

智能网联汽车主动避撞系统发展综述*

王祎男 王迪 关瀛洲

(中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 100013)

【摘要】针对当前典型的主动避撞系统及技术发展进行了全面综述,介绍了主动避撞系统的分类及其技术原理,归纳主动避撞系统的核心关键技术研究现状及技术水平,并对已量产的主动避撞产品进行了总结,最后,对主动避撞系统的发展趋势进行了分析与预测。

关键词:智能网联汽车 主动安全 主动避撞

中图分类号:U461.91;TP391.9 **文献标识码:**A **DOI:** 10.19620/j.cnki.1000-3703.20221034

Development Overview of Active Collision Avoidance System for Intelligent and Connected Vehicles

Wang Yinan, Wang Di, Guan Yingzhou

(Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【Abstract】This paper overviewed comprehensively the typical Active Collision Avoidance (ACA) systems and technological development, it firstly introduced the categories of ACA systems and its technical principle, then summed up the core key technologies of ACA system and technological level and summarized the mass-produced ACA products. The paper finally analyzed and predicted the development trend of ACA products.

Key words: Intelligent connected vehicle, Active safety, Active collision avoidance

【引用格式】王祎男,王迪,关瀛洲.智能网联汽车主动避撞系统发展综述[J].汽车技术,2023(3):1-9.

WANG Y N, WANG D, GUAN Y Z. Development Overview of Active Collision Avoidance System for Intelligent and Connected Vehicles[J]. Automobile Technology, 2023(3): 1-9.

1 前言

碰撞事故一直是交通事故中占比最多、危害最大的事故类型,缓解和避免碰撞一直是汽车工程领域的重点研究方向^[1]。近年来,随着智能网联汽车技术的快速发展,主动避撞成为整车企业、零部件供应商、科研机构解决碰撞问题的重要途径^[2]。伴随着环境感知、决策规划、控制执行等技术的进步,主动避撞系统得到渐进式发展,感知决策控制过程越发复杂,可应对的碰撞危险场景不断增加^[3]。

本文围绕主动避撞系统进行综述,对主流避撞系统进行分类,阐述各类主动避撞系统的原理,针对主动避撞技术涉及的环境感知、决策规划、控制执行3个方面的关键技术进行归纳与分析,梳理当前已量产的主动避撞产品,最后对主动避撞技术发展趋势进行预测与洞见。

2 主动避撞系统分类

为实现特定危险场景下以主动控制方式辅助驾驶员缓解乃至避免碰撞的目的,主动避撞系统通过车载传感器(摄像头、雷达等)和车辆与外界(Vehicle to Everything, V2X)通信采集本车周围一定范围内的环境信息,并结合本车状态信息,在系统电子控制单元(Electronic Control Unit, ECU)或域控制器中进行决策规划,进而控制本车执行器实现主动避撞^[4]。

主动避撞系统诞生至今,种类繁多,不同系统在硬件构成、软件算法、应对场景等方面千差万别。但根据最终的避撞控制方式,可将主动避撞系统分为制动避撞系统、转向避撞系统、横纵向协同避撞系统^[5]。

2.1 制动避撞系统

制动避撞系统通过主动制动的方式缓解或避免本车与其感知范围内危险目标的碰撞^[6]。制动是最直接、

*基金项目:吉林省重大科技专项(20210301015GX)。

最简捷的避撞方式,适用于本车前、后向的碰撞。制动避撞的方式也决定了此类系统无论从感知布置、决策规划还是控制执行上都是复杂度相对最低的,从而成为最早得到研究和搭载应用的主动避撞系统^[7]。自动紧急制动(Automated Emergency Brake, AEB)系统作为制动避撞系统的主流产品,应用最为普遍,法规标准健全,成为新车标配功能已成必然趋势^[8]。

2.2 转向避撞系统

转向避撞系统通过控制车辆转向系统,紧急避让原有行驶路径上的危险目标^[9]。车辆作为具有时变性、非线性、随机性的复杂动力学系统,结合路面条件和周围环境,在临碰撞的危险工况中,转向避撞具有很高的路径规划和控制难度,极易造成控制失稳衍生二次事故^[10]。这就对转向避撞系统的感知、决策、控制在实时性、精确性、快速性等方面提出了更加苛刻的要求,由于转向避撞在快速性、舒适性、灵活性、对后方车辆影响较小等方面的优势,适用于诸多碰撞危险场景,尤其是本车车速较高的临碰撞场景,因而转向避撞得到越来越多的关注与研究^[11]。紧急转向辅助(Emergency Steering Support, ESS)系统和自动紧急转向(Automatic Emergency Steering, AES)系统是目前已某些高端车型上搭载的转向避撞系统^[12]。

2.3 横纵向协同避撞系统

为了应对更加复杂的碰撞危险场景,以及实现更复杂的避撞路径规划与精准跟踪,横纵向协同避撞系统应运而生。该系统在避撞过程中分别通过控制制动、驱动和转向系统,实现对本车速度和方向的精确控制,可实现多目标最优的避撞路径规划与跟踪^[13]。由于车辆横纵向控制的耦合性,在路径规划和控制上难度比转向避撞系统更大,目前已应用的横纵向协同避撞系统非常少见,将转向与制动进行协同以实现避撞是目前研究的主流方向^[14]。

3 主动避撞核心技术研究现状

各类主动避撞系统均包含环境感知、决策规划、控制执行3项核心技术。随着各项核心技术的不断进步,各类主动避撞系统性能持续升级,可覆盖的场景日益全面^[15]。

3.1 环境感知技术研究现状

对行车环境的精确、全面、实时感知是主动避撞系统实现避撞的前提。在主动避撞系统中,毫米波雷达、摄像头、激光雷达、超声波传感器广泛应用于环境感知。近年来,V2X通信技术日益成熟,也被引入主动避

