



海格客车

# 基于MATLAB/RoadRunner重建自动驾驶仿真场景及在规控算法开发中的应用

刘明春 博士，金龙联合汽车工业（苏州）有限公司

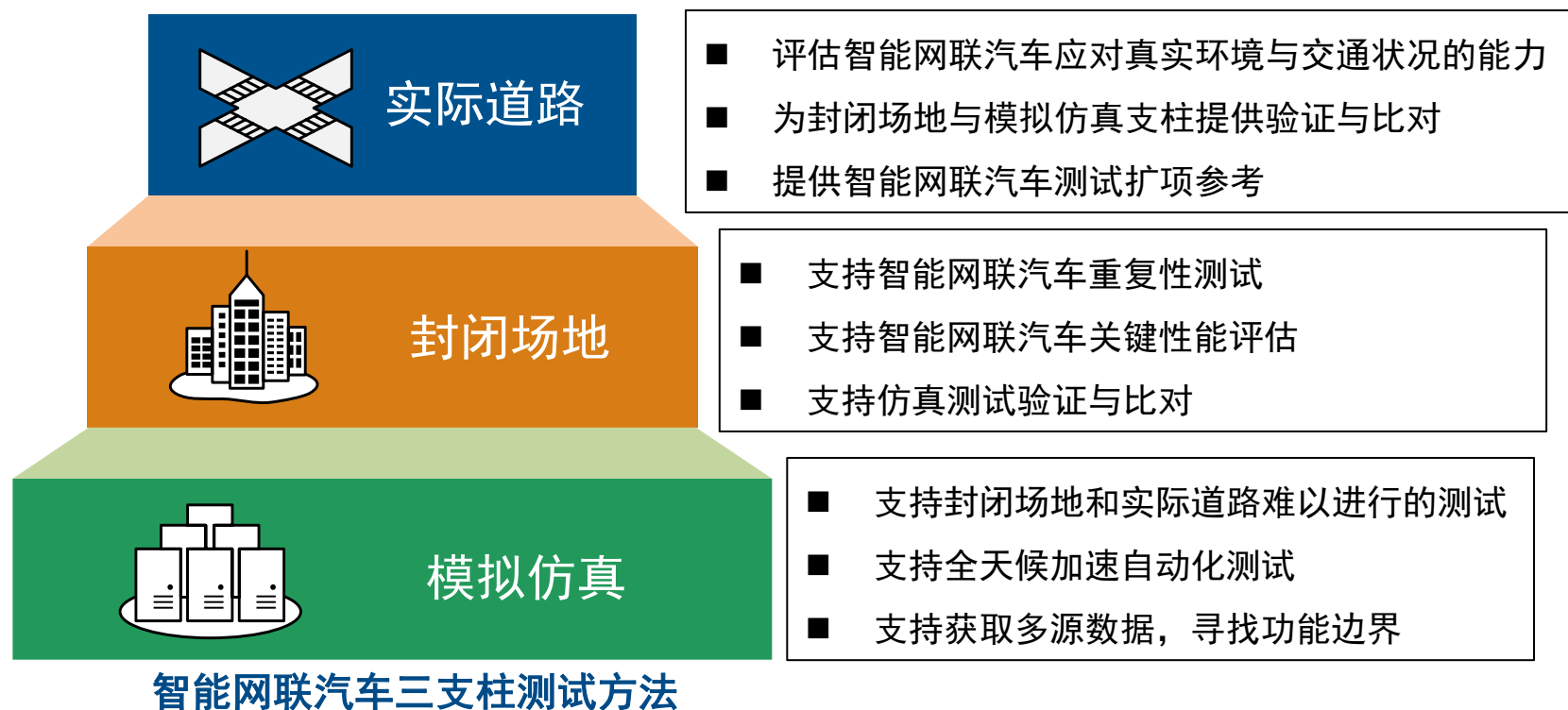
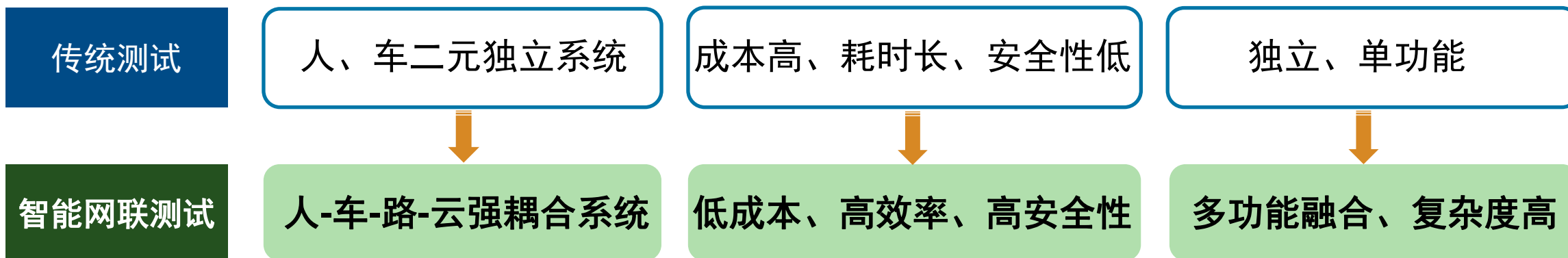


2024 MathWorks  
中国汽车年会

## 目录

- 一、自动驾驶系统仿真的意义及难点
- 二、基于MATLAB/RoadRunner的自动驾驶仿真场景重建方法
- 三、基于自动驾驶仿真场景的规控算法开发案例

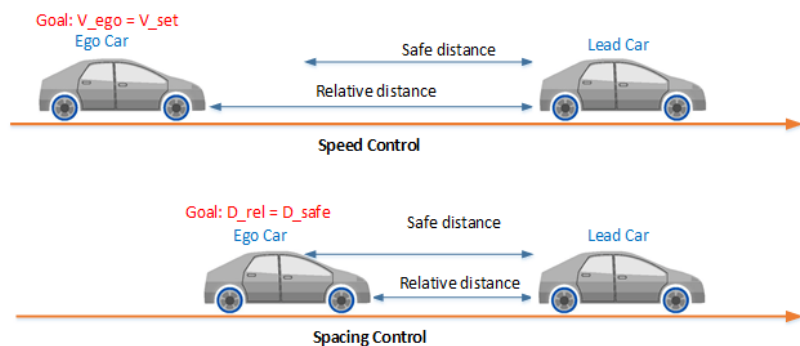
# 自动驾驶研发过程中场景仿真的意义



# 自动驾驶研发过程中场景仿真的意义

测试方法	模拟仿真测试	封闭场地测试	开放道路测试
优点	测试周期短、成本低 危险+边界场景测试自动化测试 安全性高	可信度较高 支持关键场景重复测试	可信度高 支持场景交互
缺点	可信度较低 模型开发成本高	场景覆盖度低 场景搭建成本高 场景复杂度低	成本高、周期长 场景重复性低 安全性低

