

车载智能预警系统中的人机交互

刘玉磊¹, 马艳阳², 徐伯初¹, 支锦亦¹

(1.西南交通大学, 成都 610036; 2.四川农业大学, 雅安 625000)

摘要: **目的** 对现有车载智能预警系统中的人机交互有关研究方法、路径和关注点进行分析总结, 找出此方向中的进展和薄弱环节。**方法** 通过智能汽车的发展重要组成部分——车载智能警示系统整体分析目前长足的进步领域, 通过回顾分析车载预警系统的交互范式及交互任务, 重点分析了预警系统的信息输出通道, 从视觉、听觉、嗅觉、触觉/力学等通道分析近几年的研究成果, 并对近几年车载预警系统中的人机交互关注点, 如工作方式、风险因子处理、人群研究、交互信号、交互行为的主要研究成果和发展趋势进行了总结。**结论** 目前国内外的车载警示系统的人机交互研究主要集中在对各种驾驶场景下的预警交互策略、预警系统工作机制, 风险行为、道路风险的预警研究上, 对弱势群体、宏观政策、从复杂情境感知等角度去研究车载智能警示系统的交互策略和方法较少, 预警系统中的与用户的交互问题还处于薄弱状态, 缺乏体系, 关键点缺乏深度。

关键词: 车载; 智能预警; 交互; 预警信号

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)18-0078-12

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.18.010

Human-Computer Interaction in Vehicle-borne Intelligent Early Warning System

LIU Yu-lei¹, MA Yan-yang², XU Bo-chu¹, ZHI Jin-yi¹

(1.Southwest Jiaotong University, Chengdu 610036, China; 2.Sichuan Agricultural University, Yaan 625000, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze and summarize the research methods, paths and concerns of human-computer interaction in the existing vehicle-borne intelligent early warning system, and to find out the progress and weaknesses in this direction. Through the important component in the development of intelligent vehicle, the vehicle-borne intelligent warning system, the current considerable progress areas were analyzed as a whole. By reviewing and analyzing the interactive paradigm and tasks of the vehicle-borne early warning system, the information output channels of the early warning system were emphatically analyzed. The research results in recent years were analyzed from the visual, auditory, olfactory, tactile/mechanical channels. The main research results and development trends of human-computer interaction in early warning system were summarized, such as working mode, risk factor processing, crowd research, interactive signal and interaction behavior. At present, the research on human-computer interaction of vehicle-borne warning system at home and abroad mainly focuses on the early warning interaction strategy, working mechanism of early warning system, risk behavior and road risk early warning research under various driving scenarios. There are few interactive strategies and methods to study the intelligent warning system from the perspective of vulnerable groups, macro-policies and complex situation perception. The user interaction problem is still in a weak state, lacking of system and depth in key points.

KEY WORDS: vehicle; intelligent early warning; interaction; early warning signal

近几十年随着计算机技术、车载技术的发展, 以及用户对数字产品交互的关注, 驾驶过程中的信息交

互开始进入人们视野。随着车载信息技术进入信息化、智能化时代, 虽然这个时代还处在一个探索前行

收稿日期: 2020-05-29

作者简介: 刘玉磊 (1985—), 女, 河南人, 西南交通大学博士生, 主要研究方向为移动信息交互设计实践与理论。

通信作者: 马艳阳 (1984—), 男, 湖南人, 四川农业大学副教授, 主要研究方向为移动信息交互设计理论研究。

的阶段，正处在研究对象、研究内容、研究方法质变的过程中。车载预警系统人机交互是研究用户与其之间发生交流的过程并进行操作的问题，关注的问题点就是用户对预警系统的理解、使用过程中的可用性、友好性等。近年以来，随着交互中用户至上理念的普及，在车内空间中给予用户细致入微的安全和体验，让出行变得更加美好，是交互技术在此要解决的目标。然而，迄今为止学术界对车载信息交互仍缺少对整个系统学术研究成果的系统总结和梳理，为此，本文拟对其整体进行梳理，同时对近三年以来的研究现状、热点和存在问题、发展前景进行梳理，由于资料、水平等原因对一些问题的分析深度可能还需要在以后进一步加强。

1 车载预警系统中的人机交互

车载预警系统属于车辆智能系统的一个非常重要的组成部分，而车辆智能系统，最早可以追溯到 Norman Bel Geddes 1932 年在《地平线》中对未来汽

车的描述。目前车载预警系统是人车智能交互系统的重要组成部分，是各类型辅助驾驶系统、半自动驾驶系统、自动驾驶系统的关键组成部分。人车交互系统模型有代表性的当属林英姿^[1]总结的人车智能交互系统模型见图 1。而预警系统中的人车交互问题是各种类型智能车辆研究领域中的核心问题之一，预警系统中人车交互解决的是人与车之间风险信息如何以一种恰当的方式有效传达，以降低驾驶风险的机制，解决的是人与车辆如何良好交流，避免风险的办法。目前预警系统中的人车交互研究主要集中在两个方面，一是车内司乘人员与车载系统输出预警信号之间的交互反馈，另一方面是风险信息采集后转化为预警信号的机制过程，也就是心理认知模型－现实模型之间的区别。

在人车智能系统中的各种预警系统，如侧翻预警系统^[2]、跟驰碰撞预警系统^[3]、疲劳驾驶预警系统^[4]、神经网络碰撞预警系统^[5]、交叉路口碰撞预警系统^[6]、倒车雷达等中归纳出目前的预警系统的主要功能原理，见图 2。

