

# 小区开放对道路通行的影响

## 摘要

本文针对小区开放对周边道路通行的影响,从多指标评价体系和车辆模型的建立入手,针对不同结构的小区 and 道路,以及不同的车流量来分析小区开放前后对周边道路通行的影响.我们从宏观与微观两方面入手,刻画了小区开放对周边道路的影响,根据实际案例的分析验证了两个模型的有效性和一致性,最后根据我们模型求解结果提出合理建议.

针对问题一,我们从宏观角度出发,根据资料的查阅和对道路通行能力的整体研究,选取了六项指标:道路网密度、人均道路面积、道路网连结度、非直线系数、道路网平均限速、道路网负荷度,并且采用了灰色聚类分析法建立了多指标评价模型.

针对问题二,我们从微观角度出发,分类筛选出两种适合开放的小区类型,进一步简化为两种局部结构类型(对边型和邻角型)的组合.在此基础上,提出了优化司机驾驶决策的元胞自动机模型,用以计算一定时间内通过区域的车辆数、平均通过时间和穿过小区的车辆数.最后定义了通行能力和拥堵倍数,作为量化评估局部交通网络的标准.

针对问题三,我们选取了具有代表性的两个小区案例,苏南某城市的"美之国花园"和"都市花园",采用了问题一、二中的模型定量评价了在不同车流量情况下,小区开放前后对道路通行能力的影响,得出的结论为开放小区在一定程度上可以优化道路网络格局,缓解道路网压力.

针对问题四,我们从交通通行能力的角度出发,基于我们建立的模型,分别向城市规划部门和交通管理部门提供了建议来有效缓解城市交通压力,优化道路网布局.

## 关键词

开放性小区,道路通行能力,灰色聚类分析法,元胞自动机模型

# 目录

|          |                       |           |
|----------|-----------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>问题重述</b>           | <b>2</b>  |
| 1.1      | 问题背景                  | 2         |
| 1.1.1    | 国外研究背景                | 2         |
| 1.1.2    | 国内研究背景                | 2         |
| 1.2      | 问题重要性                 | 2         |
| 1.3      | 相关数据                  | 2         |
| 1.4      | 需要解决的问题               | 2         |
| <b>2</b> | <b>问题分析</b>           | <b>3</b>  |
| 2.1      | 对问题的总体分析              | 3         |
| 2.2      | 对问题一的分析               | 3         |
| 2.3      | 对问题二的分析               | 3         |
| 2.4      | 对问题三的分析               | 3         |
| 2.5      | 对问题四的分析               | 3         |
| <b>3</b> | <b>模型假设</b>           | <b>4</b>  |
| <b>4</b> | <b>符号说明</b>           | <b>4</b>  |
| <b>5</b> | <b>模型的建立与求解</b>       | <b>5</b>  |
| 5.1      | 问题一                   | 5         |
| 5.1.1    | 多指标评价体系的建立            | 5         |
| 5.1.2    | 灰色聚类分析模型的建立           | 6         |
| 5.2      | 问题二模型的建立              | 8         |
| 5.2.1    | 小区道路网结构的分类与简化         | 8         |
| 5.2.2    | 优化车辆行驶决策的元胞自动机模型的建立   | 9         |
| 5.3      | 问题三的求解                | 11        |
| 5.3.1    | 小区实例分析一               | 11        |
| 5.3.2    | 小区实例分析二               | 12        |
| 5.3.3    | 小区实例分析对比              | 14        |
| <b>6</b> | <b>对有关部门的建议 (问题四)</b> | <b>15</b> |
| 6.1      | 对城市规划部门的建议            | 15        |
| 6.1.1    | 对新小区的规划               | 15        |
| 6.1.2    | 对老小区的改造               | 15        |
| 6.2      | 对交通管理部门的建议            | 15        |
| <b>7</b> | <b>模型评价</b>           | <b>16</b> |
| 7.1      | 模型优点                  | 16        |
| 7.2      | 模型缺点                  | 16        |
| <b>8</b> | <b>参考文献</b>           | <b>17</b> |
| <b>9</b> | <b>附录</b>             | <b>18</b> |
| 9.1      | 灰色聚类分析方法的详细计算步骤       | 18        |
| 9.2      | 代码                    | 19        |

# 1 问题重述

## 1.1 问题背景

### 1.1.1 国外研究背景

美国首先提出了交通系统管理 (TSM), 主要目的是节约资源, 协调人、车、路与环境之间的关系来改善城市交通环境. 之后一些西方国家借助于计算机发展了智能交通系统 (ITS) 来解决城市拥堵问题<sup>[1]</sup>. 另外, 美国弗吉尼亚州学者 Luoyaruo 创造了一个多模式交通系统, 通过连接社区的端头路来提高城市之间的连通性.

### 1.1.2 国内研究背景

国内对此研究起步较晚, 王受之在 2001 年于其出版物<sup>[2]</sup>中鼓励开放混合的住宅区模式. 2004 年缪朴在其发表的论文<sup>[3]</sup>中分析了封闭式小区的利弊, 并提出了相应的解决策略. 之后国内越来越多的学者把目光投向城市空间结构上, 支持开放小区来缓解城市拥堵.

## 1.2 问题重要性

2016 年 2 月 21 日国务院印发《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》<sup>[4]</sup>. 这份重要文件勾画了"十三五"乃至更长时间中国城市发展的"路线图", 提出了城市规划建设管理的总体目标: 实现城市有序建设、适度开发、高效运行, 努力打造和谐宜居、富有活力、各具特色的现代化城市, 让人民生活更美好.

研究此问题不仅呼应了国务院的号召, 对于社会主义现代化建设以及社会主义核心价值观体系更有重大意义, 对国家软实力的增强、和谐社会的构建、人民生活质量的提升都具有不可估量的源动力.

## 1.3 相关数据

根据我们的筛选, 选取了几个具有代表性的小区作为我们研究的实际案例, 并且通过测量和资料查阅, 得到了小区所在区域内道路的长度、面积、不同时段的车流量以及小区总人口数等重要数据.

