

文章编号:1007-6735(2011)04-0345-05

突发交通事件信息影响下交通网络行为微观计量分析

干宏程

(上海理工大学 超网络研究中心, 上海 200093)

摘要: 研究了突发交通事件下地面道路可变情报板(SVMS)同时提供高架和地面道路行程时间条件下的驾驶员择路行为. 采用意向行为调查获取择路行为数据, 运用微观计量经济学中的离散选择分析方法对影响路径选择的因素进行了多变量分析, 建立了描述择路概率的二元 Logit 模型. 研究发现, SVMS 信息对择路决策有显著影响, 影响大小与驾驶员属性、信息内容及地面道路属性有关; 驾龄越长、年龄越大的男性驾驶员, 接收 SVMS 信息后选择地面道路的可能性更大; 经常使用高架、认为高架可变情报板对其择路决策很有用的驾驶员, 选择地面道路的可能性更小; 高架延误越大、地面道路信号灯路口越少、延误原因为事故时, 选择地面道路可能性更大. 研究成果为交通突发事件下交通诱导策略优化提供理论依据和政策启示.

关键词: 择路行为; 地面道路可变情报板; 离散选择分析; 意向调查; 高架快速路延误; 二元 Logit 模型

中图分类号: U 491

文献标志码: A

Microscopic quantitative analysis of traffic network behavior under influence of unexpected event related information

GAN Hong-cheng

(Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Route choice corresponding to shorter street and urban freeway travel time displayed by street variable message signs (SVMS) was investigated. Stated preference survey was conducted to collect behavioral data, and a binary Logit model was established to identify the factors influencing drivers' route choice decisions. The results show that, SVMS has significant impact on route choice and the impact depends on driver attribute, street characteristics, and SVMS messages. Specifically, older male drivers with longer years of driving experience are more likely to choose local streets in response to freeway delay information indicated by SVMS; frequent freeway users, having high acceptance of freeway VMS, are less likely to choose local streets; longer freeway delay as well as freeway incident-induced delay and fewer signalized intersections on local streets serve as positive factors for choosing local streets. The study aims to give theoretical and policy implications for better design of unexpected events oriented traffic guidance strategy.

Key words: route choice; street variable message signs; discrete choice analysis; stated preference survey; freeway delay; binary Logit models.

收稿日期: 2011-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51008195); 上海市重点学科建设资助项目(S30504); 上海市教育委员会科研创新项目(09YZ205)

作者简介: 干宏程(1978-), 男, 副教授. 研究方向: 交通系统工程、智能交通等. E-mail: hongchenggan@126.com

在国内外许多城市,快速路是交通网络主骨架,承担大量市内交通.突发事件,如事故、临时施工、短时需求激增(如大型社会活动引起)会造成快速路运行效率低下,加剧拥挤、延误、污染及继发事故等问题.科学运用交通诱导技术向驾驶员及时发布突发事件信息,可以显著缓解突发事件危害,提高路网时空利用效率.目前一些城市正在思考如何升级现有诱导技术以提高应对突发事件的效率.升级交通诱导技术的一个例子是:通过可变情报板这一常见诱导手段向将要使用高架的驾驶员发布前方快速路与普通地面道路的路况信息,以便驾驶员更好地决策是否使用高架.网络交通流演化本质是由驾驶员个体择路行为集计而成的,因此,正确理解交通信息影响下的驾驶员择路行为是必然要求.以驾驶员择路行为为主要研究对象的突发事件信息下交通网络行为微观分析已成为国际研究前沿^[1-16].研究方法上,微观计量经济学中的离散选择模型以其理论严谨、数学性强等优点是行为微观分析的先进数学手段.采用离散选择建模得到的择路模型可以为网络交通分配提供理论依据,用于评估突发事件下交通诱导策略和优化交通应急管理对策.

现以上海的交通网络为背景,探索地面道路可变情报板(SVMS)同时提供高架快速路和地面道路行程时间条件下的驾驶员择路行为.研究采用意向行为(SP)问卷调查方法获取路径选择行为数据,使用离散选择分析方法对影响路径选择的因素进行多变量分析,建立路径选择概率模型,揭示路径选择与SVMS信息的关系,以期对交通应急管理策略的优化提供理论依据和政策启示.

1 SVMS 信息影响下择路行为数据获取

1.1 择路行为的 SP 调查

目前上海的 SVMS 尚不能同时提供高架和地面道路行程时间,因此,实际行为(RP)调查方法无法使用.作者采用问卷形式的 SP 调查方法,采集路径选择行为数据.

