

《C-V2X 与单车智能融合 功能及应用》研究报告

**IMT-2020 C-V2X 工作组
2023 年 10 月**

前 言

当前，汽车产业、交通产业与通信产业加速跨界融合发展，智能化、网联化融合创新已成为交通和汽车产业新一轮变革的重要方向。继新能源汽车上半场激烈竞逐后，智能网联汽车已成为全球汽车产业下半场竞争焦点，智能化、网联化关键技术和整车产品加速产业化落地。

在自动驾驶发展进程中，单车智能仍然面临长尾场景难以突破问题，依托蜂窝车联网（Cellular-V2X，即 C-V2X）等技术赋能的车路云协同发展模式，通过协同信息交互、协同感知与协同决策控制，解决单车智能技术瓶颈难题，推进实现自动驾驶，已逐步形成行业共识的中国特色的智能网联汽车产业发展路径，助力我国汽车强国和交通强国建设。

但是，C-V2X 网联技术与单车智能融合的车路云协同的技术路径仍处于发展期，相关功能定义、关键技术、标准体系、测试认证以及政策法规等均需要产业各方协同研究、制定、推进。为推动 C-V2X 与单车智能融合发展逐步落地，IMT-2020(5G)推进组 C-V2X 工作组协同跨行业专家开展主题研究，形成《C-V2X 与单车智能融合功能及应用》成果。

本报告客观分析了单车智能功能的局限性，识别 C-V2X 具有赋能优势的融合功能应用场景，侧重研究基于 C-V2X 直连通信技术与单车智能融合的功能及其系统架构，并对典型功能进行功能安全分析，提出后续工作建议。

本报告起草单位：中信科智联科技有限公司、中国信息通信研究院、重庆长安汽车股份有限公司、东风汽车集团有限公司、高通无线通信技术（中国）有限公司、博世汽车部件（苏州）有限公司、大陆投资（中国）有限公司、信通院车联网创新中心（成都）有限公司、无锡晓枫汽车技术股份有限公司、一汽-大众汽车有限公司、上汽大众汽车有限公司、北京车和家汽车科技有限公司、上海众执芯信息科技有限公司、中国第一汽车集团有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、浙江海康智联科技有限公司、广州汽车集团股份有限公司、华人运通（上海）自动驾驶科技有限公司、重庆大学、紫光展锐（上海）科技有限公司、北京百度智行科技有限公司、大众汽车（中国）投资有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、襄阳达安汽车检测中心有限公司、车

路通科技（成都）有限公司、华砺智行（武汉）科技有限公司、零束科技有限公司、中国电子科技南湖研究院、国汽（北京）智能网联汽车研究院有限公司、长沙智能驾驶研究院有限公司、宸芯科技股份有限公司、中汽院智能网联科技有限公司（中国汽研）、东软集团股份有限公司、湖南湘江智能科技创新中心有限公司、安徽江淮汽车集团股份有限公司、吉利汽车研究院（宁波）有限公司、北京万集科技股份有限公司、中汽智联技术有限公司、福州物联网开放实验室有限公司、福特汽车（中国）有限公司、上海海拉电子有限公司、宁波均联智行科技股份有限公司、广州小鹏汽车科技有限公司、上海蔚来汽车有限公司、成都通广网联科技有限公司、广州高新兴网联科技有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、中兴通讯股份有限公司、北京星云互联科技有限公司、国汽智控（北京）科技有限公司、上海集度汽车有限公司、北京汽车研究总院有限公司、千寻位置网络有限公司、深圳市金溢科技股份有限公司、英特尔（中国）有限公司、斯润天朗（北京）科技有限公司、比克泰尔无线通信产品有限公司、翱捷科技股份有限公司、北京航迹科技有限公司、上海寅家电子科技股份有限公司、北京矽力科技有限公司、华路易云科技有限公司等。

本报告主要编写人：张学艳、胡金玲、房家奕、王世良、赵丽、朱江、赵铮、张震坤、刘洋、葛雨明、于润东、龚正、李凤、邓婷婷、邓辉、牛雷、李增文、陈昌学、华东南、李红林、赵奕铭、邓棋文、殷悦、钦立坚、胡嘉、龚玉豹、文峰、吴如春、王龙翔、左益芳、杨朝旭、杨凯、何山、裘悦、李毅洪、梁睿、费敏、丁鹏仁、屠方泽、孙博逊、王博、王谦、罗明波、张清凤、黄东明、储林波、韩庆文、周晓萌、朱勇旭、王鲲、路宏、杨行、马凌峰、肖星星、李雨晴、张显淳、杜成阳、任学锋、黄峰、侍兴华、陈胜华、武潇、毋超、张长隆、瞿仕波、余霞、徐畅、王博闻、周欣如、张舒凯、杜磊、朱陈伟、陈勇、梁振宝、田灿、丁笑兵、付俭伟、傅建雄、黄云亮、王歆朔、陈丹丹、董辉、单丹凤、郑洪江、王潼、张义、王伟、山晓燕、史立东、刘晓青、吴冬升、雷艺学、刘思杨、陈瑞、赵金锴、陈晓、许玲、王易之、毛泳江、赵学岩、张丽平、卢忆都、郭梦飞、冯硕、黄殿辉、庄亮、华伟、雷鸣、刘志杰、常琳、邓可远、谢豪、陈耿涛、李维成、王艳华、王晓琦、陈曦、张皓磊、王莉莉、余红艳、赵磊等。

目 录

前 言.....	3
第一章 融合现状和必要性分析	6
1.1 单车智能发展现状.....	6
1.2 C-V2X 发展现状	8
1.3 单车智能融合 C-V2X 价值分析.....	9
1.4 国内外融合研究现状.....	11
1.5 小结.....	12
第二章 融合功能应用场景及架构	13
2.1 融合功能应用场景识别.....	13
2.2 融合功能系统架构分析.....	21
2.3 小结.....	26
第三章 融合功能的功能安全分析	28
3.1 融合功能的功能安全分析原则.....	28
3.2 融合功能的功能安全分析场景的选取.....	30
3.3 融合功能的功能安全分析示例.....	31
3.4 小结.....	51
第四章 总结	53
附录 A 典型单车智能功能定义及基本原理	55
附录 B C-V2X 增益分析.....	59
附录 C 概念阶段相关项定义要求	67
附录 D 车侧子系统-模块功能需求	68
附录 E 严重度 Δv 计算方法	70
附录 F 融合应用实践案例	71
参考文献.....	73

第一章 融合现状和必要性分析

我国汽车智能化水平大幅提升，在智能座舱、自动驾驶等关键技术领域实现创新突破，L2级别组合驾驶辅助技术成熟应用并进入市场普及期，L4级别自动驾驶技术不断突破并区域性示范。单车智能功能因主要依靠车辆自身的视觉、雷达等传感器和计算平台进行环境感知、计算决策和控制执行，存在无非视距感知能力、无全局感知能力、缺乏群体协作等局限性，通过在单车智能功能基础上引入C-V2X，可以将“人—车—路—云”交通参与要素有机地联系在一起，拓展和助力单车智能自动驾驶能力升级，加速自动驾驶应用成熟。本部分内容通过分析单车智能和C-V2X的发展现状，结合C-V2X的技术特性，研究单车智能融合C-V2X的价值，探索融合功能的必要性。最后，总结了国内外融合功能的研究现状。

1.1 单车智能发展现状

单车智能功能是指依靠人工智能、视觉计算、雷达和全球定位等技术，通过车上安装的传感器完成对周围环境的探测和定位功能，使汽车具有环境感知、路径规划和自主控制能力，实现不同等级的自动驾驶。当前市场L0级应急辅助、L1级部分驾驶辅助已广泛搭载和应用；L2级组合驾驶辅助市场渗透率也逐渐提升，正在进入加速量产阶段，2023年1-5月份，我国具备L2级组合驾驶辅助的乘用车新车渗透率达到42.2%¹，正在加速推动L2级组合驾驶辅助功能在营运客车、营运货车等商用车上的标配安装，年市场规模有望达到百万辆；L3级有条件自动驾驶、L4级高度自动驾驶在限定区域内商业落地正在加速推进，无人驾驶出租车、无人巴士、干线物流以及无人配送等多场景示范应用在有序开展，部分城市和矿区、港口等特殊场景开启了L4级无人驾驶商业化试点运营。

本报告选取典型的单车智能功能进行分析，详见附录A，并梳理总结上述典型功能现阶段面临的主要挑战。

从车辆功能角度考虑，主要体现在感知和决策控制等层面。

1) 感知层面：

- 无非视距感知能力，包括被遮挡的目标物、路口横向车辆等。例如，前向

¹ 来源：中国智能网联汽车产业创新联盟统计

碰撞预警功能无法感知路口的横向车辆，以及有遮挡的对向车辆，无法在路口或曲率较小的弯道条件下正常使用；

- 无全局感知能力，包括被遮挡的目标物、路口横向车辆、交通事件、路面异常情况等。例如，自适应巡航控制功能无法感知路口横向车辆，有遮挡的对向车辆，以及被遮挡的弱势交通参与者，无法在路口条件下正常使用；
- “极端情况”的感知能力受限，包括极端天气、光线骤变、极端的温湿度条件、与周围环境的色差、高速移动、与目标的相对移动速度等。例如，自动紧急制动、高速公路辅助功能在进出隧道时，由于光线骤变，导致感知性能失效，在隧道环境下无法正常使用；十字路口闯红灯预警功能由于信号灯与周围环境的色差较小，导致该功能有时会失效；
- 基于算法来识别目标，无法获知其他道路交通参与者和交通状态的准确信息，无法消除长尾效应。

2) 决策控制层面：

- 单车智能系统对“规则和行为”的理解需要通过感知到的表层信息进行算法上的推导，对算法要求较高，尤其在应对“极端情况”时，准确性大大降低；
- 单车智能系统中算法对交通规则理解的准确性较低，当前交通规则、交通标志主要是服务于人的，单车智能需要根据感知到的标志标识，将人的规则翻译成机器的规则，存在一定挑战。例如，交通拥堵辅助功能无法有效识别并处理针对不同时间段有不同管制措施的复杂道路交通指示牌等；
- 单车智能系统中算法对交通参与者行为的理解准确性较低，例如，自适应巡航控制功能，由于无法判定前方车辆的驾驶意图、轨迹预测等，导致在前方车辆突然切入切出时，存在安全风险。
- 单车智能个体之间无法实现协作，每台车都以自身最优的策略来决策驾驶行为，在安全和效率上无法达到全局最优。例如，交通拥堵辅助功能仅能实现单车在拥堵条件下的安全行驶，但是无法从全局对交通进行规划，给出更有效率的驾驶建议。

此外，从经济性考虑，单车智能的算力等因素也存在较大的挑战。算力对于自动驾驶至关重要，尤其是 L3/L4 及以上高等级自动驾驶，需要依赖雷达、激光、

摄像头、高精度地图等多感知来源的数据融合，才能获取足够精确的环境和目标信息。但对于车企来说，并非为其自动驾驶车配置算力越高的芯片就越好，而是需要综合考虑算力、功耗、成本、易用性、同构性等多重因素。因此，如何在有限的条件下，合理使用和共享算力资源，实现自动驾驶算法软件的高效运行成为当前自动驾驶在算力层面面临的挑战。

1.2 C-V2X 发展现状

车联网 C-V2X 是我国战略性产业重要发展方向之一，车联网相关产业政策持续利好。随着产业快速推进，我国政府高度重视车路云协同自动驾驶技术的发展，将车路云一体化系统作为我国智能网联汽车产业的重要发展方向之一，我国从国家战略层面到地方政策方面，全面探索智能网联汽车产业发展，鼓励和推进示范建设。

C-V2X 车辆联网渗透率和量产车型数量显著增长。2022 年我国乘用车前装标配车联网功能交付上险量为 1338.46 万辆，前装搭载率为 67.15%。此外，C-V2X 直连通信功能前装量产也实现新突破，已有 20 余款车型搭载了 C-V2X 直连通信功能，其中红旗 E-HS9、高合 HiPhiX、蔚来 ET7 等部分车型实现全系标配。

C-V2X 产业链不断成熟，测试验证环境不断完备。C-V2X 已形成了覆盖芯片模组、终端、整车、安全、测试验证、高精度定位及地图服务等环节的完整产业链。IMT-2020（5G）推进组 C-V2X 工作组自 2018 年联合相关行业组织先后举办了 C-V2X “三跨”“四跨”“新四跨”等应用实践活动，为产业提供互联互通测试、应用示范和协同研发公共服务平台。中国信息通信研究院、中汽中心、中国汽研等第三方机构建立了通信协议一致性、通信性能、应用功能等专业化测试验证能力，推出检测认证服务。

C-V2X 直连通信应用场景达成业界共识。前向碰撞预警、绿波车速引导等第一阶段应用场景已在车端商业化搭载，路侧感知数据共享等第二阶段应用加速研发。C-V2X 技术已获得汽车工业界认可，C-V2X 技术支持的主动安全功能已被纳入 C-NCAP（China-New Car Assessment Program，中国新车评价规程）路线图（2022~2028 年）。

我国 C-V2X 产业已经进入技术快速验证，规模商用落地重要时期。自 2018

年以来，业内持续开展“三跨”“四跨”“新四跨”等互联互通系列测试和安全验证活动等应用实践，验证 C-V2X 技术可行性，并持续保障产业安全发展。截至目前，围绕 C-V2X 车联网产业布局，产业链日益完善，产业化进程加快。

C-V2X 技术已获得汽车工业界认可，C-V2X 技术支持的主动安全功能已被纳入 C-NCAP（China-New Car Assessment Program，中国新车评价规程）路线图（2022~2028 年）和 2024 版管理规则中。路线图如图 1 所示，管理规则正在征集意见阶段，预计 2024 年上半年发布。

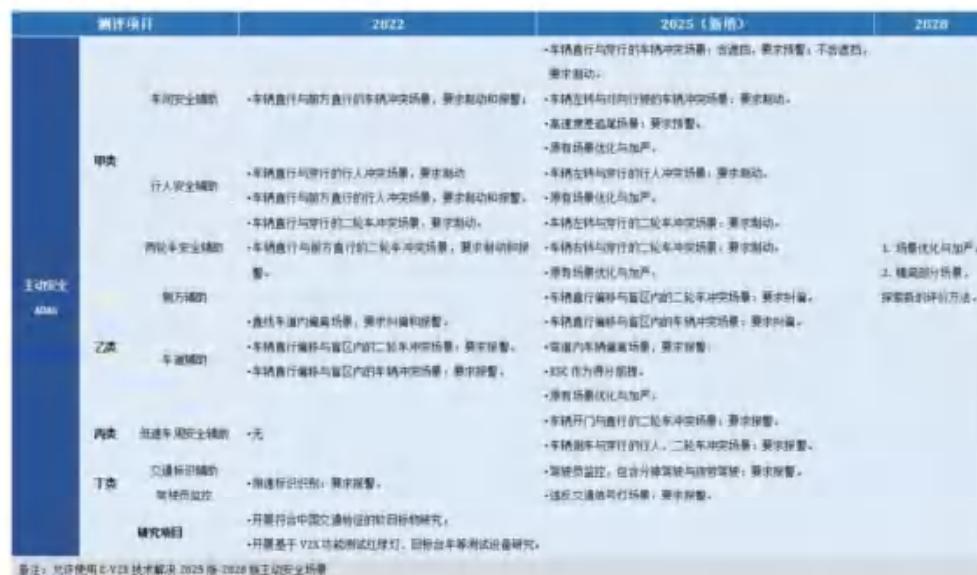


图 1《C-NCAP 路线图（2022~2028 年）》主动安全测试项

此外，截至目前，已有十几家车企发布 C-V2X 量产车型，包括一汽、上汽、上汽通用、上汽奥迪、广汽、长安福特、长城、比亚迪、蔚来、华人运通等。

1.3 单车智能融合 C-V2X 价值分析

由于 C-V2X 技术具备“非视距、全天候”，“上帝视角”，“可协同”等特点，融合 C-V2X 技术可以有效弥补基于单车智能的驾驶自动化功能不足，如表 1 所示：

表 1 单车智能功能局限性和 C-V2X 技术价值分析

分类	基于单车智能的驾驶自动化功能局限	C-V2X 技术价值
感知层面	无非视距感知能力	非视距传输
	无全局感知能力	RSU（路侧单元，Road Side Unit）结合路侧传感器提供上帝视角

	感知能力受恶劣天气、雨雾、夜晚极端温度等环境因素影响	受环境因素影响小，在恶劣天气、大雾、夜晚极端温度等不良工况下也可适用
	获取交通参与者状态信息的准确性	道路交通参与者将自身状态信息直接发送给周边其他车辆
	获取交通标志和交通信号的准确性	路侧单元直接将信号机状态、交通标志等信息发送给周边车辆，不受标识状态和清晰度的影响，减少环境遮挡和环境色差等因素影响
决策控制层面	交通参与者行为的理解	消息直接来自车辆，提升特种车辆、紧急车辆类型的识别率，能够及时准确获知车辆的驾驶意图和轨迹预测等信息
	群体协作能力受限	车车/车路/车云交互，可协商和仲裁路权，提升无保护左转等应用的安全性
算力层面	依赖单车算力资源	可通过车端、路端和云端的算力协同部署，实现车端的算力卸载和高效使用

根据表 1 分析，引入 C-V2X 技术后，可以对单车智能功能进行赋能，一方面，可以在单车智能定义的 ODD (Operational Design Domain, 设计运行范围) 内对单车智能功能进行改进，即能力增强；另一方面，也可以拓展单车智能功能的 ODD，即能力拓展。

对于 C-V2X 对单车智能功能的赋能效果，本文件附录 B 选取了图 1 中十字路口车辆直行与横穿车辆含遮挡的主动安全场景，分别进行单车智能系统的安全边界和融合 C-V2X 技术的车路协同系统（简称车路协同系统）安全边界的仿真对比分析，计算车路协同系统相对于单车智能系统的增益空间。