## 1.4 需要解决的问题

我们需要解决以下四个问题:

- 1). 建立合适的指标评价体系来分析小区开放对周边道路通行能力的影响;
- 2). 建立合适的车辆模型来分析小区开放对周边道路通行能力的影响;
- 3). 选取不同类型的小区结构、道路结构、车流量, 使用在问题一和问题二建立的模型来定量分析小区开放前后的影响;
- 4). 根据以上模型建立和求解, 提出相应的意见供有关部门采纳.

## 2 问题分析

### 2.1 对问题的总体分析

小区开放对道路通行能力存在多方面的影响, 所以很难做到用一个单一模型来刻画和解决问题, 本文分别从对道路通行能力的宏观与微观两方面的影响着手, 分别以开放小区对小区周围整体的道路规格的影响以及对通行能力的影响作为出发点, 建立合理科学的模型, 并通过选取不同类型的案例来定量比较小区开放前后对道路通行能力的影响, 在此基础上, 我们制定了一些小区是否开放的标准并且提供了合理化建议供有关部门参考.

### 2.2 对问题一的分析

我们选取小区内主干道以及小区周边的道路作为我们的研究对象. 在此基础上, 我们需要根据问题的具体情况和权威文献的研究成果选取合适的指标建立评价体系. 针对指标体系, 我们要选择可靠的评价方法来建立评价模型, 然而很多方法在各权重指标的确定上都存在很大的主观依赖性, 这降低了最后评价结果的可信度和实用性. 因此我们采用主观性影响因素较小的灰色聚类分析方法, 在研究参考文献<sup>[5]</sup>的基础上, 建立了多指标体系评价模型.

### 2.3 对问题二的分析

我们从微观角度具体计算出小区开放对车辆通行能力的影响, 首先归纳出了常见的三种小区形态, 然后抽象为两种局部道路网络拓扑结构: 邻角型和对边型. 为了能够真实模拟每辆车的运行情况, 我们建立并改进了用于模拟多道路交通流的 NS 元胞自动机模型, 合理规定了每辆车在每个时间单元的行驶方式, 并提出了两个衡量道路通行能力的指标, 在程序编写中设置车道数量、最大行驶速度、车流密度、红绿灯等待时间为具体可调参数.

### 2.4 对问题三的分析

我们在问题一和问题二建立的模型基础上, 根据不同小区结构, 不同的道路结构以及不同的车流量选取了具体的两个小区实例, 根据问题一建立的评价体系模型分别计算出小区开放前后的道路交通能力等级, 根据问题二建立的车辆模型分别计算出小区开放前后的车辆通行能力, 然后定量的比较了小区开放前后对道路通行的影响.

### 2.5 对问题四的分析

我们在问题三定量比较的基础上, 对城市规划和管理部门从多个角度提出了合理化的建议.

### 3 模型假设

- 1). 假设小区内停靠的车辆不会对小区道路通行能力造成影响;
- 2). 对于小区内部的道路, 我们仅考虑主干道, 并且假设可以忽略小区宅间道的影响;
- 3). 假设无意外状况对通行能力产生严重影响;
- 4). 假设司机遵守交通规则.

### 4 符号说明

| 符号        | 意义               |
|-----------|------------------|
| $\rho$    | 道路网密度            |
| $\bar{S}$ | 人均道路面积           |
| $N$       | 道路网连结度           |
| $\gamma$  | 非直线系数            |
| $V$       | 道路网平均限速          |
| $R$       | 道路网负荷度           |
| $n$       | 小区样本个数           |
| $m$       | 指标数              |
| $p$       | 聚类灰类数            |
| $M$       | 拥堵倍数             |
| $N$       | 一小时内通过道路终点截面的车辆数 |

## 5 模型的建立与求解

### 5.1 问题一

#### 5.1.1 多指标评价体系的建立

涉及多指标评价体系的问题, 必须确定科学的评价指标, 才有可能得到科学公正的评价结论<sup>[6]</sup>.

对于道路交通的研究, 这个问题显得尤为重要. 城市道路交通状况具有多尺度、多变量、随机性和时变的特点<sup>[7]</sup>. 这是一类复杂的多指标评价问题. 所以, 指标的选取需要准确而又清晰有效地刻画道路交通状况, 这直接影响到此类问题解决的合理性和可靠性.

因此, 必须根据问题的实际情况以及权威文献的研究成果来选定具有代表性、准确性的评价指标体系. 问题一要求建立一个能够评价小区开放对周边道路通行影响的指标体系, 所以我们查阅文献资料, 同时结合小区内部以及周边道路交通状况的特点来选取指标.

本小组在阅读文献<sup>[7,8,9,10]</sup>以及考察部分小区<sup>[1,11]</sup>的道路交通特点之后, 从以下三个方面选取六个指标来构建问题一的多指标评价体系:

道路规模:

##### 指标 1 道路网密度

道路网密度  $\rho$  是指小区内部以及包络小区的道路总长度  $L$  与小区占地总面积  $S$  之比, 具体的计算公式如下:

$$\rho = \frac{L}{S}.$$

##### 指标 2 人均道路面积

人均道路面积  $\bar{S}$  也称道路占用率, 是指小区道路网的占地总面积  $S$  与小区总人口数量  $q$  之比, 其计算公式如下:

$$\bar{S} = \frac{S}{q}.$$

路网结构:

##### 指标 3 道路网连结度

连接度指数  $N$ , 是指道路网抽象成带权图之后, 图所拥有的总节点数  $M$  和总边数  $Q$  有关的指标, 用于衡量路网的成熟程度. 道路网连结度越高, 表明路网断头路越少, 成网率越高; 反之则表明成网率越低. 我们采用  $d_i$  表示第  $i$  个节点的度, 其计算公式如下:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^M d_i}{M} = \frac{2Q}{M}.$$

##### 指标 4 非直线系数

城市干道网的规划布局应满足交通运输的要求, 使城市的各个组成部分(如市中心区、工业区、居住区、车站和码头等)的客货流集散点之间有便捷的联系, 使客货运工作量最小. 非直线系数便是衡量路线便捷程度的重要指标<sup>[12]</sup>, 其计算公式如下:

$$\gamma = 2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=i+1}^M \frac{d_{ij}}{M(M-1)},$$

其中,  $d_{ij}$  是第  $i$  个节点与第  $j$  个节点间的非直线系数, 定义为两点间的最短路径与空间距离之比.