撞系统作为获取车外信息的方式^[16]。

早期,由于传感器性能和成本难以满足车规和量产需求,整车难以搭载大量高性能传感器,在有限的感知范围和精度条件下,主动避撞系统可应对的碰撞场景也极其有限,大多只能支持制动避撞。早期AEB等制动避撞系统多采用单传感器方案,布置毫米波雷达或摄像头实现车辆前向环境感知,主要应对车辆正前方的碰撞场景。单传感器方案成本低,但是仅能应对直线行驶工况下的追尾前车、行人横穿等简单碰撞场景,而且毫米波雷达和摄像头均有各自的缺陷。

毫米波雷达对车辆等金属物体识别效果好,但对行人等非金属目标因回波少而识别不准,这就导致基于毫米波雷达的主动避撞系统容易误将井盖、护栏等金属物体误识别为车辆,以及漏识别前方存在碰撞风险的行人,进而导致误触发、漏触发^[17]。单摄像头方案多基于机器学习算法,将各类目标特征作为识别依据,以大规模正、负样本作为输入进行迭代训练,获取满足识别准确率要求的分类器^[18],虽然可大幅提高对前方目标类型的识别准确率,但难以保证对目标位置的精确测量,尤其是较远的目标,且摄像头感知性能受光照、天气影响严重^[19]。

为了弥补单一传感器方案存在的固有缺陷,并综合利用不同传感器的优势,多传感器融合的感知方案日益成为主流。以即将量产的飞凡R7为例,全车搭载33个感知硬件,如图1所示,其中包括1个LUMINAR 1 550 nm激光雷达、2个Premium 4D成像雷达、4个增强版远距离点云角雷达、12个超声波雷达、12个800万像素摄像头、组合定位模块、V2X通信模块^[20]。

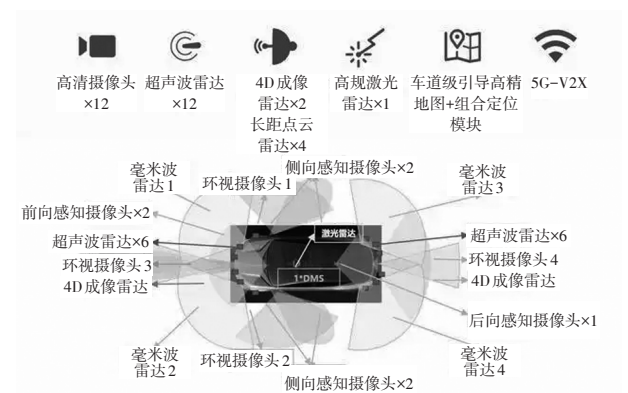


图1 飞凡R7感知布置方案^[20]

目前,多传感器融合技术的硬件水平已经满足量产要求,多传感器融合算法成为研究热点。多传感器融合算法主要分为传统的随机类算法和目前日益流行的人工智能算法。传统随机类算法多采用卡尔曼滤波

(Kalman Filter)、加权平均、贝叶斯估计(Bayesian Estimation)等算法,将不同传感器经处理后输出的目标数据以一定的权重融合,从而确定目标类型、位置、运动状态等信息。传统的多传感器融合算法虽然相对简单、计算量小、对硬件性能需求低,但因不同传感器对目标识别的结果不同,往往出现漏识别、不精确等问题,不能充分融合不同传感器的优势^[21]。

随着深度学习的持续发展,基于深度学习的多传感器融合算法得到广泛研究,与传统多传感器融合算法不同,基于深度学习的多传感器融合算法首先将各传感器的原始数据汇聚成数据集,进而主要采用数据级融合、特征级融合、决策级融合3种方式确定目标参量^[22]。其中,数据级融合先进行数据对齐、关联、预处理等操作,而后进行特征提取得到目标信息。数据级融合的优势是可保留原始数据中的目标信息,避免遗漏目标,实现多源数据相互补偿,但也存在计算量大、数据异步异构、对硬件内存和算力要求高等问题^[23]。特征级融合先对各传感器采集的数据采用 RoarNet (RegiOn Approximation Refinement Network)、AVOD (Aggregate View Object Detection)、MV3D (Multi-View 3D)、F-PointNet (Frustum PointNet)等深度学习网络进行特征提取,进而对不同特征进行级联或加权得到目标信息。特征级融合因其先对各传感器的原始数据进行特征提取,使后续处理的数据量大幅减少,所以处理速度快、实时性高,但也存在细节丢失、精度较数据级融合差等问题。决策级融合先对各传感器原始数据进行特征提取,分别得到各传感器感知的目标信息后,进行融合处理输出最终结果。决策级融合的优势在于其良好的鲁棒性,个别传感器故障不影响依靠其他传感器进行决策,且不涉及数据级的复杂融合过程,处理速度快。但决策级融合也存在与特征级融合类似的细节丢失、精度不足的问题^[24]。

综上,融合方式各有利弊,应根据传感器组合方案和硬件内存、算力等性能进行选择。随着多传感器融合硬件性能不断提高,数据级融合以其原始信息全面、传感器优势充分互补的优势将得到更多的应用。基于多传感器融合的360°全方位、高精度的环境感知技术为制动防撞系统、转向防撞系统、横纵向协同防撞系统的深入研发与推广应用创造了先决条件。

