

ADAS和自动驾驶的现状、架构、算法和技术路线

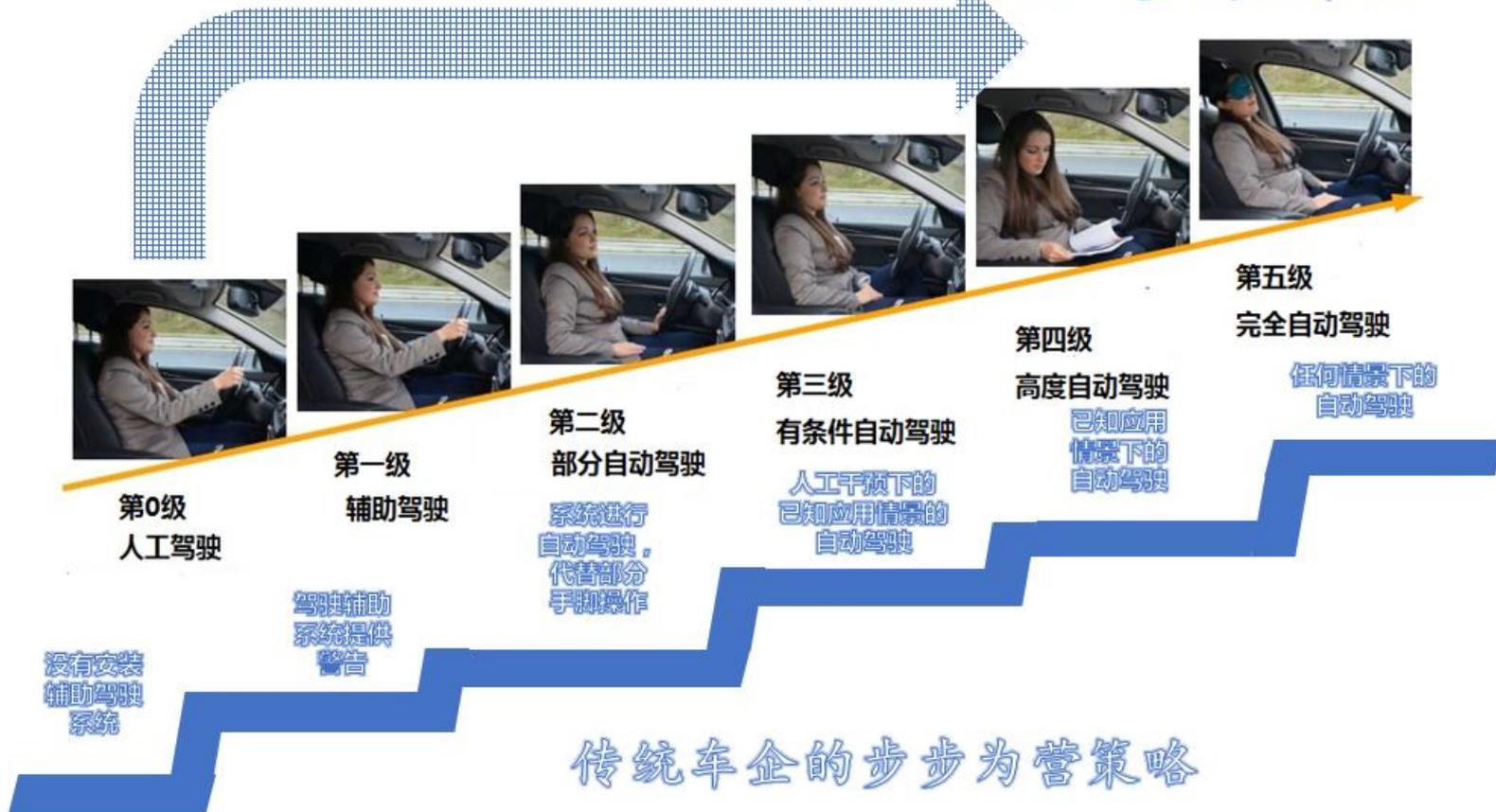


行业状况



自动驾驶的分级

互联网企业的一步到位策略

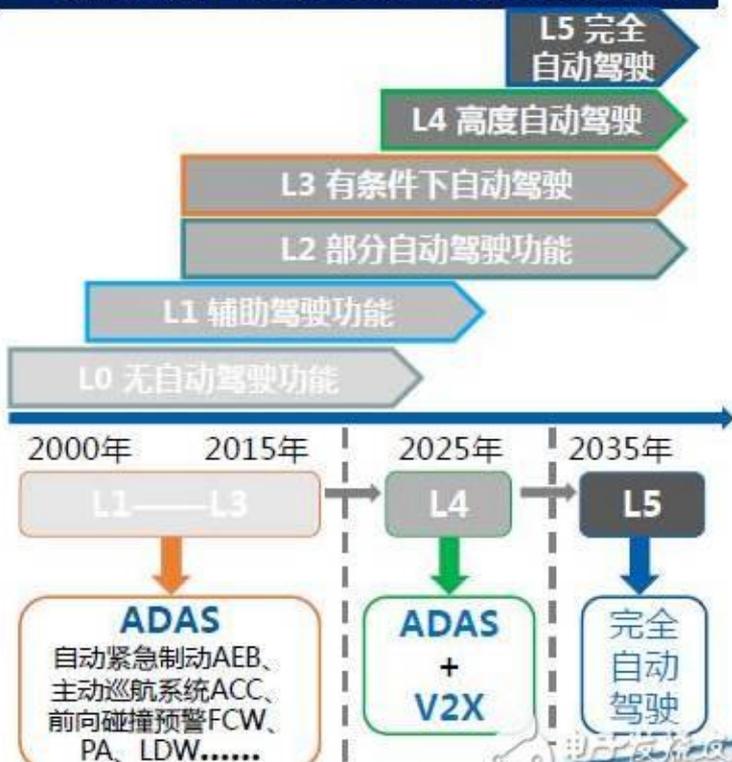


不同的自动驾驶分级方法

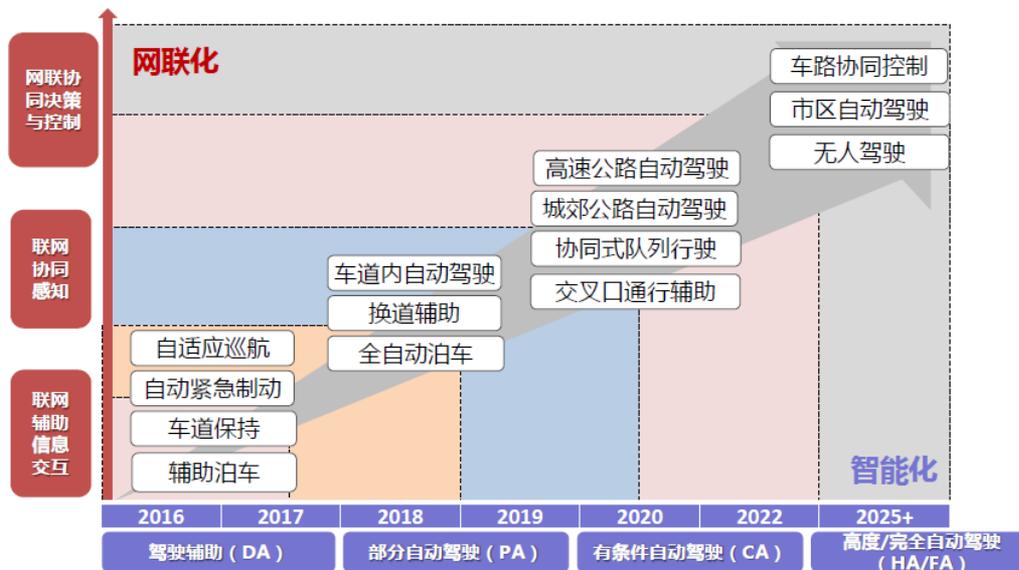
自动驾驶分级		称呼 (SAE)	SAE定义	主体			
NHTSA	SAE			驾驶操作	周边监控	支援	部分功能
0	0	无自动化	由人类驾驶者全权操作汽车, 在行驶过程中可以得到警告和保护系统的辅助	人类驾驶者	人类驾驶者	人类驾驶者	LDW/FCW/LCA/DOW/CTA/BSL
1	1	驾驶支援	通过驾驶环境对方向盘和加减速中的一项操作提供驾驶支援, 其它的驾驶动作由人类驾驶员进行操作	人类驾驶者系统			LKA/LCC或者ACC/AEB
2	2	部分自动化	通过驾驶环境对方向盘和加减速中的多项操作提供驾驶支援, 其它的驾驶动作由人类驾驶员进行操作	系统			LKA/LCC+ACC/AEB
3	3	有条件自动化	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。根据系统请求, 人类驾驶者提供适当的应答。		系统	TJA+LKA/LCC+ACC/AEB+HWA	
4	4	高度自动化	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。根据系统请求, 人类驾驶者不一定需要对所有的系统请求作出应答, 限定道路和环境条件等。	系统		系统	自动驾驶算法
	5	完全自动化	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。人类驾驶者在可能的情况下接管。在所有的道路和环境条件下驾驶。				

