

基于混合选择模型的图状路径信息板影响分析

干宏程, 孙亦凡

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 有别于以往关于图状路径信息板(GRIP)影响的行为建模研究, 运用混合选择模型研究了GRIP对驾驶员路径选择的影响。模型中通过恰当地构造“驾驶经验”和“GRIP信任度”两大潜变量, 精细地刻画GRIP的影响机理。以上海实地存在的GRIP为研究对象, 利用驾驶员行为调查数据, 定量分析GRIP传递的事故和拥挤程度信息对路径选择的影响。分析结果表明, GRIP信息会显著影响路径选择, 驾驶经验和GRIP信任度与提前驶离快速路的概率分别呈负向和正向关系, 且驾驶经验的影响因个体属性而异。

关键词: 混合选择模型; 路径选择; 图状路径信息板; 潜变量

中图分类号: U 491 **文献标志码:** A

Analysis on the Influence of Graphical Route Information Panel on Driver Route Choice Based on an ICLV Model

GAN Hongchen, SUN Yifan

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Unlike previous behavioral modeling studies on the influence of graphical route information panel (GRIP), an integrated choice and latent variable model was used to explore the impact of GRIP on driver route choice. By properly constructing two latent variables, i.e. the driving experience and GRIP trust, the model can depict the influence of GRIP more precisely. Taking GRIP on the spot in Shanghai as the research object, the driver behavior survey data was used to quantitatively analyze the impact of the accident and congestion degree information transmitted by the GRID on route choice. The results show that the GRIP can significantly affect the probability of path selection. In addition, the driving experience has a negative relationship with the probability of leaving the expressway ahead, and the GRIP trust is positively related to the probability of leaving the expressway ahead. The influence of driving experience varies with individual attributes.

Keywords: integrated choice and latent variable (ICLV) model; route choice; graphical route information panel (GRIP); latent variable

可变信息标志(VMS)作为交通管理者向驾驶员传递动态路况信息的常见重要手段, 有助于驾

驶员更合理地选择路径和更高效的出行, 并且能够缓解交通压力和均衡路网负担。VMS对驾驶员

路径选择的影响一直是研究热点, 相应的研究成果已经很丰富。以往研究显示, VMS 对路径选择的影响因素大体可归为 3 类: VMS 内容(VMS 提供的信息的内容、方式、详略等)、各替换路径的状况(拥挤程度、交叉口数量、事故类型等)、个体属性(性别、驾驶经验、VMS 的主观感知等)。Peeta 等^[1]运用多元 Logit 模型研究了 VMS 提供不同信息的情况下驾驶员的路径选择。研究结果表明, 个体属性性别、年龄对于驾驶员的路径选择有显著的影响。此外, VMS 提供相关信息的内容越多, 驾驶员越容易受到 VMS 的影响。Li 等^[2]的研究结果表明, 驾驶年限、平均出行距离、对 VMS 的信任和 VMS 位置的设定是影响驾驶员路径选择的重要影响因素。徐天东等^[3]的研究结果表明, 驾驶员的个体属性年龄、VMS 提供内容的精确性与完整性对于驾驶员的路径选择有显著的影响。干宏程^[4]研究了当 VMS 板同时提供原始路径和替换路径的信息时驾驶员的路径选择, 研究结果表明, 行程节省量(原始路径与替换路径时间之差)、替换路径所含交叉口的数量和个体属性(性别、年龄、驾驶员的身份等)对驾驶员的路径选择有显著的影响。

