



**广汽研究院**  
GAC R&D CENTER

# MATLAB, RoadRunner和Sumo的联合仿真在动力总成预测性能量管理软件测试中的应用

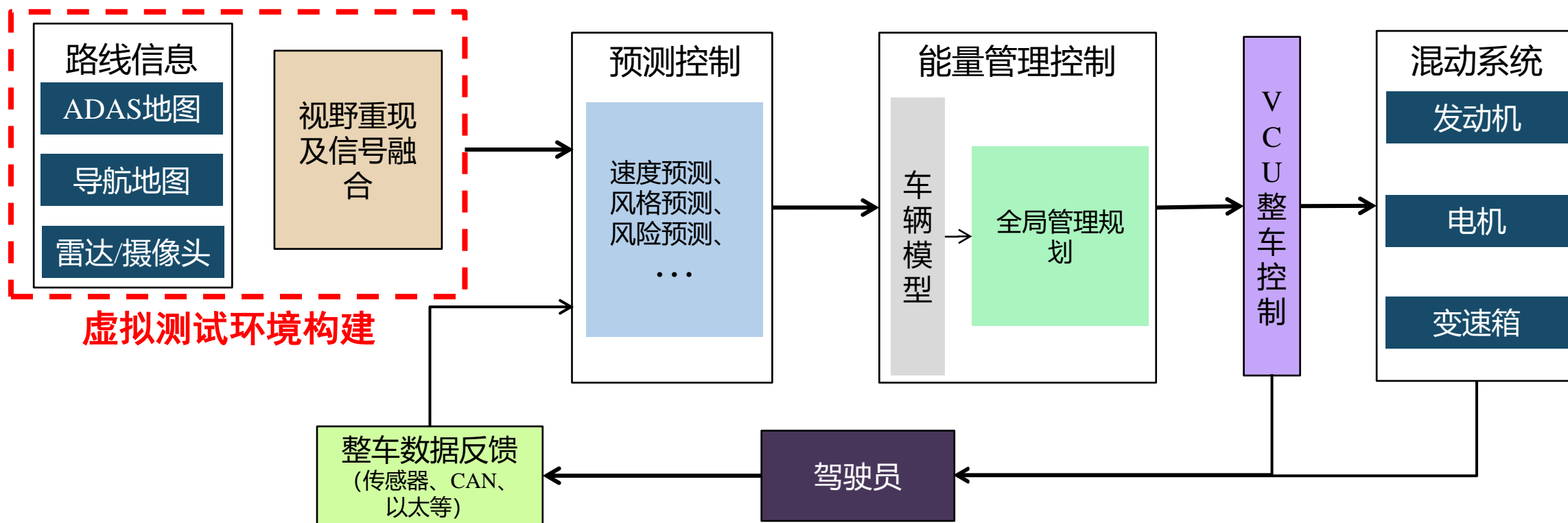
韦信立, 广汽研究院



2024 MathWorks  
中国汽车年会

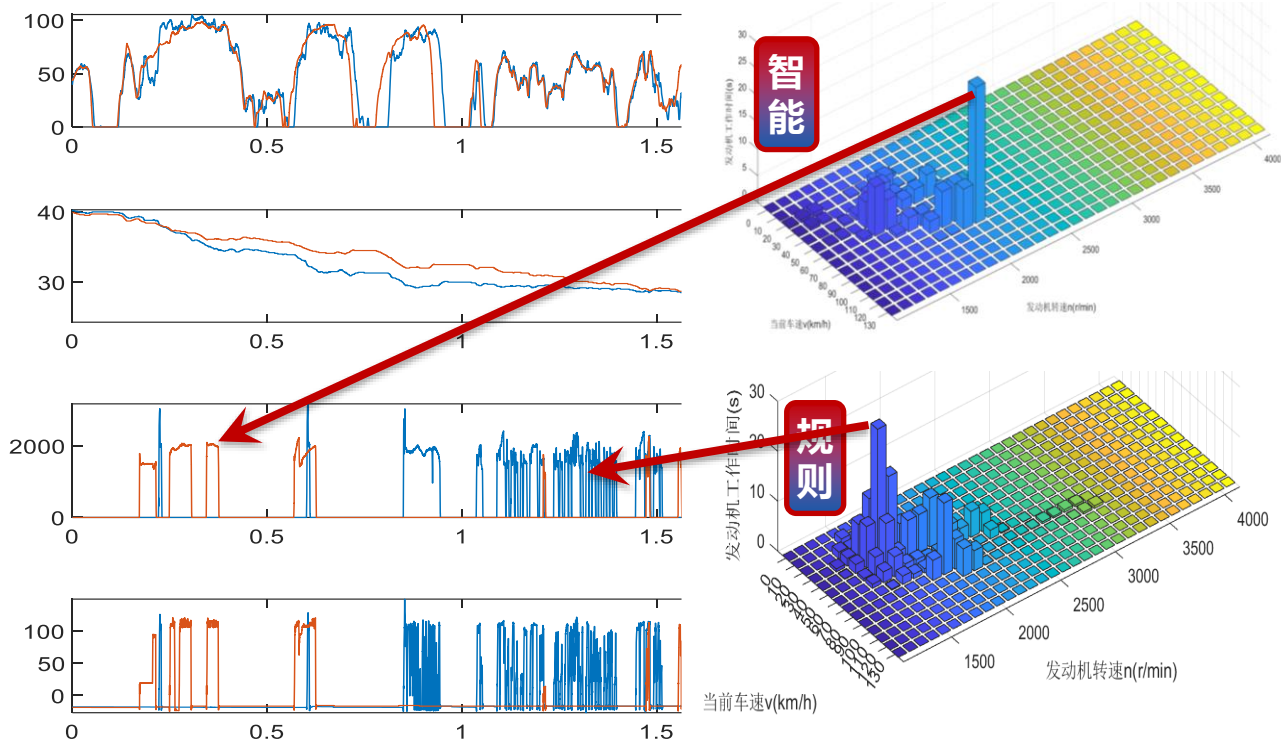
- **动力总成预测性能量管理软件介绍**
- 动力总成预测性能量管理软件测试环境介绍
- 静态场景的搭建
- 动态场景的搭建
- 软件测试环境的应用

# 动力总成预测性控制框架



- 预测性能量管理实现基础：智联信息的运用，实现速度序列预测和驾驶风格识别
- 预测性能量管理实现目标：通过优化算法寻找混合动力汽车的最优工作模式，调节动力总成相关部件的工作点

# 动力总成预测性能量管理简介



✓ 预测性能量管理，打破CD/CS的限制，实现能量的最优分配

**《新能源汽车产业发展规划》** (2021-2035)

以纯电动汽车、插电式混合动力（含增程式）汽车、燃料电池汽车为“三纵”，布局整车技术创新链。

- 1 研发新一代模块化高性能整车平台，攻关纯电动汽车底盘一体化设计、多能源动力系统集成技术。
- 2 突破整车智能能量管理控制、轻量化、低摩擦等共性节能技术。
- 3 提升电池管理、充电连接、结构设计等安全技术水平，提高新能源汽车整车综合性能。

