

基于环境可控场地技术的智能汽车 感知系统测试研究



李冲^{1,2,*}, 郭利伟¹, 黄杨³, 傅文丰³

¹ 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122

² 中国汽研检测事业部电子通信和软件测试评价中心, 重庆 401122

³ 重庆金康赛力斯新能源汽车设计院有限公司, 重庆 401135

摘要: 感知系统作为智能汽车的决策数据收集模块, 对整车的规划和控制策略具有重大影响。本文分析了外界自然条件对汽车感知系统重大影响因子(降雨量、可见度和光照强度), 形成了仿真环境可控技术和实车场地测试环境可控技术方面的评价规则。结合相关国家标准和供应商技术能力储备, 建设覆盖小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨的降雨模拟系统; 建设涵盖最低能见度为 15—2000 米的降雾模拟系统; 以及建设四挡可调的自然界的光照模拟系统, 使试验测试场地具备全天候、不间断的环境可控测试能力。基于典型工况的重点功能测试研究体系, 通过环境可控测试技术对智能汽车感知系统进行了测试用例开发并进行测试。试验统计结果表明, 基于环境可控测试技术有效覆盖典型测试场景, 对智能汽车的高度自动驾驶阶段的实现具有促进作用。

关键词: 感知系统; 环境可控; 硬件在环测试; 实车测试

DOI: [10.57237/j.cst.2023.01.004](https://doi.org/10.57237/j.cst.2023.01.004)

Research on the Performance of Intelligent Vehicle Perception System Based on Environmental Controllable Testing Technology

Li Chong^{1,2,*}, Guo Liwei¹, Huang Yang³, Fu Wenfeng³

¹ China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China

² Electronic Communication and Software Test Evaluation Center of China Automobile Research Testing Business Unit, Chongqing 401122, China

³ Chongqing Jinkangsailisi New Energy Automobile Design Institute Co., Ltd., Chongqing 401135, China

Abstract: As the decision-making data collection module of intelligent vehicle, the perception system has a significant impact on the vehicle planning and control strategy. This paper analyzes the significant factors (rainfall, visibility and light intensity) of external natural conditions on the vehicle perception system, and forms the evaluation rules for the controllable technology of simulation environment and the controllable technology of real vehicle field test environment. In combination with relevant national standards and technical capacity reserves of the supplier, the rainfall simulation

基金项目: 基于自动驾驶数据的交叉口驾驶行为分析与预测方法研究 (010329).

*通信作者: 李冲, 870440062@qq.com

收稿日期: 2022-12-09; 接受日期: 2023-02-10; 在线出版日期: 2023-02-16

<http://www.computscitech.com>

system covering light rain, moderate rain, heavy rain, heavy rain and heavy rain will be built; Build a fog fall simulation system covering a minimum visibility of 15-2000 meters; And build a four-gear adjustable natural lighting simulation system, so that the test site has the ability of all-weather, uninterrupted and controllable environmental testing. Based on the key functional testing research system of typical working conditions, the test case development and test of the intelligent vehicle perception system are carried out through the environment-controlled test technology. The test statistics show that the environment controllable test technology can effectively cover typical test scenarios, and can promote the realization of the highly automatic driving phase of intelligent vehicles.

Keywords: Perception System; Environment Controllable; Hardware-in-the-loop Testing; In-field Testing

1 引言

感知传感技术与通信技术、计算机技术并称现代信息产业的三大支柱,是当代科学技术发展的重要标志[1]。伴随着智能汽车产业的高速发展,传感器逐渐由传统型向智能型方向发展,并带动市场日益繁荣。

根据国家标准传感器是指能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件[2]。感知系统作为连接物理世界和数字世界的桥梁,一般包含传感单元、计算单元和接口单元。传感单元负责信号采集;计算单元则根据嵌入式软件算法,对传感单元输入的电信号进行处理,以输出具有物理意义的测量信息;最后通过接口单元与其他装备进行通信。

