

DOI: 10.53104/xdkxsts.2026.02.04.002

自动驾驶技术应用中的安全验证体系问题与优化方向

孙杰¹

1. 上海工程技术大学, 上海 201620

摘要: 自动驾驶技术通过环境感知、智能决策和车辆控制等技术实现车辆自主运行, 为交通效率提升和事故风险降低提供了新的技术路径。然而, 自动驾驶系统运行环境复杂, 涉及传感器、算法、软件、硬件以及道路环境等多个因素, 传统车辆测试方式难以全面评价其安全性。安全验证体系作为自动驾驶技术实现规模化应用的重要保障, 需要覆盖开发测试、场景验证、仿真测试以及运行监测等多个环节。当前自动驾驶安全验证仍存在测试场景覆盖不足、极端环境验证困难、系统持续更新后的安全评价不足以及验证结果与真实运行环境衔接不充分等问题。本文围绕自动驾驶技术应用中的安全验证体系展开分析, 从自动驾驶系统运行特点出发, 探讨现有安全验证体系存在的问题, 并结合仿真测试、场景构建、数据监测和全生命周期管理等方面提出优化方向, 以期自动驾驶技术安全应用提供参考。

关键字: 自动驾驶; 安全验证; 仿真测试; 场景测试; 智能交通

Safety Verification System Issues and Optimization Directions in the Application of Autonomous Driving Technology

SUN Jie¹

1. Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, P. R. China

Correspondence to: SUN Jie

Abstract: Autonomous driving technology enables vehicles to operate independently through environmental perception, intelligent decision-making, and vehicle control technologies, providing new approaches for improving transportation efficiency and reducing traffic accidents. However, autonomous driving systems operate in complex environments involving multiple factors, including sensors, algorithms, software, hardware, and road conditions, making it difficult for traditional vehicle testing methods to comprehensively evaluate their safety. As an essential foundation for the large-scale application of autonomous driving technology, the safety verification system needs to cover multiple stages, including development testing, scenario validation, simulation testing, and operational monitoring. Current safety verification systems still face several challenges, such as insufficient coverage of testing scenarios, difficulties in verifying extreme environments, inadequate safety evaluation after continuous system updates, and weak connections between verification results and real-world operation. This paper analyzes the safety verification system in the application of autonomous driving technology, discusses the existing issues based on the operational characteristics of autonomous driving systems, and proposes optimization directions from the perspectives of simulation testing, scenario construction, data monitoring, and lifecycle safety management, aiming to provide references for the safe application of autonomous driving technology.

引用格式: 孙杰. 自动驾驶技术应用中的安全验证体系问题与优化方向[J]. 现代科学探索, 2026, 2(4): 9-17.

Key words: autonomous driving; safety verification; simulation testing; scenario testing; intelligent transportation

引言

自动驾驶技术是智能交通系统发展的重要方向,其核心目标是利用传感器、计算平台和人工智能算法替代部分或全部人工驾驶任务。与传统车辆相比,自动驾驶系统不仅需要完成车辆运动控制,还需要持续感知复杂环境,并根据实时信息完成路径规划和行为决策。因此,自动驾驶安全性并不完全取决于单一部件性能,而是受到车辆硬件、软件算法、通信网络以及道路环境等多方面因素影响。

随着自动驾驶技术由实验测试逐渐进入实际应用阶段,安全问题成为限制其进一步发展的重要因素。自动驾驶系统面对的交通环境具有高度复杂性,同一套系统可能需要处理城市道路、快速道路、恶劣天气、突发障碍物等多种情况。仅依靠传统道路测试难以覆盖所有可能出现的风险场景,也难以证明系统在未知环境中的可靠性。当前自动驾驶测试已经逐渐从单一功能测试转向包括场景设计、仿真验证、道路测试和运行监测在内的综合安全验证体系。相关研究指出,自动驾驶系统需要通过多种验证方法共同评估其安全性能,而单一测试方式难以满足高等级自动驾驶应用需求。