回归测试



ACC



近处 cut-in

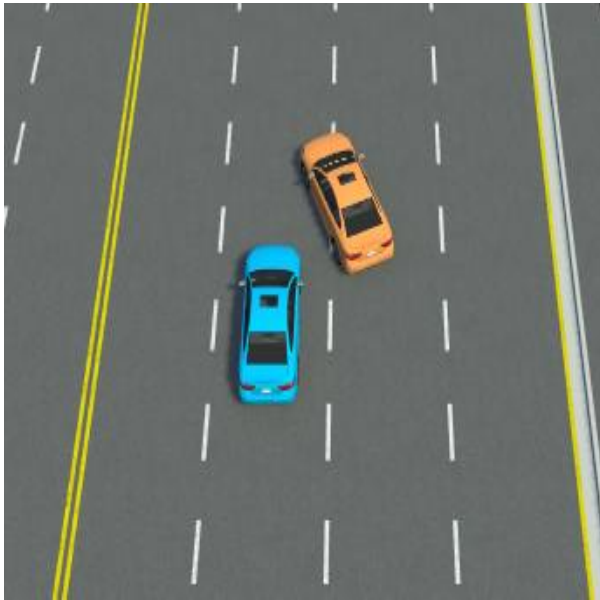


元素复杂场景

长尾场景测试

# 自动驾驶系统场景仿真中存在的难点

## 覆盖度低



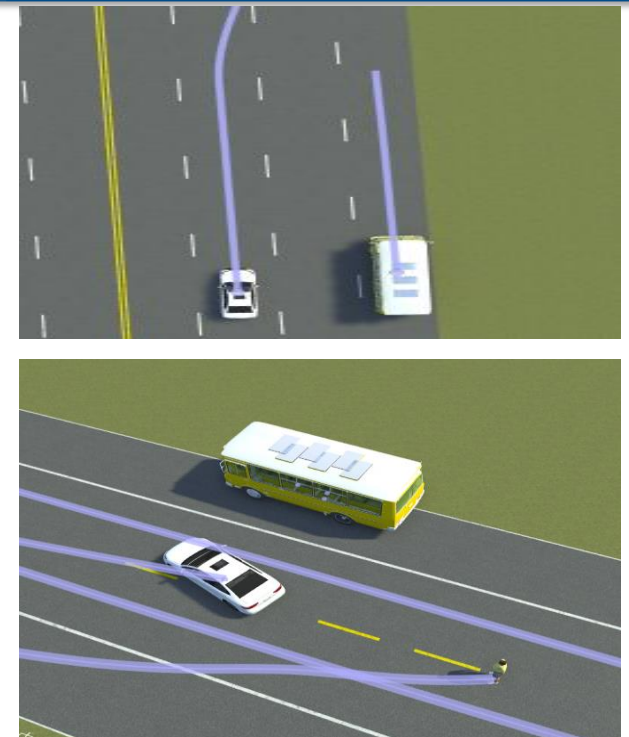
泛化场景不符合统计学意义

## 还原度低



拟合度水平低、无法量化

## 可信度低

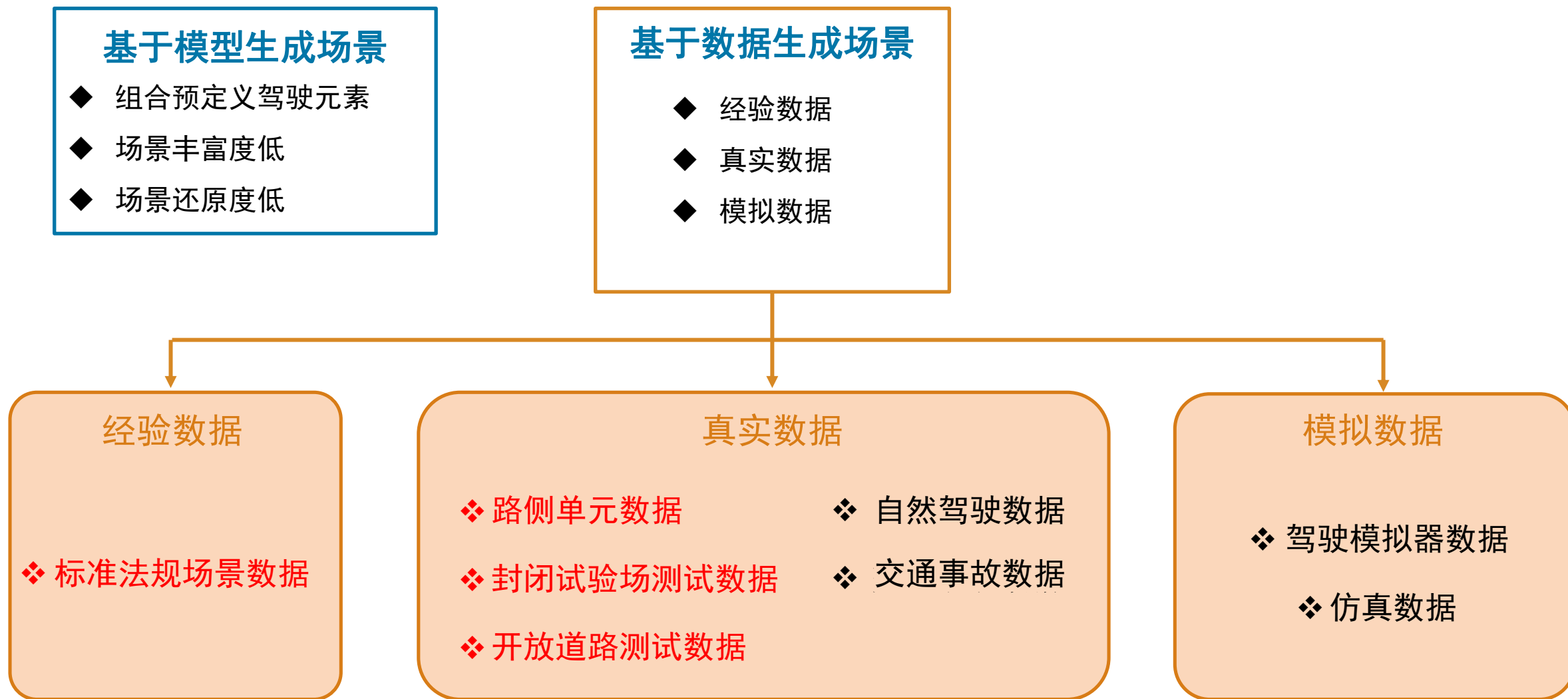


数据为轨迹点，参数标定难度大

# 目录

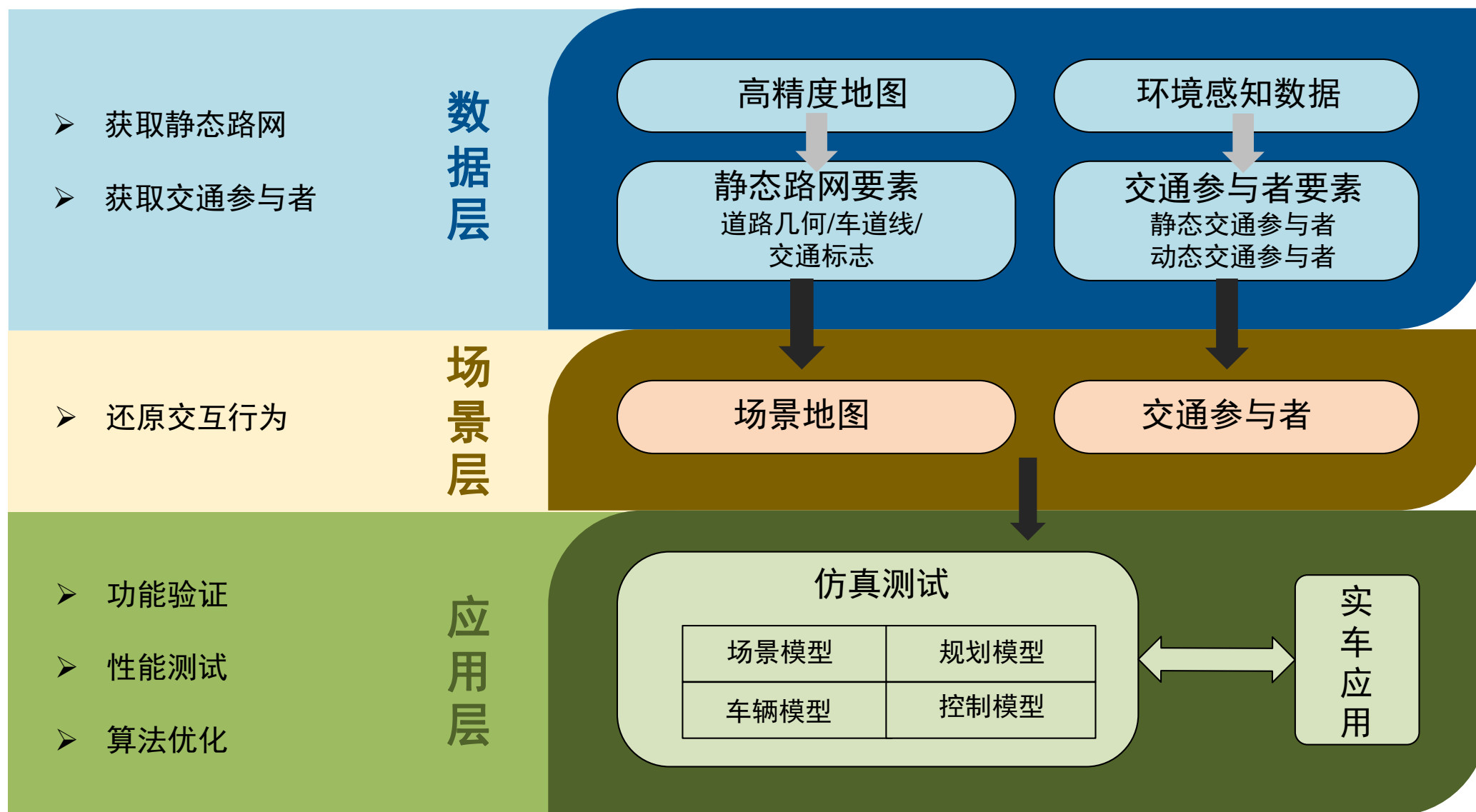
- 一、自动驾驶系统仿真的意义及难点
- 二、基于MATLAB/RoadRunner的自动驾驶仿真场景重建方法
- 三、基于自动驾驶仿真场景的规控算法开发案例

