

文章编号:1673-0291(2012)03-0069-06

基于累积 Logit 模型的驾驶人路径改换 行为影响因素分析

朱广宇¹,高景萍¹,张 彭²,赵 晖²

(1.北京交通大学 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室,北京 100044;

2.北京市交通发展研究中心,北京 100077)

摘 要:基于调查数据,采用累积 Logit 模型对影响驾驶人路径改换行为的影响因素进行综合分析,通过理论与实证分析,分析影响路径改换行为的主要因素。首先采用 SP 调查的方式,用离散选择分析法对影响路径改换的因素进行多变量分析;然后,建立多元累积 Logit 模型,并利用经济学的基本原理,建立路径改换行为的动态评价模型。分析表明:在拥挤收费的前提下,影响驾驶人路径改换的主要因素,取决于不同的收费额度、驾驶人个体属性(驾车类型、月收入等)。这一研究结果可以应用到交通规划与管理过程中。

关键词:交通工程;SP 调查;Logit 模型;路径改换;拥堵收费

中图分类号:U491.254

文献标志码:A

Analysis of the influencing factors of drivers' route-changing behavior based on cumulative Logit model

ZHU Guangyu¹, GAO Jingping¹, ZHANG Peng², ZHAO Hui²

(1. MOE Key Laboratory for Transportation Complex Systems Theory and Technology Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Beijing Transportation development research center, Beijing 100077, China)

Abstract: Based on the survey data, a Logit model is used to comprehensively analyse the contributing factors of drivers' route-changing. We hope to explore the main contributing factors of path-changing through theoretical analysis and empirical analysis. First, based on the stated preference survey, we use discrete choice model to analysis multivariable factors which influence the route-changing behavior. Then the Logit model and the evaluation model of path choice behavior were established by using basic principles of economics. The conclusion shows that drivers probably choose to change the route because of congestion charging. The effect depends on the level of charging bill, the individual attributes of drivers (vehicle type, income, etc). And the conclusion can be applied to some procedures of urban traffic planning and management.

Key words: traffic engineering; stated preference survey; Logit model; route changing; congestion charging

大城市机动车保有量的持续增长,给城市发展带来诸如交通拥堵、交通事故和环境污染等系列问

题。以北京市为例,截止 2010 年底,汽车保有量已经达到 480.9 万辆,通过不断增整路网、新建地铁,实

收稿日期:2012-05-02

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(2012JBM133)

作者简介:朱广宇(1972—),男,山东安丘人,副教授,博士。研究方向为智能交通系统分析与优化,交通系统信息与控制,交通仿真理论与数据分析技术。email:gyzhu@bjtu.edu.cn.

行尾号限行等政策措施,在很大程度上缓解了拥堵问题。但是,高峰时段的交通拥堵状况仍不容乐观。通过调查发现,高峰时段拥堵现象的出现往往集中在城市快速路和主干路上,表现为路网交通状态变化的时空不均衡性。造成这种交通流分布不均衡的原因很多,主要因为驾驶人对某些出行线路的选择过分集中,而且,大部分驾驶人即便是在面临拥堵的时候,仍不愿意改变其熟悉的常规路线。

因此,研究驾驶人在何种条件下会改变其常规路线,对于城市道路交通管理部门采取何种政策措施,以保证路网的均衡使用,具有十分重要的作用。

影响驾驶人路径改换行为的因素很多。Conquest 和 Spyridakis^[1]等人通过对西雅图的往返者做的问卷调查中发现驾驶人的几个特性:注重节约出行时间;下班比上班更有可能改变出行路径;对路径熟悉时更有可能改变路径等。Koutsopoulos 和 Yang 等人^[2]使用交叉口模拟装置采集的数据发现,驾驶人路径改换主要受近期的驾驶出行经验的影响。Golledge^[3]发现驾驶人对路网空间认识的深度,包括对路网规划、方向方位以及拥堵状态等因素的了解程度,对司机进行路径改换有直接影响。邢锐^[4]、许良^[5]等从出行者个人因素(年龄,性别,驾龄,学历水平,驾驶经验等),道路状况因素(道路属性,道路周边状况),交通信息因素(交通信息广播,车载导航系统,VMS等),外界因素(天气,节假日等)4个方面对驾驶人的路径改换行为进行了分析。这些研究给本文研究提供了很好的借鉴。

