

基于结构方程模型的驾驶员对 VMS 响应研究^①



杨明诚, 干宏程, 曹文超, 高吉

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

通信作者: 杨明诚, E-mail: mingchengng@163.com

摘要: 研究基于结构方程模型的驾驶员对可变信息标志响应研究. 在分析驾驶员出行习惯和可变信息标志信息可靠性的基础上, 引入技术接受模型, 以信度和效度两个评估指标检验测量模型. 通过 347 份问卷数据对提出的模型进行假设检验, 结果表明: 信息可靠性对感知有用性和感知易用性有显著正向影响, 且对感知易用性的影响程度大于感知有用性; 出行习惯对感知有用性无显著影响, 感知有用性和感知易用性对驾驶员的行为意图均有显著正向影响. 本研究可为交管部门科学发布 VMS 信息提供一定的理论依据和技术支持.

关键词: 可变信息标志; 技术接受模型; 出行习惯; 信息可靠性; 结构方程模型; 影响因素研究

引用格式: 杨明诚, 干宏程, 曹文超, 高吉. 基于结构方程模型的驾驶员对 VMS 响应研究. 计算机系统应用, 2022, 31(4): 341-345. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8414.html>

Study on Response of Drivers to VMS Based on Structural Equation Model

YANG Ming-Cheng, GAN Hong-Cheng, CAO Wen-Chao, GAO Ji

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

Abstract: This work studies the driver response to variable message signs (VMS) based on the structural equation model. First, this study analyzes drivers' travel habits and the reliability of VMSs. Then, the technology acceptance model is introduced to test the measurement model with two evaluation indexes of reliability and validity. 347 questionnaires are collected to form the dataset for the hypothetical testing of the proposed model. The results show that information reliability has a significantly positive impact on perceived usefulness and perceived ease of use, and the impact on the latter is greater than that on the former, while travel habits have no significant impact on perceived usefulness. Perceived usefulness and perceived ease of use have a significant positive impact on drivers' behavior intention. This study can provide a theoretical basis and technical support for the traffic management department to scientifically release VMS information.

Key words: variable message signs (VMS); technology acceptance model; travel habits; information reliability; structural equation model; study on influencing factors

我国经济持续快速发展, 造成城市交通系统的供需矛盾日益加重, 加快了用于缓解交通拥堵的新技术发展速度. 可变信息标志 (variable message signs, VMS) 作为智能交通系统的重要组成部分, 通过发布实时交通诱导信息, 对拥堵分流和均衡路网交通量具有重要作用^[1]. 而 VMS 是否发挥作用取决于驾驶员对诱

导信息的响应程度和遵从意愿. 因此, 研究驾驶员对 VMS 的接受程度具有重要意义.

现有研究中关于影响驾驶员对 VMS 反应因素, 主要有: (1) 驾驶员的个体属性; (2) 出行路线特性; (3) VMS 显示内容 3 个方面. 针对驾驶员个体属性方面的研究, Gan 等^[2] 利用截面和面板二元 probit 模型分析了影响

^① 基金项目: 国家自然科学基金 (71871143)

收稿时间: 2021-06-24; 修改时间: 2021-07-20; 采用时间: 2021-07-27; csa 在线出版时间: 2022-03-22

驾驶员响应 D-VMS 转向行为的因素,发现驾驶经验丰富的驾驶员对于 VMS 信息的遵从率更高。Li 等^[3]也得到了相似的结论,对北京快速路 VMS 分流表现的研究表明驾驶年限、个人月收入是导致驾驶员是否改变路径的重要因素。

出行路线特性和 VMS 显示内容方面,驾驶员对 VMS 的反应也与他出行路网的熟悉度和替代路径上的交通状况有关^[4]。VMS 上显示的不同类型的信息内容甚至同样的信息不同的显示方式对驾驶员的影响也是不同的。Chatterjee 等^[5]使用 Logistic 回归模型分析不同 VMS 信息对驾驶员的影响,发现突发事件(事故、施工封闭区等)的位置和显示消息内容是影响路线转移的重要因素。徐天东等^[6]建立不同信息内容条件下驾驶员动态路径选择行为模型,发现 VMS 信息的精准性、及时性和完整性是影响驾驶员路线选择的主要因素。

