

Evaluation of Traffic Capacity of Open Road Network in Residential Area Based on Multivariate Statistics

Zhengyang Cao¹, Yixuan Wang², Aling Song¹, Haifeng Liu^{1*}

¹Department of Foundation, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

²College of Computer and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan

Email: ^{*}hfliu1962@sina.com

Received: Oct. 8th, 2018; accepted: Oct. 18th, 2018; published: Oct. 25th, 2018

Abstract

The closed residential district is one of the factors causing Urban Traffic congestion. The opening of residential district has realistic demand for optimizing the traffic capacity of urban road network. basing on the road network structure of the district after opening up, this paper constructs six evaluation indexes of road capacity. In this paper, two methods of principal component analysis and correlation analysis are used to quantify the six indexes. The experimental results show that these six indexes have different effects on the optimization of road network capacity. The conclusion of this paper provides data support for the optimization of road capacity after the opening of urban design district.

Keywords

Road Capacity, Community Opening, Principal Component Analysis, Correlation Analysis

基于多元统计分析的小区开放路网通行能力指标评估

曹正洋¹, 王一璇², 宋阿羚¹, 刘海峰^{1*}

¹陆军工程大学基础部, 江苏 南京

²电子科技大学计算机科学与工程学院, 四川 成都

Email: ^{*}hfliu1962@sina.com

收稿日期: 2018年10月8日; 录用日期: 2018年10月18日; 发布日期: 2018年10月25日

*通讯作者。

文章引用: 曹正洋, 王一璇, 宋阿羚, 刘海峰. 基于多元统计分析的小区开放路网通行能力指标评估[J]. 计算机科学与应用, 2018, 8(10): 1573-1581. DOI: 10.12677/csa.2018.810172

摘要

封闭式小区是造成城市交通拥堵的重要因素之一。小区开放对优化城市路网通行能力具有现实需求。本文基于小区开放后区域内部路网结构构建道路通行能力的6项评价指标,使用主成分分析及相关性分析两种数理统计方法对6项指标进行定量分析,实验结果验证了6项指标对优化路网通行能力的不同效用。相关研究结论为城市设计小区开放后优化道路通行能力方案提供数据支持。

关键词

道路通行能力, 小区开放, 主成分分析, 相关性分析

Copyright © 2018 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. 引言

随着我国城市化进程的快速发展,道路通行能力的提高日益成为社会的紧迫需求。封闭式小区对周边路网结构及性能造成严重影响。2016年,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》。《意见》第十六条提出推广街区制,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,新建小区应当对外开放。该方案引起相关学者的广泛关注和讨论。除了开放小区可能引发的安保等问题外,开放小区能否达到优化路网结构、改善交通状况的目的以及改善效果如何等问题引起不同看法。一种观点认为封闭式小区弱化了城市路网结构,小区开放后随着路网密度的提高,道路面积的增加可以提升路网通行能力。另一种观点则认为这与小区面积、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,但是小区周边主干道进出小区的交叉路口车辆随之增加,这反过来会影响主路的通行速度。因而对小区开放前后路网通行能力的重要指标所受到的影响程度进行量化分析具有重要的理论意义和现实需求。

朱博义从市场经济的角度对北京交通拥堵的成因和对策进行分析[1]。以价格体系对出行结构的影响程度以及交通拥堵后对应的社会成本为依据,从供给角度提出小区开放、微循环改善以及规范市场化手段等相关建议。秦葛以小区的结构、规模、道路通行能力以及公交车服务水平等因素入手[2],针对小区建设指标以及小区对周边路网影响因子构建小区建设规划与城市交通发展的综合评估模型,以济南市一小区数据验证了模型的可行性。商宇航从城市规划及建筑学角度分析[3],以道路系统可达性、景观空间的互动性、服务设施共享性以及基本居住单元4方面设计街区型住宅小区开放的策略及概念模型。繆朴则在对封闭式小区产生的社会问题进行分析的基础上提出来一种小区构建的设计模式[4]。裴玉龙等在分析城市大型封闭小区对城市道路交通网络影响的基础上[5],借助构建局部路网评价指标体系实现封闭小区内道路开放前后局部路网可靠度的对比分析,提出封闭小区内道路使用的交通管理方案。张娜则基于Braess悖论及交通分析理论为依据[6],以道路通行能力、延误时间、行程时间、排队长度等因素为评价指标,对小区开放的交通状况进行量化分析,进而对不同形式的小区开放后交通道路通行方案优化提出相应对策。