行业内的时间表

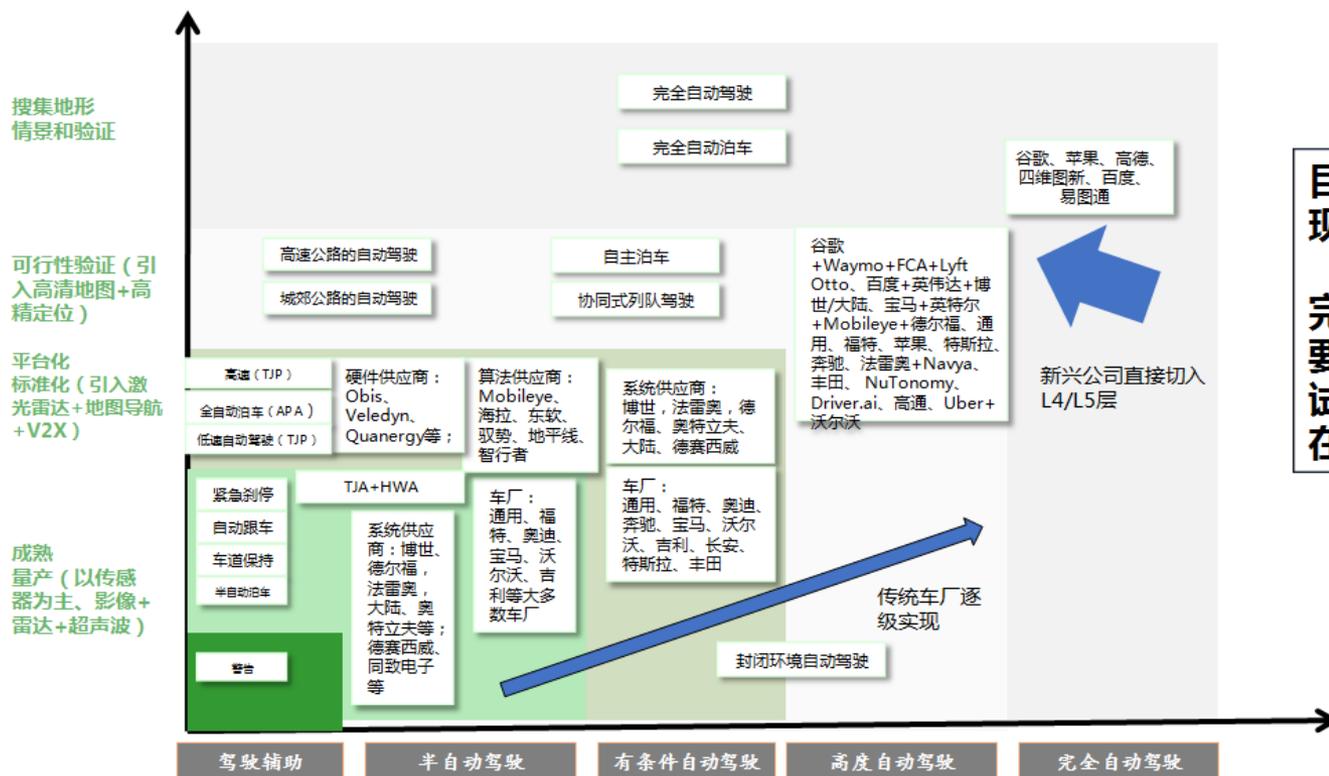
国际自动机工程师学会关于智能驾驶等级分类



资料来源：SAE、中国中投证券研究总部



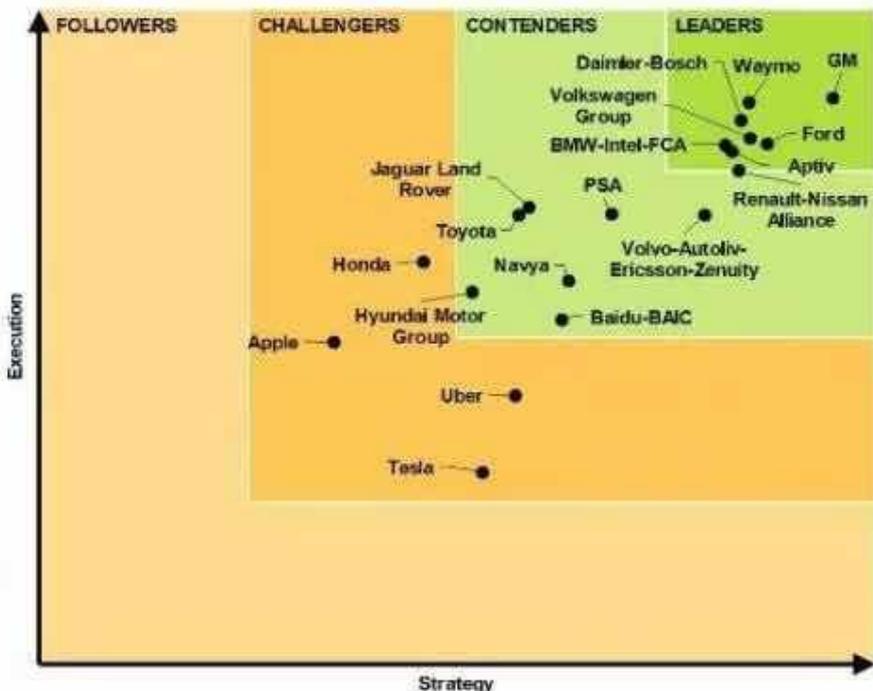
目前行业内的状态



目前车厂在L2已经实现部分功能量产；

完成L3/L4样车，需要进行大量的道路测试和验证，各大车厂在量产方面非常谨慎。

领先者的行动



引用Navigant Research 调查报告。
10个评判标准分别为：实力；市场策略；伙伴；生产策略；技术；销售；营销和分销；产品能力；产品质量可靠；产品介绍；持续活力。

