

智能网联汽车人机交互场景测评方法研究

黄阳^{1,2}, 黄俊富^{1,2}, 潘登^{1,2}, 杨良义^{1,2}, 易侃^{1,2}, 王占锐²

(1. 智能汽车安全技术全国重点实验室, 重庆 401122; 2. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122)

摘要: 汽车座舱内的人机交互智能系统一定程度决定了用户的智能体验, 对人机交互进行测试研究, 形成一套完整的人机交互测试评价方法, 可以指导人机交互的设计开发, 实现人机交互的迭代和优化。汽车座舱内功能日益增加, 给用户带来更丰富的体验, 然而功能相同, 人机交互不同, 给用户带来的驾驶体验却大相径庭。基于典型使用场景, 从客观角度, 分析不同车型相同场景下车机系统的响应、驾驶员眼部活动和驾驶员手部活动的差异, 进一步量化评价参数, 形成评价指标, 同时根据五感和五觉, 设计主观评价表对人机交互进行测评。测评结果表明, 该方法具备可操作性和合理性, 能从客观和主观角度全面评估人机交互的优劣。

关键词: 人机交互; 测试评价; 智能座舱; 注视时间

中图分类号: U461.91 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2024.03.05

An Evaluation Method for HMI Scenarios in Intelligent Connected Vehicles

HUANG Yang^{1,2}, HUANG Junfu^{1,2}, PAN Deng^{1,2}, YANG Liangyi^{1,2},
YI Kan^{1,2}, WANG Zhanrui²

(1. National Key Laboratory of Intelligent Vehicle Safety Technology, Chongqing 401122, China;
2. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

Abstract: The HMI intelligent system in the vehicle cabin significantly influences the user's intelligent experience. Testing and researching HMI leads to the establishment of a complete set of HMI testing and evaluation methods, which can guide the design and development of HMI, achieving iterative improvement and optimization of HMI systems. The increasing number of features in the car cabin provides users with a richer experience. However, even with identical functionalities, different HMIs can result in vastly different driving experiences for users. This article, based on typical usage scenarios, objectively analyzes the differences in the system response, driver's eye movements, and hand activities across different vehicle models under the same scenarios. The evaluation parameters are further quantified to form assessment indicators. Additionally, a subjective evaluation form is designed based on the five senses and perceptions to evaluate the HMI. The evaluation results indicate that this method is practical and reasonable, and can comprehensively evaluate the advantages and disadvantages of the HMI from both objective and subjective perspectives.

Keywords: human-machine interaction; test evaluation; intelligent cockpit; fixation time

收稿日期: 2023-10-20 改稿日期: 2023-11-16

基金项目: 重庆市人力资源和社会保障局重庆英才计划(CQYC20220207209); 中国汽车工程研究院股份有限公司科研项目(0002KTCP20230880); 智能驾驶系统实车测试技术能力提升

参考文献引用格式:

黄阳, 黄俊富, 潘登, 等. 智能网联汽车人机交互场景测评方法研究[J]. 汽车工程学报, 2024, 14(3): 376-386.

HUANG Yang, HUANG Junfu, PAN Deng, et al. An Evaluation Method for HMI Scenarios in Intelligent Connected Vehicles[J].

Chinese Journal of Automotive Engineering, 2024, 14(3): 376-386. (in Chinese)



HMI 是 Human Machine Interface (Interaction) 的缩写, 即“人机接口”, 也叫“人机界面/人机交互”。人机界面是系统和用户之间进行交互和信息交换的媒介, 它能实现信息的内部形式与人类可以接受形式之间的转换^[1], 人机交互是实现信息的内部形式与人类可接受形式之间的交互。凡参与人机信息交流的领域都存在人机交互。

汽车的智能化和网联化促使汽车座舱往数字化和信息化方向发展。汽车智能座舱的交互模式已经逐步向多模态交互模式发展, 用户在驾驶过程中需要与多个交互载体进行交互, 同时, 新交互技术的应用, 为智能汽车增加了诸多功能, 也为用户提供了更多的交互选择, 以往机械按键及简单的屏幕布局已经无法满足现有的交互需求, 人机交互设计优化变得十分必要。越来越多的功能堆积, 会带来用户交互负荷的增加, 甚至会影响正常的行车安全, 这更加凸显 HMI 的重要性。为确保驾驶过程中 HMI 有利于行车安全和用户体验, 需要对 HMI 进行测试, 进而促进设计的开发迭代。目的是根据测试评估, 一方面可以对存在的问题进行排查, 精确识别存在的缺陷, 进行改善提高; 另一方面可以总结经验, 制定相对应的开发原则和设计规范, 指导 HMI 的设计开发。

按 SAE 发布的 J3016 自动驾驶标准, 自动驾驶等级分为 5 级^[2]。目前, 大部分量产的智能汽车属于 Level 1-Level 2⁺, 仍然需要驾驶员完成周围环境监测及动态驾驶任务切换, 本文仅针对 Level 3 以下驾驶场景的 HMI 展开测试研究。