上述相关研究总体看大多基于理论方面的分析,较少或者没有考虑小区开放对路网通行能力的重要影响因子的数据分析。本文从数据分析视角入手,重点研究小区开放前后路网通行能力评估因子的关联

性及其排序问题,为现有小区开放以及新建小区方案设计提供理论数据支撑。

2. 小区开放对路网通行能力指标影响度评估分析

小区外的道路为城市交通的主干道,而小区内部的道路则视为城市交通的支路。小区开放的主要目的是要解决城市路网的整体合理布局问题而并非单纯的拆掉小区围墙。目标是通过小区开放措施加大城市道路路网密度及优化路网性能。

对于小区内部开放效果的评价应该主要从其内部支路的质和量两方面考虑。量的方面包括小区内部道路总长、宽度、面积、小区内的道路面积率以及平均路网密度,在质的方面则关注小区的开放程度、道路开放时间、内部道路断头路以及环形路等通行质量较差的道路所占的比例,同时应考虑小区所处区域的车流量情况。在相关研究的基础上[5][7][8][9],本文提出6项小区开放路网性能评估指标,并对各项指标的性能进行了量化分析。

2.1. 小区内部支路状况对城市路网影响的评价指标

假定小区内部有 n 条道路,记第 i 条道路长度为 l_i (公里),宽度为 d_i (公里), $i=1,2,\dots,n$,小区总面积为 s 。使用小区内部道路面积率和小区内平均路网密度两项指标来评价小区内部的支路数量情况。

1) 小区内部道路面积比率(URAR, Urban Road Area Ratio)

是指建成小区内道路(铺装宽度为3.5米以上,不包括人行道)面积和小区面积之比:

$$\text{URAR} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{s} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i d_i}{s} \quad (1)$$

道路面积比率是反映小区内部道路拥有量的重要指标。参考城市道路面积率与城市规模的关系,构建表1量化小区内部道路面积比率值与小区支路规模等级之间关系。

2) 小区内部平均路网密度 ρ

平均路网密度是指区域内所有道路的总长度与区域总面积之比。城市的路网密度计算是不包括小区内部道路的,但是在小区开放的情况下需要将居住区内的路网情况纳入考虑。小区内平均路网密度记为:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{s} \quad (2)$$

小区内平均路网密度(单位:条)指标对路网评估的意义在于小区内的道路基本属于四级或四级以下道路,单向机动车道数一般不超过2条,道路总宽较小。研究平均路网密度能在仅考虑支路通行能力的情况下更好的研究小区开放对区域的影响。平均路网密度与道路面积率的不同之处在于平均路网密度不考虑道路的宽度,仅考虑可供通行的道路的长度在区域内的占比。表2体现出小区内部平均路网密度和小区规模的关系。

Table 1. Relationship between road area ratio and branch scale of residential area

表 1. 小区内部道路面积比率与小区支路规模等级关系

小区内部道路面积比率	≤ 0.06	(0.06 ~ 0.09)	≥ 0.09
小区支路规模等级	低	中	高

Table 2. Relationship between average road network density and plot size

表 2. 小区内部平均路网密度与小区规模关系

小区内平均路网密度	≤ 4	(4,8)	≥ 8
小区支路规模等级	低	中	高

3) 低质量支路所占比例 q

现有小区特别是老小区由于建设方案设计问题,大多存在低质量不适合开放的道路类型比如断头路和环形路。所以研究小区内部支路质量时要对低质量支路所占比例进行评估,低质量支路所占比例 q 计算公式为:

$$q = \frac{\sum_{j=1}^m b_j}{\sum_{i=1}^n l_i}, m \leq n \quad (3)$$

其中 $\sum_{j=1}^m b_j$ 表示低质量支路的总长度。由于低质量支路的宽度对通行质量没有意义,所以此处计算低质量支路占比时使用支路之间的长度比值。典型的小区低质量支路如图 1 及图 2 所示。

图 1 所示断头路小区被河流和绿地分为四个部分且两两之间没有通路,内部所设所有道路均为断头路,该小区的低质量支路占比达到 100%。

图 2 为含有环形路小区。在该小区支路系统中,右上角和下方的环形道路对于出入该小区的周边交通环境改善没有太大的意义,认定为低质量支路。根据公式(3)计算可得该小区的低质量支路占比约为 14.6%。