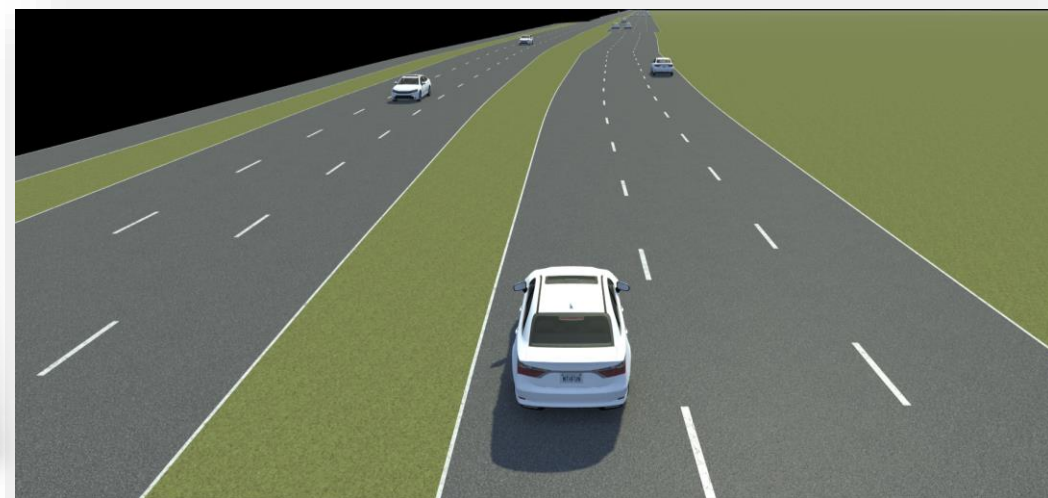




# 动力总成预测性能量管理简介



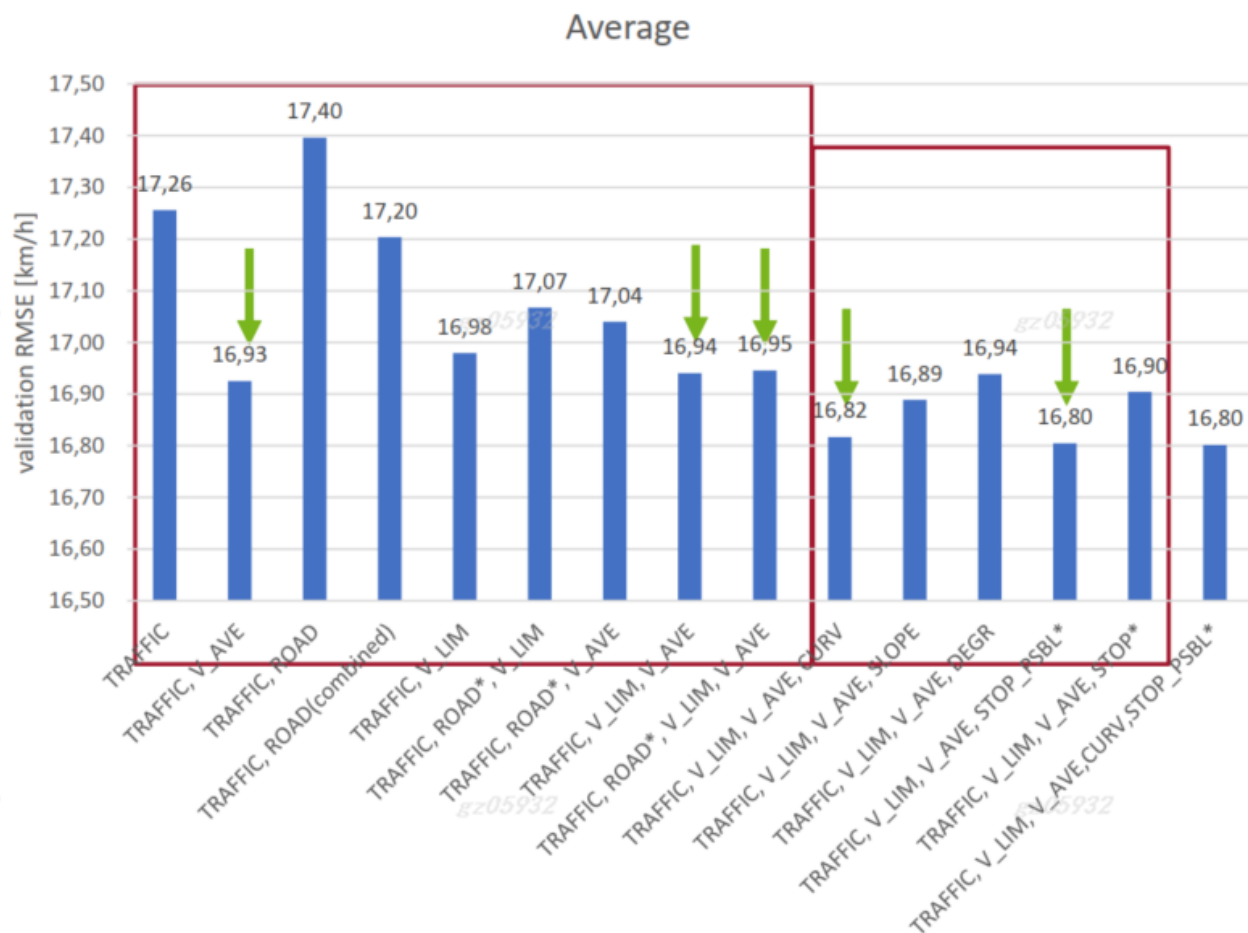
## 地图全程道路交通信息



## 自车位置前方短距离内的道路交通信息

- 根据地图**全程道路交通信息**和**自车位置前方短距离内的道路交通信息**，进行全局能量管理优化，使得实际使用路线**油耗最优**且拥堵过程发动机尽可能不介入，**减少拥堵噪音**

# 动力总成预测性能量管理特征影响分析



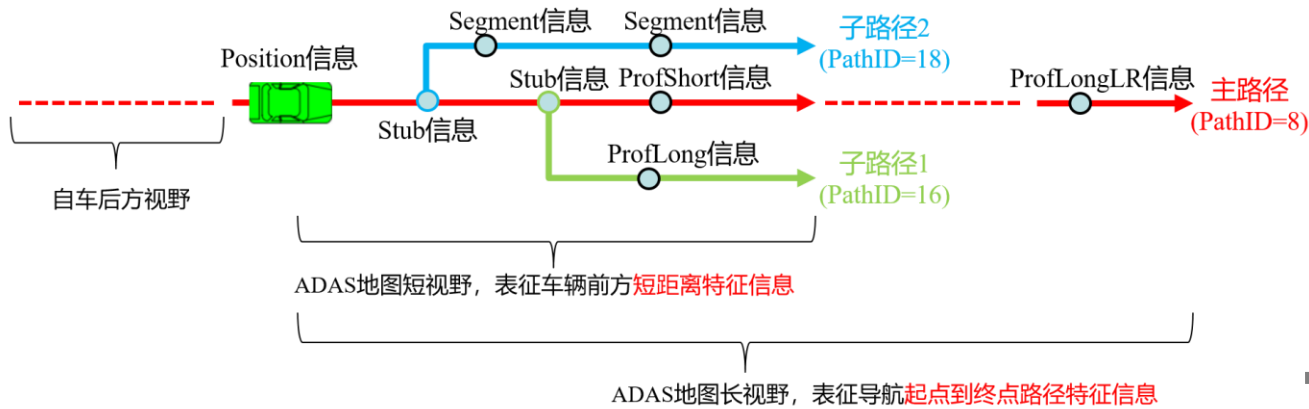
说明	误差中位数
平均车速	15.39
限速	18.37
实时交通流速	15.31
无驾驶员模型预测车速	12.55
<b>有驾驶员模型预测车速</b>	<b>11.69</b>

- 通过不同特征组合训练效果，寻找预测结果最优特征输入组合
- 经验证，确定速度预测结果受**交通流速、限速、坡度**等特征输入影响较大
- 将驾驶员驾驶风格引入预测模型，能有效提高速度序列的预测精度

- 动力总成预测性能量管理软件介绍
- **动力总成预测性能量管理软件测试环境介绍**
- 静态场景的搭建
- 动态场景的搭建
- 软件测试环境的应用

# MATLAB、RoadRunner和Sumo的联合仿真软件测试环境框架

- Position: 自车位置
- Segment: 路径分段, 主要包含限速等
- Stub: 路网结构, 主要包含主路径子路径信息
- ProfShort: 主要包含坡度曲率, 历史平均车速等
- ProfLong: 主要包含交通标识, 天气等
- ProLongLR: 主要包含整段导航路径上的交通流车速, 历史通勤车速等



- 全局/前方短距离特征点与自车距离
- 全局/前方短距离特征点坡度
- 全局/前方短距离特征点限速信息
- 全局/前方短距离特征点交通流速信息

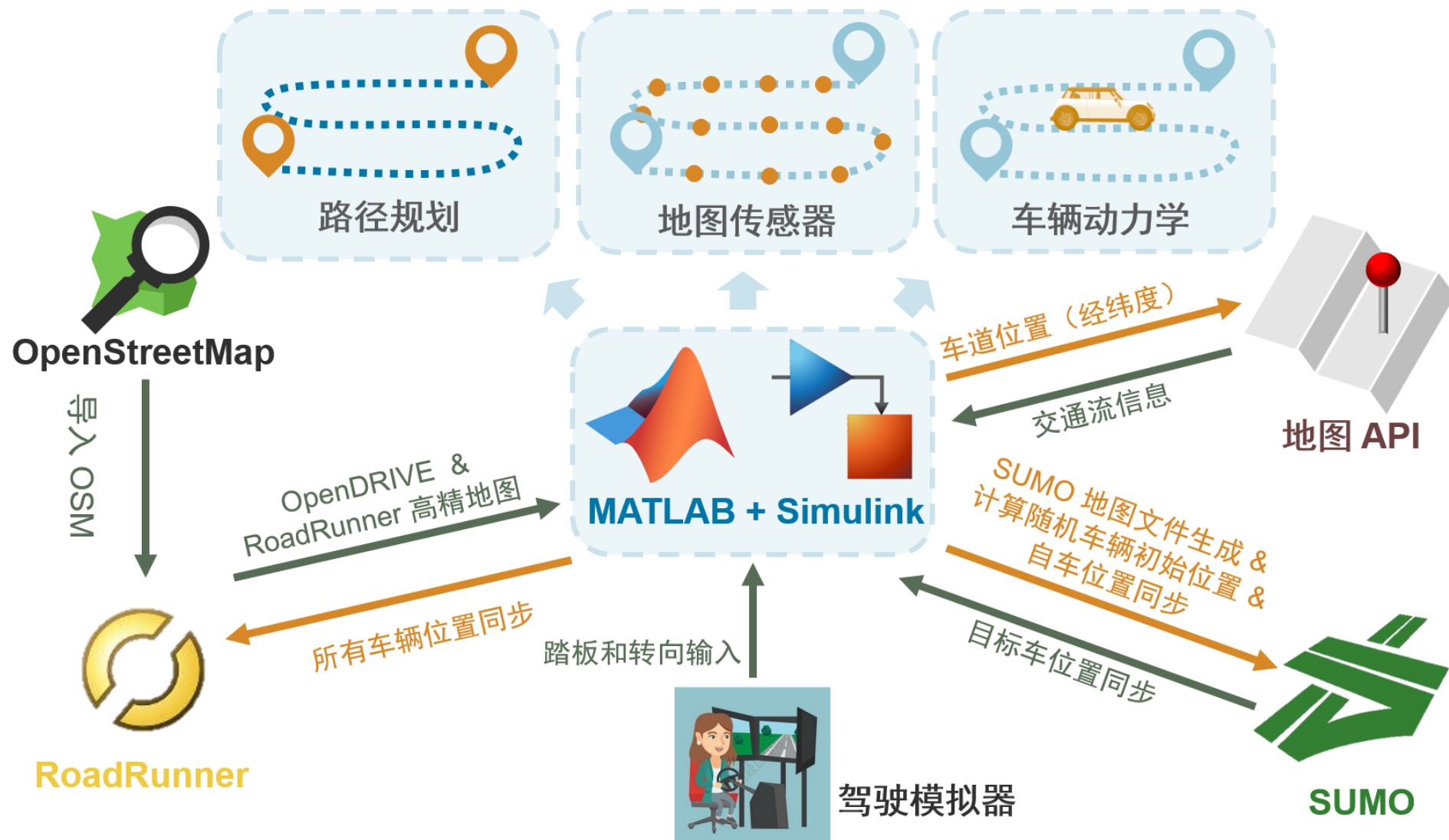
- 全局特征点交通拥堵状况
- 预估行驶总里程
- 车辆累计形式里程

.....





