

针对行人年龄因素影响的eHMI速度显示设计探讨

李玉琳, 徐 聪*

重庆邮电大学传媒艺术学院, 重庆

收稿日期: 2026年8月4日; 录用日期: 2026年8月27日; 发布日期: 2026年9月8日

摘 要

目的: 针对L4/L5自动驾驶情境下不同年龄行人对eHMI速度信息界面理解是否一致的问题, 比较青年与中老年群体的客观决策效率与主观体验, 识别具有跨年龄适用性的界面形式。方法: 采用标准化视频实验法, 招募47名参与者并按年龄分为两组, 在固定车辆运动学条件下呈现无eHMI、文字、图案、图文组合四种界面, 记录过街决策时间并评估有效性、易理解性、安全感、使用意向, 用混合重复测量方差分析与线性混合模型分析。结果: 年龄对决策时间无显著主效应, 但在主观评价上与界面类型存在显著交互: 中老年组偏好直观的纯图案, 青年组偏好图文组合。结论: 年龄差异主要作用于界面偏好与体验, 而非决策效率; 区别于以往多局限于单一年龄或单一界面的研究, 本文在统一运动学条件下对不同年龄群体与不同编码形式进行了系统比较, 提出以直观图案为核心、适度补充文本的形式更具跨年龄适用性。

关键词

年龄差异, 外部人机界面(eHMI), 自动驾驶汽车, 人车交互, 跨年龄适用性

A Study on eHMI Speed Display Design Considering the Influence of Pedestrian Age

Yulin Li, Cong Xu*

College of Communication Art, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing

Received: August 4, 2026; accepted: August 27, 2026; published: September 8, 2026

Abstract

Objective: To compare objective decision-making efficiency and subjective experience between

*通讯作者。

文章引用: 李玉琳, 徐聪. 针对行人年龄因素影响的 eHMI 速度显示设计探讨[J]. 交叉科学快报, 2026, 10(5): 1260-1267. DOI: 10.12677/isl.2026.105148

younger and middle-aged/older pedestrians when interpreting eHMI speed displays in L4/L5 automated-driving scenarios, and identify display formats applicable across age groups. **Methods:** Forty-seven participants were classified into a younger group and a middle-aged/older group. They viewed standardized videos under fixed vehicle kinematics in four conditions: no eHMI, text, icon, and icon-text. Crossing decision time and 5-point ratings of perceived effectiveness, comprehensibility, safety, and intention to use were analyzed using a mixed-design repeated-measures ANOVA and linear mixed-effects models, respectively. **Results:** Age had no significant main effect on decision time, whereas significant age-by-interface interactions were found for all four subjective ratings. Descriptive patterns generally favored icons among middle-aged/older participants and icon-text displays among younger participants. **Conclusion:** Age differences primarily affected interface preference and experience rather than decision efficiency. By systematically comparing age groups and encoding formats under controlled kinematics, this study suggests that intuitive icons supplemented with carefully selected text may offer greater cross-age applicability.

Keywords

Age Differences, External Human-Machine Interface (eHMI), Autonomous Vehicles, Pedestrian-Vehicle Interaction, Cross-Age Applicability

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着 L4/L5 级自动驾驶的发展, 驾驶员眼神、手势等传统交流线索可能减少, 行人需借助车辆运动状态及外部人机交互界面(external human-machine interface, eHMI)判断车辆意图。研究表明, 不同 eHMI 形式会影响让行信息的理解时间[1]; 与车辆运动学协调的动态信号可提前过街启动, 并提升安全感和信任[2]; 运动状态提示也会改变过街时机与安全表现[3]。针对老年行人的研究发现, 视觉探索和对比敏感度与危险识别及安全间隙判断有关, 而步速未显著预测上述任务表现[4]。认知受损者在对比敏感度、色觉、运动知觉和视野等方面表现较弱[5], 说明年龄比较还需关注视觉-认知状态。跨年龄研究也显示, 中老年组步行更慢、安全裕度更小, 视觉搜索策略亦不同[6]。因此, 年龄可能影响 eHMI 的信息传达效果及界面适配性。

