

基于安全和情感化的汽车辅助驾驶系统多模态交互设计研究综述

许娜, 卢佳烨

(四川美术学院, 重庆 401331)

摘要: 汽车作为目前人类最常使用的交通工具之一, 其智能驾驶技术大部分处在L2~L3“人机共驾”技术的发展阶段, 在L5级自动驾驶技术出现之前, “人机共驾”仍然是目前主流的驾驶方式, 其各种车载系统和交互方式正在不断完善。多模态交互作为未来设计的发展趋势, 必然将与汽车融合产生新的“火花”。对车载系统中多模态交互设计研究包括疲劳状态预警、碰撞预警、车道偏离预警、智能接管提醒、智能泊车等方向进行梳理总结, 对车载AI多模态交互设计包括多屏交互、触控交互、手势交互、语音交互、表情交互、眼动交互等自然交互方式进行分析。采用文献研究及案例分析的方式探究如何在基于安全和情感化的背景下使驾驶员的体验更加舒适, 展望了汽车多模态交互设计在车载系统中的应用及未来趋势。恰当而良好的交互方式融合将会提高各种车载系统及应用的安全性和驾驶的舒适度。多模态交互的引入必将是汽车发展的趋势。

关键词: 多模态交互; 汽车设计; 车载系统; 智能辅助驾驶

中图分类号: TB47 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2024.03.02

A Review of Multi-Modal Interaction Design for Assisted Driving Systems Based on Safety and Affectivity

XU Na, LU Jiaye

(Sichuan Fine Arts Institute, Chongqing 401331, China)

Abstract: As one of the most commonly used modes of transportation, the majority of automobiles are in the L2 to L3 stage of human-machine co-driving technology development. Before the emergence of L5-level autonomous driving technology, “human-machine co-driving” remains the dominant driving method, with its various in-vehicle systems and interaction methods continuously being improved. The integration of multimodal interaction with automotive technologies is bound to ignite new “sparks” as a future design trend. This paper firstly summarizes the research on multimodal interaction design for in-vehicle systems, covering directions such as fatigue warning, collision warning, lane departure warning, intelligent takeover reminder, and intelligent parking. Subsequently, it analyzes the natural interaction methods of in-vehicle AI multimodal interaction design, including multi-screen interaction, touch interaction, gesture interaction,

收稿日期: 2022-12-18 改稿日期: 2023-07-22 网络首发日期: 2024-03-28

基金项目: 重庆市教委科学技术重点项目(KJZD-K202201001); 人机共驾多模态信息交互负荷研究

参考文献引用格式:

许娜, 卢佳烨. 基于安全和情感化的汽车辅助驾驶系统多模态交互设计研究综述[J]. 汽车工程学报, 2024, 14(3): 336-353.

XU Na, LU Jiaye. A Review of Multi-Modal Interaction Design for Assisted Driving Systems Based on Safety and Affectivity[J].

Chinese Journal of Automotive Engineering, 2024, 14(3): 336-353. (in Chinese)



voice interaction, facial expression interaction and eye movement interaction. The article uses literature research and case studies to explore how to improve the driver's comfort in the context of safety and emotional aspects, and anticipates the applications and future trends of multimodal interaction design for in-vehicle systems. Finally, it is concluded that the integration of appropriate and effective interaction methods will improve the safety and driving comfort of various in-vehicle systems and applications. The introduction of multimodal interaction is destined to become a trend in automotive development.

Keywords: multimodal interaction; automotive design; vehicle-mounted system; intelligent assisted driving

人类通过语音、手势、表情、嗅觉、脑机等模态输入信息,计算机通过计算机视觉、听觉等通道响应就是典型的多模态交互。“多模态交互”融合了人的视觉、听觉、触觉等多种感官,计算机利用多种通信通道响应输入,充分模拟人与人之间的交互方式,现被广泛运用到各种智能产品的交互设计中。随着时代的发展,汽车已成为我们日常生活中最重要的交通工具。多模态交互设计以及大量功能的引入使我们行车变得更加安全也更加舒适,驾驶员在执行主驾驶任务时也需要跟各种车载系统和设备进行交互。各种网络的连接也使车载空间变成了一个复杂的信息承载体,在智能控制技术的加持下,多屏交互、触控交互、手势交互、语音交互、表情交互、眼动交互等自然交互方式逐渐融入其中。

1 智能辅助驾驶系统是安全驾驶的重要帮手

中国工程院院士、清华大学李克强教授强调了安全性在汽车人机交互领域中的重要性,自动驾驶技术的发展有望显著推动社会发展进步,特别是在道路安全、通行效率和节能减排等方面。自动驾驶汽车通过全视角感知和高智能决控,有潜力提前规避风险、降低事故发生率,甚至完全避免交通事故的发生^[1]。“智能汽车是汽车产业的变革性技术,已引起世界各国的激烈角逐,在我国发展智能汽车也已经形成共识”。智能辅助驾驶功能被认为是汽车智能化的一项重要参数指标。

随着科学技术的发展,智能辅助驾驶系统的综合水平已经有了大幅度的提升。国内针对这方面的

研究已经有了一定的时间,很多投入市场中的智能辅助驾驶系统发挥着重要的作用。智能辅助驾驶系统应用的技术包括人工智能、监控装置和定位雷达等。这些技术能提高汽车驾驶的安全水平。许多企业对智能辅助驾驶系统的研究越来越深入,这使智能自动化技术在汽车辅助驾驶系统中的应用效果越来越好。

国际上已有许多相关的研究,在AutoUI会议上,许多研究人员分享了在智能网联汽车中应用多模态交互技术的经验,探讨了如何结合语音识别、手势控制、触摸屏等不同的交互方式,使驾驶员可以更加自然、高效地操作汽车。还探讨了如何将多模态交互技术应用于自动驾驶汽车中,以增强驾驶员和车辆之间的交互;分析了多模态交互技术对智能网联汽车用户体验的影响,不同交互方式对驾驶员注意力、反应时间、工作负荷等方面的影响,探索如何提高驾驶员的舒适度和安全性。许多学者还对多模态交互技术的发展方向进行了探讨,探究了如何更好地结合虚拟现实、增强现实和人工智能等新技术,使汽车与驾驶员之间的交互更加智能、自然和人性化。

可以肯定的是,智能辅助驾驶系统的设计需要在安全性和情感化之间找到最佳平衡点。作为系统的首要考虑因素,安全性必须置于情感化交互之上,不能被后者所削弱或影响。同时,在不危及安全性的前提下,适当程度的情感化可以优化用户体验,提升系统的友好性。因此,智能辅助驾驶系统的情感化交互需要按照“安全优先,情感辅助”的设计理念进行构建与推进。

总的来说,智能辅助驾驶系统需要在保证安全性的基础上,通过循序渐进的情感化交互引入,以达到安全性与友好性的最佳平衡。

目前,在车载智能辅助驾驶系统中的研究包括疲劳状态预警、碰撞预警、车道偏离预警、智能接管提醒、智能泊车等方向。

1.1 疲劳状态预警研究现状

疲劳驾驶指睡眠不足或连续驾驶时间过长而导致的反应能力下降的情况。驾驶员疲劳状态是影响驾驶安全性非常关键的因素之一,因此,如何通过合理的交互设计对驾驶员疲劳状态进行预警是智能辅助驾驶系统中非常受关注的领域。

TAYLOR 等^[2]在对人机交互情感识别的研究中表明,对情绪进行检测的系统是可以将其应用到智能辅助驾驶的程序中的。在开车时情绪检测系统可以根据用户是否觉得行驶过程无聊、疲劳、沉闷、兴奋、刺激等,来调整用户的驾驶情况。例如,当发现疲劳驾驶的迹象时,系统经过图像采集并对其进行分析,开启疲劳状态预警,并将驾驶员的精神状态分为清醒、轻度疲劳和重度疲劳 3 个等级。

戚基艳^[3]基于人因工程理论,将驾驶行为分为 3 个层次,每个层次细分为心理和身体疲劳,心理状态分为 4 个层次,构建了疲劳累积模型。王鹏程^[4]利用图像处理和模式识别技术来判断驾驶疲劳,开发了基于 DSP 的疲劳预警系统。胡鸿志^[5]选择车辆的转向、油门、离合、刹车、速度及加速度作为驾驶疲劳识别的特征参数,表明 BP 神经网络能降低数据复杂度,提高效率并有效识别驾驶疲劳。

石磊^[6]利用 Android 平台的高度开放性,开发了基于 Android 平台的驾驶疲劳预警系统,能实时采集转向盘图像、车辆加速度、车内音频、汽车位置信息,有效提高了行车安全系数。MAKISHITA H 等^[7]研究了不同年龄段驾驶员的反应时间差异,并评估了心理负荷对反应时间的影响,结果表明,高龄驾驶员的反应时间最长。

