

面向智能驾驶及智能座舱功能的汽车人机交互界面 HMI 安全评价研究

一、研究背景及概述

智能化与自动驾驶技术的迅猛发展正在引领汽车产业迈向全新的时代。作为实现完全自动驾驶的重要中间阶段，智能辅助驾驶功能（Advanced Driver Assistance Systems, ADAS）在显著提升驾驶安全性与运行效率的同时，也为驾驶体验注入了更多的智能化特性。与此同时，人机交互（Human-Machine Interaction, HMI）作为连接驾驶员与车辆的核心纽带，其设计理念与技术形式不断演进，逐步从传统的物理按键和仪表显示，拓展到语音交互、触控操作、手势识别以及增强现实（Augmented Reality, AR）等多模态交互形式。

智能辅助驾驶功能的有效实施依赖于传感器网络、人工智能算法以及高性能计算平台的深度融合，能够实现包括自动紧急制动、车道保持辅助、自适应巡航等在内的多项关键功能。这些技术的进步在简化驾驶操作的同时，对 HMI 系统提出了更高的要求。HMI 需要在驾驶员监测、信息反馈与任务接管等方面具备更高的响应速度与适应能力，确保驾驶员在复杂驾驶场景中能够迅速理解车辆意图并采取适当行动。因此，研究 ADAS 与 HMI 的基础设计元素及具体交互形式，不仅是推动智能驾驶技术发展的关键，也对优化用户体验具有重要的学术与实际意义。

二、研究内容

4.1 智能驾驶场景的分类与设计要点

随着智能驾驶技术的不断发展，驾驶辅助功能的数量和复杂性快速增长。从早期基础的前向紧急制动（AEB）扩展到覆盖更多细化驾驶场景的功能，同时还出现了如领航辅助（NOA）等集成多种子功能的系统级智能驾驶功能。

从人机交互（HMI）设计的角度出发，智能驾驶功能可以归纳为三类典型场景：紧急控制类、舒适辅助类和提示告警类。这三类场景在实际应用中具有不同的使用目标和交互需求，其HMI设计的重点和原则也各有侧重，对评价框架中六个维度（信息丰富度、注意力唤起度、信息即时性、信息精确度、认知负担与干扰度，以及适用性与多场景表现）的要求存在显著差异。以下对每一类场景及其设计要点进行详细分析。

表 2 智能驾驶功能对不同维度的需求

维度	典型功能	信息丰富度	注意力唤起度	信息即时性	信息精确度	低负担与干扰度	多场景适用度
紧急控制类	AEB/LDP/RCTB	低	高	高	中	低	低
舒适辅助类	NOA/APA/ACC	高	低	中高	中	中	高
提示告警类	DOW/UPA/BSD	中高	中高	中高	中高	中	中

4.2 紧急控制类的设计要点与实例

紧急控制类功能的 HMI 设计以提升驾驶安全为核心目标，其重点在于通过高效的信息传递和显著的注意力唤起方式，帮助驾驶员在极短时间内识别风险并采取适当操作。此类设计通常采用多模态提示（如视觉与声音提示）以确保信息的即时性与精确度，同时控制干扰水平，避免增加驾驶员的认知负担。以下以某车型的自动紧急制动（AEB）功能为例，说明其具体的 HMI 设计实现及设计逻辑。

在 AEB 功能的 HMI 设计中，**视觉提示**元素着重信息即时性与驾驶员负担控制的平衡。为减少信息过载导致的认知干扰，仪表盘上的红色闪烁图标以频率 2.5Hz 提供直观的危险状态提示，有效减少信息过载带来的认知干扰。当功能故障或不可用时，图标以黄色常亮状态显示，明确传递系统状态变化的信息。此外，为提高**注意力唤起度**，车内氛围灯加入了红色闪烁效果，以增强驾驶员的感知紧迫感，同时利用周围光线的变化吸引驾驶员注意力。渲染动画作为补充元素，采用红色高亮显示目标车辆，并叠加减速波纹效果，动态还原系统对危险的响应，使驾驶员能够快速理解危险来源及系统意图。

声音提示的设计则更注重注意力唤起的即时性与强度。为在紧急情况下快速引起驾驶员的反应，设计采用 70dB 的高强度警告音，频率设定为高于 1000Hz，确保声音在嘈杂的驾

驶环境中具有足够的穿透力与辨识度。这样的声学设计可以在视觉信息不足以吸引注意力时，形成强有力的补充，同时与视觉提示协调工作，避免信息冲突或冗余。

通过视觉与声音提示的多模态结合，AEB 功能的 HMI 在紧急情况下实现了高效的信息传递，既强化了注意力唤起，又控制了驾驶员的认知负担与干扰水平。简洁直观的图标设计减少了驾驶员的认知压力，同时辅以氛围灯与高频警告音增强紧急感知能力，形成了完整而高效的交互体系。这种设计模式为智能驾驶紧急控制类功能提供了高效、安全的交互解决方案，同时也为其他类似功能的 HMI 设计提供了实践参考。