已有跨年龄研究表明, 不同年龄群体对 eHMI 的反应并不一致。Hensch 等[7]发现, 青年与老年参与者在 eHMI 信任、感知有用性及故障后的评价调整方面存在差异。一般道路过街研究表明, 老年行人在间隙选择[8]、等待过街精神负荷[9]和双任务步速[10]方面面临特殊困难; 综述进一步指出, 老年人在接近道路阶段可能更谨慎, 但在迈步和穿越阶段更易出现安全问题[11], 加工速度、选择性注意和抑制功能也与过街安全相关[12]。在自动驾驶情境下, 过街行为和 eHMI 评价还受到年龄、界面类型、车辆及环境等因素共同影响[13]。Bellet 等[14]发现, eHMI 可改善老年参与者对车辆制动行为的安全评价, 并缩小其与青年组的差异; 其他研究也发现, 两类群体在信任 and 安全感[15]、过街策略及 eHMI 使用方式[16]上存在差异。自动驾驶接管研究同样表明, 年龄会影响自动化情境下的行为表现[17]; eHMI 效果还取决于其与车辆运动学信息的协调程度[18]。因此, 跨年龄适配性应在统一车辆运动学条件下进行比较。

信息编码形式可能进一步调节年龄差异。文字型和闪烁型 eHMI 均可提高反应速度, 但两者的反应时间无显著差异; 闪烁信号更易短时吸引注意, 文字信息则能维持更久注视[19]。eHMI 表达车辆“状态”

还是“意图”，也会影响信任形成和过街行为[20]。一般标志理解研究发现，符号陌生时，单纯图形可能增加认知难度，图文组合则可缩短理解时间并提高正确率[21]。Guo 等[22]发现，文字及图文组合 eHMI 总体接受度较高，且有助于老年行人和不熟悉交通规则者更快理解。因此，编码形式不存在脱离使用群体的绝对优势，其效果取决于信息复杂度与不同年龄群体认知特点的匹配。

现有研究多聚焦单一年龄群体或单一界面形式，缺乏对不同年龄行人理解速度信息界面的系统比较，尤其较少在统一车辆运动学条件下同步考察客观决策效率与主观体验。随着人口老龄化与自动驾驶技术的发展，如何设计能被不同年龄行人，尤其是年龄较高的行人，有效理解的人车交互系统，已成为紧迫的现实课题。本研究直接回应这一需求，为普适性、包容性 eHMI 设计提供实证依据；其学术创新性主要体现在统一车辆运动学条件下，同时比较年龄差异、界面编码方式、客观决策效率与主观体验。

为此，本文设置无 eHMI、文字、图案和图文组合四种条件，比较青年组与中老年组的过街决策时间及有效性、易理解性、安全感和使用意向，分析年龄与界面类型的主效应和交互作用。围绕上述研究问题，下文第 2 节介绍实验设计与方法。

2. 实验设计与方法

2.1. 实验方法与方案设计

本研究采用组间-组内混合实验设计：年龄组为组间因素，包括青年组和中老年组；界面类型为组内因素，包括无 eHMI、文字、图案和图文组合 4 种条件。为控制道路环境、车辆轨迹及制动过程的影响，研究在三维虚拟环境中统一设置场景与车辆运行过程，并渲染为标准化第一视角视频。实地 Wizard-of-Oz 实验[23]、沉浸式 VR 实验[24]和视频实验[25]均 eHMI 研究常用的实验范式，标准化视频能够重复呈现相同交通事件，减少环境差异和实际交通风险的干扰。已有研究表明，VR 和视频材料可用于考察行人对自动驾驶车辆意图的理解、过街判断及行为反应[26][27]。参与者签署知情同意书并接受统一指导后，以行人第一视角随机观看 4 段测试视频，并在判断“可以开始过街”时立即按键。参考既有研究[28]，过街决策时间定义为车辆前保险杠首次完整进入画面至参与者首次按键的时间间隔，结果以秒计并保留三位小数。视频结束后，参与者采用 5 点李克特量表评价界面的有效性、易理解性、安全感和使用意向，评分前由研究者统一说明各维度。