由于V2X通信技术的引入,交通系统中的万物互联得以实现。环境感知突破了传感器的物理极限,车辆与周围物体可直接点对点信息交互,无需车载传感器感知即可获取碰撞危险目标信息,可大幅提高主动防撞系

统危险识别的快速性与准确性。目前已有诸多基于V2X通信的主动防撞研究,吉林大学王江锋等基于V2V通信实现前车驾驶意图的共享,实现了84%的碰撞预警正确率^[25]。清华大学杨刚针对三车道八车场景,通过V2V通信获取场景内所有车辆信息,用于安全换道轨迹规划与跟踪^[26]。重庆交通大学刘玢滢针对交叉路口场景,基于V2X通信获取车辆信息建立轨迹模型并分析冲突区域,实现了防撞预警^[27]。但由于当前基于V2X通信的智能网联交通系统仍未成熟,带有V2X通信的主动防撞系统实际应用为时尚早。

由于碰撞危险场景具有复杂性、突发性、随机性,如果没有全面、精准、实时的环境感知能力,就会导致主动防撞系统误触、漏触频发,甚至给乘员带来更大的危险。所以不断提升环境感知能力,是主动防撞系统不断升级进化的前提。

3.2 决策规划技术研究现状

主动防撞系统通过决策规划算法确定防撞过程对车辆的具体控制,以及防撞控制的触发、中断、抑制与退出。其中,碰撞危险评估和防撞路径规划是决策规划的核心^[28]。碰撞危险评估是确定防撞控制触发时机的关键。

安全距离模型作为最经典的碰撞危险评估方法,得到了国内外的广泛研究。目前,得到普遍应用的安全距离模型有车间时距模型、基于制动过程分析的安全距离模型、考虑驾驶员特性的安全距离模型^[29]。

车间时距模型以“当前相对车速下距碰撞的时间”(Time to Collision, TTC)为危险量化指标,但TTC中仅涉及当前时刻的车间距离与相对车速,未考虑车辆与危险目标的相对加速度、车辆制动性能、驾驶员特性等要素,导致该指标无法准确反映大多数场景的危险程度,仅适用于低速碰撞危险场景,难以评估目标紧急制动等突发状态变化的危险程度。在实际应用中,往往需要通过规模庞大的测试确定一系列较保守的功能触发阈值,难以覆盖全部工况,且容易使系统提早触发^[30]。

基于制动过程分析的安全距离模型将本车驾驶员反应延迟考虑在内,假设本车和目标作匀加速度运动,设定最小安全距离,实时估算立即执行防撞可达的车间距离,若该距离低于最小安全距离,则主动防撞控制介入。典型的模型有马自达模型、本田模型等^[31-32],都假设本车和前方目标以最大减速度紧急制动,进而估算可保证最小安全距离的本车制动触发时机。这类模型将碰撞危险强化,不适用于前车非紧急制动工况,往往导致系统触发过早,且未将本车制动性能与作用过程建

模,导致本车制动过程的运动状态预测不准。

为了使客观的危险评估与驾驶员的主观危险感知相符,诸多研究将驾驶员特性融入安全距离模型。清华大学侯德藻等分析驾驶员在跟车过程中的驾驶行为,基于符合驾驶员习惯的跟停距离统计数据建立安全距离模型,从而实现避撞系统的触发时机在驾驶员心理接受范围内^[33]。江苏大学刘志强等同样基于驾驶员跟车过程的各驾驶参数数据,建立反向传播(Back Propagation, BP)神经网络驾驶员制动行为模型,以前车加速度、相对距离、相对速度、TTC为输入,输出与驾驶员行为相符的本车加速度,用于主动避撞控制^[34]。

现有的安全距离模型虽然可量化本车与目标间的危险程度,但是无法精确预测主动避撞介入后的过程,所以往往采用保守的触发阈值,导致系统早触发和误触发。随着环境感知和控制执行软硬件技术的发展,对目标状态变化进行实时获取与预测,以及对本车制动、转向、驱动性能进行精准建模成为可能,碰撞危险评估算法必将越发准确地预测主动避撞介入后本车和目标的运动过程,从而确定精确满足安全条件的触发时机。

避撞路径规划主要应用于转向避撞系统和横纵向协同避撞系统,这2类主动避撞系统涉及行驶路径规划,所以必须综合多重因素对避撞过程中的车辆行驶路径进行实时规划^[35]。

在碰撞危险场景中,基于对车辆周围环境的动态精确感知,避撞路径规划算法需要在满足距离、时间、能耗、安全、车辆动力学、执行器性能等一系列约束条件的前提下,实时求解出一条最优可行避撞路径,供系统控制执行器进行路径跟踪^[36]。由于碰撞危险场景内避撞时间有限,需要实时快速完成路径规划,多采用多项式表征避撞路径,以较低运算量即可确定多项式各项系数^[37]。北京理工大学姜岩等采用五次多项式表征避撞路径,以不同的预瞄位置求解一系列路径,并选择最优的安全可行路径进行跟踪,基于此算法实现了16 km越野环境和7 km城市环境的自动驾驶^[38]。此外,也有诸多研究采用其他路径生成方法:斯坦福大学Joseph等采用曲率连续的回旋曲线和圆弧组合表示紧急换道路径^[39];湖南大学肖浩基于人工势场理论建立危险斥力场模型,将本车与目标、道路边界间的相互作用表征为障碍物边界斥力、路边界斥力、线性拉伸弹簧拉力共同作用的结果,通过局部路径规划算法求解使本车受力平衡的避撞路径^[40];吉林大学江庆坤为适应复杂环境动态变化,采用快速搜索随机树(Rapidly-exploring Random Tree, RRT)算法求解满足各项约束的最优轨