路网功能:

### 指标 5 道路网平均限速

为了保障居民日常出行的安全以及小区内车辆行驶的安全, 有必要对道路网中的车辆进行限速, 而道路网平均限速的意义在于刻画整个路网区域的总体限速情况. 令  $v_i$  为路网第  $i$  条边的限速, 道路网平均限速的计算公式如下:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^Q v_i}{Q}.$$

### 指标 6 道路网负荷度

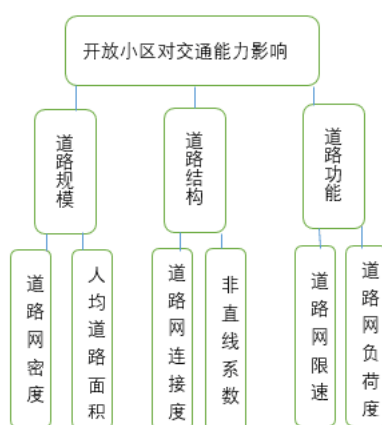
路网负荷度指路网的实际交通量与通行能力之比. 该指标反映了路网对交通量的适应能力, 同时从整体上表现了路网的畅通性, 其计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^Q v_i l_i}{\sum_{i=1}^Q C_i l_i},$$

其中,  $C_i$  为路网第  $i$  条边的通行能力, 刻画了道路疏通交通的能力, 用以评估现有路网对当前交通的承受能力和充分程度, 一般定义为在一定的时段 (取 1h) 和正常的道路、交通、管制及运行质量要求下, 道路设施通过交通流质点的能力 (以 veh/h 为单位).

上述各指标的关系示意图如下:

图 1 各指标关系图



我们根据上述指标建立评价小区开放对周边道路通行影响的指标体系, 为构建与评价指标体系相适应的评价模型打下了坚实而又可靠的基础.

## 5.1.2 灰色聚类分析模型的建立

对于道路交通网络的多指标评价体系, 如何建立对应的评价方法, 科学地描述评价对象的特征, 一直是国内外学者研究的重要课题, 常见的方法有基于专家评定的层次分析法、模糊综合评价法、效用函数法、权数方法以及神经网络模型法等<sup>[13]</sup>.

上述各方法在确定各指标权重的过程中都存在一定的主观依赖性, 亦或者对样本数据有苛刻的要求. 但是道路状况的统计一般来讲并不容易, 对于 5.1.1 中建立的评价指标体系, 我们很多时候很难统计得到或者计算出可靠的数据, 比如道路总面积和道路总长度的测量, 以及道路网负荷度的计算中需要的道路通行能力, 数据不仅难以获取并且计算复杂, 很大程度上影响了数据的可靠性.

基于上述想法, 我们决定采用灰色系统理论<sup>[14]</sup>来研究问题.

灰色系统理论是研究信息不完全的小样本不确定系统的有效方法. 该理论可以较为有效地避免主观因素和不完全不精确的数据干扰. 本文采用灰色系统理论中的灰色聚类分析方法建立评价模型. 模型建立的具体步骤如下:

### 步骤 1 设置基本参数

假设我们总共选取  $n$  个小区样本作为聚类对象  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ),  $m$  个评价指标作为聚类指标  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ),  $p$  个评价标准 (如好、中、差) 作为聚类灰类  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ). 设  $x_{ki}$  为第  $k$  个待测样本对于第  $i$  个评价指标的白化数据,  $f_{ij}$  为第  $i$  个指标对第  $j$  个聚类指标的白化函数.

根据我们建立的指标体系, 取聚类指标数量  $m = 6$ . 为了简明清晰地描述小区开放对周边道路通行的影响, 我们取聚类灰类数量  $p = 3$ , 即取第 1,2,3 个聚类灰类分别表示好、中、差三个级别.

### 步骤 2 数据正相关化

考虑到聚类计算中, 所有数据均必须以正相关关系计入. 因此, 我们需要对各组不满足正相关关系的数据选取合适的数据正相关化方法进行处理.

### 步骤 3 确定灰类区间、计算白化权函数及灰类权

定义第  $i$  个指标对第  $j$  个灰类的灰类区间  $Q_{ij}$ , 取  $X_i, Y_i, Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 为好、中、差的灰类区间中点, 构造第  $i$  个指标对  $p$  个灰类的白化权函数  $f_i^1, f_i^2, \dots, f_i^p$ , 并计算第  $i$  个指标对第  $j$  个灰类的权  $\lambda_i^j$  (详细的计算步骤见附录 7.1).

### 步骤 4 计算聚类矩阵 $\sigma$

求各指标在各类别中的权重  $\eta_{ij}$ :

$$\eta_{ij} = \frac{\lambda_i^j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i^j}. \quad (5.1)$$

根据白化权函数、指标在各类别中的权重以及白化数据, 我们可以计算聚类矩阵  $\sigma$ :

$$\sigma_{kj} = \sum_{i=1}^m f_{ij}(x_{ki})\eta_{ij}; \quad (5.2)$$

$$\sigma_k = (\sigma_{k1}, \sigma_{k2}, \dots, \sigma_{kp})'; \quad (5.3)$$

$$\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)'. \quad (5.4)$$

### 步骤 5 确定样本的灰类聚类

所得聚类矩阵为一个  $n \times p$  矩阵, 矩阵每一行的  $p$  个数值对应着  $p$  个灰类的可能性大小, 哪个数值最大, 则这个小区开放对周围道路交通的影响就属于哪个灰类 (好、中、差). 由此我们便可以从一个宏观的角度上, 评价样本中  $n$  个小区开放对周围道路通行的影响.

