

Economic Analysis for Multiple Transportation Modes of Intercity Travel

Ying Zhang, Xiaoning Zhang

School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai
Email: yingzhang712@163.com

Received: Nov. 24th, 2016; accepted: Dec. 14th, 2016; published: Dec. 21st, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

With the acceleration of the urbanization process, traffic congestion is becoming more and more serious in big cities, and mostly is due to the massive influx of non-local vehicles. About this issue, two aspects can be considered include restricting private vehicles and encouraging public transportation. On the one hand, private car owners in big cities need to pay plate number fee for way-leave. Therefore, managing urban nonlocal vehicles, to restrict traffic, can by market-oriented economics means of intercity motorway toll; on the other hand, taking a variety of means to encourage intercity public transportation, market-oriented methods such as congestion toll for the private vehicles, nonlocal vehicle toll and Park-and-Ride (R&R) mode. Under the premise of encouraging public transport and limiting private cars, three intercity traffic modes can be considered: private car, park and ride, high-speed rail. First, this paper tries to establish path generalized cost function including the travel time and time cost, and then build the discrete choice model based on the random utility theory, next obtain the solution of traffic flow distribution of the three travel patterns under combination of different congestion toll and nonlocal vehicle toll, finally, a numerical analysis method is used to show the traffic flow change more intuitively. The result demonstrates that it is feasible to optimize the structure of traffic modes by some economic methods.

Keywords

Multinomial Logit Model, Congestion Toll, Nonlocal Vehicle Toll, Park-and-Ride

城市间多种交通方式通行经济分析

张 颖, 张小宁

同济大学经济与管理学院, 上海
Email: yingzhang712@163.com

收稿日期: 2016年11月24日; 录用日期: 2016年12月14日; 发布日期: 2016年12月21日

摘要

城市群背景下新型城镇化进程的加快, 大城市及城际间的交通拥堵现象日趋严重, 其中很大一部分原因是外地车辆大量涌入大城市。针对这一问题可以从限制私家车和鼓励公交两方面进行考虑, 一方面是大城市的私家车需缴纳一定的费用购置车牌来获得道路通行权, 因此管理城市外来车辆可以通过城际高速公路区交通通行权采取收费的市场化经济手段来达到限制通行的目的; 另一方面, 采取多种手段鼓励城市间公交出行, 如收取小汽车拥挤费、外地车通行费等市场化方法以及停车换乘方式。因此, 在鼓励公交、限制私家车前提下, 考虑城市间三种交通方式: 小汽车、小汽车停车换乘公交、高铁, 首先给出包含出行费用和时间成本的路径广义费用函数, 构造基于随机效用理论的高散选择模型, 并求解不同收费费用组合下各出行模式的交通流量分配情况, 最后利用数值分析更直观地展现各交通方式交通流量的变化情况。结果显示, 通过经济手段来优化交通方式结构是可行的。

关键词

多项Logit模型, 拥挤收费, 外地车通行费, 停车换乘

1. 引言

在城市群背景下, 大城市带动周边中小城市经济的发展, 随即而来的问题是城际交通需求急剧增加, 私家车在城市间往来更为频繁且数量有递增的趋势, 这必然会引起城际道路和大城市内的拥堵现象, 因此优先发展公共交通已经成为解决城市交通拥堵的重要课题。

交通方式划分使用基于随机效用理论的多项 Logit 模型, 该模型是目前使用较为广泛的离散选择模型 [1], 该模型最早由麦克法登对旧金山 Bay 地区的新快速铁路客流量的预测时提出, 通过分类极大地扩展了效用理论的使用范围 [2]。国内, 自 90 年代中期学者陆化普等将非集计模型理论引入并应用在国内的交通规划中后 [3], 陆续有学者将其应用于交通方式划分领域, 特别是针对城市内交通, 如贾洪飞等分析不同收费价格模式下两种交通方式的分担率和道路饱和度的变化情况 [4]。而对于城际之间交通流量分配问题, 四兵锋、高自友首次将随机均衡模型应用于城际之间交通方式的分配 [5]。