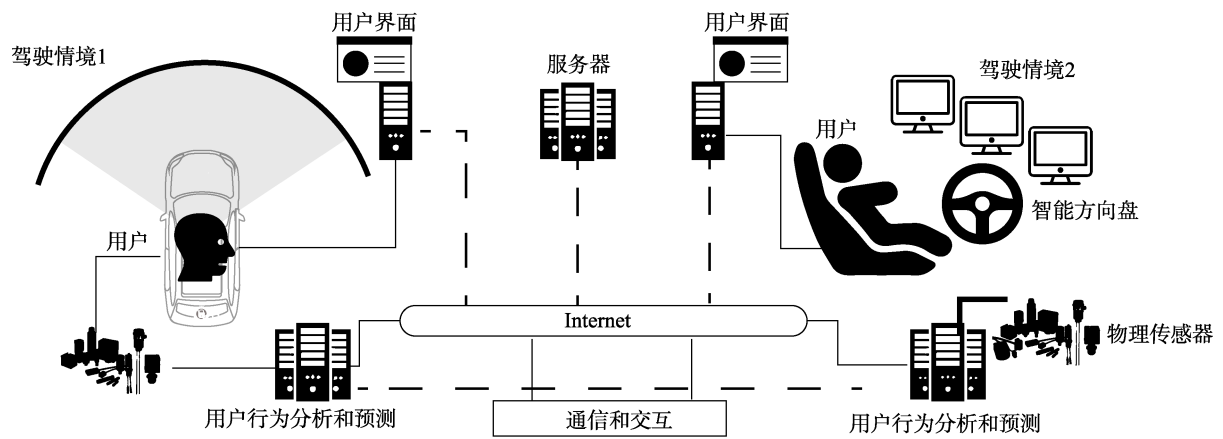


图 1 林氏人车智能交互系统模型
Fig.1 Lam's human-vehicle intelligent interaction system model

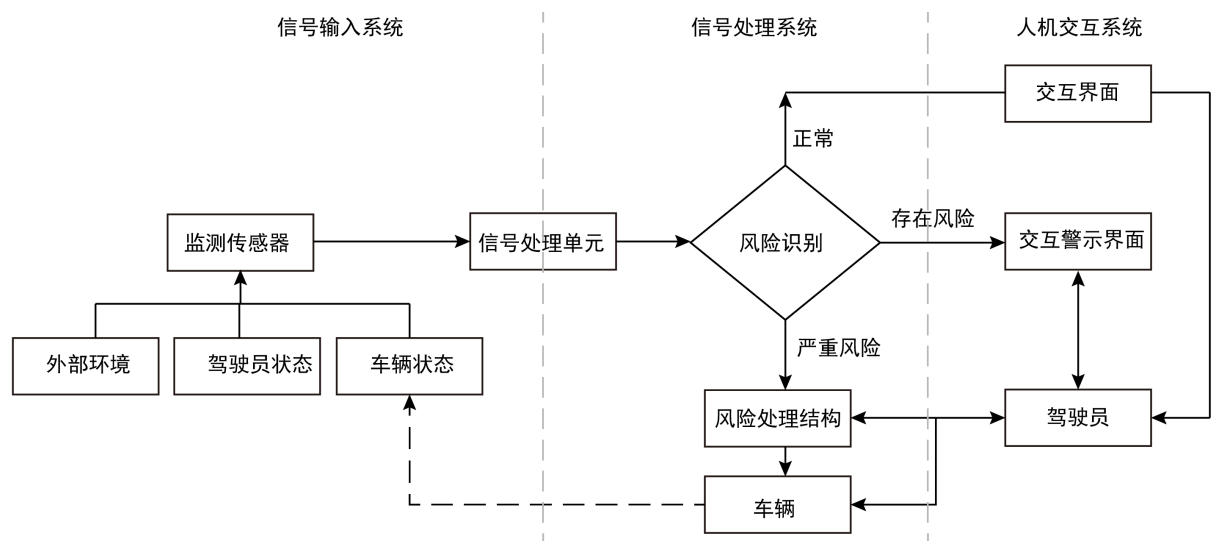


图 2 人车预警交互系统模型
Fig.2 Human-vehicle early warning interaction system model

1.1 车载预警系统中的人机范式及交互任务

人机交互是车载预警系统的两个核心组成部分之一,目前的传统人机交互范式多是处于二维屏幕层次,利用 WIMP^[7]范式达到人机交流的目的,它使用一种迅速、准确的二维的在屏幕设备上进行的交互方式,为广大用户所接受^[8]。然而对于人车交互来说,用户是处在实体的三维空间,可以利用多通道的交互范式更自然、舒适地达到人车有效交流的目的,面对新技术下智能化的复杂车内环境,二维交互方式较难适应车内驾驶员体验需求。

目前车载预警系统的人机交互范式主要分成三种类型:传统 WIMP 范式、自然人机多通道交互范式、虚实结合交互范式。传统 WIMP 交互范式主要指利用传统用户界面,如显示屏,提供单一顺序式的人机交互,这种交互方式逻辑性强、操作负担较轻,操作精准,但交互方式、带宽单一,交流效率较低,没有充分利用人在现实生活中的行为技能^[9];预警系统中的自然人机交互范式^[10]是充分利用人身体的各种信息通道,如视觉、听觉、触觉等,结合人的各种自然输出信息方式,如语音、行为姿势、生物脑电、体温、力等各种方式进行多元的人机交互,这种交互范式可以充分利用人身体的特点,在多通道下同时输入多重信息,交互更加立体,交互带宽更广,交互过程更为自然^[11];第三种虚实结合的交互范式,是在目前技术发展的前提条件下,利用虚拟现实和增强现实技术塑造的虚实结合的交互感知空间,充分利用人身体的各种感官通道和人的自然语言出现的一种交互范式,它有两种类型,第一是塑造虚拟交互主体,赋予其拟人化的情感^[12],用户在与交互时能感知到其人性、情感的一面;第二是塑造虚拟结合的视觉、听觉、触觉、嗅觉等信息空间,让用户与虚实结合的空间主体进行交互,目前这种交互范式在智能汽车、实验室概念汽车中有所体现,但是目前一般认为混合现实的交互范式让人们接受还存在较多理解困难^[13]。

1.2 车载预警系统的交互任务

预警系统强调把风险信息提前传递给用户,并让用户作出决策和避免风险行为,这决定了信息传递过程的提前性、有效性、准确性,目前的车载预警系统在车内空间一般采取多通道的方式把风险信息传递给驾驶员。多通道交互方式^[14]是围绕人体生理各个通道,如视觉、听觉、触觉等展开,由于身体的自然熟悉属性,通过多通道交互方式能自然和谐地让用户所理解,并营造一种环境场景感知,目前多通道的人车交互也是交互研究的重点。

车载预警系统人机交互的多通道交互主要分为三层:交互界面、交互信息、交互控制^[15]。交互界面主要包含传统二维界面,如触控屏,多通道交互界面,如力学震动设备、投射屏幕^[16]、数据眼镜、头盔等。

交互信息则包含图形、声音、触觉、环境等信息所构成的风险信息以及用户对这些信息所对应的图形、声音、触觉等信息的反馈;交互控制则指用户及车辆综合各方数据通道等信息输出信息控制量。而车载预警交互任务^[17]可以分为风险信息捕捉、风险信号输出、风险信号感知、风险交互控制。风险信息捕捉任务是通过各种信息捕捉传感器,包括环境捕捉传感器和用户状态传感器混合数据输入中央计算机,计算出在一定场景下车辆所存在风险的数据准备阶段;风险信号输出是将风险信息解构成视觉、听觉、触觉等通道信号,通过显示屏、方向盘、喇叭、投射图案、环境灯光、震动设备等有效传递给用户;风险信号感知是将各种通道设备输入的信号传递给用户大脑,结合用户感知到的环境场景还原出风险信息,并在大脑和身体神经中作出风险判断;风险交互控制是在用户在接收到有效风险信息后,有针对性地作出一种改变现有风险状态的行为和驾驶操作,改变驾驶状态和车辆行驶状态,以在现有场景下脱离或者减少风险财产损失。车载预警系统中的人机交互一般是按照这样的节点交互任务进行规划,在每个点采用的具体交互方式和方法,会有所不同,但是,针对特定的场景和极端情况,这种交互节点不具有指导意义,如某些极端天气。

2 车载预警系统的人机交互设备

目前的车载预警信号发生的内部预警逻辑主要是通过一定传感器,如车载雷达^[18]、视觉捕捉控制器^[19]对风险数据进行捕捉,利用一定预测模型,预测风险发生的情形,发出警告信号,影响用户的行为。目前的车载人机交互设备主要有视觉交互设备、语音交互设备、手势与姿势交互、力/触觉交互、多通道集成等。

车载预警系统中向驾驶员输入信息及系统接收驾驶员信息操作,依赖于各种通道设备,包括传统的二维屏幕设备,也包含其他通道设备提供的三维立体输入输出^[20],很多是以虚拟网络设备的形式存在的,来达到在多种感官上传递信息的目的,也希望能在多通道上传递信息时具有更多自由度,因此需要各种设备来对各个通道信息进行捕捉,以此完成较为复杂的交互任务。

2.1 车载预警系统的人机交互输出设备

车载预警系统中的人机交互输出硬件向驾驶员的多种感官提供信号,刺激的是驾驶员的视觉、听觉、触觉、味觉,主要刺激的是视听通道信息,在某一些概念设计中可以直接通过一定设备发出电磁波等形式刺激驾驶员大脑皮层,在考虑预警系统等的人机交互中,设计、选择不同交互方案,要有效而合理利用各种车载设备来输出不同的交互信号。车载预警系统等人机输出设备在目前的技术条件下,有效的交互设

备主要包括视觉通道设备、听觉通道设备、触觉/力学通道设备以及少数嗅觉通道设备。

1) 视觉图像通道设备。车载预警系统的视觉输出设备一般包括中控屏幕显示设备、辅助环境显示设备、仪表盘显示设备、二维三维投射显示设备^[21]等。这些设备显示输出预警信号,会以某一个或多个设备为主要视觉设备,其他设备显示为辅助补充视觉设备,采用设备不同显示交互方式也就不同。视觉输出设备在输出信号时的属性包括视觉形式、分辨率、显示屏形态、视线角度、刷新频率、光线亮度和人机工效学等属性。预警系统的视觉显示屏设计一般根据用户眼睛的各种视觉特征去对显示设备进行组合,达到通过视觉通道传递信息的特点,一般驾驶员自身偏好视觉通道的警告信息,他们会认为这种信息更加符合自己习惯和安全^[22]。

2) 听觉通道设备。声音输出装置通过产生在空间中的声音,使驾驶员可以利用听觉判断声音的来源和内容,声音输出设备属性包括声强、声波、频率、动态变化、回声以及双耳的时间差,根据不同人群听觉特征设计不同设备输出声音,声音可以将司机注意力集中在关键事件上^[23],目前的声音输出设备主要通过扬声器以及震动某些硬件设备来实现立体、环绕式、3D 音效^[24]。声音设备输出简单音素、规律性音素、自然及合成声音等几种类型。Ing-Marie Jonsson^[25]等的研究指出在车载系统的语音技术使用情形中的环境隐私性对用户的影响,指出隐私、私密环境下,单独驾驶车辆时用户更愿意使用语音的方式进行交互,而且声音预警交互带有方向提示性^[26]。

3) 触觉/力学通道设备。车载预警系统等触觉/力学设备主要是通过与司机接触部分的设备,通过触觉状态变化或马达设备的震动让用户通过接触、触摸的皮肤直觉、肌肉知觉和运动神经整体判断,而统计出预警信息。在车载触觉/力学通道设备一般是以车辆或者驾驶员身体作为参照系,也有通过电流直接刺激神经产生触觉/力学反馈输出,车内常用触觉/力学设备主要是通过座椅力学反馈、方向盘力学反馈、操作档把等,这些设备能让人车交互更加立体,在视听通道受到限制时可以有效增强交互性。车内环境下的力/触觉交互不仅存在于司机手指与屏幕之间,也存在于车内空间中各种类型设施设备上,在遇到各种需要对话的场景,通过相对应部分的力学反馈或机械运动、状态改变等,让驾驶员能相应感知到变化来源,并还原出系统所传递的信息,这种交互方式方向更准确、精度更强,在其他通道占用的时候,感知更明显^[27]。目前车内人机交互采用这种交互方式越来越多。

