

The Influence of Community Opening on Road Capacity Based on Cellular Automata Model

Weidi Hou¹, Fajie Qiao², Yuanchun Shen³, Xiaowu Zhang³, Xingkui Fan^{3*}

¹Business School, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong

²College of Automotive, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong

³College of Science, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong

Email: *916392876@qq.com

Received: Mar. 10th, 2017; accepted: Mar. 27th, 2017; published: Mar. 30th, 2017

Abstract

The research is about the influence of community opening on road capacity. Firstly, five evaluation indexes and nine plots with different characteristics were selected, and the RSR model was established to evaluate the evaluation index. Secondly, a minimum cost maximum flow model is established by taking the area a as the sample. It is concluded that the opening of the residential area shortens the traffic distance and increases the traffic volume of the area. The cellular automata model is established to show that the open area can reduce the traffic density of the surrounding roads and alleviate the traffic congestion. According to the selected index, the least square method is used to get the comprehensive evaluation model of road capacity. Thirdly, according to the comprehensive evaluation model of road capacity, the quantitative analysis and comparison of three kinds of sample plots shows that there are great differences in the influence of different types of residential areas on the surrounding road traffic. Finally, the rationalization proposal of the open area is given.

Keywords

RSR Method, Cellular Automata, Fitting, Linear Least Square Method, Graph Theory Network Flow, Traffic Capacity of the Road

基于元胞自动机模型的小区开放对道路通行的影响

侯玮迪¹, 乔发杰², 申元春³, 张孝伍³, 范兴奎^{3*}

¹青岛理工大学商学院, 山东 青岛

*通讯作者。

²青岛理工大学汽车学院, 山东 青岛

³青岛理工大学理学院, 山东 青岛

Email: 916392876@qq.com

收稿日期: 2017年3月10日; 录用日期: 2017年3月27日; 发布日期: 2017年3月30日

摘要

针对小区开放对道路通行能力的影响, 选取5个评价指标和9个特性不同的小区进行分析。首先对评价指标建立秩和比模型进行综合评价。其次, 以路口a小区为样本, 建立最小费最大流模型, 得出小区的开放缩短了通行距离且增加了该区域的交通流量。建立元胞自动机模型, 得出小区开放能降低周边道路的车流密度, 缓解交通堵塞。根据选定的指标对该小区进行最小二乘拟合, 得出道路通行能力综合评价模型。再次, 根据道路通行能力综合评价模型对3类样本小区进行定量分析比较, 得出不同形态小区的开放对周边道路通行影响差别很大。最后, 给出小区开放的合理化建议。

关键词

秩和比法, 元胞自动机, 拟合, 线性最小二乘法, 图论网络流, 道路通行能力

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 问题分析

随着汽车产业的兴起, 我国汽车保有量持续增长, 在 2015 年达到了 1.72 亿辆, 预计在 2019 年达到 2 亿辆。由于道路能力没有跟上汽车数量增速, 导致了全国范围的交通拥堵。在短时间内无法大范围提高路网密度、改善交通条件的情况下, 开放路边小区, 打通道路间的交通死角似乎是更为快捷又实用的方法。

2. 模型的建立与求解

2.1. 指标的选取与分析

2.1.1. 指标的选取

本文以小区为研究对象, 着重分析小区内的道路情况和小区自身性质进而分析其开放对外部道路通行的影响。小区内道路密度越大, 则小区开放对交通分流的作用越显著。小区的面积大小直接从另一方面体现小区开放的效力, 较小的小区对交通分流的影响不大。小区的路面状况、道路宽度等性质直接影响小区内道路通行能力, 从而影响行车效率, 决定行车时间, 一定程度影响小区内道路通行能力。小区的分流可以部分缓解周边主干道的道路通行能力, 从而间接减少交通事故发生次数, 提高周边道路行车安全性。