通过多项 Logit 模型预测用户选择不同出行模式的概率 [6], 其中, 通过采取经济手段或停车政策来调整分担率, 以限制进入大城市外来车和鼓励公共交通出行。往返于苏州与上海挂非“沪”字汽车牌照的车辆中经验估计约 80% 以上的为外地常驻上海的车辆以及外地常往来于上海的车辆, 这两类车主或是车主是本市常住人口, 或是该车有相对固定的停车点, 这些车辆的进入给上海的交通带来巨大影响, 范霍夫通过调整停车政策来影响出行行为, 提出停车换乘可以鼓励大众使用公交的出行方式 [7]。黄海军和李志纯基于私家车和私家车换乘地铁两种出行方式, 构建了组合出行的混合均衡分配模型 [8]。通过停车换乘 (Park-and-Ride), 并将停车点外移至郊区或郊区以外, 可缓解上海市内交通拥堵问题。基于固定出行需求的静态组合出行模型, 黄海军和李志纯 [8]、李红莲 [9]、秦焕美 [10] 均有采用相继平均法 (MSA) 进行求解。

以往的文献大多关于城市内的交通方式划分, 且考虑的交通方式单一, 虽然也有文献从经济手段如

收取不同费用来分析分担率变化,但也仅限于改变其中一种交通方式的收费价格。目前关于城市群下城际多种出行方式的研究很少,因此文中包含三种交通方式:全程驾车、停车换乘公交、高铁[11][12],并且从限制私家车和鼓励公共交通两方面进行考虑,通过市场化手段来调节城际交通出行方式结构,一方面是大城市的私家车需缴纳一定的费用购置车牌来获得道路通行权,因此管理城市外来车辆可以通过城际高速公路区交通通行权采取收费的市场化经济手段来达到限制通行的目的;另一方面,采取多种手段鼓励城市间公交出行[13],如收取小汽车拥挤费[14]、外地车通行费等市场化方法以及停车换乘方式[15]。

Logit 模型是最早的离散选择模型,也是目前应用最广泛的模型。在类别选择问题上,麦克法登将每一个类别的效用分解为两部分,分别是能够观测和无法观测的效用,这就是随机效用理论,接着对随机效用做出一些分配假设,这使得我们可以用标准的统计方法(最大似然估计法)将类别特质和经济个体特质对类别选择的影响估计出来,因为文中的三种交通方式是同类别的,所以可以使用多项 Logit 模型进行建模。求解方面,将交通量与出行时间作为变量,给定不同的收费价格组合,使用迭代算法得到三种交通方式的流量,并利用等高线图直观地展现流量变化,说明经济手段对于促使出行者从私家车向公共交通转移的作用,同时可以得到高速公路饱和状态下的一个收费价格组合。

2. 固定需求的多项 Logit 模型

在如图 1 的系统示意图中,从城市 O (周边中小城市)至城市 D (大城市),假设日均总需求为 D ,其中包括本地返程出行需求为 D_1 ,单位为辆/h;外地临时出行需求为 D_2 ,单位为辆/h。城际交通包含三种出行方式,分别是小汽车、小汽车换乘公交与高铁。出行方式①为小汽车,此路段设有收费口,且容量为 c ;方式②代表停车换乘(Park-and-Ride)即小汽车换乘公交,其中点 P 代表瓶颈处,并设有停车场;方式③为高铁。其中点 O 是起点即小城市,点 D 是终点即大城市。从 O 点至 P 点高速公路路长为 L ; P 点至 D 点路长为 l ,那么 O 点至 D 点路长为 $(L+l)$; OD 段的高速铁路里程为 S ,单位均为 km。

基于不改变现有的交通设施设备即交通供给不变的前提下,在考虑广义交通费用时,将需要用户承担的交通基础设施视为固定成本,因此只包括出行费用和出行时间两部分。将广义费用函数定义为随机变量,为:

$$U_i^m = f_i^m + \varepsilon_i^m \quad (1)$$

式(1)中, U_i^m 为出行者选择出行方式 i 的费用; f_i^m 为出行者选择出行方式 i 时能够观测部分的效用函数; ε_i^m 为出行者选择出行方式 i 时不能够观测部分的效用函数,包含难以观测到的效用和观测误差产生的影响。