本研究以车辆前格栅为显示区域，设计文字、图案和图文组合三类速度信息界面。界面仅呈现车辆速度变化和停车状态，不使用可能引发责任歧义的“请通过”等指令[20]；同时避免由颜色单独传递含义，通过形态、数值和状态词辅助理解[21]。实验包括 4 种条件：1) 无 eHMI：格栅无显示；2) 文字：减速时显示速度值和“减速中”，停车后显示“0 km/h”和“已停车”；3) 图案：减速时显示车辆、道路和菱形，停车后以车辆和斑马线表示停车让行；4) 图文组合：同步显示图案、速度值和状态词。研究使用 3D 仿真模拟视频，车辆以 40 km/h 行驶至距行人约 41.6 m 处开始减速，以 1.6 m/s²的恒定减速度行驶约 38.6 m，约 6.9 s 后停在距行人 3 m 处。

2.2. 受测者

本研究共招募 47 名中国籍参与者，其中男性 21 名、女性 26 名，年龄为 18~72 岁。参与者具备完成实验所需功能性视力，无色盲，且具有日常步行经验。依据《中长期青年发展规划（2016—2025 年）》，为扩大两组的年龄间距并增强组间比较的辨识度，研究未系统招募 36~45 岁参与者，将 35 岁及以下划为青年组，46 岁及以上划为中老年组。该分组也符合既有研究关于较高年龄群体具有不同过街决策特征的结论[16][29]。青年组共 26 人，年龄 18~35 岁；中老年组共 21 人，年龄 46~72 岁。实验采用单人测试，在安静室内完成视频观看、按键判断和主观评分，全程约 20~30 min。

2.3. 数据分析方法

数据分析使用 SPSS 完成。对于过街决策时间，首先进行样本协方差矩阵同质性检验，结果均未达到显著水平($p > 0.05$ ，见表 1、表 2)。在此前提下，采用 2 (年龄组：青年组、中老年组) $\times$ 4 (eHMI 类型：无 eHMI、文字、图案、图文组合)的混合设计重复测量方差分析，其中年龄组为组间因素，eHMI 类型为组内因素，以检验二者的主效应及交互效应。对于有效性、易理解性、安全感和使用意向的主观评分数据，采用 Shapiro-Wilk 检验考察数据的正态性，结果显示各 eHMI 条件下的评分均偏离正态分布。结合本研究的组间 - 组内混合设计及同一参与者重复评分的数据结构，采用线性混合模型(Linear Mixed Model, LMM)检验年龄组、eHMI 类型及其交互效应。

Table 1. Age Group $\times$ Different eHMI Conditions
表 1. 年龄组别 $\times$ 不同 eHMI 场景

组别	样本量	eHMI 场景	平均值	标准差	标准误
青年组	26	无	8.423	1.315	0.240
	26	图案	7.746	1.759	0.352
	26	文字	7.767	1.559	0.311
	26	图案 + 文字	6.990	1.281	0.271
中老年组	21	无	8.416	1.096	0.267
	21	图案	7.274	1.840	0.392
	21	文字	7.296	1.614	0.346
	21	图案 + 文字	6.943	1.504	0.302

Table 2. Test of homogeneity of covariance matrices for decision time
表 2. 决策时间的样本协方差矩阵同质性检验