在近两年,郑伟成等^[8]提出基于深度学习的算法并应用在疲劳驾驶预警中,使用摄像头实时采集驾驶员人脸图像,通过 PLFD 深度学习模型对人脸关键区域进行检测,从中获取特征参数(如眨眼频率、点头频率等),并通过多特征融合策略获取驾驶员疲劳状态,从而实现有效的预警。

2022 年,张笔毫^[9]采用 HOG 和 ERT 算法对人脸关键点进行定位,利用 EAR、MAR 算法和头部姿态欧拉角提取进行疲劳特征提取,并将深度残差神经网络与 EAR 算法相结合,采用迁移学习算法使模型的准确度和针对性更高。最后根据驾驶员嘴部、眼睛、头部姿态的疲劳特征建立个性化疲劳阈值模型,综合 PERCLOS、眨眼频率、哈欠频率、闭眼时长等疲劳特征参数来判断驾驶员疲劳状态,并进行预警。李京徽^[10]在基于 YOLOv3-Tiny 的人脸目标检测优化算法、眼特征向量(EFV)和口特征向量(MFV)的脸部运动特征提取算法、SVM 算法的疲劳评估模型等创新点下提出了一种基于神经网络的疲劳检测算法并进行了仿真验证。马雪婷等^[11]在疲劳驾驶状态监测算法的研究中,提出了一种基于改进 RetinaNet 算法的快速人脸区域定位检测算法,设计了一种轻量级特征提取结构用于人脸关键信息检测和人脸跟踪算法。同时,该学者还提出了一种基于多特征融合的时空疲劳特征序列的疲劳检测算法,该方法可以在满足实时性要求的同时,准确率可以达到 91.2%。张曼曼^[12]提出了一种疲劳驾驶检测方法,该方法可以在保证实时性前提下自适应光照影响,并且具有较高的准确度。

表 1 是目前市面上常见的疲劳状态预警方式,典型的交互形式包括:驾驶员生理监测、驾驶行为分析、多模态提醒预警、互动建议休息和自动协助停车。

1.2 车道偏离预警研究现状

车道偏离预警系统作为智能辅助驾驶系统的重要组成部分,可以在事故发生前判断驾驶员是否出现车道偏离,并以各种交互方式警示提醒驾驶员修正偏离状态,多模态交互设计的合理引入可以有效

表1 市面上常见的疲劳状态预警交互形式

交互形式	表现方式
驾驶员生理监测	通过安装在转向盘、座椅等位置的传感器，监测驾驶员的脉搏、呼吸、脑电等生理参数，判断疲劳程度。
驾驶行为分析	通过前摄像头、航向传感器等设备，分析驾驶员的驾驶操作行为，如转向幅度、车道保持能力等，判断疲劳状态。
多模态提醒预警	当系统判断驾驶员疲劳时，会通过声音、图像、触觉等形式进行提醒预警，如播放提神音乐、弹出提醒画面、座椅振动等。
互动建议休息	如果驾驶员疲劳状态持续，系统会以语音形式互动，建议驾驶员尽快停车休息或交换驾驶，避免继续疲劳驾驶。
自动协助停车	在高级辅助驾驶系统中，如果检测到严重疲劳，系统可以主动联系管理中心，在确保安全的情况下，引导车辆自动停入应急停车位。

地避免因车道偏离而产生的交通事故，大幅提高驾驶员的安全性。

郭梦竹^[13]对驾驶员疲劳状态下车辆行驶状态进行了分析。车辆高速行驶时的异常变化主要是横向与纵向的加速度变化。车道偏离预警在这种情况下可以通过计算车辆一个周期内车道偏离频次，对驾驶员是否存在驾驶疲劳现象和有意或无意识的偏离行为进行判断并做出干预提醒。张剑锋^[14]对基于深度学习的车道线检测与车道偏离预警进行系统研究，并设计了一套完整的车道偏离预警系统。郜瑞芹^[15]采用了SVM与AdaBoost算法重点研究了正常天气与非正常天气下弯曲道路的车道线检测方法。初建圳^[16]为提高车辆行驶的主动安全性，将TCL算法和FOD算法相结合，提出了多模式车道偏离预警算法，经过试验得出该算法能更好地进行预警。覃雄臻等^[17]利用图像的不同特征信息与道路图像的空间位置关系相结合，提出了一种可以适应多场景的车道线检测方法，并建立了相应的偏离预警模型，增强了整个预警系统的可靠性和环境适应性。

为了解决汽车保有量增加带来的一系列问题，各发达国家自上世纪90年代就开始对智能驾驶系统进行研究，随着经济的发展和时间的推移，部分学者研制了一系列有效的车道偏离预警系统。其中相当完善的系统有卡耐基梅隆大学研制的AURORA系统^[18]，以色列Mobileye公司研制的Mobileye_AWS系统^[19]等。这些系统利用车载摄像头实时获取车道线和车辆的相对位置。

由于中国在车道偏离预警系统方面的研究开展较晚，相较于发达国家相对落后，但时至今日，中

国在这方面的研究也有了长足的进步。赵佳佳^[20]研发了一套车道偏离预警系统—JLUVA系统。于兵等^[21]克服了PC系统体积大、成本高、功耗高等缺点，开发了一套基于DSP的嵌入式车道偏离报警系统。

目前世界上已有不少量产车型配备了车道偏离预警系统。例如一些车型采用了座椅振动技术，当车辆偏离车道时，座椅会轻微振动，提醒驾驶员注意车辆的行驶方向。这种交互方式可以避免驾驶员在听不清楚声音提醒或者看不到仪表警告而忽略预警信息。抬头显示器可以显示车道偏离的信息，包括指示箭头和声音警告。驾驶员可以直接看到这些信息，无需将注意力从道路上转移。语音控制交互可以通过语音来处理车道偏离预警信息，驾驶员只需说出指令或者回答问题即可消除或确认警告信息，无需操作仪表盘或其他控制面板。部分车型的转向盘或者座椅的侧部配备了触觉反馈技术，当车辆偏离车道时，转向盘或座椅会发出振动信号，提醒驾驶员注意车辆的行驶方向。

宝马、奔驰、奥迪、特斯拉、沃尔沃等品牌的部分车型已配备车道偏离预警系统，如奔驰CLA级AMG Shooting Brake、奥迪A4L、宝马iX、特斯拉MODEL 3等。国内也有很多品牌的车型装配了车道偏离预警系统，如阿维塔11、奇瑞艾瑞泽GX、北京现代悦纳、上汽荣威i5、长安CS75等^[14]。

表2是目前市面上常见的车道偏离预警方式，典型交互形式包括：车道线识别、轮廓振动预警、方向提示图标、语音提醒预警、自动修正转向、自动减速和转向盘振动。

表 2 市面上常见的车道偏离预警交互形式

交互形式	表现方式
车道线识别	通过前置摄像头和图像识别技术检测车道线、边缘，监控车辆在车道内的位置。
轮廓振动预警	当车辆偏离车道时，座椅两侧的轮廓振动装置会发出轻微振动，提醒驾驶员注意。
方向提示图标	当系统检测到车道偏离时，会在仪表盘屏幕上弹出方向指示图标，如箭头或脚印等，提示应该向哪边移动转向盘。
语音提醒预警	播放语音提醒驾驶员的车辆正在偏离车道，提示需要修正方向。
自动修正转向	在高级车道偏离预警系统中，可以对转向盘施加较轻微的反向转矩，帮助驾驶员自动修正方向。
自动减速	检测到严重偏离且驾驶员未响应时，系统可以自动减速使车辆回到车道内，以降低事故风险。
振动转向盘	转向盘可以在偏离一定角度时发出明显振动，强制提醒驾驶员迅速纠正方向。

1.3 碰撞预警研究现状

碰撞是当今社会交通事故的主要表现形式。许多驾驶员在碰撞事故中受伤甚至死亡，车辆及各种公共设施损毁都会造成巨大的经济损失，碰撞预警作为能有效避免此类交通事故的车载系统，引入多模态交互设计来提高驾驶员的安全性，具有重要的研究价值。国内外很多学者对车载系统中的碰撞预警展开了研究。

研究方向主要分为两类，一是基于毫米波雷达、激光的防碰撞技术研究^[22]，二是基于机器视觉的防碰撞算法研究^[23]。

基于毫米波雷达、激光的防碰撞技术对静态物体的识别存在困难，并且其技术需要物理设备的支持，成本相对较高。

田勇等^[24]对基于 77 GHz 毫米波雷达并结合卡尔曼滤波和数据关联算法的运动异物检测方法对电动汽车无线充电时运动异物检测与跟踪进行了研

究，该方法能高精度地测量运动异物的位置和速度，并具备相邻多目标检测和跟踪能力。

基于机器视觉的防碰撞预警能识别静态的障碍物，且成本相对较低，是目前汽车车载系统中防碰撞预警常用的预警方式。

申海洋等^[25]提出利用机器视觉和深度学习的方法实现车辆碰撞预警，一定程度上解决现有研究对静态目标识别困难、算法适应性不强等问题。蔡创新等^[26]提出车路视觉协同的高速公路防碰撞预警算法，将检测到的车道线和所驾驶车辆速度作为输入参数来构建安全距离模型，以设定预警安全区域，通过前车位置和安全距离模型对碰撞进行预测。