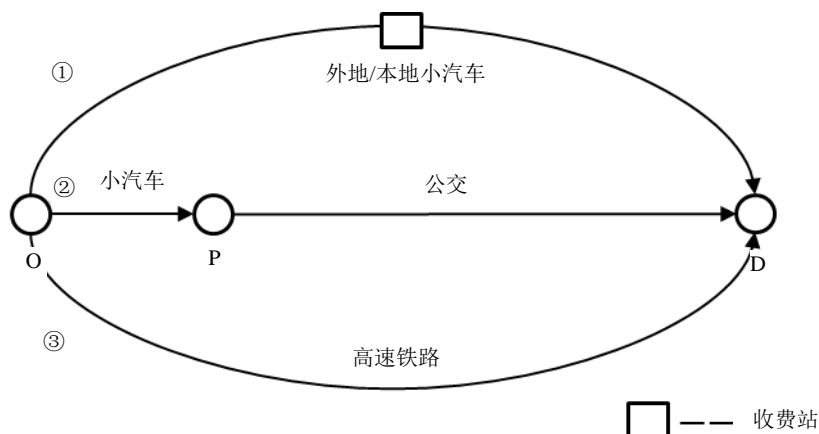


Figure 1. System diagram
图 1. 系统示意图

多项 Logit 模型(Multinomial Logit Model)是离散选择模型中最为常用的模型之一。麦克法登从计量经济学的视角研究了卢斯的模型, 并将精确的效用设定为选择项可观测变量的函数[2]。该模型在假设 ε_i 服从 Gumbel 分布, 且效用的确定项 f_i 和变动项 ε_i 相互独立的前提下推导而来, 公式为:

$$P_i^m = \frac{e^{-\theta f_i^m}}{\sum_{j \in C_n} e^{-\theta f_j^m}}, \quad \sum_i P_i^m = 1 \quad (2)$$

式(2)中, $\theta = \pi/\sqrt{6}\sigma$ 是和误差项的方差 σ^2 有关的一个参数, θ 值越大, 则用户对出行效用的理解误差越小, 越倾向于选择感知成本最低的出行方式。

P_i^m ($j=1,2$) 为出行者 m 选择出行方式 i 的概率, $m=1$ 代表本地返程者, $m=2$ 代表外地临时出行者; θ 为待定系数; f_i^m 为出行者 m 选择出行方式 i 的广义费用; C_n 为出行方式的集合, 出行方式 $j \in C_n$ 。

3. 用户广义交通费用的确定

确定项效用函数中, 出行费用有小汽车油耗费、拥挤收费、额外通行费、停车费、公交票价与高铁票价; 出行时间是在固定的单位时间价值即 VOT (Value of Time) 情况下, 将所有的出行时间转换为金钱来计算总成本。出行效用函数公式为:

$$f_i^m = \sum_k x_{ik}^m \quad (3)$$

x_{ik}^m 为出行效用函数 f_i^m 的第 k 个效用因素的值。

本文主要以出行费用(x_{i1}^m)、出行时间成本(x_{i2}^m)作为广义费用函数的主要构成属性。因此, 广义费用函数确定项 f_i^m 的线性函数为:

$$f_i^m = x_{i1}^m + x_{i2}^m \quad (4)$$

具体量化计算过程如下:

1) 出行支付费用计算

各种出行方式的出行费用以人均花费成本表示, 其中高速公路中本地返程小汽车以拥挤费用和油耗成本为出行总费用, 外地临时出行的小汽车除此之外, 还要加收额外通行费; 换乘路线以前段小汽车油耗成本和后段公交票价为出行总支出费用; 高速铁路以票价为出行途中的出行费用。假设每辆小汽车乘坐一人, 方式①、②、③的出行费用 x_{i1} 如下:

出行方式①的出行费用:

