

## 基于态势感知的汽车人机界面设计研究

王建民<sup>1</sup>, 刘雨佳<sup>1,2</sup>, 李阳<sup>3</sup>, 由芳<sup>1</sup>

(1.同济大学 艺术与传媒学院, 上海 201804; 2.同济大学 设计创意学院, 上海 200092;  
3.卡尔斯鲁厄理工学院, 卡尔斯鲁厄 76133)

**摘要:** **目的** 通过基于态势感知的智能驾驶汽车人机交互界面设计研究、实践与评估, 为汽车人机界面设计提供指导。**方法** 以智能汽车自动巡航控制功能的切入场景为主要研究对象, 通过文献查阅明确了驾驶员使用该功能的流程与应用场景。然后, 介绍了态势感知相关理论模型, 设计了不同状态下三层级的信息架构; 最后, 结合界面空间布局, 进行了交互界面设计实践。**结果** 以态势感知的感知、理解、预测3个层级为基础, 结合典型应用场景, 分析了ACC功能中AR-HUD和W-HUD上的信息, 通过信息架构设计、关键原型和典型效果图等设计实践对理论进行了可行性验证。**结论** 通过基于态势感知设计的人机交互界面能有效厘清信息的显示内容和过程, 提高界面的可用性。

**关键词:** 态势感知; 人机界面; 交互设计; 自适应巡航; 抬头显示

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)06-0029-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.06.005

## Vehicle Human-Machine Interface Design Based on Situational Awareness

WANG Jian-min<sup>1</sup>, LIU Yu-jia<sup>1,2</sup>, LI Yang<sup>3</sup>, YOU Fang<sup>1</sup>

(1.College of Art and Media, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2.College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3.Karlsruher Institut Für Technologie, Baden-Wurttemberg 76133, Germany)

**ABSTRACT:** Through the research, practice and evaluation of the Human-Machine Interface design of intelligent driving vehicles based on situational awareness, this paper intends to provide guidance for the design of vehicle Human-Machine Interface. Taking the cut-in scene of the Adaptive Cruise Control function of intelligent vehicles as the main research object, we clarify the process and application scenes of driver using the function through literature review. Then, we introduce the related theoretical models of situational awareness, and design information architecture of Three-level Model under different conditions; finally, combined with the interface space layout, we make the interactive interface design practice. Based on the three levels of situational awareness, perception, comprehension, and projection, combined with typical application scenarios, this paper analyzes the information on AR-HUD and W-HUD in the ACC function. It verifies the feasibility of the theory through the design practices such as information architecture design, key prototypes, and typical effect drawing. As a result, the Human-Machine Interface based on situational awareness can effectively clarify the display content and process of information and improve the usability of the interface.

**KEY WORDS:** situational awareness; human-machine interface; interaction design; adaptive cruise control; head-up display

收稿日期: 2021-01-22

基金项目: 国家留学基金委项目 [留金美 (2020) 1509 号]; 国家社科基金后期资助项目 (19FYSB040); 上海汽车工业科技发展基金 (1717); 同济大学精品实验教学项目和同济大学研究生教育研究与改革项目 (2020JC35)

作者简介: 王建民 (1973—), 男, 内蒙古人, 博士, 同济大学艺术与传媒学院教授、博士生导师, 主要研究方向为交互设计、社交媒体计算。

通信作者: 由芳 (1974—), 女, 新疆人, 博士, 同济大学艺术与传媒学院教授、博士生导师, 主要研究方向为汽车交互设计、用户体验、数字媒体艺术。

目前大多数智能汽车的驾驶技术主要处于 L2~L3 级的过渡阶段, 车辆可以在驾驶员的监控下进行长途或短途的自动驾驶。在该阶段, 驾驶员工作量减少, 车辆接管了更多的驾驶任务。从执行驾驶任务的角度来说, 自动驾驶功能降低了驾驶员的工作负荷以及对周围环境的态势感知能力。但是在复杂驾驶场景中, 自动驾驶系统也有可能出现不能处理的情况。如果驾驶员不能及时处理突发情况, 保持一定的态势感知能力, 那么就有很大的可能会出现交通事故。汽车界面是人获取信息的重要窗口, 因此通过态势感知相关理论, 合理分配信息的内容出现与排布, 有助于提高智能汽车界面的交互效率与驾驶安全性<sup>[1-2]</sup>。

