

基于 BN 和 PLS-SEM 的大学生网约车忠诚度研究

李纲, 徐伟

大连交通大学交通运输工程学院, 辽宁 大连 116028

摘要:为分析大学生网约车乘客忠诚度及其影响因素的作用机制,将贝叶斯网络(Bayesian networks, BN)和偏最小二乘法结构方程模型(partial least squares structural equation modelling, PLS-SEM)结合,以 2019 年大连市大学生网约车乘客为例,分析大学生网约车乘客的负面体验、运营服务、环境满意、乘客满意度和忠诚度的关系。在 BN 中采用基于约束的自动学习方法学习因子间的作用关系,获得不同影响因素间相关关系的网络结构。通过 PLS-SEM 测试和分析 BN 结构,建立乘客忠诚度模型。结果表明:乘客满意度是影响忠诚度的最大因素,总效应为 0.508;负面体验是影响忠诚度的最小因素,总效应为-0.146。乘客满意度是提高大学生网约车忠诚度的关键指标,网约车平台应通过优化车内环境、缩短出行时间、规范司机行为、升级应用软件等措施提升大学生的乘车体验,提高大学生网约车乘客的忠诚度。基于 BN 和 PLS-SEM 的大学生网约车忠诚度研究可丰富网约车乘客的决策行为机制与研究方法,为相关部门和网约车平台提供管理决策依据。

关键词:网约车;乘客忠诚度;乘客满意度;BN;PLS-SEM

中图分类号:U491.1⁺7

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2024)01-0056-08

引用格式:李纲,徐伟.基于 BN 和 PLS-SEM 的大学生网约车忠诚度研究[J].山东交通学院学报,2024,32(1):56-63.

LI Gang, XU Wei. Study on college students' loyalty of online ride-hailing based on BN and PLS-SEM[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2024, 32(1): 56-63.

0 引言

近年来我国大力支持公共交通发展,网约车作为公共交通中提供门到门服务、便捷、舒适的新兴交通方式,可有效缓解乘客打车难等问题^[1]。根据全国网约车监管信息交互平台的数据,截至 2022 年 10 月,全国已有 325 个地级以上城市运营网约车,全国网约车日均订单超 2 000 万单,月均订单 5.95 亿单^[2]。网约车已成为我国城市交通的重要组成部分。

科学评价网约车的服务质量是网约车发展的关键。邵春福等^[3]结合主成分分析和误差逆传播(back propagation, BP)神经网络算法评价网约车的服务质量。左文明等^[4]采用修正后的 SERVQUAL 模型从差异性、重要性、关联性和满意度 4 方面评价网约车的服务质量。服务质量对乘客的忠诚度有显著影响,乘客忠诚度在维持和提高网约车利用率方面的作用至关重要,是长期财务业绩的主要指标之一^[5]。Nguyen-Phuoc 等^[6]以越南为例,分析感知服务质量、感知利益和感知促销对乘客满意度和忠诚度的影响。在网约车背景下,探索乘客忠诚度与其影响因素间作用关系的研究仍较少。

近年来,大学生的出行受到越来越多的关注,大学生的出行行为可作为评估长期生活决策对近期交通场景及未来交通规划和法规影响的重要内容^[7]。在出行需求分析方面,大学生出行决策机制的认识有待进一步明确^[8]。与其他居民相比,大学生的流动性较强,在选择交通方式方面比其他年龄组更灵活,他

收稿日期:2023-03-24

基金项目:辽宁省社会科学规划基金项目(L21BGL009)

第一作者简介:李纲(1982—),男,沈阳人,副教授,工学博士,主要研究方向为出行行为、交通与生活质量, E-mail: LIGangPE2012@hotmail.com。

