

车辆在环系统在智驾开发中的应用

马力, 智驾中心 资深主管工程师

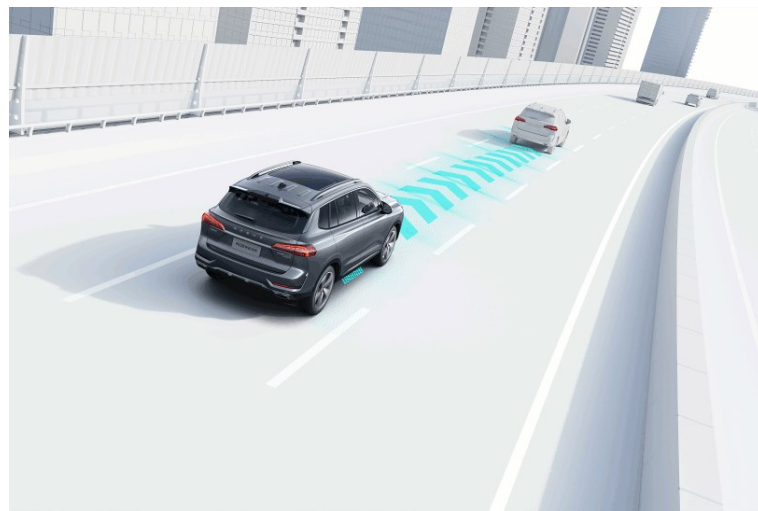


2022 MathWorks
中国汽车年会

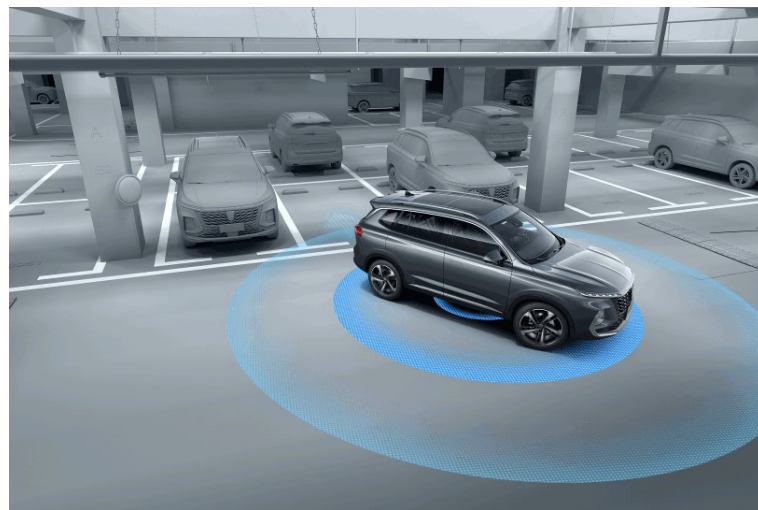
内容概要

本次演讲将分享基于MATLAB/Simulink Automated Driving Toolbox (ADT) 与Speedgoat的车辆在环 (Vehicle in the loop, VIL) 工具链的应用案例。主要内容如下：

