

可变情报板诱导效果评价模型

邵春福¹, 董春娇¹, 郑长青², 乔 梁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. 北京市公安局公安交通管理局, 北京 100037)

摘要: 针对北京市道路交通可变情报板VMS(variable message signs)的信息服务, 结合表明嗜好调查法(SP调查)结果, 分析VMS交通信息服务对驾驶员路径选择行为的影响因素, 建立诱导条件下驾驶员路径选择行为的多元Logit模型, 并利用调查数据对模型参数进行估计, 从定量角度评价VMS交通信息服务对驾驶员行为的影响以及在此影响下道路交通拥堵缓解效果. 最后以北京市部分区域路网为研究对象, 进行设置VMS前后的效果评价, 通过交通流量的变化定量评价VMS对均衡路网交通流的效果, 验证模型的有效性.

关键词: 可变情报板(VMS); 交通诱导; SP调查; 多元Logit模型; 路径选择行为

中图分类号: U491 **文献标识码:** A

Evaluation model of variable message signs information service

SHAO Chun-fu¹, DONG Chun-jiao¹, ZHENG Chang-qing², QIAO Liang²

(1. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology,

Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Beijing Traffic Management Bureau, Beijing 100037, China)

Abstract: The stated preference(SP) questionnaire survey to the road traffic information service system of Beijing is studied in this research. First, the survey of different types of vehicle drivers and different regions is analyzed. The major results are: first, the drivers' response behavior to variable message signs(VMS) is affected by several factors; second, a multinomial Logit model for drivers' response under guidance information is built. According to the model, the paper analyzes the effect of traffic guidance information to drivers with the VMS traffic information services. Finally, the paper evaluates VMS information service based on the multinomial Logit model. The model is tested by using the traffic flow data on the road network. Results with and without the VMS information service are compared and analyzed.

Key words: variable message signs; traffic guidance; SP data; multi-logit model; route choice behavior

1 引言(Introduction)

随着智能交通系统的发展, 可变情报板(variable message signs, VMS)已经成为大城市道路交通管理中一种重要的群体车辆信息服务和诱导设备, 它通过室外显示屏向交通参与者发布实时路况、交通管制等信息, 引导驾驶员调整行车路径, 均衡路网交通流量, 缓解交通拥堵^[1~5]. 因此, VMS的布局、设置位置、服务信息的种类和形式、驾驶员对VMS信息的认知以及VMS的设置效果等, 均是值得研究的问题.

本文从定性角度分析影响VMS路径选择行为的因素, 结合SP调查结果, 建立诱导条件下驾驶员路

径选择行为的多元Logit模型, 分析VMS交通信息服务对于驾驶员的交通行为影响以及在此影响下道路交通拥堵缓解效果, 为改善VMS的布局、设置、版面设计、交通信息服务等提供评价依据, 以更好发挥VMS的作用提供理论基础.

2 VMS效果评价研究现状(Review of status of VMS evaluation research)

目前, 国外主要采用两种方式研究信息和诱导对驾驶员行为的影响. 其一是采用仿真的形式, 模拟在有信息 and 诱导的条件下, 驾驶员的路径选择方式; 其二是采用调查的方法, 对驾驶员进行抽样调查, 调查驾驶员在提供诱导信息的条件下, 所采取的路径

收稿日期: 2009-11-31; 收修改稿日期: 2010-10-26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578015); “973”国家重点基础研究发展规划资助项目(2006CB705505); 国家科技“北京奥运智能交通管理与服务综合系统”支撑项目(2006BCG01A01); 中国发展研究基金会2009年度“通用汽车中国发展研究青年奖学金”资助项目; 北京交通大学优秀博士生科技创新基金资助项目(141082522).

选择方式.

