



【商泰汽车】
PANOSIM FOR V2X
一体化仿真测试平台
技术方案

版本： V1.0
日期： 2019.7.19

PanoSim Technologies LTD

地址： 南京市溧水区永阳街道秦淮大道 288 号
邮编： 211200
邮箱： info@panosim.com
网址： www.panosim.com

修订记录

版本	修订内容	日期	编写	审核
V1.0	初版技术方案	2019-7-19	PanoSim	/

目 录

1 PANOSIM FOR V2X 产品技术方案	3
1.1 需求分析	3
1.2 方案建议	4
1.3 系统配置	6
1.4 系统组成	7
1.5 产品优势	7
2 系统主要组件	9
2.1 主控平台	9
2.2 车辆模拟器	18
2.3 收发通信设备	21
2.4 驾驶员在环仿真	22
2.5 中控显示系统	23
2.6 V2X 智能网联测试评价体系	24
3 系统集成	27
3.1 产品清单	27
3.2 硬件架构图	28
3.3 软件集成任务	28
3.4 硬件集成任务	28
4 项目计划及验收标准	29
4.1 项目计划	29
4.2 交付物	29
4.3 验收测试及标准	29
4.4 技术支持	29
附件*****方案扩展说明	30

图 目 录

图 1 PANOSIM FOR ADAS 的设计与展望	3
图 2 V2X 仿真测试架构图	5
图 3 整体架构	6
图 4 汽车行驶场景相关要素分类图	9
图 5 PN 功能模块划分图	10
图 6 EXPANEL 运行示意图	10
图 7 VEHICILEBUILDER 运行示意图	11
图 8 SENSORBUILDER 运行示意图	11
图 9 TRAFFICBUILDER 运行示意图	12
图 10 交通流仿真示意图	12
图 11 PANOPILOT 和 PANOANIM 运行示意图	13
图 12 PANOSIM V2X 传感器部署	14
图 13 PANOSIM V2X 应用层	15
图 14 PANOSIM V2X 应用层数据配置和来源选择	16
图 15 PANOSIM V2X 通信模型工作模式	16
图 16 随机交通流	17
图 17 PS-VE 组成结构图	18
图 18 高精度车辆动力学模型自由度示意图	19
图 19 通用车辆动力学模型自由度示意图	19
图 20 电动汽车动力学模型示意图	20
图 21 NI PXIE-8880RT 实时仿真器	20
图 22 NI PXIE-8880 功能应用	21
图 23 USRP-RIO 2954	21
图 24 SEA LTE-V 工具包	22
图 25 驾驶是员在环模拟器	22
图 26 中控显示系统示意图	24
图 27 硬件架构图	28
图 28 V2X FOR OBU	30
图 29 V2X FOR OBU(简配)	30
图 30 V2X FOR RSU	31

图 31 V2X FOR RSU(模拟 OBU).....	31
图 32 V2X FOR 应用开发商	32

1 PANOSIM FOR V2X 产品技术方案

1.1 需求分析

本技术方案（PANOSIM FOR V2X）的目标是为客户 V2X 系统的开发、测试、验证与演示提供支持，通过平台工具（开发测试一体化仿真平台）+数据组合（场景、实例、动力学模型等），满足 V2X 系统开发和供应商的多种 ADAS 功能开发、多车型适配、多主机厂客户等等需求，为 ADAS 产品开发和测试人员在不同开发阶段提供不同的使用方式选择。

PANOSIM FOR V2X 提供多种可能的应用方式，以支持开发和测试人员在不同开发阶段、面对不同开发目标，使用不同开发方式的应用需求，例如但不限于：

第一，验证算法/软件，提供软件在环（SIL）、模型在环（MIL）的非实时开、闭环仿真实验。将客户的开发目标例如非实时算法解算节点，以自定义（例如算法可以跑在 SIMULINK 里面，软件可以跑在 PC 或者仿真器上面）方式接入 PANOSIM FOR V2X 系统。

第二，验证硬件及其硬件组合，提供实时硬件在环（HIL）的开、闭环仿真实验，支持 V2X 盒子在环开发和测试验证。将客户的开发目标例如真正的硬件产品 V2X 盒子接入 PANOSIM FOR V2X 系统，以实时方式运行，通过信道模拟器生成真实的无线信号注入到 V2X 通信盒子中，在开发目标内完成计算和处理后，完成开环实验，也可以进一步通过 CAN 接口输出指令给逼真模拟车辆，完成闭环仿真实验。

第三，验证不同车型（动力学模型）的适配性开发，提供多种车辆动力学模型满足不同目标车型的适配开发和验证需求。

第四，丰富的仿真测试场景和测试用例（实例），大量的测试场景库和测试用例支持客户开展不同开发目标、不同 ADAS 功能在不同场景（道路、交通、天气、驾驶行为等）下的开发、测试和评价。



图1 PanoSim for ADAS 的设计与展望

1.2 方案建议

由于实车测试条件有限，用户希望建立一个模拟智能交通运行状况的仿真平台，PanoSim 仿真控制系统采用完全自主研发的汽车智能化模拟仿真软件 PanoSim 完成仿真设置与仿真管理工作。PanoSim 智能驾驶系统仿真软件，集整车动力学、底盘电控、智能驾驶和交通环境模拟于一体，并且具有逼真的动画显示效果，可模拟雨雪雾等天气情况，具有典型汽车动力学场景、交通仿真场景和夜间行驶场景，可为汽车主动安全控制系统开发提供强有力支持。

基于 PanoSim 软件所提供的仿真模型，包括传感器模型、车辆动力学模型、高精度复杂三维场景（汽车行驶道路和道路网络拓扑、交通标识和交通信号灯、数字地图导入、复杂天气和光照等等）以及实验结果可视化功能，结合相关无线通信设备，搭建符合 V2X 发开测试的各类场景工况，支持用户面向 V2X 的功能开发、系统开发、整车开发，实现智能网联汽车高效、高逼真、可重复且可自动化的研发、测试和评价体系。以解决由于实车、真实环境测试等条件有限，无法完全模拟实际的车辆运行状态及多车或者不同交通路况等复杂的实际交通情况，以及实车、真实环境测试成本高，危险工况测试困难等问题。

V2X 通信盒子在环平台的主要功能：

1. 搭建基于 V2X 仿真测试的智能辅助驾驶场景，特别是 CSAE 国标关于车用通信系统应用层及数据交互标准中提及的 17 种 V2X 典型应用场景，对基于 V2X 的智能驾驶算法和设备进行 MIL、SIL 和 HIL 在环仿真测试；
2. 测试 V2X 通信盒子（LET-V）设备的功能、性能；
3. 测试算法在控制器中的运行效率；
4. 支持检验生成的代码在目标编译器中的 BUG。

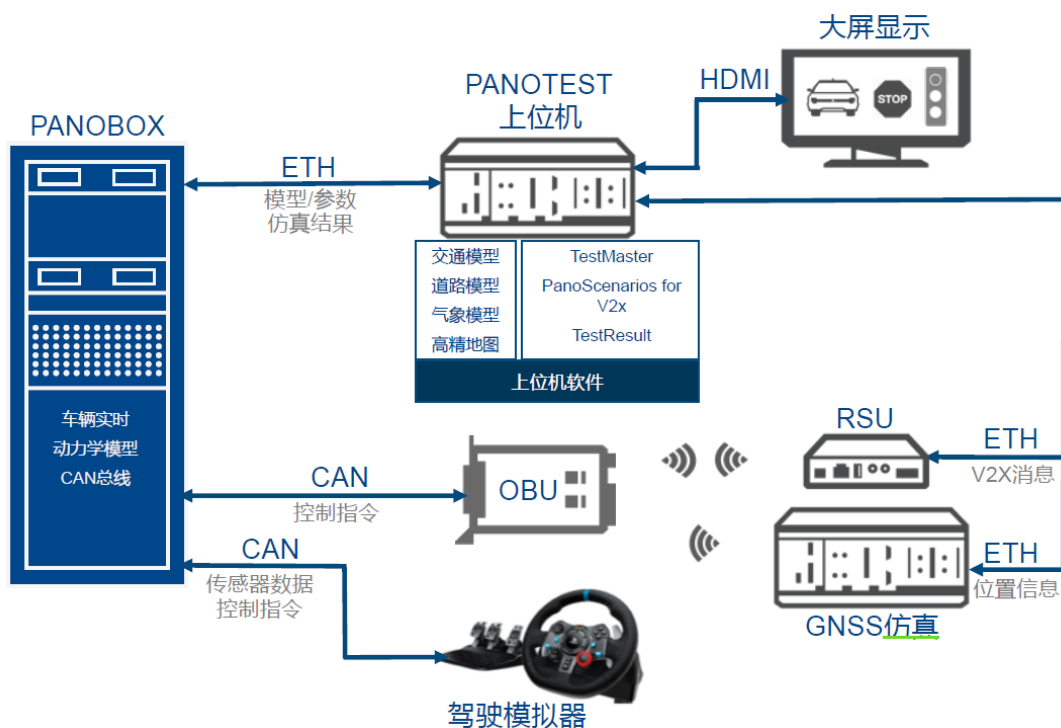


图2 V2X 仿真测试架构图

对应需求中实时硬件在环仿真（HIL）。系统基于模块化搭建整体平台架构，通过人机交互对 V2X 开发测试驾驶环境和驾驶情景进行编辑，通过 V2X 传感器输出车辆以及相关智能交通数据,通过 LTE-V 工具包使用 UDP 接口与 Panosim V2X 应用层进行数据交互，从而实现场景中的标准 V2X 信息包括 BSM/MAP/RSI/RSM/SPAT，通过真实的 NI USRP 射频空口进行传输和接收，由用户 V2X 通信盒子接收和处理全系统以实时车辆模拟器的物理时钟为系统仿真时间基准，从力感模拟器输出转向、油门、制动到实时计算机，从车辆状态计算到传感器数据采集与格式化，再到 NI 硬件支持信息传输，用户 V2X 通信盒子的实时处理及控制量输出形成闭环，实现实时仿真。

对应需求中非实时软件或模型在环仿真（SIL/MIL）应用。用户将 V2X 算法运行节点按照自定义数据接口接入系统中，全系统以离线车辆模拟器的逻辑时钟为系统仿真时间基准，在车辆状态计算到传感数据采集与格式化后，从自定义协议接口输出到用户算法运行节点。可将算法运行节点反馈控制量输出到离线车辆模拟器，则实现闭环非实时（NRT）测试；否则形成开环测试。

对应不同车型（目标）的开发测试应用，系统提供满足不同仿真需求的车辆动力学模型，包括高精度复杂非线性实时车辆动力学模型，实时高效简单车辆动力学模型，并支持包括电动汽车、轿车、卡车、客车等不同车辆模型，完全兼容 CarSim 车辆动力学模型，支持用户车辆参数和外形定制与导入。

