

# Analysis on the Surrounding Road to the Opening Community of Dijkstra Algorithm

Rui Shi<sup>1</sup>, Zefeng Mu<sup>2</sup>, Shaojun Zhang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mathematical Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot Inner Mongolia

<sup>2</sup>College of Computer Science-College of Software Engineering, Inner Mongolia University, Hohhot Inner Mongolia

<sup>3</sup>School of Physical Science and Technology, Inner Mongolia University, Hohhot Inner Mongolia  
Email: 729957232@qq.com

Received: Oct. 3<sup>rd</sup>, 2017; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2017; published: Oct. 27<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

In this paper, according to the assessment and analysis of the influence of the open area on the road capacity, the author evaluates the evaluation index of the one-way road capacity, and then extends to the whole road system to analyze the road capacity. In view of the low number of known data, this paper uses the model to find the data, and then through the data analysis of the way the road capacity and open cell model to assess, so as to open the construction of the district road to optimize the design.

## Keywords

Dijkstra Algorithm, Factor Transformation Method, BRP Model, Impedance Function, Optimal Design

---

# 基于Dijkstra算法对小区开放后周围道路的影响分析

石蕊<sup>1</sup>, 牟泽峰<sup>2</sup>, 张少军<sup>3</sup>

<sup>1</sup>内蒙古大学数学科学学院, 内蒙古 呼和浩特

<sup>2</sup>内蒙古大学计算机学院(软件学院), 内蒙古 呼和浩特

<sup>3</sup>内蒙古大学物理科学与技术学院, 内蒙古 呼和浩特

Email: 729957232@qq.com

收稿日期: 2017年10月3日; 录用日期: 2017年10月21日; 发布日期: 2017年10月27日

## 摘要

本文针对开放小区对道路通行能力影响的评估与分析,先找取评价一段单行道路通行能力的评价指标,再拓展至整个道路系统对道路的通行能力进行分析。鉴于已知数据较少,本文采用通过模型求数据,再通过数据进行分析的方式对道路通行能力和开放小区的模式作出评估,从而对开放式小区道路的建设提出优化设计。

## 关键词

Dijkstra算法, 因素转化法, BRP模型, 阻抗函数, 优化设计

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. 引言

交通阻塞是世界各地普遍面临的问题。近年来,我国的城市化水平空前加快,交通阻塞已由局部向大范围蔓延。这不仅影响了城市生活的效率和质量,并且带来了环境污染、能源紧张等一系列经济社会问题严重制约了城市发展。由于城市的道路已经趋于饱和,所以单纯的扩路或者增加道路数量已经不能有效地解决我们的交通拥堵问题,更好的城市设计才能从根本上缓解交通压力。因此,开放式小区是人类发展到一定阶段的必然产物,对于开放式小区的分析具有重要的意义。

目前,国内外专门针对开放式社区管理的研究及探析较少。美国是最先实施开放式小区政策的国家,作为开放型社区的首个应用者,位于佛罗里达州 Seaside 小镇更是被时代周刊列为美国近十年“十大设计成就之一”。全人车混行,它通过增加路网整体密度,降低道路等级,提高了通达性,方便了人们的出行生活。

进入私家车越来越盛行的今天,面对日益严重的城市拥堵问题,我国有学者提出对建设项目进行交通评价影响评价,通过定量的方式分析建设项目对周边路网所产生的影响。因而有人通过建立合适的评价指标来对小区进行分析,例如秦葛[1]的论文中就是通过建立相应的评价指标,评价现阶段我国城市封闭式居住小区与城市交通之间的协调性。也有利用模糊数学或者烟羽模型法[2][3]去建立模型。然而这些方法都只是从宏观的角度去研究开放小区,并未对道路本身进行分析。因此本文主要利用最小聚类分析和 Dijkstra 算法建立路网模型。

## 2. 问题概述及分析

首先,我们要选取合适的评价指标体系,用以评价小区的开放对周边通行的影响。因此需要知道道路的通行效率与哪些因素有关,查阅资料可得,道路的通行效率与道路的运行能力和居住小区出入口以及主要交叉口通行能力有关(图 1)。