# 1、仿真场景的数据来源



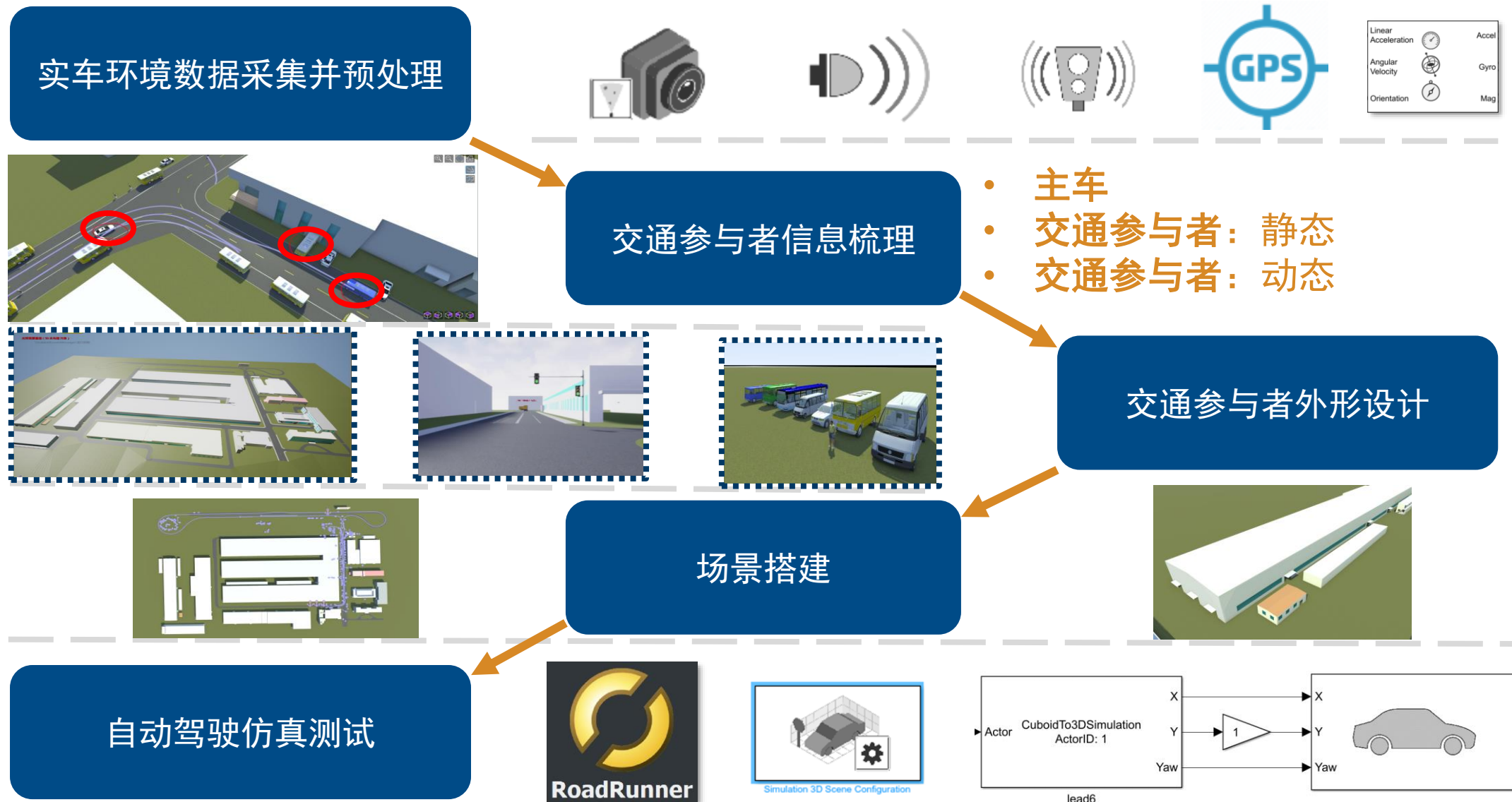


## 2、自动驾驶场景重建及应用的总体框架





## 2、自动驾驶场景重建及应用的总体框架



### 3、自动驾驶场景重建的数据及工具

场景数据		高精度地图 . xodr文件
		自车信息 . csv文件
		障碍物信息 . csv文件
工具	软件	MATLAB/Simulink/RoadRunner
	脚本函数	EgoCar_RawDataProcessing.m
		Obs_RawDataProcessing.m
		ScenarioReconstruction.m
		ViewScenario.m

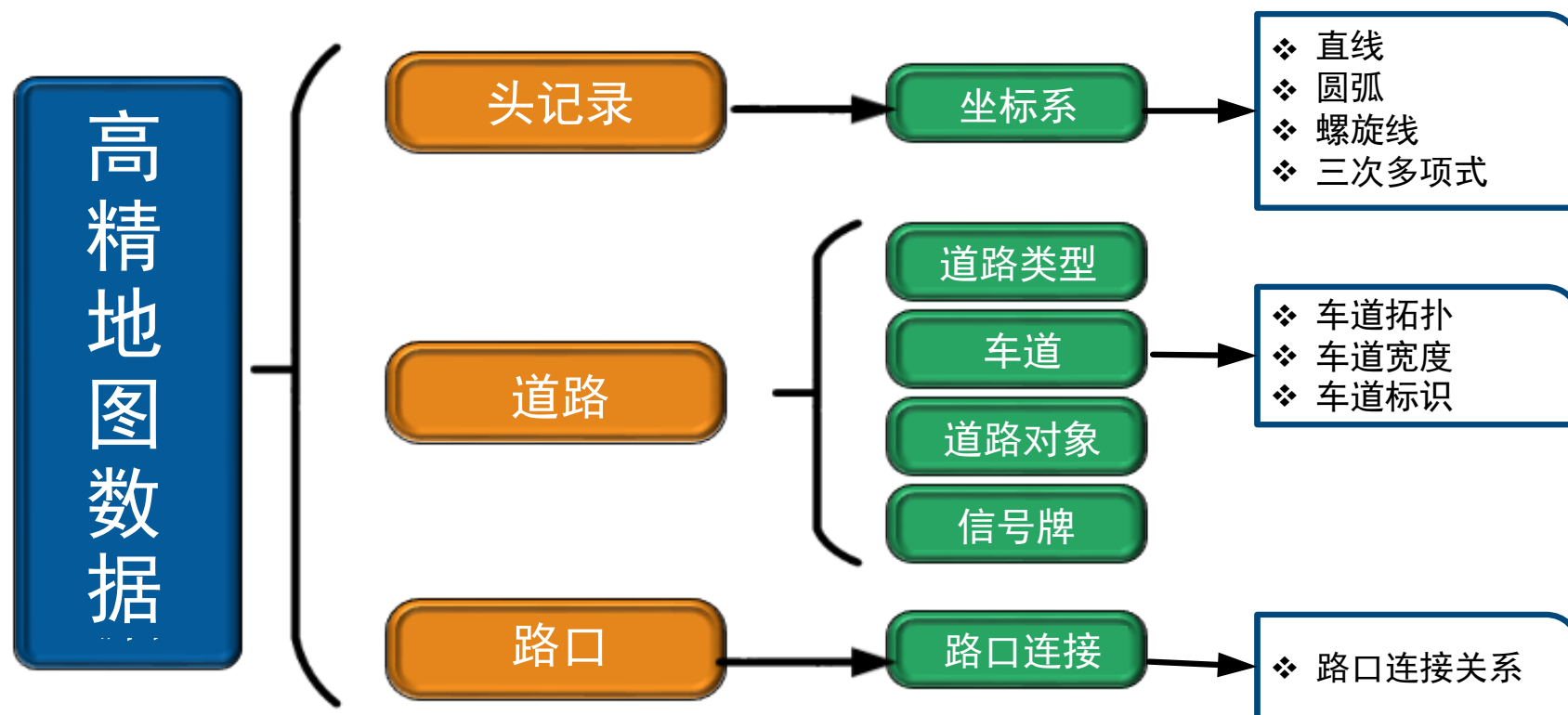
### 3、数据层——高精度地图解析

#### ■ OpenDRIVE地图:

- 以道路(road)为核心单元
- 道路设施物(object)
- 车道(lane)
- 标志(signal)