综上,大部分针对 VMS 的研究主要集中在影响因素和接受偏好的分析,而对于 VMS 使用意愿的研究较少,很多研究是通过离散选择模型和描述性统计分析个人属性、VMS 显示信息属性等显变量对 VMS 使用意愿的影响,而少有分析驾驶员出行习惯等心理潜变量造成的主观使用意愿。不同于离散选择模型等分析方法,TAM 是预测一项新产品被市场接受程度的主流框架且得到了广泛使用。本文以简化后的技术接受模型为基础,重点研究 VMS 信息可靠性和驾驶员出行习惯两个潜在变量之间的关系,以及技术接受模型中 VMS 感知有用性和感知易用性对驾驶员 VMS 使用意图的影响程度。使用结构方程模型分析方法探寻各潜在变量之间的相互作用机理,并针对分析结果提出相关建议。

1 模型建立

1.1 理论背景与模型构建

技术接受模型(technology acceptance model, TAM)由 Davis^[7]提出,现被广泛用于预测和解释用户对新兴信息技术的使用情况。简化后的 TAM 包含 3 个潜变量即感知有用性、感知易用性和行为意图。本文中的感知有用性解释为使用 VMS 改善驾驶员出行体验的程度,感知易用性解释为驾驶员使用 VMS 信息时容易理解便于学习使用,行为意图指驾驶员遵从 VMS 显示信息的主观可能性。

1.2 研究假设

信息可靠性常以及时性、准确性和完整性等指标

表征,并且是驾驶员遵从信息后的出行体验与其预期中的体验进行比较的结果。Lin 等^[8]在进行一项关于驾驶员对 ATIS 采用情况的研究中发现,信息可靠性是最重要的影响因素。魏雪梅等^[9]使用结构方程模型分析驾驶员出行信息搜索行为特性,表明当诱导信息准确度高且易获取的情形下,驾驶员使用出行信息的意愿很强,同时发现通勤出行情况下,搜索和使用诱导信息的意愿很低甚至不需要搜寻。信息的及时完整更有利于驾驶员的使用,准确的 VMS 信息会加深驾驶员对于信息有用性的认识,也会使驾驶员坚持自己已有的出行习惯。据此,提出以下 3 点假设:

H1: 信息可靠性对出行习惯有正向影响。

H2: 信息可靠性对感知有用性有正向影响。

H3: 信息可靠性对感知易用性有正向影响。

文中的出行习惯是由“经常使用相同的路线上下班”和“经常会根据实时交通状况改变出行路线”等属性定义的。莫一魁等^[10]利用偏最小二乘迭代算法分析了驾驶员诱导信息喜好的结构方程模型,发现当工作出行时,驾驶员对出行信息需求是下降的。使用同一路线出行频率越高越容易养成出行习惯,具有习惯性出行的驾驶员有不在乎出行距离长、主干道使用率低和选择的路线中转弯次数多等问题的倾向^[11],有一定出行习惯的驾驶员当习惯性出行路线拥堵程度较高时,改变行驶路线的概率也很低,相应的驾驶员很难发现有用的 VMS 信息。有出行习惯的驾驶员对习惯性路线上 VMS 显示内容更为熟悉,并且能够轻松的获取 VMS 上所有的信息而毫不费力。据此,提出以下两点假设:

H4: 出行习惯对感知易用性有正向影响。

H5: 出行习惯对感知有用性有负向影响。

原始的 TAM 由 4 个部分组成,即感知易用性(PEOU)、感知有用性(PU)、使用意图(BI)和使用态度(ATT)。从 Davis 提出以来,已被应用于多个交通细分领域的研究,如智能交通技术对居民绿色出行的影响、自动驾驶汽车接受度和共享出行背景下消费者行为研究等。当用户对某一信息技术的有用性和易用性看法增加时,就更有可能采用该信息技术,同时易用性高的 VMS 信息意味着驾驶员理解该信息耗费的时间和精力更少,从而让驾驶员有更多的时间去做出判断,改善自己的出行体验。据此,提出以下 3 点假设,具体的研究假设如图 1 所示。

