

Automotive eHMI Interaction Design: Current Status, Challenges and Future Trends

Zhe Chen

Beijing University of Technology, Beijing, 100144, China

Abstract

As autonomous driving advances to L3 and beyond, the external human-machine interface (eHMI) has become pivotal in ensuring hybrid vehicle safety and enhancing human-vehicle collaboration efficiency. This paper reviews relevant research and case studies, systematically analyzing the current status of eHMI technology implementation, design principles, and effectiveness evaluation, while addressing core challenges including standardization gaps and insufficient multi-user interaction compatibility. The study reveals that eHMI is transitioning from “single-function transmission” to “multimodal intelligent interaction,” and from “vehicle-centric” to “user experience-oriented” approaches. Future development will focus on four key directions: AI-driven personalized interactions, AR and multimodal integration, multi-user collaborative interaction, and trust-building through affective computing.

Keywords

automotive eHMI; interaction design; current status; trends; human-machine interaction

汽车 eHMI 交互设计：发展现状、挑战与未来趋势

陈哲

北方工业大学，中国·北京 100144

摘要

随着自动驾驶迈向L3及以上级别，汽车外部人机交互界面（eHMI）成为保障混合交通安全、提升人车协同效率的核心。本文梳理相关研究与案例，系统分析 eHMI 的技术实现、设计原则及有效性评估现状、面临的标准化缺失、多用户交互适配不足等核心挑战。研究显示：eHMI正从“单一功能传递”转向“多模态智能交互”、从“车辆中心”转向“用户体验导向”，未来将聚焦AI互动个性化、AR与多模态融合、多用户协同交互及情感计算信任构建四大方向。

关键词

汽车EHMI；交互设计；现状；趋势；人机交互

1 引言

随着自动驾驶技术的快速发展，汽车正从传统交通工具向智能移动空间转变，汽车外部人机交互界面（External Human-Machine Interface, eHMI）作为连接自动驾驶车辆与行人、其他道路使用者的重要媒介，其设计与优化日益受到关注。与传统车内 HMI 不同，eHMI 主要面向车外人员，通过视觉、听觉等多种方式传达自动驾驶车辆的意图、状态和决策，以建立有效的人车交互关系。

在当前混合交通环境中，自动驾驶车辆与人类驾驶者、行人等共存，eHMI 设计直接影响道路交通安全与效率。研究表明，优质的 eHMI 能显著提升行人对自动驾驶车辆的信任度和接受度，减少交互中的不确定性与冲突。然而，目前 eHMI 设计仍面临信息表达方式标准化、不同交通场景适应

性、多用户交互复杂性等诸多挑战。

本文系统梳理汽车 eHMI 交互设计的发展现状，分析其核心技术与设计原则，探讨未来发展趋势，为相关研究与实践提供参考，重点关注 eHMI 的信息编码方式、动效设计、位置布局等关键要素及其对人车交互有效性和安全性的影响。

2 汽车 EHMI 发展现状

2.1 eHMI 的概念与功能定位

汽车 eHMI 是自动驾驶车辆外部用于与车外人员交互的界面系统，核心功能是向行人、非机动车驾驶者等传达车辆的状态、意图和决策信息。与传统车内 HMI 相比，其设计需兼顾外部环境复杂性、多用户交互特点及信息传达的即时性与准确性。

根据国际标准化组织（ISO）定义，自动驾驶车辆需通过 eHMI 传达行驶状态、让行状态和重新开始行驶状态三种主要状态，这些信息的有效传达对行人与自动驾驶车辆的安

【作者简介】陈哲（2001-），男，中国山东曹县人，硕士，从事交互设计、汽车设计、ehmi研究。

全交互至关重要。研究显示,清晰明确的 eHMI 设计能显著提升行人对车辆意图的理解能力,减少交互不确定性与潜在冲突^[1]。从功能定位看,eHMI 首先要保障车辆状态的透明度,帮助行人理解自动驾驶车辆;其次需传达车辆让行、继续行驶等意图,引导行人做出正确决策;同时通过人性化设计建立情感连接,增强行人对自动驾驶车辆的信任感与接受度。

2.2 eHMI 设计核心原则与技术表现形式

基于现有研究,eHMI 设计已形成系列核心原则,德国航空航天中心(DLR)研究团队提出的 17 条原则涵盖“如何通信”与“何时通信”两大维度:“如何通信”需遵循清晰性与明确性、通信副作用考量、一致性及 dHMI 与 eHMI 一致性;“何时通信”则要求车辆处于 SAE L3 及以上级别时永久传达驾驶模式、在混合交通环境中主动传达行驶意图、与弱势道路使用者交互时优先启用 eHMI,为系统开发提供系统性指导。当前 eHMI 技术实现以视觉显示为核心,同时探索多模态融合,依据显示特点分为多种类型:灯光带显示、文本显示、图标/符号显示、投影显示及生物运动显示(通过点光源模拟动物运动传递意图,利用人类对生物运动的敏感性提升理解效率),且视觉与听觉融合能提升信息传达效果。