1 HMI 测试场景

典型的 HMI 场景主要包括中控屏幕交互、语音交互、方控交互、仪表信息交互, 每一种交互方式, 包含了多种功能的使用, 典型的功能使用场景包括导航、空调、音乐、电话、电台、车辆设置、信息获取、ADAS 等。由于越来越多的功能叠加, 目前 HMI 的设计与呈现形式往往千变万化, 不同的汽车品牌也遵循不同的设计元素^[3], 而且 HMI 的好与坏, 同样的产品, 不同的用户也许会有不一样

甚至截然相反的观点, 如何去测试评价 HMI, 是本文主要研究的内容。

在当前的驾驶环境下, 自动驾驶还不能完全代替人为驾驶, 行车过程中驾驶员仍需保持对路况的注意力集中, 因此, 保证驾驶安全仍然是目前汽车 HMI 设计需要优先考虑的前提。其次, HMI 是搭建人与车之间沟通的桥梁, 保证人机交互的用户体验是汽车 HMI 需要考虑的设计基石。由此可见, 驾驶安全和用户体验是做好 HMI 场景设计和测试的两个重要指标。本文将从驾驶安全、用户体验角度针对测试场景进行测试用例的设计。

驾驶安全, 即测试用户在使用某一项功能时, HMI 的设计是否会更有利于用户行车安全。要让用户在有限的操作时间和视觉注意力调配情况下, 保障驾驶安全, 提高用户操作效率。这就需要确保交互方式更自然、更直观, 适应不同场景下的用户需求, 保证用户能直观理解, 并做出快速的决策^[4]。

用户体验, 即测试用户在操作某一功能时, HMI 的设计是否合理, 让用户能准确无误、高效率地完成操作, 并且可以尽快回到驾驶状态。用户体验要素是设计 HMI 的重要理论之一, 如图 1 所示, 在汽车人机界面中存在由战略层、范围层、结构层、框架层和表现层构成的用户体验元素架构^[5]。

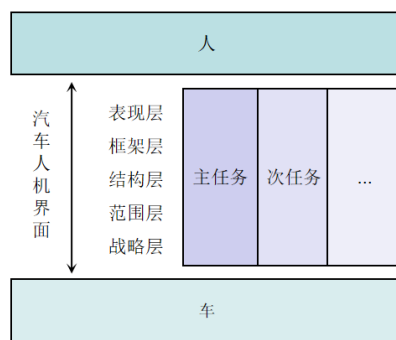


图1 汽车人机界面用户体验五层级

随着层级上升, 元素变得更具体。战略层主要是关注汽车人机界面的战略目标和用户需求。范围层由战略层决定, 包括功能设计和内容需求。结构层包括交互设计和信息架构等, 用来设计用户到达某个页面的路径。框架层包括信息、界面和导航设计, 界面元素的布局和交互方式会影响驾驶员在短

时间内获取关键信息元素并作出下一步判断。表现层指产品具体细节的呈现，如字体、图标、颜色等。

驾驶安全及用户体验是比较宽泛的概念，想要分析评价HMI对其的影响也比较复杂。目前，针对HMI的测试评价多基于用户问卷和访谈结果，或基于专家主观打分等主观测试评价方法，很大程度上受主观和决策偏见影响^[6]。本文在此测试方法基础上，引入了客观评价参数，使用可量化数据并结合算法对HMI进行测试评价，同时结合主观评价对HMI进行综合评价。

从客观测试评价、主观测试评价两个维度展开论述，测试流程如图2所示。

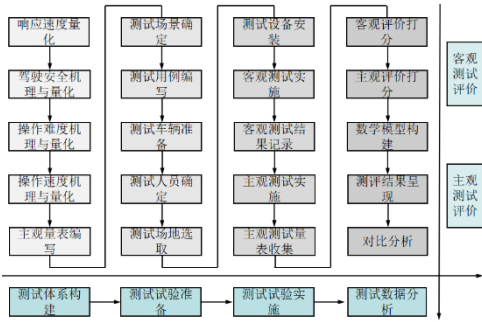


图2 测试流程

2 HMI 客观评价方法

客观评价方法依托测试仪器设备，主要从响应时间、视线离路时间、操作难度、操作快捷度4个方面进行评价。

2.1 响应时间

车辆静止时，通过点击触摸屏（或语音唤醒）启动某应用时，从接触屏幕（或语音命令输入结束）到应用界面完全呈现（或系统提示音）需要的时间。

$$T_x = t_f - t_s \quad (1)$$

式中： T_x 为响应时间； t_f 为应用完全呈现（或系统提示音）时刻； t_s 为触控笔接触屏幕（或语音命令输入结束）时刻。

2.2 视线离路时间

驾驶员驾驶车辆正常行驶时，需要注视^[7]前

表1 响应时间评分

响应时间/s	测试结果对应描述	评分
$0 < T_x \leq 1$	任务响应迅速	3
$1 < T_x \leq 3$	任务响应稍有延迟	2
$3 < T_x \leq 5$	任务响应速度较慢	1
$T_x > 5$	任务响应速度过慢	0