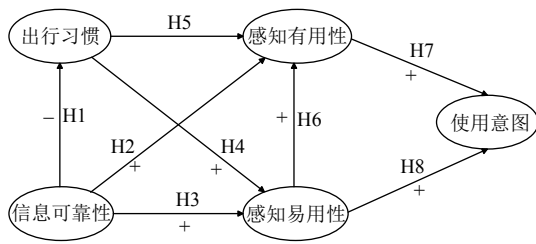


图1 研究假设图

H6: 感知易用性对感知有用性有正向影响。

H7: 感知易用性对行为意图有正向影响。

H8: 感知有用性对行为意图有正向影响。

2 数据收集与初步分析

2.1 问卷设计

每个潜变量的测量指标均借鉴于已有文献中的潜变量测量题项,结合国内驾驶员VMS实际使用情况进行修订和补充。为了进一步提高所选题项的有效性和精确度,采访了10位驾驶员朋友和学习ITS课题的同学,根据采访结果删除了不相关题项并完善了措辞,最终剩下了5个因子和17个测量题项。所有题项均采用五点李克特量表进行测量。表1是上述内容的详细列表。

表1 潜变量构造及题项来源

潜在变量	题项	测量问题项	来源
感知有用性 (PU)	PU1	VMS让我按时到达目的地	[12]
	PU2	VMS有助于避免意外的拥堵	
	PU3	VMS有助于选择更通畅的路线	
	PU4	VMS对我选择路径是有用的	
感知易用性 (PEOU)	PEOU1	使用VMS不需要费太多精力	[7]
	PEOU2	学习使用VMS是容易的	
	PEOU3	VMS提供的信息是容易理解	
	PEOU4	总体而言,VMS是容易使用的	
行为意图 (BI)	BI1	合适的情况下,我会考虑使用VMS	[13]
	BI2	路线拥堵时,我很可能会使用VMS	
	BI3	我会让身边的人出行时使用VMS	
出行习惯 (HAB)	HAB1	我经常使用相同的路线上下班	[11]
	HAB2	我常常根据交通状况改变路线	
	HAB3	我倾向于VMS更改路线的建议	
信息可靠性 (IRE)	IRE1	VMS提供的信息是准确有帮助的	[4,8]
	IRE2	VMS提供与路况相符的全部交通信息	
	IRE3	VMS提供的出行者信息很及时	

2.2 数据收集

本次调查时间是从2020年12月1日到2021年2月15日,采取网上调查和现场调查结合的方法,其中线上平台回收问卷258份,线下回收问卷112份,历时两个月,剔除掉网上问卷中作答时间较短和线下问卷

填写连续多题答项相同的23份问卷,最终得到347份有效问卷,问卷回收率达到93.8%。

2.3 样本的描述性统计

347个有效样本的基本情况如表2所示:性别构成方面以男性驾驶员240位(69.2%)位居多,女性驾驶员107位(30.8%),这与生活中男女驾驶员构成比例基本吻合。受访者年龄方面整体偏年轻化,有197位(56.8%)的受访者年龄介于18-30岁之间;月收入方面,有将近一半的受访者(51%)月收入在5000元以内;347名受访者中有1-5年驾驶经验的人占比42.4%,驾龄大于5年的受访者有31.4%;受教育程度方面分析,拥有本科学历的有202位(58.2%);受访者职业以企事业单位员工居多有166位(47.8%)。

表2 问卷调查样本信息统计

属性	类别	比例 (%)	属性	类别	比例 (%)
性别	男	69.2	职业	公务员	19.0
	女	30.8		企事业单位员工	47.8
年龄	18-30岁	56.8	职业	学生	21.3
	31-50岁	38.0		其他	11.8
	>50岁	5.2			
学历	专科及以下	22.8	驾龄	<1年	26.2
	本科	58.2		1-5年	42.4
	研究生	19.0		>5年	31.4
月收入	<5000元	51.0	婚姻状况	未婚	47.3
	5000-10000元	38.0		已婚无子女	13.0
	>10000元	11.0		已婚有子女	39.8