图状路径信息板(graphical route information panel, GRIP)是顺应当前信息与通讯技术快速发展而日益得到普及的一种新型 VMS 技术, GRIP 相关研究(尤其是行为建模方面的探索)近年来在国际上已成为研究热点。目前, 学者们在面板设计、GRIP 影响的交通仿真、信息系统设计、行为建模^[5-9]等方面对 GRIP 展开了不同程度的研究。Lai^[7]通过实验检查 GRIP 显示的内容是否易于理解, 研究结果表明, 相较于长方形路网, 驾驶员对三角形路网的响应较慢, 不容易受其影响。此外, 驾驶员对 GRIP 中显示的道路颜色更为敏感。Aitken 等^[8]通过对以往文献的总结并结合美国德克萨斯州的统一交通设备控制手册, 设计了适合美国的 GRIP, 并且评估了设计的 GRIP 在人群中的运用。Gan^[9]基于 GRIP 系统的研究开发, 比较了服务水平信息的 3 种提供方式, 并且提出了一种基于宏观交通流量模型的旅行时间预测方法。在以往研究中, 行为建模的研究报道还很少, GRIP 对路径选择的影响机理有待进一步解析。

与传统的离散选择模型相比, 混合选择模型能够直接观察到态度、价值观、生活方式等不可观测变量对于选择行为的影响。国内混合选择模型在交通领域的应用已经有了一定的成果, 研究结果表明, 混合选择模型相较于传统的离散选择

模型有更好的数据拟合效果和行为解释能力^[10-11]。本文在作者所在课题组以往研究的基础上^[9,12-15], 运用混合选择模型(integrated choice and latent variable, ICLV)这一先进的计量经济学模型, 探索 GRIP 对路径选择的影响, 着重考察“驾驶经验”和“GRIP 信任度”这两类重要但不易直接观测的潜在影响因素的作用, 以期更精细地刻画 GRIP 的影响机理。

1 混合选择模型

ICLV 模型^[16-17]由结构方程模型与离散选择模型两部分组成。本文采用经典的多元 Logit 模型作为离散选择模型。

a. 离散选择模型。

选项的效用函数的解释变量分为可直接测量的解释变量和不可直接测量的潜变量, 并且假设效用函数是关于参数的线性函数。选项的效用函数如式(1)所示。

$$\begin{cases} U_{ni} = V_{ni}(\mathbf{x}_{ni}, \boldsymbol{\eta}_{ni}; \boldsymbol{\beta}) + v_{ni} \\ V_{ni}(\mathbf{x}_{ni}, \boldsymbol{\eta}_{ni}; \boldsymbol{\beta}) = \boldsymbol{\beta}_x \mathbf{x}_{ni} + \boldsymbol{\beta}_\eta \boldsymbol{\eta}_{ni} \end{cases} \quad (1)$$

式中: U_{ni} 是第 n 个驾驶员的选项 i 的效用; V_{ni} 是系统效用; v_{ni} 是随机效用; $\mathbf{x}_{ni}$ 是可直接测量的对选项效用有影响的因素; $\boldsymbol{\eta}_{ni}$ 是不可直接测量的对选项效用有影响的因素; $\boldsymbol{\beta}$ 是待估计的效用函数的系数; $\boldsymbol{\beta}_x$ 是可直接观测影响因素的系数; $\boldsymbol{\beta}_\eta$ 是不可直接观测影响因素的系数。

多元 Logit 模型中, 每个选项被选择的概率如式(2)所示。 u_{ni} 表示第 n 个驾驶员选择选项 i 的状态, 如果被调查的人选择了 i , $u_i=1$; 否则, 为 0。 C_n 为第 n 个驾驶员互斥的选项集; P_n 为第 n 个驾驶员的选择概率。

$$P_n(u_{ni} = 1 | \mathbf{x}_{ni}, \boldsymbol{\eta}_{ni}; \boldsymbol{\beta}) = \frac{e^{V_{ni}(\mathbf{x}_{ni}, \boldsymbol{\eta}_{ni}; \boldsymbol{\beta})}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{nj}(\mathbf{x}_{nj}, \boldsymbol{\eta}_{nj}; \boldsymbol{\beta})}} \quad (2)$$

b. 结构方程模型。

在结构方程模型中, 指标变量与潜变量之间的关系采取线性函数关系, 将可直接观测的解释变量作为外源潜变量引入。此外, 离散选择模型中不可测量的影响因素作为结构方程中的潜变量。 $\boldsymbol{\eta}_{ni}$ 与指标变量及其他潜变量的关系如式(3)所示。