要想进一步评价小区周边道路的通行,首先要建立车辆通行模型(图 2),来判断车流量在不同情况下的通行状况,然后建立模型评价小区开放前后对不同程度车流量下的影响。

小区开放后,由于小区周围车流量一般较大,对小区通行情况的主要因素在于道路的阻抗程度,因

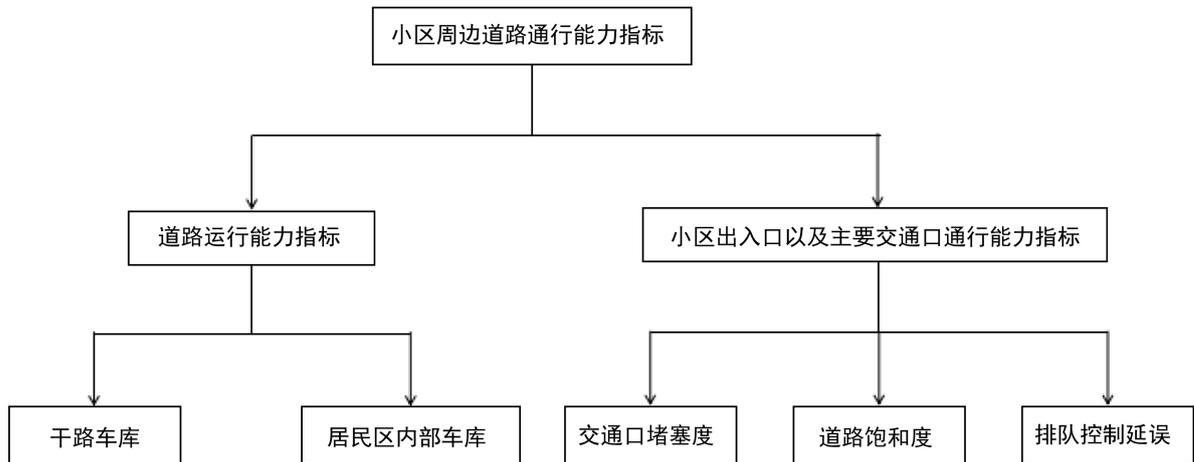


Figure 1. Analysis of factors related to traffic capacity  
图 1. 通行能力相关因素分析

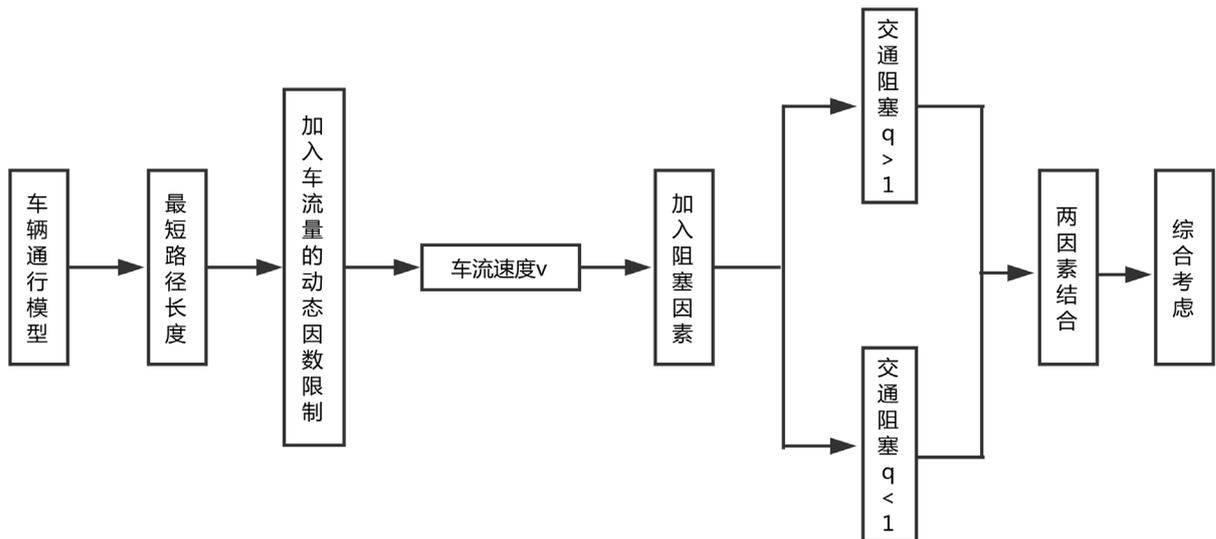


Figure 2. Model illustration  
图 2. 模型图解

而要建立阻抗函数分析不同类型小区对道路的阻抗程度，阻抗程度越小，就说明此类开放小区的模式越优，当然还要综合考虑小区面积等建设因素。

### 3. 模型

#### 3.1. 道路通行能力评估

##### 3.1.1. 影响道路运行能力的指标

在选择开放式小区探究道路运行能力时，我们需要看居住区引发交通是否对现有居住区内道路以及居住区周边道路服务水平造成影响，主要指标包括：

- 1) 城市干道平均行程车速(km/h)，主要指城市干道机动车平均行驶车速，用以评价道路的流畅程度。
  - 2) 居住区内路网平均行程车速(km/h)，指的是居住区内道路网中所有路段机动车的平均行驶速度。
- 平均行程车速对于不同的区域，不同的道路等级有着不同的取值标准，确定某地特定道路的行程车

速, 必须采用实地观测的方法。一般情况下, 采用固定区段长度观测车辆的行程时间, 然后推断行程车速, 对于车辆样本, 最终求取其平均车速值, 公式如下:

$$v_j = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_a} \quad (1)$$

$$v_{\text{均}} = \frac{\sum_{j=1}^m v_j}{m} \quad (2)$$

由表 1 和表 2 可以看出平均车速  $v_{\text{均}}$  路段数  $m$  成反比例关系, 即路段数到达一定程度后, 求平均后的平均车速越趋于稳定, 因而我们不能一味地通过增多道路数量来缓解通行压力。

在中国, 大家的出行方式短途的主要以自行车为主, 长途主要以私家汽车和公交车为主。所以小区周围道路的车速主要受这些车辆的影响。

### 3.1.2. 居住小区出入口以及主要交叉口通行能力指标

由于小区周围的车流量一般较大, 为了保障人们的安全出行, 一般设置了较多有红绿灯的交叉路口。所以评价居住小区和城市交通能力的另一项评判指标是对居住区出入口和主要交叉口通行能力的评价。交叉口是路网中最为敏感的节点, 交叉口交通量的处理不当会引发交通问题。因此, 在评价居住小区与城市交通能力协调性时, 对居住区出入口和居住区周围的主要道路交叉口评价至关重要。对其评价指标可以用交叉口造成的延误时间变化和居住小区所引发交通量对出入口、排长队变化以及饱和度变化等方面反映。