M.McDonald^[6]通过实验研究了英国南安普敦地区VMS设置的效果,并对VMS结构尺寸的改进提出了建议. S. Peeta and J.L. Ramos. Jr^[7]通过3种不同渠道进行SP调查(实地问卷调查、电子邮件问卷调查和网上问卷调查),研究了在VMS提供交通信息条件下驾驶员的反应及其行为,分析了影响驾驶员交通行为的各种因素,包括驾驶员的社会经济属性、出行特征以及VMS的属性3大类.

国内有关VMS信息影响评价方面的研究较少. 曾松^[8]等通过驾驶员调查和计算机仿真测试等实验分析方法研究驾驶员的路径选择模式,分析了在行程时间信息作用下驾驶员在熟悉程度不同路径之间的选择行为,讨论了行程时间信息使驾驶员由常用路径切换到其它路径上的倾向性. 李静^[9]等运用博弈论的概念与方法,剖析驾驶员对诱导信息的反应行为,研究其他驾驶员的决策对某一特定决策过程的外在影响. 干宏程^[10,11]等针对上海一块实地运行的中型图文混合可变情报板,采用表明嗜好调查法采集途中改道行为数据,并用离散选择分析方法分析数据,估计了描述途中改道行为的二元Probit模型.

综上所述可以看出,驾驶员对VMS的反应及其行为受多种因素的影响. 在研究单个因素,如不同交通信息、事故等对驾驶员的影响方面取得了一定的成果,但是在研究多个因素,如年龄、路网熟悉程度、信息准确度、驾车类型等同时作用在驾驶员身上时产生的综合影响,以及实施VMS后取得的交通效益方面,目前还没有比较完善的研究.

3 基于多元Logit的VMS信息服务效果评价模型(Evaluation of VMS information service based on Multi-Logit model)

3.1 预测模型(Forecasting model based on Multi-Logit model)

VMS作为交通组织管理的一种手段,通过交通信息服务影响驾驶员行为,帮助驾驶员做出改善出行质量的选择,同时使其行为有利于系统目标的实现. 驾驶员路径选择行为如图1所示,影响驾驶员路径选择的因素很多,主要包括:行程时间、行驶距离、路径所经交叉口数量及控制方式、行程时间可靠性、交通安全、道路干扰因素等. 这些因素对不同驾驶员的影响程度不同,主要取决于驾驶员的驾驶经验、个人嗜好、出行目的和性质、出行距离等.

描述驾驶员路径选择行为时,常用的模型是离散选择模型. 离散选择模型包括概率单位(Probit)模型和分对数(Logit)模型. Probit模型虽然理论上较为严

密,但因计算困难而应用不多. 而Logit模型则因形式简单、容易求解的优点得到较广泛的应用. 本文采用多元Logit模型对VMS诱导策略下驾驶员的改变路径行为进行定量预测和评价.

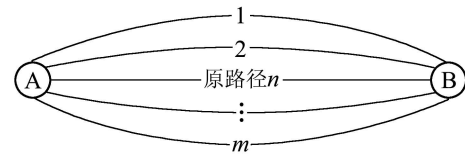


图1 驾驶员路径选择行为示意图

Fig. 1 Route choice behavior of driver

MNL模型基于随机效用理论和效用最大化理论的假设,假定驾驶员改变路径的概率由路径的效用决定,且各路径之间的效用是独立的. 驾驶员改变路径的概率如式(1)所示:

$$P(m) = \frac{\exp V(m)}{\exp V(m) + \exp V(n)}, \quad (1)$$

式中: $P(m)$ 为在VMS诱导信息下,变换为路径 m 的概率; $V(m)$ 为驾驶员改变为路径 m 的效用函数, $V(n)$ 为坚持原路径 n 的效用函数.

路径效用函数由多种因素决定,其最常用的是线性形式,即:

$$V(m) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^m, \quad (2)$$

$$V(n) = \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^n, \quad (3)$$

式中: α_0 为未知常数项; α_i, β_i 为第 i 项因素的效用系数; x_i^m, x_i^n 分别为路径 m, n 的第 i 项因素的特征值.