自动驾驶安全验证体系不仅关系到技术可靠性,也影响用户信任和产业推广。部分自动驾驶事故并非来源于单一技术缺陷,而是由于系统在特殊环境下未能正确识别风险、测试范围不足或安全管理机制不完善导致。因此,构建更加完善的安全验证体系,需要从技术测试延伸到系统运行全过程管理。本文围绕自动驾驶技术应用中的安全验证体系问题展开分析,重点讨论当前验证体系面临的不足,并提出相应优化方向。

1 自动驾驶安全验证体系的基本认识

自动驾驶安全验证体系是保障自动驾驶系统可靠运行的重要组成部分,其主要作用是在车辆投入实际道路运行之前,通过不同测试方式评估系统是否满足安全要求。与传统汽车主要关注机械性能和驾驶辅助功能不同,自动驾驶安全验证需要关注车辆是否能够在复杂环境中持续完成感知、判断和控制任务。

自动驾驶系统通常由环境感知、决策规划和执行控制三个核心环节组成。环境感知负责获取车辆周围的信息,包括道路、车辆、行人以及交通标识等内容;决策规划负责根据环境信息制定车辆行为;执行控制则负责完成加速、制动和转向等操作。任何一个环节出现异常,都可能影响整个系统的安全运行。因此,安全验证不能只针对某个模块,而需要对整个系统进行综合评价。

在实际应用过程中,自动驾驶系统面临的问题比传统车辆更加复杂。传统车辆事故通常与驾驶员操作失误、道路条件或者车辆机械故障有关,而自动驾驶事故可能涉及算法判断错误、传感器失效、数据不足、软件升级影响等多种因素。自动驾驶系统架构也逐渐由单车智能向车端、路侧和云端协同方向发展,不同系统之间的信息交互进一步增加了安全验证难度。相关研究提出,智能网联汽车需要通过车端计算、路侧处理和云端调度之间的协同,提高系统运行效率,同时也需要建立更加完善的安全防护机制。

安全验证体系通常包括功能验证、场景测试、仿真验证和实际道路测试等内容。功能验证主要检查系统是否能够按照设计要求完成指定任务,例如车辆是否能够正确识别道路信息、是否能够完成自动制动等。场景测试则关注系统在不同交通环境中的表现,例如复杂路口、夜间驾驶、行人突然出现等情况。仿真验证通过虚拟环境模拟大量交通场景,可以降低实际测试成本,提高测试效率。实际道路测试则用于验证系统在真实环境中的运行效果。

目前,自动驾驶安全验证已经逐渐从单纯的车辆性能评价转向全过程安全管理。部分研究指出,自动驾驶系统需要建立覆盖设计、开发、部署和运行阶段的持续验证机制,以适应人工智能系统不断更新的特点。

安全验证体系的重要意义在于降低自动驾驶应用风险。一方面,它能够帮助开发人员发现系统缺陷,提高技术成熟度;另一方面,它能够为监管部门和用户提供安全依据,提高公众对自动驾驶技术的接受程度。自动驾驶未来的发展并不只是提高车辆自主能力,更重要的是建立能够证明其安全性的验证体系。

2 自动驾驶技术应用中安全验证体系存在的问题

自动驾驶技术的运行环境具有开放性和复杂性,车辆需要在不断变化的道路条件、交通参与者行为以及外部环境因素影响下完成自主感知、判断和控制。传统汽车测试方式主要围绕车辆结构性能和基础功能展开,而自动驾驶系统涉及感知算法、计算平台、软件程序和控制策略等多个层面,其安全性难以通过单一指标进行评价。现有安全验证体系虽然已经形成了一定基础,但在测试覆盖范围、验证深度以及运行管理等方面仍存在不足。

