



CS7355

自动驾驶前沿技术

2024年2月21日

第一讲：自动驾驶简介



蔡盼盼 副教授
上海交通大学清源研究院

研究领域：机器人规划、机器人学习、自动驾驶

邮箱：Cai_panpan@sjtu.edu.cn

网站：<https://cindycia.github.io/>



以下是否为自动驾驶功能？

- ① 刹车辅助系统（ABS）？
- ① 定速巡航？
- ① 自动交通标志提醒？
- ① 自动紧急制动？
- ① 车道偏离修正？
- ① 自适应巡航？
- ① 自动泊车？
- ① 交通拥堵巡航？
- ① 高速自动巡航？
- ① 无人配送小车？
- ① 机器人出租车（Robotaxi）？



SAE J3016™ 自动驾驶等级

SAE
LEVEL 0

SAE
LEVEL 1

SAE
LEVEL 2

SAE
LEVEL 3

SAE
LEVEL 4

SAE
LEVEL 5

驾驶员
坐在驾驶座上
需要做些什么？

无论何时使用驾驶辅助功能,您必须处于驾驶状态
即使双脚离开踏板,也没有控制方向盘

您必须时刻观察各种情况
您需要主动制动、加速或者转向,确保安全

当使用自动驾驶功能,您无需驾驶汽车
您仅仅是坐在“驾驶座”上

当功能请求时,
您必须驾驶汽车

这些自动驾驶功能
不需要您接管驾驶

具有哪些
功能特征？

仅提供警告
以及瞬时辅助

能够制动、
加速 **或** 转向,
辅助驾驶

能够制动、
加速 **和** 转向,
辅助驾驶

以下是自动驾驶功能

可以在有限制的条件下
驾驶车辆,
除非满足所有条件,
否则不会运行

可以在
任何条件下
驾驶车辆

以下是否为自动驾驶功能？

- | | |
|-------------------------|-------|
| ④ 刹车辅助系统 (ABS) ? | 否 |
| ④ 定速巡航 ? | 否 |
| ④ 自动交通标志提醒 ? | L0 |
| ④ 自动紧急制动 ? | L0 |
| ④ 车道偏离修正 ? | L1 |
| ④ 自适应巡航 ? | L1 |
| ④ 自动泊车 ? | L2 |
| ④ 交通拥堵巡航 ? | L2/L3 |
| ④ 高速自动巡航 ? | L3 |
| ④ 无人配送小车 ? | L4 |
| ④ 机器人出租车 (Robotaxi) ? | L4 |

国际/国内分级名称

	国际标准	国内标准（正式）	国内标准（非正式）
L0	无自动化	应急辅助	-
L1	辅助驾驶	部分驾驶辅助	DA-驾驶辅助
L2	部分自动驾驶	组合驾驶辅助	DA-驾驶辅助
L3	有条件自动驾驶	有条件自动驾驶	PA-部分自动驾驶
L4	高度自动驾驶	高度自动驾驶	HA-高度自动驾驶
L5	完全自动驾驶	完全自动驾驶	Fa-完全自动驾驶

- 国际分级由美国国家公路交通安全管理局（NHTSA）和国际自动化工程师学会（SAE International）制定
- 国内分级（正式）来自我国《汽车驾驶自动化分级》标准（GB/T 40429-2021）
- 国内分级（非正式）来自《中国制造2025》

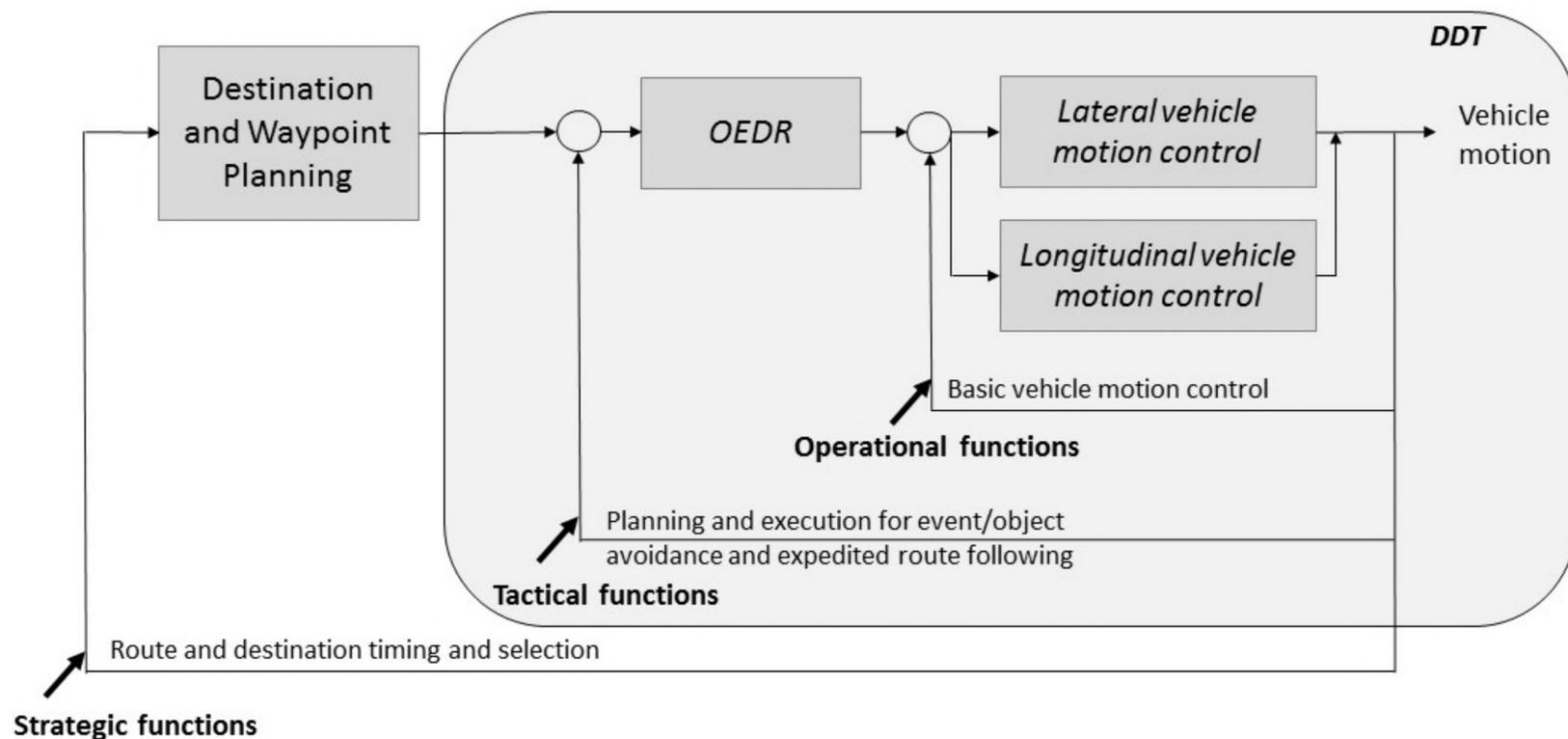
主要术语与定义

以下术语来自我国《汽车驾驶自动化分级》标准（GB/T 40429-2021）

④ 动态驾驶任务 dynamic driving task (DDT)

驾驶车辆所需的（实时）感知、决策和执行等行为，包括：

- 车辆横向运动控制
- 车辆纵向运动控制
- 目标和事件探测与响应
- 驾驶行为决策
- 车辆照明及信号装置控制
- ...



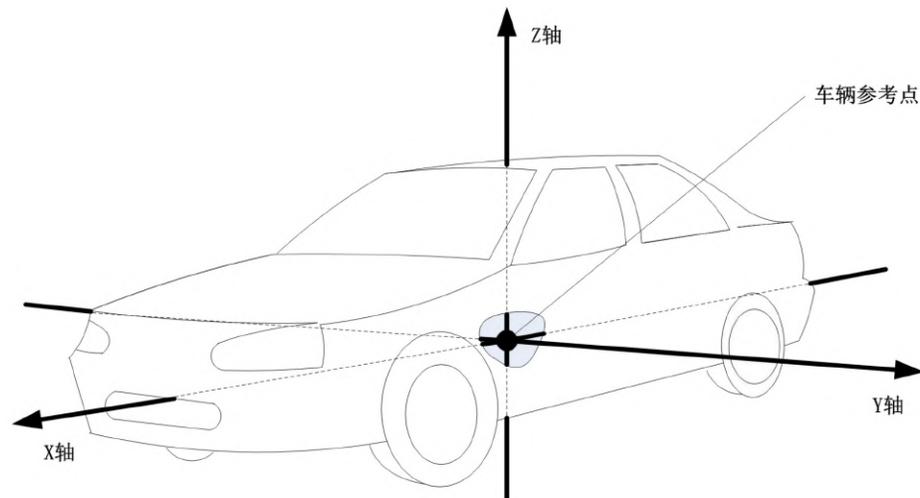
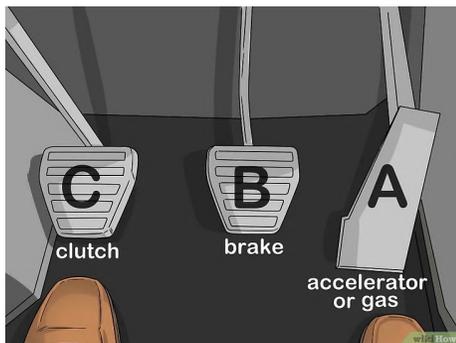
图片来自《SAE-J3016》标准

主要术语与定义

以下术语来自我国《汽车驾驶自动化分级》标准（GB/T 40429-2021）

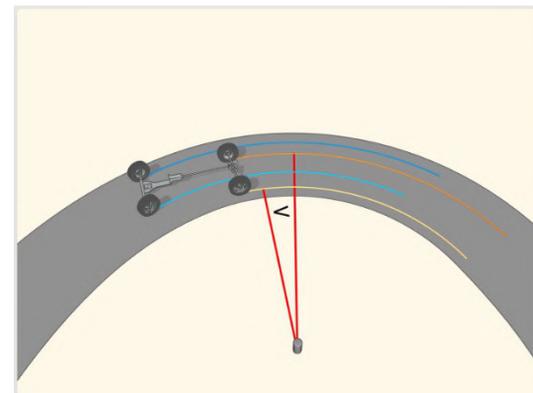
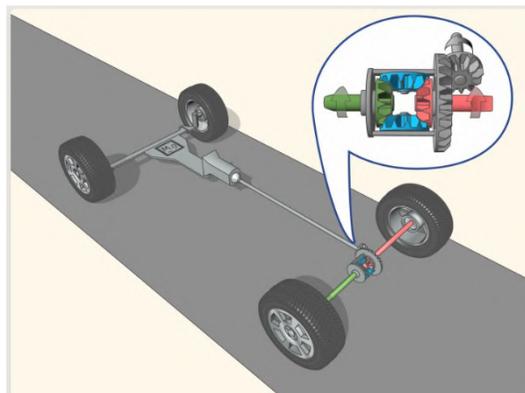
④ 车辆纵向运动控制 longitudinal control

沿着 X 轴实时、持续的车辆运动控制



④ 车辆横向运动控制 lateral control

沿着 Y 轴实时、持续的车辆运动控制



④ 目标和事件探测与响应 object and event detection and response (OEDR)

对目标和事件进行探测，并进行适当的响应

- **车辆**

- 邻车、前车、后车、切入/切出车辆，汇入/汇出车辆、逆行车、校车、应急车等

- **弱势交通参与者 (VRU)**

- 行人、轮椅、自行车、摩托车等

- **交通管制装置和基础设施**

- 交通信号灯、交通标志、人行横道和车道标记等

- **静态障碍物**

- 乱停放的车辆、警示牌、路锥、施工区域等

- **动物**

主要术语与定义

以下术语来自我国《汽车驾驶自动化分级》标准（GB/T 40429-2021）

④ 最小风险状态 minimal risk condition (MRC)

当车辆无法完成预定的行程时，由用户或系统执行并最终使车辆事故风险达到可接受的状态

④ 动态驾驶任务接管 dynamic driving task fallback

当发生驾驶自动化系统失效、车辆其他系统失效或即将不满足设计运行条件时，由用户执行动态驾驶任务、或由用户/驾驶自动化系统使车辆达到最小风险状态的行为

④ 设计运行条件 operational design condition (ODC)

设计运行时确定的驾驶自动化功能可以正常工作的条件，包括设计运行范围、驾驶员状态以及其他必要条件

驾驶自动化等级划分要素

④ 基于如下 5 个要素对驾驶自动化等级进行划分：

- 系统是否**持续**执行动态驾驶任务中的车辆横向**或**纵向运动控制
- 系统是否**同时**持续执行动态驾驶任务中的车辆横向**和**纵向运动控制
- 系统是否**持续**执行动态驾驶任务中的**目标和事件探测与响应**
- 系统是否执行**动态驾驶任务接管**
- 系统是否存在**设计运行条件限制**