#### ■ 场景地图元素:

- 车道
- 车道标记
- 车道线
- 路口



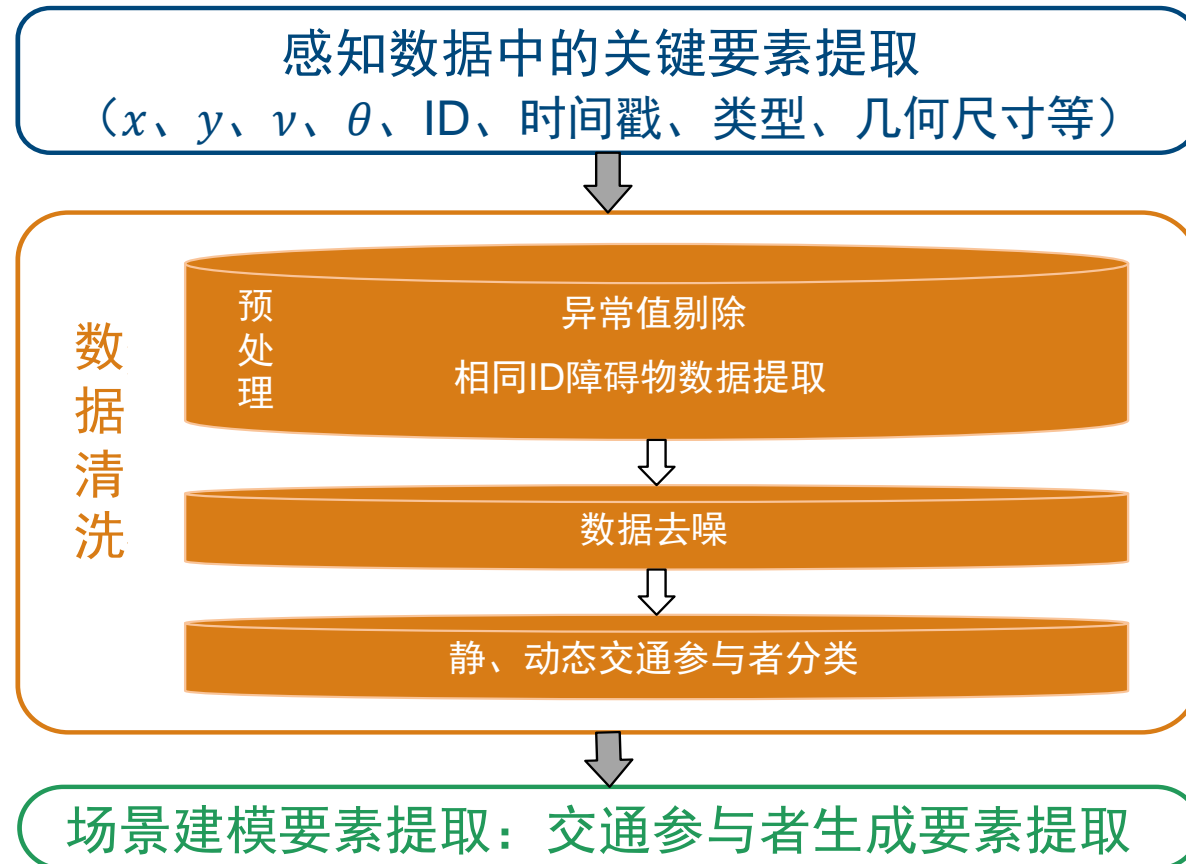
### 3、数据层——环境感知数据处理

#### ■ 环境感知数据

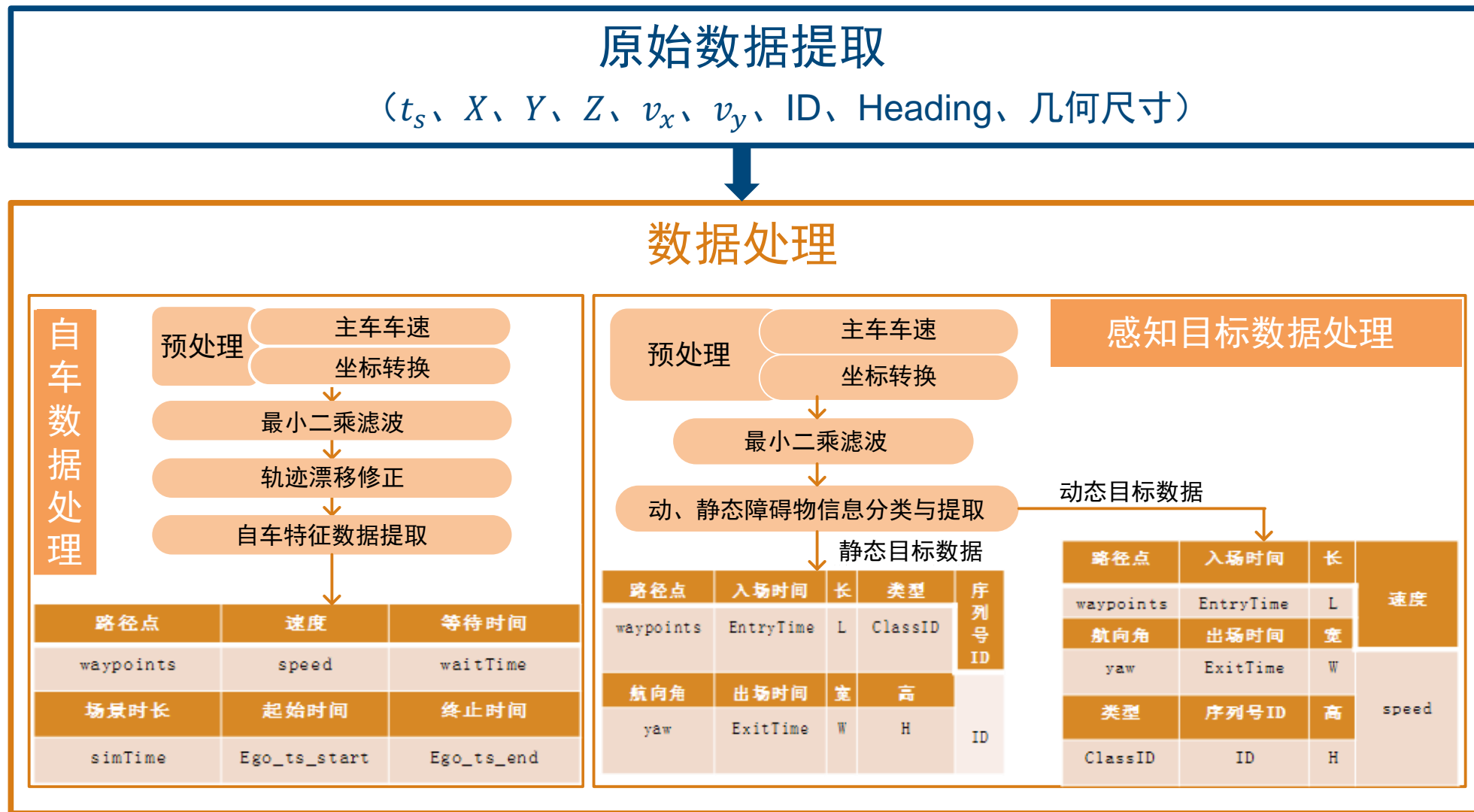
- 自车运动信息——车载组合惯导等传感器获取；
- 其他交通参与者运动信息——由车载雷达、摄像头等传感器获取。

#### ■ 环境感知数据的处理

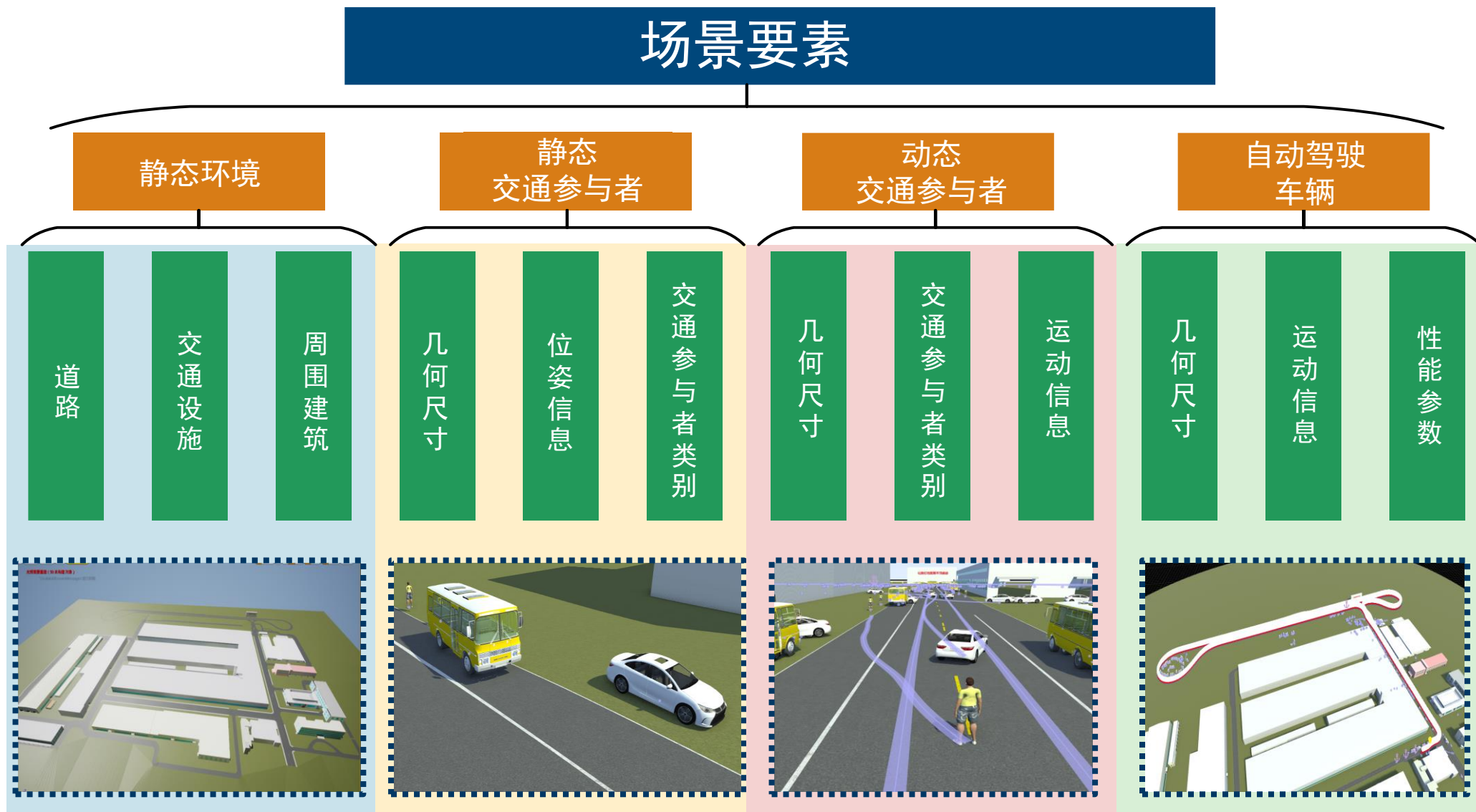
- 关键要素提取
- 数据清洗
- 场景建模要素提取



### 3、数据层——环境感知数据处理



## 4、场景层









# 4、场景层——静态环境生成

高精度地图 .xodr  
(OpenDrive)