们通常选择更便捷的共享出行模式^[9-10]。大学生在校期间的出行行为模式正在形成并会影响其未来的出行方式,进而影响周围的人^[11]。分析大学生的出行行为,可为实施适当的交通政策,促进大学生乃至他们未来选择可持续的交通方式出行,提高城市交通系统的健康发展提供参考^[12]。目前仍缺乏对网约车乘客,尤其是年轻乘客选择网约车出行决策机制的研究^[13]。大学生作为年轻网约车乘客的重要组成部分,截至2022年已达2.93亿人^[14]。每月多次使用网约车的大学生占总人数的比例超过60%^[15]。

考虑到2020—2022年疫情防控常态化政策对高校学生出行的影响,本文以2019年大连市大学生出行数据为分析实例,采用贝叶斯网络(Bayesian networks, BN)与偏最小二乘法结构方程模型(partial least squares structural equation modelling, PLS-SEM)相结合的建模方法,探索网约车服务质量、大学生乘客的满意度与忠诚度的作用关系,分析服务质量(负面体验、运营服务和环境满意)所体现的指示变量对乘客满意度与忠诚度的影响,揭示大学生网约车乘客忠诚度及其影响因素的作用机制,丰富对网约车乘客,尤其是对年轻乘客满意度和忠诚度的认识,保持并吸引大学生理性采用网约车并引导他们未来的出行行为,促进城市公共交通系统的可持续发展。

1 基本理论

结构方程模型(structural equation modelling, SEM)是研究交通行为决策机制的有效方法之一,学者需结合以往的研究成果与主观判断提出研究假设^[5-6]。Mandhani等^[16]将BN与PLS-SEM相结合检验和分析乘客服务质量影响因素的相互作用。BN采用数据挖掘技术分析各潜在重要因素的作用关系,减少学者在建模前的主观判断和研究假设,采用SEM探索与验证,该综合方法已应用在医学和轨道交通中,并取得显著效果。

1.1 BN模型

BN源自概率图形模型,采用概率论、图论和数据挖掘理论,研究变量间的相互关系,通过表示不确定的相互关系使复杂问题变得直观清晰,便于理解。

BN模型由2部分组成,第1部分是模型的定量部分,通过分解条件概率分布计算联合概率分布(joint probability distribution, JPD),以有向无环图(directed acyclic graph, DAG)结构形式表示。设 n 个变量的集合 $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, BN为 V 的网络结构,表示为该组变量上DAG对应每个节点的条件概率

$$P(X_i) = P(X_i | \pi_i, X_i \in V),$$

式中 π_i 为 X_i 的父节点。

该组变量上BN的联合概率分布 $P(V) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \pi_i)$ 。

BN模型的第2部分是定性部分,采用图形模型结构,通常称为DAG,允许对变量集上计算的JPD进行图形说明。

1.2 PLS-SEM

SEM是结合回归分析、因子分析和方差分析,估计相关依赖关系的多元技术。SEM由2部分组成,第1部分为结构模型,描述内生潜变量和外生潜变量间的关系,显示各潜变量间关系的方向和强度。第2部分为测量模型,评估潜在变量和观测变量间的关系。PLS-SEM是用偏最小二乘法估计参数的结构方程模型。

SEM的结构模型公式为:

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta,$$

式中: η 为内生潜变量; B 为 η 的参数系数矩阵,描述 η 间的相互影响; ξ 为外生潜变量; Γ 为 ξ 的参数系数矩阵,描述 ξ 对 η 的影响; ζ 为方程的残差项,表示模型中无法解释的部分。

SEM的测量模型公式为:

$$\begin{cases} x = \Lambda_x \xi + \delta \\ y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \end{cases},$$

式中: x 为外生显变量,是 ξ 的观测指标; A_x 为 x 与 ξ 间关系的因子载荷矩阵; δ 为 x 的测量误差; y 为内生显变量,是 η 的观测指标; A_y 为 y 与 η 间关系的因子载荷矩阵; ϵ 为 y 的测量误差。