随着感知系统在智能汽车身上的广泛应用,与之对应的事故场景/工况复现、功能性故障应对策略测试需求日趋急迫,急需建设一种车辆、环境和交通场景

在环的仿真系统,用于智能网联汽车高复杂度综合场景的测试验证[3, 4]。Koopman P [5]等人介绍了自动驾驶汽车感知系统的主要架构,剖析了其面临的挑战。没有条例清晰地分析感知系统的性能考量因素;王潇屹[6]等人根据其对感知系统的影响程度选取了不同系统的试验方式和影响因子,综合设计了正交设计试验测试用例方案;马雪寒[7]等人在基础场景上增加各类触发条件,并运用仿真技术搭建了测试场景对某款带有目标感知功能的视觉传感器进行了评价测试。上述学者的研究并未能采用真实车辆进行环境可控(雨、雾、光)的场景模拟和闭环控制试验,在室内快速进行基于“真实车辆+车载传感器+模拟可控环境+模拟可控交通场景”的测试,在各类复杂虚拟交通场景驱动下对整车智能网联的功能及性能进行全面测试。



图 1 环境可控技术平台示意图

因此,本文以基于环境可控测试技术的智能汽车感知系统性能研究对象,通过对环境可控关键测试方法的特性分析,详细呈现了智能辅助仿真台架的环境

可控技术方案和实车测试系统环境可控技术方案。依托台架测试系统和实车评估系统的测试用例开发,进行不同极端气候环境、极端交通场景下的感知系统性

能、不同极端气候环境、极端交通场景下感知系统融合算法评估、车辆的决策算法评估和智能车辆的整车行为评估测试。验证了基于仿真测试和封闭场地测试的评价结果不断地去完善评价准则的必要，为后续的感知系统工程开发和商业化应用做出铺垫。

2 环境可控测试技术简析

环境可控测试技术指的是通过人为改变和设定试验测试的环境条件，以便于实现仿真和实车场地测试中对感知系统性能具有重大影响的环境参数，如天气类型、雨量大小、能见度高度和光照强度等[5]。

环境可控测试技术的实现，需要由数采设备和采集软件共同作为支撑。其中，数采硬件平台拟采用一体化平台，考虑到道路测试对环境和三防等有明确要求，拟采用嵌入式平台。数据采集平台包含了各传感器以及通信接口的的时空同步功能、特殊场景的自动/手动触发功能、语音触发等重要功能。数采硬件平台包含实时机环境和 PLC 环境等。

环境感知本质是结合了各个传感器的优势，主要是识别交通参与者并且具备分类功能，最后输出交通参与物的位置信息输出给数据采集平台进行储存。前后的长距离测量主要是采用毫米波雷达、激光雷达主要是感知周围的目标物、视觉传感器主要是对交通参与物进行分类，环境感知平台主要是有计算平台和融合算法组成，计算平台采用多核心嵌入式实时计算平台，融合算法基于 ROS 系统部署。

数据处理平台主要有 1) 数据搜索 2) 数据有效性

判断 3) 数据储存和导出三大功能组成。数据搜索可以根据触发标签、总线事件、外部事件、语音触发、语音标签等进行遍历和查找数据；数据有效性判断主要是在采集阶段对数据进行有效性判断减少后期数据分析的工作，主要是对故障场景数据进行滤波、清洗、整合等功能。数据储存和导出功能可以实现数据导出时，既可以导出所有数据，也可以只导出指定时间范围内的数据；可将数据下载为离线数据（可压缩或不压缩），用于离线分析截取。

