

智能网联产业研究分析月度报告

第二十一期

2022年05月

编辑：北京智能车联产业创新中心

指导：中关村智通智能交通产业联盟

目 录

| | |
|------------------------------------------------------------------|----------|
| (一) 国家级政策法规与标准 | 6 |
| 1. 交通部印发《关于扎实推动“十四五”规划交通运输重大工程项目实施的工作方案》 | 6 |
| 2. 工信部：将推动数字基础设施建设与应用场景协同发展，加快车联网布局 | 6 |
| (二) 地方级政策法规与标准 | 7 |
| 1. 北京市发布《北京市“十四五”时期交通发展建设规划》 | 7 |
| 2. 云南省印发《云南省“十四五”新型基础设施建设规划》 | 7 |
| 3. 重庆发布《以实现碳达峰碳中和目标引领深入推进制造业高质量绿色发展行动计划（2022-2025）（征求意见稿）》 | 8 |
| 4. 河南省印发《关于进一步加快新能源汽车产业发展的指导意见》 | 8 |
| 5. 郑州市印发《郑州国家新一代人工智能创新发展试验区建设实施方案》 | 8 |
| 二、市场动态 | 9 |
| (一) 国内行业动态 | 9 |
| 1. 百度自动驾驶出行服务“萝卜快跑”落地武汉 | 9 |
| 2. 零束科技成立智驾计算平台业务单元 | 9 |
| 3. 智加科技：传统重卡可一日内加装自动驾驶功能 | 10 |
| 4. 一汽红旗量产车型将搭载多颗地平线征程 5 芯片 | 10 |
| 5. 主线科技与海康智联针对车路协同达成战略合作 | 10 |
| 6. 速腾聚创与 dSPACE 战略合作，将加速激光雷达开发验证 | 11 |

| | |
|------------------------------------------|-----------|
| 7. 长城汽车智能核心部件基地落户无锡 | 11 |
| 8. AutoX 建立大型 Robotaxi 运营中心 | 11 |
| 9. 黑芝麻智能发布瀚海自动驾驶中间件平台 | 12 |
| 10. 轻舟智航推出一万元成本自动驾驶前装量产方案 | 12 |
| 11. 北汽福田秘密筹备自动驾驶子公司 | 12 |
| 12. 赛轮思为享道 Robotaxi 提供自然对话交互方案 | 13 |
| 13. 华为智能驾驶团队与长安汽车联合开发阿维塔 11 | 13 |
| 14. 一汽红旗与福瑞泰克针对高阶自动驾驶达成合作 | 13 |
| 15. 江淮汽车多款量产车型将搭载黑芝麻智能芯片 | 14 |
| (二) 国外行业动态 | 14 |
| 1. 大众汽车与微软在混合现实领域达成合作 | 14 |
| 2. Cruise 与 BrightDrop 联合开发无人驾驶配送车 | 14 |
| 3. Waymo 在美国凤凰城中心区测试将不再配安全驾驶 | 15 |
| 4. Argo AI 开始全无人自动驾驶车辆测试 | 15 |
| 5. Gatik 将在美堪萨斯州测试自动驾驶卡车 | 15 |
| 6. 英国自动驾驶公司 Wayve 采用微软云计算服务 | 16 |
| 7. 特斯拉前自动驾驶系统负责人加入 Luminar | 16 |
| 8. 维宁尔为宝马下一代自动驾驶系统提供 800 万像素摄像头 | 17 |
| 9. 图森未来与 Innovusion 达成战略合作 | 17 |
| 三、 测试与示范 | 18 |
| (一) 北京测试与示范工作推进情况 | 18 |
| 1. 北京市自动驾驶安全测试里程累计超过 626 万公里 | 18 |

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| 2. 北京发布 2022 交通治理计划，将加快构建智能立体化城市交通系统 | 18 |
| 3. 北京市组织边缘计算节点（MEC）设备研制科技攻关 | 19 |
| （二）外省市测试与示范工作推进情况 | 19 |
| 1.湖南省发布《湖南省 5G 应用“扬帆”行动实施方案（2022-2024 年）》 | 19 |
| 2.武汉发布关于征求《武汉市智能网联汽车道路测试和示范应用实施细则（试行）（公开征求意见稿）》 | 20 |
| 3.合肥发布关于征求《关于进一步促进新能源汽车和智能网联汽车推广应用若干政策（公开征求意见稿）》 | 20 |
| （三）国外测试与示范工作推进情况 | 21 |
| 1. 奔驰开始销售 L3 级自动驾驶系统 | 21 |
| 2.Uber 在加州试点自动驾驶送餐服务 | 22 |
| 3.Waymo 在美国凤凰城中心区测试将不再配安全驾驶 | 22 |
| 四、专题研究 | 23 |
| 1. 引言 | 23 |
| 2.自动驾驶仿真测试技术介绍 | 23 |
| 2.1 实车道路测试面临的挑战 | 23 |
| 2.2 自动驾驶仿真测试技术 | 24 |
| 2.3 自动驾驶仿真测试的优势 | 27 |
| 2.4 自动驾驶仿真测试发展现状 | 28 |
| 3.自动驾驶仿真测试技术架构 | 29 |
| 3.1 自动驾驶仿真测试场景库 | 29 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 3.2 自动驾驶仿真测试平台 | 33 |
| 3.3 自动驾驶仿真测试评价体系 | 35 |
| 4. 自动驾驶仿真测试展望 | 37 |
| 5. 结语 | 39 |
| 参考文献 | 40 |

一、政策法规与标准

(一) 国家级政策法规与标准

1. 交通部印发《关于扎实推动“十四五”规划交通运输重大工程项目实施的工作方案》

5月23日，交通运输部印发《关于扎实推动“十四五”规划交通运输重大工程项目实施的方案》。该《方案》以推动交通运输高质量发展为主题，以数字化、网络化、智能化为主线。推动感知、传输、计算等设施与交通运输基础设施协同高效建设，实施交通运输新基建赋能工程。该《方案》指出，坚持稳字当头、稳中求进，适度超前开展交通技术设施投资，实施一批战略性、全局性、引领性、基础性的交通重大工程项目。为构建现代化高质量国家综合立体交通网，加快建设交通强国提供有力支撑。

2. 工信部：将推动数字基础设施建设与应用场景协同发展，加快车联网布局

5月26日，工信部部长肖亚庆在出席2022中国国际大数据产业博览会上表示。将坚持适度超前建设，以建带用，以用促建，推动数字基础设施建设与应用场景协同发展，加快车联网布局。肖亚庆还表示，数据是数字经济时代的关键生产要素，是国家基础性战略性资源，是推动经济社会高质量发展的重要引擎。

要顺应数字化发展趋势，坚定不移实施国家大数据战略，加快数字产业化、产业数字化，为制造强国、网络强国、数字中国提供有力支撑。

(二) 地方级政策法规与标准

1. 北京市发布《北京市“十四五”时期交通发展建设规划》

5月7日，北京市人民政府印发《北京市“十四五”时期交通发展建设规划》。该《规划》强调支撑智慧城市建设，推进5G技术、北斗系统、遥感卫星技术与人工智能在交通领域的应用；推动“标准统一、设施统建、数据统合”的三个统筹；建设“智慧交通基础设施、智慧交通数据云脑、智慧交通应用场景”三个体系；培育发展交通运输新技术、新模式、新业态，形成科技创新发展新动能，为市民提供高品质出行服务。

2. 云南省印发《云南省“十四五”新型基础设施建设规划》

5月9日，云南省人民政府印发《云南省“十四五”新型基础设施建设规划》，明确推动数字基础设施与交通运输基础设施协同高效建设。该《规划》指出将实施车联网应用示范建设工程，支持昆明等重点州、市建设支持车路协同的无线通信网络，推进卫星互联网、5G等的部署并提供服务。推进道路基础设施数字化改造升级，开展无人驾驶、物流运输、交通管理等智慧交通应用的创新。。