本地返程小汽车:

$$x_{11}^1 = (\tau_1 + \lambda_1)(L+l) \quad (5)$$

外地临时出行者小汽车:

$$x_{11}^2 = (\tau_1 + \lambda_1)(L+l) + \tau_2 \quad (6)$$

出行方式②的出行费用:

$$x_{21}^m = \lambda_1 L + \omega_l l + \lambda_2, \quad m=1,2 \quad (7)$$

出行方式③的出行费用:

$$x_{31}^m = \omega_r S, \quad m=1,2 \quad (8)$$

τ_1 为高速公路拥挤费率, 元/公里; τ_2 为外地车额外通行费, 元; λ_1 为油耗费率, 元/公里; λ_2 为停

车换乘处的小汽车停车费用, 元; ω_i 为公交票价, 元/公里; ω_r 为高铁票价, 元/人/公里。

2) 出行时间成本计算

将各出行方式乘以一个固定的单位时间价值, 即转换为以货币为单位的成本, 其表达式为式(9):

$$x_{i2}^m = \text{vot} \cdot t_i(q_i), \quad m = 1, 2 \quad (9)$$

根据阻抗函数[16]建立如下公式:

$$t_i(q_i) = T_i \left[1 + 0.15 \left(\frac{1}{c} \sum_{m=1,2} q_i^m \right)^4 \right] \quad (10)$$

T_i 为出行方式 i 小汽车自由行驶时间, 单位 h; q_i^m 为当时通过方式 i 的交通量, 单位 pcu/h; c 为路段实际通行能力, 单位 pcu/h; α 、 β 为模型待定参数, 美国公路局的推荐使用值分别为 0.15 和 4。

出行方式①的出行时间成本:

$$x_{12}^m = \text{vot} \cdot t_1(q_1^m), \quad m = 1, 2 \quad (11)$$

出行方式②的出行时间成本:

$$x_{22}^m = \text{vot} \cdot [t_2(q_2) + l/v_1], \quad m = 1, 2 \quad (12)$$

v_1 为公交行驶速度。

出行方式③的出行时间成本:

$$x_{32}^m = \text{vot} \cdot t_3 = \text{vot} \cdot S/v_2, \quad m = 1, 2 \quad (13)$$

v_2 为高铁行驶速度。

以上, 得到三种交通方式的分担率如下:

$$P_1^m = \exp(-\theta f_1^m) / \sum_{j=1}^3 \exp(-\theta f_j^m) \quad (14)$$

$$P_2^m = \exp(-\theta f_2^m) / \sum_{j=1}^3 \exp(-\theta f_j^m) \quad (15)$$

$$P_3^m = \exp(-\theta f_3^m) / \sum_{j=1}^3 \exp(-\theta f_j^m) \quad (16)$$

在本地返程出行需求 D_1 以及外地临时出行需求 D_2 的前提下, 分别计算不同出行需求下交通流分配量, 再进行加和处理, 得到三种出行方式的交通流量公式如下:

$$q_1 = P_1^1 D_1 + P_1^2 D_2 \quad (17)$$

$$q_2 = P_2^1 D_1 + P_2^2 D_2 \quad (18)$$

$$q_3 = P_3^1 D_1 + P_3^2 D_2 \quad (19)$$

4. 模型的求解

以上假设符号中, 交通流 q_i 与出行时间 t_i 为变量, 且两者相关, 将其它暂定为常量。这里, 出行支付的费用可以直接由已知项计算得出, 其中小汽车油耗费率、停车费、公交与高铁票价均为固定值, 在给定拥挤收费费率与额外通行费费率时, 通过公式(5)、(6)、(7)、(8)可以得到每种出行方式用户需要支付

的费用 $x_{i1}^m (i=1,2,3)$ 。而时间成本是由出行时间与交通流量共同决定的, 以交通量 q_i^n 与出行时间 t_i^n 为变量, 且两者互为影响, 再给定拥挤收费与外地车通行费, 通过迭代得到不同收费价格组合下的三种交通方式的流量。具体计算过程如下:

第一步, 初始化, 设交通流初始值 $q_1^{1(0)} = q_2^{1(0)} = q_1^{2(0)} = q_2^{2(0)} = 0$, 其中 $q_1^{(0)} = q_1^{1(0)} + q_1^{2(0)}$, $q_2^{(0)} = q_2^{1(0)} + q_2^{2(0)}$, ($q_1^{(0)}$ 、 $q_2^{(0)}$ 分别代表选择出行方式①、②的初始流量值, $q_1^{1(0)}$ 、 $q_2^{1(0)}$ 分别代表的是返程出行者, $q_1^{2(0)}$ 、 $q_2^{2(0)}$ 分别代表的是外地临时出行者);

