

# 2022 MathWorks 中国汽车年会

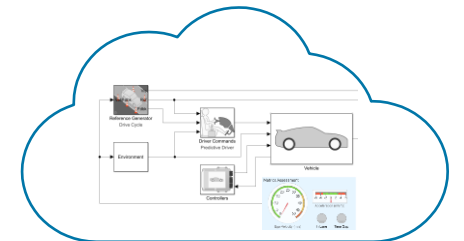
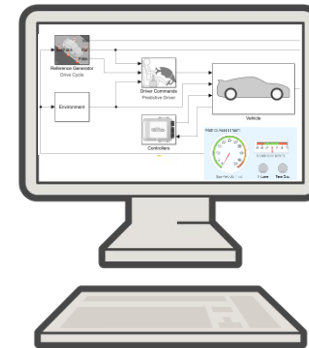
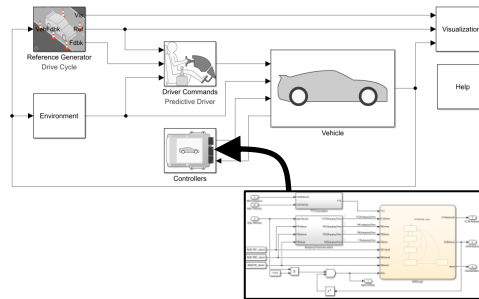
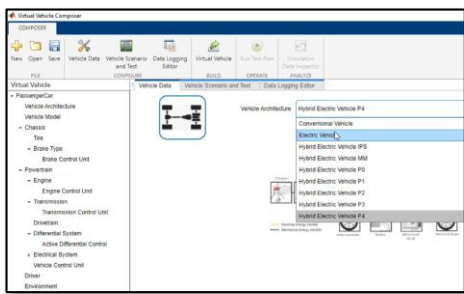
虚拟车辆建模以及规模化仿真的云端部署

胡洪祥, 高级应用工程师, MathWorks中国



# 关键点

- 新的 Virtual Vehicle Composer, 使得构建虚拟车辆变得容易。
- 生成的模型可以定制
- 可在本地端桌面上进行开发研究工作
- 也可以轻松部署到云端, 进行大规模测试和仿真开发工作。



# 内容

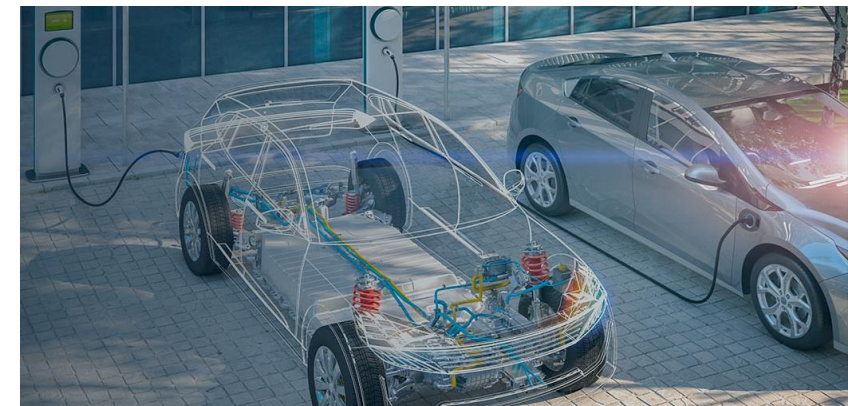
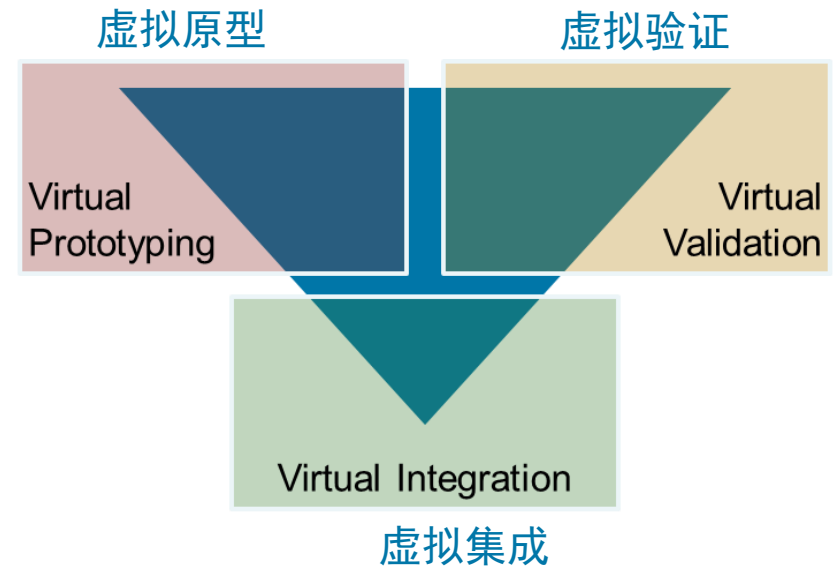
- 什么是虚拟车辆？
- 构建虚拟车辆
- 进行本地桌面端开发工作
- 云端部署和规模化仿真测试工作

# 内容

- 什么是虚拟车辆？
- 构建虚拟车辆
- 进行本地桌面端开发工作
- 云端部署和规模化仿真测试工作

# 什么是虚拟车辆？

- 虚拟车辆是利用虚拟车辆仿真模型和环境进行不同产品的虚拟开发工作，实现早期验证的手段：
  - 早期系统级仿真开发工作越来越重要
  - 结合虚拟原型/虚拟验证和实际物理原型和验证，提高开发验证效率。
  - 虚拟车辆应用领域：动力总成，ADAS/AD和车辆动力学研究开发……。
- 常见问题和挑战
  - 物理和软件模型的集成难度高
  - 跨部门交互和访问壁垒
  - “正确模型”：不同应用对模型保真度要求，以及平衡速度与保真度。
  - 部署和交付模型，以供不同用户使用，包括非虚拟车辆仿真专家级别用户。



# MathWorks虚拟车辆仿真解决方案：工程化工具+专家级参考应用

创建模型

集成软件

场景开发

仿真&分析

仿真部署

Vehicle Templates  
Subsystem Libraries  
Modeling Guidelines

C/C++ Interface  
Reduced Order Models  
FMU Integration

Scene & Scenarios  
Open Standards  
Drive Cycles

Visualization  
Data Analysis  
Report Generation

Cloud Integration  
DataLake Integration  
HIL Deployment

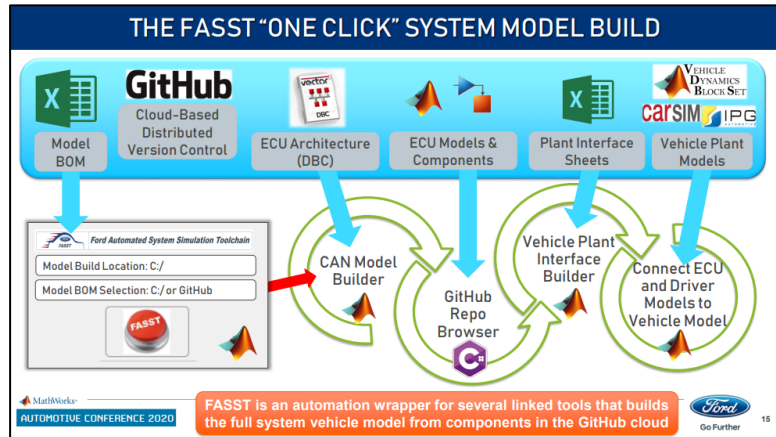


价值：

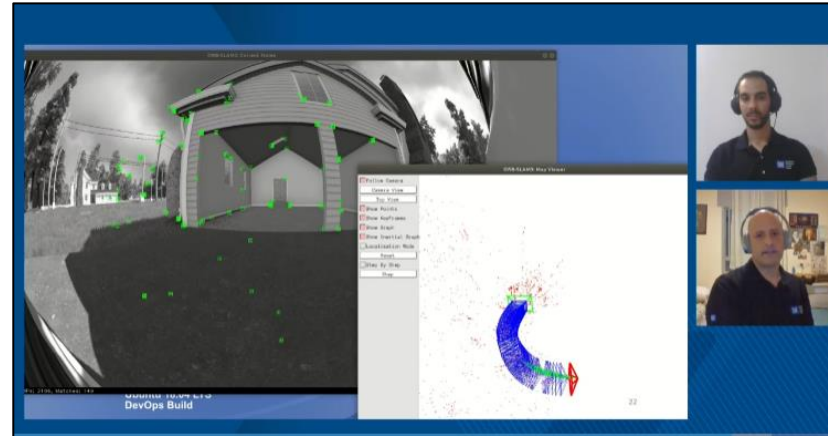
- 经过验证的物理和软件建模工具
- 缩短仿真时间的参考应用
- 模型重用性高的通用平台
- 建模和规模化仿真解决方案
- 灵活通用平台：随企业规模和开发成熟度变化，可灵活部署和二次开发。

# 使用 MathWorks产品构建虚拟车辆实例

- 针对不同的用例构建不同的虚拟车辆模型
- 共同的工作流程：模型创建、仿真和分析，及测试自动化。



Ford: Build Virtual Vehicle in minutes



GM: Autonomous parking development

**Electric Drive Control System Overview**

**Basic Problem Of Electric Machine Calibration**

$$T_e = \frac{3}{2} P(\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \rightarrow \text{Maximize Torque}$$

$$\sqrt{i_d^2 + i_q^2} < I_{limit} \rightarrow \text{Minimize Current}$$

$$V_q = r_s i_q + w_e \lambda_d + \frac{d\lambda_d}{dt}$$

$$V_d = r_s i_d - w_e \lambda_q + \frac{d\lambda_q}{dt}$$

6000 Points that need to be calibrated.

**Model-Based Calibration Approach**

**Calibration Generation (CAGE)**

Optimization objective: maximize efficiency (Torque per Amp)

Constraints: current <= current\_max, flux <= flux\_allowable

GM: Electric Machine Calibration Using Model-Based Calibration

**BOSCH fuel cell system model customized based on Simscape**

**BOSCH fuel cell component products**

**Multi domain challenge**

**Parameter estimation tool box**

**Customization-oriented**

**Basic Simscape library**

无锡博世：燃料电池系统仿真与分析

**2. 如何建立能耗仿真平台**

为了实现在输入、控制、输出数据和能量流分析的规范化、自动化，针对性的开发了模型数据交互界面、功率流分析、仿真数据分析工具。能够快速实现多种驱动模式的能耗和性能的仿真，数据分析效率提升50%。

**3. 双电机混动系统性能仿真分析**

系统及控制策略开发

**5. 混动系统仿真开发流程与收益**

- 数据交互模块化：统一系统参数输入和输出数据格式；
- 仿真模型统一化：统一仿真模型参数输入格式，模型数据交互界面一键导入生成模型；
- 数据处理自动化：仿真结果一键导出到实时能量流和数据分析自动化工具；