基于上述聚类分析的理论方法, 我们采用 MATLAB 编程 (代码见文末代码 1) 来对样本数据进行灰类聚类分析, 具体的实例将在问题三的求解中展示.

## 5.2 问题二模型的建立

### 5.2.1 小区道路网结构的分类与简化

为了研究小区开放对周边道路通行的影响, 我们希望能够建立可供定量分析的模型, 具体计算出开放的居民住宅区对周边道路的影响. 为了达到这个目标, 我们需要选取更具有代表性的小区类型.

我们首先初步制定了以下两个小区选择原则:

- 1). 封闭小区的地理位置便于开放, 处于车流量大的主干道旁;
- 2). 封闭小区内部交通资源充足, 开放后不会对原有小区道路功能产生重大不利影响.

通过参考文献<sup>[1]</sup>并结合实际生活经验, 我们对小区的道路基本类型进行了归纳. 开放后可能对周围交通造成影响的小区大致有以下两种类型:

- 1). 环形道路; 2). 直线型.

三种小区道路基本类型的示意图如下:

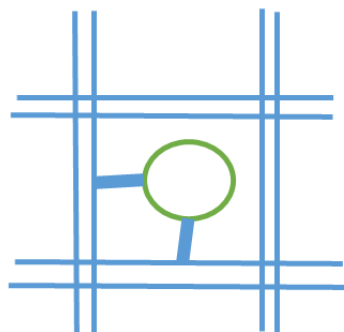


图 2 环形道路

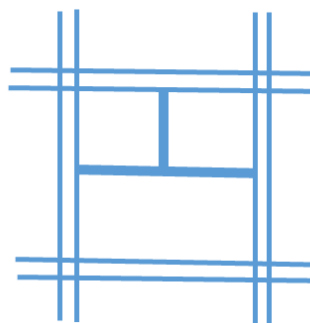


图 3 直线型

为了进一步简化模型, 我们提出了驾驶员穿越选择穿越小区的三个主要原因:

- 1). 穿越小区能够使得路程更短 (至少不会变长);
- 2). 穿越小区可以避免拥堵或红绿灯;
- 3). 穿越小区时尽量会选择小区的主干道, 避免狭窄的宅间道.

根据原因 1). 我们可以推导出: 当驾驶员的出发点和目的地在同一条主干道上时, 由于路径已经最短, 一般不会选择穿越小区. 也就是说, 驾驶员穿越小区, 意味着他原本要经过某个交叉路口, 并转弯行驶. 从小区的角度来看, 仅当小区的主干道连接了两条不同的城市道路时, 驾驶员才会选择穿越小区. 又由于小区多落在交通网格内部, 横跨甚至阻断交通干道的情况较少, 所以我们可以把能够对城市局部交通造成影响的小区道路分为两类, 即邻角型和对边型, 如下图所示:

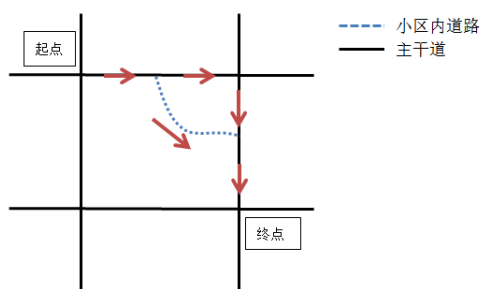


图 4 邻角型

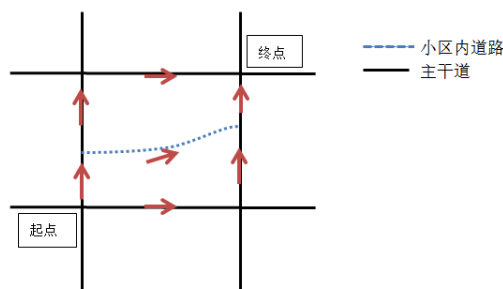


图 5 对边型

邻角型表示小区内道路连通了两条互相垂直的城市道路, 对边型表示小区内道路连通了两条互相平行的城市道路. 任何小区的道路网结构都可以转化为这两种结构的组合.

其中道路长度参数、小区情况根据实际情况确定. 道路不一定都为直线, 小区内主干道数量也不一定只有一条.

## 5.2.2 优化车辆行驶决策的元胞自动机模型的建立

抽象得到局部道路结构后, 如果只是仅仅考虑每条道路的最大容量, 选择采用图论中的最小费用最大流方法求解, 虽然可以清楚地分析流量变化, 但很难刻画红绿灯的影响, 也很难反应出驾驶员的决策因素 (比如当主干道畅通时, 一般不会选择小区支路). 因此, 我们选择了 Nagel-Schreckelberg 元胞自动机模型 (下文中简称为元胞模型). 此模型运用元胞状态来描述车辆位置、速度、时间等物理量, 对于每个离散的时间单元, 建立合理的演化规则来更新状态, 从而得到局部交通系统的动态变化情况和最终的稳定状态, 在 NS 元胞自动机模型中, 道路被划分成一个个离散的元胞, 车速则用每个时间单元车辆经过的元胞个数来描述.

按照实际情况, 每个元胞的长度为车身长度加上安全车距, 取 6m 比较合适, 时间单元则取 1s 比较合适, 而元胞宽度就是一个车道<sup>[15]</sup>. 每个元胞在每个时间有两种状态, 1 代表被车占据, 2 代表没有被车占据. 车辆在城市道路上的最大行驶速度为每秒 3-4 个元胞, 在小区道路上的最大行驶速度为每秒 1-2 个元胞. 城市道路一般为 2-3 车道, 小区道路一般为单车道.

