



自动驾驶汽车安全技术专利分析综述

张玉新^{1*†}, 何文钦^{2†}, 陈虹^{1,3}, 安鹏⁴

1. 吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室, 长春 130025

2. 北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081

3. 同济大学新能源汽车工程中心, 上海 201804

4. 驭势科技(北京)有限公司, 北京 100086

* 通信作者. E-mail: yuxinzhang@jlu.edu.cn

† 同等贡献

收稿日期: 2020-01-05; 修回日期: 2020-03-07; 接受日期: 2020-04-27; 网络出版日期: 2020-10-20

国家重点研发计划(批准号: 2018YFB0105100)和国家自然科学基金青年科学基金项目(批准号: 51705186)资助

摘要 专利分析是竞争情报分析的重要形式之一,是指跟踪、研究、分析某一技术领域及竞争对手的专利发明,形成总揽全局及预测功能的竞争情报,从而为国家和企业的产业发展,技术布局及服务开发中的决策提供参考. 本文从专利检索和分析角度,对自动驾驶汽车安全相关的专利技术进行调研和研究. 首先通过专利检索,利用专利申请国别、申请人、专利分类号等信息,梳理自动驾驶汽车安全领域发展的脉络走向. 其次,结合专利具体技术内涵,从自动驾驶汽车的被动安全、功能安全、预期功能安全、行为安全和信息安全等5个方面,阐述自动驾驶汽车安全领域的技术现状、专利布局策略和发展趋势. 本文从专利视角绘制了自动驾驶安全关键技术研发路线,对自动驾驶汽车安全技术开发和布局有一定的借鉴意义.

关键词 自动驾驶汽车, 安全技术, 安全体系, 专利分析, 技术布局

1 引言

1.1 研究意义

安全舒适和节能环保是汽车行业的永恒主题. 随着信息和通信技术 (ICT) 的不断发展,以智能、网联、电动、共享为趋势的汽车新四化,逐渐受到学术界、传统汽车厂商,以及新兴科技公司的推崇. 但是,在电子/电气 (electric/electronic, E/E) 系统以及车辆行驶工况日渐复杂的今天,安全问题已成为自动驾驶汽车市场化过程不可忽视的关键障碍^[1]. 自2016年以来发生特斯拉 (Tesla) 辅助驾驶系统 Autopilot 的多起事故、Uber 自动驾驶汽车与行人发生碰撞致使行人伤亡事故等,使自动驾驶汽车

引用格式: 张玉新, 何文钦, 陈虹, 等. 自动驾驶汽车安全技术专利分析综述. 中国科学: 信息科学, 2020, 50: 1732–1755, doi: 10.1360/SSI-2020-0004
Zhang Y X, He W Q, Chen H, et al. Patent analysis review of automated driving vehicle safety technology (in Chinese). Sci Sin Inform, 2020, 50: 1732–1755, doi: 10.1360/SSI-2020-0004

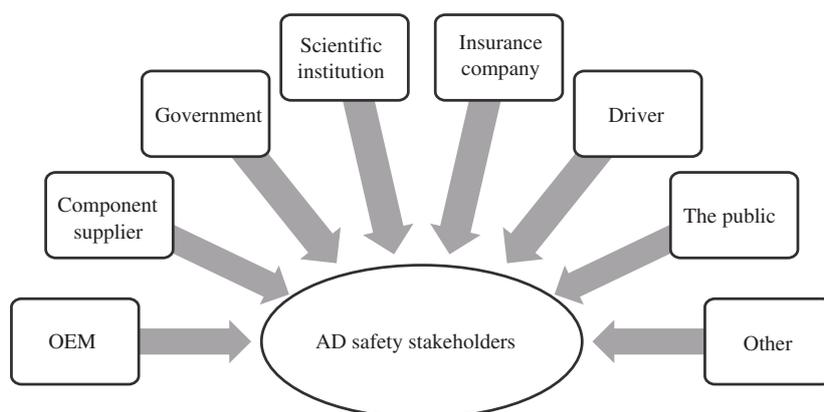


图1 自动驾驶汽车安全的利益相关方

Figure 1 Stakeholders of automated driving vehicle safety

的安全问题不仅受到社会舆论的关注,还面临政府及媒体的质疑.如图1所示,自动驾驶安全问题受到多个利益相关方的密切关注.

近年来,学术界和产业界投入巨大的人力物力资源研发自动驾驶汽车,其初衷之一就是降低交通事故率.据美国高速公路安全管理局(NHTSA)统计^[2],94%左右的交通事故是由驾驶员引起的,具体原因包括酒后驾驶、疲劳驾驶、分心驾驶、不良的驾驶习惯等.为了在驾驶任务中尽量减少人这一不稳定因素,减少或避免由驾驶员的不良操作引起的交通事故,科技界给出的答案便是自动驾驶.除了减少交通事故损失外,自动驾驶汽车还将带来许多方面的益处,如缓解拥堵、降低燃油消耗、减少乘客的出行成本等^[3,4].

传统汽车安全在汽车业界和学术界研究已久,已经形成了从安全系统的开发设计到测试验证的较为完善的研发流程,赋予了传统汽车多重安全保障体系.但自动驾驶汽车安全系统不同于传统汽车,由于其系统复杂性,技术多元交叉性及涉及实体的多样性,目前仍然没有形成成熟的、系统的安全开发指南和最佳实践.本文尝试通过专利检索与分析的方法,阐述目前自动驾驶汽车安全技术的研发现状及发展趋势,通过对面向自动驾驶汽车的新型安全技术进行分析和挖掘,为自动驾驶汽车的安全开发和市场化提供一定的理论和实践基础.

1.2 自动驾驶技术为交通安全带来机遇

安全性、舒适性、燃油经济性、环境友好性是传统汽车领域开展研究的永恒主题.其中,汽车安全性是与每个乘员切身利益最相关的问题.由于自动驾驶汽车自身具有更强大的环境感知(包括超视距的感知,如车联网系统(V2X))^[5]、数据处理^[6]、快速响应的能力,能够在一定程度上弥补驾驶员操作的先天不足.事实上,通过高级驾驶辅助系统(advanced driving assistance system, ADAS)功能(如:制动防抱死系统(ABS)、电子稳定系统(ESP)、自动紧急制动系统(AEB),车道保持辅助系统(LKA)等)提高交通安全的方法已经在汽车行业中应用多年^[7].统计表明,这些系统有效地提升了车辆安全性,降低了交通事故率^[8].随着自动驾驶等级的提高,驾驶任务逐渐从驾驶员转移到自动驾驶系统,可以预见,交通安全问题将得到进一步的缓解^[9].以下将从交通三要素“人-车-环境”出发,结合传统汽车的安全方法,阐述自动驾驶汽车提升交通安全的策略.

20世纪70年代,Haddon从人-车-环境的系统角度提出了一种理论,将碰撞事故分为碰撞前-碰撞中-碰撞后3个阶段,并将人-车-环境3方面因素与碰撞发生过程各个阶段的人车交互进

表 1 Haddon 矩阵
Table 1 Hadden matrix

Phase	Human factors	Vehicles factors	Environmental factors
Pre-crash	Information	Road worthiness	Road design and road layout
	Attitudes	Lighting	Speed limits
	Impairment	Braking	Pedestrian facilities
	Police enforcement	Speed management	Other safety devices
Crash	Use of restraints	Occupant restraints	Crash-protective roadside objects
	Impairments	Other safety devices	
		Crash-protective design	
Post-crash	First-aid skills	Ease of access	Rescue facilities
	Access to medics	Fire risk	Congestion

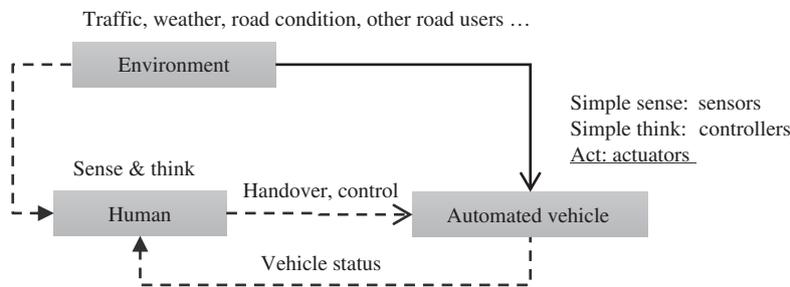


图 2 传统汽车的人 - 车 - 环境交互示意图

Figure 2 Human-vehicle-environment interaction diagram for traditional vehicles

行排列组合, 形成著名的 Haddon 矩阵 (Haddon matrix)^[10]. 如表 1 所示, 其中每个格子中即为各个阶段中能够减轻事故损失的措施. 这成为驾驶员行为、车辆性能、驾驶环境等后续车辆安全领域研究的基础.

随着自动驾驶技术的发展, 产生交通事故的原因发生了较大的变化. 如图 2 所示, 对于传统汽车, 驾驶员基于复杂环境信息及车辆行驶状态做出驾驶决策, 并最终通过操纵车辆底盘提供的执行器 (转向、制动、驱动等) 实现驾驶操作. 因此如果车辆面临碰撞的危险, 驾驶员需要根据当前的驾驶场景, 结合自身经验快速判断决策, 并采取应急措施 (制动、转向等). 虽然低等级的自动驾驶车辆 (L1, L2 级别) 本身具有简单的环境感知和决策的能力, 但其最主要的功能仍然是最终的动作执行, 判断与决策任务仍主要依赖于驾驶员. 一旦发生事故, 驾驶员是事故的主要责任人. 而驾驶员往往是驾驶过程中不稳定的因素, 虽然驾驶员大多是持证上岗, 也可能出现驾驶经验不足、驾驶习惯不良、驾驶疲劳甚至酒驾的情况, 这些都是导致交通事故频发的原因.

自动驾驶汽车 (此处指 L3 及以上等级自动驾驶) 的情况有所不同. 如图 3 所示, 自动驾驶汽车去除了人这一不稳定要素, 在预设的运行设计域 (operation design domain, ODD) 内, 车辆依靠自身的传感器感知所有环境信息 (包括交通信息、环境条件、其他道路使用者、道路条件等), 并做出驾驶决策 (包括紧急情况的处理), 最后控制执行器完成驾驶任务^[11]. 同时, 通过人机交互、V2X 等技术, 自动驾驶汽车将自身的某些行驶状态共享给环境中的其他交通参与者. 如果在 ODD 内发生了事故, 主要责任人是自动驾驶汽车. 因此, 自动驾驶汽车产商为保障乘客的安全, 避免事故追责, 在自动驾驶汽车面

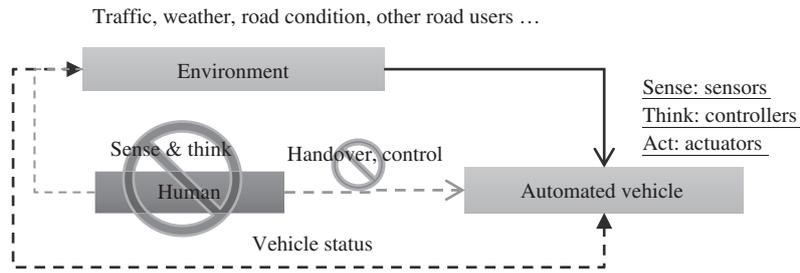


图 3 自动驾驶汽车的人 - 车 - 环境交互示意图

Figure 3 Automated driving vehicle human-vehicle-environment interaction diagram

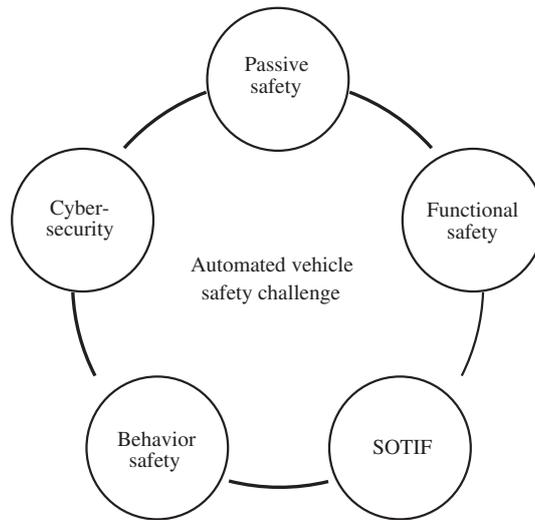


图 4 自动驾驶汽车面临的安全挑战

Figure 4 Safety challenges faced by automated driving vehicle

世前必将进行全方位测试和验证, 以保障自动驾驶汽车的安全性.