测试场景覆盖不足是当前自动驾驶安全验证面临的重要问题。真实道路环境包含大量动态变化因素,同一道路在不同时间、天气和交通状态下可能呈现不同的运行特点。自动驾驶车辆不仅需要处理常规驾驶场景,还需要应对突发情况,例如行人突然进入道路、车辆异常变道、道路标识模糊以及临时交通管制等情况。如果测试场景设计不足,系统可能在未经过充分验证的环境中运行,从而增加安全风险。

目前部分自动驾驶测试仍依赖有限数量的典型场景和道路实验。这种方式能够发现部分明显缺陷,但难以覆盖真实交通中的复杂变化。自动驾驶系统面对的交通环境并不是完全固定的,而是由车辆、行人、道路设施和自然环境共同形成的动态系统。测试过程中未出现问题,并不意味着系统已经具备应对所有场景的能

力。

道路环境多样性与自动驾驶行为表现之间存在密切联系。有研究通过大量道路几何数据和模拟测试分析发现,不同道路结构能够影响自动驾驶系统产生不同的驾驶行为,具有更高多样性的测试道路有助于发现潜在系统问题。这说明安全验证不能仅依靠固定路线测试,而需要建立更加丰富的场景库,使测试环境尽可能接近实际应用条件。

极端环境和未知场景验证不足也是影响自动驾驶安全的重要因素。自动驾驶系统依靠传感器获取外部信息,并通过算法完成环境理解。当车辆处于雨雪天气、夜间环境、强光照射或者道路遮挡等条件下时,传感器性能可能受到影响,系统感知准确性也可能下降。部分复杂场景在现实道路中出现频率较低,难以通过大量实车测试进行覆盖。

未知场景问题进一步增加了安全验证难度。自动驾驶算法通常基于已有数据进行训练,当车辆面对与训练环境差异较大的情况时,系统可能无法准确识别风险。例如,不常见的障碍物、特殊道路结构或者异常交通行为,都可能导致车辆产生错误判断。相关研究指出,未知数据和分布外场景可能导致自动驾驶系统出现错误决策,因此需要通过有效检测方式提升系统面对未知环境时的安全能力。

自动驾驶系统持续升级也给安全验证带来了新的压力。传统车辆在完成生产后,主要依靠硬件维护保持性能稳定,而自动驾驶车辆的软件系统和算法模型可能持续更新。软件升级能够改善车辆功能,但也可能改变系统原有运行逻辑,使过去完成的验证结果无法完全适用于新的系统版本。

自动驾驶安全验证需要关注车辆整个生命周期,而不是只停留在上市前测试阶段。系统运行过程中产生的数据能够反映车辆在真实环境中的表现,并帮助发现测试阶段未出现的问题。相关研究提出,自动驾驶系统需要建立运行数据获取、安全分析、监测报告和持续改进相结合的在用监测机制,以支持系统长期安全运行。

多模块协同运行增加了安全评价的复杂程

度。自动驾驶系统由感知、决策、控制、通信和计算等多个部分组成,各模块之间存在紧密联系。感知信息是否准确,会影响后续决策结果;计算资源是否充足,会影响系统响应速度;通信是否稳定,会影响车辆与外部设备之间的信息交互。因此,安全验证不能只关注单个模块性能,而需要评价不同模块之间的协同效果。

车端、路侧和云端协同模式的应用进一步扩大了安全验证范围。相比传统单车智能模式,车路云协同能够提供更丰富的信息来源,提高车辆对复杂环境的理解能力。但这种模式也增加了数据传输、系统协调和安全管理方面的问题。智能网联汽车系统架构逐渐向多层协同方向发展,如何保证不同设备和平台之间稳定运行,成为安全验证体系需要关注的重要内容。

安全验证结果与实际运行之间存在一定差距,也是当前体系需要解决的问题。实验室测试和仿真环境通常具有明确条件,能够方便控制变量,而真实道路环境存在更多随机因素。自动驾驶系统在测试阶段表现良好,并不意味着其能够完全适应长期运行中的所有情况。因此,安全验证体系需要加强测试阶段与实际运行阶段之间的数据联系,使验证过程能够持续反映系统真实状态。