SP 调查构造的交通出行场景如图 1 所示.某一工作日上午,被调查者从家出发,前往工作单位,车辆行驶于地面道路上,遇到一块设置于分流点(高架道路上匝道上游)的 SVMS,SVMS 显示前方高架道路和地面道路的路况信息,信息内容为高架道路行程时间和延误原因、地面道路行程时间.两条路径正

常行程时间均为 30 min 左右.被调查者根据 SVMS 信息选择路径.

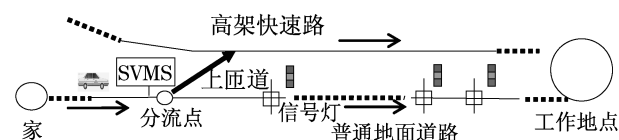


图 1 SP 问卷调查构造的交通出行情景

Fig.1 Hypothetical journey in SP survey

在对上海市快速路监控中心管理人员的访谈基础上进行 SP 出行情境中 SVMS 的信息内容设计,确保 SVMS 信息的风格与措辞容易被驾驶员理解,使得获取的行为数据更真实. SVMS 信息包含:高架道路行程时间(T_{FW})、高架延误原因、地面道路行程时间(T_{ST})这 3 个部分.其中,延误原因分为拥挤与事故两个水平,高架道路 T_{FW} 为 35 min 或 40 min,地面道路 T_{ST} 恒为 30 min.地面道路信号灯数量采用 10 和 20 两个水平.

采用正交设计中的全因子设计方法,设计了 8 个($2 \times 2 \times 2$)SP 路径选择问题.图 2 给出了 1 个问题示例.

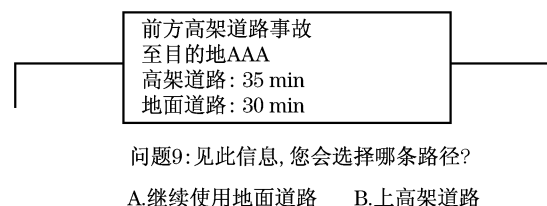


图 2 一个 SP 路径选择问题

Fig.2 An example question for SP choice

SP 问卷获取的数据包括两部分:a. 驾驶员个体属性,如性别、年龄、驾龄、用车类型、使用快速路频率;b. SVMS 信息影响下的路径选择.

调查日期为 2009 年 6 月底,调查地点为上海五角场商务圈的百联又一城购物商厦停车场.调查人员随机采访了 200 多名驾驶员,整理问卷后得到 189 份有效问卷.这样,一共有 1 512 (189×8)个路径选择的样本,用于数据分析和建模.

1.2 调查数据初步分析

驾驶员个体属性的统计结果如表 1 所示.

对所有 8 个 SP 路径选择情境进行统计发现,在 SVMS 信息影响下,继续使用地面道路(即放弃上高架道路)的百分率为 30.16%,即约 1/3 的被调查驾驶员选择继续使用地面道路.

不同情景下地面道路选择比例有明显差别.例

如,情景 4(地面 10 个信号灯、高架比平时延误 8 min、延误原因为事故)下,有 50.3%的驾驶员表示不会上高架(选择地面道路),而在情景 5(地面 20 个信号灯、高架比平时延误 5 min、延误原因为拥挤)下,只有 19.6%的驾驶员表示不会上高架.这些统计结果显示,高架快速路延误及延误原因、地面道路信号灯数量与是否选择地面道路存在某种关系.现对这种关系进行定量分析.

表 1 驾驶员的基本信息统计结果
Tab.1 Statistics of driver attributes

属 性	统计结果
性别	(A)男: 67.7% (B)女: 32.3%
年龄/岁	(A)19~30: 37.0% (B)31~40: 46.6% (C)>40: 16.4%
驾龄/年	(A)0~5: 42.3% (B)>5: 57.7%
用车类型	(A)单位用车: 26.5% (B)私家车: 64.0% (C)出租车: 9.5%
使用快速路频率	(A)每天: 47.6% (B)两三天: 37.6% (C)很少: 14.8%
高架可变情报板的有用性评价	(A)完全根据信息作决定: 38.1% (B)有一定影响: 58.2% (C)不考虑: 3.7%

2 择路行为离散选择分析

2.1 建模

离散选择建模以随机效用理论为基础,假设作为行为主体的决策者总是从拥有多个选项的选择集中选择效用最大的选项^[17-19].本研究中驾驶员的路径选择是二元选择(binary choice),因此,采用二项 Logit 模型进行多变量分析,建立 SVMs 信息影响下的择路概率模型.