1. 车辆在环系统的特点
2. 基于MATLAB车辆在环系统设计
3. 车辆在环系统设计及调试中的两项难点
4. 车辆在环系统典型应用案例及后续工作
5. 总结

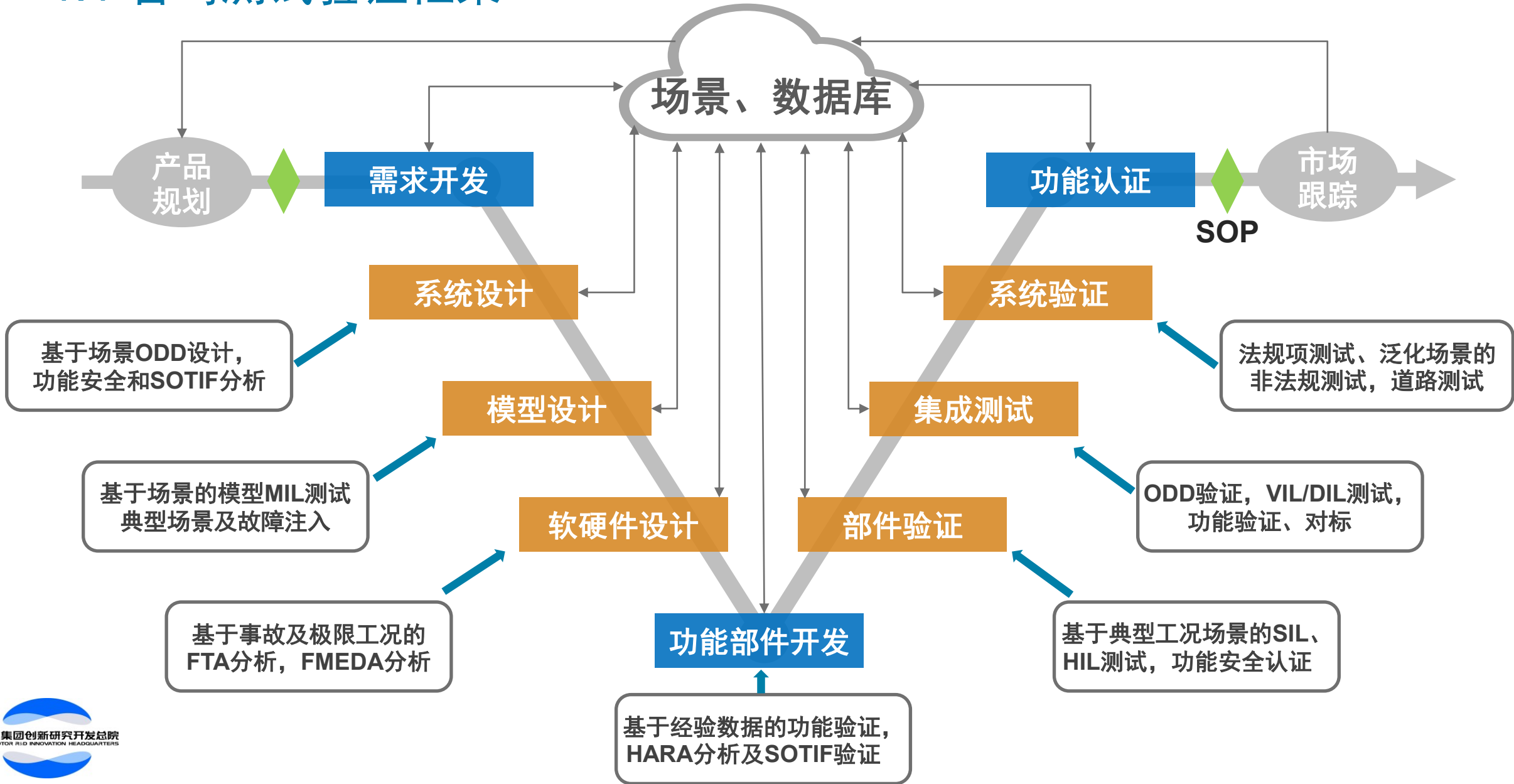


高速智驾场景



低速智驾场景

1.1 智驾测试验证框架



1.2 智驾测试不同方案对比

Virtual Real	MIL	SIL	HIL	VIL	DIL	Real
功能逻辑	●	●	●	●	●	●
控制器软件代码	▲	●	●	●	●	●
控制器硬件	▲	▲	▲ ●	▲ ●	●	●
执行器硬件	▲	▲	▲ ●	●	●	●
车辆	▲	▲	▲	●	●	●
道路及静态环境	▲	▲	▲	▲ ●	▲ ●	●
车辆动力学	▲	▲	▲	●	▲ ●	●
驾驶员	▲	▲	▲	●	●	●
动态交通环境	▲	▲	▲	▲	▲	●



1.3 智驾测试不同方案特点

	MIL	SIL	HIL	VIL	DIL	Real
测试重点	算法模型	算法软件	控制器	控制器、执行器	人机交互	系统集成
测试方法						
特点	虚拟感知 规控模型 虚拟执行器	虚拟感知 规控软件 虚拟执行器	虚拟感知 规控硬件 虚拟执行器	虚拟感知 规控硬件 真实执行器	虚拟感知 规控硬件 真实执行器	真实感知 规控硬件 真实执行器
优势	早期介入 场景搭建便捷 易于加速	早期介入 场景搭建便捷 易于加速	场景搭建便捷 控制器真实	场景搭建便捷 车辆响应真实	人机交互真实	更贴近用户场景
不足	感知与执行效果 无法较好验证	感知与执行效果 无法较好验证	加速效果一般	加速效果一般	加速效果一般	介入较晚, 成本 较高

1.4 智驾测试当前现状

当前智驾开发测试体系中，存在以下待解决问题：

- ① 在MIL/SIL及HIL等仿真方法中，针对软件功能逻辑测试。对车辆动力学，尤其是极限工况下动力学响应的进行高精度模拟是一大难点；
- ② 实车场地主要针对法规与特殊场景的小规模功能及性能测试。实车环境中，复杂场景的危险性和不易构建性，影响了规控算法的反复调试，很难掌握功能的边界能力；
- ③ 道路测试中主要针对典型用户场景进行功能及性能测试。但在道路测试中，发现的功能异常及事故场景，因道路、交通车、感知等参数较难实车模拟，重要场景重现困难。



Driving Scenario Designer仿真场景



实车场地场景

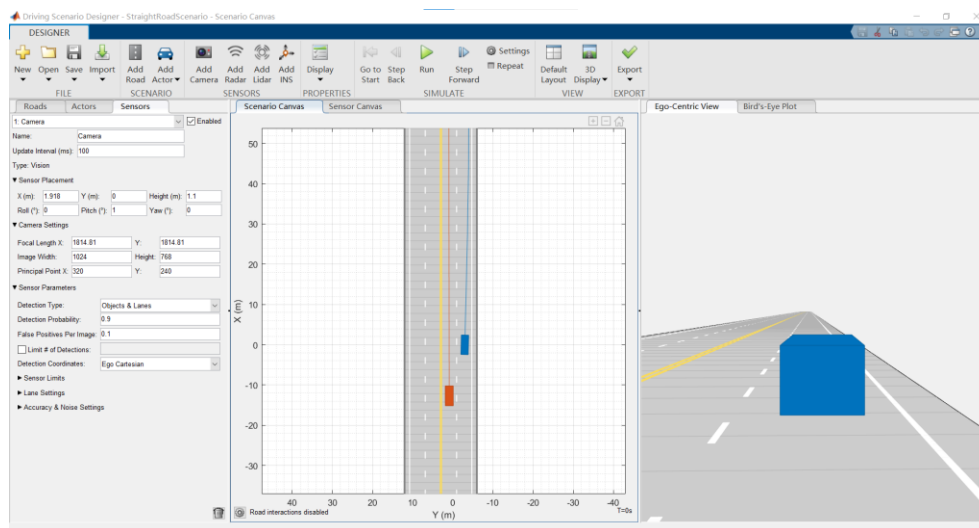
1.5 车辆在环系统的优势

车辆在环系统的优势主要体现在以下三个方面：

- ◆ 相较MIL/SIL及HIL等仿真方法，VIL中有真实的车辆动力学表现，可以验证各类工况下动力学的真实响应；
- ◆ 相较实车场地测试，VIL中通过场景工具可便捷的构建复杂及危险场景，便于规控算法的反复调试，以便掌握功能的边界能力，同时大大减少场景搭建时间，提高测试效率；
- ◆ 针对实际道路测试中，发现的功能异常及事故场景，VIL可通过场景重构，将实际道路、交通车、感知等参数通过仿真模拟，实现重要场景实车重现。