表 3 是目前市面上常见的碰撞预警方式，典型交互形式包括：前方障碍物检测、防撞自动制动、语音和图像警示、转向盘振动警示、安全气囊预充、紧急制动辅助和事故自动报警。

表 3 市面上常见的碰撞预警交互形式

交互形式	表现方式
前方障碍物检测	通过毫米波雷达、摄像头、激光雷达等设备检测前方车辆及障碍物，预测碰撞风险。
防撞自动制动	当预测到无法避免的碰撞时，自动启动刹车系统以最大制动力减速或停车，避免或减轻撞击。
语音和图像警示	发出语音警报提醒驾驶员“前方有障碍物”，并在仪表盘屏幕上显示碰撞警示图像。
转向盘振动警示	转向盘明显振动，强制警示驾驶人前方危险。
安全气囊预充	碰撞风险高时，预先充气车内安全气囊，增强撞击保护。
紧急制动辅助	如果驾驶员制动不足，碰撞不可避免，则辅助驾驶员以最大制动力制动。
事故自动报警	发生碰撞后，立即联系急救中心，报警求助。

1.4 智能接管提醒研究现状

汽车智能化发展使高级驾驶辅助系统正朝着全自动驾驶 (Fully Automated Driving, FAD) 转

变^[27]。在自动化驾驶 L3 级别中，自动驾驶系统在车辆行驶时承担着重要作用。但在行车过程中，自动驾驶系统发生故障，或所遇情况超出系统认知

时,车辆就会发出接管请求,在人机共驾系统中这种唤醒驾驶员行为和认知的过程称为接管(Takeover)^[28],在汽车智能辅助驾驶中称为智能接管提醒。

在完全自动驾驶技术这个技术难题未解决之前,“人机共驾”是智能网联汽车行业需要面临的重要课题,因此,将合理的多模态交互设计引入智能接管系统来提高驾驶员体验舒适度以及安全性是重要课题。智能接管系统中驾驶信任度是尤为关键的部分。

由芳等^[29]在基于驾驶信任度的理论模型下,探究了HMI设计在典型接管场景下对驾驶信任度的影响,对转向灯带变化和中控信息进行了透明度设计。同时分析了动态变化的机理以及信任的形成,有效提高了人车接管场景下驾驶员对自动化的信任度、接管效率以及用户的满意度。LEE等^[30]等对人与自动化驾驶系统之间信任合作的两个基本组成部分即信任(Trust)和透明度(Transparency)进行了研究。HOFF等^[31]将习得信任分为两种情况,最初习得和动态习得,同时为增强用户对自动化驾驶系统的信任度进行了研究,并得出结论:动

态习得依赖于一定的设计特征,这些特征大致包含了好的外观和好的交流方式,并易于使用等。

在HMI设计方面,EKMAN等^[32]提出了一种指导框架,可以在人机界面中实现信任相关因素。MIWA等^[33]研究了一种信任度模型,可以用于车辆自动化系统。因此,如何使驾驶员对智能驾驶系统信任是智能接管提醒当中着重考虑的部分。吉林大学的范达^[34]从人车路角度综合提出了适用于实车环境的人车控制权切换评价方法,并在仿真及实车环境下进行了验证,得出该方法能有效地对控制权切换进行量化评价的结论。徐天宇^[35]研究从周边车流角度出发,探索周边车流对接管时间的影响机理并对接管时间进行预测,同时使用CatBoost建立实时事故风险预测模型,并得出结论:CatBoost算法相比于随机森林和XGBoost算法能更好地预测事故的发生,该方法对于提高接管安全有重要的意义。

表4是目前市面上常见的智能接管提醒方式,典型交互形式包括:语音确认、接管倒计时、转向灯推离、转向锁止、制动踏板收回、状态指示灯、进程提示音和结束提示音。

表4 市面上常见的智能接管提醒交互形式

交互形式	表现方式
语音确认	当驾驶员发出接管请求时,系统会用语音进行确认,例如“您请求自动驾驶系统接管,确认请说‘确认’,取消请说‘取消’”。
接管倒计时	系统接收到确认指令后,在仪表盘屏幕上显示倒计时,例如“系统将在10s后接管”。
转向灯推离	当开始自动驾驶时,转向灯会轻推驾驶员的手臂,提示系统已经接管。
转向锁止	锁住转向灯以防止干扰系统操控。
制动踏板收回	自动收回和隐藏制动踏板,保持足部空间。
状态指示灯	仪表盘状态指示灯改变,提示系统已经接管。
进程提示音	系统在接管过程中发出“嘀——”的提示音。
结束提示音	接管结束时发出“嘀嘀——”的提示音,表示已完全接管。

1.5 智能泊车研究现状

汽车作为人类目前出行的首选工具,随着科技的迅速发展,其保有量也在急剧增长。但由此也产生了许多矛盾,例如道路的拥堵情况日趋严峻,泊车也变成了非常让人头疼的问题,将多模态交互设计引入智能泊车路径规划来提升驾驶者舒适度的

重要性逐渐体现。GOLLEDGE等^[36]总结了24种路径选择标准,路径短、时间短、消耗少、驾驶轻松的道路最受大众欢迎。

车辆导航中经典的路径搜索方法有8种:启发式算法、广度优先搜索、深度优先搜索、基于路链的路径规划算法、人工势场算法、蚁群算法、遗传

算法、动态规划算法。在泊车难等问题方面,霍厚彬^[37]针对停车场拥挤问题提出了一种可以通过车载自组织网络给车辆分配停车位的车辆预定协议。华南理工大学的艾皖东^[38]提出了一种基于改进 Floyd+A*混合路径规划算法的智能车辆路径规划方法,结合全自动的泊车技术,成功实现了区域自动代客泊车应用。刘治业^[39]设计了一种基于物联网大数据平台,可以提高停车效率、整合和分配信息资源的智能停车系统。RHODES等^[40]提出了一种智能停车系统,可以防止多个司机在同一时间同时前往同一停车场造成的拥堵现象。吴中伟^[41]提出了一种辅助停车系统,该方法是利用 Matlab 软件,

基于实际泊车情况对正常和倾斜泊车角度进行路径规划仿真,并满足车辆运动约束以及环境约束条件的泊车路径规划方法,来解决泊车失误所发生的交通事故,提高驾驶员倒车入库的安全性。周思浩^[42]开发了一种基于无线传感器网络的停车场内智能引导系统,可将驾驶员引导至指定停车位,并能提供出入场引导和重复引导服务,提高了停车场的运行效率和车位利用率。

表 5 是目前市面上常见的智能泊车方式,典型交互形式包括:语音提醒、摄像头 360°视角、一键泊车、泊车过程提示、泊车精度提示、泊车完成提醒和需要人工接管提示。

表 5 市面上常见的智能接管提醒交互形式

交互形式	表现方式
语音提醒	当驾驶员请求智能泊车服务时,系统会以语音确认“您已请求智能泊车服务”。
摄像头 360°视角	车内屏幕会显示车辆周边 360°无死区的视角,让驾驶员观察泊车环境。
一键泊车	驾驶员只需点击屏幕的“一键泊车”按钮,系统即接管车辆,自动完成泊车。
泊车过程提示	系统会以语音报告“正在并线泊车”“正在调整方向”“正在倒车入位”等泊车进行步骤。
泊车精度提示	泊车结束后,会提示车辆相对泊车位的精确距离,如“您的车距车位的距离为 30 cm”。
泊车完成提醒	以语音和屏幕提示表示泊车已完成,请驾驶员接管车辆。
需要人工接管提示	如果遇到系统无法处理的情况,会提示驾驶员需要接管车辆进行人工泊车。

2 基于情感化的汽车智能座舱研究现状

在 L2~L4 级自动驾驶车辆中,由于自动驾驶系统无法在所有路况下执行所有任务,当超出系统运行能力时,驾驶员需要重新控制车辆,在许多关键的操作中仍需要驾驶员进行人工干预,这种从自动到手动状态的切换称为车-人接管。为了面对各种复杂驾驶情景下的交互方式,以提高驾驶员安全性与驾驶体验,交互体验和交互效率就显得极其重要。

在行车时,驾驶员的主要任务是在车内控制汽车,保证行驶安全。次级任务是和各种车载系统进行交互,大多以中控系统为主。在智能辅助驾驶的概念提出之后,车载系统的功能不断丰富,例如:音乐、视频、查询、电话、导航、电台、浏览、通讯、各种预警等,都属于次级任务^[43]。

在驾驶过程中人的行为的产生需要一定的条件

和环境,这种条件和环境被称作“情境”,不同的情境会影响人的行为。针对情境的概念,常被提及的还有情景、背景和情形,都是泛指行为发生的场景^[44]。在车辆的信息方面,李克强教授表示随着生成式人工智能的发展,端到端自动驾驶系统成为研究焦点,这种以神经网络为核心的系统减少了对专家规则的依赖,强调了集成性和实时性,展现了跨场景应用的可能性和通过数据驱动自我进化的能力^[1]。可以预测未来的驾驶系统不仅能自适应不同驾驶环境,还能实时处理复杂情景,为驾驶员提供更加智能化的辅助功能,推动汽车智能化技术的进步。