对应丰富的仿真测试场景和测试用例应用，系统提供符合行业及国家标准的仿真场景和测试用例库，仿真场景包括各种道路场地、复杂交通流和交通参与物、天气光照以及驾驶行为。测试用例根据法规要求以及复杂测试工况（危险工况、事故工况、随机工况）等组成，为用户在智能驾驶算法开发测试验证过程中建立更高效、快捷的一体化测试评价体系。

1.3 系统配置



图3 整体架构

PANOSIM FOR V2X 系统从硬件上分为五个部分：

第一部分，主控平台，完成仿真实验编辑及系统管理，该部分功能对应 PN-RT 系统软件（如果为非实时情况对应 PN-NRT 系统软件）。该系统软件主要由 EXPanel（主控平台）、VehicleBuilder、TrafficBuilder、SensorBuilder、WeatherBuilder 等模块构成，其主要功能为结合系统功能节点，搭建 V2X 仿真场景，并管理系统。

仿真场景分为驾驶环境和驾驶情景，驾驶环境主要包含场地、交通流和大气环境，场地由系统直接集成，交通流编辑和气象条件编辑分别对应于 TrafficBuilder 和 WeatherBuilder。驾驶情景主要包含测试车辆的驾驶员模型、车辆动力学模型和传感器设置，驾驶员模型由 EXPanel 统一设置，车辆动力学模型对应于 VehicleBuilder，传感器设置对应 SensorBuilder。

第二部分通信平台、收到通信模块以及 GNSS 模拟器，通信平台运行 GNSS 模拟软件和 SAE LTE-V 工具包。收发通信模块模拟 LTE-V 信号发送，GNSS 模拟 GPS 信号。

第三部分为用户 V2X 测试盒子。

第四部分车辆模拟器（实时计算机+PanoSim 高精度车辆动力学模型），运行实时车辆动力学模型（模拟一台受控逼真车辆）。

第五部分驾驶模拟器，支持用户完成驾驶员在环仿真。

仿真运行由 EXPanel（主控节点）发起，所有节点均接收来自 EXPanel 的仿真控制命令，并向主控节点反馈工作状态。仿真过程对应需求，输出数据均为随仿真时间的数据，数据符合标准的 V2X 应用层信息包，包括 BSM/MAP/RSI/RSM/SPAT。

1.4 系统组成

PANOSIM FOR V2X 技术方案的系统组成如下：

序号	模块名称	数量	功能
1	主控平台-PN-RT 高性能 PC	1	用于系统主控及仿真管理，包含： EXPanel：系统主控端 VehicleBuilder：仿真车辆管理及车辆动力学模型参数设置 TrafficBuilder：交通流管理及参数设置 SensorBuilder：传感器管理及参数编辑 WeatherBuilder：大气环境管理，包括光照、天气 ServerMonitor：分布式系统负载监控
2	PN-NRT 软件（可选）	1	除带有系统主控和仿真管理子系统软件功能外，带有车辆模型，可基于 Simulink 计算平台，以非实时方式仿真测试车辆运动特征，内含交通流仿真节点，同时仿真交通流输出
3	PS-VE 实时计算机	1	车辆模拟器，内部集成实时解算计算机，以实时方式仿真测试车辆动力学及其运动特征，内含交通流仿真节点，同时仿真交通流输出，单套对应仿真 1 台测试车辆
4	收发通信设备	1	通信计算机运行 SEA LTE-V 软件包和 GNSS 工具包，通过 USRP 完成 LTE-V 物理信号模拟和 GNSS 模拟。
5	驾驶模拟器	1	集成真实油门、踏板、方向盘，模拟真实车辆体验

1.5 产品优势

- **一体化平台解决方案：** PanoSim V2X 仿真测试平台由国内专业技术团队研发，虚拟仿真平台提供各种兼容性接口，能够帮助客户在统一的平台基础上解决 HIL/MIL/SIL/

DIL/人车共驾等方面的问题和痛点，提供一揽子解决方案。根据不同客户的需求，虚拟仿真平台提供多种解决方案，能够满足绝大多数的客户预算，实用性及性价比更高。

- **高逼真场景：**系统自带符合行业及国家标准的仿真场景，仿真场景包括道路场地、交通和交通参与物、气象条件等，高逼真实现对场地、交通及气象条件的模拟。支持搭建基于 V2X 仿真测试的智能辅助驾驶场景，特别是 CSAE 国标关于车用通信系统应用层及数据交互标准中提及的 17 种 V2X 典型应用场景
- **车辆动力学模型：**PanoSim 的智能驾驶虚拟仿真平台提供专业的车辆动力学模型，主要提供三种车辆动力学模型（高精度车辆动力学模型（27 自由度）、通用车辆动力学模型（7 自由度）、电动汽车动力学模型（27 自由度）），支持导入 CarSim 车辆动力学模型，支持选择车辆的自由度并设置相关参数，满足客户对车辆动力学模型的多样化需求。
- **V2X 传感器模型：**PanoSim 的智能驾驶虚拟仿真平台提供 V2X 传感器模型，支持最新发布的车用通信系统应用层及应用数据交互标准，包括 BSM/MAP/RSI/RSM/SPAT；支持用户对 V2X 通信信号延迟、丢包和传输范围的设置；支持对路测单元、行人设置 V2X 传感器，满足客户对 V2X 测试场景搭建需求。
- **其他传感器模型：**PanoSim 的智能驾驶虚拟仿真平台提供单目像机、双目像机、鱼眼像机、激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、惯导等各类物理传感器模型，支持车载传感器的位置和姿态设置（安装）、传感器参数设置，提供丰富的输出接口，满足客户对传感器安装、调试、输出等多方面的需求。
- **技术服务：**PanoSim 的智能驾驶虚拟仿真平台是由国内专业团队开发，拥有计算机、车辆工程、模拟仿真等多个领域的专家，团队参与多项智能驾驶国标、行标制定，技术实力雄厚，为中国智能驾驶产业服务。合作用户使用虚拟仿真平台的过程中，如果遇到技术问题，PanoSim 团队能够及时响应客户问题，安排专人进行对接，承诺 24 小时之内给出合理反馈，72 小时之内给出具体解决方案或实施策略。同时，根据客户需求，支持一对一的定制化解决方案。

2 系统主要组件

2.1 主控平台

2.1.1 PanoSim 仿真软件

PN 平台由我公司自主研发，面向汽车传感器数据处理与融合及汽车控制研发整体流程，基于可定制的高逼真复杂仿真场景，以可灵活配置的高精度传感器模型为支撑，融合真实世界采集数据与仿真数据，构建同时支持实时和非实时综合仿真框架，结合 Matlab/Simulink、NI 等计算平台，通过模块化定制为相关开发人员提供开环/闭环仿真开发一体化平台，可广泛应用于车载传感数据处理、ADAS、无人驾驶系统开发。其分为两个版本，其中 PN-RT 主要用于实时 HIL 仿真，而 PN-NRT 主要用于非实时 SIL、MIL 仿真。

PN 平台将汽车行驶相关要素划分为驾驶环境和驾驶情景，如图所示：

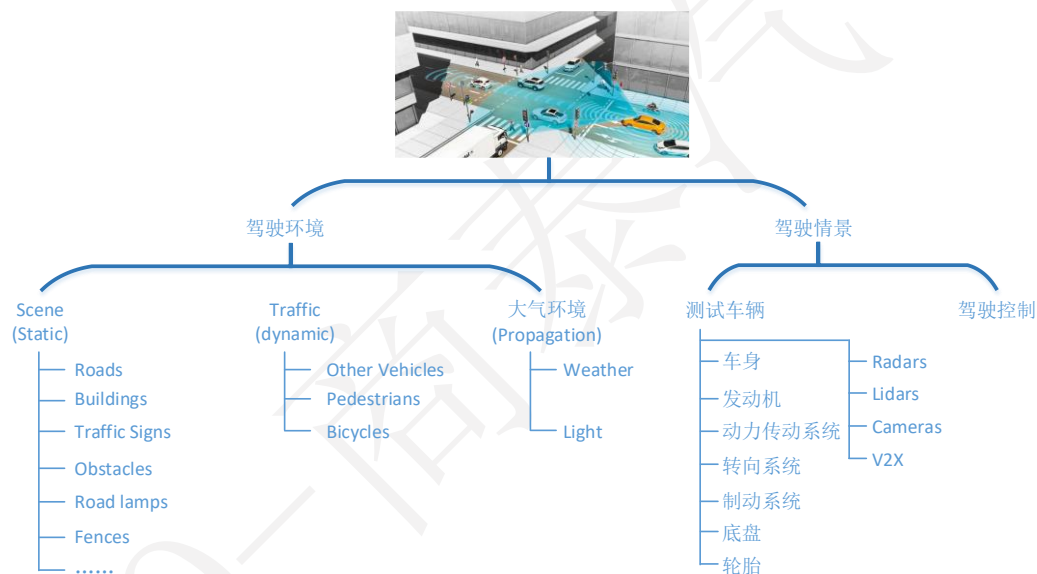


图4 汽车行驶场景相关要素分类图

Traffic 相关要素和大气环境相关要素均基于静态 Scene，共同形成相对独立的驾驶环境；而驾驶情景部分，测试车辆除了自身构成外，受驾驶员控制，并挂载各种传感器，测试车辆/关注车辆行驶在驾驶环境中的路面上，同时通过传感器从环境中获取信息。

PN 主体目标为结合具体应用需求（控制类开发或传感器数据处理）将车辆行驶场景（包含驾驶情景、驾驶环境及其相互关系）尽量真实的映射到仿真系统中，一方面为用户提供相对可靠的测试场景和数据，另一方面能够将用户开发的控制模型或算法的输出接入驾驶情景，从而形成开/闭环仿真控制过程，辅助用户完成模型或算法的开发与测试。