个体 n 的选择集 C_n 包含地面道路(选项 i)和高架道路(选项 j)两个选择项.效用函数为

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \tag{1}$$

$$U_{jn} = V_{jn} + \epsilon_{jn} \tag{2}$$

式中, i 表示地面道路; j 表示高架道路; V_{in} 和 V_{jn} 分别表示地面道路和高架道路效用函数的确定项; ϵ_{in} 和 ϵ_{jn} 分别表示地面道路和高架道路效用函数的随机项. ϵ_{in} 和 ϵ_{jn} 服从独立同分布的 Gumbel 分布.

个体 n 选择地面道路的概率就是 $U_{in} \geq U_{jn}$ 的概率,即

$$P_n(i|C_n) = P_n[U_{in} \geq U_{jn}, \forall j \in C_n] \tag{3}$$

于是,个体 n 选择地面道路的概率为

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-(V_{in} - V_{jn})}} \tag{4}$$

个体 n 选择高架道路的概率为

$$P_n(j) = 1 - P_n(i) \tag{5}$$

本研究中两个选择项效用函数确定项之差为

$$V = (V_{in} - V_{jn}) = O + \beta X \tag{6}$$

式中, O 表示与地面道路有关的常数项; X 是所有影响路径选择决策的解释变量组成的向量; β 是与 X 对应的参数组成的向量.

本文采用 SPSS 软件进行模型参数的估计.

2.2 模型估计结果

SP 调查一共获取了 1 512 (189×8)个路径选择的样本,用于模型估计.模型估计时所选的解释变量包括所有可能影响改道行为的因素,包括年龄、性别、驾龄、快速路使用频率、用车类型、高架延误、信控交叉口数量和快速路延误原因.将高架快速路作为基本选择项,效用方程值设置为零.模型估计结果如表 2 所示,利用卡方检验估计结果,采用 95%的置信度,决定系数 Nagelkerke R^2 为 0.343.对于现实数据的实证研究而言,模型达到了较高的精度^[20].

表 2 模型估计结果
Tab.2 Model estimation results

变量	系数 β	卡方检验值 χ^2	显著系数 S
常数项 C	-0.180	120.347	0.000
年龄为 19~30 岁的哑变量 A_1	-0.875	10.968	0.001
年龄为 31~40 岁的哑变量 A_2	-0.526	5.070	0.024
性别为男的哑变量 G	0.525	10.275	0.001
驾龄为 0~5 年的哑变量 D	-1.305	57.692	0.000
开单位用车的哑变量 V_1	2.468	64.515	0.000
开私家车的哑变量 V_2	2.257	45.040	0.000
每天使用快速路的哑变量 F_1	-1.723	67.086	0.000
每周 2~3 天使用快速路的哑变量 F_2	-2.934	138.915	0.000
认为高架 VMS 很有用的哑变量 E	-1.082	39.376	0.000
交叉口数量变量 L	-0.074	26.001	0.000
延误时间变量 T	0.146	11.462	0.001
事故的哑变量 I	0.813	32.528	0.000
Nagelkerke R^2		0.343	

2.3 模型估计结果的讨论

如表 2 所示,对择路决策有显著影响的因素主要有年龄、性别、驾龄、驾车类型、使用高架频率、地

面道路交叉口数量、高架延误、高架延误原因. 根据模型的系数, 对各影响因素的分析如下:

a. 常数项. C 取负值, 说明驾驶员对高架道路有内在的倾向性, 即在其他因素相同情况下, 驾驶员倾向于首先选择高架道路. 这与国外一些研究发现的快速路偏好或情结^[21]一致.

b. 年龄. A_1 和 A_2 的系数都为负, 且 $-0.875 < -0.526 < 0$. 这说明年龄越大的驾驶员接收到 SVMS 发布的高架延误信息后, 更可能选择地面道路.

c. 性别. G 系数为正, 说明男性驾驶员相对于女性, 在接收到高架延误信息后更愿意选择地面道路. 说明 SVMS 信息对男性择路决策影响更大. 这一结论与以往一些研究相同.

d. 驾龄. D 系数为负, 说明驾龄长的驾驶员接收到高架延误信息后更可能选择地面道路. 可能的原因是驾龄长的驾驶员驾车经验丰富, 对路网更熟悉, 对地面道路相对复杂的结构和道路状况更能做出灵活应变, 所以更愿意选择地面道路, 以避免高架延误.