通过对相关驾驶人的问询调查发现,驾驶人的路径改换行为受到某些经济性因素的影响,如拥挤收费等。因此,结合价格机制,在特定时段对拥堵路段上的车辆实行收费,用经济手段促使驾驶人改换初始路径,应该可以从时间和空间上调节交通量,减少繁忙时段和繁忙路段上的交通负荷,从而达到缓解交通拥堵,均衡利用路网的目的。

因此,本文作者结合经济学的基本原理,通过理论分析与实证分析的形式,发掘影响驾驶人路径改换行为的主要因素,并建立路径改换模型。

1 路径改换行为的建模分析

驾驶人路径改换行为的影响因素中,如驾驶人的特征数据,驾驶人对某种政策措施的偏好等,都属于离散变量。因此,针对驾驶人路径改换行为影响因素分析的计量模型,是一类典型的离散变量选择模型(DCM, discrete choice model)。最常用的离散变量选择模型是 Logit 模型。

1.1 Logit 模型

Logit 模型自 20 世纪 70 年代提出以来,在针对带有离散型数据变量的建模案例中起到了十分重要的作用。随着对该模型研究的深入,从二分类 Logit 模型(基本 Logit 模型)逐渐扩展形成了多分类 Logit 模型,包括无序多分类 Logit 模型和有序多分类 Logit 模型(累积 Logit 模型)等。

二分类 Logit 模型属于概率型非线性回归模型。问题的一般模式为:在自变量 x_1, x_2, \dots, x_n 的作用下,因变量(输出) Y 的发生概率为 p , 不发生概率为 $1-p$, 即^[6]

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k \quad (1)$$

则此时的 Logit 模型为^[6]

$$\text{Logit}(p) = \ln \frac{p}{1-p} = a + \sum_{i=1}^n \beta_i Y_i \quad (2)$$

其中: a 为常数项, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 为回归系数。

将二分类 Logit 模型等式的两边取以 e 为底的指数,得到其等价一般模型

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(a+\beta X)}} = \frac{e^{-(a+\beta X)}}{1 + e^{-(a+\beta X)}} \quad (3)$$

本文采用累积 Logit 模型作为驾驶人的路径改换因素的分析模型。其一般形式为

$$Y = a + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \epsilon \quad (4)$$

式中:因变量 Y 表示驾驶人路径改换意向; X_i 则表示路径改换行为的影响因素; β_i 是与 X_i 对应的回归系数组成的向量; ϵ 是误差项; a 是待估计的常量。

当观测因变量有 J 种类别时, Y 的相应取值为 $y=1, y=2, \dots, y=J$, 且不失一般性,设各取值的关系为

$$((y=1) < (y=2) < \dots < (y=J)),$$

那么共有 $J-1$ 个未知分界点

$$u_j (u_1 < u_2 < \dots < u_{j-1}),$$

将各相邻类别分开,给定 X 值的累积概率可以按如下公式表示

$$\begin{aligned} P(Y \leq j | X) &= \\ P(Y \leq u_j) &= \\ P(a + \beta X + \epsilon \leq u_j) &= \\ P[\epsilon \leq u_j - (a + \beta X)] &= \\ F[u_j - (a + \beta X)] \end{aligned} \quad (5)$$

则累积 Logit 模型的输出概率可以通过下式进行预测

$$\ln \left(\frac{P(Y \leq j | X)}{1 - P(Y \leq j | X)} \right) = u_j - (a + \beta X) \quad (6)$$

$$P(Y \leq j | X) = P(Y \leq u_j) = \frac{e^{u_j - (a + \beta X)}}{1 + e^{u_j - (a + \beta X)}} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} P(y=1) &= p(y \leq 1), \\ P(y=2) &= p(y \leq 2) - p(y \leq 1), \dots, \\ P(y \leq J) &= 1 - p(y \leq J-1) \end{aligned} \quad (8)$$