为完成上述功能，并为用户提供良好的交互体验，PN 以 EXPanel 为中心划分为几大模块和分系统，如图所示：

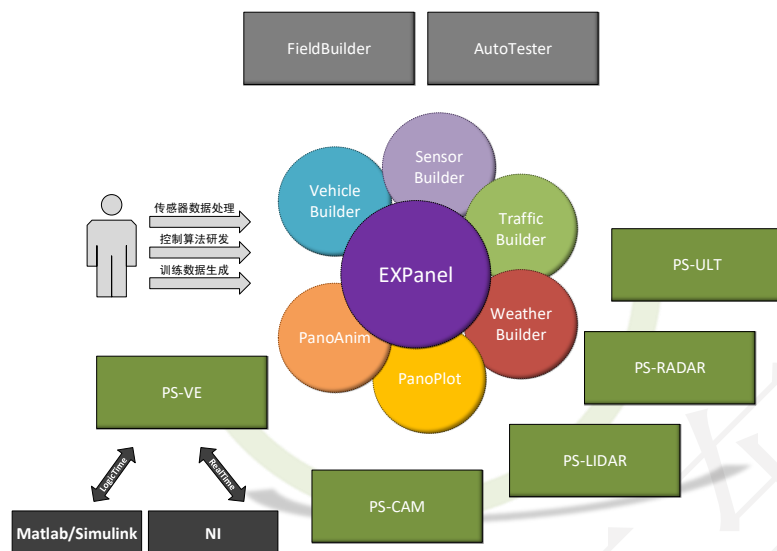


图5 PN 功能模块划分图

➤ EXPanel 主控模块

EXPanel 是分布式系统的实验数据管理中枢，一方面作为入口，支持用户对实验进行编辑，包括选择并设置实验场景、选择并设置实验车辆、设置实验条件和汽车行驶交通模型（包括行人模型等）、设置驾驶与仿真参数等，另一方面作为分布式系统的仿真运行控制端，控制实验的仿真进程，并使用 ServerMonitor 进行仿真状态监控。

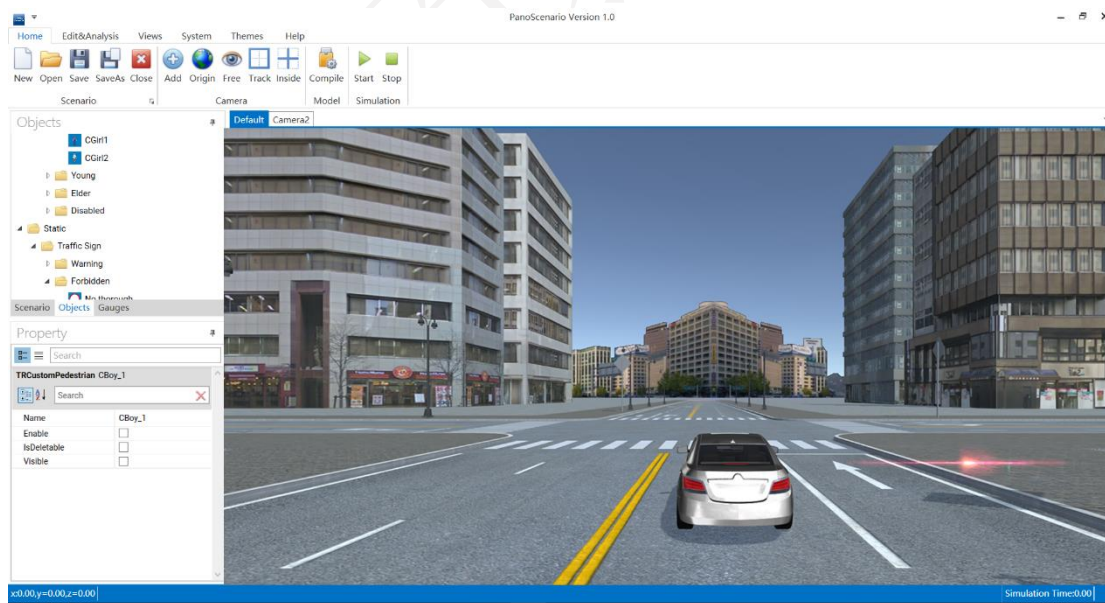


图6 EXPanel 运行示意图

EXPanel 支持载入高逼真度测试场地，包含城镇、乡村、停车场等典型测试场地和多种道路构型；场地支持高度数据；支持对场地路网和路面信息的参数化灵活定义；支持路面塌方、凹陷、水渍、污点等定义。

➤ VehicleBuilder 车辆编辑器

VehicleBuilder 支持用户创建、配置、管理系统中的车辆。系统支持 2 自由度、7 自由度、27 自由度、电动车的车辆动力学模型，并且支持导入 CarSim 车辆动力学模型用于仿真。

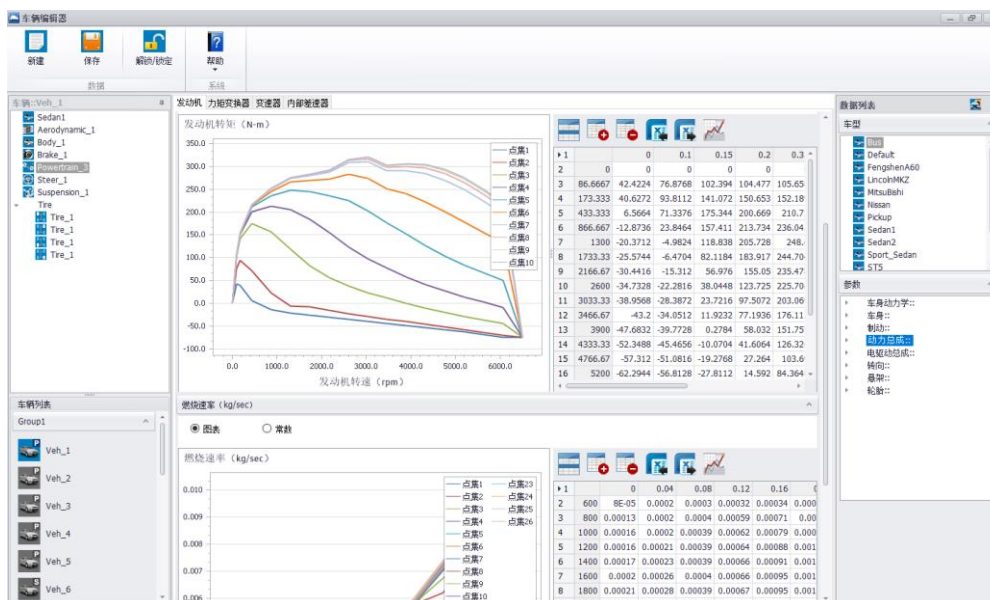


图7 VehicleBuilder 运行示意图

➤ SensorBuilder 传感器编辑器

SensorBuilder 支持用户对传感器安装位置及传感器参数进行设置。传感器的安装位置根据车辆外观模型不同而不同，传感器参数结合对应的传感器模型参数进行编辑设置。

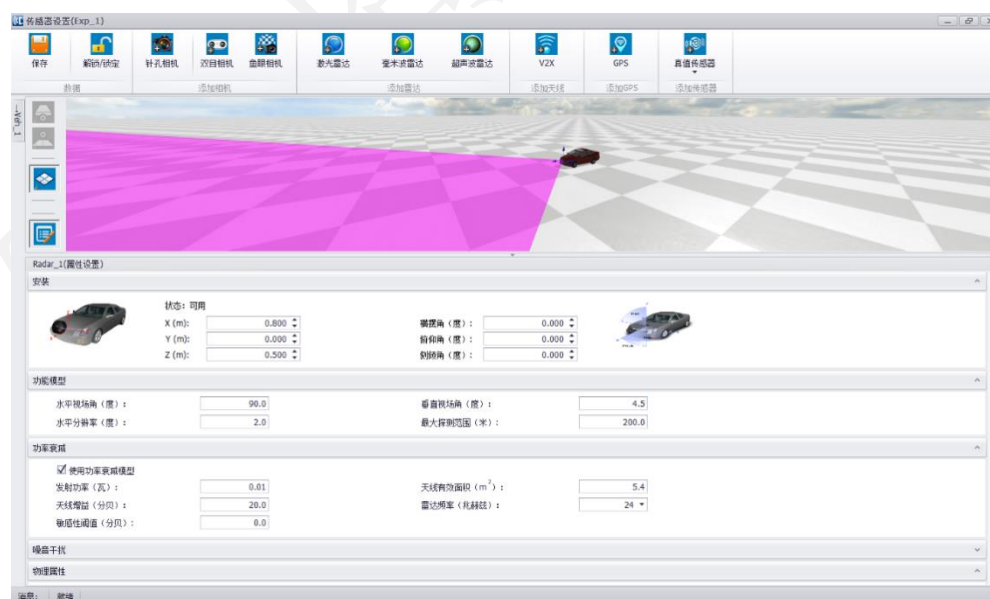


图8 SensorBuilder 运行示意图

➤ TrafficBuilder 交通编辑器

TrafficBuilder 用于对实验中的交通参与物进行设置，包括行人、车流、交通标志、障碍物等，为实验提供逼真的动态交通环境。

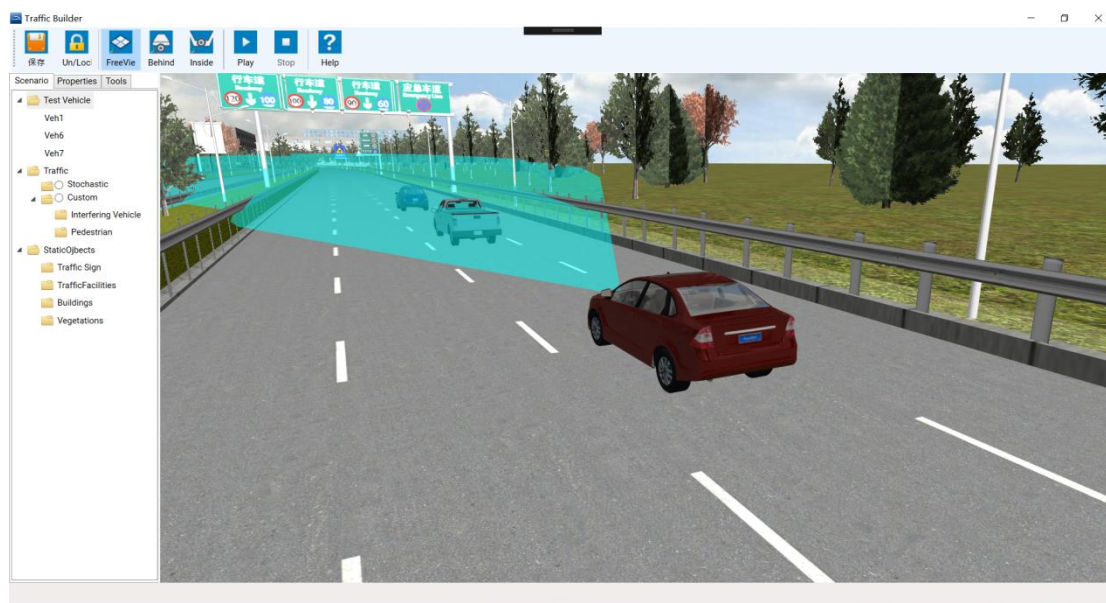


图9 TrafficBuilder 运行示意图

PN 中交通流的概念，定义为为测试车辆提供逼真的交通环境，同时可仿真极限工况以支持用户对算法进行开发和测试，其设置对象主要为交通参与物，包括道路标识、障碍物、交通车辆、行人等。交通流可划分为随机交通和干扰交通，随机交通对应于逼真的交通环境仿真，总体上交通参与物的行为应当符合交通规则；干扰交通对应于个体交通参与物（主要指干扰车和干扰行人）的行为定义，其行为由用户直接定义，可能遵从交通规则，也可不遵从交通规则。TrafficBuilder 中内置车辆模型包轿车、客车、货车、摩托车等，行人模型包括儿童、年轻人、老人等，覆盖用户需求。具体仿真效果见下图。