PATAC：双电机HEV系统开发应用案例

**上海柴油机股份有限公司 (SDEC) 将柴油机微粒捕集器碳载量模型的标定自动化**

挑战：开发柴油机微粒捕集器模型作为虚拟传感器，降低测试成本。

解决方案：使用 Simulink 和 Model-Based Calibration Toolbox 创建柴油机微粒捕集器模型并自由调整其标定策略。

结果：标定精度提高了 90%，实现了一站到底，缩短了研发时间。

**MBC概念标定原理**

Minimize RMSE

Large-Scale Optimization

MBC工具箱

SDEC 的工程师通过一系列测试用例的仿真过程来验证。

上柴动力：DPF碳载模型标定

# 内容

- 什么是虚拟车辆？
- **构建虚拟车辆**
- 进行本地桌面端开发工作
- 云端部署和规模化仿真测试工作

创建模型

集成软件

场景开发

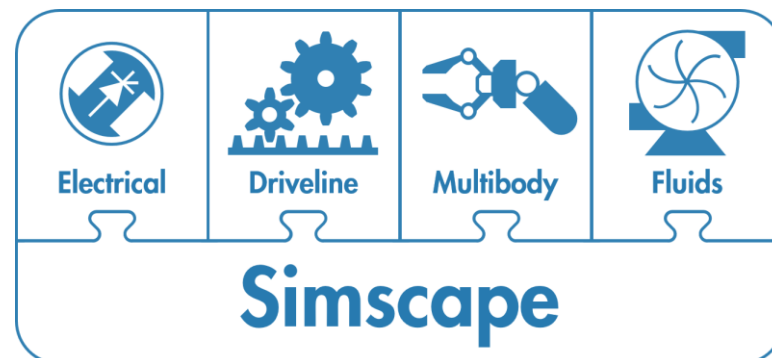
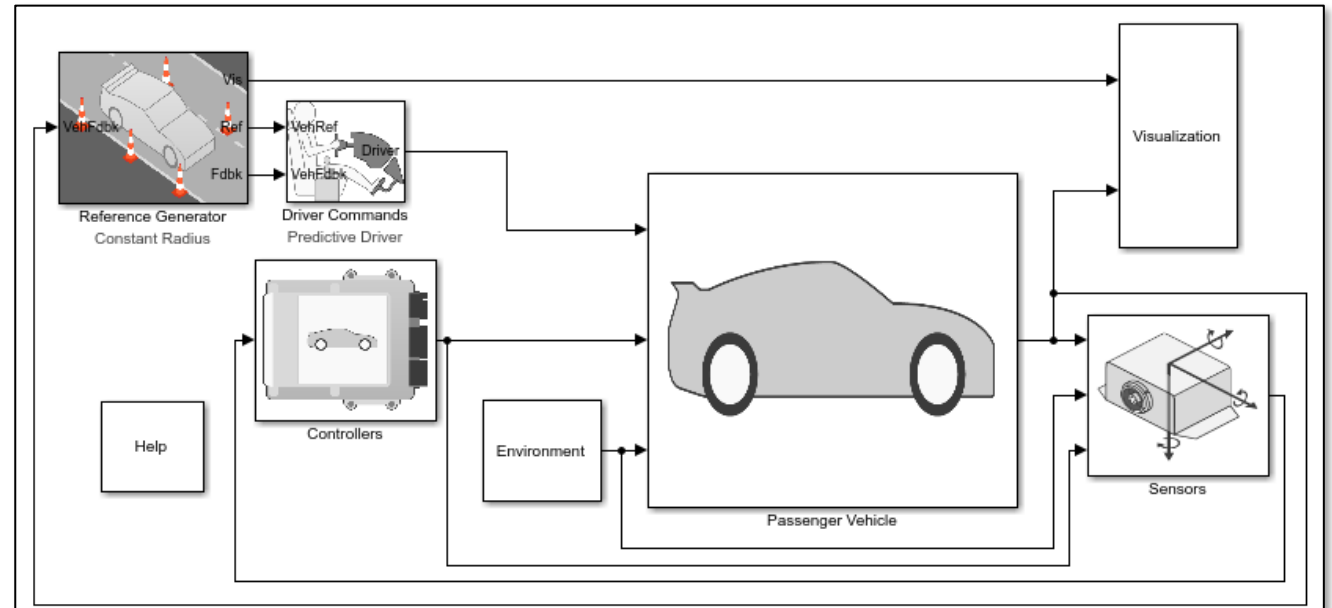
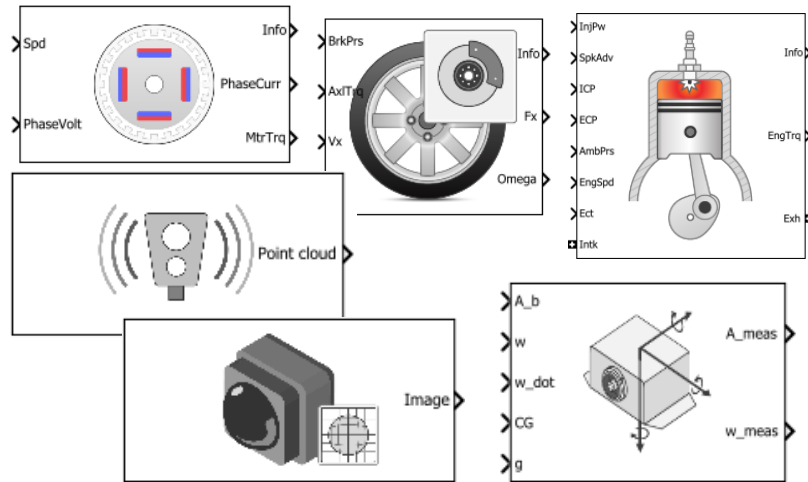
仿真&分析

仿真部署



# 使用 MathWorks 产品构建虚拟车辆

- 从使用工具提供的参考应用程序起步，开始构建虚拟车辆。
- 按照应用场景不同和开发需要进行定制



更多信息:

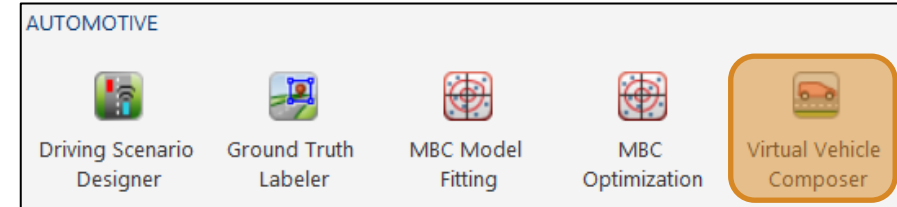
[Powertrain Blockset](#)

[Vehicle Dynamics Blockset](#)

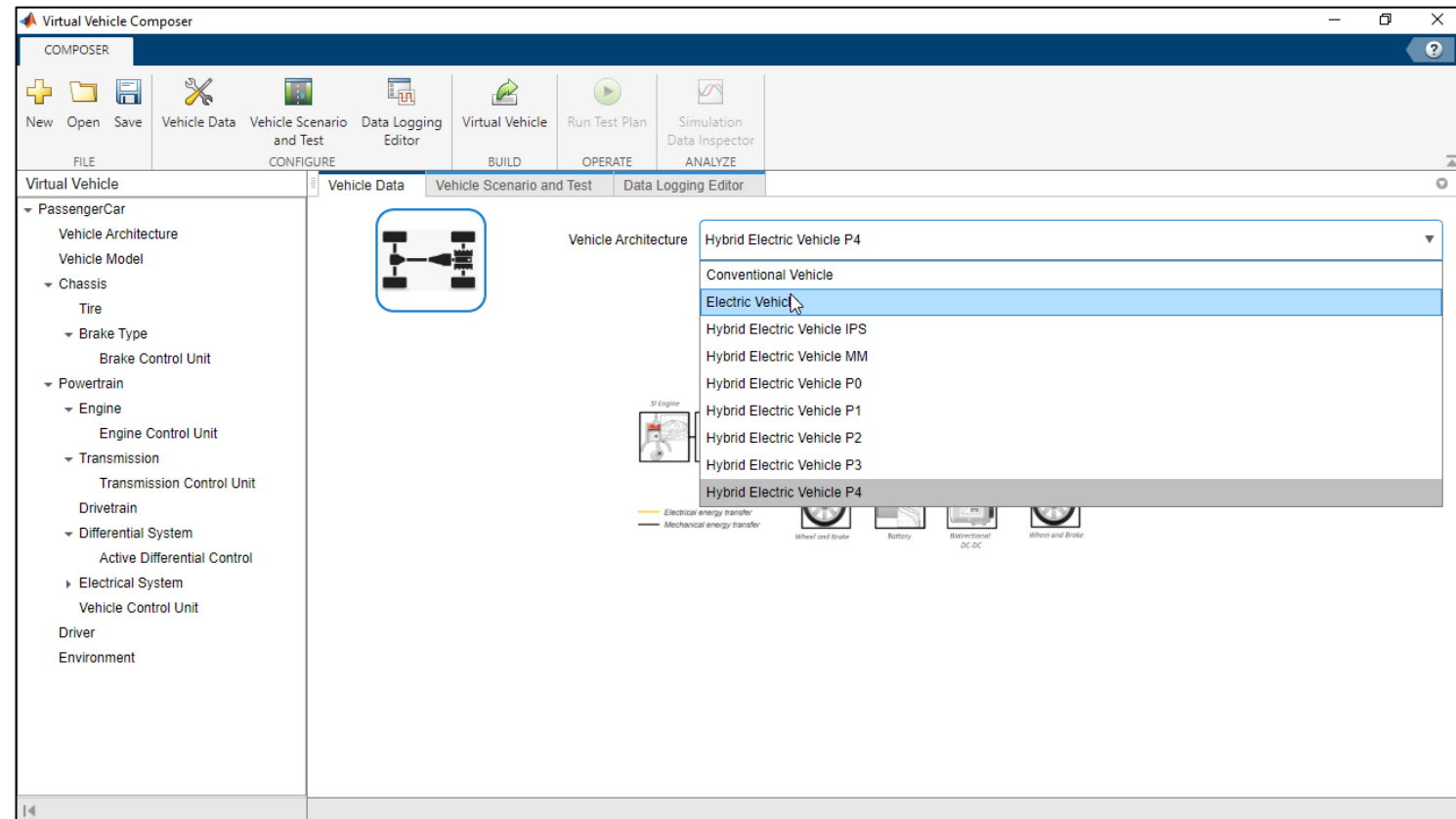
[Simscape](#)

# Virtual Vehicle Composer App

New in **R2022a**



- 统一界面快速配置虚拟车型、选择测试用例和查看仿真结果。
- 新App适用于**Powertrain Blockset** 工具箱 / **Vehicle Dynamics Blockset**工具箱
- 包含：详细的动力总成模型、车辆动力学和闭环控制模型。

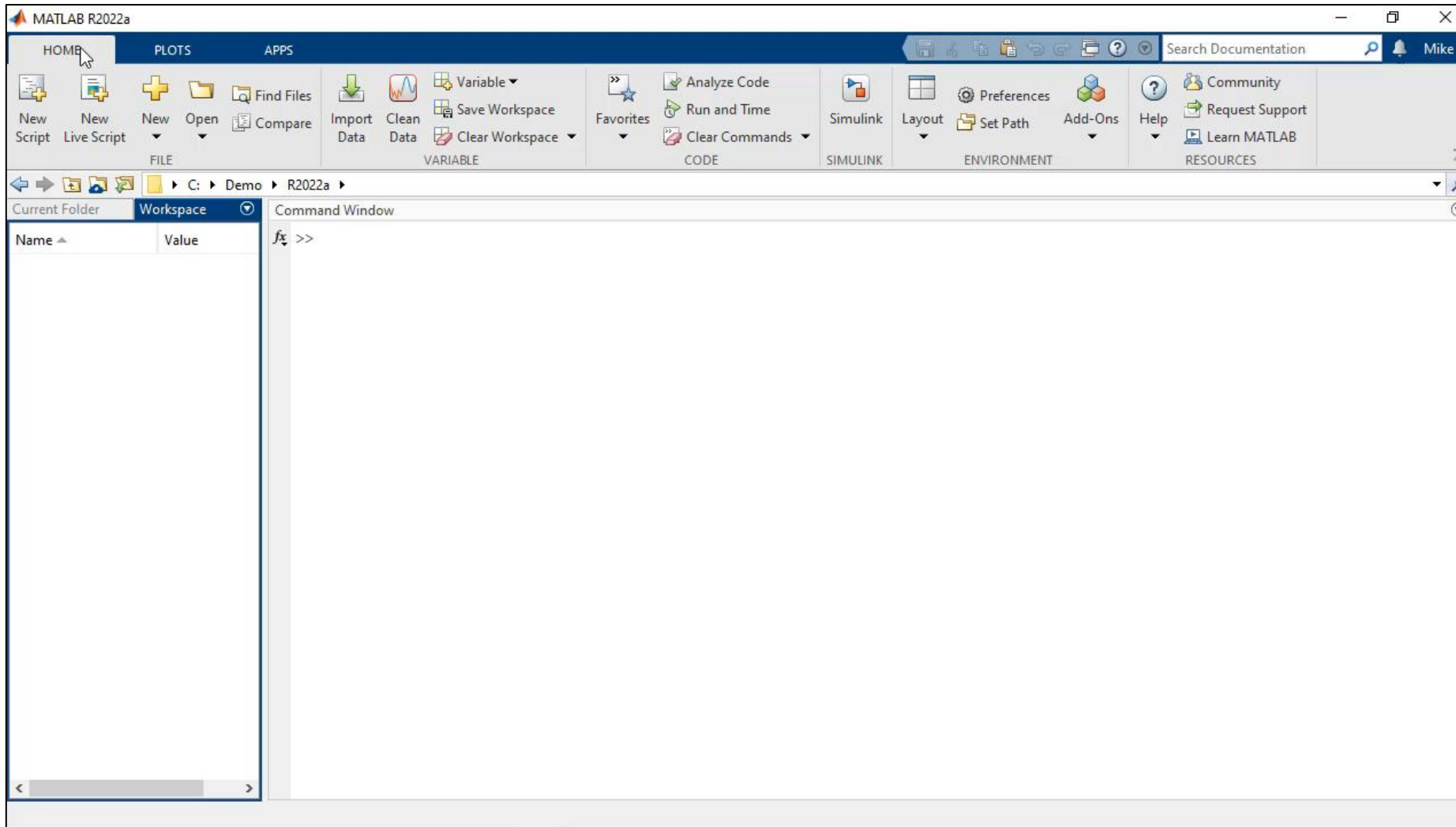


更多详情：

[Virtual Vehicle Composer](#)