3. 重庆发布《以实现碳达峰碳中和目标引领深入推进制造业高质量绿色发展行动计划（2022-2025）（征求意见稿）》

5月5日，重庆市经济和信息化委员会发布《以实现碳达峰碳中和目标引领深入推进制造业高质量绿色发展行动计划（2022-2025）（征求意见稿）》。该《行动计划》提出打造典型应用场景，建设国家车联网先导区；推动传统燃油车零部件企业向智能网联新能源领域转型，支持整车企业和关键总成企业开展智能网联新能源汽车零部件技术合作攻关；强化川渝地区智能网联新能源汽车产业供应链的融合。

4. 河南省印发《关于进一步加快新能源汽车产业发展的指导意见》

5月19日，河南省人民政府办公厅近日印发《关于进一步加快新能源汽车产业发展的指导意见》。该《意见》提出，研究组建省汽车产业投资集团，整合新能源汽车资源。盘活汽车产能，加快新能源汽车推广和示范应用。开展智能网联汽车示范应用，举办中国（郑州）国际智能网联汽车大赛，支持郑州市建设国家级车联网先导区，构建智能驾驶产业生态。

5. 郑州市印发《郑州国家新一代人工智能创新发展试验区建设实施方案》

5月19日，郑州市人民政府印发《郑州国家新一代人工智能创新发展试验区建设实施方案》。该《方案》指出将打造智能网联汽车应用场景，壮大智能网联汽车等产业集群。在中原科技城、郑州经开区、郑州高新区、中牟县等重点区域，开展“5G智能网联微公交、公交、乘用车、无人环卫+车路协同”应用示

范。三年内投入 3000 辆自动驾驶汽车，面向全开放复杂交通流，逐步实现商业化运营。形成新郑机场到郑州东站、北龙湖、智慧岛等重点片区多向连通，与地铁无缝接驳的“主干线—支线—微循环”智能出行系统。

二、市场动态

(一) 国内行业动态

1. 百度自动驾驶出行服务“萝卜快跑”落地武汉

5月10日，百度Apollo宣布，百度自动驾驶出行服务平台“萝卜快跑”正式落地武汉经开区，面向市民提供自动驾驶出行服务。自2021年以来，武汉经开区累计开通智能网联汽车测试道路321公里，其中106公里为5G全覆盖车路协同路段。截至目前，百度自动驾驶测试累计里程达2700万公里。萝卜快跑已在北京、上海、广州等城市开放载人出行服务，并在北京、重庆、阳泉开展商业化出行服务。

2. 零束科技成立智驾计算平台业务单元

5月4日，零束科技宣布正式成立智驾计算平台业务单元，由黄浴博士担任首席科学家、孟超兼任首席架构师。智驾计算平台业务单元将致力于提供全栈融合智驾产品解决方案，搭载零束智驾解决方案的首发项目将于2023年底量产。零束科技成立于2020年，致力于智能车技术底座和产品开发，该公司注册资本37亿元人民币，其中上汽集团出资占比93.24%。

3. 智加科技：传统重卡可一日内加装自动驾驶功能

5月9日，重卡自动驾驶公司智加科技宣布，选择与车队技术解决方案公司Velociti作为技术支持伙伴，在美国推出Plus Build计划。只要是可上路运行的重卡，都可在一天之内被改造为搭载智加PlusDrive系统的自动驾驶重卡。在美国，智加科技已开始交付亚马逊1000辆自动驾驶重卡订单。在中国，智加科技为一汽解放打造的自动驾驶卡车J7已实现量产交付。

4. 一汽红旗量产车型将搭载多颗地平线征程5芯片

5月13日消息，一汽红旗将采用多颗地平线征程5芯片打造智能驾驶域控制器，为其全新一代FEEA 3.0电子电气架构提供384-512TOPS的AI算力。该智能驾驶域控制器将于2023年在一汽红旗全新车型上实现量产，未来还将应用于更多红旗车型。与此同时，双方正在基于地平线征程2芯片推动辅助驾驶功能研发应用，合作车型将于今年量产。

5. 主线科技与海康智联针对车路协同达成战略合作

5月13日，自动驾驶卡车服务提供商主线科技宣布，与中电海康集团旗下企业海康智联达成战略合作。双方将在智能网联汽车、车路协同和智慧交通领域形成优势互补，共同打造“车路云”一体化生态，推进车路协同技术规模化应用。主线科技自研的自动驾驶系统“Trunk Master”已在十余款量产商用车型上应用，累计落地部署超150台无人驾驶卡车，在国内高速路段、港口、园区、口岸等场景进行商业化运营与常态化测试。

6. 速腾聚创与 dSPACE 战略合作，将加速激光雷达开发验证

雷达厂商速腾聚创（RoboSense）宣布与仿真和验证解决方案供应商 dSPACE 达成战略合作。双方将在高级驾驶辅助系统（ADAS）、自动驾驶系统（AD）的传感器方针和测试验证方面，基于速腾聚创的激光雷达硬件与感知软件，以及 dSPACE 的 AUTERA 数据采集仪器与 AURELION 场景传感器方针软件，联合协同开发与适配。

7. 长城汽车智能核心部件基地落户无锡

5月16日，长城汽车智能核心部件无锡基地项目正式签约。该项目总投资31亿元，将落户江苏省无锡市，由长城汽车旗下独立运营的全资子公司精工汽车运作。项目建成后将致力于成为全球化的集研发、生产于一体的智能系统解决方案提供商。该项目建成投产后，该基地将成为长城汽车在华东地区的高端汽车智能核心部件的研发和生产总部。

8. AutoX 建立大型 Robotaxi 运营中心

5月13日消息，AutoX发布大型Robotaxi运营中心网络，首批包含10座大型运营中心。分别坐落于北京、上海、广州、深等一线城市，专为大规模Robotaxi车队专业级运维调度而建，支持超1000+台无人车在1000多平方公里大区域内高密度、高效率、高强度运转。自2020年，AutoX在多个城市开展Robotaxi面向公众运营，其中包括覆盖全区全域168平方公里的全无人运营区，形成了完善的规模化运营网络。

9. 黑芝麻智能发布瀚海自动驾驶中间件平台

5月15日消息，黑芝麻智能正式对外发布瀚海-ADS自动驾驶中间件平台。该中间件产品可以减少客户上层应用的开发工作量。缩短应用的开发时间，实现不同Tier1产品间相互兼容，从而大幅减少开发成本。瀚海自动驾驶中间件平台是黑芝麻智能基于华山系列自动驾驶计算芯片所推出的一款智能驾驶平台SDK开发包，可以支持车端、路端及各种智能驾驶和车路协同场景开发。

10. 轻舟智航推出一万元成本自动驾驶前装量产方案

5月18日，L4级自动驾驶通用解决方案公司轻舟智航（QCraft）举办首届轻舟智航品牌日。在活动上，轻舟分享了移动出行空间解决方案龙舟SPACE、第四代量产车规级自动驾驶方案DBQ V4、自动驾驶研发工具链轻舟矩阵等三大产品，并推出1万元成本的自动驾驶前装量产方案。此外，轻舟还宣布了其与火山引擎、T3出行和地平线展开技术合作。

11. 北汽福田秘密筹备自动驾驶子公司

5月16日消息，商用车公司北汽福田正在计划成立一家智能驾驶子公司，目前该公司正处于招聘阶段。据北汽福田内部人士透露，北汽福田已经在内部启动自动驾驶带头人、决策控制技术开发专家、感知技术开发专家、视觉感知软件开发等多个关于自动驾驶的岗位。福田汽车已基于商用车自动驾驶全场景，开发出涵盖轻卡、重卡、客车等全谱系产品，并已全面进入示范应用阶段。

12. 赛轮思为享道 Robotaxi 提供自然对话交互方案

5月17日，赛轮思宣布，上汽集团选择其为旗下享道 Robotaxi（L4 自动驾驶运营平台），提供移动助理技术。享道 Robotaxi 于 2021 年 12 月在上海正式启动运营，由包括上汽乘用车公司、上汽人工智能实验室、自动驾驶技术公司 Momenta 以及上汽旗下的出行服务平台享道出行在内的明星团队联合倾力打造，旨在创建一个不断更新迭代、基于数据驱动的生态系统，将 L4 级自动驾驶技术引入城市移动出行场景。