迹^[41];中国科学院陈成等采用四阶贝塞尔曲线表征避撞路径,在动力学、起点、终点、连续曲率等约束下求解避撞轨迹^[42]。

为了避撞路径规划算法的实际有效应用,具有良好实时性的基于多项式的路径规划算法得到广泛采用。在保证避撞路径规划快速、可通行的前提下,更要考虑车辆动力学性能、各执行器控制性能,从而保证规划的路径可被精准跟踪。

3.3 控制执行技术研究现状

主动避撞系统的性能优劣最终取决于对决策规划的执行效果。

在制动避撞系统中,虽然有诸多研究基于安全距离模型等算法实时求解期望制动减速度,进而控制本车制动系统执行,但在实际应用的AEB系统中,绝大多数制动控制策略以恒定紧急制动期望减速度执行避撞,或者采用轻、重2段恒定期望减速度执行避撞^[43]。因为进入紧急制动工况后,车辆运动状态剧烈变化,且本身具有较大惯性,加之制动系统性能限制,难以实现变制动强度下的安全距离控制。

在转向避撞和横纵向协同避撞系统中,需要控制线控底盘实现对避撞路径的跟踪。虽然PID控制是目前应用于实际车辆控制的最实用、最广泛的控制方法,但由于其脱离控制对象本身的动力学特性,且避撞控制本身难度高,对快速性、精确性、稳定性有很高要求,甚至涉及横纵向协同控制,PID控制方法在避撞控制中应用很难达到预期要求^[44]。因而,诸多更复杂的控制方法应用于避撞路径跟踪控制。吉林大学田彦涛等设计了带前馈补偿的线性二次型调节器(Linear Quadratic Regulator, LQR)控制器,通过控制车辆跟踪侧偏角实现期望轨迹跟踪^[45]。Falcone等基于模型预测控制理论建立路径跟踪控制器,协同控制车辆制动与转向,实现了期望路径的稳定、准确跟踪^[46]。吉林大学王御考虑线控底盘各执行器、轮胎力等复杂约束关系,建立多目标集成控制模型,通过控制驱动系统、制动系统、转向系统实现轮胎力分配,从而实现了路径跟踪的快速响应^[47]。Tian等基于模糊PID和滑模控制设计了侧向主动避撞系统,上层控制器采用模糊PID求解期望轨迹,下层控制器基于滑模控制直接对车辆横摆角进行实时控制^[48]。车辆在动力学上具有强非线性、时变性、随机性,故主动避撞的路径跟踪控制模型的设计必须结合车辆动力学特性,在满足各种约束条件下实现临撞工况横纵向协同的快速、精准、稳定控制^[49]。

避撞路径跟踪控制方法的实际控制效果取决于执
汽车技术

行器电控性能。具备快速、精准、稳定等优良电控性能的执行器可保证主动避撞系统更精确地实现预期的安全目标。

随着电子稳定性控制(Electronic Stability Control, ESC)等电控制动系统和电动助力转向(Electronic Power Steering, EPS)等电控转向系统在制动、转向控制上的性能提升,主动避撞系统可实现更精确的安全距离和避撞路径跟踪控制。在电控制动方面,博世的ESC系统产品已迭代至第9代,通过标定可输出需求的减速度,且响应延时低于500 ms,并能保证不同车速下响应的一致性与稳定性,可支持制动避撞系统的精准距离控制^[50]。菲格科技智能电子制动产品iBooster成功搭载于长城坦克600,其紧急制动响应时间低于150 ms,且采用独立解耦结构,可不依赖ESC^[51]。在电控转向方面, EPS系统已经普遍应用于量产车型,在车辆智能网联化趋势下, EPS已支持主动控制,根据上层控制器指令实现精准转角、转速控制。而且,随着线控转向技术的推广应用,转向指令无需机械或液压部件传输,将使转向控制响应更加快速、精准、稳定^[52]。随着线控底盘技术的越发成熟,智能网联汽车避撞控制执行能力也将大幅提升,而且执行器精良的控制性能也可大幅减少主动避撞系统规划决策所需考虑的执行器性能相关约束,降低算法复杂程度和运算量。

4 典型主动避撞产品

随着智能网联汽车时代的到来,主动避撞系统日益广泛地在新车上搭载。目前主流产品主要为制动避撞系统和转向避撞系统。其中制动避撞系统主要指AEB系统,转向避撞系统主要指紧急转向辅助(Emergency Steering Support, ESS)、自动紧急转向(Automatic Emergency Steering, AES)、紧急车道保持(Emergency Lane Keeping, ELK)、智慧躲闪等L2+级驾驶辅助系统。

20世纪90年代,制动避撞系统就得到了各大汽车企业的研发与应用。随着技术与标准法规的发展,制动避撞系统可应对的场景也得以扩展。丰田公司1995年就开发了基于毫米波雷达的主动避撞安全系统,用于避免追尾前车^[53]。沃尔沃针对城市行车常见的碰撞危险场景,开发了城市安全系统,如图2所示,该系统融合AEB和ESS系统的功能,通过紧急制动和紧急转向避让可应对行人/两轮车横穿、交叉口会车、对向来车、前车急停等碰撞危险工况^[54]。

ELK系统识别到本车有偏离车道的风险,且与邻车道对向来车、后向来车存在碰撞危险时,通过控制EPS

施加辅助转矩,令本车快速回到原车道中央行驶。智慧躲闪系统主要面向本车与其相邻车道内大型车辆存在碰撞危险的情况,如图3所示,系统识别到危险后控制本车向远离大车一侧横向偏移^[55]。