自动驾驶分级

	L0	L1	L2	L3	L4	L5
	完全人类驾驶	辅助驾驶	部分自动驾驶	有条件的自动驾驶	高度自动驾驶	完全自动驾驶
驾驶员	 <p>必须完成所有驾驶操作。</p>	 <p>必须完成所有驾驶操作，但在某些情况下能够获得辅助。</p>	 <p>车辆可以承担一些基本的驾驶任务，但驾驶员必须随时准备接管车辆。</p>	 <p>当功能请求时，驾驶员必须接管车辆。</p>	 <p>当系统无法继续运行时，驾驶员需要在接到通知后接管车辆。</p>	 <p>无需驾驶员，方向盘可有可无。坐在L5级别的自动驾驶汽车中，每个人都是乘客。</p>
车辆	<p>仅能对驾驶员的指令做出响应，但可以提供有关环境的警报。</p>	<p>可以提供诸如紧急情况下自动制动或车道偏离修正等基本辅助功能。</p>	<p>在某些特定情况下，能够自动转向、加速和制动。</p>	<p>在某些特定情况下，可完全自动转向、加速和制动。</p>	<p>可在大多情况下承担全部驾驶任务，而无需驾驶员干预。</p>	<p>能够在所有情况下承担全部驾驶任务，无需驾驶员干预。</p>
						

数据来源：美国汽车工程师协会(SAE)；美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)。

版权所有© 2018英特尔公司。保留所有权利，英特尔和英特尔标识是英特尔公司在美国和其他国家（地区）的商标。



L0：应急辅助

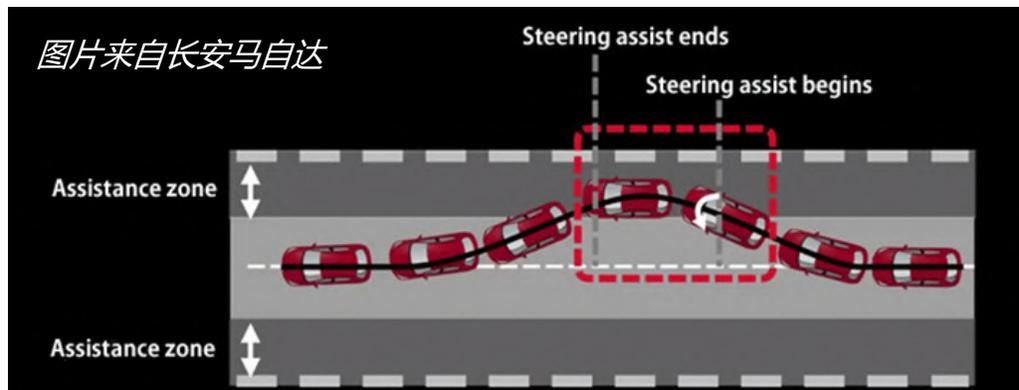
④ **定义**：驾驶自动化系统**不能持续执行**车辆横向或纵向运动控制，但具备**持续执行部分目标和事件探测与响应**的能力

- 车辆可以对驾驶员发出警报
- 车辆可以对驾驶员指令做出响应
- 车辆可以对紧急情况做出响应

L0：应急辅助

范例：

- 车道偏离预警
- 前向碰撞预警
- 车道偏离抑制
- 自动紧急制动系统（AEB）



资料来源：智车科技，国联证券研究所



资料来源：智车科技，国联证券研究所

L1：部分驾驶辅助

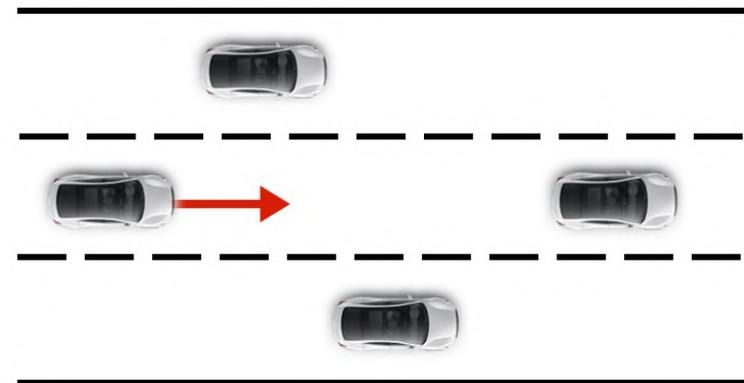
④ **定义**：驾驶自动化系统在其**设计运行条件内持续地**执行**车辆横向或纵向运动控制**，且具备相应的**部分目标和事件探测与响应能力**

- 车辆对方向盘和加减速中的一**项**操作提供自动化
- 人类驾驶员负责其余的驾驶动作
- 驾驶员必须**随时**准备接管车辆

L1：部分驾驶辅助

④ 范例：自适应巡航 Adaptive Cruise Control (ACC)

- 控制**车辆速度** (v, a)
- 未检测到前方有车辆时，保持**设定速度** (v_0)
- 检测到前方有车辆时，调整车速以保持**设定跟车距离** (s_0)
- 用户踩油门并松开时停止自动控制
-

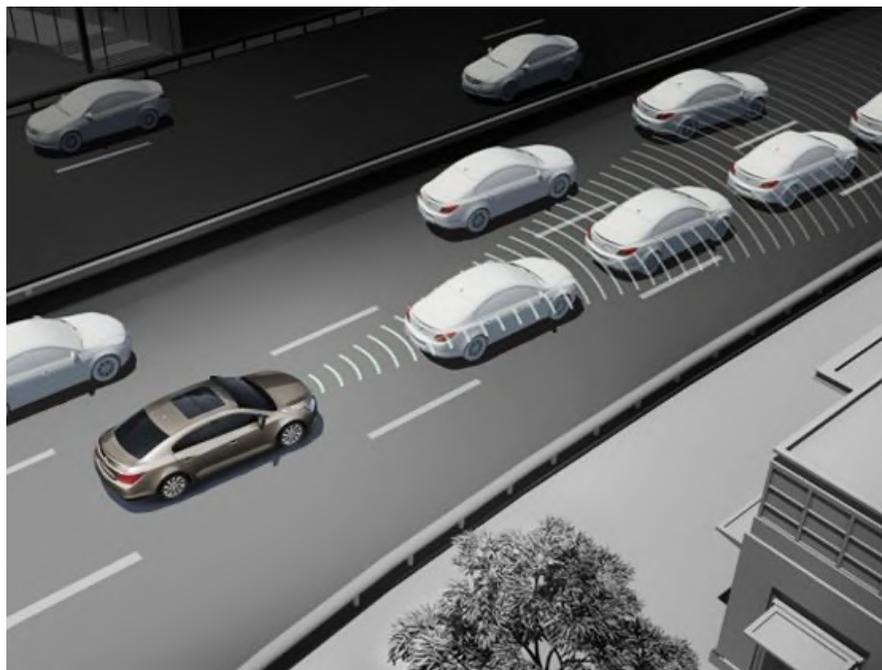


难度？

L1硬件

范例：自适应巡航（ACC）传感器

- 超声波雷达（中距、范围约160m）



图片来自大众

L1软件

控制：自适应巡航（ACC）中的加速度控制

Intelligent Driver Model (IDM)



```
1 def idm_acc(cv, lv, s, des_v, min_s, th, a, b, delta):  
2  
3     s_star = min_s + cv * th + (cv * (cv - lv)) / (2 * (a * b)**0.5)  
4     acc = a * (1 - (cv / des_v)**delta - (s_star / s)**2)  
5  
6     return acc
```

L2：组合驾驶辅助

④ **定义**：驾驶自动化系统在其**设计运行条件内持续**地执行**车辆横向和纵向运动控制**，且具备相应的**部分目标和事件探测与响应的能力**

- 车辆对方向盘和加减速中的**多项**操作提供自动化
- 人类驾驶员负责其余的驾驶动作
- 驾驶员必须随时准备接管车辆

④ **(先前) L1定义**：

- 车辆对方向盘和加减速中的**一项**操作提供自动化
- 人类驾驶员负责其余的驾驶动作
- 驾驶员必须随时准备接管车辆



L2：组合驾驶辅助

④ 范例：车道保持辅助（LKAS）+ 自适应巡航（ACC）

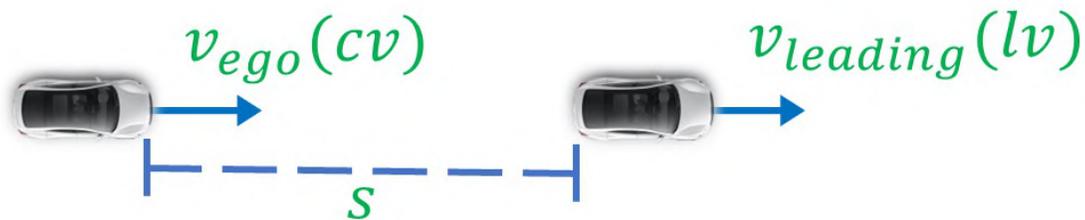
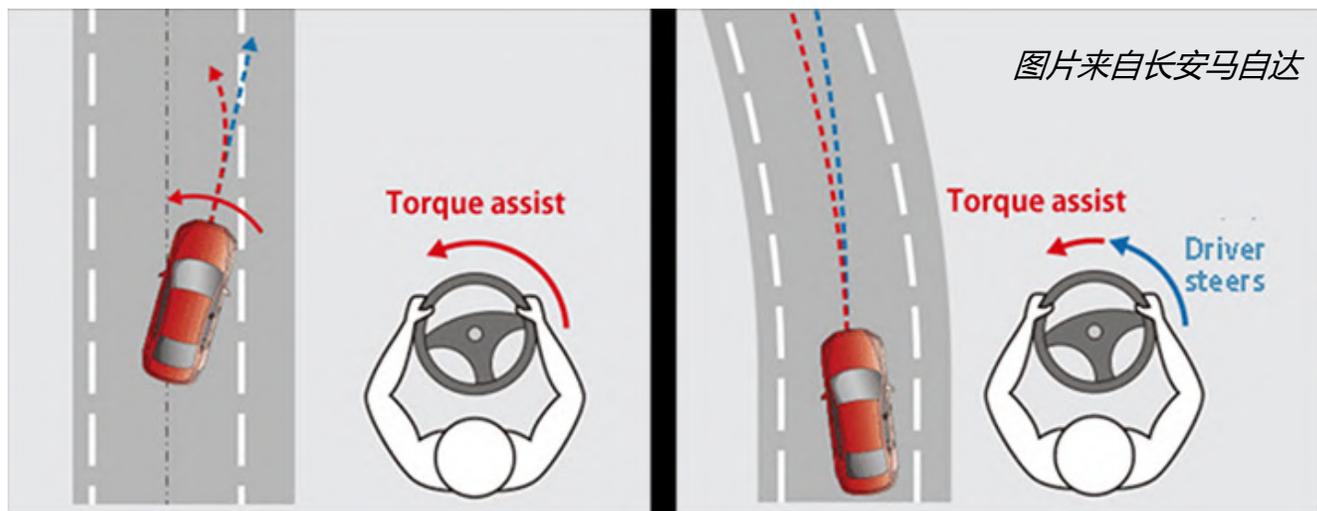
④ 设计运行条件：