# Virtual Vehicle Composer App

## New in R2022a

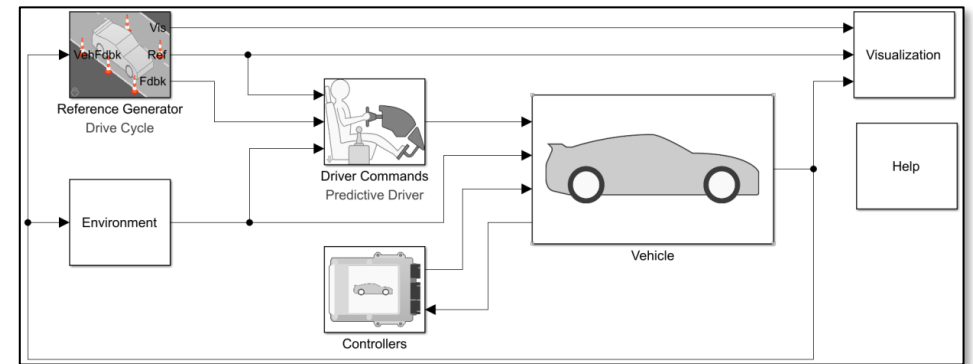


### 工作流程:

1. 新建session
2. 选择动力总成构型
3. 配置参数和数据
4. 配置测试场景
5. 选择记录的信号
6. 生成虚拟车辆模型
7. 运行仿真和测试
8. 查看和分析仿真结果

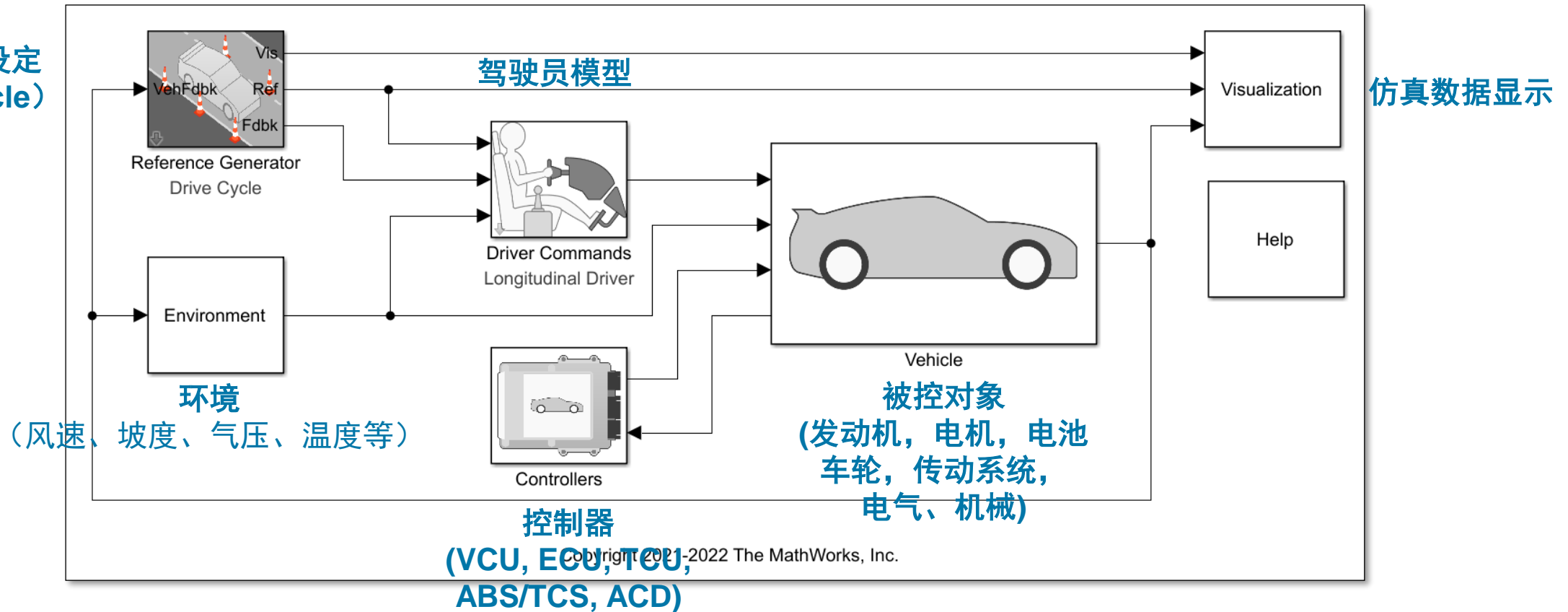
# 模型定制

- Virtual Vehicle Composer app 快速生成虚拟车辆模型
- 自动生成的模型开放度高，支持二次开发和定制：
  - 支持新添加被控对象模型，控制器模型或传感器模型。
  - 支持创建和定制新的测试场景和测试工况
- 基于Simulink平台：
  - 支持C代码，S-functions, FMU等自定义模型的集成。
  - 支持规模化开发和仿真测试
  - 支持不同模型部署方式 (HIL, 云平台.....。)



# 构建的虚拟车辆系统级简介

仿真场景设定  
(Drive cycle)

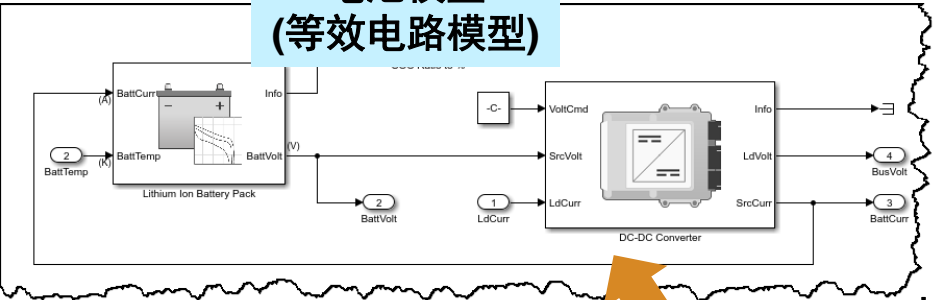


更多详情:

[基于Powertrain Blockset的整车仿真和优化](#)

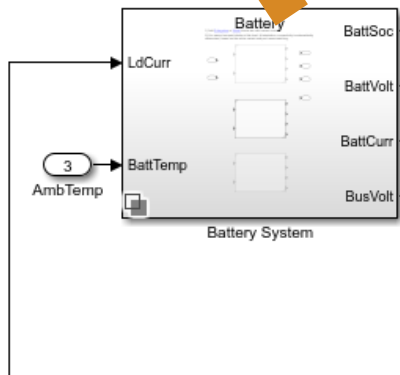
# 电气系统

电池模型  
(等效电路模型)



电池电流

电池温度



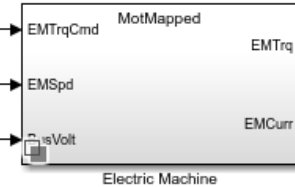
电池  
SOC

电池电压

电机扭矩指令

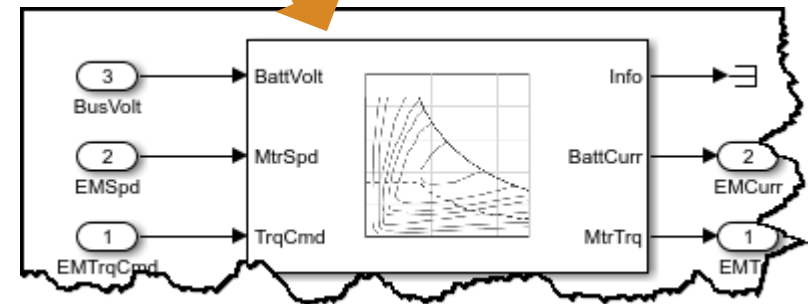
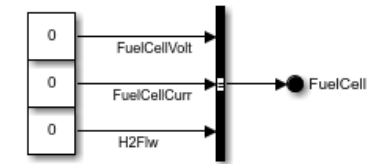
电机转速

Copyright 2021 The MathWorks, Inc.