方路面及周边路况以保证驾驶安全，当驾驶员需要去操作某一功能时，视线会不可避免地离开前方路面，移到中控大屏或者仪表位置，完成操作后，驾驶员视线会重新回到前方路面^[8]。那么，在驾驶员操作这个功能的期间，驾驶员视线离开路面的时间 T_s ，就会影响行车安全。

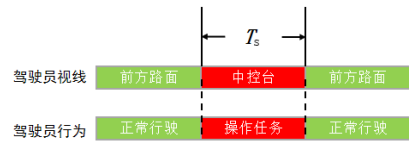


图3 视线离开路面时间

从该角度进行测试评价规程设计，见表2。

表2 视线离路时间评分

视线离路时间/s	结果描述	评分
$0 < T_s \leq 1$	驾驶员视线几乎无需离开路面便可完成任务	3
$1 \leq T_s \leq 3$	驾驶员仅需短暂地对车机进行观察，但不会影响安全驾驶	2
$3 \leq T_s \leq 5$	驾驶员需要花较长时间停留在车机上，会影响驾驶	1
$T_s > 5$	驾驶员需要花较长时间停留在车机上，会严重影响驾驶	0

2.3 操作难度

车辆正常行驶过程中，当驾驶员需要去操作某一功能时，其心理预期是顺利地、无错误地完成操作^[9]。当需要多次操作才能完成一项任务时，会给驾驶员带来烦躁情绪，使其更快疲劳^[10]，影响驾车体验，严重时，甚至会影响到行车安全。从该角度进行测试评价规程设计，见表3。

2.4 操作快捷度

车辆正常行驶过程中，当驾驶员需要去操作某一功能时，其心理预期是能快速完成操作^[11]。当需要长时间操作才能完成一项任务时，会给驾驶员

带来急躁情绪，使其更快疲劳，影响驾车体验，严重时，甚至会影响行车安全。从该角度进行测试评价规程设计，见表4。

表3 操作难度评分

操作次数/次	结果描述	评分
$C=1$	驾驶员只需操作1次即可完成任务	3
$1 < C \leq 3$	驾驶员操作两到三次即可顺利、无错误地完成	2
$3 < C \leq 5$	驾驶员需要经过一定时间学习，或多次尝试/犯错后才能完成任务	1
$C > 5$	驾驶员很难完成该任务	0

表4 操作快捷度评分

完成任务时长/s	结果描述	评分
$0 < T_k \leq 1$	驾驶员可以快速地完成任务	3
$1 < T_k \leq 3$	驾驶员可以在较快时间内完成任务	2
$3 < T_k \leq 5$	驾驶员需要花费一定时间才能完成任务	1
$T_k > 5$	驾驶员需要花费大量时间才能完成任务	0

根据测试场景及已经确定的评分表，可定义各维度的权重，此处仅列举中控屏幕交互部分，见表5。

结合被测车型，根据测试结果和评价标准进行打分。

$$S_{T_x} = (S_{T_{x1}}a_1) + (S_{T_{x2}}a_2) + \dots + (S_{T_{xi}}a_i) \quad (2)$$

$$S_{T_s} = (S_{T_{s1}}b_1) + (S_{T_{s2}}b_2) + \dots + (S_{T_{s25}}b_{25}) \quad (3)$$

$$S_C = (S_{C1}c_1) + (S_{C2}c_2) + \dots + (S_{C25}c_{25}) \quad (4)$$

$$S_{T_k} = (S_{T_{k1}}d_1) + (S_{T_{k2}}d_2) + \dots + (S_{T_{k25}}d_{25}) \quad (5)$$

$$S_{ZK} = S_{T_x} + S_{T_s} + S_C + S_{T_k} \quad (6)$$

式中： S_{ZK} 为中控屏幕交互客观评价总得分； S_{T_x} 为响应时间客观评价得分； S_{T_s} 为视线离路时间客观评价得分； S_C 为操作难度客观评价得分； S_{T_k} 为操作快捷度客观评价得分。

客观评价维度对应的权重系数定义如式(7)所示，该权重可以根据评价需求实际情况进行适当调整。

$$a_n = b_n = c_n = d_n = \frac{1}{25}, n=1, 2, \dots, 25 \quad (7)$$

通过以上相同的方法，可依次得到语音交互客

观得分 S_{YY} 、方控交互客观得分 S_{FK} 和仪表信息交互客观得分 S_{YB} 。定义各维度权重，见表6。

根据以上权重，可以计算客观评价总得分 S 。

$$S = S_{ZK}a_{ZK} + S_{YY}a_{YY} + S_{FK}a_{FK} + S_{YB}a_{YB} \quad (8)$$

3 HMI主观评价方法

主观评价是指在尽量不使用设备的情况下，给测试者一个明确的操作任务，任务完成后，根据测试者的五感和五觉，对该任务涉及的HMI表现作出的评定，再考虑各个方面的权重，得出综合评价。主观评价结果表明评价对象的绝对水平^[12]。