## 1 态势感知

态势感知 (Situation Awareness, SA) 是一种感受者根据环境因素而动态、整体地理解当前情境的能力, 由此可以提升对安全风险的发现识别、理解分析及响应能力, 以便于做出最终的决策与行动<sup>[3]</sup>。Endsley 的研究中将态势感知分为三级<sup>[4-6]</sup>, 第一级为对环境中元素的感知, 第二级为对当前情境的理解, 第三级为对未来状态的预测 (见图 1)。态势感知的发展得益于航空领域的理论研究<sup>[7]</sup>。信息和自动化技术的发展改善了飞行员和相关工作人员的工作方式, 物理的体力重担得以减轻, 但是却增加了认知负担。在某些情况下, 不断增加的信息与越来越复杂的操作, 使得驾驶员迷失在信息的海洋之中, 人机界面的显示没有对驾驶员产生帮助, 反而让人不清楚系统正在发生什么, 之后会如何变化, 这就是态势感知的丧失<sup>[8]</sup>。而在 20 世纪以来, 随着自动化技术在汽车上的应用, 人们发现驾驶员和飞行员的行为模式之间有许多共同之处, 态势感知在汽车驾驶领域的重要性也愈发凸显出来。

通俗来讲, 态势感知便是意识到周边正在发生什么, 并且理解这些信息在当前以及未来对人们来说有哪些意义。态势感知的具体含义可以从一些基础理论模型, 如 Endsley 的三级模型<sup>[9-10]</sup>、态势感知信息加工模型<sup>[11]</sup>和分布式态势感知模型<sup>[12]</sup>中得到具体阐释。

Endsley 的三级态势感知模型 (Three-level model of SA) 中, 态势感知被分为 3 个不同的加工水平。在态势感知的第一层次上, 人对情境中的各个要素进行感知 (perception); 在第二个层次上, 人对当前的情境进行综合理解 (comprehension); 在第三层次上, 人对这些要素未来可能的发展变化作出预判

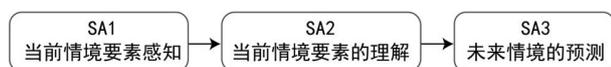


图 1 态势感知三级模型

Fig.1 Three-level model of situational awareness

(projection)<sup>[13-14]</sup>。态势感知对于驾驶员在道路交通中的决策制定和车辆操作具有十分重要的影响。

## 2 基于态势感知的 ACC 交互设计

基于态势感知三级模型的分析, 本文以智能汽车的自适应巡航功能为例, 分析各阶段下情境要素的 3 个层次, 着眼于 AR-HUD 和 W-HUD 的界面设计。以切入驾驶场景为例, 本案例在驾驶员认知的基础上, 进行了辅车行车轨迹分析, 厘清了 AR-HUD 和 W-HUD 的信息内容, 建立动态信息架构, 并进行了原型设计。

### 2.1 切入场景下驾驶员使用 ACC 的功能分析

ACC (Adaptive Cruise Control, ACC) 是控制车辆纵向运动的驾驶员辅助系统, 是现今自动驾驶汽车主要功能需求之一<sup>[15]</sup>。ACC 是从巡航控制 (Cruise Control, CC) 功能发展而来的, CC 功能下车辆可以按照预设的速度行驶, 而 ACC 则可以保持本车与前车在安全范围内的车头时距。ACC 系统利用传感器和距离控制系统, 车辆上的雷达被设置为仅检测开启 ACC 功能的车辆所在车道的前车。该控制系统包括速度控制器和车头时距控制器, 根据传感器所获取的数据在距离控制和车头时距控制中切换, 当传感器未检测到前方有车辆时, 本车将按照设定速度进行定速行驶。当检测到前方有车辆时, 本车控制车头时距进行跟车。为了实现对速度和车头时距的控制, ACC 有油门和刹车的控制权。

驾驶使用 ACC 系统前, 首先要识别驾驶环境是否可以使用 ACC 功能, 而 ACC 系统需要识别/检测当前道路状态是否适合使用 ACC 功能, 如若合适, 则建议驾驶员使用。当驾驶员开启 ACC 功能, 设定好车速与距离后, 就可以在无意外环境下持续行驶。当发生意外情况时, 如在切入场景下, 本车的侧后方出现了辅车想要切入到本车道的情况, 此时则会发生一系统的变化。首先是 ACC 系统需要识别车辆并告知驾驶员正在识别中; 其次要采取一些控制策略, 如刹车/加速/保持; 然后保持行驶状态。人需要检查 ACC 系统是否能识别前方即将要切入的车辆, 并检测 ACC 系统是否有采取一定的措施。如果并没有采取措施, 则人可以用过脚踩刹车或加速退出 ACC 系统 (见图 2)。