主要指标有: 交叉口阻塞率(%)、道路饱和度

- 交叉路口阻塞率(%): 指的是造成的周期性严重阻塞路口的数量占交叉路口总数的比值。

$$K = \frac{c_1}{c_2} \quad (3)$$

其中,  $c_1$  是走最短路径需要通过的交叉口数, 而  $c_2$  是该道路系统中总交叉口数。

**Table 1.** The speed of different kinds of vehicles

**表 1.** 城市基本车型车速调查

车型	车速
自行车	15~25 km/h
私家车	50~60 km/h

**Table 2.** The relationship between the rate of travel of short distance travel in China's big city residents and travel distance

**表 2.** 中国大城市居民短距离出行方式分摊率与出行距离关系

距离范围	步行	自行车	公交车	小汽车	其他	合计
0~1 (公里)	73%	22%	1%	1%	3%	100%
1~2 (公里)	36%	45%	5%	8%	6%	100%
2~3 (公里)	12%	44%	20%	17%	7%	100%
3~4 (公里)	4%	35%	32%	23%	6%	100%
4~5 (公里)	0%	35%	26%	31%	8%	100%

资料来源: 数据来自于《城市居民短距离出行行为研究》。

分析可得：

虽然路径最短时理论上通行用时最短，但实际生活中，最短路径也是最拥挤的道路，是人人都想选择的道路，因而最短路径的负荷相对于其他路径来说就会偏高，所以最短路径上的交通路口的阻塞也是严重的。

- 道路饱和度：指的是实有交通量与道路的通行能力之比。用来衡量城市道路的容量平衡情况。

由于现阶段我国居住小区大多采取封闭式管理模式，可将居住小区出入口看做信号灯控制平面交叉口，其通行能力针对特定进出口的车道组，及服务于各种转向的多条车道组合，计算公式为：

$$c_i = s_i \cdot \frac{g_i}{C} \tag{4}$$

在交叉口的通行能力分析中，交通流率与通行能力的比值(V/C Ratio)即饱和度是一个较为重要的指标，用  $X$  表示。对于给定的车道组  $i$ ，其负荷度  $X_i$  为：

$$X_i = \left( \frac{V}{C} \right)_i = \frac{v_i}{s_i \cdot \left( \frac{g_i}{C} \right)} = \frac{v_i \cdot C}{s_i \cdot g_i} \tag{5}$$

因此，小区周边的道路系统是一个复杂的道路系统，因而我们选择以上两大类，三小类指标进行分析判断，从表 3 可以看出，第二大类指标对道路通行能力的影响因素较多，且影响比重较大。这与我们的实际生活相符合，因为小区内部及周边行人较多，路况复杂，所以车速较低，这时交叉口的数量，排队等红绿灯的时间占据主要因素。

### 3.2. 基于 Dijkstra 算法的车辆通行模型建立

在考虑交通状况时，我们会引入最短路径的概念，用来减轻交通的负担，但在现实情况中，最短路径往往与交通量挂钩，通常在拥有最短路径后，还要考虑交通量的变化，用 Dijkstra 单源最短路径算法[4]可以获得最短路径，而交通量，需要车流的速度和道路的状况相结合得到，我们假定：

$$\bar{\omega} = v \cdot \xi \tag{6}$$

$$\omega(P_0) = \min_p v \cdot \xi \cdot \omega(P) = \min_p \bar{\omega} \cdot \omega(P) \tag{7}$$

其中： $\omega(P_0)$ 为交通状况综合评定变量， $v$ 为车流的速度， $\xi$ 为道路的状况权重， $\omega(P)$ 为实际路径， $\omega$ 为交通量评定变量

在公式  $\xi$  中作为道路状况的评定，暂定取值范围为大于 1，当无穷大时表示道路状况堵塞严重，不能通行，当为 1 时，表示理想型通畅(与道路状况无关)。

验证模型：

如图 3，假定只考虑单行线路，由 Dijkstra 算法可直接求解从 1 到 8 的最佳路径为(1, 2, 5, 6, 8)，假定 5 就是拟合的小区开放点，与其相连的线就是小区开放线路，我们假定小区的道路状况为理想状况，速