湖南大学教授谭浩等^[45]在其智能汽车人机交互发展趋势研究中提出接管与移交、智能情感交互、个性化、多通道融合交互等方向是未来智能汽车发展的方向。用户对产品和系统进行交互时,对

产品各方面功能产生立体而全面的新认知,提升用户对产品的综合体验。武汉理工大学的廖丹^[46]以行为聚焦为中心,用情景描述和应用访谈相结合的方式对汽车人机交互中多通道交互界面设计展开研究。殷军强^[47]在车载信息与娱乐系统界面的交互设计研究中,从人机工程学人机界面信息着手,对用户体验模型、交互设计模型、用户模型这三大类别进行了设计与建模,对车载娱乐系统界面和信息界面设计的开发提供了参考价值。谭浩等^[48]在《汽车人机交互界面设计》中分析和总结了汽车产品和服务设计、交互方式等要素在汽车人机交互界面中的应用,并提出了在汽车的人机交互中可以从用户认知心理、行为、情感体验等方面着手研究。

表情的识别是情感化智能座舱实现的重要条件,快速有效精准地对用户情绪进行识别,可以让驾驶员的交互体验、驾驶体验更加舒适。韩晶^[49]在基于微表情语义认知的情感交互研究中对微表情语义特征与人工智能机器情感状态转移机制展开研究,并得出微表情的语义特征能很好地捕捉情感并识别强相关的特征。美国的心理学家MEHRABIAN^[50]研究得出,面部表情在感情交流中有举足轻重的地位。CARMEN等^[51]利用用户面部表情不同区域的反应,来识别用户是否对交互内容感兴趣。YE Jiajie等^[52]将面部特征、头部姿态、和语音信息等交互方式融合搭建了一个身份识别系统,对大量人物的身份进行识别,让大家了解到多模态信息融合的优越性。

情感化设计的融入使用户与车载智能机器人的交互方式变得更加有趣,就目前而言,车载虚拟智能机器人可以分为以下3类。

(1) 将虚拟形象直接嵌入车载屏幕中,并在屏幕内浮动或隐藏,如小鹏汽车的“小P同学”,它可以进行语音识别交互、导航和路况提示、智能音乐播放、智能辅助驾驶、人脸识别和安全提醒等功能。

(2) 在车机大屏幕上专门分出一块区域,用来部署虚拟动态形象,如理想汽车的“理想同学”SMART小狐狸,它们可以非常快速地对用户的提

问做出智能化回答,为乘客提供出行、生活等领域的咨询服务。

(3) 通过全息投影等成像技术,将虚拟动态形象展示在固定的装置里,如奔腾汽车的“YOMI”,用户可以自定义它的形象,甚至可以将“YOMI”换成自己或家人的形象。

随着时代的发展,车载实体智能机器人也有很大的进展,2009年大众汽车与美国的MIT Media Lab合作设计了世界上第一台车载智能机器人AIDA,其作为一款社交机器人安装在中控仪表盘上,与用户互动的行为犹如一位友好的助理,为驾驶员提供辅助驾驶的信息。2013年丰田汽车与东京大学合作设计了Kirobo车载智能机器人,Kirobo以便携的方式独立于汽车,它通过摄像头和传感器来分析检测用户的情绪状态,并给予合适的意见来调节驾驶员情绪。在2019年、2020年合众新能源汽车和广汽蔚来汽车分别在新车上推出了车载智能机器人“小YOU”和“小CAN”,车载机器人开始更广泛地进入大众的视野。

蔚来汽车ES8中的车载AI—NOMI作为典型的车载AI机器人,它可以做出各种典型的交互表情,在驾驶员播放音乐时它可以弹琴进行互动,主驾驶副驾驶车门打开时它会转动身体看向对应方向,驾驶员还可以与它进行语音上的互动,这各种交互方式都使原本作为一个载人工具的机器变得更加灵性。它的加入减少了人机之间隔阂感,增进了人与机器之间的沟通。

总体来看,在确保安全性的基础上,智能座舱中情感化设计可以通过定制化和个性化的方式得到扩展。情感化设计可以根据不同使用场景和个人喜好来设计情感化交互,从而实现更人性化的用户体验。从交互形式上看,适度增加多模态反馈能使交互更趋自然。同时,情感化功能还可以针对减压、状态监控等需求进行扩展。随着用户接受度的提升和技术安全性的增强,情感交互可以得到深化,实现车辆与用户之间的情感连接。但是,这种发展需要以渐进方式进行,并始终保持对安全性的考虑。

3 汽车智能座舱多模态交互设计研究现状

随着时代的发展,汽车已成为我们日常生活中最重要的交通工具。多模态交互设计以及大量功能的引入使行车变得更加安全和舒适,驾驶员在执行主驾驶任务时也需要跟各种车载系统和设备进行交互。

在智能汽车的体验中,智能座舱作为各种车载交互方式的载体,是驾驶员与车联系的重要交互窗口,其各种交互方式的联合直接影响驾驶体验和乘车体验,当前我国的汽车智能座舱发展水平介于电子时期和可智能时期之间,在部分高端车型上已经初步实现座舱智能化。

汽车智能座舱的定义有以下两种解释。

一是基于用户体验将座舱定义为智能服务系统,从乘客的需求及体验考虑,分析用户需求,结合大数据与用户偏好,通过各种交互载体等满足用户需求,使乘客获得良好的驾驶体验和交互体验。

二是基于行驶情景将座舱定义为智能移动空间^[53],座舱通过分析周边车辆及环境,结合用户判断,最终实现人与车、车与路的交互。

在对智能汽车的设想中,车载智能机器人会代替驾驶员进行主驾驶的任务,驾驶员则可以在车辆行驶途中进行次级任务,但目前的科技并不能达到完全的智能驾驶。因此面对复杂的人机交互情景,如何使各种车载多模态交互设计满足驾驶员各种需求变化,不同的驾驶情景对驾驶员的安全、交互行为、交互体验有何影响是非常值得研究的课题。

阿维塔 11 的智能座舱就能给用户耳目一新的体验。在用户靠近车辆的时候,阿维塔 11 能在远处自动打开车门,在进入座舱后踩下制动,车门便会自动关闭,驾驶员在进入座舱后,座椅便会往前移动调整到舒适的空间。在座舱内,驾驶人可以打开场景世界来选择观影模式、休憩模式、洗车模式、宠物模式、观影模式、嗨歌模式,省去了查找以及搜索的步骤。在多屏信息联动这方面,阿维塔 11 可以将主屏幕播放的信息联动到副驾驶的娱乐屏上。

在语音交互方面,阿维塔 11 的语音执行速度以及唤醒速度快,同时还支持一句多段指令的持续聆听,一次唤醒持续交互的双功能。

3.1 智能网联是触发多感官交互的重要信息来源

人工智能、大数据、智慧交通、5G 等新兴技术不断为车载系统赋能,各种网络的连接也使车载空间变成了一个复杂的信息承载体,在“中国制造与互联网+”发展战略下,汽车行业对智能网联汽车的探索正逐步加快脚步,智能网联技术的发展将颠覆性地改变传统的汽车的出行模式,乘坐体验,在一定程度上人工智能会成为汽车的大脑,独立完成车辆驾驶任务,人可以在车内实现娱乐和办公,使汽车成为家庭和办公场所之外的第 3 个空间^[54]。

智能网联汽车可以通过多模态交互技术提高驾驶员的舒适性。例如,通过语音识别技术,驾驶员可以不用手操作车载系统,从而减少疲劳和分心。此外,智能网联汽车还可以根据驾驶员的个性化需求和环境变化,自动调整车内的温度、音乐等。智能网联汽车与多模态交互之间还有着广泛的商业应用。例如,多模态交互技术可以帮助汽车制造商开发更加智能化和个性化的汽车产品,增加市场竞争力。此外,多模态交互技术也可以为智能网联汽车提供更加智能化的推广和服务,如基于车辆数据的保险、智能导航等。

同时,多模态交互技术也可以使智能网联汽车更加智能化。例如,通过使用机器学习算法,汽车可以学习驾驶员的口音和语言习惯,使语音交互更加自然。同时,智能网联汽车还可以根据驾驶员的情绪、行驶情况等,自动调整车内的环境和服务。多模态的交互方式还可以使智能网联汽车更加安全。通过多种交互方式(如声音、触摸、视觉等),驾驶员可以更轻松地操作车辆,避免因操作不当而导致的事故。

