

自动驾驶汽车感知系统的标准化工程与测试验证方法

郝琪

山西泽厚机动车检测服务有限公司, 中国·山西 晋城 048000

摘要: 自动驾驶汽车感知系统是实现智能驾驶的核心技术之一, 其标准化工程与测试验证方法对提升系统可靠性和安全性至关重要。论文从传感器技术、多传感器融合、现有标准化进展等方面探讨感知系统标准化的现状与挑战, 并分析不同测试验证方法的应用。通过研究, 提出未来感知系统标准化与验证技术的发展趋势, 以期自动驾驶技术的进一步发展提供参考。

关键词: 自动驾驶汽车; 感知系统; 测试验证

Standardization Engineering and Test Verification Method of Autonomous Vehicle Perception System

Qi Hao

Shanxi Zehou Motor Vehicle Inspection Service Co., Ltd., Jincheng, Shanxi, 048000, China

Abstract: The autonomous vehicle perception system is one of the core technologies to realize intelligent driving. Its standardized engineering and test verification methods are crucial to improve the reliability and safety of the system. The paper explores the current status and challenges of standardization in perception systems from the perspectives of sensor technology, multi-sensor fusion, and existing standardization progress, and analyzes the application of different testing and verification methods. Through research, propose the development trend of standardization and verification technology for future perception systems, in order to provide reference for the further development of autonomous driving technology.

Keywords: autonomous vehicle; perception system; test validation

0 前言

自动驾驶汽车作为未来交通系统的重要组成部分, 正在快速发展和广泛应用, 其核心技术之一便是环境感知系统。感知系统通过多种传感器(如雷达、激光雷达、摄像头等)采集车辆周围的环境信息, 并经过多传感器融合与智能算法处理, 实现对周围动态与静态物体的识别、定位与跟踪。然而, 自动驾驶感知系统的复杂性和多样性使其在设计和应用过程中面临诸多技术挑战。例如, 不同传感器之间数据的异构性、环境干扰对感知系统的影响, 以及在多种复杂交通场景下的鲁棒性和可靠性问题。这些技术挑战不仅关系到系统性能, 还直接影响自动驾驶汽车的安全性和用户体验。为了确保自动驾驶技术能够大规模推广应用, 感知系统的标准化工程和测试验证方法显得尤为重要。标准化有助于统一各厂商的技术规范, 提高不同系统之间的互操作性和兼容性, 同时为测试验证提供明确的框架, 以保证感知系统在不同场景下的稳定性与安全性^[1]。尽管目前已有若干国际和区域标准初步建立, 但在全球范围内, 感知系统的标准化工作仍处于不断探索和发展阶段, 特别是针对测试验证的标准尚未完全成熟。基于此, 论文将深入探讨自动驾驶感知系统的标准化工程与测试验证方法, 分析其现状、面临的挑战以及未来可能的发展方向, 以期为该领域的技术进步提供理论支持和实践指导。

1 自动驾驶汽车感知系统标准化工程

1.1 感知系统的关键组成与技术

自动驾驶汽车感知系统的核心在于其对外界环境的实时感知与处理, 这一过程依赖于多种传感器技术和算法的协同工作。常见的传感器包括摄像头、雷达和激光雷达等, 它们各具优势与不足。摄像头在图像细节捕捉方面具备较高分辨率, 但在光照条件不佳时表现受限; 雷达具有良好的穿透性, 能在恶劣天气条件下稳定工作; 激光雷达则以高精度的三维点云数据见长, 适用于精准的物体检测与距离测量。然而, 单一传感器往往无法满足复杂道路环境下的全局感知需求, 因此多传感器融合成为关键技术, 通过整合各类传感器的感知数据, 增强系统的鲁棒性与感知能力^[2]。

多传感器融合技术涉及对异构数据的实时处理与整合, 既包括数据层的融合, 也涵盖特征层和决策层的多层次融合。通过数据层融合, 不同传感器输出的原始数据被直接组合, 如雷达与摄像头的时间同步信息; 特征层融合则是在每个传感器独立提取目标特征后, 再将其融合处理; 而决策层融合是各个传感器独立输出结果, 最终在决策系统中通过加权算法得出最终判断。在这一过程中, 感知算法(如目标检测、分类、跟踪等)也扮演着不可或缺的角色, 这些算法通过深度学习与传统计算机视觉技术相结合, 提高了对动态与静态物体的检测和预测精度。

1.2 现有标准化工作回顾

自动驾驶感知系统的标准化工作在全球范围内受到广泛关注。国际标准化组织 (ISO) 和国际电工委员会 (IEC) 等机构已发布了若干与自动驾驶技术相关的标准, 如 ISO 26262 针对道路车辆功能安全的标准, 对自动驾驶系统的安全设计提供了参考。此外, 汽车工程师学会 (SAE) 通过 SAE J3016 对自动驾驶分级, 明确了不同级别自动驾驶系统对感知能力的要求。与此同时, IEEE 等国际性技术组织也积极推动相关技术标准的制定, 涵盖了自动驾驶感知系统中的数据格式、通信协议和系统接口等技术细节^[3]。