我们如下设置车的行驶准则:

- 1). 道路空旷时, 车速度略小于或等于道路的最高速度:  $v = v_{\max} - \text{rand}\{0, 1\}$ , 其中  $\text{rand}\{0, 1\}$  表示值为 0 或 1 的概率相等;
- 2). 前面有车时, 车距越小, 速度越小:  $v = \min(v, d)$ ;
- 3). 道路拥挤时, 汽车会随机减速, 减速概率与拥挤程度成正比, 具体满足函数:  $P = 0.5 \cdot \sqrt{\text{密度}}^{[15]}$ ;
- 4). 前面有车且两旁车道没车时, 一定概率变道;
- 5). 当支路车辆密度小于主干道车辆密度时, 一定概率转入支路, 且比值越低, 转入的概率越大;
- 6). 假设驾驶员严格遵守交通规则, 包括不闯红灯、不超速等.

图 6 展示了车辆的行驶准则:

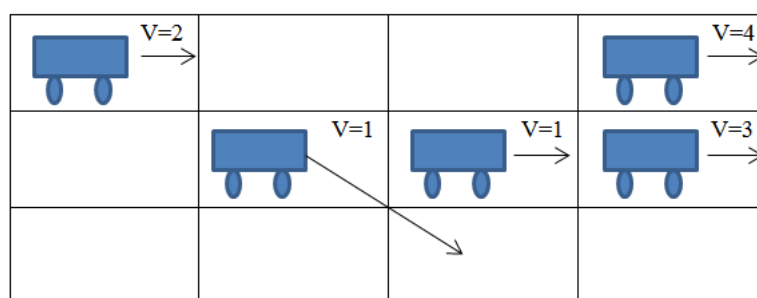


图 6 车辆行驶准则

我们基于上述讨论编写程序, 使 NS 元胞模型的每个时间单元按照以下算法流程进行:

- 1). 起点区域的  $3 \times 4$  大小的元胞矩阵中, 车辆按照一定概率出现;
- 2). 车辆按事先制定好的行动准则移动;

3). 一旦车辆行驶到了局部终点, 直接消失, 记录行驶时间, 以及这辆车所选择的路线.

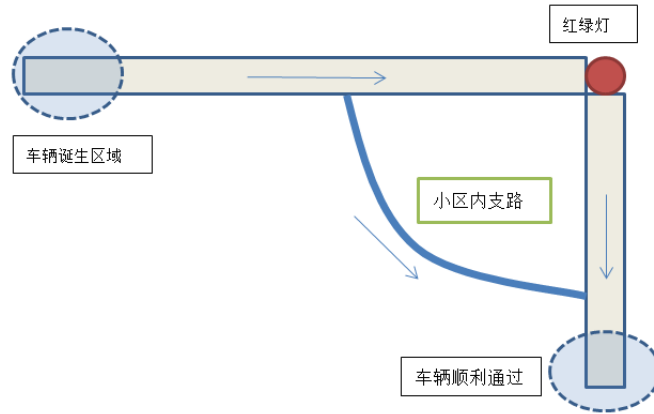


图 7 元胞自动机全局模型简化示意图

以此下去, 经过较多次数的循环后 (在程序具体实现中, 选择模拟了 3600 个时间单元, 即一个小时的运行情况), 模型会趋向于一个稳定的状态. 为了研究不同时间段、不同车流量对道路通行能力的影响, 我们采取车流密度作为自变量, 车流密度即在元胞模型中车辆面积占总面积之比, 具体公式为  $\rho = \frac{\text{被车占用的元胞数}}{\text{总元胞数} \times 100\%}$ .

通过运行我们所编写的程序, 可以知道一定时间内通过该区域的车流量、进入小区的车流量以及车辆通过该区域的平均时间. 在此模型中, 我们主要用两个具体指标来刻画道路通行能力.

第一个指标是拥堵倍数  $M$ , 定义为车辆实际通过该区域的时间  $T$  与车辆按照最大速度通过该区域的时间  $t_{\min}$  之比, 即

$$M = \frac{T}{t_{\min}}.$$

随着车流密度的增加, 这个指标会越来越大, 因此能够很好反映局部交通结构的拥堵程度.

第二个指标是一定时间 (本文中规定为一小时) 内, 通过道路终点截面的车辆数  $N$ . 随着车流密度的增加, 这项指标会增长并趋于一个定值, 它能够反映道路的最大通行能力.

### 5.3 问题三的求解

我们针对主要的小区类型, 分别使用了问题一、问题二中建立的模型评价小区开放对周边道路交通的影响.

其中, 灰色聚类分析模型立足于道路的整体格局从宏观上作出分析小区开放的优劣, 而元胞模型则立足于微观上针对具体的道路交通模型, 分析了在车流量不同的情况下, 车辆在路网中的通行能力.

对于两种主要的小区类型, 我们分别选取美之国花园、都市花园两个小区实例进行分析.

由于篇幅所限, 仅详细展示其中一个小区的数据, 对于另一个小区, 我们只是展示几项较为重要的数据.

#### 5.3.1 小区实例分析一

对于环形道路模型, 我们通过查阅数据, 决定选择具有代表性的美之国花园小区进行实例研究. 该小区的卫星地图和简单图论结构如下所示:



图 8 美之国花园地图

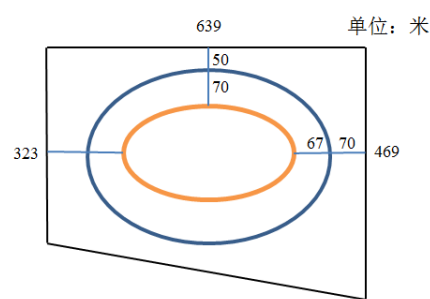


图 9 美之国花园抽象带权图

在 5.1.1 中建立的指标体系下, 统计该小区的相关数据如下所示:

表 1 美之国花园各指标数据

| 指标  | 路网密度     | 人均道路面积   | 连结度 | 非直线系数 | 平均限速 | 路网负荷度 |
|-----|----------|----------|-----|-------|------|-------|
| 开放前 | 12.74801 | 13.46561 | 2.5 | 1.52  | 38   | 0.623 |
| 开放后 | 12.74801 | 13.46561 | 2.3 | 1.97  | 50   | 0.792 |

根据灰色聚类分析模型, 我们求得其开放前后的聚类矩阵为:

$$\sigma = \begin{pmatrix} 2.659289 & 1.121605 & 68.33557 \\ 50.04554 & 1.65 & 28.20467 \end{pmatrix} \quad (5.5)$$

其中, 矩阵第一行为小区开放前的聚类向量, 第二行为小区开放后的聚类向量. 容易知道, 小区开放前对道路通行的影响为"差", 而小区开放后影响为"好".