**MATLAB RoadRunner**

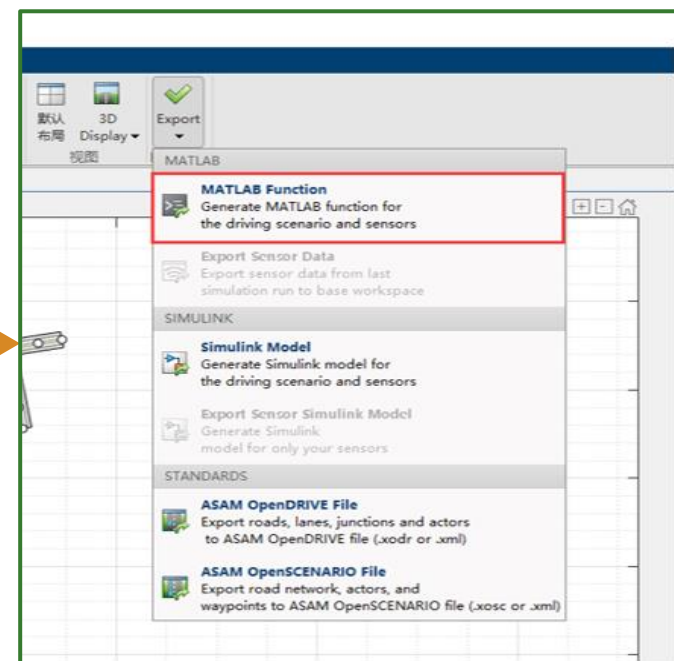
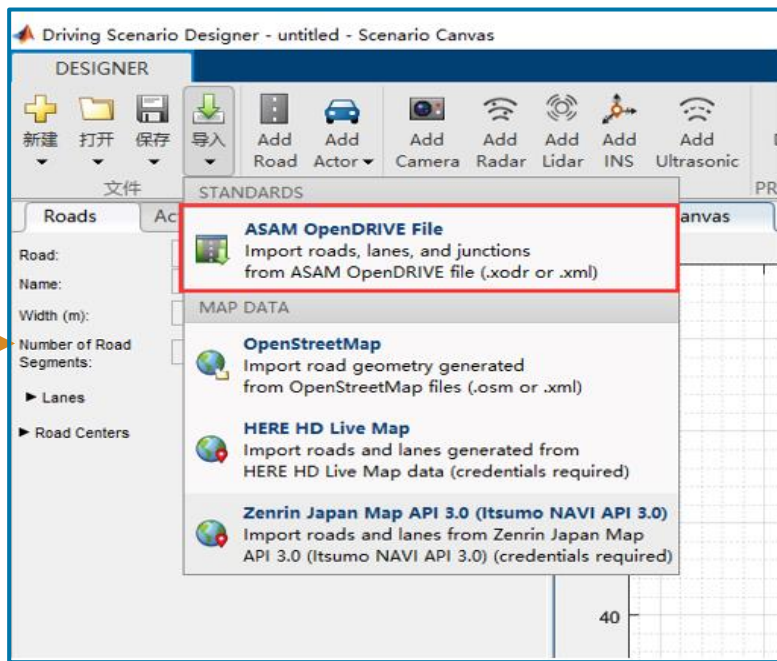
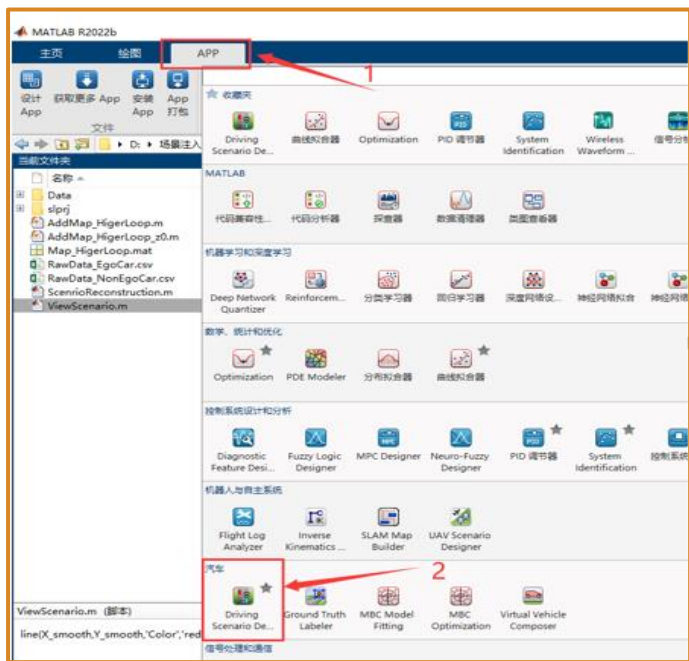
■ **脚本定义**

- simTime: 仿真时长
- samplingTime: 采样周期
- 道路高度定义
- .....

**静态环境模型 .m**  
(Simulink)

■ **静态路网要素**

- 道路几何
- 车道线
- 交通标志
- .....



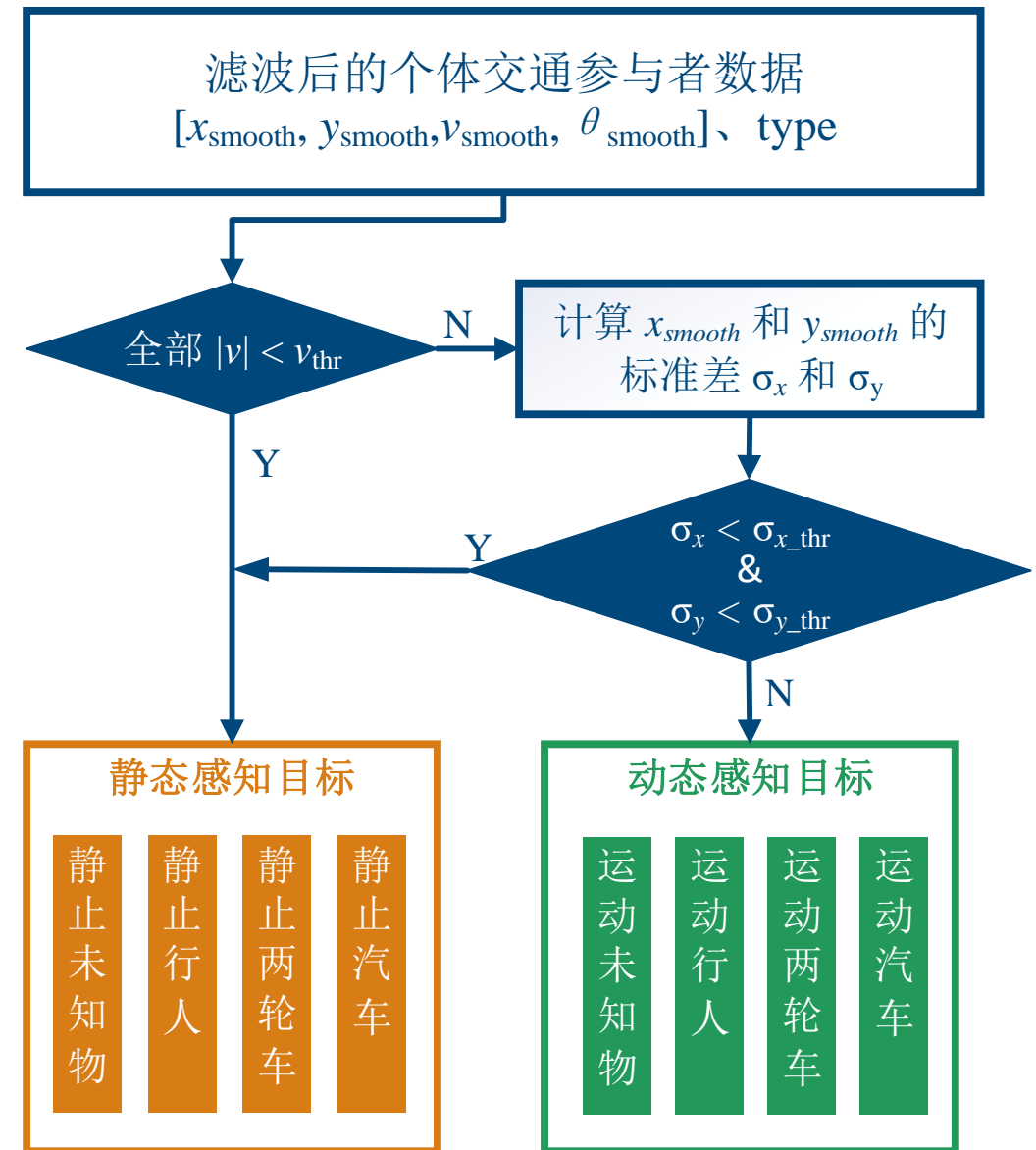
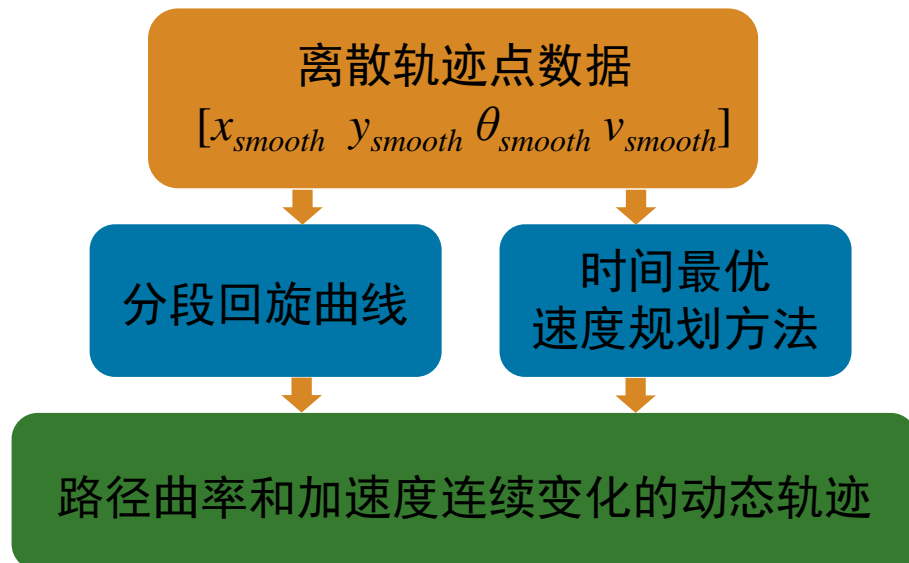
## 4、场景层——交通参与者生成

### ■ 从车辆感知系统中提取交通参与者信息

#### ◆ 静态交通参与者

- 几何尺寸数据  $[\bar{l}, \bar{w}, \bar{h}]$
- 位姿数据  $[\bar{x}, \bar{y}, \bar{\theta}]$
- 仿真属性数据  $[\text{ID}, t_{\text{in}}, t_{\text{out}}, \text{type}]$
- .....