4) 嗅觉通道设备。人类的嗅觉是化学感应系统的一部分,有助于区分各种气味和味道。嗅觉是人类和动物的基本感觉,并且在许多动物的行为中起着至关重要的作用^[28]。目前在人车交互中较少有专门的设

备进行这方面的数据输出,一般是现有设备由于损坏,比如烧毁等被动通道输出信号,在人车预警交互系统中,这一块的研究还处于一些概念性的尝试阶段。

另外还有可穿戴式头盔、眼镜等^[29]虚拟现实设备在各种新型智能汽车中出现,丰富了车载预警输出设备组成及交互形式,建立起立体的、细腻的车载预警交互所必需的过程。

2.2 车载预警系统的人机交互输入设备

车载预警系统的人机交互中重点部分是输出设备,但是后期回馈输入设备,其实在一定程度上能更加准确判断风险状态,特别是驾驶员分心和疲劳状态的输入设备更是预警系统中非常重要的一环,在预警系统人机交互的信号输入中,也必须选择恰当设备达到有效输入信号的目的,预警交互系统中的输入设备这里不按驾驶员感知通道分类,而是采用输入是否连续的内部关系划分为传统单一输入设备、连续输入设备、生理状态捕捉设备等。

传统单一输入设备: 这类型设备主要为触控屏、各种控制输入按钮等,这些设备根据用户的某一行为和动作接收到各种命令和用户状态,对风险信息判断而动态调整预警信号。

连续输入设备: 这类设备根据各种传感器,如力学反馈座椅、手势捕捉设备、躯干姿态捕捉设备、头部视线捕捉设备、语音对话捕捉输入设备、眼部区域疲劳捕捉、近红外(NIR)或远红外(FIR)相机,同时随着第三代人机交互的普及,车内信息系统与驾驶员之间交互的手势和姿势输入交互方式等,姿势、手势交互输入系统还涉及到非常多的难点,如识别不太理想、运算要求高,特别是在车内环境下姿势识别困难重重,在背景复杂时基于可见光的识别性能会有所下降,其他识别方式有采用深度图、三维形状上下文特征进行静态手势识别等方^[30]。但是作为自然交互的一种方式,这种交互手段有许多天然优势^[31],也逐渐深入到车载控制系统中。

生理状态捕捉输入设备: 各种生理状态捕捉设备如生物电输入、体温传感器输入设备等,可以提供驾驶员疲劳状态的信号输入,是预警系统中必不可少的一环。

3 车载预警系统中的人机交互关注点

3.1 车载预警系统的交互工作方式研究

目前对预警系统的交互工作方式的研究主要从预警系统人机交互原理、切入方式等方面进行研究,一般是根据驾驶员经验设置的阈值,将风险信息快速传递给驾驶员以便其能快速反应,但是如果对于响应速度相对较快并且主动驾驶的驾驶员,他们能事先意识到风险,因此最好不要发出警告,因为过于频繁地

发出碰撞警告会降低警告的可靠性并导致司机不满意,或者促进司机无视信号^[32],目前有使用人工神经网络学习算法创建驾驶员行为模型,从而可以根据驾驶员的驾驶特性,让系统进行学习,确定碰撞风险进行预警系统人机交互方式^[5]。对预警系统交互信号切入时机的研究,如Lubbe Nils^[33]等提出的对预警系统切入的工作时间与驾驶员的情绪之间的影响关系,提出了在驾驶员视线集中在风险事物和视线舒适区域中时,预警系统可以不采取干预措施,同时对行人过路情形下的驾驶舒适度界限的影响因素进行了深入研究。对驾驶员驾驶过程中的跟车行为和前车减速的预警有Genya Abe、Makoto Itoh^[3]等,对此过程中的不必要的警报信号进行了研究,确定警报时间是否考虑单个驾驶特性,对于减少不必要的预警信号是否合理,如果在确定警报时间时考虑到跟车行为的平均特征,除了倾向于跟随车辆之间距离较短的引导车辆的驾驶员之外,不必要的警报不是问题。因此,基于各个汽车跟随行为的特定特征的预警信号定时具有进一步减少不必要的警报的可能性,与驾驶速度无关。而在预警系统中,设计不良的警告信号可能会分散驾驶员的注意力,从而降低驾驶安全性^[34],要考虑突然发出的哔哔声使驾驶员感到震惊,导致他们将脚从加速器上移开,或暂时偏离车道内的正确轨迹,因此要有合适的交互设计引导驾驶员执行校正行为,即制动,以便重新获得对其车辆的控制,要重点考虑交互技术的切入。在紧急情况和车辆密集道路或使用电话等分心行为就应使用多通道的预警通道交互进行工作^[35]。而预警信号发出的时间与预警有效性的关系如Jingyan Wan^[36]的研究,当警告信号提前期在5~8 s的范围内时,实现了警告信息的最大有效性,此外,通过考虑提前期,终身驾驶经验和驾驶速度的曲线估计建立统计模型,发现了警告效果的梯形分布。在紧急情况下,预警系统来不及采取预警信号改变用户操作,只能通过紧急制动或快速回避操作才能防止碰撞^[37]。

3.2 车载预警系统中风险因子处理方法研究

车载预警系统是根据摄入的外部数据,如道路场景风险因子、驾驶员驾驶过程中的风险行为等,通过一定的风险处理方法进行判断,发出预警信号,这其中的风险因子采集、处理原理多从技术处理、模型构建多角度进行研究。如Matthias Serfling^[38]指出,夜间红外线检测外部行人、障碍物并发出警告信号,即针对道路上行人或道路附近的所有物体的风险。在实际条件下的制动反应时间约为1.5~2 s,在农村道路上以100 km/h的普通速度将汽车状态改变为静止,驾驶员需要提前至少6 s发出警告;Xian Qu^[39]的研究指出车辆在曲线道路上行驶时,考虑到驾驶员、车辆、道路和车辆动力学性能等静态多因素,建立了基于多源的曲线安全速度预警模型,利用道路曲率通过机器

视觉技术估算,计算最大安全速度。此外,引入风险状态估计功能以预判车辆驾驶状态,确定警报标准,用LabVIEW开发了安全速度预警系统;利用网络系统来协同处理风险因子的协同紧急制动预警系统^[40];从风险因子算法的研究如Andreas von Eichhorn^[41]的交叉路口碰撞避免算法研究;从风险因子处理模型研究的如Ata M. Khan^[42]的自校准自适应的预警模型——贝叶斯—蒙特卡罗模型;Theofilatos等将交通事故看作稀有事件,利用实时交通数据建立了一系列稀有事件logit模型来预测交通事故^[42];黄合来等将区域小区的空间自相关特性引入事故预测模型^[43];孟祥海等将车道变换作变量引入事故预测模型^[44];从风险因子与驾驶事故关系的方法研究如疲劳驾驶行为角度的研究如潘晓东等^[45],利用眼动仪设备判断眼部数据来研究疲劳驾驶阈值,分析不同年龄层次的情况,用来分析疲劳阈值与年龄的关系;裴玉龙等研究的基于脑电信号分析的疲劳驾驶特征分析最优驾驶时间^[46];张晖等从道路平面曲线对疲劳程度影响导致的道路保持能力的研究^[47];姚瑶等从视觉检测算法的角度监测疲劳驾驶的研究^[48];贾海江的从人一车特征来识别驾驶员疲劳特征的监测方法^[49];胡鸿等的研究从预警与控制系统对疲劳驾驶进行补偿^[50];国内外在疲劳驾驶的角度对各年龄层次人群的相关研究较为充分,这是因为疲劳驾驶是交通驾驶事故的主要因素之一,对疲劳驾驶的研究可以在很大程度上给安全驾驶提供数据支持。

3.3 车载预警系统中对中老年人群的研究

年长的司机更容易发生致命的车辆撞车事故^[50],他们的高死亡率主要归结于身体的脆弱性^[51],但还有一方面原因是由于认知能力随着年龄的增长而下降^[52]。他们的认知能力受身体机能衰减而变弱,包括视力^[53],注意力^[54],处理速度^[55],危害感知^[56],反应时间^[57],执行控制^[58]和记忆^[59]等。已经证明这些认知功能的下降对驾驶性能产生负面影响^[60]。因此研究基于中老年司机预警系统等人机交互具有重要意义。

