

DOI:10.19722/j.cnki.1008-7729.2020.0346

基于元分析的自动驾驶技术用户采纳研究

刘娜, 张峻菘, 张生太, 王旭辉

(北京邮电大学 经济管理学院, 北京 100876)

摘要:本研究采用元分析的方法,探究影响自动驾驶技术用户采纳意愿的关键因素,并比较了各因素的影响强度。通过文献检索,得到了与自动驾驶技术用户采纳相关的27篇文献,分析后提取了12个影响自动驾驶技术用户采纳的因素。研究表明:态度、绩效预期、安全与自动驾驶技术用户采纳的行为意愿有强相关关系;社会影响、信任、感知有用性与自动驾驶技术用户采纳的行为意愿有中度强度的相关关系。最后总结了自动驾驶技术用户采纳意愿的影响因素理论、实践意义、不足之处,以及未来研究方向。

关键词:自动驾驶;技术接受;元分析;用户采纳

中图分类号: G203; C931

文献标识码: A

文章编号: 1008-7729(2021)02-0001-10

一、引言

自动驾驶指基于人工智能、视觉计算、雷达、监控装置和全球定位系统等技术和设备,在不需人类主动操作下,通过计算机可自动、安全地控制机动车辆^[1]。美国汽车工程师协会定义了六个级别的自动驾驶,从无自动化(0级)到完全自动化(5级)^[1-2]。根据这一标准,有条件自动化(3级)、高度自动化(4级)和完全自动化(5级)的自动驾驶能够监测驾驶环境。与传统的人控制车辆相比,自动驾驶具有很多优势,例如可以减少人为失误引起的事故,通过更好的路线规划和更高效的车辆运行,可以有效减少道路拥堵和燃料排放^[3-4]。此外,自动驾驶技术可以让驾驶员从事休息、阅读等非驾驶活动^[5],也为老年人和残疾人提供了一种新的出行选择^[6]。

自动驾驶技术在安全、节能、环境改善和提高机动性等方面具有广泛的优势,但发挥自动驾驶技术的各种优势必须依靠大规模的市场应用。然而,用户对采纳和使用自动驾驶技术的意愿普遍较低^[7]。自动驾驶技术普及的最大障碍并不是来源于技术方面,而是源于用户对该项技术的接受度比较低^[8]。因此,有必要针对用户对自动驾驶技术的采纳行为进行深入研究。研究自动驾驶技术用户采纳的关键因素有助于推动自动驾驶技术的市场应用,发挥自动驾驶的技术优势。

通过对自动驾驶技术用户采纳行为的文献调研发现,以往研究得到的影响自动驾驶技术用户采纳意愿的因素数目较多。例如Nordhoff等^[9]指出,绩效预期和努力预期这两个因素与用户采纳自动驾驶技术有显著关系。感知行为控制也会显著影响用户对自动驾驶技术的使用意愿^[10]。安全性也是影响自动驾驶用户采纳的因素^[11]。此外,社会影响也在用户采纳行为中发挥了重要作用,会显著影响消费者对自动驾驶车辆的使用意愿^[12]。Acheampon等^[13]发现,主观规范和感知收益与自动驾驶技术的用户采纳存在正向关系。另外,感知风险和感知收益是能够预测用户接受自动驾驶技术的重要因素^[14]。总之,以往研究发现很多影响自动驾驶用户采纳的因素,由于这些因素是依据不同的理论模型和样本数据而得到,单一研究无法构建自动驾驶技术用户采纳的统一模型。如何从这些因素中发掘关键因素,比较这些因素的影响强度,并形成统一的研究结论是亟需解决的问题。因此,本文采用元分析方法,综合已有的研究结论,系统分析自动驾驶技术用户采纳行为的影响因素,并比较不同因素对自动驾驶技术用户采纳意愿的影响强度,得到共性规律。研究结果能够为提高公众对自动驾驶汽车的认识和接受程

收稿日期: 2020-11-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71901033);北京市自然科学基金资助项目(9204029)

作者简介: 刘娜(1988—),女,山东潍坊人,博士,讲师

度提供决策依据,为推进自动驾驶技术的推广和落地使用奠定理论基础。

二、文献综述

(一) 用户采纳的理论模型

用户采纳指的是用户接受、使用某种技术或系统的意愿或行为^[15]。以往的研究提出了若干种理论模型去解释用户对新兴技术或系统的采纳,主要包括理性行为理论(theory of reasoned action, TRA)^[16]、计划行为理论(theory of planned behavior, TPB)^[17]、技术接受模型(technology acceptance model, TAM)^[18]、技术接受与使用统一理论(unified theory of acceptance and use of technology, UTAUT)^[19]等。这些模型都基于理性行为理论:态度和主观规范可以影响技术采纳,对技术的行为意愿和实际使用行为可以度量用户采纳。