- 直/弯道-车道内行驶

④ 动态驾驶任务：

- 横向控制：LKAS跟踪车道中心线
- 纵向控制：ACC保持车距

难度？



L2硬件

范例：车道保持辅助（LKAS）传感器

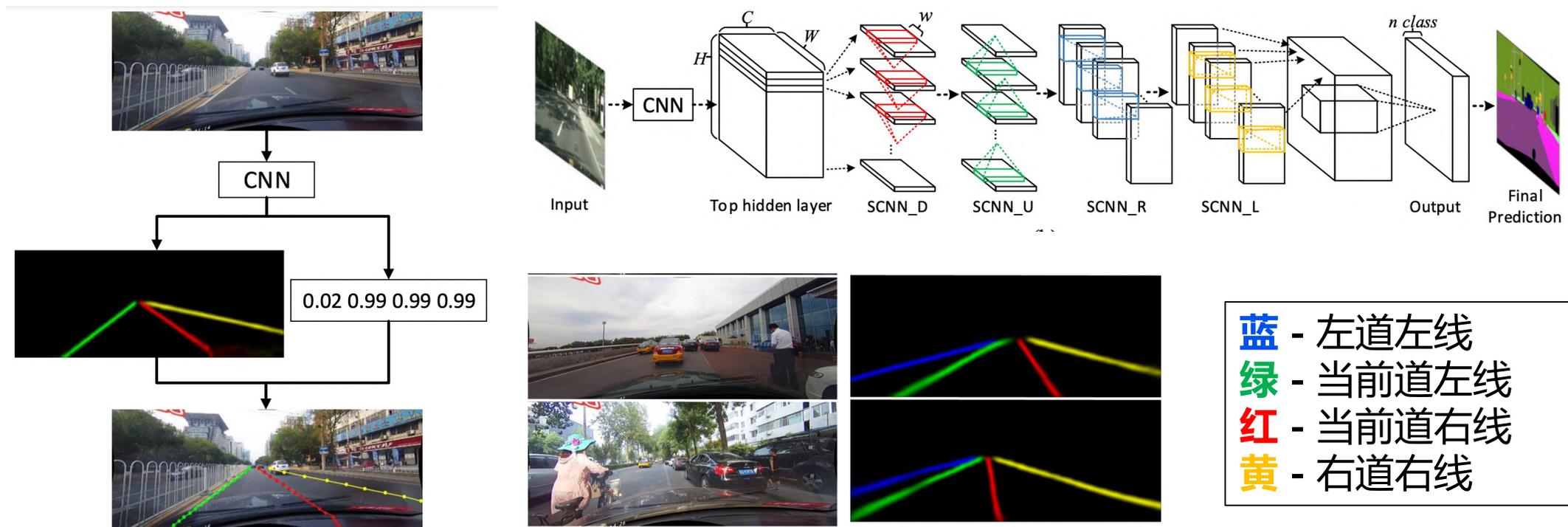
- 摄像头



图片来自汽车之家

L2软件

感知：车道保持辅助（LKAS）中的车道线检测



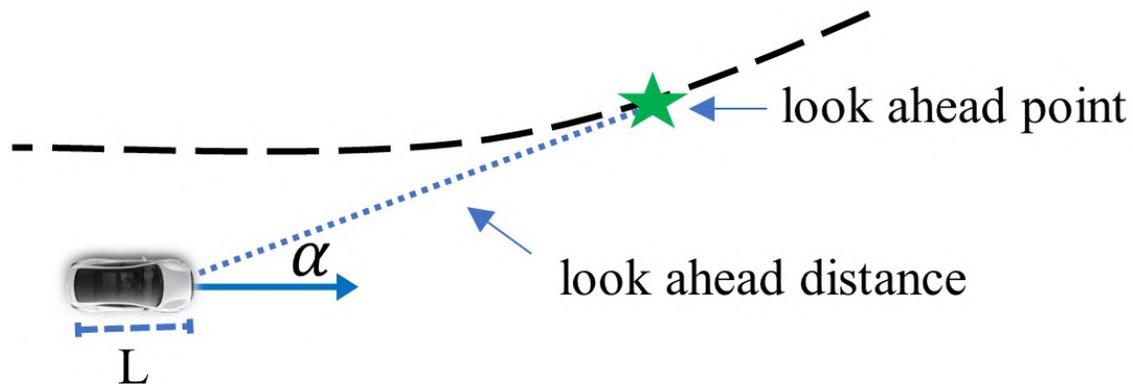
Spatial Convolutional Neural Network (SCNN)

L2软件

控制：车道保持辅助（LKAS）中的方向盘控制

纯追踪算法

Pure-Pursuit Algorithm



```
1 import numpy as np
2
3 def calculate_steering_angle(current_position, current_heading, lookahead_point):
4
5     dx = lookahead_point[0] - current_position[0]
6     dy = lookahead_point[1] - current_position[1]
7
8     angle_to_target = np.arctan2(dy, dx)
9     steering_angle = angle_to_target - current_heading
10
11     steering_angle = np.arctan2(np.sin(steering_angle), np.cos(steering_angle))
12
13     return steering_angle
```

L2进展：先进驾驶辅助系统（ADAS）

🌐 国际：特斯拉Autopilot（2021，L2+）

Video Guides Home / Vehicle

Autopilot | Meet Your Model 3



L3：有条件自动驾驶

④ **定义**：驾驶自动化系统在其**设计运行条件内持续地**执行**全部动态驾驶任务**

- 由车辆**自动检测环境**，并完成**绝大部分**驾驶操作
- **发出接管请求**时，人类驾驶员必须接管车辆

④ **(先前) L2定义**：

- 车辆对方向盘和加减速中的**多项**操作提供自动化
- 人类驾驶员负责其余的驾驶动作
- 驾驶员必须**随时**准备接管车辆



L3：有条件自动驾驶

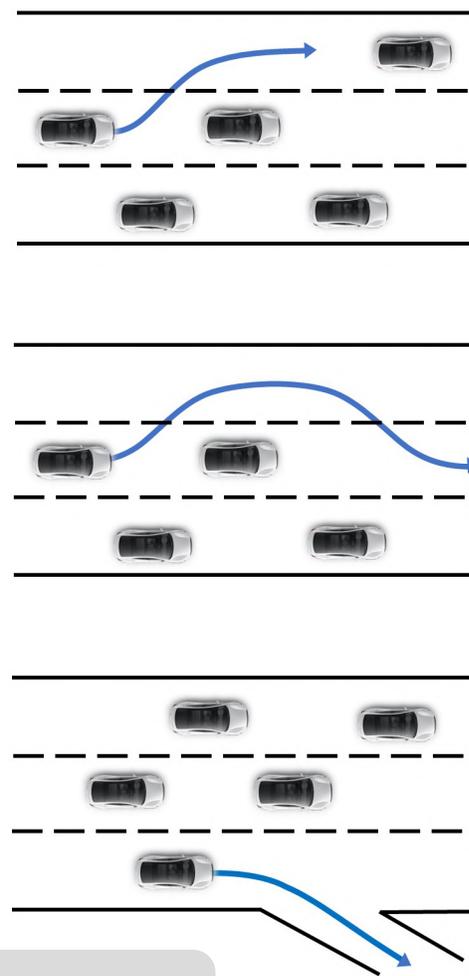
① 范例：高速路自动驾驶 High Way Pilot (HWP)

② 设计运行条件：

- 高速路

③ 动态驾驶任务：

- 车道追踪、自适应巡航
- **自主换道** (含高层决策)
- **自主超车** (含高层决策)
- **自主上下匝道** (含高层决策)
-

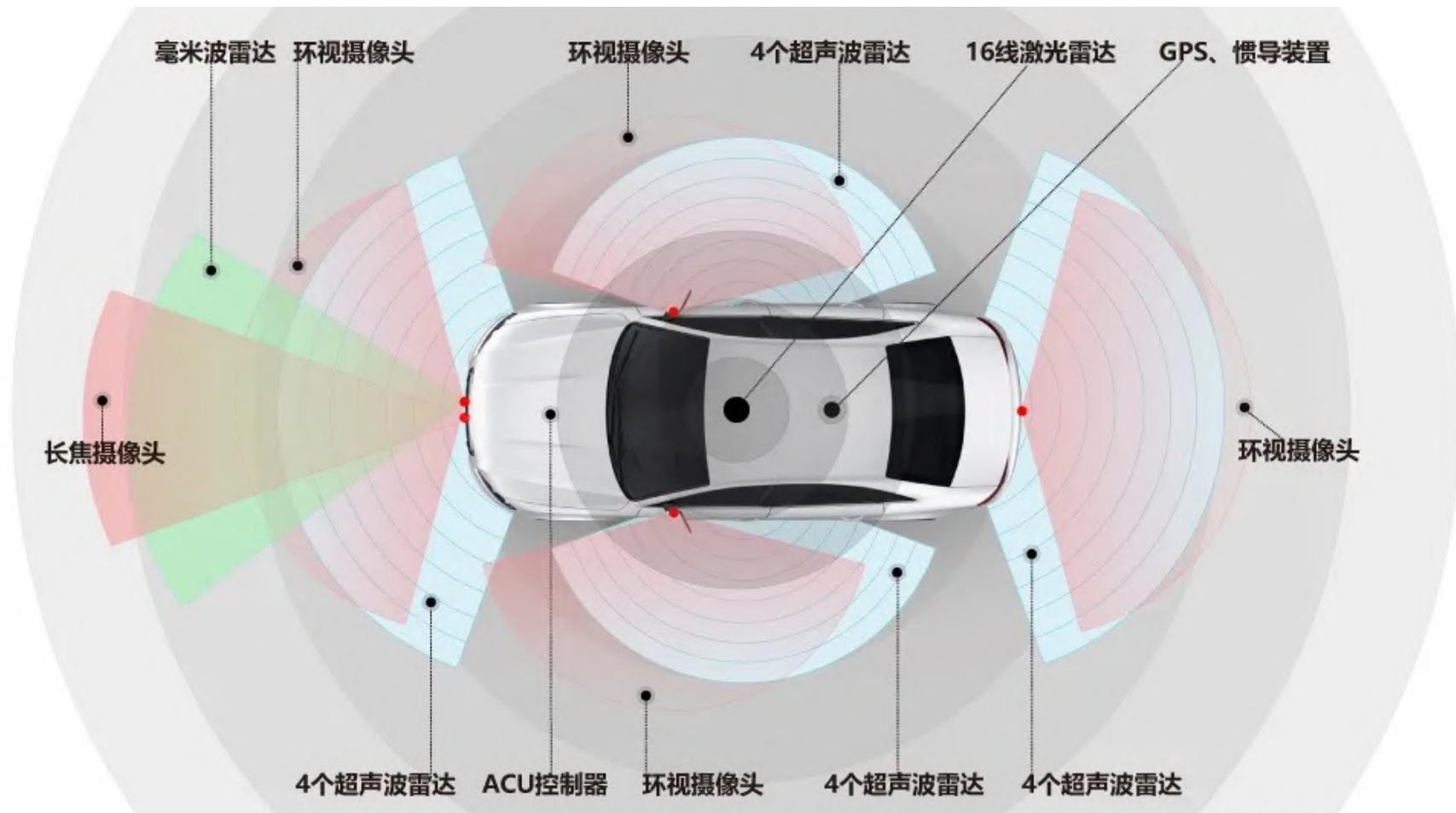


难度？

L3硬件

④ 传感器：

- 超声波雷达
- 长焦摄像头
- 环视摄像头
- GPS定位仪
- 毫米波雷达（可选）
- 激光雷达（可选）
- 高精度地图（可选）



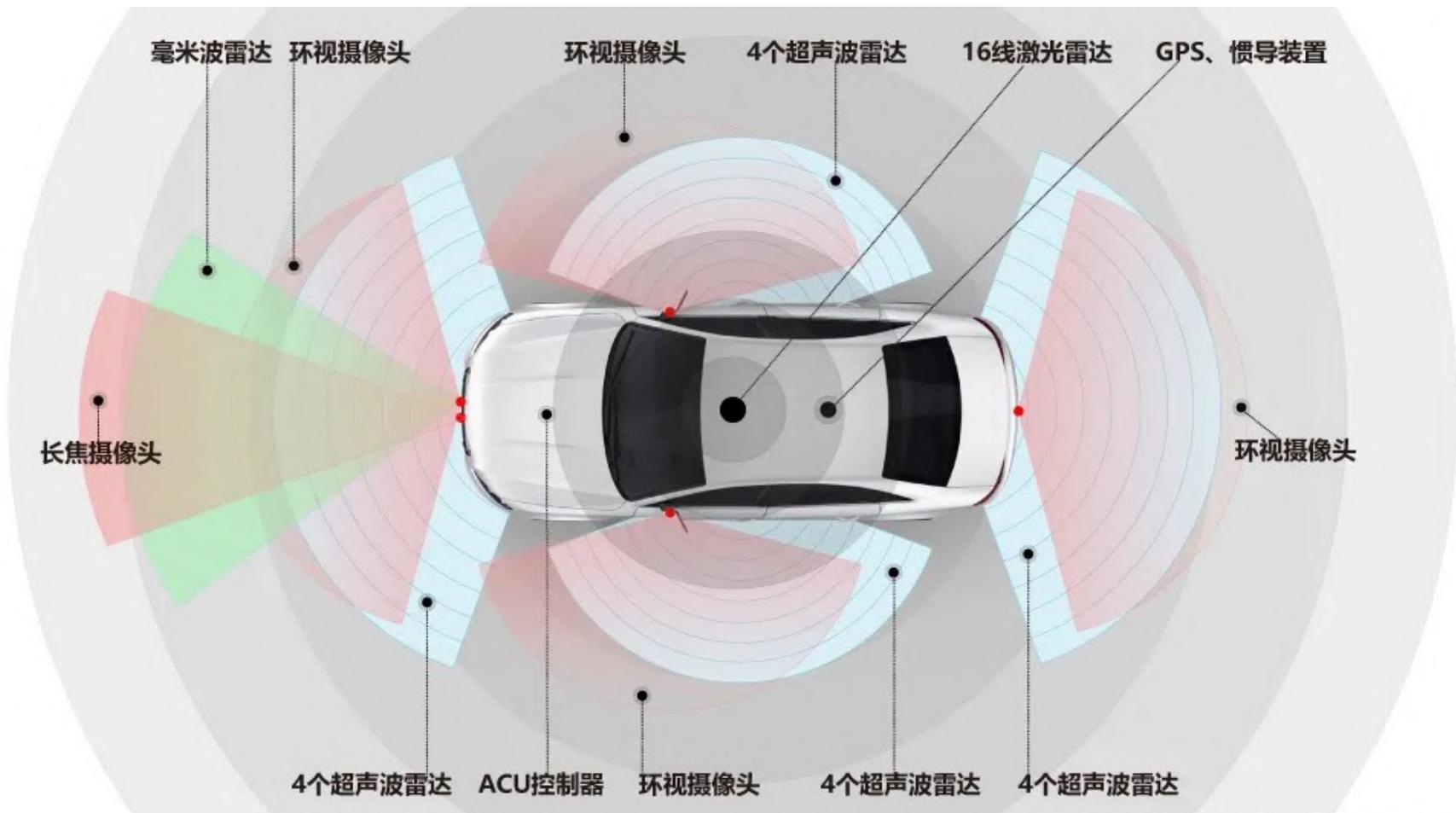
L3软件

感知

- 动态障碍物检测
- 交通灯识别
- 交通标志识别
- 车道线识别
- ...