3.2 智能座舱触控交互的研究现状

触控交互是车载智能座舱中常见的交互方式,能为用户提供物体纹理、温度和振动幅度等类别或连续的信息。

在车载触控交互方面，各个车载信息触控屏设计不尽相同，大小从6.858 cm (2.7 inch) 到发展到拜腾 M-Byte 的 121.92 cm (48 inch) 超大显示屏，其中 30.48 cm (12 inch) 在各大汽车产商中使用的最多，内置式和悬浮式是采用最多的两种位置形式。目前在车载信息触控屏的研究上缺少人车交互体验的研究，因此，优化界面的交互体验就极其的重要，人与车载信息触控屏的交互首先应该要保证安全性，其次是创新性和便携性^[55]。2013年，特斯拉推出搭载 17 inch 车载显示屏的新能源汽车 MODEL S，取消了中控物理按键，车载显示屏几乎可以操控所有的车载功能。

3.3 智能座舱语音交互的研究现状

除了视觉感知，听觉是最容易实现的感知通道。通过物体发出的立体声，用户可以快速地辨识音源方位、距离等信息，语音可以高效地传递信息。

在车载语音交互方面，MYERS等^[56]发现当人们在语音交互过程中遇到问题时会更倾向用“猜测”的方式，而不是依靠回忆和视觉辅助。LEE等^[57]提供了能通过语音命令与用户交互的原型应用程序。诺丁汉大学的BURNETT等^[58]研究发现，听觉系统对驾驶速度感知有重要影响。2017年，杨洋^[59]指出语音交互能带给用户心理上更加快捷的用户体验。华南理工大学的吴晓静等^[60]发现语音交互相比触摸和按键交互会更加灵活自然。

3.4 智能座舱手势交互的研究现状

动作识别和传感器技术的快速发展使手势交互成为常用的交互方式之一。基于手势的交互一般情况下使用可跟踪设备来捕捉用户手指的移动信息，帮助用户完成对数据的操控。

在车载手势交互方面，李克强教授提出了“自然、智能、高效、直观”的设计原则，该原则要求设计适应人类自然而有限的生理特征和行动方式，提高手势交互效率和易用性。国外学者 AKYOL 等^[61]在车载系统中，通过对单手操作识别进行研究，得出单手手势交互对汽车控制具有可行性。

BACH等^[62]将触摸、触觉、手势3种交互做了对比研究，得出手势交互可以更好地避免因视线转移造成的驾驶分心。李漠秧^[63]针对手势交互在汽车相关领域的应用做全面分析和研究，提出了以人机交互界面设计为依据让用户去自定义手势的设计。RIENER等^[64]通过研究得出大多数手势操控的区域集中在后视镜、转向盘、变速挡位置。Hyundai HCD-14 概念车运用了空间手势交互系统，3D 手势识别装置在驾驶座正前方，同时还融入了眼动视线追踪功能，驾驶员可以通过特定的手势操控智能导航、车载音乐等系统。

3.5 智能座舱嗅觉交互的研究现状

嗅觉与味觉相比于其他交互方式有易于记忆和识别的优势，各种气味所提供的类别信息和连续信息如气流流速、温度等都能编码离散和连续的数据。

在车载嗅觉交互方面，2018年在CES展上，Honda本田推出了数字气味设计，该气味可以结合当时驾驶情境，推测驾驶员的性格和心情状态，在车舱内释放不同的气味，利用嗅觉感官为驾驶员创造有趣的新体验^[65]。2016年，吴刚^[66]将嗅觉感官与其他4种感官对比，发现人的嗅觉记忆最长久。唐秋阳^[67]在其博士论文中探究了嗅觉刺激对驾驶员脑功能机理的影响，发现吸入气味的驾驶员在驾驶过程中遇到危险会有更快的反应、更小的车道偏离角度、更温和的制动，使整体的操作更加安全，同时在10%浓度和5s释放时长的条件下具有最好的疲劳缓解效果。

3.6 智能座舱眼动交互的研究现状

眼动交互是基于注视的交互，利用用户的注视信息进行交互也是探索大数据可视化的一种常见交互方式。通过眼动追踪技术来捕捉用户的视线焦点来理解使用者当前心理状态、关注的内容等。

在车载眼动交互方面，李永锋等^[68]运用眼动技术分析棋盘式布局可用性高于阶层式布局。任宏等^[69]在基于眼动试验的车载触控屏注视行为分析中做了相关试验研究，发现使用悬浮式触控屏识别

效率更高；使用触控屏通栏显示的平均注视时间更短，效率更高；功能栏设计在左下侧注视时间更短效率更高；悬浮式通栏显示更符合驾驶员的交互行为和使用习惯。SCHÜTZ 等^[70]提出人的隐式意图大部分情况下是可以通过眼部特征、面部表情、肢体动作等进行推理。朱富丽等^[71]经过试验得出眼动特征能很好地将人的视觉交互状态进行分类，尤其是应激状态和脱环状态，说明了认知活动较强的视觉交互状态更容易被识别。

3.7 智能座舱多屏交互的研究现状

智能座舱多屏交互指的是将不同的信息和功能呈现在座舱内的不同屏幕上，并通过这些屏幕之间的交互来实现更加灵活深入的操作和体验。其中，可以通过语音、手势、触控、控制台等多种方式与座舱内的屏幕进行交互，实现汽车驾乘体验的智能化和个性化。

在多屏交互模式中，座舱内的不同屏幕应用通常由仪表盘、中控屏、副驾驶屏、后排娱乐屏等组成。通过这些屏幕，驾乘人员可以实时获取车辆的行车信息、娱乐信息、导航信息等，并进行语音命令、触控操作、手势控制等交互方式进行操作。

多屏交互具有很强的个性化和定制化的特点，可以根据不同的驾驶习惯、偏好、需求来进行自定义设置。此外，多屏交互还可以适应不同的驱动场景，提高车辆的行驶安全和驾乘体验。

在多屏信息联动方面，谭浩等^[72]研究了驾驶员在不同屏幕显示不同信息情况下驾驶过程的安全感和舒适度体验，并得出采用 HUD 显示在安全感的体验上表现不佳，但 HUD 显示在紧急情况发生时相对其他显示模式有明显的优势，舒适度体验和安全感都处于较高的水平。阿维塔 11 的座舱内，中控屏和副驾驶娱乐屏可以相互联动，提高了驾驶舒适度。奥迪 Prologue 概念车前半部分使用了多块屏幕，采用了超大全宽仪表盘显示屏，囊括了整个中控台，顶灯和副驾驶区域都设计了屏幕^[73]。2016 年捷豹路虎与高德地图合作推出了能多屏互动的高端互联网车载导航，各屏幕之间可以分别提供

信息和服务并进行互动，后排乘客可以将导航信息从后排屏幕传送至仪表盘与中控屏幕^[74]。

4 汽车多模态交互设计发展趋势

汽车多模态交互可以根据驾驶员当前特定场景提供不同交互方式的融合应用。未来车载人机交互发展的需要不是某一种新颖具体的单一交互方式，而是在以用户安全和舒适体验为核心的理念上，多种交互方式相结合。过多的刺激会干扰驾驶员的驾驶情景，只有适当的交互方式才能让驾驶员有更加优越舒适的体验。

随着相关汽车多模态交互技术的进步，高度自动化驾驶模式下的情感交互预计将得到大幅提升。展望未来，安全性与情感化都需要持续迭代与优化，以推动汽车多模态交互向更自然、更智能的方向发展。总体而言，在汽车交互设计中，安全性是基石，情感化是优化手段，两者需要协调统一以实现最大价值。

从驾驶员行为机制出发，迭代和联动传统的人机交互方式是未来智能座舱提升驾驶安全性和用户体验的必然方式。

高级自动驾驶作为连接手动驾驶和完全自动驾驶的过渡阶段，对人机交互模式的研究尤为重要。现阶段研究主要集中在降低驾驶员认知负荷，保持驾驶员对关键事件的警觉性，应用新交互技术提升用户体验；通过生理信号检测技术，研究驾驶员状态，实现智能提示或主动调节来保证安全；研究自然交互方式与传统交互方式的结合，实现驾驶目的无缝转换；应用增强现实和虚拟现实技术，优化复杂交通环境中人机交互方式；个性化适配技术研究，针对不同人群调整交互策略，提升用户体验；模拟驾驶环境研究驾驶员行为，评估新交互技术的安全性和效率等。

4.1 智能座舱手势交互的发展趋势

在未来的车载系统中，手势交互无论多么小的肢体语言，都能产生反馈，驾驶员通过用最自然的手势交互来让车载系统读懂其需求和指令。

未来的驾驶过程中,手势交互将支持更复杂手势词典。如两手各形成一个手势,组合表达更多交互意图。具体如下所列。

(1) 驾驶员可以根据自定义设置的手势语言对车载系统进行控制,比如需要天窗打开时,手对着天窗的位置向前摆动,天窗便可识别手势打开天窗;需要调节座椅位置时,手只需对着座位前后摆动便可调节;需要暂停音乐时,握紧拳头便可暂停。