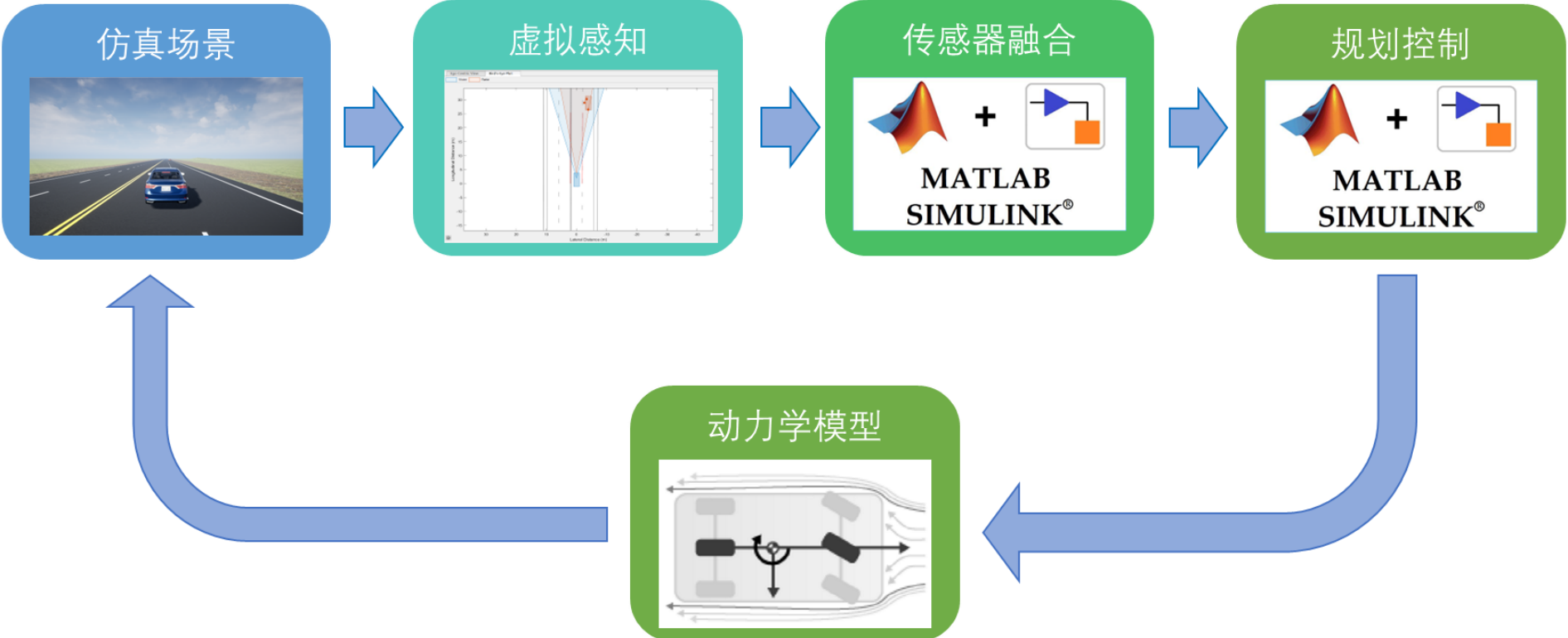
真实的车辆动力学



Driving Scenario Designer场景设计

2.1 基于MATLAB软件在环系统架构

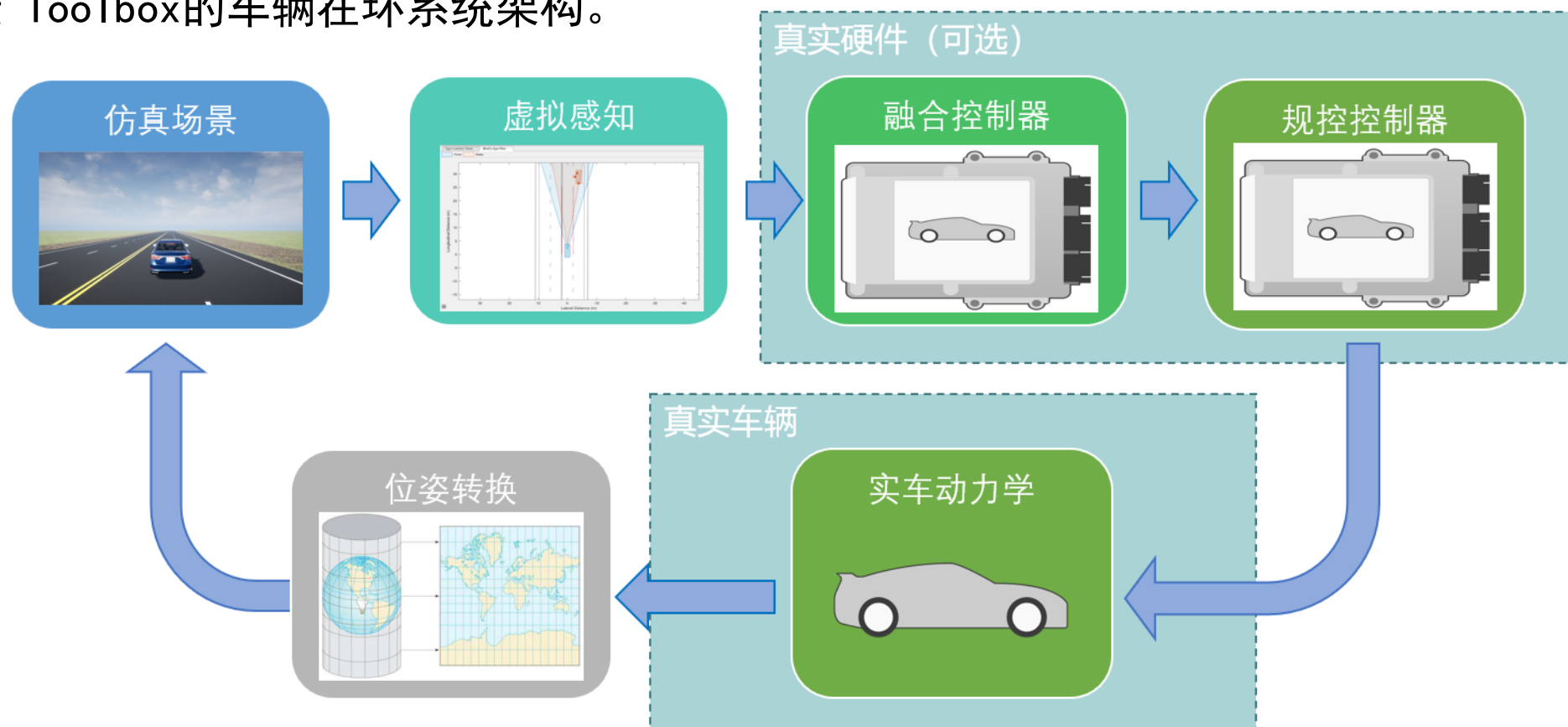
智驾测试系统通常包含：驾驶场景，感知模型，传感器融合，规划控制及车辆动力学等模块，在MIL, SIL测试系统中各模块均通过软件模拟。下面是基于MATLAB/Simulink Automated Driving Toolbox的软件在环架构。