基于以上分析, 选定 a 小区(青岛市开发区江山路西小区)(见图 1, 图 2)的小区路网密度, 不同年份通过小区所需平均时间, 小区周边道路大型车祸月平均发生次数, 每小时小区内通行车辆数, 小区面积五个指标对小区周边道路拥堵状况、小区自身性质、小区周边行车安全状况和小区内车流量进行综合分型。



Figure 1. A district satellite cloud
图 1. a 小区卫星云图

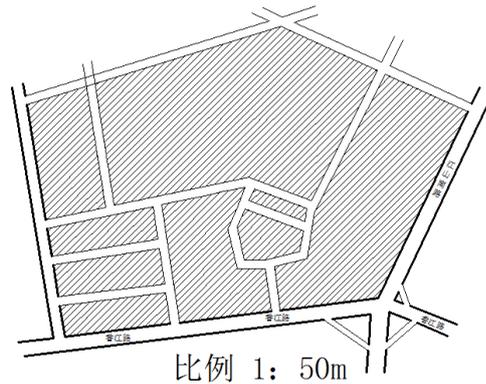


Figure 2. A district map
图 2. a 小区简图

通过实地调查和开发商公开的小区资料获知，小区内的道路宽度为3米，道路总长度为946.44米，经计算，小区内路网密度为 $(10.37 \text{ km/km}^2)^1$ 。

通过辖区交警大队提供的数据发现，随着汽车数量的逐年上升，香江路、静江路和江山南路交通拥堵问题越来越严重。过大的车辆密度和严重的交通堵塞造成了该路段交通事故频发，道路通行能力下降。随着2006年小区开放后，整体情况才有所改变。具体数据转化为折线图(图3，图4)：

通过图3、图4可以清楚地看出，小区在2006年开放后对周边道路通行能力²和道路安全情况都有积极影响。

通过小区的各种类型的车辆占比也能影响周边道路的通行能力。因为小型汽车是城市交通的主要成分，因此小区内如果能分流更多的小轿车会大大提高周边道路的运行能力，而周边道路上非机动车数量减少对道路通行能力的影响不大。通过对上下班时间、中午、晚上车辆数的实地调查，运用公式： $I = c \div g$ ，其中c为对应时间段内对应车型记录车辆数，g表示对应时间段内车辆总数。整理各种车型比例见表1：

从表1中可以看出，调查的所有时段尤其是上下班时段机动车比例均高于非机动车比例，因此小区开放对周边道路的分流会起到一定的积极作用。

¹路网密度公式： $\rho = l \div s$ ，其中l为小区内道路长度，s为小区面积。

²道路通行能力公式： $A = P \div h$ ，其中P为车辆总数，h为观测小时数。

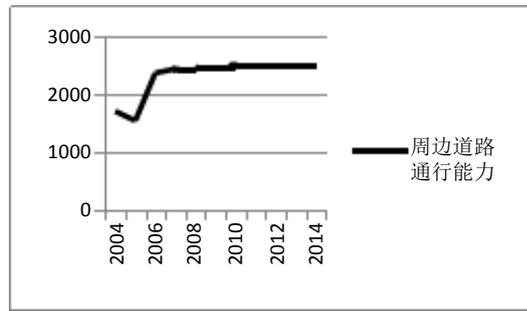


Figure 3. Peripheral road traffic capacity changes

图 3. 周边道路通行能力变化

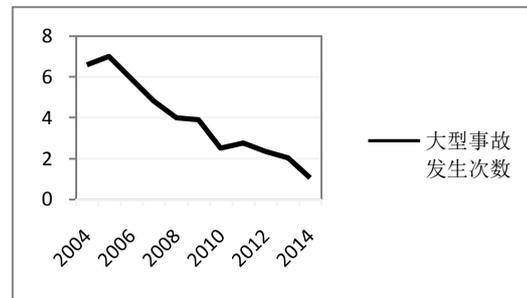


Figure 4. Changes in the number of large accidents

图 4. 大型事故发生次数变化

Table 1. The proportion of vehicles at different times

表 1. 不同时间段车行比例

时间	机动车比例	非机动车比例	中型汽车	小型汽车	大型汽车
7:30~8:30	0.6063	0.3937	0.077047	0.916024	0.006928
12:00~13:00	0.5584	0.4416	0.069694	0.916737	0.013569
17:30~18:30	0.7285	0.2715	0.056781	0.937093	0.006126
20:00~21:00	0.5544	0.4456	0.052389	0.931764	0.015848