### 2.2 应用场景设计

在上述切入场景中, 若驾驶员使用 ACC 功能的话, 则将驾驶场景分为两个阶段, 见图 3, 以辅测车辆 (F 车) 右侧前轮驶过车道线为分界点, 驶过前为第一阶段, 驶过后为第二阶段。

第一阶段包括两个状态: 行驶状态和变化调整 1。第二阶段包括也包括两个状态: 变化调整 2 和稳定跟

车。在行驶状态下，由驾驶员设定 ACC 的车速；在变化调整 1 下，F 车开始超车并开始准备切入主测车（S 车）车道；在变化调整 2 时，F 车开始切入当前

车道，此场景变化也可能会影响 S 车驾驶员调整 ACC 设置且影响更大；在跟随状态下，S 车以 F 车的速度跟随 F 车行驶。

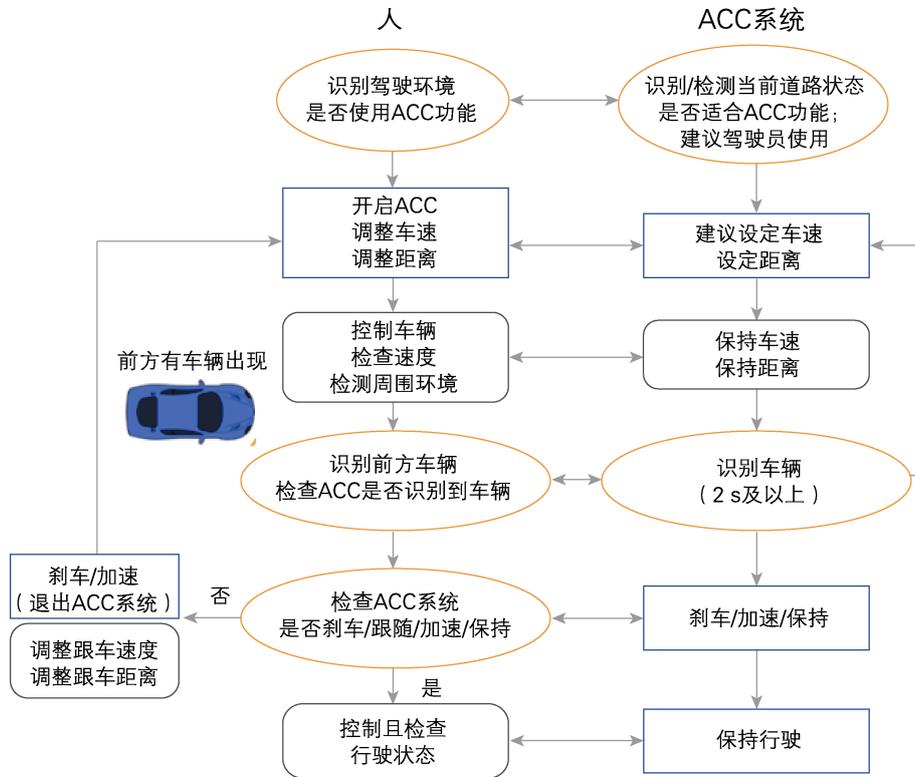


图 2 切入场景下驾驶员使用 ACC 的功能流程

Fig.2 Function process chart of the driver using ACC in the cut-in scene

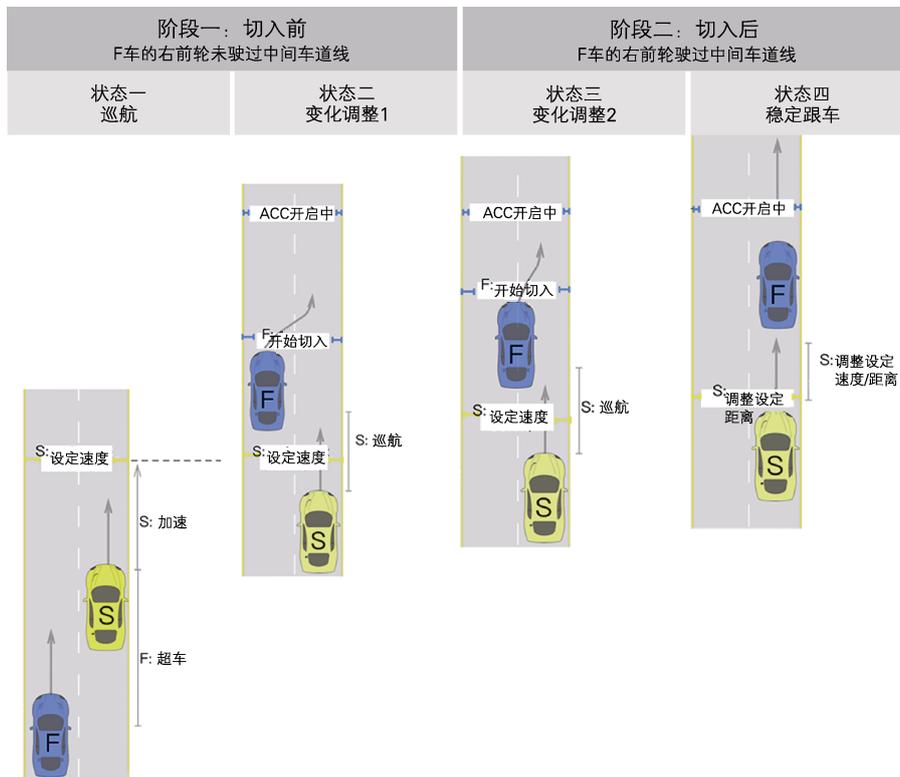


图 3 ACC 功能车辆切入的应用场景

Fig.3 Application scenes of vehicles cut-in under ACC function

### 2.3 驾驶员认知下的辅车行车轨迹分析

为了更好地了解驾驶视野中辅测车的行车轨迹，邀请了若干名驾驶员在仿真模拟器上去驾驶，体验切入场景下的 ACC 功能。驾驶员在行驶过程中通过前挡风玻璃，内后视镜，左右后视镜，实时监测驾驶环境。根据眼动仪视频，驾驶员的基本扫视路径为左外后视镜（内后视镜）、左侧窗、左车道、当前车道，见图 4。