$$\begin{cases} \boldsymbol{\eta}_{ni} = \mathbf{B} \boldsymbol{\eta}_{ni} + \mathbf{\Gamma} \mathbf{x}_{ni} + \boldsymbol{\zeta}_{ni} \\ \mathbf{y}_{ni} = \mathbf{\Lambda} \boldsymbol{\eta}_{ni} + \boldsymbol{\varepsilon}_{ni} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\boldsymbol{\zeta}_{ni}$ 是随机项; $\mathbf{y}_{ni}$ 是指标变量; $\boldsymbol{\varepsilon}_{ni}$ 是 $\mathbf{y}_{ni}$ 的

测量误差； $\mathbf{B}$ ， $\mathbf{\Gamma}$ ， $\mathbf{A}$ 为公式中待估计函数的系数。

c. 似然函数。

ICLV 模型的概率函数

$$P_n(u_{ni} = 1 | \mathbf{x}_{ni}, \boldsymbol{\eta}_{ni}; \boldsymbol{\beta}, \mathbf{B}, \mathbf{\Gamma}, \mathbf{A}, \boldsymbol{\Sigma}_v, \boldsymbol{\Sigma}_\zeta, \boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon) = \int_{\mathbf{R}_\eta} P_n(u_{ni} = 1 | \mathbf{x}_{ni}; \boldsymbol{\eta}_{ni}, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\Sigma}_v) \cdot f(\mathbf{y} | \boldsymbol{\eta}_{ni}, \mathbf{A}, \boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon) f(\boldsymbol{\eta}_{ni} | \mathbf{x}_{ni}; \mathbf{B}, \mathbf{\Gamma}, \mathbf{A}, \boldsymbol{\Sigma}_\zeta) d\boldsymbol{\eta}_{ni} \quad (4)$$

式中： $\boldsymbol{\Sigma}_v$ ， $\boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon$ 和 $\boldsymbol{\Sigma}_\zeta$ 代表的是残差和随机项的协方差矩阵； $\mathbf{R}_\eta$ 表示积分是有多少个潜在变量的多重积分。

假设有 n 个驾驶员，那么，ICLV 模型的似然函数

$$L = \prod_{i \in C_n} P_n(u_{ni} = 1 | \mathbf{x}_{ni}, \boldsymbol{\eta}_{ni}; \boldsymbol{\beta}, \mathbf{B}, \mathbf{\Gamma}, \mathbf{A}, \boldsymbol{\Sigma}_v, \boldsymbol{\Sigma}_\zeta, \boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon)^{u_i} = \int_{\mathbf{R}_\eta} \prod_{i \in C_n} P_n(u_{ni} = 1 | \mathbf{x}_{ni}; \boldsymbol{\eta}_{ni}, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\Sigma}_v) \cdot f(\mathbf{y} | \boldsymbol{\eta}_{ni}, \mathbf{A}, \boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon) f(\boldsymbol{\eta}_{ni} | \mathbf{x}_{ni}; \mathbf{B}, \mathbf{\Gamma}, \mathbf{A}, \boldsymbol{\Sigma}_\zeta) d\boldsymbol{\eta}_{ni} \quad (5)$$

