

汽车自动驾驶关键技术及集成应用研究

崔松

鸿灌环境技术有限公司 江苏 苏州 215200

摘要: 汽车自动驾驶关键技术涵盖环境感知、决策规划、控制执行、通信协同及安全冗余五大领域。环境感知依赖多传感器融合与高精度地图定位;决策规划结合深度学习与强化学习实现动态场景自适应;控制执行通过MPC等算法保障物预测轨迹跟踪精度;通信协同依托V2X与5G实现车路云数据交互;安全冗余采用硬件、软件及通信多层次容错设计。集成应用聚焦系统架构优化与端到端仿真测试闭环验证。

关键词: 汽车自动驾驶;关键技术;集成应用

引言:随着人工智能、传感器技术及通信技术的持续突破,汽车自动驾驶正从辅助驾驶向多场景无人化快速演进。其不仅承载着提升交通安全、缓解城市拥堵的愿景,更成为全球汽车产业转型升级的核心赛道。然而,在复杂交通场景下的长尾问题、高阶系统的安全可靠性、车路云协同的生态构建等方面的挑战仍待突破。本文聚焦自动驾驶关键技术体系,剖析环境感知、决策控制、通信协同等模块的集成创新路径,为技术落地与产业化应用提供理论支撑与实践参考。

1 汽车自动驾驶关键技术体系

1.1 环境感知技术

(1)多传感器融合:通过互补性融合激光雷达的高精度测距、摄像头的图像语义识别及毫米波雷达的全天候抗干扰优势,弥补单一传感器局限,提升复杂环境下目标感知的准确性与鲁棒性,为车辆决策规划提供全面环境数据支撑。(2)深度学习在目标检测与语义分割中的应用:基于深度学习的神经网络模型,可精准识别车辆、行人、非机动车等交通参与者及行动预测,同时完成道路标线、交通信号、可行驶区域的语义分割,实现对驾驶环境的结构化理解,适配动态变化的交通场景。(3)高精度地图与定位技术:高精度地图提供道路拓扑、交通规则等先验信息,结合SLAM即时定位与地图构建、RTK实时动态定位技术、IMU惯性测量技术,可实现厘米级定位精度及连续性,解决隧道、高楼遮挡等场景下的定位失效问题,保障行驶轨迹的精准性。

1.2 决策规划技术 (1)行为决策模型:有限状态机适用于规则明确的常规场景,通过预设状态切换实现标准化决策;使用多模态大语言模型(MLLM),强化学习通过与环境交互持续优化决策策略,提升复杂动态场景下的自适应决策能力,平衡安全与通行效率。(2)路径规划算法:A*算法通过启发式搜索实现高效路径求解,RRT*

在复杂障碍环境下具备良好的路径探索能力,结合采样优化可进一步提升路径的平滑性与安全性,满足不同路况下的路径规划需求。(3)运动控制与轨迹跟踪:PID控制算法结构简单、响应快速,适用于常规场景的轨迹跟踪;MPC模型预测控制可提前预判车辆动态特性与环境约束,实现多目标优化控制,保障车辆沿规划轨迹平稳行驶^[1]。

1.3 通信与协同技术

(1)V2X车路协同架构:构建车与车、车与路、车与人、车与云的全方位通信架构,实现道路交通信息实时交互,扩展车辆感知范围,支撑协同避障、绿波通行等协同驾驶功能,提升交通系统的整体效率与安全性。(2)5G/6G与边缘计算支持下的实时通信:5G/6G技术提供高带宽、低时延的通信保障,边缘计算实现数据就近处理,减少传输延迟与云端算力压力,确保感知数据、决策指令的实时交互,支撑高阶自动驾驶的协同需求。

1.4 安全与冗余技术

(1)功能安全:遵循ISO26262功能安全标准,通过风险评估、故障预防与控制设计,确保自动驾驶系统在出现故障时不会导致危险状态,保障驾乘人员与道路参与者安全。(2)预期功能安全(SOTIF)与故障诊断:针对系统功能不足导致的风险,通过SOTIF设计提升场景覆盖能力;建立完善的故障诊断机制,实时监测传感器、执行器等部件状态,及时发现并处理故障。(3)网络安全与数据加密:针对自动驾驶系统的网络攻击风险,采用数据加密、身份认证、访问控制等技术,保障车载网络与数据传输安全,防止核心算法与用户隐私数据泄露。