网约车服务质量评价数据具有非正态性,采用 PLS-SEM 分析数据时,数据无须服从正态分布;采用 PLS-SEM 探索和预测网约车服务质量影响因素与乘客忠诚度间的相互关系,可较好地测试模型的解释能力和预测相关性。因此,采用 PLS-SEM 分析从 BN 中提取的模型是合理的且可行性的。本文采用软件 Smart PLS 3.0 实现 PLS-SEM 分析。

2 数据收集与分析

2.1 调查问卷设计与实施

为分析大学生选择网约车出行的满意度与忠诚度,收集、整理相关文献资料,设计大学生网约车出行调查问卷。问卷由 4 部分组成:第 1 部分调查大学生日常出行中网约车的总体利用情况,主要包括网约车使用频率、典型单次出行时间和出行费用等;第 2 部分是大学生在不同假设场景下的出行方式选择行为的意向调查(stated preference, SP);第 3 部分是根据影响忠诚度的相关因素,采用 5 级李克特量表,设计大学生对网约车各项服务水平的评价指标,参考负面体验^[17]、运营服务^[18]、环境满意^[19]、乘客满意度^[6]对忠诚度的影响,负面体验^[20]、运营服务^[21]、环境满意^[22]对乘客满意度的影响;第 4 部分是大学生的个人情况。

本文主要根据调查问卷第 3、4 部分的数据进行分析。此次问卷调查共回收问卷 1 651 份,经数据处理有效问卷 1 199 份,有效率为 72.62%。

2.2 描述性统计分析

被调查者的个人社会经济属性如表 1 所示。

表 1 被调查者的个人社会经济属性

指标	类别	样本量/个	比例/%	指标	类别	样本量/个	比例/%
性别	男	596	49.7	年级	大学一、二年级	470	39.2
	女	603	50.3		大学三、四、五年级	557	46.5
专业	理工	698	58.2		硕士研究生及以上	172	14.3
	文史哲	162	13.5	家庭月收入	≤5 000 元	123	10.3
	经管	176	14.7		>5 000~6 000 元	202	16.8
	艺术体育	53	4.4		>6 000~7 000 元	169	14.1
	农医	74	6.2		>7 000~8 000 元	167	13.9
	其他	36	3.0		>8 000~9 000 元	102	8.5
	无	409	34.1		>9 000~10 000 元	132	11.0
私家车	1 辆	647	54.0		>10 000~11 000 元	129	10.8
	2 辆	120	10.0		>11 000 元	175	14.6
	2 辆以上	23	1.9				

被调查的男性大学生和女性大学生比例接近;在专业方面,理工类大学生人数占总样本比例最大,为 58.2%;在年级方面,大学一、二年级的大学生占 39.2%,大学三、四、五年级的大学生占 46.5%,硕士研究生及以上的被调查者占比最小,为 14.3%;经济属性方面,被调查者的家庭月收入主要集中在>5 000~6 000、>6 000~7 000、>7 000~8 000 元 3 个区间,分别占总样本的 16.8%、14.1%和 13.9%;在私家车方面,家庭中有私家车的大学生占被调查者的 65.9%,表明采用网约车的大学生群体与其私家车使用经历有较高的相关性。

2.3 数据处理

采用软件 SPSS 26 中的 KMO(Kaiser-Mayer-Olkin) 检验和巴特利特球形度检验初步分析数据的适用性。KMO 检验结果为 0.865, 大于阈值 0.600^[5]。巴特利特检验的结果也满足要求, 近似卡方值为 10 470.548(显著性检验结果 $p < 0.000$)。二者结果表明, 调查问卷的数据可进行因子分析。

采用主成分分析法对数据进行降维处理, 将多个具有一定相关性的调查指标变量, 重新组合成 1 组新的综合指标(因子)代替原指标。从 18 个指标中提取负面体验、运营服务、环境满意、乘客满意度和忠诚度 5 个因子, 5 个因子(潜变量)及其相关指标变量(显变量)的主成分分析结果如表 2 所示。由表 2 可知: 指标变量的因子载荷均大于 0.500, 满足阈值要求^[16]。