3 研究结果及分析

3.1 验证性因子分析

在分析结构模型之前应该先分析测量模型。对测量模型的收敛效度进行验证性因子分析(confirmatory factor analysis, CFA),只有测量模型的配适度达到推荐的标准,才能进一步对结构模型进行评估。模型的5个构面分别为出行习惯(HAB)、信息可靠性(IRE)、感知有用性(PU)、感知易用性(PEOU)和行为意图(BI)。整理后的数据如表3所示。表中所有构面的因子负荷量均大于0.6,各个构面的测量题项信度均大于0.36,组成信度(composite reliability, CR)均大于0.8,平均方差萃取量(average variance extracted, AVE)均高于0.5,符合吴明隆所提标准[14]。该模型的收敛效度良好。

区别度决定了模型各个构面之间是否可以充分区分,常用的检验指标是如果一个构面的AVE的平方根大于它与其他所有构面之间的相关性,则可以认为

符合区别效度的要求,在95%的置信水平下模型的区别效度检验如表4所示,模型通过了区别效度检验。

表3 测量模型的信度和收敛效度分析

构面	题目	参数的显著性估计				因素负荷量	题目信度	组成信度	收敛效度
		Unstd.	S.E.	T-value	P				
HAB	HAB1	1.00				0.78	0.61		
	HAB2	1.09	0.07	15.19	***	0.89	0.80	0.86	0.67
	HAB3	1.01	0.07	14.52	***	0.78	0.60		
IRE	IRE1	1.00				0.81	0.66		
	IRE2	1.21	0.08	15.45	***	0.88	0.77	0.86	0.67
	IRE3	0.84	0.06	14.45	***	0.76	0.57		
PU	PU1	1.00				0.79	0.62		
	PU2	1.28	0.10	13.11	***	0.90	0.80	0.83	0.62
	PU3	0.88	0.07	11.87	***	0.65	0.42		
PEOU	PEOU1	1.00				0.71	0.50		
	PEOU2	1.18	0.08	14.22	***	0.84	0.71	0.88	0.64
	PEOU3	1.01	0.07	14.03	***	0.83	0.68		
	PEOU4	1.01	0.07	14.01	***	0.83	0.68		
BI	BI1	1.00				0.88	0.77		
	BI2	1.06	0.06	18.63	***	0.95	0.90	0.87	0.69
	BI3	0.87	0.07	13.35	***	0.64	0.41		

注:***表示P<0.001。

3.2 拟合度分析与假设检验

为了评估模型与收集到数据的匹配程度,利用AMOS 25.0软件进行分析,得到模型整体的拟合优度

检验指标如表5所示,各个主要的配适度检验指标均在推荐的标准范围内或接近标准值要求,模型整体的拟合精度达到要求,可以进一步对结构方程模型进行路径分析。

表4 构面的方差及区别效度检验结果

模型	AVE	BI	PEOU	PU	IRE	HAB
BI	0.693	0.832	—	—	—	—
PEOU	0.644	0.602	0.802	—	—	—
PU	0.616	0.692	0.498	0.785	—	—
IRE	0.665	0.496	0.649	0.599	0.815	—
HAB	0.669	0.538	0.589	0.426	0.533	0.818

表5 模型整体配适度指标

拟合指数	CMIN/DF	SRMR	RMSEA	GFI	NFI	IFI	CFI
拟合标准	<3.0	<0.05	<0.08	>0.9	>0.9	>0.9	>0.9
模型拟合值	2.874	0.036	0.075	0.901	0.905	0.931	0.930

路径分析图2中驾驶员出行习惯的 R^2 为0.290,VMS信息可靠性可以解释29%的驾驶员出行习惯的变化;感知易用性的 R^2 为0.510,信息可靠性和出行习惯可以解释51%的感知易用性的变化;感知有用性的 R^2 为0.380,出行习惯、信息可靠性、感知易用性可以解释38%的感知有用性的变化;同时模型中所有自变量可解释57%的驾驶员行为意图的变化。