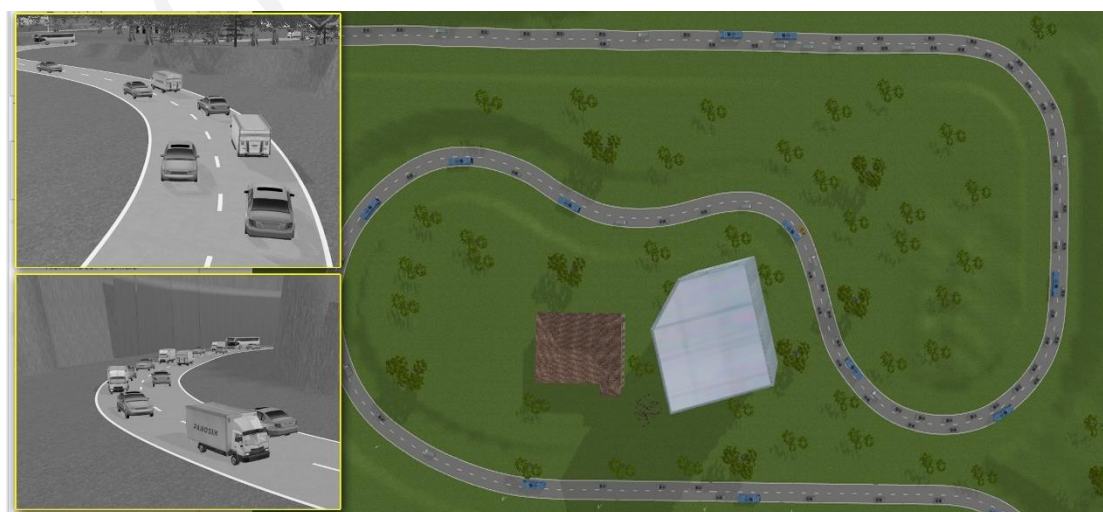


图10 交通流仿真示意图

➤ WeatherBuilder 环境编辑器

WeatherBuilder 支持用户对大气环境条件进行编辑，包括天气和光照。天气部分的编辑，基于晴天、雨、雪、雾等天气参数，设置/生成针对 24G、77G 毫米波、激光的衰减图谱，由此让天气因素参与传感器模型解算。光照设置中，除设置白天、黑夜、黄昏等外，考虑道路的方位，支持设置太阳的方向角度，以对像机传感器提供丰富的光照条件。

➤ PanoPlot&PanoAnim 试验后数据处理

PanoPlot 用于对仿真实验数据进行后处理分析，包括标定、绘图分析等；PanoAnim 支持对已生成实验数据进行回放、抓图与录像等。

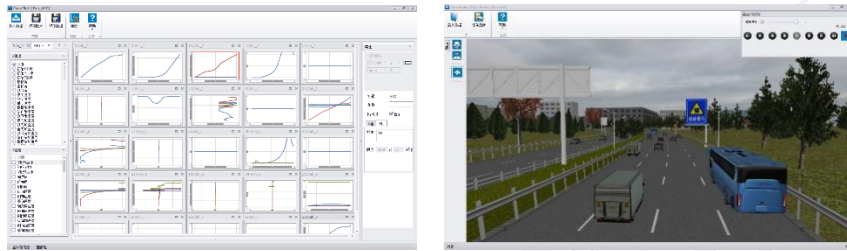


图11 PanoPlot 和 PanoAnim 运行示意图

➤ 场景编辑器

FieldBuilder 用于人工/自动化创建或编辑仿真实验所需三维数字虚拟场景和环境，包括道路和道路网络结构、高精地图数据导入、道路路面和车道信息、地形、周边建筑和交通设施等；AutoTester 用于支持用户开展批量测试并生成测试报告。

另外，根据用户需求，可定制故障注入模块，实现如传感器失效，报文异常帧的发送接收故障，对于通信模块，模拟信号丢失，TCP/IP 重传，网络异常，CAN 报文丢失等情况。

2.1.2 PanoSim 基于 V2X 传感器的智能驾驶仿真

➤ 部署 V2X 传感器

PanoSim 支持在所有交通参与物上部署 V2X 传感器，如图 14 所示，

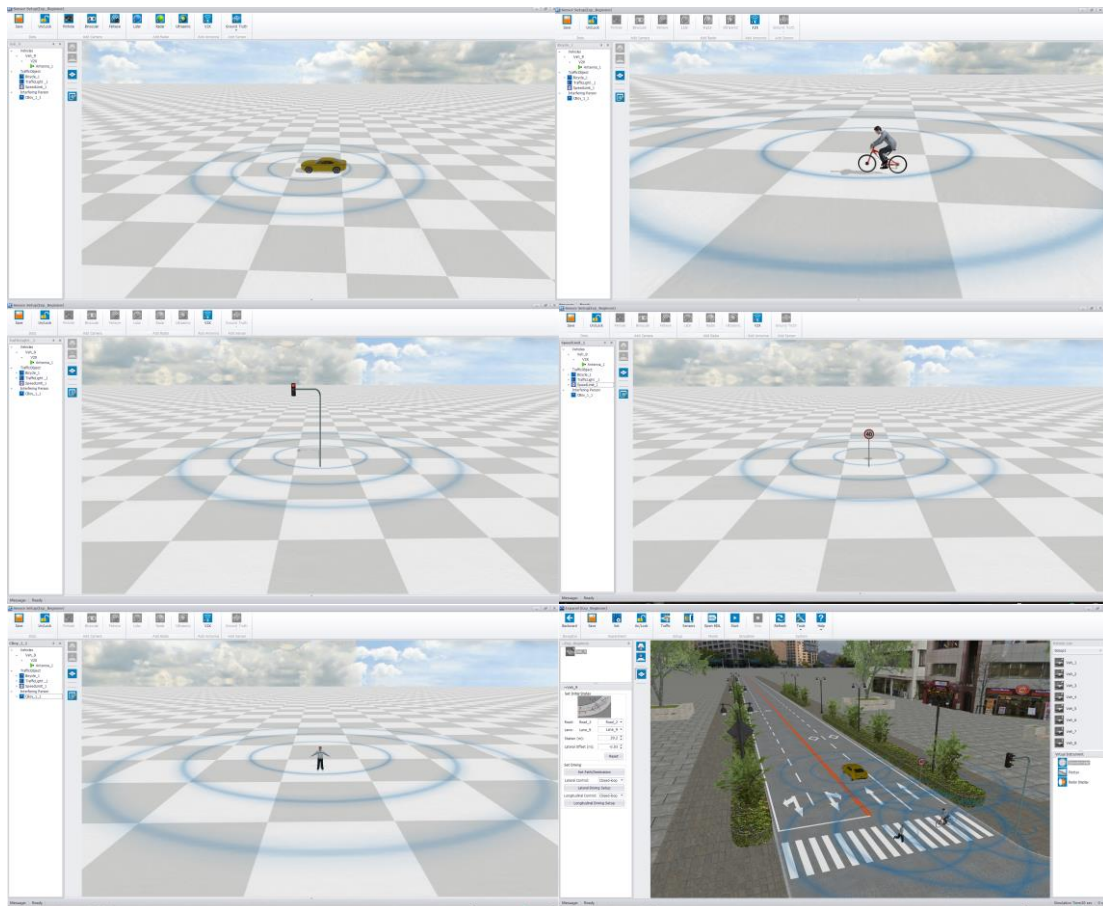


图12 PanoSim V2X 传感器部署

➤ 符合标准的数据接口

PanoSim 能提供丰富的仿真数据，包括车辆车辆的位置、姿态、尺寸、速度、三轴加速度，以及行人、交通灯和交通警示牌的相关信息等，并可将数据封装成标准格式数据包，如发送车辆基本安全信息的 BSM 包和发送交通灯状态信息的 SPAT 包以及 MAP、RSI、RSM，如图 15 所示