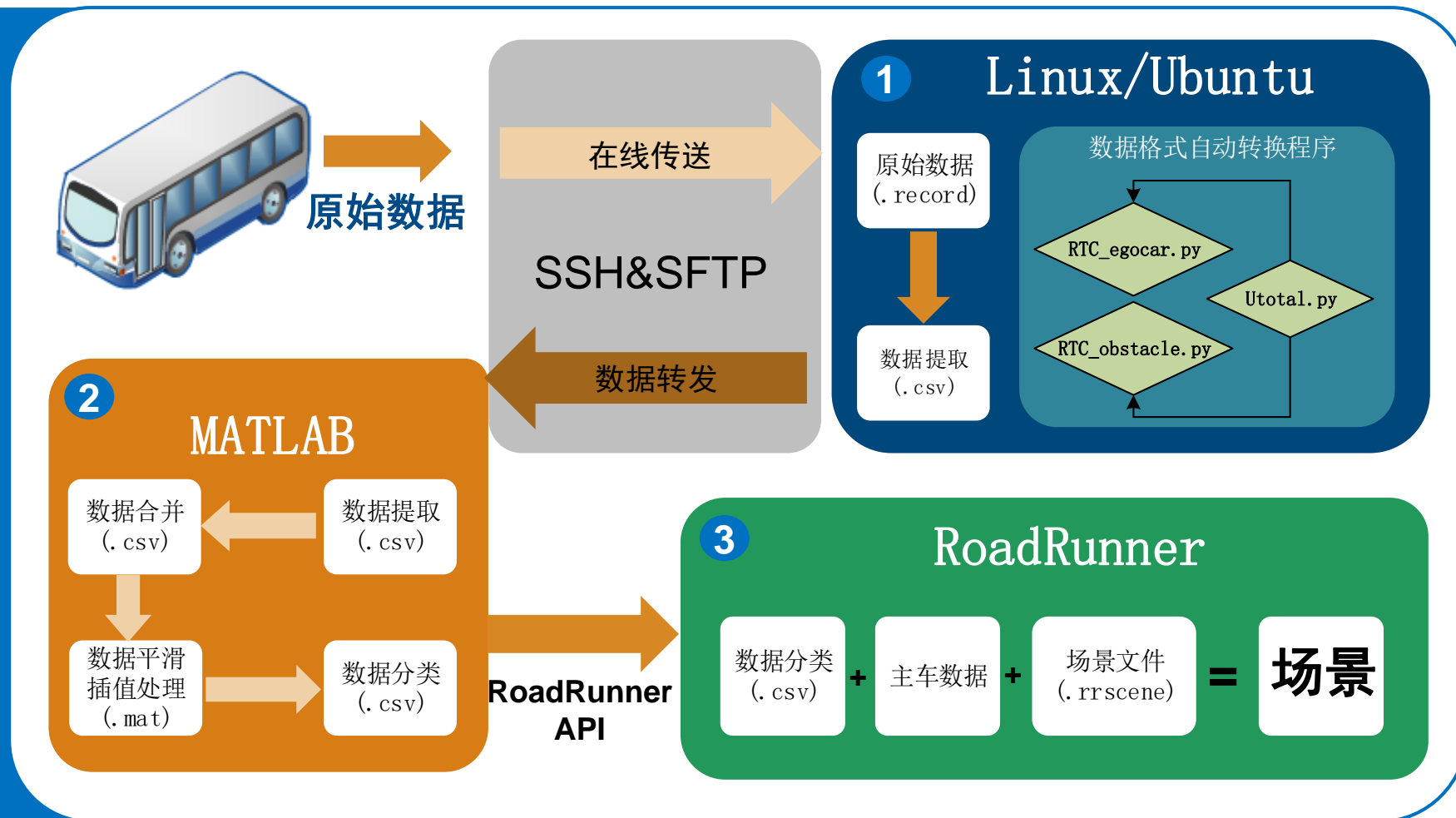
#### ◆ 动态交通参与者



## 5、场景重建的自动化处理

### 自动化场景重建

- ① 自动化数据传输与处理
- ② 在线数据处理
- ③ MATLAB/RoadRunner 仿真



## 5、场景重建的自动化处理

The image displays a multi-windowed environment for setting up a development environment. On the left, a file explorer window shows a directory structure with folders like '.idea', 'csvData', 'recordData', 'Vehicles', 'XJTLU', and files like 'aascript', 'noRemote', 'record\_to\_csv\_egocar', 'record\_to\_csv\_obstacle', and 'RecordToCsv'. In the center, a Windows Settings window is open to the 'Network' section, showing details for a 'Wired' connection, including 'Link speed 1000 Mb/s', 'IPv4 Address 192.168.249.4', 'IPv6 Address fe80::229b:b24d:17d:c04', and 'Hardware Address 08:00:27:99:C7:F7'. On the right, a terminal window shows the command prompt with the following text:

```
Windows PowerShell
版权所有 (C) Microsoft Corporation。保留所有权利。
安装最新的 PowerShell，了解新功能和改进！https://aka.ms/PSWindows
PS C:\WINDOWS\system32>
```

At the bottom, a screenshot of the MathWorks RoadRunner R2024a Scenario Edit Tool is shown. The interface includes a 2D Editor, Logic, Output, and Attributes panels. The Output panel displays the following messages:

```
> Started RoadRunner API server on port 35707.
> Started Simulation API server on port 35708.
```

Overlaid on the bottom center of the terminal and RoadRunner windows is the text: "After setting up the environment".