在区域标准方面, 欧洲、美国和中国等主要汽车市场也在同步推进自动驾驶感知系统的标准化工作。欧洲的 Euro NCAP 测试规程以及德国等国家的法规已开始要求部分感知系统的强制安装, 并为自动驾驶汽车的感知系统性能设定了基准; 美国联邦汽车管理局 (NHTSA) 和交通运输部 (DOT) 则通过政策和指南推动自动驾驶感知系统在实际道路测试中的应用; 中国的标准化工作则集中于 GB/T 40429—2021 等行业标准的制定, 为自动驾驶汽车的传感器融合和环境感知提供技术规范。这些标准的出台为自动驾驶感知系统的研发提供了方向和依据, 由于各国政策、技术路径和市场需求的差异, 全球范围内的标准化进展存在一定不均衡性和局限性。

1.3 感知系统标准化面临的挑战与机遇

感知系统的标准化工作仍面临诸多挑战。首先, 感知技术本身的快速发展带来了技术多样性, 不同厂商基于不同传感器技术和算法的研发路径, 使得统一标准的制定复杂化。其次, 各国在法律法规和技术路线方面的差异, 尤其是对于自动驾驶安全标准的要求不同, 增加了全球范围内标准统一的难度。最后, 不同自动驾驶级别对感知系统的需求差异巨大, 从 L2 级别的辅助驾驶到 L4、L5 级别的全自动驾驶, 其感知系统的要求在数据处理能力、传感器部署和算法复杂度上均有显著差异, 如何在不同级别的自动驾驶车辆上进行统一的标准化适配, 仍是一个亟待解决的问题^[4]。随着感知技术逐渐成熟, 感知系统标准化的进程也迎来了重要机遇。通过标准化, 可以促进厂商之间的合作与技术共享, 避免重复研发和资源浪费, 推动技术创新。同时, 标准化的推进有助于提升产业的整体安全水平, 为政策制定者提供明确的技术依据, 加速自动驾驶汽车商业化应用。此外, 标准化可以促进感知系统的模块化和通用化设计, 使其更容易适应不同车型与应用场景。

2 感知系统的测试验证方法

2.1 测试验证的重要性

自动驾驶感知系统作为整车智能驾驶的核心部分, 其性能和安全性对车辆在实际道路上的表现至关重要。由于自动驾驶汽车需要在高度动态且复杂的环境中运行, 感知系统

的性能测试和验证显得尤为关键。测试验证不仅是评估系统功能和性能的手段, 还直接关系到系统的可靠性和安全性。在开发阶段, 测试验证可以帮助识别感知系统中的漏洞, 优化传感器配置和感知算法, 进而提升系统的整体表现。在实际应用中, 测试验证则可以确保感知系统在不同天气、交通条件以及意外状况下的稳定性和安全性, 这对自动驾驶汽车商业化推广具有重要意义。

感知系统的测试验证方法不仅要确保其在理想条件下的准确性, 还必须验证其在复杂、动态、不确定的现实环境中的鲁棒性。测试场景可能包括不同的天气条件 (如大雨、大雾等) 多样的道路环境 (城市、乡村、高速公路) 以及多变的交通状况 (静态障碍物、行人、自行车和其他车辆)。此外, 感知系统的测试还需要确保其在极端条件下的表现, 如应对突发事件、传感器故障等。这些测试验证可以有效提升系统的感知能力, 为自动驾驶系统的安全运行提供保障^[5]。

2.2 现有测试验证方法分类

2.2.1 模拟仿真测试方法

模拟仿真是自动驾驶感知系统验证中不可或缺的一部分。在虚拟环境中, 开发人员能够构建复杂的动态交通场景, 并模拟不同的道路、天气以及突发事件等外界环境。通过仿真测试, 可以快速、低成本地评估系统在多样化条件下的感知性能。常见的仿真平台包括 CARLA、PreScan、Vires VTD 等, 它们能够提供高精度的道路和交通场景建模功能, 支持多传感器同步仿真。在这些虚拟环境中, 传感器数据的精度和系统处理速度可以得到精确控制, 且能够测试系统在极端环境下的边界条件, 如高速碰撞、传感器失效等极端场景。

虚拟仿真方法的另一个重要优势在于其可扩展性, 开发人员能够随时调整测试场景的复杂度与多样性, 并通过自动化测试工具在短时间内进行大规模场景测试, 获得大量数据。同时, 仿真测试的自动化程度高, 通过自动数据采集和分析, 能够加速算法迭代。

2.2.2 封闭场地测试

在实际环境中进行封闭场地测试是感知系统验证的另一重要手段。封闭场地测试通常在受控环境下进行, 确保外部干扰最小化, 从而为感知系统提供精确的验证场景。这种测试通常用于验证感知系统在特定环境下的基本功能, 例如传感器对静态和动态物体的检测精度、距离测量的准确性以及对移动目标的跟踪能力。封闭场地通常模拟典型的驾驶环境, 如城市道路、高速公路、停车场等, 能够为系统提供全面的感知场景。