(2) 手势力度、速度也将成为交互输入的新途径。如轻点播放/暂停音乐,用力点播放下一曲。

(3) 增强现实手势。可直接在车窗作为的AR屏幕上“点击”执行操作。单手远程切换各个程序并应用使得驾驶更安全体验更舒适,这些手势可以方便驾驶员在控制车载系统的同时不影响驾驶。

(4) 与触控、控制杆等交互方式串联。组合多种交互方式进行复杂任务控制。

(5) 驾驶员的手势可与AR界面交互。可在AR头显界面通过手势选择、移动、放缩虚拟元素和信息。

(6) 手势交互会与语音交互紧密结合。可以先用手势引导,再用语音确认或细化操作。如手势打开音乐app,语音指定歌曲。

4.2 智能座舱语音交互的发展趋势

语音交互将成为人车交互的主要方式之一。系统语音识别和交互将更加智能和自然。具体如下所列。

(1) 语音交互与其他交互方式联动。如语音激活+手势控制、语音确认+眼球选择等。

(2) 支持更复杂的语义理解和对话。实现类似人与人实感交流的复杂语音交互。

(3) 语音交互个性化适配。识别不同口音、语速,沉默期等个体语音特征。

(4) 语音交互结合外部知识。连接网络获得外部知识支撑交互,如将AI的数据库与语音交互结合。

(5) 语音交互具备个性化语言风格。使用驾驶

员喜欢的语言风格和语气进行交互。

(6) 多人语音协同交互。同车多个人语音指令协同达成控制目的。

(7) 语音交互自动优化。根据场景自动调整交互语音内容和风格,减少干扰驾驶。

(8) 加入其他感官反馈验证。如语音指令后需要扫视确认或点头确认。

4.3 智能座舱眼动交互的发展趋势

眼动交互可以实时检测驾驶员的眼动轨迹、瞳孔大小、注视时长等。具体如下所列。

(1) 眼动交互与头部运动结合,扩大交互范围。通过头部转向来移动更大范围内的视角。

(2) 眼动交互与语音交互紧密结合。如眼动选择目标,语音确认操作。

(3) 眼神交互增加。如眼神停留在目标上2s确认选择,或在一个区域注视时长过两秒便会显示数据。

(4) 个性化校准。通过个性化校准算法优化个人眼动交互的准确性。

(5) 眼动交互结合AR/VR。如眼动控制虚拟界面、获得增强信息等。

(6) 精细操作交互。如眼动控制屏幕滚动速度、定位等微操作。

(7) 自动适应环境。如简化行驶中交互步骤,避免视线长时间离开道路。

4.4 智能座舱表情交互的发展趋势

表情识别系统可以实时监测驾驶员面部表情,并根据车辆行驶状态和行驶情景来判断驾驶员的心理与情绪。具体如下所列。

(1) 表情将被广泛用于车载的情感交互。系统能分析驾驶员表情、判断情绪状态,提供对应服务。

(2) 表情交互结合语音交互。表情验证关键词命令,提高安全性。如笑脸确认转向。

(3) 表情交互与车载AR/VR结合。在AR/VR环境中使用表情控制虚拟元素。

(4) 驾驶员可以进行表情的自定义。让驾驶员定制常用表情交互方式。

(5) 情景智能交互。系统自动判断不同场景下优先使用哪些表情交互模式。

(6) 表情交互个性化适应。基于面部特征优化表情识别算法。

(7) 多人协同表情交互。同车多人表情结合实现更复杂交互控制。

4.5 智能座舱嗅觉交互的发展趋势

智能座舱中的嗅觉交互可以用于增强驾驶体验。车内可以释放不同气味，营造氛围。具体如下所列。

(1) 嗅觉交互可以用于警示提醒。如释放烧焦味提示电机故障。

(2) 嗅觉交互可缓解驾驶疲劳。如释放气芬，让驾驶员大脑保持清醒。

(3) 语音交互与嗅觉交互联动。如语音选择气味类型，避免驾驶分心。

(4) 嗅觉交互个性化配置。驾驶员可以根据喜好预设气味交互。

(5) 表情交互与嗅觉交互联动。根据驾驶员情绪状态来释放对应的气味以调节驾驶人情绪。

(6) 嗅觉交互的安全限制。避免强烈气味对驾驶造成干扰。

(7) 嗅觉增强虚拟体验。与AR/VR结合，增强虚拟场景的真实感。

4.6 智能座舱脑机交互的发展趋势

在未来，脑机交互也可以与各种车载应用相结合，根据各种车载应用的需求，采集人体的各种生理信号，如皮电、皮温、瞳孔、脑电波、呼吸频率等，然后对采集的生理信号进行特征提取并分类，获得生理信号的特征集，通过特征降维和特征选择建立最优的特征集，最后将车载智能机器人对最优特征集进行多种学习算法的模式识别，建立相关模型，应用于各种车载设计和系统开发。具体如下所列。

(1) 脑机交互结合眼动交互，通过眼球运动辅助思维控制车载系统及行驶。

(2) 脑电信号验证关键语音指令或操作，提高安全性。如发动前的安全检查。

(3) 通过脑电图分析驾驶员心理状态，进行能量管理、环境调节等。

(4) 读取驾驶员意图预测操作，实现主动智能辅助。如预测转向意图，提前规划。

(5) 结合VR/AR，通过思维控制虚拟场景、获得身临其境的AR/VR驾驶交互体验。例如佩戴脑机交互的头环，脑电波传感器会实时检测并分析观察，当驾驶员身心疲劳时车载智能机器人就会做出让驾驶者提神的举措，如播放全息投影做一些节奏感的动作或音乐。具体如下所列：

①构建驾驶员认知模型，实现智能交互对话；

②多人联机协同操作，车内多人思维信号结合控制车辆；

③个体神经网络模型定制，基于个体差异定制个性化的脑机交互系统；

④大胆预测，未来人类还可以植入芯片，直接读取脑电信号来控制车辆的各种应用，例如驾驶者想播放什么音乐时无需任何肢体动作，直接通过脑电信号传输给车载系统便可随即播放，期间可以省去各种繁琐的操作，方便了驾驶人增加了安全系数。当驾驶员想解放双手时，脑机交互也可以通过芯片的远端输出来控制车辆转向、加速、泊车等。

5 结论

汽车作为当今世界最常见的交通工具，未来还有非常大的发展空间，在L5级全自动驾驶技术出现之前，人机共驾的场景是必不可少的，多模态交互所包含的各种交互方式，触控交互、语音交互、手势交互、嗅觉交互、眼动交互、表情交互、多屏信息联动等交互方式的融合将会产生不同的驾驶体验。恰当而良好的交互方式融合将会提高各种车载系统及应用的安全性和驾驶舒适度。多模态交互的引入必将是汽车发展的趋势。

参考文献 (References)