2.1.2. 指标的综合分析

通过选取偏远小区、胡同内小区、山区小区、郊区小区、市中心小区、路旁小区、市区小区、路口侧小区、中心主干道附近小区，运用秩和比模型进行综合评价分析检验指标可信度[1]。通过各种小区 Probit 值比较，将九类小区划分档次。

根据秩和比编秩方法和 RSR 计算公式：

$$RSR = \sum_{i=1}^h \frac{R_i}{h \times n} \quad (1)$$

得出 RSR 值，再将 RSR 根据秩和比法累积频率³转化为相应 Probit 值[2]，计算结果见表 2：

做出 Probit 值与 RSR 的散点图，同时利用 Excel 的线性回归方法得到表达式：

$$RSR = 0.1420Probit - 0.2800 \quad (2)$$

³RSR 累积频率转化公式： $\frac{\bar{R}}{h} \times 100\%$ 。 \bar{R} 为各组 RSR 的平均秩次， h 为组数。概率单位 $Probit = u + 5$ ， u 为累积频率的标准正态离差。

Table 2. Various types of community Probit values
表 2. 各类小区 Probit 值

小区类型	Probit 值	小区类型	Probit 值	小区类型	Probit 值
偏远小区	3.78	胡同小区	4.86	路旁小区	5.59
郊区小区	4.24	市区小区	5.14	路口侧小区	6.22
山区小区	4.57	市中心小区	5.59	主干道侧小区	6.91

该表达式的拟合优度为 $R^2 = 0.9722$ ， $P = 6.73 \times 10^{-6}$ ，说明所求的线性回归方程拟合优度很高且参数显著性高，认为因变量与 Probit 存在显著线性关系。根据 RSR 值，拟分下、中、上三档，见表 3。

由表 3 可以看出，依据五个指标进行秩和比法综合分析方法，偏远小区的综合水平最差，而中心主干道附近小区和路口侧小区综合水平最高。可得偏远小区开放对周边道路通行能力影响较小，而中心主干道附近小区和路口侧小区的影响最大。

2.2. 关于小区开放对道路通行能力影响的数学模型分析

2.2.1. 关于小区开放对缩短到达时间的网络流模型

我们选择被观察小区南侧的兰州正宗牛肉拉面作为起点 S，以小区北侧的台湾永和豆腐蛋糕作为终点 T，通过调查走访，汇总出 4 条司机通常选择的路线。路线 $S \rightarrow L1 \rightarrow L2 \rightarrow L4 \rightarrow T$ 和 $S \rightarrow L8 \rightarrow L9 \rightarrow L7 \rightarrow T$ 只经过小区周边主干道；而 $S \rightarrow L3 \rightarrow L4 \rightarrow T$ 、 $S \rightarrow L3 \rightarrow L5 \rightarrow L6 \rightarrow L7 \rightarrow T$ 路径穿过小区内部。并经过实地考察，汇总出各路段的路长和平均行车时间，见图 5。

根据以上数据，结合最小费最大流模型公式[3]：

$$\max v(f), \quad \text{s.t.} \quad \sum_{j:(v_i, v_j) \in A} f_{ij} - \sum_{j:(v_i, v_j) \in A} f_{ij} = \begin{cases} v(f), i = s, \\ -v(f), i = t, \\ 0, i \neq s, t, \end{cases} \quad 0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}, \forall (v_i, v_j) \in A \quad (3)$$

$$\min \sum_{(v_i, v_j) \in A} b_{ij} f_{ij}, \quad \text{s.t.} \quad 0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}, \forall (v_i, v_j) \in A, \quad \sum_{j:(v_i, v_j) \in A} f_{ij} - \sum_{j:(v_i, v_j) \in A} f_{ij} = d_i \quad (4)$$