3 自动驾驶安全验证体系中的关键环节分析

自动驾驶安全验证体系并不是单一测试流程,而是由功能验证、场景测试、仿真验证以及运行监测等多个环节共同组成。不同验证环节承担不同作用,通过测试结果反馈和问题修正形成循环过程。自动驾驶系统涉及感知、决策、控制、通信等多个模块,安全验证需要从单个功能评价扩展到系统整体运行能力评价。

3.1 功能验证与系统能力评价

自动驾驶系统的功能验证是安全评价的基础环节。车辆需要具备稳定的环境感知能力、合理的决策能力以及准确的控制能力,才能完成复杂交通环境下的自主运行。感知系统负责获取车辆周围环境信息,是自动驾驶安全运行

的重要基础。如果车辆无法准确识别道路、车辆和行人等目标,后续决策和控制过程都会受到影响。

环境感知验证主要关注传感器和识别算法对道路信息的处理能力。自动驾驶车辆通常结合摄像头、激光雷达、毫米波雷达等多种设备获取环境信息,不同传感器之间需要保持较好的协同效果。在实际道路环境中,光照变化、目标遮挡、道路标线缺失以及天气条件变化都会影响感知结果。

针对车道识别等感知任务,相关研究指出,复杂道路条件下的车道信息获取仍然存在挑战。部分研究通过构建多任务框架提升车辆对道路结构的理解能力,并在复杂道路环境中验证其有效性。这说明安全验证不仅需要评价系统是否能够完成基本功能,也需要关注系统在不同环境条件下保持稳定运行的能力。

决策与控制验证是自动驾驶安全体系中的核心环节。感知模块获取的信息需要经过系统分析后转化为车辆行为,例如减速、变道、停车或者绕行。相比简单功能判断,决策过程涉及道路环境、车辆状态以及其他交通参与者行为等多个因素。

自动驾驶决策系统的验证难点在于车辆需要在较短时间内完成信息处理和行为选择。系统不仅需要做出正确决策,还需要保证决策过程具有稳定性和可靠性。相关研究指出,自动驾驶决策系统直接影响车辆安全性能,需要通过技术测试验证其实时性和可靠性。

3.2 测试方式比较与仿真验证应用

自动驾驶安全验证需要采用多种测试方式,不同方法具有不同特点。实际道路测试能够反映真实交通环境中的车辆表现,但受到成本、时间和安全风险限制,难以覆盖大量特殊场景。仿真测试能够快速构建复杂环境,提高测试效率,但与真实道路之间仍存在一定差异。车辆在环测试则结合真实车辆设备和虚拟环境,在安全性和真实性之间取得平衡。

表 1 自动驾驶安全验证常见方式及特点

验证方式	主要内容	优势	局限
实际道路测试	车辆在真实交通环境中运行测试	环境真实性较高，能够反映实际运行情况	测试周期长，危险场景难以重复获取
仿真测试	利用软件平台构建虚拟交通环境	场景数量丰富，可重复测试复杂情况	与真实环境存在一定差异
车辆在环测试	结合虚拟环境和真实车辆设备测试	兼顾真实性和安全性	测试平台建设要求较高
运行监测	收集车辆实际运行数据并分析	能够发现长期运行问题	需要完善的数据管理机制

仿真测试是自动驾驶安全验证体系中的重要组成部分。由于真实道路测试无法覆盖大量复杂情况，仿真环境能够通过计算机技术构建不同道路条件、天气环境和交通行为，为自动驾驶系统提供重复测试条件。测试人员可以通过调整场景参数，观察车辆在不同情况下的响应情况，发现系统潜在问题。

仿真测试的价值不仅体现在降低测试成本，也体现在提高特殊场景验证效率。例如，危险场景在现实道路中出现概率较低，测试人员难以通过大量驾驶获得足够样本。而在仿真环境中，可以主动设置突发障碍物、车辆异常行为以及恶劣天气条件，对自动驾驶系统进行针对性测试。