第二步, 将 $q_1^{(0)}$ 与 $q_2^{(0)}$ 代入公式(10)可以得到相对应的出行时间 t_1^0 与 t_2^0 ;

第三步, 利用公式(11)、(12)和(13)计算得到出行方式的时间成本 $x_{i2}^m (i=1,2,3)$;

第四步, x_{i1}^m 与 x_{i2}^m 代入公式(4)后, 将得到的效用值再代入公式(1)得出本地返程出行者选择各出行方式的概率 $P_i^1 (i=1,2,3)$, 外地临时出行者选择各出行方式的概率 $P_i^2 (i=1,2,3)$ 。

第五步, 通过以下公式(14)计算得出方式①、②的交通流 $q_1^{(1)}$ 、 $q_2^{(1)}$:

$$q_i^{(n)} = P_i^1 D_1 + P_i^2 D_2, \quad n=1, \dots, m \tag{14}$$

若计算得到的 $|q_i^{(n+1)} - q_i^{(n)}| = \varepsilon$, $\varepsilon \rightarrow 0$, 则终止计算; 若不是, 则重复以上步骤二到五, 直到 $|q_i^{(n+1)} - q_i^{(n)}| = \varepsilon$ 为止。

5. 算例分析

本节应用上述模型来分析苏州至上海在采取拥挤收费与外地车通行费前后的各出行方式分担率变化情况。模型的各个参数如下: $D_1 = 30000$ (辆/h), $D_2 = 40000$ (辆/h), $L = 20$ (km), $l = 60$ (km), $S = 80$ (km), $v_1 = 100$ (km/h), $v_2 = 300$ (km/h), $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (0.7, 0.25, 0.49)$ (元/km), $\lambda_4 = 20$ (元/次), 选取上海市 2014 年 GDP 总量为 23560.94 亿元, $P = 618.84$ (万人), $H = 2000$ (小时), 得到 $\text{vot} \approx 172.77$ (元/h), $(T_1, T_2) = (0.6667, 0.1667)$, $c = 8000$ (辆/h), $\theta = 0.01$ 。求解路径①、②、③的流量值如表 1~3 所示。

使用 Matlab 作等高线图, 如图 2~4 所示, 从图 2 可以看出每小时车流量大于 8000 的区域道路状态为拥挤, 相反地, 流量小于 8000 的区域道路状态为不拥挤。当流量等于 8000 时, 道路饱和, 此时这条等高线上所有的 (τ_1, τ_2) 组合是道路饱和状态下的拥挤收费与额外通行费组合, 图中标注出点 A、点 B 与点 C 分别是三种不同的收费组合, 坐标依次为 $(1.15, 44.21)$ 、 $(1.21, 34.15)$ 、 $(1.3, 20.94)$ 。

从以下三个等高线图可以得出以下结论: 拥挤收费不变, 增加额外通行费或额外通行费不变, 增加拥挤收费时, 路径①的车流量减少, 特别是调整拥挤收费的情况下车流量明显减少, 而路径②、③的车流量增加。路径①中的车流量是随着拥挤收费和额外通行费的增加而减少, 减少的车流量转移到另外两条路径中。

Table 1. Path ① flow change

表 1. 路径①流量变化表

$\tau_2 \backslash \tau_1$	1	1.5	2	2.5	3
10	10252	7222	5012	3441	2345
20	9785	6878	4766	3269	2226
30	9351	6562	4542	3112	2118
40	8948	6271	4336	2969	2020
50	8576	6004	4148	2839	1930

Table 2. Path ② flow change
表 2. 路径②流量变化表

$\tau_2 \backslash \tau_1$	1	1.5	2	2.5	3
10	21780	22885	23691	24263	24663
20	21951	23010	23780	24326	24706
30	22109	23125	23862	24383	24745
40	22255	23231	23937	24435	24781
50	22391	23329	24005	24483	24814

Table 3. Path ③ flow change
表 3. 路径③流量变化表

$\tau_2 \backslash \tau_1$	1	1.5	2	2.5	3
10	37968	39893	41298	42296	42993
20	38265	40112	41454	42405	43068
30	38541	40313	41596	42505	43137
40	38796	40498	41727	42596	43199
50	39033	40667	41847	42678	43256