	最近动态
福特	<ul style="list-style-type: none"> 2017年福特10亿美元收购人工智能公司Argo AI 2017年福特计划将无人驾驶车队扩容到90辆 2016年福特向激光雷达公司Velodyne投资0.75亿美元 2016年福特收购以色列创企SAIPS（主攻机器学习和计算机视觉）
通用	<ul style="list-style-type: none"> 2017年通用计划斥资6亿美元投资在自动驾驶上 2016年通用10亿美元收购无人驾驶技术初创公司Cruise Automation
雷诺-日产	<ul style="list-style-type: none"> 2016年雷诺与日产组建300人自动驾驶技术团队 计划2020年前推出10款自动驾驶汽车
奔驰	<ul style="list-style-type: none"> 2016年奔驰获得美国华达州自动驾驶测试牌照 2016年奔驰发布自动驾驶公交车在荷兰的BRT线路上路成功 2015年奔驰、宝马、奥迪32亿美元收购地图厂商Here
大众	<ul style="list-style-type: none"> 2015年奥迪、奔驰、宝马32亿美元收购地图厂商Here
宝马	<ul style="list-style-type: none"> 2016年宝马投资自动驾驶创业公司Nauto 2016年宝马发布了一份声明将BMW i Ventures投资基金增加至5亿欧元,以推动无人驾驶相关技术的研发 2015年宝马、奔驰、奥迪32亿美元收购地图厂商Here
谷歌	<ul style="list-style-type: none"> 2016年谷歌将无人驾驶汽车部门分拆成为独立公司Waymo，其潜在市值高达700亿美元 2016年谷歌自动驾驶测试里程已超过200万英里
沃尔沃-奥斯特夫	<ul style="list-style-type: none"> 2017年沃尔沃将投入100辆车进行无人驾驶测试 2017年沃尔沃与Autoliv成立自动驾驶合资公司 2016年沃尔沃与Uber共同投资3亿美元，合作研发自动驾驶汽车
德尔福	<ul style="list-style-type: none"> 2017年德尔福与法国公交公司联合开发自动驾驶班车 2017年德尔福对以色列公司Valens进行股权投资，Valens是一家技术领先的信号处理公司 2015年德尔福股权投资3D激光雷达传感器的领先企业Quanergy 2015年德尔福以3200万美元收购了出自卡内基梅隆大学的自动驾驶汽车软件公司Ottomatika
现代	<ul style="list-style-type: none"> 2016年现代捷恩斯获取韩国自动驾驶测试牌照

- 建立一定规模的智能驾驶技术和ADAS团队。
- 注重对地图，传感器，和算法团队的收购、投资和合作。
- 对智能驾驶算法进行详细的测试和验证。

国内车厂的现状

 无研究
  有样车
  部分普及
  大量量产

		一汽	上汽	长安	广汽	吉利	长城	北汽新能源
L1-L2	预警类							
	ACC							
	AEB							
	LKA							
L2.5	APA							
	TJA					2019.04		
	HWA					2019.04		
L3	样车	2007	2011	2015	2014	2012	2013	2014
	城区	2020	2020	2019	2020	2021	2021	2021
	高速公路	2018	2019	2018	2019	2019.04	2020	2019
	园区	2018	2019	2018	2021	2021	2021	2020
L4	量产	2020	2020	2021	2025	2022	2025	2025
L5	量产	2025	2025	2025	2030	2028	2030	2030

企业	动作/特点	合作伙伴
上汽	<ul style="list-style-type: none"> ●前瞻性技术部+人工智能实验室; ●在加州测试 	高德/博世
长城	<ul style="list-style-type: none"> ●多传感器冗余; 高速公路 	四维/百度/英伟达
吉利	<ul style="list-style-type: none"> ●成立初创公司; ●与沃尔沃共同研发; 国内100辆试运营; ●高速公路为主 	NXP/博世
广汽	<ul style="list-style-type: none"> ●成立智能网联技术中心, 人数估计200-300人, 分为四个方向: 智能驾驶、车联网、电子架构、控制器设计和验证; ●具有独立设计的软件和硬件部门 	腾讯
一汽	<ul style="list-style-type: none"> ●以特定场景商用车为突破口, 扩展到高速公路 	国防科大/德尔福
长安	<ul style="list-style-type: none"> ●10年内投入200亿元, 2000人; ●重点在执行匹配和控制、决策算法开发 	英特尔/高德/讯飞/联通/清华