由此可见, 基于车辆本身强大的感知能力及基础设施的支持, 理想情况下人类驾驶员造成的交通事故将可能消失, 使得 Haddon 矩阵内容将发生转变. 然而, 受限于目前的自动驾驶技术和交通设施条件, 短期内还无法实现 vision zero^[12] 的愿景. 在降低了人类驾驶员造成的交通事故的同时, 自动驾驶汽车也面临诸多方面的安全挑战.

1.3 自动驾驶技术为交通安全带来机遇

自动驾驶汽车功能不断增强的同时, 车辆自身系统复杂度也随之提升, 导致系统的可靠性下降. 美国加州车辆管理局 (DMV) 统计的自动驾驶汽车测试报告称, 截止 2019 年 11 月 8 日, 加州共计发生 217 次自动驾驶测试车辆的碰撞事故^[13], 相当一部分事故是由自动驾驶系统的可靠性不足引起. 这说明现阶段公开道路汽车的自动驾驶技术尚未成熟, 不能允许乘客坐在自动驾驶的汽车里安心地睡觉或办公. 通过对传统汽车安全研究的总结, 结合自动驾驶汽车的技术特点, 本文提出了自动驾驶汽车面临的五大安全挑战, 如图 4 所示.

(1) 被动安全 (passive safety) 是指汽车在发生事故以后对车内乘员及车外其他交通参与者的保护^[14]. 尽管自动驾驶汽车的初衷是消除事故, 但实际驾驶过程中可能存在各种偶然性. 即使在未来,

主动安全发展到非常完善的情况下, 被动安全作为乘客生命安全的最后防线, 其重要性仍不可忽视. 传统车辆被动安全技术经过几十年的发展, 目前国际汽车界对于被动安全已经有着非常详细的测试细节的规定^[15,16]. 然而, 在未来驾驶场景中, 车辆内部座位布置方式将发生诸多变化, 被动安全技术对乘员保护方面将面临新的问题^[17].

乘员从驾驶任务中解放, 汽车更多会成为乘客的生活空间, 乘员将会在车内休息、看书、讨论或者从事其他的活动, 因此对更自由的座舱空间布局, 更灵活舒适的座椅会有更多的需求. 车内环境的形态将更为多样, 车内空间布置将更为灵活. 以奔驰 (Benz) 发布的自动驾驶概念车 F015 为例, 驾驶员座椅可以向后旋转, 4 张独立座椅可以调整为 4 位乘客面对面模式. 文献 [11] 也展示了类似的乘坐环境.

然而现有的汽车被动安全设备要求乘客乘坐时, 需面向车辆行进方向并佩戴安全带, 才能提供有效保护. 在未来驾驶场景中, 如果乘客改变乘坐姿态 (侧坐、背向坐) 甚至起身在车内走动, 现有被动安全设备难以保护乘客安全^[18]. 清华大学 Ji 等^[19,20] 的研究表明, 在车辆碰撞工况下, 不同朝向、不同姿态、未约束的乘员之间的接触碰撞将会引起更高的碰撞伤害风险, 碰撞对半躺乘员的脊柱形成轴向冲击. 这种情况下, 传统汽车的安全带和安全气囊不仅无法对非标准坐姿的乘员提供有效保护, 反倒会造成乘员腹部下潜及颈部伤害.

(2) 功能安全 (functional safety) 是指消除由电子电气系统的功能异常引起的危害或不合理的风险^[21]. 近年来, 电子电气系统在汽车领域的广泛运用, 使得电子电气系统的功能安全在汽车安全性中的地位变得举足轻重. 一些涉及安全的关键系统和功能, 例如动力控制系统、主动安全系统等电控系统出现功能失效或异常, 例如制动及转向功能失效, 将可能导致车祸的发生, 甚至造成严重的人身伤害.

随着自动驾驶系统复杂度的增加, 硬件随机故障和系统失效发生的风险将同时增加. 因此, 如何将系统功能失效的风险降低到可接受的范围内, 并且设计良好的安全保障机制, 在系统出现失效时尽可能避免安全事故, 成为越来越多的学术机构和汽车相关厂商重点关注的问题. 目前国际标准 ISO 26262^[21] (对应的国家标准为 GB/T 34590) 为道路车辆功能安全提供了全生命周期的、系统性的功能安全指导, 但该标准在高度复杂的自动驾驶汽车上应用仍然存在很多局限.

(3) 对于自动驾驶汽车, 除了需要避免因电控系统故障而引起的安全风险以外, 还需考虑电控系统在不发生故障的情况下的安全风险. 当其面临复杂交通环境时, 即使系统未发生任何故障和失效, 也有可能由于其性能局限和环境干扰等造成感知、决策或执行过程的不准确^[22]. 预期功能安全 (safety of the intended functionality, SOTIF) 是指不存在上述非故障情况下, 因系统功能不足或可预见的人为误用导致的安全风险^[23], 它是自动驾驶汽车安全领域的概念, 尚没有相应的标准和行业最佳实践.

处于标准草案阶段的 ISO CD 21448^[24] 将适用于 L1~L5 级别的自动驾驶汽车, 涵盖自动驾驶汽车功能和系统的 SOTIF 定义、风险评估、预期功能改进及验证策略制定等内容. 同时, 该标准将考虑机器学习、路径规划、人机交互等对自动驾驶汽车安全性的影响, 并提出更多的先进测试方法. 预期功能安全将是未来高级别自动驾驶安全性研究的重要方向^[25].

(4) 在驾驶员驾驶汽车时, 与周围其他车辆、行人之间会发生行为交互 (例如对向来车的灯光示意、行人过马路时的抬手行为等), 这些行为对本车驾驶员是重要的驾驶决策依据^[25]. 对自动驾驶汽车而言, 车辆需要实时地识别这些交互信息, 并预测周围车辆和行人的行为意图, 这将对感知和决策系统带来非常大的挑战. 自动驾驶汽车在决策过程 (例如选择变道时机), 车辆与其他交通参与者彼此沟通出现了误解, 导致车辆出现不安全行为 (例如错误地提前变道), 也可能造成交通事故. 这是多个交通参与者之间的行为安全 (behavior safety) 问题.

如何为车辆的行为安全定义科学的标准,指示车辆当前驾驶行为是否安全,这是目前汽车行为安全所面临的挑战。Mobileye 提出责任敏感安全 (responsibility sensitivity safety, RSS) 为自动驾驶汽车的规划决策的多种场景进行了形式化建模,为业界研究提供了很好的突破口和切入点,但目前仍然处于概念探索阶段,尚未有相应标准及工业界应用的最佳实践^[26]。

(5) 信息安全 (cybersecurity) 是具有智能和网联属性的自动驾驶汽车区别于传统汽车的特有概念,汽车领域的信息安全是指有效地保护资产,进而免受电子电气部件遭受威胁的状态^[27]。由于自动驾驶汽车在感知-决策-执行的过程涉及多个电子模块,彼此之间需要进行通信。同时为提升环境感知和决策能力,自动驾驶汽车除了依靠自身传感器以外,还会通过 V2X 网络与其他车辆、基础设施或乘客的终端设备等进行信息交互。在这些通讯过程中的每个环节,都可能成为黑客及其他不法分子的攻击目标。

如果车辆的通信设施受到黑客的网络攻击导致车辆无法行驶,甚至使行驶的车辆失控,车内乘员将遭受极大的安全威胁。并且自动驾驶汽车行驶过程中,记录了大量的乘客的出行信息,这些信息涉及用户的个人隐私。如果被不法分子窃取,将导致严重的隐私泄露问题。SAE J3061^[28]及正在制定中的 ISO/SAE CD 21434^[27]为汽车信息安全提供了较为系统性的指导,这也将是自动驾驶汽车安全从业者的一大研究领域。

1.4 本文结构

本文运用专利检索和分析的方法,对自动驾驶汽车涉及的安全相关的专利技术进行调研和研究。第2节通过对自动驾驶汽车的安全相关的专利进行检索,结合专利申请国别、申请人、专利分类号等信息,梳理自动驾驶汽车安全领域发展的脉络走向。第3节结合专利具体内容,从上述的自动驾驶汽车安全5个方面,即被动安全、功能安全、预期功能安全、行为安全和信息安全,阐述自动驾驶汽车安全领域的技术现状、专利布局策略和发展趋势。第4节给出全文总结及展望。

2 全球自动驾驶汽车安全专利申请状况分析

2.1 全球自动驾驶汽车安全专利申请趋势分析

图5展示近30年全球自动驾驶汽车安全技术专利申请趋势。可以看出,全球自动驾驶汽车安全专利申请量保持逐年增长的趋势(由于专利公开的滞后性,2017年数据可能不完整),说明近30年来随着自动驾驶汽车安全问题关注度逐渐提升,对应专利申请量也逐渐攀升。专利申请数量变化趋势有以下阶段性特点。

第1阶段(1990~2004年)。专利申请量变化不大,专利年申请总量不超过150件。从20世纪开始,各大知名汽车企业及科研单位开始探索未来无人驾驶的可能性^[29]。20世纪70年代起,大规模集成电路技术迅速发展,汽车厂商自主开发汽车电控单元(ECU),用于实现机械装置所无法解决的复杂控制功能^[30]。通过对检索的专利进行分析,在此期间汽车电子安全辅助功能逐渐出现,在某些紧急情况下(如紧急制动)辅助驾驶员控制车辆,提升车辆行驶的安全性^[31]。德国博世(Bosch)公司开发了防抱死制动系统(ABS),在紧急制动时,系统不会对制动器施加最大制动力,而是通过控制制动力,使车辆的制动效果达到最佳状态,防止制动器直接将车轮抱死导致车辆失控^[32,33]。

第2阶段(2004~2011年)。2004年专利申请量有小幅跃升,之后每年的专利申请量均保持在150件以上。2004年,美国国防部高级研究计划局(DARPA)资助第一届无人车挑战赛 Grand Challenge,比赛要求完成莫哈韦(Mojave)沙漠150英里赛程。虽然没有参赛队完成赛程,但客观上推进了现代自

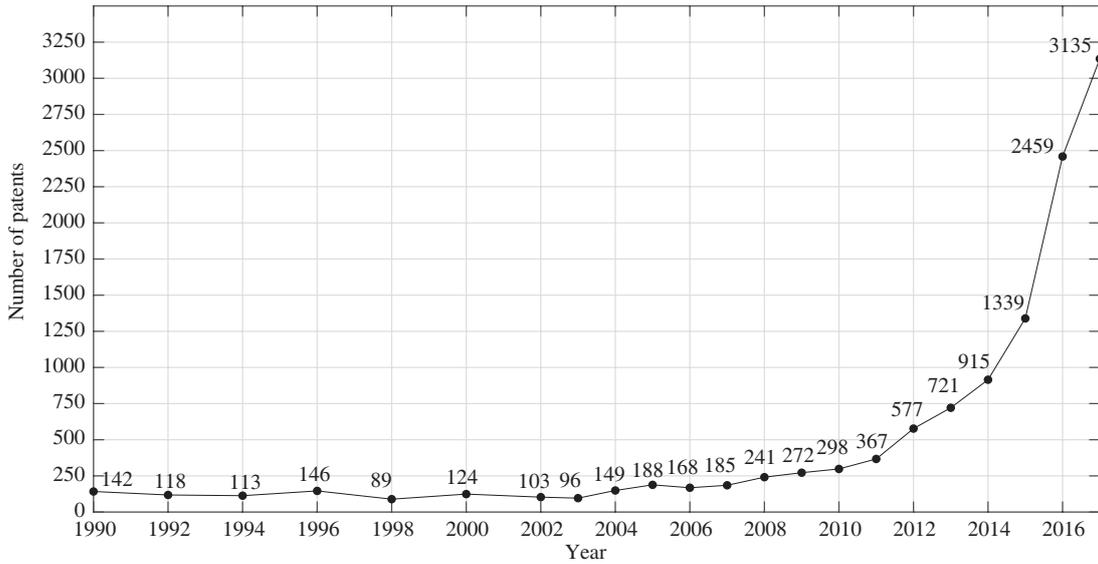


图 5 全球自动驾驶汽车安全专利申请趋势

Figure 5 Global patent application trend of automated driving safety

自动驾驶方案的确立, 标志着自动驾驶从学术研究阶段走向产业开发阶段^[34]. 在此期间, 汽车电子控制策略不断深化, 汽车辅助驾驶的功能越来越多, 并逐步趋向于智能化. 多数的辅助驾驶功能以提升驾驶安全性为主, 如自动紧急制动 (AEB)、车道偏离警示 (LDW)^[35]、前向碰撞预警 (FCW) 等技术, 在减轻驾驶员驾驶负担的同时, 更有效地保障驾驶的安全^[36].