我们从上述求解结果可以知道, 美之国花园开放后对周边道路的车辆通行效率有十分显著的提高.

我们再利用元胞模型模拟车流量在小区道路网中的通行情况, 结果示意图如下:

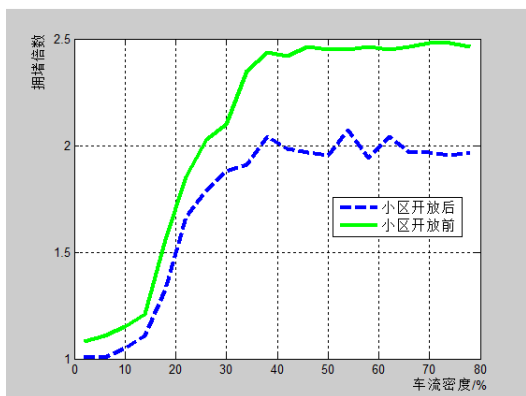


图 10 美之国开放前后拥堵倍数对比

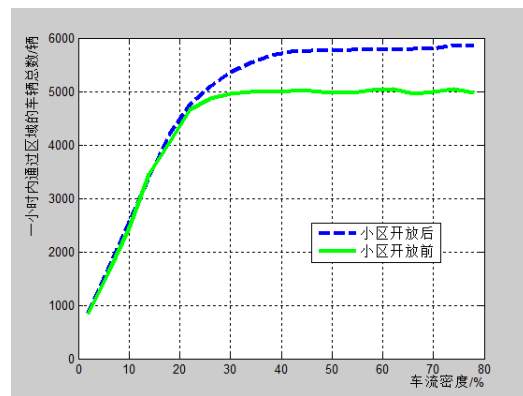


图 11 美之国开放前后区域通行能力对比

运行结果的详细数据如下表所示:

表 2 美之国小区元胞模型运行结果

| 车流密度 | 车辆通过小区的平均时间 | 通行车辆数      | 小区内车辆数  | 拥堵倍数       |
|------|-------------|------------|---------|------------|
| 2    | 74(69)      | 837(846)   | 0(0)    | 1.08(1.01) |
| 6    | 76(69)      | 1623(1687) | 0(0)    | 1.11(1.01) |
| 10   | 79(72)      | 2445(2546) | 0(0)    | 1.15(1.05) |
| 14   | 83(76)      | 3456(3397) | 0(0)    | 1.21(1.11) |
| 18   | 107(91)     | 4050(4206) | 282(0)  | 1.56(1.33) |
| 22   | 127(114)    | 4651(4764) | 706(0)  | 1.85(1.66) |
| 26   | 139(123)    | 4876(5104) | 955(0)  | 2.03(1.79) |
| 30   | 144(129)    | 4957(5360) | 1172(0) | 2.1(1.88)  |
| 34   | 161(131)    | 4993(5533) | 1192(0) | 2.35(1.91) |
| 38   | 167(140)    | 4992(5682) | 1196(0) | 2.44(2.04) |
| 42   | 166(136)    | 5013(5738) | 1238(0) | 2.42(1.98) |
| 46   | 169(135)    | 5002(5789) | 1219(0) | 2.46(1.97) |

<sup>1</sup> 括号中的数据为小区开放前的元胞模型运行结果.

从元胞模型的运行结果我们可以发现, 小区开放后, 拥堵倍数和车辆行驶的平均时间明显降低. 这表明开放小区后, 虽然路网规模变得更加复杂, 但是车辆的通行效率有所提高, 这与灰色聚类分析的结果相吻合.

所以美之国小区的案例研究说明了开放拥有环形道路网的小区, 一方面可以大大优化道路网的整体格局, 另一方面也能使得整个路网的通行效率提高.

### 5.3.2 小区实例分析二

对于直线型小区模型, 我们选择具有代表性的都市花园小区进行实例研究. 该小区的卫星地图和简单图论模型如下所示:



图 12 都市花园地图

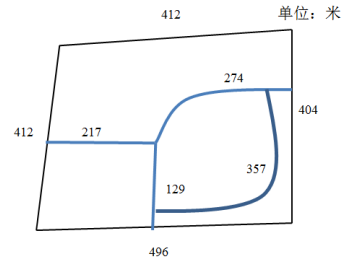


图 13 都市花园抽象带权图

根据灰色聚类分析模型, 我们根据其统计数据求得其开放前后的聚类矩阵为:

$$\sigma = \begin{pmatrix} 36.75075 & 26.17967 & 17.71533 \\ 82.15835 & 0 & 2.653312 \end{pmatrix} \quad (5.6)$$

从上述聚类矩阵中容易发现, 该小区开放前后对道路通行的影响均为"好", 但是开放后对车辆通行的效率提高更明显.

元胞自动机模型的运行结果示意图如下:

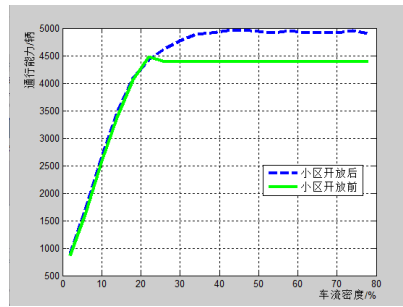


图 14 都市花园小区开放前后区域通行能力对比

部分运行数据如下表所示:

表 3 美之国小区元胞模型运行结果

| 车流密度 | 通行车辆数      | 小区内车辆数  |
|------|------------|---------|
| 2    | 895(863)   | 0(0)    |
| 6    | 1741(1651) | 0(0)    |
| 10   | 2670(2589) | 0(0)    |
| 14   | 3464(3381) | 0(0)    |
| 18   | 4083(4061) | 0(0)    |
| 22   | 4426(4486) | 956(0)  |
| 26   | 4624(4391) | 1141(0) |
| 30   | 4772(4391) | 1182(0) |

<sup>1</sup> 括号中的数据为小区开放前的元胞模型运行结果.