根据附录 B 的分析可以看出，通过引入 C-V2X 技术，主车可以提前知晓远车的存在及速度，从而增加了提前刹车距离及判断时间，避免了由于遮挡导致的主车和远车的潜在安全性问题，同时可以提升主车刹车舒适性。车路协同系统可以使得车辆安全通过十字路口含遮挡场景，降低 57.79% 由于单车智能局限性导致的碰撞或不舒适制动概率。另外，考虑驾驶员反应时延等人因因素，车路协同系统可以进一步降低 67.66% 由于单车智能局限性导致的碰撞或不舒适制动概率。

C-V2X 技术作为赋能智能驾驶、智能交通和智慧城市的关键使能技术，与单车智能形成互补，可从本质上解决单车智能的技术瓶颈，实现人、车、路、云高效协同，提升自动驾驶能力，推动智能网联汽车发展。

当前，随着新能源汽车市场规模持续扩大，汽车产业正处于破旧立新的历史转折期，开展车路云协同自动驾驶功能及其关键技术研究，有利于进一步突破产

业发展瓶颈，实现技术积累，加速推进产业落地应用。

具体而言，C-V2X 技术融合单车智能发展路线不仅能提升交通安全性和交通效率，在推动碳排放降低以及技术创新等方面，具有非常重要的意义，例如：

- 1) 提升交通安全性：可以减少人为驾驶错误和疏忽导致的交通事故。通过车辆与道路基础设施之间的实时通信，预测潜在的危险情况，从而大幅度降低交通事故的发生率，保障驾驶员和行人的安全；
- 2) 提高交通效率：可以进行更精准的路线规划，优化交通流量，减少交通拥堵。通过实时的交通等信息的交换，以及车辆之间的协调配合，交通系统可以更有效地控制车速、间距和换道，从而降低拥堵程度，提高道路通行能力；
- 3) 降低碳排放：有助于实现更加绿色、环保的交通方式。通过优化交通流量和避免紧急制动等不必要的驾驶行为，车辆的能源利用率得到有效提高，减少车辆的碳排放；
- 4) 推动技术创新：需要跨越传感器技术、通信技术和人工智能等多个领域的合作，有助于推动各个领域的技术进步，带来更多创新和应用的可能性，推动整个智能交通系统向更高水平发展。

1.4 国内外融合研究现状

目前国内外在智能化与网联化融合领域的研究刚刚起步，尚处于前期摸索阶段，研究内容各有侧重：

美国是以发展自动驾驶车辆为核心，逐步开展 C-V2X 技术赋能的协同驾驶自动化研究。美国汽车工程师学会（Society of Automotive Engineers, SAE）成立了协同驾驶自动化委员会（Cooperative Driving Automation, CDA），专门研究协同驾驶自动化的应用，通过网联对 DDT (Dynamic Driving Task, 动态驾驶任务) 性能和交通管理能力的影响，对 CDA 功能进行了分类。SAE 还成立了公路自动驾驶委员会（On-Road Automated Driving, ORAD），重点研究 L3~L5 自动驾驶系统。在其发布的 SAE J3131-2022 标准中，定义了 L4~L5 自动驾驶系统的功能架构，其中包含了 C-V2X 模块。

欧洲面向智能交通系统和自动驾驶两个维度开展研究。从交通角度，通过路侧网联化分级的相关研究，探索路侧对自动驾驶车辆的赋能方式，例如，世界道

路协会（World Road Association, PIARC）和欧盟道路交通研究咨询委员会（European Road Transport Research Advisory Council, ERTRAC）对路侧基础设施进行了分级，研究了不同道路等级对动态驾驶任务的影响。从自动驾驶角度，通过自动驾驶关键技术的研究，探索 C-V2X 如何支撑自动驾驶应用，例如，5G 汽车协会（5G Automotive Association, 5GAA）和车辆间通讯联盟（Car2Car Communication Consortium, C2C-CC）从车侧梳理了 C-V2X 应用部署的路线图，并进一步研究了功能安全、定位、信息可用性等提升网联功能安全性的关键技术问题。

我国从顶层设计的角度出发，针对车端网联化、智能化以及路侧网联化、智能化同步开展研究，支持智能化和网联化融合路径，并提出了车路云一体化融合的中国方案。中国公路学会、中国汽车工程学会和中国通信学会还联合发布了《车路协同自动驾驶一致行动宣言》，共同确立了依托 C-V2X 技术，发展车路云一体化融合的智能网联汽车方案。中国智能网联汽车产业创新联盟（China Industry Innovation Alliance for the Intelligent and Connected Vehicles, CAICV）、IMT-2020 (5G) 推进组 C-V2X 工作组、全国汽车标准化委员会等持续开展基于 C-V2X 技术的智能化与网联化融合发展研究。

1.5 小结

本章以单车智能典型场景（主动安全、行车和泊车）为切入点，总结其基本原理以及当前面临的主要挑战，结合 C-V2X 技术发展现状，分析单车智能融合 C-V2X 技术的价值。然后，总结国内外融合功能的研究现状。目前，C-V2X 技术与单车智能融合的研究尚处于初级阶段，还需要对融合应用的关键技术和标准等开展进一步研究。

第二章 融合功能应用场景及架构

本部分从单车智能功能的角度入手，选取 C-V2X 对单车智能功能价值较高的融合功能，进一步分析每个融合功能的典型应用，针对不同类别的融合功能提出可能的车路协同系统架构方案，供业内参考。

2.1 融合功能应用场景识别

2.1.1. 融合功能选择

本报告基于 GB/T 39263-2020 和 T/CSAE 156-2020 定义的单车智能功能，进一步分析 C-V2X 与单车智能融合的功能。通过向车企调研，提炼形成具有较高增益价值的融合功能列表，选取进一步研究的融合功能思路如下：

- 1) 需涉及主动安全、行车和泊车三大类功能；
- 2) 需涉及 L0-L2、以及 L4 级别中至少一个典型功能；

用于融合功能分析的典型功能列表如表 2 所示：

表 2 融合功能列表

单车智能功能名称	功能类别	自动驾驶级别	融合功能名称
交通信号识别	主动安全	L0	协同交通信号识别
前向碰撞预警	主动安全	L0	协同前向碰撞预警
自动紧急制动	主动安全	L1	协同自动紧急制动
自适应巡航控制	行车	L1	协同自适应巡航控制
高速公路辅助	行车	L2	协同高速公路辅助
交通拥堵辅助	行车	L2	协同交通拥堵辅助
自主代客泊车	泊车	L4	协同自主代客泊车

2.1.2. 融合功能应用清单

针对表 2 中的融合功能，进一步分析每个融合功能对应的应用，具体如表 3 所示：

表 3 融合功能应用清单

融合功能	应用
协同交通信号识别 (2)	<ul style="list-style-type: none">• 绿灯起步提醒• 绿波车速引导• 十字路口闯红灯预警
协同前向碰撞预警 (3)	<ul style="list-style-type: none">• 交叉路口遮挡横穿预警• 弯道/桥梁提前预警• 夜晚/特殊天气预警

协同自动紧急制动 (3)	<ul style="list-style-type: none"> 交叉路口遮挡横穿制动 弯道/桥梁提前制动 夜晚/特殊天气制动
协同自适应巡航控制 (3)	<ul style="list-style-type: none"> 异常道路通行 跟车性能增强 通过信号灯路口
协同高速公路辅助 (4)	<ul style="list-style-type: none"> 快速切换辅助 通过异常车辆/路段 隧道前选择道路 天气适应性运行
协同交通拥堵辅助 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 交通拥堵辅助开启提醒
协同自主代客泊车 (4)	<ul style="list-style-type: none"> 代客泊车时高精地图及时更新 停车场多车同时泊车 跨楼层全局定位 车辆盲区感知

2.1.3. 融合功能应用分类

每个融合功能的应用可以从融合增益与融合效果两个方面进行分析：

1) **融合增益:** 根据融合功能对单车功能性能的提升，分为安全性和舒适性增益两类；

2) **融合效果:** 根据融合功能的最终表现形式，分为提示、预警和控制三类；

注：提示类不直接影响驾驶安全，只是用于信息展示；预警类则是安全性功能，在存在安全/碰撞风险时，主动发出的预警；控制类对车辆进行纵向和横向控制，可以是安全性的，也可以是舒适性功能。

2.1.4. 融合功能应用价值分析

基于融合功能和应用分类研究，进一步对表 3 中的 7 个典型融合功能的应用进行具体价值分析，按照如下几个方面展开：

- 1) 场景名称
- 2) 场景分类：融合增益/融合效果
- 3) 单车局限性分析
- 4) C-V2X 价值分析

2.1.4.1. 协同交通信号识别

协同交通信号识别功能的典型融合场景分析如表 4~表 6 所示：

表 4 协同交通信号识别功能融合场景分析(1/3)

功能名称	协同交通信号识别
场景名称	绿灯起步提醒
场景分类	舒适性/提示
单车局限性分析	在有信号灯的交叉路口，由于单车智能的感知局限，当信号灯出现遮挡或信号无法辨认时，传统单车智能无法识别到信号灯状态，驾驶员可能会错过绿灯，延迟起步。
C-V2X 价值分析	通过 RSU 发送信号灯相位信息，告知当前信号灯状态，帮助单车智能判断剩余时间，提醒驾驶员提前做好起步准备。

表 5 协同交通信号识别功能融合场景分析(2/3)

功能名称	协同交通信号识别
场景名称	绿波车速引导
场景分类	舒适性/提示
单车局限性分析	在即将到达有信号灯的交叉路口时，由于单车智能的感知局限，当信号灯出现遮挡或距离较远时，单车智能无法识别到信号灯状态，驾驶员无法以最优速度在绿灯区间内通过交叉路口。
C-V2X 价值分析	通过 RSU 发送信号灯相位信息，告知当前信号灯状态，帮助单车智能判断绿灯剩余时间，从而制定合理且舒适的通行策略。

表 6 协同交通信号识别功能融合场景分析(3/3)

功能名称	协同交通信号识别
场景名称	十字路口闯红灯预警
场景分类	安全性/预警
单车局限性分析	在有信号灯的交叉路口，依靠视觉识别无法获取信号灯倒计时信息，此外，由于单车智能的感知局限，当信号灯出现遮挡或信号无法辨认时，单车智能无法准确决策是否可以通过交叉路口。
C-V2X 价值分析	通过 RSU 发送信号灯相位信息，告知当前信号灯状态，帮助单车智能判断距离和正确决策，从而针对闯红灯风险向驾驶员预警。

2.1.4.2. 协同前向碰撞预警

协同前向碰撞预警功能的典型融合场景分析如表 7~表 9 所示：

表 7 协同前向碰撞预警功能融合场景分析(1/3)

功能名称	协同前向碰撞预警
场景名称	交叉路口遮挡横穿预警
场景分类	安全性/预警
单车局限性分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，单车传感器（摄像头、雷达）由于自身感知能力有限（比如存在遮挡物），无法有效探测到前方路口横穿车辆，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备，在非视距情况下接收目标车辆的位置信息、运动信息、几何信息，并对两车进行碰撞风险计算，及时报警提醒驾驶员采取避撞措施。

表 8 协同前向碰撞预警功能融合场景分析(2/3)

功能名称	协同前向碰撞预警
场景名称	弯道/桥梁工况的前向碰撞预警
场景分类	安全性/预警
单车局限性分析	在桥梁或者大曲率弯道的情况下，不论是驾驶员还是单车传感器（摄像头、雷达），由于自身视距有限，无法有效感知到前方车辆，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	针对一些非视距的目标车辆，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备接收目标车辆广播的位置信息、运动信息、几何信息，并对两车进行碰撞风险计算，及时报警、提醒驾驶员采取避撞措施。

表 9 协同前向碰撞预警功能融合场景分析(3/3)

功能名称	协同前向碰撞预警
场景名称	夜晚/特殊天气的前向碰撞预警
场景分类	安全性/预警
单车局限性分析	在夜晚、大雨、大雪、大雾，严重扬尘扬沙天气，传感器无法有效探测前方目标车辆，报警功能失效，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	夜晚、大雨、大雪、大雾，严重扬尘扬沙天气情况下，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备接收路侧 RSU 或者目标车辆 OBU 广播的障碍物/交通参与者位置信息、运动信息、几何信息，并进行碰撞风险计算，及时报警、提醒驾驶员。

2.1.4.3. 协同自动紧急制动

协同自动紧急制动功能的典型融合场景分析如表 10~表 12 所示：

表 10 协同自动紧急制动功能融合场景分析 (1/3)

功能名称	协同自动紧急制动
场景名称	交叉路口遮挡横穿制动
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，单车传感器（摄像头、雷达）由于自身感知能力有限，无法有效探测到前方路口横穿障碍物/交通参与者，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备，在非视距情况下接收目标车辆的位置信息、运动信息、几何信息，并对两车进行碰撞风险计算，必要时采取紧急制动，避免碰撞。

表 11 协同自动紧急制动功能融合场景分析 (2/3)

功能名称	协同自动紧急制动
场景名称	弯道/桥梁工况的自动紧急制动
场景分类	安全性/控制
单车局限	在桥梁或者大曲率弯道的情况下，不论是驾驶员还是单车传感器

性分析	(摄像头、雷达)，由于自身视距有限，无法有效感知到前方车辆，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	针对一些非视距的目标车辆，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备接收目标车辆广播的位置信息、运动信息、几何信息，并对两车进行碰撞风险计算，必要时采取紧急制动，避免碰撞。

表 12 协同自动紧急制动功能融合场景分析 (3/3)

功能名称	协同自动紧急制动功能
场景名称	夜晚/特殊天气的自动紧急制动
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	夜晚、大雾、扬尘扬沙天气下，单车传感器能力受限，无法有效探测前方目标车辆，自动紧急制动失效或功能降级，碰撞事故发生概率大增。
C-V2X 价值分析	夜晚、大雾、扬尘扬沙天气下，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备接收路侧 RSU 或者目标车辆 OBU 广播的障碍物/交通参与者位置信息、运动信息、几何信息，并进行碰撞风险计算，必要时采取紧急制动，避免碰撞。

2.1.4.4. 协同自适应巡航控制

协同自适应巡航控制功能的典型融合场景分析如表 13~表 15 所示：

表 13 协同自适应巡航控制功能融合场景分析 (1/3)

功能名称	协同自适应巡航控制
场景名称	异常道路通行
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	当前单车智能对于道路施工状态的处理，特别是道路桩桶的准确位置判断，易出现误报、漏报的现象。因桩桶在道路上体积较小，目标位置较低，高速行驶的车辆，对于桩桶识别的有效距离较近。部分车辆的感知能力有限，难以支撑高速行驶情况下，对桩桶的及时识别和处理。此外，当道路湿滑、深坑积水等其他异常状态出现时，单车感知对于确定道路具体异常状态并及时作出反应存在困难。
C-V2X 价值分析	C-V2X 消息中，存在对于道路异常状态的描述，包括道路施工、道路湿滑等。C-V2X 消息可以作为一个信号源，描述异常类型以及受影响道路的准确位置。在单车智能感知范围之外，提前提供给单车智能控制器，从而优化解决道路异常状态识别遇到的困难，增强自适应巡航控制功能在该场景下的功能稳定性表现。

表 14 协同自适应巡航控制功能融合场景分析 (2/3)

功能名称	协同自适应巡航控制
场景名称	跟车性能增强
场景分类	舒适性/控制
单车局限	当前使用传感器的跟车方案，主要根据前方车辆的位移变化，从而

性分析	判断车辆的运动学状态。由于无法获取车辆瞬时加速度、对于前车驾驶员意图和车辆的操作等判断存在延迟，在前车加速度变化较大时，跟随存在较大延迟，跟车表现较差。
C-V2X 价 值分析	车辆向外广播的 C-V2X 消息中，包括车辆的加速度、制动系统状态、速度、GNSS 点位、航向角、预测轨迹等信息。自适应巡航控制系统融合 C-V2X 的信息，进行前车运动学状态判断。可以进一步提升系统整体响应速度，增强稳定性，缩短自适应巡航控制跟车的间隔。

表 15 协同自适应巡航控制功能融合场景分析 (3/3)

功能名称	协同自适应巡航控制
场景名称	通过信号灯路口
场景分类	舒适性/控制
单车局限性分析	当前的自适应巡航控制功能，主要根据本车的传感器检测与前车的距离，从而调整车速以实现自动巡航。但是在包含信号灯路口的城市道路、快速路路段，当单车智能对信号灯和待行区的识别结果不准确时，无法获知信号灯倒计时信息等，出现闯红灯的行为；无法准确获知进入待行区时机，经常出现延迟进入待行区，或者不进入待行区，导致后方车辆拥塞，降低路口通行效率。上述问题导致基于单车智能的自适应巡航控制方案无法在保障遵守交通规则的情况下实现全路段的正常运行。
C-V2X 价 值分析	车辆通过 C-V2X 通信获得前方路口/路段的信号灯相位及配时信息，自适应巡航控制系统结合单车传感器信息、C-V2X 获取的信号灯信息，通过计算得出进入待行区的信息，在单车自适应巡航控制基础上对功能进行扩展，在信号灯路口/路段自动调整车速或车辆启停；根据获取到的路口信号灯信息，计算得出进入待行区的时机，及时进入待行区，避免在有待行区的路口停滞，或者延迟进入待行区，实现全路段的自适应巡航。

2.1.4.5. 协同高速公路辅助

协同高速公路辅助功能的典型融合场景分析如表 16~表 19 所示：

表 16 协同高速公路辅助功能融合场景分析 (1/4)

功能名称	协同高速公路辅助
场景名称	天气适应性运行
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	单车智能传感器容易受光照、可见度、路面状态等条件的影响。在不同天气条件下自动驾驶会设定不同的运行状态。在能见度低、路面湿滑等条件下，会采取降低设计时速，限制部分功能，提醒驾驶员接管等措施。根据天气状态调整自动驾驶功能的运行状态，需要车辆获取及时与可靠的车辆行驶路段天气状态和道路情况。
C-V2X 价 值分析	C-V2X 消息中，包含道路天气状况提醒的信息，可以给出异常天气的提醒，并对异常天气涉及的路段范围进行描述。当单车智能的