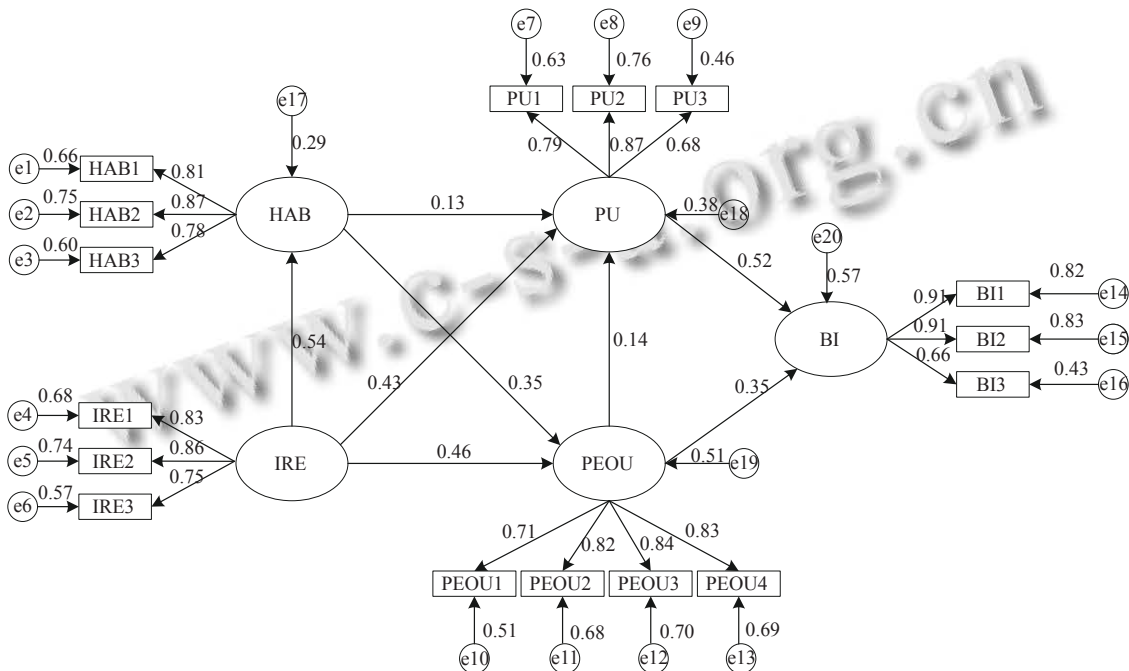


图2 结构方程模型路径分析图

通过模型路径分析表6中可以发现,VMS信息可靠性对驾驶员出行习惯具有显著正向影响(H1),标准

化路径系数为0.535***,也是路径关系分值最高的一项,当“VMS信息可靠性”得分增加1,“驾驶员出行习

惯”增加 0.535, VMS 信息可靠性与驾驶员的出行习惯之间具有高度的正相关关系; 信息可靠性对感知有用性、感知易用性有显著正向影响 (H2、H3), 标准化路径系数分别为 0.434***, 0.457***, VMS 信息可靠性对感知易用性的影响程度大于对感知有用性的; 出行习惯对感知易用性有显著正向影响 (H4), 标准化路径系数为 0.354***; 感知易用性、感知有用性分别对行为意图有显著正向影响 (H7、H8), 标准化路径系数分别为 0.350***和 0.518***; 而出行习惯对感知有用性无显著影响, H5 不成立; 感知易用性对感知有用性无显著影响, H6 不成立。

表 6 模型假设检验与路径系数

路径关系	标准化路径系数	S.E.	C.R.	P	假设检验
信息可靠性 → 出行习惯	0.535	0.051	8.612	***	H1 (支持)
信息可靠性 → 感知易用性	0.457	0.050	6.906	***	H3 (支持)
出行习惯 → 感知易用性	0.354	0.058	5.571	***	H4 (支持)
出行习惯 → 感知有用性	0.127	0.052	1.759	0.078	H5 (拒绝)
信息可靠性 → 感知有用性	0.434	0.048	5.398	***	H2 (支持)
感知易用性 → 感知有用性	0.140	0.065	1.714	0.086	H6 (拒绝)
感知易用性 → 行为意图	0.350	0.055	6.179	***	H7 (支持)
感知有用性 → 行为意图	0.518	0.072	8.771	***	H8 (支持)