2.3 eHMI 的有效性评估研究

现有研究采用多种方法,从多个关键维度评估 eHMI 的有效性。理解准确性是重要评估指标,主要考察行人对 eHMI 传达信息的理解程度,研究表明,文字编码的 eHMI 在理解准确性上通常优于图标编码,具象图标又优于抽象图标。

反应时间是核心评估内容,即行人对 eHMI 信号做出反应的时长。研究发现,视线受限情况下,设计优良的 eHMI 可显著缩短驾驶员反应时间,提升安全性。

信任度与接受度评估聚焦行人对 eHMI 传达信息的信任程度及对自动驾驶车辆的接受程度,研究显示,eHMI 的透明度和一致性是影响信任的关键因素。满意度评估关注行人对 eHMI 设计的主观感受,相关研究发现,行人对文字编码的 eHMI 满意度普遍高于图标编码,尤其当文字以行人为中心视角表达时(如“请您通行”而非“我让行”)。

交互效率评估主要衡量 eHMI 促进车辆与行人高效交互的能力,研究表明,适时的 eHMI 通信能提高行人与车辆交互的效率和可预测性。

2.4 eHMI 设计面临的主要挑战

尽管 eHMI 研究取得显著进展,但仍面临诸多挑战,制约其广泛应用与效果优化。标准化问题突出,当前不同制造商的 eHMI 信号差异明显,甚至相互矛盾,导致行人难以建立统一心理模型理解自动驾驶车辆行为^[2]。

复杂交通环境中,过多 eHMI 信号可能引发信息过载,增加行人认知负担,反而降低交互效率。文化差异给 eHMI 设计带来难题,不同文化背景的行人对符号、颜色和动效的

理解可能存在差异,不利于 eHMI 全球化应用^[3]。

自动驾驶车辆常需同时与多名行人交互,但现有研究多聚焦单车单人交互场景,对多用户交互的复杂性考虑不足。eHMI 需根据光照、天气等环境条件、交通场景及用户特征动态调整,以确保信息可感知性与有效性,而当前 eHMI 在适应性与动态调整方面仍有欠缺。

信任校准问题不容忽视,eHMI 需平衡透明度与复杂性,过度透明可能导致信息过载,透明度不足则可能降低信任度,如何实现有效信任校准是当前研究热点。

3 汽车 EHMI 交互设计的发展趋势

3.1 人工智能驱动的个性化 eHMI

人工智能技术的快速发展深刻改变 eHMI 设计范式,推动其从标准化向个性化、从被动响应向主动交互转变,在多方面展现变革作用。

在用户特征识别与适应上,借助计算机视觉和传感器技术,eHMI 系统可识别行人年龄、性别、身体状态等特征,并据此调整信息呈现方式。例如,针对儿童或老年人,eHMI 可能采用更大字体、更简单符号和更明显动效^[4]。

基于机器学习算法,eHMI 系统能分析行人行为模式,预测其意图并主动提供相关信息。比如,当系统检测到行人有过街意图时,可提前显示让行信号,减少交互延迟^[5]。

AI 技术还赋予 eHMI 个性化内容生成能力,能根据用户偏好和历史交互数据生成个性化交互内容。例如,系统可学习特定用户对信息呈现方式的偏好,动态调整文本风格、颜色方案和动效类型。

结合情感计算技术,eHMI 可识别行人情绪状态,并相应调整交互策略。例如,面对焦虑的行人,系统可能采用更柔和的颜色和更舒缓的动效,以缓解其压力。研究表明,AI 驱动的个性化 eHMI 能显著提升用户体验与交互效率,增强用户对自动驾驶系统的信任,但个性化也带来隐私保护和算法偏见等挑战,需在设计中重视并解决。

3.2 多模态交互与增强现实技术融合

多模态交互与增强现实(AR)技术的融合应用,正成为 eHMI 发展的重要趋势,为车辆与行人交互提供更自然、直观的方式,在多维度展现独特价值。

多模态信息融合打破单一模态信息呈现局限,有机结合视觉、听觉、触觉等多种模态,有效提升信息传达效率与准确性。研究表明,这种融合方式能降低单一模态的疲劳度和认知负荷,增强用户对复杂信息的理解能力。

增强现实抬头显示(HUD)技术可将 eHMI 信息直接投射到驾驶员视野中,实现信息无缝融合,既提高信息可感知性,又减少驾驶员注意力分散。环境投影技术借助车辆前大灯或专用投影设备,将 eHMI 信息投射到路面或周围环境,打造动态、情境化的交互界面,尤其适用于无明确人行横道路口等复杂或非标准交互场景。

基于生物运动特征的交互方式是最新研究方向,通过分析行人步态和身体语言识别其意图,进而调整车辆行为;同时,eHMI也可通过模拟生物运动模式传达车辆意图,利用人类对生物运动的天然敏感性提升交互效率。

多模态交互与AR技术的融合为eHMI设计提供更多可能,但也带来交互复杂性增加和认知负荷管理等挑战,未来研究需探索如何在不增加用户负担的前提下,充分发挥多模态交互的优势。