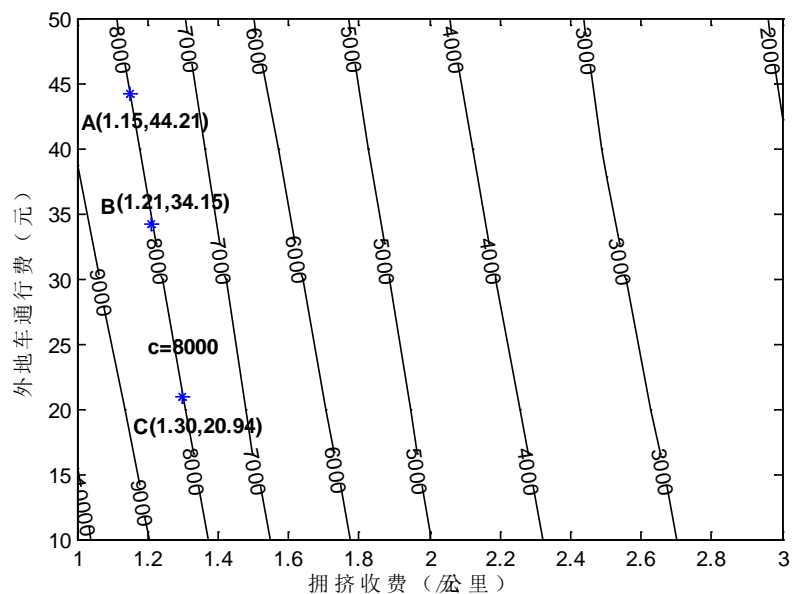


Figure 2. Path ① flow change
图 2. 路径①流量变化图

6. 结语

本文分析了管理城市外来车辆的经济手段, 包括拥挤收费和外地车额外通行费, 以及鼓励公交出行的多种方法, 具体是在城市间多种交通方式通行的前提下, 以拥挤收费与额外通行费为变量, 建立多项 Logit 模型以预测城际各出行模式的分担率, 通过依次调整变量得到不同路径对应的流量值, 计算结果说