Figure 1. Typical guillotine plot
图 1. 典型断头路小区



Figure 2. Typical ring road cell
图 2. 典型环形路小区

4) 小区实际接收车流量 l

各个小区的开放计划存在差异。有的小区内的支路是全天候开放，而部分小区仅由早晚高峰时期开放支路。开放时间的长短事实上体现了该小区的开放质量。同时由于不同小区所处的经济、地理环境不同，靠近车流量大的小区如果开放，则其内部支路的车流量会比位于郊区的小区的车流量大。综合上述因素，以小区实际接收车流量 l 作为评价小区开放对路网影响的另一项重要指标。小区实际接收车流量 l 以下式计算：

$$l = v \times \prod_{i=1}^3 \eta_i \quad (4)$$

其中 v 表示周围道路总车流量， $\eta_i \in (0,1), i=1,2,3$ 为修正因子，分别为小区所处环境、小区开放计划以及小区内部道路结构对车流量的影响程度。

2.2. 小区周边路网状况对城市路网影响评估指标

周边道路通行的评价主要分为对交叉口、路段以及区域整体的三个不同层面的评价。在不明确小区附近路况的情况下，这三种分类仍然有其普遍意义。

小区开放后城市道路通行能力是否能够得到提高，很大程度上受到小区外周边道路的通行能力以及小区与其周边路网系统的衔接程度的影响。小区附近的典型道路类型主要分为交叉口和直行路段。因此对这两种道路类型的评价指标进行量化分析具有现实意义。

交叉口对城市路网影响评估指标

交叉口的主要评价指标包括饱和度 S 以及路段相对延误率 d_{rR} 。

5) 交叉路口饱和度 S ：是指交叉口实际交通量与通行能力之比：

$$S = V/C \quad (5)$$

该指标反映交叉口整体的拥堵情况。其中 V 表示车流量(单位车/小时)， C 表示交叉口车道通行能力(单位车/小时)。

6) 路段相对延误率 d_{rR}

首先表述路段相对延误率指标 d_{rR} 的构建诸项因子。

a) 路段行驶时间 t_L 。车辆行驶过路长为 L 的路段所需时间。这个量可以由现场实测，也可以通过关系值计算得出。该指标直接体现出行时耗和拥挤程度，同时也间接体现了小区附近的基础设施建设结构。

b) 路段平均速度 v_L 。车辆通过路段时路段长度 L 与路段行驶时间 t_L 之比，反映了交通流在特定路段空间上的运行状况，体现道路的通畅程度，计算公式如下：

$$v_L = 60 \times L/t_L \quad (6)$$

c) 出行速率 u 。车辆在特定路段上行驶时每公里所需要的时间平均值：

$$u = t_L/L \quad (7)$$

d) 延误值 d_L 。实际出行时间 t_L 与可接受出行时间 t_{La} 的差值。

$$d_L = t_L - t_{La} \quad (8)$$

e) 总延误值 D_{L_t} 。在一定时间 t 内通过该路段的所有车辆延误之和：

$$D_{L_t} = \sum_{i=1}^n d_{L_i} \quad (9)$$

这里 d_{Li} 表示第 i 个车辆的延误值。

f) 绝对延误率 d_{rL} 。即实际出行速率与可接受出行速率之差即路段时间损失率，其值可以用来评价交通改善方案的运行情况。

$$d_{rL} = u - u_a = (t_L - t_{La})/L = d_L/L \quad (10)$$

g) 路段相对延误率 d_{rR} 。是一个无量纲的指标，用于比较不同路况之间拥堵情况的差异性。

$$d_{rR} = (t_L - t_{La})/t_{La} = d_L/t_{La} \quad (11)$$

3. 开放小区路网评估指标的性能分析

3.1. 基于主成分分析的路网指标性能评估

在统计学方面，主成分分析法是一种有效的特征降维方法。其原理是将原始数据的几个相关变量转化为几个新的无关的综合变量，从中选取几个较少的综合变量去反映原始变量的信息，是一种降维处理方法。他为原始指标的排序提供理论支撑。为了获取上述 6 项指标在优化路网性能方面的作用，使用主成分分析法对影响区域机动性的各个因子进行主成分排序，为小区开放后的路网规划提供数据支撑，数据处理流程如下：首先将 6 项评估指标作归一化处理，计算其相关系数矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{26} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{61} & r_{62} & \cdots & r_{66} \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中 r_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, 6$) 为变量 x_i 与 x_j 的相关系数， $r_{ij} = r_{ji}$ ，其计算公式为：

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^6 (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^6 (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^6 (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}} \quad (13)$$

其中 $\bar{x}_j = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 x_{kj}$, $j = 1, 2, \dots, 6$, $\bar{x}_i = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 x_{ik}$, $i = 1, 2, \dots, 6$