Table 3. Correspondence between load and road situation

表 3. 负荷度与路载情况对应关系

路载情况	负荷度	负荷情况
A	>1	超过道路正常极限
B	0.8~1	道路比较拥挤
C	<0.8	正常通行状态

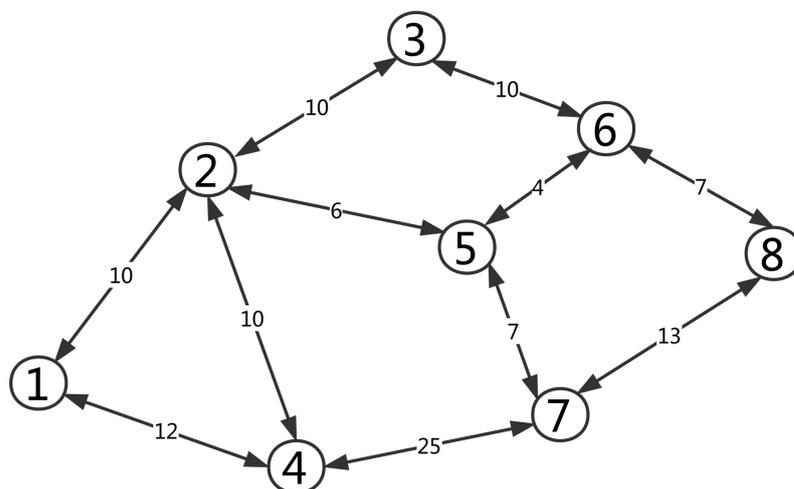


Figure 3. Dijkstra Model  
图 3. Dijkstra 示意图

度为正常状况，由上述公式可知，开放小区后，对交通压力的缓解具有一定帮助，同时增加了最佳的线路，如果在最佳路径的基础上，加入交通量 $\omega$ ，便能够对整个线路交通综合状况进行评定。

### 3.3. 阻抗模型

#### 3.3.1. BRP 函数模型

道路交通阻抗函数是指路段行驶时间与路段交通负荷之间的函数关系，是交通网络分析的基础。美国联邦公路局在对大量路段进行交通调查的基础上总结得到了路段通行时间和道路流量的关系：

$$t = t_0 \left[ 1 + \alpha \left( \frac{Q}{C} \right)^\beta \right] \quad (8)$$

其中， $\alpha$  和  $\beta$  为待标定参数，美国联邦公路局标定  $\alpha = 0.15$ ， $\beta = 4.0$ 。

如图 4，BPR 函数反映了路段通行时间和路段流量之间的关系，它是路段阻抗函数研究中最广泛的一个，该模型中，行程时间是流量与通行能力比值的非线性函数。

然而 BPR 函数作为道路阻抗函数应用到城市交通分配中时，它存在诸多不足之处，例如，BPR 函数反映路段阻抗仅与本路段流量有关系，而城市道路阻抗有别于路段阻抗，在城市道路中，道路行驶时间受到交叉口密度、道路限速等因素限制，这是高速公路与城市道路的差别。

饱和度大于 1 时，随着交通量的继续增加，车流经过路段所需时间迅速以指数倍增加，车流经过路段所需时间也以指数倍增加，这与实际不符，在现实生活中，交通量不会持续增加，而只是在出行高峰期时交通量较高。

#### 3.3.2. 阻抗模型

- 平均邻居节点度与节点度

节点度定义：即一个路口与之相连的路口数量，如十字路口就是 4 节点度，丁字路口是 3 节点度。

节点度  $a_i$  是刻画和衡量一个节点特性的最简单、最重要的概念，它可以表示节点度的相关性如下：

$$\langle a_i \rangle = \sum_j \frac{a_j}{a_i} \quad (9)$$

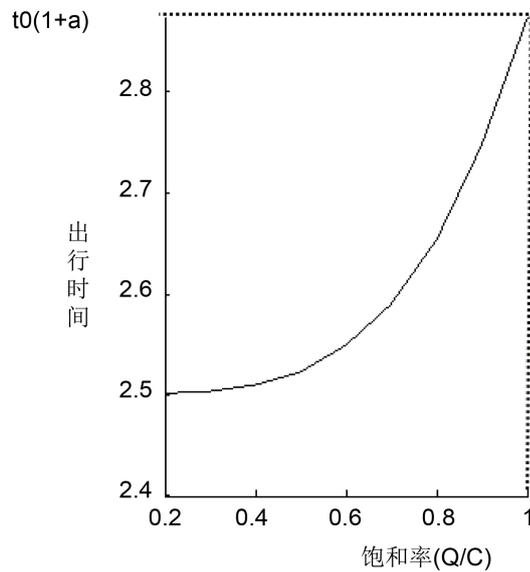


Figure 4. BRP model  
图 4. BRP 模型图

在无标度网络中， $a_i$  越大说明越有可能产生交通拥堵情况，从平均意义上说，个体就需要花费更多的时间通过这样的节点，即绕过  $\langle a_i \rangle$  和  $a_i$  较大的节点，选择有效路径可能会花费更少时间。

• 最小支撑聚类[5]

最小支撑聚类包含了网络中所有节点和部分边，是带权连通图众多支撑树中各边权重最小的一棵树。最小支撑聚类是最小支撑树上的一个子图，其特征参量表示如下所示：

$$K \equiv \frac{\langle a^2 \rangle}{\langle a \rangle} \tag{10}$$

式中， $\langle a \rangle$  表示网络的平均度， $\langle a^2 \rangle$  为网络中节点度平方的平均值。

对于无标度网络来说，最小支撑树承担着整个网络的大量运输任务，而最小支撑聚类则承担了最小支撑树上大量的运输任务，故属于最小支撑聚类的路段最容易产生拥堵，适当地绕行这路段，就可以降低拥堵发生的可能性。

运用移除的方法可以得到网络中最小支撑聚类，具体操作如下：

首先，对网络上的每条边按权重大小进行将序排列，然后逐一按顺序对排列的边进行移除。每次移除边后，再重新计算最小支撑聚类  $K$ 。显然， $K$  将随边的移除逐渐减小。重复此过程，直至  $a < 2$  时，算法停止。此时网络中保留的最大组元即为最小支撑聚类。

