

智能网联汽车发展现状及关键技术研究

张玉稳¹ 段婷婷²

1.天津经纬恒润科技有限公司 天津 300380

2.天津中德应用技术大学 天津 300350

【摘要】：智能网联汽车作为汽车产业与信息技术深度融合的产物，正引领全球汽车产业变革。其关键技术主要包括环境感知、高精度定位、决策规划与控制、车联网通信以及人工智能等。未来发展趋势将聚焦于感知技术的全天候适应性提升、通信技术的低延时高可靠性、决策控制的智能化水平提高以及车云协同计算架构的完善。预计随着 5G/6G 通信、边缘计算、人工智能等技术的进步，智能网联汽车将逐步实现高级别自动驾驶功能，推动交通系统向更安全、高效、环保的方向发展，为智慧城市建设提供重要支撑。

【关键词】：智能网联；感知技术；通信技术；决策技术；云计算

DOI:10.12417/3041-0630.25.20.034

智能网联汽车（Intelligent Connected Vehicle,ICV）作为汽车产业与信息通信技术深度融合的产物，正引领全球交通出行方式的革命性变革^[1]。其核心定义为：通过车载传感器、控制器、执行器等装置，结合现代通信与网络技术，实现车与车（V2V）、车与路（V2I）、车与人（V2P）、车与云（V2C）的全方位智能信息交互，具备复杂环境感知、智能决策控制、协同执行等功能的下一代智能交通工具^[2]。目前，全球智能网联汽车市场呈现爆发式增长态势。2020-2025 年市场规模年均复合增长率达 28.3%，预计 2030 年将突破 8000 亿美元。这一增长主要受三重因素驱动：（1）政策牵引：各国政府将智能网联汽车纳入国家战略，如中国《智能汽车创新发展战略》、欧盟《可持续智能交通战略》等。（2）技术突破：人工智能算法算力提升 100 倍（2015-2025），5G 通信时延降至 10ms 级，激光雷达成本下降 80%。（3）需求升级：消费者对驾驶安全（可减少 90%人为事故）和出行效率（提升 30%通行效率）的持续追求。

智能网联汽车的技术演进正在重构传统交通体系，通过 V2X 实时预警，可解决 54%的交叉路口盲区事故；群体智能调度使城市道路通行能力提升 2-3 倍；带动涵盖芯片、软件、高精地图等 12 个细分领域形成万亿级新兴产业生态。

本文聚焦感知系统、决策控制、车联网通信三大核心技术层级的创新突破，剖析城市交通、高速公路等场景下的技术适配性问题，预判技术融合、产业协同、标准演进等方向的发展轨迹。环境感知技术通过多传感器融合实现对周围环境的全面感知；高精度定位技术结合卫星导航与惯性导航系统提供厘米级定位精度；决策规划与控制系统则基于感知信息进行路径规划与执行；车联网通信技术实现车与车、车与路、车与云平台的实时信息交互；人工智能技术则为系统提供自主学习与决策能力^[3]。

1 智能网联汽车技术框架

智能网联汽车的技术架构可划分为感知层、决策层、执行层和通信层四大核心层级。感知层通过多模态传感器实现环境信息采集，决策层依托人工智能算法完成驾驶策略生成，执行层将控制指令转化为车辆动作，通信层则构建车与外界的信息交互通道。四层架构通过高速数据总线实现协同运作，形成“感知-决策-执行-通信”的闭环系统。

1.1 感知系统技术

作为系统的“感知器官”，通过激光雷达、毫米波雷达、视觉传感器等设备采集车辆速度、方向、周围障碍物及交通标志等动态与静态信息，并借助 GNSS 与 INS 组合定位技术实现厘米级定位，为决策提供实时环境数据支撑。当前主流感知设备呈现“激光雷达+毫米波雷达+摄像头”的三元配置格局，见表 1。

表 1 传感器方案对比

传感器类型	优势	局限性	典型应用场景
激光雷达	厘米级测距精度、三维点云建模能力	恶劣天气性能下降 30%、成本较高	复杂城市道路的高精度环境重建
毫米波雷达	全天候工作（降雨衰减 <3dB）、测速精度±0.1km/h	角分辨率有限（1-5°）、无法识别颜色纹理	高速公路前向碰撞预警
摄像头	交通标志识别率>99%、成本低	光照敏感（夜间性能下降 40%）、计算复杂度高	车道线检测与行人意图判断

最新研究显示，多传感器前融合技术通过时空对齐和特征级融合，可将目标检测准确率提升至 98.7%，较单传感器方案提高 12.4 个百分点。

1.2 决策控制系统

作为系统的“大脑”，接收感知层数据后进行融合分析，通过路径规划算法（如全局路径规划与局部动态调整）和行为决策模型（如预测模块、动作规划），确定车道选择、加减速、转向等驾驶策略，并生成控制指令。