3.2 服务效果评价模型(Evaluation model of VMS information service)

将VMS设置前的实地调查数据及VMS设置后的预测数据和实测数据,代入负荷度计算公式(4)(5)和负荷度降低函数式(6),可以定量评价VMS信息服务效果. 负荷度 X_i :

$$X_i = Q/C_D; \quad (4)$$

分流后新的负荷度 X'_i :

$$X'_i = Q'/C_D; \quad (5)$$

负荷度降低函数 $\Delta X'_i$:

$$\Delta X'_i = \frac{X'_i - X_i}{X_i} \times 100\%. \quad (6)$$

式中: Q 为路段车辆交通量; C_D 为路段通行能力,一般按每条车道,取1800辆/h; Q' 为分流后路段新的车辆交通量; a, b 为VMS提供交通信息分流后得到的新的综合负荷度.

3.3 模型参数估计(Parameter estimation)

模型参数根据SP调查结果进行标定, SP调查是通过询问个人在一个或者多个假设情况下会采取怎样的行动或做出怎样的选择而得到的数据. 由于SP调查是以出行者对不同假设条件反应的推断为基础, 可以得到对于尚没有的方案偏爱信息, 但是它存在着偏爱意识在大多程度上与实际行为一致的问题. 本次调查共发放问卷300份, 回收有效问卷287份, 有效问卷回收率为95.7%. 通过调查分析可知, 年龄、驾驶员对路网熟悉程度、VMS信息的准确度及驾车类型这4个因素与驾驶员在有VMS情况下的路径选择行为具有显著相关关系, 因此路径效用函数可以表示为:

$$V(m) = \alpha_0 + \beta_1 x_1^m + \beta_2 x_2^m + \beta_3 x_3^m + \beta_4 x_4^m, \quad (7)$$

$$V(n) = \beta_1 x_1^n + \beta_2 x_2^n + \beta_3 x_3^n + \beta_4 x_4^n, \quad (8)$$

式中: $V(m)$ 为路径 m 的效用函数; $V(n)$ 为路径 n 的效用函数; $V(m), V(m), V(m), V(m)$ 为未知系数; α_0 为未知常数项; β_1 为驾驶员的年龄; β_2 为驾驶员对路网的熟悉程度; β_3 为VMS提供信息的准确度; β_4 为驾车类型.

根据式(1)有

$$\frac{P(m)}{P(n)} = \frac{\frac{\exp V(m)}{\exp V(m) + \exp V(n)}}{\frac{\exp V(n)}{\exp V(m) + \exp V(n)}} = \frac{\exp V(m)}{\exp V(n)}. \quad (9)$$

将式(9)两边同时取对数, 代入式(7)(8)可以得到如下线性回归方程式:

$$\begin{aligned} \ln \frac{P(m)}{P(n)} &= V(m) - V(n) = \\ &\alpha_0 + \beta_1(x_1^m - x_1^n) + \beta_2(x_2^m - x_2^n) + \\ &\beta_3(x_3^m - x_3^n) + \beta_4(x_4^m - x_4^n). \end{aligned} \quad (10)$$

根据SP调查结果对数据进行分类统计, 并代入式(10)利用最小二乘法拟合5个参数, 得到多元Logit模型参数估计结果如表1所示.

表 1 多元Logit模型参数估计结果

模型参数	α_0	β_1	β_2	β_3	β_4
估计值	-1.254	-0.403	0.669	0.730	1.565

由表1可知, 驾驶员的年龄参数值为负, 表明驾驶员的路径选择行为概率与其年龄成反比, 即年长的驾驶员更侧重于维持原来的路径, 而年轻驾驶员改变路径的概率要大, 该结果从某种程度上反映了年长驾驶员趋于保守和年轻驾驶员善变的特征. 其次, 分析路网熟悉程度、VMS信息准确度及驾车类

型这3个参数, 可知驾车类型参数的值最大. 这是因为路网中行驶的公交车、出租车和私家车(包括单位用车等)中, 公交车司机必须维持原来的路径, 出租车司机若想改变路径还需征得乘客的意见, 只有私家车可以自行决定是否改变路径, 因此驾车类型对于路径选择行为概率有着非常重要的影响. 此外VMS信息的准确度直接关系到驾驶员的路径选择行为; 驾驶员对路网的熟悉程度也是比较重要的因素, 二者共同决定着驾驶员的行为决策和路径选择行为.