通过求解方程， $|\lambda I - R| = 0$ 计算其特征值与特征向量并将特征值按其大小排序

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \lambda_4 \geq 0 \quad (14)$$

计算特征值 λ_i 的特征向量 e_i , $i = 1, 2, \dots, 6$ 。并单位化，

$$\text{计算各指标贡献率 } p_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^6 \lambda_k, i = 1, 2, \dots, 6 \quad (15)$$

$$\text{计算累积贡献率 } q_i = \sum_{k=1}^i \lambda_k / \sum_{k=1}^6 \lambda_k, i = 1, 2, \dots, 6 \quad (16)$$

本文以湖南省长沙市芙蓉区人瑞潇湘国际、金府嘉苑 2 个小区的数据为基础，将各项指标数据借助 spss 软件求解相关系数矩阵数据如表 3 所示。

进而求解得到各指标的特征值、方差贡献率及累计贡献率数据统计如表 4 所示。

分析表 4 可以发现，小区平均路网密度 ρ 与道路面积比率 URAR 两个指标的累计贡献率达到 75%，是改善小区路网性能的主要指标，是小区路网改造特别是新建小区时应重点考虑的问题。

Table 3. Correlation coefficient matrix among 6 indexes
表3. 6项指标的相关系数矩阵

	URAR	ρ	q	l	S	d_{rR}
URAR	1	0.90	-0.45	0.76	-0.56	-0.72
ρ	0.90	1	-0.07	0.24	-0.65	-0.73
q	-0.45	-0.07	1	0.21	0.54	0.66
l	0.76	0.24	0.21	1	-0.21	-0.31
S	-0.56	-0.65	0.54	-0.21	1	0.78
d_{rR}	-0.72	-0.73	0.66	-0.31	0.78	1

Table 4. 6 contribution rate statistics of assessment factors
表4. 6项评估因子贡献率统计

主成分	特征值	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)
小区平均路网密度 ρ	4.361	51.791	51.791
道路面积比率URAR	2.089	23.216	75.007
实际接收车流量 l	1.043	11.589	86.596
低质量支路所占比例 q	0.507	5.638	92.234
交叉路口饱和度 S	0.315	4.654	96.888
路段相对延误率 d_{rR}	0.193	3.112	100

3.2. 基于相关性分析的路网指标性能评估

小区开放后, 小区内路网与周边路网的互补性效果如何, 对整个区域内车辆、行人的实际输送能力的影响程度进行评估具有理论意义。需要在数据统计的基础上建立小区及周边路网机动性指数 MI , 进而研究该指数与上述 6 个指标的相关度。

小区及周边路网通行能力评估应该综合考虑单位时间内路网对乘客以及步行者的整体输送能力, 可视作描述整个区域交通状况的综合评价指标。小区及周边路网机动性指数 MI 计算公式为:

$$MI = (P \times \bar{v}) / \sum_{i=1}^n \gamma Q_i v_i \quad (17)$$

其中 P 表示高峰时段区域道路上行人数量(人/小时), \bar{v} 表示区域道路上出行者的平均速度(公里/小时), Q_i 表示道路 i 上自由流车辆速度(公里/小时), γ 表示单位车辆载客人数。

为了评估表 5 中的 6 项指标与 MI 之间的相关度, 通过采集实体数据进行统计分析。数据取自湖南省长沙市芙蓉区 2016 年城市规划方案及官方网站公布的数据等。以芙蓉区东方新城小区的数据为基础, 将各项指标进行归一化处理得到表 5 所示的相关性矩阵。

分析表 5 数据可以看出, 区域机动性与小区内部平均路网密度、道路面积率和小区实际接收车流量成正相关, 而与小区内部低质量支路占比、交叉口饱和度和路段相对延误率成负相关。这既是符合道路交通的一般常识, 也与主成分分析得到的表 5 数据吻合, 验证了本文的路网性能指标构建的合理性。

Table 5. Data statistics of indicator correlation matrix
表 5. 指标相关性矩阵数据统计

	MI	URAR	ρ	q	l	S	d_{rs}
MI	1	0.83	0.89	-0.42	0.71	-0.52	-0.74
URAR	0.83	1	0.91	0.03	-0.13	-0.49	-0.66
ρ	0.89	0.91	1	-0.06	0.25	-0.63	-0.74
q	-0.42	0.03	-0.06	1	0.22	0.52	0.63
l	0.71	-0.13	0.25	0.22	1	-0.22	-0.30
S	-0.52	-0.49	-0.63	0.52	-0.22	1	0.76
d_{rs}	-0.74	-0.66	-0.74	0.63	-0.31	0.76	1