✓ 实时接受的信息量远大于人类

○ 信息处理能力远小于人类



动态障碍物检测与追踪



交通灯识别



交通标志识别

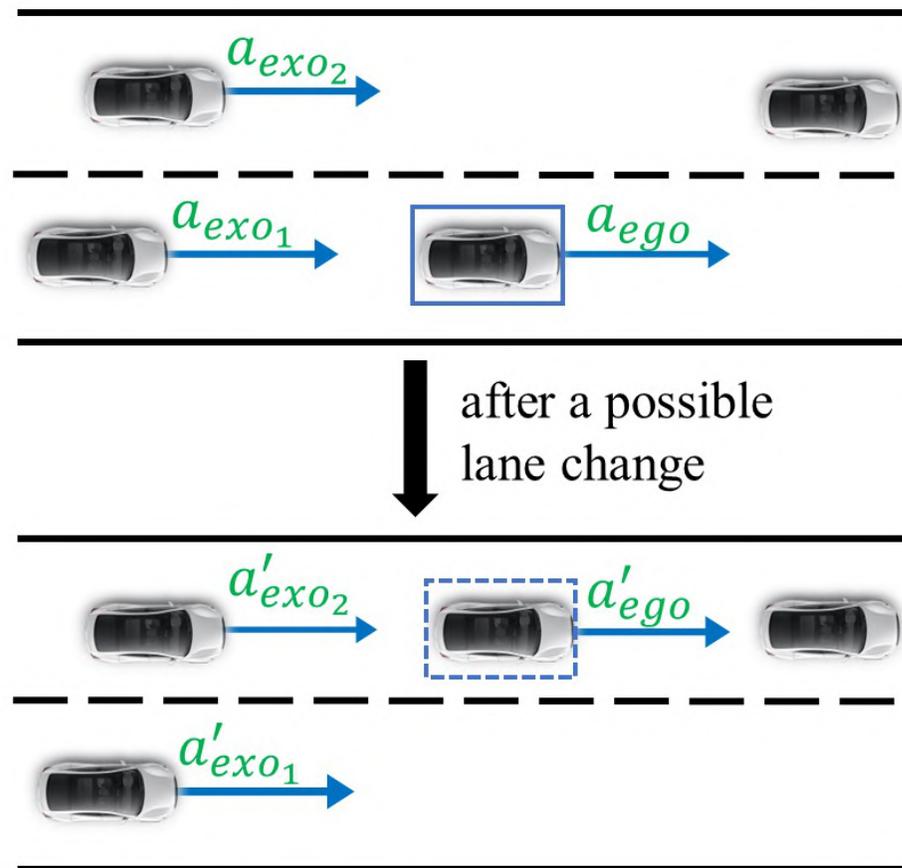


L3软件

决策：自主换道

Minimizing Overall Braking Induced by Lane Changes (MOBIL)

```
1 def mobil_decision(current_state, lead_state, following_state, threshold_incentive,
2   threshold_politeness, p):
3     # Calculate current acceleration
4     a_current = current_state['acceleration']
5
6     # Predict future states
7     future_current = predict_state(current_state)
8     future_lead = predict_state(lead_state)
9     future_following = predict_state(following_state)
10
11    # Calculate new accelerations after hypothetical lane change
12    a_new = predict_acceleration(future_current)
13    a_lead_new = predict_acceleration(future_lead)
14    a_follow_new = predict_acceleration(future_following)
15
16    # Calculate incentive criterion
17    delta_a = a_new - a_current
18    incentive = delta_a > threshold_incentive
19
20    # Calculate politeness criterion
21    delta_a_follow = a_follow_new - following_state['acceleration']
22    delta_a_lead = a_lead_new - lead_state['acceleration']
23    politeness = p * (delta_a_follow + delta_a_lead) > -threshold_politeness
24
25    # Decide on lane change
26    if incentive and politeness:
27        # Generate lane change trajectory
28        trajectory = interpolate_trajectory(future_current, future_lead, future_following)
29        return True, trajectory
30    else:
31        return False, None
```



L3进展

国内：L3级自动驾驶测试牌照

2024年01月03日 09:18 | 来源：证券日报

Tr 小字号

原标题：L3级自动驾驶测试牌照发放意味着什么

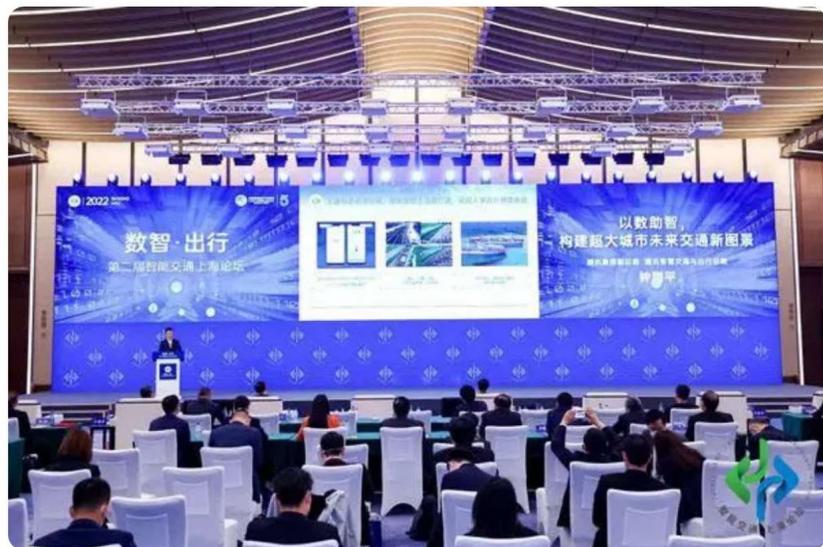
近日，国内首批有条件自动驾驶（L3级）高速公路道路测试牌照正式发放，包括宝马、奔驰、阿维塔、深蓝，奔驰、极狐、宝马、智己、赛力斯等多家车企获得测试牌照，并相继在北京、上海、重庆和深圳开启测试。

L3进展

国内：自动驾驶高速公路

上海首批自动驾驶高速公路正式开放，到2025年将建成智慧高速公路和智慧城市道路超800公里

新民晚报 2022-11-09 11:48 新民晚报官方帐号 关注



- 绕城高速21.5+京沪高速19.5公里
- 926条测试道路、可测场景达到15000个



L3进展

🌐 国际：宝马（BMW）高速自动驾驶系统（德国上市，2023）



L4：高度自动驾驶

④ **定义**： 驾驶自动化系统在其**设计运行条件内持续地**执行**全部动态驾驶任务**和**执行动态驾驶任务接管**。

- 在限定区域内，由车辆完成**所有**驾驶操作
- 人类驾驶员**无需**保持注意力集中
- **系统无法继续运行时**，人类驾驶员必须接管车辆

④ **(先前) L3定义**：

- 由车辆自动检测环境，并完成**绝大部分**驾驶操作
- **功能请求**时，人类驾驶员必须接管车辆



L4范例：机器人出租车 (robotaxi)

④ 设计运行条件：

- 指定城市区域内 (通常需要**高精度地图**)

④ 动态驾驶任务：

- 对城市道路中**所有可能**的目标与事件进行检测与响应

④ 策略级别规划：

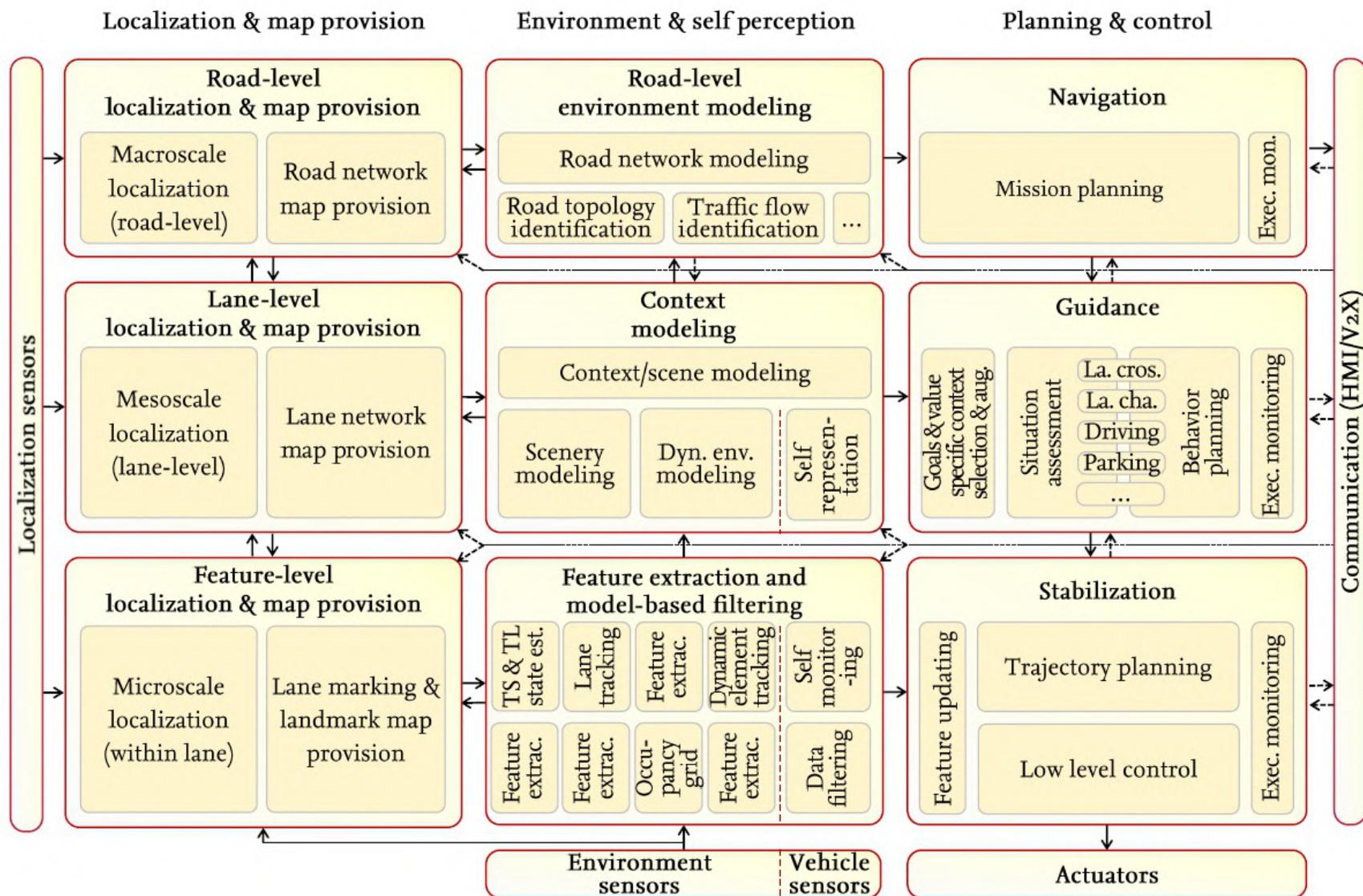
- 调度规划、行程规划、目的地和路径的选择

④ 动态驾驶任务接管：

- 发生异常时，**自主**达到最小风险状态

难度？

L4软件：复杂的自动驾驶系统（ADS）



边缘场景 (Corner Cases)

① 极端光照与天气条件：



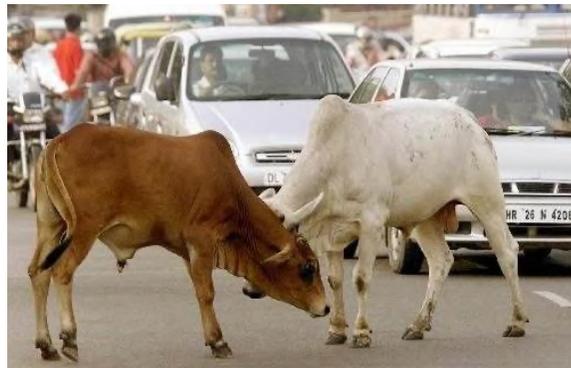
② 非常规交通行为：





边缘场景 (Corner Cases)