表 2 主成分分析结果

潜变量	指标变量	因子载荷	潜变量	指标变量	因子载荷
运营服务	出行时间	0.687	环境满意	噪声污染	0.872
	营运时间范围	0.738		空气污染	0.856
	营运地域范围	0.685		交通拥挤	0.839
	出行费用	0.550	乘客满意度	乘车过程满意	0.619
负面体验	态度不好	0.821		软件满意	0.564
	拒载	0.766		司机服务满意	0.575
	司机纠纷	0.779	忠诚度	向他人推荐	0.817
	拼车	0.723		继续使用	0.798
	不专心	0.715		首选出行	0.750

3 结果分析

3.1 BN 分析结果

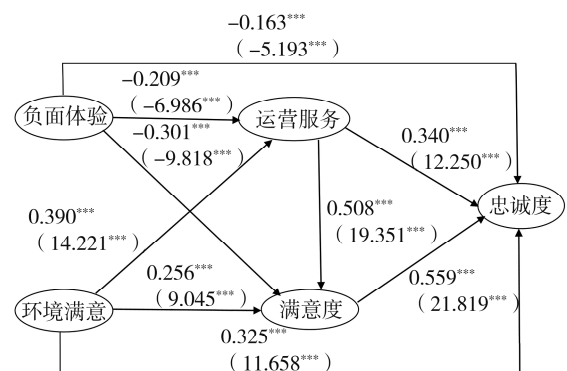
采用软件 R 中的 bnlearn 包, 对 5 个因子采用自动学习方法中基于约束的方法建立探索性模型。在学习结构前, 将忠诚度与其他因子(潜变量)直接关联。

5 个因子的 BN 结构如图 1 所示, 经皮尔逊相关性检验和蒙特卡洛置换检验(图 1 括号中的数值)2 种方法确定的变量间的相关系数的正负符号与显著性均一致, 据此可判别 2 个因子间的正负相关关系。由图 1 可知: 负面体验与运营服务、满意度和忠诚度均为负相关关系, 其余潜变量间为正相关关系, 且均在 99.9% 的置信水平上显著。以图 1 中的 BN 结构作为理论框架, 采用 PLS-SEM 检验测量模型是否合理可行。

3.2 PLS-SEM 分析结果

3.2.1 测量模型结果

通过信度和效度评估评价测量模型。计算测量模型中变量的载荷系数、复合信度(composite reliability, CR) R_{CR} 、克隆巴哈系数(Cronbach's alpha) α 和平均方差提取(average variance extracting, AVE) S_{AVE} , 结果如表 3 所示。由表 3 可知: 各指标变量的因子载荷系数大于 0.600($p < 0.001$); 各潜变量的 R_{CR} 为 0.806~0.925, 均大于基准 0.700^[23]; 各潜变量的 α 为 0.681~0.790, 除运营服务的 α 外均大于阈值 0.700, 运营服务的 α 为 0.681, 略小于阈值, 仍可接受, 说明模型通过一致性检验^[24]; 各潜变量的 S_{AVE} 均大于 0.500^[25]。综上结果表明测量模型有满意的收敛效度。



注: *** 表示 $p < 0.01$ 。

图 1 5 个因子的 BN 结构

表 3 测量模型的收敛效度检验结果

潜变量	指标变量	载荷系数	R_{CR}	α	S_{AVE}	潜变量	指标变量	载荷系数	R_{CR}	α	S_{AVE}
负面体验	态度不好	0.795	0.889	0.851	0.572	环境满意	噪声污染	0.919	0.925	0.879	0.805
	司机纠纷	0.762					空气污染	0.895			
	拒载	0.802					交通拥挤	0.878			
	拼车	0.765				乘客满意度	乘车过程满意	0.853	0.864	0.764	0.680
	不专心	0.712					软件满意	0.771			
运营服务	出行时间	0.750	0.806	0.681	0.510	忠诚度	司机服务满意	0.847	0.892	0.818	0.733
	营运时间范围	0.722					继续使用	0.871			
	营运地域范围	0.703					向他人推荐	0.882			
	出行费用	0.680				首选出行	0.814				