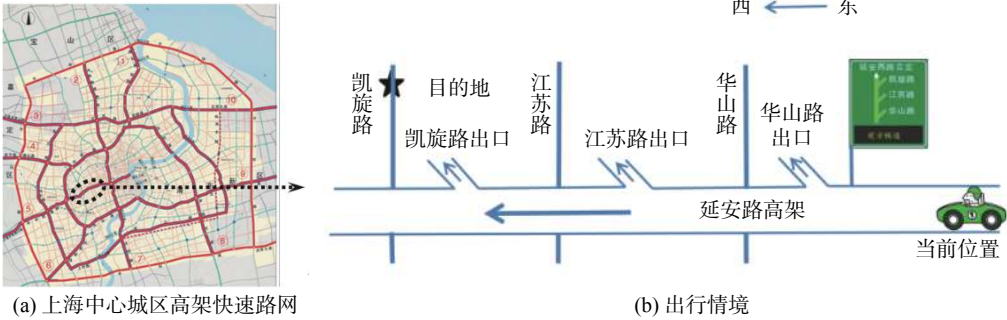


图 1 意向调查中的出行情境
Fig.1 Travel scenario in the survey

研究的 GRIP 主要通过光带地图和文字组合的方式向驾驶员传递路况信息，绿色、黄色、红色分别表示畅通、拥挤、阻塞，事故信息则通过标志面板的文字显示模块来传递。在调查中，根据凯旋路出口是否发生事故(文字说明)和拥挤程度(地图显示+文字说明)两个信息要素，采取两水平(事故与否)和三水平(轻微拥挤、一般拥挤、严重拥挤)的组合形式，构造 6 个(2×3)出行情境。表 1

2 数据及初步分析

本文所用到的 GRIP 响应行为数据来自作者课题组针对上海高架快速路 GRIP 开展的上海驾驶员路径选择行为调查^[13]。问卷中选取上海中心城区高架快速路网中延安路高架上的一段道路为假设出行路线。假设驾驶员在工作日的平峰时段计划从静安区政府走延安高架到达东华大学延安校区。原计划从凯旋路出口离开延安高架，但是，驾驶员从华山路出口的 GRIP 获取了此时的凯旋路道路状况信息，这时候驾驶员根据 GRIP 显示的内容决定按照原计划从凯旋路出口离开，还是提前一个出口从江苏路离开，或者提前两个出口从华山路离开。出行情境如图 1 所示。

给出了 6 种出行情景下 GRIP 提供的信息内容。当 GRIP 提供发生事故、道路拥挤严重的信息时，GRIP 显示如图 2 所示。除了收集受访驾驶员的选择结果，还收集了驾驶员的相关个体属性(性别、年龄、开车主要目的、开车频率、对 GRIP 有用性的感知等)。调查一共收集了 246 份有效问卷，因此，一共有 1 476(246×6)个选择结果。

表 1 不同出行情景
Tab.1 Different scenarios

情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	情景 6
无事故+一般拥挤	事故+轻微拥挤	无事故+严重拥挤	无事故+轻微拥挤	事故+严重拥挤	事故+一般拥挤

图 3 给出了不同出行情境下受访者的路径选择百分率。可以看出，驾驶员很容易受 GRIP 信息影响而改变路径。除情景 4 以外，其他情景中选

择从江苏路出口下高架的人最多，这说明当原始路径没发生事故，只有轻微拥堵时，大部分人维持原路径，不发生改道行为。当 GRIP 显示的信息



图 2 图状路径信息板显示的信息

Fig. 2 Information displayed by the graphical route information panel

为有事故或原始路径拥挤较为严重时, 大部分人倾向提前一个出口下高架。驾驶员改道行为发生比例从大到小依次是情景 5, 情景 3, 情景 6, 情景 1, 情景 2, 情景 4。这说明驾驶员对于 GRIP 道路拥挤的信息比事故是否发生的信息敏感。

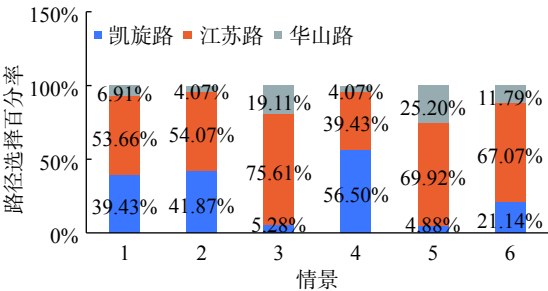


图 3 不同情景下的路径选择

Fig.3 Path selection under different scenarios

3 模型建立和结果分析

采用 Mplus7.0 软件建立混合选择模型。经过对多个候选模型的测试、比较和评价, 最终得到的模型结构如图 4 所示。模型中个体属性直接对潜变量驾驶经验、GRIP 信任度有影响。驾驶员的选项效用受到是否发生事故、拥挤程度、驾驶经验和 GRIP 信任度的直接影响。其中, 潜变量驾驶经验用 F_1 表示, 指标为驾龄、使用高架道路的频率、对上海高架的熟悉程度。潜变量 GRIP 信任度用 F_2 表示, 指标为对 GRIP 的关注程度、GRIP 对其选择路径或改道的影响程度。