# MATLAB、RoadRunner和Sumo的联合仿真软件测试环境框架



- 动力总成预测性能量管理软件介绍
- 动力总成预测性能量管理软件测试环境介绍
- **静态场景的搭建**
- 动态场景的搭建
- 软件测试环境的应用

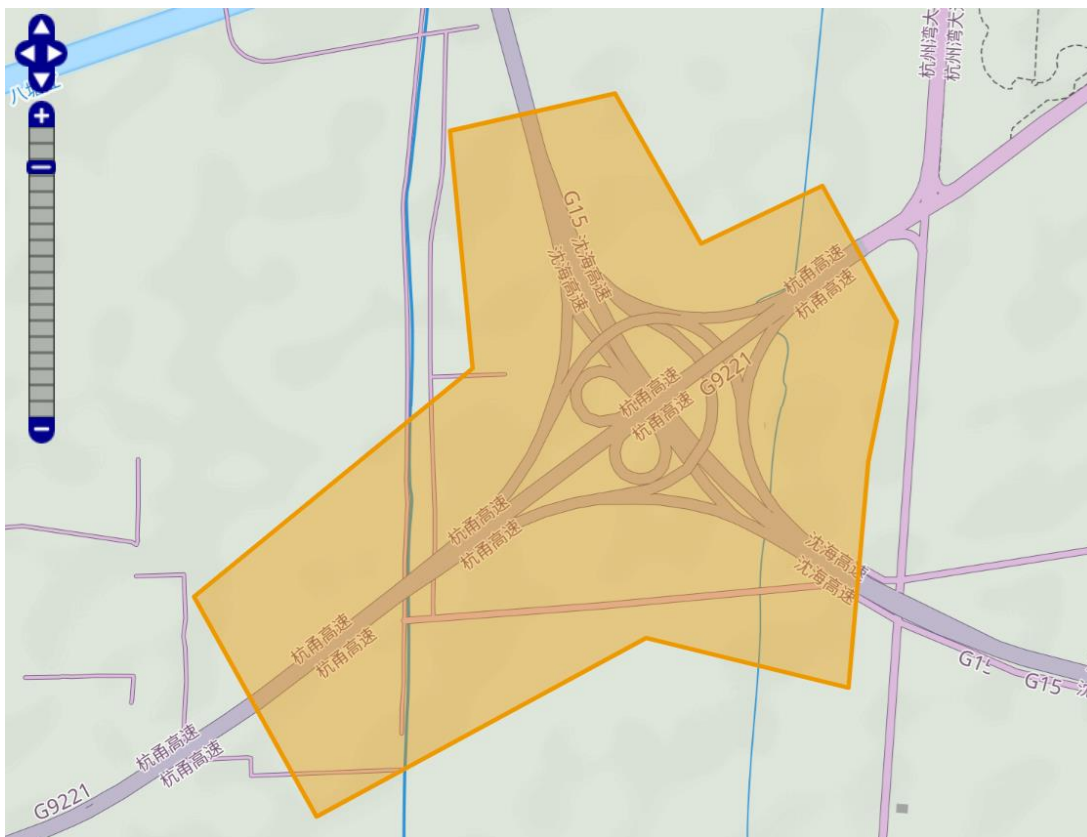
# 虚拟测试道路地图生成

OSM 地图选择

导入OSM地图

配置OpenDrive地图

SUMO 地图生成



```

</relation>
<relation id="2341149" version="1">
  <member type="node" ref="10175722077" role="stop"/>
  <member type="node" ref="9702282522" role="stop"/>
  <member type="way" ref="1055889739" role="platform"/>
  <member type="node" ref="10176095678" role="stop"/>
  <member type="way" ref="175020363" role="platform"/>
  <member type="node" ref="10176244869" role="stop"/>
  <member type="node" ref="10176244859" role="stop"/>
  <member type="node" ref="10176244850" role="stop"/>
  <member type="way" ref="175020366" role="platform"/>
  <member type="node" ref="10176244823" role="stop"/>
  <member type="way" ref="175020365" role="platform"/>
  <member type="node" ref="10176244821" role="stop"/>
  <member type="way" ref="175020361" role="platform"/>
  <member type="node" ref="10176244463" role="stop"/>
  <member type="way" ref="175020354" role="platform"/>
  <member type="node" ref="10176244465" role="stop"/>
  <member type="way" ref="175020368" role="platform"/>
  <member type="way" ref="972467226" role=""/>
  <member type="way" ref="174866804" role=""/>
  <member type="way" ref="1112309836" role=""/>
  <member type="way" ref="1112325320" role=""/>
  <member type="way" ref="1112325319" role=""/>
  <member type="way" ref="1112325318" role=""/>
  <member type="way" ref="1112325317" role=""/>
  <member type="way" ref="1112325316" role=""/>
  <tag k="colour" v="#003DA5"/>
  <tag k="from" v="鱼洞"/>
  <tag k="name" v="重庆轨道交通3号线: 鱼洞 → 江北机场T2航站楼"/>
  <tag k="name:en" v="Line 3: Yudong → Jiangbei Airport T2"/>
  <tag k="name:zh" v="重庆轨道交通3号线: 鱼洞 → 江北机场T2航站楼"/>
  <tag k="network" v="重庆轨道交通"/>
  <tag k="network:en" v="Chongqing Rail Transit"/>
  <tag k="network:short" v="CRT"/>

```

➤ OSM地图包含中低精度的数据，主要包含四个元素：

1. Node (节点)
2. Ways (路)
3. Relations (关系)
4. Tag (标签)

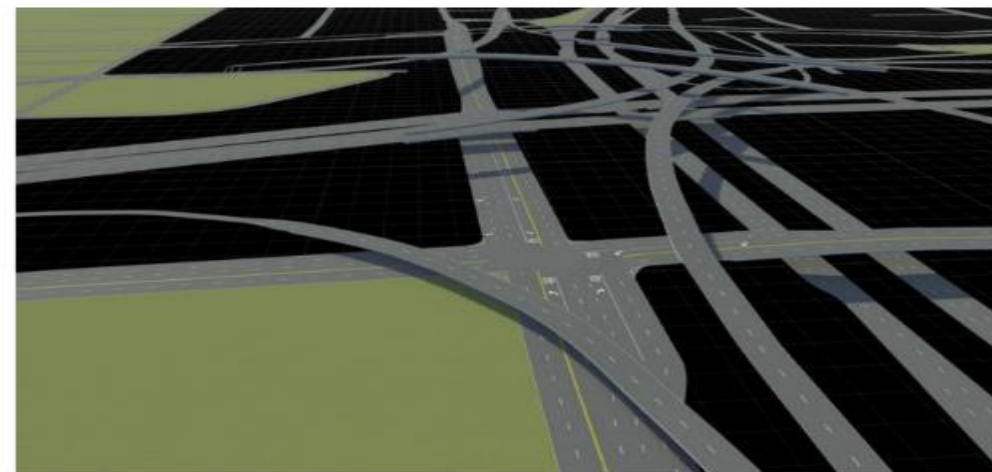
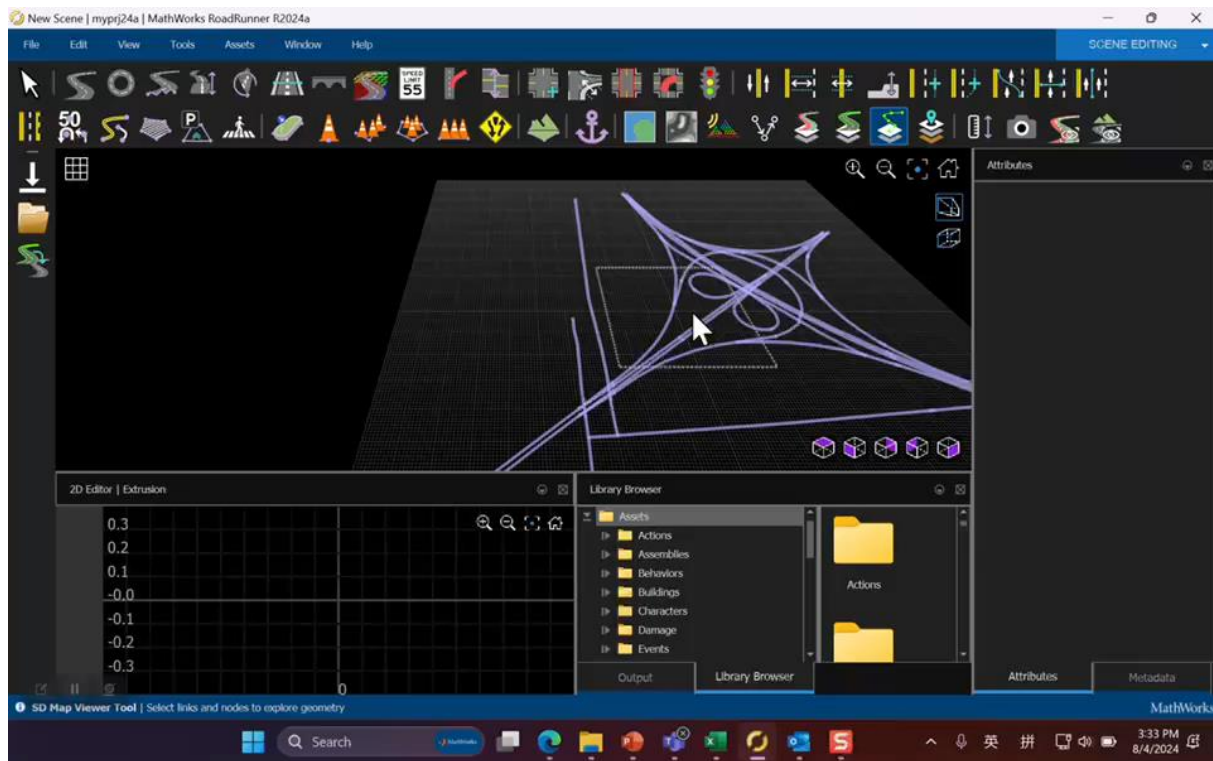
# 虚拟测试道路地图生成