这表明该小区开放前后对道路网通行能力的提升有限,并不是非常明显,这也与灰色聚类分析的结果相吻合。

### 5.3.3 小区实例分析对比

根据具上述两个实例的分析,我们发现两个小区开放后对道路网通行能力均有提升,但效果不同,对比图如下所示:

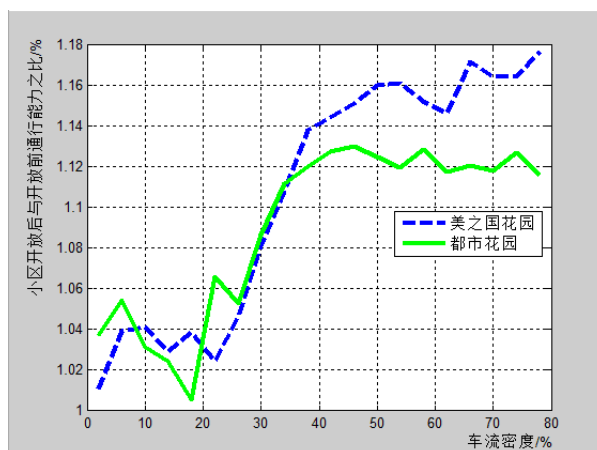


图 15 两个小区开放前后区域通行能力对比

通过进一步的研究,我们利用元胞自动机模型发现当车流量密度大于 15% 后,美之国花园对交通运行的贡献明显高于都市花园,而且根据灰色聚类分析模型,美之国花园在增强道路通行能力上也明显优于都市花园.这在一定程度上可以说明我们所建立的两个模型均是有效的,能够相互验证.

此外,我们发现,车流密度越大,开放前后的交通能力差距越大,成正相关.因此我们认为处于车流量较大的主干道旁的小区,开放的效果会更佳,可以缓解尤其是一线拥堵城市的交通压力,提高整体路网效率.

## 6 对有关部门的建议 (问题四)

我们基于以上模型的建立和求解, 提出了若干建议, 供有关部门参考:

### 6.1 对城市规划部门的建议

#### 6.1.1 对新小区的规划

在本文中我们主要研究了不同的结构的小区开放对周边道路的影响, 在实际的操作比较中, 也发现不同结构的小区对区域交通能力贡献不同, 基于这些考虑我们提出了一种比较新颖的小区规划模型, 尤其是在一线城市主干道旁, 这种设计可极大缓解区域内的交通压力.

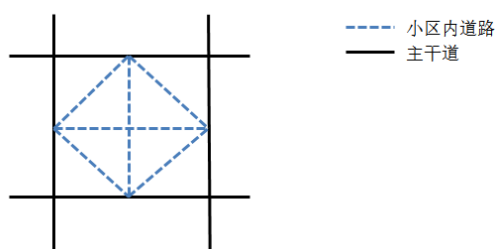


图 16 新颖的小区规划模型

我们通过以上建立的模型研究发现, 这种规划结构每个路口都与多条道路相连, 从一个路口可达到多个地方, 并且行驶道路以直线为主, 当主干道 (尤其是十字路口部分) 较拥堵时, 微观上看, 司机可以选择小区内的道路, 避免拥堵的同时有效缩短了行驶距离, 宏观上看, 可以起到较为显著的分流效果.

所以采用这种路网结构的小区可以很大程度优化区域内的交通网络结构, 缓解交通压力.

#### 6.1.2 对老小区的改造

- 1). 可以考虑增加小区连接外部主干道的出口数量, 但是要注意出口数量过多也会到道路交通造成干扰;
- 2). 建议采取合理的出入口设计, 比如采取与主干道垂直的出口, 减少视觉盲区;
- 3). 可实行人车分流, 或者在可行条件下采取一车一杆的方法增加车距.

### 6.2 对交通管理部门的建议

我们发现当车流量逐渐增大时, 可有效缓解交通压力, 而当车流量较小时, 开放小区对周边交通的影响并不显著, 所以小区周边拥堵现象如果并不明显, 我们不建议开放小区. 如果小区周边拥堵现象严重, 由于车流量在一天中是变化的, 因此我们建议采用分时段开放小区的策略, 在上下班高峰可开放小区, 或者白天开放, 夜晚关闭.

当然还需要考虑小区居民的安全, 减少小区环境污染, 所以当开放后导致小区内交通压力过大时, 开放小区并不是合适的策略, 甚至可能激化社会矛盾.

我们为交通管理部门选取合适的开放小区制订了简易的标准:

- 1). 相同条件下, 建议使用内部为弧线型的小区, 因为弧线型道路交叉路口较少, 交通更加顺畅;
- 2). 选用规模合适, 道路网成熟、简易的小区, 可以尽量减少在小区内造成拥堵, 增大区域内的交通通达度.

## 7 模型评价

### 7.1 模型优点

- 1). 本文利用灰色聚类分析法和元胞自动机模型, 将道路通行能力进行了量化处理, 定性和定量分析了小区开放对交通通行能力的影响;
- 2). 两种方法分别从宏观和微观的角度评估了小区开放的影响, 互补性强;
- 3). 本文按照不同的小区结构抽象出了几种基本模型, 全面考虑到了不同小区的特点.