例如, 美国 Waymo 和 Uber 等公司在封闭测试场地内对其自动驾驶车辆的感知系统进行了长期的验证测试, 这些测试不仅包括标准的道路场景, 还涵盖了恶劣天气和夜间条件下的车辆运行表现。通过在封闭环境中的重复测试, 感知系统的传感器融合算法和物体识别能力可以得到强化, 并逐

步优化系统性能。封闭场地测试的优势在于其可控性，可以模拟特定的危险场景或复杂的动态交互场景，帮助识别感知系统的极限性能。

2.2.3 实际道路测试

感知系统的终极测试验证必须在实际道路环境中进行。相比仿真测试和封闭场地测试，实际道路测试具有更高的复杂性和不可预见性，因为车辆会在完全真实的交通环境中运行，面临动态且随机变化的交通状况。在这种情况下，感知系统需要处理不同的驾驶场景，如密集的城市交通、乡村道路的非结构化环境以及高速公路的复杂车辆流动。系统还需要应对多样化的气候条件，包括雨雪天气、雾霾、低光照等不利环境下的感知性能。

公共道路测试要求自动驾驶车辆能够应对真实的行人、其他车辆和不规则的路况变化，这使得测试过程更具挑战性。为了保障安全，各国通常对公共道路测试设定了严格的法律要求，测试车辆需要具备冗余的安全系统，并由人工驾驶员实时监控。例如，特斯拉、Waymo 等公司都在全球范围内开展了大规模的公共道路测试，积累了大量真实世界的驾驶数据。这些数据不仅用于验证感知系统的实时性能，还为系统的持续学习与优化提供了宝贵的资源。

2.3 测试方法的标准化现状

在自动驾驶感知系统的测试验证中，标准化工作仍处于不断发展阶段。国际组织如 ISO 和 SAE 正在推动感知系统测试的标准化，ISO 21448 (SOTIF) 和 ISO 26262 等标准为自动驾驶感知系统的安全性和功能性提供了规范框架。SOTIF 标准主要聚焦于自动驾驶系统在未知场景下的安全性评估，特别是当传感器不能完全感知环境时的系统反应。

不同国家和地区在测试方法上存在差异。例如，美国的联邦机动车安全标准 (FMVSS) 和欧洲的 Euro NCAP 测试项目，都对感知系统的道路测试提出了不同要求，涵盖了从传感器数据采集到系统性能评价的各个方面。在中国，类似的测试标准化工作也在推进中，包括由中国汽车技术研究中心 (CATARC) 牵头的系列感知系统测试规范，这些规范为自动驾驶汽车的本土化测试提供了基础。

随着自动驾驶技术的发展，测试验证的标准化将有助于建立全球通用的性能评估体系，促进跨国公司在不同市场的技术推广。标准化不仅能够提升系统安全性，还可以降低开发成本，推动技术快速迭代和优化。

3 自动驾驶感知系统的未来标准化与验证趋势

3.1 标准化的未来发展趋势

未来，全球统一标准将是自动驾驶感知系统标准化的关键方向，推动各国在法规和技术路径上的合作，以提升系统互操作性和商业化推广速度。此外，感知系统的标准化将扩展至与 V2X 等技术的协同，以实现“车—路—云”一体化的智能交通体系，增强自动驾驶系统的整体感知能力。模块化设计和开放标准也将成为主流，推动不同厂商间的技术共享与创新，加速产业发展。

3.2 测试验证技术的发展方向

未来的测试验证将朝智能化、自动化和融合方向发展。AI 驱动的自动化测试方法将加速场景生成和算法优化，通过机器学习识别系统弱点。虚拟仿真与现实测试相结合的混合方法将有效降低测试成本并提高测试覆盖率。持续的数据驱动验证也将成为常态，通过海量的道路数据不断优化感知算法，使系统能够动态适应新环境。随着复杂场景的增多，感知系统测试将不断扩展，确保其在多样化条件下的鲁棒性与安全性。

4 结语

论文探讨了自动驾驶汽车感知系统的标准化工程与测试验证方法的重要性。通过分析感知系统的关键技术、现有标准化工作以及测试验证方法，明确了当前存在的技术挑战与标准化不足。未来，全球统一标准的制定、模块化设计和数据驱动的持续验证将推动感知系统的成熟和安全性提升。标准化和智能化测试技术的发展将加速自动驾驶汽车的商业化进程，确保其在复杂多变的现实环境中具备可靠性和安全性。

参考文献：

- [1] 郭晓丽.自动驾驶汽车感知系统关键技术分析[J].专用汽车,2023(10):60-62.
- [2] 朱小波,谭兴文.自动驾驶汽车环境感知与传感器融合技术[J].汽车与新动力,2024,7(4):24-27.
- [3] 吴盛豪,郑素丽,杨璐琦.国外自动驾驶汽车标准化发展趋势及其对我国的启示[J].标准科学,2021(11):16-24.
- [4] 裴静,丁健,汪春华,等.汽车自动驾驶验证方法及测试装备研究[J].汽车测试报告,2023(17):154-157.
- [5] 陈山枝.C-V2X车联网赋能智能驾驶和智能交通[J].智能网联汽车,2023(1):36-39.