理性行为理论认为,态度和主观规范能够直接决定个人的行为意愿(behavioral intention, BI)^{[16]298}。计划行为理论最早是在理性行为理论基础上,通过继续研究发展而产生,其被广泛用来解释人的计划行为^{[17]181-182}。它主要包括三个因素:态度、感知行为控制和主观规范。该理论认为,行为意愿受态度、主观规范和感知行为控制三个因素影响。技术接受模型是在理性行为理论和计划行为理论的基础上产生。技术接受模型提出,感知易用性、感知有用性和用户使用技术的态度是技术采纳的决定因素^{[18]327-328}。技术接受与使用统一理论指出,绩效预期、努力预期和社会影响是行为意愿的直接影响因素^{[19]447}。

(二) 用户采纳行为意愿的影响因素

以往研究基于前文中用户采纳的理论模型,验证了态度、感知有用性、感知易用性、感知行为控制、主观规范、绩效预期、努力预期、社会影响、感知行为控制等对自动驾驶技术用户采纳行为意愿的影响^{[1]125,[8]10,[10]}。同时,还有一些研究通过增加变量对以上模型进行了拓展。Ghazizadeh等^[21]将信任集成到技术接受模型中发现,信任能够影响用户使用态度和行为意愿。Choi等^[22]在技术接受模型中纳入信任、感知风险和感知收益来预测用户对自动驾驶技术的接受度。此外,安全性也被验证是影响自动驾驶用户采纳的关键因素之一^{[11]9}。自动驾驶技术用户采纳行为意愿的影响因素如表1所示。

表1 用户采纳行为意愿的影响因素总结

| 影响因素 | 理论模型来源 |
|--------|----------------------|
| 态度 | 理性行为理论、计划行为理论、技术接受模型 |
| 主观规范 | 理性行为理论、计划行为理论 |
| 感知行为控制 | 计划行为理论 |
| 感知有用性 | 技术接受模型 |
| 感知易用性 | 技术接受模型 |
| 绩效预期 | 技术接受与使用统一理论 |
| 努力预期 | 技术接受与使用统一理论 |
| 社会影响 | 技术接受与使用统一理论 |
| 信任 | 在技术接受模型基础上增加的变量 |
| 感知风险 | 在技术接受模型基础上增加的变量 |
| 感知收益 | 在技术接受模型基础上增加的变量 |
| 安全性 | 在技术接受模型基础上增加的变量 |

自动驾驶技术作为新兴技术带来诸多潜在收益,但目前用户对该项技术的采纳意愿和接受度还比较低,限制了自动驾驶技术在实际中应用;因此,有必要对用户采纳影响因素进行深入研究。以往研

究基于用户采纳行为的理论模型得出了影响用户采纳意愿的影响因素，这些因素数量比较多，而且来源于不同的理论模型。总之，以往研究未能得出具有普适性的结论，也未能对各个因素对用户采纳的影响强度进行比较，得出影响因素的重要性排序。

(三) 元分析方法的特点

元分析是以综合已有研究为目的，对单个研究结果进行综合分析的统计学方法。Glass^{[23]3-5}认为，元分析可以出于共同研究目的，将多个独立研究的结果进行重新组合，分析特定研究之间的差异，并全面评估相关研究的结果。由于研究理论、样本和社会环境因素等影响，同一领域的研究结论有较大差异，而且传统的描述性研究综述大多运用定性评论和综合评价，缺乏定量分析。元分析法有效避免了以上局限，能够对同一研究主题的多项重要研究成果进行准确、量化的综合数据分析。总之，元分析具有以下优势：(1)能够辨识多个研究间的异质性，提供整合效果的报告；(2)增加统计检验力度及检测效果的精确度；(3)能够完善假设检验；(4)应用系统化及明确的比较程序来降低研究的主观性。

元分析提取大量现有研究文献的实验样本数据，包括样本量、相关系数、 T 值、 p 值等，通过计算公式得出效应值，基于效应值比较各因素与研究变量的关系强度。若文献报告了相关矩阵或者相关系数，则采用相关系数作为统计量；若文献采用回归分析方法，则采用标准回归系数作为统计量；若文献采用结构方程模型的分析方法，则采用路径系数作为统计量；若文献只有 T 值和 p 值，则通过公式计算出统计量。这种方法在医学、心理学、管理学、文献计量学等领域得到广泛应用。例如王建亚等^[24]利用元分析方法对在线学习的用户使用行为进行研究发现，使用态度、感知便利性和感知娱乐性是影响最大的因素。吴江等^[25]采用元分析对可穿戴设备的用户采纳进行研究发现，感知有用性对态度和行为意愿的影响作用最为显著。邓朝华等^[26]基于元分析方法得到影响移动商务用户采纳的因素，包括感知有用性、感知乐趣、信任等。

以往针对自动驾驶技术用户采纳行为意愿的研究发掘出很多影响因素，由于这些因素是依据不同的理论模型和样本数据得到，单一研究无法构建自动驾驶技术用户采纳的统一模型。元分析方法有助于在这些因素中发掘关键因素，并比较这些因素对用户采纳行为意愿的影响强度。因此，基于元分析的上述特点和优势，本文采用该方法对影响自动驾驶技术的用户采纳意愿因素进行综合分析，得到定量、整合的分析结果，进而形成具有普遍意义的研究结论，以便指导自动驾驶技术的推广和实践应用。