	控制器获取到 C-V2X 天气描述相关的信息后，进行运行状态的切换（如减速、提醒驾驶员接管、退出功能等），并根据不同车厂的功能逻辑，通知用户自动驾驶功能的状态变更，从而避免因异常天气导致的智能网联车辆故障与事故，保证驾乘安全。
--	---

表 17 协同高速公路辅助功能融合场景分析（2/4）

功能名称	协同高速公路辅助
场景名称	隧道前选择道路
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	在进入隧道前后，因为环境与光线的变化，单车智能失效率较高。在进入隧道前，如当前车道无法通行，因环境的复杂多变，摄像头有概率识别不到隧道前的无法通行标志。导致错失变道时机，更严重的会因走错车道而导致交通事故。
C-V2X 价值分析	在处理交通标志以及信号灯信息方面，C-V2X 有不易受环境影响的优势。结合 C-V2X 技术，可以准确给出当前车道是否可以通行的信息。对于不可通行的道路，给予变道或申请接管的提醒，从而增强单车智能在隧道前的处理可靠性。

表 18 协同高速公路辅助功能融合场景分析（3/4）

功能名称	协同高速公路辅助
场景名称	通过异常车辆/路段
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	当车侧存在异常状态（慢车/静止车/倒车等），或路侧存在异常状态（前方路段施工等）时，单车传感器无法远距离获知车/路上的异常状态，以及异常状态的具体类型。
C-V2X 价值分析	本车通过 C-V2X 更早地获知前方特殊事件（通过路侧或者远车），判断事件类型和范围。根据情况，选择请求驾驶员接管，或提前自动变道避让。

表 19 协同高速公路辅助功能融合场景分析（4/4）

功能名称	协同高速公路辅助
场景名称	快速路切换辅助
场景分类	舒适性/控制
单车局限性分析	由于单车智能无法准确获取信号灯的信息，当车辆从一段城市快速路段切换到另一段城市快速路段（或高速）时，如果切换的路段中包含信号灯控制的路口，则此时驾驶辅助功能需要在路口处退出，在到达下一个快速路段后重新开启，无法保持功能的连贯性。
C-V2X 价值分析	通过 C-V2X 功能可以获取信号灯以及地图信息，包括信号灯倒计时以及与路口停止线之间的距离等信息，结合单车智能的相关传感器，可以平稳地通过信号灯控制的路口。从而在快速路与快速路切换的过程中，无需退出自动驾驶功能。

2.1.4.6. 协同交通拥堵辅助

协同交通拥堵辅助功能的典型融合场景分析如表 20 所示：

表 20 协同交通拥堵辅助功能融合场景分析

功能名称	协同交通拥堵辅助
场景名称	交通拥堵辅助功能开启提醒
场景分类	舒适性/提示
单车局限性分析	由于不易判断功能可以使用的条件和场景，交通拥堵辅助功能被驾驶员开启的概率较低，当发生堵车且当前交通流车速较低时，驾驶员无法判断功能开启时机。
C-V2X 价值分析	交通拥堵提醒是 C-V2X 的标志性功能之一。当发生交通拥堵时，C-V2X 结合交通拥堵辅助功能，判断是否满足交通拥堵辅助功能的开启条件。在判断符合条件时，提醒驾驶员开启该功能。此功能用于增加拥堵辅助功能的开启概率，减少开启步骤和开启功能的人为条件判断。

2.1.4.7. 协同自主代客泊车

协同自主代客泊车功能的典型融合场景分析如表 21～表 24 所示：

表 21 协同自主代客泊车功能融合场景分析 (1/4)

功能名称	协同自主代客泊车
场景名称	跨楼层全局定位
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	依靠单车智能实现自主代客泊车功能的车辆，在进入停车场后，将丢失 GNSS 全局定位信息，若此时追踪定位失效，则需要进行全局重定位。由于停车场环境单一，场景相似度高，重定位容易失败。
C-V2X 价值分析	在 C-V2X 消息中，包含车辆历史路径、车辆姿态信息。在场端布置路侧设备及传感器，将场端感知结果通过 C-V2X 通信的方式发回到自车，实现全局定位。

表 22 协同自主代客泊车功能融合场景分析 (2/4)

功能名称	协同自主代客泊车
场景名称	车辆盲区感知
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	依靠单车智能实现自主代客泊车功能的车辆，在车辆行驶到密集的停车范围内，经常出现行人突然横穿（鬼探头）场景，此时，若有行人突然近距离横穿，出现在车辆前侧感知盲区内，则车端感知系统无法对该目标进行检测。
C-V2X 价值分析	在 C-V2X 消息中，包含交通参与者列表、非机动车扩展信息。在场端布置路侧设备及传感器，将场端感知结果通过 C-V2X 通信的方式发回到自车，实现协同感知、感知数据共享。

表 23 协同自主代客泊车功能融合场景分析 (3/4)

功能名称	协同自主代客泊车
------	----------

场景名称	停车场多车同时泊车
场景分类	舒适性/提示
单车局限性分析	在车流高峰期时，停车场内有多车同时开启代客泊车和泊出，此时由于车辆数目过多，容易产生拥堵，降低代客泊车功能体验及效率，甚至造成车辆事故。
C-V2X 价值分析	在 C-V2X 消息中，包括停车场信息、场站路径引导信息。在停车场区域增加 C-V2X 设备对停车场内车位情况、交通流情况进行监控，并将实时停车场信息进行统计，进行多车协同行驶路线全局规划，通过路侧设备与车辆进行通信，提供建议路线，并获得车辆信息反馈，实时对停车场运行进行调度管理，疏解车辆高峰期的拥堵情况。

表 24 协同自主代客泊车功能融合场景分析 (4/4)

功能名称	协同自主代客泊车
场景名称	代客泊车时高精度地图及时更新
场景分类	舒适性/提示
单车局限性分析	停车场高精度地图采集需要专门的图商公司进行实车采集、制作并上传，若建筑区域进行改造施工时可能出现涉及到停车场区域道路更改，停车位占用等与地图标注信息不符合的情况。
C-V2X 价值分析	停车场布设 C-V2X 设施及传感器，在停车场进行改造施工或功能区域调整时，停车场控制中心将采集现场实际信息，对高精度地图进行标注修改，并及时下发给停车场车辆，用于更新高精度地图静态地图信息。

2.2 融合功能系统架构分析

根据提示、预警、控制等不同类别的融合功能场景，融合功能的通信系统的架构不同。本章是面向不同的融合效果，对现有车路协同系统架构可能的增强方案进行分析，其中：

- 1) 小节 2.2.1 面向提示类融合功能，OBU (On-Board Unit，车载网联终端) 可不接入智能驾驶系统（含 L0-L5 级的驾驶自动化），自车 OBU 通过与其他车辆 OBU、路侧 RSU 进行 C-V2X 通信，获知来自其他车辆、路侧的感知和交通状态等信息，实现车辆对周围环境感知能力的增强，对驾驶员进行辅助信息提示。
- 2) 小节 2.2.2 面向预警类融合功能，自动驾驶系统将通过 C-V2X 通信获取到的信息，与自有传感器提供的感知信息输入进行感知或决策层面的融合，接入自动驾驶决策系统，对驾驶员进行预警，实现对车辆决策能力的增强。

- 3) 小节 2.2.3 面向控制类融合功能，在小节 2.2.2 的基础上，融合后的信息进入决策系统后，会根据情况对车身进行控制，对于数据质量和自动驾驶系统的安全性等方面有了更高的要求。

2.2.1. 提示类融合功能

提示类融合功能可能的车路协同系统架构如图 2 所示：

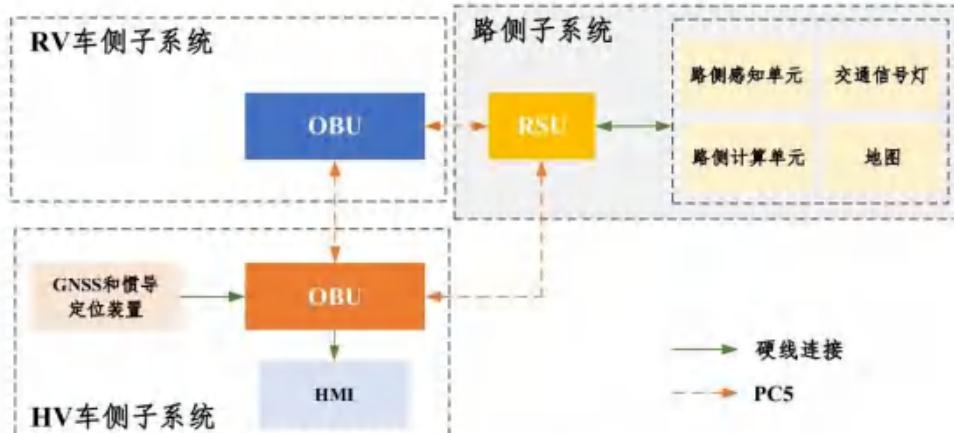


图 2 提示类融合功能的车路协同系统架构

对于 HV (Host Vehicle, 主车) 车侧子系统，由于提示类融合功能最终的效果是在 HMI (Human Machine Interface, 人机交互界面) 上向驾驶员进行信息提示，OBU 可不接入智能驾驶系统，可在车端现有架构的基础上，增加 OBU 模块与路侧子系统或 RV 车侧子系统通信。因此，提示类融合功能的 HV 车侧子系统主要由以下三部分组成：

- 1) OBU：OBU 用于和其他车辆的 OBU、RSU 进行 V2V/V2I 的数据交互，并将获取到的信息发送至车辆智能驾驶系统；
- 2) HMI：HMI 用于通过视觉、听觉或触觉的方式向用户展示/提示感知到的周围环境信息和道路交通信息；
- 3) 定位模块：GNSS 和惯导定位装置组成的定位模块用于确定车辆的位置，并将相关信息发送至 OBU 和车辆智能驾驶系统等；

OBU 获取到空口传输的消息，以及 GNSS 和惯导定位装置获取到的位置信息等，根据本车行驶状态信息和接收到的目标交通参与者的位置信息、运动信息、几何信息进行融合处理判断，确定周围环境的信息以及道路交通信息与本车的相对位置关系，并将相应信息发送给 HMI，由 HMI 对感知到的信息和道路交通等

信息进行展示。

对于 RV 车侧子系统，应至少包含 OBU。OBU 是否接入智能驾驶系统本文件中不作限定。

对于路侧子系统，主要由以下五个部分组成：

- 1) 交通信号灯：用于提醒交通参与者当前路口的允许和禁止通行状态等；
- 2) 路侧感知单元：用于感知道路环境信息，并将感知到的环境信息发送给路侧计算单元等；
- 3) 路侧计算单元：用于进行道路环境信息综合处理；
- 4) RSU：具备 C-V2X 无线通信能力，用于将感知到的环境信息或交通信息或路侧计算单元处理后的信息广播给其通信范围内的交通参与者等，并与 MEC 通信；
- 5) 地图：为当前覆盖区域提供统一的地理信息、标准信息等，搭建数字化路网底座。

路侧感知单元通过对物理环境的感知将各个传感器的原始数据发送给路侧计算单元，路侧计算单元会对感知数据进行加工、融合最后生成环境模型发送给 RSU，由其通过 C-V2X 消息发送出去。

2.2.2. 预警类融合功能

预警类融合功能可能的车路协同系统架构如图 3 所示：

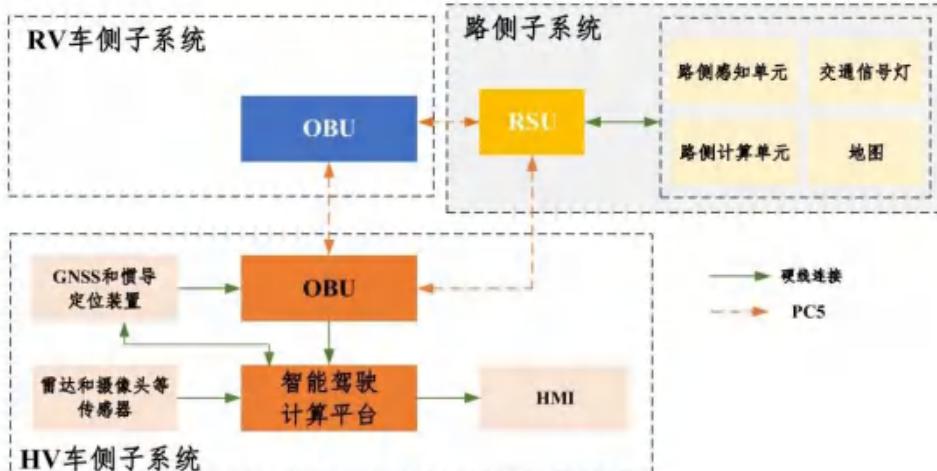


图 3 预警类融合功能的车路协同系统架构

对于 HV 车侧子系统，预警类融合功能的最终效果是在必要时，通过 HMI 对

驾驶员进行预警。OBU 获取到的感知信息和道路交通等信息需要与车载传感器进行信息融合。因此，预警类融合功能的 OBU 模块应接入智能驾驶系统，需与智能驾驶系统进行感知或决策层面的融合，需要对车端的现有架构进行改进。因此，预警类融合功能的 HV 车侧子系统主要由以下两个部分组成：

- 1) OBU: OBU 用于与其他车辆 OBU 或 RSU 进行数据交互，将获取到的目标交通参与者的位置信息、运动信息和几何信息发送给智能驾驶系统；
- 2) 智能驾驶系统：智能驾驶系统包括 GNSS 和惯导定位装置组成的定位系统、车载摄像头、激光雷达、毫米波雷达等组成的感知系统、智能驾驶计算平台和 HMI 等：
 - 定位系统用于获取本车位置信息和行驶姿态信息；
 - 感知系统用于感知道路环境信息，并将感知到的环境信息发送给智能驾驶计算平台进行处理；
 - 智能驾驶计算平台将定位系统、感知系统以及 OBU 发送的信息进行融合处理，根据处理后的结果进行车辆的全局路径和局部路径的规划，在不同的场景内给驾驶员提供信息，并在 HMI 上进行报警；
 - HMI 用于通过视觉、听觉或触觉的方式向用户展示/提示感知到的周围环境信息和道路交通信息。

OBU 获取到空口传输的消息，以及 GNSS 和惯导定位装置获取到的位置信息等，将上述信息传输给智能驾驶系统，智能驾驶系统根据本车行驶状态信息和接收到的目标交通参与者的位置信息、运动信息、几何信息进行融合处理判断，确定周围环境的信息以及道路交通信息与本车的相对位置关系，并在不同的场景内对驾驶员进行预警。

对于 RV 车侧子系统和路侧子系统，同 2.2.1 中的 RV 车侧子系统和路侧子系统。

2.2.3. 控制类融合功能

控制类融合功能可能的车路协同系统架构如图 4 所示：

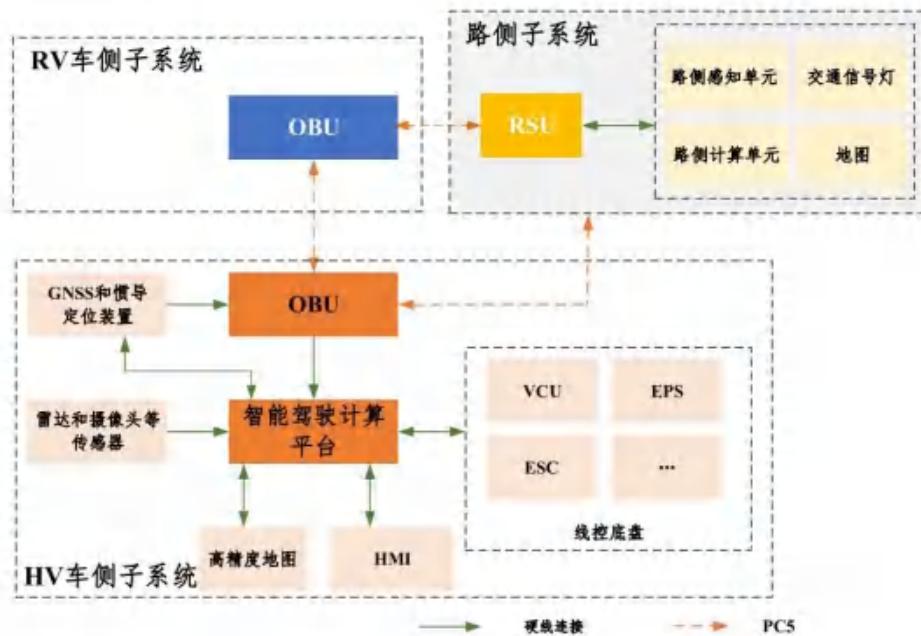


图 4 控制类融合功能的车车/车路协同系统架构示意图

对于 HV 车侧子系统,控制类融合功能的最终效果是对车辆进行横纵向控制。OBU 需要与智能驾驶系统进一步融合,以保证通过 OBU 获取的输入信息的安全和数据质量。此外,智能驾驶在决策过程中,除了考虑融合的感知信息外,还需要考虑更多复杂的决策输入因素,例如,路侧可能的决策引导信息、驾驶风格辨识、策略空间等,以保证智能驾驶系统的决策可用于车辆横纵向控制的输入。因此,控制类融合功能的 HV 车侧子系统主要由以下部分组成:

1) 智能驾驶系统, 智能驾驶系统包括:

- GNSS 和 IMU 组成的定位模块: 用于获取本车位置信息和行驶姿态信息;
- OBU: 用于与其他车辆 OBU 和 RSU 进行数据交互;
- 智能驾驶计算平台: 将定位系统、感知系统以及 OBU 发送的信息进行融合处理, 根据处理后的结果进行智能驾驶车辆的全局路径和局部路径的规划, 对车辆进行控制, 并在 HMI 上提供相应的显示。
- 线控底盘: 接收智能驾驶计算平台的指令, 可以通过探测器将驾驶员或智能驾驶计算平台操作中释放的机械信号转换为电信号, 然后由电机驱动执行完成相关动作等。