图2 沃尔沃城市安全系统



图3 智慧躲闪系统常见应用场景

在L2+级驾驶辅助系统市场渗透率日益提升的大趋势下,为了提升主动安全性能,国内外各大汽车企业的新上市车型均大量搭载主动避撞产品,AEB系统已成为必选,ELK、智慧躲闪系统也得到较多搭载,但ESS、AES系统由于对环境感知、规划决策、控制执行性能要求高,仅沃尔沃等少数汽车企业实现了搭载。

5 主动避撞系统发展趋势

汽车智能网联化趋势下,环境感知、规划决策、控制执行相关软硬件技术持续进步,智能网联汽车可应对的碰撞危险场景将越来越多,必将衍生出更多主动避撞产品。

由于行车过程中场景复杂多变,场景之间存在连续性、耦合性、随机性,必将导致不同主动避撞产品在同一时空内同时生效,多主动避撞产品的协同控制将成为一大技术研究方向。

随着智能网联汽车自动驾驶水平的逐渐提高,驾驶辅助必将向全时自动驾驶过渡,在这一进程中,多种主动避撞产品将按照一定的聚类呈现集群化、系统化演变,最终统一成覆盖全场景的智能网联车主动避撞系统。

虽然智能网联汽车的自动驾驶能力必将在感知、决策、控制能力上全面超过人类驾驶员,并可预判潜在碰撞危险,但是由于系统故障的必然性、随机性、偶发性,

以及危险场景的突发性、随机性,即使在全自动驾驶下,碰撞危险场景依然存在,主动避撞系统也将作为必备冗余系统搭载于智能网联汽车,并得到不断升级完善。

参 考 文 献

- [1] 方俊. 基于障碍物斥力场的汽车主动避撞系统[J]. 汽车技术, 2018(6): 38-42.
FANG J. Vehicle Active Anti-Collision System Based on Obstacle Repulsive Field[J]. Automobile Technology, 2018(6): 38-42.
- [2] 刘永涛, 吕凯光, 赵俊玮, 等. 基于人、车、路 and 环境的 AEB 控制策略发展研究综述[J]. 汽车技术, 2021(5): 1-8.
LIU Y T, LÜ K G, ZHAO J W, et al. Research Review on Development of AEB Control Strategy Based on Human, Vehicle, Road and Environment[J]. Automobile Technology, 2021(5): 1-8.
- [3] 阴培, 蒋拯民, 叶茂, 等. 考虑转向的汽车主动避撞控制系统研究[J]. 汽车技术, 2019(7): 1-7.
YIN P, JIANG Z M, YE M, et al. Research on Active Collision Avoidance Control System Considering Steering[J]. Automobile Technology, 2019(7): 1-7.
- [4] 张佳佳, 魏民祥, 项楚勇, 等. 车辆弯道避撞控制研究[J]. 汽车技术, 2019(3): 13-17.
ZHANG J J, WEI M X, XIANG C Y, et al. Research on Collision Avoidance Control of Vehicle at Curve[J]. Automobile Technology, 2019(3): 13-17.
- [5] 黄丽琼. 基于制动/转向的汽车主动避撞控制系统研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
HUANG L Q. Research on Vehicle Active Collision Avoidance Control System Based on Longitudinal Braking/Steering Lane-Changing[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2016.
- [6] 兰凤崇, 刘迎节, 陈吉清, 等. 可变附着系数路面上的自动紧急制动避撞安全策略研究[J]. 汽车工程, 2021, 43(7): 1105-1112.
LAN F C, LIU Y J, CHEN J Q, et al. Research on Safety Strategy for Collision Avoidance by Automatic Emergency Braking on A Road with Varying Adhesion Coefficient[J]. Automotive Engineering, 2021, 43(7): 1105-1112.
- [7] 何仁, 冯海鹏. 自动紧急制动(AEB)技术的研究与进展[J]. 汽车安全与节能学报, 2019, 10(1): 1-15.
HE R, FENG H P. Research and Development of Autonomous Emergency Brake (AEB) Technology[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2019, 10(1): 1-15.
- [8] 岳巍. 自动紧急制动系统(AEB)用户认知度和需求度研究[J]. 智能网联汽车, 2019(6): 90-94.
YUE W. Research of User Awareness and Demand for AEB[J]. Intelligent and Connected Vehicle, 2019(6): 90-94.
- [9] 刘智超, 朱西产, 李霖, 等. 汽车转向避撞控制策略研究[C]// 第十七届中国汽车安全技术学术会议. 保定: 中国汽车工程学会, 2014.
LIU Z C, ZHU X C, LI L, et al. Research of Emergency Steering Control Strategy[C]// The 17 th Conference of Automotive Safety Technology. Paoting: China Society of Automotive Engineers, 2014.
- [10] 张巍. 基于模型预测和路径规划的汽车主动转向避撞控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
ZHANG W. Research on Active Steering Avoidance Control Based on Model Forecast and Path Planning[D]. Chongqing: Chongqing University, 2017.
- [11] 赵治国, 胡昊锐, 周良杰, 等. 紧急避撞路径规划及其跟踪驾驶员转向模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2020, 48(7): 998-1006.
ZHAO Z G, HU H R, ZHOU L J, et al. Emergency Collision Avoidance Path Planning and Driver Steering Tracking Model[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2020, 48(7): 998-1006.
- [12] HUZY. 更聪明的主动安全功能——自动紧急转向 AES [EB/OL]. (2020-02-28)[2022-11-21]. <https://www.auto-testing.net/news/show-105929.html>.
HUZY. The More Intelligent Active Safety Function: Automated Emergency Steering(AES)[EB/OL]. (2020-02-28)[2022-11-21]. <https://www.auto-testing.net/news/show-105929.html>.
- [13] 王其东, 李印祥, 陈无畏, 等. 基于制动转向协同控制的智能车紧急避障研究[J]. 汽车工程, 2019, 41(4): 395-403+425.
WANG Q D, LI Y X, CHEN W W, et al. A Research on Emergency Obstacle Avoidance of Intelligent Vehicle Based on Braking and Steering Coordinated Control[J]. Automotive Engineering, 2019, 41(4): 395-403+425.
- [14] 严明月, 魏民祥, 王可洲, 等. 基于功能分配与多目标模糊决策的转向与制动协同避撞控制[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(2): 63-71.
YAN M Y, WEI M X, WANG K Z, et al. Cooperative Collision Avoidance Control of Steering and Braking Based on Function Allocation and Multi-Objective Fuzzy Decision [J] Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018, 32(2): 63-71.
- [15] 董红召, 陈炜烽, 郭明飞, 等. 基于车路一体化的车辆主动避撞系统关键技术的研究[J]. 汽车工程, 2010, 32(11): 984-988.
DONG H Z, CHEN W F, GUO M F, et al. A Study on Key Technologies of Vehicle Active Collision Avoidance System Based on VII Technology[J]. Automotive Engineering, 2010, 32(11): 984-988.
- [16] 谢志萍, 雷莉萍. 智能网联汽车环境感知技术的发展和研究现状[J]. 成都工业学院学报, 2016, 19(4): 87-92.