## 目录

一、自动驾驶系统仿真的意义及难点

二、基于MATLAB/RoadRunner的自动驾驶仿真场景重建方法

三、基于自动驾驶仿真场景的规控算法开发案例

# 1、基于仿真场景进行规控算法开发的应用方案

## ① 场景模型用于算法开发、验证和优化。

- 解决问题：场景的还原度评价
- 评价指标、评价方法



## ② 将算法部署到实车，形成应用闭环。

- 解决问题：车辆算法的性能提升



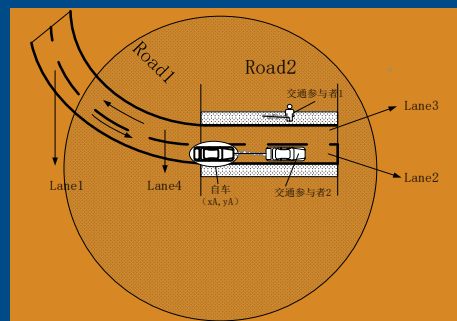


# 1、基于仿真场景进行规控算法开发的应用方案

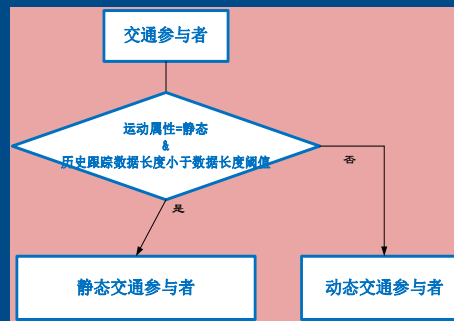
## 数据采集与预处理



## 数据消平滑、插值



## 障碍物处理与分类

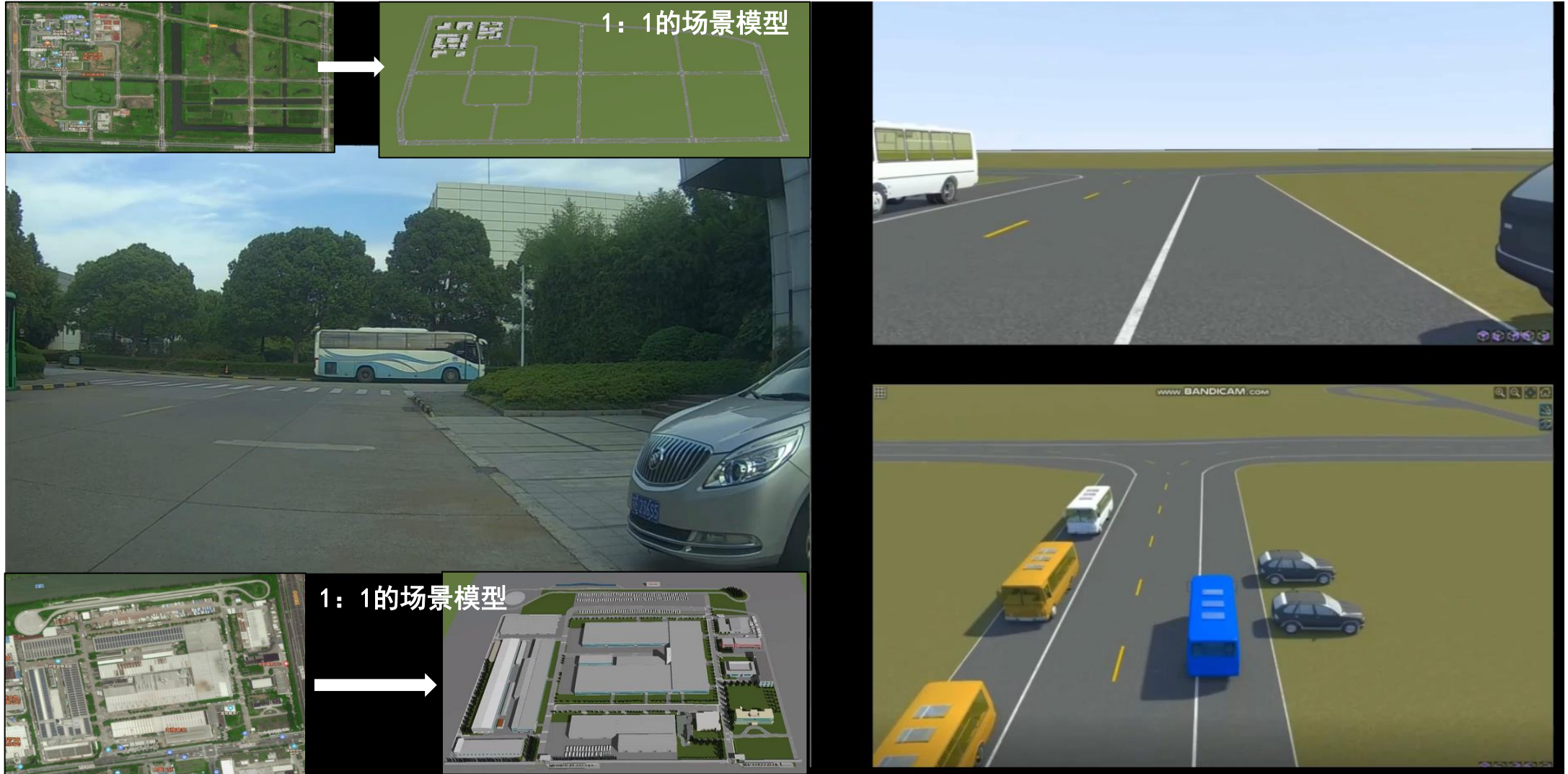


## 场景可视化





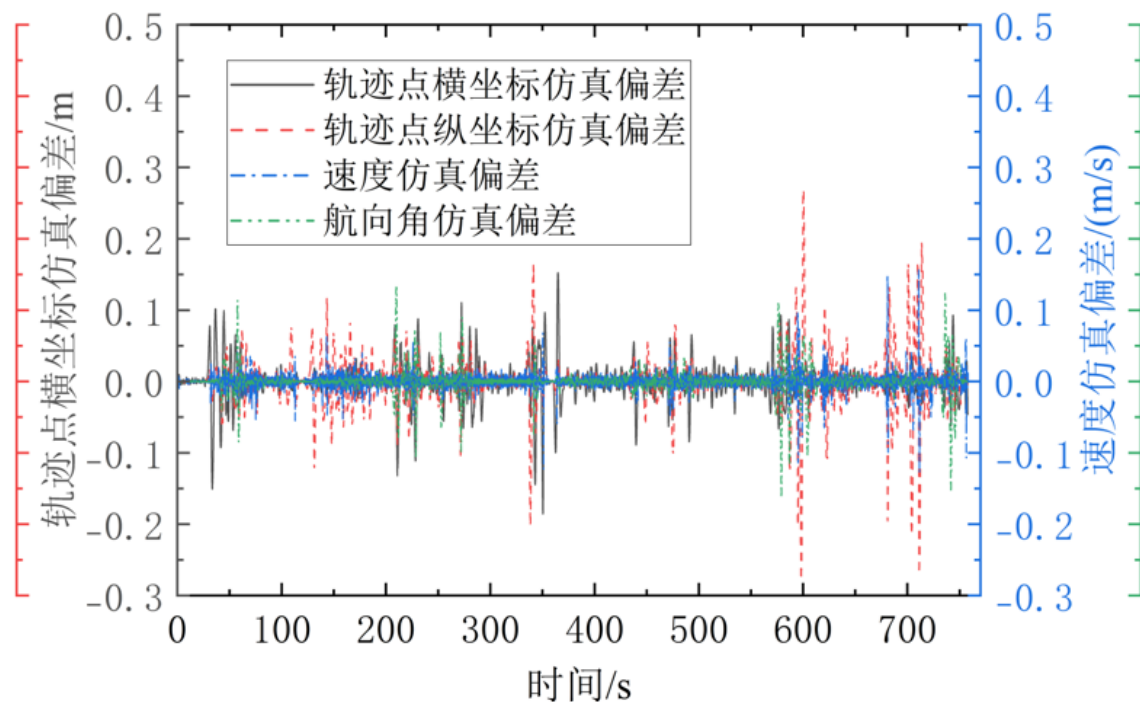
## 2、场景重建的还原度分析



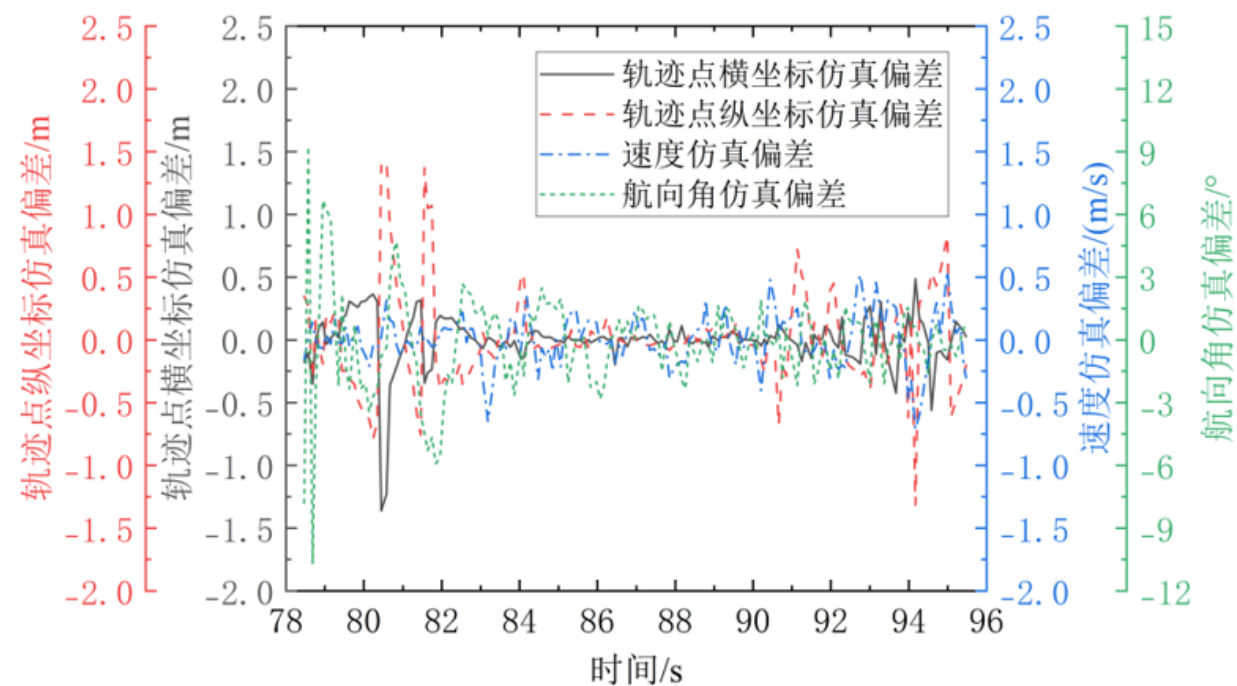
## 2、场景重建的还原度分析

■ 定义车辆运动状态在实际场景与仿真场景中的差值为仿真偏差

- 轨迹点横坐标仿真偏差  $e_x$
- 速度仿真偏差  $e_v$
- 轨迹点纵坐标仿真偏差  $e_y$
- 航向角仿真偏差  $e_\theta$



自动驾驶车辆的运动状态仿真偏差



交通参与者（小巴）的运动状态仿真偏差

## 2、场景重建的还原度分析

### ■ 定义车辆运动状态在实际场景与仿真场景中的差值为仿真偏差

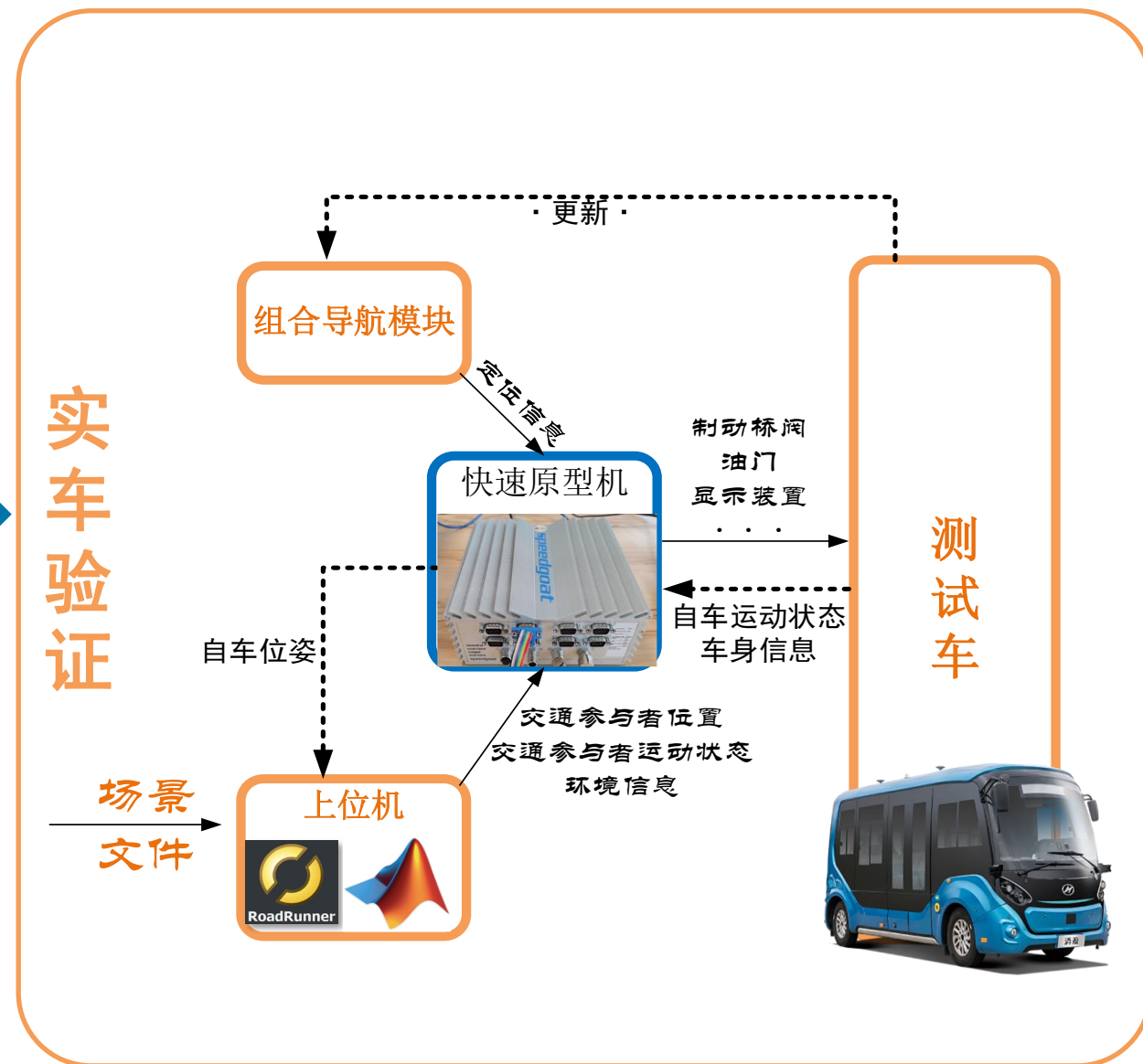
- 轨迹点横坐标仿真偏差  $e_x$
- 速度仿真偏差  $e_v$
- 轨迹点纵坐标仿真偏差  $e_y$
- 航向角仿真偏差  $e_\theta$

#### 仿真偏差的统计学分析

自动驾驶车辆				
仿真偏差	$e_x/m$	$e_y/m$	$e_v/(m/s)$	$e_\theta/^\circ$