- [1] 李升波,刘畅,殷玉明,等.汽车端到端自动驾驶系统的关键技术与发展趋势[J].人工智能,2023(5):1-16.
LI Shengbo, LIU Chang, YIN Yuming et al. Key Technologies and Development Trend of Automotive End-to-End Autonomous Driving System[J].Artificial Intelligence, 2023(5):1-16.(in Chinese)
- [2] FRAGOPANAGOS N, TAYLOR J G. 2005 Special Issue: Emotion Recognition in Human-Computer Interaction[J]. Neural Networks, 2005, 18(4):389-405.
- [3] 戚基艳.汽车驾驶疲劳分析及其监测[J].汽车科技, 2011(1):34-38.
QI Jiyan. Analysis and Monitoring of Driving Fatigue[J]. Automobile Science & Technology, 2011(1):34-38.(in Chinese)
- [4] 王鹏程.汽车驾驶员疲劳驾驶预警装置设计及实验研究[D].威海:哈尔滨工业大学(威海),2011.
WANG Pengcheng. Design and Experiment Research of Automotive Driver Fatigue Driving Early Warning Device [D]. Weihai: Harbin Institute of Technology (Weihai), 2011.(in Chinese)
- [5] 胡鸿志.机动车驾驶疲劳识别系统研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.
HU Hongzhi. Research of Vehicle Driving Fatigue Recognition System [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.(in Chinese)
- [6] 石磊.基于Android智能移动终端的汽车疲劳驾驶预警系统的研究与实现[D].南京:南京邮电大学,2013.
SHI Lei. Research and Implementation on Driver Fatigue Warning System on Intelligent Mobile Terminal with Android Platform [D]. Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2013.(in Chinese)
- [7] MAKISHITA H, MATSUNAGA K. Differences of Drivers' Reaction Times According to Age and Mental Workload [J]. Accident Analysis & Prevention, 2008, 40(2):567-575.
- [8] 郑伟成,李学伟,刘宏哲,等.基于深度学习的疲劳驾驶检测算法[J].计算机工程,2020,46(7):21-29.
ZHENG Weicheng, LI Xuewei, LIU Hongzhe, et al. Fatigue Driving Detection Algorithm Based on Deep Learning[J]. Computer Engineering, 2020, 46(7):21-29.(in Chinese)
- [9] 张笔豪.基于多特征的驾驶人疲劳检测方法[D].南昌:华东交通大学,2022.
ZHANG Bihao. Driver Fatigue Detection Method Based on Multi-Features [D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2022.(in Chinese)
- [10] 李京徽.基于神经网络的疲劳驾驶检测算法[D].长春:长春工业大学,2022.
LI Jinghui. Fatigue Driving Detection Algorithm Based on Neural Network [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2022.(in Chinese)
- [11] 马雪婷,费树岷.基于面部特征与深度学习的疲劳驾驶状态检测研究[J].电子测试,2021(11):33-36.
MA Xueting, FEI Shumin. Fatigue Driving State Detection Based on Facial Features and Deep Learning [J]. Electronic Test, 2021(11):33-36.(in Chinese)
- [12] 张曼曼.基于深度学习的疲劳驾驶检测方法研究与实现[D].重庆:西南大学,2020.
ZHANG Manman. Research and Implementation of Fatigue Driving Detection Method Based on Deep Learning [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.(in Chinese)
- [13] 郭梦竹.基于反应时间的驾驶员疲劳状态监测与预警技术研究[D].长春:吉林大学,2017.
GUO Mengzhu. Research on Driving Fatigue Monitoring and Early-Warning Technology Based on the Reaction Time [D]. Changchun: Jilin University, 2017.(in Chinese)
- [14] 张剑锋.基于深度学习的车道线检测与车道偏离预警系统研究[D].广州:华南理工大学,2019.
ZHANG Jianfeng. Research on Lane Line Detection and Lane Departure Warning System Based on Deep Learning [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.(in Chinese)
- [15] 郜瑞芹.基于机器学习的弯道自动检测[D].大连:大连交通大学,2014.
GAO Ruiqin. Automatic Curve Detection Based on Machine Learning [D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2014.(in Chinese)
- [16] 初建圳.车道偏离预警算法研究[J].汽车实用技术, 2020(5):35-37.
CHU Jianzhen. Research on Algorithm of Lane Deviation Assistance System [J]. Automobile Applied Technology, 2020(5):35-37.(in Chinese)
- [17] 覃雄臻,鲁若宇,陈立明,等.多场景车道线检测与偏离预警方法研究[J].机械科学与技术,2020,39(9):1439-1449.
QIN Xiongzen, LU Ruoyu, CHEN Liming, et al. Research

- on Multi-Scene Lane Line Detection and Deviation Warning Method[J].Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2020, 39(9): 1439-1449. (in Chinese)
- [18] CHEN Mei, JOCHEM T, POMERLEAU D. AURORA: A Vision-Based Roadway Departure Warning System[C]//Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Aug. 5-9, 1995, Pittsburgh, PA, USA. Piscataway NJ: IEEE, c1995: 243-248.
- [19] DAGAN E, MANO O, STEIN G P, et al. Forward Collision Warning with a Single Camera[C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 14-17, 2004, Parma, Italy. Piscataway NJ: IEEE, c2004: 37-42.
- [20] 赵佳佳. 道路光照模式分类器设计[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
ZHAO Jiajia. Design of Road Light Pattern Classifier[D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)
- [21] 于兵, 张为公, 龚宗洋. 基于 DSP 的嵌入式车道偏离报警系统的硬件平台[J]. 测控技术, 2009, 28(7): 22-24.
YU Bing, ZHANG Weigong, GONG Zongyang. An Embedded Hardware Platform of Lane Departure Warning System Based on DSP [J]. Measurement & Control Technology, 2009, 28(7): 22-24. (in Chinese)
- [22] SONG Wenjie, YANG Yi, FU Mengyin, et al. Real-Time Obstacles Detection and Status Classification for Collision Warning in a Vehicle Active Safety System [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(3): 758-773.
- [23] FANG C Y, LIANG J H, LO C S, et al. A Real-Time Visual-Based Front-Mounted Vehicle Collision Warning System [C]//2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Vehicles and Transportation Systems, April 16-19, 2013, Singapore. Piscataway NJ: IEEE, c2013: 1-8.
- [24] 田勇, 杨昊, 胡超, 等. 基于毫米波雷达的电动汽车无线充电运动异物检测与跟踪[J]. 电工技术学报, 2023, 38(2): 297-308.
TIAN Yong, YANG Hao, HU Chao, et al. Moving Foreign Object Detection and Track for Electric Vehicle Wireless Charging Based on Millimeter-Wave Radar [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2023, 38(2): 297-308. (in Chinese)
- [25] 申海洋, 霍魁, 王德喜. 基于机器视觉和深度学习的车辆碰撞预警算法研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2023, 46(3): 617-627.
- SHEN Haiyang, HUO Kui, WANG Dexi. Research on Vehicle Collision Early Warning Algorithm Based on Machine Vision and Deep Learning[J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition): 2023, 46(3): 617-627. (in Chinese)
- [26] 蔡创新, 高尚兵, 周君, 等. 车路视觉协同的高速公路防撞预警算法[J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(8): 1649-1657.
CAI Chuangxin, GAO Shangbing, ZHOU Jun, et al. Freeway Anti-Collision Warning Algorithm Based on Vehicle-Road Visual Collaboration [J]. Journal of Image and Graphics, 2020, 25(8): 1649-1657. (in Chinese)
- [27] KYRIAKIDIS M, WEIJER C V D, AREM B V, et al. The Deployment of Advanced Driver Assistance Systems in Europe[C]//Proceedings of ITS World Congress, Oct. 5-9, 2015, Bordeaux, France. Brussels Belgium: ERTICO-ITS Europe, c2015: 1-26.
- [28] SAE International. Automated Driving Levels of Driving Automation are Defined in New SAE International Standard [EB/OL]. (2014-03-21) [2020-12-31]. http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf.
- [29] 由芳, 张景卉, 张俊, 等. 智能汽车中基于信任的接管系统交互设计[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 20-28.
YOU Fang, ZHANG Jinghui, ZHANG Jun, et al. Interaction Design for Trust-based Takeover Systems in Smart Cars [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(6): 20-28. (in Chinese)
- [30] LEE J D, SEE K A. Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance [J]. Human Factors, 2004, 46(1): 50-80.
- [31] HOFF K A, BASHIR M. Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust [J]. Human Factors, 2014, 57(3): 407-434.
- [32] EKMAN F, JOHANSSON M, SOCHOR J. Creating Appropriate Trust in Automated Vehicle Systems: A Framework for HMI Design [J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2018, 48(1): 95-101.
- [33] MIWA M, DIBBEN D, YAMADA T. High Accuracy Torque Calculation for a Rotating Machine Using Adaptive Meshing [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2017, 40(2): 1001-1004.
- [34] 范达. 考虑人车路特性的智能汽车控制权切换评价方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.

- FAN Da. Research on Evaluation Method of Control Authority Transition in Intelligent Vehicle Considering Human-Vehicle-Road Characteristics [D]. Changchun: Jilin University, 2019. (in Chinese)
- [35] 徐天宇. 考虑周边车流的智能汽车接管时间及事故风险预测[D]. 镇江: 江苏大学, 2022.
- XU Tianyu. Intelligent Vehicle Takeover Time and Accident Risk Prediction Considering Surrounding Traffic Flow [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2022. (in Chinese)
- [36] GOLLEDGE R G, GÄRLING T. Cognitive Maps and Urban Travel [Z/OL]. [2022-12-18] https://www.researchgate.net/publication/242107905_Cognitive_maps_and_urban_travel.
- [37] 霍厚彬. 基于车载自组织网络的泊车调度与自动泊车系统设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.
- HUO Houbin. Design for Scheduling of Parking and Automatic Parking via VANET [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017. (in Chinese)
- [38] 艾皖东. 区域自动代客泊车自主引导行驶控制应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- AI Wandong. Application Control Research on Autonomous Guidance of Region Auto Valet Parking [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020. (in Chinese)
- [39] 刘治业. 一种智能泊车系统及其使用方法: 201810023365.4 [P]. 2018-01-10.
- LIU Zhiye. An Intelligent Parking System and Its Use Method: 201810023365.4 [P]. 2018-01-10. (in Chinese)
- [40] RHODES C, BLEWITT W, SHARP C, et al. Smart Routing: A Novel Application of Collaborative Path-Finding to Smart Parking Systems [C]//2014 IEEE 16th Conference on Business Informatics, July 14-17, 2014, Geneva, Switzerland. Piscataway NJ: IEEE, c2014: 119-126.
- [41] 吴中伟. 乘用车自动泊车系统路径规划与仿真分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- WU Zhongwei. Path Planning and Simulation Analysis of Automatic Parking System for Passenger Car [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018. (in Chinese)
- [42] 周思浩. 基于无线传感网络的停车场内智能引导系统[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- ZHOU Sihao. Intelligent Parking Guidance System Based on WSN [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese)
- [43] 谭浩, 孙家豪. 基于语义分析下汽车无人驾驶和自动驾驶用户体验研究[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 58-62.
- TAN Hao, SUN Jiahao. Different UX Between Automatic Cars and Driverless Cars [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(14): 58-62. (in Chinese)
- [44] 张欢乐. 基于情境的汽车用户界面设计知识系统研究与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2014-16.
- ZHANG Huanle. The Context-Based Research and Applications of Automotive User Interface Design Knowledge System [D]. Changsha: Hunan University, 2014. (in Chinese)
- [45] 谭浩, 孙家豪, 关岱松, 等. 智能汽车人机交互发展趋势研究[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 32-42.
- TAN Hao, SUN Jiahao, GUAN Daisong, et al. Development Trend of Human-Computer Interaction in Intelligent Vehicles [J]. Packaging Engineering, 2019, 40(20): 32-42. (in Chinese)
- [46] 廖丹. 基于武汉用户的汽车多通道交互界面研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- LIAO Dan. Research on Car's Multimodal Interaction Based on Wuhan Users [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [47] 殷军强. 车载信息与娱乐系统界面的交互设计研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- YIN Junqiang. Research on Interaction Design of the On-Board Information and Entertainment System Interface [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- [48] 谭浩, 谭证宇, 景春晖. 汽车人机交互界面设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- TAN Hao, TAN Zhengyu, JING Chunhui. Automotive Human Machine Interface Design [M]. Beijing: Press of Electronics Industry, 2015. (in Chinese)
- [49] 韩晶. 基于微表情语义认知的情感交互研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2020.
- HAN Jing. Study on Emotion Interaction Based on Micro-expression Semantic Cognition [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2020. (in Chinese)
- [50] MEHRABIAN A. Communication Without Words [M]//Communication Theory (2nd Edition). Taylor & Francis Group, 2008: 8.
- [51] CARMEN C A, ROSARIO B. Automatic Facial Expression Recognition for the Interaction of Individuals with Multiple Disabilities [C]//International Conference on Applied Artificial Intelligence, May 19-21, 2021, Halden, Norway.