3 仿真环境可控技术方案

仿真环境可控技术方案即台架方案，能够实现项目所需测试需求，实现控制系统、执行系统、真实控制器间的联合仿真。如下图所示，仿真环境可控台架部分采用模块化设计，根据不同的功能分类成各种功能模块，各功能模块可独立使用或组合使用，并实现对相关参数的实时控制、采集。实时控制系统部分采用 NI 实时系统，具有数字模拟采集模块、CAN 通信模块，能通过 NI 的 CAN 板卡实现真实控制器和执行器的数据通信和记录，满足 SAE J1939、ISO 11898 和 SAE J2602 标准，满足通信协议规范。软件平台方面，采用 Trucksim 进行车辆动力学模型的搭建，采用 VTD 进行道路模型、天气模型及交通流模型的搭建，采用 Veristand 进行整个实验环境的配置和所有硬件接口的数据采集以及测试界面的搭建和环境典型参数的编辑，采用 ECUTEST 进行测试用例的编制和测试报告的生成。

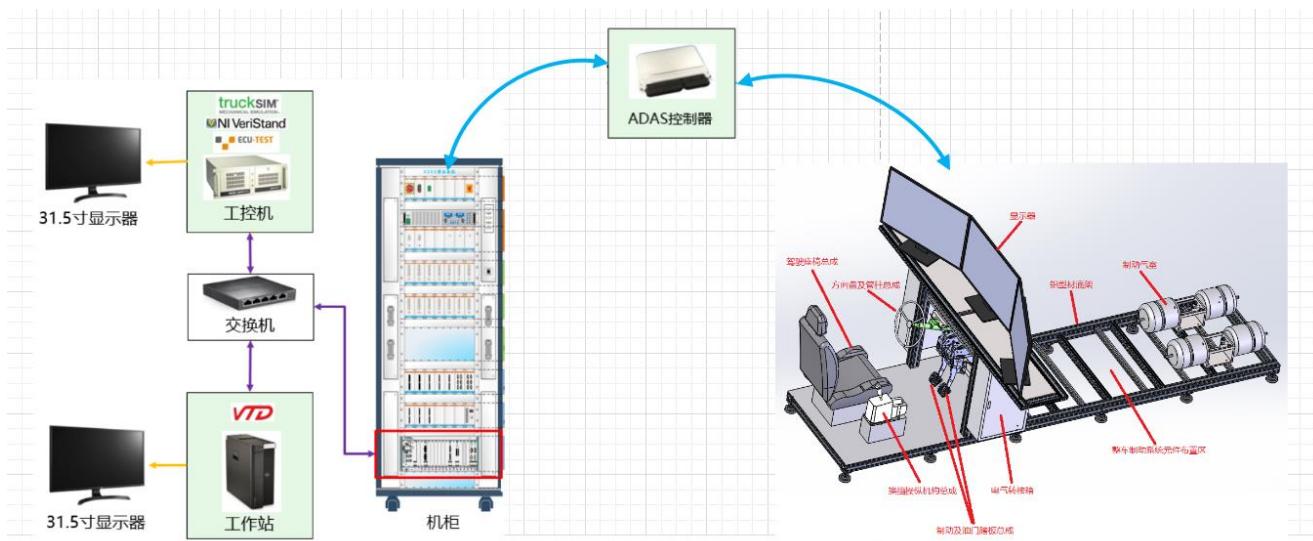


图 2 仿真环境可控系统台架方案

其中, 仿真测试台架主要工作为: 信号列表制作; 包括列表的定义、负载卡配置、驱动卡配置、跳线设置、故障仿真管脚定义等; I/O 模型开发和配置: 进行上位机、I/O 硬件间的输入、输入配置, 实现模型和实际物理信号的映射, 实现信号的传输、监控; 执行器信号采集与传感器信号输出: 对传感器、执行器信号通道进行配置和标定; 仿真车辆建模: 对车辆模型、控制模型、环境模型等进行建模和参数调整, 并配置虚拟传感器与硬件的接口, 控制器集成测试: 开发自动测试案例, 进行开环测试和闭环测试, 采集相应的信号, 调试系统到正常工作状态, 并生产相应的测试报告。

4 实车环境可控技术方案

实车环境可控技术方案主要依托与降雨模拟系统、降雾模拟系统和光照模拟系统三大组成部分实现实车测试的环境参数调整。其中, 为了满足郭家标准、行业标准的要求, 雨雾光系统的设计参数如下:



图 3 实车环境可控方案示意图

4.1 降雨模拟系统

降雨模拟系统五档可调, 降雨量可满足 1mm-120mm/h 的降雨强度, 降雨强度在此范围内可以调节以满足不同的试验要求, 并具备小雨 (1~10mm/h) 控制精度正负 2mm/h; 中雨 (10~25mm/h), 控制精度正负 2mm/h、大雨 (25~50mm/h) 控制精度正负 5mm/h、暴雨 (50~100mm/h) 控制精度正负 5mm/h 和

大暴雨 (100~250mm/h) 控制精度正负 10mm/h。

根据 GB5768.2/3 标准雨滴直径为大暴雨 (3.0-6.0mm)、暴雨 (2.4-4.0mm)、大雨 (1.8-2.5mm)、中雨 (1.0-1.8mm)、小雨 (0.4-0.8mm);

在降雨覆盖区域内, 降雨量需保持均匀度为 60% 以上, 雨滴大小与自然界降雨类似。降雨模拟系统保证离地 5m 的高度空间内, 雨粒分布均匀。

通过地下蓄水池实现对降雨系统的供水蓄水池的容量设计应保证在最大降雨强度下, 系统可保证持续工作 60 分钟左右。

4.2 降雾模拟系统

降雾模拟系统具备以下技术特点: 降雾的最低能见度为 15—2000 米分档位可调 (5 挡); 实现 15m 的能见度需要 10min; 其中能见度的数值如下: 1500m, 允许 1300-1700m 变动; 800m, 允许 700-900m 变动; 300m 允许 200-400m 变动; 100m, 允许 80-120m 变动; 20m, 允许 15-30m 变动; 雾环境中雾粒子颗粒直径为 7.5-30um 采用光学仪器雨雾滴谱仪测量。

在降雾模拟区域内, 雾的浓度保持均匀, 肉眼觉察不到明显的浓度区别。系统需要一定的时间建立初始目标浓度, 在达到目标浓度后, 能够保持相同的浓度, 不随时间衰减。系统具备灵活的控制, 可以实现整体区域或者部分区域的降雾模拟。

系统预留与中央控制系统的接口, 可以接受仿真的输入进行控制。降雾模拟控制系统具备降雾浓度 (能见度) 和降雾时间的调节能力。系统包括能见度测量设备以记录降雾浓度。

4.3 光照模拟系统

光照模拟系统具备以下技术参数特点:

可模拟自然界的光照, 实现不同的光照强度, 试验区域 (测试车道内) 满足 NCAP 法规要求 (0-3000 lux), 色温可以达到 $5400 \pm 200K$ 。

光照强度可以调节。需求参数如下:

表 1 光照调节参数表

光照系统调节要求		
光照范围 (lux)	可调精度 (lux)	控制精度
0-10	1	$\pm 5\%$
10-100	5	$\pm 5\%$
100-1000	20	$\pm 5\%$
1000 以上	100	$\pm 5\%$

系统具备灵活的控制，可以实现整体区域或者部分区域的光照模拟。光照模拟系统包括系统所需的所有相关零部件，包括但不限于：灯光设备、安装支架、控制电路等。系统预留与中央控制系统的接口，可以接受仿真系统的输入进行控制。