4 实例分析(Experimental research)

本文通过有无对比的方法验证预测模型的有效性并评价VMS诱导信息的效果, 分别进行设置VMS时的预测诱导效果分析和有VMS的实测诱导效果调查, 选取图2所示北京市某一区域路网作为研究区域. 具体调查方案是: 首先对选取的局域路网进行无VMS信息条件下的交通流量调查; 其次, 针对从断面③由南向北行驶的车流量, 观测其看到VMS交通信息服务后的路径选择行为, 以及反映在断面①和断面②上交通流率的变化情况, 调查时间选择了有交通拥堵现象发生的工作日早高峰时段; 最后, 应用标定的多元Logit模型进行有VMS信息发布情况下的路径选择行为预测, 并与调查结果进行了对比分析, 如图3所示.

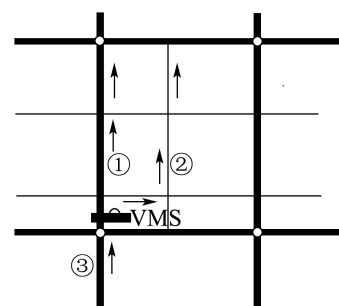
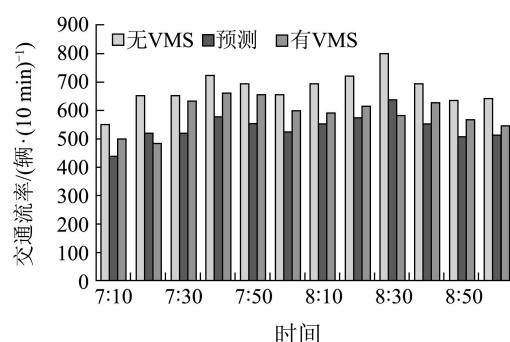
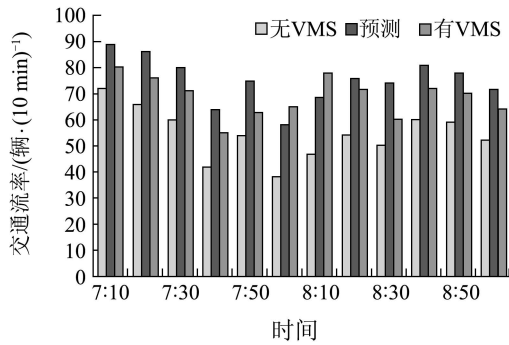


图 2 VMS诱导效果评价路网示意图

Fig. 2 Section position on the urban road network



(a) 断面①交通流率对比图



(b) 断面②交通流率对比图

图3 VMS对交通流分流效果对比图

Fig. 3 Traffic flow distributaries effect figure of VMS

由图3可以看出,通过布设VMS,断面①各时段的交通流率明显减少,断面②各时段的交通流率

明显增加,预测值能够反映出实际交通流率的变化趋势:对于断面①,预测和实测交通流率均小于无VMS情况下的交通流率,即VMS信息的发布能够减少主干路交通压力;对于断面②,预测和实测交通流率均大于无VMS情况下的交通流率,即VMS信息的发布能够将主干路交通流量分流到次干路上,均衡了路网流量配置。

采用绝对百分比误差(absolute percentage error,简称APE,表示交通流率预测值与实测值的偏差绝对值占实测值百分比的均值)评价多元Logit模型的预测效果,采用路网负荷度及路网负荷度变化率评价VMS信息服务效果.其中断面①的通行能力为7200辆/h;断面②通行能力为1800辆/h,评价指标的计算结果如表2所示。