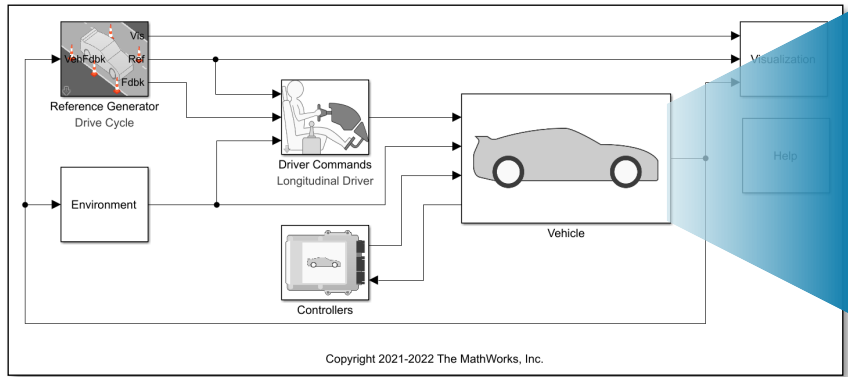


电机轴  
的动态特性

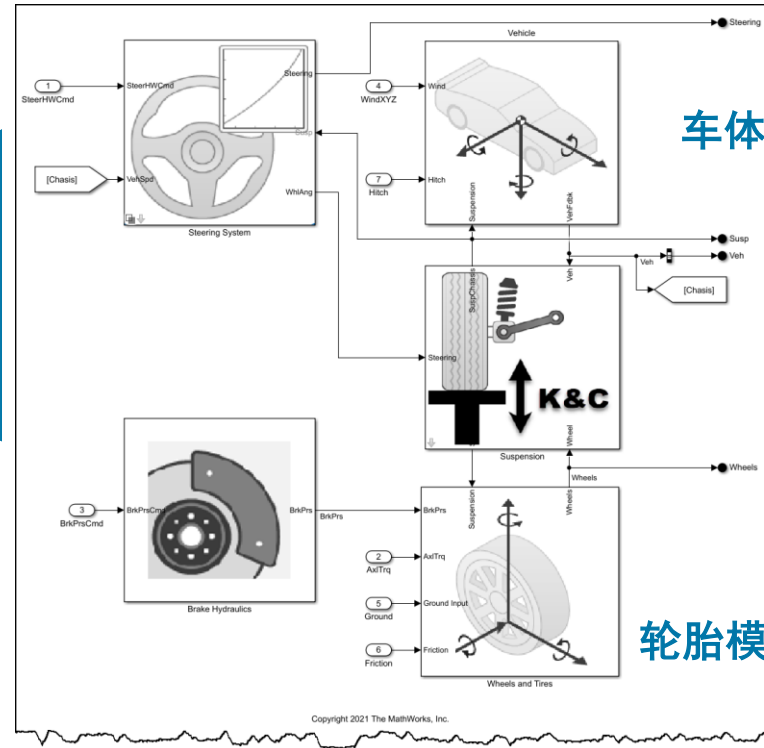
电机扭矩



# 14DOF Vehicle Dynamics



## 转向系统



## 车体模型

## Magic Formula轮胎

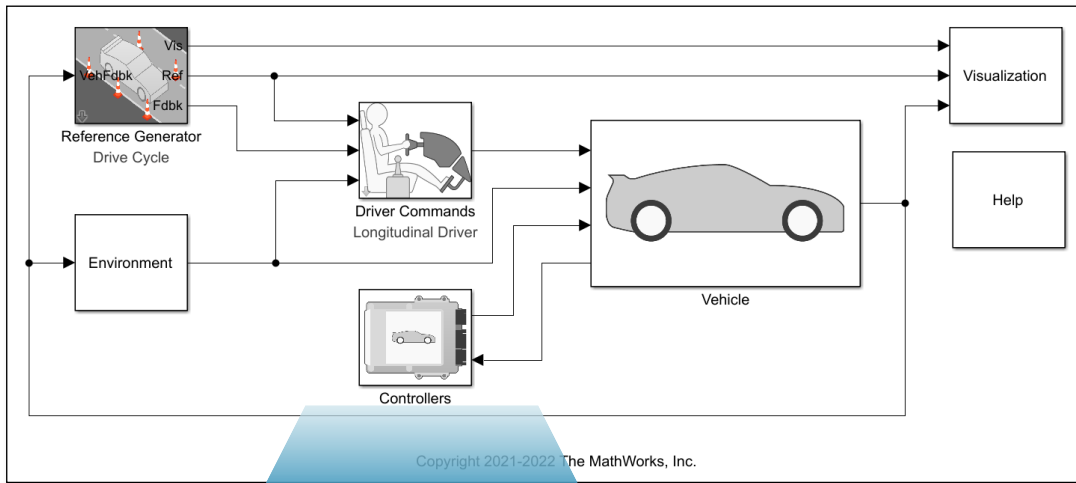
## 悬架系统模型

## 轮胎模型

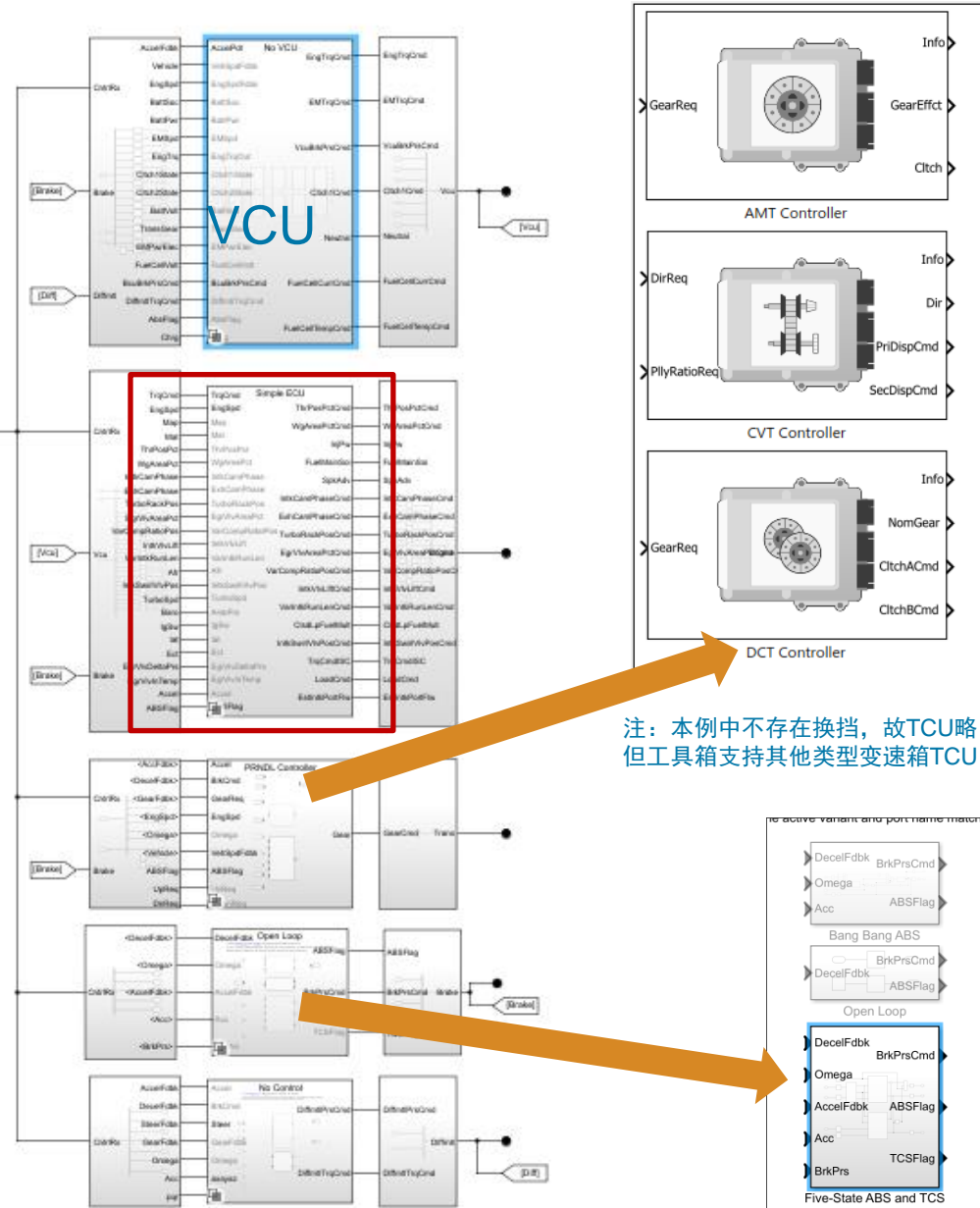


## Fiala轮胎

# 集成控制模型



## VCU/ESC/ABS/TCS



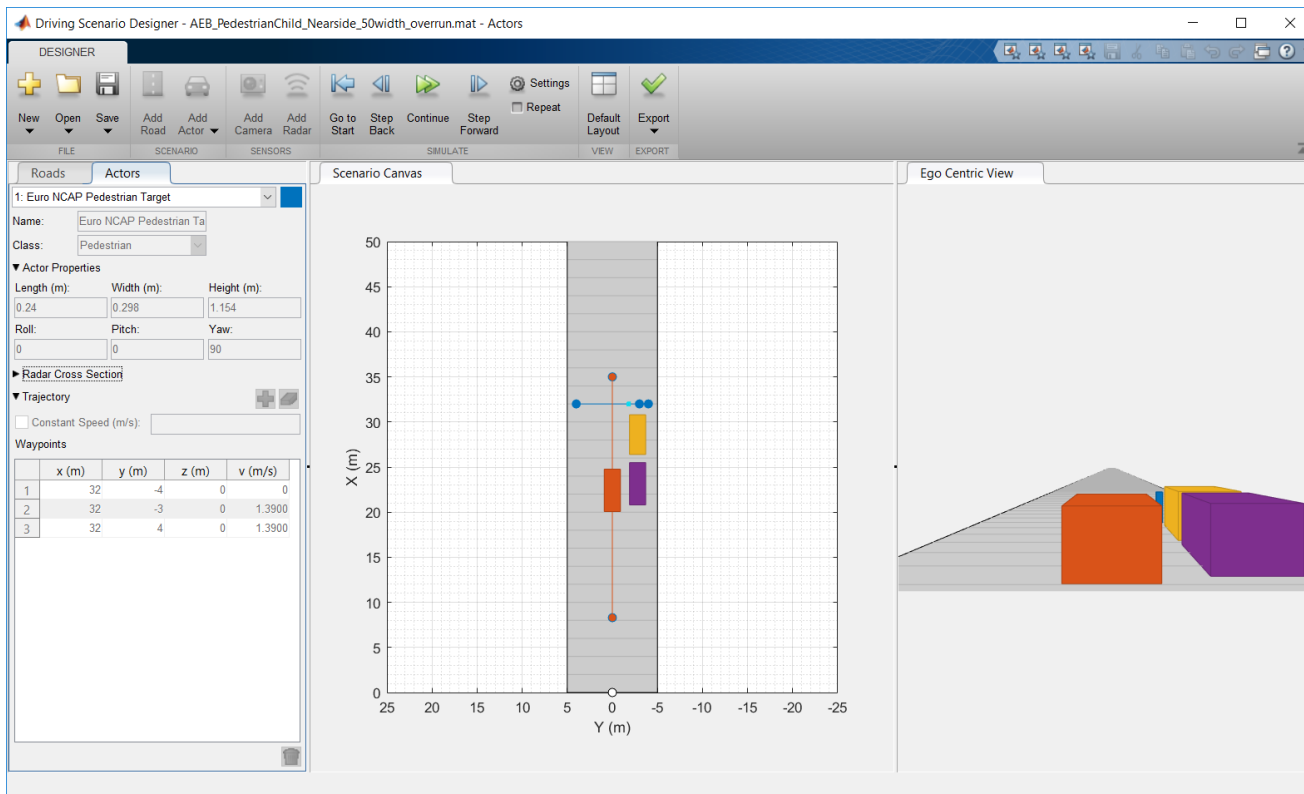
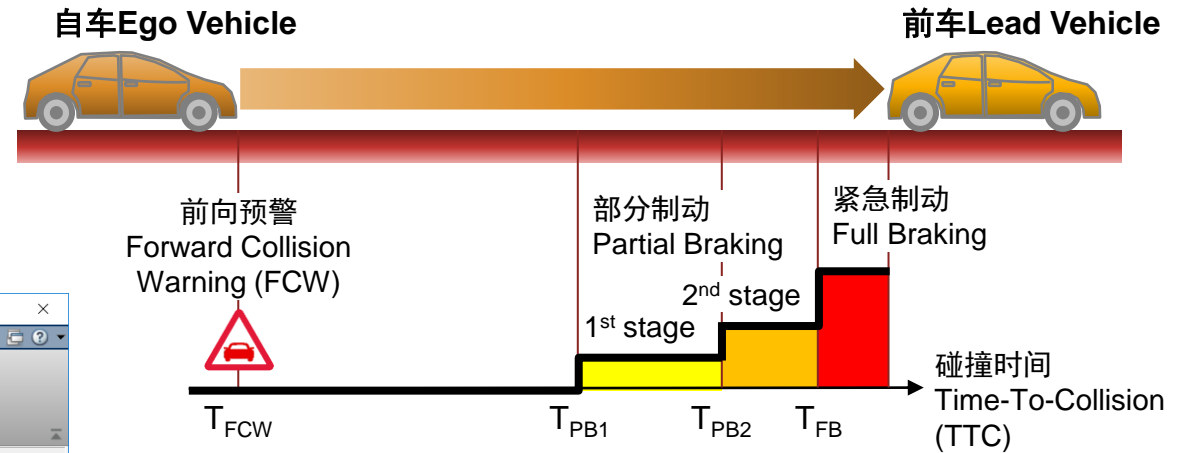
注：本例中不存在换挡，故TCU略。但工具箱支持其他类型变速箱TCU。

## TCS/ABS



# 自动紧急制动系统(AEB)

- 紧急情况下，如果驾驶员没有及时踩刹车，AEB系统会自动工作，避免或减轻碰撞事故。

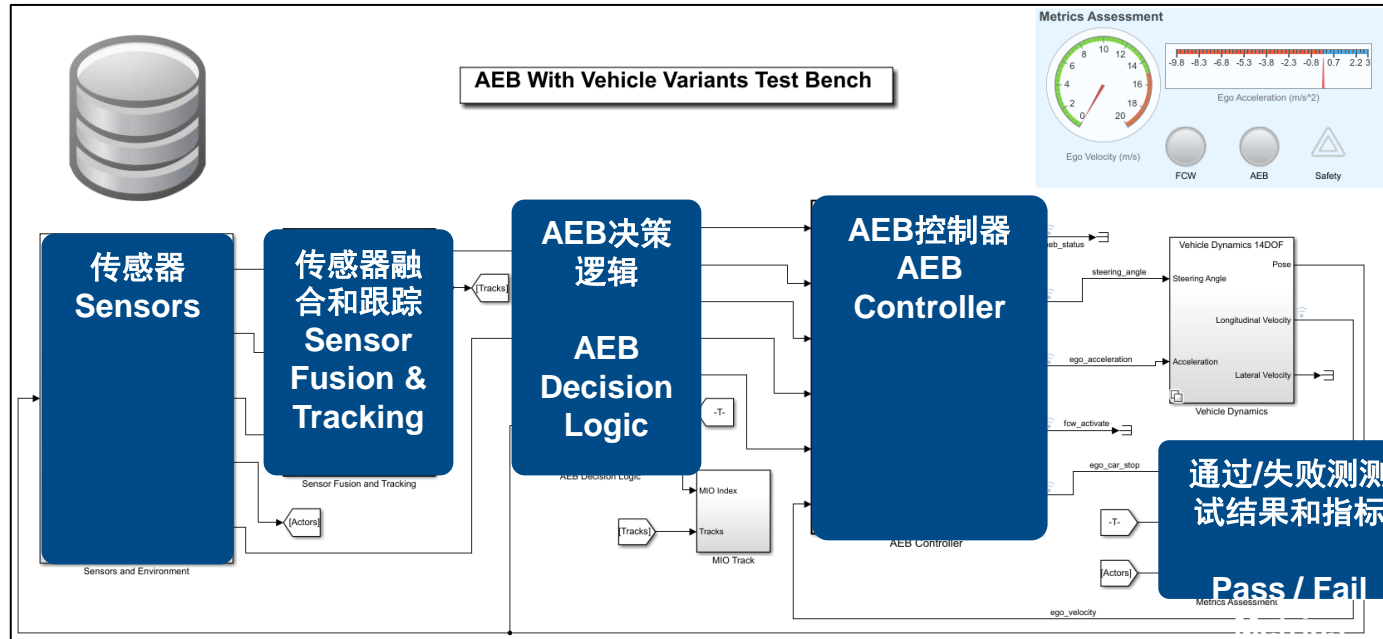


- Driving Scenario Designer 能以图形化方式编写测试场景
- Automated Driving Toolbox 提供了许多详细的不同产品的实例和测试用例，包括AEB算法及测试用例。