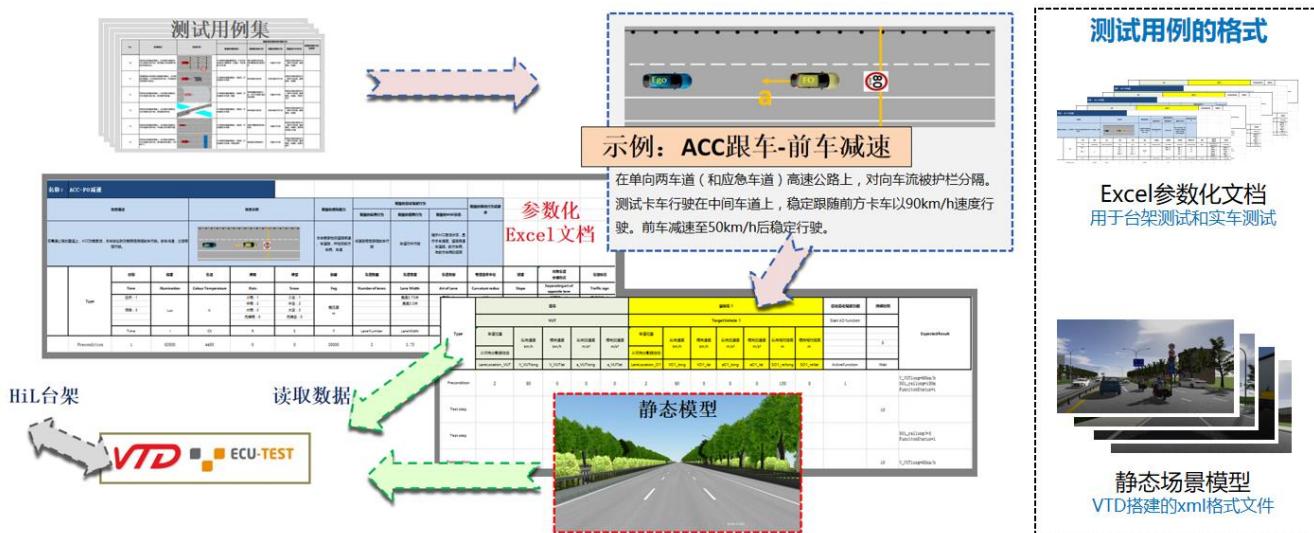


图 4 测试用例开发示意图

针对该项目，中国汽研选取以下测试用例用于执行相关实车测试，测试用例类型包括标准法规以及中国典型场景测试用例。其中，标准法规测试用例中，中国汽研广泛选择国标、行标以及在国内具有影响力 i-VISTA 标准，比较全面的覆盖 ACC、AEB、FCW、LDW 四大系统，并且测试用例参数设计更加符合商用车的测试需求，能够实现对商用车的相关 ADAS 性能进行科学评价。中国典型场景测试用例，根据中国自然驾驶数据的分析统计结果，选择在中国具有较高出现比例的典型场景，形成针对四大系统的测试用例，实现针对商用车相关感知系统的中国典型场景评估 [8-10]。

5 测试用例开发

典型场景测试用例基于中国汽研相关技术积累与工程经验；功能逻辑、诊断及故障注入则依托中国汽研以往项目经验，基于 ADAS 相关系统功能定义和 corner cases 进行针对性设计。

本项目实车评估系统主要意义是研究感知系统控制器的重要功能在实际道路上的充分性和适应性上的缺陷，通过对问题的发现，再返回到台架仿真测试阶段逐步迭代提升系统的鲁棒性。