表2 VMS诱导信息效果评价

Table 2 Evaluation of VMS information service

早高峰	断面①			断面②		
	无VMS	预测值	实测值	无VMS	预测值	实测值
路段车流量/(veh·h ⁻¹)	8108	6472	7057	654	900	819
预测APE	—	8.29%	—	—	9.89%	—
负荷度	1.13	0.90	0.98	0.36	0.50	0.46

由表2可知,断面①和断面②的预测百分比误差均小于10%,预测精度较好.同时,实测数据表明:断面①的平均负荷度由1.13下降到0.98;断面②的负荷度由原来的0.36上升到0.46.造成这种变化的主要原因是VMS的安装与布设对主干路交通流起到诱导分流作用,使主干路负荷度得到降低,次干路负荷度上升,均衡道路网交通流分配,使道路资源得到了合理利用.断面①和断面②负荷度变化率对比如图4所示。

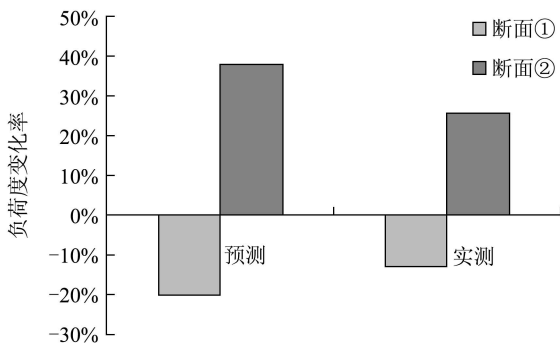


图4 道路断面负荷度变化对比图

Fig. 4 Comparison figure of degree of loading

由图4可知,基于多元Logit模型的交通流率预测值能够反映出路网负荷度变化的方向,但与实

测值存在一定的差异,原因在于:1) SP问卷调查中得到的比例数据是出于驾驶员的意愿表示,在实际情况下不一定会完全按照表达的意愿做出相应行为;2) 当VMS发布前方拥挤或事件等信息时,对驾驶员而言存在多条路径可供选择,那么在预测过程中就会存在不可避免的误差。

5 结语(Conclusion)

本文利用SP调查数据,分析VMS交通信息服务对驾驶员路径选择行为的影响因素,建立多元Logit模型预测驾驶员在有VMS情况下进行的路径选择行为,并利用调查数据对模型参数进行估计.最后以北京市部分区域路网为对象进行了对比分析,评价了VMS交通组织策略对驾驶员交通行为的影响及诱导效果.得出如下主要结论:

1) 通过调查可知,年龄、驾驶员对路网熟悉程度、VMS信息的准确度及驾车类型这四个因素与驾驶员在有VMS情况下的路径选择行为有关.其中,驾车类型对于路径选择行为选择概率有着非常重要的影响.此外VMS信息的准确度和驾驶员对路网的熟悉程度也是比较重要的因素,二者共同决定着驾驶员的行为决策。

2) 多元Logit模型能够反映驾驶员在有VMS情况下的路径选择行为, 预测交通流率与实测交通流率呈现相同变化趋势, 且平均预测误差小于10%。

3) 通过分析可知, VMS的布设均衡了路网流量的配置, 将主干路上过多的车流量分流到次干路上, 一方面主干路的负荷度降低12.9210%; 另一方面充分利用了次干路的路网资源, 次干路负荷度增加了25.46%, 整个区域路网的道路负荷度得到了有效均衡, 提高了路网的整体运行效率。

4) 基于多元Logit模型的VMS信息服务效果评价能够反映VMS对均衡路网流量的作用, 与实测数据变化趋势一致。

本文结合SP调查数据, 利用多元Logit模型描述驾驶员对VMS信息的认知和决策, 从定量角度评价VMS信息服务效果, 如何提高VMS信息服务下交通流率预测的准确性是本研究今后的课题。