国内车厂非常重视智能网联，并认为这些技术会改变和颠覆现有的产品。

注重对技术的反复验证，稳妥地推进自动驾驶技术。

国外自动驾驶的尝试

客车	车辆参数	运营
芬兰 EZ10	<ul style="list-style-type: none"> ●12座, 20km/h; ●摄像头+激光+ GPS ●可设定乘车地点 	<ul style="list-style-type: none"> ●截止2016年, 校园载客 19000人次 ●17年100-200辆
荷兰 Wepod	<ul style="list-style-type: none"> ●6人, 40km/h, 续航100km ●地图+摄像+雷达+激光 ●可遥控指挥 	<ul style="list-style-type: none"> ●荷兰城镇间开通运营。
美国 Olli	<ul style="list-style-type: none"> ●6人, 3D打印 ●30 个传感器感知实时路况+云端平台分析路况 	<ul style="list-style-type: none"> ●佛罗里达地区使用
法国 Navya 的 arma	<ul style="list-style-type: none"> ●15人, 45km/h ●光学雷达+立体视觉+毫米波雷达+超声波雷达; ●可App叫车 	<ul style="list-style-type: none"> ●载客10万人次, 7个国家中应用
奔驰 Future Bus	<ul style="list-style-type: none"> ●70km/h, 无GPS可工作 ●摄像头+雷达, +Wi-Fi (与交通灯)+差分定位 ●上下客全自动, 误差2cm 	<ul style="list-style-type: none"> ●20km的复杂路况, 每天125000人次
日本软银 SB Drive	<ul style="list-style-type: none"> ●沿固定道路运行 	<ul style="list-style-type: none"> ●2016年已完成第一轮测试 ●2019年上路
其他	<ul style="list-style-type: none"> ●内华达Proterra巴士将在2019年上路 ●英国Oxbotica测试人数5000, 2019年上路运营 ●新加坡与nuTonomy合作AV robot kits近期运营 	

国内车厂集中在L2的研发和量产, 在L3/L4进行研究预研

国外客车厂大多集中在L3/L4的研发和验证

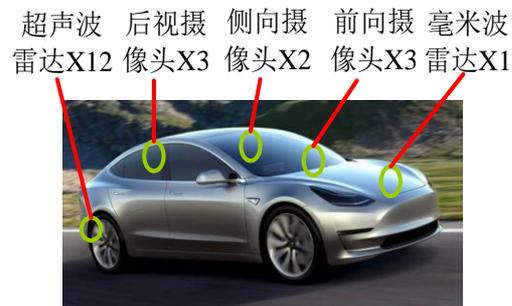
- 大多是定位系统和传感设备的高度结合
- 传感系统: 视觉、毫米波雷达和激光雷达
- 固定简单的路况和交通下中低车速
- 逐渐采纳传统车厂作法, 谷歌自动驾驶CEO的变化