1.2 模型应用

驾驶人对其常规路线的改换意愿(表示为因变量 Y)有3种取值情况,分别用1、2、3来标识即: $Y=1$ 时,表示驾驶人面对拥堵时有强烈的改变常规路线的意愿; $Y=2$ 时,表示驾驶人在一定前提条件下有可能改变路线;而当 $Y=3$ 时,表示驾驶人通常不会改变其常规驾驶路线。根据式(8)可知,建立驾驶人路径改换的累积Logit模型,包含有两个累积Logit函数,并可以对其同时进行估计,即

$$\text{Logit}(i) = \ln\left(\frac{P(Y \leq i | X)}{1 - P(Y \leq i | X)}\right) = \alpha_i - \beta X \quad (9)$$

$$\ln \frac{p_1}{1 - p_1} = \alpha_1 - \beta X \quad (10)$$

$$\ln \frac{p_1 + p_2}{p_3} = \alpha_2 - \beta X \quad (11)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (12)$$

其中拟合参数 β 的意义为^[6]:自变量 X 每变化一个单位,导致应变量提高一个及一个以上等级的比数比为 $e^{-\beta}$ 。本文采用SPSS19.0对参数 β 进行估计^[7-8]。

1.3 自变量的选取

针对驾驶人路径改换行为的影响因素分析,建立如图1所示的指标体系。指标体系分3大类,即:驾驶人的个体属性、出行特征和社会经济特性。

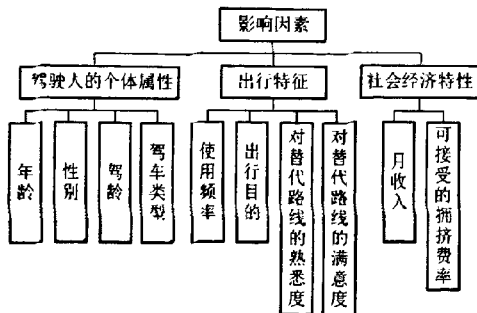


图1 驾驶人路径改换行为影响因素

Fig.1 Influencing factors of drivers' route changing

1) 驾驶人个体属性。

驾驶人个体因素主要包括性别、年龄、驾龄、驾车类型等。以往的研究表明:在事件状态下,45岁以

上的男性司机、通勤者比较不容易改换其原始路径。

2) 出行特征。

驾驶人出行特征主要包括出行目的、对原始路径的使用频率,以及对替换路线的熟悉度及满意度等。研究表明:对某路径使用频率越高,驾驶人越不容易改换路径;对替代路线的熟悉程度或满意程度与驾驶人的路径改换行为是密切相关的^[5]。

3) 社会经济特征。

拥挤收费对驾驶人路径选择的影响,主要从两个方面予以量化,即:驾驶人的月收入与可接受的拥挤费率。

2 驾驶人路径选择行为调查及分析

2.1 SP调查

SP调查建立在多个具有如下结构的路段上(如图2所示),调查选择在工作日的早高峰期间进行,被调查者途中会经过A点,到达B点。由A到B有两条路径可选,其中路径1是快速路,在无特殊条件时,是大多数驾驶人的必选路径,路径2是城市一般干道或者支路,但由于到达B点时需绕行,一般作为路径1的替换路径。交通流数据显示,在早高峰期间,路径1相对于路径2较为拥堵。

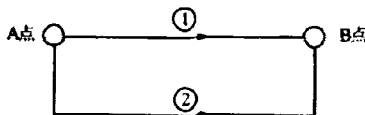


图2 进行SP调查的路网结构图

Fig.2 Structure of road net for SP Survey

调查过程共发放问卷200份,收回158份,回收率为79%。SP问卷中,除了涉及(1)驾驶人的个体属性(如:年龄、性别、驾龄、驾车类型)及(2)出行特征(使用频率,出行距离,熟悉度,满意度)外,还增加了(3)社会经济特性(月收入,可接受的拥挤费用),具体调查表如表1所示。