e. 用车类型. V_1 和 V_2 的系数均为正, 说明驾驶单位用车和私家车的驾驶员, 相对于出租车驾驶员, 接收到高架延误信息后更可能选择地面道路. 可能的原因是, 一方面出租车驾驶员的路径选择往往需要征求乘客意见, 而许多乘客乘坐出租车经常选择能够提供连续快速行车环境的高架路, 即使遭遇高架异常情况时仍然可能要求继续使用高架; 另一方面现实生活中上海高架异常事件引起的延误往往不大, 一些乘客能够容忍这种延误, 可能会继续选择高架道路.

f. 使用快速路频率. F_1 和 F_2 的系数均为负, 说明很少使用高架的驾驶员, 相比经常使用者, 接收高架延误信息后更可能选择地面道路. 可能的原因是很少使用高架者对高架的依赖性不如经常使用高架者那么大, 因此, 在接收高架延误信息后更倾向于选择地面道路. 这一结论与国外一些研究的结论一致.

g. 以往对高架可变情报板有用性感受. E 系数为负. 说明认为高架道路可变情报板很有用(完全根据高架可变情报板选择路径)的驾驶员, 相比其他驾驶员, 接收高架延误信息后, 更不愿意选择地面道路. 可能的解释是, 完全根据高架可变情报板选择路径的驾驶员对高架快速路的实时信息服务依赖性大, 对信息信任度大, 平时因为经常获益于高架道路信息服务而更习惯于使用高架道路, 既能享受高架快速路连续快速行车环境, 又能获得实时路况信息以便及时做出路径选择. 而上海目前的地面道路不管是行驶环境和道路条件, 还是交通信息服务, 都不及高架快速路. 因此, 认为

高架道路可变情报板很有用者, 接收高架延误信息后, 更倾向于继续使用高架道路.

h. 地面道路信号灯路口数量. L 系数为负, 说明地面道路所含交叉口越多, 选择地面道路的可能性越小. 这一现象符合直觉判断. 地面道路所含交叉口越多, 驾驶员行车过程中加减速、停车等更频繁, 会增加驾驶员的不适感, 此外, 还将增加行程时间不可靠性, 这样驾驶员选择地面道路的概率自然就更小.

i. 高架道路延误. T 系数为正, 说明高架延误越大, 驾驶员越可能选择地面道路. 这一结论符合直觉判断. 可见, 突发事件下告知驾驶员行程时间等定量信息很有必要. 当然, 拥挤和事故情况下要准确预测行程时间并非易事, 多年来一直是学术界的一个难题.

j. 高架延误原因. I 系数为正, 说明发生事故时比仅发生拥堵时驾驶员更可能选择地面道路. 这意味着高架延误大小相同, 但是延误原因不同, 引起的路径选择概率不同. 这符合直觉判断. 因为发生事故时, 高架道路的行车舒适度和驾车安全性显著下降、拥堵持续时间不确定性更大, 因而驾驶员更不愿意选择高架道路.

$$V = -0.180 - 0.875A_1 - 0.526A_2 + 0.525G - 1.305D + 2.468V_1 + 2.257V_2 - 1.723F_1 - 1.082F_2 - 1.082E - 0.074L + 0.146T + 0.813I \quad (7)$$

利用式(7), 可以计算不同驾驶员在不同情景中的 SVMS 信息影响下选择地面道路和高架快速路的概率. 例如, 对于“地面含 10 个信号灯、高架延误 5 min、事故”这一交通情景, 一个年龄为 35 岁、驾龄为 3 年、开私家车、每天使用快速路、完全根据高架可变情报板选择路径的男性驾驶员, 选择高架道路的概率为 77%, 选择地面道路的概率为 23%.

采用离散选择分析方法建立的择路概率模型, 对于交通管理策略的制定与评估有重要指导意义和政策启示^[8,22]. 例如, 在突发交通事件(如世博会造成的短时需求激增、交通事故)下, 择路概率模型可以用于动态交通管理中的分流比例预测, 从而适时地调整地面道路信号灯配时方案, 提高高架快速路和地面道路的总体运行效率.

3 结束语

利用微观计量经济学中的离散选择建模方法建

立了 SVMS 信息下择路行为 Logit 模型. 研究发现, SVMS 信息对择路决策有显著影响, 影响大小与驾驶员属性、地面道路属性、信息内容等有关; 驾龄越长、年龄越大的男性驾驶员, 选择地面道路的可能性越大; 经常使用高架且认为高架可变情报板对其择路决策很有用的驾驶员选择地面道路的可能性更小; 高架延误越大、地面道路信号灯路口越少、延误原因为事故时, 驾驶员选择地面道路可能性更大.