采用弗耐尔-拉克准则检验量表的判别效度,结果如表 4 所示。表 4 中的粗体为 S_{AVE} 的平方根,其他为潜变量间的相关系数。由表 4 可知:与其他潜变量的相关系数相比,各潜变量的 S_{AVE} 的平方根均最大,判别效度满足要求。建立的测量模型满足效度和信度的所有要求。

3.2.2 结构模型结果

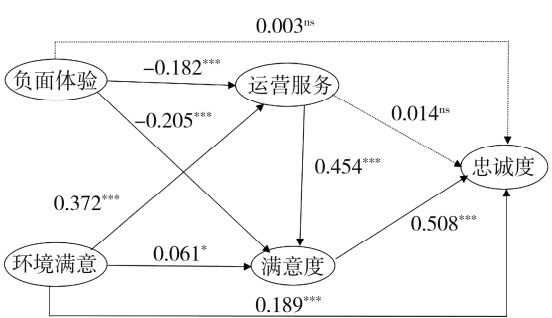
通过 Bootstrapping 方法,自举检验 5 000 个子样本的潜变量间的直接效应,结果如图 2 所示。由图 2 可知:在 BN 分析的 9 个直接关系中,有 7 个直接关系得到实证支持,有 2 个直接关系被拒绝,即负面体验与运营服务、满意度,环境满意与运营服务、满意度、忠诚度,运营服务与满意度,及满意度与忠诚度间的关系得到支持;运营服务与忠诚度,负面体验与忠诚度间的关系(统计上不显著)被拒绝。模型整体的标准化均方根残差(standardized root mean square residual, SRMR) $\delta_{SRMR}=0.066$, 小于阈值 0.080, 规范拟合指数(normed fit index, NFI) $I_{NFI}=0.804$, 超过阈值 0.800, 可接受^[24]; δ_{SRMR} 和 I_{NFI} 均满足拟合准则要求,说明结构方程模型拟合程度良好。

3.2.2.1 间接效应

潜变量间的间接效应结果如表 5 所示。在由 BN 得出的 9 种间接路径关系中,有 7 种路径得到实证支持。负面体验通过满意度的中介作用(路径系数为-0.104, $p<0.001$)对忠诚度产生显著的负向影响,即降低司机拒载、拼车、驾车不专心和态度不好等行为的发生频率,减少司乘纠纷,会显著提升乘客的乘车体验和对司机服务的评价,促进乘客未来继续使用网约车并向他人推荐。负面体验还通过运营服务和满意度的中介作用影响忠诚度,对忠诚度产生显著负向作用,同时运营服务在负面体验和满意度间起中介作用。运营服务虽对大学生乘客的忠诚度无直接影响,但可通过乘客满意度对忠诚度起正向作用。说明通过减少乘客出行时间和出行费用,扩大网约车的营运时间范围和营运地域范围等措施,会显著提升大学生乘客在乘车过程中的满意度,从而提升大学生对网约车的忠诚度。环境满意通过满意度的中介作用或通过运营服务和满意度的中介作用影响忠诚度。

表 4 测量模型的判别效度检验结果

潜变量	忠诚度	乘客满意度	环境影响	负面体验	运营服务
忠诚度	0.856				
乘客满意度	0.563	0.825			
环境满意	0.324	0.256	0.897		
负面体验	-0.174	-0.308	-0.089	0.756	
运营服务	0.352	0.522	0.388	-0.215	0.714