3.1 安全性

在操作场景任务时，人机交互过程中不存在需要分散驾驶员注意力或驾驶员必须花费较多时间才能理解或处理的情况^[13]，驾驶员无紧张、害怕的情绪出现，见表8。

3.2 快捷性

驾驶员操作既定任务简单、快捷，能快速完成操作，并快速实现预期的效果，见表9。

3.3 有效性

驾驶员操作时，能一次成功，在正确操作的情况下，无失败的情况出现，见表10。

3.4 舒适性

在驾驶员操作场景任务时，操作方便、舒适，无复杂繁琐的操作。界面层级清楚，色彩合理，营造一种舒适的交互环境，见表11。

3.5 创新性

新颖且有效的交互方式，见表12。

结合被测试车型在各测试场景下的表现情况，在5个维度下进行主观评价打分， $S_{11} \sim S_{55}$ 分值区间为1~10分，综合得分情况给出最终评价。

$$S_1 = (S_{11}e_1) + (S_{12}e_2) + \dots + (S_{18}e_8) \quad (9)$$

$$S_2 = (S_{21}f_1) + (S_{22}f_2) + \dots + (S_{28}f_8) \quad (10)$$

$$S_3 = (S_{31}g_1) + (S_{32}g_2) + \dots + (S_{38}g_8) \quad (11)$$

表 5 中控屏幕交互测试

交互方式	功能	测试用例	T_x		T_s		C		T_k	
			得分	权重	得分	权重	得分	权重	得分	权重
中控屏幕交互	导航	导航回家 (已设置“家”的位置)	$S_{T, x1}$	a_1	$S_{T, s1}$	b_1	S_{C1}	c_1	$S_{T, k1}$	d_1
		导航过程中, 沿途搜加油站	$S_{T, x2}$	a_2	$S_{T, s2}$	b_2	S_{C2}	c_2	$S_{T, k2}$	d_2
		将导航播报模式切换至“简洁播报”	$S_{T, x3}$	a_3	$S_{T, s3}$	b_3	S_{C3}	c_3	$S_{T, k3}$	d_3
		搜索并导航至附近的停车场	$S_{T, x4}$	a_4	$S_{T, s4}$	b_4	S_{C4}	c_4	$S_{T, k4}$	d_4
		将导航播报静音	$S_{T, x5}$	a_5	$S_{T, s5}$	b_5	S_{C5}	c_5	$S_{T, k5}$	d_5
	空调	打开空调界面	$S_{T, x6}$	a_6	$S_{T, s6}$	b_6	S_{C6}	c_6	$S_{T, k6}$	d_6
		调高空调温度	$S_{T, x7}$	a_7	$S_{T, s7}$	b_7	S_{C7}	c_7	$S_{T, k7}$	d_7
		调大空调风量	$S_{T, x8}$	a_8	$S_{T, s8}$	b_8	S_{C8}	c_8	$S_{T, k8}$	d_8
		将空调循环模式切换至外循环	$S_{T, x9}$	a_9	$S_{T, s9}$	b_9	S_{C9}	c_9	$S_{T, k9}$	d_9
		打开前窗除雾	$S_{T, x10}$	a_{10}	$S_{T, s10}$	b_{10}	S_{C10}	c_{10}	$S_{T, k10}$	d_{10}
	音乐	导航界面打开音乐	$S_{T, x11}$	a_{11}	$S_{T, s11}$	b_{11}	S_{C11}	c_{11}	$S_{T, k11}$	d_{11}
		暂停音乐播放	$S_{T, x12}$	a_{12}	$S_{T, s12}$	b_{12}	S_{C12}	c_{12}	$S_{T, k12}$	d_{12}
		切换至下一首歌	$S_{T, x13}$	a_{13}	$S_{T, s13}$	b_{13}	S_{C13}	c_{13}	$S_{T, k13}$	d_{13}
		浏览歌曲库, 并选择一首歌播放	$S_{T, x14}$	a_{14}	$S_{T, s14}$	b_{14}	S_{C14}	c_{14}	$S_{T, k14}$	d_{14}
		收藏歌曲	$S_{T, x15}$	a_{15}	$S_{T, s15}$	b_{15}	S_{C15}	c_{15}	$S_{T, k15}$	d_{15}
	电话	接听来电	$S_{T, x16}$	a_{16}	$S_{T, s16}$	b_{16}	S_{C16}	c_{16}	$S_{T, k16}$	d_{16}
		拨打给某个最近联系人	$S_{T, x17}$	a_{17}	$S_{T, s17}$	b_{17}	S_{C17}	c_{17}	$S_{T, k17}$	d_{17}
		拨打电话 10086	$S_{T, x18}$	a_{18}	$S_{T, s18}$	b_{18}	S_{C18}	c_{18}	$S_{T, k18}$	d_{18}
	电台	导航界面打开网络电台	$S_{T, x19}$	a_{19}	$S_{T, s19}$	b_{19}	S_{C19}	c_{19}	$S_{T, k19}$	d_{19}
		浏览网络电台, 并选择一个进行播放	$S_{T, x20}$	a_{20}	$S_{T, s20}$	b_{20}	S_{C20}	c_{20}	$S_{T, k20}$	d_{20}
	设置	断开手机蓝牙	$S_{T, x21}$	a_{21}	$S_{T, s21}$	b_{21}	S_{C21}	c_{21}	$S_{T, k21}$	d_{21}
		开启儿童锁	$S_{T, x22}$	a_{22}	$S_{T, s22}$	b_{22}	S_{C22}	c_{22}	$S_{T, k22}$	d_{22}
		打开氛围灯	$S_{T, x23}$	a_{23}	$S_{T, s23}$	b_{23}	S_{C23}	c_{23}	$S_{T, k23}$	d_{23}
		调节媒体音量	$S_{T, x24}$	a_{24}	$S_{T, s24}$	b_{24}	S_{C24}	c_{24}	$S_{T, k24}$	d_{24}
		打开 360 环视	$S_{T, x25}$	a_{25}	$S_{T, s25}$	b_{25}	S_{C25}	c_{25}	$S_{T, k25}$	d_{25}