下一步将尝试获取更多择路行为数据, 建立更符合实际的信息响应行为模型, 并将模型与微观交通流仿真模型结合, 探索突发交通事件管理策略的优化方法.

参考文献:

- [1] ABDEL-ATY M, ABDALLA P E F. Modeling drivers diversion from normal routes under ATIS using generalized estimating equations and binomial probit link function[J]. *Transportation*, 2004, 31(3): 327 - 348.
- [2] JOU RC, LAM S H, WENG M C, et al. Real time traffic information and ITS impacts on route switching behavior of expressway drivers [J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2004, 38(2): 187 - 223.
- [3] SRINIVASAN K K, MAHMASSANI H S. Analyzing heterogeneity and unobserved structural effects in routes switching behavior under ATIS: A dynamic kernel logit formulation [J]. *Transportation Research, Part B*, 2003, 37(9): 793 - 814.
- [4] EMMERINK R H M, NIJKAMP P, RIETVELD P, et al. Variable message signs and radio traffic information: An integrated empirical analysis of drivers' route choice behavior [J]. *Transportation Research, Part A*, 1996, 30(2): 135 - 153.
- [5] BEN-AKIVA M, DE PALMA A, KAYSI I. Dynamic network models and driver information systems [J]. *Transportation Research, Part A*, 1991, 25(5): 251 - 266.
- [6] BONSALE P. The influence of route guidance advice on route choice in urban networks [J]. *Transportation*, 1992, 19: 1 - 23.
- [7] CHATTERJEE K, HOUNSELL N B, FIRMIN P E, et al. Driver response to variable message sign information in London [J]. *Transportation Research, Part C*, 2002, 10(2): 149 - 169.
- [8] WARDMAN M, BONSALE P W, SHIRES J D. Driver response to variable message signs: A stated preference investigation [J]. *Transportation Research, Part C*, 1997, 5(6): 389 - 405.
- [9] BONSALE P, FIRMIN P, ANDERSON M, et al. Validating the results of a route choice simulator [J]. *Transportation Research, Part C*, 1997, 5(6): 371 - 387.
- [10] LAI Ka-hun, WONG Wing-gun. SP approach toward driver comprehension of message formats on VMS [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2000, 126(3): 221 - 227.
- [11] PEETA S, RAMOS J L, PASUPATHY R. Content of variable message signs and on-line driver behavior[J]. *Journal of the Transportation Research Board*, 2000 (1725): 102 - 108.
- [12] KHATTAK A, SCHOFER J, KOPPELMAN F S. Commuters' enroute diversion and return decisions: Analysis and implications for advanced traveler information systems [J]. *Transportation Research, Part A*, 1993, 27(2): 101 - 111.
- [13] 黄海军. 城市交通网络动态建模与交通行为研究[J]. *管理科学*, 2005, 2(1): 18 - 22.
- [14] 干宏程, 孙立军, 陈建阳. 提供交通信息条件下的途中改道行为研究[J]. *同济大学学报*, 2006, 34(11): 1484 - 1488.
- [15] 干宏程. VMS 诱导信息影响下的路径选择行为分析[J]. *系统工程*, 2008, 26(3): 11 - 16.
- [16] 曾松, 史春华, 杨晓光. 基于实验分析的驾驶员路径选择模式研究[J]. *公路交通科技*, 2002, 19(4): 85 - 88.
- [17] ORTUZAR J, WILLUMSEN L G. *Modeling Transport* [M]. London: John Wiley & Sons, 1994.
- [18] 陆化普. *交通规划理论与方法* [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [19] 关宏志. *非集计模型——交通行为研究的工具* [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [20] LOUVIERE J J, HENSHER D A, SWAIT J D. *Stated Choice Methods: Analysis and Applications* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [21] KITAMURA R, P P JOVANIS, ABDEL-ATY M, et al. Impacts of pretrip and en-route information on commuters' travel decisions: Summary of laboratory and survey-based experiments from California [M] // EMMERINK R, NIJKAMP P. *Behavioural and Network Impacts of Driver Information Systems*. UK: Ashgate, 1999: 241 - 267.
- [22] GAN H C, SUN L J, CHEN J Y, et al. Advanced traveler information system for metropolitan expressways in Shanghai, China [J]. *Journal of Transportation Research Board*, 2006(1944): 35 - 40.