博克斯 M	F	自由度 1	自由度 2	显著性
10.558	0.952	10	8690.892	0.484

3. 研究结果

3.1. 决策时间

根据多变量检验结果显示，场景主效应非常显著($p < 0.001$)，说明四个场景的决策时间平均水平存在明显差异。效应大小偏 $\text{Eta}^2 = 0.651$ ，按 Cohen 的效应量分级阈值属于大效应量，这表明场景因素对决策时间的影响很强。而场景与组别的交互效应不显著，说明两组人在四个场景下的决策时间变化模式没有显著不同，即两组参与者在四种条件下的决策时间变化趋势不存在显著差异。主体内效应检测结果也有相同结论，即场景主效应： $p < 0.001$ ，偏 $\text{Eta}^2 = 0.320$ ，四个场景的决策时间存在显著差异。不存在交互效应，两组在四个场景下的决策时间变化模式没有显著不同。

3.2. 主观评分

有效性、易理解性、安全感和使用意向均存在显著的 eHMI 条件主效应(均 $p < 0.001$)，年龄组主效应均未达到显著水平。四项指标的年龄组与 eHMI 条件交互均达到显著水平，其中易理解性的交互效应最

为明显,使用意向的交互效应相对较弱。经多重比较校正后,四项主观评价呈现一致的总体排序:无 eHMI 条件最低,文字条件居中,图案与图文组合条件最高。图案与图文组合之间的差异均未达到显著水平,而二者均显著高于文字和无 eHMI 条件。这表明外显界面能够提升参与者的主观评价,其中图形信息的总体评价高于单纯文字信息。

年龄组与 eHMI 条件的交互模式结果显示,青年组在四项指标中均对图文组合给出较高评分;较高年龄组在有效性、易理解性和使用意向对图案条件的评分略高于图文组合,在安全感上二者接近。两组差异在无 eHMI 条件下也较为明显,较高年龄组的评分普遍较低。由于上述比较涉及显著交互,具体年龄组内差异仍应以简单效应或计划对比结果为依据。

综上所述,客观行为数据与主观评价共同构成了相互补充的证据链:在本研究条件下,外显界面条件下未观察到年龄组在决策时间上的显著差异,提示其可能具有一定的跨年龄适用潜力;但在主观心理层面,不同年龄群体对信息编码复杂度的适配偏好仍存在显著的分化特征:中老年参与者倾向于低负荷、高直观性的图形表达,而青年参与者则对冗余通道形成的图文组合表现出更稳定的偏好。这为后续深入探讨跨年龄 eHMI 的设计策略提供了实证依据。

4. 讨论

4.1. 年龄效应

本研究未发现年龄对过街决策时间的显著影响,表明在车辆运动一致、eHMI 信息明确时,两组参与者均能较快作出判断。既有研究也指出,年龄差异在客观反应时间上并不稳定,更多体现在主观体验与信任方面[13]。

在无 eHMI 条件下,中老年组的易理解性(1.238)和安全感(1.476)显著低于青年组,这可能与年龄相关的认知变化有关,包括对比敏感度、运动感知及视觉加工速度的变化[5]。引入 eHMI 后,中老年组的评分提升更明显,说明外显信息能够弥补其仅依靠车辆运动线索判断时的不足。

4.2. 界面差异与认知适配

与无 eHMI 相比,三类界面均提高了参与者对车辆状态的理解、安全感和过街意愿致[30]。但不同年龄群体的界面偏好存在差异:中老年组对纯图案的易理解性评分(4.524)高于青年组(4.115),且对纯图案的整体评价高于图文组合;青年组则更偏好图文组合。

这一差异可能源于冗余效应:图形、文字和数值同时呈现时,会在视觉通道中竞争认知资源,增加信息加工负荷[31],青年人可利用文字进行二次确认,而中老年人更适合直接、简洁的图形信息。因此,eHMI 并非信息越多越好,而应与目标群体的认知特点相匹配。需要注意的是,本研究图案未经跨文化和可理解性预测试,因此结论仅表明本研究采用的图案方案优于相应文字方案,不能推断图案普遍优于文字。

4.3. 启示与局限

跨年龄 eHMI 设计应优先保证信息直观、简洁且低歧义,并根据目标群体控制信息冗余。面向中老年人时,应减少视觉元素种类;面向青年人时,可通过图文结合增强信息确认。设计时还需综合考虑认知负荷、使用场景和潜在负面影响[32]。