13. 华为智能驾驶团队与长安汽车联合开发阿维塔 11

5月25日消息，华为智能驾驶团队有千余人长期驻扎重庆，与长安汽车、宁德时代联合开发阿维塔 11。阿维塔 11 是业内首个全系标配华为 HI 全栈智能汽车解决方案的车型，具备 400TOPS 算力，共配备 34 个传感器。智能驾驶功能方面，阿维塔 11 在高速场景下可实现自动跟车启停、自动超车、主动避让、自动上下匝道等功能。根据计划，阿维塔 11 将于今年年内正式交付。

14. 一汽红旗与福瑞泰克针对高阶自动驾驶达成合作

5月26日，一汽红旗与福瑞泰克针对高阶自动驾驶达成合作。福瑞泰克基于一汽红旗 FEEA3.0 电子电气架构，使用最新的“ADC30 域控制器平台”，搭载 360 度冗余感知传感器组合，为一汽红旗定制 L3 级高阶自动驾驶解决方案获得定点，将于 2023 年量产，未来 ADC30 平台将用于更多红旗车型。该方案结合高精地图和定位导航，可实现 L3 高速代驾 HWP、拥堵自行 TJP 及自动导航行驶 NOP 功能。

15. 江淮汽车多款量产车型将搭载黑芝麻智能芯片

5月26日，安徽江淮汽车与自动驾驶计算芯片厂商黑芝麻智能达成战略合作。江淮汽车旗下思皓品牌的多款量产车型将搭载黑芝麻智能华山二号A1000系列芯片。黑芝麻智能的华山二号系列芯片包括华山二号A1000L、A1000、A1000 Pro。其中，华山二号A1000 Pro算力达到106TOPS（INT8）。该芯片采用异构多核架构，16核ARM v8 CPU，16nm制程，支持16路高清摄像头输入。

（二）国外行业动态

1. 大众汽车与微软在混合现实领域达成合作

5月9日消息，大众汽车与微软在混合现实领域达成技术合作。微软将HoloLens 2（混合现实头显）植入量产汽车。该系统将虚拟对象投放在汽车内外部。HoloLens 2将虚拟地图投影到汽车仪表板上，如导航箭头和关键十字路口的信息。HoloLens 2还在人行横道处显示全息行人警告，提醒驾驶员小心。此外，HoloLens 2还可显示车内温度。大众汽车集团创新公司数据科学团队负责人Andro Kleen博士认为，增强现实能够实现无缝连接的移动出行体验。

2. Cruise与BrightDrop联合开发无人驾驶配送车

5月15日消息，Cruise将与同属通用旗下的BrightDrop电动厢式车业务展开合作，共同开发自动驾驶配送车。Cruise和BrightDrop已经开始了早期阶

段的工作，最终可能将自动驾驶系统整合到电动厢式车中，并且有可能创建无人驾驶包裹配送服务。该项目有可能会成为通用下一个自动驾驶项目，当前 Cruise 主要专注于自动驾驶出租车业务的商业化，并通过它产生营收。

3. Waymo 在美国凤凰城中心区测试将不再配安全驾驶

5月19日消息，Waymo 联席 CEO 德米特里多尔戈夫 (Dmitri Dolgov) 最近参加会议时表示，公司在 Phoenix (凤凰城) 扩充机器人的士车队运营规模，覆盖到中心区，中心区汽车没有配备人类安全驾驶员。按照多尔戈夫的说法，凤凰城捷豹 I-PACE 汽车已经装备第五代系统，它实现了真正的无人驾驶，汽车上只坐有乘客。今年3月份，Waymo 刚刚宣布将凤凰城 East Valley 地区的车队服务扩充至城市中心区。

4. Argo AI 开始全无人自动驾驶车辆测试

5月17日消息，自动驾驶初创公司 Argo AI 表示，已开始在美国佛罗里达州迈阿密和得克萨斯州奥斯汀部署全无人驾驶汽车。据悉，这些车辆最初将用于内部测试，Argo 并未透露下一步商业化部署的时间计划。2021年7月，Argo 首次向公众提供免费的 Robotaxi 乘车服务。今年2月，Argo 向加州汽车管理局 (DMV) 提交了全无人 (不配安全员) 的自动驾驶车辆测试申请。

5. Gatik 将在美堪萨斯州测试自动驾驶卡车

5月19日消息，自动驾驶初创公司 Gatik 宣布，其已获得美国堪萨斯州政府部门的许可，在该州开展自动驾驶厢式卡车 (box trucks) 的测试。据悉，堪

萨斯州州长 Laura Kelly 已于上周五签署一项法律，允许在该州公路上行驶没有驾驶员的自动驾驶车辆。自 2020 年起，Gatik 与沃尔玛合作在美国阿肯色州和路易斯安那州开展短途货运自动驾驶测试，并于 2021 年在阿肯色州的车辆上去除了安全员，开始全无人驾驶测试。

6. 英国自动驾驶公司 Wayve 采用微软云计算服务

5 月 19 日消息，英国伦敦的自动驾驶初创公司 Wayve 宣布。将与微软合作，使用后者提供的超算基础设施服务，为其自动驾驶 AI 模型提供训练。Wayve 介绍称，其自动驾驶系统无需高精地图、高成本感知硬件的帮助，可依靠纯视觉感知和神经网络系统，即使在第一次行驶的路段，也能实现自动驾驶。Wayve 成立于 2017 年，最早于 2020 年开始使用微软的 Azure 云服务。

7. 特斯拉前自动驾驶系统负责人加入 Luminar

5 月 25 日消息，前特斯拉 Autopilot（自动驾驶系统）负责人 CJ Moore 入激光雷达厂商 Luminar，领导该公司全球软件开发工作。Moore 曾在特斯拉 Autopilot 团队工作长达 7 年，去年 10 月，Moore 从特斯拉离职，11 月加入苹果，负责 Apple Car 自动驾驶软件开发。在仅为苹果工作 6 个月后，Moore 再次离职。近一年内，苹果造车项目“Titan”多名核心成员离职。相较之前高调宣布的 2025 年苹果汽车的量产，苹果还需很长工作要准备。

8. 维宁尔为宝马下一代自动驾驶系统提供 800 万像素摄像头

5月27日，自动驾驶供应商维宁尔（Veoneer）表示，已于5月18日与宝马签署协议，为其下一代装载有自动驾驶辅助系统的车辆搭载摄像头。该摄像头将用于支持今年3月宣布的宝马、高通和安致尔（Arriver）之间的合作协议。据悉，这款800万像素的摄像头将安装在后视镜后方，用于监控车辆的前进路径，为车辆控制系统提供路况信息。宝马下一代自动驾驶辅助系统，将使用高通骁龙Ride计算平台，并结合安致尔的视觉感知和驾驶策略。

9. 图森未来与 Innovusion 达成战略合作

5月31日，无人驾驶公司图森未来与激光雷达提供商 Innovusion（图达通）宣布，双方正式达成战略合作伙伴关系。双方将聚焦中国港口到干线物流、城市交通等无人物流货运场景，探索 Innovusion 车规级激光雷达系列及其感知算法与图森未来自动驾驶卡车的深度融合，加速国内重卡无人驾驶技术的量产应用进程。据悉，在与图森未来的自动驾驶卡车前装定点项目中，Innovusion 图像级超远距激光雷达 Falcon 将作为主视雷达，搭载在图森未来重卡车型上。

三、测试与示范

(一) 北京测试与示范工作推进情况

1. 北京市自动驾驶安全测试里程累计超过 626 万公里

截至 2022 年 05 月 31 日，北京自动驾驶车辆安全测试里程累计超过 6268943 公里，测试过程平稳有序，未对其他交通参与者产生不良影响。



2. 北京发布 2022 交通治理计划，将加快构建智能立体化城市交通系统

5 月 11 日，北京市交通综合治理领导小组印发《2022 年北京市交通综合治理行动计划》，将加快构建综合、绿色、安全、智能的立体化现代化城市交通系统。在智慧交通网络建设方面，将开展车道级高精度道路数字化地图采集处理，

推进道路运输车辆智能视频监控报警信息系统建设。将继续推进交通运行监测调度中心（TOCC）三期和智慧综合监管平台建设。构建智慧交通数字化共性支撑平台，依托高级别自动驾驶示范区，并开展公交自动驾驶实际道路测试。