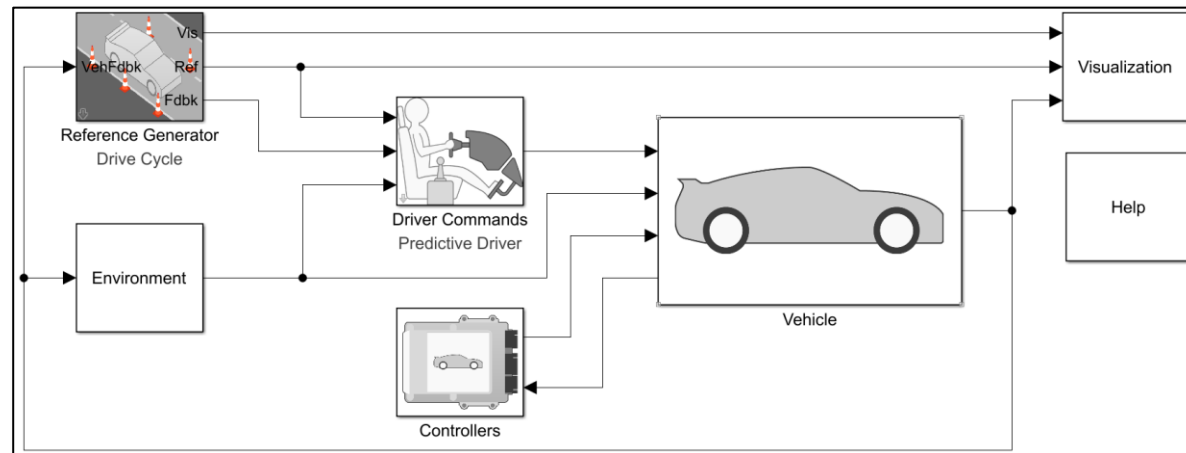
更多详情:

[Automated Driving Toolbox](#)  
[AEB with Vehicle Variants](#)

# 定制虚拟车辆进行AEB开发和测试



- 使用App自动生成EV虚拟车辆模型，作为开发起点。
- 集成所有AEB实例要求的所有特性，包括：
  - 传感器模型
  - AEB控制算法
  - 测试用例/场景
- AEB相关参数和数据导入：
  - 整车参数
  - 控制器标定数据



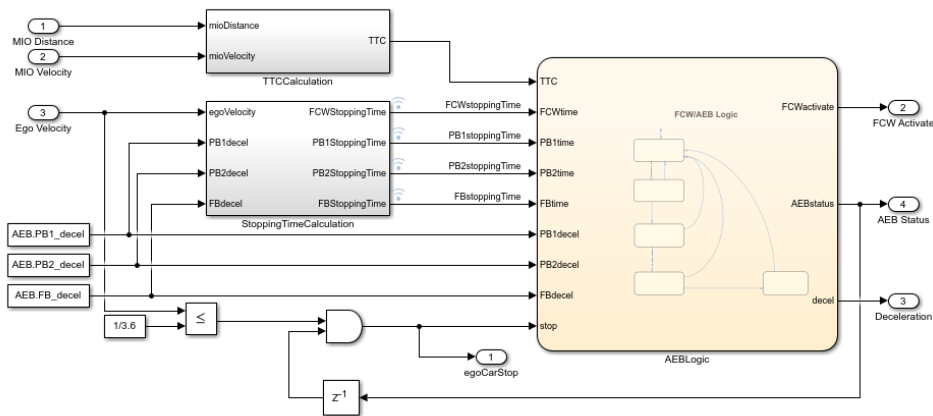
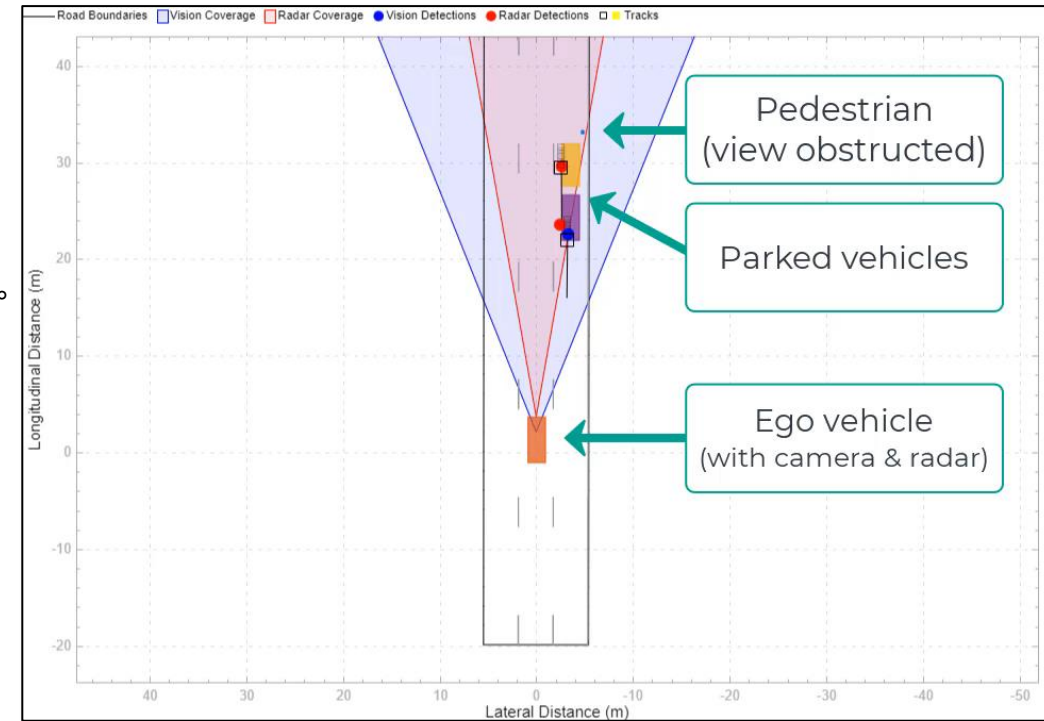
# 内容

- 什么是虚拟车辆？
- 构建虚拟车辆
- **进行本地桌面端开发工作**
- 云端部署和规模化仿真测试工作

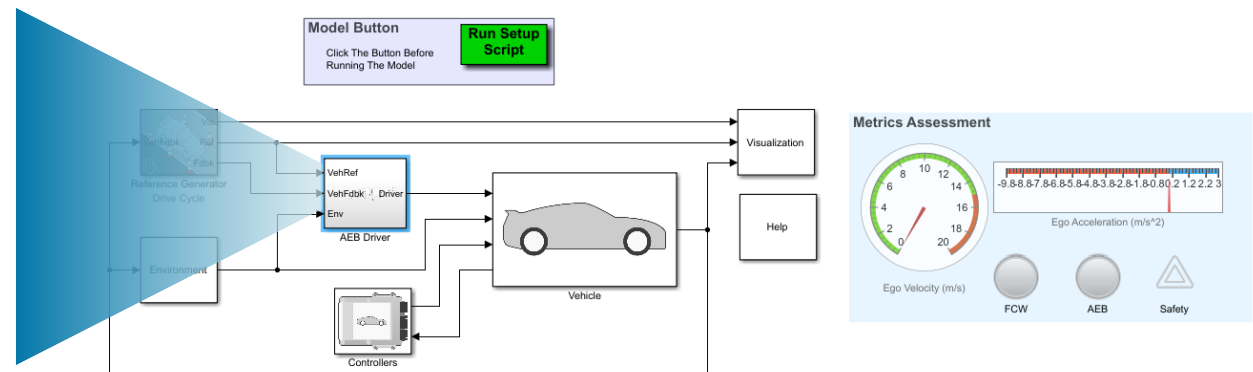


# 配置AEB开发和测试环境

- 目标：测试AEB控制算法，是否最优，鲁棒性如何？
- 测试考虑因素：
  - 测试场景 → 不同测试场景，如：Euro-NCAP场景
  - 被控对象变化 → 不同车辆参数，不同载荷/乘员人数变化带来的重量变化。
  - 控制参数 → 制动器起作用时间  
→ 2<sup>nd</sup> 阶段制动强度水平
- 通过/失败判断标准
  - AEB是否能在碰撞事故发生前刹停车辆？

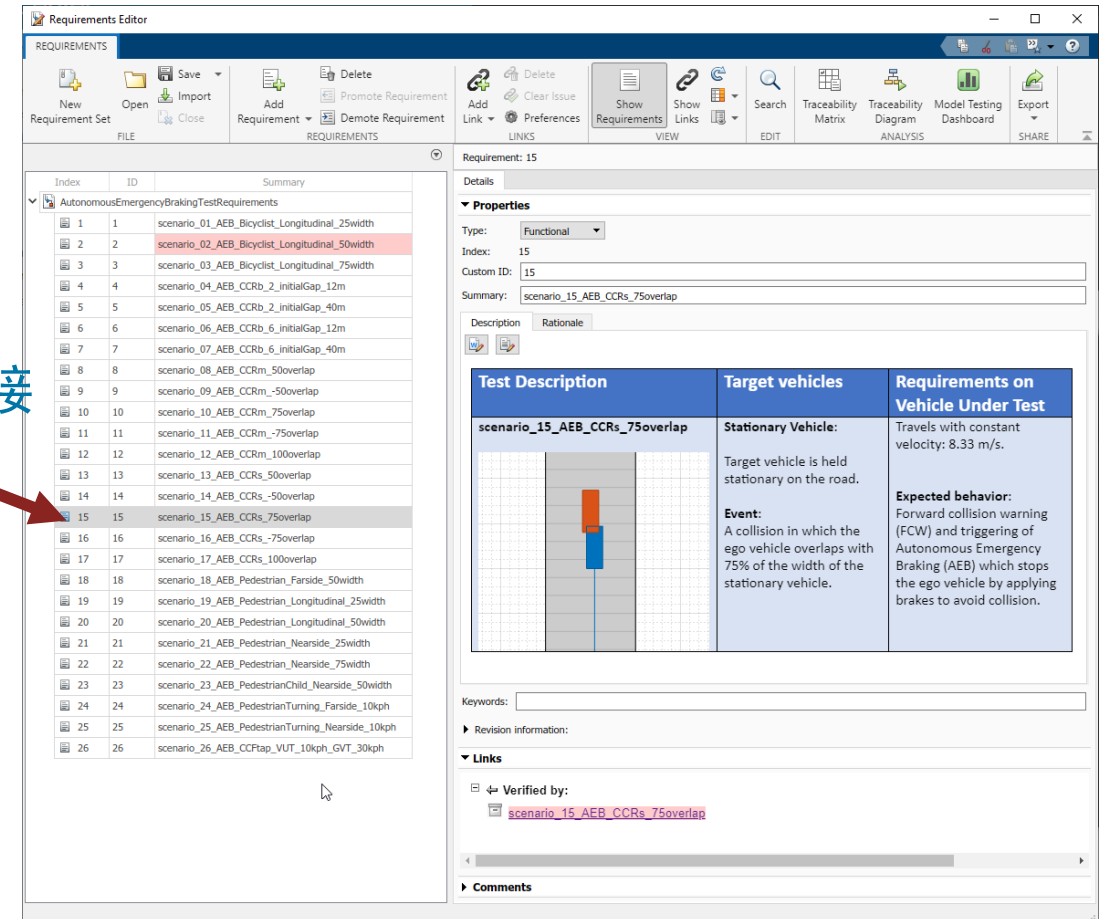
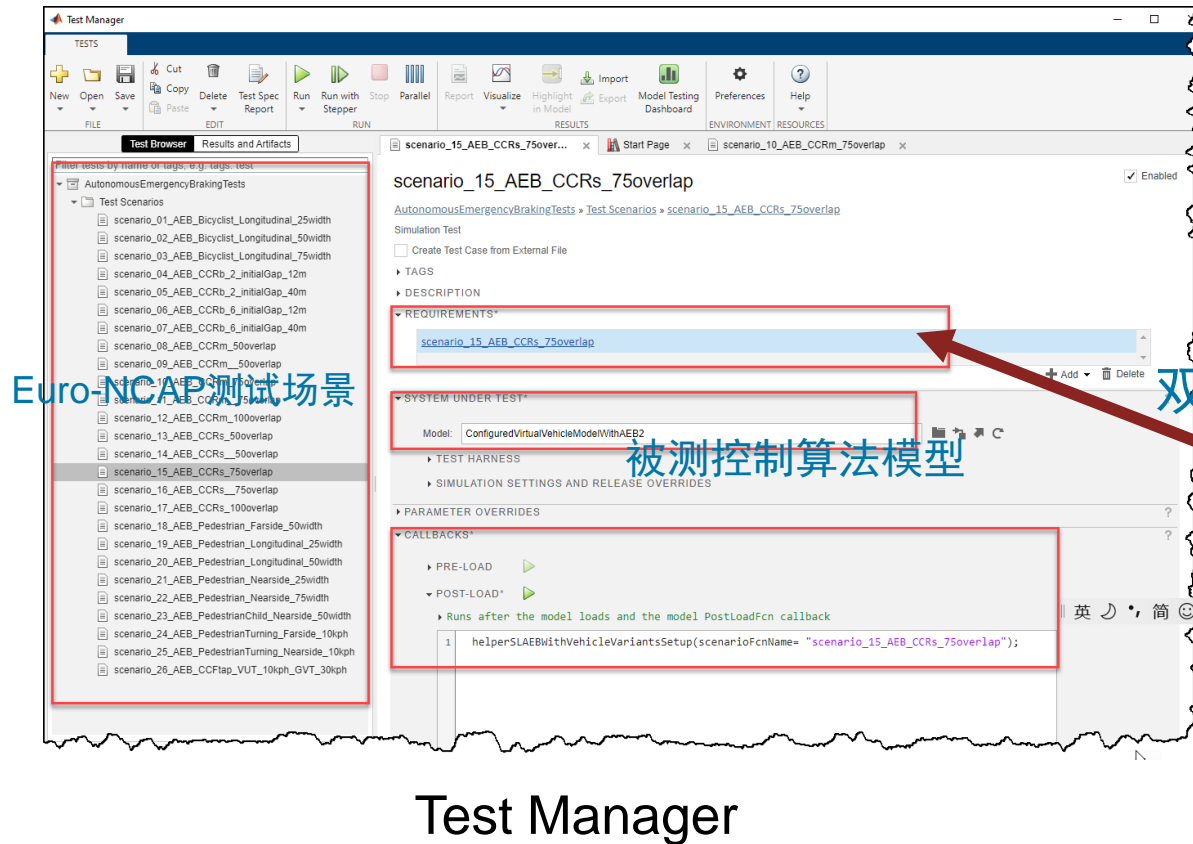