### 7.2 模型缺点

- 1). 指标体系还是存在一定的缺陷, 不能全面评价道路通行能力;
- 2). 评价体系的建立也存在一定的主观因素, 并且等级的划分较为模糊, 无法完全通过量化来进行合理评价;
- 3). 受理论限制, 元胞自动机模型不能够完全准确刻画汽车的行为准则;
- 4). 编程求解过程较为麻烦, 只能用于模拟局部道路结构的影响, 很难模拟复杂一些的路网结构. 当路网边数、节点数较多时, 采用图论中的流量模型较好;
- 5). 由于受时间限制, 我们没有对模型的评估准确度进行验证.

## 8 参考文献

- [1] 李向朋. 城市交通拥堵对策—封闭型小区交通开放研究[D]. 长沙理工大学, 2014.
- [2] 王受之. 当代商业住宅区的规划与设计[M]. 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] 缪朴. 城市生活的癌症——封闭式小区的问题及对策[J]. 时代建筑, 2004(5):46-49.
- [4] 佚名. 中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见[J]. 城乡建设, 2016(3):52-52.
- [5] 王媛媛, 陆化普, 秦旭彦. 基于灰色聚类分析的城市交通路网综合评价方法研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(8):118-121.
- [6] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门大学, 2000:13-43.
- [7] 姜桂艳, 郭海峰, 孟志强,等. 基于实时信息的城市道路交通状态评价指标体系研究[J]. 交通信息与安全, 2007, 25(5):21-24.
- [8] 胡程, 邹志云, 梅亚南,等. 城市道路网规划评价指标体系研究[C]. 湖北省力学学会青年学术研讨会. 2006:98-101.
- [9] 祝付玲. 城市道路交通拥堵评价指标体系研究[D]. 东南大学, 2006.
- [10] 孙伟. 城市道路交通安全评价指标体系研究[D]. 南京林业大学, 2007.
- [11] 赖宇泽, 程云杉, 武士翔,等. 南京市天津新村小区开放空间平灾结合改造设计[J]. 中国城市林业, 2014, 12(6):38-41.
- [12] 吴凤霞. 山区公路网非直线系数研究[D]. 长安大学, 2012.
- [13] 王伟,等. 城市交通管理规划指南[M]. 人民交通出版社, 2003.
- [14] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 华中理工大学出版社, 1990.
- [15] 杨梦龙, 刘怡光. 用于模拟单车道交通流的改进NS元胞自动机模型[J]. 计算机应用, 2007, 27(11):2630-2631.

## 9 附录

### 9.1 灰色聚类分析方法的详细计算步骤

#### 计算步骤 1 确定灰类区间

定义第  $i$  个指标对  $p$  个灰类的灰类区间<sup>1</sup>, 具体方法如下:

- 1). 第一类灰类 ( $j=1$ ) 区间:  $[\bar{x}_{ki} + \frac{1}{6}D_i, \max_k\{x_{ki}\}]$ ;
- 2). 第二类灰类 ( $j=2$ ) 区间:  $[\bar{x}_{ki} - \frac{1}{6}D_i, \bar{x}_{ki} + \frac{1}{6}D_i]$ ;
- 3). 第三类灰类 ( $j=3$ ) 区间:  $[\min_k\{x_{ki}\}, \bar{x}_{ki} - \frac{1}{6}D_i]$ .

其中,  $i = 1, 2, \dots, m$ .  $D_i$  为  $x_{ki}$  的极差, 其计算公式为  $x_{ki} = \max_k\{x_{ki}\} - \min_k\{x_{ki}\}$ .

#### 计算步骤 2 定义白化权函数

我们分别取  $X_i, Y_i, Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 为好、中、差的灰类区间中点:

$$X_i = \frac{\bar{x}_{ki} + \frac{1}{6}D_i + \max_k\{x_{ki}\}}{2}, \quad (9.1)$$

$$Y_i = \frac{\bar{x}_{ki} - \frac{1}{6}D_i + \bar{x}_{ki} + \frac{1}{6}D_i}{2}, \quad (9.2)$$

$$Z_i = \frac{\min_k\{x_{ki}\} + \bar{x}_{ki} - \frac{1}{6}D_i}{2}. \quad (9.3)$$

定义第  $i$  个指标对 3 个灰类的白化权函数<sup>2,3</sup>为:

$$f_i^1 = \begin{cases} 0, & x \leq Y_i; \\ \frac{x-Y_i}{X_i-Y_i}, & Y_i < x \leq X_i; \\ 1, & x \geq X_i. \end{cases} \quad (9.4)$$

$$f_i^2 = \begin{cases} 0, & x \leq Z_i; \\ \frac{x-Z_i}{Y_i-Z_i}, & Z_i < x \leq Y_i; \\ \frac{X_i-x}{X_i-Y_i}, & Y_i < x \leq X_i; \\ 0, & x > X_i. \end{cases} \quad (9.5)$$

$$f_i^3 = \begin{cases} 1, & x \leq Z_i; \\ \frac{Y_i-x}{Y_i-Z_i}, & Z_i < x \leq Y_i; \\ 0, & x > Y_i. \end{cases} \quad (9.6)$$

#### 计算步骤 3 计算第 $i$ 个指标对第 $j$ 个灰类的权

确定第  $i$  个指标对 3 个灰类的权  $\lambda_i^j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) 如下:

<sup>1</sup>王厉冰, 胡心怡, 齐素祯. 灰色聚类分析在纺织材料性能综合评价中的应用[J]. 天津工业大学学报, 2006, 25(3):23-26.

<sup>2</sup>王正新, 党耀国, 刘思峰. 基于白化权函数分类区分度的变权灰色聚类[J]. 统计与信息论坛, 2011, 26(6):23-27.

<sup>3</sup>董奋义, 肖美丹, 刘斌, 等. 灰色系统教学中白化权函数的构造方法分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2010, 31(3):97-99.

$$\lambda_i^1 = X_i; \tag{9.7}$$

$$\lambda_i^2 = Y_i; \tag{9.8}$$

$$\lambda_i^3 = Z_i. \tag{9.9}$$

## 9.2 代码