经过 MATLAB 软件计算得出[4]， $s \rightarrow L3 \rightarrow L4 \rightarrow t$ 为最佳路径，此路径长度为 388 米。小区开放前，司机只能选择 $S \rightarrow L1 \rightarrow L2 \rightarrow L4 \rightarrow T$ ， $S \rightarrow L8 \rightarrow L9 \rightarrow L7 \rightarrow T$ 两条路径，用 MATLAB 求得此时的最大流为 27。随着小区开放，小区内又增加了 $S \rightarrow L3 \rightarrow L4 \rightarrow T$ ， $S \rightarrow L3 \rightarrow L5 \rightarrow L6 \rightarrow L7 \rightarrow T$ 两条路径(见图 5)，此时的最大流增长为 57。可见小区开放对提高区域内整体车流量水平有很大的积极影响。

2.2.2. 模拟小区周边主干道车流密度的元胞自动机模型

随着小区开放时间的推移，更多的司机知晓了最优路径，将会有更多的车辆选择穿越小区的路径。此举可以一定程度上分流小区周边主干道的车流量，降低主干道车流密度，从而缓解主干道交通压力、减少拥堵。NS 元胞自动机模型主要模拟一维单车道交通流情况，该模型的模拟结果与实测结果较为吻合，因此得到广泛应用。NS 模型将所有单车道分成 a 个长度为 y 的小道路，每个位置或者为空或者容纳一辆车。每辆车根据元胞自动机四个规则运行[5]：

- 1) 加速规则：若 $v(t) \leq v_{\max}$ ，则 $v(t+1) = \min(v_{\max}, v+1)$
- 2) 减速规则：如果 $v(t) > \text{gap}$ ，那么 $v(t+1) = \text{gap}$
- 3) 随机规则：在随机减速概率 p 下， $v(t+1) = \max(v(t+1)-1, 0)$
- 4) 车辆运动： $x(t+1) = x(t) + v(t+1)$

Table 3. Rank and divide the result
表 3. 秩和比法分档结果

分档	Probit	RSR	排序与分档
下	≤ 4	≤ 0.3	偏远小区
中	4~6	0.3~0.59	山区小区、胡同小区、郊区小区、市区小区、次干道旁小区、市中心小区
上	≥ 6	≥ 0.59	中心主干道附近小区、路口侧小区

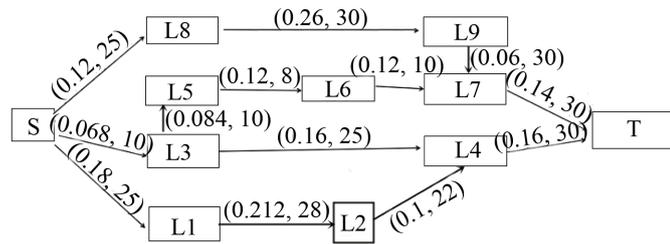


Figure 5. Path parameters
图 5. 路径参数

NS 模型通过随机规则给模型注入了随机性，描述了司机在加速减速中的反应过程，从而指出了产生自发性拥堵的关键因素。同时对加速速度进行了限制，以避免车辆发生碰撞。通过降低 NS 模型的变量之一密度 ρ 值，模拟小区开放后周边主干道车流密度的降低。我们选取 0.75、0.5、0.25 和 0.01 作为模拟值，通过 MATLAB 模拟小区开放前后递减密度下的交通状况，得出相应的动态模拟图(图 6)。

