

智能网联汽车自动驾驶行为决策方法研究

熊耀刚

(江铃汽车股份有限公司 江西 南昌 330000)

摘要: 现阶段车载智能计算平台通常采取新型电子电气架构,以域控制器(Domain Control Unit,DCU)为核心,集成车辆电子控制单元(Electronic Control Unit,ECU)、车载摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、车载通信终端(On Board Unit,OBU)等智能电子终端以及相关软件。但外部环境的复杂性、不可预知性以及系统本身的稳定性,都对车载智能计算平台的安全带来了巨大的挑战。因此,在产品落地前需要对其进行大量测试,保障其在各种环境、状态及突发事件下都能够正常运行。

关键词: 智能网联;自动驾驶;车载智能计算平台

0 引言

在实际测试中,传统的以整车功能性能验证为主的测试评价方式已越来越无法满足智能化车辆测试验证的要求。实际路测成本高昂、效率低下,而仿真测试具有较大优势。一方面,仿真测试成本低,通过软件可构建复杂多样的虚拟交通场景,且具有很高的重复性和自动化程度,提高了测试效率,易于发现和定位问题;另一方面,一些实际路测中难以实现的极限工况或偶然概率事件,可以仿真模拟,极大扩展了测试的覆盖范围。此外,仿真测试可以在车辆上路前尽量减少错误,一定程度上提高了实际路测的安全性。仿真测试符合当前V型开发模式理念,使测试验证贯穿车载智能计算平台开发周期,使系统在快速开发迭代的情况下保证验证的充分性,极大提高了研发效率、降低了研发成本。

通常,车载智能计算平台仿真测评包括3个层面:对系统算法和软件进行测试验证,即软件在环(Software in-the-Loop,SIL)仿真测试;对系统软硬件进行半实物仿真测试,即硬件在环(Hardware in-the-Loop,HIL)仿真测试;在车辆实际道路测试前,对装配了系统的整车进行仿真测试,即整车在环(Vehicle in-the-Loop,VIL)仿真测试。

1 软件在环

软件在环可对车载智能系统算法和软件进行闭环仿真测试,覆盖底层软件算法及上层应用软件等,实现对车载智能计算平台的感知、定位、规划、控制等功能的仿真测试验证。软件在环通常采用场景模拟仿真,验证系统在特定场景下能否正确应对。对于软件在环而言,关键技术和模块主要包括场景构建和生成、传感器模拟、车辆动力学模拟、事件监测和判定。

1.1 场景构建和生成

测试场景的构建是仿真测试的重要环节,其多样性、覆盖性和典型性将极大影响测试结果。场景构建要包括道路、交通设施等在内的静态场景,以及场景的天气、光照等因素。由于仿真场景的复杂多变,人工手动建模很难满足大批量场景搭建的需求,因此,通常通过高精度地图自动生成静态道路场景。

除静态道路场景模拟,更重要的是模拟复杂场景下的

障碍物和交通参与者行为,实现动态场景仿真。动态场景可以描述为一个场景下各种障碍物及其组件的行为组合。根据不同类型的需求,障碍物通常可以分为静态障碍物、固定轨迹障碍物及带有限定智能行为的障碍物。

1.2 传感器模拟

传感器是车载智能计算平台中感知世界的工具,是支持智能驾驶的重要功能组件。传感器模拟能将大部分智能驾驶车端系统功能模块并入闭环,实现更完整全面的测试验证。

传感器仿真通常是对其实时数据进行模拟。主流传感器主要包含激光雷达、超声波雷达、摄像头及惯性测量单元IMU。在仿真过程中,需优化仿真器,使其能够实现实时数据输出。相较于传统仿真器仅支持离线模拟的特性,实时系统具有更高的效率和更好的用户体验,所见即所得。