从老年驾驶员对车载技术的普遍程度,态度和知识的角度研究^[61],有57%的老年驾驶员说他们的车辆拥有先进的技术,老年男性和收入和受教育程度较高的人对车载新技术更关注和喜爱,并且大多数老驾驶员都设想如何自己使用技术,对车载预警系统接收程度较高。

对不同年龄段人群的驾驶员身体、心理研究的主要,如文献[62-63]分析了老年人生理和心理特征以及老年驾驶者交通事故特点。早期文献根据老年驾驶者的驾驶行为随着驾驶速度和持续驾驶时间的关系,提出了一种基于模糊信息融合的驾驶员行为安全评估方法,其结果显示:由于高龄驾驶者往往具有丰富的驾驶经验,所以在驾驶初始阶段他们的驾驶行为安全

度往往很高。但是由于身体功能的衰退,随着行驶速度和时间的增加,他们的行为安全度呈指数衰减^[64]。还有的研究分析老年驾驶者的反应能力和反应行为指标^[65];目前国内对老年驾驶员的研究主要集中在老年人身体机能反应、心理认知、驾驶负荷影响、重大疾病对驾驶的风险影响、地域文化影响风险、复杂道路对安全驾驶的影响、各种类型的驾驶行为影响(疲劳驾驶)、老年驾驶培训、车祸中的碰撞损伤影响、老年驾驶事故分析等。从老年人身体机能、驾驶负荷角度的研究发现高负荷情况下,老年驾驶者反应与时长之间的函数关系;Salthouse 研究认为,随着年龄增加老年人的动作愈加迟缓,操作速度减慢,操作能力下降,同时反馈给老年驾驶员的是一种心理紧张负面效应^[66]。Stelmach 研究认为针对老年驾驶员,其不仅反应过慢,而且还需要多次反馈,甚至形成循环^[67]等;张殿业等^[68]测试了老年驾驶员和青年驾驶员对光的反应能力,用以评价老年驾驶员的驾驶反应能力,结果显示老年组与中青年组相比较,各种反应时均存在显著差异。随着年龄增加,感知时间延长,判断时间延长,动作时间延长。上述研究主要是从中青年和老年驾驶者身体因素对比上进行的研究,从预警信息系统结合年龄切入角度的研究较少,从老年驾驶员失误风险建模的角度,如孟祥海的研究,利用数学建模的方法预测事故的精确程度^[69];Hallie Clark^[70]有从年龄差异来研究在条件自动化的模拟驾驶中接管车辆控制和参与非驾驶相关活动中,在高度自动化驾驶中老驾驶员的表现优于预期,例如 Körber 等和 Miller 等的研究,这是由于健康的老年研究参与者的相对较高的认知功能,他们在驾驶方面的广泛专业知识,以及诸如驾驶更慢和保持更长的车距离,而且老年驾驶者随着年龄增长风险感知能力会下降^[71]。对老年驾驶员和青年驾驶员进行对比,用简易智能量表、汉密尔顿抑郁量表、神经行为量表对受检者认知、心理学等进行检测,结果表明老年驾驶员在认知功能、抑郁状态和神经行为反应能力与青中年组比较都有明显差别^[72]。

3.4 预警系统中交互信号的研究

视觉预警信号是发展最早的预警信号,也是最常用的一种预警方式之一,目前这类型的研究较为丰富,视觉预警信号虽然能提供警告讯息,但是本身也会造成一定程度的分心风险^[73],同时由于驾驶员的反应需要一定的时间,一般视觉预警信号要达到 2 s 以上才有效。如从视觉预警信号发出来后,根据驾驶员的反应速度,在危险将要发生的较短时间内,50%以上的视觉预警信号几乎无效^[74]。目前的视觉预警信号的研究主要有利用视觉信号对驾驶员瞌睡行为进行的警告提醒,并研究了在白天和晚上之间的区别^[75];如果驾驶员处于高视觉负荷状态时,视觉预警信号的预警能力会弱于声音和触觉信号^[76]。一般情况下,视

觉预警信息都会与听觉预警信息相配合,较高紧急度的视听警告可以实现更快的驾驶员响应,同时还可以提高在紧急情况下的预警信息的准确性、及时性,视觉警告信息的紧急表现严重程度受波长(颜色)的影响^[77]。

声音预警信号的研究内容较多,Carryl L. Baldwin, Jennifer F. May^[78]从警示听觉信号的语义声学参数上对用户的相互作用影响进行了研究,在五中不同意外危险事件的情景中模拟驾驶车辆。当驾驶员接近危险事件时,四个听觉碰撞警告系统(CWS)发出警报,与危险事件类型平衡,或者没有警报(控制)。报警由 70 dB 或 85 dB 的信号词“Notice”或“Danger”组成。后端碰撞事件是碰撞率最高的事件,占有碰撞事故的 45.4%。在这些情况下,CWS 显著降低了崩溃率。具有中等紧急程度的 CWS 警报通过语义和声学的交互实现(“危险”为 70 dB,“通知”为 85 dB)导致崩溃概率显著降低。提供一个非常紧急的信号词,在高声学紧急演示级别的“危险”无法有效减少碰撞,低紧急信号字也没有效果,“通知”以低声学紧急程度,70 分贝呈现。讨论了这些结果对 CWS 系统和听觉警报的设计和实施的影響。如果设计用于传达适当危险等级的声音信号,则听觉碰撞警告系统警报可以降低碰撞概率。他们提出:(1)车载碰撞预警系统(CWS)听觉报警的语义和声学参数相互作用,以影响驾驶员的反应;(2)不恰当的危险匹配的听觉警告(极度紧急或非常低的紧急程度)是无效的;(3)听觉警告背景影响行为反应和感知紧急程度的评级;(4)信号词“通知”以 85 dB 的相对较高的声强呈现,而“危险”以 70 dB 的相对较低的声强呈现,导致相等的崩溃概率降低并且被认为具有相等的紧急程度。对预警声音在车辆接近环形交叉路口时影响司机感知速度的研究,如 Riccardo Rossi^[79],认为连续的声音会让感知速度降低,减小音高仍然会在一定程度上降低速度,但恒定间距音高仅会导致速度的小幅降低。由于持续的蜂鸣声在它开始后立即变得更有效,但是在给定的时间间隔之后或者当驾驶员接近危险时变得不那么有效,所以在理论上,使用较短的嘟嘟声应该更能减少驾驶员的烦恼感,就和延长音高的情况一致。在一些情况下,声音预警信号比视觉预警信号能让驾驶员更快地识别目标物,Christiane Glatz^[80]研究的预警系统中的语音识别交互系统虽然可以降低广泛的车载系统和车上使用智能手机交互的视觉需求,也可以准确对发声位置进行定位^[81]。然而,语音交互系统却有可能在一定程度上造成认知分心和视觉分心,特别是具有语法性的语音信号信息^[82]。

对触觉、嗅觉感知预警信号的研究,已经被证明有利于碰撞预警信号的传递。与其他类型的警告信号相比,触觉警告是高度直观并且可能与快速响应相关联的^[83]。先前的研究表明,触觉警告信号有时可能比

等效的听觉或视觉警告信号更有效^[84]。清华大学工业工程系汽车安全与节能国家重点实验室的 F Meng, C Spence^[85]对预警系统中的触觉信号系统的动态触觉信号呈现在多方向警告上进行了研究,以引导驾驶员注意潜在的道路危险情况,许多研究人员也正致力于开发有意义的(标志性)触觉警报信号。例如,动态触觉警告(强度和/或位置不同)可以用于向驾驶员传达有意义的信息,从而形成一个集成的防撞系统,用于未来的车载使用。触觉预警感知也有在踏板触觉预警上做的一些研究,如 Heliosde Rosarioa, Marcos Louredo^[86]等人研究了在触觉踏板中实施的振动触觉在正面碰撞警告的功效,探索触觉踏板设计用于模拟普通车辆踏板的行为,并呈现具有不同特征的叠加振动,研究这种振动触觉在正面碰撞警告(FCW)的辅助功能。还研究了使用 0.50, 1.05 和 1.60 Nm, 2.5, 5 和 10 Nm 的振动触觉信号对三十名受试者测试该解决方案的功效和感觉,发现触觉刺激比视觉信号更有效,并且振动的特征也影响结果。Jaemin Chun^[87]等对方向盘和安全带施加了振动触觉,进行在视觉盲点的危险预警,其中特别谈到了老年人使用安全带触觉警示满意度更高。Andreas Riener^[88]详细论述了在预警系统中,为了避免认知过载,并且考虑到视觉和听觉感觉模态已经高度紧张的事实,建议利用剩余的传统感官,即触觉,嗅觉和味觉。由于是基于外围介质来覆盖另外出现的信息或补充通知需求,这种观点也被 Atsuo Murata^[89]所支持,他对触觉警告信息提高后视镜周围的车载显示性能进行了深入研究,表明确实可以对后视镜信息通道进行一定的补偿。Kim, Sang Ho^[90]等研究了在不同驾驶条件下,用户对触觉与听觉信号的可探测性的感知,比较驾驶员在不同任务条件下的听觉和触觉信号之间的响应率和时间。认为不同任务条件下,触觉和听觉感知没有明显差异。但是在驾驶模拟器中的汽车跟随场景中,有振动触觉警告信号时,制动响应明显更快,安全裕度更大^[91]。