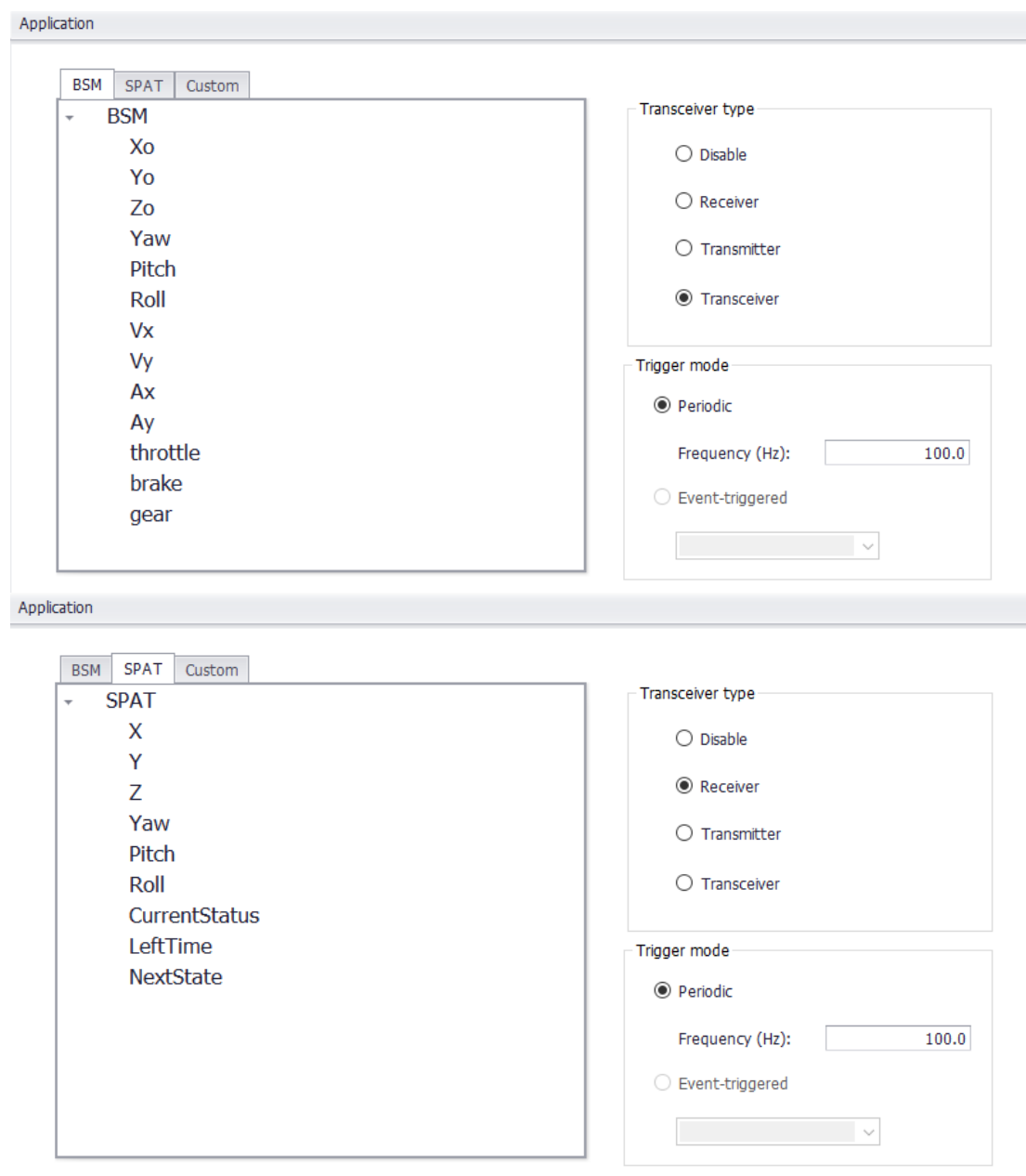


图13 PanoSim V2X 应用层

PanoSim V2X 各应用层协议数据组成可由用户配置，如图 16 所示。后续还将进一步扩展状态库，可以根据用户选择，从车辆动力学模型、用户外部注入、或者相应传感器模型如 GNSS 传感器获取源数据。

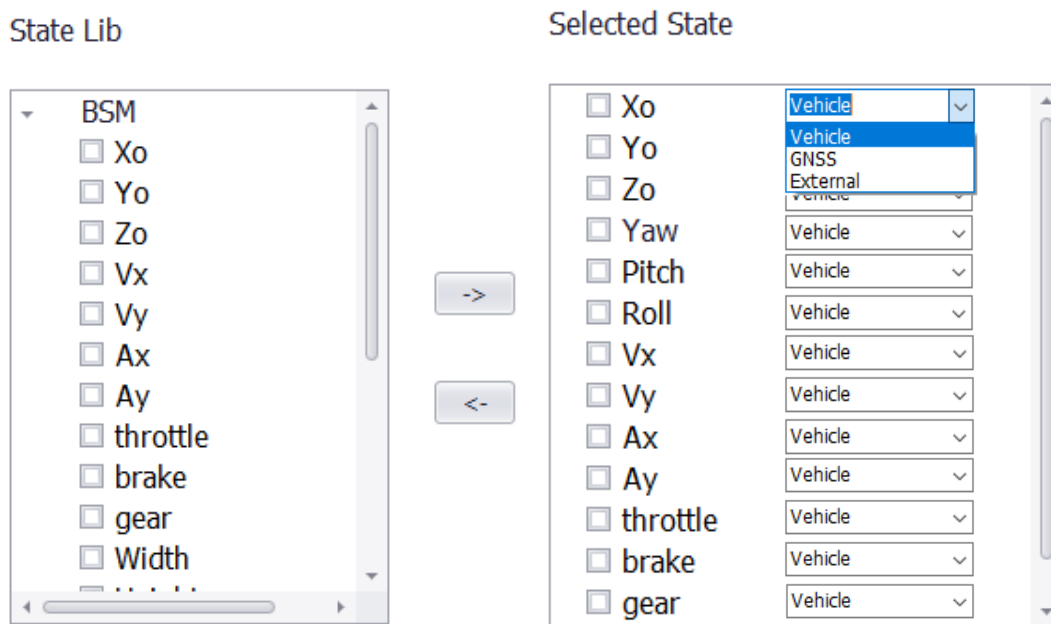


图14 PanoSim V2X 应用层数据配置和来源选择

另外，PanoSimV2X 模型还支持用户输入自定义信息，并将自定义数据一并通过底层通信模型进行传输，更灵活地实现用户自定义 V2X 应用。

➤ 准确丰富的通信模型

PanoSim 除支持用户指定网络性能指标，还将支持其他两种通信模型工作模式分别为标准模式和自定义模式，如图 17 所示。

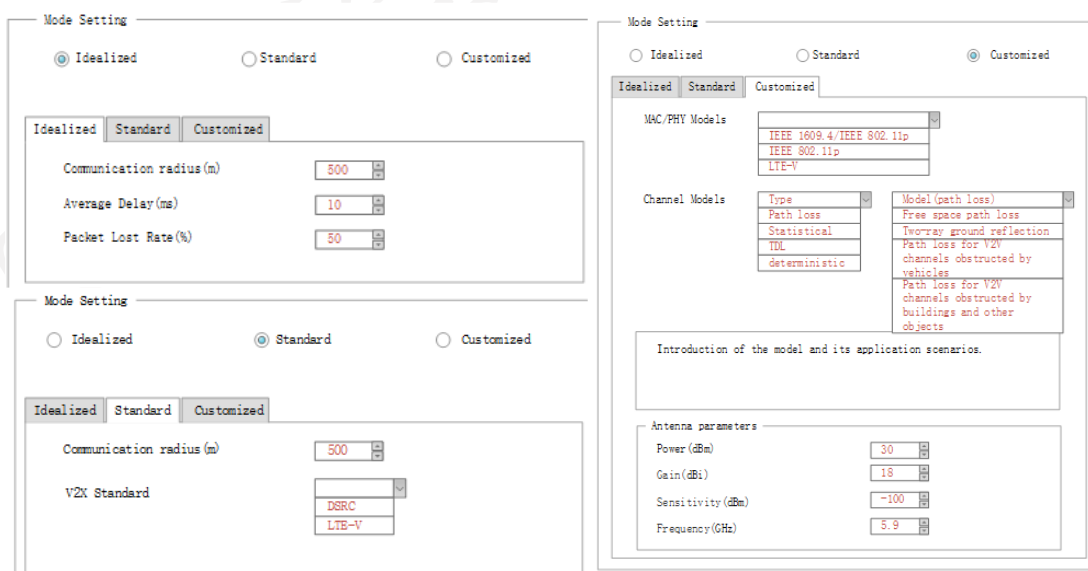


图15 PanoSim V2X 通信模型工作模式

三种模式工作方式如下：

- 1) 理想模式：用户指定网络性能指标，包括通信半径、平均延迟和丢包率，通信模型按照用户定义的网络指标传输数据。
- 2) 标准模式：用户选择相应标准，LTE-V 或 DSRC，PanoSim 为用户自动设置和加载标准化模型参数，并根据当前标准和场景自适应选择协议模型和信道传播模型。
- 3) 自定义模式：在标准模式下，进一步开放通信模型配置参数，用户可选择具体协议模型和信道传播模型，并为其配置参数。

➤ 大规模安装 V2X 传感器的交通流仿真

PanoSim 支持对随机交通流部署 V2X 传感器，从而支持对大规模车间通信场景的仿真。



图16 随机交通流

2.1.3 上位机

考虑到 HIL 系统后续升级，PanoSim-RT 仿真软件选择高性能电脑作为上位机，组建成主控平台，支持多屏同时渲染输出 3D 运行场景。推荐配置如下表所示：

主板	品牌主板 ROG M11H (WI-FI)
CPU	i7-8700K 3.7GHz
硬盘	500G SSD 固态硬盘
内存	32GB
显卡	NVIDIA GeForce RTX2080Ti 11G GDDR6
网卡	集成千兆网卡

配置说明：

仿真步长=实际时间情况下，该配置支持测试场景中配置 1 辆设置 V2X 传感器的主车和 35 辆设置 V2X 传感器的随机交通车运行；

仿真步长*2=实际时间情况下，该配置支持测试场景中配置 1 辆设置 V2X 传感器的主车和 90 辆设置 V2X 传感器的随机交通车运行；

2.2 车辆模拟器

车辆模拟器（PS-VE）包含车辆动力学模型和实时计算机，主要功能为模拟测试车辆的动力学及其运动特征和交通流环境。。

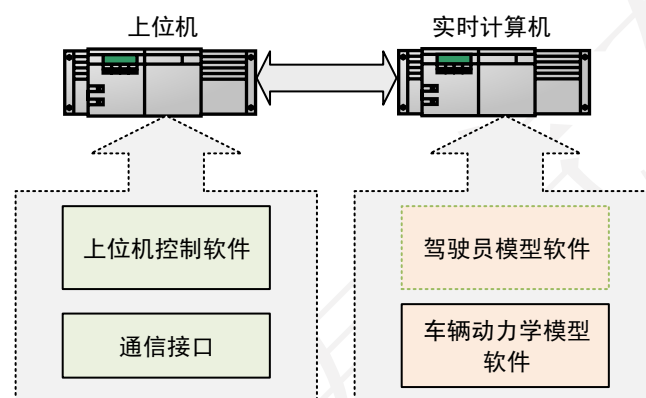


图17 PS-VE 组成结构图

其中上位机控制软件主要用户和实时计算机进行交互，通过 Ethernet 接口，下发模型及相关数据，并获取车辆实时状态；

测试车辆的运动特征通过系统内集成的车辆动力学模型解算输出，交通环境则由内置的交通仿真模型解算输出。车辆模拟器支持三种车辆动力学模型，并支持导入 CarSim 工况：

2.2.1 车辆动力学模型

➤ 高精度车辆动力学模型（P 模型）

该模型为高精度复杂非线性车辆动力学模型，包含 27 个自由度，其中簧载质量 3 个移动和 3 个旋转自由度，非簧载质量 4 个弹跳自由度，4 个车轮旋转自由度，1 个传动系自由度，8 个轮胎瞬态特性自由度，4 个制动压力自由度等。

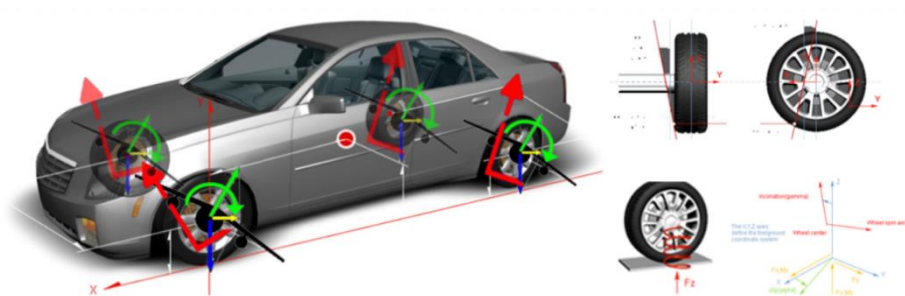


图18 高精度车辆动力学模型自由度示意图

P 模型计算精度高，能够逼真地模拟汽车复杂的非线性运动特征，模型准确度与实车测试数据和 CarSim 模型对比高度一致，但模型计算量相对较大，可用于测试车辆的高精度仿真。