OSM 地图选择

导入OSM地图

配置OpenDrive地图

SUMO 地图生成



RR识别复杂路网结构

- RoadRunner基于横轴墨卡托投影 (tmerc) 的方式将地图的经纬度信息 (WGS84坐标) 转换为RR本地坐标

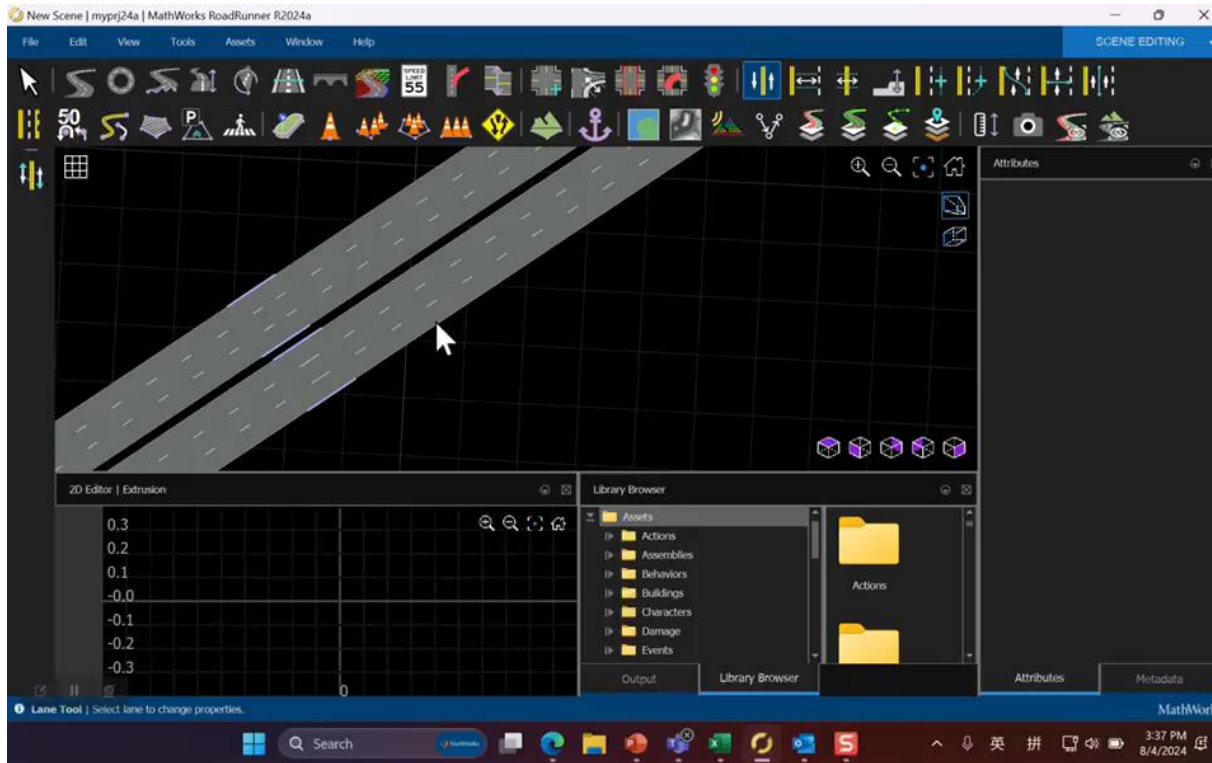
# 虚拟测试道路地图生成

OSM 地图选择

导入OSM地图

配置OpenDrive地图

SUMO 地图生成



```

</road>
<road name="Road 71" length="8.7140000000000015e+01" id="71" junction="-1">
  <link>
    <predecessor elementType="junction" elementId="720"/>
    <successor elementType="junction" elementId="535"/>
  </link>
  <type s="0.0000000000000000e+00" tvpe="town">
    <speed max="40" unit="mph"/>
  </type>
  <planView>
    <geometry s="0.0000000000000000e+00" x="2.3761133482609184e+03" y="-1.0838413520065029e+02" hdg="-2.1490043805783827e+00" length="2.8230695065336580e+00">
      <line/>
    </geometry>
    <geometry s="2.8230695065336580e+00" x="2.3745704725656042e+03" y="-1.1074829594550856e+02" hdg="-2.1490043805783827e+00" length="5.8101474437921574e-01">
      <arc curvature="2.0000000000000000e-03"/>
    </geometry>
    <geometry s="3.4040842509128719e+00" x="2.3742532167435197e+03" y="-1.1123504725629597e+02" hdg="-2.1478423510897846e+00" length="8.1614031181792569e+01">

```

## RR输出OpenDrive地图格式

- 通过RoadRunner将OSM地图格式转换为OpenDrive地图格式，并配置相关路径的限速信息和高程信息，通过MATLAB开发的相关API接口可直接读取这部分静态信息用于测试输入



# 虚拟测试道路地图生成

OSM 地图选择

导入OSM地图

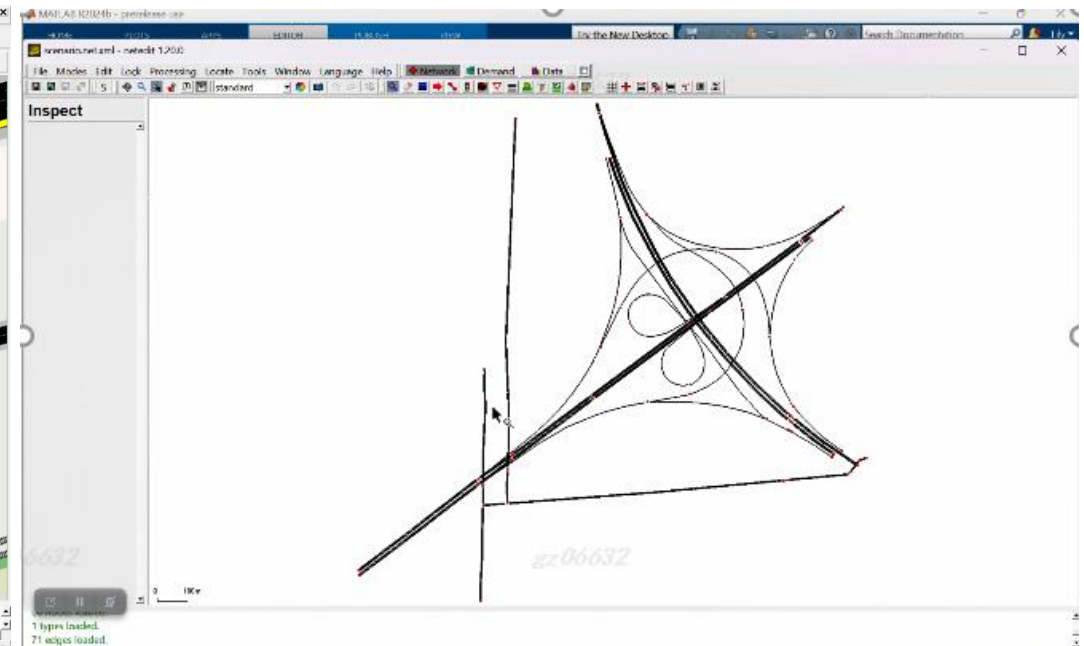
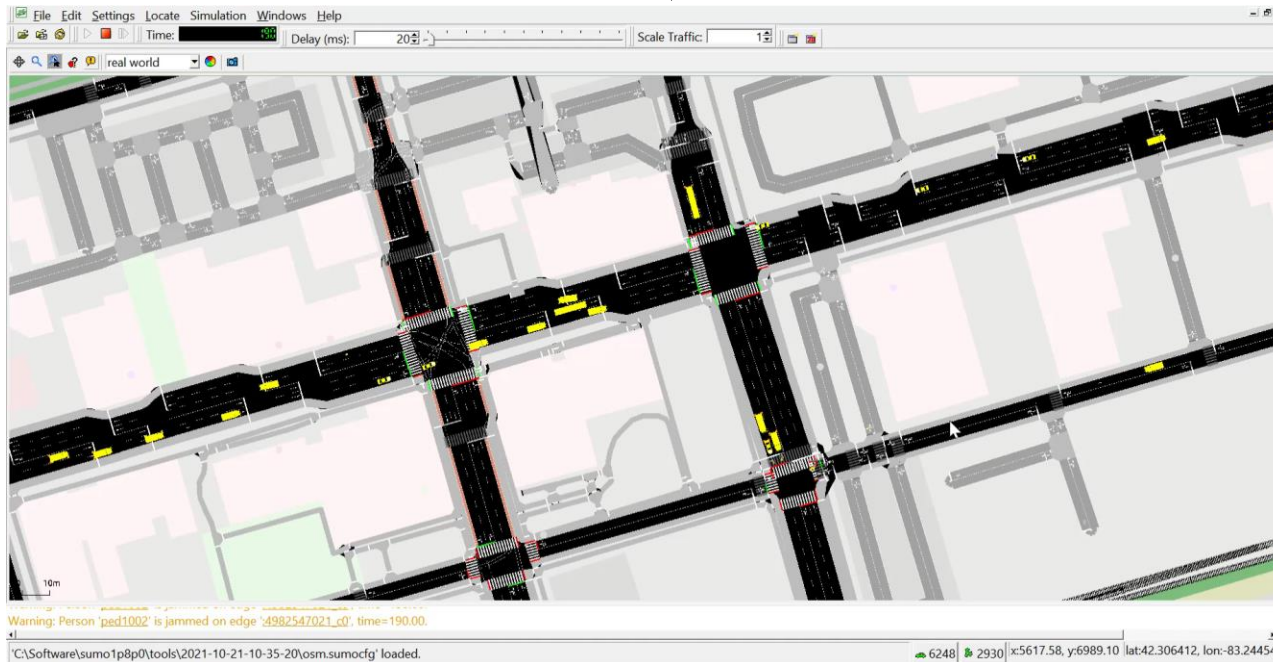
配置OpenDrive地图