三、研究设计

本文采用元分析方法，研究过程包括：(1)文献收集与筛选；(2)文献编码，对文献的基本信息和定量数据进行编码，包括样本量、相关系数、 T 值、 p 值等；(3)计算效应值，将多个独立研究结果合并成单一效应值；(4)相关性分析，计算各因素与自动驾驶技术用户采纳意愿的相关关系，基于效应值比较关系的强弱程度；(5)出版偏倚分析；(6)结果讨论。

(一) 文献收集与筛选

本文通过国内外文献数据库收集文献。中文数据库包括中国知网和万方数据库，使用“自动驾驶”“无人驾驶”“采纳”“采用”“行为意愿”“接受”等关键词检索中文文献主题。英文数据库主要通过 Science Direct、Web of Science、Springer Link、EBSCO、ProQuest、Taylor & Francis 搜索文献，检索时使用的关键词包括“autonomous vehicles”“autonomous cars”“automated vehicles”“automated cars”“driverless”“acceptance”“adoption”“intention”“willingness”。之后回溯检索重要文献的参考文献，初步获得文献 98 篇。

本研究进一步筛选并剔除文献，筛选标准如下：(1)文献中研究对象为第四或第五级别的自动驾驶技术；(2)文献中统计量的产生以独立样本为单位，如果一篇文献内有多个独立样本，则分开编码；(3)文献数据完整，样本量、相关系数或 T 值和 p 值明确，以便计算效应值；(4)对于重复发表的文献，特别是期刊论文和学位论文研究重复的文献只编码一次。基于以上标准，最终获得 27 篇符合标准的文

献,其中,中文文献5篇,英文文献22篇。这27篇文献共产生了36个样本,研究的时间跨度为2016年—2020年。

(二)文献编码

文献编码是抽取和整理文献信息,信息包括作者、发表年份,研究中涉及的影响因素及元分析所需的统计量。在影响因素的抽取过程中,翻译英文文献中的影响因素,解释其含义,并与中文文献中的影响因素统一。为了保证文献编码的准确性,编码工作由两人同时进行,并复核结果;对编码不一致的部分文献进行回溯和讨论,最终得到编码信度为97.6%。文献编码后得到的影响因素及其含义如表2所示,文献编码的部分结果如表3所示。

表2 元分析中的影响因素及定义

| 影响因素中文名称 | 英文名称 | 定义 |
|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 感知有用性 | perceived usefulness | 用户认为使用自动驾驶技术可以提高他/她驾驶表现的程度 |
| 感知易用性 | perceived ease of use | 用户认为使用自动驾驶技术无需费力的程度 |
| 态度 | attitude toward using the technology | 用户在使用技术过程中的感受和认知 |
| 感知风险 | perceived risk | 使用技术过程中,用户对预期目标可能无法实现的不确定性和可能产生的风险的担忧 |
| 感知收益 | perceived benefit | 用户使用自动驾驶技术感受到的好处和利益 |
| 安全性 | safety | 在使用自动驾驶技术过程中,用户感到可靠、安全的程度 |
| 信任 | trust | 用户对自动驾驶技术能够帮助实现用户目标的相信程度 |
| 感知行为控制 | perceived behavioral control | 用户能控制自动驾驶技术的主观感知程度 |
| 主观规范 | subjective norm | 对自动驾驶技术的使用行为有影响力的个人或团体带来社会影响力的程度 |
| 绩效预期 | performance expectancy | 用户认为自动驾驶能够提高任务绩效的程度 |
| 努力预期 | effort expectancy | 用户认为使用自动驾驶技术的容易程度 |
| 社会影响 | social influence | 用户认为重要的人(如家人和朋友)对用户使用该技术的看法 |

表3 文献编码

| 作者(发表年份) | 样本量/个 | 统计项 | 影响因素(统计量) |
|--------------------------|-------|----------|---|
| 杨润 ^[27] | 367 | 样本量和相关系数 | 感知风险(-0.03)、感知收益(0.23)、信任(0.59) |
| 黄位 ^[28] | 225 | 样本量和相关系数 | 感知有用性(0.27)、感知易用性(0.27)、态度(0.17)、感知行为控制(0.12)、主观规范(0.06) |
| 魏潇潇等 ^[29] | 308 | 样本量和相关系数 | 感知有用性(0.218)、感知易用性(0.474)、信任(0.238) |
| 陈坚等 ^[30] | 536 | 样本量和相关系数 | 感知风险(-0.89)、绩效预期(0.64)、努力预期(0.31)、社会影响(0.59) |
| Zoelick等 ^[31] | 125 | 样本量和相关系数 | 感知安全(0.29)、信任(0.10) |
| Zhang等 ^[1] | 216 | 样本量和相关系数 | 感知有用性(0.335)、感知易用性(0.164)、信任(0.67)、感知风险(-0.304)、态度(0.527) |
| Sener等 ^[32] | 1 039 | 样本量和相关系数 | 态度(0.654)、感知安全(0.602)、绩效预期(0.672)、努力预期(0.44)、社会影响(0.607) |