表 6 主观评价各维度权重

交互方式	中控屏幕交互	语音交互	方控交互	仪表信息交互
权重	a_{ZK}	a_{YY}	a_{FK}	a_{YB}

$$S_4 = (S_{41}h_1) + (S_{42}h_2) + \dots + (S_{48}h_8) \quad (12)$$

$$S_5 = (S_{51}i_1) + (S_{52}i_2) + \dots + (S_{55}i_5) \quad (13)$$

$$S_s = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \quad (14)$$

式中: S_s 为主观评价总得分; S_1 为安全性主观评价得分; S_2 为舒适性主观评价得分; S_3 为便捷性主观

表 7 主观评价表

等级	稍差	合格	良好	优秀
评分	1~3	3~5	5~7	7~10
评价	差	稍差	较好	很好
感觉	不能容忍	轻微讨厌	有点不舒服	没有不舒服
缺陷	功能丧失, 严重缺陷	有缺陷, 要改进	较少	较少, 几乎感觉不到

表8 安全性评价

维度	项目	分值	权重
安全性	方向盘按钮无需注视就能用拇指操作	S ₁₁	e ₁
	在各主视图间切换不需要长时间注视屏幕	S ₁₂	e ₂
	可以在开车时安全地完成需要多步操作的任务	S ₁₃	e ₃
	是否可以安全地进行ADAS相关的操作	S ₁₄	e ₄
	浏览、选中不需要长时间注视屏幕	S ₁₅	e ₅
	呈现内容的方式易于察觉，在视线中心向外舒适范围内	S ₁₆	e ₆
	图标的表意性清晰易懂，不易懂的图标有文字注释	S ₁₇	e ₇
	主次颜色配色合理不杂乱，多种颜色之间是协调的	S ₁₈	e ₈

表9 快捷性评价

维度	项目	分值	权重
快捷性	语音应答的话简短，发音顺畅自然	S ₂₁	f ₁
	不会显著地感觉到延迟	S ₂₂	f ₂
	控制器（按钮，卡片）都位于手易于触达的范围内	S ₂₃	f ₃
	最小号的文字也能快速辨识	S ₂₄	f ₄
	开车时打开、切换常用应用的效率非常高	S ₂₅	f ₅
	高频功能在位置、面积、层级等被给予了更高的优先级	S ₂₆	f ₆
	观察外观能直觉地理解控件的操作方式	S ₂₇	f ₇
	呈现内容简洁清晰，可以被迅速理解	S ₂₈	f ₈

评价得分；S₄为智能化主观评价得分；S₅为图像界面主观评价得分。

主观评价维度对应的权重系数定义如式（15）所示，主观评价权重可以根据评价需求实际情况进行适当调整。

$$\begin{cases} e_n = \frac{1}{8}, n = 1, 2, \dots, 8 \\ f_n = \frac{1}{8}, n = 1, 2, \dots, 8 \\ g_n = \frac{1}{8}, n = 1, 2, \dots, 8 \\ h_n = \frac{1}{8}, n = 1, 2, \dots, 8 \\ i_n = \frac{1}{8}, n = 1, 2, \dots, 5 \end{cases} \quad (15)$$

式中：e_n，f_n，g_n，h_n，i_n为主观评价各分项中的权重。

4 HMI 测试

4.1 测试条件

4.1.1 车辆

需满足以下基本要求：

- 1) M1类汽车；
- 2) 中控屏像素密度，PPI≥150；
- 3) 具备导航功能；
- 4) 具备网络音乐功能；
- 5) 具备网络电台功能；
- 6) 具备手机互联或车联网功能；
- 7) 支持应用可下载安装，应用数量≥5个。