AEB controller模型

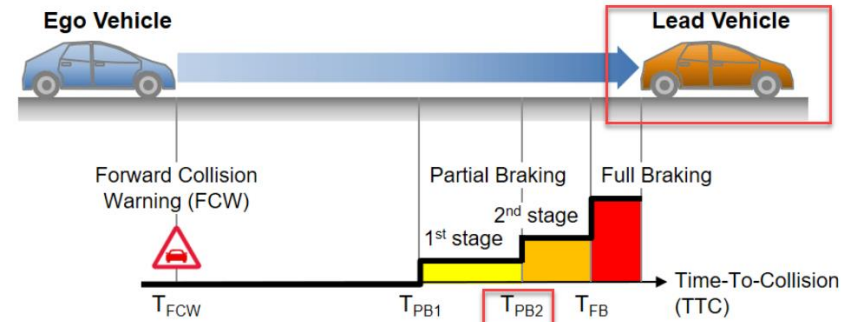


# 测试场景和测试管理

- Simulink Test工具箱用来管理测试过程



# 本地桌面端测试



- 本地桌面端作为调试平台：
  - 本地桌面端适用于小规模测试和研究，但规模和算例不够。
  - 部署到云端前，在本地端执行了16条测试用例。(2x2x2x2)
- 测试场景：28个
- 测试参数：
  - 整备质量
  - 时间裕度控制参数
  - 2<sup>nd</sup>阶段制动触发时间 $T_{PB2}$
- 整个测试工作任务量大，测试用例数量
  - 28 x 16 x 5 x 5 = 11,200 runs
  - 28 x 6 x 5 x 5 = 4,200 runs

本地机器多核并行

```

"scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width",...
"scenario_02_AEB_Bicyclist_Longitudinal_50width",...
"scenario_03_AEB_Bicyclist_Longitudinal_75width",...
"scenario_04_AEB_CCRb_2_initialGap_12m",...
"scenario_05_AEB_CCRb_2_initialGap_40m",...
"scenario_06_AEB_CCRb_6_initialGap_12m",...
"scenario_07_AEB_CCRb_6_initialGap_40m",...
"scenario_08_AEB_CCRm_50overlap",...
"scenario_09_AEB_CCRm_50overlap",...
"scenario_10_AEB_CCRm_75overlap",...
"scenario_11_AEB_CCRm_75overlap",...
"scenario_12_AEB_CCRm_100overlap",...
"scenario_13_AEB_CCRs_50overlap",...
"scenario_14_AEB_CCRs_50overlap",...
"scenario_15_AEB_CCRs_75overlap",...
"scenario_16_AEB_CCRs_75overlap",...
"scenario_17_AEB_CCRs_100overlap",...
"scenario_18_AEB_Pedestrian_Farside_50width",...
"scenario_19_AEB_Pedestrian_Longitudinal_25width",...
"scenario_20_AEB_Pedestrian_Longitudinal_50width",...
"scenario_21_AEB_Pedestrian_Nearside_25width",...
"scenario_22_AEB_Pedestrian_Nearside_75width",...
"scenario_23_AEB_PedestrianChild_Nearside_50width",...
"scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph",...
"scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph",...
"scenario_26_AEB_CCFtap_VUT_10kph_OVT_30kph",...
"scenario_01_AEB_Pedestrian_Intersection",...
"scenario_02_AEB_PedestrianChild_Nearside";

vehMass = 1975; % vehicle mass (16 iterations)
timeMarginAEB = 0.072; % headway time margin (sec) (5 iterations)
pb2DecelAEB = 4.77; % 2nd stage Partial Braking deceleration (m/s^2) (5 iterations)

%% Iterate over all Parameter Sets.
  
```

Command Window

```

Connected to the parallel pool (number of workers: 12).
[26-Jul-2022 09:35:27] Starting Simulink on parallel workers...
[26-Jul-2022 09:36:11] Loading project on parallel workers...
[26-Jul-2022 09:36:11] Configuring simulation cache folder on parallel workers...
[26-Jul-2022 09:36:59] Transferring base workspace variables used in the model to parallel workers...
[26-Jul-2022 09:37:04] Loading model on parallel workers...
[26-Jul-2022 09:38:04] Running simulations...
[26-Jul-2022 09:44:42] Completed 1 of 28 simulation runs
[26-Jul-2022 09:44:46] Completed 2 of 28 simulation runs
[26-Jul-2022 09:44:49] Completed 3 of 28 simulation runs
[26-Jul-2022 09:44:51] Completed 4 of 28 simulation runs
[26-Jul-2022 09:44:54] Completed 5 of 28 simulation runs
[26-Jul-2022 09:44:57] Completed 6 of 28 simulation runs
[26-Jul-2022 09:45:00] Completed 7 of 28 simulation runs
  
```

Workspace

Name	Value
AEB	1x1 struct
h_Legend	1x1 Legend
ii	1x2 SimulationInfo
initWallClocktime	[86.4625,86.4518]
jj	1
kk	1
ll	1
mdlName	'ConfiguredSim'
meanWallClock	NaN
nDecels	5
nMasses	6
nScenarios	28
nScenarios	4200

# 本地桌面端测试结果

## 本地桌面端工作确定：

- 自定义的EV 模型能成功执行 AEB 测试，并返回所需的测试结果指标。
- 用于扫点测试的脚本，测试相关的场景和参数工作正常。
- 测试场景能按预期进行测试，并正确反映通过/失败的测试结果
- 本地端执行了16条测试用例： 场景数x 整备质量取值x 时间裕度扫点x 制动出发时间 $T_{PB2}$ 取值=2x2x2x2

```

52
53 % Create each iteration
54 nTests = 1;
55 for ii = 1:2%nScenarios
56     for jj = 1:2%nMasses
57         for kk = 1:2%nTimes
58             for ll = 1:2%nDecels
59
60 % Set up a new iteration ob
61 %testIt_sIscce_nation
  
```

Scenario	TestResults	VehicleMass	BrakingTime	MediumBrakeLevel
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	1575	0.064	4.24
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	1575	0.064	6.36
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	1575	0.096	4.24
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	1575	0.096	6.36
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	2175	0.064	4.24
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	2175	0.064	6.36
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	2175	0.096	4.24
'scenario_24_AEB_PedestrianTurning_Farside_10kph'	Pass	2175	0.096	6.36
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	1575	0.064	4.24
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	1575	0.064	6.36
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	1575	0.096	4.24
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	1575	0.096	6.36
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	2175	0.064	4.24
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	2175	0.064	6.36
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	2175	0.096	4.24
'scenario_25_AEB_PedestrianTurning_Nearside_10kph'	Fail	2175	0.096	6.36

# 内容

- 什么是虚拟车辆？
- 构建虚拟车辆
- 进行本地桌面端开发工作
- **云端部署和规模化仿真测试工作**

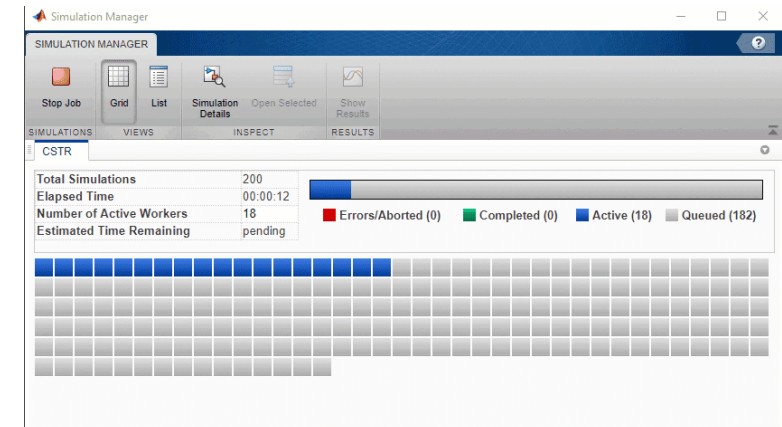
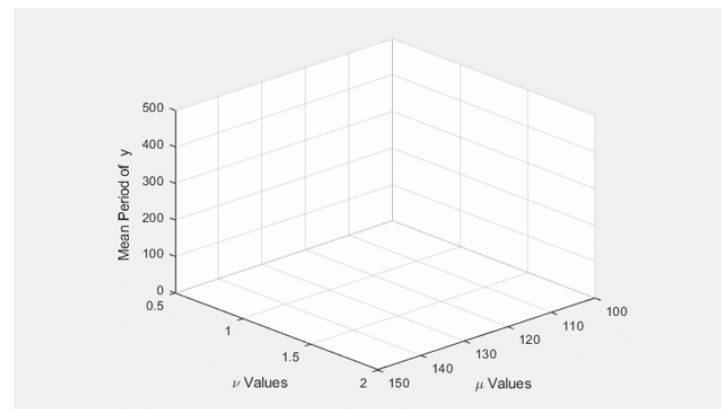
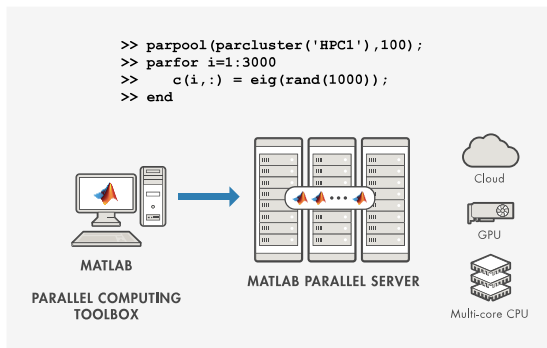
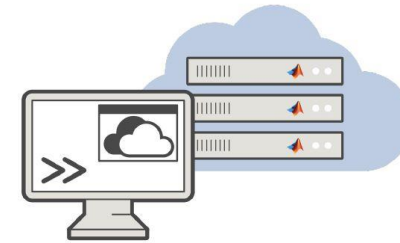




# 从本地桌面端过渡到云端

## 为什么要使用云？

- 释放本地桌面端的机器算力，用于别的开发测试工作。
- 根据硬件资源，灵活扩展计算能力 (RAM, GPU, 多核CPU.....等)
- 按需访问 (“弹性计算”)
- 充分利用云资源，测试所需数据往往存储在云端。