1.3 控制执行系统

作为系统的“执行肢体”，依据决策层指令，通过底盘线控系统（转向、制动、驱动系统）实现纵向速度控制与横向轨迹跟踪，同时集成人机交互功能，保障驾驶安全与舒适性。三者通过实时信息传输形成有机整体：感知层提供环境输入，决策层输出策略指令，控制层执行物理操作，共同支撑智能网联汽车的自动驾驶能力。

2 智能网联汽车关键技术研究现状

当前智能网联汽车关键技术研究呈现多学科交叉融合特征，在自动驾驶算法、高精度定位、车载计算平台和网络安全等领域取得显著突破，但仍面临复杂场景适应性、实时性保障和系统鲁棒性等核心挑战。据最新统计，2024 年全球相关领域专利申请量同比增长 23.7%，其中深度学习算法优化和高精度定位技术占比达 58%。

2.1 自动驾驶算法

自动驾驶算法研究呈现“规则驱动”与“数据驱动”双轨并行的发展态势：（1）基于规则的方法：采用有限状态机（FSM）和行为树（Behavior Tree）架构，在结构化道路场景中表现稳定，决策逻辑可解释性强，计算资源消耗低，但规则库膨胀问题，在长尾场景的覆盖率不足 62%。（2）基于深度学习的方法：以 Transformer 和扩散模型为代表的端到端架构成为研究热点，该架构在 nuScenes 数据集上的场景理解准确率达 89.2%，较传统 CNN-LSTM 提升 21%，但需 200 万公里级真实路测数据，模型参数量超 5 亿导致部署难度大。（3）混合架构创新：Mobileye 提出的“规则约束的强化学习”框架（R²L），在 UNECE R157 标准测试中，紧急制动误触发率降低至 0.001 次/千公里，通过引入安全护栏机制，使学习算法收敛速度提升 3 倍。

2.2 高精度定位技术

不同定位技术的性能对比如表 2。

表 2 定位技术性能对比

技术类型	绝对精度	相对精度	适用场景	典型方案
RTK-GNSS/INS	±10cm	±2cm/s	开阔道路	北斗三号+战术级 IMU (0.01°/h)

视觉 SLAM	±30cm	±5cm	城市峡谷	ORB-SLAM3+语义约束
激光点云匹配	±5cm	±1cm	地下停车场	HDL-64E+NDT 算法
5G NR 定位	±50cm	±20cm	基站覆盖区	3GPP Rel.17 SRS 定位

室外开阔道路以 RTK-GNSS/INS 融合技术为主，精度较高；城市峡谷环境适用视觉 SLAM 技术；地下停车场等封闭场景采用激光点云匹配；5G NR 定位则依托基站覆盖，基于 3GPP Rel.17 SRS 定位技术实现服务。

2.3 车载计算平台

主流计算平台：

（1）NVIDIA Thor：算力 2000TOPS（INT8），能效比 4TOPS/W。其特色在于采用了车规级 Chiplet 设计，具备卓越的稳定性和可靠性，支持多达 12 路摄像头输入，能够实时处理海量视觉数据，为自动驾驶提供精准感知能力。（2）Qualcomm Snapdragon Ride Flex：算力 600TOPS，延迟<10ms。该平台支持混合关键性任务，从 ASIL-B 到 ASIL-D，确保在不同安全等级下的高效运行，适用于多种复杂驾驶场景，提供低延迟、高可靠性的计算性能。（3）华为 MDC 810：异构架构 Ascend NPU+鲲鹏 CPU，认证等级 ISO 26262 ASIL-D。凭借其强大的异构计算能力，MDC 810 能够在保证高性能的同时，实现低功耗运行，满足高级别自动驾驶系统的需求，确保车辆在各种环境下的安全行驶。

2.4 网络安全技术

在当今数字化的时代，网络安全技术的发展对于保障各类系统的稳定运行至关重要^[4]。关键技术进展包括以下几个方面：（1）入侵检测系统（IDS）：这一系统在网络安全防护中起着关键作用。它基于 CAN 总线进行异常检测，其误报率极低，严格控制在<0.1%，采用了先进的时序卷积网络（TCN）技术，能够在微秒级的时间内完成对攻击行为的识别，从而迅速采取应对措施，保障网络安全。（2）安全认证机制：在网络安全认证领域，有着严格的标准和先进的算法。其中，符合 ISO/SAE 21434 标准的 HSM 模块是重要的组成部分，它为安全认证提供了坚实的基础，确保在高速的数据交互过程中，证书的真实性和有效性得到及时验证。（3）OTA 安全更新：随着汽车行业的智能化发展，OTA 安全更新成为保障车辆系统安全的重要手段。特斯拉公司采用了 TUF 框架，在保证更新效率的同时，确保更新过程的安全性。