目前，自动驾驶仿真测试逐渐从简单场景模拟向综合验证平台发展。相关研究提出，自动驾驶功能开发需要在实际部署前进行充分测试，但现实交通环境无法完全覆盖所有可能情况，因此可以通过虚拟交通环境和车辆在环测试相结合的方式，提高系统验证效率。该方法能够利用模拟交通场景和传感器信号对真实车辆进行测试，在保证测试安全性的同时提升验证范围。

3.3 场景验证与复杂环境适应能力评价

场景验证是自动驾驶安全验证体系中的关键内容。自动驾驶系统不仅需要通过一般道路测试，还需要证明其能够在设计运行范围内安全完成任务。不同道路环境、交通状态和天气条件都会影响车辆运行表现，因此测试场景的

设计直接影响验证结果。

传统测试方式通常依靠工程人员设计有限场景，但自动驾驶面对的交通环境具有高度复杂性，人工设计难以覆盖所有情况。场景验证需要综合考虑道路结构、交通参与者行为、环境因素以及车辆状态，使测试结果更加接近真实应用。

自动驾驶安全验证中的场景构建不仅需要关注正常运行情况，也需要关注危险和失效场景。例如，车辆在普通道路中能够保持稳定运行，并不能说明其在传感器异常、道路信息缺失或者其他车辆突然干扰情况下仍然安全。因此，测试体系需要包含正常场景、边界场景和异常场景。

相关研究提出，自动驾驶安全验证可以围绕“设计运行范围—行为能力—测试场景—验证准则—风险评估”的逻辑建立系统化框架，通过不同类型场景评价车辆行为能力。这种方式能够避免测试过程过度关注单一功能，而是从系统整体运行角度评价安全水平。

3.4 运行监测与安全反馈机制

数据记录与运行监测是安全验证体系的重要环节。自动驾驶系统投入实际运行后，车辆会产生大量运行数据，包括环境信息、车辆状态、系统决策过程以及异常事件记录。这些数据不仅能够用于事故分析，也能够帮助发现测试阶段未出现的问题。

传统车辆安全评价更多关注车辆出厂前是否符合标准，而自动驾驶系统具有软件持续更

新、算法不断优化特点,安全评价需要延伸到车辆运行阶段。通过持续收集运行数据,可以发现系统在不同环境中的表现变化,并根据实际情况调整验证标准。

运行监测机制能够形成“测试—应用—反馈—优化”的闭环过程。自动驾驶车辆在真实道路运行中产生的新情况,可以反向推动测试场景完善,使后续验证更加符合实际需求。相关研究指出,自动驾驶系统部署后的安全治理需要结合运行数据获取、数据分析、安全报告和持续改进,以支持系统长期安全运行。

3.5 系统透明度与安全责任追溯

自动驾驶安全验证还需要关注系统透明度问题。由于自动驾驶决策过程高度依赖算法,部分情况下用户和监管人员难以理解车辆为何采取某种行为。当系统出现异常时,如果无法还原决策过程,也会增加事故分析和责任认定难度。

可解释性技术能够提升自动驾驶系统的透明程度,使车辆决策过程更容易被理解和评价。相关研究指出,自动驾驶系统中的解释机制不仅关系到技术可靠性,也影响用户信任、责任划分和社会接受程度。

因此,安全验证体系不能只关注车辆是否完成任务,也需要评价系统行为是否具有可解释性。通过记录车辆决策依据、运行状态以及关键数据,可以提高事故调查效率,为自动驾驶责任认定提供技术支持。

4 自动驾驶安全验证体系的优化方向

自动驾驶安全验证体系的完善需要突破传统测试模式,将功能测试、场景验证、仿真分析和运行监测结合起来。自动驾驶系统涉及感知、决策、控制、通信等多个技术模块,单一验证方式难以全面评价车辆安全水平。安全验证需要覆盖系统研发、测试、部署和运行全过程,使不同阶段产生的数据和测试结果能够相互连接,为系统持续优化提供支持。