3. 北京市组织边缘计算节点（MEC）设备研制科技攻关

5月25日，北京市科委、中关村管委会、北京市高级别自动驾驶示范区工作办公室，以“揭榜挂帅”形式面向本市征集边缘计算节点（MEC）设备研制科技攻关项目。在需求目标方面，此次“揭榜挂帅”的征集内容主要是面向支持城市路口高级别自动驾驶汽车需求，研制边缘计算节点（MEC）设备，实现对路侧感知设备数据的汇聚融合处理，及与路侧设备、智能网联云控平台等相关系统的通信和协同。在项目申报指南中，对于相关设备研制的功能指标、性能指标、成本指标进行了详细要求。例如在功能指标方面，在车路协同应用功能方面应实现不少于道路危险状况提示、绿波车速引导、闯红灯预警、弱势交通参与者碰撞预警、前方拥堵提醒、信号灯配时优化信息反馈、车路感知数据共享、协作式变道、协作式车辆汇入等9项车路协同应用场景。

（二）外省市测试与示范工作推进情况

1.湖南省发布《湖南省5G应用“扬帆”行动实施方案（2022-2024年）》

5月17日，湖南省工信厅和湖南省通信管理局印发《湖南省5G应用“扬帆”行动实施方案(2022-2024年)》。《方案》指出，湖南省要打造一批“5G+”

信息消费新模式、新业态，带动消费升级。未来，将推进新型消费终端布局，加快基于 5G 的超高清显示器、无人机(车)、移动智能终端、智能家居、可穿戴设备等产品的研发。形成满足不同应用需求的定制化软件、服务和解决方案。

2. 武汉发布关于征求《武汉市智能网联汽车道路测试和示范应用管理实施细则（试行）（公开征求意见稿）》

5月13日，武汉市经济和信息化局发布《武汉市智能网联汽车道路测试和示范应用管理实施细则（试行）（公开征求意见稿）》，向社会进行公示并征集反馈意见。该《公开征求意见稿》旨在规范武汉市智能网联汽车道路测试和示范应用工作，主动适应产业高质量发展趋势。

3. 合肥发布关于征求《关于进一步促进新能源汽车和智能网联汽车推广应用若干政策（公开征求意见稿）》

5月17日，合肥市经济和信息化局发布《关于进一步促进新能源汽车和智能网联汽车推广应用若干政策（公开征求意见稿）》，向社会进行公示并征集反馈意见。该《公开征求意见稿》旨在加快合肥市新能源汽车和智能网联汽车推广应。

4、重庆发放《智能网联汽车政策先行区（永川区）自动驾驶车辆无人化测试通知书》

5月25日消息，重庆发放了《智能网联汽车政策先行区（永川区）自动驾驶车辆无人化测试通知书》。该《通知书》由重庆市永川自动驾驶联席工作小组

颁发，获准后，百度五辆 Apollo Moon 极狐版车型可在重庆市永川区 85 平方公里的开放测试道路上，进行无人化自动驾驶测试。目前，百度自动驾驶出行服务平台已在重庆市永川区提供自动驾驶出行服务，推荐上车点近 60 个，覆盖景区、学校、商圈、居民区、产业园等核心区域。随着无人化自动驾驶测试的开展，未来将为重庆市永川区市民提供“方向盘后无人”的无人化自动驾驶出行服务。

5、海南省发布《车联网先导区（项目）建设实施细则》

5月26日，海南省工业和信息化厅印发《海南省车联网先导区（项目）建设实施细则》。自今年6月1日起施行，将以“揭榜挂帅”方式鼓励各市县先行先试，谋求车联网先导区建设突破，加速推进海南省车联网新型基础设施系统布局与车联网产业创新发展。《细则》强调，先导区（项目）建设应符合海南省全面深化改革开放试验区、国家生态文明试验区和国际旅游消费中心定位。充分结合海南省在基础设施建设、交通连通水平、旅游会展资源等方面优势，因地制宜开展工作。

（三）国外测试与示范工作推进情况

1. 奔驰开始销售 L3 级自动驾驶系统

5月7日消息，梅赛德斯奔驰将从5月17日开始在奔驰S级和EQS车型上提供L3级自动驾驶系统作为选配功能。该自动驾驶系统在S级上的价格为5,000欧元；在EQS上的价格为7,430欧元。该系统可控制车辆速度、刹车和车道保持，在该系统操控车辆时，驾驶员被允许双手脱离方向盘，并进行回复电

电子邮件、观看电影等行为。在需要驾驶员接管车辆时，系统会作出提示，若 10 秒后司机未接管，车辆将紧急停车。

2.Uber 在加州试点自动驾驶送餐服务

5 月 17 日消息，专注于打车和外卖这两大业务的 Uber，已开始在加州与 Serve Robotics 和 Motional 两家公司试点自动驾驶送餐服务的自动驾驶送餐服务。包括基于自动驾驶的机器人的送餐服务和基于自动驾驶汽车的送餐服务。Uber 还计划在试点项目中搜集地图信息，用于送餐服务的大规模推广。

3.Waymo 在美国凤凰城中心区测试将不再配安全驾驶

5 月 19 日消息，Waymo 联席 CEO 德米特里多尔戈夫 (Dmitri Dolgov) 最近参加会议时表示，公司在 Phoenix (凤凰城) 扩充机器人的士车队运营规模，覆盖到中心区，中心区汽车没有配备人类安全驾驶员。按照多尔戈夫的说法，凤凰城捷豹 I-PACE 汽车已经装备第五代系统，它实现了真正的无人驾驶，汽车上只坐有乘客。今年 3 月份，Waymo 刚刚宣布将凤凰城 East Valley 地区的车队服务扩充至城市中心区。

四、专题研究

自动驾驶仿真测试技术概览

1. 引言

随着社会经济的高速发展，对交通运力的需求显著提升，城市交通所需的客货运负载不断攀升^[1]。由于交通系统的构成要素众多，传统交通系统难以解决交通拥挤、事故频发、运力短缺等日益严重的交通问题^[2]。以自动驾驶车辆为单位的新型智能交通系统，可以实现在城市交通运输中安全、高效、稳定的运行。

在自动驾驶核心技术领域，以 Waymo、Cruise、百度、小马智行为代表的互联网企业；以奔驰、奥迪、长城为代表的整车厂商；以特斯拉、蔚来、小鹏、理想为代表的“造车新势力”，纷纷积极布局自动驾驶技术的落地实施，并逐步开展自动驾驶核心技术的研发^[3]。同时，自动驾驶技术的落地需要较长时间的技术积累及全场景的测试保障，在此过程中，仿真测试技术大大提高了自动驾驶车辆测试的效率^[4-5]。

2. 自动驾驶仿真测试技术介绍

2.1 实车道路测试面临的挑战

2016 年，世界著名咨询机构兰德公司发布的《驶向安全》报告分析，自动驾驶汽车需要至少进行 110 亿英里（177 亿公里）的里程测试，才能证明自动驾驶系统的可靠性^[6]。假设由 100 辆车组成的车队，每年 365 天每天 24 小时不间歇以 40km/h 的平均速度进行测试，大概需要 500 年^[7]。要完成 110 亿英里

的测试不光需要较长的时间成本，人员安全也得不到充足的保障^[8]。目前，实车道路测试主要面临三个方面的问题：

- 1) 实车道路测试机制不灵活、测试场景及测试对象比较单一。测试手段中缺乏可支撑不同等级自动驾驶测试的验证方法，实车道路测试难以针对某一特定场景进行定制化测试，例如：车队场景需要大量环境车辆进行配合验证。
- 2) 实车道路测试中，测试车辆与其他交通参与者关系复杂、交互途径多重多样。目前实车道路测试大多停留在较为简单的道路环境中。
- 3) 实车道路测试对车辆的能源、维护、人员调度都会产生大量的消耗。同时，测试产生的数据集中在少量的测试场景中，如跟车、超车、自由行驶，采集的数据价值和所消耗的成本不成正比。