结合驾驶员视觉扫视分析和车辆本身的行驶轨迹，得到驾驶员监控下车辆的行驶轨迹，此轨迹大概的顺序为左后视镜/内后视镜——左侧窗——前挡风玻璃左侧车道——车道线——当前行驶车道，见图 5。图中原点表示车辆行驶轨迹节点，1—3 为驾驶员识别范围，4—6 为驾驶员与车辆共同识别范围。当车辆行驶在 4—5 区域时，驾驶员和车辆需要判断前车状态是否会影响本车 ACC 功能的使用，驾驶员是否需要调整 ACC 设定速度和设定距离。因此在本案例中将 4—5 作为重点做设计帮助的区域，帮助驾驶员判断前车运动轨迹，增强态势感知，降低驾驶员工作负荷，及时作出有效判断及行动。

### 2.4 基于态势感知的信息架构设计

设计车内动态信息架构的目的是更深入、更准确地寻找典型场景下基于人认知的 ACC 功能设计点。分阶段、分维度地分析驾驶场景，结合驾驶员行为预测，可以预估在驾驶员执行哪些驾驶任务时需要界面的帮助（什么时候信息该出现）。然后可以基于增强现实抬头显示（Augmented reality head-up display, AR-HUD）和挡风玻璃抬头显示（Windeshield head-up display, W-HUD）的显示区域，分析信息出现的时刻、形式以及两屏的关联互动等问题。

当外部驾驶环境改变（车辆切入）时，驾驶员获取来自外部环境的信息，从而根据当下的驾驶场景调整内部功能（ACC），引起一系列车内外信息的改变。本案例从时间顺序和不同参与角色维度去分析抬头显示的信息架构设计，在设计方面表现为呈现在 AR-HUD 和 W-HUD 信息元素的关系。