4.1 完善多层次验证体系,强化仿真测试能力

自动驾驶安全验证需要从单一功能测试向系统综合评价转变。在系统开发阶段,需要针对感知、决策和控制等核心模块进行测试,判断各部分是否满足设计要求;在系统集成阶段,需要关注不同模块之间的信息交互和协同运行能力;在车辆实际运行阶段,则需要通过持续监测评价系统长期表现。

不同阶段的验证工作需要形成有效衔接。研发阶段发现的问题可以用于完善测试场景,实际运行过程中出现的新情况也能够反向推动系统优化。通过建立覆盖开发、测试和运行阶段的验证体系,可以提高安全评价的完整性。

自动驾驶安全问题往往集中在低概率、高风险场景中,因此测试范围不能局限于常规道路环境。安全验证需要建立更加丰富的场景库,将真实交通数据、典型风险事件以及极端环境条件纳入测试范围,使系统能够接受更加全面的安全评价。

仿真测试是提升安全验证效率的重要方式。由于真实道路测试受到成本、安全风险和时间限制,难以覆盖大量复杂交通环境,而仿真环境能够通过计算机技术构建不同道路条件、天气情况和交通行为,为自动驾驶系统提供可重复测试条件。

仿真测试能够模拟现实中难以大量获取的危险场景。例如,突发障碍物、异常车辆行为、传感器异常以及恶劣天气等情况,都可以通过虚拟环境进行测试。测试人员可以调整场景参数,观察车辆在不同条件下的响应情况,从而发现系统潜在问题。

相关研究指出,自动驾驶功能开发需要在实际部署前进行充分测试,但现实交通环境无法覆盖所有可能情况,因此可以利用虚拟交通环境和车辆在环测试相结合的方法,提高系统验证效率。该方法能够利用模拟交通场景和传感器信号对真实车辆进行测试,在降低测试风险的同时扩大验证范围。

虚拟仿真与实际道路测试结合能够弥补单一测试方式的不足。实际道路测试具有较高真实性,但难以重复危险场景;仿真测试具有较强灵活性,但需要不断提高环境真实性。两种方式结合,可以利用仿真扩大测试范围,再通

过实际道路验证测试结果，提高安全评价准确性。

4.2 建立数据闭环机制，实现全生命周期安全管理

自动驾驶系统具有持续更新特点，安全验证不能只关注车辆交付前是否满足设计要求，还需要延伸到实际运行阶段。车辆投入使用后，会产生大量运行数据，包括环境信息、车辆状态、系统决策过程以及异常事件记录等。这些数据能够反映系统在不同环境中的表现，也能够帮助发现测试阶段未覆盖的问题。

数据闭环建设能够使安全验证形成“测试—运行—反馈—优化”的循环过程。测试阶段发现的问题可以用于改进系统设计，实际运行中的异常情况可以转化为新的测试场景，从而提高后续验证的针对性。

运行数据在事故分析和风险控制中具有重要作用。当车辆出现异常行为时，通过分析传感器数据、系统决策记录以及车辆运行状态，可以判断问题来源，并为后续优化提供依据。安全验证不应停留在车辆是否通过测试，而需要关注系统长期运行过程中的稳定性。

自动驾驶系统的软件属性决定了安全评价方式需要不断调整。车辆硬件出现问题时，通常可以通过维修或更换部件解决，而算法问题可能需要通过数据调整和系统优化解决。如果系统升级后仍采用原有验证标准，可能无法准确评价新版本系统的安全水平。