1.3 车辆动力学模拟

车辆动力学仿真模拟方案在业界较为成熟,可以沿用经典的内燃机模型和轮胎模型,以API的形式提供多种车辆操控方式。

1.4 事件监测和判定

在大规模仿真测试中,使用人工监视大量车辆的行为十分困难。因此,仿真测试需要具备车辆行为监测功能,自动监视目标测试系统行为是否符合预期。

在总结大量实地场景测试及仿真测试经验的基础上,可以抽象出一批通用系统测试结果判定条件,从而形成完整的行为监测功能。但由于测试系统判定条件会随着用户需求不断增加,该功能需要具有高可扩展性,同时要避免功能耦合,将每一种被抽象出来的行为监视组件作为一个独立的逻辑实体,逻辑实体之间不相关且监视条件严格正交。在这种情况下,可以提高行为监视组件添加与移除的便捷性,降低系统负担,提高需求响应速度。

2 硬件在环

硬件在环是通过实时处理器运行仿真模型来模拟受控对象,可以同时支持硬件、底层软件和应用层软件的仿真测试。对域控制器的仿真测试是该环节的关键。

从安全性、可行性和成本合理性三方面考虑,硬件在

环已成为自动驾驶整车开发流程中非常重要的一环，在检验检测中也将发挥重要作用。

硬件在环的主要内容包括：仿真系统将真实或虚拟的传感数字信号输入到域控制器中；域控制器进行规划和控制计算，输出线控信号；仿真系统接收线控信号后更新虚拟车辆状态和仿真结果，并将仿真结果反馈至域控制器。硬件在环整体框架如图 1 所示。

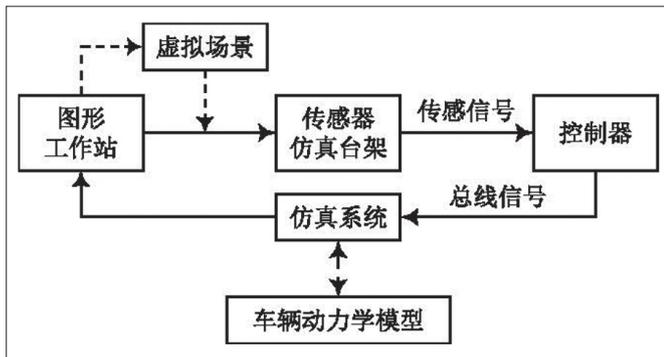


图 1 硬件在环整体框架

硬件在环的关键技术是对传感器的仿真。现今多传感器融合是车载智能计算平台主流方案之一，既可以是同类型多个传感器融合，也可以是不同类型的传感器融合。

2.1 摄像头仿真

摄像头仿真通常有 2 种实现方式，一是利用真实视频在视频暗箱中播放给真实摄像头；二是通过摄像头射频注入模块 (CSM) 直接将交通场景图像信息传输给图像处理单元，代替真实摄像头检测交通场景。

2.2 毫米波雷达仿真

毫米波雷达仿真主要通过空馈方式把接收的射频信号进行下变频处理后传递给厘米波分系统，按照系统注入的目标参数实时进行距离模拟、速度模拟和 RCS 模拟，并把模拟信号传递给毫米波分系统的上变频模块。经上变频后，实时生成相应的目标仿真回波，再发送给车用毫米波雷达。

2.3 超声波雷达仿真

采用超声波回波模拟设备 (超声波测试盒)，将真实超声波传感器与声音换能器布置在其中。障碍物的距离信息由仿真软件发送到声音换能器，声音换能器形成的超声波由超声波传感器传递到控制单元。

2.4 激光雷达仿真

由于很难实现对真实激光雷达环境的仿真，因此通常在交通仿真场景中设定理想激光雷达，并设置真实参数，配置交通仿真场景中静态和动态交通参与者表面的吸收率和反射率，同时配置交通仿真环境中的环境数据，使得理想激光雷达输出更贴合在真实交通环境中检测到的点云数据。

此外，由于车辆网联化程度的加深，对于 V2X 信号的仿真也成为重要的技术分支。

3 整车在环

整车在环目前主要应用于驾驶辅助系统 ADAS 复杂功能测试验证。其诞生是为了整合虚拟仿真技术与常规道路试

验，以实现克服已知传统实车道路测试的局限。整车在环测试中，一辆真车将被“嵌入”至一个虚拟交通环境中 (包含交通场景、交通标志、道路等)。

与实际路测相比，整车在环极大节约了成本，降低了测试风险，增强了测试的复现性，在硬件在环基础上提高了被测控制器测试结果的精确度，弥补了实际路测与硬件在环测试之间的差距。此外，整车在环还可复用软件在环和硬件在环测试的测试场景。