6 测试结果分析

6.1 仿真测试结果

以感知系统的典型作用结果之一——ACC 系统在雨天中的车速稳定性为研究对象[11, 12]。得仿真环境可控测试中，测试用例通过率如下表所示。

表 2 天气参数结果表

天气	用例数	测试通过数	通过率
晴天	526	361	68.63%
降雨	52	39	75.00%
降雪	54	42	77.78%

将分析处理后的数据进行统计，统计测试结果中车辆稳定行驶过程中的速度波动，并按照行驶速度以 10km/h 进行分类，统计结果以箱型图的形式显示。针

对每个行车速度下的速度波动，取波动幅值绝对值的最大值进行评价。

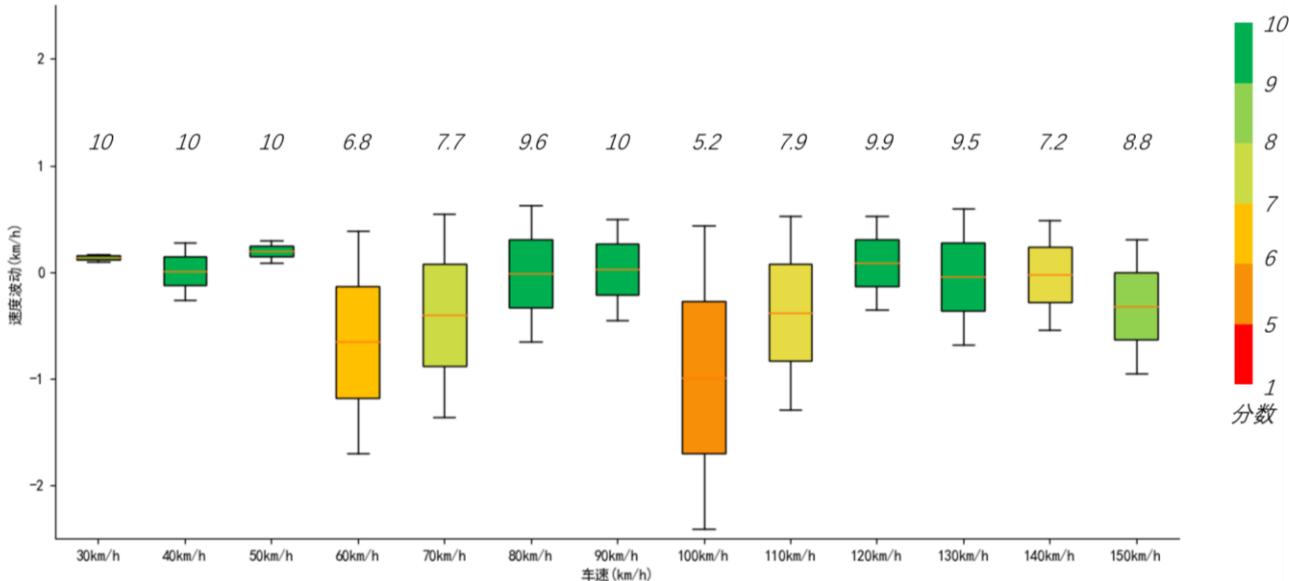


图 5 ACC 巡航速度波动图

上图是雨天中 ACC 不同车速下速度波动的统计图, 从图中可以看出, 当巡航车速小于 60km/h 时, 速度的波动范围较小, 当巡航车速高于 60km/h 时, 速度的波动明显增大, 特别是在巡航车速为 80km/h 时, 速度波动超过了 1.5km/h, 得分也最低, 只有 5.2 分。因此, 从速度波动的趋势来看, 建议着重针对 ACC 在 60~80km/h 的区间进行算法上的优化和改进。

6.2 实车测试结果

依据国家和行业标准进行测试用例开发。在实车环境可控测试用例执行中, 测试采用 Racelogic VBOX 定位数采系统和 i-TESTER 视频采集系统, VBOX 采用固定基站模式。需要采集的数据有: 主车车速、主车离目标车道线的距离和 i-TESTER 用于监控试验过程 [13-15]。其中, 测试结果统计如下表所示。

表 3 实车测试结果统计表

工况 ID	测试用例	测试速度 (km/h)	实际速度范围 (km/h)	速度差值 (km/h)	控制精度等级
ACC-300-001	直道	30	30.43~31.43	1.00	优
ACC-300-002		40	39.17~40.29	1.12	良好
ACC-300-003		50	48.61~49.63	1.02	良好
ACC-300-004		60	59.14~60.53	1.39	良好
ACC-300-005		70	69.43~72.15	2.72	一般
ACC-300-006	弯道 r=250m	40	39.78~40.75	0.97	优
ACC-300-007		50	48.87~49.74	0.87	优
ACC-300-008		60	59.41~60.26	0.85	优
ACC-300-009	弯道 r=500m	40	41.59~42.29	0.7	优
ACC-300-010		50	48.73~49.25	0.47	优
ACC-300-011		60	60.52~61.75	1.23	良好