⊙ 非常规交通参与者：



⊙ 难以避免的感知模块失误：

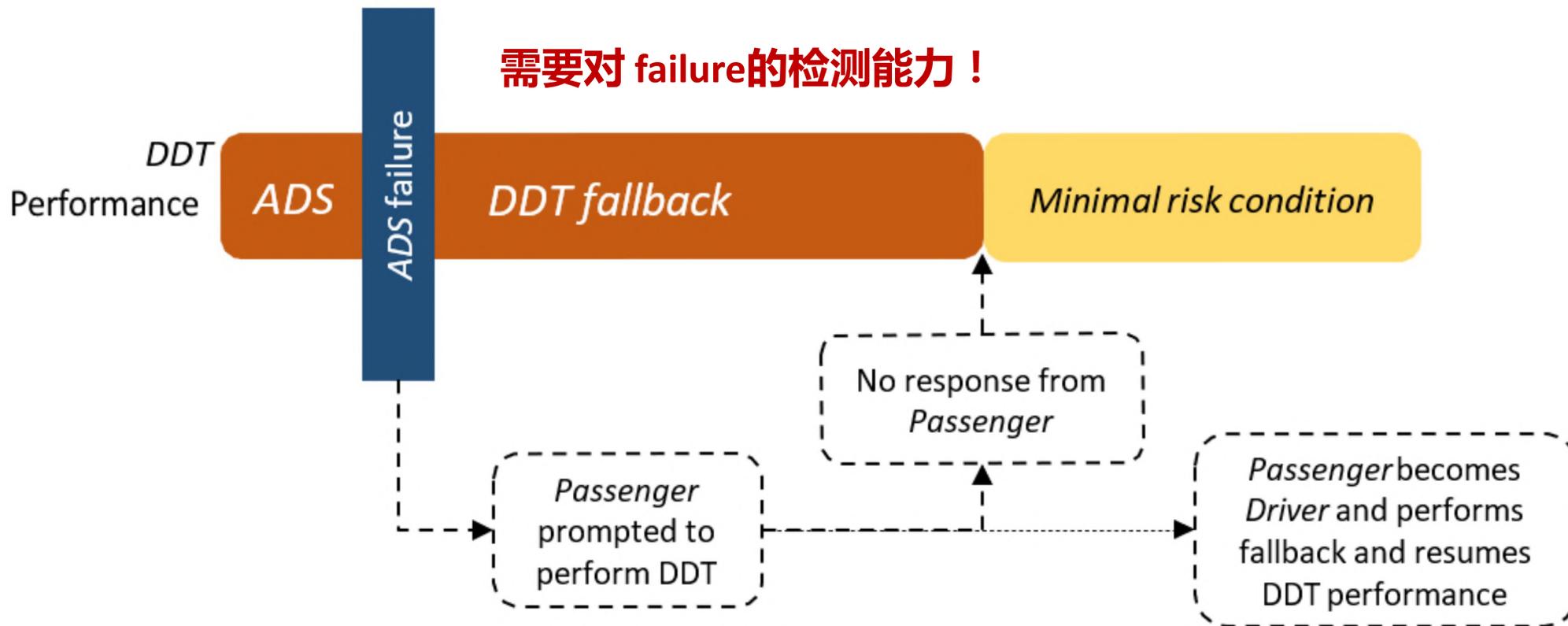


知乎 @大道至简



L4动态任务接管

④ 自动驾驶系统（ADS）无法处理动态驾驶任务（DDT）时调用



NOTE: Dashed lines represent optional conditions.

高清地图 (HD Map)

④ **定义**：用于高级别辅助驾驶与自动驾驶的专用地图

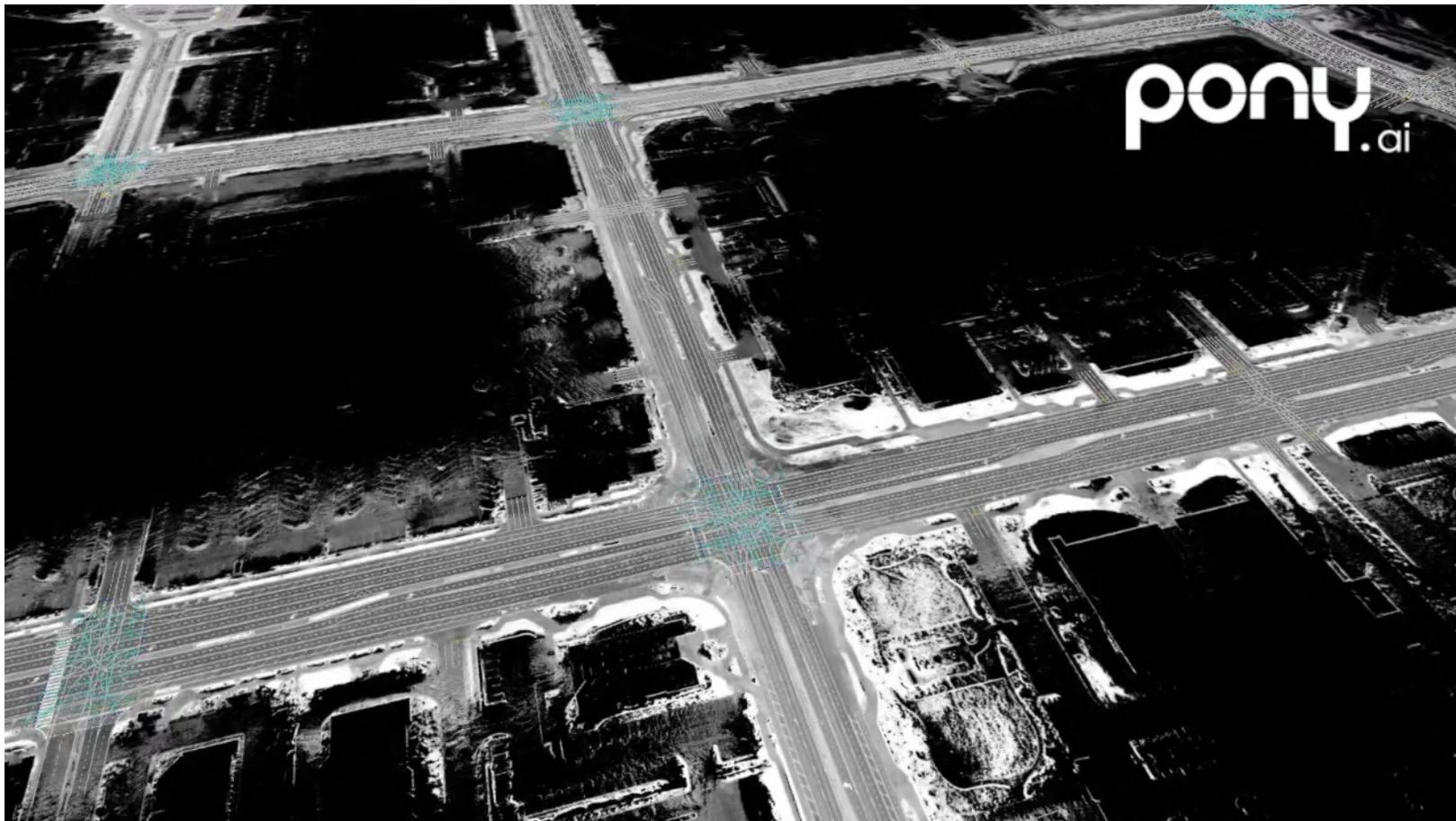
- **精细**：必须包含**车道级别**信息、必须达到**10-20 cm**精度
- **丰富**：包含传统地图上不存在的细节，如详细的**道路几何**、**道路设施**等信息
- **新鲜**：必须**及时更新**，以反应最新的道路结构

④ **用途**：

- **辅助驾驶 (L1、L2)**：提供多重融合感知的安全冗余
- **有条件自动驾驶 (L3)**：提供预感知的基础数据
- **自动驾驶 (L4、L5)**：提供必不可少的数据库和知识库

高清地图 (HD Map)

📍 范例：



视频来自小马智行

L4进展

🌐 国际：Waymo One



视频来自Waymo

L4进展

国内：百度Robotaxi（萝卜快跑）



视频来自百度

L4进展

国内：中国自动驾驶测试基建

图片来自《高级别自动驾驶应用》白皮书（2023）

城市条件		北京	上海	深圳	重庆
工作基础	累计道路测试里程	超 2194 万公里 (截至 2023 年 4 月)	超 1300 万公里 (截至 2023 年 2 月)	1.9 万公里 (截至 2022 年 3 月)	180 万公里 (截至 2023 年 2 月)
	已开放测试道路里程	1143.8 公里 (截至 2023 年 4 月)	1800 公里 (截至 2023 年 2 月)	771 公里 (截至 2023 年 8 月)	双向 1380 公里 (截至 2023 年 2 月)
	已发放道路测试牌照	578 张 (截至 2023 年 3 月)	612 张 (截至 2023 年 2 月)	325 张 (截至 2023 年 8 月)	63 张 (截至 2022 年 10 月)
	高精度地图试点	√	√	√	√

L4进展

国内：中国Robotaxi市场规模预测

图片来自《高级别自动驾驶应用》白皮书（2023）

要素 \ 时间	自动驾驶乘用车数量	自动驾驶汽车总销售额	自动驾驶出行服务订单	自动驾驶占乘客总里程
2030 年	800 万辆	2300 亿美元	2600 亿美元	13%
2040 年	1350 万辆	3600 亿美元	9400 亿美元	66%

数据来源：McKinsey 中国汽研整理

L5：完全自动驾驶

④ **定义**：驾驶自动化系统在**任何可行驶条件下持续地**执行**全部动态驾驶任务**和**执行动态驾驶任务接管**。

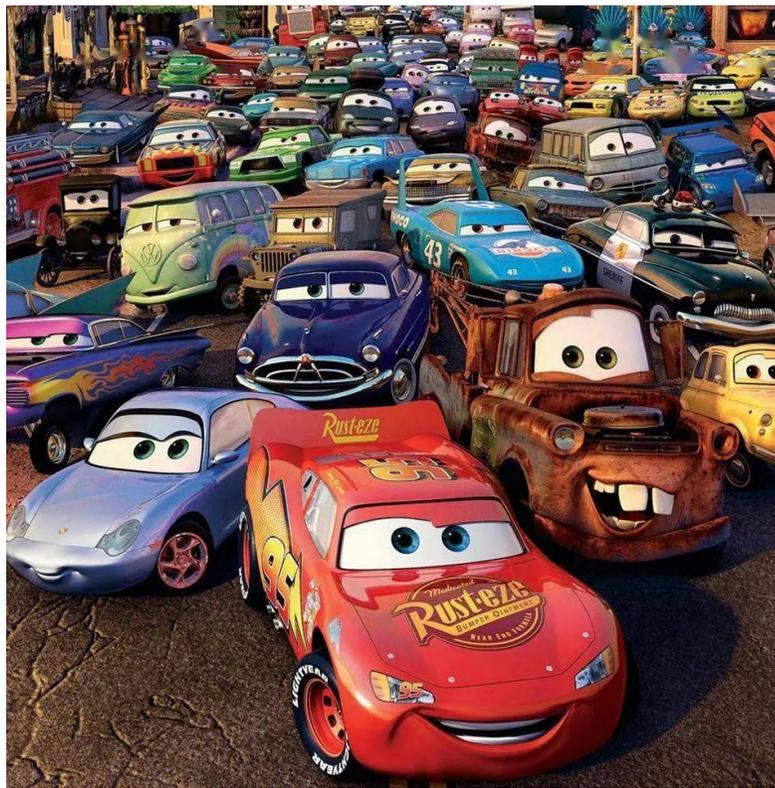
- 在**所有情况**下，由车辆完成所有驾驶操作
- **无需**人类驾驶员

④ **(先前) L4定义**：

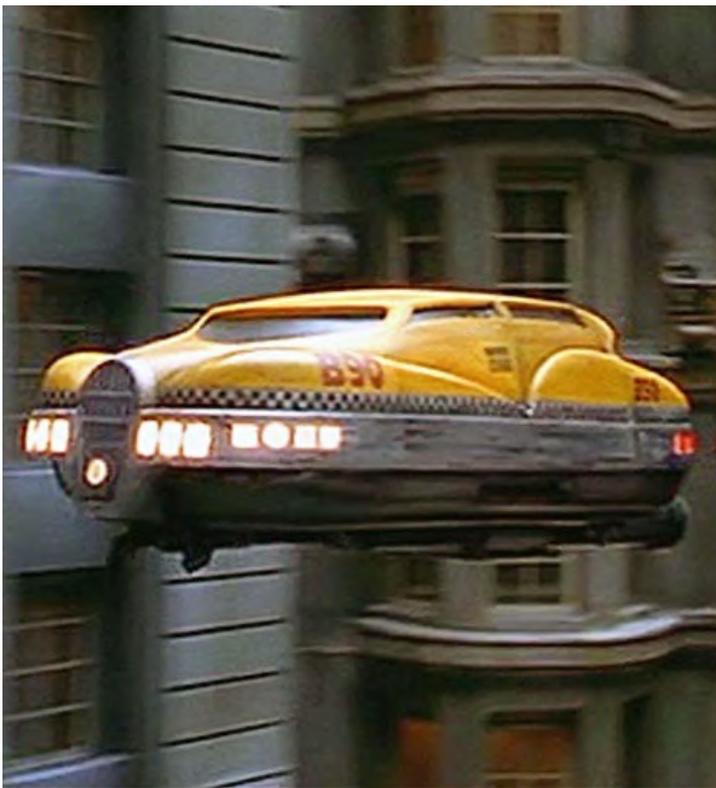
- 在**限定区域**内，由车辆完成所有驾驶操作
- 人类驾驶员**无需保持注意力集中**
- 系统无法继续运行时，**人类驾驶员**必须接管车辆