OBU 获取到空口传输的消息，以及 GNSS 和惯导定位装置获取到的位置信息等，将上述信息传输给智能驾驶系统，智能驾驶系统根据本车行驶状态信息和接收到的目标交通参与者的位置信息、运动信息、几何信息进行融合处理判断，确定周围环境的信息以及道路交通信息与本车的相对位置关系，并根据需要，在不同的场景内对车辆进行横纵向控制，以及相关信息展示。

对于 RV 车侧子系统和路侧子系统，同 2.2.1 中的 RV 车侧子系统和路侧子系统。

2.3 小结

本章选取了 7 个典型功能，从不同融合增益和融合效果的角度总结分析了 21 个融合场景。C-V2X 可以针对不同融合效果的驾驶任务提升功能的安全性和舒适性，具体如图 5 所示：

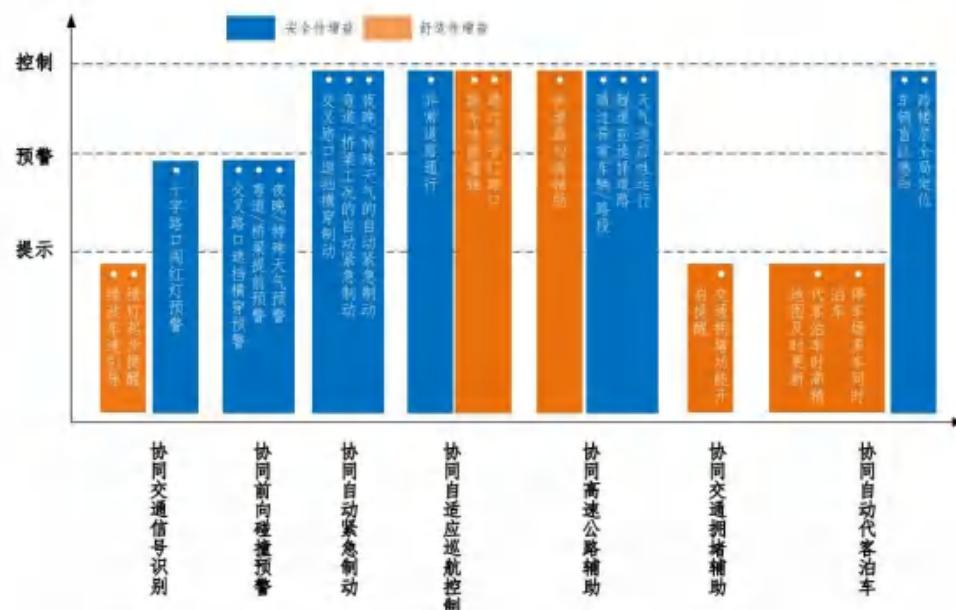


图 5 融合功能应用总结

针对不同融合效果的融合功能提出可能的架构方案，对于提示类的融合功能，OBU 可不与智能驾驶系统进行融合，可基于定位模块等数据独立实现对驾驶员的信息提示。对于预警类的融合功能，OBU 获取到的数据需要与智能驾驶系统的感知层进行融合，再由智能驾驶系统决策后再对驾驶员进行必要的预警。对于

控制类融合功能，OBU 需要进入到智能驾驶系统，成为智能驾驶系统的一部分，将其获取的信息用于功能控制。在控制类融合功能下，智能驾驶系统对 OBU 模块的数据质量和安全性的要求进一步提升。

第三章 融合功能的功能安全分析

随着自动驾驶技术的发展与普及，其安全性越来越受到大众的关注。自动驾驶汽车安全划分为功能安全、预期功能安全和信息安全三大领域。引入 C-V2X 技术后，也应考虑上述三大领域的安全问题。本报告重点研究引入 C-V2X 后的功能安全。

3.1 融合功能的功能安全分析原则

3.1.1. 融合功能的功能安全分析挑战

功能安全是指不存在由电子/电气系统的功能异常表现引起的危害而导致不合理的风险。功能安全是确保系统在存在故障时仍能保持适当功能的能力。单车智能的功能安全已经有比较成熟的方法论，目前，国内汽车行业的功能安全主要参考的是 GB/T 34590 系列的推荐性国家标准（修改采用 ISO 26262 标准），该系列标准中将系统边界定义为车辆的车身。

但是，单车智能功能融合 C-V2X 技术后，涉及到 HV 与外部车辆或者设备的通信，导致功能安全分析的对象由单车变为车路协同系统，路侧子系统、云平台、无线信道等也应被纳入功能安全工程的范畴，给功能安全工程带来了新的挑战，例如：

- 1) **挑战一，功能安全分析方法论：**车路协同系统的部分功能涉及多方通信及交互，在进行功能安全工程时，系统的组成部分可能包括其他整车厂的车辆、路侧基础设施，或云平台等，目前暂无车路协同系统的功能安全分析方法；
- 2) **挑战二，无线信道安全机制：**车路协同系统的组成部分包括无线通信，在进行功能安全工程时，应考虑无线信道的处理和设计，但是，无线信道面临复杂快时变、高精度群发群收、通信对象不确定等技术挑战，应设计满足功能安全要求的无线通信机制。
- 3) **挑战三，功能安全认证及评价体系：**车路协同系统的功能涉及多个通信方，如何选择合适的功能安全等级的通信方进行合作，并在特定的功能安全等级下来实现融合功能，是需要解决的问题。

3.1.2. 融合功能的功能安全分析基本假设

由于本报告仅研究基于 C-V2X 直连通信技术实现的融合功能，因此，本报告中车路协同系统组成的逻辑示意图如图 6 所示：

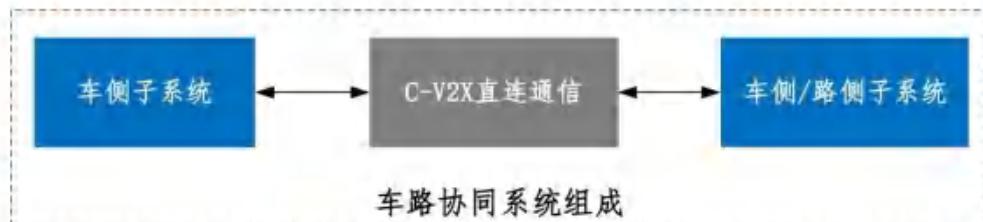


图 6 智能网联汽车协同系统组成逻辑示意图

在上述分析的基础上，本报告在进行后续功能安全分析时，进行了如下假设：

- 1) 针对挑战一：本报告功能安全分析时的系统边界为车路协同系统。由于目前没有统一的路侧基础设施安全等级划分方式，为了方便后续功能安全等级分析方法论的展示，本报告假设车路协同系统，以及路侧基础设施均参考 GB/T 34590 标准的功能安全分析方法论，功能安全等级也参考车侧功能安全完整性等级（ASIL，Automotive Safety Integrity Levels）的划分方式，从低到高分为无功能安全等级要求²、A~D。

注：本报告中的假设仅为方便展示功能安全分析的方法论，帮助了解不同应用的功能安全等级区别，车路协同系统、车侧、路侧基础设施的具体功能安全等级要求，需要后续相关工作完成后再行确定。

- 2) 针对挑战二：本报告参考 GB/T 34590 标准中通信总线的安全机制/措施对无线信道进行分析。根据 GB/T 34590.6 附录 D 中信息交换部分的主要故障和 GB/T 34590.5 附录 D 中通信总线部分的安全机制/措施对应的诊断覆盖率部分的内容，总结得到 C-V2X 无线信道的主要故障及安全机制/措施的对应关系如表 25 所示：

表 25 无线通信信道故障类型及 C-V2X 的安全机制/措施

故障类型	安全机制/措施（C-V2X 安全机制）
信息重复	帧计数器（消息编号）
信息丢失	帧计数器（消息编号）
信息延迟	超时监控（时间戳）
信息插入	信息冗余（设备 ID、签名）

² 来源：GBT 34590.1-第二版 道路车辆 功能安全 第一部分：术语 3.6

信息伪装或信息的不正确寻址	信息冗余（设备 ID、签名）
信息次序不正确	帧计数器（消息编号）
信息损坏	信息冗余（签名、证书校验）
从发送方传送到多个接收方的信息不对称	信息冗余（签名）
发送方发送的信息只能被部分接收方接收	帧计数器（消息编号）
通信信道阻塞	帧计数器（消息编号）
.....

根据 GB/T 34590.5 附录 D 的内容，信息冗余、帧计数器和超时监控的组合，可以声明达到高覆盖率。由于消息编号、时间戳、设备 ID、签名、证书校验等已是基于 C-V2X 直连通信标准的一部分，因此，基于 C-V2X 直连通信的无线通信信道可被视为已具备足够的安全机制/措施保障。对无线信道和通信双方的具体要求还需要根据功能应用场景进行具体分析。

- 3) 针对挑战三：本报告假设针对不同功能的应用场景，各通信方对自身的功能安全等级进行认证，在通信过程中交互各自的功能安全等级，并选择合适功能安全等级的通信方或基于对方的功能安全等级调整自身的安全措施以满足融合功能的功能安全等级需求来支持后续的通信和协作。

注：如何获知其他通信方的功能安全等级，以及如何基于其他通信方的功能安全等级等信息来调整自身的安全措施以满足相应的功能安全等级不在本报告的研究范围内。

本报告采用的分析方法是 GB/T 34590.3 中概念阶段的分析，具体步骤如下：

- 1) 相关项定义，详见附录 C；
- 2) 危害分析和风险评估（HARA, Hazard Analysis & Risk Assessment）；
- 3) 功能安全概念。

注：受篇幅和工作量所限，本报告不要求对特定场景进行详尽的功能安全分析，仅给出典型或最差条件下的功能安全分析，供行业参考使用。如需针对特定场景进行开发，还应按照 GB/T 34590 提供的方法论进行详尽的功能安全分析。

3.2 融合功能的功能安全分析场景的选取

考虑到当前产业的研究基础，本报告从第四章的融合功能中，选取了 4 个融合功能的典型应用进行功能安全分析：

- 1) 协同交通信号识别——绿灯起步提醒、十字路口闯红灯预警
- 2) 协同前向碰撞预警——交叉路口遮挡横穿预警
- 3) 协同自适应巡航控制——基于交通信号灯的自适应巡航控制

4) 协同自动紧急制动——交叉路口遮挡横穿制动

针对上述功能和应用，根据 V2V 和 V2I 两种不同的技术，本报告形成了 7 个典型应用场景，场景名称及功能信息如表 26 所示：

表 26 功能安全分析选取的融合功能的应用场景

功能名称	场景名称	融合增益	融合效果
协同交通信号识别	绿灯起步提醒	舒适性	提示
	十字路口闯红灯预警	安全性	预警
协同前向碰撞预警	基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警	安全性	预警
协同自适应巡航控制	基于交通信号灯的自适应巡航控制	舒适性	控制
协同自动紧急制动	基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动	安全性	控制

上述 7 个应用场景覆盖了不同融合增益、不同融合效果，以及 V2V 和 V2I 两种通信方式，希望通过上述场景的功能安全分析，探索出不同融合增益和融合效果下对车路协同系统、车侧子系统以及路侧子系统的功能安全的要求。

3.3 融合功能的功能安全分析示例

3.3.1. 协同交通信号识别

本报告针对协同交通信号识别功能选取两个应用场景进行研究：

- 1) 绿灯起步提醒
- 2) 十字路口闯红灯预警

上述应用场景主要是为了探究 C-V2X 技术，对不同融合效果的功能安全等級的需求。

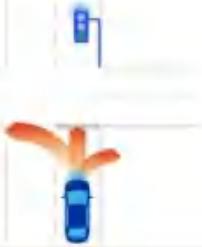
3.3.1.1. 绿灯起步提醒

3.3.1.1.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，绿灯起步提醒场景的相关项要求如表 27 所示：

表 27 绿灯起步提醒场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态
功能场景：

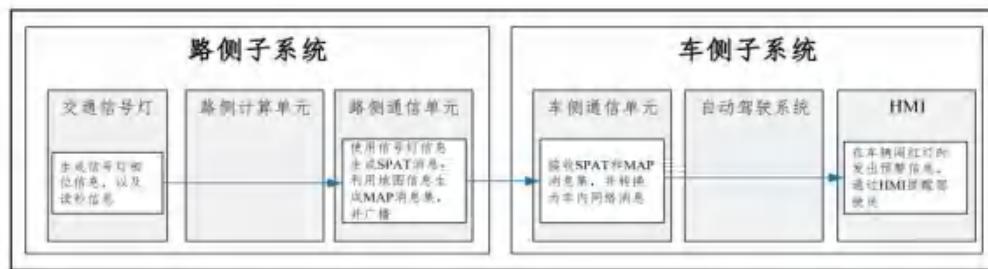


功能状态:
<ul style="list-style-type: none"> • HV 在交叉路口停车等待； • HV 可以通过路侧系统获取信号灯的实时信息； • HV 可以使用路侧提供的信号灯信息，在信号灯由红变绿时，在 HMI 上进行提示。
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境
功能约束:
<ul style="list-style-type: none"> • 天气情况在此场景下不作考虑； • HV 自车可以进行信息提示； • HV 通过路口包含直行、左转、右转的场景。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害
风险分析:
<ul style="list-style-type: none"> • 车辆不能及时直行、左转、右转起步。
f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力:
<ul style="list-style-type: none"> • HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 SPAT (Signal Phase and Timing Message, 信号灯消息) 和 MAP (地图) 消息获取实时的信号灯信号信息； • HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； • HV 可以根据信号灯相位信息，在 HMI 上进行相应的提示； • 路侧系统持续通过 RSU 广播前方信号灯信息。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 28 所示：

表 28 绿灯起步提醒场景的相关项边界定义

a) 相关项的要素
系统架构:
<ul style="list-style-type: none"> • 绿灯起步提醒场景的系统架构见 2.2.1。
c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能
<ul style="list-style-type: none"> • 对 HV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。
e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配
不同子系统功能的分配关系:



3.3.1.1.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 29 和表 30 所示：

表 29 绿灯起步提醒场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误发送绿灯起步提醒导致非预期的信息提示
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	/
可控性 C	C0，本车驾驶员仍然可正常观察路口情况，在红灯的情况下控制车辆停止。
严重度 S	/
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，则该功能无功能安全等级要求。

表 30 绿灯起步提醒场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	没有发送绿灯起步提醒导致车辆不能及时起步
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	/
可控性 C	/
严重度 S	S0，无伤害。实际车辆会延迟起步，不存在碰撞风险。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，该功能无功能安全等级要求。

3.3.1.1.3. 功能安全概念

基于上述分析，结合实际项目的开发经验，该场景无功能安全等级要求。

3.3.1.2. 十字路口闯红灯预警

3.3.1.2.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，十字路口闯红灯预警场景的相关项要求如表 31 所示：

表 31 十字路口闯红灯预警场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态
功能场景：

功能状态：
<ul style="list-style-type: none"> • HV 加速至目标车速后保持稳定行驶，HV 距离当前道路停止线纵向距离>100 m • HV 可以通过路侧系统获取信号灯的实时信息 • HV 可以通过这些信息计算出是否可以安全通过车道线 • HV 可以使用路侧提供的信号灯信息，在 TTC (Time To Collision, 碰撞时间) =(1.7 s-4 s)时给出预警
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境
功能约束：
<ul style="list-style-type: none"> • 天气情况在此场景下不作考虑； • HV 自车具备辅助驾驶等级车辆的执行能力，可以进行预警； • HV 通过路口包含直行、左转、右转的场景。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害
风险分析：
<ul style="list-style-type: none"> • 当前车速无法直行、左转、右转通过路口。
f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力：
<ul style="list-style-type: none"> • HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 SPAT 和 MAP 消息获取实时的信号灯信号信息； • HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； • HV 可以通过判断车道线和自车的距离来计算预警的时间； • 路侧系统持续通过 RSU 广播前方信号灯信息。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 32 所示：

表 32 十字路口闯红灯预警场景的相关项边界定义

a) 相关项的要素
系统架构：
<ul style="list-style-type: none"> • 基于 V2I 的十字路口闯红灯预警场景的系统架构见 2.2.2。
c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能

- 对 HV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。

e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配

不同子系统功能的分配关系：



3.3.1.2.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 33 和表 34 所示：

表 33 十字路口闯红灯预警场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误发送闯红灯预警信号导致的非预期预警
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景
暴露概率 E	/
可控性 C	/
严重度 S	S0，无伤害。实际没有侧向车辆的存在，不存在碰撞风险。本车驾驶员会更加注意前面路况，但不会采取紧急刹车，一般的预警制动设置较小的制动减速度，后车驾驶员来得及反应也没有碰撞风险。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，该功能无功能安全等级要求。

表 34 十字路口闯红灯预警场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	没有发送闯红灯预警信号导致闯红灯并发生碰撞
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害
暴露概率 E	/
可控性 C	C0，本车驾驶员仍然可正常观察路口情况，在红灯的情况下控制车辆停止
严重度 S	/
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，该功能无功能安全等级要求。

3.3.1.2.3. 功能安全概念

基于上述分析，结合实际项目的开发经验，该场景无功能安全等级要求。

3.3.2. 协同前向碰撞预警

本报告针对协同前向碰撞预警功能选取两个应用场景进行研究：

- 1) 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警
- 2) 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警

上述两个应用场景主要是为了探究不同车路协同参与方，对场景功能安全等级的影响。

3.3.2.1. 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警

3.3.2.1.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警应用场景的相关项要求如表 35 所示：

表 35 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态
功能场景： 
功能状态： <ul style="list-style-type: none">• HV 是 L2 车辆，行驶在最右侧车道，行驶速度 60 km/h（此场景下的典型值或最差值），距离与 RV 的潜在碰撞点超过 100 m，左侧车道有两辆车会遮挡自车视野，横穿车辆 RV 以 20 km/h 匀速行驶，两车有碰撞风险；• HV 可以通过 RV 发送的 BSM (Basic Safety Message, 基本安全消息) 获取 RV 的实时位置、速度、加速度等目标信息，并通过这些信息计算出与 RV 的碰撞风险；• HV 可以使用 RV 发送的感知信息，在 $TTC=(1.7 \text{ s}-4 \text{ s})$ 时给出碰撞预警。
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境
功能约束： <ul style="list-style-type: none">• 信号灯在此场景下不作考虑（包括信号灯损坏的情况）；• 天气情况在此场景下不作考虑；• 交通参与者仅考虑车辆，但需注意，其他交通参与者可能会造成更高的功能安全要求；• 此场景属于城市道路场景，可以发生在十字、丁字等类型的路口，车道数量