基于Automated Driving Toolbox的软件在环系统架构

2.2 基于MATLAB车辆在环系统架构

而在VIL测试系统中车辆动力学模块采用实车动力学，同时感知及规控模块也可根据实际需要选用真实的硬件模块，但需要新增位姿转换模块。下面是基于MATLAB/Simulink Automated Driving Toolbox的车辆在环系统架构。

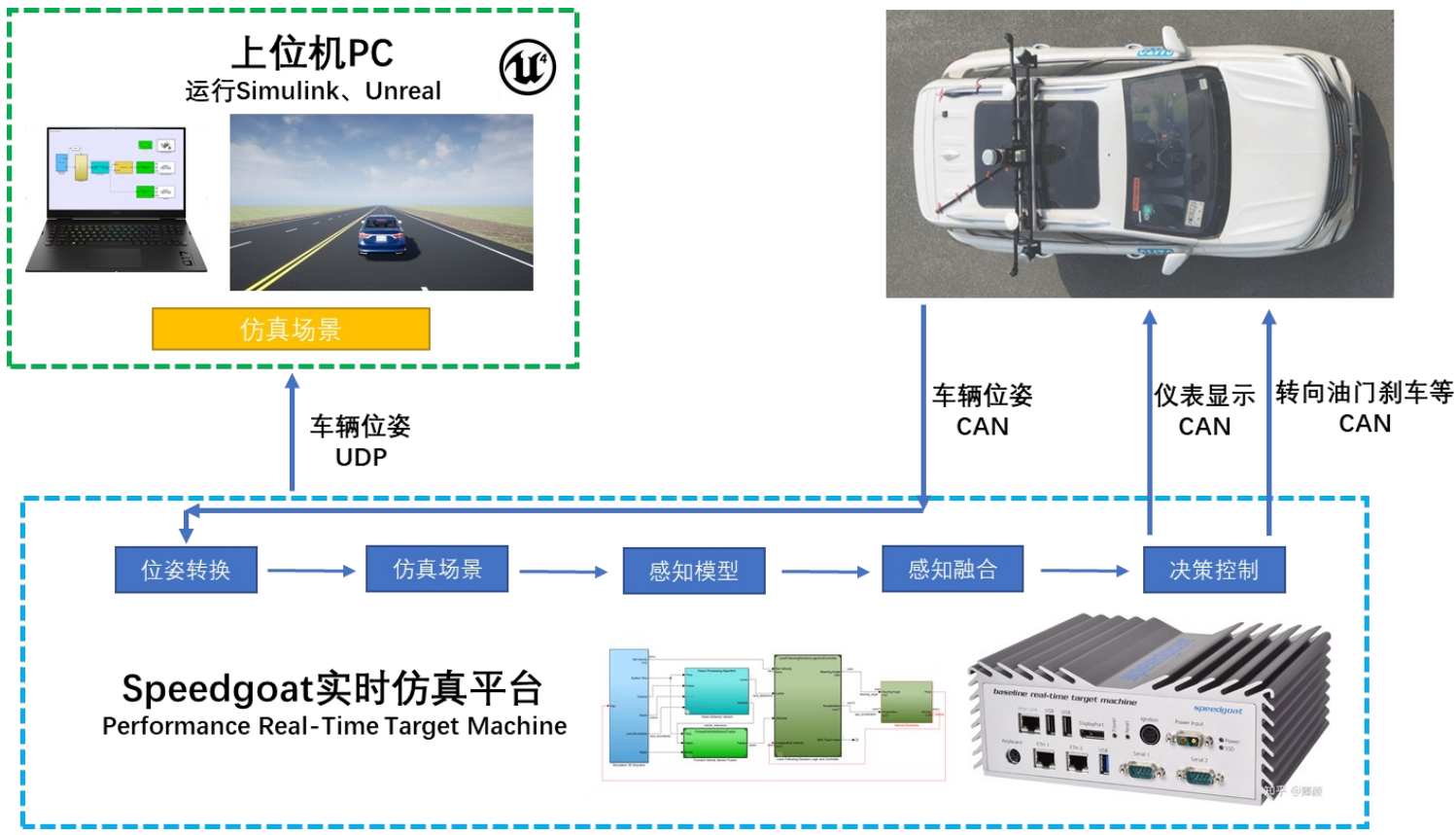


基于Automated Driving Toolbox的车辆在环系统架构

2.3 基于MATLAB车辆在环系统设计

基于Automated Driving Toolbox的车辆在环系统主要包含以下三方面：

- ① **Speedgoat实时仿真平台**：负责进行场景推进的同时，与硬件间的同步通讯；同时将实车运动学参数映射到仿真场景中；
- ② **实车平台**：负责执行控制算法的指令，并同步更新车辆位姿参数；
- ③ **上位机平台**：负责同步显示仿真场景信息，以便可以直观查看测试效果。