**SUMO 地图生成**

```
%% Generate Sumo files
% Generate network file
system("netconvert --opendrive " + fullfile(pwd,scenarioName+".xodr") + " --crossings.guess true --sidewalks.guess.min-speed 0 --
" --output.original-names true --proj.plain-geo -o " + sumoScenarioLocation + "\scenario.net.xml --no-internal-links false");
% Generate trips and route file
system("randomTrips.py" + " -n " + sumoScenarioLocation + "\scenario.net.xml -b 0 -e " + 0.01 + " -p " + 1 + " -o " + sumoScenarioL
"--route-file " + sumoScenarioLocation + "\scenario.rou.xml" + ...
" --random-departpos --duarouter-exit-times true --duarouter-route-length true --duarouter-write-trips.geo true");
```

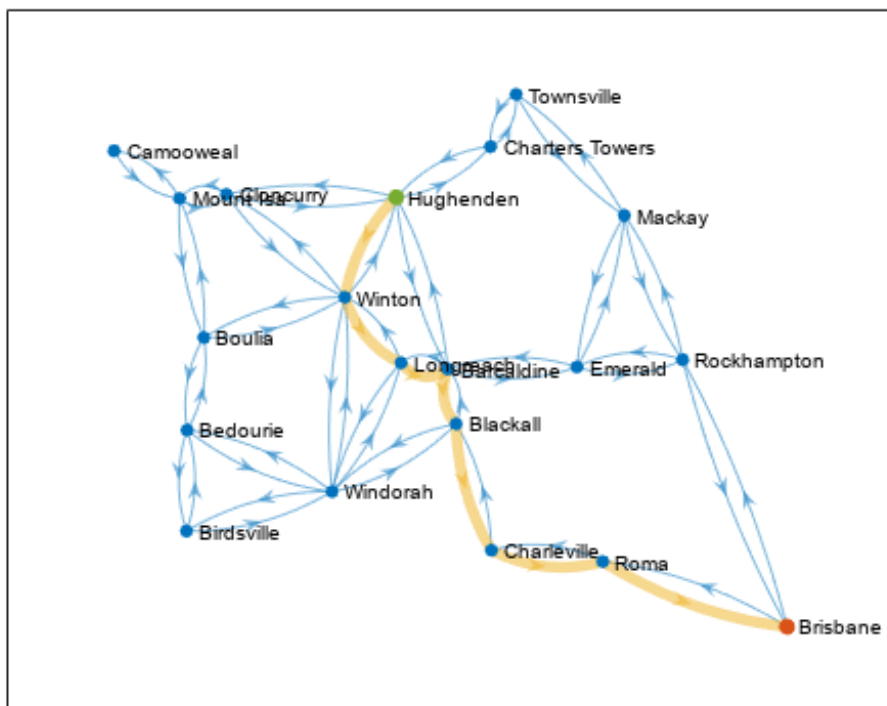


↓ 通过相关指令将OpenDrive地图转换为Sumo可运行识别的路网文件

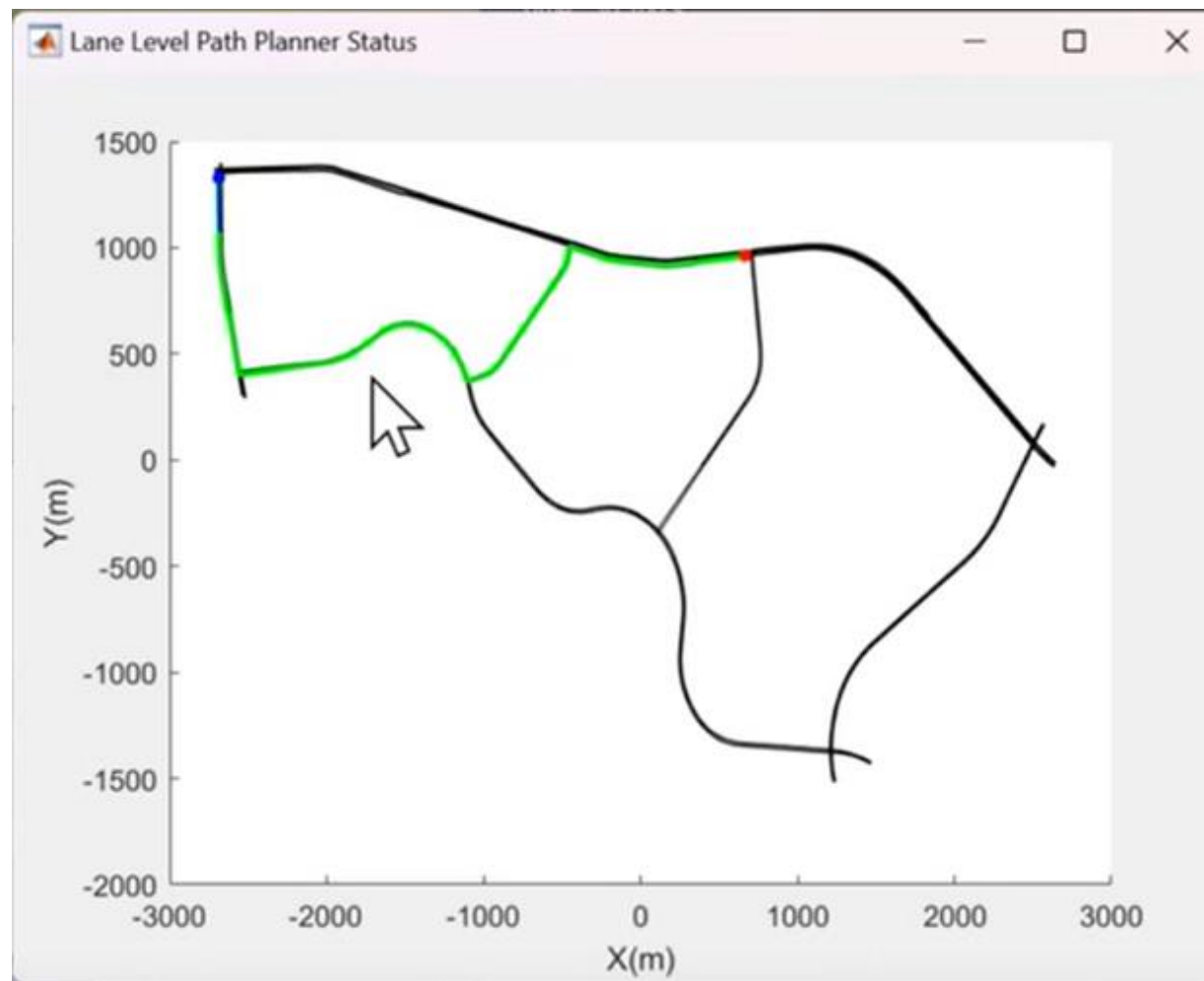




# 导航路径规划功能实现



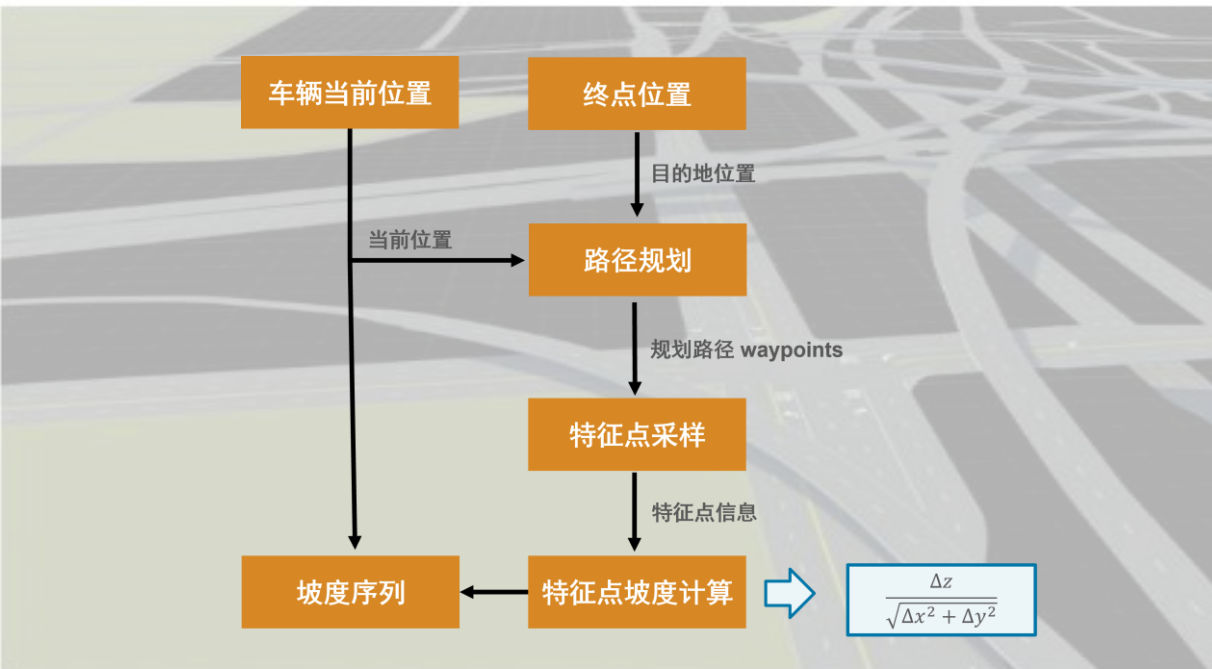
当前基于A\*路径规划算法，实现模拟导航功能，找寻一条最短行驶路程的路径



<https://ww2.mathworks.cn/help/nav/ref/plannerastar.html>

## 道路坡度信息获取

- 坡度信息涉及到优化算法中阻力功率的计算，准确的坡度信息能有效预测车速和跟随最优SOC曲线
- 法规原因，图商有时无法提供准确的道路坡度信息，在虚拟环境中提前模拟类似工况能有效指导软件开发