<p>不作限制；</p> <ul style="list-style-type: none"> 此场景不考虑城市高架路、高速等道路情况； 此场景 HV 可能在 0-60 km/h 下行驶，功能在 0-60 km/h 均可触发。 <p>e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害</p> <p>风险分析：</p> <p>HV 保持 60 km/h 的速度行驶，当自车传感器感知到横穿的 RV 时，由于时间过晚，制动力不足造成碰撞</p>
<p>f) 执行器的能力，或其假定的能力</p> <p>系统能力：</p> <ul style="list-style-type: none"> HV 具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的感知能力（至少包括前雷达，前摄像头），但 RV 不一定能够感知到 RV； HV 具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的执行能力，可以进行预警、制动等纵向控制； HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 BSM 消息获取实时的感知目标信息； HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； HV 拥有 ADAS 系统，可以通过感知获取周围环境目标信息，进行当前状态的判断，得知与每个目标的碰撞关系，并且得到合适的轨迹规划； HV 可以通过获取的 BSM 消息，将其转换成车侧坐标系下的目标信息； HV 可以通过合理的感知融合策略，融合车侧感知信息和车侧接收到的目标信息； HV 可以通过判断横穿车辆与自车的碰撞关系来计算预警的时间（数值如上）； RV 可以根据获取的信息生成 BSM 消息； RV 可以将生成的信息通过 C-V2X 广播到空口。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 36 所示：

表 36 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的相关项边界定义

<p>a) 相关项的要素</p> <p>系统架构：</p> <ul style="list-style-type: none"> 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的系统架构见 2.2.2。 <p>c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能</p> <ul style="list-style-type: none"> 对 HV 或 RV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。 <p>e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配</p> <p>不同子系统功能的分配关系：</p> <pre> graph LR subgraph RV_subsystem [RV 车侧子系统] ECU_RV[电子控制单元] --> LKU_RV[车道保持单元] LKU_RV --> LDWS_RV[车道偏离预警系统] end subgraph HV_subsystem [HV 车侧子系统] LKU_HV[车道保持单元] <--> ASS_HV[主动转向系统] ASS_HV --> HMI_HV[HMI] end ECU_RV --> LKU_RV LKU_RV --> LDWS_RV LDWS_RV --> LKU_HV LKU_HV --> ASS_HV ASS_HV --> HMI_HV </pre>

3.3.2.1.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 37 和表 38 所示：

表 37 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误识别目标车辆 RV 后造成的非预期预警
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	不分析
可控性 C	不分析
严重度 S	S0，无伤害。实际没有侧向车辆的存在，不存在碰撞风险。本车驾驶员会更加注意前面路况，但不会采取紧急刹车，一般的预警制动（可能会有用于提醒驾驶员的点刹措施）设置较小的制动减速度，后车驾驶员来得及反应也没有碰撞风险。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，该功能无功能安全等级要求。

表 38 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	漏检目标车辆 RV 造成不能实现预警
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	E1，信号灯没有安装完毕或损坏，并且有遮挡（假设 ODD 仅考虑城市路口）。
可控性 C	C2，RV 和 HV 驾驶员的可控性为一般可控。
严重度 S	S2 或 3，严重伤害或致命伤害，60km/h 侧面碰撞。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 总和小于 7 时，该功能无功能安全等级要求。

本示例中的“严重度”有两种评估方法：

- ◆ 一种是按照 GB/Z 42285-2022 4.2.2.2 中的碰撞前后的速度差值 (v) 来辅助评估，本示例中对应的最大速度差

$$\Delta v = \frac{1}{2}(v_C - v_H) = 60/2 = 30 \text{ km/h}$$

依据 GB/Z 42285 表 B.1 中后向碰撞速度范围，S=1 或 S=2，此处考虑最差场景，取 S=2。

- ◆ 另一种是按照两车的相对速度差，详见附录 E，本示例中的最大速度差为 60km/h，依据 GB/Z 42285 表 B.1 中后向碰撞速度范围，S=3。

在实际研发过程中，上述两种方法都可适用于“严重度”的评价，从而导致

行业内针对该功能的功能安全等级有不同级别的要求。

3.3.2.1.3. 功能安全概念

基于上述分析，结合实际项目的开发经验，在基于 V2V 的交叉口遮挡横穿预警场景下，车车协同系统的安全目标为：错误识别成红灯后造成的非预期舒适性制动，无功能安全等级要求。

车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 39 所示：

表 39 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景不同子系统的功能安全等级

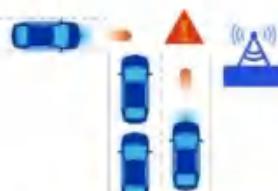
系统名称	安全目标	功能安全等级
RV 车侧子系统	避免无法发送本车信息	无功能安全等级要求
HV 车侧子系统	避免预警驾驶员的功能丢失	无功能安全等级要求

3.3.2.2. 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警

3.3.2.2.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警应用场景的相关项要求如表 40 所示：

表 40 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态
功能场景： 
功能状态： <ul style="list-style-type: none">HV 是 L2 车辆，行驶在最右侧车道，行驶速度 60 km/h（此场景下的典型或最差值），距离与 RV 的潜在碰撞点超过 100 m，左侧车道有两辆车会遮挡自车视野，横穿车辆 RV 以 20 km/h 匀速行驶，两车有碰撞风险；HV 可以通过路侧感知系统获取 RV 的实时位置、速度、加速度等目标信息，并通过这些信息计算出与 RV 的碰撞风险；HV 可以使用路侧提供的感知信息，在 $TTC=(1.7 \text{ s}-4 \text{ s})$ 时给出碰撞预警。
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境
功能约束： <ul style="list-style-type: none">信号灯在此场景下不作考虑（包括信号灯损坏的情况）；天气情况在此场景下不作考虑；

<ul style="list-style-type: none"> 交通参与者仅考虑车辆，但需注意，其他交通参与者可能会造成更高的功能安全要求； 此场景属于城市道路场景，可以发生在十字、丁字等类型的路口，车道数量不作限制； 此场景不考虑城市高架路、高速等道路情况； 此场景 HV 可能在 0-60 km/h 下行驶，功能在 0-60 km/h 均可触发。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害
风险分析：
<ul style="list-style-type: none"> HV 保持 60 km/h 行驶，当自车传感器感知到横穿的 RV 时，由于时间过晚，制动力不足造成碰撞
f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力：
<ul style="list-style-type: none"> HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的感知能力（至少包括前雷达、前摄像头），但不一定能感知到 RV； HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的执行能力，可以进行预警、制动等纵向控制； HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 RSM（Road Side Message，路侧消息）/SSM（Sensor Sharing Message，感知共享消息）消息获取实时感知目标信息； HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； HV 拥有 ADAS 系统，可以通过感知获取周围环境目标信息，并进行当前状态的判断，得知与每个目标的碰撞关系，并且得到合适的轨迹规划； HV 可以通过获取的路侧感知信息，将其转换成车侧坐标系下的感知信息； HV 可以通过合理的感知融合策略，融合车侧和路侧的感知信息； HV 可以通过判断横穿车辆与自车的碰撞关系来计算预警的时间； 路侧子系统可以通过路侧的传感器获取物理世界原始信息； 路侧子系统可以通过路侧融合单元融合生成路侧目标信息； 路侧子系统可以将这些融合结果通过 C-V2X 广播到空口。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 41 所示：

表 41 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警场景的相关项边界定义

a) 相关项的要素
系统架构：
<ul style="list-style-type: none"> 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警场景的系统架构见 2.2.2。
c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能
<ul style="list-style-type: none"> 对 HV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。
e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配
不同子系统功能的分配关系：



3.3.2.2.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 42 和表 43 所示：

表 42 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误识别目标车辆 RV 后造成的非预期预警
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	不分析
可控性 C	不分析
严重度 S	S0，无伤害。实际没有侧向车辆的存在，不存在碰撞风险。本车驾驶员会更加注意前面路况，但不会采取紧急刹车，一般的预警制动（可能会有用于提醒驾驶员的点刹措施）设置较小的制动减速度，后车驾驶员来得及反应也没有碰撞风险。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，该功能无功能安全等级要求。

表 43 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	漏检目标车辆 RV 造成不能实现预警
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	E1，信号灯没有安装完毕或损坏，并且有遮挡（假设 ODD 仅考虑城市路口）。
可控性 C	C2，RV 和 HV 驾驶员的可控性为一般可控。
严重度 S	S2 或 3，严重伤害或致命伤害，60km/h 侧面碰撞。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 总和小于 7 时，该功能无功能安全等级要求。

3.3.2.2.3. 功能安全概念

基于上述分析，结合实际项目的开发经验，在基于 V2I 的交叉口遮挡横穿预警场景下，车路协同系统的安全目标为：错误识别成红灯后造成的非预期舒适性制动，无功能安全等级要求。

车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 44 所示：

表 44 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警场景不同子系统的功能安全等级

系统名称	安全目标	功能安全等级
路侧子系统	避免无法识别的目标车辆信息丢失	无功能安全等级要求
车侧子系统	避免无法预警驾驶员的功能丢失	无功能安全等级要求

3.3.3. 协同自适应巡航控制

本报告针对协同自适应巡航控制功能选取一个应用场景进行研究：

1) 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制

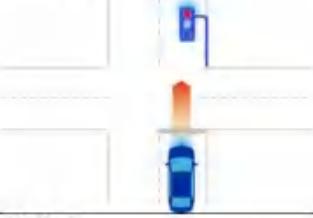
上述应用场景主要是为了探究基于 C-V2X 技术，提升现有功能舒适性的应用场景，对功能安全等级的需求。

3.3.3.1. 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制

3.3.3.1.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景的相关项要求如表 45 所示：

表 45 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态
功能场景： 
功能状态： <ul style="list-style-type: none">HV 在城市工况中开启协同自适应巡航控制功能；HV 前方即将通过信号灯路口；如果预估 HV 在预置速度以下都会在停止线遇到红灯，HV 会以舒适性减速停止到停止线前；如果预估 HV 可以在停止线前遇到绿灯，HV 会进行调速舒适通过路口。
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境
功能约束： <ul style="list-style-type: none">天气情况在此场景下不作考虑；交通参与者仅考虑车辆，但需注意，其他交通参与者可能会造成更高的功能安全要求；

<ul style="list-style-type: none"> 此场景属于城市道路场景，可以发生在十字、丁字等类型的路口，车道数量不作限制； 此场景不考虑城市高架路、高速等道路情况； HV 通过路口包含左转、右转的场景。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害
风险分析：
<ul style="list-style-type: none"> 当前车速无法直行、左转、右转通过路口。
f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力：
<ul style="list-style-type: none"> HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的感知能力（至少包括前雷达、前摄像头）； HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的执行能力，可以进行预警、制动等纵向控制； HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 MAP/SPAT 消息获取信号灯信息； HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息，确定自车所在车道； HV 可以根据自车所在车道，确定相关的交通灯和倒计时； 路侧子系统持续通过 RSU 广播前方信号灯信息。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 46 所示：

表 46 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景的相关项边界定义

a) 相关项的要素
系统架构：
<ul style="list-style-type: none"> 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景的系统架构见 2.2.3。
c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能
<ul style="list-style-type: none"> 对 HV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。
e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配
不同子系统功能的分配关系：
<pre> graph LR subgraph RSS [Road Side System] direction TB TL[Traffic Light] --- RCU1[Road Side Computer Unit] RCU1 --- RSCU[Road Side Communication Unit] RSCU --> VSCU[Vehicle Side Communication Unit] end subgraph VSS [Vehicle Side System] direction TB VSCU --- ADS[Autonomous Driving System] end TL --> RCU1 RCU1 --> RSCU RSCU --> VSCU VSCU --> ADS ADS --> RSCU </pre>

3.3.3.1.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 47 和表 48 所示：

表 47 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误识别成红灯后造成的非预期舒适性制动。
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	E4, 通过红绿灯路口是高概率事件。
可控性 C	C1, 本车舒适性制动, 后车驾驶员基本有能力避免碰撞。
严重度 S	S1, 舒适性制动最大风险是轻微追尾。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注 1: 错误的紧急制动由外部措施避免 (制动系统限制最大减速度)

注 2: 按照 GB/T 34590 的要求, S、E、C 总和小于 7 时, 该功能无功能安全等级要求。表 48 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景车路协同系统的

HARA (2)

危害事件 2	漏检红灯信息造成不能实现舒适性制动
分析说明	仅需考虑预期使用场景, 功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	/
可控性 C	C0, 本车驾驶员仍可正常观察路口情况, 在红灯的情况下控制车辆停止。
严重度 S	/
功能安全等级	无功能安全等级要求

注: 按照 GB/T 34590 的要求, S、E、C 任一项为 0 时, 该功能无功能安全等级要求。

3.3.3.1.3. 功能安全概念

基于上述分析, 结合实际项目的开发经验, 在基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景下, 车路协同系统的安全目标为: 错误识别成红灯后造成的非预期舒适性制动, 无功能安全等级要求。

车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 49 所示:

表 49 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景不同子系统的功能安全等级

系统名称	安全目标	功能安全等级
路侧子系统	避免错误检测为红灯信息	无功能安全等级要求
车侧子系统	避免错误检测为红灯信息	无功能安全等级要求

3.3.4. 协同自动紧急制动

本报告针对协同自动紧急制动功能选取两个应用场景进行研究:

- 1) 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动

2) 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动

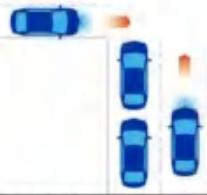
上述两个应用场景主要是为了探究不同车路协同参与方，对相同场景的功能安全等级的影响。

3.3.4.1. 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动

3.3.4.1.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动应用场景的相关项要求如表 50 所示：

表 50 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态
功能场景： 
功能状态： <ul style="list-style-type: none">HV 是 L2 车辆，行驶在最右侧车道，行驶速度 30 km/h（此场景下的典型值或最差值），距离与 RV 的潜在碰撞点超过 100 m，左侧车道有两辆车会遮挡自车视野，横穿车辆 RV 以 20 km/h 匀速行驶，两车有碰撞风险HV 可以通过 RV 发送的 BSM 消息等获取 RV 的实时位置、速度、加速度等目标信息，并通过这些信息计算出与 RV 的碰撞风险HV 可以使用 RV 发送的 BSM 消息，在 $TTC=(1.7 \text{ s}-4 \text{ s})$ 时给出碰撞预警在判断 HV 不足以避免碰撞时，采取紧急制动（经验值 $-6 \text{ m/s}^2 \sim -9 \text{ m/s}^2$）
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境 功能约束： <ul style="list-style-type: none">信号灯在此场景下不作考虑（包括信号灯损坏的情况）；天气情况在此场景下不作考虑；交通参与者仅考虑车辆，但需注意，其他交通参与者可能会造成更高的功能安全要求；此场景属于城市道路场景，可以发生在十字、丁字等类型的路口，车道数量不作限制；此场景不考虑城市高架路，高速等道路情况；此场景 HV 可能在 0-30 km/h 下行驶，功能在 0-30 km/h 均可触发。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害 风险分析： <ul style="list-style-type: none">HV 保持 30 km/h 行驶，当自车传感器感知到横穿的 RV 时，不足以制动而造成碰撞。

f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力：
<ul style="list-style-type: none"> • HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的感知能力（至少包括前雷达、前摄像头），但不一定能够感知到 RV； • HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的执行能力，可以进行预警、制动等纵向控制； • HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 BSM 消息获取实时的目标信息； • HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； • HV 拥有 ADAS 系统，可以通过感知获取周围环境目标信息，并进行当前状态的判断，得知与每个目标的碰撞关系，并且得到合适的轨迹规划； • HV 可以通过获取的 BSM 消息，将其转换成车侧坐标系下的目标信息； • HV 可以通过合理的感知融合策略，融合车侧感知信息和车侧接收到的目标信息； • HV 可以通过判断制动状态，预警状态，目标状态的实时情况来采取制动策略； • RV 可以通过定位模块和车载设备获取车辆的实时位置、速度、加速度等信息； • RV 可以根据获取的信息生成 BSM 消息； • RV 可以将生成的信息通过 C-V2X 广播到空口。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 51 所示：

表 51 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景的相关项边界定义

a) 相关项的要素
系统架构：
<ul style="list-style-type: none"> • 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的系统架构见 2.2.3。
c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能
<ul style="list-style-type: none"> • 对 HV 或 RV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。
e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配
不同子系统功能的分配关系：
<pre> graph LR subgraph RV_VSS [RV车载子系统] ECU_RV[电子控制单元 利用GNSS模块和车身设备产生的数据生成自车的动态行驶数据包信息和位置信息] VCU_RV[车侧通信单元 根据接收到的位置信息和动态行驶数据生成BSM消息并广播] ECU_RV --> VCU_RV end subgraph HV_VSS [HV车载子系统] ECU_HV[车侧通信单元 接收BSM消息，并转换为车内网络消息(e.g., CAN-FD, ETHERNET)] ADS_HV[自动驾驶系统 将RV的目标信息进行车侧的时间与空间同步 将RV的目标信息在车侧进行融合 在HV与RV存在碰撞风险时，自动对车辆执行制动操作，避免碰撞] ECU_HV --> ADS_HV end VCU_RV --> ECU_HV ADS_HV --> Braking[在HV与RV存在碰撞风险时，自动对车辆执行制动操作，避免碰撞] </pre>