4. 小区开放对优化周边路网性能的建议

开放小区的目的是为了优化周边路网的通行能力。老旧小区开放以及新建小区时上述小区平均路网密度 ρ 等 6 项指标的相关性以及优化路网性能方面重要程度的差异性应该作为重要因素考虑。比如在设计小区建设方案或者老小区改建时, 由于 URAR 及 ρ 两个指标对路网性能的影响率达到 75% 以上, 这两个因素应该重点考虑, 而低质量支路所占比例 q 及交叉路口饱和度 S 等指标需要酌情参考。另外对于内部路况较差、支网密度低的小区, 可以通过管制手段限制进入的车流量, 同时通过道路维修改善行车条件。对于内部人流量较大的小区可通过设立交通灯以及安全标识等措施将其纳入到正规的交通体系中, 同时注意提醒行人与司机注意安全防护防止交通事故。对于路况较好小区可以通过设置标识, 将别处的车流引入该路段缓解外围道路的交通压力。对于处于交通拥堵区的小区应尽量开放道路较宽、路况较好的道路以疏通车流量。而处于畅通区的小区则应考虑小区内道路的通达性, 避免车辆的绕路。道路走向的选择应充分利用原有道路或者将端头道路进行连接, 但应尽量避免不必要的拆迁。开放的道路与城市道路的连接点应尽量选在小区原有的出入口位置, 同时还要充分考虑小区的非机动车辆及行人较多的因素, 保证行人的安全, 所以道路设置不应太宽。小区道路与主要干道进行衔接时, 同一条道路上的开口数目过多会导致该道路的通行能力下降, 因此要充分考虑衔接设计以此来减少过大的车流量带来的不良效应。同时转弯半径应设计合理, 应在 10 米左右。

5. 结束语

随着我国城市化进展逐步加快, 道路通行能力问题日益突出。封闭式小区开放成为优化城市路况的重要因素。但是, 不同类型的小区开放模式设计应该具有针对性。事实上少部分类型的小区开放对周边路网通行能力提高作用不大甚至会造成负面效应。本文在相关研究的基础上, 首先通过设计小区平均路网密度 ρ 等 6 项指标作为路网通行能力的影响因子, 使用主成分分析法对六项指标在优化路网性能方面的作用差异进行排序, 找到效用最高的小区平均路网密度 ρ 与道路面积比率 URAR 两个指标; 其次设计小区及周边路网机动性指数 MI , 借助相关性分析法对六项指标与 MI 的相关度进行量化分析, 发现 MI 与小区内部平均路网密度、道路面积率和小区实际接收车流量成正相关的结论。并且主成分分析法和相关性分析法得到了的六项指标性能排序相吻合。诸项指标对路网通行能力影响方面的差异为小区开放后内部路网与周边路网的组合方法以及新建小区的方案设计提供了数据支撑。

另一方面, 城市级别的差异性体现出其现实路网结构的差距。不同级别的城市小区开放前后对城市道路通行力的影响具有差异。针对不同级别城市的不同类型小区, 使用统计分析方法设计内部及周边路

网结构的优化方案,从宏观角度提高不同城市的路网整体通行能力具有更大的实用价值,这也是我们的后续研究工作。

基金项目

国家自然科学基金(71071161, 61273209); 江苏省自然科学基金(BK2012511)。

参考文献

- [1] 朱博义. 北京交通拥堵的市场化解决思路[J]. 交通发展研究, 2013, 12(23): 27-30.
- [2] 秦葛. 城市封闭式居住小区规划模式与城市交通的协调性研究[D]: [硕士学位论文]. 2010.
- [3] 商宇航. 城市街区型住区开放性设计研究[D]: [硕士学位论文]. 2015.
- [4] 繆朴. 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.
- [5] 裴玉龙, 丁千锋. 考虑封闭小区内道路使用的路网评价研究[C]//中国城市交通规划学会 2005 年论文集. 231-236.
- [6] 张娜. 深圳南山区居住小区建成环境对居民出行行为影响研究[D]: [硕士学位论文]. 2014.
- [7] 祝付玲. 城市道路交通拥堵评价指标体系研究[D]: [硕士学位论文]. 2006.
- [8] 闫俊峰. 城市建设项目交通影响评价研究[D]: [硕士学位论文]. 2012.
- [9] 张敏. SOHO 模式影响下的未来住区发展[J]. 华中建筑, 2000, 18(2): 19-20.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

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

期刊邮箱: csa@hanspub.org