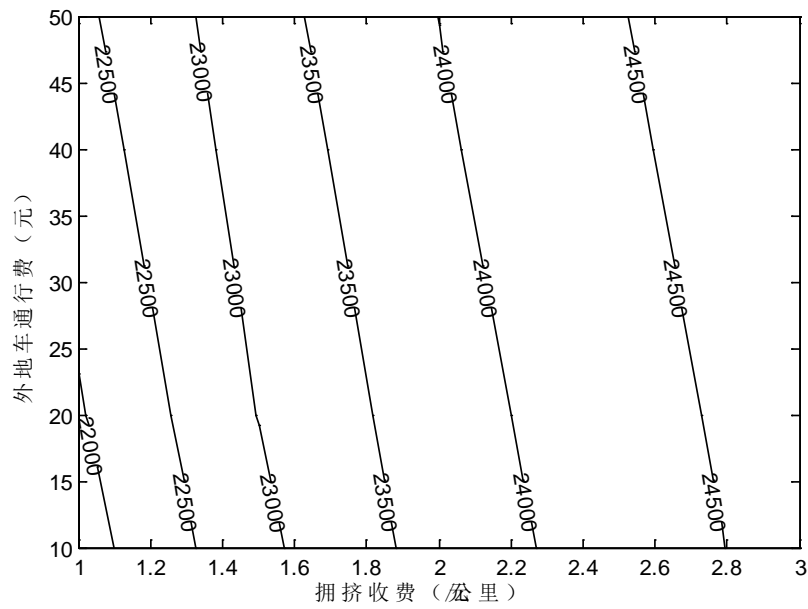


Figure 3. Path ② flow change

图 3. 路径②流量变化图

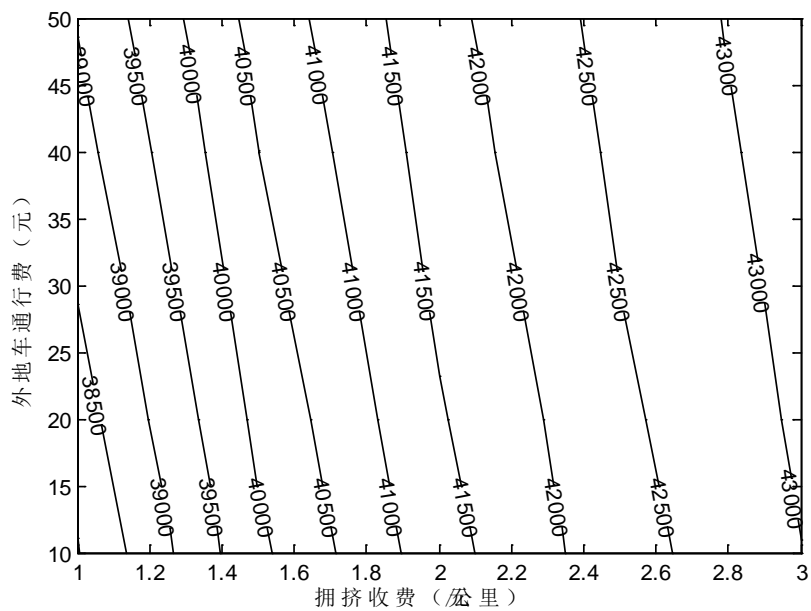


Figure 4. Path ③ flow change

图 4. 路径③流量变化图

明该模型是可行的。实际应用中，增加拥挤收费与外地车通行费时，用户选择小汽车出行的概率降低，而停车换乘公交和高铁出行的比例均会增加。因此，本文通过经济手段达到限制进入大城市的外地车和以此来鼓励公共交通出行是可行的。

基金项目

国家自然科学基金项目(71125004); 国家自然科学基金重点项目(71531011)。

参考文献 (References)

- [1] 聂冲, 贾生华. 离散选择模型的基本原理及其发展演进评介[J]. 数量经济技术经济研究, 2005(11): 151-159.
- [2] McFadden, D. (1974) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In: Zarembka, P., Ed., *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, Salt Lake City, 105-142.
- [3] 陆化普, 殷亚峰. 规划理论的非集计分析方法及其应用[J]. 公路交通科技, 1996, 13(1): 22-28.
- [4] 贾洪飞, 龚勃文, 宗芳. 交通方式选择的非集计模型及其应用[J]. 吉林大学学报(工学版), 2007, 37(6): 1288-1293.
- [5] 四兵锋, 杨小宝, 高亮, 高自友. 基于出行需求的城市多模式交通配流模型[J]. 中国公路学报, 2010, 23(6): 85-91.
- [6] 左利兴. 多层 LOGIT 模型的理论分析研究[J]. 道路交通与安全, 2010(2): 27-30.
- [7] Verhoef, E.T., Nijkamp, P. and Rietveld, P. (1995) The economics of regulatory parking policies: The (IM)possibilities of parking policies in traffic regulation. *Transportation Research Part-A*, **29**, 141-156.
- [8] 黄海军, 李志纯. 组合出行方式下的混合均衡分配模型及求解算法[J]. 系统科学与数学, 2006, 26(3): 352-361.
- [9] 李红莲. 可换乘条件下的城市多模式交通分配研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [10] 秦焕美, 关宏志, 潘小松. 基于随机连续平衡模型的停车换乘需求[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42(2): 321-326.
- [11] 唐洁, 隗志才, 高林杰. 城市居民出行空间和方式联合选择模型研究[J]. 公路交通科技, 2010, 27(5): 83-87+99.
- [12] 李爽, 邓卫, 吕宜生. 经济圈客运交通方式分担与交通分配组合模型[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2009, 39(4): 854-858.
- [13] 宗芳, 隗志才. 基于活动的出行方式选择模型与交通需求管理策略[J]. 吉林大学学报(工学版), 2007, 37(1): 48-53.
- [14] 郭伟, 姚丹亚, 胡坚明. 拥挤收费下的路网交通评估模型研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(1): 105-109.
- [15] 田琼, 黄海军, 杨海. 瓶颈处停车换乘 logit 随机均衡选择模型[J]. 管理科学学报, 2005, 8(1): 1-6.
- [16] 王文静, 敬明, 刘冬梅, 王晶. 基于 LOGIT 模型和 BPR 阻抗函数的容量限制——多路径交通分配研究[J]. 公路交通科技, 2012(S1): 81-85+134.

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: mse@hanspub.org