电影中的L5自动驾驶



汽车总动员



第五元素



变形金刚

L5自动驾驶概念车



百度



大众



奥迪

L5将何时到来？

④ 技术挑战

- Corner case的检测及应对
- 非结构化道路

④ 标准与法规挑战

- 《道路交通安全法》《公路法》《保险法》等不涉及自动驾驶方面的内容
- 《网络安全法》《测绘法》《标准化法》等存在不适应自动驾驶技术产业化的规定

④ 基础设施挑战

- 需要建设建设智能化道路、无线通信网络、高精度位置服务等各种基础设施



“双一流”校企合作课程 《自动驾驶前沿技术》



蔡盼盼
副教授

机器人智能
与自动驾驶



李弘扬
青年科学家

自动驾驶
感知



石建萍
副总裁

计算机视觉
与自动驾驶



刘春晓
团队负责人

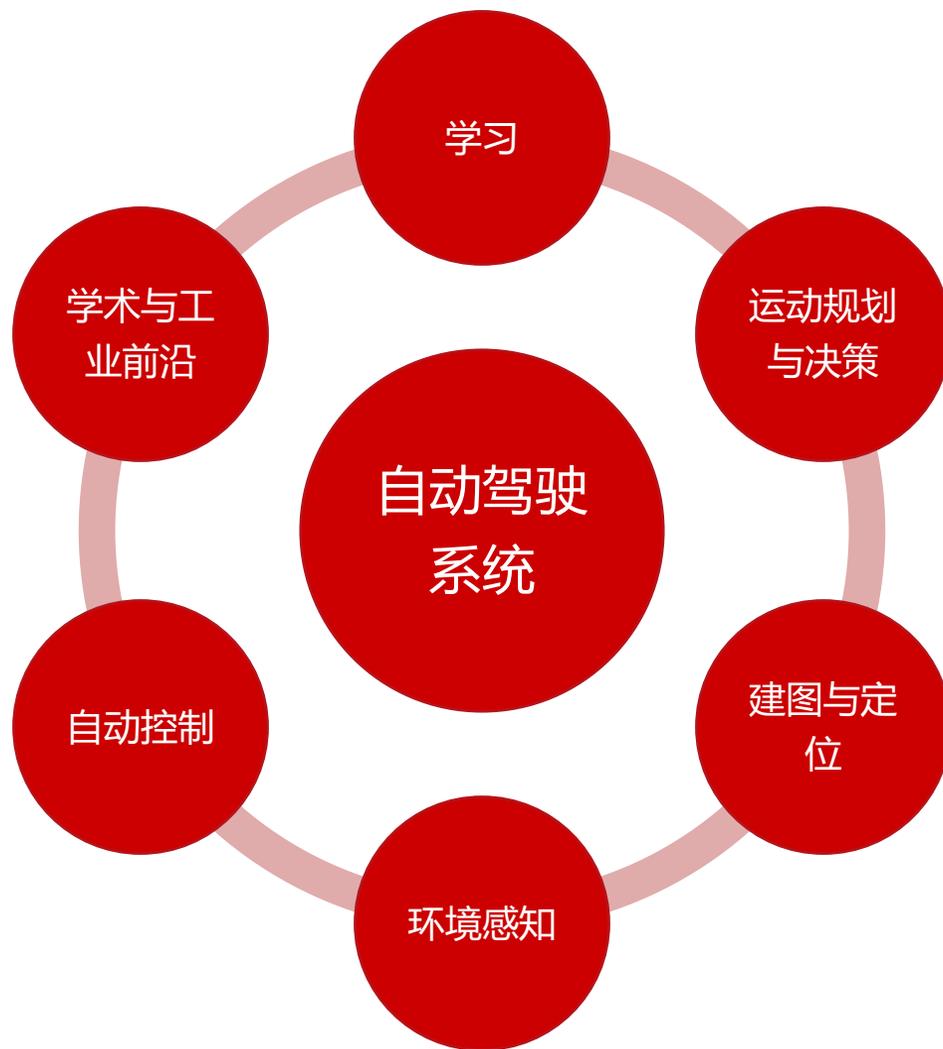
自动驾驶规
划与控制



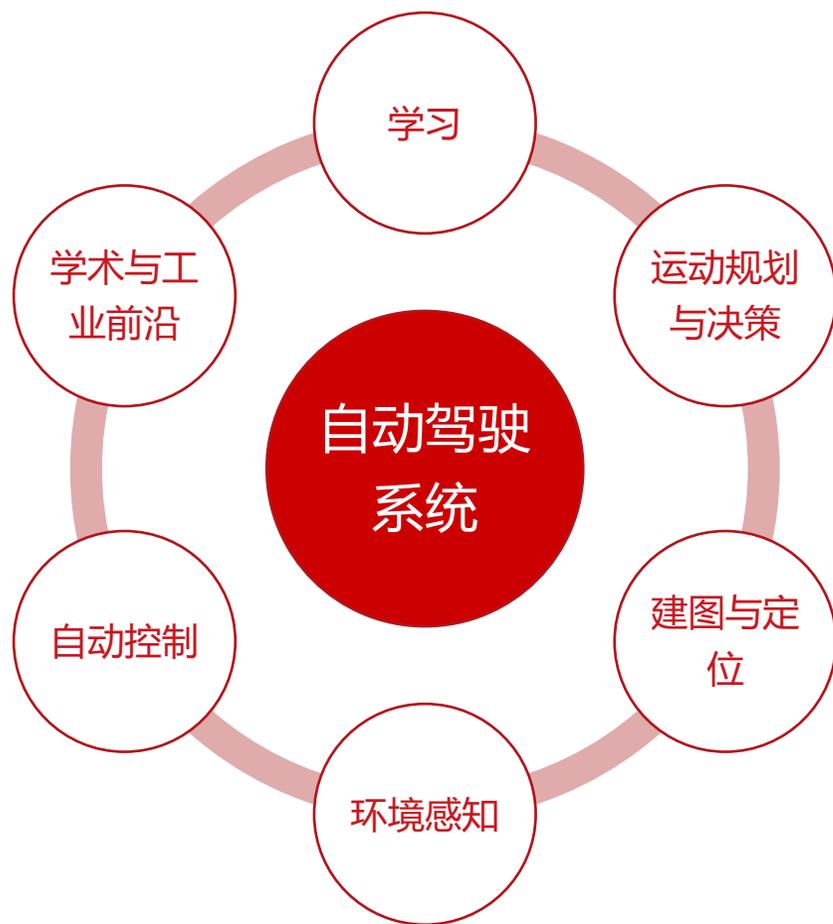
方良骥
高级研究员

自动驾驶
感知

课程内容



课程内容



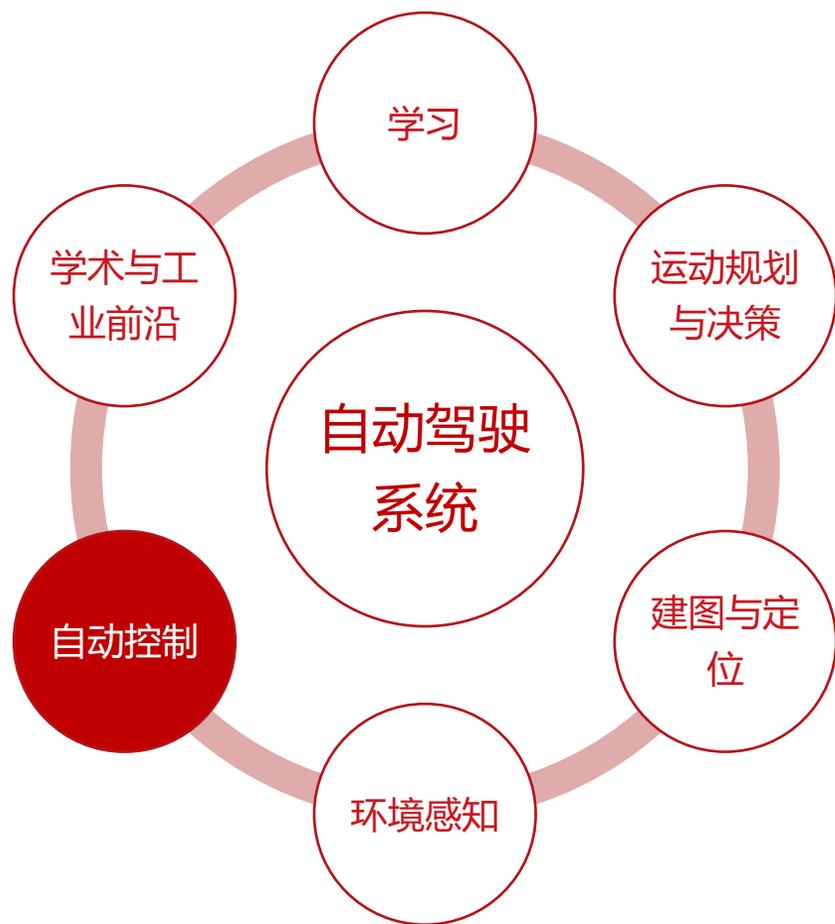
① 第一讲：自动驾驶简介（3学时）

- 自动驾驶技术概述
- 自动驾驶技术发展历史与国内外现状
- CARLA自动驾驶模拟器入门（为项目作业准备）

② 第二讲：自动驾驶汽车的系统架构（3学时、浦江）

- 自动驾驶车辆的系统架构
- 硬件与软件堆栈
- 自动驾驶汽车传感器 (Camera, LIDAR, RADAR, GPS, IMU)

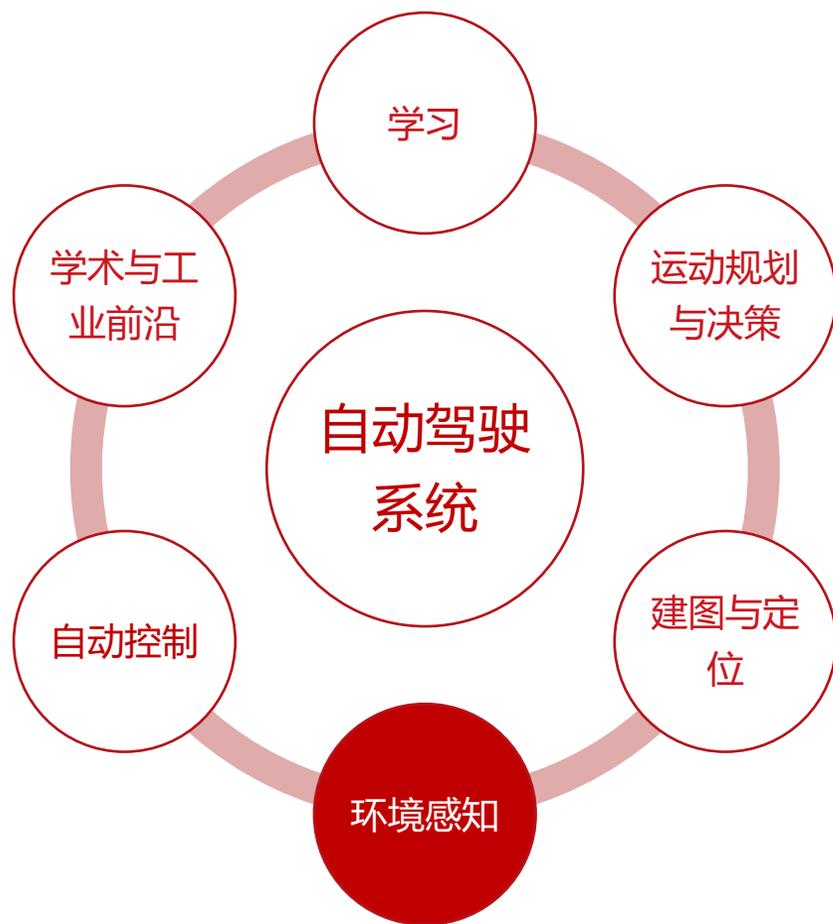
课程内容



第三讲：车辆动力学和控制（3学时、浦江）

- 车辆运动学和动力学基础
- 车辆的纵向和横向动力学
- 车辆控制算法简介
 - PID, Pure-Pursuit, MPC, ...