这些驾驶辅助技术集成到车辆上, 构成先进驾驶辅助系统 (ADAS). ADAS 作为自动驾驶技术的基础, 经过近十年的发展, 已经推向商用, 多数汽车企业以 ADAS 作为迈向自动驾驶的第一步. 从安全的角度, ADAS 系统的出现推进了汽车主动安全的落地, 至今仍有较为强烈的市场需求.

第 3 阶段 (2011 年至今). 此阶段专利申请量快速大幅增加, 尤其 2015~2017 年增长迅速, 2017 年专利申请量增加至 3135 件. 该阶段专利申请量大幅增加的原因, 得益于近年来以人工智能及大数据为代表的新一轮产业革命蓬勃兴起. 自动驾驶汽车作为人工智能技术的典型代表, 吸引了 Google、Uber、百度等众多科技企业进入自动驾驶领域. 自动驾驶汽车涉及的感知定位及规划决策等技术, 对于 Velodyne 等传感器产商、Google 等人工智能企业来说, 可以发挥它们的优势, 甚至物流领域的亚马逊、顺丰等公司, 也在自动驾驶领域布局无人物流车. 自动驾驶汽车安全技术将不再由传统汽车企业独占鳌头, 而是呈现科技企业与汽车企业百花齐放的局面. 科技企业凭借其在人工智能算法、深度学习等领域的技术优势, 贡献了大量与汽车决策控制、远程云端控制、车辆网络等相关的专利技术¹⁾.

2.2 主要申请国家和地区的自动驾驶汽车安全专利申请趋势

图 6 所示为自动驾驶汽车安全相关专利的全球地域分布图. 从图中可以看出, 自动驾驶汽车安全技术专利主要集中在中国以及汽车工业较为发达的日韩欧美国家. 以在中国申请的专利数量为最多, 申请量达 7030 余件, 占全球专利总申请量近一半 (42%). 其次, 在美国和日本申请的专利数量也较多, 分别为 2860 余件和 1850 余件, 占比 17% 和 11%. 韩国、德国、欧洲专利局、世界知识产权局等专利申请量均为 800 余件, 占比在 5% 左右. 其余国家或地区的专利申请量占比均少于 3%.

1) 中国自动驾驶安全读本. <http://www.cinn.cn/ad/201909/中国自动驾驶安全读本.pdf>.

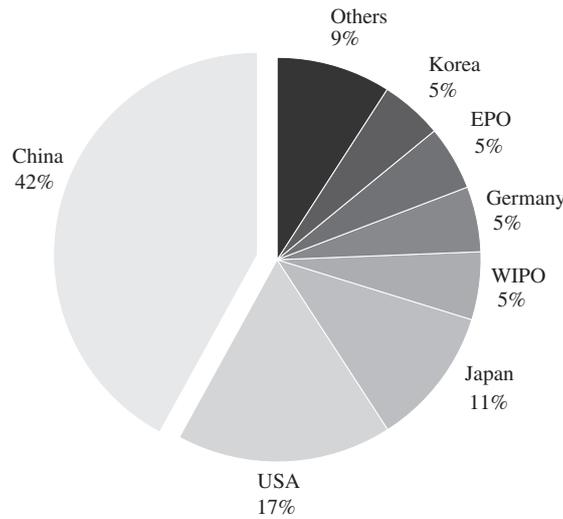


图 6 自动驾驶汽车安全相关专利的全球地域分布图
Figure 6 Global patent distribution of automated driving safety

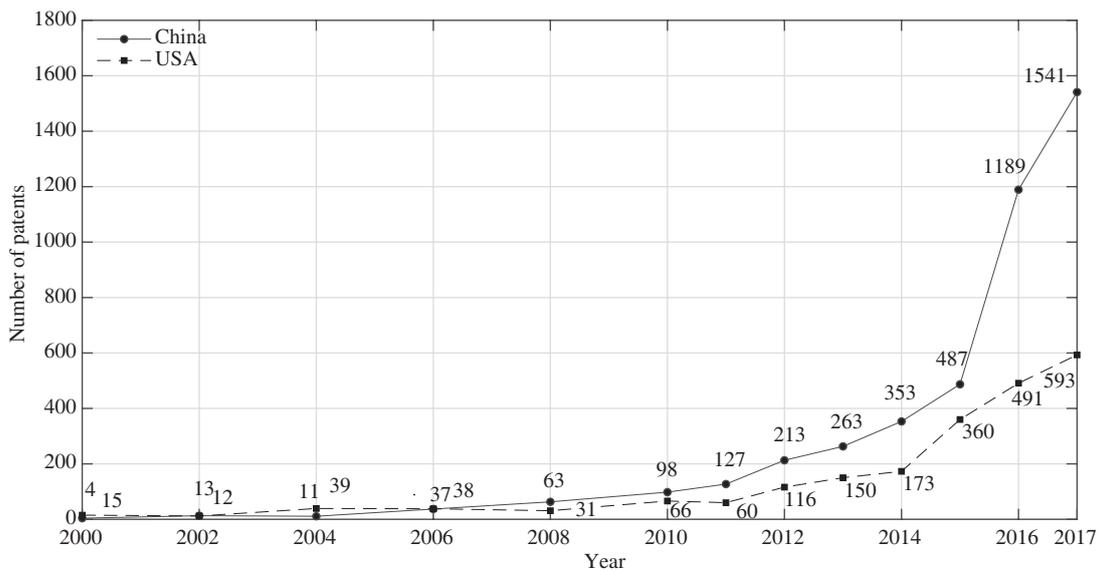


图 7 主要申请国的自动驾驶汽车安全专利申请趋势
Figure 7 Patent application trend of main application countries

如图 7, 以专利申请量最多的中国、美国为例, 分析主要专利申请国的专利申请趋势. 从图中可以看出, 2010 年以前两国关于自动驾驶汽车安全的专利申请量均相对较少, 年申请不超过 100 件, 未呈现数量明显增加的趋势. 由此可以推测, 在 2010 年之前, 自动驾驶汽车行业尚处在萌芽阶段, 自动驾驶安全领域尚未成为相关企业主要的研发方向. 而从 2011 年起, 中美两国的专利申请数量开始出现较为明显的上升, 尤其是中国申请的专利, 以每年 25%~35% 的增速强势增长, 在 2016 年甚至达 144% 的增长率. 图中显示的美国的专利申请量增长速度虽然稍逊中国, 也保持近 20% 的增长速度稳定增长, 2018 年部分专利尚未公开, 出现数据不完整的情况. 其他专利申请国的专利申请量增长速度相对较慢.

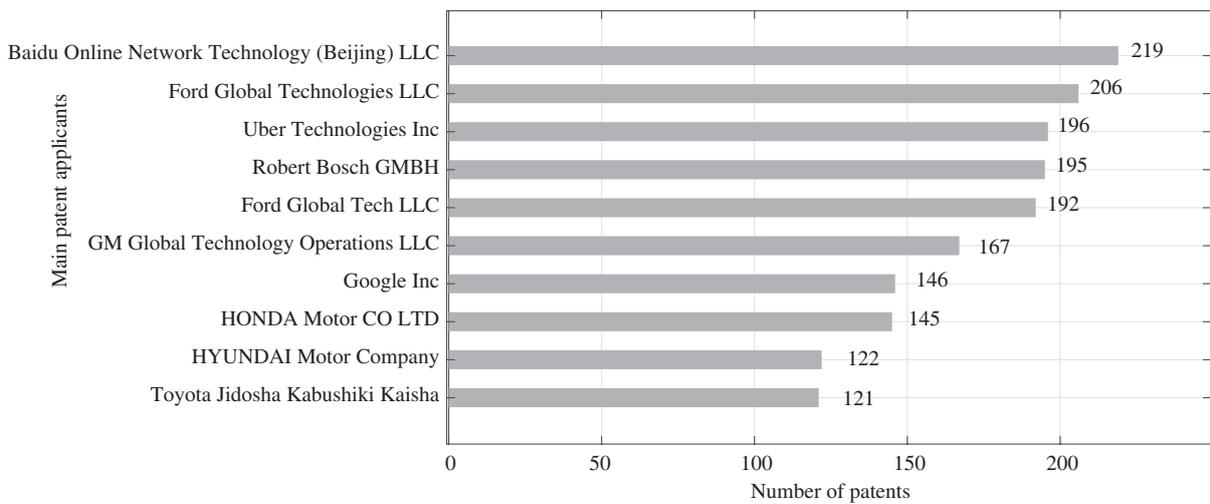


图 8 自动驾驶汽车安全专利的主要申请人

Figure 8 Main patent applicants of automated driving safety

中国自动驾驶汽车安全技术专利出现显著激增, 主要原因是国内外汽车企业非常重视中国未来的自动驾驶汽车消费市场. 中国目前的汽车保有量巨大, 尤其在一线和某些二线城市, 体量巨大的道路车辆容易造成交通事故. 研究表明, 随着自动驾驶汽车逐步商业化, 人们往往不需要购买私家车而使用自动驾驶租车服务, 道路汽车数量将下降 60%, 并且随着智能交通及 V2X 技术的逐步实现, 车流变得更合理, 拥堵减少, 将减少 90% 交通安全事故^[37]. 因此自动驾驶汽车对于中国城市交通痼疾提供了一种有效的解决方案, 可以预测自动驾驶汽车在未来中国, 仍具有巨大的潜在消费市场^[38].

一方面, 巨大的市场潜力吸引外企在中国进行专利布局. 外企近年来多在中国布局同族专利, 保护自己的研究成果防止被竞争对手抢先, 进而占据市场先机^[39]. 另一方面, 国内企业与时俱进, 通过与国内科研单位合作进行自动驾驶汽车技术研发, 提出多项专利技术. 中国政府也加大对自动驾驶汽车行业的重视, 出台《智能网联汽车道路测试管理规范(试行)》等相关法规, 为规范自动驾驶汽车道路测试提供相应的标准和框架, 以保证测试车辆的安全^[40].

日韩、欧美等汽车工业强国, 虽然近年来在自动驾驶汽车安全专利申请量少于中国, 但作为自动驾驶行业的领军者, 它们一直拥有较强的技术储备. 以美国为例, 在美国申请的自动驾驶汽车安全相关专利, 不仅有美国本土的企业, 还有不少日本、韩国、欧洲的企业, 它们在美国的专利申请量仅次于本国. 因此美国集中了世界各大企业的技术专利, 专利的技术水平也比较高.

与中国情况类似, 自动驾驶汽车在美国的市场也较有潜力. 一方面美国的道路交通安全形势也较为严峻, 美国公路上每年约发生 600 万起交通事故, 带来直接经济损失达 2300 亿美元, 而 94% 事故是人为操作失误引起^[41]. 如果自动驾驶汽车可以很好地在美国落地, 对改善美国交通安全问题大有裨益. 另一方面, 美国作为自动驾驶行业的领跑者, 目前已经建立了较为完善的自动驾驶汽车测试与评价规范. 美国交通部出台的《联邦自动驾驶汽车政策》, 确立了 15 条自动驾驶汽车安全评估标准, 并明确了监管部门的职责及监管措施^[42].

2.3 主要专利申请人的申请趋势分析

如图 8 所示为自动驾驶汽车安全专利的主要申请人. 在专利申请最多的 10 位专利申请人中, 有 4 家美企 (Ford, GM, Uber, Google), 两家日企 (Toyota, Honda), 一家德企 (Bosch), 一家韩企 (Hyundai),

表2 主要申请人的专利申请情况

Table 2 Patent application status of main applicants

Enterprise	First public year	Number of application	Number of countries with patent	Domestic patent (%)
GM	2008	290+	3	44.30
Ford	2011	490+	8	27.50
Toyota	1985	410+	12	35.30
Bosch	2006	290+	12	27.70
Chinese OEMs	2012	260+	2	97.70
Google	2010	270+	9	62.50
Baidu	2016	340+	5	80.10

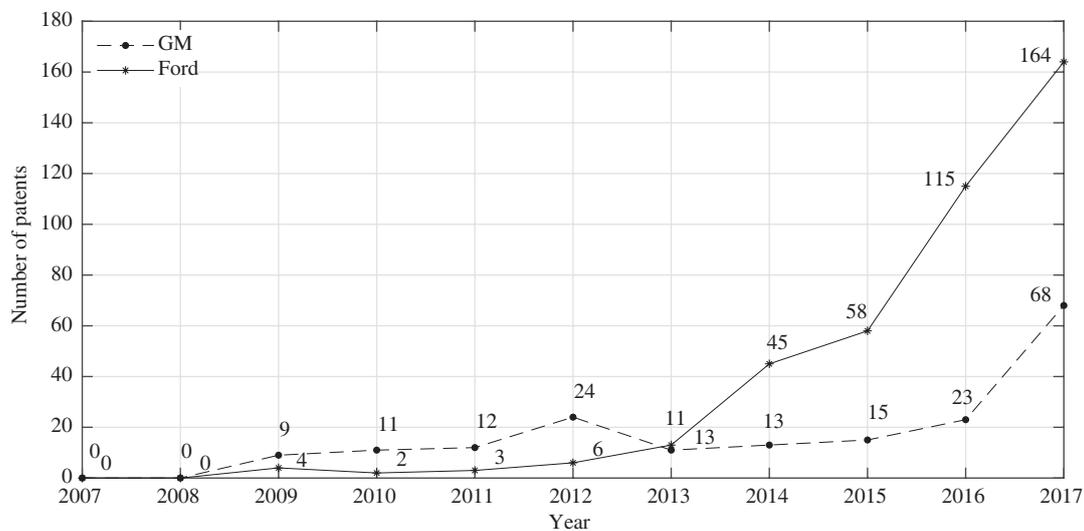


图9 通用和福特专利申请趋势

Figure 9 Patent application trend of GM and Ford

以及一家中国企业(百度). 这10位专利申请人中, 汽车企业有5家, 零部件厂商1家, 科技企业3家, 说明目前专利申请量较多的企业仍然主要是美、日、德等汽车工业强国的汽车企业.