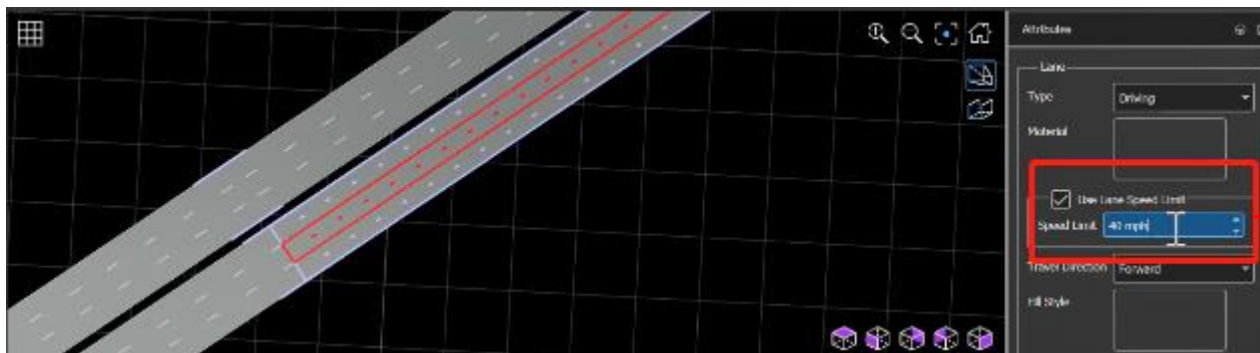
计算原理

```

%Compute grade on feature points
function [s, theta, grade] = getCurveTheta(obj, path)
    % Get cumulative distance
    d = diff(path);
    s = [0, cumsum(vecnorm(d,2,2))'];
    % Get theta
    theta = atan2(d(:,2), d(:,1));
    theta = [theta(1); theta]';
    % Get grade
    denom = gradient(s);
    denom(denom==0) = 0.001;
    grade = atan(gradient(path(:,3))./denom)';
end
  
```

代码实现

# 限速信息获取



RoadRunner地图限速信息设定

```
</road>
<road name="Road 71" length="8.7140000000000015e+01" id="71" junction="-1">
  <link>
    <predecessor elementType="junction" elementId="720"/>
    <successor elementType="junction" elementId="535"/>
  </link>
  <type s="0.0000000000000000e+00" tpe="town">
    <speed max="40" unit="mph"/>
  </type>
  <planView>
    <geometry s="0.0000000000000000e+00" x="2.3761133482609184e+03" y="-1.0838413520065029e+02" hdg="-2.1490043805783827e+00" length="2.8230695065336580e+00">
      <line/>
    </geometry>
    <geometry s="2.8230695065336580e+00" x="2.3745704725656042e+03" y="-1.107482954550856e+02" hdg="-2.1490043805783827e+00" length="5.8101474437921574e-01">
      <arc curvature="2.0000000000000000e-03"/>
    </geometry>
    <geometry s="3.4040842509128719e+00" x="2.3742532167435197e+03" y="-1.1123504725629597e+02" hdg="-2.1478423510897846e+00" length="8.1614031181792569e+01">
```

计算原理

```
for ii=1:length(path)
  thisPoint = path(ii,:);
  thisPose = struct('Position', thisPoint, 'Yaw', 0, '
  currentLane = obj.QueryAPI.getCurrentLane(thisPose);
  if(isempty(currentLane))
    speedLimits(ii) = -1;
    break;
  end
  speedLimitRef = obj.map.map.lanes(currentLane).param
```

通过相关API接口RR可读取道路的限速信息

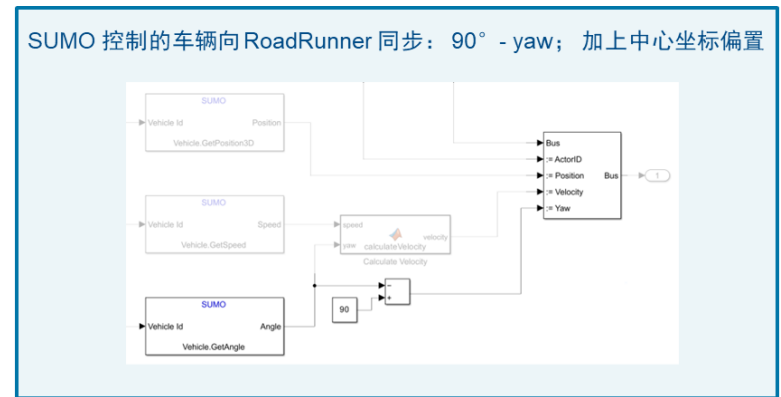
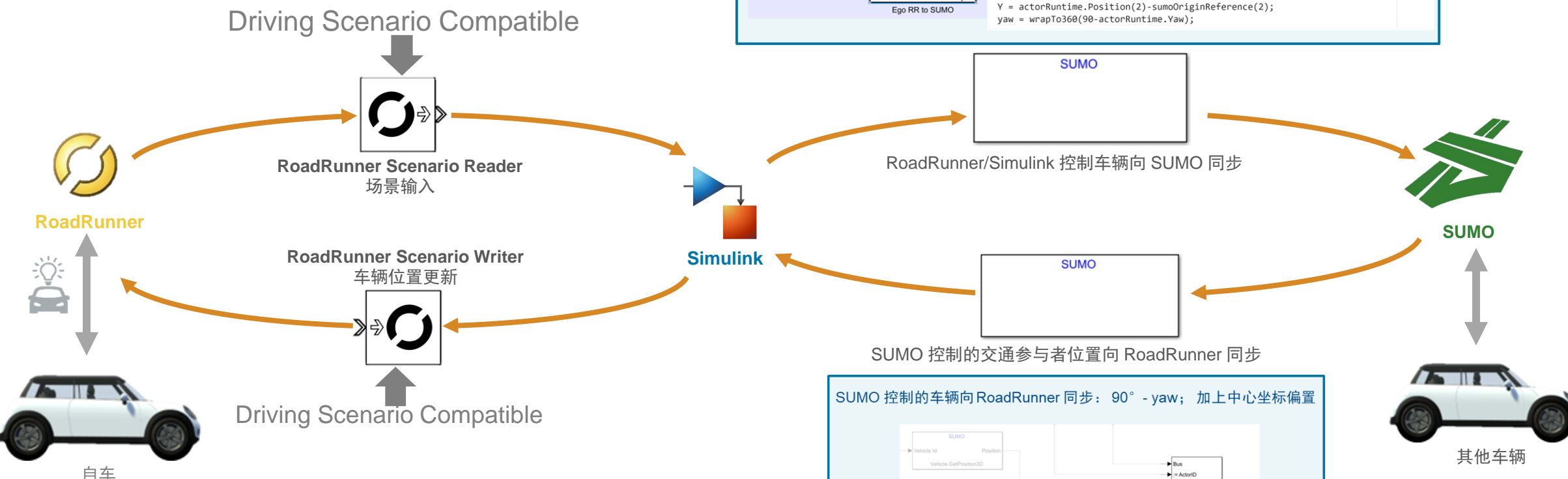
- 动力总成预测性能量管理软件介绍
- 动力总成预测性能量管理软件测试环境介绍
- 静态场景的搭建
- **动态场景的搭建**
- 软件测试环境的应用

# MATLAB/Simulink与Sumo, RoadRunner通讯交互

Simulink 控制的自车位置向 SUMO 同步:  $90^\circ - \text{yaw}$ ; 减去中心坐标偏置

```

function [actorID, edgeID, X, Y, yaw] = getPose(actorRuntime, sumoOriginReference)
coder.extrinsic('evalin')
% sumoOriginReference = evalin("base","sumoOriginReference");
actorID = sprintf("%u",uint16(actorRuntime.ActorID));
edgeID = "";
X = actorRuntime.Position(1)-sumoOriginReference(1);
Y = actorRuntime.Position(2)-sumoOriginReference(2);
yaw = wrapTo360(90-actorRuntime.Yaw);
    
```



# 自定义配置Sumo交通流

## flow.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<routes>
  <vType id="changtong" maxDesiredSpeed="100" speedFactor="normc(1, 0.1, 0.2, 2)"/>
  <vType id="huanxing" maxDesiredSpeed="60" speedFactor="normc(1, 0.1, 0.2, 2)"/>
  <vType id="yongdu" maxDesiredSpeed="40" speedFactor="normc(1, 0.1, 0.2, 2)"/>
  <vType id="yanzhongyongdu" maxDesiredSpeed="15" speedFactor="normc(1, 0.1, 0.2, 2)"/>
  <flow begin="0" depart="0" end="7200" fromLonLat="106.6531,29.5143" id="1" toLonLat="106.5826,29.6325" type="changtong" vehsPerHour="600"/>
  <flow begin="0" depart="0" end="7200" fromLonLat="106.5826,29.6325" id="2" toLonLat="106.6213,29.6335" type="changtong" vehsPerHour="600"/>
  <flow begin="0" depart="0" end="7200" fromLonLat="106.6213,29.6335" id="3" toLonLat="106.6429,29.6535" type="huanxing" vehsPerHour="800"/>
</routes>
```

## rou.xml