模型中的变量有性别、每年行驶公里数、开车频率、驾龄、使用高架道路的频率、对上海高架的熟悉程度、对 GRIP 的关注程度、GRIP 对其选择路径或改道的影响程度、凯旋路出口拥挤程

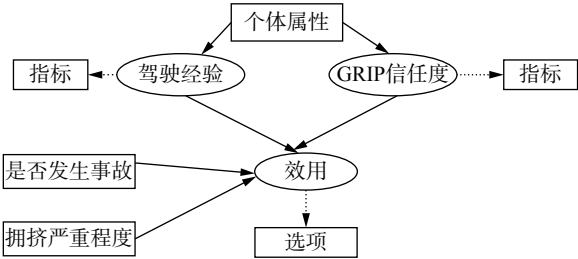


图 4 模型示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the model

度、是否发生事故和路径选择。其各自定义情况如下: 性别为二分类变量: 男性为 1, 女性为 0; 每年行驶公里数从“5 千以下”到“3 万以上”分为 5 档, 编码为 1~5; 每周的开车频率从“很少开车”到“几乎每天”分为 5 档, 编码为 1~5; 驾龄从“小于 1 a”到“大于 20 a”分为 5 档, 编码为 1~5; 每周使用高架道路的频率从“很少用”到“几乎每天”分为 5 档, 编码为 1~5; 对上海高架的熟悉程度从“完全不熟”到“非常熟悉”分为 5 档, 编码为 1~5; 对 GRIP 的关注程度从“从来不看”到“总会看”分为 5 档, 编码为 1~5; GRIP 对其选择路径或改道的影响程度从“完全没有影响”到“完全根据信息作决定”5 档, 编码为 1~5; 凯旋路出口拥挤程度分为 3 档, 编号为 1~3; 是否发生事故为二分类变量: 发生事故为 1, 没发生事故为 0; 路径的选择为无序多分类变量: 华山路为 1, 江苏路为 2, 凯旋路为 3。

3.1 测量模型的评估

在构建潜变量时, 通过遵循开发量表的理论知识, 参照交通领域的特点, 结合现实情况, 用试错的方法, 从量表的实际意义、信度与效度、数据的拟合等角度对构建的测量模型进行评价与比较, 最终确定了图 4 所包含的测量关系。通过组合信度(CR)和平均方差提取值(AVE)来评价模型的内在结构适配度。从表 2 中可以看出, 各指标变量的因子负荷显著并且都大于 0.4, 因此, 保留所有的指标变量。 $CR_{F_1} = 0.72$, $CR_{F_2} = 0.72$, 大于 0.7, 量表结构稳定。 $AVE_{F_1} = 0.436$, $AVE_{F_2} = 0.548$ 。 AVE_{F_1} 的值为 0.436, 比较接近 0.5, 也可以接受。同时 F_1 和 F_2 相关系数的平方为 0.248, 小于 2 个潜变量的 AVE 值, 因此, 认为潜变量的聚敛能力较好。总体而言, 模型具有较好的内在结构适配度。

在对测量模型与数据的拟合效果进行评价时,

主要采用近似拟合检验，因为，假设检验中模型的卡方值易受到样本量的影响，而本文中的样本量较大，因此，评估模型的数据拟合时不对卡方值/自由度作评价。模型的拟合判断指标 $CFI=0.979$ ， $TLI=0.947$ ，大于 0.9， $SRMR=0.021$ ，小于 0.1。 CFI 为比较拟合指数， TLI 为 Tucker Lewis 指数， $SRMR$ 为标准化残差均方根。结果还显示，近似误差均方根 $RMSEA$ 值为 0.067，小于 0.08，其 90% 的置信区间的上限为 0.090，接近 0.08，精确拟合的显著性 p 值为 0.091。因此，认为模型拟合良好。