本研究存在以下局限:首先,样本量较小,且中老年组平均年龄为 53 岁,结论不宜直接推广至 65 岁以上人群。其次,视频实验缺少真实交通风险和身体反应,可能降低参与者的决策阈值。再次,实验仅采用单一车辆运动参数和道路场景,未考察车速、减速度及道路条件的影响。最后,各界面在配色、复

杂度和动态元素方面存在差异, 年龄也可能影响参与者对这些因素的敏感性, 因此界面差异不能完全归因于编码形式。未来可扩大老年样本, 并结合眼动、沉浸式 VR 和实地实验, 检验研究结论的稳定性。

5. 结论

本研究基于视频化过街情境, 探究不同年龄群体在无 eHMI、文字、图案及图文组合四种条件下的行为响应与主观评价。结果表明, 年龄对过街决策时间无显著影响, 说明在车辆运动线索一致、界面含义明确时, 不同年龄参与者均能较快完成判断。年龄差异主要体现在主观体验上, 即不同群体对 eHMI 形式的理解与偏好存在差异。与无 eHMI 相比, 外显界面整体提升了参与者的主观评价, 表明 eHMI 有助于增强行人对车辆意图和状态的理解。简洁的图案界面更适合中老年组, 有利于降低认知负荷、促进直观判断; 图文组合在青年组中评价更高, 体现了信息确认与完整性方面的优势。因此, 界面形式并无绝对优劣, 而应与不同年龄群体的信息加工特点相匹配。跨年龄 eHMI 设计应以直观图案作为通用视觉基础, 并根据目标群体的认知特征适当补充文字或数值信息, 兼顾快速感知与判断确认, 为自动驾驶车辆 eHMI 的普适化设计提供参考。

参考文献

- [1] Noomwongs, N., Kitpramongsri, N., Chantranuwathana, S. and Phanomchoeng, G. (2025) Evaluating Visual eHMI Formats for Pedestrian Crossing Confirmation in Electric Autonomous Vehicles: A Comprehension-Time Study with Simulation and Preliminary Field Validation. *World Electric Vehicle Journal*, **16**, Article 485. <https://doi.org/10.3390/wevj16090485>
- [2] Lau, M., Wilbrink, M. and Oehl, M. (2024) Matching vs. Mismatching Signals of External Human-Machine Interface and Vehicle Kinematics: An Examination of Pedestrian Crossing Behavior and Trust, Safety, and Affective Ratings in Interactions with Differently Sized Automated Vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **107**, 1092-1104. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.10.022>
- [3] Song, Y., Chen, X., Zhang, J., Tian, J., Zhang, L., Ma, G., et al. (2024) Road-Crossing Behavior and Safety of Pedestrians Facing Autonomous Vehicles with an Acceleration Indicator eHMI in VR Traffic Flow. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **107**, 589-606. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.09.023>
- [4] Anic, A., McGuckian, T.B., Carrigan, A.J., Wilson, P., Greene, D.A., Duckworth, J., et al. (2026) Crossing Confidently: The Role of Walking Speed and Visual Exploration in Older Adults' Street-Crossing Decisions. *Safety Science*, **198**, Article ID: 107149. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2026.107149>
- [5] Xu, Y., Aung, H.L., Hesam-Shariati, N., Keay, L., Sun, X., Phu, J., et al. (2024) Contrast Sensitivity, Visual Field, Color Vision, Motion Perception, and Cognitive Impairment: A Systematic Review. *Journal of the American Medical Directors Association*, **25**, Article ID: 105098. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2024.105098>
- [6] Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J., Tournier, I. and Vienne, F. (2014) Crossing a Two-Way Street: Comparison of Young and Old Pedestrians. *Journal of Safety Research*, **50**, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.03.008>
- [7] Hensch, A., Kreiig, I., Beggiato, M. and Krems, J.F. (2022) The Effect of eHMI Malfunctions on Younger and Elderly Pedestrians' Trust and Acceptance of Automated Vehicle Communication Signals. *Frontiers in Psychology*, **13**, Article 866475. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866475>
- [8] Oxley, J.A., Ihlen, E., Fildes, B.N., Charlton, J.L. and Day, R.H. (2005) Crossing Roads Safely: An Experimental Study of Age Differences in Gap Selection by Pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, **37**, 962-971. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.04.017>
- [9] 张惠玲, 彭丹, 庞鲜鲜. 基于眼动特征的信号交叉口老年人等待过街精神负荷分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(24): 10530-10539.
- [10] Eggenberger, P., Tomovic, S., Mnzer, T. and de Bruin, E.D. (2017) Older Adults Must Hurry at Pedestrian Lights! A Cross-Sectional Analysis of Preferred and Fast Walking Speed under Single- and Dual-Task Conditions. *PLOS ONE*, **12**, e0182180. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182180>
- [11] Carrigan, A., McGuckian, T.B., Prabhakaran, P., Tasnim, N., McCracken, G. and Bennett, J.M. (2025) Towards a Model for Understanding the Pedestrian Behaviours of Older Adults with and without Cognitive Impairment: A Systematic Review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **114**, 1142-1160. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.07.001>