参考文献(References):

- [1] 许娟, 邵春福, 繇凯. 信息和诱导对驾驶员径路选择行为的影响研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2004, 11: 53 – 55.
(XU Juan, SHAO Chunfu, XIAN Kai. Study on route choice behavior based on information and route guidance[J]. *Inner Mongolia Science technology and Economy*, 2004, 11: 53 – 55.)
- [2] 徐丽丽, 邵春福. 路径信息诱导的双层规划模型[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(5): 93 – 96.
(XU Lili, SHAO Chunfu. Bi-level programming model of route traffic information guidance[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2007, 7(5): 93 – 96.)
- [3] 孟超, 邵春福, 李玮, 等. VMS对驾驶人路径选择行为影响的仿真研究[J]. 城市交通, 2009, 7(1): 76 – 81.
(MENG Chao, SHAO Chunfu, LI Wei, et al. Impact simulation of VMSs on driver's route selection behaviors[J]. *Urban Transport of China*, 2009, 7(1): 76 – 81.)
- [4] 姜桂艳, 郑祖航, 白竹, 等. 拥挤条件下可变信息板交通诱导信息对驾驶行为的影响[J]. 吉林大学学报(工学版), 2006, 36(2): 183 – 187.
(JIANG Guiyan, ZHENG Zuduo, BAI Zhu, et al. Simulation-based assessment of variable message signs route guidance information under congestion condition[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2006, 36(2): 183 – 187.)
- [5] 关积珍, 郑长青, 朱雪良, 等. 北京奥运交通诱导VMS信息发布研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(6): 115 – 120.
(GUAN Jizhen, ZHENG Changqing, ZHU Xueliang, et al. VMS release of traffic guide information in Beijing olympics[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2008, 8(6): 115 – 120.)
- [6] MCDONALD M, RICHARDS M, MORRIS A, et al. The development of VMS strategies[C] // *Proceedings of 9th International Conference on Road Transport Information and Control*. London: IEEE, 1998: 212 – 216.
- [7] PEETA S, RAMOS J L. Jr. Driver response to variable message signs-based traffic information[J]. *Intelligent Transport Systems*, 2006, 153(1): 2 – 9.
- [8] 曾松, 史春华, 杨晓光. 基于实验分析的驾驶员路线选择模式研究[J]. 公路交通科技, 2002, 19(4): 85 – 88.
(ZENG Song, SHI Chunhua, YANG Xiaoguang. A route choice model based on experimental analysis[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2002, 19(4): 85 – 88.)
- [9] 李静, 范炳权. 基于驾驶员反应行为的诱导博弈分析[J]. 上海理工大学学报, 2003, 23(4): 398 – 400.
(LI Jing, FAN Bingquan. Driver's response behavior analysis with game theory[J]. *University of Shanghai for Science and Technology*, 2003, 23(4): 398 – 400.)
- [10] 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(自然科学版), 2006, 34(11): 1484 – 1488.
(GAN Hongcheng, SUN Lijun, CHEN Jianyang. Study on traveler behavior under influence of advanced traveler information system[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2006, 34(11): 1484 – 1488.)
- [11] 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.
(GAN Hongcheng. Exploring drivers' route choice response to real-time guidance information of variable message signs[J]. *Systems Engineering*, 2008, 26(3): 11 – 16.)

作者简介:

邵春福 (1957—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为交通规划、智能交通系统、交通安全, E-mail: cfshao@bjtu.edu.cn;

董春娇 (1982—), 女, 博士研究生, 研究方向为智能交通系统、城市交通规划与管理, E-mail: dongchj2006@163.com;

郑长青 (1961—), 男, 高级工程师, 研究方向为智能交通管理、交通诱导, E-mail: zhengchangqing2005@yahoo.com;

乔梁 (1982—), 男, 工程师, 研究方向为智能交通、交通诱导, E-mail: vlodimior@hotmail.com.