注:***表示 $p<0.05$, *表示 $p<0.1$, ns 表示不显著。

图 2 结构模型结果

表5 各潜变量间的间接效应结果

间接效应	路径系数	标准差	p	间接效应	路径系数	标准差	p
负面体验→乘客满意度→忠诚度	-0.104	0.015	0.000	环境满意→乘客满意度→忠诚度	0.031	0.014	0.031
负面体验→运营服务→忠诚度	-0.003	0.006	0.679	环境满意→运营服务→忠诚度	0.005	0.013	0.677
负面体验→运营服务→乘客满意度→忠诚度	-0.042	0.007	0.000	环境满意→运营服务→乘客满意度→忠诚度	0.086	0.010	0.000
负面体验→运营服务→乘客满意度	-0.083	0.013	0.000	环境满意→运营服务→乘客满意度	0.169	0.018	0.000
运营服务→乘客满意度→忠诚度	0.231	0.020	0.000				

3.2.2.2 总效应

各潜变量对忠诚度的总效应如表6所示。结合表5和表6可知:大学生乘客满意度对忠诚度的总效应最大,为0.508,说明乘客满意度是提高大学生网约车忠诚度的关键指标。网约车平台应从车内环境、出行时间等方面提升大学生的乘车体验,规范司机行为,提升司机的服务质量,升级优化移动应用软件的安全性及易用性,提高大学生网约车的忠诚度。其余潜变量对大学生忠诚度的

表6 各潜变量对忠诚度的总效应

总效应	路径系数	标准差	p
乘客满意度→忠诚度	0.508	0.027	0.000
环境满意→忠诚度	0.311	0.029	0.000
运营服务→忠诚度	0.245	0.038	0.000
负面体验→忠诚度	-0.146	0.027	0.000

总效应从大到小依次为:环境满意、运营服务和负面体验,其中大学生对网约车造成的环境影响的关注程度高于其他二者,可能是因为他们对网约车的出行时间、出行费用等运营服务及负面体验相对满意;同时,随城市居民环保意识的增强,对网约车可能造成的环境影响,如交通拥堵、噪声污染、空气污染等的感受与担忧更敏锐^[26],这一结果也从侧面揭示大学生乘客使用网约车的决策特点。因此,网约车平台应充分发挥科技优势,减少网约车运营对城市交通拥堵的影响,同时通过宣传和补贴等手段,鼓励和积极推进新能源网约车的应用,减少环境污染。有关部门应更全面地发展可持续的城市公共交通系统,优化出行方式结构,为新能源网约车的广泛应用提供相应的政策引导和支持^[26]。

运营服务和负面体验虽对大学生网约车忠诚度没有直接影响,但二者可通过大学生乘车满意度的中介作用对忠诚度分别产生显著的正向和负向作用。说明运营服务评价越高,大学生满意度越高,忠诚度越高;负面体验越多,大学生满意度越低,忠诚度越低。因此,网约车平台在运营服务方面应采取策略鼓励网约车司机扩大营运时间和地域范围,尤其是公共交通发展薄弱的地域;同时利用技术优势优化路径,减少出行时间,结合节假日等进行优惠派单,适量发放优惠券等方式,巩固既有乘客,吸引潜在乘客,扩大服务范围与影响力。在降低大学生负面体验方面,网约车平台要加大对司机隐性拒载、随意拼车和态度不友好等行为的监督与处罚力度;同时,平台要妥善处理乘客与司机间的纠纷;利用高科技手段监督并规范司机的驾驶行为,提高大学生乘客使用网约车的忠诚度。

3.2.3 预测能力评估

为检验模型的预测精度和预测相关性,计算潜变量的预测精度 R^2 和预测相关性 Q^2 。 $R^2 \in [0,1]$, R^2 越大,模型的预测精度越高; Q^2 为正,表明模型预测能力的相关性得到确认。经计算忠诚度、乘客满意度和运营服务的 R^2 分别为0.350、0.314和0.182, Q^2 分别为0.254、0.211和0.092。忠诚度的预测准确性为中等水平($R^2 > 0.330$),满意度的预测准确性接近中等水平^[26]。忠诚度和满意度的预测相关性为中等水平($Q^2 > 0.150$)^[27]。因此,所提出的模型对潜变量忠诚度和满意度具有适当的预测精度。