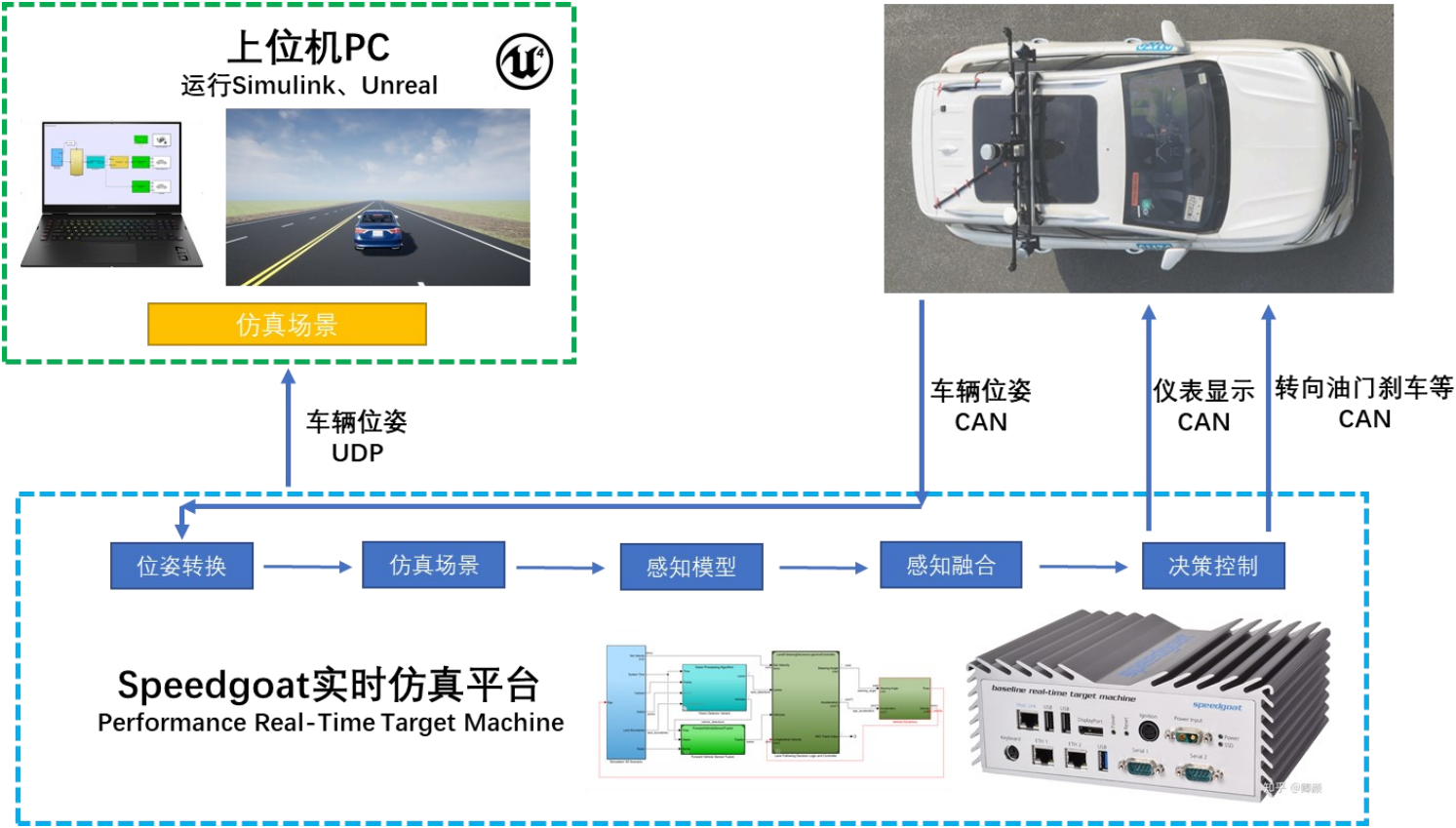


基于MATLAB ADT和Speedgoat的车辆在环系统

3.1 车辆在环系统设计及调试的难点

车辆在环系统设计及调试中的两项难点：

- ① 实车运动学参数与仿真车辆参数的映射关系建立：需要建立实车与仿真车辆间位姿转换模型，实现WGS坐标 → SIM坐标转换；
- ② 车辆在环测试系统中的接口设计：包括感知与规控接口匹配，以及规控与实车间的接口适配，同时实时机与上位机间的接口定义等。

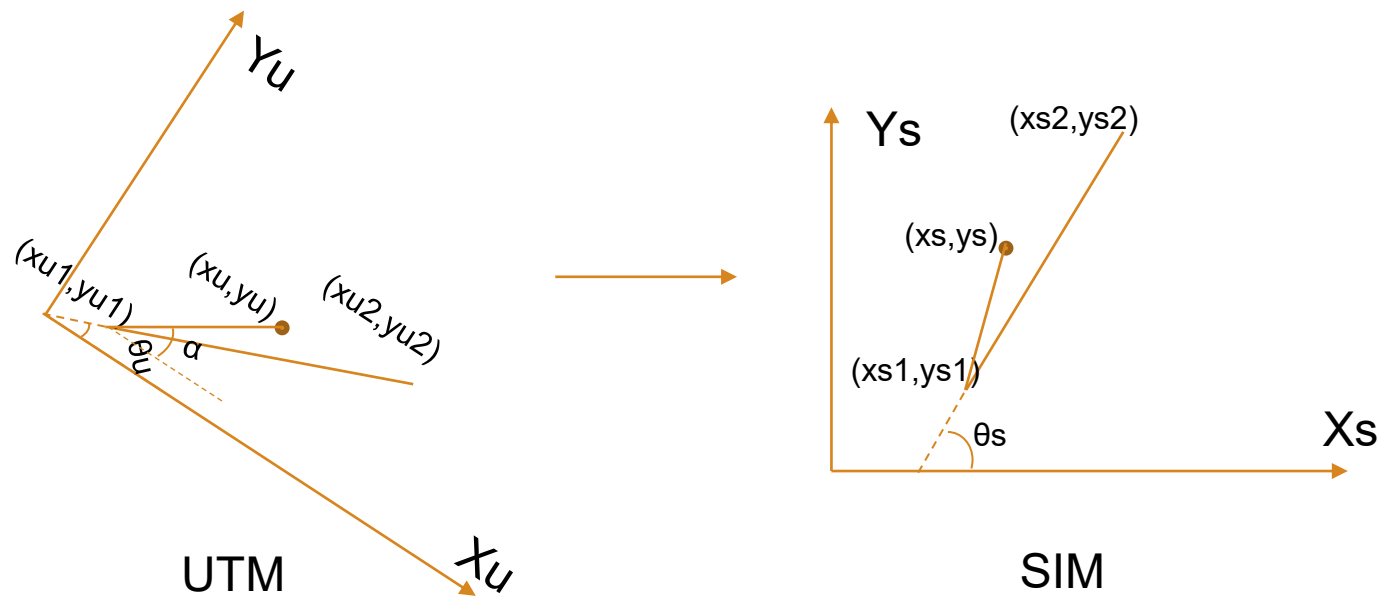
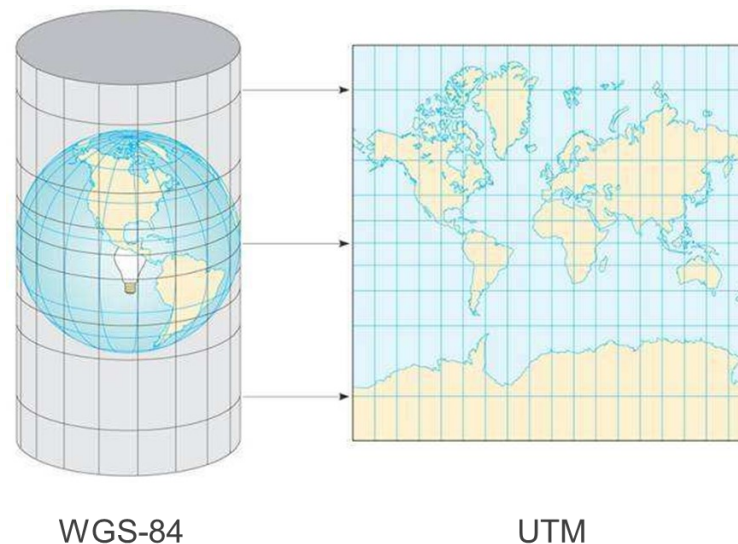