2 汽车自动驾驶关键技术集成应用

2.1 系统架构设计

(1)分布式与集中式架构对比:分布式架构通过多个ECU分别管控感知、决策、控制等模块,具备模块化

强、成本可控的优势，但模块间通信延迟较高，难以适配高阶自动驾驶的协同需求；集中式架构依托域控制器整合全系统功能，实现传感器数据与控制指令的集中处理，大幅降低通信延迟，提升决策响应速度，是高阶自动驾驶的主流架构方向，但对硬件算力和热管理要求更高，初期研发成本较高。二者的选型需结合自动驾驶等级、车型定位及成本预算综合权衡^[2]。（2）硬件在环（HIL）与软件在环（SIL）协同：SIL测试依托虚拟仿真环境，可快速验证算法逻辑的正确性，提前排查软件漏洞，降低实车测试风险，适用于研发初期的算法迭代；HIL测试将真实车载硬件接入仿真系统，能精准模拟传感器、执行器的实际工作状态，验证软硬件交互的稳定性与可靠性，是衔接虚拟测试与实车测试的关键环节。二者协同构建全流程测试体系，通过SIL完成算法初步验证，再由HIL开展软硬件集成测试，大幅提升研发效率，缩短产品迭代周期。

2.2 多模态感知融合策略

（1）传感器时空同步与数据对齐：激光雷达、摄像头、毫米波雷达的采样频率、数据格式存在差异，若未实现时空同步，会导致感知数据出现时间延迟、空间偏移，影响融合效果。通过时间戳校准实现数据时间同步，借助坐标系标定完成空间对齐，确保不同传感器采集的同一目标数据精准匹配，为后续融合算法的高效运行奠定基础，是多模态感知融合的前提条件。（2）异构数据融合算法：卡尔曼滤波擅长处理线性系统的动态数据，能有效抑制传感器噪声，提升数据的稳定性，适用于目标跟踪等动态场景；贝叶斯网络则可通过概率推理处理不确定性信息，适配复杂场景下的多目标识别与状态判断。实际应用中，需结合场景需求选择适配算法，通过多算法协同融合异构数据，弥补单一传感器的感知局限，提升环境感知的准确性与鲁棒性^[3]。

2.3 端到端决策控制优化

（1）基于数字孪生的仿真测试平台：构建与真实车辆、道路环境一致的数字孪生模型及泛化场景库，可精准复现复杂交通场景、极端天气条件等实车测试难以覆盖的场景。通过在虚拟环境中模拟车辆行驶状态，对决策控制算法进行大规模、高强度测试，快速发现算法缺陷并优化，同时降低实车测试的成本与风险，为端到端决策控制的优化提供高效支撑。（2）真实场景与虚拟场景的闭环验证：真实场景采集的海量数据可用于优化数字孪生模型的精度，提升虚拟测试的真实性；虚拟场景测试优化后的算法，需通过实车测试进一步验证其在真实环境中的适配性。二者形成闭环验证体系，实现“数

据采集-算法优化-虚拟测试-实车验证”的全流程迭代，持续提升端到端决策控制的可靠性与泛化能力，保障自动驾驶系统在各类场景下的安全运行^[4]。

3 汽车自动驾驶关键技术及集成典型应用场景与案例分析

3.1 城市道路场景

（1）复杂交通流下的决策挑战：城市道路存在行人随意横穿、非机动车抢道、车辆加塞等不确定因素，且路口交通信号复杂、交通流密度大，对自动驾驶系统的实时感知与决策能力提出极高要求。系统需精准识别多元交通参与者的行为意图，快速判断潜在风险，在保障安全的前提下平衡通行效率，避免出现决策犹豫或误判等问题。同时，不同城市的交通规则与路况差异较大，需提升系统的场景适配性与泛化能力。（2）案例：十字路口无保护左转：该场景是城市道路自动驾驶的核心难点，需同时应对对向直行车辆、横向行人及非机动车的干扰。某车企通过多传感器融合技术，精准探测路口各交通参与者的位置与运动状态，结合高精度地图与实时定位获取路口拓扑信息；采用强化学习优化的决策模型，动态预判对向车辆通行意图，规划安全左转轨迹；通过MPC控制算法精准控制车辆转向与车速，实现无保护左转的平稳安全完成。该案例验证了多模态感知、动态决策与精准控制技术的协同有效性。

3.2 高速公路场景

（1）高精度巡航与变道策略：高速公路路况相对规整，但车速快、车辆间距小，对自动驾驶的稳定性与精准性要求严苛。高精度巡航需实现车速的精准控制，根据前车速度动态调整跟车距离，兼顾舒适性与安全性；变道策略需综合判断相邻车道的车辆间距、车速及运动趋势，选择最佳变道时机与路径，避免变道过程中与周边车辆发生剐蹭。同时，需应对隧道、桥梁、匝道口等特殊路段的光照与路况变化，保障系统持续稳定运行。（2）案例：拥堵场景下的队列行驶：针对高速公路拥堵时段车速缓慢、车流密集的问题，某科技企业推出自动驾驶队列行驶方案。多辆自动驾驶车辆通过V2X车路协同技术实现实时信息共享，首车由人类驾驶员或系统主导控制，后续车辆精准跟随前车轨迹，保持安全间距。系统采用高精度定位与轨迹跟踪技术，确保队列行驶的一致性；通过5G实时通信保障车辆间指令与状态信息的同步传输，有效提升拥堵场景下的通行效率，降低车辆能耗，同时减少驾驶员操作负担。