根据上述分析可知，节点度  $a_i$  及平均邻居节点度  $\langle a_i \rangle$  值较大的节点比网络中其他节点更容易产生拥堵，而且最小支撑聚类上的路段承担了大量的流量，其产生拥堵而导致的路段阻抗急剧增大，故将  $a_i$ 、 $\langle a_i \rangle$  和一段道路是否属于最小支撑聚类作为影响阻抗函数取值的重要因素，选择路径的时候应该在保证较短行程的基础上尽量避免通过这些容易产生拥堵的路段，使得出行时间最短，耗油量最低。

基于复杂网络的特性，考虑到节点度和最小支撑聚类对路径搜索产生的影响，阻抗函数如下：

$$K(x_i) = l_0 \left[ 1 + \alpha \left[ \frac{a_i}{a_{avg}} + \frac{\langle a_i \rangle}{\langle a_{avg} \rangle} \right]^{\beta + \theta} \right] \tag{11}$$

式中,  $x_i$  为路段, 包含目标节点  $i$  和通向该节点的边  $Line_i$ ,  $l_0$  为路段长度,  $a_i$  为节点  $i$  的度,  $\langle a_i \rangle$  为节点  $i$  的平均节点度,  $a_{avg}$  为网络平均节点度,  $\langle a_{avg} \rangle$  为网路平均节点邻居节点度,

$\theta$  为最小支撑聚类影响系数,  $\alpha$ ,  $\beta$  为调节参数。其中  $\theta$  由路网的拓扑结构决定, 公式如下:

$$\theta = \begin{cases} \frac{\frac{\text{属于最小支撑聚类的节点数}}{\text{路网总节点数}}}{\frac{\text{属于最小支撑聚类的边数}}{\text{路网总边数}}}, & Line_i \in M_F \\ 0, & Line_i \notin M_F \end{cases} \quad (12)$$

$M_F$  代表最小支撑聚类,  $Line_i$  代表通向节点  $i$  的边属于最小支撑聚类。

参数  $\alpha$  用于控制节点度等网络统计特征影响路段阻抗的程度, 当  $\alpha = 0$  时路段阻抗等于路段的长度, 而当  $\alpha$  较大时路段阻抗几乎完全由节点度决定, 而与路段长度无关; 参数  $\beta$  的主要作用是控制节点度增长路段阻抗增长的幅度,  $\beta$  越大不同节点度对应的路段阻抗的差异就越明显。

显然, 当节点  $i$  的节点度超过网络平均节点度或  $i$  的平均邻居节点度超过网络平均节点度时, 阻抗函数的值将迅速增长; 若到达节点  $i$  需通过的边属于最小支撑聚类, 则阻抗函数值的增长将会更加明显。因此, 一个越有可能发生拥堵的路段对应的阻抗函数的值就越大, 每次选择这个值最小的路段搜索, 就可以得到一个尽量规避可能发生拥堵节点的路径。

## 4. 算例

### 4.1. 数据实验[5]

模型中已经告诉了我们求解交叉路口阻塞率的公式, 下面我们以实例来进行分析:

以天津市和平区道路交通网络为例(图 5), 该路网有 764 个节点和 1319 条边, 每组数据从道路网中随机选取 1000 次起点和终点的信息, 通过模型三中的路径搜索算法(考虑交通拥堵)和 Dijkstra 算法(只考虑最短路径, 不考虑拥堵)进行搜索, 结果如表 4。

我们通过 SPSS 做多元线性回归分析得出表 5。

模型检验的显著性分析为 0.01, 因而服从线性分布, 模型可用。可以看出节点数多少的影响比重占到 75.9%, 而平均路径长度影响低于 5%, 可忽略不计, 因而节点数对通行时间的影响比重较大。这与我们上文分析相符合。

结论: 开放小区对道路能力的主要影响指标就是通过拥堵的节点数目。



Figure 5. A map of the crossroad  
图 5. 城市线路图

**Table 4.** Path search algorithm compared with Dijkstra algorithm  
**表 4.** 路径搜索算法与 Dijkstra 算法搜索结果优化

算法名称	路径搜索算法			Dijkstra 算法		
	第一组	第二组	第三组	第一组	第二组	第三组
运行时间/s (1000 次)	6.32	6.27	5.85	10.23	9.47	9.68
平均路径长度	1703	1704	1732	1528	1534	1551
通过容易拥堵的节点数	3516	3521	3683	4324	4407	4497

**Table 5.** Multiple linear regression analysis  
**表 5.** 多元线性回归分析表

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差	试用版		
(常量)	38.122	10.650		3.580	0.037
1 通过容易拥堵的节点数	0.000	0.001	0.071	0.336	0.759
平均路径长度	-0.019	0.004	-0.926	-4.407	0.022

a. 因变量: 运行时间

由于模型中给出的式子是对每一个路口进行迭代分析，而我们研究的是一个交通网络系统，可以整体进行分析，简化模型如下：

$$K(x_i) = l_0 \left[ 1 + \alpha \left[ a_{avg} + \langle a_{avg} \rangle \right]^\beta \right] \tag{13}$$