- Piscataway NJ:IEEE,c2021:1-6.
- [52] YE Jiajie, GUAN Yisheng, LIU Junfa, et al. Large-Scale Multi-Modal Person Identification in Real Unconstrained Environments [C]//IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Dec. 6-8, 2019, Dali, China. Piscataway NJ:IEEE,c2019:1-6.
- [53] 徐登峰. 车载数字音频系统设计[J]. 广东石油化工学院学报, 2013, 23(3):49-51.
- XU Dengfeng. The Design of Car Digital Audio System [J]. Journal of Guangdong University of Petrochemical Technology, 2013, 23(3):49-51. (in Chinese)
- [54] 尚薇. 智能网联汽车中控的设计与研究——基于人机共驾阶段进行分析[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- SHANG Wei. Design and Research of Intelligent Networked Automobile Central Control—Based on the Man-Machine Driving Phase Analysis [D]. Changchun: Jilin University, 2020. (in Chinese)
- [55] ANSTEY K J, HORSWILL M S, WOOD J M, et al. The Role of Cognitive and Visual Abilities as Predictors in the Multi-Factorial Model of Driving Safety [J]. Accident Analysis & Prevention, 2012(45):766-774.
- [56] MYERS C, FURQAN A, NEBOLSKY J, et al. Patterns for How Users Overcome Obstacles in Voice User Interfaces [C]//Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2018:1-7.
- [57] LEE K B, GRICE R A. The Design and Development of User Interfaces for Voice Application in Mobile Devices [C]//2006 IEEE International Professional Communication Conference. IEEE, Oct. 23-25, 2006, Saragota Springs, NY, USA. Piscataway NJ:IEEE,c2006:308-320.
- [58] BURNETT G, HAZZARD A, CRUNDALL E, et al. Altering Speed Perception Through the Subliminal Adaptation of Music Within a Vehicle [C]//Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. ACM, c2017:164-172.
- [59] 杨洋. 基于语音交互的手持移动端多通道交互研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.
- YANG Yang. Research on Multi-Channel Interaction of Handheld Mobile Device Based on Voice Interaction [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018. (in Chinese)
- [60] 吴晓静, 程建新. 家庭数字娱乐产品的语音交互行为体验研究[J]. 艺术科技, 2017, 30(11):264-265.
- WU Xiaojing, CHENG Jianxin. Research on Voice Interaction Behavior Experience of Home Digital Entertainment Products [J]. Art and Technology, 2017, 30(11):264-265. (in Chinese)
- [61] AKYOL S, CANZLER U, BENGLER K, et al. Gesture Control for Use in Automobiles [C]//Proceedings of the IAPR Conference on Machine Vision Applications (IAPR MVA 2000), Nov. 28-30, 2000, Tokyo, Japan. 2000:349-352.
- [62] BACH K M, JÆGER M G, MIKAEL B, et al. You Can Touch, But You Can't Look: Interacting with In-Vehicle Systems [C]//Proceedings of the 2008 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2008, April 5-10, 2008, Florence, Italy. ACM, c2008:1139-1148.
- [63] 李谟秧. 汽车人机交互界面用户自定义手势设计研究与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2015.
- LI Moyang. Research and Application of User-Defined Gesture Design for Automobile Human Machine Interaction Interface [D]. Changsha: Hunan University, 2015. (in Chinese)
- [64] RIENER A, FERSCHA A, BACHMAIR F, et al. Standardization of the In-Car Gesture Interaction Space [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Oct. 28-30, 2013. New York: Association for Computing Machinery, c2013:14-21.
- [65] Honda 官方网站. Honda 2018 CES ASIA 亚洲消费电子展 [EB/OL]. (2018-06-13) <http://www.honda.com/news/motorshow/cesa2018/>.
- Honda Official Website. Honda 2018 CES ASIA CES in Asia [EB/OL]. (2018-06-13) <http://www.honda.com/news/motorshow/cesa2018/>. (in Chinese)
- [66] 吴刚. 利用“五感”交互理念探究产品设计中的立体式体验——以车载信息系统设计为例[D]. 上海: 华东理工大学, 2016.
- WU Gang. Use the Interactive Concept of “Five Senses” to Explore the Vertical Experience in Product Design—Vehicle Information System Design [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)
- [67] 唐秋阳. 驾驶疲劳脑功能机理探索、阈值识别与缓解方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2021.
- TANG Qiuyang. Research on Brain Function Mechanism, Threshold Recognition and Alleviation Methods of Driving

- Fatigue[D].Chongqing: Chongqing University, 2021. (in Chinese)
- [68] 李永锋,李慧芬,朱丽萍.基于眼动追踪技术的车载信息系统界面设计研究[J].包装工程,2015,36(12):65-68.
- LI Yongfeng, LI Huifen, ZHU Liping. The Interface Design of In-Vehicle Information Systems Based on Eye-tracking Technology[J].Packaging Engineering, 2015, 36(12):65-68. (in Chinese)
- [69] 任宏,谭宇鹏.基于眼动实验的车载触控屏注视行为分析[J].包装工程,2020,41(20):97-101.
- REN Hong, TAN Yupeng. Watching Behavior Analysis of Vehicle Touch Screen Based on Eye Movement Experiment [J].Packaging engineering, 2020, 41(20):97-101. (in Chinese)
- [70] SCHÜTZ A C, BRAUN D I, GEGENFURTNER K R. Eye Movements and Perception a Selective Review [J]. Journal of Vision, 2011, 11(5):89-91.
- [71] 朱富丽,杨磊,申玉斌,等.基于眼动特征的视觉交互状态分类方法研究[J].航天医学与医学工程,2021,34(6):426-431.
- ZHU Fuli, YANG Lei, SHEN Yubin, et al. Research on Visual Interaction States Classification Method Based on Eye Movement Characteristics[J].Aerospace Medicine & Medical Engineering, 2021, 34(6):426-431. (in Chinese)
- [72] 谭浩,许诗卉.基于车联网的汽车导航多屏交互体验[J].包装工程,2017,38(20):17-22.
- TAN Hao, XU Shihui. Multi-Screen Interactive Experience of Car Navigation Based on Vehicular CPS[J].Packaging Engineering, 2017, 38(20):17-22. (in Chinese)
- [73] 崔童.奥迪发布 Prologue Allroad 概念车官图[EB/OL]. (2015-04-17) [2018-12-18]. <http://www.pcauto.com.cn/nation/624/6245799.html>.
- CUI Tong. Audi Releases Prologue Allroad Concept Car Official Picture [EB/OL]. (2015-04-17) [2018-12-18]. <http://www.pcauto.com.cn/nation/624/6245799.html>. (in Chinese)
- [74] 高德联合捷豹路虎推出高端多屏互联网车载导航[J].汽车纵横,2016(4):16.
- Amap and Jaguar Land Rover Launched High-End Multi Screen Internet Vehicle Navigation [J]. Auto Review, 2016(4):16. (in Chinese)

作者简介



卢佳焯 (1999-), 男, 福建福州人, 硕士研究生, 主要研究方向为工业设计。

Tel: 18850717992

E-mail: 1602945116@qq.com