整车在环的主要内容包括：仿真系统构建虚拟环境，输入真实车辆智能计算平台；车辆探测到虚拟障碍物后将相关信息传递给控制器；控制器进行分析决策后制定控制策略，实现车辆转向、制动等操作。

整车在环测试系统主要分为 2 部分：实物部分和仿真部分。其中虚拟仿真设备包含上位机、实时仿真器等；实物部分包含被测车辆的摄像头、超声波传感器、毫米波雷达等传感器和驾驶操作的接口适配单元。

就场地而言，整车在环可以分为 2 类：封闭试验场整车在环和暗室转鼓整车在环。封闭试验场可实现测试车辆横、纵向极限场景测试，但在做高速试验时对场地尺寸要求较大，因此封闭试验场整车在环主要用于中低速极限场景测试；高速纵向极限场景可在暗室转鼓整车在环中实现。此外，暗室转鼓整车在环仿真测试可以模拟交通极端拥堵条件下高密度 V2X 通信环境、城市峡谷等通信信号多径传输环境、高速条件下通信信号的多普勒频移等特殊的极限通信环境。这些场景几乎不可能在室外进行模拟，一方面，大部分智能网联汽车相关试验频率均受国家无线电频谱管理部门的管控，禁止随意向自由空间发射；另一方面，向自由空间泄漏的电磁波会对实际电磁环境产生污染，影响正常工作的设备的使用安全。

4 结语

在智能网联车辆算法研发、系统测试和安全验证 3 个测试阶段中，仿真已成为必不可少的手段，这已是国内外业界的共识。目前，国内外也在陆续开展利用仿真方式进行车辆检验检测的试验，并已开展标准法规的预研工作。除仿真手段的革新外，场景数据库的设计也是仿真测试的重中之重。传统基于路测数据、现有事故数据库和人工创建的有限场景测试方式已远远不能满足使用要求，如何创建一个具有高度覆盖率的场景数据库、快速产生大量适用性强的新场景将是一个持续的课题。

参考文献：

[1] 张微, 李鑫慧, 吴学易, 等. 自动驾驶仿真技术研究现状 [J]. 汽车电器, 2019, 58(8): 13-15.

[2] 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, 59(4): 48-51.

[3] 丁启枫, 杜昊, 吕玉琦. 5G-V2X 应用场景和通信需求研究 [J]. 数字通信世界, 2019, 15(2): 24-25.

[4] 孙运奎, 谷原野, 节忠海, 等. 半自动泊车系统实验室仿

(下转第 65 页)

表 产品装试流程改进方案

工序	现有工序名称	工位类型	改进方案	建设类型
1	螺纹修合和外观检查	线外准备站	新建	机械化/信息化
2	活塞杆移动性检查	线外准备站	新建	机械化/信息化
3	安装密封件	装配工位	改造	机械化/信息化
4	总装	装配工位	改造	机械化/信息化
5	磨合	试验工位	新建	自动化/信息化
6	磨合后分解	装配工位	改造	机械化
7	清洗	清洗工位	新建	自动化/信息化
8	最终装配	装配工位	改造	机械化/信息化
9	强度试验	试验工位	新建	自动化/信息化
10	静压试验	试验工位	新建	自动化/信息化
11	工艺磨合运转试验	试验工位	新建	自动化/信息化
12	常温参数检查	试验工位	新建	自动化/信息化
13	高温参数检查	试验工位	新建	自动化/信息化

试验工序为基础，提出改造或新建要求；并以机械化、自动化和信息化等手段为依据，明确具体改进设计方案，装试流程改进方案，如表所示。

综合考虑装试产线工位、专业、节拍，负载等因素，某型系列产品装配产线初步设计工位 11 个，装配工位 5 个，试验工位 5 个，清洗工位 1 个，人员 7 人，占地面积 20mX8m，装试产线三维示意图，如图所示。