注:部分研究使用回归分析的标准回归系数或结构方程模型的路径系数,此处统称相关系数;多位作者仅列出第一作者。

四、研究结果

(一) 描述性统计

本文采用元分析方法抽取的统计量为样本量和相关系数(包括相关系数、回归分析中的标准回归系数或结构方程模型中的路径系数)。各影响因素与自动驾驶技术用户采纳意愿之间的相关关系描述性分析见表4。从表4可知,在所选文献中,对自动驾驶汽车用户采纳意愿影响因素研究最多的是信任与采纳意愿之间的路径关系,显著率达到94.40%;其次是感知有用性和采纳意愿之间的路径关系,显著率达到81.25%;研究最少的是感知行为控制与采纳意愿的关系,显著率在60%。所有影响因素与采纳意愿的显著率都在50%以上。从样本数量来看,各关系的累计样本量在1862~8248之间,平均样本分布在226~734之间。

表4 各因素与用户采纳意愿关系的描述性统计

| 影响关系 | 文献总数/个 | 相关关系 | | 显著率/% | 累计样本量/个 | 平均样本量/个 |
|-------------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|
| | | 最小值 | 最大值 | | | |
| 感知有用性-采纳意愿 | 16 | -0.07 | 0.59 | 81.25 | 3628 | 226 |
| 感知易用性-采纳意愿 | 11 | 0.01 | 0.474 | 63.63 | 2512 | 228 |
| 态度-采纳意愿 | 13 | 0.17 | 0.656 | 92.30 | 6172 | 474 |
| 感知风险-采纳意愿 | 11 | -0.89 | 0.048 | 63.63 | 7046 | 640 |
| 感知收益-采纳意愿 | 7 | 0.046 | 0.4 | 85.71 | 5144 | 734 |
| 安全-采纳意愿 | 8 | -0.281 | 0.662 | 100 | 4667 | 583 |
| 信任-采纳意愿 | 18 | 0.1 | 0.59 | 94.40 | 6843 | 380 |
| 感知行为控制-采纳意愿 | 5 | 0.082 | 0.39 | 60 | 1862 | 372 |
| 主观规范-采纳意愿 | 7 | 0.037 | 0.24 | 57.14 | 2130 | 304 |
| 绩效预期-采纳意愿 | 15 | -0.06 | 0.736 | 86.67 | 8248 | 549 |
| 努力预期-采纳意愿 | 13 | -0.048 | 0.44 | 61.54 | 7980 | 613 |
| 社会影响-采纳意愿 | 10 | 0.167 | 0.607 | 100 | 6122 | 612 |

(二) 信度分析

信度用来检验问卷调查数据结果的可靠性与一致性,通常使用Cronbach α 值或者组合信度(composite reliability, CR)来衡量。Cronbach α 系数的取值范围是0~1,该系数越接近1,说明数据的可信程度越高。一般认为,该系数大于0.9时,说明数据的可信程度很高;系数在0.8~0.9之间时,说明数据的可信程度相当好;系数在0.7~0.8之间时,说明数据的可信度可以接受;系数在0.6~0.7之间时,说明数据可信度基本可以接受;系数小于0.6时,说明数据的可信度存在疑问^[33]。组合信度的判断标准与Cronbach α 类似。

本文中,信度分析以Cronbach α 值为主,对于未报告Cronbach α 值的文献,本文统计组合信度,信度统计的结果如表5所示。从表5可以看出,所有变量的信度分布在0.55~0.97之间,平均信度最小值为0.780,表明变量信度较高。信度方差最大值为0.020,表明变量信度分布比较稳定。

表5 信度分析

| 影响因素 | 信度最小值 | 信度最大值 | 信度平均值 | 方差 | 文献数量/个 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 感知有用性 | 0.73 | 0.93 | 0.82 | 0.006 | 13 |
| 感知易用性 | 0.68 | 0.91 | 0.85 | 0.005 | 10 |
| 态度 | 0.84 | 0.91 | 0.89 | 0.0003 | 4 |
| 感知风险 | 0.71 | 0.93 | 0.86 | 0.005 | 9 |
| 感知收益 | 0.81 | 0.88 | 0.85 | 0.0007 | 5 |
| 安全 | 0.69 | 0.91 | 0.80 | 0.01 | 4 |
| 信任 | 0.74 | 0.97 | 0.87 | 0.004 | 15 |
| 感知行为控制 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0 | 1 |
| 主观规范 | 0.9 | 0.97 | 0.96 | 0.002 | 3 |
| 绩效预期 | 0.66 | 0.94 | 0.86 | 0.014 | 7 |
| 努力预期 | 0.69 | 0.95 | 0.87 | 0.009 | 5 |
| 社会影响 | 0.55 | 0.97 | 0.82 | 0.020 | 6 |