基于实车道路测试客观存在的种种问题。近年来，仿真测试技术越来越多地被自动驾驶企业所采用，大大提高了自动驾驶性能测试验证的效率^[9]。

2.2 自动驾驶仿真测试技术

自动驾驶仿真测试，是计算机仿真技术在汽车领域的应用，它以数学模型的方式将自动驾驶的应用场景进行数字化还原，以求尽可能的接近真实世界的系统模型。自动驾驶仿真测试通过仿真测试进行分析和研究，以达到对自动驾驶系统和算法进行测试验证的目的^[10]。

自动驾驶仿真测试技术可以有效的缩短自动驾驶技术和产品开发周期，降低产品的研发成本。如图 1 所示，自动驾驶汽车的开发需满足 V 字开发流程，在自动驾驶前往封闭场地测试前，需在实验室内完成一系列的仿真测试：模型在环

测试 MIL (model-in-loop) 、软件在环测试 SIL (software-in-loop) 、硬件在环测试 HIL(hardware-in-loop) 、车辆在环测试 VIL (vehicle-in-loop)^[11-12]。



图 1 自动驾驶测试 V 字型开发流程

模型在环测试 (MIL)：使用车辆的物理模型包括动力学模型、动力系统模型、控制模型等，通过模型仿真软件对自动驾驶系统进行可行性验证，有助于安全高效地进行功能开发和测试验证。

软件在环测试 (SIL)：自动驾驶测试系统通过仿真软件控制自动驾驶过程中各测试要素，通过仿真测试软件对自动驾驶车辆在测试工况进行运算仿真，软件在环测试覆盖实车可能的运行工况。

硬件在环测试 (HIL)：硬件在环是将自动驾驶系统部分硬件代替软件在环部分仿真，主要应用于测试车辆的环境感知、决策规划和控制执行等系统。

车辆在环测试 (VIL)：整车在环是将整车加入虚拟仿真环境，通过在仿真环境中搭建虚拟场景测试整车性能。车辆在环测试是自动驾驶仿真测试最后也是最为重要的测试阶段。



图 2 自动驾驶仿真在环测试流程

在自动驾驶仿真测试中，在环测试借助虚拟现实数据生成、传输与交互技术，模拟自动驾驶汽车在真实道路环境行驶，并通过概率分布的危险场景强化模拟方法，进行的自适应加速测试。通过在环测试，可以在大幅节约测试时间和成本，并为实际道路测试提供了较为真实的参考数据。

表 1 仿真测试与实车测试方案对比

| 测试方法 | | 车辆 | 传感器 | 环境 | 控制器 | 驾驶员 | 安全 | 成本 | 效率 |
|----------|--------|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|
| 仿真 测试 | MIL | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 高 | 低 | 高 |
| | SIL | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 高 | 低 | 高 |
| | HIL | ○ | ◎ | ○ | ● | ○ | 高 | 中 | 中 |
| | VIL | ● | ● | ◎ | ● | ● | 中 | 中 | 中 |
| 实车 测试 | 封闭场地测试 | ● | ● | ● | ● | ● | 低 | 高 | 低 |
| | 开放道路测试 | ● | ● | ● | ● | ● | 低 | 高 | 低 |

备注：● 真实 ○ 虚拟 ◎ 虚拟或部分真实

资料来源：中国汽车工程研究院

仿真测试、封闭场地测试及开放道路测试相互补充，形成测试闭环，共同促进自动驾驶技术研发及标准体系的建立，仿真测试的结果可以在封闭场地和开放道路进行测试验证。自动驾驶车辆在道路测试中得到的危险场景，将会反馈到仿真测试中，仿真测试可以不断对危险场景进行复现测试，以验证车辆在危险场景中的自动驾驶能力。最后，根据仿真测试和封闭场地测试得出的最终结果需要进

行综合评价,基于评价的结果不断完善自动驾驶评价准则及丰富自动驾驶测试场景库。

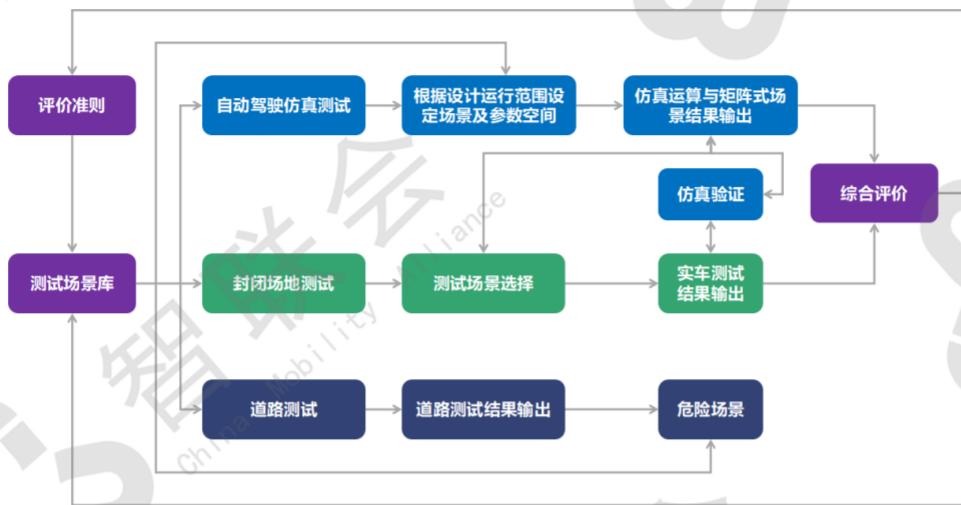


图3 仿真测试、封闭场地测试及开放道路测试三者间关系

2.3 自动驾驶仿真测试的优势

相对于自动驾驶传统道路测试,仿真测试具有测试周期短、研发成本低、场景覆盖率高、可对危险场景进行复现测试等优点。

自动驾驶仿真测试的成本大约是实际路测成本的1%,甚至更少。自动驾驶车辆进行实际路测时,会产生硬件成本、传感器成本、能源成本及人工成本,路测车辆一天也只能有效测试8到10个小时。而利用自动驾驶仿真测试,仅需算力足够的计算机便能进行全天候测试。

自动驾驶仿真测试对道路场景的覆盖比实际道路测试更高。通过收集真实的道路信息构建仿真场景库,对自动驾驶车辆进行测试训练。测试场景库覆盖全球典型的路况信息、交通标识、天气环境,可形成多种测试工况,在多变量环境下对车辆的自动驾驶性能进行验证。

同时，自动驾驶仿真测试可对危险及极端场景进行仿真测试。在车辆实际路测中，遇到极端及危险工况概率极低且危险性大。在仿真测试中，可以通过手动编辑和自动生成多种危险场景，对车辆中进行多次危险场景复现测试。

2.4 自动驾驶仿真测试发展现状

最早搭建自动驾驶平台的是可编程图形处理技术领袖英伟达，其自动驾驶仿真平台 Drive Constellation 可实现照片级真实感模拟，创建大量不同的测试环境，例如，它能够模拟诸如暴雨和暴风雪等不同天气状况，可模拟一天内的光线变化以及不同类型的路面和地形。同时，该平台可运行完整的自动驾驶汽车软件堆栈，并能够处理如同来自路面行驶汽车上的传感器的模拟数据。借助 Drive Constellation，测试者可通过对数十亿英里的自定义场景和极端情况进行测试，从而提高算法的稳定性，可大大缩小花费的时间和成本。

2019 年末，Waymo 宣布收购英国仿真技术公司 Latent Logic，用于帮助 Waymo 实现更加贴近现实的仿真技术，更好地进行自动驾驶的预测和规划。Waymo 每天在虚拟道路上行驶里程可达约 800 万英里，相当于在真实世界中行驶 5 年。截至 2021 年，Waymo 已经模拟行驶了 150 亿英里虚拟仿真场景下的自动驾驶测试。

除 Waymo 外，通用旗下的 Cruise，国内自动驾驶测试企业百度、小马智行、AutoX 安途等自动驾驶解决方案商也在进行大量的仿真测试，以完善自己的自动驾驶系统。仿真测试已经成为自动驾驶路测前最重要的性能测试手段。