基于MATLAB ADT和Speedgoat的车辆在环系统

3.2 实车与仿真车辆的映射关系

实车与仿真车辆间位姿转换模型：

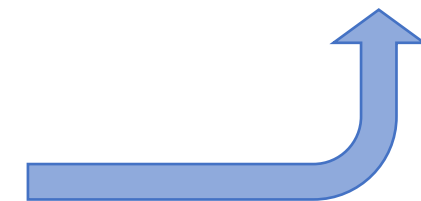
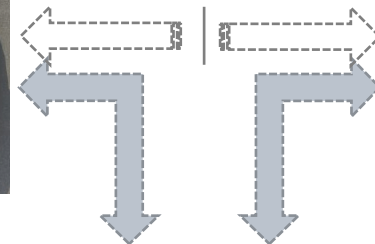
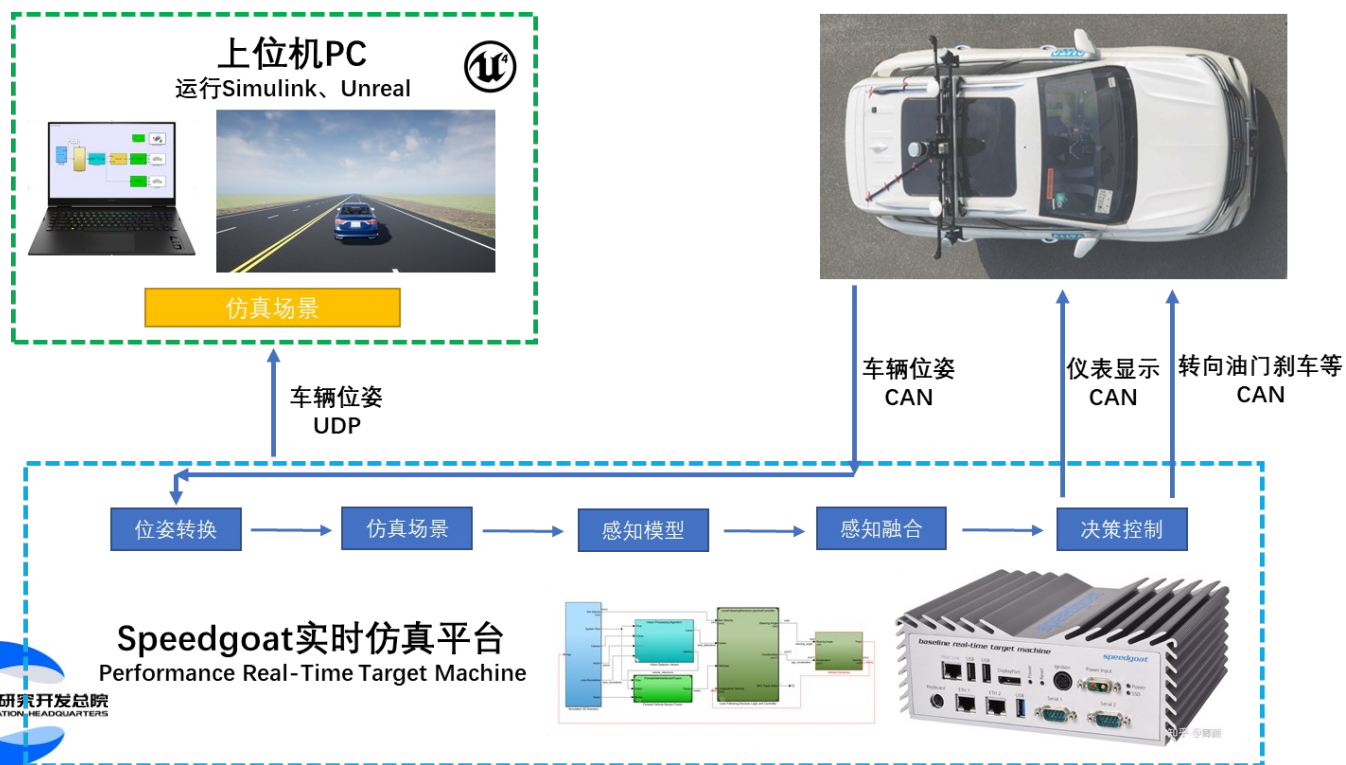
- 车辆接收的GPS数据为WGS84坐标系，需转化为与仿真地图一致的平面坐标系，一般先转化为UTM坐标系。
- 然后由UTM坐标系通过平面转换后，转化为仿真坐标系。
- 转化后可实现在任意场地，进行起始点标定后，即可开展相应的场景测试，可大大提高测试的便利性。