由表2的统计结果可以看出:

1)有40%的人会在路径1拥挤收费的情况下选择路径2出行,有31%的人坚持原来的路线,即拥挤收费对他们影响不大,有29%的人会考虑到拥挤收费的影响,可能改道,也可能坚持原来的路线。

2)在愿意支付拥挤费率一栏中,有43%的人不愿意支付拥挤费用;有37%的人可以接受的范围是1~5元;20%的人可接受的范围是6~10元。

2.2 调查结果统计分析

经过对调查表的整理与统计,各影响因素比例如表2所示。

表1 问卷调查表

Tab.1 Questionnaire

调 查 项 目					
性别	1.男	2.女			
年龄(岁)	1.<24	2.25~34	3.35~44	4.45~59	5.>60
驾龄(年)	1.<2年	2.2~5年	3.6~10年	4.>10年	
出行目的	1.上班	2.出差	3.其他		
驾车类型	1.私家车	2.公车	3.出租车		
出行距离	1.<5 km	2.5~10 km	3.10~20 km	4.>20 km	
使用频率/天	1.每天	2.一周4~6	3.一周2~3	4.很少使用	
对替代路线的熟悉度	1.熟悉	2.不熟悉			
对替代路线的满意度	1.满意	2.不满意	3.不确定		
月收入/元	1.0~3 000	2.3 000~6 000	3.6 000~10 000	4.10 000 以上	
可接受的拥挤费率	1.无	2.1~5 元	3.5~10 元		
是否改道	1.不改道	2.不确定	3.改道		

表2 问卷调查统计表

Tab.2 Statistical table of questionnaire

影响因素比例/%					
性别	男/80	女/20			
出行距离(km)	<5 km/20;	5~10 km/34	10~20 km/30	>20 km/16	
驾车类型	私家车/40	公车/32	出租车/28		
使用频率	每天/34	一周4~6天/22	一周2~3天/28	很少使用/16	
驾龄	<2年/24	2~5年/28	6~10年/30	>10年/18	
对替代路线的熟悉度	熟悉/70	不熟悉/30			
月收入	~3 000元/6	3 000~6 000元/30	6 000~10 000元/48	10 000 以上/16	
出行目的	上班/60	出差/20	其他/20		
年龄	<24岁/8	25~34岁/38	35~44岁/32	45~59岁/16	60岁以上/6
可接受的拥挤费率	无/43	1~5元/37	5~10元/20		
对替代路线的满意度	满意/36	不满意/34	不确定/30		
是否改道	不改道/31	不确定/29	改道/40		

2.3 影响因素与路径选择行为的相关性分析

对各影响因素与路径改换行为的相关性进行分析,结果显示:驾驶人年龄、驾龄、出行目的、使用频率、对替代路线的熟悉度以及满意度这6个影响因素与路径改换行为相关性并不十分显著,见表3。而性别、出行距离、月收入、驾车类型、可接受的拥挤费率的相关性分析则非常显著,见表4。其具体理由如下:

1) 性别。性别与改道可能性呈正相关关系,说

明女性比男性改道的可能性更大,即女性更容易受到拥挤收费的影响而改变道路。

2) 出行距离。出行距离与改道可能性呈负相关关系,说明出行距离越远的驾驶人改道的可能性越小。

3) 出行者月收入。出行者月收入与改道可能性呈负相关关系,说明收入越高的驾驶人改道的可能性越小。

4) 驾车类型。驾车类型与改道可能性也呈负相关关系,说明公车改道的可能性比出租车小,而出租

表3 相关性分析表

Tab.3 Correlation analysis table

相关系数	路径改换的可能性	年龄	驾龄	出行目的	使用频率	对替代路线的熟悉程度	对替代路线的满意度
皮尔逊相关系数	1	0.004	0.022	0.015	-0.025	0.013	0.019
显著性双尾检验		0.944	0.665	0.767	0.618	0.796	0.704