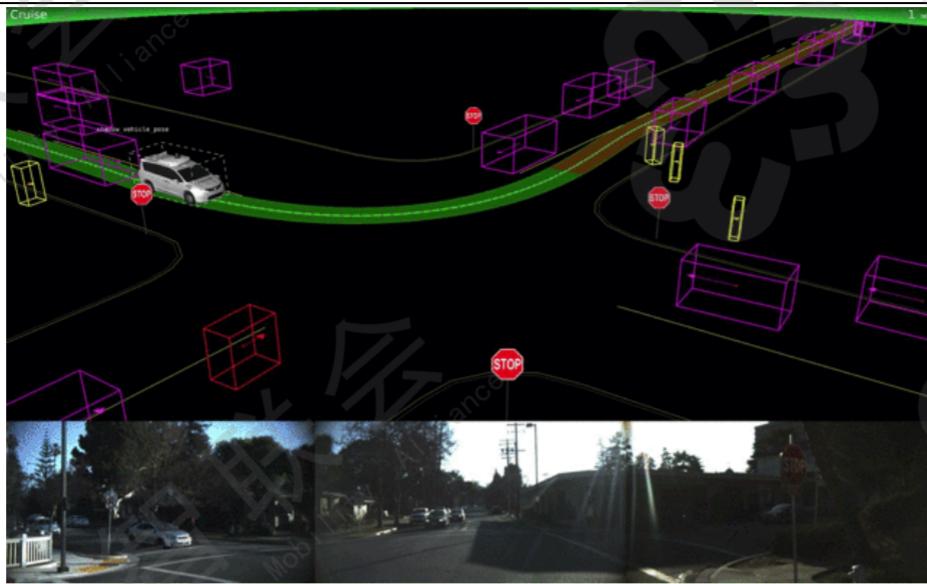


图 4 Waymo 仿真测试平台 Carcraft

3.自动驾驶仿真测试技术架构

自动驾驶仿真测试系统由场景库、仿真平台及测试评价体系三部分所构成。

场景库的建设需要仿真平台和评价体系作为指导，仿真平台的发展进化需要场景库和评价体系作为支撑，而测试评价体系的建立和完善也需要以现有的场景库和仿真平台作为参考基础。

3.1 自动驾驶仿真测试场景库

自动驾驶仿真测试场景库通过采集真实交通运行场景，生成虚拟交通路，模拟虚拟交通运行环境数据，解析交通环境特征，同时建立精确的三维交通模型。由于自动驾驶系统功能复杂的分布式实时系统，构造自动驾驶仿真测试系统视景仿真平台需要大量的精细化交通三维模型，如道路中的车辆、路面的指示标线、交通标识牌等模型均需要对内部结构及外部贴图进行建模。场景库包含四种典型的测试场景：自动驾驶场景、危险工况场景、标准法规场景、参数重组场景。

表 2 自动驾驶场景库的分类

| 场景分类 | 定义 | 重要性 | 目的 |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------|
| 自动驾驶场景 | 来源于汽车真实的驾驶状态，包括自动驾驶汽车所处的人-车-环境-任务等全方位信息，如车辆数据、驾驶人行为、道路环境等多维度信息。 | 充分测试场景 | 最基本的功能开放及验证 |
| 危险工况场景 | 主要包含大量恶劣的天气环境、复杂道路交通以及典型交通事故等场景。 | 必要测试场景 | 安全性和可靠性验证 |
| 标准法规场景 | 验证自动驾驶有效性的一种基础测试场景。目前 ISO(国际标准化委员会)、NHTSA (美国国家交通安全管理局)、ENCAP (欧洲新车安全评鉴协会)、CNCAP (中国新车评价规程) 等标准体系。 | 基础测试场景 | 对应具备的基本能力进行测试 |
| 参数重组场景 | 对已有仿真场景进行参数化设置并完成仿真场景的随机生成或重组，具有无限性、扩展性、批量化、自动化的特点。 | 补充测试场景 | 补充未覆盖的未知场景 |

3.1.1 国内典型场景库

国内目前自动驾驶场景库数据格式标准不统一，各场景库建设主体缺乏有效地沟通协调机制。国内典型的场景库主要有中汽中心场景库、中国汽车研究院场景库、百度 Apollo 场景库及腾讯 TAD Sim 场景库。

表 3 国内典型场景库对比

| 场景库 | 中汽中心场景库 | 中国汽车研究院场景库 | 百度 Apollo 场景库 | 腾讯 TAD Sim 场景库 |
|---------|------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|
| 场景类型划分 | 自动驾驶场景 | 自动驾驶场景 | 标准法规场景 危险工况场景 能力评估场景 | 自动驾驶场景 标准法规场景 |
| | 标准法规场景 | 标准法规场景 | | |
| | 功能安全场景 | 经验式场景 | | |
| | V2X 场景 | 事故场景（典型是巩固和自动驾驶事故） | | |
| | 危险事故场景 | 预期功能安全场景 | | |
| | 预期功能安全场景 | | | |
| 工况覆盖 | 高速、城市、乡村、停车场 | 高速公路、城市道路、快速路 | — | 城市道路、山区道路、高速公路、园区 |
| 场景库数据来源 | 标准法规、事故数据、人工经验、人工驾驶数据等 | | | |

| | | | | |
|--------|-------|----|------|-------|
| 典型场景数量 | 4000+ | — | 200+ | 1000+ |
| 应用性质 | 商用 | 商用 | 自用 | 自用 |

3.1.2 国外典型场景库

相对于国内各研究机构及企业制定自己的场景库不同，国外企业及研究所通过联合项目实施及标准制定建立自动驾驶场景库的相关标准。国外典型的场景建设项目有德国联邦经济事务和能源部发起的 PEGASUS 项目、德国自动化及测量系统标准协会发起的 ASAM 项目。

德国一 PEGASUS 项目分为场景分析和评价标准研究、应用过程分析、测试以及可扩展性分析四部分。该项目聚焦于高速公路场景的研究和分析，基于事故以及自动驾驶数据建立场景数据库，以场景数据库为基础对系统进行验证，建立了三种测试场景格式：静态场景一路网（OpenDrive）、静态场景一路面（OpenCRG）、动态场景（OpenSCENARIO）。



图 5 德国 PEGASUS 项目三种典型测试场景

德国自动化及测量系统标准协会发起的 ASAM 测试场景体系涉及多个汽车标准领域，包括仿真测试、车联网、测量与校准等。其中对仿真道路表面、仿真道路拓扑、动态行为场景、仿真接口等制定相关仿真格式标准。并提倡协会会员单位在自动驾驶仿真过程中应用相关仿真格式标准。

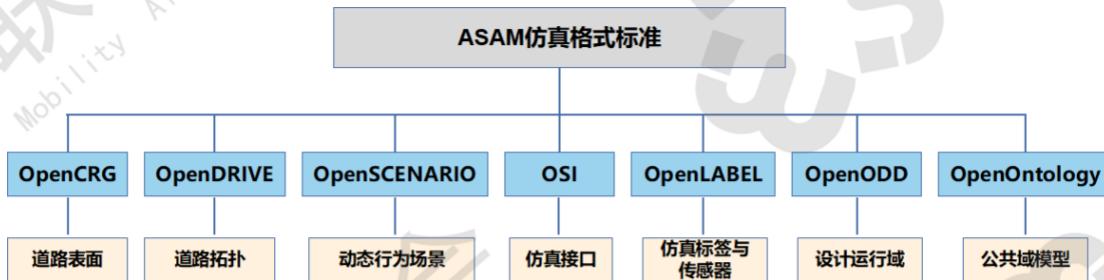


图 6 德国 ASAM 测试场景体系

3.1.3 场景库的相关标准

近几年，随着自动驾驶产业的蓬勃发展，关于自动驾驶场景库的相关国际标准、行业标准也相继出台。但目前场景库相关国际标准仍在编制过程中，表 5 为自动驾驶国内外场景库的相关标准。

表 5 国内外场景库的相关标准

| 制定国家 | 标准号 | 标准名称 | 标准状态 |
|-------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 中国 | ISO/DIS 34501 | Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems - Vocabulary (道路车辆：自动驾驶系统的试验场景.词汇) | 制定中 |
| 德国/日本 | ISO/DIS 34502 | Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems - Scenario based safety evaluation framework (道路车辆：自动驾驶系统的试验方案.基于方案的安全评价框架) | 制定中 |
| 英国/日本 | ISO/DIS 34503 | Road Vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Taxonomy for operational design domain (道路车辆：自动驾驶系统的试验方案.操作设计领域) | 制定中 |
| 德国/荷兰 | ISO/CD 34504 | Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems - Scenario categorization (道路车辆：自动驾驶系统的试验方案.方案分类) | 制定中 |
| 中国 | T/CMAX 21002-2020 | 自动驾驶仿真测试场景集要求 | 已实施 |