多数整车企业成立时间较早, 在整车技术方面已经积累了非常丰富的经验, 有足够的资金、人才和技术积淀. 它们较早开始探索自动驾驶, 普遍采取的研发路线是从辅助驾驶技术开始, 不断提升车辆的智能化水平和安全性. 与辅助驾驶技术相关的专利也主要集中在汽车企业. 同时, 汽车企业有较强的专利意识, 它们在申请核心专利的同时, 从核心专利的关键点出发, 申请多项外围专利, 形成较为系统的专利布局网络. 同时, 汽车企业在多个国家申请同族专利, 抢先占领自动驾驶领域的国际市场^[43].

美国通用(GM)和福特(Ford)这两大汽车企业, 过去10年来一直从事自动驾驶汽车安全相关的技术研发. 从表2可知, 通用在2008年公开了第1项自动驾驶汽车安全专利, 先于福特3年^[44, 45]. 从图9可以看出, 在2012~2016年, 两家公司专利申请量保持稳定, 从2016年起专利申请量开始迅速增长, 福特的增幅高于通用. 专利总量上, 福特申请的专利数量(490余件)多与通用(290余件), 原因是福特的同族专利数量多, 布局较广. 福特在英国申请的专利数量与美国数量相当, 在中国、德国等8个国家或地区有专利布局. 而通用的专利布局较为局限, 仅在美、中、德3国申请专利. 可见福特的全球

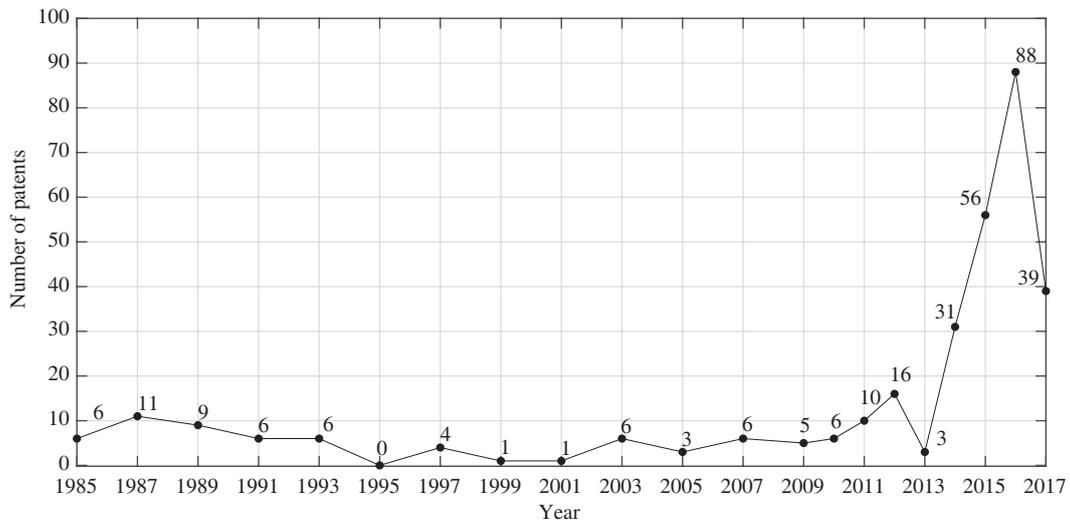


图 10 丰田专利申请趋势
Figure 10 Patent application trend of Toyota

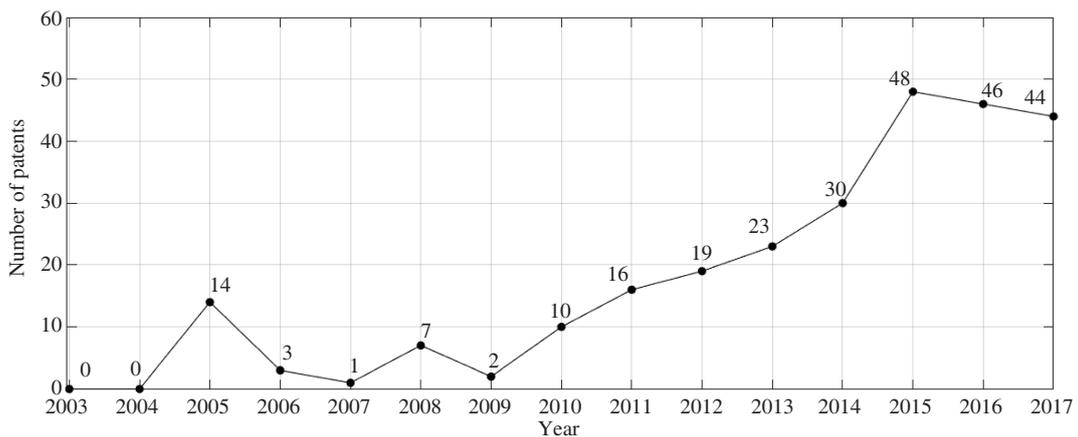


图 11 博世专利申请趋势
Figure 11 Patent application trend of Bosch

专利意识较强.

日企申请的自动驾驶汽车安全专利, 在行业内是最早的. 以丰田 (Toyota) 为例, 如图 10 所示, 丰田最早申请的专利在 1985 年, 并且 1985~1993 年间专利申请量较多, 提出了多种无人车辆的障碍物检测、避障和导引的方法, 所述的无人车辆多为卡车、搬运车, 实现货物的无人装卸^[46~49]. 从 1993~2011 年丰田的专利申请进入低谷期, 年专利申请量不足 10 个, 主要为辅助驾驶安全相关的专利, 在此阶段丰田对乘用车的自动驾驶技术一直较为谨慎. 从 2015 年起, 丰田正式进军自动驾驶领域, 丰田专利申请量再次迎来新的高峰, 同时宣布将在美国硅谷建设关于人工智能的研发中心.

德国的博世公司作为一家世界知名的汽车零部件产商, 在自动驾驶技术方面的研发是业内的潮流引领者之一. 20 世纪 70 至 80 年代, 博世开发的防抱死制动系统 (ABS)、电子稳定程序 (ESP) 等多种安全辅助驾驶技术, 现已成为车辆的标配. 如图 11 所示, 博世最早申请的自动驾驶汽车安全相关的专利在

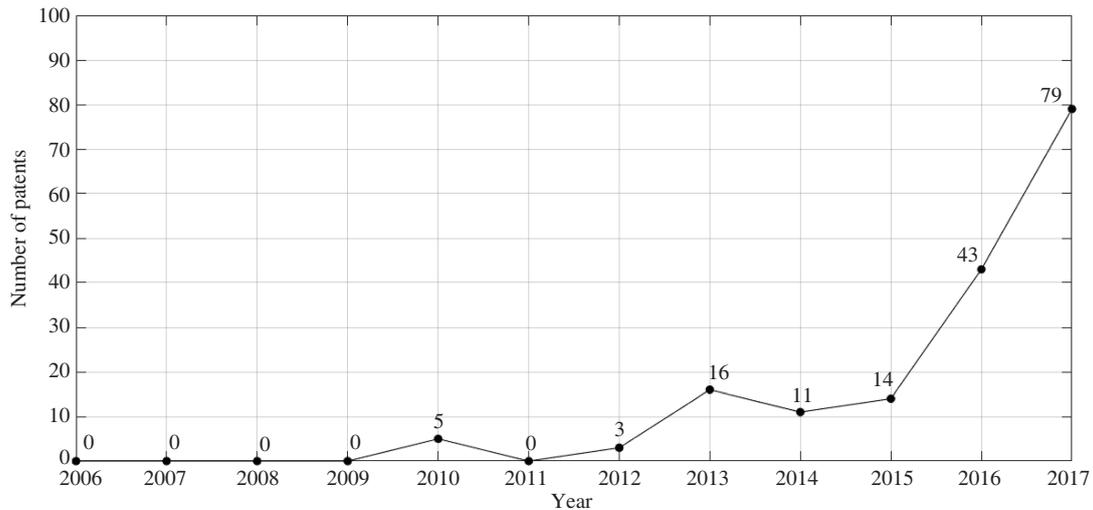


图 12 我国自主品牌专利申请趋势

Figure 12 Patent application trend of Chinese OEMs

2005 年^[50]. 从 2010 年起, 博世的专利数量逐年保持缓慢增长, 可见博世采取的是稳扎稳打的研发战略, 以辅助驾驶为立足点, 逐步提升车辆的智能化程度. 从表 2 可以看出, 博世公司的全球专利布局广泛, 在欧洲专利局、世界知识产权局、美国、中国等 12 个国家或地区有专利布局.

与国外知名汽车企业相比, 中国自主品牌汽车企业²⁾ 申请的自动驾驶安全技术专利数量较少. 如图 12 所示, 自主品牌车企的专利申请量总和约 306 件, 相当于通用汽车一家公司的专利申请量. 国内车企在自动驾驶汽车领域起步较晚, 比较典型的专利是吉利汽车于 2012 年申请的安全辅助驾驶系统^[51]. 从 2016 年开始, 自动驾驶技术开始蓬勃兴起时, 专利申请量才开始有所增长, 并且技术难度及核心度与外企有较大的差距. 国内车企中, 吉利的专利申请量最多. 吉利在国内汽车企业中, 在自动驾驶领域技术研发做得相对较好, 而且收购了自动驾驶安全技术优势企业沃尔沃 (Volvo). 专利地域分布方面, 目前国内车企尚未启动全球专利战略, 仅有 5 项专利在世界知识产权组织申请, 其余均在中国申请.

自动驾驶研发的科技企业中, 美国 Google 公司和中国的百度公司是典型的代表. Google 于 2009 年已秘密启动无人驾驶汽车项目, 凭借自身在人工智能、大数据等前沿科技领域的优势, 经过几年潜心耕耘, 在自动驾驶领域已有较强的技术储备. Google 于 2016 年将自动驾驶部门独立出来, 设立 Waymo 公司, 专注于自动驾驶汽车的研究和市场化. 百度作为我国的自动驾驶汽车研发的先锋队, 于 2013 年宣布启动无人车项目. 2014 年与宝马 (BMW) 合作进行技术研发, 2015 年百度首次完成城市、环路及高速道路混合路况的全自动驾驶路测^[52].

如图 13 所示. Google 最早公开的自动驾驶汽车安全专利在 2011 年^[53]. Google 年专利申请量一直维持在较高的水平, 说明 Google 在研发过程中始终高度重视自动驾驶汽车的安全问题, 目前累计专利申请量达 270 余件 (包含旗下自动驾驶公司 Waymo). 百度在 2016 年才首次公开自动驾驶安全专利, 比行业同时期的其他企业相对较晚, 但 2016 年起正值自动驾驶技术的技术积累和观念更新的红利期, 百度迅速抓住市场机遇和专利空白区, 因此近几年拥有较多的专利申请量. 2016 年至今累计公开

2) 这里提及的中国自主品牌车企包括中国一汽、东风汽车、上海汽车、广州汽车、北京汽车、长安汽车、比亚迪、吉利、奇瑞汽车.