(三) 相关性分析

1. 效应值计算公式

本文的元分析采用 Comprehensive Meta-analysis 3.0(CMA 3.0)软件。为降低研究情境和样本等因素导致的数据偏差,根据样本量和 Fisher-z 转换后的 z 值计算效应值。首先,将所有文献中已抽取的相关系数进行 Fisher-z 转换,计算出 z 值,如式(1);其次,根据样本量计算出 z 值的加权平均值,如式(2);最后,根据 z 值计算效应值 r_z ,如式(3)。

$$z = 0.5 \times \ln\left(\frac{1+r}{1-r}\right) \quad (1)$$

其中, z 为服从标准正态分布的变量, r 为文献中已抽取的相关系数。

$$z_+ = \frac{\sum N_i z_i}{\sum N_i} \quad (2)$$

其中, z_+ 为 z 值的加权平均值, N_i 为对应第 i 个研究的样本数量, z_i 为对应第 i 个研究的 z 值。

$$r_z = \frac{\exp(2z_+) - 1}{\exp(2z_+) + 1} \quad (3)$$

其中, r_z 为效应值。

2. 失安全系数计算

为了检验结果是否存在发表偏倚,本文计算了失安全系数(Fail Safe N, FSN)。发表偏倚指具有较显著结果的文章更容易出版,因此,在未发表的文章中可能会出现结果偏差。失安全系数(FSN)经常被用于评估是否存在发表偏倚。发表偏倚的检验标准是:失安全系数(FSN) > [研究数量 × 5 + 10],说明结果不太可能受发表偏倚的影响。根据失安全系数的判断标准,主观规范与用户采纳意愿的相关关系可能受发表偏倚的影响,其他相关关系受发表偏倚影响的可能性不大。

3. 效应值分析

相关关系分析的结果如表6所示。元分析计算出的效应值可以用来比较各影响因素变量与用户采纳意愿之间相关关系的强度。根据 Cohen^[34]提出的效应值强弱评价标准,当效应值 > 0.5 时,效应值较大,表明自变量与因变量的相关关系较强;当 0.3 < 效应值 < 0.5 时,效应值处于中等水平,表明相关关系处于中度强度;当 0.1 < 效应值 < 0.3 时,效应值较小,表明相关关系的强度是较弱;当效应值 < 0.1 时,表明自变量与因变量之间基本无相关关系。因此,基于效应值强度的判断标准,本文汇总所有因素与自动驾驶用户采纳意愿的相关关系,如表7所示。强相关的因素有态度(0.55)、绩效预期

(0.541)、安全(0.505)；中度相关的因素有社会影响(0.491)、信任(0.323)、感知有用性(0.305)；弱相关的因素有努力预期(0.266)、感知收益(0.176)、感知易用性(0.16)、感知风险(-0.16)、感知行为控制(0.119)、主观规范(0.11)。

表6 相关关系分析

| 变量 | 效应值 r_z | 95% 置信区间 | | z 值 | p 值 | 失安全系数 | 发表偏倚 |
|--------|-----------|----------|--------|---------|----------|-------|------|
| | | 下限 | 上限 | | | | |
| 感知有用性 | 0.305 | 0.273 | 0.355 | 17.93 | <0.000 1 | 932 | 否 |
| 感知易用性 | 0.160 | 0.122 | 0.199 | 8.059 | <0.000 1 | 127 | 否 |
| 态度 | 0.550 | 0.532 | 0.567 | 48.392 | <0.000 1 | 5 675 | 否 |
| 感知风险 | -0.16 | -0.182 | -0.137 | -13.478 | <0.000 1 | 594 | 否 |
| 感知收益 | 0.176 | 0.149 | 0.202 | 12.712 | <0.000 1 | 324 | 否 |
| 安全 | 0.505 | 0.483 | 0.526 | 37.89 | <0.000 1 | 1 959 | 否 |
| 信任 | 0.323 | 0.301 | 0.344 | 27.577 | <0.000 1 | 2 534 | 否 |
| 感知行为控制 | 0.119 | 0.074 | 0.164 | 5.149 | <0.000 1 | 36 | 否 |
| 主观规范 | 0.110 | 0.067 | 0.152 | 5.064 | <0.000 1 | 39 | 是 |
| 绩效预期 | 0.541 | 0.525 | 0.556 | 54.795 | <0.000 1 | 8 899 | 否 |
| 努力预期 | 0.266 | 0.245 | 0.286 | 24.281 | <0.000 1 | 1 408 | 否 |
| 社会影响 | 0.491 | 0.471 | 0.509 | 41.894 | <0.000 1 | 3 636 | 否 |