3.2 自动驾驶仿真测试平台

自动驾驶仿真测试系统不仅需要构建虚拟测试场景，还需要构建可交互式的仿真界面，同时还需要在虚拟系统中实现人机交互的功能。测试仿真平台的功能是将自动驾驶车辆置于虚拟地场景库中进行测试，一般包括仿真框架、物理引擎和图形引擎，其中仿真框架是平台软件平台的核心，支持传感器仿真、车辆动力学仿真、通信仿真、交通环境仿真。

自动驾驶车辆的车辆控制系统、图像处理等通过 ROS、YARP 等开源操作系统与仿真测试平台进行连接。仿真测试平台通过图形引擎对静态场景、动态场景、传感器状态进行仿真，将测试场景交于测试车辆进行处理。同时物理引擎对车辆的交互通讯、动力学进行仿真，测试自动驾驶车辆在复杂交互环境下的仿真结果。通过仿真测试平台与车辆信息间的信息交互，以评估测试车辆的自动驾驶性能。

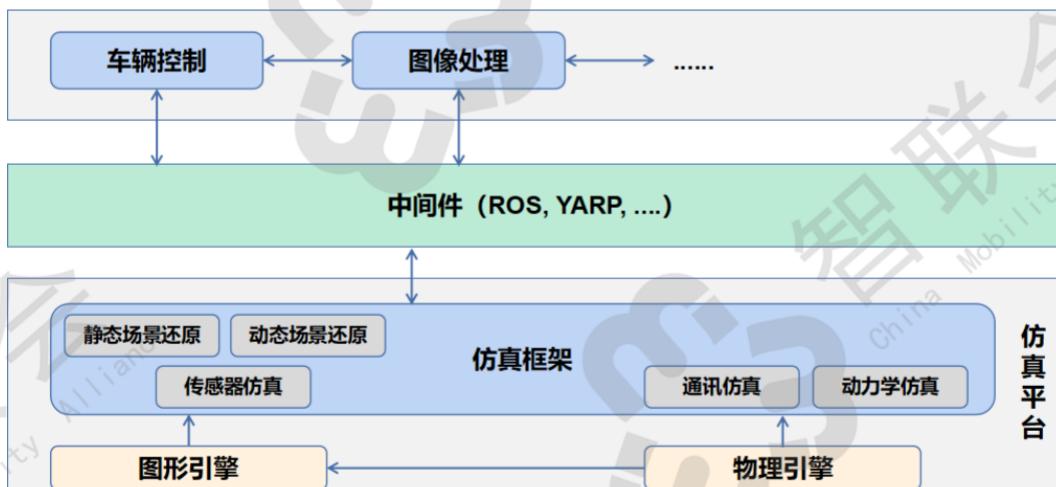


图 7 自动驾驶仿真测试平台架构

3.2.1 国内典型仿真测试平台

目前国内典型的自动驾驶仿真测试平台分别是腾讯公司仿真测试平台 TAD Sim、51WORLD 公司一体化测试平台 51Sim-One、天行健公司仿真测试平台 Panosim 以及沛岱公司仿真测试平台 Pilot。上述测试仿真平台可以将自动驾驶车辆置于真实仿真测试场景中，为自动驾驶测试提供平台支撑。由于各平台对仿真测试着重点不同，对交通流、天气/环境、V2X 及人机共驾等仿真有着不同的功能支撑。

表 6 国内典型仿真测试平台

| 仿真软件/平台上 | | | Panosim | 51 Sim-One | TAD Sim | Pilot-D GaiA | |
|------------|-------|---------|-----------|------------|---------|--------------|--|
| | | | 浙江天行健智能 | 51 WORLD | 腾讯 | 沛岱（上海） | |
| 仿真模块 | 传感器 | 摄像头 | √ | √ | √ | √ | |
| | | 激光雷达 | √ | √ | √ | √ | |
| | | 毫米波雷达 | √ | √ | √ | √ | |
| | | 超声波雷达 | √ | √ | √ | × | |
| | | GPS/IMU | √ | √ | √ | × | |
| | 车辆动力学 | 车辆动力学 | √ | √ | √ | √ | |
| | | 交通流 | √ | √ | √ | √ | |
| | | 天气/环境 | √ | × | √ | √ | |
| | | V2X | √ | √ | × | × | |
| | | 人机共驾 | √ | √ | × | × | |
| 高精地图导入格式支持 | | | OpenDrive | OpenDrive | 内置高清地图 | × | |
| 云端仿真 | | | √ | √ | √ | √ | |

3.2.2 国外典型仿真测试平台

相较于国内自动驾驶测试企业自上而下的开发模式不同，国外例如西门子、英伟达、微软等巨头通过不断地对初创及独角兽公司的收购，强化自身仿真平台闭环，构建自身平台的商业壁垒。

国外典型仿真测试平台均包括摄像头、激光雷达、毫米波雷达传感器的仿真模块。但针对超声波雷达、红外线、GPS/IMU 各平台的支持程度略有不同。在道路环境仿真中，均支持对道路环境及交通流的测试仿真。但各平台由不同行业公司所开发，其对仿真测试中变量的考察重点各不相同。造成各平台对车辆动力学、天气环境、V2X 等仿真模块的覆盖也各不相同。

表 7 国外典型仿真测试平台

| 公司 | | 西门子 | 德国 IPG | 英伟达 | 微软 | 英特尔/丰田/ 巴塞罗那大学 |
|----------|---------|---------|----------|------------------------|--------|-------------------|
| 产品 | | PreScan | CarMaker | DRIVE Constellation | AirSim | CARLA |
| 仿真 模块 | 摄像头 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 激光雷达 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 毫米波雷达 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 超声波雷达 | √ | √ | √ | × | × |
| | 红外线 | √ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| | GPS/IMU | √ | ✗ | √ | ✗ | √ |
| | 车辆动力学 | ✗ | √ | √ | √ | √ |
| | 道路环境 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 交通流 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 天气/环境 | √ | ✗ | √ | √ | √ |
| V2X | | √ | ✗ | √ | ✗ | ✗ |
| 云端仿真 | | 微软云 | √ | √ | 微软云 | ✗ |

3.3 自动驾驶仿真测试评价体系

自动驾驶仿真测试有两个重要的评价维度：真实性评价及有效性评价。

真实性评价是针对场景库真实合理性的评价，分为场景信息真实度和场景分布真实度两个方面。场景信息真实度是指在场景构建过程中，需要合理准确地在虚拟环境中渲染测试场景中的静态环境要素、动态环境要素、交通参与者要素以及气象环境要素等信息。由于人工修改参数后可能会出现真实世界不存在的场

景，因此在人工编辑场景时需参考考虑场景分布的真实性，以达到测试场景与现实工况匹配的目的。

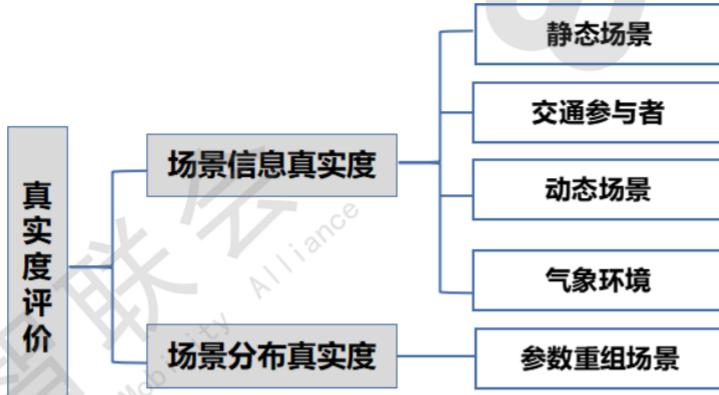


图 8 仿真测试与外部交互真实度评价

仿真测试有效性评价是对自动驾驶车辆驾驶性能、驾驶协调性、标准匹配性、学习进化性等方面进行评价。联合国 WP.29 GRVA 自动驾驶工作组自动驾驶安全验证方法子工作组在它的主文件《New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM) MasterDocument》中提出了一种验证仿真测试有效性的方法：对比自动驾驶系统在仿真测试与实车测试中的性能差异。考虑到实车测试在场景上与仿真测试相比，有较大的局限性，仿真测试的有效性验证只能在关键的部分场景中进行验证。