3.3.4.1.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体

如表 52 和表 53 所示：

表 52 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误识别目标车辆 RV 后造成的非预期制动，甚至全力制动
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	E3，不是所有后车驾驶员都能和 HV 保持安全车距。
可控性 C	C3，部分驾驶员保持安全车距，大部分情况安全车距不够。
严重度 S	S2 或 S3，HV 系统采取紧急刹车，会和后车有碰撞风险。最大速度变化是 60km/h (考虑误触发)。
功能安全等级	B 或 C

表 53 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	漏检目标车辆 RV 造成不能实现制动
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害
暴露概率 E	E1，信号灯没有安装完毕或损坏，并且有遮挡（假设 ODD 仅考虑城市路口）
可控性 C	C2，RV 和 HV 驾驶员的可控性为一般可控
严重度 S	S2 或 S3，严重伤害或致命伤害，最大 60km/h 速度差 HV 和 RV 侧面碰撞
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 总和小于 7 时，该功能无功能安全等级要求。

3.3.4.1.3. 功能安全概念

基于上述分析，结合实际项目开发经验，在基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景下，车车协同系统的安全目标可包含两个：

安全目标一：避免由于错误识别目标车辆带来的非预期制动，功能安全等级为 B 或 C；

安全目标二：避免由于丢失识别目标车辆带来的避险制动丢失，无功能安全等级要求。

针对目标一，车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 54 所示：

表 54 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景不同子系统功能安全等级 (1)

系统名称	安全目标	功能安全等级
RV 车侧子系统	RV 车侧子系统避免错误的发出目标车辆信息	A 或 B
HV 车侧子系统	HV 车侧子系统避免在限制范围内错误的非预期制动	A 或 B
	HV 制动系统限制制动的减速度或者制动时	B 或 C

间	
---	--

注：在 HARA 过程中，假设已设定安全目标如：本功能造成的制动减速度或制动时间应在一定限值内。通常，由车侧制动系统承接该安全目标并保证限值范围满足要求。在此前提条件下，由路侧和车侧子系统承接的安全目标变为：避免由于错误识别目标车辆带来的已设定安全目标中限值范围内的非预期制动。由于存在已设定安全目标中范围的限制，误刹车力度减小，后车避撞反应时间增加，从而使可控度增加，功能安全等级可以相应降低。

针对目标二，车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 55 所示：

表 55 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景不同子系统功能安全等级（2）

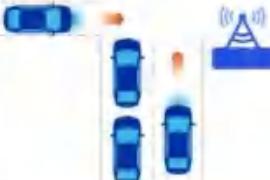
系统名称	安全目标	功能安全等级
RV 车侧子系统	避免无法发送本车信息	无功能安全等级要求
HV 车侧子系统	避免无法预警驾驶员的避险制动功能丢失	无功能安全等级要求

3.3.4.2. 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动

3.3.4.2.1. 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动应用场景的相关项要求如表 56 所示：

表 56 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态	
功能场景：	
	
功能状态：	
<ul style="list-style-type: none"> • HV 是 L2 车辆，行驶在最右侧车道，行驶速度 30 km/h（此场景下的典型或最差值），距离与 RV 的潜在碰撞点超过 100 m，左侧车道有两辆车会遮挡自车视野，横穿车辆 RV 以 20 km/h 匀速行驶，两车有碰撞风险 • HV 可以通过路侧感知系统获取 RV 的实时位置、速度、加速度等目标信息，并通过这些信息计算出与 RV 的碰撞风险 • HV 可以使用路侧提供的感知信息，在 $TTC=(1.7 \text{ s}-4 \text{ s})$ 时给出碰撞预警 • 在判断 HV 存在碰撞风险时，采取紧急制动（经验值 $-6 \text{ m/s}^2 \sim -9 \text{ m/s}^2$） 	
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境	
功能约束：	
<ul style="list-style-type: none"> • 信号灯在此场景下不作考虑（包括信号灯损坏的情况）； 	

<ul style="list-style-type: none"> 天气情况在此场景下不作考虑； 交通参与者仅考虑车辆，但需注意，其他交通参与者可能会造成更高的功能安全要求； 此场景属于城市道路场景，可以发生在十字、丁字等类型的路口，车道数量不作限制； 此场景不考虑城市高架路高速等道路情况； 此场景 HV 可能在 0-30 km/h 下行驶，功能在 0-30 km/h 均可触发。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害
风险分析：
<ul style="list-style-type: none"> HV 保持 30 km/h 行驶，当自车传感器感知到横穿的 RV 时，不足以制动而造成碰撞。
f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力：
<ul style="list-style-type: none"> HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的感知能力（至少含前雷达、前摄像头），但不一定能感知到 RV； HV 自车具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的执行能力，可以进行预警、制动等纵向控制； HV 拥有 C-V2X 通信模块，可使用直连通信，通过 RSM/SSM 消息获取实时感知目标信息； HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； HV 拥有 ADAS 系统，可以通过感知获取周围环境目标信息，并进行当前状态的判断，得知与每个目标的碰撞关系，并且得到合适的轨迹规划； HV 可以通过获取的路侧感知信息，将其转换成车侧坐标系下的感知信息； HV 可以通过合理的感知融合策略，融合车侧和路侧的感知信息； HV 可以通过判断横穿车辆与自车的碰撞关系来计算预警的时间； HV 可以通过判断制动状态、预警状态、目标状态的实时情况来采取制动策略； 路侧子系统可以通过路侧的传感器获取物理世界原始信息； 路侧子系统可以通过路侧融合单元融合生成路侧目标信息； 路侧子系统可以将这些融合结果通过 C-V2X 广播到空口。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 57 所示：

表 57 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景的相关项边界定义

a) 相关项的要素
系统架构：
<ul style="list-style-type: none"> 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动场景的系统架构见 2.2.3。
c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能
<ul style="list-style-type: none"> 对 HV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 D。
e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配
不同子系统功能的分配关系：



3.3.4.2.2. HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA 如表 58 和表 59 所示：

表 58 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误识别目标车辆 RV 后造成的非预期制动，甚至全力制动
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	E3，不是所有后车驾驶员都能和本车 (HV) 保持安全车距。
可控性 C	C3，部分驾驶员保持安全车距，大部分情况安全车距不够。
严重度 S	S2 或 S3，本车 (HV) 系统采取紧急刹车，会和后车有碰撞风险。最大速度变化是 60km/h (考虑误触发)。
功能安全等级	B 或 C

表 59 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	漏检目标车辆 RV 造成不能实现制动
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	E1，信号灯没有安装完毕或损坏，并且有遮挡（假设 ODD 仅考虑城市路口）。
可控性 C	C2，RV 和 HV 驾驶员的可控性为一般可控。
严重度 S	S2 或 S3，严重伤害或致命伤害，最大 60km/h 速度差 HV 和 RV 侧面碰撞。
功能安全等级	无功能安全等级要求

3.3.4.2.3. 功能安全概念

基于上述分析，结合实际项目的开发经验，在基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景下，车路协同系统的安全目标可包含两个：

安全目标一：避免由于错误识别目标车辆带来的非预期制动，功能安全等级为 B 或 C；

安全目标二：避免由于丢失识别目标车辆带来的避险制动丢失，无功能安全

等级要求。

车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 60 所示：

表 60 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景不同子系统的功能安全等级 (1)

系统名称	安全目标	功能安全等级
路侧子系统	路侧子系统避免错误地发出目标车辆信息	A 或 B
车侧子系统	车侧子系统避免错误的非预期制动	A 或 B
	制动系统限制制动的减速度或者制动时间	B 或 C

车路协同系统的不同子系统的功能安全等级如表 61 所示：

表 61 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动场景不同子系统的功能安全等级 (2)

系统名称	安全目标	功能安全等级
路侧子系统	路侧子系统避免错误地发出目标车辆信息	无功能安全等级要求
车侧子系统	避免无法预警驾驶员的避险制动功能丢失	无功能安全等级要求

3.4 小结

本部分针对车路协同系统功能安全分析过程中的三大挑战，本章进行了三个基本假设。在第二章的基础上，选取了 4 个典型融合功能，进一步按照 V2V 和 V2I 的两种技术方案进行区分，形成 7 个应用场景。基于三大基本假设，对 7 个应用场景进行了功能安全概念阶段的分析，上述 7 个应用场景的功能安全等级总结如表 62 所示。本项目中车路协同系统和路侧子系统参考汽车的功能安全方法论和功能安全等级进行分析，但是不同等级的要求尚未明确定义，后续还需进一步研究适用于车路协同系统和路侧基础设施的功能安全方法论。

表 62 典型融合功能的功能安全等级分析情况汇总

功能名称	协同交通信号识别	协同前向碰撞预警	协同自适应巡航控制	协同自动紧急制动
场景示意图				
场景名称	绿灯起步提醒	十字路口闯红灯预警	基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警	基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动
融合增益	舒适性	安全性	舒适性	安全性
融合效果	提示	预警	控制	控制
功能安全等级-车路协同系统	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	B/C
功能安全等级-HV 车侧子系统	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	A/B
功能安全等级-RV 车侧子系统	—	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	—
功能安全等级-一路侧子系统	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	无功能安全等级要求	A/B

注：由于车侧和路侧子系统的进一步的分解与产品的方案强相关，行业内暂未就方案达成共识，因此，本报告未具体到子系统内部的功能安全等级分析。

第四章 总结

本报告对 C-V2X 与单车智能融合应用进行了研究和探索，总结单车智能和 C-V2X 技术的产业发展现状，分析了单车智能局限性和 C-V2X 技术特点，研究形成融合价值较高的应用清单，针对不同融合效果的融合功能提出了三种不同的系统架构方案，供行业参考。在车路协同系统缺乏功能安全方法论的背景下，针对融合功能，提出一种面向车路协同系统的功能安全分析的方法，对典型场景进行功能安全分析，为行业车路协同系统功能安全分析提供解决思路。为加快推动 C-V2X 与单车智能融合应用的快速发展，围绕产业应用、标准化、测试评价等方面提出下一步发展建议：

一是分阶段推进融合应用的前装量产部署。不同类别的融合功能的发展阶段和安全需求不同，前装量产部署的节奏也不同。提示类融合功能可不介入智能驾驶系统，独立在 HMI 上展示，一般无功能安全等级要求，已具备量产条件，建议通过政策引导、商业化评价等措施推广部署；预警类融合功能需要与智能驾驶系统进行决策或感知层面的融合，一般无功能安全等级要求，现已具备融合条件，应尽快开展融合研究和产品研制；控制类融合功能需要接入智能驾驶系统，对智能驾驶系统的感知、决策和控制能力进行改进，还需要进一步完善标准体系和技术验证，结合不同功能分阶段逐步推进融合应用。

二是推动融合功能应用的全方位标准化工作。明确融合功能的功能定义和技术要求，修订现有标准或制定新标准，研究两种技术结合后对特定功能定义及技术要求等标准的影响。建立面向车路协同系统和路侧系统的功能安全方法论，完善功能安全标准体系，在开放共享的环境下，设计功能安全等级及认证/互认体系的新范式。

三是建立融合功能的测试认证体系。建立面向 C-V2X 与单车智能融合功能的测试工具链和测试场景库，研发搭建要素齐全、完整可靠的软硬件测试系统，丰富构建高质量、高可用的测试场景库。建立融合功能评价方法和认证体系，根据不同融合功能场景需求，兼顾功能的安全性与实用性，研究明确合理的技术指标和评测方法，建立面向量产商用产品的测试认证体系。建立适应不同应用的路侧功能、网络功能等的功能安全评级评定，明确各产品的功能性能边界，为产品和

应用商用奠定基础。

附录 A 典型单车智能功能定义及基本原理

从功能开发角度考虑,由于研究对象、系统架构和算法的不同,通常可将基于单车智能的自动驾驶功能分为主动安全、行车和泊车三大类。本报告按照主动安全、行车和泊车三大类别,选取典型功能进行研究,具体功能清单如表 A.1 所示:

表 A.1 典型功能分析清单

主动安全类	行车类	泊车类
前向碰撞预警	自适应巡航控制	自动泊车辅助
自动紧急制动	全速自适应巡航控制	遥控泊车辅助
盲区监测	交通拥堵辅助	远程泊车
变道碰撞预警	高速公路辅助	记忆泊车
车门开启预警	交通拥堵自动驾驶	自主代客泊车
交通标志识别	高速公路自动驾驶	
智能限速提示	无人驾驶出租车	
智能限速控制		

针对上述典型功能,梳理功能定义和基本原理,具体如表 A.2~表 A.4 所示:

表 A.2 典型功能基本原理 (主动安全)

典型功能	功能定义	基本原理
前向碰撞预警	实时监测车辆前方行驶环境,并在可能发生在前向碰撞危险时发出警告信息。	采用雷达或前视摄像头探测前方车辆,当与前车存在碰撞危险时,先发出警告信息,若用户没有采取制动或制动不足,系统自动刹车,以减缓或避免碰撞。
自动紧急制动	实时监测车辆前方行驶环境,并在可能发生在碰撞危险时自动启动车辆制动系统使车辆减速,以避免或减轻碰撞后果。	
盲区监测	实时监测驾驶员视野盲区,并在其盲区内出现其他道路使用者时发出提示或警告信息。	雷达监测后视盲区,盲区内有车辆或侧后方有快速逼近的车辆时,向驾驶员发出警告。
变道碰撞预警	在车辆变道过程中,实时监测相邻车道,并在车辆侧方和/或侧后方出现可能与本车发生碰撞危险的其他道路使用者时发出警告信息。	
车门开启预警	在停车状态即将开启车门时,监测车辆侧方及侧后方的其他道路使用者,并在可能因车门开启而发生碰撞危险时发出警告信息。	
交通标志识别	自动识别车辆行驶路段的交通标志并发出提示信息。	利用前视摄像头等识别常见的交通标志。包括从

智能限速示	自动获取车辆当前条件下应遵守的限速信息并实时监测车辆行驶速度,当车辆行驶速度不符合或即将超出限速范围的情况下发出提示信息。	自然场景中提取交通标志,并把检测出来的交通标志的内容识别出来。
智能限速控制	自动获取车辆当前条件下应遵守的限速信息,实时监测并辅助控制车辆行驶速度,以使其保持在限速范围之内。	

表 A.3 典型功能基本原理(行车)

典型功能	功能定义	基本原理
自适应巡航控制	车辆行驶时,帮助驾驶员控制车速、过弯减速,或跟随前车加速/减速等,减轻驾驶负担。	采用中距离雷达或融合前视摄像头探测前方车辆,通过 EMS 或 ESP 控制本车速度,并保持与前车安全的跟车距离。
全速自适应巡航控制	实时监测车辆前方行驶环境,在设定的速度范围内自动调整行驶速度并具有减速至停止及从停止状态自动起步的功能,以适应前方车辆和/或道路条件等引起的驾驶环境变化。	采用多传感器融合技术,融合毫米波雷达、摄像头和导航地图,感知行驶道路环境,控制车辆自动加减速及转向,将车辆保持在车道中或跟随前方目标车轨迹自动驾驶。
交通拥堵辅助	在车辆低速通过交通拥堵路段时,实时监测车辆前方及相邻车道行驶环境,并自动对车辆进行横向和纵向控制,其中部分功能的使用需经过驾驶员的确认。	结合高精度定位信息、驾驶员状态检测信息,在封闭的结构化道路上且驾驶员注意力集中时,基于摄像头识别到的车道线信息进行巡航目标车速、跟车时距进行加减速控制。
高速公路辅助	在封闭的结构化道路,实时监测车辆前方及相邻车道行驶环境,并自动对车辆进行横向和纵向控制,并自动按照驾驶员设定的巡航车速、跟车距离控制车辆加速、减速并始终维持在车道内行驶,驾驶员可脱手,不可脱眼。	采用多传感器融合技术,感知行驶道路环境,控制车辆自动加减速及转向,将车辆保持在车道中或跟随前方目标车轨迹自动驾驶,驾驶员保持可接管状态。
交通拥堵自动驾驶	在车辆低速通过交通拥堵路段时,实时监测车辆前方及相邻车道行驶环境,并自动对车辆进行横向和纵向控制,驾驶员可脱手、脱眼,脱离持续的时间随车速变化。	采用多传感器融合技术,感知行驶道路环境,自动控制车辆在高速路上行驶,驾驶员保持可接管状态。
高速公路自动驾驶	在封闭的结构化道路,实时监测车辆前方及相邻车道行驶环境,并自动对车辆进行横向和纵向控制,驾驶员可脱手、脱眼。	采用多传感器融合技术,感知行驶道路环境,自动控制车辆在高速路上行驶,驾驶员保持可接管状态。

无人驾驶出租车	通过运营平台对无人驾驶出租车进行调度，实现在特定区域内 A 点到 B 点的全自动驾驶，驾驶员在整个乘车过程中不需要关注车辆的驾驶行为。	为无人驾驶出租车进行全局路径规划路线，车辆再结合高精度定位以及多传感器融合技术，形成局部路径规划，并最终到达目的地。
---------	---	--