- [12] Valos, N. and Bennett, J.M. (2023) The Relationship between Cognitive Functioning and Street-Crossing Behaviours in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **99**, 356-373. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.018>
- [13] Man, S.S., Huang, C., Ye, Q., Chang, F. and Chan, A.H.S. (2025) Pedestrians' Interaction with eHMI-Equipped Autonomous Vehicles: A Bibliometric Analysis and Systematic Review. *Accident Analysis & Prevention*, **209**, Article ID: 107826. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107826>
- [14] Bellet, T., Laurent, S., Bornard, J., Hoang, I. and Richard, B. (2022) Interaction between Pedestrians and Automated Vehicles: Perceived Safety of Yielding Behaviors and Benefits of an External Human-Machine Interface for Elderly People. *Frontiers in Psychology*, **13**, Article 1021656. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1021656>
- [15] Sahaï, A., Puscasu, O. and Métayer, N. (2024). Age-Based Differences in Pedestrians' Feeling of Trust and Safety When Crossing in Front of a Real Communicating Self-Driving Car during Daytime or Nighttime. *AHFE International*, Nice, 24-27 July 2024, 94-104. <https://doi.org/10.54941/ahfe1005468>
- [16] Lee, Y.M., Madigan, R., Wang, Y., Garcia, J., Qin, H., Srinivasan, A., et al. (2026) Crossing in the Dark: Investigating the Effect of Vehicle Kinematics and eHMI on Older Pedestrians' Crossing Behavior in a Virtual Reality Experiment. *Journal of Safety Research*, **96**, 315-328. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2026.01.012>
- [17] Pan, H., Payre, W., Xu, J. and Koppel, S. (2024) Age-Related Differences in Takeover Performance: A Comparative Analysis of Older and Younger Drivers in Prolonged Partially Automated Driving. *Traffic Injury Prevention*, **25**, 968-975. <https://doi.org/10.1080/15389588.2024.2352788>
- [18] Lau, M., Nguyen, H.P., Jipp, M. and Oehl, M. (2024) From Visions to Reality: Investigating the Interplay of Vehicle Kinematics and Light-Band eHMI in a Real Vehicle Study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **103**, 79-95. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.03.004>
- [19] Eisma, Y.B., van Gent, L. and de Winter, J. (2023) Should an External Human-Machine Interface Flash or Just Show Text? A Study with a Gaze-Contingent Setup. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **97**, 140-154. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.07.005>
- [20] Eisele, D., Kraus, J., Schlemer, M.M. and Petzoldt, T. (2024) Should Automated Vehicles Communicate Their State or Intent? Effects of eHMI Activations and Non-Activations on Pedestrians' Trust Formation and Crossing Behavior. *Multimedia Tools and Applications*, **84**, 24405-24429. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-20497-0>
- [21] Hung, Y. and Tan, Y. (2024) How Symbol and Text Combine to Promote Sign Comprehension: Evidence from Eye-Tracking. *Displays*, **83**, Article ID: 102709. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2024.102709>
- [22] Guo, J., Yuan, Q., Yu, J., Chen, X., Yu, W., Cheng, Q., et al. (2022) External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicles from Pedestrians' Perspective: A Survey Study. *Sensors*, **22**, Article 3339. <https://doi.org/10.3390/s22093339>