NuTonomy 自动驾驶样车



谷歌无人驾驶样车



特斯拉 Autopilot II

系统解析



ADAS的产业分工



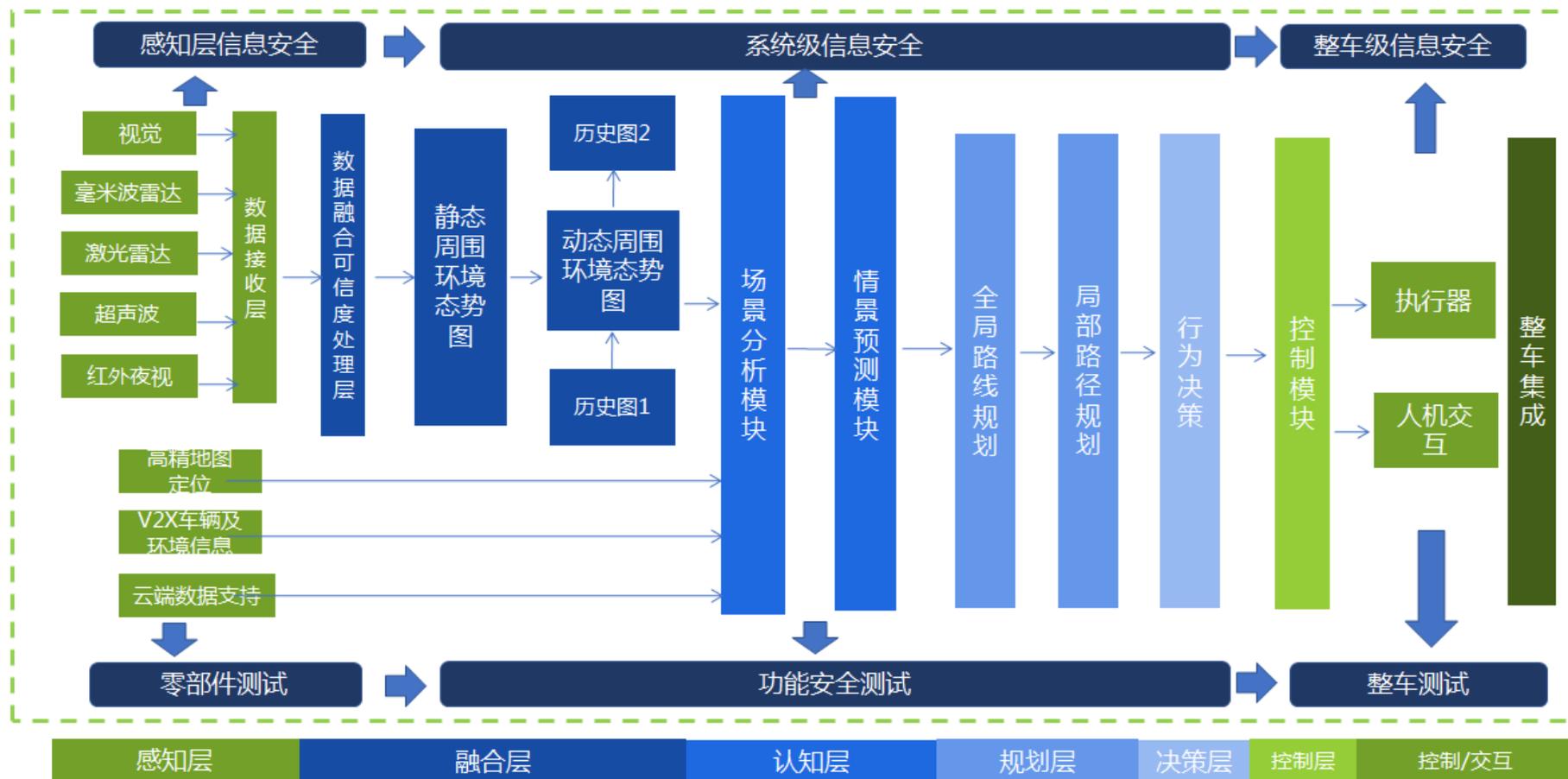
Tier1 供应商

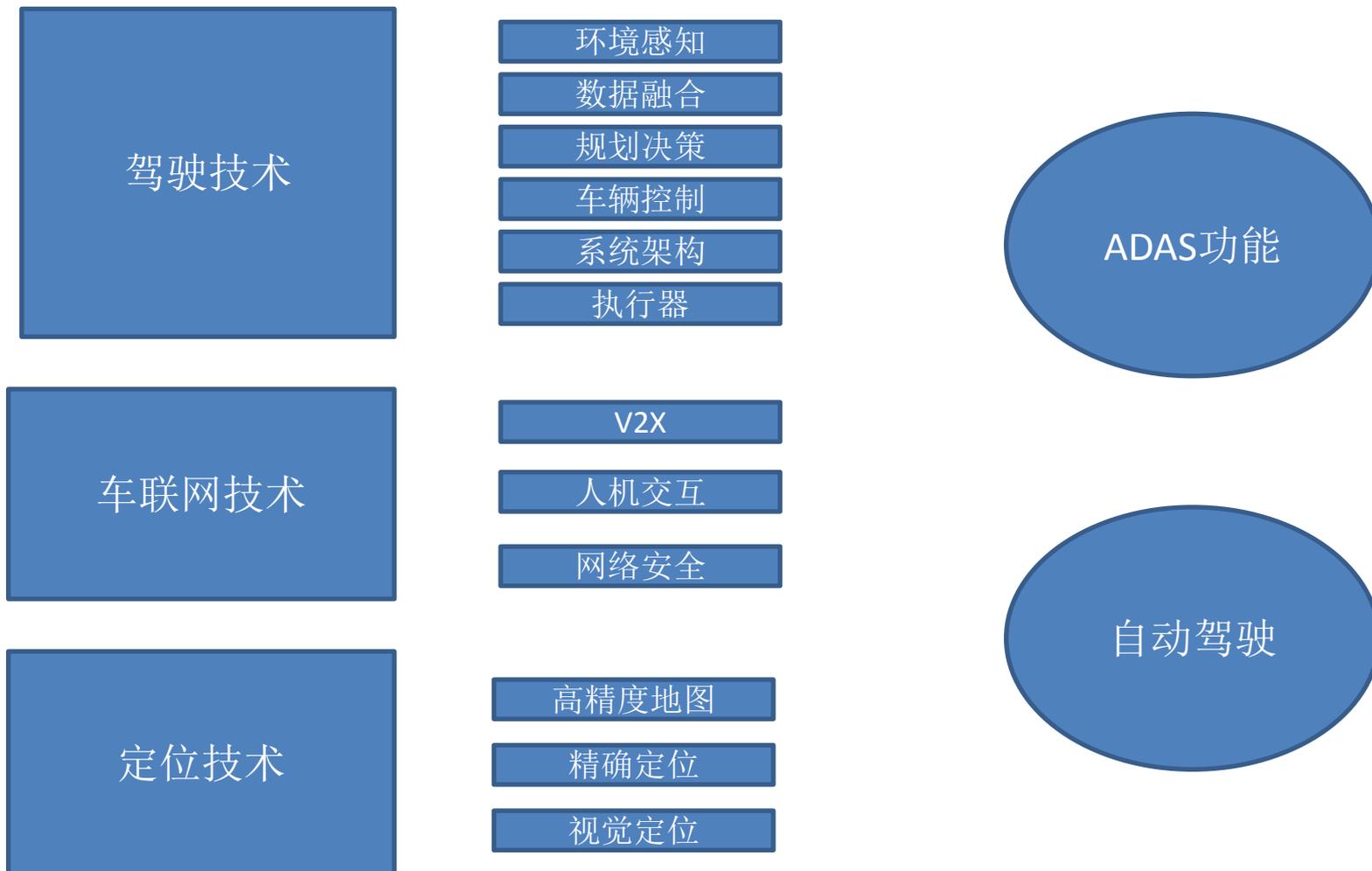
有实力整车厂独立或联合
开发的领域

Tier1 供应商

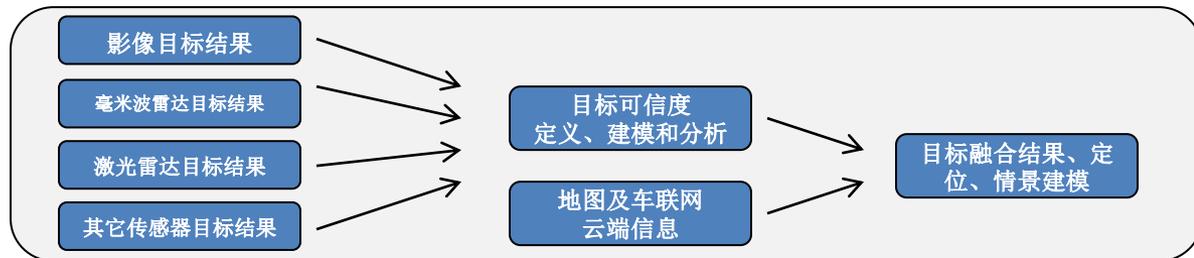
- **传感技术**：摄像技术，超声波技术，雷达技术等。
- **识别和技术融合**：对目标物通过建立深度学习或视觉计算，来保证高准确率的识别。
- **目标判定**：通过对不同传感技术的识别结果比较，输出更为准确的目标探测结果。
- **决策**：决定车辆驾驶行为和控制车辆横向及纵向。
- **车辆动态控制**：采用动态模型进行车辆安全性和舒适性的控制。
- **执行器**：执行车辆的运行。