表 A.4 典型功能基本原理（泊车）

典型功能	功能定义	基本原理
自动泊车辅助	驾驶员在车内，系统主动控制车辆，自动泊入或泊出目标车位，泊车过程驾驶员可释放双手双脚；可通过钥匙遥控车辆进入垂直车位。	采用安装在车辆四周的超声波传感器探测障碍物，在车辆前行过程中自动搜索车位，驾驶员按照提示激活泊车后无需进行任何操作，系统主动控制车辆，自动泊入或泊出目标车位。
遥控泊车辅助	驾驶员在车外，系统主动控制车辆，自动泊入或泊出目标车位；可实现 20 米范围低速寻找车位泊入，遥控进出垂直车位。	采用环视摄像头和超声波传感器融合探测技术，在车辆前行过程中自动检测车位线、行人、车辆等，驾驶员按照提示激活泊车系统后只需监控泊车过程，无需进行任何操作，系统主动控制车辆，自动泊入或泊出目标车位。
远程泊车	驾驶员在车外，确认满足泊车要求后，下达泊车指令后，驾驶员可离开，无需监控泊车过程。驾驶员远程启动车辆，通过远程 360 影像确认车辆周围环境安全，激活远程挪车功能，全程需用户视频监控并操作按键。	采用环视摄像头、超声波传感器、角毫米波雷达、前向摄像头和前向毫米波雷达融合探测技术，用户在确认光线良好，泊车区域没有障碍物的情况下，可以在泊车位附近一定距离内，激活泊车过程后离开，系统自动完成泊车后熄火并通知用户。
记忆泊车	系统自动学习存储用户寻找车位和泊车的全过程路径，当用户到达停车场附近，可开启远程泊车，系统自动寻找到存储车位并自动泊入车位，当用户用车时，车辆可自动从车位泊出并根据记忆路径巡航至泊出点。	采用环视摄像头、超声波传感器、前视摄像头和角毫米波雷达融合探测技术，在使用记忆泊车功能前进行局部地图绘制，提前学习并建立泊入和泊出的路线地图，建图完成后，通过所建立的地图驱动整个泊入/泊出过程。
自主代客泊车	车辆行驶到停车场附近，驾驶员下车离开，系统主动控制车辆，寻找停车场可用车位，自动泊入车位；驾驶员可通过手机远程召唤车辆到停车场内	采用环视摄像头、超声波传感器、角毫米波雷达、前视摄像头和角毫米波雷达融合探测技术，并结合高精度地图，实现在停车场中基于高精度定位的自动驾驶、自动泊车功能；激活后系统主动控制车辆，在停车场搜索车位并完成泊

	指定地点接驾，系统主动控制车辆，泊出车位，并行驶到指定地点。	车，或驶出车位开到指定接驾位置。
--	--------------------------------	------------------

附录 B C-V2X 增益分析

本部分选取前向碰撞预警功能的交叉路口遮挡横穿预警场景，通过建立数学模型，进行 C-V2X 与单车智能系统对比单车智能功能的数量增益分析。

a) 场景定义

如图 B.1 所示，HV 由图中自下而上匀速行驶，RV 由图中自左向右匀速行驶，在 HV 左侧车道外存在遮挡，如图中绿色矩形区域所示。若不采取任何措施，HV 与 RV 会同时到达交叉口并发生碰撞，图中红色矩形代表碰撞区域，蓝色矩形代表 HV 和 RV 车辆，D 代表车道宽度，W 代表车身宽度。

本部分分析 HV 基于单车智能（蓝色虚线矩形）和基于车路协同（蓝色实线矩形）两种方式发现 RV，并采取措施规避碰撞的可能性。

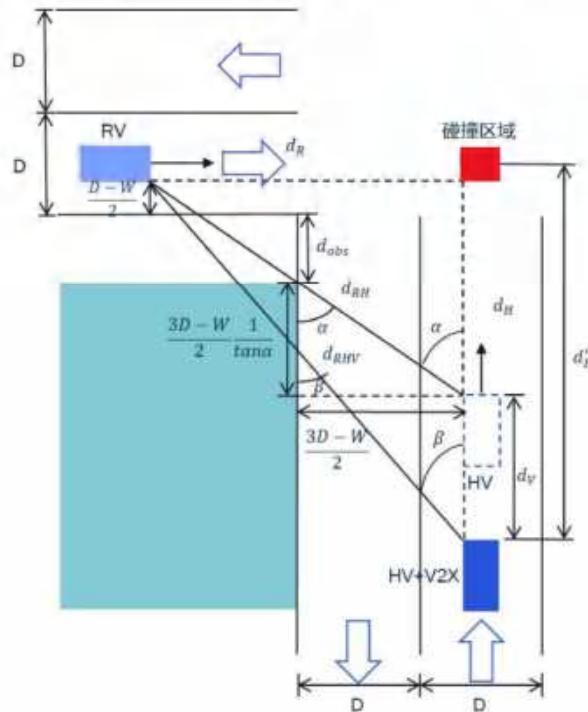


图 B.1 十字路口遮挡的冲突模型

由图 B.1 可知，HV 和 RV 的不同速度的组合需满足一定的几何关系才会发生碰撞。

对于单车智能方案来说，由于存在遮挡，HV 与 RV 之间的几何关系如下：

$$\tan \alpha = \frac{d_R}{d_H} = \frac{v_R t}{v_H t} = \frac{v_R}{v_H} \quad (1)$$

其中, α 表示 HV 和 RV 的夹角, d_R 表示 RV 被 HV 发现后与碰撞区域的距离, d_H 表示 HV 发现 RV 后, 与碰撞区域的距离, v_R 表示 RV 的速度, v_H 表示 HV 速度, t 为 HV 和 RV 到达碰撞区域的时间。

对于车路协同方案来说, 引入 C-V2X, HV 通过接收 RV 的信息, 可以比仅用单车智能设备更早发现 RV 的存在。由于 C-V2X 信号存在传输距离限制, 需要考虑两车最大的信号传输距离。在本分析中假设 HV 与 RV 直连信号传输最大距离为 150m。融合 C-V2X 与单车智能后, HV 可以在两车直线相距 150m 时就检测到 RV 存在, HV 和 RV 之间的结合关系如下:

$$\sqrt{d_H^2 + d_R^2} = 150 \quad (2)$$

$$d_R' = d_H' * \tan\beta \quad (3)$$

b) 冲突分析

当 HV 发现 RV, 并采取刹车规避时, 需要考虑 HV 与碰撞区域的距离 d_H 和 d_H' , 以及 RV 的车辆长度 L 和宽度 W。

如果 HV 能够在 RV 到达碰撞区域之前, 或者 HV 能在 RV 车身通过碰撞区域之后, 到达碰撞区域, 则 HV 可以避免和 RV 的碰撞。本部分以 HV 在 RV 车身通过碰撞区域之后到达碰撞区域为例, 即分析 HV 到达碰撞区域的最大时间边界, 如图 B.2 所示:

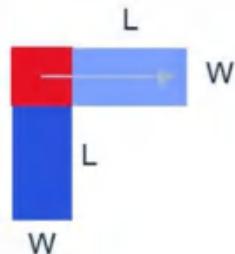


图 B.2 碰撞最大时间边界

在不同的 HV 速度和 RV 速度组合下, HV 与碰撞区域的距离不同, 相对应的最大刹车制动减速度也会不同。因此, 本场景中的冲突问题可以等价为在剩余距离 d_H 和 d_H' , 以及满足 HV 最大减速度的情况下, HV 是否可以在足够晚的时间到达碰撞区域。

当 HV 采取制动规避, 并在恰好在 RV 车尾离开碰撞区域到达碰撞区域(如

图 B.2），此时 HV 会与 RV 头对尾碰撞，此时 HV 的到达时间 t_{ht} 和 t'_{ht} 为：

$$t_{ht} = \frac{d_R + L + W}{v_R} \quad (4), \quad \text{或} \quad t'_{ht} = \frac{d'_R + L + W}{v_R} \quad (5)$$

其中式 (5) 中，

$$d'_H = \frac{150}{\sqrt{1 + (\tan\beta)^2}} \quad (6)$$

$$d'_R = d'_H * \tan\beta \quad (7)$$

c) 刹车动力学模型

c.1) 不考虑人因等因素的刹车动力学模型

为了简化分析，本场景中假设 HV 为自动驾驶系统，不需要驾驶员时间反应并制动，仅考虑剩余距离和减速度两个因素。另外，参考[60]中的制动系统反应参数，假设制动协调时间为 0.5s、减速度增长时间为 0.2s。

基于以上分析，在本场景中有以下基本假设：

- 不考虑人因因素，即不考虑有人驾驶员反应而导致的制动延迟；
- 当 HV 发现 RV 时，制动规避动作立即触发；
- 最大制动减速度设为 g ，即 $9.8 m/s^2$ ；干燥路面，摩擦系数 μ 为 1。

对于单车智能方案来说，当 HV 发现 RV 后，HV 采取恒定减速度 a_H 刹车进行规避，此时应满足：

$$a_H = \frac{v_H^i - v_H^e}{2d_H} \quad (8)$$

其中初速度 v_H^i 和末速度 v_H^e 的关系满足以下公式：

$$v_H^e = v_H^i - a_H t \quad (9)$$

将公式 (9) 代入公式 (8) 可得

$$a_H t^2 - 2v_H^i t + 2d_H = 0 \quad (10)$$

则可得 HV 采取刹车规避动作后，到达碰撞区域的时间

$$t = \frac{v_H^i - \sqrt{v_H^i^2 - 2a_H d_H}}{a_H} \geq t_{ht} \quad (11)$$

那么，选取最大时间安全边界 $t = t_{ht}$ ，满足以下公式：

$$\frac{v_H^i - \sqrt{v_H^i{}^2 - 2a_H d_H}}{a_H} = t_{ht} \quad (12)$$

经过简化可得在满足最大碰撞最大时间边界时，相应的最小制动减速度 a_H 为：

$$a_H = \frac{2t_{ht}v_H - 2d_H}{t_{ht}^2} \quad (13)$$

对于车路协同方案来说，按照上述分析，可计算出此时需要的最小制动减速度 a_{V2X} 为

$$a_{V2X} = \frac{2t_{ht}v_H - 2d_H}{t_{ht}^2} \quad (14)$$

假设 HV 和 RV 在十字路口的通行速度区间为 [10,80]km/h，并假设遮挡最严重的极端情况 ($d_{obs} = 0 m$)，通过改变 HV 和 RV 的速度组合，可以得到单车智能方案和车路协同方案的边界制动减速度 a_H 图，如图 B.3 所示：

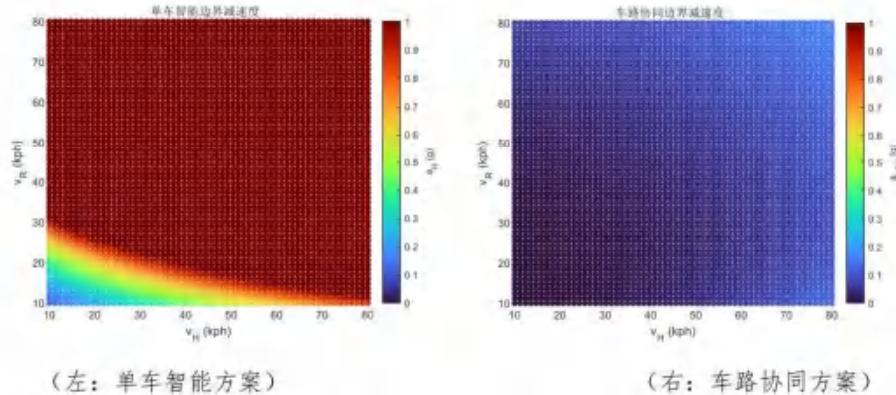
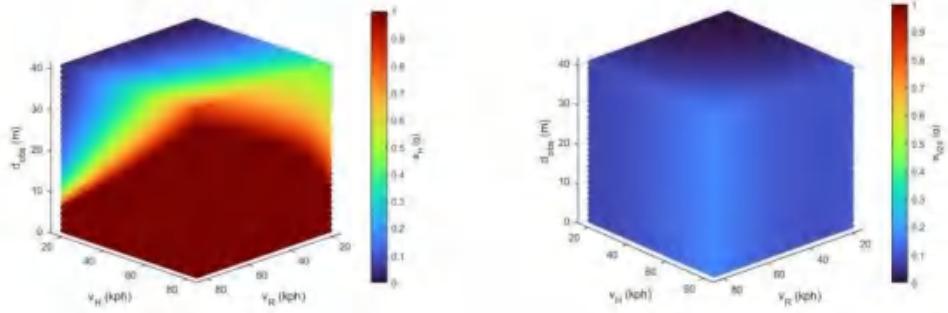


图 B.3 极限遮挡下的边界制动减速度

可以看出，对于单车智能方案来说，HV 和 RV 在大部分速度组合下都会发生碰撞，说明单车智能并不能处理此场景下的大多数情况；对于车路协同方案来说，HV 和 RV 可以完全避免碰撞，并把边界减速度控制在很低的水平，使得系统达到舒适制动的效果。

通过改变遮挡物距离路口的距离，我们可以进一步得到在不同遮挡距离下，不同 HV 和 RV 速度组合对应的边界制动减速度，如图 B.4 所示：



(左：单车智能方案)

(右：车路协同方案)

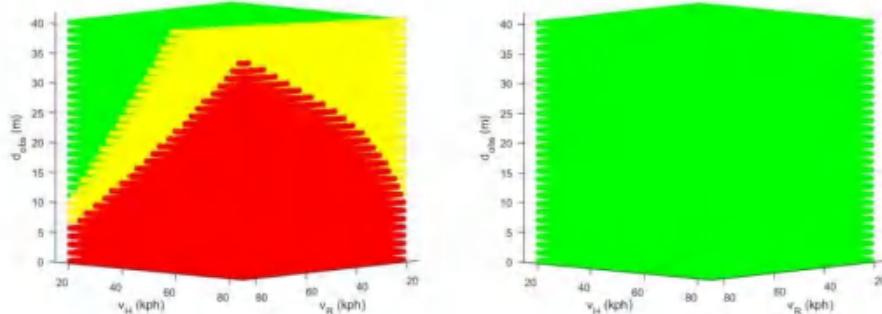
图 B.4 在不同遮挡距离下的边界制动减速度

从图中可以看出，随着遮挡物离路口的距离增加，最小边界减速度也相应减小，HV 与 RV 一定碰撞的可能性也在降低。然而，虽然碰撞率在降低，HV 仍需要采取不舒适的减速度保证安全。假设舒适阈值为 $0.4g$ ，则可以按照表 B.1 方式分类减速的舒适程度：

表 B.1 不同减速度的舒适度范围

减速度	舒适	不舒适	碰撞
a_H	$0 < a_H \leq 0.4g$	$0.4g < a_H < 1g$	$a_H \geq 1g$

按照以上分类方式，对表 B.1 进行划分，可以得到如图 B.5 结果：



(左：单车智能方案)

(右：车路协同方案)

图 B.5 在不同遮挡距离下的边界制动减速度的分类

其中，对于单车智能方案来说，代表碰撞的红色占比 28.84%，代表不舒适制动的黄色占比为 28.85%，这两项总和 57.79%。在同样场景组合集下，对于车路协同方案，碰撞和不舒适制动的占比为 0。

c.2) 考虑人因等因素的刹车动力学模型

如果考虑人因和系统反应时间对于单车智能的影响，那么 HV 的剩余刹车距

离将进一步减少。由[17]可知，驾驶员对于预警的平均反应时间为 0.66s。由[60]可知，制动协调时间为 0.5s、减速度增长时间为 0.2s。同时，由于驾驶员通常无法达到理论制动减速度 $1g$ ，在本部分假设驾驶员可以达到的最大减速度为 $0.8g$ 。因此相比于表 B.1 中，不同减速度的舒适度范围更新如表 B.2：

表 B.2 考虑人因的不同减速度的舒适度范围

减速度	舒适	不舒适	碰撞
a_H	$0 < a_H \leq 0.4g$	$0.4g < a_H < 0.8g$	$a_H \geq 0.8g$

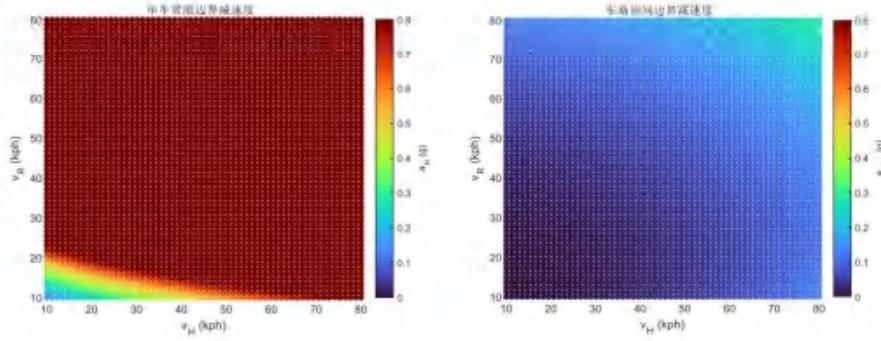
对于单车智能方案来说，对比公式 (11)，此时假设驾驶员和系统反应时间为 t_l ，HV 将在采取规避行动前匀速滑行 $v_H t_l$ ，则此时边界条件需满足：

$$\frac{v_H^l - \sqrt{v_H^{l^2} - 2a_H(d_H - v_H t_l)}}{a_H} = \frac{d_R + L + W}{v_R} \quad (15)$$

对于车路协同方案来说，边界条件需满足：

$$\frac{v_H^l - \sqrt{v_H^{l^2} - 2a_{V2X}(d'_{H'} - v_H t_l)}}{a_{V2X}} = \frac{d'_{R'} + L + W}{v_R} \quad (16)$$

考虑人因等因素的极限遮挡情况下，边界减速度如图 B.6 所示：



(左：单车智能方案)

(右：车路协同方案)

图 B.6 考虑人因的极限遮挡下的边界刹车减速度

如果进一步考虑不同遮挡距离下的边界刹车减速度，并按照表 6:7 的舒适阈值 ($0.4g$) 划分，可以得到不同遮挡距离下的边界刹车减速度，如图 B.7 所示：

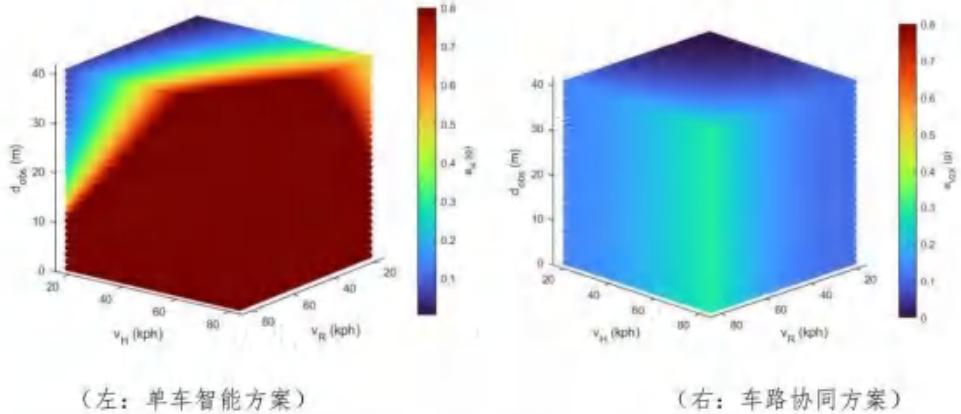


图 B.7 考虑人因的极限遮挡下, 不同遮挡距离的边界制动减速度

d) C-V2X 增益分析

综合上述分析, 可以得到在考虑和不考虑人因的情况下, 基于单车智能方案和车路协同方案的碰撞和不舒适制动的对比结果, 如表 B.3 所示:

表 B.3 碰撞和不舒适制动的考虑和不考虑人因的对比结果

舒 适 阈 值(0.4g)	碰 撞 (%)		不 舒 适 制 动 (%)		舒 适 制 动 (%)	
	单 车 智 能	车 路 协 同	单 车 智 能	车 路 协 同	单 车 智 能	车 路 协 同
不 考 虑 人 因	28.84	0	28.95	0	42.21	100
考 虑 人 因	47.07	0	20.59	0	32.34	100

引入人因后, HV 与 RV 碰撞的可能性将进一步提高, 碰撞和不舒适制动在所有可能情况中的比例也将进一步增加。通过引入 C-V2X 可以有效提升单车智能的安全性和舒适性。

通过上述分析, 可以看出, 通过 V2X 和单车智能的融合, 主车可以提前进行冲突估计和及时采取制动规避动作。因此, 评价 V2X 与单车智能融合的增益可以考虑以下两个方面:

- 感知远车提前的距离 d_v

假设融合系统的初速度为 v_{HV}^i , 到达碰撞区域的末速度为 v_{HV}^e , 减速度为 a_{HV} , 则距离差 d_v 应满足:

$$d_v = d_H - d_H = \frac{1}{2} \left(\frac{v_{HV}^{i^2} - v_{HV}^{e^2}}{a_{HV}} - \frac{v_H^{i^2} - v_H^{e^2}}{a_H} \right) \quad (17)$$

- 碰撞时间 TTC (Time-to-collision) 的改进 ΔTTC 应满足:

$$\Delta TTC = \frac{d'_H}{v_{HV}^i} - \frac{d_H}{v_H^i} = \frac{1}{2} \left(\frac{{v_{HV}^i}^2 - {v_{HV}^e}^2}{a_{HV} v_{HV}^i} - \frac{{v_H^i}^2 - {v_H^e}^2}{a_H v_H^i} \right) \quad (18)$$

对于给定的舒适制动减速度阈值，可以估算在不同场景下 V2X 与单车智能融合系统的增益。假设舒适制动减速度阈值为 $0.3g$ ，主车在发现远车前一直保持匀速运动 ($v_{HV} = v_H$)，则提前感知距离和 TTC 改进如图 B.8 所示：

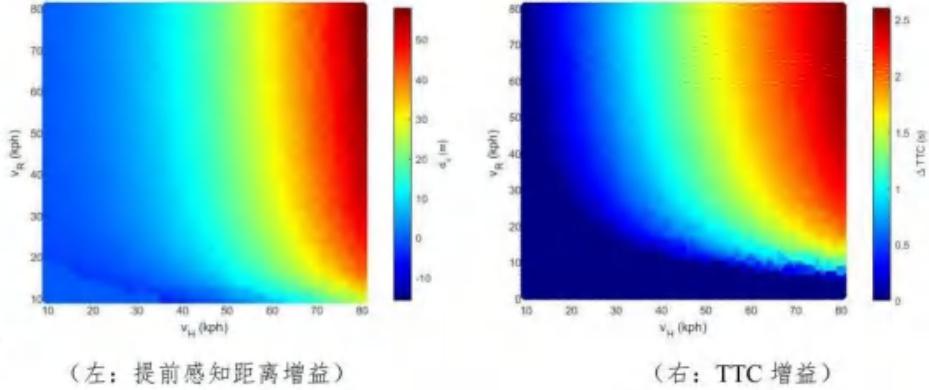


图 B.8 V2X 与单车智能系统的增益

附录 C 概念阶段相关项定义要求

根据 GB/T 34590.3 概念阶段 5.4 相关项定义中的要求和建议，应给出相关项的要求，并定义相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设是，应考虑的内容。

相关项的要求包括：

- a) 法规要求、国家标准和国际标准；
- b) 整车层面的功能行为，包括运行模式或运行状态；
- c) 所要求的质量、性能和功能的可用性（如果适用）；
- d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境；
- e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害；及
- f) 执行器的能力，或其假定的能力。

定义相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设时，应考虑的内容包括：

- a) 相关项的要素；
- b) 相关项的行为对整车的影响的假设；
- c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能；
- d) 本相关项要求其他相关项和要素提供的功能；
- e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配；及
- f) 影响相关项功能的运行场景。

附录 D 车侧子系统-模块功能需求

HV 模块功能需求如下：

a) HV 功能需求——制动系统

- ESC (Electronic Stability Controller, 电子稳定控制) 系统应正确响应 AEB (Autonomous Emergency Braking, 自动紧急制动) 系统发出的预建压请求；
- ESC 系统需给 AEB 系统提供准确的车速信息以避免不期望的减速；
- ESC 系统应给 AEB 系统提供准确的横摆角速度信息以避免不期望的减速；
- 如果实际车速条件不允许，ESC 系统不响应 AEB 系统减速请求；
- 在响应制动增量前，制动系统需检测驾驶员是否踩制动踏板；
- ESC 系统应监控并诊断制动踏板信号；
- 在 AEB 系统制动过程中需要启动车身稳定控制，制动系统优先保证车身稳定；
- 在车身稳定控制过程中需要启动 AEB 系统时，制动系统需保证车身稳定并响应部分 AEB 系统功能；
- 在 ESC 故障时，制动系统应避免执行 AEB 系统功能；
- 为了提醒后面驾驶员，制动系统在执行 AEB 减速前应发送点亮刹车灯请求；
- 紧急制动可能存在连续发送两次减速请求命令的情况，ESC 需判断两次 AEB 的请求命令时间间隔，若小于 20s (上一次响应结束到下一次减速请求)，ESC 系统不执行第二次 AEB 减速请求。

b) HV 功能需求——仪表

- 仪表需要通知驾驶员 AEB 系统状态以避免误用。

c) HV 功能需求——车身控制系统

- BCM (Body Control Module, 车身控制器) 系统应监控刹车灯，如果刹车灯故障并且没有正在执行 AEB 系统时应关闭 AEB，但 FCW (Forward Collision Warning, 前向碰撞预警) 可正常开启工作；
- BCM 系统应发送正确的雨刮器信号。

d) HV 功能需求——转向系统

- EPS (Electric Power Steering, 电动助力转向系统) 应提供正确的转角和转角角速度信号;
- EPS 在不能提供正确的转角或转角角速度信号时应发送故障信号给 AEB 系统。

RV 模块功能需求如下:

a) RV 功能需求——车身系统

- ABM(Airbag Module, 气囊控制器)/惯导设备系统应提供给 RV-OBU 正确的加速度、横摆角速度信息;
- 定位/惯导系统应提供给 RV-OBU 正确的经纬度、速度、航向角信息;
- BCM 系统应提供给 RV-OBU 正确的车灯信息(应急、转向信息);
- 系统应提供给 RV-OBU 正确车辆几何信息(长、宽、高);
- 系统应提供给 RV-OBU 正确的车辆类型信息

b) RV 功能需求——驱动、制动系统

- 驱动系统控制器应提供给 RV-OBU 正确的发动机/电机状态, 档位等信息;
- ESC 应提供给 RV-OBU 正确的制动系统状态信息(是否为紧急刹车)。

c) RV 功能需求——转向系统

- EPS 应提供给 RV-OBU 正确的方向盘转角, 转速等信息。

附录 E 严重度 Δv 计算方法

本文中危害分析参考 GB/Z 42285-2022 《道路车辆电子电气系统 ASIL 等级确定方法指南》，其中对于严重度参考车辆碰撞前后速度差值（ Δv ），即本车碰撞后速度 v' 与碰撞前初始速度 v 的差值

$$\Delta v = v' - v$$

具体的，本章考虑在不同碰撞情境下（侧碰、后碰），HV（HV，下标简称 H）在与碰撞车辆（CV，下标简称 C）碰撞后，HV 车前后速度差值 Δv 。假设 HV 和碰撞车质量相同 ($m_H = m_C$)，利用以下公式计算[50]可得 HV 碰撞前后速度差值 Δv 等于碰撞车与 HV 速度差的一半。

$$m_H v_H + m_C v_C = (m_H + m_C) v'$$
$$\Delta v = v' - v_H = \frac{m_C}{m_C + m_H} (v_C - v_H) = \frac{1}{2} (v_C - v_H)$$

附录 F 融合应用实践案例

我国产业界针对 C-V2X 与单车智能的融合应用已开展相关研究，已形成 C-V2X 技术与单车智能融合的解决方案与产品，例如：中信科智联在 2022 年“苏州第四届全球智能驾驶峰会”上，发布国内第一个将 C-V2X 与单车视觉、毫米波感知进行融合的“C-V2X & ADAS（Advanced Driver Assistance System，高级驾驶辅助系统）融合型域控制器”解决方案。在车辆传统传感器感知性能受限时，融合 C-V2X 信息增强感知能力，支持 C-V2X 直连通信，可实现车车（V2V）、车路（V2I）协同，并集成前向视觉和雷达处理功能，将 V2V、V2I 感知结果直接引入车辆运动轨迹规划、线性控制算法中，在车辆视觉和雷达感知性能下降的场景中，如：横向车辆切入、十字路口建筑物遮挡、雨雾天气等，实现网联式高级驾驶辅助功能的扩展和增强，例如网联式自适应巡航 CACC（在传统 ACC 基础上，增强以绿波车速通过路口，以及信号灯自动启停等功能）和网联式自动紧急制动 CAEB（在传统 AEB 基础上，增强交叉路口、静止物体、鬼探头等场景的自动紧急制动等功能）等，并在 2023 年上海车展展示相关解决方案。

博世在国内开展车路协同高阶驾驶辅助功能的实践。在无锡车联网先导区进行了车路协同设施的部署，覆盖典型城市道路场景（十字路口、高架、隧道等）。完成了从车端到路端的完整端到端技术方案验证，实现了协作式限速区控制、闯红灯预警、弱势交通碰撞预警、基于路侧交通状况识别、协作式自适应巡航、协作式匝道汇入、非视距信息辅助、基于路侧的特殊车辆优先、感知数据共享、基于路侧感知的隧道通行、协作式特殊车辆引导等场景。

均联智行在 L2 自动驾驶车辆上实现基于 C-V2X（V2V）感知的自动驾驶制动及变道等控车能力，在 DAY1 应用场景的基础上，完成 C-V2X 与 ADAS 融合的多项应用场景。

海康智联在道路两侧部署激光雷达、毫米波雷达、智能摄像机、智慧斑马线预警单元、智能路侧终端 RSU、多元融合感知终端 MEC 等设备，实现车路协同自动驾驶公交系统，推动单车智能自动驾驶车辆在环境感知、计算决策和控制执行等方面的能力升级。

东软完成 V2X 二阶段与自动驾驶的深度融合。C-V2X 与单车智能融合可以利用其他车辆的传感器数据，实现非视距预警，缓解或避免紧急碰撞，提高驾驶

的安全性；可以接收路侧和周边车辆的意图与决策，实现车路协同，提高行驶效率。

参考文献

- [1]. 陈山枝, 蜂窝车联网(C-V2X)及其赋能智能网联汽车发展的辩思与建议[J].
电信科学, 2022, 38(7): 1-17.
- [2]. 清华大学智能产业研究院、百度Apollo, 面向自动驾驶的车路协同关键技术
与展望 1.0, 2021
- [3]. 清华大学智能产业研究院、百度Apollo, 面向自动驾驶的车路协同关键技术
与展望 2.0, 2022
- [4]. 工信部通装[2021]103 号, 工业和信息化部关于加强智能网联汽车生产企业
及产品准入管理的意见, 2021
- [5]. 国标委联[2021]36 号, 国家标准化管理委员会 中央网信办 科技部 工业和
信息化部 民政部 生态环境部 住房和城乡建设部 农业农村部 商务部 应
急部关于印发《“十四五”推动高质量发展的国家标准体系建设规划》的通
知, 2021
- [6]. SAE J3252 Framework for interoperable CDA use case testing
- [7]. SAE J3216 Taxonomy and definitions for terms related to cooperative driving
automation for on-road motor vehicles
- [8]. SAE J3016 Taxonomy and definitions for terms related to driving automation
systems for on-road motor vehicles
- [9]. 中国公路学会自动驾驶工作委员会, 车路协同自动驾驶发展报告, 2019
- [10]. 中国信息通信研究院, 车联网白皮书(C-V2X 分册), 2019
- [11]. 中国智能网联汽车产业创新联盟, 智能网联汽车预期功能安全 场景库建
设报告, 2020
- [12]. GB/T 40429-2021 《汽车自动驾驶分级》
- [13]. T/CSAE 53-2020 合作式智能运输系统车用通信系统应用层及应用层数
据交互标准 (第一阶段)
- [14]. T/CSAE 157-2020 合作式智能运输系统车用通信系统应用层及应用层数
据交互标准 (第二阶段)
- [15]. T/CSAE 158-2020 基于车路协同的高等级自动驾驶数据交互内容
- [16]. YDT 3977-2021 增强的 V2X 业务应用层交互数据要求

- [17]. GB/T 33577-2017 智能运输系统 车辆前向碰撞预警系统 性能要求和测试规程
- [18]. GB/T 39901-2021 乘用车自动紧急制动系统（AEBS）性能要求及试验方法
- [19]. GB/T 38186-2019 商用车辆自动紧急制动系统（AEBS）性能要求及试验方法
- [20]. JT/T 1242-2019 营运车辆自动紧急制动系统性能要求和测试规程
- [21]. GB/T XXXX-XXXX 乘用车后方交通穿行提示系统性能要求及试验方法
- [22]. GB/T 26773-2011 智能运输系统 车道偏离报警系统 性能要求与检测方法
- [23]. GB/T 39323-2020 乘用车车道保持辅助（LKA）系统性能要求及试验方法
- [24]. R79 关于车辆转向设备批准的统一规定
- [25]. GB/T XXXX-XXXX 智能限速系统性能要求及试验方法
- [26]. GB/T 39265-2020 道路车辆+盲区监测（BSD）系统性能要求及试验方法
- [27]. DB31/T 1269-2020 车辆盲区监测系统的性能要求与测试方法
- [28]. GB/T 37471-2019 智能运输系统 换道决策辅助系统 性能要求与检测方法
- [29]. GB/T XXX 乘用车车门开启预警系统性能要求及试验方法
- [30]. T/NJ 1255-2021 拖拉机 自动辅助驾驶系统 转向性能试验方法
- [31]. GBT20608-2006 智能运输系统 自适应巡航控制系统 性能要求与检测方法
- [32]. LB/T 0002-2014 智能运输系统 全速自适应巡航控制系统 性能要求和测试规程
- [33]. GB/T XXXX-XXXX 智能网联汽车 组合驾驶辅助系统性能要求及试验方法 第1部分：单车道行驶控制
- [34]. GB/T XXXX-XXXX 智能网联汽车 组合驾驶辅助系统性能要求及试验方法 第2部分：多车道行驶控制
- [35]. T/CSAE 156-2020 自主代客泊车系统总体技术要求

- [36]. GB/T 34590.1-2022 道路车辆 功能安全 第一部分：术语
- [37]. GB/T 34590.2-2022 道路车辆 功能安全 第二部分：功能安全管理
- [38]. GB/T 34590.3-2022 道路车辆 功能安全 第三部分：概念阶段
- [39]. GB/T 34590.9-2022 道路车辆 功能安全 第九部分：以汽车安全完整性等级为导向和以安全为导向的分析
- [40]. GB/T 34590.10-2022 道路车辆 功能安全 第十部分：指南
- [41]. GB/Z 42285-2022 道路车辆 电子电气系统 ASIL 等级确定方法指南
- [42]. ISO 26262-1 Road vehicles – Functional Safety – Part 1; Vocabulary, 2018
- [43]. ISO 26262-2 Road vehicles – Functional Safety – Part 2: Management of functional safety, 2018
- [44]. ISO 26262-3 Road vehicles – Functional Safety – Part 3: Concept phase, 2018
- [45]. ISO 26262-9 Road vehicles – Functional Safety – Part 9: ASIL oriented and safety-oriented analysis, 2018
- [46]. ISO 26262-9 Road vehicles – Functional Safety – Part 10: Guideline on ISO 26262, 2018
- [47]. SAE J2980 R – Considerations for ISO 26262 ASIL Hazard Classification, 2018
- [48]. 电动汽车产业技术创新战略联盟，中国智能网联汽车产业创新联盟，智能网联汽车电子电气架构产业技术路线图，2023
- [49]. 全国汽车标准化技术委员会，车载感知融合标准化需求研究报告，2020
- [50]. Shelby, Steven G. "Delta-V as a measure of traffic conflict severity." 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. September. 2011
- [51]. GB/T 39263-2020 道路车辆 先进驾驶辅助系统（ADAS）术语及定义
- [52]. SAE J3131 Definitions for Terms Related to Automated Driving Systems Reference Architecture, 2022
- [53]. 5GAA, Safety Treatment in V2X applications, 2022
- [54]. C2C-CC, Guidance for day 2 and beyond roadmap, 2022
- [55]. PIARC, Smart Roads Classification, 2021?
- [56]. ERTRAC, Connected Automated Driving Roadmap, 2021?

- [57]. CAICV, 智能网联汽车技术路线图 2.0, 2020
- [58]. 中国公路学会、中国汽车工程学会、中国通信学会, 车路协同自动驾驶一致行动宣言, 2022
- [59]. 中国公路学会、中国汽车工程学会、中国通信学会, 车路协同自动驾驶一致行动方案, 2022
- [60]. T/CSAE 246-2022, 智能网联汽车 V2X 系统预警应用功能测试与评价方法