其对应的时空斑图从左上到右下依次见图 7。

时空斑图中每一个小黑点代表一辆轿车，模拟这些轿车从右上角往左下角行驶。图中黑点淤积部分表示车辆密度大造成交通拥堵，称为阻塞相；黑点稀疏部分表示车辆密度较小的交通畅通状态，称为运动相[6]，由于 NS 模型的随机特性，时空斑图上显示出人为阻塞。从图中可以看出，随着更多的司机选择穿过小区的路径，小区周边主干道的车流密度明显减少，阻塞出现的可能大大降低，系统会拥有大量的自由空间允许车辆任意通过。交通阻塞出现情况大幅度减少，交通拥堵得到有效缓解。

2.2.3. 小区开放对周边道路通行影响的拟合定量分析

建立 5 个指标与小区周边道路通行能力 y 的拟合函数关系。经过实地考察并结合卫星云图，参考当地交通管理部门提供的数据，可得部分结果见表 4。

按照线性最小二乘法公式[7]：

$$f(x) = a_1 r_1(x) + a_2 r_2(x) + \dots + a_m r_m(x) \quad (5)$$

系数 a_k 的确定：

$$\sum_{k=1}^m a_k \left[\sum_{i=1}^n r_j(x_i) r_k(x_i) \right] = \sum_{i=1}^n r_j(x_i) y_i, \quad j = 1, \dots, m \quad (6)$$

确定变量的参数。利用 SPSS 的 Curve Estimation 方法依据散点图进行函数拟合实验，再根据拟合优度 $R^2 \rightarrow 1$ 和参数显著性 $P < 0.05$ 作为取舍标准，选择通过检验的最优拟合函数。

通过观察 SPSS 散点图，3 个变量指标均采用线性函数、二次函数、三次函数进行拟合，可得：

不同年份穿越小区所需时间与小区周边道路通行能力的拟合函数表达式：

$$y_1 = -91.785x_1^3 + 400.575x_1^2 + 1403.408 \quad (7)$$

Table 4. A community related indicators Raw data
表 4. a 小区相关指标原始数据

年份	指标	y	通过小区时间 x_1	大型事故发生次数 x_2	每小时通车数 x_3	小区面积 y_s	小区内路网密度 y_p
2006		2365	3.5	5.9	105	12000	10.37
2007		2436	3.4	4.84	220	12000	10.37
...
2014		2542	2.95	1.04	380	12000	10.37

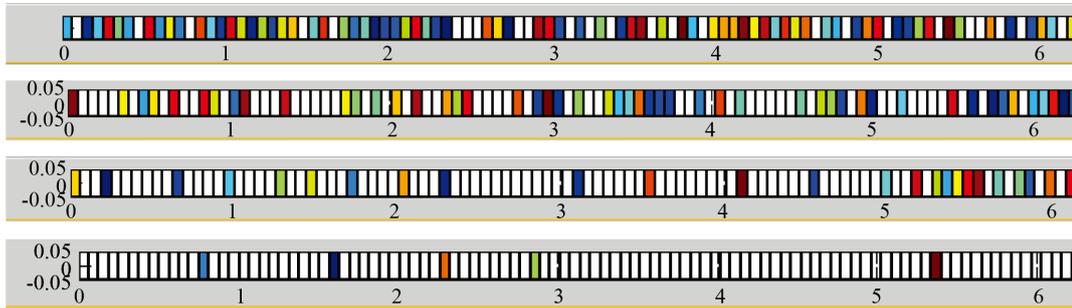


Figure 6. Simulation of dynamic graphs is depending on vehicle rho from 0.75 to 0.01

