

自动驾驶决策规划算法在仿真环境中的快速迭代探索

刘正昊

比亚迪汽车新技术研究院智能驾驶软件研发中心，广东省深圳市，518116；

摘要：随着人工智能的发展，自动驾驶技术逐渐走入人们的生活，为日常出行带来极大便利。本文围绕自动驾驶决策规划算法在仿真环境中的快速迭代展开讨论。参数化场景派生、真实日志闭环回放、版本并跑与自动回归、临界工况搜索以及实车问题回灌等方式，能够支撑高频试验和稳定对比。与此同时，提炼出的接口标准化、仿真底座可信度、计算资源编排和版本治理等工程条件，强调了算法能力、场景资产与基础设施之间的协同关系，能够为构建面向决策规划算法的仿真迭代体系提供技术参考。

关键词：自动驾驶；决策规划算法；仿真环境；快速迭代

DOI：10.69979/3041-0673.26.01.100

引言

自动驾驶车辆是指搭载先进的传感设备、计算单元、执行模块，具备感知认知、决策规划、协同控制等能力，可实现与周围人-车-环境的信息共享与交互，以及安全、舒适、节能、经济驾驶，最终能够模仿人、替代人来自主行驶的车辆。自动驾驶车辆的普及对提高汽车行驶安全性、改善驾乘舒适性、缓解城市交通拥堵、节约能源减少排放等具有重要作用。在自动驾驶系统中，决策规划类似于驾驶人的人脑中枢系统，其利用环境感知层感知到的丰富信息，依据驾驶任务与控制目标对控制执行层下达控制指令，是智能化的核心体现^[1]。

1 自动驾驶决策规划算法概述

自动驾驶决策规划算法处于感知、预测与控制之间，承担车辆行为组织的核心职责。其任务并非单纯“选路径”，而是在道路规则、动态障碍物、车辆运动学约束与乘坐舒适性共同作用下，确定当前驾驶意图，并生成可执行、可跟踪、风险可控的轨迹。现实系统通常将决策与规划分层处理。前者负责跟车、换道、让行、汇入、绕行等行为选择，后者负责把行为意图转化为满足速度、加速度、曲率和碰撞约束的轨迹^[2]。两者共同决定车辆在复杂交通流中的反应方式，也直接影响系统的安全边界与通行效率。

从近年的工程实践看，规则驱动方法仍是量产系统的重要基础，有限状态机与行为树因结构清晰、便于验证，仍广泛用于行为决策。面对多车交互，仅依赖固定规则已难覆盖复杂博弈，部分研究开始引入马尔可夫决策过程、部分可观测马尔可夫决策过程以及博弈论建模，用于描述不确定环境下的时机选择。轨迹规划层更强调可解性与实时性，常见路径包括基于搜索的A*、Hybrid

A*、状态格规划，以及基于优化的模型预测控制、二次规划和平滑轨迹生成方法。采样类算法在狭窄空间避障中仍具有价值，但在高动态交通场景下通常需要与预测和约束优化联合使用。就当前发展趋势而言，单一算法已难以支撑稳定落地，规则约束、交互决策与轨迹优化相结合的分层架构，仍是自动驾驶决策规划的主流技术路线。

2 自动驾驶决策规划算法在仿真环境中的快速迭代方式

2.1 参数化场景派生

决策规划算法在仿真环境中的高频迭代，通常不是从零搭建场景，而是先把典型交通任务拆成可调参数，再围绕参数矩阵批量派生测试样例。可调项应覆盖道路几何、交通信号、目标车速度、相对间距、切入角度、遮挡关系、附着条件与参与体行为风格。这样处理后，同一类左转让行、匝道汇入或施工绕行场景便可形成成组样本，算法每次改动都能在固定框架下接受连续检验。工程上需要定义逻辑场景，采用OpenSCENARIO等场景描述方式表达约束关系，应用正交组合、拉丁超立方采样或约束随机采样扩展具体场景，避免人工逐个拼接。参数设定不能脱离道路经验，例如主路汇入时需要把目标车礼让概率、主路车流密度和可接受时隙共同纳入。为了保证回归可重复，场景种子、参与体初始状态和信号配时都应固定记录，必要时还要锁定预测模块输出，防止上游扰动掩盖决策规划本身的变化^[3]。若变量之间存在物理冲突，场景系统还应自动裁剪无效组合，避免回归结论失真。以无保护左转为例，可同步调节对向来车速度、信号相位余量和遮挡车位置，观察决策模块对可通行间隙的判断是否稳定，规划模块生成的轨迹是否