表4 相关性分析表

Tab.4 Correlation analysis table

相关系数	路径改换的可能性	性别	出行距离	出行者月收入	驾车类型	可接受的拥挤费率
皮尔逊相关系数	1	0.149**	-0.183**	-0.19**	-0.399**	-0.569**
显著性双尾检验		0.003	0	0	0	0

** 为在0.01水平上显著相关。

车改道的可能性比私家车小。

5) 可接受的拥挤费率。可接受的拥挤费率与改道可能性也呈负相关关系,说明能够接受越高拥挤费率的驾驶人,他们的改道的可能性越小。

3 实证分析

通过上述的相关性分析可得到如下结论:性别、

出行距离、出行者月收入、驾车类型以及可接受的拥挤费率都与路径改换行为有着密切的关系。通过对因变量和自变量进行回归计算,将 Wald 值较小且显著性较大的自变量逐个剔除(通常选取显著性为 0.25 作为筛选自变量的标准)^[8],直到所有的自变量都符合标准,剔除停止,最终的计算结果如表 5 所示。

表 5 模型估计结果

Tab. 5 Result of model estimating

类别	估计	标准误差	Wald	df	显著性	95% 置信区间	
						下限	上限
改道可能性=1	4.481	1.045	18.394	1	0.000	2.433	6.529
改道可能性=2	7.454	1.121	44.237	1	0.000	5.257	9.650
出行者月收入=1	2.867	1.220	5.521	1	0.019	.476	5.258
出行者月收入=2	2.753	.987	7.784	1	0.005	.819	4.686
出行者月收入=3	2.356	.724	10.594	1	0.001	.937	3.775
驾车类型=1	3.901	.664	34.497	1	0.000	2.599	5.203
驾车类型=2	-2.341	.512	20.928	1	0.000	-3.344	-1.338
可接受的拥挤费率=1	4.313	.761	32.118	1	0.000	2.822	5.805
可接受的拥挤费率=2	3.699	.671	30.377	1	0.000	2.384	5.015

由模型的系数可知,影响是否改道的主要因素是月收入、驾车类型,拥挤费率这 3 个因素。根据表 5 中的结果,将所有变量的系数代入累积 Logit 模型中,最后建立了如下模型

$$\ln \frac{p_1}{1-p_1} = 4.481 - 2.867X_1 - 2.753X_2 - 2.356X_3 - 3.901X_4 + 2.341X_5 - 4.313X_6 - 3.699X_7 \quad (13)$$

$$\ln \frac{p_1 + p_2}{p_3} = 7.454 - 2.867X_1 - 2.753X_2 - 2.356X_3 - 3.901X_4 + 2.341X_5 - 4.313X_6 - 3.699X_7 \quad (14)$$

式中: p_1 为不改道的概率; p_2 为不确定的概率; p_3 为改道的概率。

由式(19)和(式 20)可求得是否改道的概率为

$$p_1 = \exp(4.481 - 2.867X_1 - 2.753X_2 - 2.356X_3 - 3.901X_4 + 2.341X_5 - 4.313X_6 - 3.699X_7) / [1 + \exp(4.481 - 2.867X_1 - 2.753X_2 - 2.356X_3 - 3.901X_4 + 2.341X_5 - 4.313X_6 - 3.699X_7)] \quad (15)$$

$$p_1 + p_2 = \exp(7.454 - 2.867X_1 - 2.753X_2 - 2.356X_3 - 3.901X_4 + 2.341X_5 - 4.313X_6 - 3.699X_7) / [1 + \exp(7.454 - 2.867X_1 - 2.753X_2 - 2.356X_3 - 3.901X_4 + 2.341X_5 - 4.313X_6 - 3.699X_7)] \quad (16)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (17)$$

式中: X_1 为出行者月收入=1(即月收入为 0~3 000 元); X_2 为出行者月收入=2(即月收入为 3 000~6 000 元); X_3 为出行者月收入=3(即月收入为 6 000~10 000 元); X_4 为驾车类型=1(即驾车类型为私家车); X_5 为驾车类型=2(驾车类型为公车); X_6 为可接受的拥挤费率=1(即可接受的拥挤费率为 0 元); X_7 为可接受的拥挤费率=2(即可接受的拥挤费率为 0~5 元)。