图 6. 车辆密度 rho 值由 0.75 变为 0.01 的动态模拟图

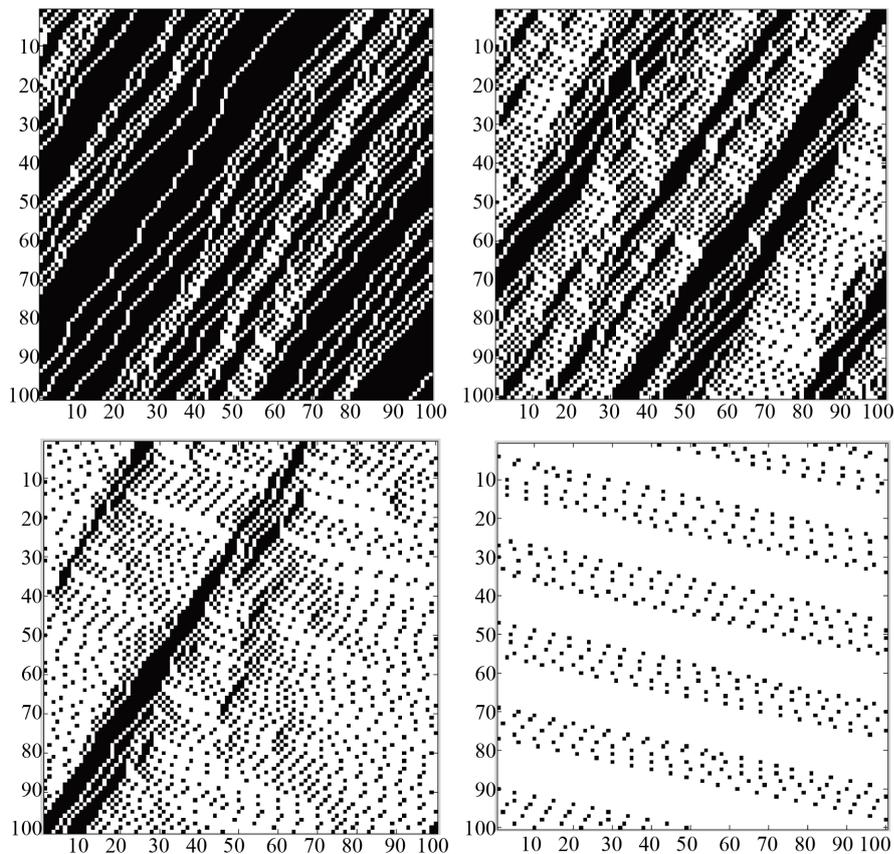


Figure 7. The vehicle density rho value changes from 0.75 to 0.01

图 7. 车辆密度 rho 值由 0.75 变为 0.01 的时空斑图

小区周边大型事故发生次数与小区周边道路通行能力的拟合函数表达式:

$$y_2 = -2.197x_2^3 + 17.05x_2^2 - 61.943x_2 + 2587.462 \quad (8)$$

建立小区内每小时通行车辆数与小区周边道路通行能力的拟合函数。由于二次函数和三次函数的参数 P 值均大于 0.05, 未通过显著性检验。而一次函数的参数 $P \rightarrow 0$, 故采用一次函数作为拟合函数, 其表达式为:

$$y_3 = 0.612x_3 + 2302.911 \quad (9)$$

最后, 建立道路通行能力综合评价模型:

$$y = y_p + y_1 + y_2 + y_3 + y_s \quad (10)$$

3. 模型的应用

分别选取 b, c, d 三个小区(见图 8), 它们的特质极具代表性。通过实地考察, 结合当地交通部门提供的资料, 三种小区的数据如下:

1) b 小区: 该小区属于大型小区并位于城市繁华地带。经测算该小区面积约为 0.124 km^2 , 路网密度约为 9.29 km/km^2 , 通过该小区所需时间约为 3.2 min , 小区周边主干道大型交通事故数约为 4 次/月, 每小时通过该小区的车辆数约为 506 辆。

2) c 小区: 该小区属于山区小区, 道路以土路为主, 路面高低不平且雨天泥泞不堪。经测算该小区面积约为 0.034 km^2 , 路网密度约为 8.53 km/km^2 , 通过该小区所需时间约为 5 min , 小区周边主干道交通事故数约为 4.5 次/月, 每小时通过该小区的车辆数约为 71 辆。