相关研究提出，自动驾驶系统部署后的安全治理需要结合运行数据获取、数据分析、安全报告和持续改进机制，通过持续监测支持系统长期安全运行。

4.3 完善标准体系建设，提升系统透明度与责任追溯能力

自动驾驶安全验证体系的完善需要标准体系作为支撑。自动驾驶涉及汽车工程、人工智能、通信技术和交通管理等多个领域，不同技术环节之间需要形成统一评价标准。如果缺少明确规范，不同企业和测试机构可能采用不同验证方式，导致测试结果难以比较，也增加监管难度。

自动驾驶等级不断提升，车辆承担的驾驶任务逐渐增加，安全验证标准也需要适应技术变化。低等级自动驾驶主要关注驾驶辅助功能，而高等级自动驾驶需要评价系统自主运行能力。因此，验证标准需要结合自动驾驶等级、应用场景以及设计运行范围进行调整。

安全验证标准还需要关注测试指标的完整性。传统车辆评价更多关注车辆性能参数，而自动驾驶系统需要同时评价感知准确性、决策合理性、系统响应速度以及异常处理能力。通过建立更加全面的评价指标，可以提高安全验证结果的可信度。

系统透明度也是安全验证体系的重要组成部分。自动驾驶车辆的部分决策过程依赖人工智能算法，当车辆采取某种行为时，用户和监管人员可能难以理解其原因。如果缺少清晰的数据记录和解释机制，事故分析和责任认定都会受到影响。

可解释性技术能够帮助安全验证从结果评价转向过程分析。通过记录车辆决策依据、运行状态和关键数据，可以更加准确地分析系统行为，为故障定位和责任判断提供依据。相关研究指出，自动驾驶系统中的解释机制不仅关系到技术可靠性，也影响用户信任、责任划分和社会接受程度。

5 自动驾驶安全验证体系的发展方向

自动驾驶安全验证体系未来将向更加系统化、动态化和协同化方向发展。自动驾驶技术应用范围不断扩大，车辆运行环境也更加复杂，安全验证需要从单一车辆测试转向覆盖车辆、道路、通信和管理系统的综合评价。

车路云协同验证将成为安全验证体系的重要发展方向。传统自动驾驶测试主要关注车辆自身能力，而未来智能交通环境中，车辆与道路设施、通信网络和云端平台之间会形成更加紧密的联系。车辆能够通过路侧设备获取更远范围的信息，也可以通过云端平台完成数据分析和系统优化。这种运行模式提高了车辆环境感知能力，但也要求安全验证覆盖更大范围的

系统关系。

车路云协同模式下,安全验证对象不再只是车辆本身,而是整个交通运行系统。例如,路侧设备提供的信息是否准确、通信过程是否稳定、云端服务是否可靠,都可能影响自动驾驶车辆决策。因此,未来验证体系需要建立针对多主体协同运行的评价方法。

自动驾驶安全验证还将从结果评价逐渐转向过程评价。传统测试通常关注车辆是否完成任务,例如是否成功避障、是否保持车道等,而未来安全验证需要关注车辆如何完成决策,以及决策过程是否符合安全要求。

过程评价能够帮助发现隐藏风险。有些情况下,车辆最终结果没有出现问题,但系统决策过程可能已经存在风险。例如,车辆虽然成功避开障碍物,但判断过程依赖错误信息,类似情况如果出现在其他环境中,可能导致事故。因此,安全验证需要关注系统内部运行逻辑,而不仅是最终结果。

仿真技术将在未来安全验证中发挥更加重要的作用。自动驾驶系统需要面对大量复杂场景,而传统道路测试难以满足需求。通过建立更加真实的数字化交通环境,可以快速生成不同测试条件,提高系统验证效率。

仿真测试的发展也需要与实际道路数据结合。单纯依靠虚拟环境可能无法完全反映真实交通情况,而单纯依靠道路测试又难以覆盖大量风险场景。将真实数据用于仿真环境构建,再通过道路测试验证仿真结果,能够提高安全验证的准确性。