时间轴分为两个阶段，第一个阶段为辅测车切入本车道之前，被试发现目标——识别车辆——预测轨迹。第二个阶段为辅测车正在切入本车道及切入本车道之后，被试调整车辆。动态信息分为车外动态信息和车内动态信息，车外动态信息主要包括环境信息，例如其他车辆的运动状态，特定工况等；车内动态信息主要为驾驶员的设置操作信息，在本文设定驾驶场景的前提下，包括 ACC 功能信息、基本车辆信息。信息的关联交互显示在 AR-HUD，WHUD 上。为了更直观地表现信息架构的变化，采用符号表达各类信息，使用信息与符号的对应见表 1，对 4 种状态下 SA 分析的信息进行设计，见图 6。用形状来表示同一类的信息，用颜色来区分 AR-HUD 信息和 W-HUD 信息，用虚实来表现信息的状态。

状态一：行驶。F 车行驶在 S 车后方时为切入驾驶场景阶段一。人驾驶 S 车达到一定速度后，开启 ACC 功能，此时 S 车处于巡航模式。人根据当前驾驶环境及之前使用 ACC 的经验对 ACC 功能进行初始设定：设定速度，设定时距。

此阶段人监视到 F 车的驾驶轨迹如图 5 中的车辆行驶轨迹节点 1—3 所示。虚线表示相同信息的关联变化。在状态一中，AR-HUD 显示行驶的距离信息，展示出不同时距条在道路上的实际距离；W-HUD 上则显示此时的速度（包含设定速度与实时速度），设



图 4 眼动仪视频截图所示驾驶员注视点（红色圆圈）  
Fig.4 Driver's Gaze Point (Red Circle) Shown in the Eye Tracker Video Screenshot

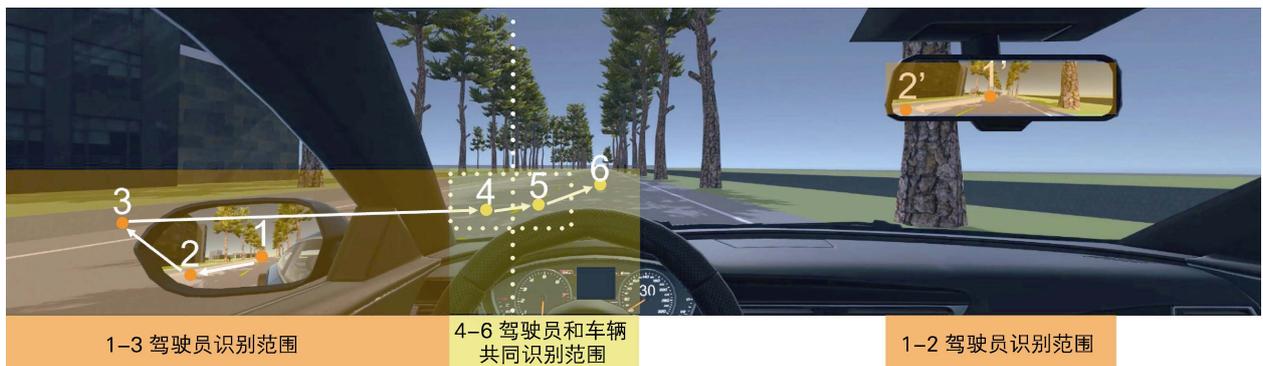


图 5 驾驶员认知视野下的车辆的行驶轨迹  
Fig.5 Driving track of the vehicle under the driver's cognitive vision

表 1 信息与图示符号  
Tab.1 Correspondence table of information and graphic symbols

信息	AR-HUD 信息	W-HUD 信息
速度 (设定与实时)	□	□
距离	○ (巡航)    ○ (跟随)	○
识别信息	△ (否)    △ (是)	△

定距离及识别信息（当前未识别到）。此状态下为发生侧车切入，暂不考虑切入场景的态势感知分析。

状态二：变化调整 1（左车车道有车辆行驶，接近本车道）。在此阶段前车行驶在左侧车道，人需要判断左侧车辆意图是超车还是变换车道，是否会影响 ACC 功能的使用，是否需要调整设定速度与设定时距。此阶段人监视到 F 车的驾驶轨迹如图 5 中的车辆行驶轨迹节点 4 所示。此阶段 S 车依旧处于行驶模式，