3) d 小区: 该小区位于学校附近, 人员居住密集, 属于市区学区小区。经测量计算该小区面积约为 0.062 km^2 , 路网密度约为 14.52 km/km^2 , 通过该小区所需时间约为 3.1 min , 小区周边主干道交通事故数约为 4.7 次/月, 每小时通过该小区的车辆数约为 455 辆。

将这五个影响因素带入道路通行能力综合评价模型(式(10)), 得这三种小区开放对局部道路通行能力提高所产生得量化结果。

小区类型	道路通行能力
市区大型小区	10669.63
山区小区	10358.42
学区小区	10491.94

可得道路通行能力大小: 市区大型小区 > 学区小区 > 山区小区。可得市区大型小区的开放对该区域道路通行能力的影响较大, 而山区小区的开放对该区域道路通行能力的影响较小。

4. 小区开放的合理化建议

任何事情都具有两面性, 首先考虑传统封闭小区的一些优点, 封闭式小区交通通行能力较弱使得来往车辆很少, 对行动不便的老人来说更为安心; 外来因素少也便于小区有关部门的管理。但是, 随着社会发展以及私家车的普及, 封闭的小区围墙把各个小区变成一个个交通死角, 尤其是上下班高峰, 小区出入口拥堵严重, 不能有效便捷地出入小区, 造成交通堵塞。相对于传统封闭式小区, 开放式小区更加符合现代人们的生活需求和精神需求, 开放式小区道路资源开放, 实现内部道路公共化, 解决交通路网布局问题, 促进土地节约利用, 节约人们行走时间, 缓解交通压力, 顺应了时代发展。



Figure 8. b, c, d three types of community satellite images
图 8. b, c, d 三类小区卫星云图



Figure 9. Car and pedestrian shunt system
图 9. 人车分流系统



Figure 10. Japanese corridor district
图 10. 日本连廊小区

综上所述，建议如下：

1) 借鉴国外经验，科学合理实现人车分流(图 9)，这种人车分流的道路组织方式以住宅庭院或组团为单位组织周边式住宅区，每个居住单位有一条直接开口于周围道路的尽端式或半环式车行道路，住宅的后院面向这些车行道，汽车可直接开进后院，步行道中心绿地、公共服务设施连接起来[8]，人车通行安全顺畅。

2) 科学合理增设小区出入口，加大小区与外界的联系。

3) 尽可能地拓宽小区主、支道路，来往车辆均可通行。

4) 改进区内道路质量，以后凡是开放小区的道路建设均由当地财政拨款。

5) 在一些大的小区，人口密度极高，路口易发堵塞，应考虑建立架空步行走廊。借鉴日本“连廊小区” [8]做法(图 10)。这样更有利于小区内老年人的安全，是另一种方式的人车分离。

基金项目

山东省本科高校教学改革研究面上项目(2015M091), 山东省教育科学“十二五”规划 2015 年度高等教育学科教学专项课题(CBS15010)。

参考文献 (References)

- [1] 秩和比法 RSR[EB/OL].
http://wenku.baidu.com/link?url=Po465PTCuYOEiUrV715oflzneizVBzU4O7h6KCINLb8q3U2DCupMECEtpIei0t_h0cYN-XiuX_EZZHNzJGRaEOBIShZAKUWftobgzWko17, 2016-09.
- [2] 田凤调. 秩和比法的应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [3] 司守奎, 徐珂文, 李日华. 数学建模算法与程序[J]. 海军航空工程学院, 2007(9): 95-98.
- [4] 司守奎, 孙玺菁. 数学建模算法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [5] 郑英力, 翟润平, 等. 交通流元胞自动机模型综述[J]. 人民公安大学, 2006(1): 110-111.
- [6] 邹杰. 基于元胞自动机的交通流研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2014: 28-29.
- [7] 姜启源. 数学建模[M]. 第四版. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [8] 王依涵. 关于居住区道路组织规划的研究[J]. 安徽建筑, 2003(1): 30-31.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aam@hanspub.org