仅对平均节点度、平均邻居节点度和道路平均长度进行分析，使模型更为简化。

## 5. 对不同类型开放式小区的分析

### 5.1. 对轴线式小区的分析

例如轴线形小区大多为十字路口，故平均节点度趋近于 4，而平均邻居节点度趋近于 1，因而由于小区周围车流量较大，因而这种小区模型会使阻抗较大(图 6)。

### 5.2. 对向心式小区进行分析

向心式小区由于是半圆弧状，因而 3 节点度路口较为常见，所以平均节点度较轴心式小区较低，平均节点度与轴心式小区类似，因而向心式小区的阻抗系数较小，较轴向式小区通行能力更高(图 7)。

然而我们国家为了方便划分，方便规划，采用的都是最简单的方形或是矩形划分，这样的规划方式降低了道路的通行能力。而国外的一些小区已经开始采用向心式规划，不仅使道路通行能力提高，还使小区的规划面积减小，达到双赢。可是向心式小区建设也有弊端，为我们的出行增加了困难，圆形布局要比方形布局更为复杂，这可能会使一部分车辆走错岔口而导致绕行，花费更多时间来认路。

## 6. 模型的局限性

### 6.1. Braess 悖论及小区道路开口数量的分析[6]

1968 年 Dietrich Braess 第一次在一篇论文中提出 Braess 悖论，Braess 认为当使用者通过出发地与目的地去选择道路时，使用者首先考虑的是自身的最优而并未去考虑其他的同行者，因此导致路网系统利

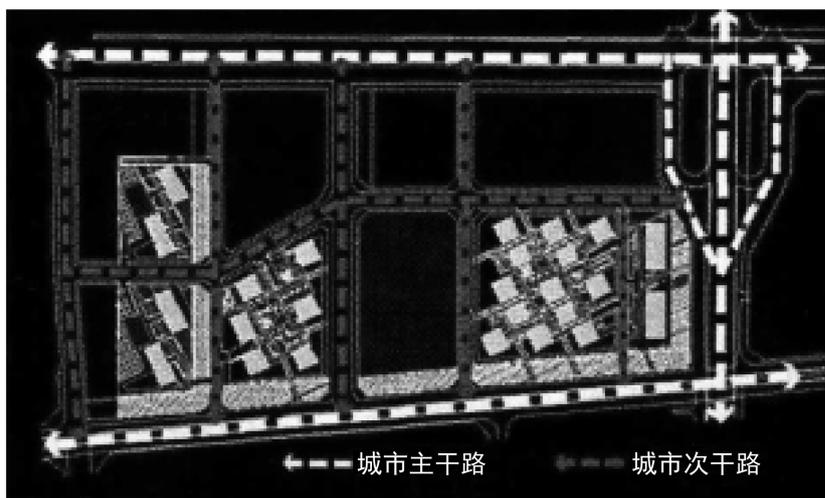


Figure 6. Schematic diagram of the axis area  
图 6. 轴心式小区示意图

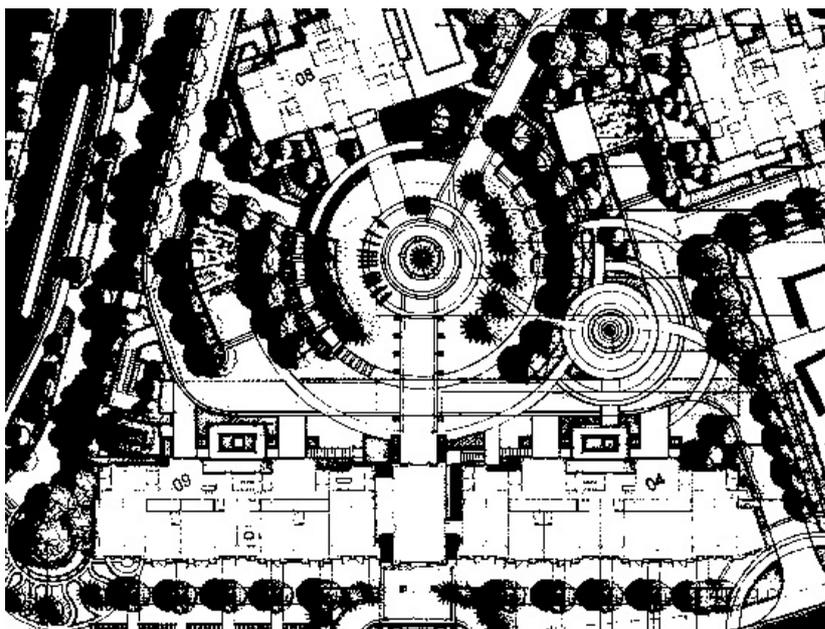


Figure 7. Schematic diagram of centripetal district  
图 7. 向心式小区示意图

用率达不到最优，从而引起新建或扩建的道路起相反作用，也就是说如果道路设计者不考虑出行中路线的更改和出行中对路径的选择原则，一味的寻求增加路网中的路段或者一味的扩建到小区路网可能会导致总体路网的整体通行率和利用率的降低，从而使路网上的所有用户的出行时间增加。路段的时间函数是随着路段交通量的增加而不断增加的，且与该路段的路径相关。