- XIE Z P, LEI L P. The Research and Development of Environmental Perception Technology in Intelligent and Connected Vehicles[J]. Journal of Chengdu Technological University, 2016, 19(4): 87-92.
- [17] 崔宾. 基于毫米波雷达的汽车防撞系统研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- CUI B. The Study of Vehicle's Anti-Collision System Based on Millimeter-Wave Radar[J]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.
- [18] 张中昀. 基于雷达与视觉传感器信息融合的车辆检测方法研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- ZHANG Z Y. Research on Vehicle Detection Method Based on Radar and Vision Sensor[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.
- [19] 王芬芬. 基于机器视觉的前向避撞预警系统算法研究[D]. 沈阳: 沈阳大学, 2016.
- WANG F F. The Study on the Algorithm of Forward Collision Avoidance Warning System Based on Machine Vision[D]. Shenyang: Shenyang University, 2016.
- [20] 昊晗. 飞凡R7首推全融合感知算法,33个感知硬件武装到牙齿[EB/OL]. (2022-09-07)[2022-11-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1743301510566104196&wfr=spider&for=pc>.
- WU H. Feifan R7 Uses the Full Fusion Perception Algorithm, Thirty Three Perception Hardwares are Fixed on the Car[EB/OL]. (2022-09-07)[2022-11-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1743301510566104196&wfr=spider&for=pc>.
- [21] 王海, 徐岩松, 蔡英凤, 等. 基于多传感器融合的智能汽车多目标检测技术综述[J]. 汽车安全与节能学报, 2021, 12(4): 440-455.
- WANG H, XU Y S, CAI Y F, et al. Overview of Intelligent Vehicle Multi-Target Detection Technology Based on Multi-Sensor Fusion[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2021, 12(4): 440-455.
- [22] CUI Y D, CHEN R, CHU W B, et al. Deep Learning for Image and Point Cloud Fusion in Autonomous Driving: A Review[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 23(2): 1-18.
- [23] LIANG M, YANG B, WANG S L, et al. Deep Continuous Fusion for Multi-Sensor 3D Object Detection[C]// European Conference Computer Vision (ECCV). Munich, Germany: Springer, 2018: 641-656.
- [24] LIU Z, CAI Y F, WANG H, et al. Robust Target Recognition and Tracking of Self-Driving Cars With Radar and Camera Information Fusion under Severe Weather Conditions[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 12(7): 1-14.
- [25] 王江锋, 刘雨桐, 王梦玉, 等. 车车通信环境下基于驾驶意图共享的车辆避撞预警算法[J]. 中国公路学报, 2020, 33(6): 65-76.
- WANG J F, LIU Y T, WANG M Y, et al. Warning Algorithm of Vehicle Collision Avoidance Based on Driving Intention Sharing in Vehicle-to-Vehicle Environment[J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33(6): 65-76.
- [26] 杨刚. 基于车车通信的多车协同自动换道控制策略研究[D]. 北京: 清华大学, 2016.
- YANG G. Research on Multi-Vehicle Cooperative Automated Lane Change Maneuver Based on Vehicle-to-Vehicle Communication[J]. Beijing: Tsinghua University, 2016.
- [27] 刘玢滢. 基于V2X的道路交叉口车-车避撞预警算法研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- LIU F Y. Research on Vehicle-Vehicle Collision Avoidance Warning Algorithm in Road Intersection Based on V2X[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2018.
- [28] 胡雄. 智能汽车主动避撞控制策略及系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
- HU X. Research on Active Collision Avoidance Control Strategy and System of Intelligent Vehicles[D]. Chongqing: Chongqing University, 2018.
- [29] 唐阳山, 江振伟, 白艳, 等. 汽车防碰撞安全距离模型及仿真研究[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2008, 28(5): 324-326.
- TANG Y S, JIANG Z W, BAI Y, et al. Model of Vehicle Safety Distance for Collision Avoidance and Simulation Study[J]. Journal of Liaoning University of Technology (Natural Science Edition), 2008, 28(5): 324-326.
- [30] KILICARSLAN M, ZHENG J Y. Predict Vehicle Collision by TTC from Motion Using A Single Video Camera[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2019, 20(2): 522-533.
- [31] FENG G D, WANG W, FENG J S, et al. Modelling and Simulation for Safe Following Distance Based on Vehicle Braking Process[C]// 2010 IEEE 7th International Conference on E-Business Engineering (ICEBE). Shanghai: IEEE, 2010: 385-388.
- [32] ZHANG Y, ANTONSSON E K, GROTE K. A New Threat Assessment Measure for Collision Avoidance Systems[C]// IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Toronto, Canada: IEEE, 2006: 968-975.
- [33] 侯德藻, 刘刚, 高锋, 等. 新型汽车主动避撞安全距离模型[J]. 汽车工程, 2005, 27(2): 186-190+199.
- HOU D Z, LIU G, GAO F, et al. A New Safety Distance Model for Vehicle Collision Avoidance[J]. Automotive Engineering, 2005, 27(2): 186-190+199.
- [34] 刘志强, 张春雷, 倪婕, 等. 一种基于驾驶员制动行为的