课程内容



第四讲：视觉感知 I (3学时、浦江)

- 计算机视觉简介
- 图像处理和特征提取
- 对象检测和识别

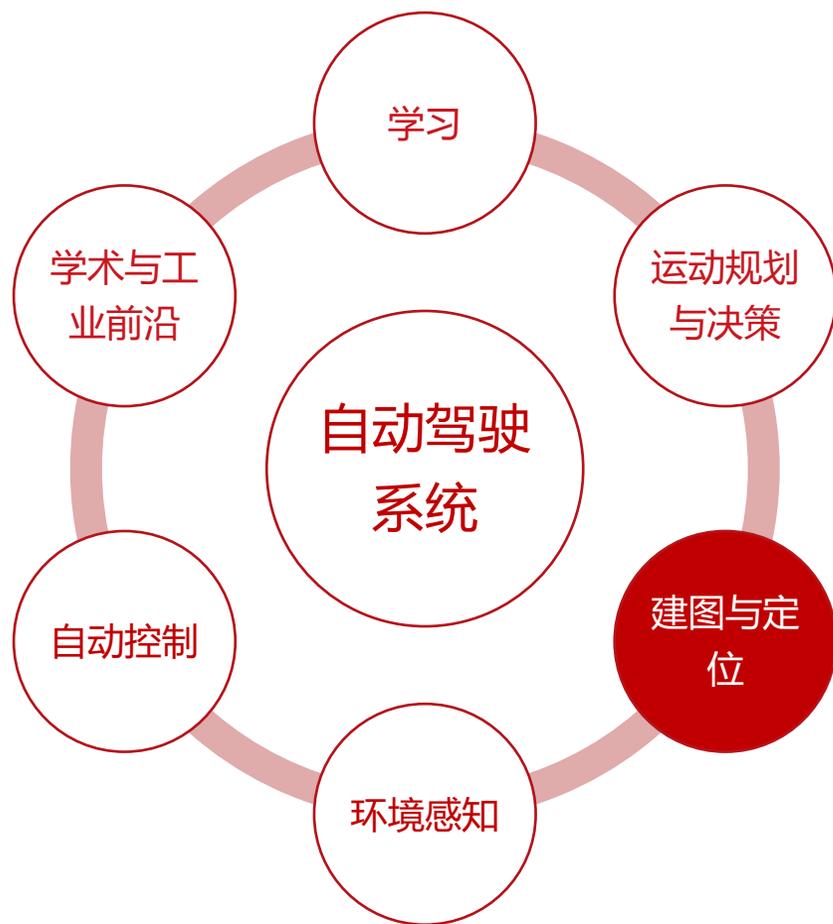
第五讲：视觉感知 II (3学时、浦江)

- 计算机视觉高级技术
- 基于深度学习的对象检测
- 场景理解与语义分割

第六讲：激光雷达感知 (3学时、浦江)

- 激光雷达原理
- 点云数据与特征提取
- 基于激光雷达的对象检测与跟踪

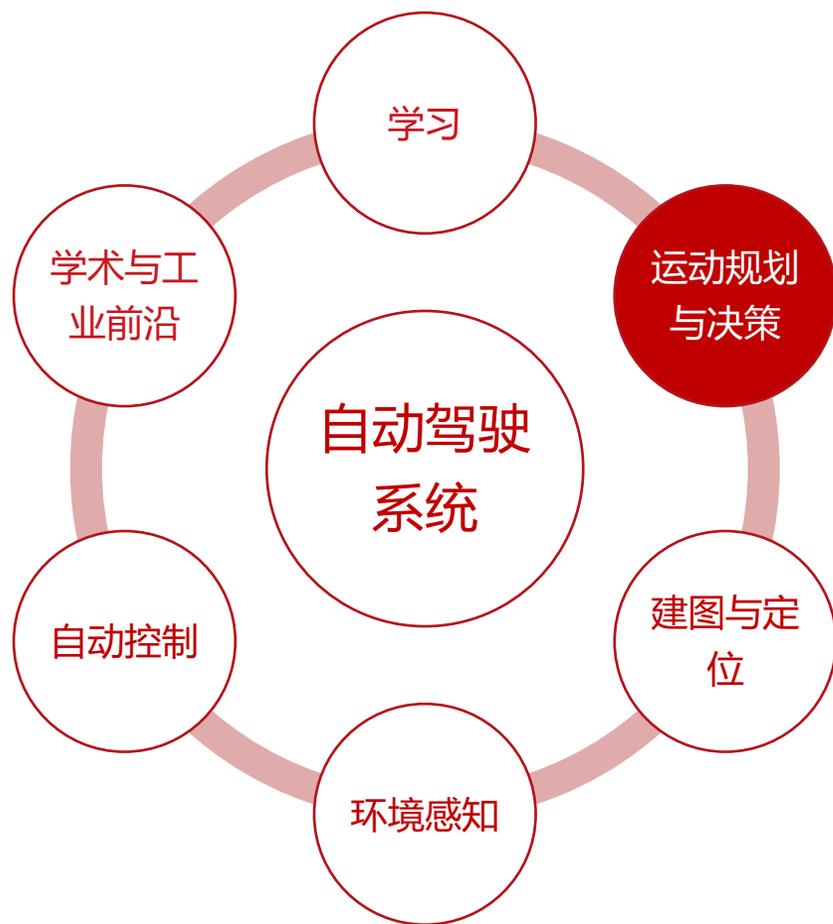
课程内容



第七讲：地图、定位、状态估计（3学时）

- 自动驾驶中使用的地图类型 (点云、栅格、拓扑)
- 基于传感器的定位技术 (GPS、里程表、IMU)
- 基于贝叶斯滤波器的定位技术 (卡尔曼滤波、粒子滤波)

课程内容



⑧ 第八讲：运动规划 I (3学时)

- 运动规划问题简介
- 网格搜索算法 (A^* , D^* , ...)
- 自动驾驶网格搜索算法 (Hybrid A^*)

⑨ 第九讲：运动规划 II (3学时)

- 采样式运动规划算法简介
- 快速探索随机树 (RRT)
- 概率道路图 (PRM)

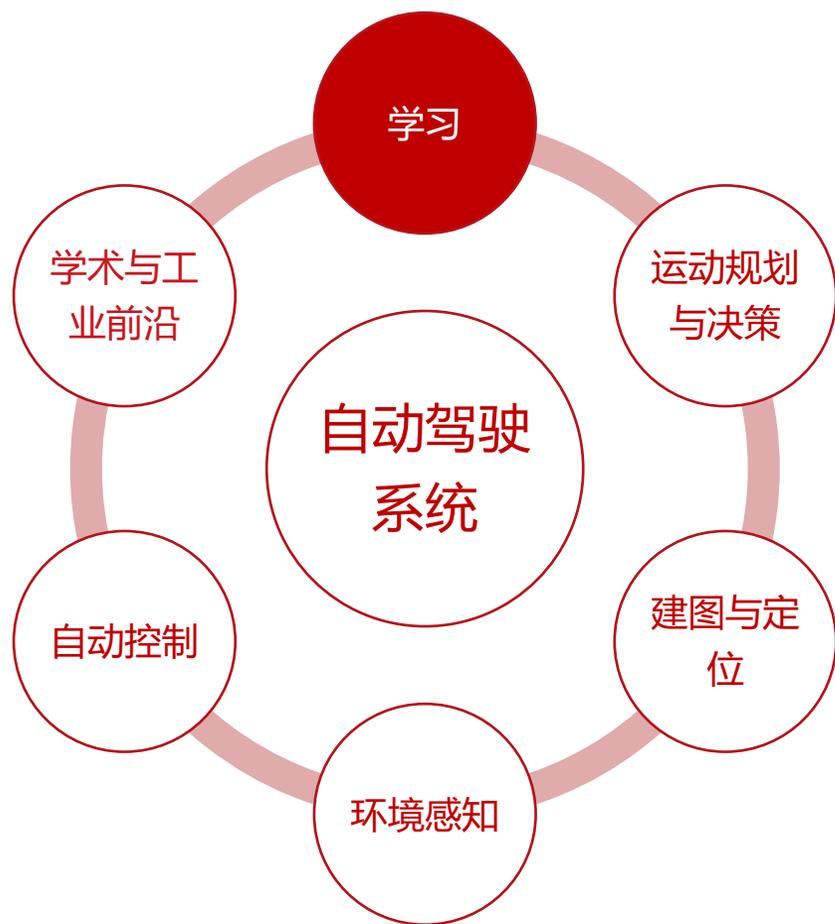
⑩ 第十讲：决策规划 I (3学时)

- 马尔科夫决策过程 (MDP) 简介
- MDP规划算法
- 自动驾驶决策中的MDP规划

⑪ 第十一讲：决策规划 II (3学时、进阶)

- 部分可观马尔科夫决策过程 (POMDP) 简介
- POMDP规划算法
- 自动驾驶决策中的POMDP规划

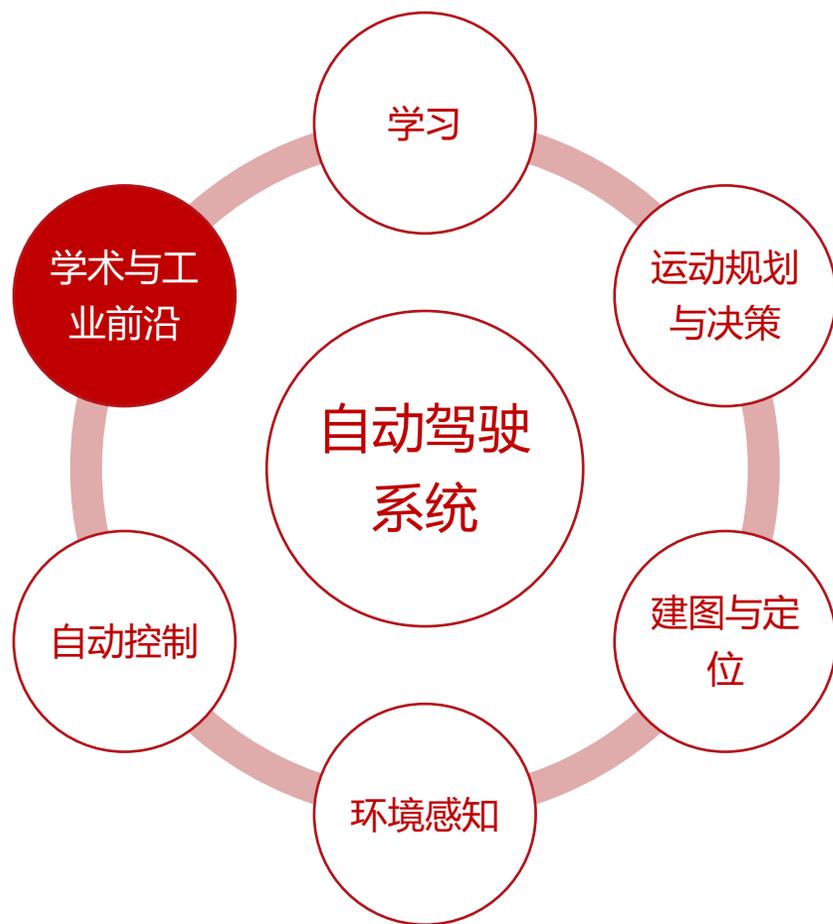
课程内容



第十二讲：自动驾驶中的学习方法（3学时，进阶）

- 强化学习简介
- 模仿学习简介
- 自动驾驶中的强化学习与模仿学习

课程内容



第十三讲：自动驾驶工业前沿（3学时、商汤、进阶）

- 商汤专家讲座系列

第十四讲：自动驾驶学术前沿（3学时、进阶）

- 上交学术讲座系列

第十五、十六讲：学生论文报告（3+3学时、评价）

- 学生提前研读自动驾驶前沿学术论文
- 学生分组进行论文报告
- 学生讨论并互相评估

评价方式

作业项目：

在CARLA中逐步实现自动驾驶系统

基本车辆控制

目标：理解与应用车辆控制技术

任务：控制仿真车辆跟随路径

传感器集成与感知

目标：理解与应用车辆感知技术

任务：识别与理解场景中的物体

路径规划与导航

目标：理解与应用运动规划算法

任务：实现在地图上的自主导航

机器人出租车系统

目标：理解与应用自动驾驶系统架构

任务：简易的自动驾驶出租车服务



评价方式

① 论文研读与报告

研读自动驾驶前沿学术论文

目标：了解自动驾驶前沿研究

任务：阅读并理解一篇指定论文

分组进行论文报告

目标：练习学术报告

任务：15分钟报告并讨论指定论文

讨论并互相评估

目标：分析、批判与创新

任务：评价他人、提出问题与建议



评分构成

④ 平时作业 60分

- 第一次（控制） 15分
- 第二次（感知） 15分
- 第三次（导航） 15分
- 第四次（系统） 15分

④ 书面报告 10分

- 介绍自己的自动驾驶系统架构、技术方法与实验结果。

④ 论文报告 30分

- 研读并介绍自动驾驶学术论文

更多信息与讨论

④ 课程网站 <https://roboticsjtu.github.io/CS7355/>

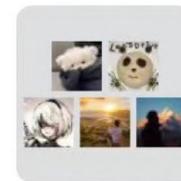
- 教师信息
- 答疑地址与时间
- 课程安排与资料 (课件、参考书)

④ 微信群

- 日常事务沟通
- 协助分组

④ Canvas讨论模块

- 作业、报告、与技术/学术问题讨论
- 积极贡献的用户将获得加分



Group: CS7355-自动驾驶前沿技术-学生群



Valid until 2/26 and will update upon joining group

自动驾驶发展历史

50-70年代

机器人自动
导航技术



80-90年代

早期自动驾驶
项目



00-10年代

自动驾驶技术
飞速发展



10-20年代

自动驾驶技术
商业化



Waymo
Tesla
Cruise
...