4.1.2 道路

需满足以下基本要求：

- 1) 试验车道为双车道、直道；
- 2) 车道长度≥2 km；
- 3) 道路环境为封闭道路。

表10 有效性评价

维度	项目	分值	权重
有效性	语音识别不会出现显著的识别错误	S ₃₁	g ₁
	能把有轻微说错（或者带有口音）的句子纠正过来	S ₃₂	g ₂
	随时方便地取消语音输入，可以随时方便地终止语音对话过程	S ₃₃	g ₃
	帮助用户了解失败的原因或引导用户进行正确的操作	S ₃₄	g ₄
	输入文本时可以自由修正已输入指令的错误（地址、文本等）	S ₃₅	g ₅
	提醒驾驶员执行任务时，给予用户明确的指令，减少反应时间	S ₃₆	g ₆
	图标触碰区域是否足够	S ₃₇	g ₇
	返回上一级、退出模态的操作方式是稳定可靠的	S ₃₈	g ₈

表 11 舒适性评价

维度	项目	分值	权重
舒适性	在多轮语音交互中理解前面语句所提供的意图和参数上下文	S ₄₁	h ₁
	用修饰词让语句不显得机械生硬	S ₄₂	h ₂
	除非必要，不会主动向用户说话打扰用户	S ₄₃	h ₃
	界面元素按照优先级设计了明确的视觉层次	S ₄₄	h ₄
	条目的陈列顺序简单清晰、文字简洁易读	S ₄₅	h ₅
	信息按照优先级来分配了各自展示的区域	S ₄₆	h ₆
	信息进行了有效的可视化，易于查看	S ₄₇	h ₇
	对 AI 的名字，以及 AI 对主人的称呼语进行自定义	S ₄₈	h ₈

表 12 创新性评价

维度	项目	分值	权重
创新性	语音应答的话语多样丰富	S ₅₁	i ₁
	语音形象生动有趣（是否有似五官的形象）	S ₅₂	i ₂
	交互方式多样且有效	S ₅₃	i ₃
	有新的交互技术的运用	S ₅₄	i ₄
	新的交互方式的使用体验	S ₅₅	i ₅

4.1.3 人员

挑选 10 名不同性别、不同年龄段的测试人员，要求驾龄 ≥ 5 年，见表 13。

表 13 测试人员分布

年龄/岁	男	女
20~29	2	2
30~39	1	1
40~49	1	1
50~59	1	1

注：根据车型目标客户，可调整测试人员数量和分布，增加人员职业、身高、体重等要求。

4.2 测试设备

眼动仪：该设备由德国 Ergoncers 公司出品，如图 4 所示，主要采集驾驶员的眼动数据，对眼动数据进行分析研究。其功能包括记录所有原始数据（包括瞳孔坐标、瞳孔尺寸、注视点坐标等），数据统计分析（包括自动计算凝视、扫视、水平搜索、垂直搜索、注视次数、注视时间等）。本试验中主要用于测试视线离开路面的时间、操作屏幕次数和操作任务总时长。



图 4 眼动仪

智能交互设备：智能交互测试设备由人工嘴、高帧摄像头、拾音器、触控笔组成，如图 5 所示。分别模拟人去完成说、看、听、触控动作，同时通过软件操作系统记录对应的数据，并进行数据分析处理。本试验中主要用于测试响应时间。



图 5 智能交互设备

视频记录设备：采用 Papago N291 进行试验视频采集，如图 6 所示。



图 6 视频记录设备

4.3 测试过程

选定4款车型，根据设计的测试场景及用例，搭建好测试设备后，逐个进行测试，试验中采集响应时间、视线离路时间、操作屏幕次数、操作任务总时长等参数，同时收集不同测试人员的主观评分表。

测试前，需要编写测试用例，按照测试用例执行。测试用例主要包含测试场景、试验维度、试验条件、测试步骤、数据指标等内容。试验条件为：

- 试验车速：40±5 km/h；
- 试验道路：直道；
- 试验天气：晴。

测试过程中，记录的数据应确保有效性，需要确认是否存在干扰因素以及是否满足试验条件。主要的测试干扰因素有：其他道路参与者的干扰；被测者身体条件、身体状态干扰；测试车辆状态的干扰。主要试验条件包括试验车速、试验天气、试验设备点检情况等。若判定存在测试干扰或不满足试验条件，需要重新进行测试。如图7~9所示。



图7 试验车辆



图8 客观测试

试验过程中，可编辑试验数据记录表，见表14。

表 14 试验数据记录表

场景	功能	测试用例	参数			
			T_x/s	T_y/s	$C/次$	T_k/s
中控屏幕交互	导航	导航回家（已设置“家”的位置）				
		导航过程中，沿途搜加油站				
		...				
	空调	打开空调界面				
		调高空调温度				
		...				
	音乐	导航界面打开音乐				
		暂停音乐播放				
		...				
	电话	接听来电				
		...				
	电台	导航界面打开网络电台				
...						
设置	断开手机蓝牙					
	...					
		打开360环视				