➤ 通用车辆动力学模型（G 模型）

该模型包含车辆的纵向运动、侧向运动、横摆运动及四个车轮的旋转运动等七个运动自由度。

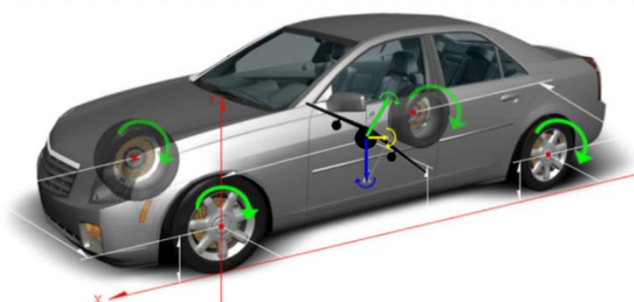


图19 通用车辆动力学模型自由度示意图

其主要特点如下：

- 可作为用户进行 ADAS、无人驾驶等方向的算法研究（包括 APA、ACC、FCW 等）的主车，也可以作为干扰车使用；
- 能够较为真实的体现车辆在轮胎线性区域内的动力学特性，包括轨迹、横摆角、纵向速度、质心侧偏角等，能够仿真起步与停车的工况；
- 能够提供纵向、侧向、横摆、俯仰、侧倾等七自由度车辆模型。
- 能够反映坡路、减速带、鹅卵石路面等路况的车辆运动情况。
- 占用计算资源少，支持多辆七自由度车辆同时运行。

该模型简化了车辆悬架结构和车辆垂向动力学，可广泛适用于包括轿车、客车、卡车、SUV 等在内的车辆在平缓路面行驶的仿真需求。

➤ 电动汽车动力学模型（E 模型）

该模型基于上述 P 模型，同样包含 27 个运动自由度通过改造车辆动力及其传动系统，实现对电动汽车的高精度建模。该模型动力总成系统包括驱动电机、减速器和差分装置，驱动电机前置前驱配置。

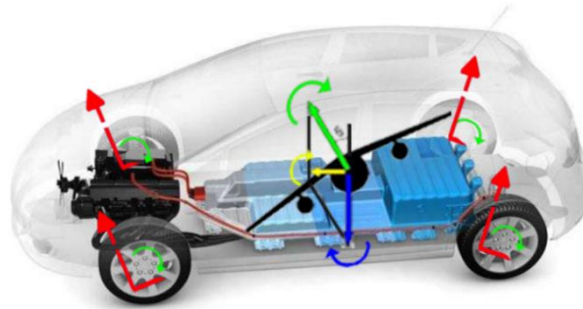


图20 电动汽车动力学模型示意图

2.2.2 实时计算机

实时计算机主要用于模型的在线运算，以及上位机与下位机的通讯，本方案拟采用的是NI PXIe-8880RT作为实时计算器。



图21 NI PXIe-8880RT 实时仿真器

实时仿真器 NI PXIe-8880 应用功能：

- 可下载并调用模型数据，进行实时仿真计算；
- 与人机交互系统进行通信，接受驾驶员的输入，并将计算结果反馈给驾驶员；
- 与外接扩展系统进行通信，接受控制器的输入，并反馈给控制器车辆信息。
- 融合传感数据，通过人机共驾决策判断并切换车辆运行控制模式；
- 可调用自动驾驶控制算法，进行实时仿真计算；

- 配套 VeriStand 完整开发许可证，支持用户自定义开发服务。

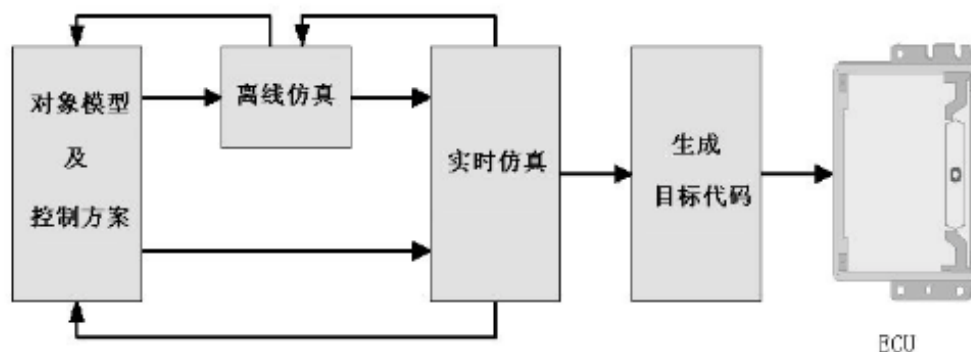


图22 NI PXIe-8880 功能应用

CAN通信板卡采用PXI-8513/2作为双端口、高速控制器局域网络(CAN) PXI接口。每个CAN接口都配有NI CAN设备驱动软件。使用PXI触发总线，可同步CAN、及其他IO板卡。所有NI CAN接口的设计均符合基于车载CAN网络的物理和电气要求

2.3 收发通信设备

收发通信设备包括通信计算机、GNSS 模拟器和 USRP 设备，通信计算机运行 SEA LTE-V 软件包和 GNSS 工具包，通过 USRP 完成 LTE-V 物理信号模拟和 GNSS 模拟，通过真实的 NI USRP 射频空口进行传输和接收，支持 LTE-V 工具包 PDCP 层数据使用 UDP 接口与 Panosim V2X 应用层进行数据交互，场景中的 V2X 信息包括 BSM/MAP/RSI/RSM/SPAT，构成 V2X 测试。

功能说明：

1. USRP-RIO 使用通用 FPGA 芯片完成 LTE-V 功能，可在发送帧中加入预设的原始报文和时间参数等；
2. USRP-RIO 可以实现通信中故障注入的功能，比如注入错误的 FCS，错误的 bit 或报文头；进一步验证 V2X 算法的故障识别、故障诊断及容错能力等



图23 USRP-RIO 2954

➤ SEA LTE-V 工具包

支持 3GPP rel. 14 / Sidelink Mode 4, LTE-V 协议栈 layer1 和 Layer2, 提供 LabVIEW 或 C++ API 用于 LTE-V 端与端通信、定时帧 replay, 故障注入等功能

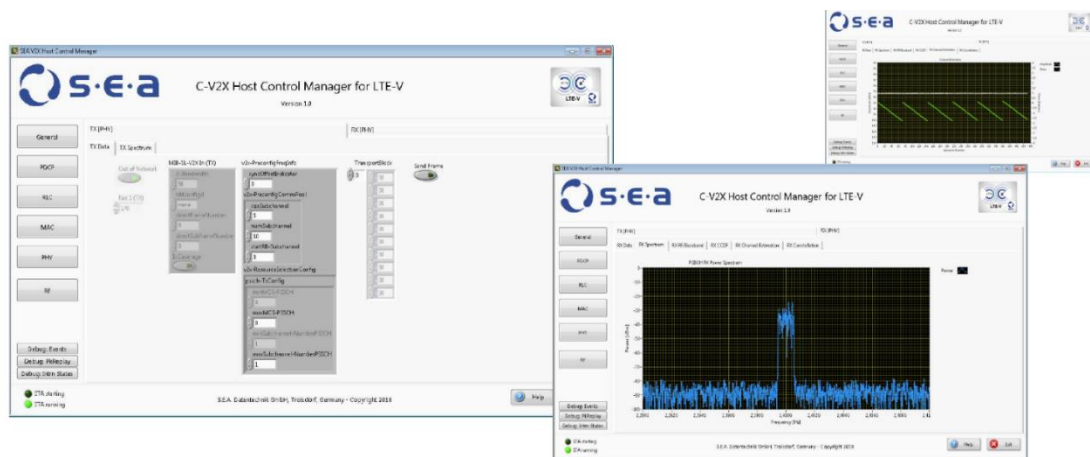


图24 SEA LTE-V 工具包

2.4 驾驶员在环仿真

驾驶员在环测试系统是用于研究、测试、分析和重现“人-车-路-智能交通”在实际车辆驾驶中的相互作用的新型测试系统。系统基于实时仿真技术开发, 结合真实驾驶员的实际行为, 可以实现对车辆和 V2X 技术的开发测试及主客观综合评估, 从而为 V2X 产品和 V2X 技术的研究与开发测试提供了有力支持。

高清LED三屏显示器或环幕



驾驶员座椅 (含音箱预留位置)

图25 驾驶员在环模拟器

驾驶模拟器用于支持用户驾驶员在环仿真测试。PanoSim 根据用户需求，集成方向盘、油门、离合和制动踏板，组件驾驶模拟器，可模拟交通车与主车之间的相互影响，方向盘采用 PanoSim 定制转向力感电机。PanoSim 软件为驾驶模拟器提供逼真的道路交通仿真场景和精确的驾驶操作传感输出，通过总线接入的方式模拟交通车与现有大型主模拟器进行协同操作和 V2X 研究测试。

驾驶员在环测试特点：

- 模拟更真实的智能交通环境下驾驶员在环测试
- 有效提高开发效率、缩短开发周期、降低开发成本和风险
- 车辆开发流程的工具链，可应用于车辆开发各个阶段的快速验证与测试
- 客观条件限制少，测试更充分，产品特性了解更全面
- 产品复用性强，用户可通过参数设置方式完成不同车型在不同工况下的测试
- 完成极限和危险工况下的试验，消除道路试验的危险因素
- 试验条件重复可控，具有良好的一致性
- 方便快捷的 3D 动画场景生成方式，大大降低了准备工作的工作量和难度
- 系统支持嵌入实物试验，实现模型和实物的联合仿真

2.5 中控显示系统

中控显示系统主要为主控平台提供控制显示系统，由 PanoSim 提供高清显示系统组成，系统可实现对模拟过程的监控、管理、数据采集与管理、参数定义以及各系统的管理等操作，负责仿真监控、实时数据记录、仿真与参数设置平台。

- 仿真监控：实现对仿真过程的监视与控制；
- 实时数据记录：按照预先设定的数据通道实时记录仿真过程数据；
- 仿真与参数设置平台：提供车辆参数定义、三维仿真环境、行驶道路设计、实验工况设定（包括交通工况和行驶工况）、配置传感器、传感器数据融合、数据后处理（曲线和动画演示）；