3.3 车辆在环系统中的接口设计

车辆在环系统中的接口设计：

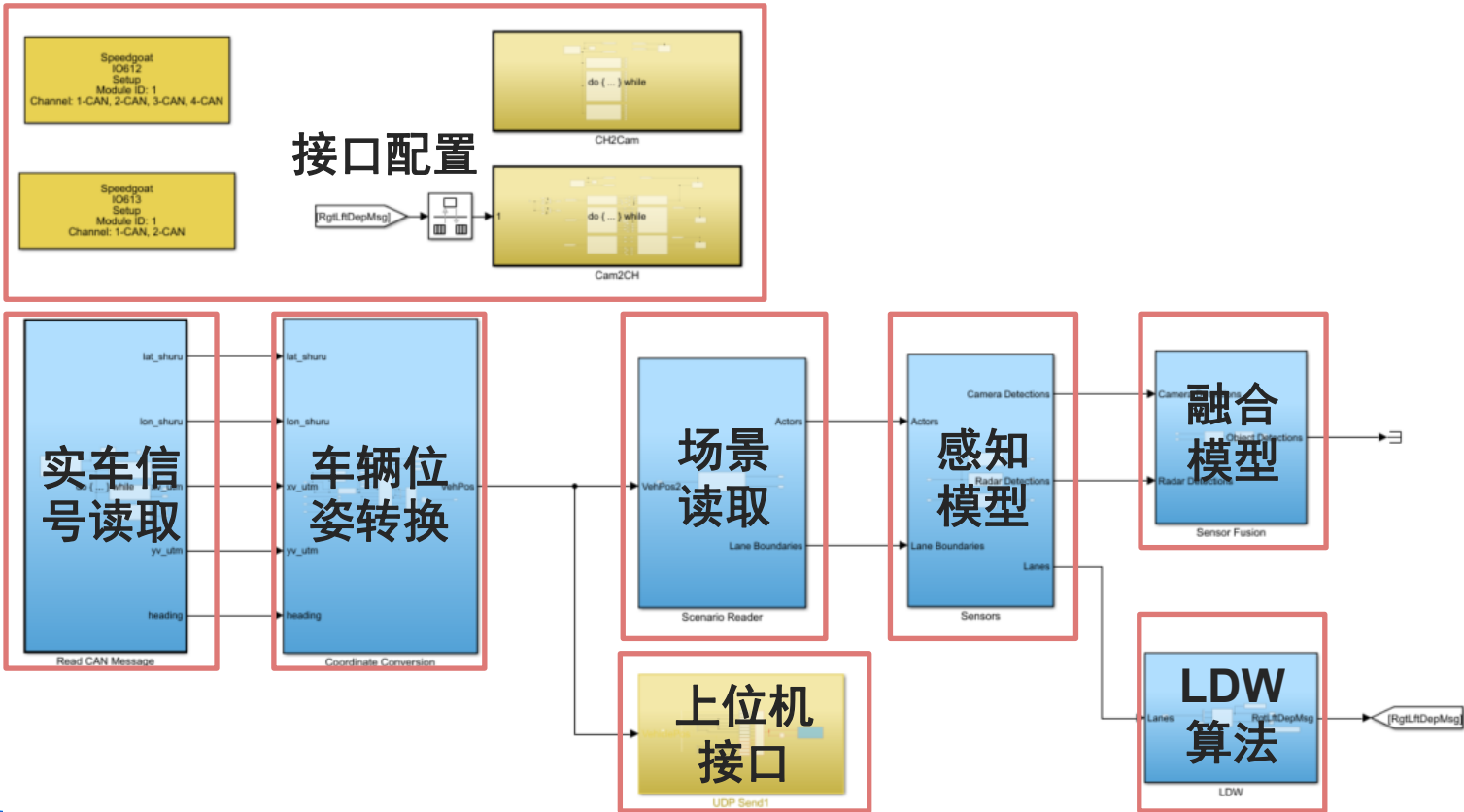
- 感知与规控之间通过**虚拟总线**进行信号传递；
- 规控与实车间可通过**CAN总线**连接；
- 实时机与上位机间通过**UDP**进行信号传输。



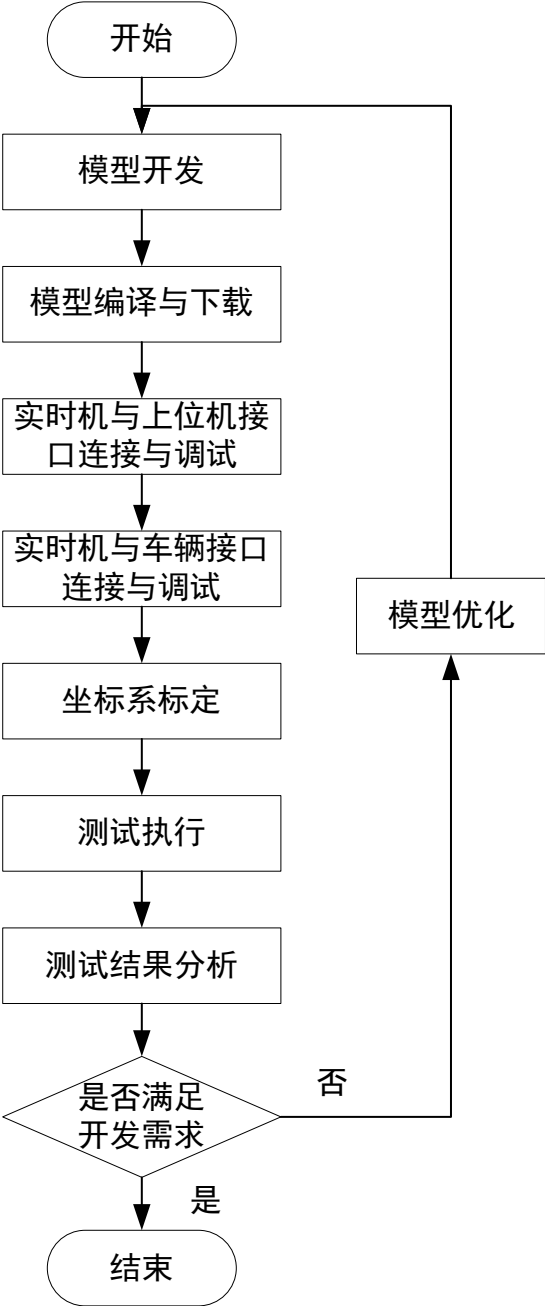
规控与车辆间的接口，可通过分接原车摄像头与底盘间的总线实现。

4.1 车辆在环系统典型应用案例-LDW测试

LDW功能VIL测试主要包括9个步骤，其中模型开发主要包括8个模块的内容。



LDW功能VIL测试模型



4.1 车辆在环系统典型应用案例-LDW测试

VIL可实现效果：

- ① 同一场地可在道线类型、颜色、宽度、曲率等六个维度上**提高测试场景覆盖度**；
- ② 可进行智驾功能边界能力开发验证，如LDW、LKA可控的极限弯道曲率等，测试结果**可重复性高**；
- ③ 可方便构建复杂和危险场景，交通参与者和车道线均可模拟，提高开发测试的安全性，同时**测试效率可提高50%以上**；
- ④ 使用MATLAB ADT可进行重要场景的交通、道路等**场景重建**，便于对功能进行针对性的优化；
- ⑤ 基于MATLAB ADT和Speedgoat的VIL系统，工具链成本较低，并可支持多项目间**复制应用**。