- 车辆主动避撞模型研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(2): 10-16+45.
- LIU Z Q, ZHANG C L, NI J, et al. Study on Active Collision Avoidance Model Based on Driver's Braking Behavior[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018, 32(2): 10-16+45.
- [35] 刘传领. 基于势场法和遗传算法的机器人路径规划技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- LIU C L. Researches on Technologies for Robot Path Planning Based on Artificial Potential Field and Genetic Algorithm[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2012.
- [36] 王震宇. 无人驾驶车辆换道控制方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.
- WANG Z Y. Study on Lane Changing Control Method of Autonomous Vehicle[D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [37] CHEN H, ZHANG X. Path Planning for Intelligent Vehicle Collision Avoidance of Dynamic Pedestrian Using Att-LSTM, MSFM, and MPC at Unsignalized Crosswalk[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2022, 69(4): 4285-4295.
- [38] 姜岩, 龚建伟, 熊光明, 等. 基于运动微分约束的无人车辆纵横向协同规划算法的研究[J]. 自动化学报, 2013, 39(12): 2012-2020.
- JIANG Y, GONG J W, XIONG G M, et al. Research on Differential Constraints-Based Planning Algorithm for Autonomous-Driving Vehicles[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(12): 2012-2020.
- [39] FUNKE J, GERDES J C. Simple Clothoid Lane Change Trajectories for Automated Vehicles Incorporating Friction Constraints[J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 2016, 138(2): 21-29.
- [40] 肖浩. 基于危险斥力场的汽车主动避撞局部路径规划研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- XIAO H. Study on Local Path Planning for Autonomous Vehicle Collision Avoidance Based on Dangerous Repellent Fields[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [41] 江庆坤. 智能汽车避障危险评估和轨迹规划研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- JIANG Q K. Study on Obstacle Avoidance Threat Assessment and Trajectory Planning of Intelligent Vehicle [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [42] 陈成, 何玉庆, 卜春光, 等. 基于四阶贝塞尔曲线的无人车可行轨迹规划[J]. 自动化学报, 2015, 41(3): 486-496.
- CHEN C, HE Y Q, PU C G, et al. Feasible Trajectory Generation for Autonomous Vehicles Based on Quartic Bezier Curve[J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(3): 486-496.
- [43] 顾李伟, 孙涛. 不同控制策略的AEB系统在PreScan中仿真对比分析[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(10): 76-79.
- GU L W, SUN T. Simulation Comparison of AEB System with Different Control Strategies in PreScan[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2018, 56(10): 76-79.
- [44] 何柳青, 杨春林, 潘勇军. 基于模糊PID算法的整车避撞控制多工况仿真[J]. 动力学与控制学报, 2021, 19(3): 38-45.
- HE L Q, YANG C L, PAN Y J. Multi-Condition Simulation of Vehicle Collision Avoidance Control via Fuzzy PID Algorithm[J]. Journal of Dynamics and Control, 2021, 19(3): 38-45.
- [45] 田彦涛, 王晓玉, 胡蕾蕾, 等. 电动汽车侧向换道行驶主动避撞控制算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2016, 46(5): 1587-1594.
- TIAN Y T, WANG X Y, HU L L, et al. Active Collision Avoidance Algorithm in Electric Vehicle Lateral Lane Change[J]. Journal of Jilin University (Engineering Edition), 2016, 46(5): 1587-1594.
- [46] FALCONE P, TSENG H E, BORRELLI F, et al. MPC-Based Yaw and Lateral Stabilisation via Active Front Steering and Braking[J]. Vehicle System Dynamics, 2008, 46(s1): 611-628.
- [47] 王御. 基于约束优化的汽车集成控制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- WANG Y. Studies on Integrated Vehicle Controls Based on Constrained Optimization[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [48] TIAN Y, LIAN Y F, ZHANG T T, et al. A Lateral Active Collision Avoidance System Based on Fuzzy-PID and Sliding Mode Control for Electric Vehicles[C]// 2020 IEEE 9th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS). Liuzhou, China: IEEE, 2020.
- [49] CHOI C, KANG Y. Simultaneous Braking and Steering Control Method Based on Nonlinear Model Predictive Control for Emergency Diving Support[J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2017, 15(1): 345-353.
- [50] 电子工程网. 解读电子车身稳定系统: 博世ESP以及其竞争对手[EB/OL]. (2014-02-10)[2022-11-21]. http://www.autoee.com.cn/sf_89A057BE10FC42F8A12DC7340B12117D_238_chenwei.html.
- Electronic Engineering Network. The Explanation of Electronic Stability Control: Bosch ESP and Its Competitive Products[EB/OL]. (2014-02-10)[2022-11-21]. http://www.autoee.com.cn/sf_89A057BE10FC42F8A12DC7340B12117D_238_chenwei.html.