出现急减速、犹豫停滞或横向修正过多。

2.2 真实日志闭环回放

快速迭代更依赖可重复的问题复现链。决策规划算法模块一旦在实车或道路测试中出现抢行、犹豫、并线中断等异常，研发流程就会把原始传感器数据、定位结果、动态目标列表、交通灯状态和底盘反馈完整回灌到仿真系统，重建事发时刻的闭环运行过程。此处最关键的是时序一致性，包含目标轨迹对齐、交通参与体状态插值、定位漂移修正以及规划周期同步，否则同一问题在回放阶段可能无法稳定重现。为了分离模块影响，日志回放通常分成开环回放与闭环回放两种形态，前者核对算法输出差异，后者检查行为是否改变后续交互。较成熟的做法是保留规划输入接口与控制输出接口不变，只替换待验证版本，使新旧版本在同一日志上并行运行，直接比较决策时机、轨迹曲率、最小碰撞距离和制动峰值。对重现难度较高的案例，还需要补做地图对齐和动态目标重关联，确保周车身份不会在回放过程中跳变^[4]。除此以外，还可在回放阶段冻结预测结果，单独检查决策与规划的响应差异，避免上游模块波动干扰判断。以主路汇入保守问题为例，可把多段实车日志切片成统一起始条件，再分别验证时隙接受阈值、交互代价权重和目标车预测结果对行为选择的影响。只要复现链保持确定性，调试过程就不会停留在主观判断层面。

2.3 版本并跑与自动回归

当决策规划进入频繁修改阶段，单版本手工试跑很难支撑日常研发节奏，因而需要把版本并跑与自动回归纳入仿真主流程。具体做法是为每次提交生成独立构建，在同一批场景集上同时运行基线版本与候选版本，所有输出统一落盘，形成行为级差分记录。差分内容不能只看是否碰撞，还应覆盖变道触发时刻、制动建立时刻、横向偏移、轨迹平滑度、目标车让行判断和任务完成状态。场景库通常按问题簇组织，常规通勤、拥堵跟驰、环岛汇入、施工绕行和弱保护路口分别设置固定回归集与增量回归集，前者负责守住基本行为边界，后者用于验证最近改动的针对性效果。为了提高运行密度，仿真任务往往以容器化方式分发到计算节点并行执行，回归结束后再自动汇总成场景级与版本级报告。报告除显示总体指标外，还应保留帧级可视化入口，便于直接回看状态机切换、轨迹候选集变化和约束激活顺序。若某版修复了施工绕行中的停滞问题，却在窄路会车场景中增加了横向贴边风险，报告会直接标出受影响场景编号、指标变化区间以及首次异常帧^[5]。工作人员随后回查对

应的规则开关、约束项或代价函数，定位会明显加快。软件在环平台还需要设置门槛条件，只有碰撞率、舒适性和任务完成率同时满足要求，版本才能进入下一轮联调。

2.4 临界工况搜索与对抗扰动

很多决策规划缺陷并不出现在常规工况，而是潜在在接近失稳的边界条件附近，所以需要专门设计临界工况搜索机制，而不能只依赖固定场景集。常见操作是在既定交通任务内选取若干敏感变量，围绕碰撞时间、剩余可通行空间、相对速度差和遮挡解除时刻逐步逼近临界点，再观察算法何时出现行为跳变。为了减少人工试探，建议在仿真中接入贝叶斯优化、遗传算法或交叉熵方法，自动寻找最易触发缺陷的参数组合。若问题涉及多主体交互，还可让周车采用对抗式策略，例如在合法范围内延迟让行、提前切入、压缩跟驰间距或改变并线决心，从而迫使单车决策模块面对更高强度的博弈。除此以外，还应把风险指标直接写成搜索目标，例如最小碰撞时间下降、规划轨迹曲率突变或状态机频繁切换，用于锁定潜在失稳区间。搜索得到的结果不能只保留最终场景，还应记录参数演化路径，便于回溯缺陷从何处开始出现。对于未触发异常的搜索样本，同样需要保留边界记录，用来判断当前覆盖范围是否充分。以城市路口无保护左转为例，当前车刚离开遮挡区、对向直行车处于临界距离时，算法常在等待与抢行之间反复切换，人工枚举很难稳定找到这一点。临界搜索的任务，就是将不稳定区间锁定下来，并把触发条件固化成可复测样例，供后续状态机调整、规则修订或轨迹约束重设使用。

2.5 实车问题回灌与场景簇重构

仿真中的快速迭代若想持续有效，还需要让实车暴露的问题转化为可扩展的场景簇。工程上更稳妥的路径，是从道路测试、示范运营或影子模式中提取决策规划异常片段，并且依据道路结构、冲突对象、触发时机和失效表现进行标签化归类。完成归类后，不直接将原始案例作为唯一测试样本，而是围绕它重建一组近邻场景。重建时需要保留核心冲突关系，例如并线目标车的接近方式、行人进入车道的时间窗口、施工锥桶对可行区域的压缩程度，同时对无关因素做适度清理，避免问题来源被噪声掩盖。场景簇建立完成后，进一步为每一类问题绑定固定指标、问题编号和版本记录，确保同一缺陷在后续修改中能够连续追踪。此外，还可在日志挖掘阶段进行聚类操作，将相似失效案例归并成问题族，再针对每一族生成模板场景与扰动场景。为了防止修复单