4 结论

本文综合贝叶斯网络和偏最小二乘法结构方程模型构建大学生网约车忠诚度的决策行为模型,以大

连市 2019 年大学生网约车乘客为例,探索分析负面体验、运营服务、环境满意、乘客满意度与忠诚度的相互作用关系。研究结果表明:该综合方法可较好地反映各潜变量间的作用规律,乘客满意度对忠诚度的总效应最大,为 0.508,负面体验对忠诚度的总效应最小,为-0.146。在理论方面,本文补充了公共交通领域,特别是网约车服务中大学生乘客满意度与忠诚度间的相互作用机制,强化对年轻网约车乘客满意度和忠诚度影响因素的认识。在实践方面,量化各潜变量对乘客忠诚度的间接效应和总效应,为有关部门制定引导大学生可持续出行行为的交通政策和网约车平台实施针对年轻乘客的乘车措施提供依据。

未来可更新调查数据,对比分析大学生与其他人群采用网约车出行决策机制的特点与异同,更好地提供精准化与差异化的网约车服务。

参考文献:

- [1] 陈喜群. 网约共享出行研究综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(5): 77-90.
- [2] 中国互联网络信息中心. 第 51 次中国互联网络发展状况统计报告[R]. 北京: 中国互联网络信息中心, 2022.
- [3] 邵春福, 王菁, 彭金栓. 基于主成分分析和 BP 神经网络的网约车服务质量评价[J]. 北京交通大学学报, 2018, 42(3): 10-15.
- [4] 左文明, 朱文锋. 分享经济下基于 SERVQUAL 的网约车服务质量管理研究: 以滴滴出行和优步为例[J]. 管理案例研究与评论, 2018, 11(4): 349-367.
- [5] NGUYEN-PHUOC D Q, OVIEDO-TRESPALACIOS O, VO N S, et al. How does perceived risk affect passenger satisfaction and loyalty towards ride-sourcing services? [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2021, 97: 102921.
- [6] NGUYEN-PHUOC D Q, SU D N, TRAN P T K, et al. Factors influencing customer's loyalty towards ride-hailing taxi services: a case study of Vietnam[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, 134: 96-112.
- [7] ZHOU J P. Sustainable commute in a car-dominant city: factors affecting alternative mode choices among university students [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2012, 46: 1013-1029.
- [8] KHATTAK A, WANG X, SON S, et al. Travel by university students in Virginia: is this travel different from travel by the general population? [J]. Transportation Research Board, 2011, 2: 137-145.
- [9] BAGDATLI M E C, IPEK F. Transport mode preferences of university students in post-COVID-19 pandemic[J]. Transport Policy, 2022, 118: 20-32.
- [10] DELMELLE E M, DELMELLE E C. Exploring spatiotemporal commuting patterns in a university environment [J]. Transport Policy, 2012, 21: 1-9.
- [11] MALJAE S S, SAMENI M K. Investigating factors affecting university students' use of subway before and after COVID-19 outbreak: a case study in Tehran[J]. Journal of Transport Geography, 2022, 105: 103461.
- [12] MOHAMMADZADEH M. Exploring tertiary students' travel mode choices in Auckland: insights and policy implications [J]. Journal of Transport Geography 2020, 87: 102788.
- [13] SHEN H, ZOU B, LIN J, et al. Modeling travel mode choice of young people with differentiated E-hailing ride services in Nanjing China[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 78: 102216.
- [14] 教育部发展规划司. 2022 年全国教育事业发展基本情况[EB/OL]. (2023-03-23) [2023-03-23]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2023/55167/sfcl/202303/t20230323_1052203.html.
- [15] 人民资讯. 《大学生顺风出行研究报告》: 每月搭乘出租车/网约车 1-10 次的大学生占比超六成[EB/OL]. (2021-08-28) [2023-03-23]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1709293988796168706&wfr=spider&for=pc>.
- [16] MANDHANI J, NAYAK J K, PARIDA M. Interrelationships among service quality factors of metro rail transit system: an integrated Bayesian networks and PLS-SEM approach[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, 140: 320-336.
- [17] TRI B J, HISASHI K. Exploring negative experiences and user loyalty in paratransit[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007, 2034: 134-142.
- [18] LAI W T, CHEN C F. Behavioral intentions of public transit passengers: the roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement[J]. Transport Policy, 2011, 18(2): 318-325.