百度
小马
蔚来
小鹏
商汤
...

?

无人驾驶成为
新常态



里程碑一：早期自动驾驶项目

50-70年代

机器人自动
导航技术



80-90年代

**早期自动驾驶
项目**



00-10年代

自动驾驶技术
飞速发展



10-20年代

自动驾驶技术
商业化



Waymo
Tesla
Cruise
...

百度
小马
蔚来
...

?

无人驾驶成为
新常态



里程碑一：NavLab

① 1984 - 1994，卡耐基梅隆大学机器人所

① Navlab 1 (1986)

- 雪佛兰厢式货车
- 3个太阳工作站
- 视频硬件
- GPS接收器
- 一台WARP超级计算机
- 最高时速达到32千米每小时



里程碑一：NavLab

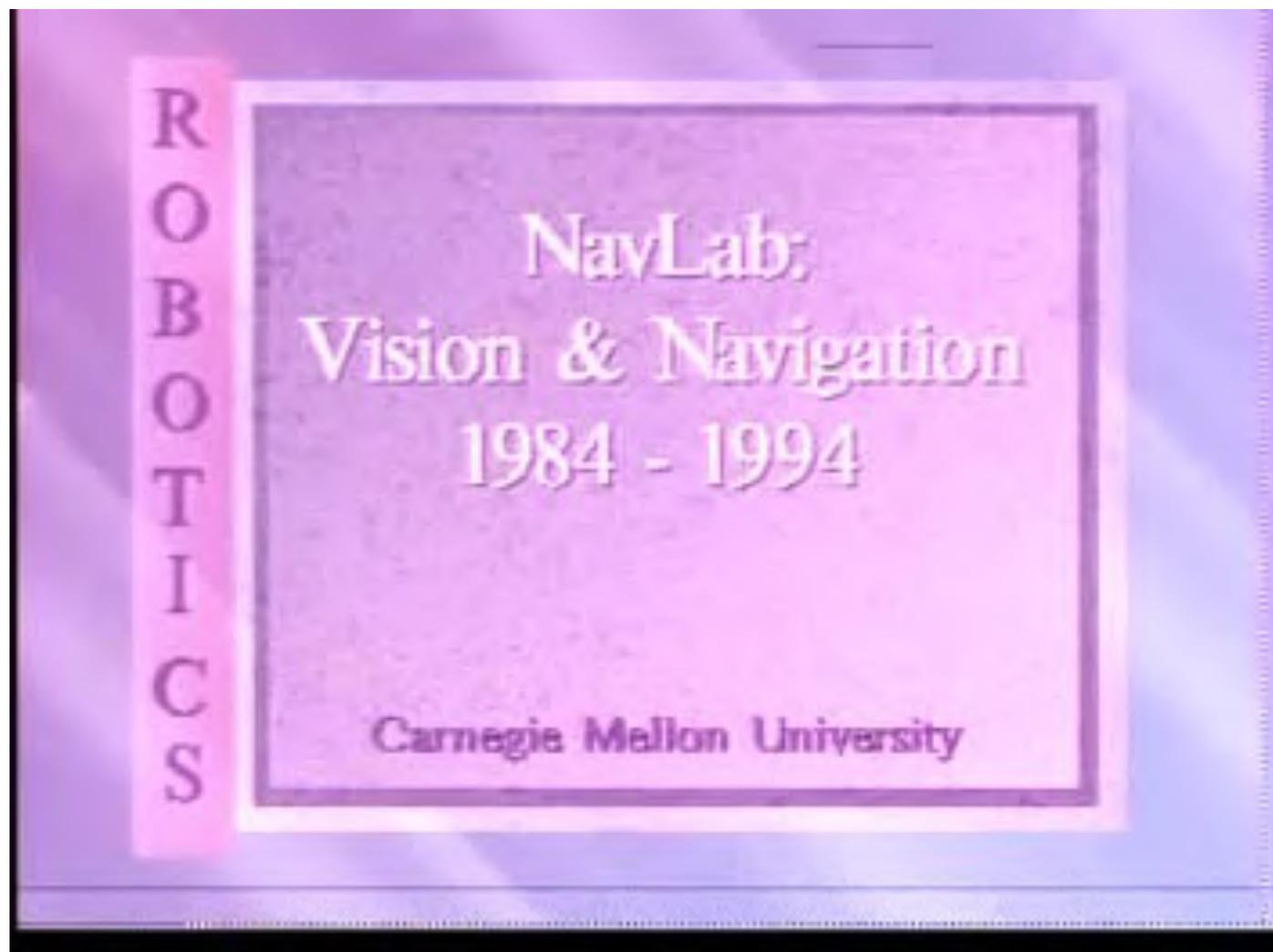
① 1984 - 1994，卡耐基梅隆大学机器人所

② Navlab 5 (1990)

- 1995年，从匹兹堡一路开车到圣地亚哥
- 全程约4590千米
- 平均时速超过96千米每小时
- 2007年进入**机器人名人堂**



里程碑一：NavLab 1



早期移动机器人

- 非实时系统：感知-思考-执行轮替
- 基于独立的图片输入
- 主要依赖摄像头
- 超低速行驶
- 需要专家（研究生）在现场

早期自动驾驶

- 实时系统：感知-思考-执行并发
- 基于视频输入
- 引入激光测距仪
- 低速->高速行驶
- 需要专家（研究生）在车上

里程碑一：NavLab 2



NavLab2 软件系统

- 传感器：摄像头阵列
- 最高时速：110km/h
- 感知模块Alvin：
 - 神经网络+模仿学习
 - 端到端方向盘控制！
 - 根据道路类型切换策略
- 路径规划模块Ranger
 - 地面建模
 - 向前仿真、轨迹优化
- 障碍物建图模块Ganesha
 - 自动追踪障碍物
 - 自动避障、自动泊车
- 路线规划模块D*
 - 动态调整A*生成的最优路线
- 远程控制模块Strip
 - 专家科远程操控汽车
- 行为决策模块DAMN
 - 从基础模块提供的行为中选择最优行为
- 总体调度Sarsages

里程碑二：自动驾驶挑战赛

50-70年代

机器人自动
导航技术



80-90年代

早期自动驾驶
项目



00-10年代

自动驾驶技术
飞速发展



10-20年代

自动驾驶技术
商业化



Waymo
Tesla
Cruise
...

百度
小马
蔚来
...

?

无人驾驶成为
新常态



DARPA Grand Challenge

2004年第一届

- 地点：沙漠
- 全长：大约200公里
- 限时：10小时
- 奖金：100万美元
- 结果：
 - 预选赛：106进25
 - 资格赛：25进15
 - 决赛：15进0



DARPA Grand Challenge

2004年第一届

- 冠军：CMU (Sandstorm)
- 车型：改装悍马
- 行驶长度：11.78公里



DARPA Grand Challenge

2005年第二届

- 地点：沙漠
- 全长：约200公里
- 奖金：200万美元



DARPA Grand Challenge

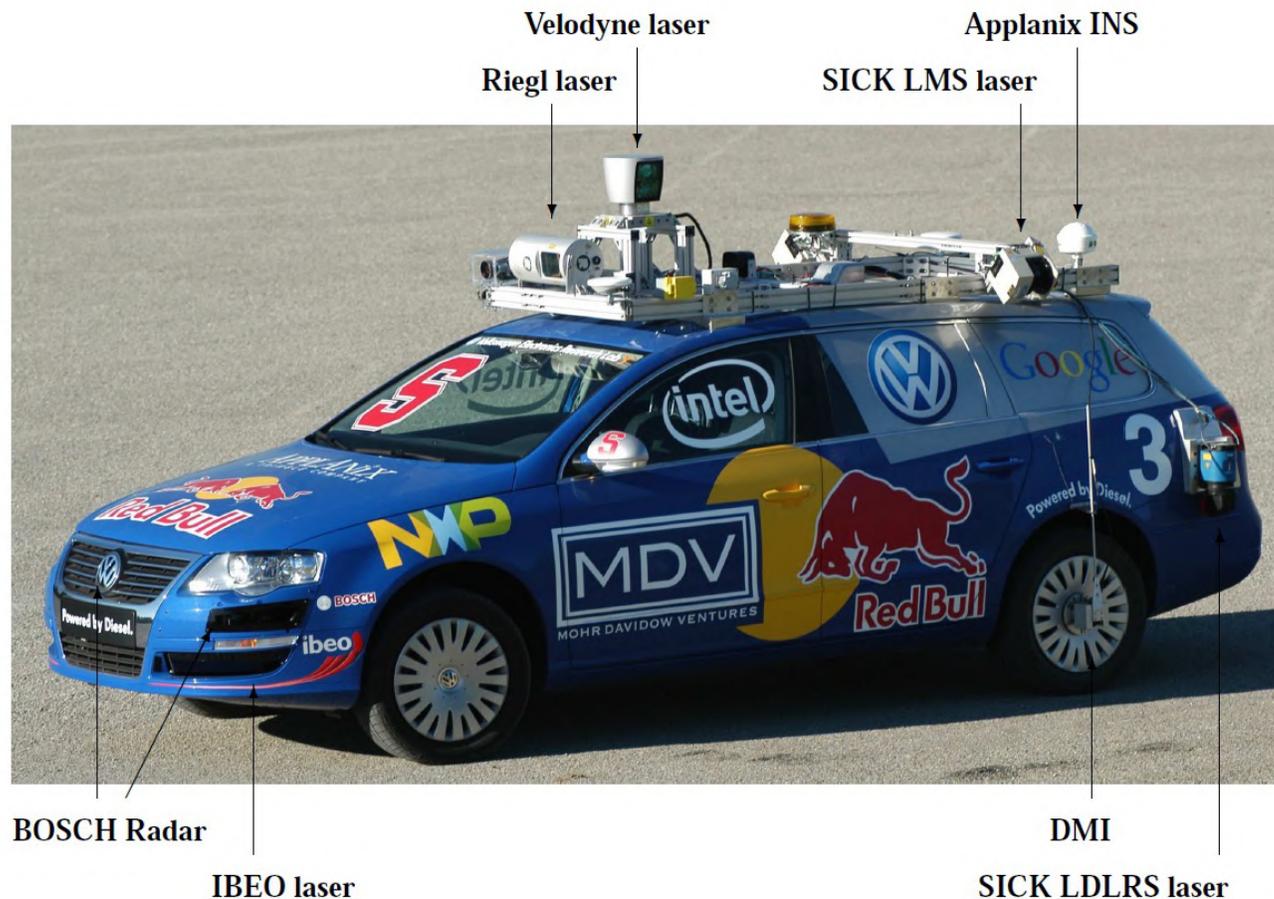
2005年第二届

- 赢家：Stanford (Stanley)
- 车型：改装大众
- 耗时：6小时54分
- 领队：



Sebastian Thrun

斯坦福大学教授
谷歌自动驾驶团队创始人



DARPA Grand Challenge

2005年第二届，赛前准备



DARPA Grand Challenge

2005年第二届，正式比赛



Urban Challenge

2007年

- 地点：模拟城市（有交规）
- 全长：96公里
- 限时：6小时
- 奖金：200万美元

赢家：

- CMU (Boss)
- 车型：改装雪佛兰
- 用时：4小时10分



内容回顾

自动驾驶分级

- 分级标准
- L1-L5软硬件需求
- 国内外进展

自动驾驶历史

- 早期自动驾驶
- 自动驾驶挑战赛

第二讲：自动驾驶系统架构



李弘扬 青年科学家

上海人工智能实验室OpenDriveLab

研究领域：感知、认知、端到端自动驾驶、基础模型

邮箱：hy@opendrivelab.com 或 hongyangli@sjtu.edu.cn

网站：<https://lihongyang.info/>