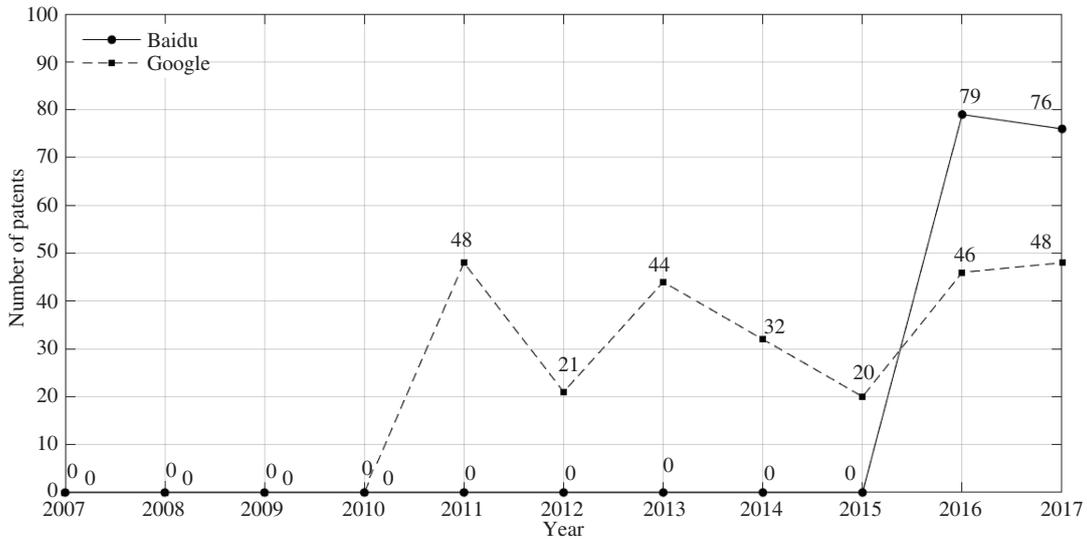


图 13 Google 与百度专利申请趋势
Figure 13 Patent application trend of Google and Baidu

专利数量已达 340 余件, 在数量上超过了 Google.

从表 2 看出, Google 在美国之外 8 个国家或地区有专利布局, 符合美国一直以来的进攻型专利战略. 百度的专利主要集中在中国 (占比 80.1%), 在美国、日本、世界知识产权组织等 5 个国家或地区有少量专利, 在海外专利战略上 Google 更具有优势. 百度在美国的专利申请量也较多, 同时在硅谷建立了无人驾驶研发团队, 推测百度有抢占美国市场的战略.

选取主要专利申请人所申请的专利, 按汽车类企业 (含 OEM 及零部件厂商) 和科技公司 (从事自动驾驶安全技术开发的科技公司) 分类, 进行专利分析. 如图 14 和 15 所示, 汽车企业和科技公司申请的自动驾驶汽车安全技术专利在技术上有各自的倾向性. 汽车类企业的专利侧重于对车辆的控制策略、辅助驾驶、被动安全等方面, 多数为传统汽车电子系统的扩展研究; 而科技公司则更倾向于 AI 技术、激光雷达、物体识别及环境感知等高级别自动驾驶系统的核心技术.

3 自动驾驶汽车安全专利技术分布

前文提到的自动驾驶汽车面临的五大安全挑战, 同时也形成了自动驾驶汽车由内而外的安全体系. 从自动驾驶汽车本车发生碰撞后如何保障乘客安全和行人安全 (被动安全), 到保证本车发生硬件故障和系统失效时仍不会造成人员损伤 (功能安全), 再到确保不会由于本车的性能不足与人为误用造成不可接受的风险 (预期功能安全), 直至本车与其他交通参与者的安全交互 (行为安全), 最后防止超视距的远端网络攻击 (信息安全), 构成了由内而外的自动驾驶汽车整体安全的各个方面. 下面将从被动安全、功能安全、预期功能安全、行为安全和信息安全 5 个方面分析自动驾驶汽车安全专利技术的现状及发展趋势.

3.1 被动安全

被动安全在传统汽车上的应用, 其技术和标准已较为成熟, 在自动驾驶汽车上可实现部分技术迁移. 同时, 自动驾驶汽车自身有较强的感知和控制能力, 在危险来临之前做出预判, 并且自适应调节被

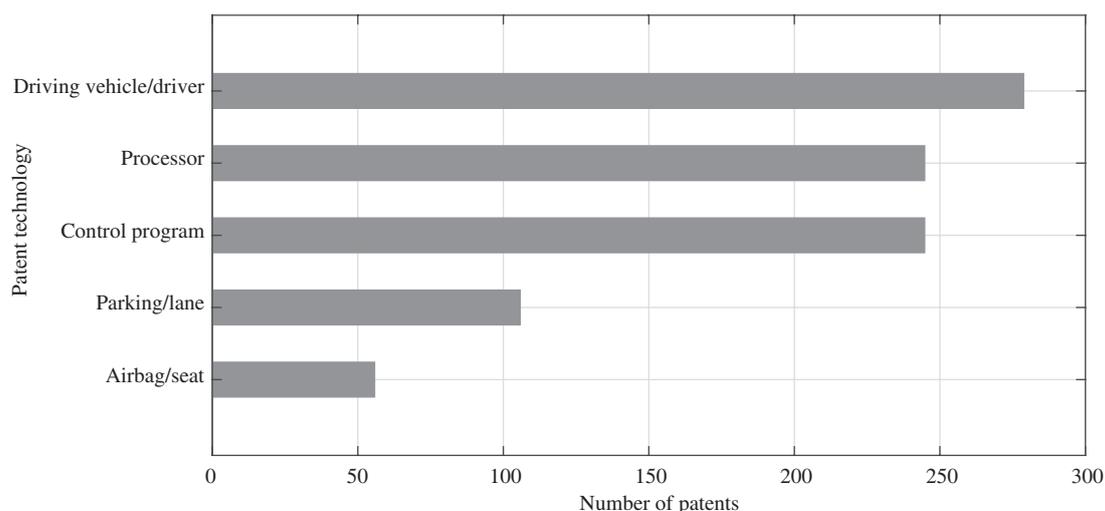


图 14 汽车企业自动驾驶安全相关专利技术主题分析

Figure 14 Automated driving safety patent technology analysis of automotive companies

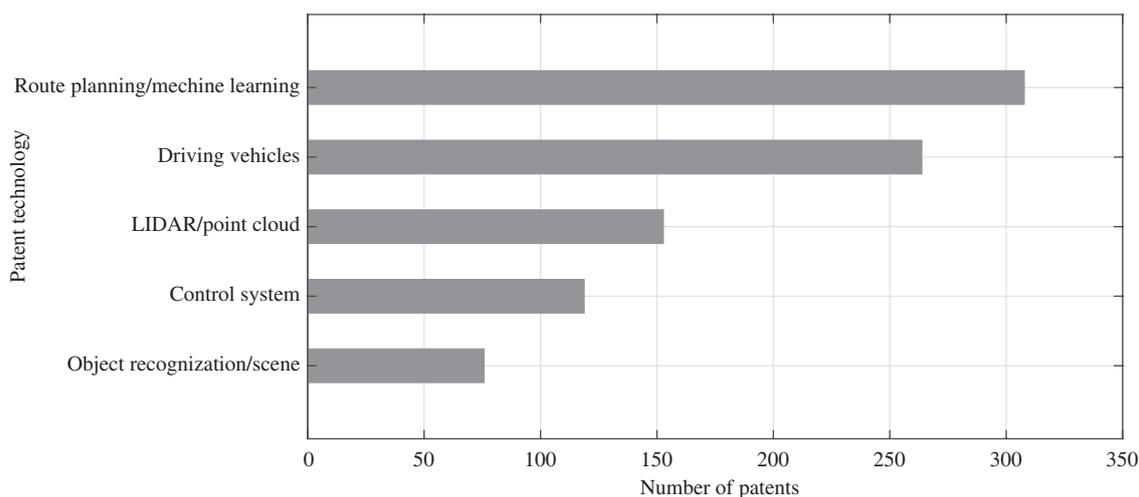


图 15 科技企业自动驾驶安全相关专利技术主题分析

Figure 15 Automated driving safety patent technology analysis of technology companies

动安全设备以更好地保护乘客安全。但自动驾驶汽车的车内场景与传统汽车有所不同, 以下从几个不同的方面进行阐述, 并分析企业针对该问题的相关专利技术方案。

自动驾驶汽车车内的乘坐环境将更自由, 乘客可能旋转座椅与后排乘客聊天或者将座椅放倒休息, 传统的被动安全设备不能很好地保护乘客安全。针对这种情况, 企业提出了一些技术方案。奔驰提出了针对旋转座椅的新型乘员保护方法, 座椅前方的气囊弹出之前, 系统检测座椅当前旋转的角度和位置, 自适应调节气囊弹出的方向与座椅的定位对准, 使安全气囊可以保护侧向坐姿的乘客, 但所述的座椅的旋转角度有限, 无法针对翻转座椅的情况^[54]。针对乘客座椅放倒的情况, 驭势科技提出了一种自动驾驶汽车乘员保护方法, 该方法通过可移动的柔性气囊保护乘客, 当乘客将座椅放倒休息时可将柔性气囊盖在身上或其他保护乘客更有利的位置, 当存在碰撞危险时, 柔性气囊自动充气膨胀, 挡在乘

客面前防止乘客飞出撞击前方物体^[55]。

目前针对 L3 及以上级别自动驾驶汽车, 驾驶员可能需要在手动驾驶模式和自动驾驶模式之间切换, 这代表两种不同的驾驶场景, 乘客坐姿也会有所不同。针对汽车两种驾驶模式之间切换时, 可能导致安全带松紧变化的情况, 本田公司提出了一种自动驾驶汽车的乘员保护装置, 当汽车由自动驾驶模式切换为手动驾驶模式时, 会根据乘客坐姿姿态, 控制安全带自适应预紧, 使安全带可以持续发挥保护乘客的作用^[56]。

目前安全气囊在汽车发生碰撞时才充气展开, 如果气囊展开出现延迟, 此时乘客的身体已经前倾, 弹出的气囊不仅无法承接乘客和驾驶员, 有时甚至还会冲撞乘客头部造成二次受伤。针对这一问题, 百度提出了一种自动驾驶汽车碰撞检测和安全气囊预先展开系统和方法。系统利用了自动驾驶汽车对碰撞的提前感知预警功能, 当系统检测碰撞的概率大于预设阈值, 则控制安全气囊提前数百毫秒展开, 挡在乘客面前, 更好地起到承接乘客头部的作用^[57]。

发生事故时帮助乘客尽快逃生, 也属于被动安全的范畴。Uber 提出了一种帮助乘客离开自动驾驶车辆的系统, 当车辆发生事故时, 乘客会有下意识的逃生行为 (拉动把手、撞门等), 系统能检测所述用户动作并做出反应 (车门自动解锁等), 便于乘客能够安全地离开所述车辆^[58]。

对于行人碰撞, 自动驾驶汽车和传统汽车的情况较为相似, 普通驾驶场景下的行人安全保护方法也可应用于自动驾驶场景。不过可以利用自动驾驶汽车自身的感知功能, 提升保护效果。威克特光电提出了一种行人碰撞安全系统, 自动驾驶汽车发生碰撞时, 汽车会根据行人碰撞的位置, 在挡风玻璃处展开并覆盖柔软织物及一个行人导向气囊, 行人碰撞时会顺着行人导向气囊扑在柔软织物上, 减小行人伤害^[59]。

综上所述, 自动驾驶汽车被动安全与传统汽车的区别, 更多在于车内驾驶场景的不同。自动驾驶安全从业者可更多地关注乘客在自动驾驶汽车内可能不同于传统汽车的行为 (例如休息、看书), 并且结合自动驾驶汽车自身的感知预测优势, 可能有更多专利发掘的空间, 例如针对不同体态的乘客是否可以提供针对性的保护等。另一方面, 从 Haddon 矩阵的角度, 相比事故发生及后处理行为, 自动驾驶汽车应该更多着眼于如何更有效地提醒其他交通参与者注意安全, 存在碰撞危险时及时绕开车辆和行人, 以避免车祸的发生, 这是行为安全需要关注的问题。

3.2 功能安全

自动驾驶汽车系统一旦出现功能失效, 如果没有良好的功能安全保障机制, 车辆可能变成一匹“脱缰野马”。而此时驾驶员往往没有留意当前驾驶情况, 对系统运行失效并不知情, 可能无法及时接管车辆或采取相应措施, 车上的乘客或周围车辆行人的安全会受到威胁。自动驾驶系统设计需要符合汽车行业的功能安全标准 (ISO 26262), 减轻或降低自动驾驶系统失效可能造成的影响, 保障系统稳定工作, 使风险降低到可接受的范围内。自动驾驶汽车功能安全设计思路可分为发现故障、分析故障、处理及避免故障等 3 方面。