表7 相关关系强度汇总

| 相关关系强度 | 影响因素 |
|--------|----------------------------------|
| 强相关 | 态度、绩效预期、安全 |
| 中度相关 | 社会影响、信任、感知有用性 |
| 弱相关 | 努力预期、感知收益、感知易用性、感知风险、感知行为控制、主观规范 |

(四) 结果讨论

按照影响强度从大到小排列，与自动驾驶技术用户采纳意愿有强相关关系的因素是态度、绩效预期、安全。态度是计划行为理论和理性行为理论都涉及的构念，它是个体对特定对象或特定行为所持有的正面信念。当用户对自动驾驶技术持有正向评价时，认为自动驾驶技术令人满意，且使用自动驾驶技术是个好主意，那么用户采纳自动驾驶技术的意愿会较强。因此，增强用户对自动驾驶技术的正向态度将有助于提高用户对该技术的接受度和使用意愿。

绩效预期指人们认为自动驾驶技术可以提供有用的服务，以及提升任务完成的效果。目前，自动驾驶技术尚未落地使用，难以预测它的实际性能。现今研究预测，无人驾驶汽车的性能将比传统的非自动驾驶汽车有所提高^[35]，该预测得到了在受限条件下的道路测试和有限自动驾驶车辆(即在需要时人工可以干预)测试的支持。无人驾驶汽车在一定程度上可以提高驾驶安全性，还能提高乘客的任务绩效^[36]。因此，人们对自动驾驶技术提高任务绩效的程度有很高的正向评价，这也有助于增强用户对该技术的接受意愿。该推断得到了技术接受与使用统一理论的支持，即绩效预期对技术的采纳意愿有直接的积极影响^[37]。

以往研究指出，安全风险是人们不愿意使用自动驾驶技术的主要原因^[38]，以及安全在自动驾驶技术用户采纳中的直接、正向作用^[39]。本文也验证了安全与自动驾驶技术用户采纳意愿的正相关关系：若人们认为自动驾驶技术的安全性很高，他们就会倾向采用该技术；反之，若人们担忧自动驾驶技术

的安全性,他们对该项技术的采纳意愿就会降低。这个结果对自动驾驶技术的设计者和开发者带来两点启示:首先,设计者和开发者需向用户充分说明自动驾驶技术的安全保护机制,特别是当汽车出现故障时,自动驾驶技术将如何保护乘客和其他道路使用者,且必要时设计者和开发者应向公众提供其安全算法和数据。其次,相关政策制定者应与学术界和技术开发者紧密合作,制定安全规则,确保自动驾驶技术开发者严格遵守安全标准。

社会影响、信任和感知有用性与用户采纳有直接的相关关系^{[18]329,[19]448,[22]699}。笔者发现,社会影响与自动驾驶技术用户采纳意愿有中度强度的正相关关系。根据社会认同理论,采用符合群体规范的决策会增加用户在群体中的归属感^[40]。此外,家人和朋友也是用户决策过程中重要的信息来源^[41-42],因此,用户采纳自动驾驶技术的行为意愿会受社交网络(如家人和朋友的意见)影响。本文还验证了信任与自动驾驶技术用户采纳意愿的正相关关系:对自动化系统的不信任会影响对其的使用,而对其过度信任可能导致误用或滥用^[43]。本文同时发现,感知有用性与自动驾驶技术的用户采纳行为有正相关关系。自动化系统的有用性是一个基于性能的变量^[44]。Zhang^{[1]215}的研究指出,自动驾驶技术的有用性也是决定信任的基本因素。基于以往研究和本文的研究结果可以总结出:感知有用性既能增强用户对自动驾驶技术的信任,又能提高用户对该技术的采纳意愿。本文还发现:努力预期、感知收益、感知易用性、感知风险、感知行为控制、主观规范变量与自动驾驶技术用户采纳意愿有弱相关关系。原因可能在于,这些变量与用户采纳意愿之间存在中介变量或调节变量。以往研究发现,努力预期会通过影响绩效预期进而影响用户采纳^{[37]726},感知易用性通过影响感知有用性进而影响用户采纳^{[18]331},感知收益和感知风险通过影响信任进而影响用户采纳^{[8]336},而感知行为控制和主观规范则能够影响态度,进而影响用户采纳^{[17]182}。未来研究可进一步探究弱相关变量与自动驾驶技术用户采纳意愿之间的中介变量、调节变量,以及它们之间的关系。

五、研究结论

本文收集27篇文献,总结出12个影响自动驾驶技术用户采纳意愿的因素,采用元分析的方法,建立了影响因素与自动驾驶技术用户采纳意愿的相关关系。基于效应值比较了各因素的影响强度,得到了三个影响力强的因素,分别是态度、绩效预期和安全;三个影响力中等的因素,分别是社会影响、信任、感知有用性。研究发掘了影响自动驾驶技术用户采纳意愿的关键因素,拓展了用户采纳理论和技术接受模型的适用范围,对自动驾驶技术的设计者和开发者提出了指导建议。基于研究结果,本文对自动驾驶技术的开发者提出了如下的设计指导:首先,可以通过详细、符合逻辑的说明推广自动驾驶技术的有用性和收益,提高大众对该技术的理解和认识,帮助用户树立对该项技术的正向态度,提高用户感知的技术安全性、信任、有用性、易用性,减少用户感知的技术风险;其次,可利用社交网络和社会媒体的力量,扩大技术的社会影响力,动员公众为了满足社会环境的需求或者组织的规范而改变自身行为意愿,提高用户对自动驾驶技术的接受程度;最后,从技术设计和开发的角度,提高该项技术的安全性和有用性,提升性能,保障用户使用技术的身心安全。

