Q 和流速 V_p 分别是 0.39 和 0.78。

当小区开放的时候，可以抽象的看做是，在小区外原本单车道的基础上修建了一个交叉路口，从而形成一段 T 型路面，由于研究的是小区开放对周边道路的影响，所以依旧以小区外的单车道为研究对象，再次进行小区开放后的 NS 模型的模拟，输入合适的参数，计算出小区开放后环道上的平均流量和平均流速，由于另一个路口的加入，所以环形车道上的车辆密度增加，我们选取该车辆密度 $d2=0.55$ ，其他参数保持不变，计算结果平均流量 $Q2$ 和平均流速 $vp2$ 分别是 0.34 和 0.61。调用函数：
 $d=0.55$; $p=0.15$; $L=100$; $times=100$; $edit$ NS;

通过对比 $Q1$ 和 $Q2$ 的值， $vp1$ 和 $vp2$ 的值，说明小区的开放，分担了周边道路的车辆压力，同时小区的开放也限制了周边道路的车辆速度。

3 不同类型小区开放前后对道路通行的影响

根据小区内部道路结构，假拟了三种不同的小区，应用层次分析法，分别得到组合权向量，依次为 0.9201, 0.5338, 0.6323，由此选出通行最佳小区，再运用第二问的元胞自动机 NS 模型，选取合适的参数，比较不同类型开放小区对周边道路的影响，类型一小区对周边道路的车辆通行压力的分担能力最大，同时对周边道路车辆的速度限制也最大。

根据小区内部道路结构，假拟了三种不同的小区，如下图 3：

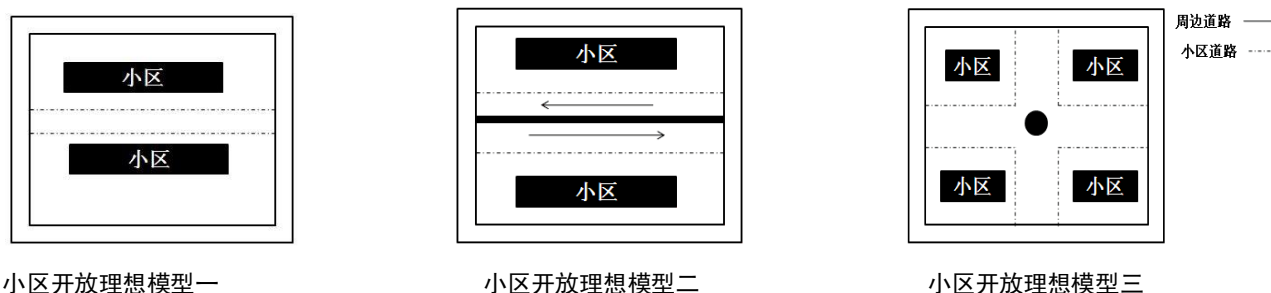


图 3 小区开放理想模型

那么把这三种不同小区作为层次分析法中的方案层，把岔路口的时间延误，车流量，交通信号的设置作为准则层，把选择哪一种小区的建设当做目标层。层次结构图如下图 3：由结构图得到各级指标之间的

比较矩阵，由比较阵计算出权向量 W_k ，最大特征根 λ_k 和一致性指标 CI_k ，结果如下表 2：

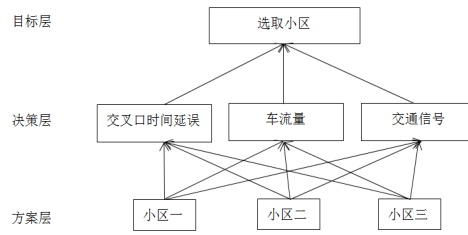


图 4 不通小区层次结构图

| K | 1 | 2 | 3 |
|-------------|--------|---------|--------|
| | 0.1228 | 0.2181 | 0.9682 |
| W_K | 0.8650 | 0.3778 | 0.3301 |
| | 0.3333 | 0.6667 | 0.6667 |
| λ_K | 3.0142 | 3.0183 | 3 |
| CI_K | 0.0071 | 0.00915 | 0 |

表 2 层次分析模型二

计算可得 CI_k 均可通过一致性检验，对于小区一的权重用权向量表示为 $W^{(1)}$ ，所以方案在目标中的组合的权重应为他们相应项两两乘机之和，即 $0.1288 \times 0.1925 + 0.865 \times 0.9623 + 0.3333 \times 0.1925 = 0.9201$ ；同样的计算出，小区二，小区三在目标中组合权重分别为 0.5338, 0.6323，表明在小区的选择中小区一占的权重近于 1，应选择小区一。