4.3 舒适辅助类的设计要点与实例

舒适辅助类功能的 HMI 设计以提供丰富的信息反馈为核心，同时强调多场景适用性与交互一致性。在确保交互体验和传递直观的基础上，需要避免信息冗杂带来的干扰。以下以 NOA（高速领航辅助）功能为例，说明其 HMI 设计的关键要点与具体实例。

在视觉设计上，信息丰富度是舒适辅助类功能的重点维度之一。NOA 功能通过多层级的视觉提示增强驾驶员对系统状态的感知：当功能启用时，仪表盘显示蓝色图标及当前设置速度值，以直观表征系统的工作状态；若功能可用但未启用，则图标以灰色显示，确保用户明确功能状态。为进一步提高

多场景适用度，设计了周边环境的渲染动画。例如，通过高精度感知技术实时还原的周边目标物与环境中，增加车道引导线及车道保持的蓝线提示功能作动状态。对于即将触发的动作，如减速或变道，还会通过减速波纹和变道引导线等动画效果，为驾驶员提供动态的视觉预告。同时，在车机屏幕中显示详细的功能作动文言提示，例如当前动作的描述及下一步计划，如变道、汇出汇入等。这些设计让用户能够更全面地了解功能的工作状态及即将发生的变化。

在**声音提示**方面，NOA 功能的 HMI 设计注重通过不同声学信号提高用户对系统状态的理解和感知。功能启用时会伴随清晰的“叮咚”提示音，退出时则根据紧急程度采用不同的提示音，以便驾驶员迅速分辨状态变化。为了避免驾驶员对多种功能状态的混淆，设计了明晰的语音播报。例如，在单车道行驶与多车道行驶切换时，会有语音提示明确告知当前辅助功能状态。同时，对于关键动作如变道或汇入、汇出等，也会通过语音播报提供直观解释，帮助驾驶员预判下一步操作。

触觉设计则专注于在驾驶员不当行为或系统紧急情况下提供明确物理提示。例如，当驾驶员在系统运行中脱手驾驶达到警告最高级别时，安全带会触发主动收卷动作，通过物理反馈迅速引起驾驶员的注意。

通过视觉、声音和触觉的多模态结合，NOA 功能的 HMI 实现了高信息丰富度与多场景适用性的有效平衡。直观的视觉元素、清晰的声音提示和明确的触觉反馈共同构建了一个丰富、一致且安全的交互体验，增强了系统的用户友好性和驾驶安全性，同时为其他舒适辅助类功能的 HMI 设计提供了实践参考。

4.4 提示告警类的设计要点与实例

提示告警类功能的 HMI 设计核心在于实现**信息精确度**与**低负担与干扰度**之间的平衡。作为一种主要用于提升驾驶安全性的功能，其设计需确保驾驶员能够迅速、准确地获取关键信息，同时避免过度打扰或增加认知负担。以下以 UPA(超声波泊车雷达辅助)为例，阐述提示告警类功能 HMI 设计的具体实现。

在视觉层面，UPA 功能通过直观的动画和具体的数值标注满足**信息精确度**的需求。系统以雷达波渲染动画显示障碍物方向，波形的方向与车模在实际环境中的方向一致，确保驾驶员能够快速关联屏幕信息与真实场景。颜色的设计与距离紧密相关，从绿色（安全）到黄色（警告）再到红色（危险），通过逐级提升的色彩紧迫感传递障碍物距离的紧急程度。此外，系统在动画旁标注具体的距离数值（以厘米为单位），进一步提高信息的精确度，使驾驶员能够对障碍物的实际位置有更清晰的理解。

为了在实现**信息精确度**的同时减少**低负担与干扰度**，视觉设计采取了层级化信息表达。对于较远距离的障碍物，系统仅显示简单的波形和颜色提示；当障碍物接近时，逐步补充更详细的数值标注与强化动画效果。这种渐进式信息呈现策略既避免了信息过载，又保证了驾驶员在关键时刻能获得足够的支持。

声音提示方面，会根据信息即时性和注意力唤起度的优先级应根据具体场景动态调整。UPA 功能设计了与障碍物方向匹配的报警音，声音来源方向与障碍物位置一致，帮助驾驶员快速感知潜在威胁。声音的频率和强度随着距离的减小而增加，例如，距离较远时为低频、低强度的提示音，随着障碍物接近，提示音逐渐转变为高频、高强度的警告声。这种音频设计确保驾驶员能够准确感知障碍物的接近程度，同时在关键时刻迅速做出反应。

为了避免对驾驶员的过度干扰，报警音的触发设计经过了细化处理。仅当障碍物进入一定距离范围内时，系统才会激活声音提示；在较远距离范围内，系统依靠视觉提示完成信息传递。这种设计有效降低了驾驶员在非必要情况下受到的声学干扰，进一步优化了信息的传递效率和驾驶体验。