车辆需要告知人是否识别到前车（SA1）等信息，此阶段的识别为预识别状态，仅告知人车辆已识别到 F 车，但未切换至跟车模式。

状态三：变化调整 2（左车车道有车辆行驶，跨过本车道）。在此阶段 F 车穿越车道线行驶至 S 车前方，人监视到 F 车的驾驶轨迹如图 5 中的车辆行驶轨迹节点 5 所示。此时 S 车已从巡航状态切换至跟随状态，AR-HUD 会持续显示识别信息，识别信息由预识别变为已识别（SA2），增强 ACC 状态改变的提示。

状态四：稳定跟车。在此阶段 F 车行驶在 S 车前方，人监视到 F 车的驾驶轨迹如图 5 中的车辆行驶轨迹节点 6 所示。驾驶员可根据此时的驾驶场景调整设定速度与设定时距，识别信息持续显示，以提示 ACC 功能处于持续工作状态，跟随距离（SA3）实时推测前车的跟随距离。

基于此场景的 4 种状态，车内信息架构设计流程见图 7。包括 4 个部分：（1）驾驶场景分析，辅助车辆的轨迹分析（表示车内信息架构的时间线）；



图 6 SA 分析  
Fig.6 SA analysis

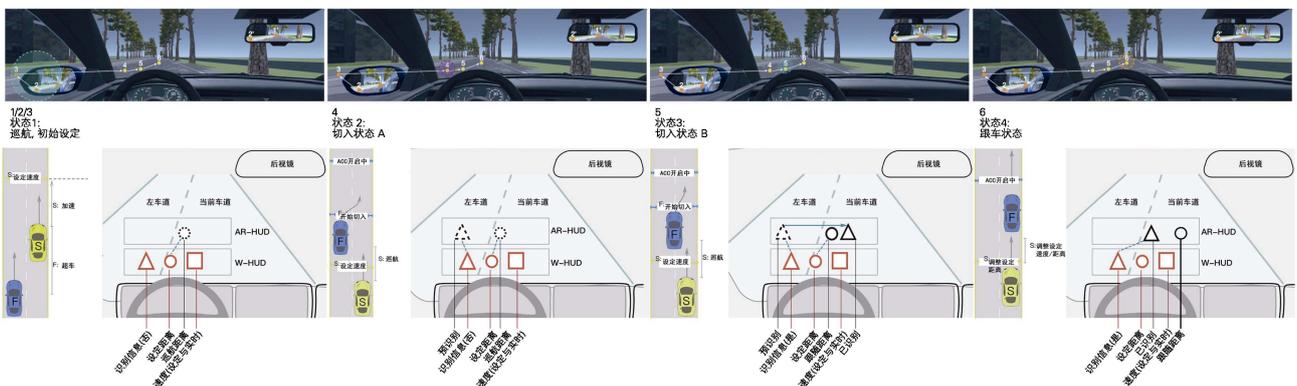


图 7 信息架构设计流程  
Fig.7 Information architecture design process chart

(2) 切入驾驶场景 4 个阶段分析图示；(3) 驾驶员视野图；(4) HUD 动态信息的布局以及 W-HUD 和 AR-HUD 上的联动信息设计原型。

### 3 基于态势感知的 ACC 典型应用场景下的人机界面

#### 3.1 车内人机界面显示空间布局设计

从总的车内人机界面 (Human Machine Interface, HMI) 布局设计中考虑, 将相似的内容模块化, 构建信息模块, 考虑屏幕之间的信息互动, 将信息模块有规律地分布于车内空间中。有研究指出模块化的视觉信息界面能够有效节省用户的认知资源, 帮助用户提高处理信息的效率和准确度。根据目前汽车人机交互界面分布趋势, 可以分析得到显示空间布局, 见图 8。抬头显示 (Head Up Display, HUD) 包含了驾驶基本信息与 ACC 功能的信息, 使得驾驶时更容易获得信

息。但很多设计中 AR-HUD 与 W-HUD 信息重复, 容易引起驾驶员的困惑, 因此本文主要将显示信息放在抬头显示区域, 分析研究 ACC 相关视觉信息。

#### 3.2 ACC 典型应用场景下的界面设计

首先对 ACC 功能的基本信息进行了信息模块化分类及布局, 对设计元素进行了规范, 见图 9。最终界面设计见图 10。

通过 SA 分析后, 将实时速度信息用空心圆表现, 在视觉上让速度信息更明确, 且把实时速度和 ACC 设定速度进行了明显区分。当本车已识别到前方车辆时, 车辆图示由白色变为蓝色。在 AR-HUD 中, 使用“选框”形式来表达对前方车辆的“预识别”状态。当本车识别到前方或旁边车道的车辆时, 识别信息为白色, 并且出现白色选框。当本车识别到前方车辆时, 驾驶模式变为跟随模式, 识别信息为蓝色, 即出现蓝色选框。