- html.
- [51] 童郜生. 菲格科技 iBooster 首搭坦克 600 顺利下线[EB/OL]. (2021-08-16)[2022-11-21]. <https://auto.gasgoo.com/news/202108/16170268231C103.shtml>.
- TONG G S. The iBooster of Feige Technology is Firstly Used on Tank 600 Successfully[EB/OL]. (2021-08-16)[2022-11-21]. <https://auto.gasgoo.com/news/202108/16170268231C103.shtml>.
- [52] 刘丽婷. 海拉与吉利合作开发纯电动线控转向系统[EB/OL]. (2022-09-26)[2022-11-21]. <https://i.gasgoo.com/news/70315391.html>.
- LIU L T. Haila Cooperates with Geely to Develop a Pure Electric Steering by Wire System[EB/OL]. (2022-09-26)[2022-11-21]. <https://i.gasgoo.com/news/70315391.html>.
- [53] ABOU-JAOUDE R. ACC Radar Sensor Technology, Test Requirements, and Test Solutions[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2003, 4(3): 115-122.
- [54] 洪凌. 沃尔沃汽车公司发展战略研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- HONG L. Research on Development Strategy of Volvo Car Corporation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [55] 汽车技术研究. 车道保持辅助 LKA 的加强版? WEY VV6 2020 款 紧急车道保持 ELK 解析[EB/OL]. (2020-02-15)[2022-11-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1658617680624435148&wfr=spider&for=pc>.
- Automotive Technology Research. Enhanced Version of LKA? The Explanation of Emergency Lane Keeping Assistance on WEY VV6 2020[EB/OL]. (2020-02-15)[2022-11-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1658617680624435148&wfr=spider&for=pc>.
- (责任编辑 斛 畔)
- 修改稿收到日期为 2022 年 11 月 21 日。

《汽车文摘》征文

《汽车文摘》(月刊)于 1963 年 7 月 3 日创刊,由中国第一汽车集团有限公司主办、国有资产监督管理委员会主管,为中国汽车工程学会会刊。《汽车文摘》以“览全球汽车技术文献,指中国汽车技术之道”为使命,以打造“中国汽车前沿与创新技术传播与交流的重要平台”为愿景,致力于成为汽车领域最具影响力的综述类期刊。

2022 年 11 月,《汽车文摘》复合影响因子达 1.066,首个影响因子突破“1”,这反映出《汽车文摘》自 2019 启动转型升级以来,期刊学术影响力稳步提升。

《汽车文摘》坚信“他山之石,可以攻玉”,深耕电动化、智能化、网联化、共享化和智能制造 5 大方向和 10 大领域,聚焦新能源与混合动力汽车、智能网联汽车、燃料电池、低碳与氨等零碳燃料、汽车安全、健康与舒适、碳达峰与碳中和、生命周期评价(LCA)与技术经济分析、智能制造、材料轻量化与一体化压铸、飞行汽车前沿与创新技术综述论文,揭示相关领域的新动态、新趋势、新技术和新进展,为广大科研和工程技术人员进一步发展这一领域提供新突破口、新出发点和新基准。

欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员,充分发挥专业领域优势,深度挖掘国内外高影响力学术期刊与其它文献,形成某个技术领域的前沿综述。

《汽车文摘》2023 年选题范围:

电动化:混合动力关键技术;动力电池关键技术;先进充电技术;电驱动系统及电力电子技术;底盘及子系统线控关键技术;燃料电池动力系统设计与优化

智能化:新型电子电气架构;自动驾驶感知、决策与运动控制;智能新能源汽车测试评价方法与工具链;车辆智能安全技术

网联化:智能网联云控技术;车用通信及网络技术;车路协同技术;汽车人因、人机交互与智慧座舱;信息安全与功能安全;车网融合(V2G)及应用

低碳化:汽车节能与排放技术;清洁能源动力系统技术;碳达峰、碳中和;氢燃料制储运加及安全管控技术;生命周期评价(LCA)、标准法规与技术经济分析;低碳与氨等零碳燃料

轻量化:新能源汽车新材料技术;混合材料轻量化设计;一体化压铸

共享化:区块链技术与移动出行;车辆大数据挖掘方法与应用案例

燃料电池:电池堆、电池系统与基础设施

智能制造:机器人与自动化控制、四大工艺、物流技术、设计-制造-服务

颠覆式出行:飞行汽车;未来低空智能交通体系及其关键技术

汽车安全:主被动安全与融合、智能安全、健康与舒适

《汽车文摘》发表论文的独特优势:

《汽车文摘》是国家级刊物、中国汽车工程学会的会刊、汽车领域唯一的综述期刊。《汽车文摘》不收版面费、4 个月左右可发稿。

投稿要求:

1. 综述篇幅在 10 000 ~ 15 000 字(6~10 页),图文并茂,图、表和公式非原创要求引用;

2. 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数在 200±10 字;

3. 文章必须附有公开发表的、体现本领域最新研究成果的、高影响力出版物作为参考文献,一般要求参考文献在 20 篇以上,一半左右为外文参考文献,且在文中标注文献引用出处;

4. 来稿保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;

5. 切勿一稿多投。

《汽车文摘》投稿网址:<http://www.qcwz.cbpt.cnki.net>

邮箱:autodigest@faw.com.cn

《汽车文摘》编辑部