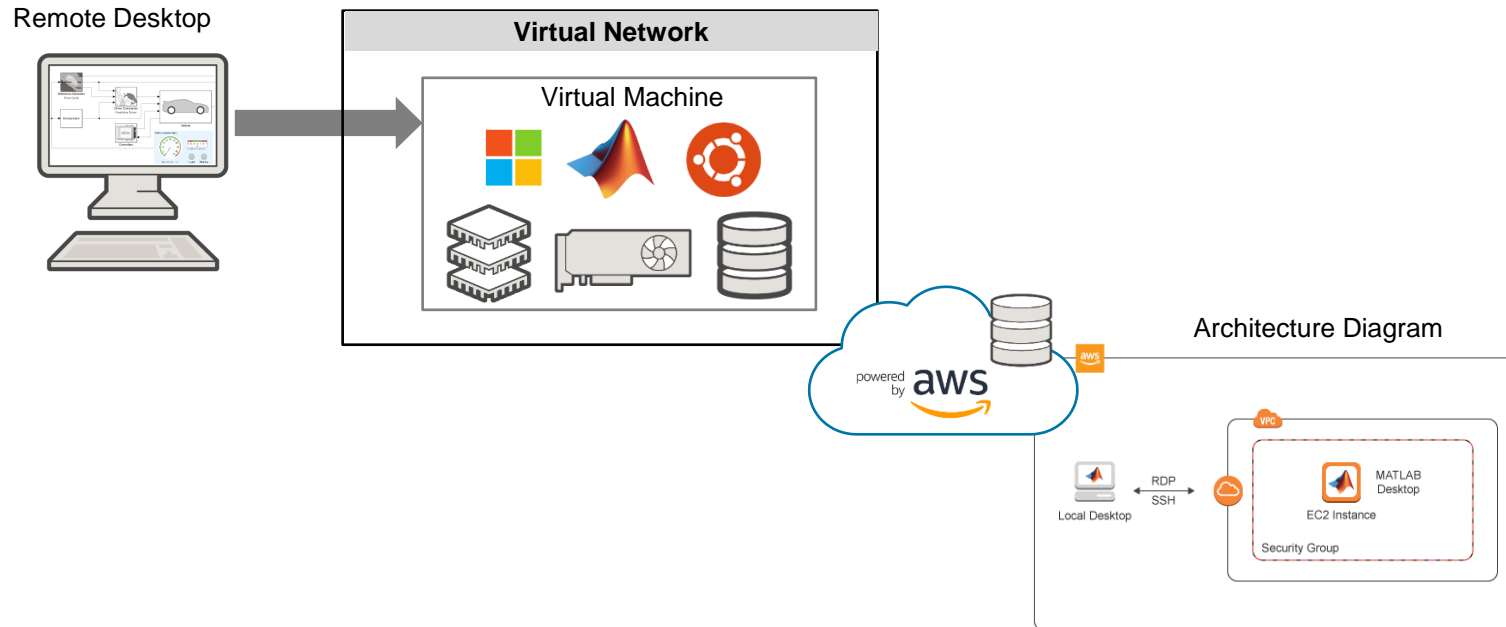


更多详情:

[Parallel Computing Toolbox](#)

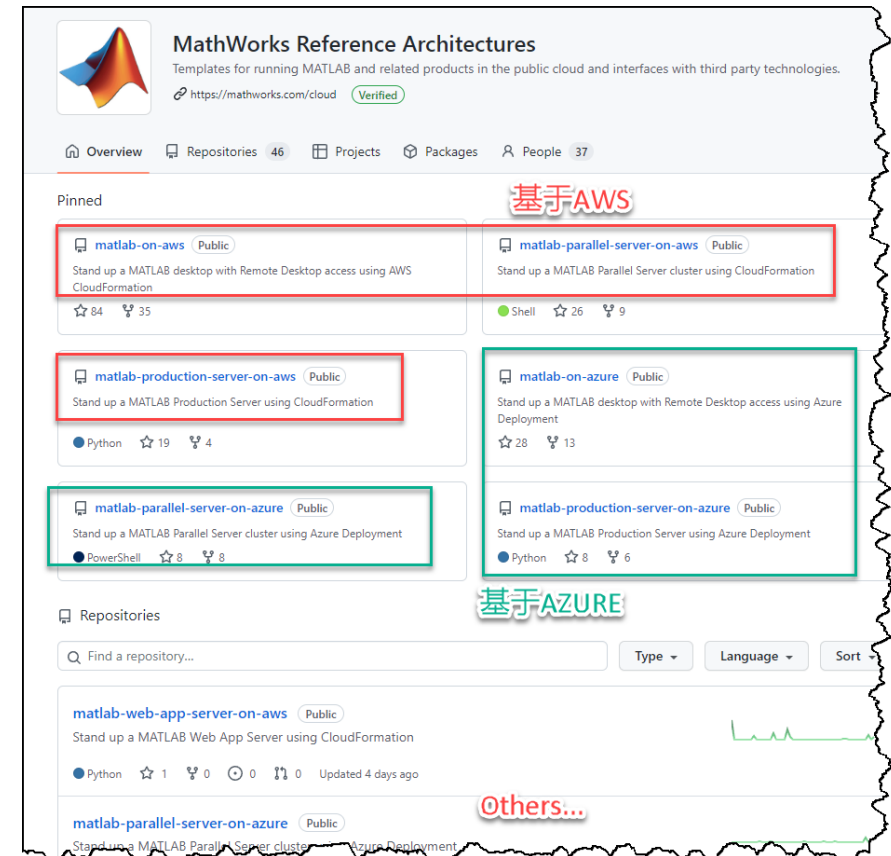
[MATLAB Parallel Server](#)

## 通过参考架构使用预置的云配置



- 选择符合要求的硬件配置和虚拟机，根据参考架构，进行云端资源配置。

- MathWorks 产品提供基于不同操作系统的虚拟机和软件堆栈服务的参考设计架构

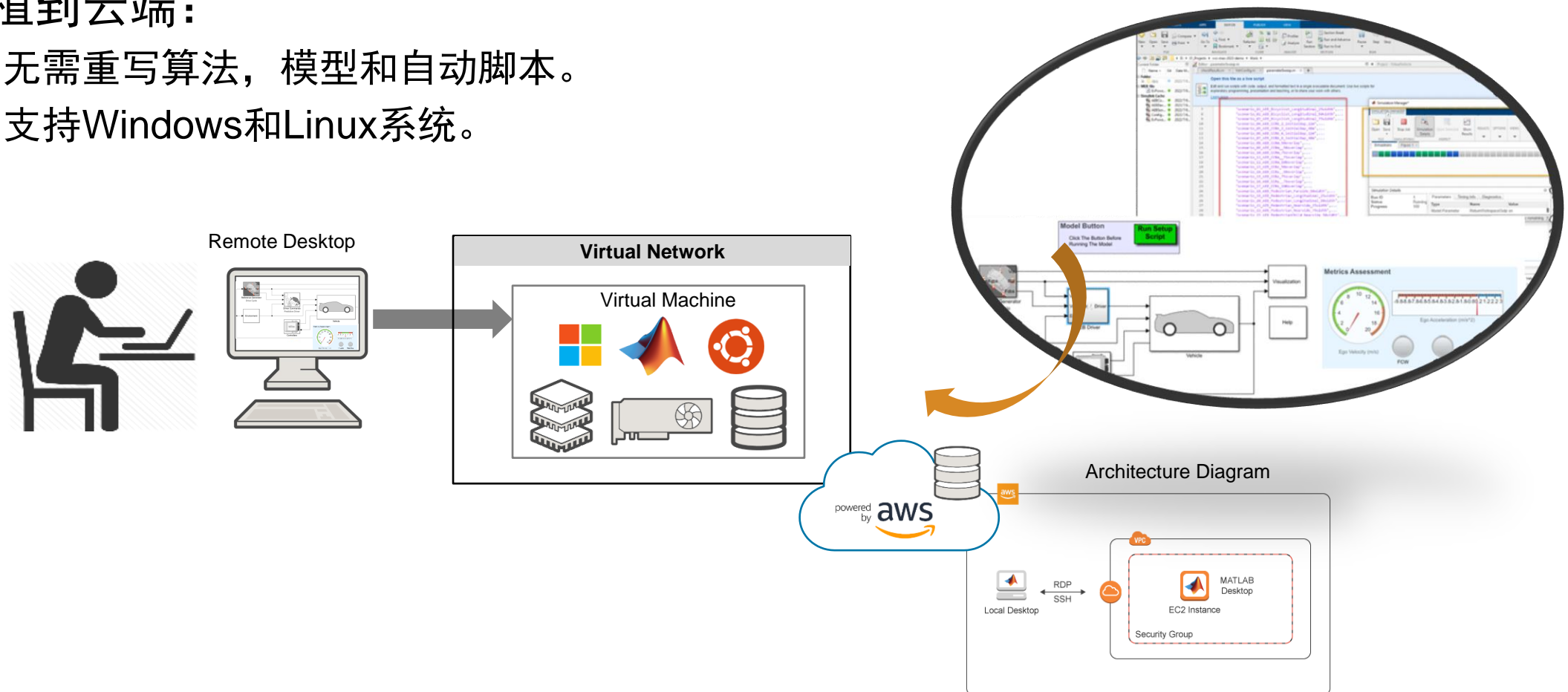


更多详情:

[MATLAB on Amazon Web Services \(AWS\)](#)

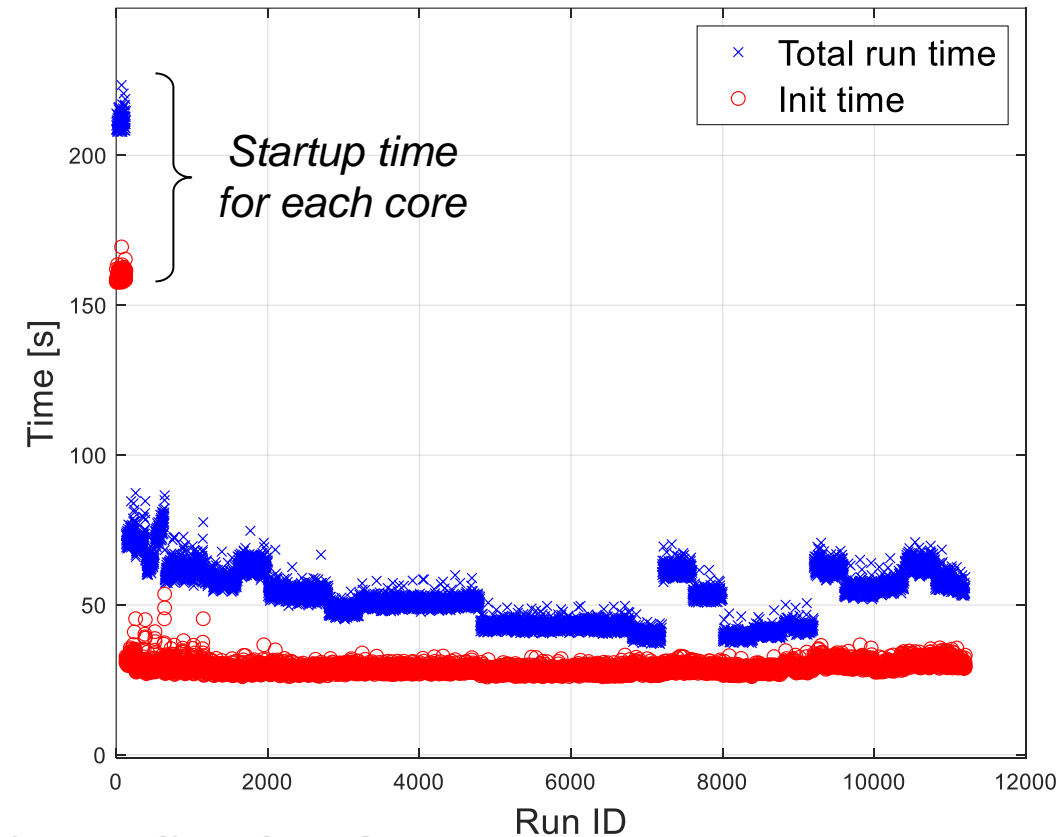
# 从本地移植到云端

- 基于MathWorks平台工具提供的云端工作流程，能容易地将代码或模型从本地移植到云端：
  - 无需重写算法，模型和自动脚本。
  - 支持Windows和Linux系统。



# 云端测试结果

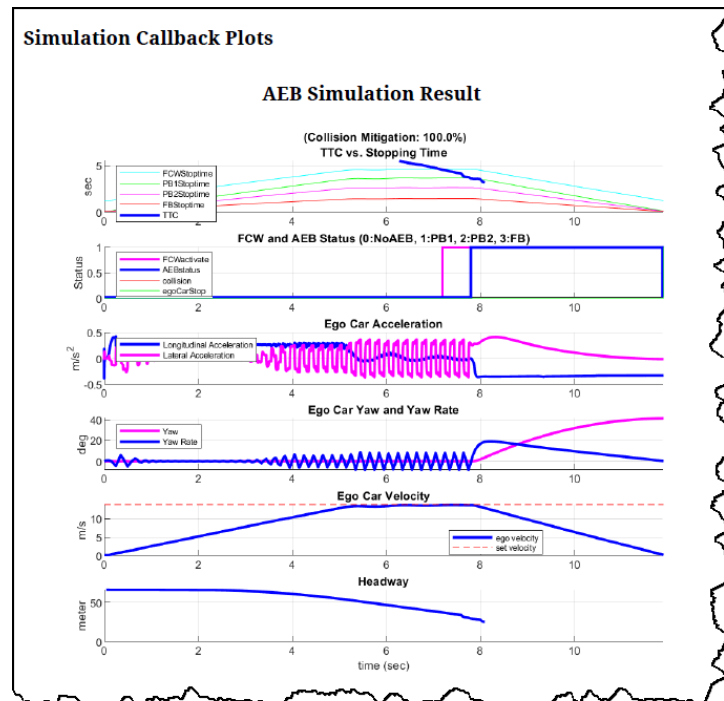
- 选定的参考架构
  - 基于Linux 128核的虚机
- 执行了11,200测试用例测试
  - ~1.5小时 vs. ~2天 4核本地端笔记本电脑
- 自动生成测试报告