表 2 测量模型的完全标准化因子负荷

Tab.2 Standardization factor of the measurement model

标识	潜变量	指标变量	完全标准化 因子负荷	双侧检验 的 p 值
F_1	驾驶经验	驾龄	0.468	0.0
		使用高架道路的频率	0.535	0.0
		对上海高架的熟悉程度	0.896	0.0
F_2	GRIP 信任度	对 GRIP 的关注程度	0.868	0.0
		GRIP 对其选择路径或改道的影响程度	0.589	0.0

3.2 离散选择模型

本文所建立的混合选择模型的麦克法登 R^2 为 13.59%，而不包含潜变量部分的多元 Logit 模型的麦克法登 R^2 为 11.67%，说明包含潜变量的混合选择模型对于数据有更好的拟合效果。此外，根据表 3 可以得到以下结论：

a. 常数项。常数项都为负，并且 $-1.799 > -3.704$ ，说明在正常情况下，驾驶员从大到小的偏好为原路行驶，提前一个路口下车，提前两个路口下车。这符合实际的情况，在不受到其他因素影响的情况下，驾驶员更愿意在快速路上行驶，因为在快速路上限制行驶速度高，无需等待红绿灯，驾驶员能够更快地到达目的地。

b. 驾驶经验。驾驶经验对于江苏路出口与凯旋路出口的相对效用没有产生影响。驾驶经验对于华山路出口与凯旋路出口的相对效用产生了影响，并且系数为 -0.831 ，说明驾驶员的驾驶经验越丰富，越不容易受到图状路径信息板的信息影响。这可能的原因是驾驶经验越丰富的驾驶员在判断是否改道时，更多的是依赖自己的经验，而不是 GRIP 提供的内容。

c. GRIP 信任度。华山路出口的系数大于江苏路出口的系数，并且都为正 ($1.77 > 0.871$)，这说明

驾驶员对于 GRIP 越信任，越容易提前下高架。

d. 拥挤程度。系数为正，并且华山路出口的系数大于江苏路出口的系数 ($1.933 > 1.226$)，这说明驾驶员对于 GRIP 中的拥挤信息很敏感，当 GRIP 板上显示凯旋路越是拥挤，驾驶员越容易下高架。

e. 是否发生事故。当 GRIP 显示发生事故时，驾驶员很容易提前下高架。当 GRIP 显示发生事故时，驾驶员由于无法根据事故判断前方道路的状况，不愿意冒险，因此，驾驶员很容易提前下高架。

表 3 混合模型中的离散选择模型

Tab.3 Discrete choice in the integrated choice and latent variable model

变 量	提前两个出口 (华山路出口)		提前一个出口 (江苏路出口)	
	系数	p 值	系数	p 值
常数	-3.704	0.000	-1.799	0.000
驾驶经验	-0.831	0.001	0.046	0.799
GRIP 信任度	1.770	0.000	0.871	0.000
拥挤程度	1.933	0.000	1.226	0.000
是否发生事故	0.898	0.000	0.656	0.000

3.3 结构模型

经过多次验证发现，个体属性中性别、年行驶公里数和开车频率对于潜变量 F_1 产生影响。除了年行驶公里数的 p 值为 0.064 外，其他变量的显著性为 0。潜变量 F_1 的 R^2 为 0.511，所以，潜变量 F_1 的方差解释良好。而个体属性对于潜变量 F_2 的 R^2 很小，并且不显著，因此，本模型中个体属性没有对潜变量 GRIP 信任度产生影响。个体属性中性别、年行驶公里数、开车频率与驾驶经验的未标准化系数分别为 0.335，0.021，0.325，再结合个体属性的编码可以得出以下结论：男性比女性的驾驶经验丰富，这符合现实情况中男性驾驶员的数量高于女性驾驶员的数量。此外，驾驶员年行驶公里数越长，每周开车频率越高，驾驶经验越丰富。结合驾驶经验越丰富，越不容易改道的结论，可以认为相较于男性，女性更容易受到 GRIP 的影响改道。年行驶公里数越长，每周开车频率越高，驾驶员越不容易受到 GRIP 的影响作出改道的行为。