2.1.2 产线主要设备装置

某型装配试验产线内主要包括 12 套专用装配夹具、4

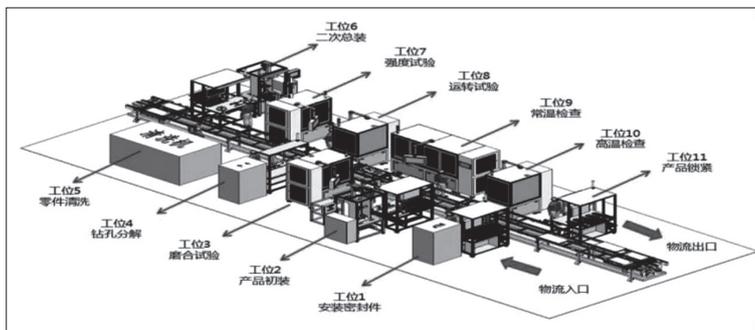


图 某型产品装试产线三维示意图

台专用测试设备、1 条物流传送带、1 台清洗设备、1 台智能伺服压力机等工艺装备。此外，某型装试产线还包括一套信息化管理系统，可以实现产线的设备监控、产能监控、计划管理、数字质量报告等功能。

2.2 项目技术创新性论述

2.2.1 技术创新点

(1) 在某型系列产品任务大幅增加的前提下，通过机械化、自动化手段，能大幅降低质量隐患，保证产品生产过程的一致性。

(2) 通过构建流水作业的生产模式，定工位、定节拍、定内容，实现总装的逐级拉动式生产，进一步提高生产效率。

(3) 通过系统性引入机械化和自动化工艺装备，在保证产品质量和效率的同时，减少操作员的干预程度，缩减装试人员数量。

(4) 通过工艺流程的梳理重建，进一步明确装配试验环节的标准作业内容，并通过可视化的方式进行展示。

(5) 结合装试产线的建设，搭建基于产线系统的数字化信息系统，将计划、工艺、管理、准备、执行集成为一体，大幅提升效率。

3 结语

根据十四五期间的任务分析，某型装试产线将在未来的四到五年内，实现某型产品 39% 以上的产能增幅，确保质量的稳定性。同时也为修理品的能力扩充打好坚实基础。首条装配示范线，更加接近于标准化作业的自动化生产线，为后续装配能力的提升奠定基础。

参考文献：

[1] 张晓梅. 基于模型的航空脉动装配生产线关键数字化技术研究 [J]. 航空制造技术, 2020,63(04):74-81.

[2] 刘善国, 李晶, 程志军. 航空制造技术学科发展报告 [A]. 中国航空学会, 2014:15.

作者简介: 郭文涛 (1980-), 男, 汉族, 河北南皮人, 本科, 工程师, 研究方向: 精益生产与智能装配试验生产线的规划与设计。

(上接第 63 页)

真测试 [J]. 汽车电器, 2018,57(12):28-30.

[5] 陈子轩, 马万经, 郝若辰, 等. 面向智能网联车的硬件在环仿真平台 [C]. 中国天津: 第十三届中国智能交通年会大会论文集, 2018.

[6] 吴琼. 构建基于真实场景下自动驾驶车辆模拟仿真测试 [J]. 智能网联汽车, 2019,2(6):70-71.

[7] 犹佐龙. 智能网联汽车仿真测试方法 [J]. 汽车工程师, 2019,46(4):35-38.

[8] 高岩, 苏虎, 于洋, 等. 智能车辆仿真场景建模方法 [J]. 交通信息与安全, 2020,38(1):100-106.

[9] 于洪峰, 王裕鹏, 华典, 等. 基于摄像头在环的 HIL 仿真测试与研究 [J]. 汽车电器, 2019,58(12):4-7.

[10] 韩意, 孙华燕, 李迎春, 等. 国外成像激光雷达系统仿真软件研究进展 [J]. 激光与光电子学进展, 2013,50(1):46-54.

[11] 冯晓辉, 王哲, 李雅琪. 智能驾驶领域发展态势与展望 [J]. 人工智能, 2018,5(6):26-36.