本文采用元分析方法,在已有大量研究结果的基础上,得到了有关自动驾驶技术用户采纳意愿的普遍、客观、统一的结论,为提高公众对自动驾驶汽车的认识和接受程度提供了决策依据,为推进自动驾驶技术的推广和落地使用奠定了理论基础。本文存在如下局限:第一,依据文献筛选标准所抽取的文献数量不够多,这是由于本文关注的是第四级和第五级的自动驾驶技术,这两级技术尚未商用,相应研究还处于初步阶段,随着技术的不断进步和研究的不断深入,研究成果将逐渐丰富,未来可加入新的研究成果补充和完善本文的研究结论;第二,本文仅研究了12个因素与自动驾驶技术用户采纳意愿的直接关系,尚未研究影响关系中的中介变量或调节变量,未来可以进一步分析调节变量和中介变量的作用,以得到更具普适性的结论。

参考文献:

[1] ZHANG T, TAO D, QU X, et al. The roles of initial trust and perceived risk in public's acceptance of automated vehicles

- [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019, 98: 207-220.
- [2] 石娟, 田晓笛, 王建培. 自动驾驶分级方法及测试技术[J]. *汽车工程师*, 2018(9): 18-21.
- [3] FAGNANT D J, KOCKELMAN K. Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, 77: 167-181.
- [4] SURESH P, MANIVANNAN P V. Reduction of vehicular pollution through fuel economy improvement with the use of autonomous self-driving passenger cars[J]. *Journal of Environmental Research and Development*, 2014, 8(3): 705-716.
- [5] CLARK H, FENG J. Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2017, 106: 468-479.
- [6] LI S, BLYTHE P, GUO W, et al. Investigation of older driver's takeover performance in highly automated vehicles in adverse weather conditions[J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2018, 12(9): 1157-1165.
- [7] ABRAHAM H, LEE C, BRADY S, et al. Autonomous vehicles and alternatives to driving: trust, preferences, and effects of age[C]//*Proceedings of the transportation research board 96th annual meeting (TRB17)*. Washington DC:2017.
- [8] LIU P, YANG R, XU Z. Public acceptance of fully automated driving: effects of social trust and risk/benefit perceptions[J]. *Risk Analysis*, 2019, 39(2): 326-341.
- [9] NORDHOFF S, VAN AREM B, HAPPEE R. Conceptual model to explain, predict, and improve user acceptance of driverless podlike vehicles[J]. *Transportation Research Record*, 2016, 2602(1): 60-67.
- [10] BUCKLEY L, KAYE S-A, PRADHAN A K. Psychosocial factors associated with intended use of automated vehicles: a simulated driving study[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2018, 115: 202-208.
- [11] BRELL T, PHILIPSEN R, ZIEFLE M. sCARY! Risk perceptions in autonomous driving: the influence of experience on perceived benefits and barriers[J]. *Risk Analysis*, 2019, 39(2): 342-357.
- [12] PANAGIOTOPOULOS I, DIMITRAKOPOULOS G. An empirical investigation on consumers' intentions towards autonomous driving[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 95: 773-784.
- [13] ACHEAMPONG R A, CUGURULLO F. Capturing the behavioural determinants behind the adoption of autonomous vehicles: Conceptual frameworks and measurement models to predict public transport, sharing and ownership trends of self-driving cars [J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2019, 62: 349-375.
- [14] LIU H, YANG R, WANG L, et al. Evaluating initial public acceptance of highly and fully autonomous vehicles [J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2019, 35(11): 919-931.
- [15] JACOB D W, FUDZEE M F M, SALAMAT M A, et al. A review of the generic end-user adoption of e-government services [J]. *International Review of Administrative Sciences*, 2019, 85(4): 799-818.
- [16] FISHBEIN M, AJZEN I. *Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research* [M]. Massachusetts: Addison-Wesley, 1975.
- [17] AJZEN I. The theory of planned behavior[J]. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 1991, 50(2): 179-211.
- [18] DAVIS F D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology[J]. *MIS Quarterly*, 1989, 13(3): 319-340.
- [19] VENKATESH V, MORRIS M G, DAVIS G B, et al. User acceptance of information technology: toward a unified view[J]. *MIS Quarterly*, 2003, 27(3): 425-478.
- [20] ZHANG T, TAO D, QU X, et al. Automated vehicle acceptance in China: Social influence and initial trust are key determinants[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020, 112: 220-233.
- [21] GHAZIZADEH M, LEE J D, BOYLE L N. Extending the technology acceptance model to assess automation[J]. *Cognition, Technology & Work*, 2012, 14(1): 39-49.
- [22] CHOI J K, JI Y G. Investigating the importance of trust on adopting an autonomous vehicle[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2015, 31(10): 692-702.
- [23] GLASS G V. Primary, secondary, and meta-analysis of research[J]. *Educational Researcher*, 1976, 5(10): 3-8.
- [24] 王建亚, 牛晓蓉, 万莉. 基于元分析的在线学习用户使用行为研究[J]. *现代情报*, 2020, 40(1): 58-68.
- [25] 吴江, 曾敏纳, 刘福珍, 等. 基于元分析方法的可穿戴设备用户采纳行为研究[J]. *信息资源管理学报*, 2017, 7(2): 5-13.
- [26] 邓朝华, 张亮, 张金隆. 基于荟萃分析方法的移动商务用户采纳研究[J]. *图书情报工作*, 2012, 56(18): 137-143.
- [27] 杨润. 高度自动与完全自动驾驶汽车的公众接受度研究[D]. 天津:天津大学, 2018.