偏差均值	-0.000 023	-0.000 003	-0.000 005	-0.000 285
均方误差	0.026 848	0.037 748	0.010 519	0.183 847
交通参与者（小巴）				
仿真偏差	$e_x/m$	$e_y/m$	$e_v/(m/s)$	$e_\theta/^\circ$
偏差均值	-0.000 715	-0.000 606	0.002 908	-0.103 697
均方误差	0.202 728	0.375 868	0.200 340	2.267 370

**结论：**自动驾驶车辆和交通参与者（小巴）的四项状态**偏差均值都接近于0**，表示仿真的还原度较好。

### 3、基于场景重建的规控算法优化案例



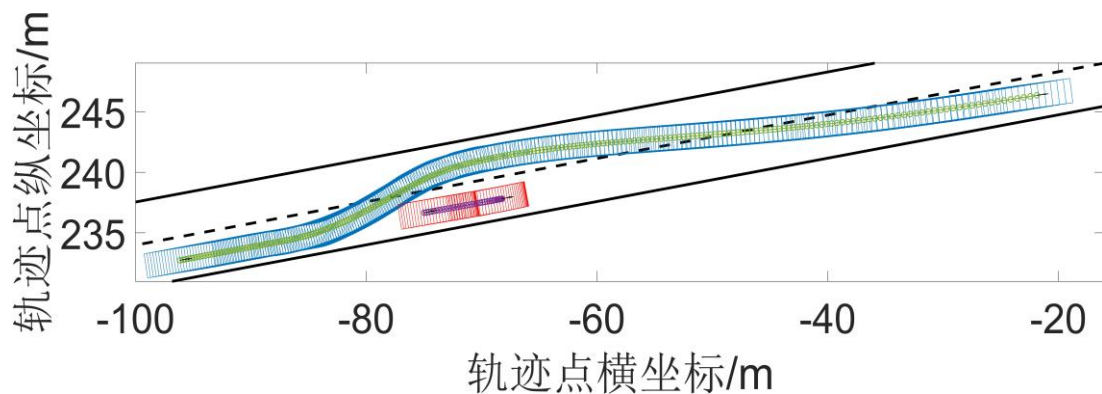


### 3、基于场景重建的规控算法优化案例

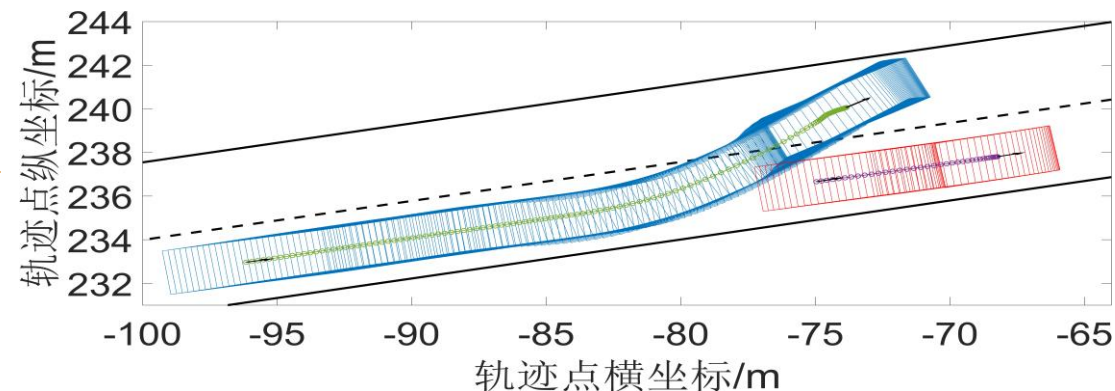
■ **目标场景：自动驾驶车辆紧急避障失败，触发安全员接管。**

■ **场景描述：**

- 直行双车道，自动驾驶车辆跟随前方慢速行驶的障碍物车辆
- 前车紧急制动且 3m 内刹停，自动驾驶车辆紧急借道避让



原始对照组车辆移动轨迹（避障失败）



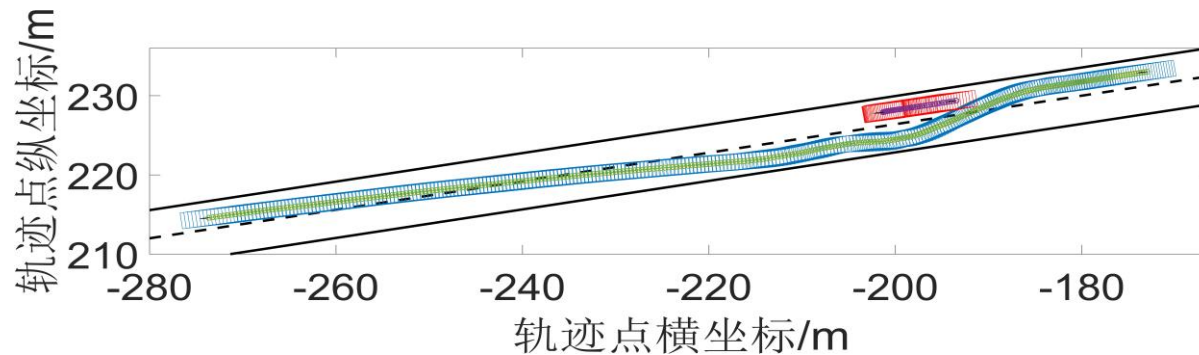
仿真优化组车辆移动轨迹（仿真避障成功）

### 3、基于场景重建的规控算法优化案例

■ 目标场景：自动驾驶车辆紧急避障失败，触发安全员接管。

■ 场景描述：

- 直行双车道，自动驾驶车辆跟随前方慢速行驶的障碍物车辆
- 前车紧急制动且 3m 内刹停，自动驾驶车辆紧急借道避让



实车验证组车辆移动轨迹（实车避障成功）

■ 结论：

- 自动驾驶车辆可以安全地通过原本失败的紧急避障测试
- 仿真结果与实车测试结果高度一致。
- 在高还原度的仿真场景中优化的规控算法，可以有效地提升车辆在类似危险场景中的性能。

# 2024 MathWorks 中国汽车年会

## Thank you