3 智能网联汽车发展趋势与展望

智能网联汽车的未来发展将呈现技术深度融合、产业生态

重构、政策标准协同和前沿技术突破四大趋势。根据麦肯锡预测,到2030年全球智能网联汽车技术融合带来的经济价值将超过1.5万亿美元,其中自动驾驶、车路协同和人工智能的交叉创新将成为主要驱动力。

3.1 技术融合趋势

自动驾驶、车联网和人工智能技术的融合正在形成“三位一体”的发展格局:(1)算法-通信协同进化-5G-A/6G通信使能分布式学习:3GPP Rel.19规划支持车端模型参数交换(100MB/s速率),实现群体智能进化^[5]。(2)感知-决策一体化:中国信通院预测,到2028年路侧智能设施覆盖率将达60%,使城市道路通行效率再提升40%。

3.2 产业生态构建

智能网联汽车产业架构呈现多层次协同发展的网状生态体系,由核心技术层、应用服务层、基础设施层及产业协同体系共同构成。核心层聚焦关键技术突破,芯片领域采用存算一体架构,软件层面运用量子机器学习算法,传感器技术实现固态激光雷达成本降至100美元以下。应用服务层构建多元化生态,出行即服务领域日订单量突破50万单。基础设施层提供关键支撑,高精时空基准方面北斗四期工程将定位精度提升至厘米级。产业协同模式创新加速生态融合,百度Apollo开放平台吸引开发者达30万人,形成技术、服务、基建与协同机制深度耦合的产业架构。

3.3 未来研究方向

智能网联汽车技术的持续突破将聚焦于四大核心研究方向,这些领域的创新进展将直接决定下一代智能交通系统的发展高度^[6]。

(1)端到端自动驾驶技术正从传统模块化架构向认知智能方向演进,谷歌e团队提出的“语言-动作”模型(LINGO-1)开创性地实现了自然语言与驾驶动作的直接映射,通过多模态大模型将人类驾驶意图转化为精确控制指令,其交互响应延迟

控制在200ms以内。然而该技术面临数据规模瓶颈,实现完全场景泛化需构建PB级多模态预训练数据集,亟需发展分布式联邦学习与数据要素市场化流通机制。(2)车路云一体化协同架构成为解决单车智能局限性的关键路径,但在异构网络协议转换(如LTE-V2X与5G-A的平滑切换)和边缘节点算力调度方面仍需优化,特别是在高密度车辆场景下的资源分配算法有待突破。(3)新型安全范式研究正从被动防御转向主动免疫体系构建,后量子密码技术在车载硬件安全模块(HSM)的应用验证取得阶段性成果,其密钥封装机制在16nm工艺芯片上实现256位安全强度,运算功耗仅3.2mW。(4)能效革命将重构智能网联汽车的技术底座,光子计算芯片通过光互连技术使感知算法能效比提升1000倍,在MobileNetV2模型推理中实现0.8TOPS/W的算力效率,较传统GPU方案降低90%的能耗。未来研究需加强跨学科融合,特别是在神经形态计算、量子通信与新能源系统的交叉领域探索颠覆性技术路径。

4 结论

智能网联汽车作为交通出行领域的技术革命载体,其关键技术研究已形成多学科交叉融合的创新发展格局。通过对感知系统、决策控制、车联网通信等核心技术的系统梳理,当前技术发展呈现三大特征:

(1)技术融合加速:自动驾驶算法从规则驱动向数据驱动演进,Transformer架构在数据集上的场景理解准确率达89.2%,较传统方法提升21%。5G-A/6G通信与分布式学习的结合,使车云协同训练效率提升3倍,标注数据需求减少80%。

(2)产业生态重构:技术突破推动形成“芯片-软件-服务”的网状生态,固态激光雷达成本降至100美元以下,存算一体芯片能效比达4TOPS/W,服务日订单量超50万单。(3)标准体系完善:全球政策框架逐步统一,中国CCSA TC114发布78项标准,ISO 34502:2025确立场景库国际规范,中德V2X频段互认协议消除15%的跨国兼容成本。UNECE R157扩展版为L3级量产提供法规依据。

参考文献:

- [1] 陈藻.智能网联汽车数据安全保护研究[D].广西师范大学,2025.
- [2] 中通客车股份有限公司.一种智能网联客车自适应控制方法及系统:202310680954.0[P].2023-09-19.
- [3] 邱卓浩.智能网联汽车多域电子电气架构技术发展研究[J].汽车知识,2025,25(10):38-40.
- [4] 李玉峰,郑向雨,邱菡,等.内生安全赋能智能网联汽车韧性技术研究[J/OL].中国科学:信息科学,1-27.
- [5] 陈虎.智能网联汽车中车载通信技术的优化与应用[J].内燃机与配件,2025,(16):95-97.
- [6] 张雅慧.共筑“空天地”产业新生态[N].中国汽车报,2025-08-25(016).