- [23] Bindshädel, J., Weimann, P. and Kiesel, A. (2023) Using Ehmi, Acoustic Signal, and Pitch Motion to Communicate the Intention of Automated Vehicles to Pedestrians: A Wizard of Oz Study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **97**, 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.06.017>
- [24] Park, J., Kim, N., Park, S., Park, G., Jung, S. and Ji, Y.G. (2025) I'm Going to Stop, Will You Cross? The Impact of Vehicle's eHMI on Pedestrian's Decision-Making. In: Krömker, H., Ed., *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. HCII 2025*, Springer, 181-193. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92692-1_11
- [25] Zhao, X., Li, X., Rakotonirainy, A., Bourgeois-Bougrine, S., Gruyer, D. and Delhomme, P. (2023) The 'Invisible Gorilla' during Pedestrian-AV Interaction: Effects of Secondary Tasks on Pedestrians' Reaction to eHMIs. *Accident Analysis & Prevention*, **192**, Article ID: 107246. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107246>
- [26] Dang, M., Jin, Y., Hang, P., Crosato, L., Sun, Y. and Wei, C. (2024) Coupling Intention and Actions of Vehicle-Pedestrian Interaction: A Virtual Reality Experiment Study. *Accident Analysis & Prevention*, **203**, Article ID: 107639. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107639>
- [27] Feng, Y., Xu, Z., Farah, H. and Arem, B.V. (2025) Does Another Pedestrian Matter? A Virtual Reality Study on the Interaction between Multiple Pedestrians and Autonomous Vehicles in Shared Space. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **26**, 196-209. <https://doi.org/10.1109/tits.2024.3482558>
- [28] Devi Subramanian, L., O'Neal, E.E., Kim, N., Noonan, M., Plumert, J.M. and Kearney, J.K. (2024) Deciding When to Cross in Front of an Autonomous Vehicle: How Child and Adult Pedestrians Respond to eHMI Timing and Vehicle Kinematics. *Accident Analysis & Prevention*, **202**, Article ID: 107567. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107567>
- [29] Alhawiti, A., Kwigizile, V., Oh, J., Asher, Z.D., Hakimi, O., Aljohani, S., et al. (2024) The Effectiveness of eHMI Displays on Pedestrian-Autonomous Vehicle Interaction in Mixed-Traffic Environments. *Sensors*, **24**, Article 5018. <https://doi.org/10.3390/s24155018>
- [30] Lau, M., Lee, J., Kitazaki, S., Daimon, T. and Oehl, M. (2024) Investigating Implicit and Explicit Communication of Highly Automated Vehicles in Japan: How Do Light-Band eHMIs Affect Pedestrians' Willingness to Cross, Trust and Perceived Safety? *Accident Analysis & Prevention*, **207**, Article ID: 107719. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107719>

-
- [31] Albers, F., Trypke, M., Stebner, F., Wirth, J. and Plass, J.L. (2023) Different Types of Redundancy and Their Effect on Learning and Cognitive Load. *British Journal of Educational Psychology*, **93**, 339-352.
<https://doi.org/10.1111/bjep.12592>
- [32] Brill, S., Payre, W., Debnath, A., Horan, B. and Birrell, S. (2023) External Human-Machine Interfaces for Automated Vehicles in Shared Spaces: A Review of the Human-Computer Interaction Literature. *Sensors*, **23**, Article 4454.
<https://doi.org/10.3390/s23094454>