图26 中控显示系统示意图

2.6 V2X 智能网联测试评价体系

对 V2X 系统进行测试评价的关键是拥有大量的测试场景库和测试用例，PanoSim 对智能驾驶场景库有深入研究，积累了丰富的真实场景库数据，支持 1:1 数字化建模、路采场景复现、场景自动生成、标准测试用例等，帮助用户在智能驾驶算法开发测试验证过程中建立更高效、快捷的一体化测试评价体系。

- 场景覆盖广：可以根据法规和测试要求，制定测试场景和测试用例，满足复杂多样的测试工况要求；
- 成本低：基于 HIL 的仿真测试方法，无需花费试验人员成本和试验车辆成本；
- 效率高：可以在较短时间内抽取各类工况下 testcase 对被测设备进行测试；
- 精确度高：提供仿真原始数据和真值数据，真实反映被测设备的性能；
- 一致性好：对不同设备采用完全相同的测试数据，保证一致性。
- 配置方便：满足不同开发阶段的需求，可基于开发目标、成本和效率进行灵活配置。

2.6.1 V2X 智能网联测试场景库

V2X 测试场景库根据相关 V2X 测试国标、行标以及相关 ADAS 测试法规，结合用户具体测试需求提供 V2X 系统场景包，特别是 CSAE 国标关于车用通信系统应用层及数据交互标准中提及的 17 类 V2X 典型应用场景。如下表：

序号	类别	通信方式	应用名称
1	安全	V2V	前向碰撞预警

2		V2V/ V2I	交叉路口碰撞预
3		V2V/ V2I	左转辅助
4		V2V	盲区预警/变道预警
5		V2V	逆向超车预警
6		V2V-Event	紧急制动预警
7		V2V-Event	异常车辆提醒
8		V2V-Event	车辆失控预警
9		V2I	道路危险状况提示
10		V2I	限速预警
11		V2I	闯红灯预警
12		V2P/V2I	弱势交通参与者碰撞预警
13	效率	V2I	绿波车速引导
14		V2I	车内标牌
15		V2I	前方拥堵提醒
16		V2V	紧急车辆提醒
17	信息服务	V2I	汽车近场支付

2.6.2 V2X 智能泊车测试用例库

在标准测试场景库中根据法规 testcase 测试条件，搭建法规测试用例库，例如根据 17 类标准应用场景搭建测试实例；基于对实际道路测试研究成果和用户测试需求，搭建实际道路对标测试用例库。用户直接匹配接口集成算法，就可以进行大批量的测试验证。如下表：

PanoSim ADAS场景及测试用例库								
测试用例总数 (个) 668个								
类别	功能	法规名称	场景数	实例数	实际道路对标测试用例	场景数	实例数	
纵向实例	ACC	自适应巡航控制系统试验规程IVISTA-ACC_TP-A0	4	15	ACC仿真测试场景	25	103	
		GBT 20608-2006	3	5				
		ISO15622-2010						
		ISO22179-2009						
		ISO22178-2009	4	4				
		J2399_201409	2	2				
	FCW	自动紧急制动系统试验规程IVISTA-AEB_TP-A0	6	8	FCW仿真测试场景	11	89	
		ECE R131 AEB	2	8				
		euro-ncap-aeb-vru-test-protocol-v101	4	39				
		euro-ncap-aeb-test-protocol-v11	10	97				
		ISO 22733 AEB						
		J2400_200308 FCW	11	44	AEB仿真测试场景	9	59	
		NHTSA FCW Test Procedure 3-8-2010	3	3				
		小计						476
	横向实例 (建设中)	LDW/LKA	GBT 26773 (ISO 17361-LDW)	3	26	LDW/LKA仿真测试场景	9	120
ISO 11270			2	3				
NHTSA_LDW_LKS_2-7-2013			4	10				
IVISTA-LDW_TP-A0								
ECE R130 LDW			1	8				
euro-ncap-LDWLKA-test-protocol-v10			12	12				
小计						192		
V2X		CSAE关于车用通信系统应用层及数据交互标准中的17类V2X典型应用场景测试用例以及客户需求定制化搭建						

3 系统集成

3.1 产品清单

产品编号	产品规格描述	产品详细技术性能	数量	备注
PXIL-1.1	PanoSim NRT 企业版 基础软件包	PanoSim-RT 企业版 基础软件包，包含： 1) VehicleBuilder: 仿真车辆管理及高精度车辆动力学模型参数设置； 2) TrafficBuilder: 交通流管理及参数设置； 3) SensorBuilder: 传感器管理及参数编辑； 4) FieldBuilder: 场景道路管理及参数设置； 5) WeatherBuilder: 大气环境管理，包括光照、天气； 6) PanoPlot/PanoAnim: 试验后数据处理；	1	
PXIL-1.2	V2X 定制包	提供标准 V2X 仿真功能	1	
PXIL-1.3	PanoSim 企业版 基础场景包	提供乡村道路、高速公路、城市街口、城市道路、小镇、停车场共 6 个标准场景	1	
PXIL-1.4	PanoSim 企业版 基础实例包	提供 ACC/AEB/LDW/V2V/APS 共 5 个标准实例。	1	
PXIL-1.5	PanoSim 企业版 拓展场景包： V2X 智能网联测试场景库及实例库	<ul style="list-style-type: none">CSAE 国标关于车用通信系统应用层及数据交互标准中提及的 17 类 V2X 典型应用场景V2X 法规场景测试用例库V2X 常规场景测试用例库	1	需用户提供场景需求
PXIL-2	PanoSim 主控平台-上位机	<ul style="list-style-type: none">主板：品牌主板 ROG M11H (WI-FI)CPU: i7-8700K 3.7GHz硬盘：500G SSD 固态硬盘内存：32GB显卡：NVIDIA GeForce RTX2080Ti 11G GDDR6网卡：集成千兆网卡高清显示屏	1	高性能电脑
PXIL-3	(可选) PanoSim RT 企业版 基础软件升级包	支持 NRT 版本升级至 RT 版本，支持实时系统仿真	1	
PXIL-4	(可选) 收发通信设备-USRP (配套 SEA LTE-V 工具包)	<ul style="list-style-type: none">160MHz BW,10 MHz to 6 GHz SDRGPS Clock2 通道SEA LTE-V 工具包	1	

PXIL-5	(可选) PanoSim 定制驾驶模拟器	PanoSim 定制驾驶模拟器, 集成真实油门踏板方向盘	1	
PXIL-6	(可选) PanoSim 实时计算机-NI PXIe-8880RT (配套板和套件)	<ul style="list-style-type: none"> ● 2.3 GHz 八核 Intel Xeon E5-2618L v3 处理器 (单核 Turbo Boost 模式下最大睿频为 3.4 GHz); ● 高带宽 PXI Express 嵌入式控制器, 具有高达 24GB/s 系统带宽和 8GB/s 插槽带宽; ● 标准配置为 8GB (1 x 8 GB DIMM) 三通道 1,866 MHz DDR4 RAM, 最高容量为 24GB; ● 2 个 USB 3.0 端口、4 个 USB 2.0 端口、2 个千兆以太网端口、DisplayPort、GPIO 和 SMB 触发器; ● In-ROM 内存和硬盘诊断; ● 8 槽 3U PXI Express 机箱; ● 电源线, 250V, 10A, 中国 ● NI 8513/2 CAN 卡 ● VeriStand 标准服务计划 	1	