如图 8 中路网包含两个路径即 ABD、ACD，假设图中路网对称以及 AD 交通量为 6，该路网中每个路段的阻抗函数可表示为：

$$t_{AB}(f_{AB}) = 50 + f_{AB}, t_{BD}(f_{BD}) = 10f_{BD}, t_{AC}(f_{AC}) = 10f_{AC}, t_{CD}(f_{CD}) = 50 + f_{CD} \quad (14)$$

每条路径为：

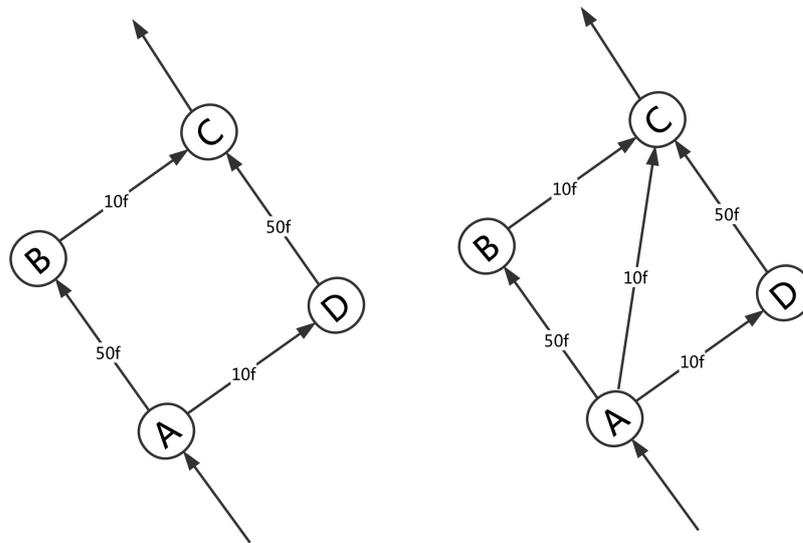


Figure 8. Braess paradox  
图 8. Braess 悖论

$$t_{ABD} = t_{AB} + t_{BD}, t_{ACD} = t_{AC} + t_{CD}$$

各路段的流量为:

$$f_{AB} = f_{BD} = f_{AC} = f_{CD} = 3$$

将路段的流量带入各段的函数, 计算各段的阻抗为:

$$t_{AB} = 53, t_{BD} = 30, t_{AC} = 30, t_{CD} = 53$$

然后计算通过每条路径的交通量为:

$$t_{ABD} = 83, t_{ACD} = 83$$

路网系统总行走时间为:

$$T = 3 \times t_{ABD} + 3 \times t_{ACD} = 83 \times 3 + 83 \times 3 = 498$$

为了减少出行时间, 要在 AD 之间加修一条路。如图 8, 定义行走时间函数为:

$$t'_{BC} = f'_{BC} + 10$$

再增建一条路后, 原来的两条路径变为现在的三条路径即 ABD、ACD、AD 组成, 路网上的部分交通量必然要通过新建的道路。

在路网上的交通量达到平衡时, 每段道路的阻抗相同, 即  $t'_{ABD} = t'_{ACD} = t'_{ACBD}$ , 计算得出各路段交通量为:

$$f'_{AC} = f'_{BD} = 4, f'_{AB} = f'_{CD} = f'_{CB} = 2$$

各路段的行走时间为:

$$t'_{AC} = 40, t'_{BD} = 12, t'_{AB} = 52, t'_{CD} = 40, t'_{CB} = 52$$

各路径的行走时间为:

$$t'_{ABD} = t'_{ACD} = t'_{ACBD} = 92$$

路网系统总行走时间为:

$$T = 2 \times t'_{ABD} + 2 \times t'_{ACD} + 2 \times t'_{ACBD} = 2 \times 92 + 2 \times 92 + 2 \times 92 = 552$$

由以上计算看出, 设计者一味地增加道路并未解决城市的拥堵问题, 却增加了系统的阻抗。

## 6.2. 判断 Braess 悖论的出现

开放封闭性小区的道路, 增建的道路虽然是城市道路或各个街区的道路, 主要目的是用来缓解主干道以及次干道的交通压力和减少该地区的交通阻抗, 分担交通量, 然而对于一些交通量较大区域, 增建的道路可能诱发更大的交通量的产生, 并给道路网络增加负担起到相反作用, 所以才引进 Braess 悖论, 判断新建道路的 Braess 现象那些种类的情况下出现。

Pas 和 Principipio 在 1997 年的一篇文章中指出说 Braess 悖论不发生的两种情况, 如下:

一种是交通需求要求低, 见下式:

$$Q > \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x} \quad (15)$$

另一种则是交通需求过高, 见下式:

$$Q < \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{\beta_n - \beta_x} \quad (16)$$

其中:  $Q$  为出发点交通量, pcu/h;

$\alpha_n$  为一个路段上的自由时间, s;

$\alpha_x$  为该路段相邻或相交路段的自由时间, s;

$\beta_n$  为该路段上的延误参数,  $\beta_l = \delta \left( \frac{V}{C} \right)^\gamma \alpha_n$ ,  $\delta = 0.15$ ,  $\gamma = 4$ ;

$\beta_x$  为该路段相邻或相交路段的延误参数。

当  $Q$  位于二者之间时不会出现 Braess 现象, 如下式:

$$\frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{3\beta_n + \beta_x} < Q < \frac{2(\alpha_n - \alpha_x)}{\beta_n - \beta_x} \quad (17)$$