自动驾驶系统运行时, 需要实时检验整车当前的运行工况及系统关键功能的运行情况, 检测系统是否出现功能异常、功能失效等问题。当系统检测出现功能失效或异常问题时, 需要进行故障排查和诊断, 确定系统故障发生位置及故障类型。通用公司提出了一种自动驾驶汽车故障诊断系统, 接收一对冗余计算平台的参数数据, 发现两个平台之间的数据冲突并判断是否在规定容差范围内, 通过比较结果确定故障类型^[60]。百度提出了一种自动驾驶汽车故障确定方法, 获取车辆上的至少 3 个控制系统两两之间信号的检测结果, 根据各所述检测结果, 对所述控制系统进行故障识别^[61]。

感知方面, 驭势科技提出了一种自动驾驶汽车传感器自检系统, 能检测汽车各环境感知传感器的

工作状态,采集所有传感器的自检结果进行分类,利用多个不同类别传感器带来的感知冗余对探测结果进行比对,判断自动驾驶车辆传感器是否出现异常^[62]。上海思致提出了一种多冗余机制的车辆自动驾驶系统,该系统布置视觉模块、激光雷达模块等多组传感器单元,各单元通过以太网通信,当某个传感器模块失效时,其他模块可以快速完成功能配置,不影响自动驾驶功能^[63]。

决策控制方面,冗余机制的设计应该包含硬件和算法两个层面。硬件方面,控制器的某个模块一旦发生故障,备用模块能够接管失效模块的工作;软件方面,控制算法及控制命令有冗余设计,保障控制命令能实时有效地发送及传达。英伟达提出了一种控制器容错运行的自驱动系统和方法,控制器体系包括多个处理器,每个处理器监视其他处理器的运行状态。备用处理器平常运行在低优先级的休眠状态,当某个正常运行的高优先级处理器发生故障时,处理器独立执行从传感器数据处理到发送执行器控制指令的冗余算法。该系统在硬件及软件两方面提升系统鲁棒性,符合 ISO26262 ASIL-D 的高安全要求^[64]。

执行方面,对于与安全性直接相关的驾驶功能比如制动、转向等,也需要有冗余设计。大众提出了一种自动驾驶汽车制动系统,包括主制动和副制动系统,分析制动系统传感器信号,当出现制动失效时,副制动系统会接管主制动系统,使车辆安全减速^[65]。长安汽车提出了一种自动驾驶汽车冗余电控转向系统,包括两个电控转向单元,每一转向单元均包括处理器,以及分别与处理器连接的转角转矩传感器和电机,实现了转向系统的全冗余^[66]。

智能网联汽车与周围车辆和交通设施将进行频繁的数据交互,远程通信线路的冗余设计,也是保障系统功能安全的重要方面。百度提出了一种自动驾驶汽车远程控制方法,多个不同无线网络各自通过自己的无线信道发送控制指令,实现了对控制指令的冗余设计,避免了因单一网络不稳定而造成自动驾驶车辆不能及时获得控制指令情况的发生,提高了与自动驾驶车辆通信的稳定性^[67]。

系统功能正常运行,是保障汽车行驶安全的前提。ISO 26262 标准虽然是针对传统汽车,但对于自动驾驶汽车功能安全的开发、测试、验证也有较强的借鉴意义,企业及科研单位提出的技术方案较多,从感知、决策、控制各方面都有涉及,自动驾驶汽车的功能安全性有较为明显的提升。

3.3 预期功能安全

美国加州 DMV 统计的自动驾驶测试车辆故障测试报告指出,自动驾驶模式中,较少因失效系统、硬件或软件的故障导致。但报告也指出,自动驾驶模式失效更多会因为感知、定位、决策等功能的局限,或者由于外部环境突变导致执行系统响应不及时导致。此外,在非故障情况下,可以预见的人为误用也可能造成自动驾驶事故的发生。上述问题是预期功能安全(SOTIF)需要解决的问题。自动驾驶汽车的控制独立于驾驶员,车辆需要在运行设计域(ODD)控制车辆完成所有的驾驶行为,即使系统未发生故障,也可能由于感知、决策、执行过程的不准确而导致事故发生^[68,69]。预期功能安全通过一系列方法,探测和发现系统在感知、决策、执行过程的性能局限,通过功能改进,使自动驾驶汽车在预期使用工况下达到安全水平^[70]。预期功能安全作为自动驾驶的一个新技术领域,目前的标准 ISO/CD 21448 对 SOTIF 实现方法及思路进行了规范,并计划在 2021 年正式发布 ISO 标准。由于相应标准的缺失,企业对预期功能安全也处于探索阶段。

感知方面,用于汽车的各种传感器(如毫米波雷达、摄像头等)有各自的优势和局限,现多采用多传感器信息融合技术,识别周围环境的障碍物信息、道路信息、交通标识信息进行比对和验证,利用多种传感器之间的优势互补,形成对车辆周围环境更全面综合的描述,可有效提升车辆行驶安全性^[71]。通用汽车提出了一种用于自动驾驶汽车的传感器融合系统,该系统利用卷积神经网络(CNN),从多个接口接收传感器检测的交通环境信息,进行道路对象的特征识别^[72]。福特公司提出了一种传感器融合

系统, 系统包括一个或多个传感器、模型部件和推理部件, 模型部件基于传感器数据计算联合概率图模型中的数值, 推理部件基于传感器数据和模型使用散列加权积分和求和 (WISH) 算法来检测和跟踪车辆附近的障碍物 [73].

如同人类驾驶员的驾驶行为习惯, 自动驾驶汽车的决策控制将直接影响底层执行器的执行, 影响车辆行驶的安全性. 而实际环境路况非常复杂, 系统需要在很短的时间内处理海量信息并进行局部路径规划, 如果出现判断不及时或判断失误, 车辆的安全性会受到威胁. 这对自动驾驶汽车的决策合理性提出了较高的要求. 提升决策合理性可从优化决策结果, 验证决策结果的合理性及风险评估等方面进行.

同济大学 Wang 等 [74] 提出了一种自动驾驶车辆速度优化的跟驰算法, 该算法基于深度学习提出了一种汽车跟驰速度控制的模型, 结合碰撞时间、车头时距经验分布等参数构建反映驾驶安全性的实际驾驶数据训练模型, 并将模型模拟的跟驰行为与 NGSIM 经验数据中观察到的行为进行比较, 以最大化累积奖励的方式优化车辆速度控制策略. 福特提出了一种自主车辆决策逻辑优化方法, 通过采集传感器数据及驾驶员驾驶行为生成随机响应表面模型 (SRSM), 将传感器数据 (车辆状态和环境) 与关于安全性的用户反馈相关联, 基于行为的不确定性优化控制器的决策策略 [75].

针对自动驾驶汽车决策合理性验证, 联合电子提出了一种自动驾驶汽车系统, 自动驾驶控制器完成路径规划的任务, 并将所述规划的局部路径发送给车辆运动域控制器, 车辆运动域控制器对规划的路径进行验证, 若规划的路径有问题, 车辆运动域控制器能及时发现 [76]. 英特尔提出一种自动驾驶车辆决策风险评估的装置和方法, 该方法根据采集的车载传感器数据确定车辆行驶的碰撞风险因素, 将风险评估的结果呈现给车辆路径规划系统 [77].

对于 L4 以下级别自动驾驶, 在某些场景下需要驾驶员接管车辆, 而驾驶员往往没有留意当前路况, 此时车辆需要用有效的方式提醒驾驶员接管车辆. 车米图科技提出了一种安全辅助驾驶系统, 该系统通过采集车内车外的实时全景图像, 检测车外环境情况及驾驶员驾驶状态, 根据判断结果发出报警提醒驾驶员 [78]. 在车辆自动驾驶模式下, 需要防止驾驶员误触碰方向盘等驾驶操纵装置, 以免引发不必要的麻烦. 沃尔沃公司提出了一种自动驾驶车辆座椅系统, 乘客和驾驶员的座椅在自动驾驶模式下会自动缩回并锁定, 驾驶员远离方向盘和脚踏板, 防止驾驶员误触碰, 减少不必要的事故 [79].

自动驾驶汽车的预期功能安全涉及的维度非常广, 与自动驾驶汽车相关的任意一个环节 (如感知定位、决策控制、执行、人机交互、信息通信等) 都可能存在功能局限的问题. 预期功能安全开发的难点在于实际驾驶情景千变万化, 开发及测试验证对驾驶情景的考虑很难做到面面俱到, 难免存在一些开发者疏忽的细节, 而每一个细节都可能存在安全隐患. 可以预见, 随着车辆智能化水平提升, 将有更多的安全相关功能及优化的人机交互技术涌现出来, 提升车辆安全性的功能, 而每种功能同样可能存在性能局限的问题, 这些都是自动驾驶从业者可以关注的专利空白区. ISO 21448 正式公布之后, 预期功能安全开发将有更完善的体系, 对于专利点的挖掘将可能迎来新的红利期.

3.4 行为安全

上述的安全方法主要集中在系统设计层面, 车辆是否能安全行驶, 最终将落实到车辆自身的行为上. 行为安全通过设计自动驾驶汽车功能及保障机制, 将车辆的行为限定在一个可称为安全的框架体系内, 保障车辆不出现危险的行驶行为, 减少事故发生的可能性.

碰撞作为最主要的车祸形式, 一直是汽车行驶安全的大敌, 因此一直是企业及研发单位高度关注的重点. 近年来较为热门的主动安全, 借助传感器对行车环境的感知监控, 当意外发生时, 系统提醒驾驶员留意路况, 并采取制动、转向等措施, 达到避撞的目的 [80]. 主动安全属于辅助驾驶的范畴, 对于

L3及以上级别自动驾驶系统,车辆对行驶场景的判断及应急措施,需要靠自身实现。

关于碰撞检测、预警、避让的专利非常多。丰田提出一种驾驶辅助装置,系统检测碰撞发生的可能性高于预期程度时,系统采取避障措施,同时不断发出警报提醒驾驶员注意安全^[81]。博世提出了一种驾驶辅助方法,可能发生碰撞时,驱动器会自动进行必要的转向调整及纵向引导,减轻碰撞发生的可能性^[82]。通用提出了一种自主车辆碰撞缓解和避让的系统和方法,检测邻近车辆的目标区域中的物体,基于物体的相对位置、相对速度和相对加速度来预测与物体的碰撞,当检测到碰撞发生的可能性大于预设阈值时,激活碰撞准备模式^[83]。Daimler提出了一种车辆安全系统及方法,当检测到碰撞发生的危险时,系统连续地评估来自周围传感器系统的与周围环境有关的数据,并且在不可避免碰撞的情况下启动自主紧急制动,保持制动效能直到传感器实际检测到碰撞或冲击为止^[84]。

Mobileye公司提出的责任敏感安全模型(responsibility sensitive safety, RSS),为自动驾驶汽车提供可验证的安全决策。从行车安全的角度, RSS的指导思想包括两个方面,一是量化的形式定义了安全距离,明确了区分汽车行驶安全和危险状态的边界;二是以量化的形式解释了什么是车辆在危险状态的正确反应^[85]。

以RSS为指导思想,企业提出了关于车辆行为安全的判别方法。百度提出了一种无人车变道安全判别方法,根据采集的单帧数据判断要执行变道的目标车道上的每个障碍物相对于主车的距离是否大于安全距离,根据采集到的多帧数据判断目标车道上的障碍物相对于主车的距离是否没有减小。若所述单帧和多帧数据的判别条件成立,则判定车道变化操作是安全的^[86]。沃尔沃提出了一种用于自动驾驶车辆安全转向辅助的方法和系统,系统识别即将到来的弯道,检测弯道的内外边界,确定车辆和外车道边界之间的安全距离并且控制车辆和外车道边界的距离等于或者大于安全距离^[87]。

在未来自动驾驶车辆作为道路的角色之一,需要与道路的其他交通参与者进行频繁的信息交互。自动驾驶汽车需要根据其他车辆的行驶路径、转向灯、鸣笛等行为,判断它们的行为意图;同时需要用有效的方式表达自动驾驶车辆自身的行为意图,让周围车辆和行人可以理解。企业也提出了许多方法,有效地提醒行人注意安全。丰田提出了一种自动驾驶汽车与行人的交互方法,汽车可以通过检测外部环境中的非语言人类手势预测行人的行为,同时用指示牌、投影路标的方式警示行人,告知车辆预期的行驶行为^[88]。

行为安全涉及到自动驾驶车辆、驾驶员及其他交通参与者的事故责任问题,现行法律法规尚未给出明确的指示。RSS目前仍处于探索阶段,对于自动驾驶汽车的行驶状态、行驶行为的安全性还未能有清晰的界定。另外,新的人机交互方式探索也是一个较大的专利发掘领域。因此,尽管关于车辆避撞的专利已有很多,自动驾驶汽车的行为安全仍然有较大的开发空间。