3.1 结果分析

1) 出行者月收入对路径选择的影响。

随着驾驶者月收入的升高,参数值逐渐减小,说明月收入越高的人,改道的可能性越小。根据经济学的基本原理进行分析,通常情况下,收入越高的人,通常其时间价值也越高,当时间节省的价值高于其支付的成本时,他宁愿选择支付拥挤费用;而收入低的人,若时间节省的价值低于其支付的成本,则通常会选择改道。

2) 驾车类型对路径选择的影响。

驾车类型=1(私家车)的回归系数为 3.901,驾车类型=2(公车)的回归系数为 -2.341,与出租车驾驶者相比较,私家车改道的可能性大。公车改道的可能性小。这是由于道路上公车所占比重较大,他们的费用由政府支付,私家车的拥挤费用则要由驾驶者本人来承担,而出租车司机也会把拥挤费用过渡到出行者本人。所以,公车基本上不会受到拥挤收费的影响而改变路径,私家车和出租车会受到收费的

影响改变路径。

3) 可接受的拥挤费率对路径选择的影响。

可接受拥挤费率=1(元)的回归系数为4.313, 可接受拥挤费率=2(1~5元)的回归系数为3.699, 说明:能够接受越高拥挤费率的驾驶人,他们改道的可能性越小。这是因为费用越高,能够接受拥挤收费的人就越少,改道的人也越多

4 结语

根据上述分析可以看出,驾驶人的路径选择行为会明显受到拥挤收费、驾车类型和驾驶人月收入等因素的影响。而根据模型计算得到的各影响因素的权重系数可以看出,拥挤收费对驾驶人路径改换的影响尤为显著。因此,可以推论,为了均衡高峰时段路网的使用,平衡交通流的时空分布,进而缓解城市交通拥堵问题,拥堵收费应该是一个非常有效的措施。

目前,公众对拥挤收费的说法褒贬不一,如何提高拥挤收费的公平性,综合影响路径改换行为的其他重要因素,建立更加有效合理的拥挤收费模型,提出管理机构和出行群体都能够普遍接受的收费措施等,都是亟需解决的问题。

参考文献(References):

- [1] Conquest L, Spyridakis J, Haselkorn M, et al. The effect of motorist information on commuter behaviour: Classification of drivers into commuter groups[J]. *Transportation Research Part c: Emerging Technologies*, 1993, 1(2): 183 - 201.
- [2] Koutsopoulos H N, Lotan T, Yang Q. A driving simulator

and its application for modeling route choice in the presence of information[J]. *Transportation Research Part c: Emerging Technologies*, 1994, 2(2): 91 - 107.

- [3] Golledge R G. Geographical perspectives on spatial cognition[J]. *Behavior and Environment: Psychological and Geographical Approaches*, 1993, 96: 16 - 46.
- [4] 邢锐, 杨庆芳. 时间状态下 VMS 信息对出行者路径选择影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
XING Rui, YANG Qingfang. Study on travelers path selection on the impact of VMS based on the time state information[D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)
- [5] 许良, 高自友. 不确定条件下用户路径选择行为研究述评[J]. *燕山大学学报*, 2007, 3(1): 139 - 144.
XU Liang, GAO Ziyu. The research review of route choice behavior about not-sure conditions users[J]. *Yanshan University Journal*, 2007, 3(1): 139 - 144. (in Chinese)
- [6] 陆化普. 交通规划理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
LU Huapu. Traffic planning theory and method[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006. (in Chinese)
- [7] 张文彤, 董伟. SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 203 - 207.
ZHANG Wentong, DONG Wei. Advanced tutorial of SPSS statistical analysis[M]. Beijing: Advanced education press, 2004: 203 - 207. (in Chinese)
- [8] 刘宏杰. Logistic 回归模型使用注意事项和结果表达[J]. *中国公共卫生*, 2001(5): 85 - 86.
LIU Zhijie. Logistic the matters needed attention and results express of regression model [J]. *China's Public Health*, 2001(5): 85 - 86. (in Chinese)