## 7. 开放式小区的设计建议

小区开放后的确会使道路的通行能力增加, 但是也会对我们居民的安全造成威胁, 尤其是寒暑假在家附近玩耍的小孩, 因此我们的建议是平时可以开放, 但寒暑假可以对部分路段(干路)开放, 我们的通行方便一定要建立在人身安全的基础之上。

对于不同小区的模型我们也作出了相应分析, 分析结果为向心式小区在通行效率上优于轴心式小区, 但是向心式布局较为复杂, 对城市规划和我们的日常出行增大了难度, 如果一些人对道路不熟悉, 且向心式小区入口较多, 很有可能因绕路反而花费更长的时间, 得不偿失, 所以我们的建议是轴向式小区与向心式小区相结合的设计方法。同时, 我们也要考虑 Braess 现象, 避免 Braess 悖论的发生, 考虑新增道路给整个交通网络带来的影响。

最后一点, 由于小区内的交通网络四方八达, 较外部更为复杂, 所以我们建议在路口处设立小区内线路图, 方便驾驶员选择线路。

## 致谢

感谢内蒙古大学数学科学学院韩海涛老师在我写作过程中的帮助与指导。

## 参考文献 (References)

- [1] 秦葛, 王建伟. 城市封闭式居住小区规划模式与城市交通发展的协调性研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2010.
- [2] 邢锐, 薛莹, 黄江浩, 王玲. 基于烟羽模型法对开放式小区的宏观评价[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2017, 39(2): 120-124.
- [3] 管怡成, 颜廷晓, 龚长会. 开放式小区对道路通行的影响[J]. 物流工程与管理, 2017, 39(1): 85-86+82.
- [4] 于凯, 薛长虹, 覃娟. 成都信息工程学报[J]. 四川, 2006, 21(6): 882-885.
- [5] 周阳, 樊建华, 张洁华. 基于节点度和最小支撑聚类的路径搜索算法[J]. 计算机工程应用, 2013, 49(9): 164-167.
- [6] 姚婷, 刘亮. Braess 悖论及其对偶形式的博弈论分析[J]. 交通科学与工程, 2007, 23(3): 56-59.

## 符号说明

字母	含义	符号	含义
$v_{均}$	车辆通过整个交通系统的平均车速	$\omega(P_0)$	交通状况综合评定变量
$v_j$	第 $j$ 段道路平均行驶车速	$v$	交通通行中车流速度
$L$	道路区段长度(km)	$\omega(P)$	最优路径长度
$t_i$	第 $i$ 个样本车穿越道路区段的时间	$\bar{\omega}$	交通量评定变量
$n$	观测样本数	$\langle a \rangle$	网络平均度
$t_a$	道路 $L$ 上平均行驶时间	$\langle a^2 \rangle$	网络中节点度平方的平均值
$m$	车辆通过的路口个数	$l_0$	路段长度
$K$	交通阻塞率	$\langle a_i \rangle$	节点 $i$ 的平均邻居节点度
$c_i$	车道组 $i$ 的通行能力	$\langle a_{avg} \rangle$	网络平均邻居节点度
$s_i$	车道组 $i$ 的饱和流率	$a_j$	节点 $i$ 的邻居节点度
$\frac{g_i}{C}$	车道组 $i$ 的有效绿信比	$x_i$	路段, 包含目标节点 $i$ 和通向该节点的边
$X_i$	车道组 $i$ 的饱和度	$K(x_i)$	道路阻抗系数
$v_i$	车道组 $i$ 的实测或预测流率	$a_{avg}$	网络平均节点度
$g_i$	车道组 $i$ 的有效绿灯时间	$a_i$	节点 $i$ 的度
$C$	信号周期长度	$\theta$	最小支撑聚类影响系数

## 附录

```

//Dijkstra 算法代码示例
#include<iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int e[100][100],dis[100];
    int v[100],i,j,n,m,t1,t2,t3,u,v1,min;
    int inf=99999999;
    cin>>n;
    for (i=1;i<=n;i++)
        for (j=1;j<=n;j++)
            if (i==j) e[i][j]=inf;
    cin>>m;
    for (i=1;i<=m;i++)
    {
        cin>>t1>>t2>>t3;//视路径而定，输入路径端口
        e[t1][t2]=t3;
    }
    for (i=1;i<=n;i++)
        dis[i]=e[1][i];
    for (i=1;i<=n;i++)
        v[i]=0;
    v[1]=1;
    for (i=1;i<=n-1;i++)
    {
        min=inf;
        for (j=1;j<=n;j++)
        {
            if (v[j]==0&&dis[j]<min)
            {
                min=dis[j];
                u=j;
            }
        }
        v[u]=1;
        for (v1=1;v1<=n;v1++)
        {
            if (e[u][v1]<inf)
            {
                if (dis[v1]>dis[u]+e[u][v1])
                    dis[v1]=dis[u]+e[u][v1];
            }
        }
    }
} //体现了 Dijkstra 算法的思想，可以进行理论运行

```

matlab 代码(图 5.3.1-4)

```

l=0:0.1:1
y=2.5*(1+0.15*(l.^4)) %设 t0 的值为 2.5，测试数据
plot(l,y)
axis([0.2 max(l) 2.4 max(y)])

```

**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：2325-2251，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：[sa@hanspub.org](mailto:sa@hanspub.org)