对车载预警各种信号之间关系的研究较少,如 Yung-Ching Liu^[92]的研究认为单一预警显示模式中,视觉信号显示优于听觉显示,具有空间兼容性的听觉信号提高了驾驶员的表现,有空间兼容性的混合视觉显示能获得最佳预警结果。但是对各种类型的预警信号中不同变量特征下,驾驶员相对应的反应研究还较少,更多的是信号类型的整体比较。

3.5 预警系统中驾驶员分心行为研究

驾驶员的分心行为主要分为三种类型^[93]: 视觉(当眼睛不在路上时),手动(当手不在方向盘上时)和认知(当注意力从驾驶任务转移时)。对分心类型早期研究中,如对驾驶过程中的使用车载电话的驾驶表现、生理反应和补偿行为^[94],司机会调整他们的速度以保持对风险等级的主观感知不变。当他们对红灯

作出反应时,分心会导致司机延后作出反应,为了补偿,这时司机制动更加困难,车载电话的分心行为是显著的风险驾驶行为。Tuomo Kujala^[95]研究了在驾驶过程中使用中控系统的三种车载触摸屏滚动方法与驾驶员分心行为的关系,与滑动相比,动力学滚动导致视觉采样效率降低并且视觉负荷增加,与按钮和滑动相比增加了经验工作量,以及与基线相比降低的车道保持精度,即动力学滚动操作会加重驾驶员分心行为和驾驶风险;Shana Smith^[96]于 2011 年研究了基于年龄差异和性别差异讨论平视显示器(HUD)演示图像设计的现有类型和特征相关的用户偏好和感受,探索 HUD 演示图像设计与驾驶员 Kansei 响应之间的关系。Grega Jakus 等研究了驾驶过程中司机的听觉、抬头、和多模式显示在视听平视显示器(挡风玻璃投影视觉显示)与传统显示器上的显示情况,结果显示,两者相比,视听平视显示器显示交互更加有效、更快^[97]。刘鹏、Arda Kurt^[98]于 2014 年发表论文研究了驾驶员行为,基于隐马尔可夫模型(HMM)开发了驾驶行为估计和分类模型,通过在车道变换过程的开始阶段观察车辆状态来估计车道变换行为,然后在车辆越过车道标记之前由分类器进行分类,预估车辆换道轨迹。Neville A. Stanton^[99]等人探索研究了驾驶员分心因素和先进的车辆辅助系统对驾驶控制状态的影响,结果显示,虽然分心会造成驾驶控制降低,但是车道偏离警告(LDW)对驾驶员造成的分心影响并未减轻认知参与对次要任务的认知。瑞典的 Angela Sanguinetti^[100]从生态驾驶的角度研究用户的行为以及界面显示的生态性,基于行为理论和大量车载环保驾驶反馈界面的评估,确定了反馈的特征,并对生态环保视角下的驾驶行为改变产生了影响;Klara Steinhäuser^[101]等人研究了情绪对驾驶行为的影响,认为驾驶情绪影响是高度针对任务的,并且取决于驾驶任务和情绪诱导事件中涉及的注意力需求。一般情况下,认知工作量的增加也会导致认知分心行为的发生^[102]。

也有一些从预警信息系统测试可用性评估工具上进行的研究,如 Catherine Harvey、Neville A. Stanton^[103]等人系统定义了信息系统(预警)可用性测试的评估工具包、可用性测试方法选择,总结了并选择了十三个来构成最终评估工具包。

4 面向自动驾驶的预警系统交互

车载预警交互系统本质上是让人在驾驶过程中得到更加安全的保障、让用户驾驶更轻松的一种数据智能判断提醒装置,是目前自动驾驶技术中的一个核心组成部分,由于其人性化的易用性及广泛的场景适用性、便利性,是目前车载计算机系统的发展方向之一。而自动驾驶中的人机交互问题也是半自动驾驶技术、自动预警系统技术的基础。目前各大汽车厂家都

在发展自己的自动驾驶技术。2016年5月的美国佛罗里达州特斯拉Model S配备的自动驾驶技术导致的事故,让自动驾驶进入人们日常视野,也让自动驾驶技术遇到了政策法律层面的不确定性^[104]。目前对自动驾驶还没有构建起一个共识性的解决策略,不过半自动、自动驾驶的相关实践系统成果却初见成效了,现有半自动、全自动驾驶技术方案主要有“集成式巡航助手”^[105]、“自动驾驶仪”^[106]、“带转向辅助的Distronic Plus”^[107]和“Intellisafe 自动驾驶仪”^[108]自动驾驶功能等。而国内外对自动驾驶技术中的人机交互研究还处于起步阶段,目前自动驾驶技术处在测试和推广的阶段,也遇到法律的一些挑战^[109],目前还处在概念策略层面进行思考,如从驾驶员与无人驾驶系统之间合作关系上进行研究,两者之间的合作和自知,过程中的交互必须得到极大关注;以及对自动驾驶中的驾驶员角色问题的研究,认为驾驶员应该承担监管职责^[110],但是由于司机没有认可半自动驾驶的监管行为或者根据已有经验,所以常常表现出自满和过度信任的行为,这些行为可能会让驾驶员在旅途中承担更多风险^[111],当完全分心的驾驶员,要从自动驾驶仪中接过车辆控制权,这个过程也代表了一种不熟悉的情况,可以迅速压倒司机,造成严重风险^[112];在这个过程中如果视觉界面显示的是高级别的预警信息^[113],也会在一定程度上促使驾驶员接过驾驶权限。不过自动驾驶技术对老年人来说,在满足优良交互的前提下,很可能是一种良好的出行解决方案^[114]。

5 结语

目前国内外的车载预警系统的人机交互研究主要集中在对各种驾驶场景下的预警交互策略、预警系统工作机制,对风险行为、道路风险的预警研究上。也有一部分对车载预警系统中的预警信号特性的研究,对单一预警信号与驾驶员交互感知的研究;对新型车载预警系统对中老年驾驶者的影响和系统整体性的人机交互设计策略较少、尤其是整体交互框架较为缺失。预警系统中的数据处理、硬件与人机交互部分关系优化处于空白研究状态,缺乏体系化的理论和方法。目前的研究在于在系统中关注某一些技术点,侧重技术探索,在安全驾驶监测、预警技术,单一预警信号交互、或者一定道路条件风险因子对驾驶安全的影响研究上,强调微观点或单一的考量。对与人机交互、信息感知体验、从中老年驾驶员交互、从预警系统整体性的人机交互的角度研究的论文或者实际运用还较少,但是随着中国老龄化社会的到来,自动驾驶技术的进一步发展,从中老年、从弱势群体、信号感知体验出发,对预警系统整体层面的人机交互框架研究成为一个急需突破的方向,车载智能预警系统人机交互成为其中重要课题之一。

参考文献:

- [1] 林英姿. i-DRIVE(智能人车交互环境): 我们准备好了吗?[J]. 汽车安全与节能学报, 2016, 7(1): 14-24.
LIN Ying-zi. i-DRIVE (Intelligent Human-Vehicle Interaction Environment): Are We Ready?[J]. Journal of Automotive Safety and Energy Conservation, 2016, 7(1): 14-24.
- [2] LI Hai-qing, ZHAO You-qun, WANG Hao-yu, LIN Fen. Design of an Improved Predictive LTR for Roll-over Warning Systems[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2017, 39(10): 3779-3791.
- [3] ABE G, ITOH M, YAMAMURA T. Effective and Acceptable Forward Collision Warning Systems Based on Relationships Between Car-Following Behaviour and Reaction to Deceleration of Lead Vehicle[C]. Milano: Human Modelling in Assisted Transportation, 2011.
- [4] SAYED R A, ESKANDARIAN A, MORTAZAVI A. Drowsy and Fatigued Driver Warning, Counter Measures, and Assistance[M]. London: Springer, 2012.
- [5] SANG H, LEE S, MAN H K. Development of a Driving Behavior-Based Collision Warning System Using a Neural Network[J]. International Journal of Automotive Technology, 2018, 19(5): 837-844.
- [6] SILVESTRI M, BELLA F. Effects of Intersection Collision Warning Systems and Traffic Calming Measures on Driver's Behavior at Intersections[C]//STANTON N, LANDRY S D, BUCCHIANICO G, VALLICELLI A. Advances in Human Aspects of Transportation. London: Springer International Publishing, 2017.
- [7] GREEN M, JACOB R. SIGGRAPH'90 Workshop Report: Software Architectures and Metaphors for Non-WIMP User Interfaces[J]. Comput Graph, 1991(25): 229-235.
- [8] 张小龙, 吕菲, 程时伟. 智能时代的人机交互范式[J]. 中国科学: 信息科学, 2018, 48(4): 406-418.
ZHANG Xiao-long, LYU Fei, CHENG Shi-wei. Human-computer Interaction Paradigm in the Age of Intelligence[J]. Chinese Science: Information Science, 2018, 48(4): 406-418.
- [9] 张凤军, 戴国忠, 彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述[J]. 中国科学: 信息科学, 2016, 46(12): 1711-1736.
ZHANG Feng-jun, DAI Guo-zhong, PENG Xiao-lan. Overview of Human-computer Interaction in Virtual Reality[J]. Chinese Science: Information Science, 2016, 46(12): 1711-1736.
- [10] SHI W, LI C, YANG M, CHEN R. User Interface Based on Natural Interaction Design for Seniors[J]. Computers in Human Behavior, 2017(75): 147-159.
- [11] 杨明浩, 陶建华, 李昊, 等. 面向自然交互的多通道人机对话系统[J]. 计算机科学, 2014, 41(10): 12-18.
YANG Ming-hao, TAO Jian-hua, LI Hao, et al. Multichannel Human-computer Dialogue System for Natural Interaction[J]. Computer Science, 2014, 41 (10): 12-18.
- [12] CHAKRABORTY A, KONAR A. Applications and Future Directions of Emotional Intelligence[M]. Ber-

- lin: Springer, 2009.
- [13] BLISSING, BJOEN, BRUZELIUS, et al. Driver Behavior in Mixed and Virtual Reality: a Comparative Study[J]. *Transportation Research*, 2019, 61(2): 229-237.
 - [14] 路璐, 田丰, 戴国忠, 等. 融合触、听、视觉的多通道认知和交互模型[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2014, 26(4): 654-661.
LU Lu, TIAN Feng, DAI Guo-zhong, et al. Multichannel Cognitive and Interactive Model Integrating Touch, Audio and Vision[J]. *Journal of Computer Aided Design and Graphics*, 2014, 26(4): 654-661.
 - [15] 高强, 许勇. 车载触摸控制的人机交互系统[J]. *仪表技术与传感器*, 2012(2): 72-74.
GAO Qiang, XU Yong. Human-computer Interaction System for Vehicle Touch Control[J]. *Instrument Technology and Sensors*, 2012 (2): 72-74.
 - [16] KNOTT V, DEMMELMAIR S, BENGLER K. Display Concepts for the Vehicle[J]. *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes*. 2016(12): 249-267.
 - [17] HESSE T. Towards User-Centred Development of Integrated Information, Warning, and Intervention Strategies for Multiple ADAS in the EU Project interactive[C]// STEPHANIDIS C. (eds) *Universal Access in Human-Computer Interaction. Context Diversity. UAHCI 2011*. Heidelberg: Springer, 2011: . 280-289.
 - [18] 潘杰, 师黎. 车载雷达防追尾预警系统中的目标跟踪研究[J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(22): 245-248.
PAN Jie, SHI Li. Target Tracking Research in Vehicle-borne Radar Anti-rear-end Warning System[J]. *Computer Engineering and Application*, 2010, 46 (22): 245-248.
 - [19] 朱立夫, 燕必希, 王君, 等. 视觉传感器抖动模糊图像复原技术[J]. *传感器与微系统*, 2018, 37(8): 19-21.
ZHU Li-fu, YAN Bi-xi, WANG Jun, et al. Visual Sensor Jitter Blurred Image Restoration Technology[J]. *Sensors and Microsystems*, 2018, 37 (8): 19-21.
 - [20] 曾芬芳, 苏勇, 陈洁. 一种交互输入新技术——三维手势识别[J]. *华东船舶工业学院学报*, 2000(06): 38-44.
ZENG Fen-fang, SU Yong, CHEN Jie. A New Interactive Input Technology, Three-dimensional Gesture Recognition[J]. *Journal of East China Shipbuilding Institute*, 2000 (6): 38-44.
 - [21] KNOTT, VERENA C, DEMMELMAIR, et al. Distraction and Driving Behavior by Presenting Information on an “Emissive Projection Display” Compared to a Head-up Display[J]. *Diabetes & Vascular Disease Research Official Journal of the International Society of Diabetes & Vascular Disease*, 2015, 4(4): 13-23.
 - [22] MAAG C, SCHNEIDER N, LUBBEKE T, et al. Car Gestures: Advisory Warning Using Additional Steering Wheel Angles[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2015(83): 143-153.
 - [23] WALTRIP M J, BALDWIN C L. Scalable Auditory Alarms [A]. BAGNARA S, TARTAGLIA R, ALBOLINO S, ALEXANDER T, FUJITA Y. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association*[C]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 827. Cham: Springer, 2019: 54-58.
 - [24] BELLOTTI F, BERTA R, et al. Using 3D Sound to Improve the Effectiveness of the Advanced Driver Assistance Systems[J]. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2002, 6(3): 155-163.
 - [25] CHEN Fang, JONSSON I, VILLING J, et al. *Speech Technology*[M]. Boston: Springer, 2010.
 - [26] 白金蓬, 黄英, 江宜舟. 驾驶状态实时监测系统设计[J]. *电子测量与仪器学报*, 2014, 28(9): 965-973.
BAI Jin-peng, HUANG Ying, JIANG Yi-zhou. Design of Real-Time Monitoring System for Driving Status [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2014, 28 (9): 965-973.
 - [27] PYO D, RYU S, KIM S C, KWON D S. Haptic Interaction on a Touch Surface[A]. KAJIMOTO H, ANDO H, KYUNG K. *Haptic Interaction*[C]. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 277. Tokyo: Springer, 2015: 109-111.
 - [28] CHEOK A D, KARUNANAYAKA K. *Human-Computer Interaction Series*[M]. Switzerland: Springer Cham, 2018.
 - [29] WALTER M, EILEBRECHT B, WARTZEK T, et al. The Smart Car Seat: Personalized Monitoring of Vital Signs in Automotive Applications[J]. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2011, 15(7): 707-715.
 - [30] 程光. 人机交互系统中手势和姿势识别算法的研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.
CHENG Guang. Research on Gesture and Posture Recognition Algorithm in Human-computer Interaction System[D]. Beijing: Tsinghua University, 2014.
 - [31] 谭浩, 李薇, 谭征宇. 车载信息系统三维手势交互产品设计研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(18): 45-48.
TAN Hao, LI Wei, TAN Zheng-yu. Research on 3D Gesture Interactive Product Design of Vehicle Information System[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36 (18): 45-48.
 - [32] LEE M S, JEONG H Y. Driver Propensity Characterization for Different forward Collision Warning Times[J]. *International Journal of Automotive Technology*, 2014, 15(6): 927-936.
 - [33] ABE G, ITOH M, YAMAMURA T. Effective and Acceptable Forward Collision Warning Systems Based on Relationships Between Car-Following Behaviour and Reaction to Deceleration of Lead Vehicle [A]. In: Cacciabue P, Hjälm Dahl M, Luedtke A, Riccioli C. (eds) *Human Modelling in Assisted Transportation*[C]. Milano: Springer, 2011.
 - [34] BIONDI F, ROSSI R, GASTALDI M, et al. Beeping ADAS: Reflexive Effect on Drivers’ Behavior[J]. *Transportation Research Part F Psychology & Behaviour*, 2014, 25(1): 27-33.
 - [35] BIONDI F, DAVID L, et al. Advanced Driver Assistance Systems: Using Multimodal Redundant Warnings to Enhance Road Safety[J]. *Applied Ergonomics*, 2017(5): 238-244.
 - [36] WAN Jing-yan, WU Chang-xu, ZHANG Yi-qi. Effects