3.2 硬件架构图

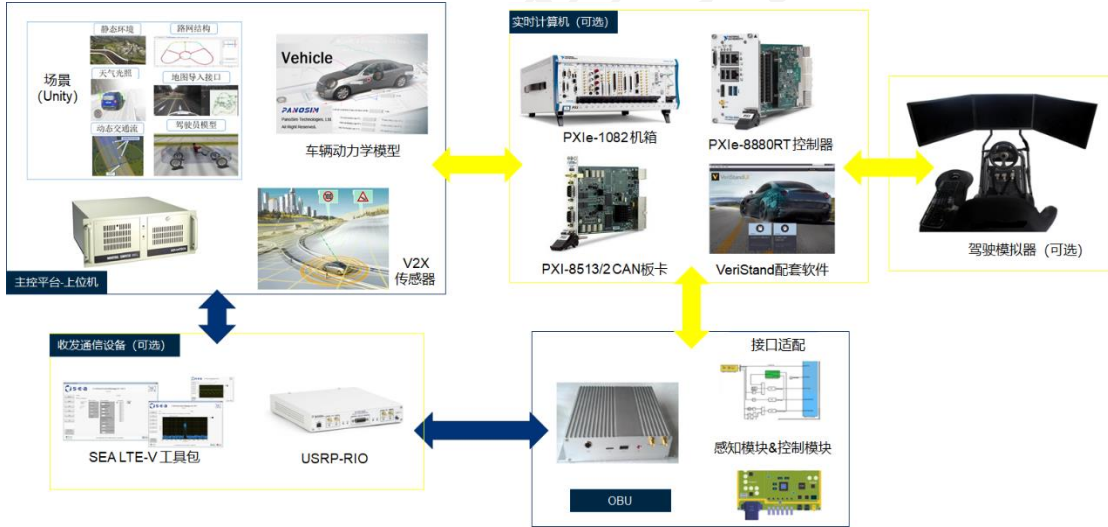


图27 硬件架构图

3.3 软件集成任务

主要根据整套 HIL 系统的报价, 统计具体模块的定制开发任务、场景搭建、测试用例搭建等。

3.4 硬件集成任务

主要集中在 NI 设备接口与上位机软件的联调、上位机软件与用户控制器接口的联调、用户控制器接口与 NI 设备接口的联调。

4 项目计划及验收标准

4.1 项目计划

4.2 交付物

4.3 验收测试及标准

4.4 技术支持

附件*****方案扩展说明

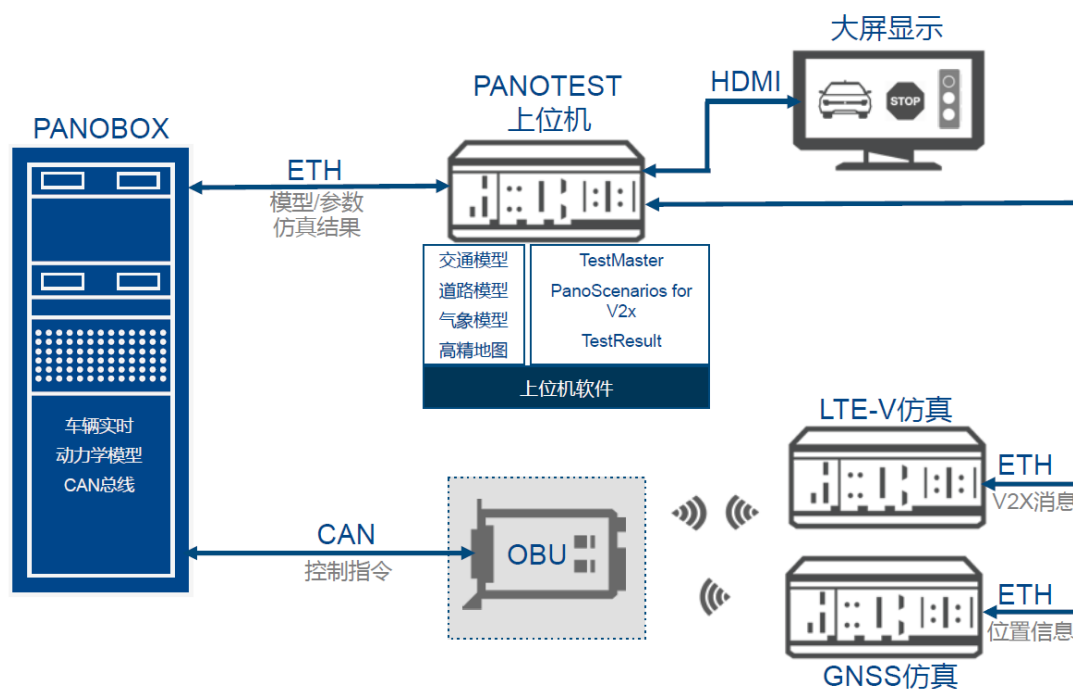


图28 V2X FOR OBU

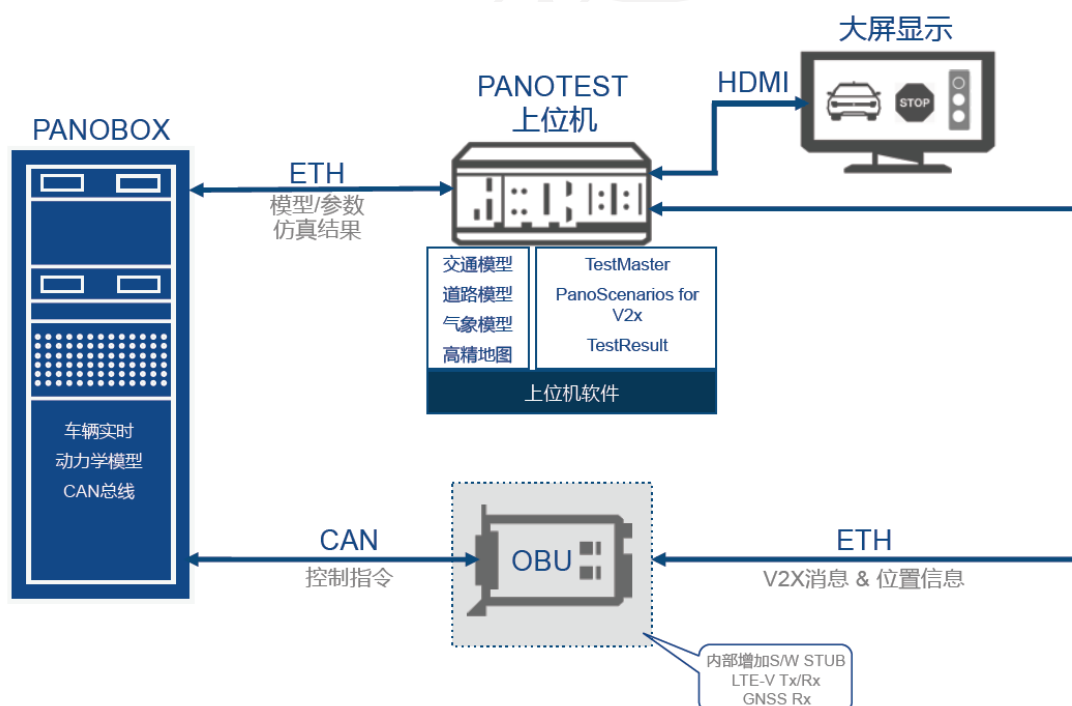


图29 V2X FOR OBU(简配)

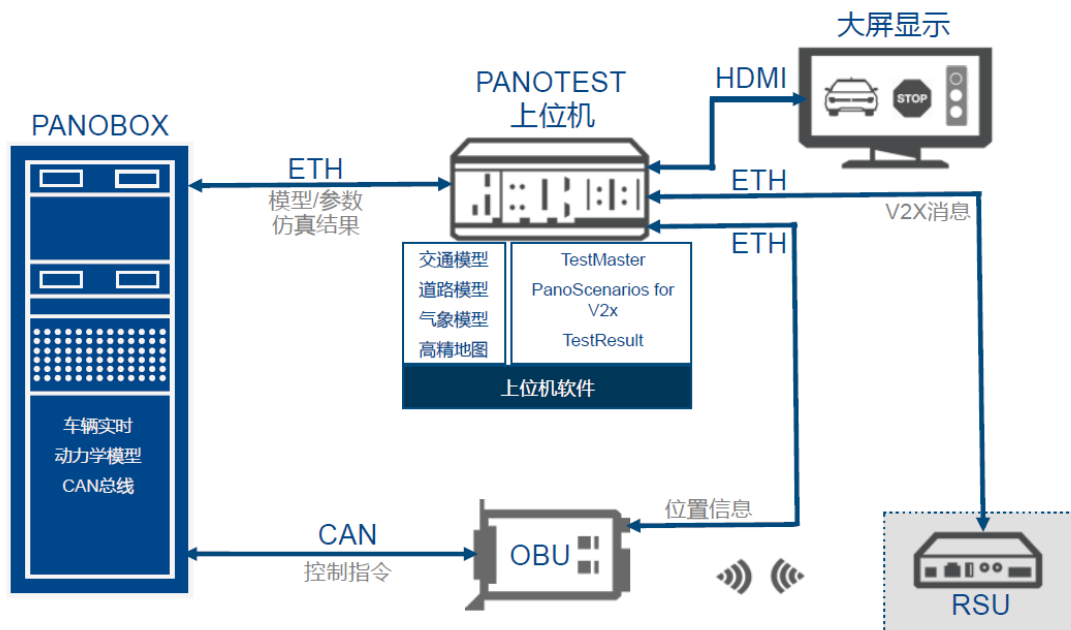


图30 V2X FOR RSU

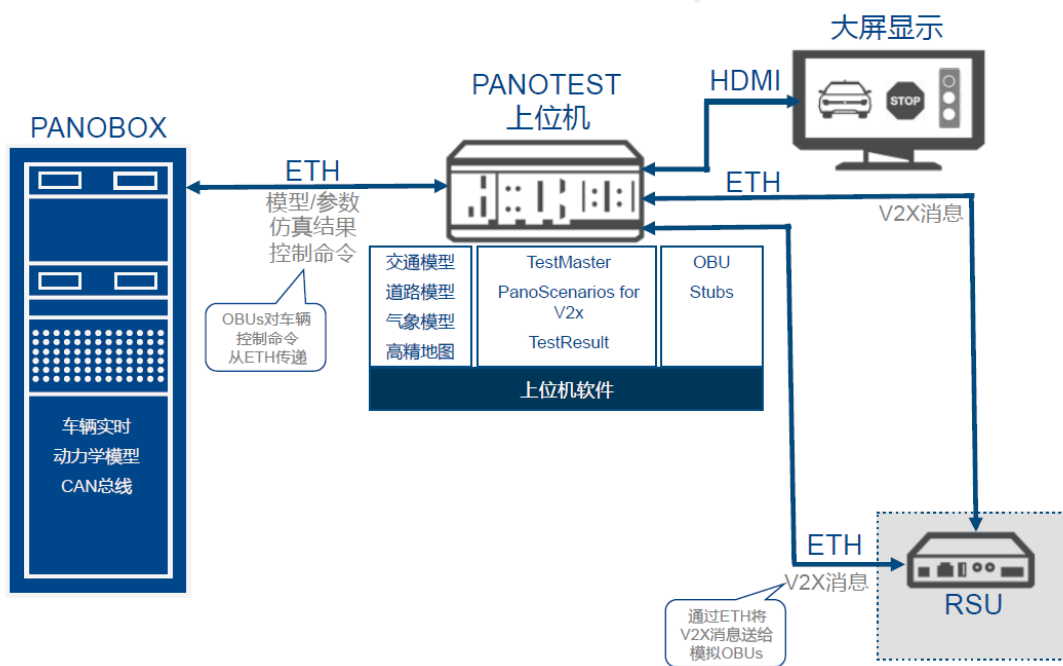


图31 V2X FOR RSU(模拟 OBU)

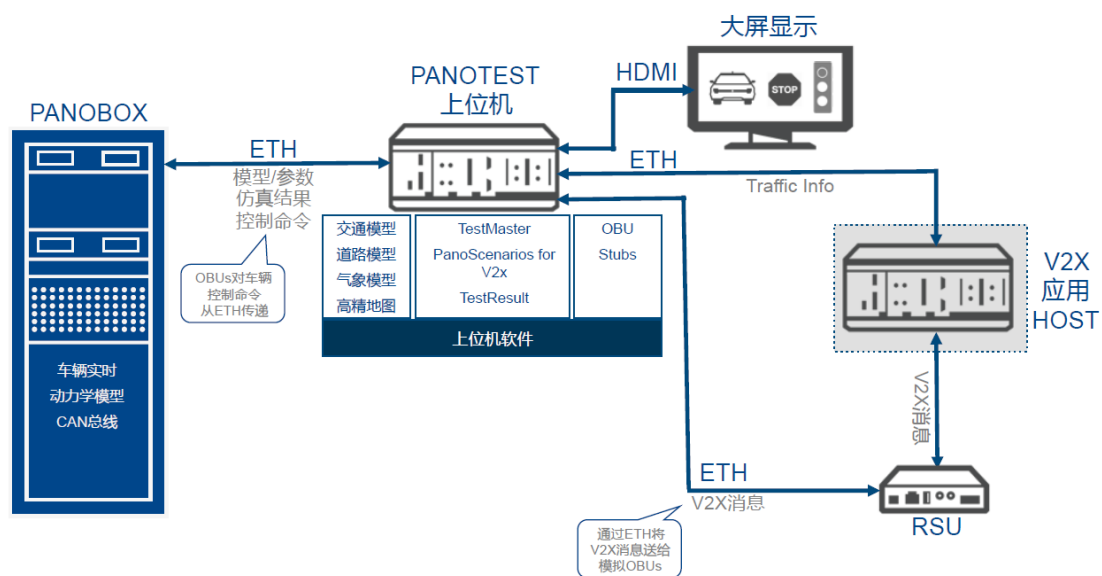


图32 V2X FOR 应用开发商