- [19] VICENTE P, SAMPAIO A, REISE E. Factors influencing passenger loyalty towards public transport services: does public transport providers' commitment to environmental sustainability matter? [J]. Case Studies on Transport Policy, 2020, 8(2):627-638.
- [20] SUH-HEE C, LIPING C. Tourist attribution and the moderating role of loyalty [J]. Tourism Analysis 2010, 15(6):729-734.
- [21] YUAN Y L, YANG M, FENG T, et al. Analyzing heterogeneity in passenger satisfaction, loyalty, and complaints with air-rail integrated services[J]. Transportation Research Part D:Transport and Environment, 2021,97:102950.
- [22] DÍEZ-MESA F, OÑA R D, OÑA J D. Bayesian networks and structural equation modelling to develop service quality models: metro of Seville case study[J]. Transportation Research Part A:Policy and Practice, 2018,118(C):1-13.
- [23] FORNELL C, LARCKER D. Structural equation models with unobservable variables and measurement error: algebra and statistics[J]. Journal of Marketing Research 1981,18:382-388.
- [24] SANTOS J R A. Cronbach's alpha: a tool for assessing the reliability of scales[J]. Journal of Extension, 1999,37(2):1-5.
- [25] HENSELER J, RINGLE C M, SINKOVICS R. The use of partial least squares path modeling in international marketing [J]. New Challenges to International Marketing, 2009,20:277-319.
- [26] LI G, ZHANG R N, GUO S J, et al. Analysis of ride-hailing passenger satisfaction and life satisfaction based on a MIMIC model[J]. Sustainability, 2022,14(17):10954.
- [27] HAIR J F, HULT G T M, RINGLE C M, et al. A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) [M]. London:Sage publications, 2016.

Study on college students' loyalty of online ride-hailing based on BN and PLS-SEM

LI Gang, XU Wei

School of Traffic and Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China

Abstract: In order to analyze the mechanism of college student online ride-hailing passenger loyalty and its influencing factors, Bayesian networks (BN) and partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) is combined to analyze the relationship between negative experiences, operational services, environmental satisfaction, passenger satisfaction, and loyalty of college student online ride-hailing passengers in Dalian in 2019. Constraint-based automatic learning methods are used in BN to learn the relationship between factors and obtain the network structure of the correlation between different influencing factors. Through PLS-SEM testing and analyzing the BN structure, a passenger loyalty model is established. The results showed that passenger satisfaction is the largest factor affecting loyalty, with a total effect of 0.508; negative experience is the smallest factor affecting loyalty, with a total effect of -0.146. Passenger satisfaction is a key indicator to improve college student online ride-hailing loyalty. The online ride-hailing platform should improve college students' ride experience and loyalty by optimizing the in-car environment, shortening travel time, regulating driver behavior, upgrading application software, and other measures. The study of college student online ride-hailing loyalty based on BN and PLS-SEM can enrich the decision-making behavior mechanism and research methods of online ride-hailing passengers, and provide management decision-making basis for relevant departments and online ride-hailing platforms.

Keywords: online ride-hailing; passenger loyalty; passenger satisfaction; BN; PLS-SEM

(责任编辑:赵玉真)