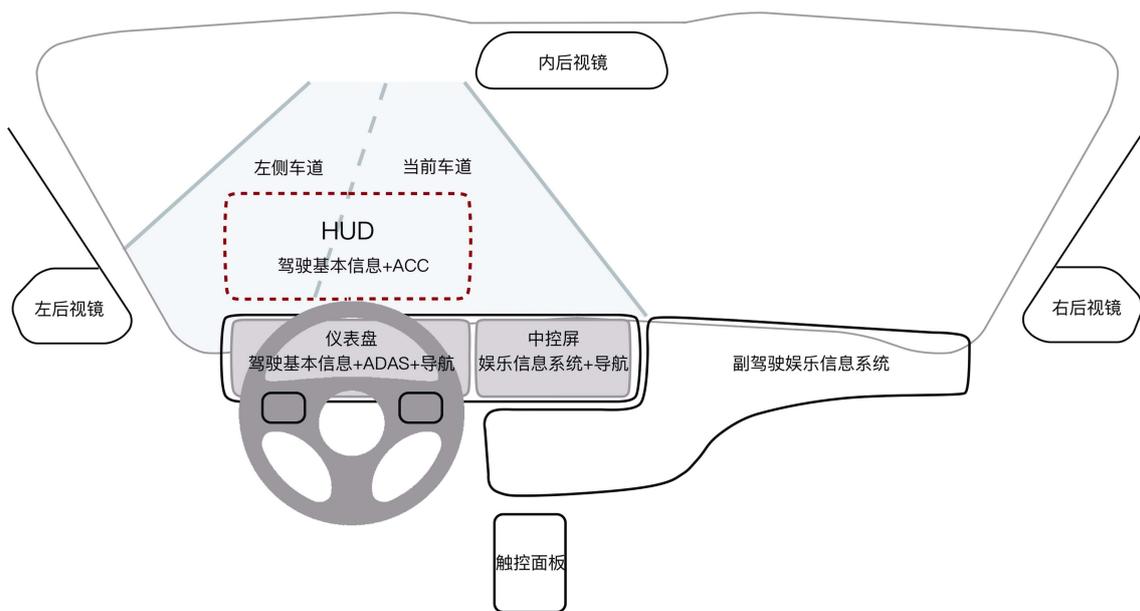


图 8 车内 HMI 显示空间布局  
Fig.8 The in-vehicle HMI display space layout



图 9 HUD 显示空间布局及界面设计元素规范  
Fig.9 Specification for HUD display space layout and interface design element



图 10 界面设计效果

Fig.10 Interface design effect

在关于距离的信息表达中,使用3个时距,在视觉上更能清晰地判断时距增减带来的距离上的改变。在AR-HUD中,在逻辑上增加了对ACC功能模式的判断。当本车为驾驶模式时,距离矩形为空心;而当本车为跟随模式时,距离矩形为实心,且AR-HUD的距离矩形显示跟随前车的距离实时改变。在W-HUD中,距离显示为驾驶员设定时距,不随实时时距改变而改变,准确提供给驾驶员原始的设定信息。在视觉上,通过颜色与渐变的区分来体现SA不同层次的信息。

#### 4 结语

这里对智能汽车自适应巡航功能的切入场景中,用户态势感知的生成过程进行了分析,基于态势感知理论提出了HUD界面的设计策略,进行了设计实践工作。本文的研究为智能汽车的人机交互界面设计提供了一定的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 张超, 赵江洪. 基于情境意识的汽车导航界面设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(2): 48-51.  
ZHANG Chao, ZHAO Jiang-hong. Vehicle Navigation Interface Design Based on Situational Awareness[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(2): 48-51.
- [2] 谭浩, 赵丹华, 赵江洪. 面向复杂交互情境的汽车人机界面设计研究[J]. 包装工程, 2012, 33(18): 26-30.  
TAN Hao, ZHAO Dan-hua, ZHAO Jiang-hong. Research on Automotive Human Machine Interface Design

Based on Complex Interaction Context[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(18): 26-30.