3.5 信息安全

自动驾驶汽车是高度复杂和互联的设备,汽车通过V2X技术与周围车辆及交通设施进行信息交互,这也使得自动驾驶汽车成为黑客攻击的新目标^[89]。近年来出现的智能网联汽车受到黑客入侵和攻击的事件,引起了汽车和互联网行业对网联汽车信息安全问题的更多关注。尽管计算机网络的信息安全已经非常完善,但具体到自动驾驶汽车的信息网络安全还是个新话题。

东风汽车提出了一种车辆网络拓扑结构,多条与车辆的电子控制器直连的总线与安全网关连接,与同一总线直连的电子控制器之间的报文通过直连的总线发送,与不同的总线直连的电子控制器之间的报文通过安全网关转发。即使联网的电子控制器遭黑客攻击导致网关转发报文功能异常,由于操纵驾驶相关电子控制器之间的通讯不需要网关转发,车辆依然可以保证基本的行驶功能^[90]。

美国State Farm Mutual公司提出了一种自主车辆网络风险评估方法,通过采集车辆运行的数据

并进行分析,判断该车辆网络是否受到网络攻击,并确定攻击事件的风险和严重性^[91]。

比亚迪提出了一种汽车通信网络系统。所述系统包括网关、与网关连接的高速 CAN 网络、低速 CAN 网络,以及防盗 CAN 网络,网络之间通过所述网关进行数据交换。通过为汽车防盗系统配置独立的防盗 CAN 网络,有效地提高了防盗网络的可靠性,降低车辆无法启动的风险,增强了汽车通信网络整体的可靠性^[92]。

在专利检索过程中发现关于自动驾驶汽车的信息安全专利非常少,这是个较大的专利红利区。下面对自动驾驶汽车信息安全的专利挖掘提供两个思考方向。第一,梳理和定义自动驾驶汽车信息安全需求,进行风险分析,建立具有可信计算基础的软硬件平台,采用分域、虚拟化等机制隔离关键模块,建立加密保护端到端的数据通路;第二,实践全新的安全涉及方法学,安全始于设计,从确认设计到验证实现都需要考量系统的安全性,包括其是否能抵御攻击、能否在线升级、单点故障是否有足够的冗余、系统沦陷时是否能强有力地终止攻击等^[93]。

4 结语

高级别自动驾驶技术的出现,减少了人这一不稳定因素,为减少交通事故、提升道路安全性提供了一种思路。但目前自动驾驶技术尚未成熟,自动驾驶汽车仍然面临较大的安全挑战。本文通过对自动驾驶汽车安全相关专利进行分析,梳理出自动驾驶汽车安全技术的发展脉络及技术类别,为自动驾驶技术研发提供借鉴。

通过对自动驾驶汽车安全专利进行检索分析,近 30 年来,自动驾驶技术从概念逐步走向现实,尤其近 5 年来,自动驾驶安全技术受到了业界的高度重视,专利数量开始激增。中国作为最大的自动驾驶汽车潜在市场,吸引了国内外汽车企业和科技公司进行大量的专利布局,中国目前占有数量最多的自动驾驶汽车安全相关专利。美国的自动驾驶汽车也有较大的潜在市场,占有的专利数量也较多,欧美、日本等汽车工业强国的专利技术水平普遍较高。

自动驾驶汽车安全专利申请数量最多的企业主要是世界知名汽车企业。纵向对比各企业专利申请量随时间的变化趋势,日本车企早在 20 世纪 80 年代已有专利申请,欧美车企专利申请基本在 2010 年以前,在近 3~5 年内企业的专利申请量呈现迅速增长的趋势。横向对比美国通用和福特公司、日本丰田公司、德国博世公司及中国自主品牌车企,国外车企普遍较早进入自动驾驶领域,具有较强的研发能力及较高的专利全球意识,国内起步较晚,关键技术的专利申请较为落后。对于 Google 与百度两家科技企业,Google 的专利申请较早,专利全球布局意识较强。百度于 2016 年才开始申请该领域的专利,但把握了自动驾驶红利期,年专利申请量逐渐提升。

自动驾驶汽车安全技术开发可从被动安全、功能安全、预期功能安全、行为安全和信息安全 5 个方向入手。被动安全、行为安全及功能安全在传统汽车上已有开发先例,预期功能安全和信息安全则相对较新。被动安全技术已经较为成熟,但针对未来自动驾驶汽车内驾驶场景的不同,传统被动安全技术无法适应更复杂多样的乘客坐姿,需要针对不同乘客坐姿开发相应的被动安全技术。功能安全的开发已经取得了较大的成果,在感知-决策-执行的关键环节,在故障发现、故障分析及诊断、关键节点的冗余设计等方面都有较好的技术方案和实践。目前针对预期功能安全,主要从多传感器融合技术、决策结果进行优化及合理性验证、人机交互优化设计等方面展开了研究,但还具有较大的提升空间。行为安全为车辆的行驶状态和行为划定安全边界,尽管目前碰撞检测、预警及紧急避让等方法较多,但随着 RSS 模型的提出,行为安全边界划定仍然较为模糊,需要进一步优化,新的人机交互方法也是一个值得探索的方向。智能网联汽车可能遭受黑客攻击,造成车辆交通事故隐患及用户数据泄露,

然而自动驾驶汽车的信息网络安全仍然是一个专利空白区, 具有较大的开发潜力.

参考文献

- 1 Walther W, Hermann W. *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*. Berlin: Springer, 2016
- 2 US Department of Transportation. Critical reasons for crashes investigated in the national motor vehicle crash causation survey. *Traffic Safety Facts — Crash Stats*, 2015. <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/pourshafeie1/docs/critical.pdf>
- 3 Montgomery W D. Public and private benefits of autonomous vehicles. *Securing America's Future Energy*, 2018. <https://avworkforce.secureenergy.org/wp-content/uploads/2018/06/W.-David-Montgomery-Report-June-2018.pdf>
- 4 Montgomery W D, Mudge R, Groshen E L, et al. America's workforce and the self-driving future: realizing productivity gains and spurring economic growth. *Securing America's Future Energy*, 2018. <https://avworkforce.secureenergy.org/wp-content/uploads/2018/06/Americas-Workforce-and-the-Self-Driving-Future-Realizing-Productivity-Gains-and-Spurring-Economic-Growth.pdf>
- 5 Aufrère R, Gowdy J, Mertz C, et al. Perception for collision avoidance and autonomous driving. *Mechatronics*, 2003, 13: 1149–1161
- 6 Xie H, Dong D C, Ou D X, et al. A new generation of intelligent transportation based on the internet of things. *Technol Economy Areas Commun*, 2011, 13: 33–36 [谢辉, 董德存, 欧冬秀, 等. 基于物联网的新一代智能交通. *交通科技与经济*, 2011, 13: 33–36]
- 7 Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration. Federal automated vehicles policy — accelerating the next revolution in roadway safety. 2016. <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/federalautomatedvehiclespolicy.pdf>
- 8 Benson A, Tefft B C, Svancara A M, et al. Potential reduction in crashes, injuries and deaths from large-scale deployment of advanced driver assistance systems. AAA Foundation for Traffic Safety, 2018. <https://aaafoundation.org/potential-reduction-in-crashes-injuries-and-deaths-from-large-scale-deployment-of-advanced-driver-assistance-systems/>
- 9 World Health Organization. Global status report on road safety. 2016. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189242/1/9789241565066eng.pdf>
- 10 Haddon J W. The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively. *Am J Public Health Nations Health*, 1968, 58: 1431–1438
- 11 Waldrop M M. Autonomous vehicles: no drivers required. *Nature*, 2015, 518: 20–23
- 12 Rumar K. Transport safety visions, targets and strategies: beyond 2000. European Transport Safety Council, 1999. <http://archive.etsc.eu/documents/etsl1.pdf>
- 13 US National Highway Traffic Safety Administration. Report of traffic collision involving an autonomous vehicle. 2016. <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/autonomousvehol316>
- 14 US National Highway Traffic Safety Administration. Laboratory test procedure for the new car assessment program electronic stability control system testing and FMVSS NO.126, electronic stability control systems indicative test for compliance. 2013. http://www.nhtsa.gov/staticfiles/safecar/NCAP/ESC_NCAP-TP-126-03_NCAP_version.pdf
- 15 Euro NCAP. Assessment protocol — safety assist. Version 8.0.2. 2017. <https://cdn.euroncap.com/media/32283/euro-ncap-assessment-protocol-sa-v802.pdf>
- 16 China Automotive Technology and Research Center. C-NCAP management regulation. 2018 ed. 2018. <http://www.c-ncap.org/cms/files/cncap-regulation-2018-en.pdf>
- 17 Tsugawa S, Kato S, Aoki K. An automated truck platoon for energy saving. In: *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco, 2011. 4109–4114
- 18 Zhou Q, Ji P J, Huang Y, et al. Challenges and opportunities of smart occupant protection against motor vehicle collision accidents in future traffic environment. *J Autom Safe Energy*, 2017, 8: 333–350 [周青, 姬佩君, 黄毅, 等. 未来交通事故场景中乘员智能保护的挑战与机遇. *汽车安全与节能学报*, 2017, 8: 333–350]
- 19 Ji P J, Huang Y, Zhou Q. Mechanisms of using knee bolster to control kinematical motion of occupant in reclined posture for lowering injury risk. *Int J Crashworthiness*, 2017, 22: 415–424
- 20 Ji P J, Zhou Q. Simulate uniform restraint concept for wide ranging crash protection. In: *Proceedings of International IRCOBI Asia Conference on the Biomechanics of Injury*, Seoul, 2016. 87–89

- 21 ISO. Road vehicles — functional safety. ISO 26262: 2018. <https://www.iso.org/standard/68383.html>
- 22 Lv Y. The safety of the intended functionality of intelligent driving vehicles. *Autom Digest*, 2019, 9: 1–7 [吕颖. 智能驾驶汽车的预期功能安全. *汽车文摘*, 2019, 9: 1–7]
- 23 Shah S A. Safe-AV: a fault tolerant safety architecture for autonomous vehicles. Dissertation for Ph.D. Degree. Hamilton: McMaster University, 2019
- 24 ISO. Road vehicles — safety of the intended functionality. ISO/CD 21448. <https://www.iso.org/standard/77490.html>
- 25 Hedrick J, Tomizuka M, Varaiya P. Control issues in automated highway systems. *IEEE Control Syst*, 1994, 14: 21–32
- 26 Shalev-Shwartz S, Shammah S, Shashua A. On a formal model of safe and scalable self-driving cars. 2017. ArXiv:1708.06374
- 27 ISO. Road vehicles — cybersecurity engineering. ISO/SAE DIS 21434. <https://www.iso.org/standard/70918.html>
- 28 SAE. Cybersecurity guidebook for cyber-physical vehicle systems. SAE J3061. <https://www.sae.org/standards/content/j3061.201601/>
- 29 Jin S K. Conception and development of autonomous driving vehicle. *China Terminol*, 2017, 3: 75–78 [金善科. 无人驾驶汽车的概念及发展. *中国科技术语*, 2017, 3: 75–78]
- 30 Wang R H, Li J. Analysis on the application and development trend of modern vehicle electronic technology. *Electron World*, 2014, 12: 16–17 [王瑞红, 李静. 现代汽车电子技术应用现状及发展趋势分析. *电子世界*, 2014, 12: 16–17]
- 31 Mizoi Y, Sanada Y. Safety device system for self-advancing golf cart. JP Patent, 10 119 768, 1998-05-12
- 32 Wagner J, Bayer S, Toelge T. Method for controlling a hydraulic braking system in open loop. US Patent, 6 244 670, 2001-06-12
- 33 Zechmann J, Irion A, Holl E. Method and device for controlling a braking system. US Patent, 6 439 675, 2002-08-27
- 34 Wang S F. Road Recognition Technology of Driverless Vehicle Based on Artificial Intelligence. Beijing: China Machine Press, 2018 [王世峰. 基于人工智能的无人驾驶车辆路面识别技术. 北京: 机械工业出版社, 2018]
- 35 Jin W R, Bakhtiar B L. Driving based lane offset control for lane centering system. US Patent, 8 977 419, 2015-03-10
- 36 Joachim S, Jan F, Soeren H, et al. Driver assistance system. US Patent, 9 051 008, 2015-06-09
- 37 Mourad A, Puchinger J, Chu C. Owning or sharing autonomous vehicles: comparing different ownership and usage scenarios. *Eur Transp Res Rev*, 2019, 11: 1–20
- 38 Li Y. Artificial intelligence promotes the paradigm shift of information security — a case study of driverless car by baidu. *J Inform Secur Res*, 2016, 2: 958–968 [李勇. 人工智能发展推动信息安全范式转移 —— 基于百度无人驾驶汽车的案例分析. *信息安全研究*, 2016, 2: 958–968]
- 39 Liao Y, Yu Y G. Comparison and analysis of technology patents of Baidu and Google automated driving vehicles. *Beijing Autom Eng*, 2017, 6: 5–8 [廖燕, 余业干. 百度与谷歌无人驾驶汽车技术专利对比分析. *北京汽车*, 2017, 6: 5–8]
- 40 Hu X X. Development status and safety consideration of intelligent vehicle automatic driving technology in China. *J Hunan Police Academy*, 2019, 31: 99–106 [胡春喜. 论我国智能汽车自动驾驶技术的发展现状及其安全考量. *湖南警察学院学报*, 2019, 31: 99–106]
- 41 Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. Review on china's automotive engineering research progress: 2017. *China J Highway Transp*, 2017, 30: 1–197 [中国公路学报编辑部. 中国汽车工程学术研究综述. *中国公路学报*, 2017, 30: 1–197]
- 42 The National Highway Traffic Safety Administration. The Federal Automated Vehicle Policy. Report of US Department of Transportation, 2016
- 43 Yuan P B, Tong H F, Zhao Y H. Global patent market research of the automated driving vehicle technology. *Global Sci Technol Econom Outlook*, 2018, 33: 74–82 [苑朋彬, 佟贺丰, 赵蕴华. 全球自动驾驶汽车技术专利市场研究. *全球科技经济瞭望*, 2018, 33: 74–82]
- 44 Robert B T, Sandipan B. Apparatus and method of automated manufacturing. US Patent, 7 974 737, 2011-07-05
- 45 Thomas L M, Scott A W, Brian B. System and method for recording vehicle events and for generating reports corresponding to the recorded vehicle events based on driver status. US Patent, 8 736 434, 2014-05-27
- 46 Mizuno S. Guide method for unmanned truck. JP Patent, 60 186 910, 1985-09-24
- 47 Suzuki K. Obstacle processor for unmanned carrying car. JP Patent, 61 265 606, 1986-11-25
- 48 Ninomiya Y, Sugimoto G, Hongo T, et al. Obstacle detecting device for unmanned vehicle. JP Patent, 62 274 316, 1987-11-28