LDW功能VIL测试效果

4.2 车辆在环系统的后续工作

车辆在环系统后续待优化项的工作：

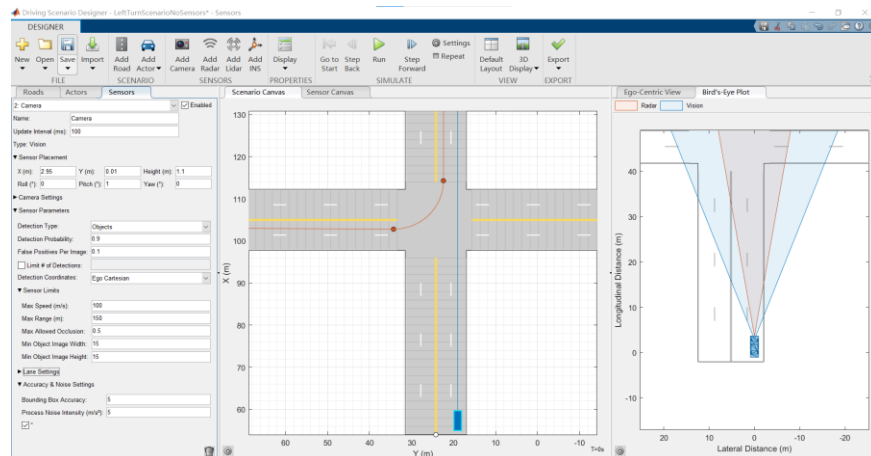
- 传感器模型置信度仍待提高：

当前Driving Scenario Designer中所用的传感器模型多为理想传感器模型，无法精确模拟真实传感器的物理特性。

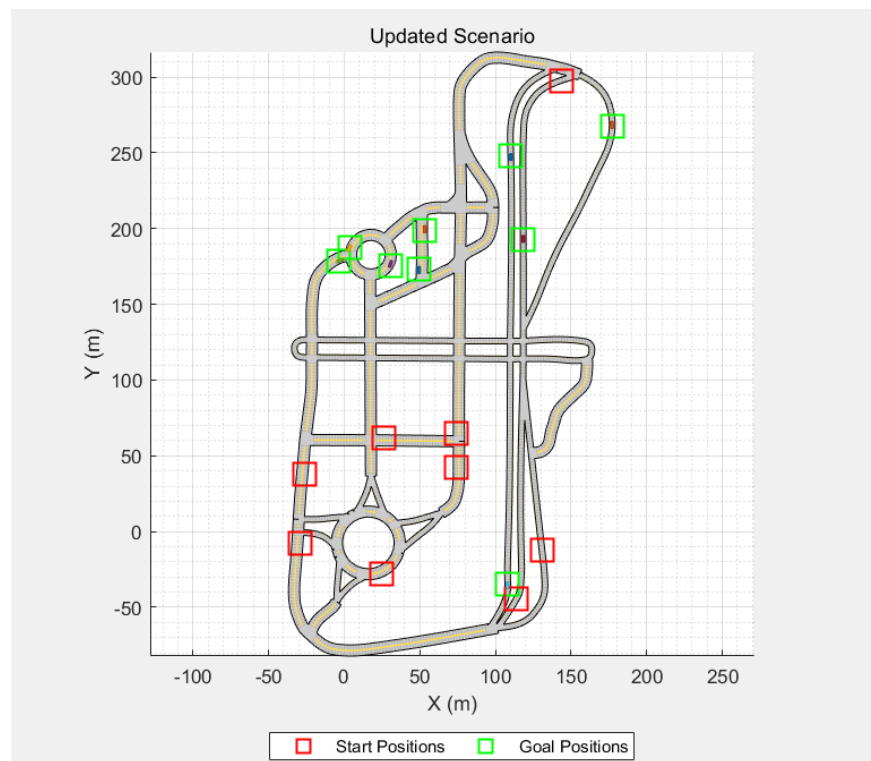
同时传感器类型也在逐步丰富，如在2022a Driving Scenario Designer中已支持配置超声波传感器等。

- 交通行为模型置信度仍需提高：

当前Driving Scenario Designer中可模拟交通车随机位置出现，但是交通车间的跟驰、变道等微观交通行为与实际车辆仍存在一定差异，同时交通车与道路、信号灯等交通规则之间的关系，仍存在较大优化空间，需要结合实车数据及RoadRunner进一步完善。



Driving Scenario Designer中传感器模型



Driving Scenario Designer中生成的随机交通车

5. 总结

本次演讲主要介绍基于MATLAB/Simulink ADT和Speedgoat的车辆在环系统工具链及应用案例，包括：

1. 车辆在环系统的特点

对比MIL, SIL, HIL, VIL, DIL, Real测试方案各模块的差异及优缺点，重点说明VIL在车辆动力学、场景搭建和特殊场景重现方面的优势。

2. 基于MATLAB车辆在环系统设计

介绍基于MATLAB ADT和Speedgoat的车辆在环系统设计，主要包括：**Speedgoat实时仿真平台、实车平台、上位机平台。**

3. 车辆在环系统设计及调试中的两项难点

介绍了车辆在环系统在实车与仿真车辆间的**映射关系建立**，车辆在环系统中的**接口设计**两个难点。

4. 车辆在环系统典型应用案例及后续工作

简要介绍车辆在环系统对**LDW功能进行测试**的9个步骤，及模型开发包含的8个模块，同时展示了实车测试效果，以及应用此系统方案的有益效果。同时指出该系统方案在**传感器模型和交通行为模型**两个方面的改进方向。

2022 MathWorks 中国汽车年会

Thank you