- [3] 李全华. 基于安全态势感知在网络攻击防御中的具体运用[J]. 信息通信, 2018(4): 191-192.  
LI Quan-hua. Specific Application Based on Security Situation Awareness in Network Attack Defense [J]. Information and Communications, 2018(4): 191-192.
- [4] ENDSLEY M, GARLAND D. Situation Awareness: Analysis and Measurement[M]. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc, 2000.
- [5] STANTON N, CHAMBERS P. Situational Awareness and Safety[J]. Safety Science, 2001(9): 189-204.
- [6] MICA R. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems[J]. Human Factors, 1995, 37(1): 32-64.
- [7] 刘伟, 袁修干. 人机交互中情境认知的理论与应用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.  
LIU Wei, YUAN Xiu-gan. Situation Cognitive in Human-machine Interaction Theory and Application[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2005.
- [8] 李洋, 徐伯初. 情境意识理论及其在机车人机界面设计中的应用[J]. 人类工效学, 2010, 16 (4): 46-49.  
LI Yang, XU Bo-chu. Situational Awareness Theory and Its Application in Locomotive Human-machine Interface Design[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2010, 16(4): 46-49.
- [9] DIAPER D. Scenarios and Task Analysis[J]. Interacting with Computers, 2002(14): 379-395.
- [10] MICA R, ENDSLEY D G. Designing for Situation Awareness: An Approach to User-centered Design[M]. New York: CRC Press, 2004.
- [11] MATTHEWS M, BRYANT D J, WEBB R, et al. Model

- for Situation Awareness and Driving: Application to Analysis and Research for Intelligent Transportation Systems[J]. *Transportation Research Record*, 2001, 1779: 26-32.
- [12] WALKER G H, STANTON N A, KAZI T A, et al. Does Advanced Driver Training Improve Situational Awareness[J]. *Applied Ergonomics*, 2009, 40(4): 678-687.
- [13] 马伶, 董悦, 孙龙. 驾驶员情境意识理论模型及测量方法[J]. *人类工效学*, 2014, 20(5): 86-89.  
MA Ling, DONG Yue, SUN Long. Theoretical Model and Measurement Method of Driver's Situational Awareness[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2014, 20(5): 86-89.
- [14] 刘双. 基于注意资源分配的情境意识模[J]. *北京航空航天大学学报*, 2014, 10(8): 66-71.  
LIU Shuang. Situational Awareness Model Based on Attention Allocation[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2014, 10(8): 66-71.
- [15] 吴光强, 张亮修, 刘兆勇, 等. 汽车自适应巡航控制系统研究现状与发展趋势[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(4): 544-553.  
WANG Guang-qiang, ZHANG Liang-xiu, LIU Zhao-yong, et al. Research Status and Development Trend of Vehicle Adaptive Cruise Control Systems[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2017, 45(4): 544-553.
- 
- (上接第6页)
- [15] 吴琼. 信息时代的设计伦理[J]. *装饰*, 2012(10): 32-36.  
WU Qiong. Design Ethics in Information Age[J]. *Zhuangshi*, 2012(10): 32-36
- [16] HARRISON S, SENGERS P. The Three Paradigms of HCI[EB/OL]. (2009-04-14) [2021-01-05]. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Three-Paradigms-of-HCI-Harrison-Sengers/4a97a948bbf28e9c5f3084c41eba9cb6460a02d8>.
- [17] PAVIE X, CARTHY D. Addressing the Wicked Problem of Responsible Innovation through Design Thinking [EB/OL]. (2014-05-28) [2021-01-22]. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2441935>.
- [18] FISHER E, MAHAJAN R, MITCHAM C. Midstream Modulation of Technology: Governance from Within. *Bulletin of Science[J]. Technology & Society*, 2006(26): 485-496.
- [19] BARBARA G, MARK H, MARINA J. Towards a Closer Dialogue between Policy and Practice: Responsible Design in HCI[C]. New York: Association for Computing Machinery, 2014.
- [20] 覃京燕. 人工智能对交互设计的影响研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(20): 27-31.  
QIN Jing-yan. Impaction of Artificial Intelligence on Interaction Design[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(20): 27-31.
- [21] 胡洁. 人工智能驱动的艺术创新[J]. *装饰*, 2019(11): 12-17.  
HU Jie. Artificial Intelligence Driven Art Innovation[J]. *Zhuangshi*, 2019(11): 12-17.