- [28] 黄位. 基于计划行为理论与技术接受模型的自动驾驶汽车接受度研究[D]. 江苏:江苏大学, 2019.
- [29] 魏潇潇, 钟石泉. 基于 TAM 与认知理论的无人驾驶汽车接受度研究[J]. 综合运输, 2019(11): 79-84.
- [30] 陈坚, 李睿, 傅志妍. 基于 UTAUT 的无人驾驶公交乘客接受度模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(6): 38-44.
- [31] ZOELLICK J C, KUHLMEY A, SCHENK L, et al. Amused, accepted, and used? Attitudes and emotions towards automated vehicles, their relationships, and predictive value for usage intention[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2019, 65: 68-78.
- [32] SENNER I N, ZMUD J, WILLIAMS T. Measures of baseline intent to use automated vehicles: a case study of Texas cities [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2019, 62: 66-77.
- [33] DAVENPORT E C, DAVISON M L, LIOU P Y, et al. Reliability, dimensionality, and internal consistency as defined by Cronbach: distinct albeit related concepts[J]. Educational Measurement: Issues and Practice, 2015, 34(4): 4-9.
- [34] COHEN J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences[M]. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2013: 1-567.
- [35] PADEN B, CAP M, YONG S Z, et al. A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles [J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2016, 1(1): 33-55.
- [36] KYRIAKIDIS M, HAPPEE R, DE WINTER J C F. Public opinion on automated driving: results of an international questionnaire among 5000 respondents[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2015, 32: 127-140.
- [37] DWIVEDI Y K, RANA N P, JEYARAJ A, et al. Re-examining the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): towards a revised theoretical model[J]. Information Systems Frontiers, 2019, 21(3): 719-734.
- [38] SHIN D, KIM B, YI K, et al. Human-centered risk assessment of an automated vehicle using vehicular wireless communication[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 20(2): 667-681.
- [39] MONTORO L, USECHE S A, ALONSO F, et al. Perceived safety and attributed value as predictors of the intention to use autonomous vehicles: a national study with Spanish drivers[J]. Safety Science, 2019, 120: 865-876.
- [40] HOGG M A. Social Identity Theory[M]. Berlin: Germany, 2016: 3-17.
- [41] GURSOY D, DEL CHIAPPA G, ZHANG Y. Preferences regarding external information sources: a conjoint analysis of visitors to Sardinia, Italy[J]. Journal of Travel & Tourism Marketing, 2017, 34(6): 806-820.
- [42] JEON M M, LEE S, JEONG M. e-Social influence and customers' behavioral intentions on a bed and breakfast website[J]. Journal of Hospitality Marketing & Management, 2018, 27(3): 366-385.
- [43] PARASURAMAN R, RILEY V. Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse[J]. Human Factors, 1997, 39(2): 230-253.
- [44] HOFF K A, BASHIR M. Trust in automation: integrating empirical evidence on factors that influence trust[J]. Human Factors, 2015, 57(3): 407-434.

Meta-analysis on User Adoption of Automated Driving

LIU Na, ZHANG Jun-chang, ZHANG Sheng-tai, WANG Xu-hui

(School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Meta-analysis is used to investigate the critical factors that influence users' willingness of adopting automated driving and compare the influencing strength of each factor. Based on literature review, a total of 27 relevant literatures were obtained and twelve factors that influence user adoption of automated driving were extracted. The results show that attitude, performance expectancy, and safety are strongly correlated with behavioral intention to adopt automated driving, while social influence, trust, perceived usefulness are moderately correlated with behavioral intention to adopt automated driving. Theoretical and practical implications of identifying the critical factors to user adoption of automated driving and directions for future research are discussed.

Key words: automated driving; technology acceptance; meta-analysis; user adoption