图9 主观测试

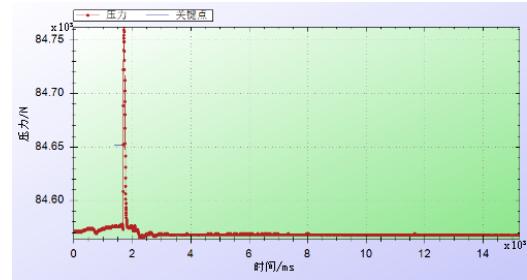


图12 触控笔压力曲线

5 HMI 评价及试验结果

5.1 客观评价及试验结果

试验完成后，通过智能交互设备和眼动仪分析软件，进行数据分析和提取。

某车型语音响应时间结果，某车型操作难度结果如图 10~13 所示。

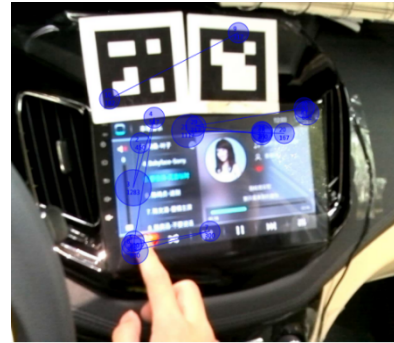


图13 点击屏幕次数

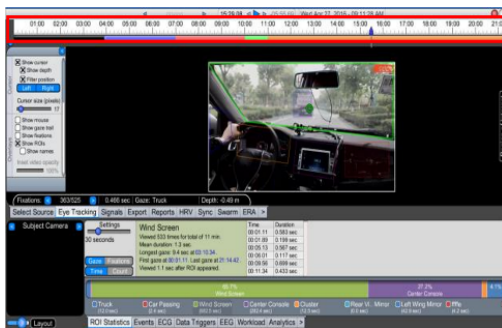


图10 软件分析界面（图中红框内为时间轴）

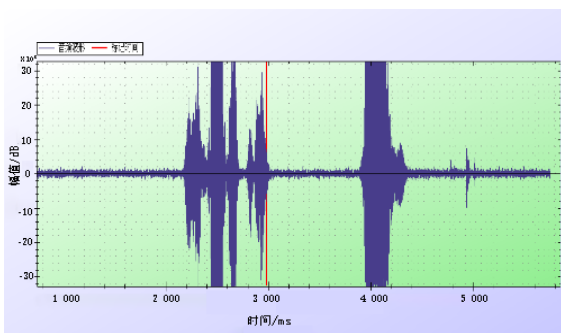


图11 语音波形图

为消除不可控因素，保证测试结果准确性，本文中被测者为 10 人，测试结果取平均值，如式 (16) 所示。

$$S_k = \frac{\sum_{n=1}^{10} S_{Bn}}{10} \quad (16)$$

式中： S_k 为该用例评价总得分； S_{Bn} 为每个被测客观评价总得分。

根据测试结果和得分，如图 14 所示，可以进行车型的横向对比、最大值分析和趋势分析等，以指导 HMI 的设计开发和对标测试工作。

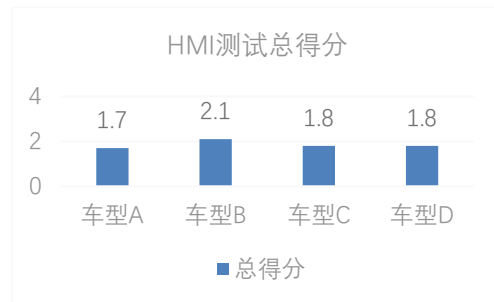


图14 各车型客观评价对比

5.2 主观评价及试验结果

挑选的不同年龄段、不同性别的 10 位测试人员，可根据主观评分表打分后取平均值，通过雷达图得出主观评价结果，如图 15~16 所示。

6 结论

本文基于典型 HMI 使用场景，从用户角度出发，以驾驶安全和用户体验为切入点，从客观和主

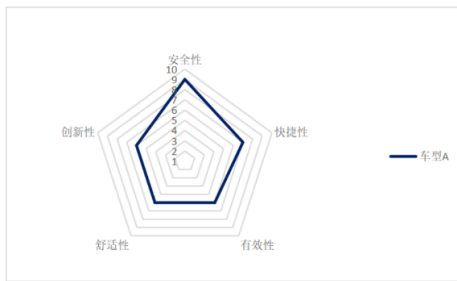


图15 车型A评价结果

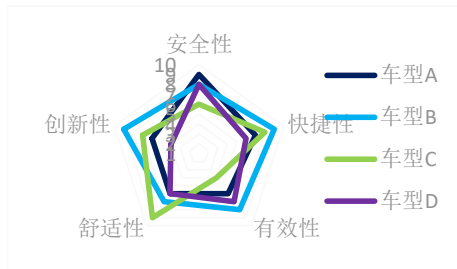


图16 各车型主观评价对比

观两个角度对HMI进行测试评价。客观评价从响应时间、视线离路时间、操作难度和操作快捷度4个维度，制定参数化指标，通过测试过程中车机系统的响应快慢、驾驶员眼部和手部的活动评价HMI的优劣。主观评价从安全性、快捷性、有效性、舒适性、创新性5个维度通过主观测评表展开测评。测试结果表明，该方法可行且具备较好的可操作性，在进行HMI设计开发和对标测试过程中，可按照该方法对HMI进行迭代更新，从而提高汽车人机交互水平及座舱智能化水平。