3.3 特殊环境场景

（1）雨雪雾等恶劣天气适应性：雨雪雾天气会导致

传感器性能衰减,如激光雷达测距精度下降、摄像头视野模糊、毫米波雷达信号受干扰,同时路面湿滑会影响车辆制动性能与行驶稳定性。自动驾驶系统需通过传感器冗余设计与数据降噪算法,提升恶劣天气下的环境感知能力;优化决策控制策略,根据路面附着系数调整车速与制动距离,保障车辆行驶安全。此外,需结合气象数据提前预判天气变化,做好应对准备。(2)案例:地下停车场自动泊车:地下停车场光线昏暗、空间狭窄、车位布局复杂,且存在立柱、行人等障碍物,对自动驾驶的低速控制与近距离感知能力要求较高。某车企的自动泊车系统通过环视摄像头与超声波雷达的融合感知,精准识别车位轮廓与周边障碍物;基于SLAM技术构建停车场局部地图,规划最优泊车路径;采用低速精准控制算法,实现车辆的自动转向、换挡与制动,完成垂直、平行等多种车位的自动泊车。该案例充分验证了低速场景下感知、定位与控制技术的集成应用效果,提升了用户泊车体验。

4 汽车自动驾驶技术的挑战与未来发展方向

4.1 技术瓶颈与伦理问题

(1)长尾场景覆盖不足:当前自动驾驶技术对常规路况适配性较好,但对极端天气、突发交通事件、非常规道路标识等长尾场景的应对能力薄弱。这类场景具有低概率、高复杂性特征,难以通过海量数据训练全面覆盖,导致系统在特殊场景下易出现感知偏差或决策失误,成为制约高阶自动驾驶落地的核心技术瓶颈。(2)责任归属与法律框架:自动驾驶过程中若发生交通事故,责任需在车企、科技公司、运营主体、驾驶员、道路管理方等主体间界定,而现有法律体系缺乏明确标准。不同自动驾驶等级下责任划分的模糊性,以及数据隐私保护、算法透明度等相关规范的缺失,不仅影响用户信任,也阻碍了技术的规模化推广。

4.2 产业生态协同创新

(1)车企与科技公司的合作模式:车企具备整车制造、场景落地及用户资源优势,科技公司在算法研发、算力支撑、数据处理方面实力突出,二者深度协同是产业发展的必然趋势。当前主流合作模式包括联合研发、技术授权、成立合资公司等方式,通过资源互补加速技术迭代与产品落地,同时需平衡双方权责与利益分配,保障合

作的持续性。(2)标准化与开源社区建设:自动驾驶领域存在传感器接口、数据格式、通信协议等多方面标准不统一问题,导致不同企业产品难以兼容,增加研发成本与落地难度。推动行业标准化建设,明确技术规范与测试评价体系,同时构建开源社区共享核心算法与数据资源,可降低行业准入门槛,促进技术创新与协同发展。

4.3 前沿技术趋势

(1)大模型与多任务学习:大模型凭借强大的特征提取与泛化能力,可实现感知、决策、控制多任务端到端优化,减少传统模块化设计的协同损耗。多任务学习能让系统同时适配多种场景任务,提升对复杂环境的适应能力,未来通过大模型与多任务学习的融合,有望突破长尾场景覆盖不足的瓶颈,提升系统智能化水平。(2)车路云一体化的智能交通系统:依托5G/6G通信、边缘计算与云计算技术,构建车、路、云协同的智能交通体系。路侧设备补充车辆感知盲区,云端平台实现全局交通调度与算法迭代与OTA升级,车辆通过实时数据交互实现协同决策,可大幅提升行驶安全与通行效率,是自动驾驶从单车智能迈向全局智能的重要发展方向。

结束语

汽车自动驾驶作为智能交通的核心载体,正通过多技术融合与系统集成推动产业变革。本文从环境感知的精准化、决策控制的智能化、车路云协同的生态化等维度,揭示了关键技术突破对提升系统安全性与可靠性的关键作用。未来,随着大模型、车路云一体化等前沿技术的深化应用,自动驾驶将加速突破长尾场景瓶颈,但需同步完善伦理法规与产业协同机制,以实现技术价值与社会效益的双重跃升。

参考文献

- [1]郭俊飞.自动驾驶技术的现状与未来发展趋势[J].专用汽车,2024,(08):46-48.
- [2]杨玉好.人工智能在汽车驾驶技术领域的应用分析[J].汽车电器,2024,(07):41-44.
- [3]农彩年.浅析人工智能和大数据技术在自动驾驶中的应用[J].汽车维修技师,2024,(10):12-13.
- [4]胡卫悦,许际鹏.生态驾驶技术在智能网联汽车中的应用[J].汽车测试报告,2024,(02):25-27.