点问题后引入新的行为偏差,模板场景、轻扰动场景和强扰动场景通常需要一并执行。例如,某次实车测试若在辅路汇入主路时出现长时间等待,研发人员不应只修复该单点案例,而应把主路车流密度、目标车礼让概率、汇入口长度与自车初速度共同纳入重构范围,建立一组能够检验时隙接受策略的回灌场景。这样形成的迭代链路能够更接近工程现场。

3 自动驾驶决策规划算法在仿真环境中快速迭代的工程条件

3.1 接口标准化与时序一致性条件

决策规划算法能否在仿真环境中高频迭代,前提不在场景数量,而在输入、输出与运行时序是否稳定一致。工程上需要统一坐标系、时间戳精度、地图版本、障碍物语义标签、车道拓扑表达和车辆状态定义,避免同一场景在不同版本中因接口差异产生伪变化。决策模块读取的目标列表、预测轨迹、信号灯状态与可行驶区域,必须保持字段含义固定,轨迹规划输出的参考线、速度曲线和约束信息也要具备可比性。若感知回放延迟、预测刷新频率或车辆动力学模型步长存在漂移,算法修改后的行为差异便无法归因。实际研发中,较为稳妥的做法是把决策规划相关接口写成严格约束的中间层协议,同时锁定随机种子、调度周期和模块触发顺序,使同一版本在重复运行时得到一致结果。

3.2 仿真底座可信度与计算资源条件

快速迭代的核心条件在于仿真底座对交通参与体行为、道路规则和车辆运动学约束的表达是否足够可信。若周车模型长期保持单一礼让逻辑,决策规划在仿真中形成的交互策略很容易偏离真实道路。工程上需要建立可切换的交通流模型,覆盖激进、保守、迟疑、抢行等常见驾驶风格,并保证信控逻辑、优先权关系、道路限速和禁行约束与地图语义严格对应。与此同时,计算资源调度也必须匹配研发节奏^[6]。仿真任务依赖人工排队、手工分发和本地单机运行,版本验证周期会被基础设施拖慢。更现实的配置是容器化部署、节点并行执行和结果集中归档,确保同一批任务在固定软件环境中完成。底座可信度决定测试结论是否可用,算力组织方式决定迭代是否真正具备连续性,这两项条件缺一不可。

3.3 版本治理、评测门槛与缺陷追踪条件

决策规划算法在仿真环境中的快速迭代,还依赖清

晰的版本治理机制,否则算法改动会不断叠加,最终失去可解释性。工程上需要每次提交绑定代码版本、参数版本、地图版本和依赖库版本,并把对应的评测结果、异常场景编号和问题描述同步记录,形成可回溯链路。若缺少统一门槛,研发人员往往只关注局部修复,忽略对既有能力的影响,因此必须预先设定准入规则,例如碰撞相关指标、轨迹平滑性、任务完成状态和规则一致性必须同时达标,版本才允许进入下一阶段。缺陷追踪也不能停留在现象层面,像抢行、停滞、变道取消这类表征,需要进一步拆分到状态机切换、代价函数失衡、约束触发顺序异常或预测输入不稳等具体环节。

4 结语

围绕自动驾驶决策规划算法在仿真环境中的快速迭代,本文从算法职能、仿真迭代链条以及工程条件三个层面建立较为统一的认识,强调把决策规划视作可持续调优的系统而非单次整定任务。文章给出的参数化场景派生、日志闭环回放、版本级回归、临界工况搜索和实车问题回灌等思路,指向一种以问题暴露和能力沉淀为核心的研发节奏,相关工程条件则保证这一节奏可以稳定运行。未来决策规划仿真迭代仍有拓展空间,像多主体交互建模、跨城市场景资产共享、仿真与在线运行数据联动等方向,都有望在保持安全边界的前提下进一步提升算法演进效率,也为自动驾驶规模化落地提供更扎实的验证路径。

参考文献

- [1]朱冰,等.自动驾驶车辆决策与规划研究综述[J].《中国公路学报》,2023,12(03):11-15
- [2]张鑫康,杨波,裴晓飞.考虑行驶效率的智能汽车决策规划算法[J].武汉理工大学学报,2022,44(05):47-53+89.
- [3]邱海艳.汽车自动驾驶功能改造技术应用分析[J].中国机械,2024,(16):51-55.
- [4]关鑫,史佳敏,陈仕韬,等.自动驾驶安全挑战:行为决策与运动规划[J].模式识别与人工智能,2023,36(03):191-210.
- [5]朱冰,贾士政,赵健,等.自动驾驶车辆决策与规划研究综述[J].中国公路学报,2024,37(01):215-240.
- [6]何一超,寇胜杰,田贺,等.面向量产的高速公路智能换道系统决策规划方法研究[J].汽车工程,2024,46(03):418-430.