注: ***表示 $p < 0.001$ 。

4 结论

本研究基于技术接受模型理论框架构建结构方程模型, 引入驾驶员出行习惯和 VMS 信息可靠性两个潜变量, 研究驾驶员对 VMS 响应的影响因素。研究结果表明:

(1) 信息可靠性对感知易用性的影响大于对感知有用性的影响。驾驶员需在行驶途中完成阅读信息、处理信息和做出路径选择这一系列任务, 可靠性较差的 VMS 信息会加大这一任务的难度。因此, 信息可靠性对感知易用性比对感知有用性更加重要。

(2) 感知易用性对感知有用性无显著影响。易用性高的信息只是降低了驾驶员使用 VMS 的门槛, 驾驶员对 VMS 响应与否还是要回归到信息可靠性上去。

(3) 出行习惯对感知易用性有显著正向影响, 对感知有用性无显著影响。驾驶员会对习惯性路线表现出极大信任感, 即使习惯性路线已经出现明显的拥堵也不会轻易改变路线, 很难发现对其有用的 VMS 信息。

本研究主要从 VMS 使用意愿的角度分析驾驶员对 VMS 的接受度, 后续的研究可在该模型的基础上对个人社会经济属性进行检验, 以增强研究的严谨性。

参考文献

- 刘伟, 杜建玮, 陈科全. 基于视知觉的交通可变标志信息认度评价. 中国公路学报, 2020, 33(1): 163–171. [doi: 10.3969/j.issn.1001-7372.2020.01.017]
- Gan H, Ye X. Urban freeway users' diversion response to variable message sign displaying the travel time of both freeway and local street. IET Intelligent Transport Systems, 2012, 6(1): 78–86. [doi: 10.1049/iet-its.2011.0070]
- Li XG, Cao YK, Zhao XM, *et al.* Drivers' diversion from expressway under real traffic condition information shown on variable message signs. KSCE Journal of Civil Engineering, 2015, 19(7): 2262–2270.
- Kattan L, Habib KMN, Nadeem S, *et al.* Modeling travelers' responses to incident information provided by variable message signs in Calgary, Canada. Transportation Research Record, 2010, 2185(1): 71–80. [doi: 10.3141/2185-10]
- Chatterjee K, Hounsell NB, Firmin PE, *et al.* Driver response to variable message sign information in London. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002, 10(2): 149–169. [doi: 10.1016/S0968-090X(1)00008-0]
- 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. 同济大学学报 (自然科学版), 2009, 37(8): 1029–1033.
- Davis FD. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 1989, 13(3): 319–340.
- Lin TW, Lin CY, Hsu WH. Effects of system characteristics on adopting web-based advanced traveller information system: Evidence from Taiwan. Promet-Traffic & Transportation, 2014, 26(1): 53–63.
- 魏雪梅, 戢晓峰, 陈方. 基于 SEM 的驾驶员出行信息搜寻行为分析. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(3): 174–179. [doi: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2012.03.028]
- 莫一魁, 苏永云, 沈旅欧. 基于结构方程的小汽车驾驶员信息偏好分析. 系统工程, 2009, 27(8): 85–89.
- Prato CG, Bekhor S, Pronello C. Latent variables and route choice behavior. Transportation, 2012, 39(2): 299–319. [doi: 10.1007/s11116-011-9344-y]
- Chen CF, Chen PC. Applying the TAM to travelers' usage intentions of GPS devices. Expert Systems with Applications, 2011, 38(5): 6217–6221. [doi: 10.1016/j.eswa.2010.11.047]
- Ayeh JK, Au N, Law R. Predicting the intention to use consumer-generated media for travel planning. Tourism Management, 2013, 35: 132–143.
- 吴明隆. 结构方程模型: AMOS 的操作与应用. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.