表 8 自动驾驶测试仿真有效性评价指标

| 评价项目 | | 涵盖内容 |
|----------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 仿真测试自身评价 | 场景覆盖率 | 只有全面覆盖自动驾驶各种场景，才能真正验证自动驾驶车辆的性能 |
| | 仿真效率 | 虚拟车辆在仿真平台仿真里程数及重点场景的覆盖率 云平台带来的加速仿真和多场景并发仿真优势 |
| | 场景真实度 | 评价虚拟场景与现实世界场景的仿真还原度 |
| 车辆相关评价 | 车辆驾驶性能 | 指车辆在道路上的行驶决策，主要体现在车辆的安全性、高效性和舒适性： 安全性 -自身硬件和软件的安全性，以及面对复杂交通和环境的应对能力 高效性 -从始发地出发前往目的地的路径规划能力，体现为准点率 舒适性 -行驶过程中汽车平顺性、驾驶员的体感判定及心理感受 |

| | | |
|--|--------------|----------------------------------|
| | 交通协调性 | 评价车辆与外部环境交互结果：仿真评价需要从全局角度进行客观评价 |
| | 标准匹配者 | 按不同国家的法律法规，对自动驾驶车辆在标准场景下做出评价 |
| | 学习进化性 | 检验自动驾驶汽车的智能化标准，如未来自动驾驶车辆具备自我学习能力 |

国内在场景测试标准方面尚无正式的国家标准规范，参照中关村智通智能交通产业联盟发布的《自动驾驶车辆道路测试能力评估内容与方法》（T/CMA 116-01—2020）团体标准，可以实现自动驾驶车辆在常规场景的有效性评价。团体标准包括认知与交通法规遵守能力、执行能力、应急处置与人工介入能力、综合驾驶能力等四个大项，基本覆盖了自动驾驶车辆与场景外部环境中的静态场景、动态场景、交通参与者、气象等所有要素的交互。每个大项又分为多个专项，专项又分为具体的测试评价场景，基本覆盖了汽车日常驾驶场景，使自动驾驶仿真测试具备有效性评价的依据。

4. 自动驾驶仿真测试展望

虽然各家企业及科研院所对自动驾驶仿真测试进行广泛的研究，并取得一定的成果。但目前研究水平仍无法完全满足自动驾驶车辆测试的需求，同时在世界范围内尚未建立统一且完善的自动驾驶仿真测试评价体系。未来，自动驾驶仿真测试将在如下几个方面进行深入的研究：

（1）场景解构与自动重构技术

由于真实交通场景复杂多变，场景数据来源广泛、数据量庞大，因此，应根据场景要素分析，进行场景特征要素提取，实现场景解构。同时，场景要素复杂繁多，在测试不同的自动驾驶功能时，所需的场景要素类型不尽相同。如何根据测试需求自动重构测试场景是目前亟待解决的关键问题。

(2) 人—车—环境系统一体化高置信度建模

建立人—车—环境高置信度模型，是自动驾驶仿真测试的基础，而如何兼顾模型精度和计算效率一直是自动驾驶虚拟仿真所面临的挑战。现阶段，雷达、摄像头、定位等环境感知系统模型以及随机交通模型和虚拟环境模型等均急需突破。未来深入研究环境感知传感器物理机理建模方法是仿真测试技术突破的重要发展方向。

(3) 构建自动驾驶汽车虚拟测试标准工具链

目前，自动驾驶测试多参照“V”形流程，分别进行软件在环测试、硬件在环测试和车辆在环测试。然而在实际测试过程中，测试工具链的选择尚未形成统一标准。未来，将不断明确不同虚拟测试平台之间的测试优势，采用接近服役条件下自动驾驶系统在环设计方法和多构型执行机构一体化测试技术，建立统一规范的自动驾驶汽车虚拟测试标准工具链。

(4) 建立测试案例动态自适应随机生成机制

自动驾驶车辆工作环境和状态复杂多样、时空维度广、具有强不确定性和不可穷尽的特征。根据场景要素组合准则与约束关系，构建多危险等级测试场景，建立测试案例动态自适应随机生成机制，并实现海量数据高速并发是自动驾驶仿真测试未来的研究重点。

(5) 建立自动驾驶汽车测试标准体系

目前，针对自动驾驶汽车的测试尚处于萌芽阶段，尚未形成明确的评价体系。环境复杂度、任务复杂度、人工干预度、行驶智能性等方面均可以作为自动驾驶仿真测试的评价内容。未来研发适应技术发展趋势的自动驾驶仿真测试评价体系并建立相应的标准体系也是仿真测试技术发展的重点课题。

5. 结语

由于自动驾驶车辆行驶场景具有极其复杂、无限丰富、不可预知的特点，传统的道路测试方法已不能满足自动驾驶测试需求，自动驾驶仿真测试已成为自动驾驶汽车测试验证不可或缺的重要组成部分。目前自动驾驶仿真测试技术处于高速发展阶段，虽然在测试中仍存在测试场景不够完善，仿真平台自身的真实性和有效性缺乏统一的批判标准等问题。但我们相信，在政府的支持、产学研的通力合作下，自动驾驶仿真测试技术也必将迈上一个新的高度。

参考文献

- [1] 上官伟,李鑫,曹越,邱威智,柴琳果. 基于虚实结合的自动驾驶仿真测试技术与应用[C]//. 第十六届中国智能交通年会科技论文集.,2021:490-499.DOI:10.26914/c.cnkihy.2021.045562.
- [2] 朱冰,张培兴,赵健,陈虹,徐志刚,赵祥模,邓伟文.基于场景的自动驾驶汽车虚拟测试研究进展[J].中国公路学报,2019,32(06):1-19.DOI:10.19721/j.cnki.1001-7372.2019.06.001.
- [3] 余荣杰,田野,孙剑.高等级自动驾驶汽车虚拟测试：研究进展与前沿[J].中国公路学报,2020,33(11):125-138.DOI:10.19721/j.cnki.1001-7372.2020.11.011.
- [4] 张毅,姚丹亚,李力,裴华鑫,晏松,葛经纬.智能车路协同系统关键技术与应用[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(05):40-51.DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.005.
- [5] 余荣杰,田野,孙剑.高等级自动驾驶汽车虚拟测试：研究进展与前沿[J].中国公路学报,2020,33(11):125-138.DOI:10.19721/j.cnki.1001-7372.2020.11.011.
- [6] Kalra N, Paddock S M. Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability? [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2016, 94: 182-193.
- [7] Schwarting W, Alonso-Mora J, Rus D. Planning and decision-making for autonomous vehicles[J]. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, 2018, 1(1): 187-210.
- [8] 蔡伯根,王丛丛,上官伟,张树忠.车路协同系统信息交互仿真方法[J].交通运输工程学报,2014,14(03):111-119.
- [9] 洪峰. 智能汽车交通车辆的综合认知及其虚拟测试方法研究[D].吉林大学,2018.
- [10] 周干,张嵩,罗悦齐.自动驾驶汽车仿真测试与评价方法进展[J].汽车文摘,2019(04):48-51.
- [11] 冯洋,夏志龙,郭安,陈振宇.自动驾驶软件测试技术研究综述[J].中国图象图形学报,2021,26(01):13-27.
- [12] 周干,张嵩,罗悦齐.自动驾驶汽车仿真测试与评价方法进展[J].汽车文摘,2019(04):48-51

版权声明

本报告版权属于北京智能车联产业创新中心 和 中关村智通智能交通产业联盟，并受法律保护。

如需转载、摘编或利用其他方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：北京智能车联产业创新中心”。

违反上述声明者，将追究其相关法律责任。



地址 国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区 - 亦庄基地
电话 +86 10 8972 5218 传真 +86 10 8972 5218
邮箱 service@mzone.site
官网 www.mzone.site