- 49 Tomoyama S. Method for guiding unmanned carriage. JP Patent, 01 026 208, 1989-01-27
- 50 Danz C, Lee W C. Arrangement for semi-autonomous support to vehicle parking regulates and or controls servo arrangement to automatically carry out steering movements or corrections in only defined small angular range. DE Patent, 10 337 842, 2005-01-05
- 51 Du Y H, Yang A Z, Jin J G, et al. Aided driving system on rain or snow days and aided driving method. CN Patent, 102 866 695, 2017-08-25
- 52 He J, Rong H, Wang W Y, et al. Development summary of Baidu and Google driverless car. Auto Electric Parts, 2017, 1: 19–21 [何佳, 戎辉, 王文扬, 等. 百度谷歌无人驾驶汽车发展综述. 汽车电器, 2017, 1: 19–21]
- 53 Luis R P G, Nathaniel F, Andy S, et al. Transitioning a mixed-mode vehicle to autonomous mode. US Patent, 8 078 349, 2011-12-13
- 54 Julien R. Method for operating an occupant protection by means of a passenger protection device and occupant protection device. DE Patent, 10 2017 007 771, 2019-02-21
- 55 Zhang Y X, He W Q. Passenger safety system, flexible protection device and controller. CN Patent, 110 154 973, 2019-08-23
- 56 Akaha H. Occupant protection device, occupant protection device control method, and program. JP Patent, 2018 149 892, 2018-09-27
- 57 Zhu F. Collision prediction and forward airbag deployment system for autonomous driving vehicles. US Patent, 10 183 641, 2019-01-22
- 58 Matthew S W, Scott C P. System for safe passenger departure from autonomous vehicle. US Patent, 10 365 654, 2019-07-30
- 59 Viktor S. Vehicle with impact safety system for passers-by. DE Patent, 20 2019 103 425, 2019-08-22
- 60 Mohsen M, Gurmitsingh M B. Systems, methods and apparatuses for diagnostic fault detection by parameter data using a redundant processor architecture. US Patent, 2019 0180 526, 2019-06-13
- 61 Wang X Y, Yang K, Yin Q J, et al. Fault determination method and device of autonomous vehicle, equipment and storage medium. CN Patent, 110 083 146, 2019-08-02
- 62 Huang B, Xu S. Sensor self-checking system of intelligent driving vehicle and multi-sensing fusing system. CN Patent, 106 840 242, 2017-06-13
- 63 Fang H M, Du M X, Wu C, et al. Vehicle automatic driving control system with multi-redundancy safety mechanism. CN Patent, 110 203 208, 2019-09-06
- 64 Yousuf M A, Chan T Y, Ganapathi R, et al. Method of using a single controller(ecu) for a fault-tolerant or fail-operational self-driving system. WO Patent, 2018 237 121, 2019-04-11
- 65 Alexander T. Device for the control of a security procedure, a method for testing the operation of the device, as well as motor vehicle with the device. DE Patent, 10 2017 209 721, 2018-10-11
- 66 Wang J Q, Ding K, Kong Z W, et al. Automatic redundant electronic steering system of steering vehicle. CN Patent, 208 165 094, 2018-11-30
- 67 Yang J L. Remote control method and device for autonomous vehicle, and server. CN Patent, 109 116 720, 2019-01-01
- 68 Mao X Y, Shang S L, Cui H F. Analysis of influencing factors of auto driving safety and countermeasures. Shanghai Auto, 2018, 1: 33–37 [毛向阳, 尚世亮, 崔海峰. 自动驾驶汽车安全影响因素分析与应对措施研究. 上海汽车, 2018, 1: 33–37]
- 69 Mirko C. Challenges in the Interplay Between Function Safety and Safety of the Intend Functionality. Automated Driving Report, 2018
- 70 Shang S L, Li B. Study on safety of the intended functionality technology for E/E system of road vehicle. China Stand, 2016, 1: 58–62 [尚世亮, 李波. 车辆电控系统预期功能安全技术研究. 中国标准化, 2016, 1: 58–62]
- 71 Aycard O, Baig Q, Bota S, et al. Intersection safety using lidar and stereo vision sensors. In: Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Baden, 2011. 863–869
- 72 Zeng S Q, Tong W, Mudalige U P. Deeply integrated fusion architecture for automated driving systems. US Patent, 10 395 144, 2019-08-27
- 73 Murali V N, Kadetotad S, Levine D. Probabilistic inference using weighted-integrals-and-sums-by-hashing for object tracking. US Patent, 10 229 363, 2019-03-12
- 74 Wang X S, Zhu M X, Sun P. Speed control multi-target optimized car following algorithm of automatic driving vehicle.

- CN Patent, 109 709 956, 2019-05-03
- 75 Jiang Z, Fu Y, Li Y Z. Feedback-based control model generation for an autonomous vehicle. US Patent, 10 449 958, 2019-10-22
- 76 Liu J X, Li J, Ding F, et al. Vehicle driving system and method. CN Patent, 109 032 132, 2018-12-18
- 77 Naissa C, Casey B, Shekoufeh Q, et al. Evaluating risk factors of proposed vehicle maneuvers using external and internal data. EP Patent, 3 627 388, 2020-03-25
- 78 Yao X W, Chen J H. Safety assistant driving system and control method. CN Patent, 107 215 332, 2017-09-29
- 79 Sugioka I, Frasher D, Norberg S. A seat system for autonomous vehicles. EP Patent, 3 153 346, 2017-04-12
- 80 Coelingh E, Solyom S. All aboard the robotic road train. IEEE Spectrum, 2012, 49: 34–39
- 81 Fujishiro R. Drive support apparatus. US Patent, 9 478 135, 2016-10-25
- 82 Mueller M, Mielenz H. Method for assisting a driver of a motor vehicle. EP Patent, 2 582 554, 2015-08-12
- 83 Najjar Y P, Pindolia S K. System and method for collision mitigation and avoidance in autonomous vehicle. US Patent, 2018 0319 393, 2018-11-08
- 84 Baumann K H, Fehring M, Justen R, et al. Method for a safety system in a vehicle. US Patent, 2009 0210 114, 2009-08-20
- 85 Mobileye. Implementing the RSS model on NHTSA pre-crash scenarios. 2019. https://static.mobileye.com/website/corporate/rss/rss_on_nhtsa.pdf
- 86 Li H Y, Zhang K. Driverless car lane change safety discrimination method and device and storage medium. CN Patent, 109 887 321, 2019-06-14
- 87 Harda P, Nilsson J. Method and system for safe steering assistance in a vehicle. EP Patent, 3 106 369, 2016-12-21
- 88 James M R, Prokhorov D V. Autonomous vehicle interaction with external environment. US Patent, 9 855 890, 2018-01-02
- 89 Wang B Z, Gong J Z, Liu X G. Research on network security and standardization for connected vehicles. Inform Technol Standard, 2018, 3: 19–24 [王秉政, 龚洁中, 刘贤刚. 联网汽车网络安全及标准化. 信息计算与标准化, 2018, 3: 19–24]
- 90 Zheng Y, Zhao X G, Zhong Z J. The vehicle network topology. CN Patent, 109 167 712, 2019-01-08
- 91 Konrardy B, Christensen S T, Hayward G. Autonomous vehicle component malfunction impact assessment. US Patent, 10 168 703, 2019-01-01
- 92 Li C D, Song H J, Zheng S P. Automobile communication network system and automobile. CN Patent, 201 619 537, 2010-11-03
- 93 Chai Z X, Xie T X. Autonomous Driving Changes the Future. Beijing: China Machine Press, 2018 [柴占祥, 聂天心. 自动驾驶改变未来. 北京: 机械工业出版社, 2018]

Patent analysis review of automated driving vehicle safety technology

Yuxin ZHANG^{1*†}, Wenqin HE^{2†}, Hong CHEN^{1,3} & Peng AN⁴

1. State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

3. New Energy Vehicle Engineering Center, Tongji University, Shanghai 201804, China;

4. UISEE Tech. (Beijing) Ltd., Beijing 100086, China

* Corresponding author. E-mail: yuxinzhang@jlu.edu.cn

† Equal contribution

Abstract Patent analysis is an important form of competitive intelligence analysis. It involves tracking, researching, and analyzing patents, inventing certain technology areas and competitors, and forming competitive intelligence that can consider the overall situation and forecast function to provide decision-making references for countries and enterprises in terms of industrial development, technology layout, and service development. In this paper, patent search and analysis methods are used to investigate and study the automated driving vehicle safety technology. First, using patent search based on application country, applicant, patent classification number, and other information, this paper provides the development trend in the field of automated driving vehicle safety technology. Moreover, the specific technical connotation of each patent is analyzed, and the technology status, patent layout strategy, and development trend of the automated driving vehicle safety field are expounded with respect to five aspects, namely, passive safety, functional safety, safety of the intended functionality, behavior safety, and cybersecurity. In this paper, we elaborate on the research and development roadmap of automated driving safety technology from the viewpoint of patents, thus providing a certain reference significance for the advancement and overall arrangement of automated driving vehicle safety technologies.

Keywords automated driving vehicle, safety technology, safety system, patent analysis, technology layout



Yuxin ZHANG was born in 1986. He received his joint Ph.D. degrees in vehicle engineering from Jilin University, China, and UC Berkeley, USA, in 2016. From 2016 to 2018, he undertook a postdoctoral research in systems engineering in Jilin University, China. At present, he is an associate professor at the State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University. His research interests include automated driving system safety engineering and advanced technology patent analysis/strategy.



Wenqin HE was born in 1997. He received his B.S. degree in vehicle engineering from China Agriculture University. Currently, he is a graduate student majoring in vehicle engineering in Beijing Institute of Technology, China. His research interests include automated driving system simulation and safety engineering.



Hong CHEN received her B.S. and M.S. degrees in process control from Zhejiang University, China, in 1983 and 1986, respectively, and Ph.D. degree in system dynamics and control engineering from the University of Stuttgart, Germany, in 1997. Since 1999, she has been a professor at Jilin University and hereafter a Tang Aoqing professor. From 2015 to 2019, she served as the director of the State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control. Recently, she joined Tongji University as a distinguished professor. Her current research interests include model predictive control, nonlinear control, and applications in mechatronic systems focusing on automotive systems.