Scenario	TestResults	VehicleMass	BrakingTime	MediumBrakeLevel
'scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width'	Pass	1575	0.072	4.77
'scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width'	Pass	1575	0.072	5.035
'scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width'	Pass	1575	0.072	5.3
'scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width'	Pass	1575	0.072	5.565
'scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width'	Pass	1575	0.072	5.83
:	:	:	:	:

# 云端测试结果

- 结果：
  - 控制器算法对整备质量/负荷及制动参数变化有很好的鲁棒性
  - 详细审查失败的测试（总测试量的3.6%）



## Report Generated by Test Manager

Title: Autonomous Emergency Braking Test Results

Author:

Date: 17-Mar-2022 09:19:38

Test Environment

Platform: PCWIN64

### AutonomousEmergencyBrakingTests

#### Test Result Information

Result Type: Test File Result  
Parent: None  
Start Time: 17-Mar-2022 09:06:03  
End Time: 17-Mar-2022 09:19:00  
Outcome: Total: 26, Passed: 25, Failed: 1

#### Test Suite Information

Name: AutonomousEmergencyBrakingTests

[Back to Report Summary](#)

#### Test Scenarios

#### Test Result Information

Result Type: Test Suite Result  
Parent: [AutonomousEmergencyBrakingTests](#)  
Start Time: 17-Mar-2022 09:06:03  
End Time: 17-Mar-2022 09:19:00  
Outcome: Total: 26, Passed: 25, Failed: 1

#### Test Suite Information

Name: Test Scenarios

[Back to Report Summary](#)

### scenario\_01\_AEB\_Bicyclist\_Longitudinal\_25width

#### Test Result Information

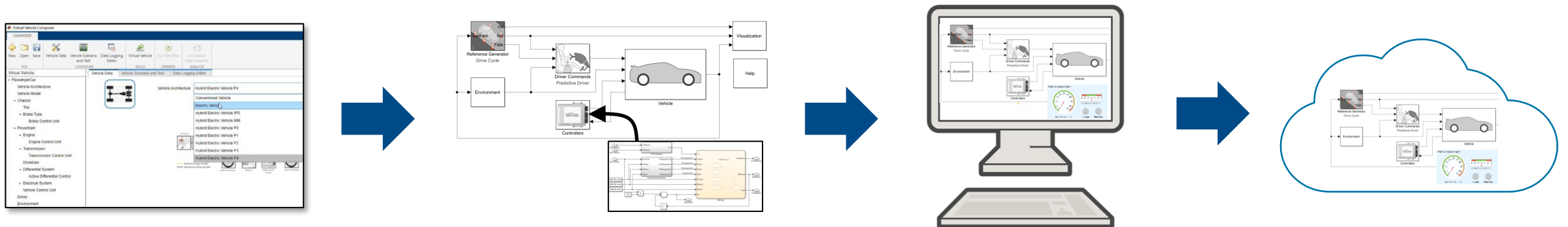
Result Type: Test Case Result  
Parent: [Test Scenarios](#)  
Start Time: 17-Mar-2022 09:06:03

### Summary

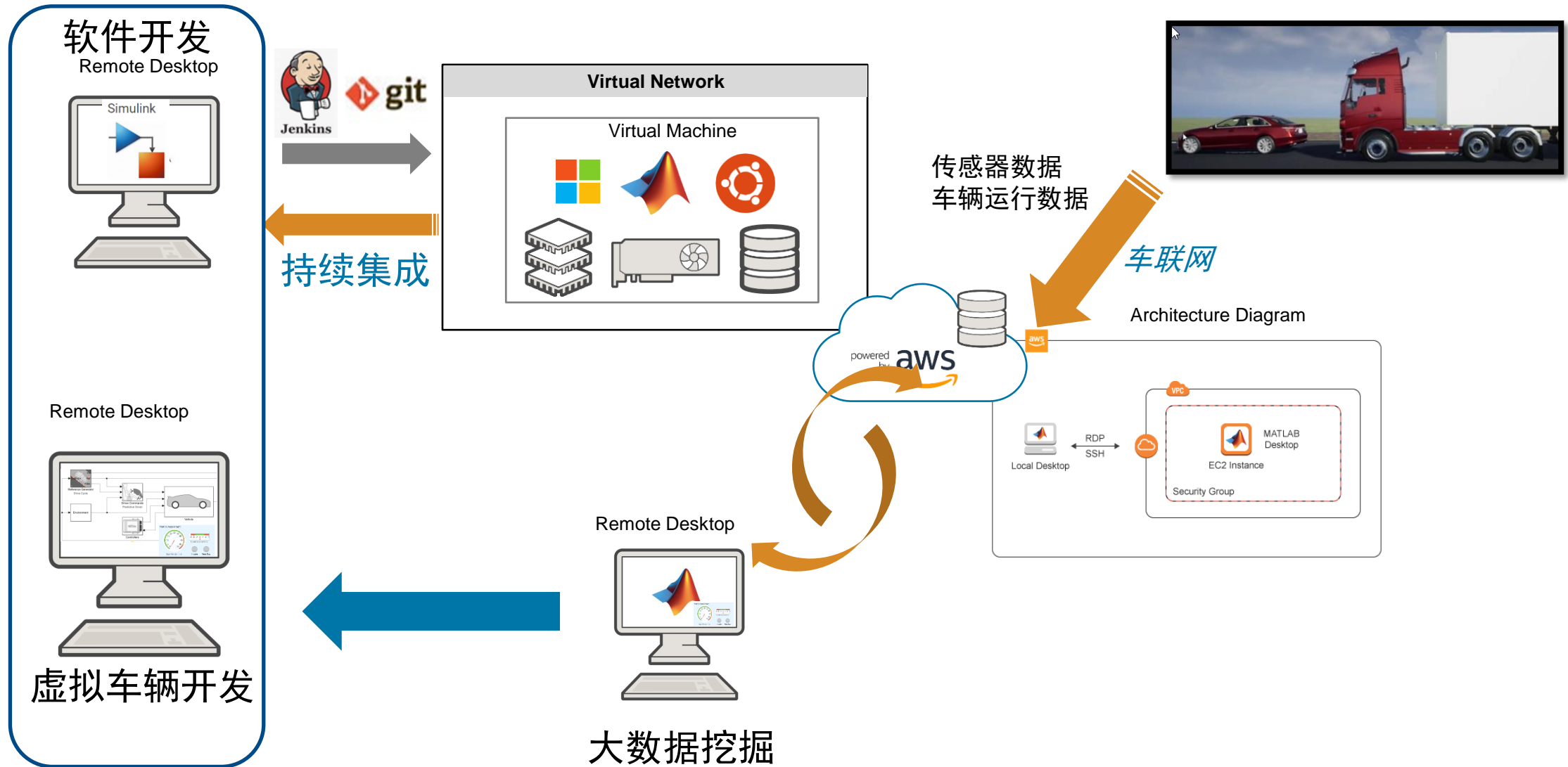
Name	Outcome	Duration (Seconds)
<a href="#">AutonomousEmergencyBrakingTests</a>	25 <span style="color: green;">✔</span> 1 <span style="color: red;">✘</span>	776.559
<a href="#">Test Scenarios</a>	25 <span style="color: green;">✔</span> 1 <span style="color: red;">✘</span>	776.558
<a href="#">scenario_01_AEB_Bicyclist_Longitudinal_25width</a>	<span style="color: green;">✔</span>	287.772
<a href="#">scenario_02_AEB_Bicyclist_Longitudinal_50width</a>	<span style="color: green;">✔</span>	304.053
<a href="#">scenario_03_AEB_Bicyclist_Longitudinal_75width</a>	<span style="color: green;">✔</span>	317.313
<a href="#">scenario_04_AEB_CCRb_2_initialGap_12m</a>	<span style="color: green;">✔</span>	330.011
<a href="#">scenario_05_AEB_CCRb_2_initialGap_40m</a>	<span style="color: green;">✔</span>	136.308
<a href="#">scenario_06_AEB_CCRb_6_initialGap_12m</a>	<span style="color: green;">✔</span>	152.243
<a href="#">scenario_07_AEB_CCRb_6_initialGap_40m</a>	<span style="color: green;">✔</span>	171.351
<a href="#">scenario_08_AEB_CCRm_50overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	188.995
<a href="#">scenario_09_AEB_CCRm_50overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	195.553
<a href="#">scenario_10_AEB_CCRm_75overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	209.854
<a href="#">scenario_11_AEB_CCRm_75overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	223.279
<a href="#">scenario_12_AEB_CCRm_100overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	194.39
<a href="#">scenario_13_AEB_CCRs_50overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	133.199
<a href="#">scenario_14_AEB_CCRs_50overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	146.246
<a href="#">scenario_15_AEB_CCRs_75overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	159.298
<a href="#">scenario_16_AEB_CCRs_75overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	235.84
<a href="#">scenario_17_AEB_CCRs_100overlap</a>	<span style="color: green;">✔</span>	246.263
<a href="#">scenario_18_AEB_Pedestrian_Farside_50width</a>	<span style="color: green;">✔</span>	255.881

# 总结

- 使用Virtual Vehicle Composer构建虚拟车辆
- 对生成的模型按需定制
- 本地桌面端进行AEB算法的小规模测试
- 部署到云端，进行大规模测试验证，并生成报告。



# 总结



# MathWorks 咨询服务支持客户定制



## Model Architecture

Model assessment  
Simulation performance  
Interface standardization  
...



## Construction

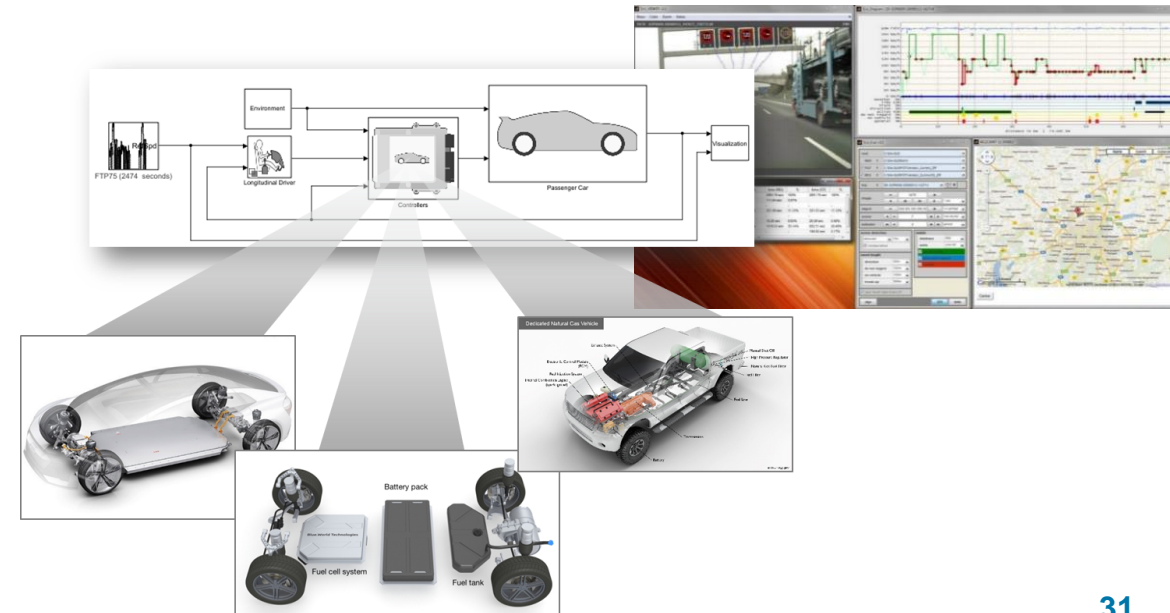
Build process automation  
Database/Repo interface  
Model-Building know-how  
...



## User Experience

GUI driven workflow  
Tool compatibility support  
Artifact creation  
...

- 提供专家级工程咨询服务
  - MBD软件开发平台搭建
  - 自动化测试验证流程定制
  - 虚拟车辆仿真平台定制
  - 自动驾驶相关定制开发
  - 大数据平台和流程定制
  - .....
- 自动化工作流程
- 开发定制易用的UI
- 完全白盒交付



Learn more:

[MathWorks Consulting Services](#)



# 2022 MathWorks 中国汽车年会

Thank you

胡洪祥 [vh@mathworks.com](mailto:vh@mathworks.com)