自动驾驶安全验证体系还需要更加重视社会应用层面的安全管理。自动驾驶技术不仅涉及车辆运行安全,也涉及用户信任、责任划分

和监管体系等问题。当系统出现事故或者异常情况时,需要明确数据记录、责任判断和问题处理机制。

自动驾驶事故责任认定的复杂性已经成为技术应用中的重要问题。相关研究指出,自动驾驶汽车事故涉及驾驶员、车辆制造商、软件开发等多个主体,传统机动车责任体系难以完全适用,需要结合自动驾驶特点完善责任认定机制。安全验证体系的发展也需要与责任管理机制相结合,使测试结果能够为事故分析和风险控制提供支持。

6 结语

自动驾驶技术的发展使车辆从传统交通工具逐渐转变为具有环境感知和自主决策能力的智能系统。自动驾驶系统运行环境复杂,安全问题不仅来源于车辆本身,也与算法、数据、道路环境以及系统协同方式有关。完善的安全验证体系是自动驾驶实现可靠应用的重要基础。

当前自动驾驶安全验证仍存在测试场景覆盖不足、极端环境验证困难、系统更新后的安全评价不足以及实际运行反馈不足等问题。解决这些问题,需要建立更加全面的验证体系,将仿真测试、实际道路测试、场景分析和运行监测结合起来。

未来自动驾驶安全验证将不再局限于车辆功能检测,而会逐渐发展为覆盖车辆生命周期和交通系统整体运行的综合安全管理体系。通过完善测试标准、加强数据反馈、提升系统透明度以及推动多主体协同验证,可以进一步提高自动驾驶技术应用的安全水平,为智能交通发展提供可靠保障。

参考文献:

- [1] Kusano K D, Scanlon J M, McMurtry T L, Victor T. Do time of day and day of week matter when comparing Waymo's automated driving system and human crash involvement rates?[J]. Traffic Injury Prevention, 2026.
- [2] 莫玉香, 张小波, 刘钦, 姜磊. 基于自动驾驶的智能网联汽车系统架构优化路径分析[J]. 世界汽车, 2026(8): 38-39.
- [3] 向世林, 褚观耀, 王霞. 基于虚拟交通和车辆在环的自动驾驶功能测试[J]. 机械制造与自动化, 2026, 55(4): 265-270.

- [4] 陈俊涛, 陈贞, 杨强, 刘玉清, 贾贝贝, 李广友. 面向安全验证的自动驾驶系统行为能力与场景建模框架[J]. 汽车文摘, 2026(8): 1-15+69.
- [5] 陈贞, 杨强, 陈俊涛. 自动驾驶系统部署后安全治理中的在用监测与报告机制研究[J]. 汽车文摘, 2026(8): 27-36.
- [6] Klikovits S, Riccio V, Castellano E, et al. Does road diversity really matter in testing automated driving systems?[J]. Empirical Software Engineering, 2026, 32(1).
- [7] Sanchi M. Systemic explainability for autonomous driving: connecting ethics to law and society[J]. AI & SOCIETY, 2026.
- [8] 笪蓓秋. 基于计算机智能算法的汽车自动驾驶决策系统研究[J]. 汽车测试报告, 2026(15): 31-33.
- [9] 常怡帆. 自动驾驶汽车交通事故的侵权责任认定研究[D]. 广西师范大学, 2026.

版权声明

© 2026 作者版权所有。本文依据“知识共享署名 4.0 国际许可协议”(CC BY 4.0) 以开放获取方式发布。该许可允许使用者在任何媒介中自由使用、复制、传播与改编文章(含商业用途), 惟须明确署名原作者及出处, 并注明所作修改(如有)。完整协议详见:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.zh-hans>

出版声明

所有出版物中的陈述、观点及资料仅代表作者及供稿者个人立场, 与 Brilliance Publishing Limited 及/或编辑人员无关。Brilliance Publishing Limited 及/或编辑人员对因内容所提及的任何理念、方法、说明或产品所导致的人身或财产损害概不负责。