7 结论

1) 仿真环境可控测试技术因其多场景组装、极限场景测试的特点, 可以大幅提高感知系统 corner cases 的测试覆盖率。面向智能汽车研发

带来的海量测试用例执行, 需要行业参与者开发云平台仿真测试技术, 即研究面向多用户多节点的自动驾驶高并发大规模云端仿真测试技术。

2) 面对当前实车测试显著领先于外界自然环境的缺点, 本文在广泛调研影响智能汽车感知系

- 统关键环境参数的基础上，提出了雨量、光照和雾强度的调整技术和重点等级调整参数，值得主机厂和各大检测机构的支持下大力推广，方便提高实车场地测试的效率和成功率。
- 3) 仿真技术平台因具备灵活度高的场景工况搭建特性和操作度简便的汽车仿真模型-传感器-算法建模特点，受到了自动驾驶领域学者们的推崇。此外，环境仿真软件可以策略编辑软件、动力学软件和测试管理类软件进行联合调试，形成联合仿真测试平台，为汽车各子系统、各个域控制器子集提供覆盖范围广、渲染度逼真的测试平台。

参考文献

- [1] Model-Based Engineering of Embedded Real-Time Systems: International Dagstuhl Workshop, Dagstuhl Castle, Germany, November 4-9, 2017.
- [2] 孙涛, 丁琴琴, 李卫兵. ADAS 系统测试平台设计及实现 [J]. 中国测试, 2019, 45 (04): 155-160
- [3] 和福建, 张晋崇, 石娟. 智能网联汽车测试技术研究 [J]. 汽车电器, 2019 (03): 19-21
- [4] P. C. Nissimangoudar, Venkatesh Mane, Gireesha H M., Nalini C. Iyer “An educational framework for building automotive ECUs. ICTIEE 2017.09.
- [5] Koopman P, Wanger M. Challenges in autonomous vehicle testing and validation [J]. SAE International Journal of Transportation Safety, 2016, 4 (1): 15-24.
- [6] 王潇屹; 李俊成; 马雪寒. 自动驾驶汽车感知系统测试用例构建方法研究 [J]. 质量与标准化, 2022 (1): 50-54.
- [7] 马雪寒; 王潇屹; 李俊成. 自动驾驶汽车感知系统预期功能安全评价方法 [J]. 质量与标准化, 2022 (4): 91-55.
- [8] 李石. 采用摄像头传感器的高级驾驶辅助系统硬件在环测试研究 [J]. 机械工程师, 2019 (09): 87-89.
- [9] B. L. Desai, Nalini C Iyer, Uma M., C. D. kerure, P. C. Nissimangoudar, Kiran M. R, Ramakrishna Joshi, V. R. Mane Automotive Electronics: Learning through real-world problem based case studies. ICTIEE 2014.
- [10] Soltani, A. & Assadian, F., 2015. New Slip Control Considering Actuator Dynamcis. SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, 8 (no. 2015-01-0656).
- [11] Fildes B N, Keall M, Bos N, et al. Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear- end crashes [J]. Accident Analysis Prevention, 2015, 81: 24-29.
- [12] 吴斌, 朱西产等. 基于自动驾驶研究的直行追尾危险场景诱导因素分析 [J]. 同济大学学报 (自然科学版). 2018 (09): 1253-1260.
- [13] 范天赐, 王宏雁, 杨震等. 基于中国两轮车故的典型场景提取与分析 [J]. 交通与运输, 2019 (2): 41-45.
- [14] 杨为, 赵胡屹, 舒红. 自动紧急制动系统行人避撞策略及仿真验证 [J]. 重庆大学学报, 2019, 42 (2): 1-10.
- [15] 谢卉瑜; 杜志彬; 孙亚轩. 自动驾驶汽车感知系统概述 [J]. 汽车电器, 2019 (18): 29-30.

作者简介

李冲

1991 年生, 中级工程师, 硕士研究生. 研究方向为智能网联汽车测试方面.

E-mail: 870440062@qq.com