- of Lead Time of Verbal Collision Warning Messages on Driving Behavior in Connected Vehicle Settings[J]. *Journal of Safety Research*, 2016(58): 89-98.
- [37] WINKLER S, POWELLEIT M, KAZAZI J, et al. HMI Strategy-Warnings and Interventions[M]. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2018.
- [38] SERFLING M, LOHLEIN O. Night Vision Pedestrian Warning in Intelligent Vehicles[M]. New York: Springer, 2012.
- [39] QU X, YU F, ZHAO S E. Research on Curve Safety Speed Warning for Vehicle with Risk Prediction[C]. Society of Automotive Engineers (SAE)-China Congress. Singapore: Springer, 2016.
- [40] TASI M F, CHAO Y C, CHEN L W. et al. Cooperative Emergency Braking Warning System in Vehicular Networks[J]. *Wireless Com Network*, 2015(1): 32.
- [41] VON E A, ZAHN P, SCHRAMM D. A Warning Algorithm for Intersection Collision Avoidance[A]. FISCHER W J, MEYER G. Advanced Microsystems for Automotive Applications 2013[C]. Lecture Notes in Mobility. Heidelberg: Springer, 2013: 3-12.
- [42] THEOFILATOS A, YANNIS G, KOPELIAS P, et al. Predicting Road Accidents: a Rare-events Modeling Approach[J]. *Transportation Research Procedia*, 2016(14): 3399-3405.
- [43] 黄合来, 邓雪, 许鹏鹏. 考虑空间自相关的贝叶斯事故预测模型[J]. *同济大学学报: 自然科学版*, 2013, 41(9): 1378-1383.
HUANG He-lai, DENG Xue, XU Peng-peng. Bayesian Accident Prediction Model Considering Apatial Auto-correlation[J]. *Journal of Tongji University: Natural Science Edition*, 2013, 41(9): 1378-1383.
- [44] 孟祥海, 郑来, 史永义. 考虑车道变换影响的高速公路交通事故预测模型研究[J]. *公路交通科技*, 2014, 31(6): 121-125.
MENG Xiang-hai, ZHENG Lai, SHI Yong-yi. Study on Highway Traffic Accident Prediction Model Considering the Effect of Lane Change[J]. *Traffic Injury Prevention*, 2016, 17(1): 86-90.
- [45] 裴玉龙, 金英群, 陈贺飞. 基于脑电信号分析的不同年龄驾驶人疲劳特性[J]. *中国公路学报*, 2018, 31(4): 59-65.
PEI Yu-long, JIN Ying-qun, CHEN He-fei. Fatigue Characteristics of Drivers of Different Ages Based on EEG Signal Analysis[J]. *China Journal of Highway*, 2018, 31(4): 59-65.
- [46] 张晖, 查尔斯·阿托姆博, 张琦, 等. 考虑道路平曲线设计的驾驶疲劳对车道保持能力影响研究[J]. *交通信息与安全*, 2017, 35(2): 9-15.
ZHANG Hui, ATOMBO C, ZHANG Qi, et al. Study on the Influence of Driving Fatigue on Lane Retention Ability Considering Road Level Curve Design[J]. *Traffic Information and Safety*, 2017, 35(2): 9-15.
- [47] 姚瑶, 杨艳芳, 齐美彬, 等. 基于视觉的疲劳驾驶检测算法[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2015, 38(12): 1623-1627.
YAO Yao, YANG Yan-fang, QI Mei-bin, et al. Visual-based Fatigue Driving Detection Algorithms[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition)*, 2015, 38(12): 1623-1627.
- [48] 贾海江, 刘志强, 汪彭, 等. 基于人-车特征的疲劳驾驶辨识方法研究[J]. *中国科技论文*, 2016, 11(7): 751-753+759.
JIA Hai-jiang, LIU Zhi-qiang, WANG Peng, et al. Research on Fatigue Driving Identification Method Based on Human-Vehicle Characteristics[J]. *Chinese Science and Technology Paper*, 2016, 11(7): 751-753.
- [49] 胡鸿, 易灿南, 廖远志, 等. 车载驾驶员疲劳驾驶预警与控制系统研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2014, 10(11): 101-106.
HU Hong, YI Can-nan, LIAO Yuan-zhi, et al. Research on Pre-warning and Control System for Vehicle Driver Fatigue[J]. *China Safety Production Science and Technology*, 2014, 10(11): 101-106.
- [50] TEFFT B C. Motor Vehicle Crashes, Injuries, and Deaths in Relation to Driver Age: United States, 1995-2010[R]. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington D C, 2012.
- [51] LI G, BRAVER E R, CHEN L H. Fragility Versus Excessive Crash Involvement as Determinants of High Death Rates Per Vehicle-mile of Travel among Older Drivers[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2003, 35(2): 227-235.
- [52] SALTHOUSE T A. When does Age-related Cognitive Decline Begin?[J]. *Neurobiology of Aging*, 2009, 30(4): 507-514.
- [53] KLEIN D W, KLEIN T J B, FOZARD J L, et al. Sekuler Vision: Aging and Driving: the Problems of Older Drivers[J]. *Gerontol*, 1992(47): 27-34.
- [54] OWSLEY C, MCGWIN J G, BALL K. Vision Impairment, Eye Disease, and Injurious Motor Vehicle Crashes in the Elderly[J]. *Ophthalmic Epidemiol*, 1998(5): 101-103.
- [55] SALTHOUSE T A. The Processing-speed Theory of Adult Age Differences in Cognition[J]. *Psychol*, 1996, 103(3): 403-428.
- [56] HORSWILL M S, MARRINGTON S A, MCCULLOUGH C M, et al. The Hazard Perception Ability of Older Drivers[J]. *J Gerontol B Psychol*, 2008(2): 212-218.
- [57] HUITSCH, DAVID. Variability in Reaction Time Performance of Younger and Older Adults [J]. *Journals of Gerontology*, 2002(5): 101-115.
- [58] ZELAZO P D, CRAIK F I M, BOOTH L. Executive Function Across the Life Span[J]. *Acta Psychol*, 2004(115): 167-183.
- [59] HERTZOG C, DIXION R A, HULTSCH D F, et al. Latent Change Models of Adult Cognition: Are Changes in Processing Speed and Working Memory Associated with Changes in Episodic Memory?[J]. *Psychol Aging*, 2003, 18(4): 755-769.
- [60] GENEVIEVE D, PIERRE. Executive Functions in the Evaluation of Accident Risk of Older Drivers[J]. *Neuropsychol.*, 2002, 24(2): 221-238.
- [61] DAVID W, EBY L J, MOLNAR. et al. Prevalence, Attitudes, and Knowledge of Invehicle Technologies