4 结 论

运用先进的 ICLV 模型，以“驾驶经验”和

“GRIP 信任度”为潜变量,对上海高架快速路 GRIP 影响下的驾驶员路径选择行为进行了建模,较为细致地解析了 GRIP 的影响机理。利用上海驾驶员问卷调查数据所开展的 ICLV 模型实证研究发现:

a. 驾驶经验不丰富,对图状路径信息板信任的驾驶员的路径选择容易受到 GRIP 的影响;

b. 当 GRIP 显示原始路径有事故发生并且道路较为拥挤时,驾驶员改变路径的可能性变大;

c. 性别、年行驶公里数和开车频率对驾驶经验产生直接的影响,从而间接地表明女性、年行驶公里数长的、每周开车频率高的驾驶员容易受到 GRIP 的影响。

在本文研究基础上,接下来的研究会结合心理学的有关知识,进一步分析 GRIP 信息对路径选择的影响,发现 GRIP 影响的深层次原因。

参考文献:

[1] PEETA S, RAMOS J L, PASUPATHY R. Content of variable message signs and on-line driver behavior[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2000, 1725(1): 102–108.

[2] LI X G, CAO Y K, ZHAO X M, et al. Drivers' diversion from expressway under real traffic condition information shown on variable message signs[J]. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2015, 19(7): 2262–2270.

[3] 徐天东,孙立军,郝媛,等.不同交通信息下网络交通动态路径选择行为[J].*同济大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(8): 1029–1033.

[4] 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.

[5] SHALLOE S, SHARPLES S C, BURNETT G, et al. Developing a graphical route information panel (GRIP) for use on the UK motorway network. The first steps[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2014, 27: 133–149.

[6] ZHONG S Q, ZHOU L Z, MA S F, et al. Effects of different factors on drivers' guidance compliance behaviors under road condition information shown on VMS[J]. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 2012, 46(9): 1490–1505.

[7] LAI C J. Drivers' comprehension of traffic information on graphical route information panels[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2012, 45: 565–571.

[8] AITKEN R J, CONWAY A, WALTON C M. Implementing graphic route information panels (GRIPs) in the United States[J]. *ITE Journal*, 2012, 82(3): 42–47.

[9] GAN H C. Graphical route information panel for the urban freeway network in Shanghai, China[J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2010, 4(3): 212–220.

[10] 景鹏,隗志才,查奇芬.考虑心理潜变量的出行方式选择行为模型[J].*中国公路学报*, 2014, 27(11): 84–92, 108.

[11] 付学梅,隗志才.基于 ICLV 模型的通勤方式选择行为[J].*系统管理学报*, 2016, 25(6): 1046–1050.

[12] GAN H C, SUN L J, CHEN J Y, et al. Advanced traveler information system for metropolitan expressways in Shanghai, China[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2006, 1944(1): 35–40.

[13] GAN H C, WEI J N, YE X. Why do drivers divert? impact of graphical route information panels[J]. *International Journal of Mobile Communications*, 2013, 11(4): 412–427.

[14] GAN H C. Why do drivers change route? effect of graphical route information panels[J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2014, 9(2): 128–134.

[15] 苏红,干宏程.图状信息板影响下的驾驶员路径选择行为[J].*上海理工大学学报*, 2015, 37(5): 479–484.

[16] BEN-AKIVA M, MCFADDEN D, GÄRLING T, et al. Extended framework for modeling choice behavior[J]. *Marketing Letters*, 1999, 10(3): 187–203.

[17] BEN-AKIVA M, MCFADDEN D, TRAIN K, et al. Hybrid choice models: progress and challenges[J]. *Marketing Letters*, 2002, 13(3): 163–175.

(编辑:石 瑛)