通过层次分析法，得到了最佳小区，再结合元胞自动机 NS 模型，给予不同类型小区不同的车辆密度值，并通过问题二已建立的 NS 模型进行计算，每种类型的开放小区，依旧看做是在小区外原本双向单行道的基础上修建了一个交叉路口，从而形成一段 T 型路面，由于研究的是小区开放对周边道路的影响，所以依旧以小区外的双向单行道为研究对象，输入合适的参数，计算出三种类型小区开放后环道上的平均流量和平均流速，模拟环形车道的计算结果如下表 3：

| | d | p | L | times | Q | vg |
|-----|------|------|-----|-------|--------|--------|
| 小区一 | 0.7 | 0.15 | 100 | 100 | 0.2420 | 0.3457 |
| 小区二 | 0.6 | 0.15 | 100 | 100 | 0.3206 | 0.5343 |
| 小区三 | 0.55 | 0.15 | 100 | 100 | 0.3390 | 0.6054 |

表 3 层次分析模型三

根据上述模拟结果可以知道，由于小区所占权重越大，我们赋予的环形车道密度值越大，开放小区所占权重越大对环形车道的平均车流量和速度影响也大，小区一的影响最大，相对应的环形车道平均车流量和速度最小，说明小区一对小区外车辆通行压力的分担缓解的能力最大，最有利于缓解交通堵塞，相应地，由于该小区的开放，小区周围路段的平均车速也会适当降低。

我们得出小区的类型对于小区开放产生的效果是有影响的。小区的开放能不能改善城市的交通，与小区面积，小区的地理位置繁华度，及小区的内部道路结构宽广度等因素有着密切的联系。另外对于城市中旧城、旧区、旧建筑的改造和城市的新的建筑建设更要有前瞻性，据可行性分析，结合问题三的模型和不同社会人士对小区开放的自身利益化方面的考虑，结果表明，大家对现在居住着的城市小区都不太愿意开放，所以，小区的开放可以放在新地产的开发上。

致谢:

本文由湖北医药学院研究生启动基金资助, 基金号 ()

Acknowledgement:

This work was supported by the initial project for postgraduates of Hubei University of Medicine (NO. 2014QDJZR17).

参考文献:

- [1]程思炜, 吴赋. 中国不再建设封闭小区已建小区要逐步开放[J]. 南方网, 2016.
- [2]贾斌, 高自由. 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟[M]. 科学出版社. 2007. 01.
- [3]马俊. 交通流理论基础[M]. 中国人民公安大学出版社. 2004. 01.
- [4]姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [5]叶冬, 樊镭. 一维单车道交通流元胞自动机模型综述[J]. 电子与控制, 2013, 05:23-29.
- [6]Nagel K. Schreckenberg M .A cellular automaton model for freeway traffic [J]. Journal of Physics I France, 1992, 2:2221-2229.
- [7]张发, 宣慧玉. 基于元胞自动机的交通模型综述[J]. 系统工程, 2004, 22 (12) :77-84.
- [8]司守奎, 孙兆亮. 数学建模算法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015. 4.

References:

- [1] Cheng Siwei, Wu Fu. China is no longer building a closed area, that has been built to gradually open community [J]. Southern Network, 2016.
- [2] Jia Bin, high freedom. Modeling and simulation of traffic system based on cellular automata [M]. Science Press .2007.01.
- [3] Ma Jun. Traffic flow theory foundation [M]. Chinese People's Public Security University Press .2004.01.
- [4] Jiang Qiyuan, Xie Jinxing, Ye Jun. Mathematical model [M]. Beijing: Higher Education Press, 2011.
- [5] Ye Dong, Fan Lei. Overview of one-dimensional single-lane traffic flow cell automata model [J]. Electronics & Control, 2013, 05: 23-29.
- [6] Nagel K. Schreckenberg M.A cellular automaton model for freeway traffic [J]. Journal of Physics I France, 1992, 2: 2221-2229.
- [7] Zhang Fa, Xuan Huiyu. Traffic Model Based on Cellular Automata [J]. Systems Engineering, 2004, 22 (12): 77-84.
- [8] Shi Shoukui, Sun Zhaoliang. Mathematical modeling algorithm and application [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015.4.