```
<routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
  <vType id="huanxing" speedFactor="normc(1.00, 0.10, 0.20, 2.00)"/>
  <vehicle id="3.0" type="huanxing" depart="2.01" departLane="random">
    <route edges="138319518 138332251#0-AddedOnRampEdge 138332251#0 138332251#0-AddedOffRampEdge 497715485#0 497715485#1 497715428#1-AddedOnRampEd
  </vehicle>
  <vehicle id="3.1" type="huanxing" depart="5.62" departLane="random">
    <route edges="138319518 138332251#0-AddedOnRampEdge 138332251#0 138332251#0-AddedOffRampEdge 497715485#0 497715485#1 497715428#1-AddedOnRampEd
  </vehicle>
  <vType id="changtong" speedFactor="normc(1.00, 0.10, 0.20, 2.00)"/>
  <vehicle id="2.0" type="changtong" depart="9.07" departLane="random">
    <route edges="139500589-AddedOffRampEdge 139500588#1 139500445#1-AddedOnRampEdge 139500445#1 139500445#1-AddedOffRampEdge 138338342#1 13833834
  </vehicle>
  <vehicle id="1.0" type="changtong" depart="15.37" departLane="random">
    <route edges="1021360397#1 276966654#2 342688233#3 342688233#4 342688233#4-AddedOffRampEdge 342688228#0 342688228#0-AddedOffRampEdge 342688228
  </vehicle>
  <vehicle id="3.2" type="huanxing" depart="19.62" departLane="random">
    <route edges="138319518 138332251#0-AddedOnRampEdge 138332251#0 138332251#0-AddedOffRampEdge 497715485#0 497715485#1 497715428#1-AddedOnRampEd
  </vehicle>
  <vehicle id="3.3" type="huanxing" depart="19.86" departLane="random">
    <route edges="138319518 138332251#0-AddedOnRampEdge 138332251#0 138332251#0-AddedOffRampEdge 497715485#0 497715485#1 497715428#1-AddedOnRampEd
  </vehicle>
  <vehicle id="1.1" type="changtong" depart="20.15" departLane="random">
    <route edges="1021360397#1 276966654#2 342688233#3 342688233#4 342688233#4-AddedOffRampEdge 342688228#0 342688228#0-AddedOffRampEdge 342688228
  </vehicle>
  <vehicle id="2.1" type="changtong" depart="20.72" departLane="random">