- and Vehicle Adaptations among Older Drivers[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2018(113): 54-62.
- [62] WOOLF C, HENG K, PANS H, et al. The Elderly and Motor Vehicle Crashes[J]. *Chin J Emerg Me*, 2006(15): 6-12.
- [63] ICHTER M, PAPE H C, OTTE D, et al. The Current Status of Road User Injuries among the Elderly in Germany: a Medical and Technical Accident Analysis[J]. *Journal of Trauma-Injury Infection& Critical Care*, 2005, 58(3): 591-595.
- [64] 张仲仁. 日本交通事故中老年死亡者的分析[J]. *交通管理*, 1998(6): 61-68.
ZHANG Zhong-ren. Analysis of Middle-aged and Elderly Deaths in Traffic Accidents in Japan[J]. *Traffic Management*, 1998(6): 61-68.
- [65] KOLODKO J, VLACIC L. Fusion of Range and Vision for Real-time Motion Estimation[C]. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2004: 256-261.
- [66] MCKENNA F P. The Human Factor in Driving Accidents: an Overview of Approaches and Problems[J]. *Ergonomics*, 1982, (25): 867-877.
- [67] 潘晓东, 李君羨, 徐小冬. 基于眼部行为的驾驶疲劳评价指标的阈值[J]. *同济大学学报: 自然科学版*, 2011, 39(12): 1811-1815.
PAN Xiao-dong, LI Jun-xian, XU Xiao-dong. Threshold of Driving Fatigue Evaluation Index Based on Eye Behavior[J]. *Journal of Tongji University: Natural Science Edition*, 2011, 39(12): 1811-1815.
- [68] 张殿业, 金键, 杨京帅. 老年人驾驶反应行为分析[J]. *交通运输工程与信息学报*. 2004; 2(3): 1-5.
ZHANG Dian-ye, JIN Jian, YANG Jing-shuai. Analysis of Driving Response Behavior of the Elderly[J]. *Journal of Transportation Engineering and Information*, 2004, 2(3): 1-5.
- [69] 孟祥海, 侯芹忠, 史永义, 等. IHSDM 高速公路事故预测模型[J]. *交通运输工程学报*, 2016, 16(1): 123-132.
MENG Xiang-hai, HOU Qin-zhong, SHI Yong-yi, et al. IHSDM Highway Accident Prediction Model[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2016, 16(1): 123-132.
- [70] HALLIE C, JING F. Age Differences in the Takeover of Vehicle Control and Engagement in Non-driving-related Activities in Simulated Driving with Conditional Automation[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2017(106): 468-479.
- [71] 陈平, 郭凤香, 张盛. 老年驾驶人风险感知研究进展[J]. *人类工效学*. 2016(22): 76-82.
CHEN Ping, GUO Feng-xiang, ZHANG Sheng. Advances in Risk Perception of Elderly Drivers[J]. *Ergonomics*. 2016(22): 76-82.
- [72] 周华东, 邓娟, 李静, 等. 老年驾驶员神经心理学检测[J]. *中华创伤杂志*, 2007(4): 868-869.
ZHOU Hua-dong, DENG Juan, LI Jing, et al. Neuropsychological Tests for Elderly Drivers[J]. *Chinese Journal of Trauma*, 2007(4): 868-869.
- [73] FOROOGH H, ZHANG T. Effectiveness of Visual Warnings on Young Drivers Hazard Anticipation and Hazard Mitigation Abilities[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2018(116): 41-52.
- [74] VAND H R M A, JANSSEN C P, DONKER S F, et al. Visual in-car Warnings: How Fast do Drivers Respond?[J]. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, 2018(12): 748-759.
- [75] FLORES M J, ARMINGOL, ARTURO D L E. Driver Drowsiness Warning System Using Visual Information for Both Diurnal and Nocturnal Illumination Conditions[J]. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010(5): 1-19.
- [76] HUANG Y C, TSAI C J, KUO J Y, et al. The Comparison of Different Sensory Outputs on the Driving Overtake Alarm System[A]. STEPHANIDIS C. *Universal Access in Human-computer Interaction[C]. Context Diversity. UAHCI 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6767. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- [77] KAIZUKA T, NAKANO K. Effects of Urgency of Audiovisual Collision Warnings on Response Time and Accuracy of Steering[J]. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 2018(8): 1-8.
- [78] CARRYL L. BALDWIN, JENNIFER F. Loudness Interacts with Semantics in Auditory Warnings to Impact Rear-end Collisions[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2011, 14(1): 36-42.
- [79] ROSSI R, GASTALDI M, BIONDI F, et al. Warning Sound to Affect Perceived Speed in Approaching Roundabouts: Experiments with a Driving Simulator[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013(87): 269-278.
- [80] CHEISTIANE G, HEINRICH H. BULTHOFF L L. Why do Auditory Warnings During Steering Allow for Faster Visual Target Recognition?[M]. Pittsburgh: Academic Press, 2018.
- [81] MOORE D, BOSLEM S, CHARISSIS V. Design, User Experience, and Usability. Theory, Methods, Tools and Practice[M]. Berlin: Springer, 2011.
- [82] SIMMONS S M, CAIRD J K, STEEL P. A Meta-analysis of In-Vehicle and Nomadic Voice-recognition System Interaction and Driving Performance[J]. *Accid Anal Prev*, 2017, 106(9): 31-43.
- [83] PREWETT M S, ELLIOTT L R, WALVOORD A G, et al. A Meta-Analysis of Vibrotactile and Visual Information Displays for Improving Task Performance[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C*, 2011, 42(1): 123-132.
- [84] SCOTT J J, GRAY R. A Comparison of Tactile, Visual, and Auditory Warnings for Rear-End Collision Prevention in Simulated Driving[J]. *Human Factors*, 2008, 50(2): 264-275.
- [85] FAN X M, CHARLES S. Tactile Warning Signals for In-vehicle Systems[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2015(75): 333-346.
- [86] ROSARIO H D, LOUREDO M, DIAZ I, et al. Efficacy and Feeling of a Vibrotactile Frontal Collision Warning Implemented in a Haptic Pedal[J]. *Transportation Research Part F Traffic Psychology & Behaviour*, 2010,

- 13(2): 80-91.
- [87] CHUN J, LEE I, PARK G, et al. Efficacy of Haptic Blind Spot Warnings Applied Through a Steering Wheel or a Seatbelt[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology & Behaviour*, 2013, 21(11): 231-241.
- [88] RIENER A. *Sensor-Actuator Supported Implicit Interaction in Driver Assistance Systems*. New York: Vieweg+Teubner, 2010.
- [89] MURATA A, DOI T, KARWOWSKI W. Enhanced Performance for In-Vehicle Display Placed around Back Mirror by Means of Tactile Warning[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2018(3): 605-618.
- [90] KIM S H, SHIN J G, SABANDO J F. A Comparative Study on the Detectability between Haptic and Auditory Signals under Driving and Non-driving Task Conditions[J]. *Industrial Engineering & Management Systems*, 2017(7): 16.
- [91] HO C, REED N, SPENCE C. Assessing the Effectiveness of "Intuitive" Vibrotactile Warning Signals in Preventing Front-to-Rear-End Collisions in a Driving Simulator[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2006(6): 988-996.
- [92] LIU Y C, JHUANG J W. Effects of in-Vehicle Warning Information Displays with or without Spatial Compatibility on Driving Behaviors and Response Performance[J]. *Applied Ergonomics*, 2012, 43(4): 679-686.
- [93] STRAYER D L, WATSON J M, DREWS F A. Cognitive Distraction While Multitasking in the Automobile[J]. *Psychology of Learning & Motivation*, 2011(54): 29-58.
- [94] LIU B S, LEE Y H. Effects of Car-Phone Use and Aggressive Disposition During Critical Driving Maneuvers[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2005, 8(45): 369-382.
- [95] KUJALA T, SAARILUOMA P. Effects of Menu Structure and Touch Screen Scrolling Style on the Variability of Glance Durations during In-vehicle Visual Search Tasks[J]. *Ergonomics*, 2011, 54(8): 716-732.
- [96] SMITH S, FU S H. The Relationships between Automobile Head-up Display Presentation Images and Drivers' Kansei[J]. *Displays*, 2011(7): 58-68.
- [97] JAKUS, GREGA, DICKE, et al. A User Study of Auditory, Head-up and Multi-Modal Displays in Vehicles[J]. *Applied Ergonomics*, 2015(4): 184-192.
- [98] LIU P, KURT A, MIT Z. Trajectory Prediction of a Lane Changing Vehicle Based on Driver Behavior Estimation and Classification[C]. 2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, Qingdao: IEEE, 2014.
- [99] CADES D M, CRUMP C, LESTER B D, et al. *Advances in Human Aspects of Transportation*[M]. London: Springer International Publishing, 2017.
- [100] SANGUINETTI A, PARK H, SIKAND S, et al. A Typology of In-Vehicle Eco-Driving Feedback[J]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017(7): 979-992.
- [101] KLARA S, FELIX L, etc. Effects of Emotions on Driving Behavior[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 2018(11): 150-163.
- [102] STEAYER D L, DREWS F A. Cell Phone Induced Driver Distraction[J]. *Current Directions in Psychological Science*, 2007, 16(3): 128-131.
- [103] HARVEY C, STANTON N A, PICKERING C A, et al. In-Vehicle Information Systems (IVISs) to Meet the Needs of Drivers[J]. *International Journal of Human-computer Interaction*, 2011, 27(6): 505-522.
- [104] NYNKE E, VELLINGA. From the Testing to the Deployment of Self-Driving Cars: Legal Challenges to Policymakers on the Road Ahead[J]. *Computer Law & Security Review*, 2017(12): 847-863.
- [105] None. Robert Bosch Gmbh: Looking Beyond the Hood[J]. *Auto Tech Review*, 2015, 4(6): 44-49.
- [106] SETHUMADHAVAN A. Self-Driving Cars: Enabling Safer Human-Automation Interaction[J]. *Ergonomics in Design The Quarterly of Human Factors Applications*, 2017, 25(2): 25-25.
- [107] Mercedes-Benz. DISTRONIC Plus with Steering Assist [EB/OL]. (2013-09-16)[2018-12-01]. <https://www.mercedes-benz.com>.
- [108] Volvo Cars. Intellisafe Autopilot[EB/OL]. (2014-07-07)[2018-12-01]. <http://www.volvocars.com/intl/about/our-innovation-brands/intellisafe/intellisafe-autopilot>.
- [109] NYNKE E, VELLINGA. From the Testing to the Deployment of Self-driving Cars: Legal Challenges to Policymakers on the Road Ahead[J]. *Computer Law & Security Review*, 2017, 33(6): 847-863.
- [110] BANKS V A, STANTON N A. Analysis of Driver Roles: Modelling the Changing Role of The Driver in Automated Driving Systems Using EAST[J]. *Theoretical Issues in Ergonomics*, 2017, 20(3): 284-300.
- [111] BANKS V A, ERIKSSON A, O'DONOGHUE J, et al. Is partially automated driving a bad idea? Observations from an on-road study[J]. *Applied Ergonomics*, 2018(68): 138-145.
- [112] MAAS N, KRACHT F E, SCHULLER M, et al. Passing Control Between Driver and Highly Automated Driving Functions[C]. *International Conference on Life System Modeling & Simulation International Conference on Intelligent Computing for Sustainable Energy & Environment*. Hongkong: IEEE, 2017.
- [113] CUI W, ZHOU R, YAN Y, et al. Effect of Warning Levels on Drivers' Decision-Making with the Self-driving Vehicle System[C]. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Cham: Springer, 2017.
- [114] DAVID W E, LISA J M, RENEE M S. *In-Vehicle and Self-Driving Technologies*[M]. London: Springer, 2019.