触觉提示主要用于增强注意力唤起度和补充其他感官信息。在 UPA 功能中，当障碍物极其接近且驾驶员未及时响应时，系统可能通过方向盘或座椅的震动提醒驾驶员注意。

这种触觉反馈的介入极具即时性和清晰性，有助于在关键时刻补充视觉和声音提示，提高信息传递的多模态表现。

综合来看，UPA 功能的 HMI 设计通过直观的视觉动画、清晰的声音提示和及时的触觉反馈，满足了提示告警类功能对信息精确度和注意力唤起度的需求，同时通过层级化的提示设计在低负担与干扰度方面实现了良好的平衡。

4.5 智能驾驶 HMI 的具体形式

综上三小节所述，智能驾驶功能的三类典型场景在 HMI 设计与评价需求上具有显著差异。紧急控制类功能强调高即时性与唤起度，舒适辅助类功能注重丰富度与多场景适配，而提示告警类功能则在精确度与干扰度之间寻求平衡。基于评价框架的六个维度，针对不同功能场景优化 HMI 设计，将显著提升智能驾驶系统的安全性与用户体验。

表 3 典型智驾功能 HMI 的具体形式

功能类别	交互方式	设计元素	具体描述
紧急控制类 (AEB)	视觉	图标	红色闪烁 (2.5Hz) 代表紧急制动状态；黄色常亮表示功能故障不可用。
		动画	目标车红色高亮+减速波纹动画效果，直观体现危险状态。
		氛围灯	红色闪烁，增强警告信息的注意力唤起度。
	听觉	警告音	70dB，频率大于 1000Hz 的高强度警告声，用于紧急情况提醒。
	触觉	无	
舒适辅助类 (NOA)	视觉	图标	蓝色图标+设置速度值显示功能启用状态，灰色图标显示功能可用但未启用。
		动画	环境感知还原的动画包括车道引导线、车道保持蓝线、变道引导线等，动态显示即将触发的动作（如减速波纹）。

		文字	提供功能作动状态及下一步动作的文言提醒（如“即将变道”），增强驾驶员对功能的理解。
	听觉	提示音	简单的“叮咚”声提示功能进入，退出时根据紧急程度提供多样化的提示音。
		语音播报	明确区分单车道、多车道等功能状态，并播报重要动作（如变道、汇入）提示。
	触觉	脱手警报	安全带主动收卷，提醒驾驶员重新接管方向盘，增强注意力唤起度。
提示告警类 (UPA)	视觉	动画	雷达波渲染方向与实车一致，波颜色与距离相关，绿→黄→红逐级增强紧急感；动画旁有厘米级数值距离标注。
	听觉	报警音	声音方向与障碍物方向一致，频率和强度与距离呈正相关，障碍物接近时逐步增强提示效果。
	触觉	震动	在障碍物极近距离时，方向盘或座椅震动提示驾驶员注意危险，强化注意力唤起度。

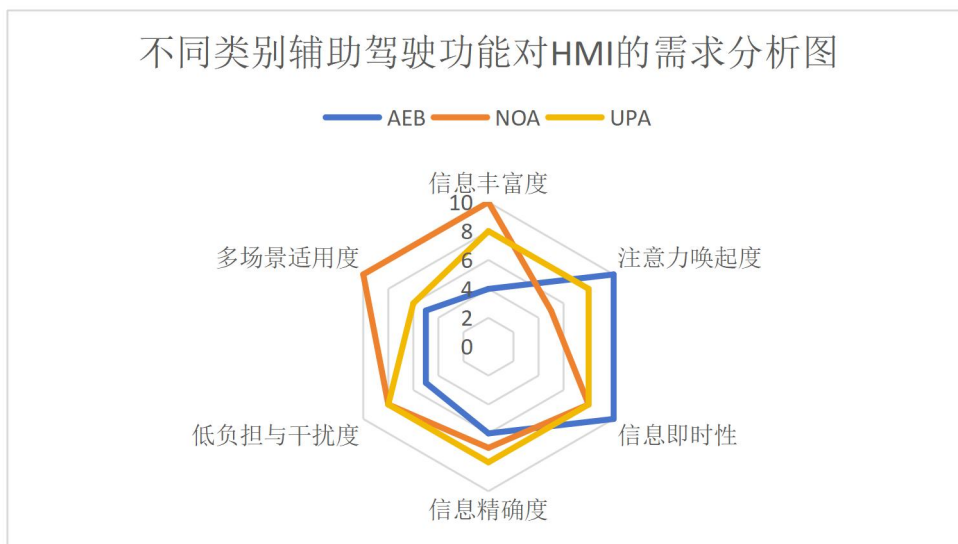


图7 不同智能驾驶功能对HMI需求分析雷达图

本部分内容节选自该课题研究报告，非全部内容，仅供参考了解。