    <route edges="139500589-AddedOffRampEdge 139500588#1 139500445#1-AddedOnRampEdge 139500445#1 139500445#1-AddedOffRampEdge 138338342#1 13833834
  </vehicle>
  <vehicle id="2.2" type="changtong" depart="23.45" departLane="random">
    <route edges="139500589-AddedOffRampEdge 139500588#1 139500445#1-AddedOnRampEdge 139500445#1 139500445#1-AddedOffRampEdge 138338342#1 13833834
  </vehicle>
```

➤ 基于SUMO的配置要求，自行对配置flow.xml文件和rou.xml文件的参数进行设置，用于表征每个交通流(flow)参与者在特定路径(route)上的车速表现



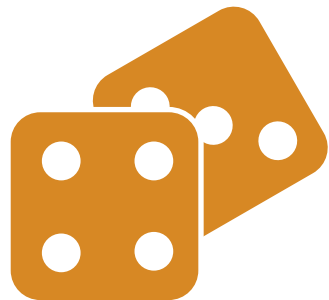
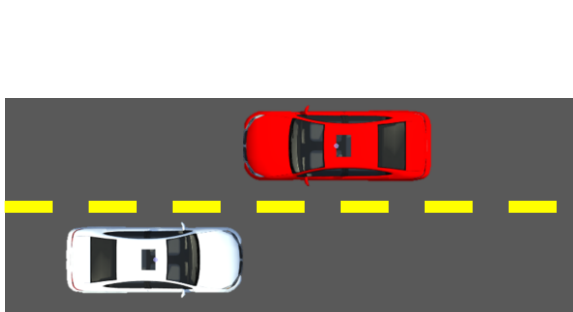
# 基于图商开发者平台的交通信息配置获取



- 通过URL请求，依托图商开放信息，获取规划路径的交通状态

status	路况	0: 未知;1: 畅通;2: 缓行;3: 拥堵
direction	方向描述	
angle	车行角度, 判断道路正反向使用。	以正东方向为 0 度, 顺时针方向为正, 取值范围: [0,360]
lcodes	负值表示反方向	
speed	平均速度	单位: km/hr, 四舍五入取整
polyline	道路坐标集, 坐标集合	经度和纬度使用","分隔, 坐标之间使用";"分隔。例如: x1,y1;x2,y2

# 随机交通流生成



车速

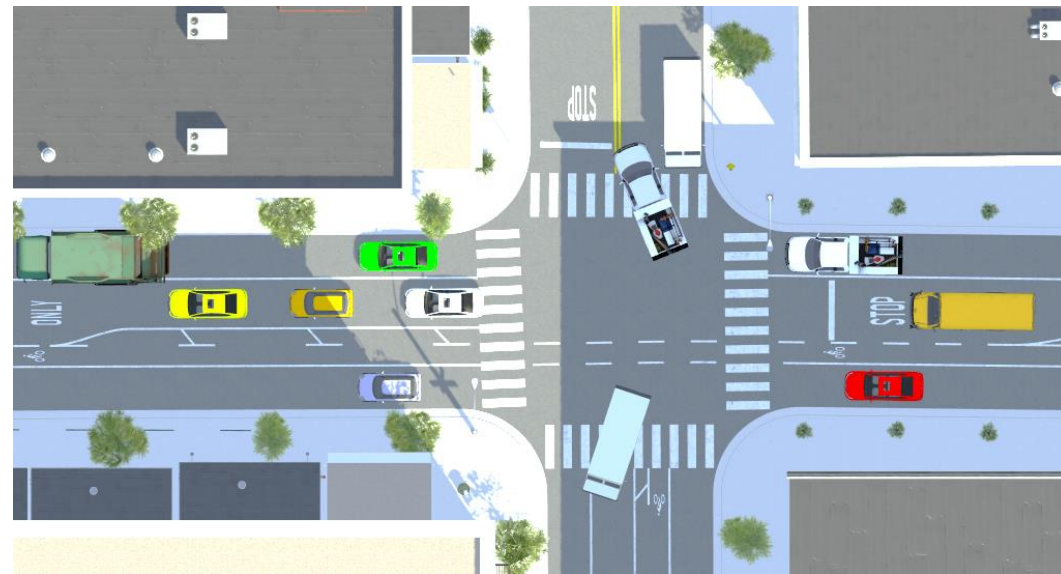
$f(x)$

数量

生成车辆

流量

位置



地图API反馈信息



MATLAB

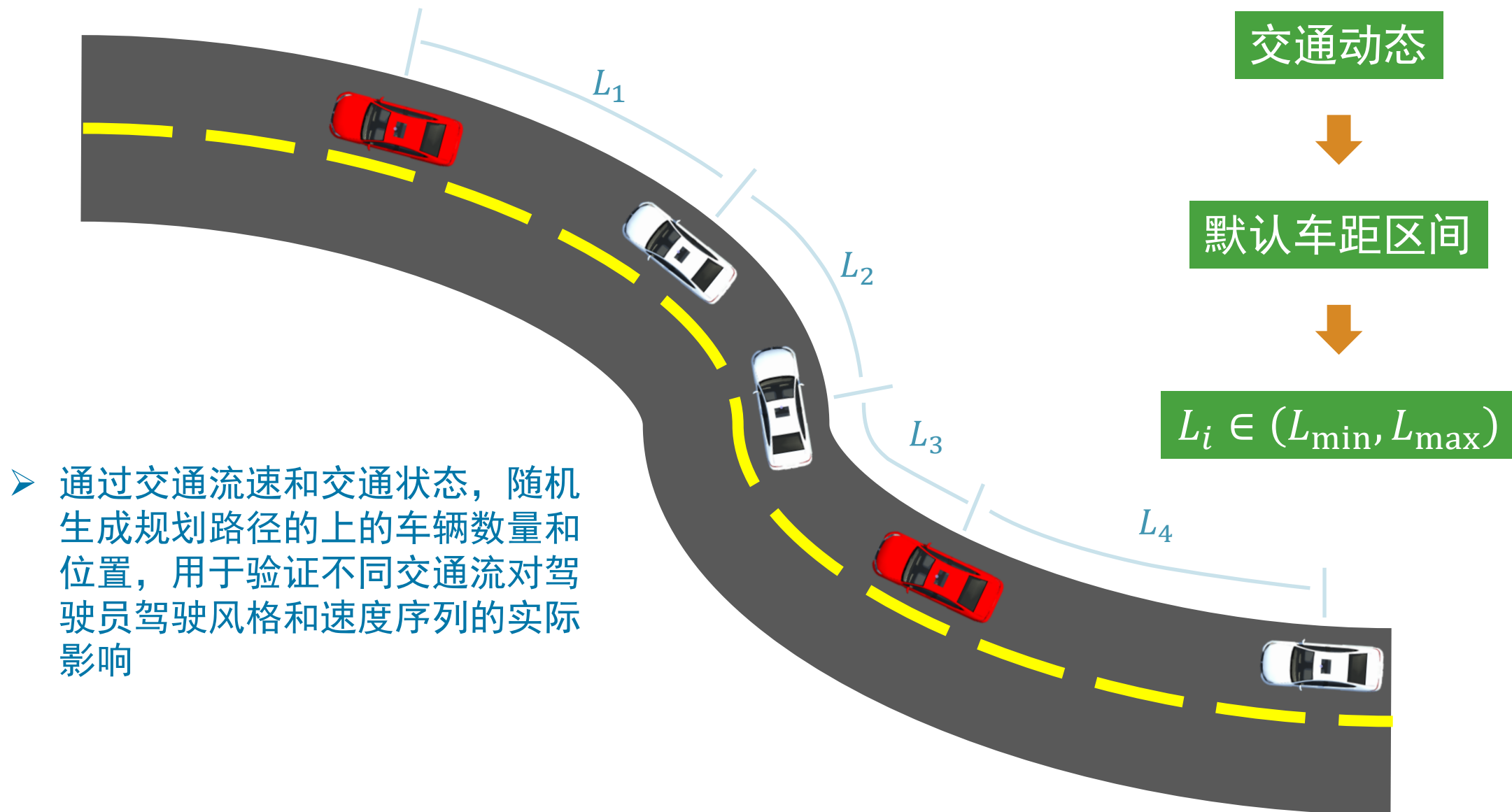


RoadRunner

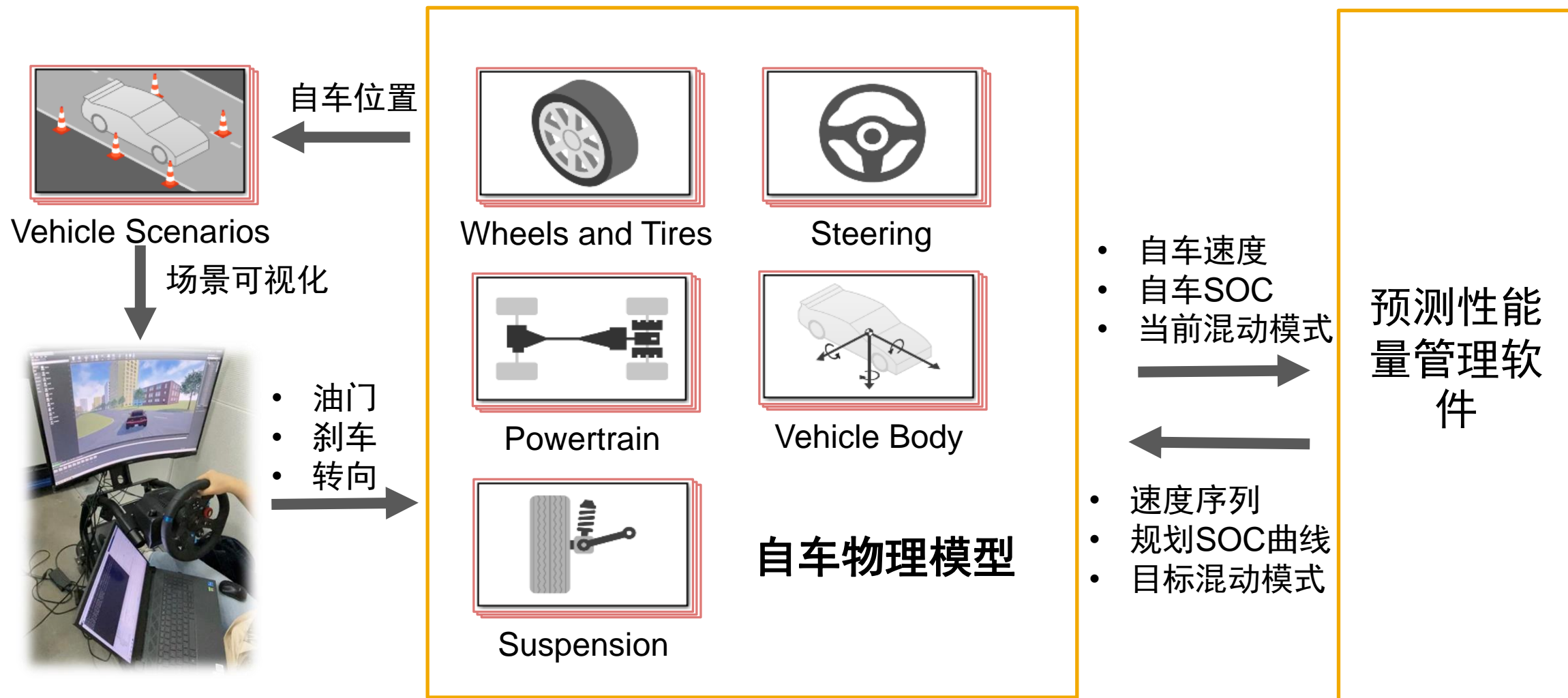


SUMO

## 随机交通流生成



# 基于驾驶员在环的EgoVehicle控制交互



- 动力总成预测性能量管理软件介绍
- 动力总成预测性能量管理软件测试环境介绍
- 静态场景的搭建
- 动态场景的搭建
- **软件测试环境的应用**





# 实车场景环境复现的优化应用

- 对实车测试过程中遇到的问题，通过场景复现的行驶进行软件的迭代优化
- 验证如何在无精准场景信息的情况下实现全局优化

坡度

曲率

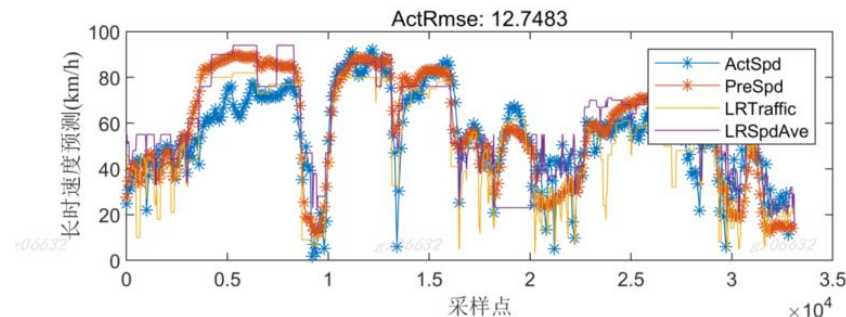
限速

拥堵等级

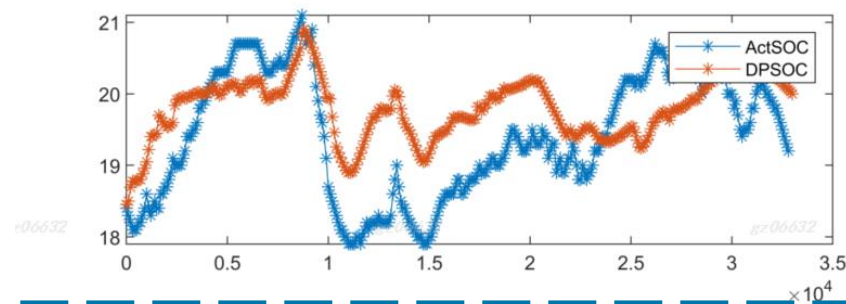
交通流速信息

预测性能  
量管理  
软件

- 驾驶风格预测
- 速度序列预测
- SOC曲线

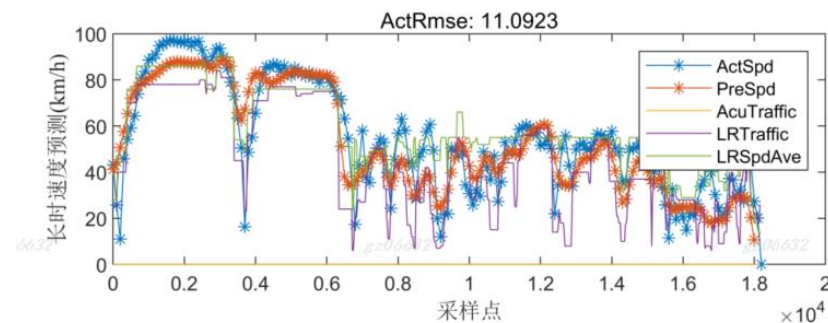


✗ 场景信息缺失  
速度预测结果较差



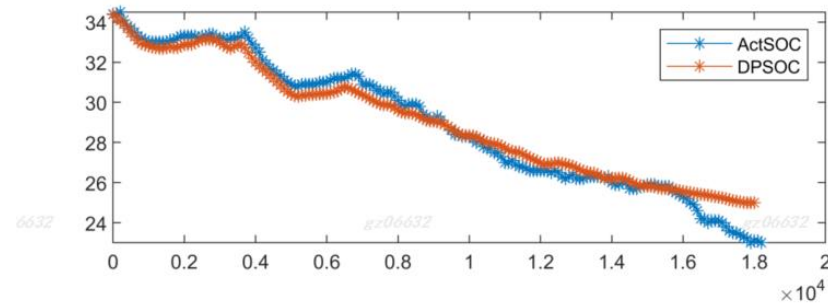
✗ SOC跟随较差

优化前



✓ 速度预测结果较好

优化后



✓ SOC跟随较好

## 要点总结

- 基于MATLAB/RoadRunner/SUMO的联合仿真环境，能够有效地模拟预测性能量管理软件所需的特征输入，包括坡度，限速，交通流信息等
- 通过接入真实驾驶员在环控制，结合场景信息，不依赖于实车测试，能够为驾驶风格识别和速度序列预测提供有效的判别依据
- 对场景参数的泛化，在软件开发和测试过程中，能够扩大算法的测试集，减少实车测试的周期和成本
- 对于实车上由于部分法规原因无法从场景精确获取的信息，虚拟场景的建立能在软件开发过程中对相关逻辑进行提前识别开发
- 基于MATLAB/RoadRunner的场景开发环境，能够提供丰富的API接口，未来在整合车辆各领域如智驾底盘开发等方面具备广阔应用前景

# 2024 MathWorks 中国汽车年会

## Thank you