未来可以研究特殊场景下驾驶员的生理、心理特征变化，针对与HMI相关的可量化的生理和心理参数进行研究。

参考文献 (References)

- [1] 李国武,张雁忠,黄巍松,等.基于IEC61850的分布式能源智能监控终端通信模型[J].电力系统自动化,2013,37(10):13-18.
LI Guowu, ZHANG Yanzhong, HUANG Weisong, et al. A Distributed Energy Intelligent Monitoring Terminal Communication Model Based on IEC61850 [J]. Power System Automation, 2013, 37(10):13-18. (in Chinese)
- [2] SAE International. Surface Vehicle Recommended Practice (R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles: SAE J3016TM 2018[S]. 2018:19.
- [3] 李雅竹.多模态交互视角下汽车HMI设计研究[J].汽车测试报告,2022(17):3-4.
LI Yazhu. Research on Automotive HMI Design from the Perspective of Multimodal Interaction [J]. Automotive Test Report, 2022(17):3-4. (in Chinese)
- [4] 王黎文,周同乐,吴庆宪,等.多层级联合任务规划人机交互界面设计研究[J].工业控制计算机,2021,34(9):25-27,30.
WANG Liwen, ZHOU Tongle, WU Qingxian, et al. Research on the Design of Human-Machine Interaction Interface for Multi-Layer Joint Task Planning[J]. Industrial Control Computer, 2021, 34(9):25-27,30. (in Chinese)
- [5] 由芳,谢雨锬,岳天阳,等.基于团队态势感知的汽车HMI评测与设计方法[J].图学学报,2021,42(6):2-3.
YOU Fang, XIE Yukun, YUE Tianyang, et al. Evaluation and Design Method of Automotive HMI Based on Team Situation Awareness [J]. Journal of Graphics, 2021, 42(6):2-3. (in Chinese)
- [6] 王亚辉.智能汽车座舱人机交互认知机制与评价方法研究[D].西安:西北工业大学,2019.
WANG Yahui. Research on the Cognitive Mechanism and Evaluation Method of Intelligent Vehicle Cockpit Human-Computer Interaction [D]. Xi'an: Northwest University of Technology, 2019:40-41. (in Chinese)
- [7] 高君.基于眼动信息的电动汽车导航系统人机交互研究[D].南京:东南大学,2017.
GAO Jun. Research on Human Machine Interaction of Electric Vehicle Navigation System Based on Eye Movement Information [D]. Nanjing: Southeast University, 2017. (in Chinese)
- [8] 李之红.基于实车眼动试验的驾驶员注视行为建模分析[J].科学技术与工程,2018,18(11):312-317.
LI Zhihong. Modeling Analyses on Driver's Gazing

- Behavior Based on Real Vehicle Eye Movement Experiment [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(11): 312-317. (in Chinese)
- [9] 李帅帅. 汽车 HMI 的发展趋势研究[J]. 今传媒, 2020(1): 91-93.
LI Shuaishuai. Research on the Development Trend of Automotive HMI[J]. Today's Media, 2020(1): 91-93. (in Chinese)
- [10] 刘明周, 蒋倩男, 扈静. 基于面部几何特征及手部运动特征的驾驶员疲劳检测[J]. 机械工程学报, 2019, 55(2): 21-25.
LIU Mingzhou, JIANG Qiannan, HU Jing. Based on Facial Geometric Features and Hand Motion Characteristics Driver Fatigue Detection [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(2): 21-25. (in Chinese)
- [11] 许为. 再论以用户为中心的设计[J]. 人类工效学, 2017, 23(1): 82-86.
XU Wei. Further Discussion on User Centered Design [J]. Ergonomics, 2017, 23(1): 82-86. (in Chinese)
- [12] 朱宁. 车载互联系统主观评价方法研究[J]. 汽车文摘, 2020(3): 24-30.
ZHU Ning. Research on Subjective Evaluation Methods for Vehicle Interconnection Systems [J]. Automotive Abstracts, 2020(3): 24-30. (in Chinese)
- [13] 周丰, 周俊, 何月雯, 等. 基于 KJ 法和 ANP 法的人机交互界面可用性研究[J]. 科学技术与工程, 2015(2): 243-245.
ZHOU Feng, ZHOU Jun, HE Yuewen, et al. Research on the Usability of Human-Machine Interaction Interfaces Based on KJ and ANP Methods [J]. Science and Technology and Engineering, 2015(2): 243-245. (in Chinese)

作者简介



黄阳 (1987-), 男, 云南镇雄人, 学士, 工程师, 主要研究方向为智能网联汽车测试评价和汽车智能座舱测试技术。

Tel: 18523012518

E-mail: huangyang@caeri.com.cn

通信作者



杨良义 (1980年-), 男, 河南固始人, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为智能网联汽车测试评价技术及标准法规。

Tel: 13658366596

E-mail: yangliangyi@163.com