3.3 基于情感计算的信任构建机制

信任是自动驾驶技术广泛应用的关键因素,eHMI在建立和维持用户信任方面发挥重要作用,基于情感计算的信任构建机制正成为eHMI设计的重要趋势,涵盖多个关键环节。

通过分析行人面部表情、语音特征和生理信号,eHMI系统可识别用户情绪状态,并相应调整交互策略。例如,面对焦虑的行人,系统可能采用更柔和的颜色和更舒缓的动效,以减轻其压力,这是情感识别与反馈在信任构建中的具体应用^[4]。

eHMI还将提供更多关于车辆决策过程和环境感知结果的信息,帮助用户理解系统行为的原因和逻辑。研究表明,透明度是建立信任的关键因素,体现了透明度与可解释性的重要价值。

eHMI传达的信息需与车辆行为高度一致,并在不同情境下表现出可靠的行为模式,这种一致性有助于建立稳定的心理模型,增强用户信任,是一致性与可靠性原则的核心要求。

不同用户对自动驾驶系统的信任水平和影响因素各不相同,未来eHMI将根据用户特征和历史交互数据,提供个性化的信任校准策略。例如,对技术持怀疑态度的用户可能需要更多的系统状态信息和解释,即便最先进的自动驾驶系统也可能出现错误或意外情况,因此eHMI需设计有效的错误处理和恢复机制以维持用户信任。研究表明,透明的错误解释和负责任的恢复策略能够减轻信任损伤。

基于情感计算的信任构建机制,让eHMI不仅具备信息传达功能,更能建立情感连接,切实增强用户对自动驾驶系统的接受度和信任,这一趋势深刻反映了人机交互从功能性向情感性的转变方向。

3.4 多用户协同交互设计

自动驾驶车辆往往需要同时与多个行人进行交互,这种多用户场景下的协同交互设计正成为eHMI研究的重要方向,在多个层面展现出独特的设计需求和研究重点。

研究表明,群体行为会显著影响个体对eHMI的理解和反应,因此未来eHMI设计需要充分考虑群体动力学因素,包括社会影响、从众行为和信息传播机制等,以更好地适应多用户交互场景。先进的eHMI系统应具备多目标信息定向能力,能够识别多个目标用户,并向不同用户定向传达不同的信息,例如车辆可以向左侧的行人显示“请通行”,同

时向右侧的行人显示“我正在停车”。

未来eHMI不仅要传达车辆意图,还应承担起支持多方协同决策的功能,比如在复杂路口,eHMI可以与行人的移动设备交互,协商最佳的通行顺序和方式。eHMI设计还需更加注重融入当地的社会规范和非正式交通规则,例如在不同文化背景下对优先权的不同理解,这种文化敏感性有助于提高eHMI的有效性和接受度。

4 结论

本研究系统梳理汽车eHMI交互设计的发展现状与趋势,得出一系列关键结论。

设计原则层面,eHMI已形成涵盖“如何通信”与“何时通信”的核心原则体系,清晰性、一致性、副作用考量等原则为系统开发提供全面且系统的指导,确保eHMI在实际应用中的安全性与有效性。

技术实现方面呈现多样化特征,灯光带显示、文本显示、图标/符号显示、投影显示及生物运动显示等多种形式各有优势与适用场景,同时视觉与听觉等多模态融合应用逐步推进,进一步提升了信息传达的效率与准确性。

有效性评估体系已趋于多元,从理解准确性、反应时间到信任度、满意度、交互效率等多个维度,为eHMI设计优化提供扎实的实证依据,不同编码方式的eHMI在各评估指标上呈现出差异化表现。

然而,eHMI设计仍面临诸多挑战,标准化缺失导致不同制造商信号差异明显,信息过载、文化差异、多用户交互复杂性、动态适应性不足、信任校准难题等,共同制约着eHMI的广泛应用与效果优化。

未来发展趋势清晰明确,AI驱动的个性化交互、多模态与AR技术融合、从驾驶员中心到乘客中心的设计转变以及基于情感计算的信任构建机制,将成为eHMI交互设计的核心发展方向,推动其从单一功能向多功能、静态向动态、车辆中心向用户中心持续演进。

参考文献

- [1] Tan, Z., Tian, S., Yang, Z., Li, C., Luo, C., et al. (2024). The Interaction Effects of Autonomous Vehicle Deceleration Style and Ehmi Presence on Pedestrian Crossing Intentions in the Chinese Traffic Environment. SSRN.
- [2] Wilbrink, M., Cieler, S., Weiß, S. L., Beggiano, M., Joisten, P., et al. (2023). Principles for External Human-Machine Interfaces. Information.
- [3] Zheng, N., Li, J., Zhang, Y., & Tei, K. (2025). Exploring the Impact of eHMI Display Location and Vehicle Type on Pedestrian Perceptions: A VR User Study. IEEE Access.
- [4] 吴泽鹏. (2024). 基于情境意识的自动驾驶车辆与行人交互场景下的eHMI设计研究. 北京交通大学.
- [5] 李芷洁. (2025). 基于AHP的汽车车外人机交互设计研究. 《鞋类工艺与设计》.