自动驾驶和ADAS技术解析





传感目标结果的融合



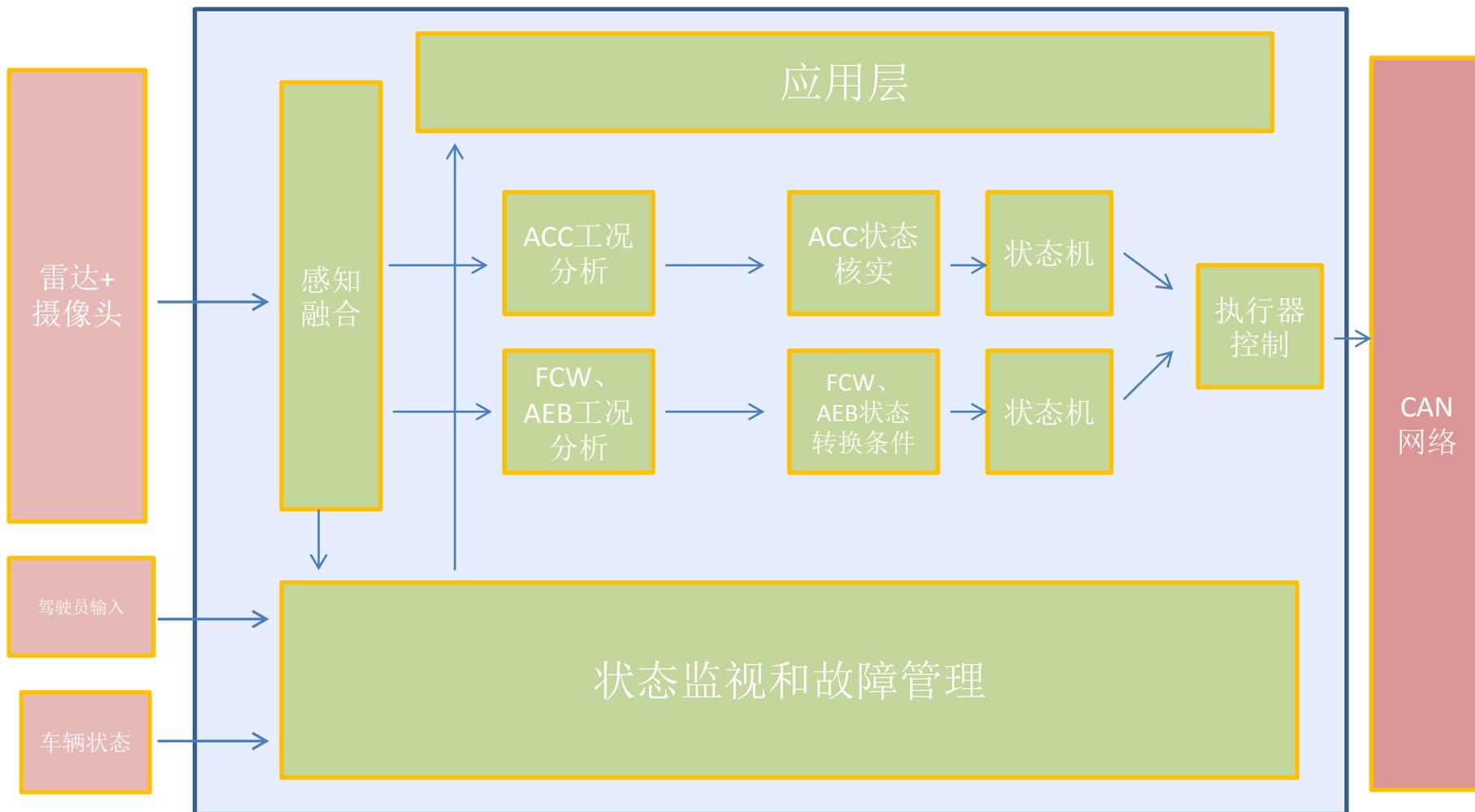
决策和控制



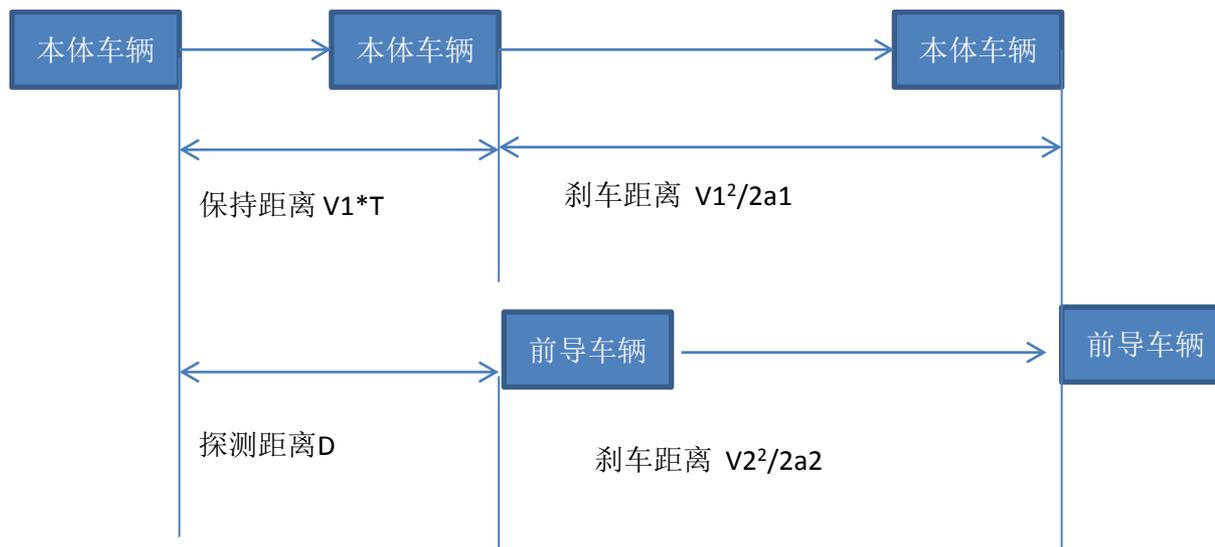
动态控制



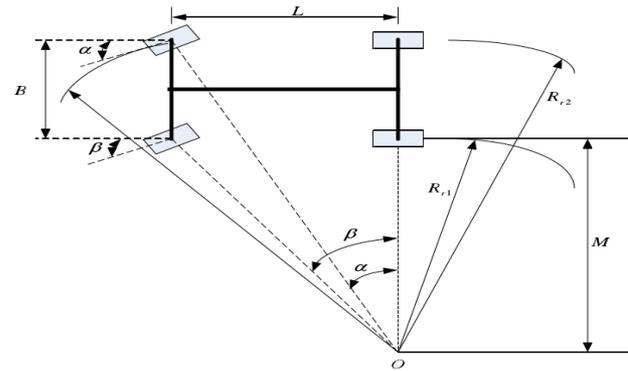
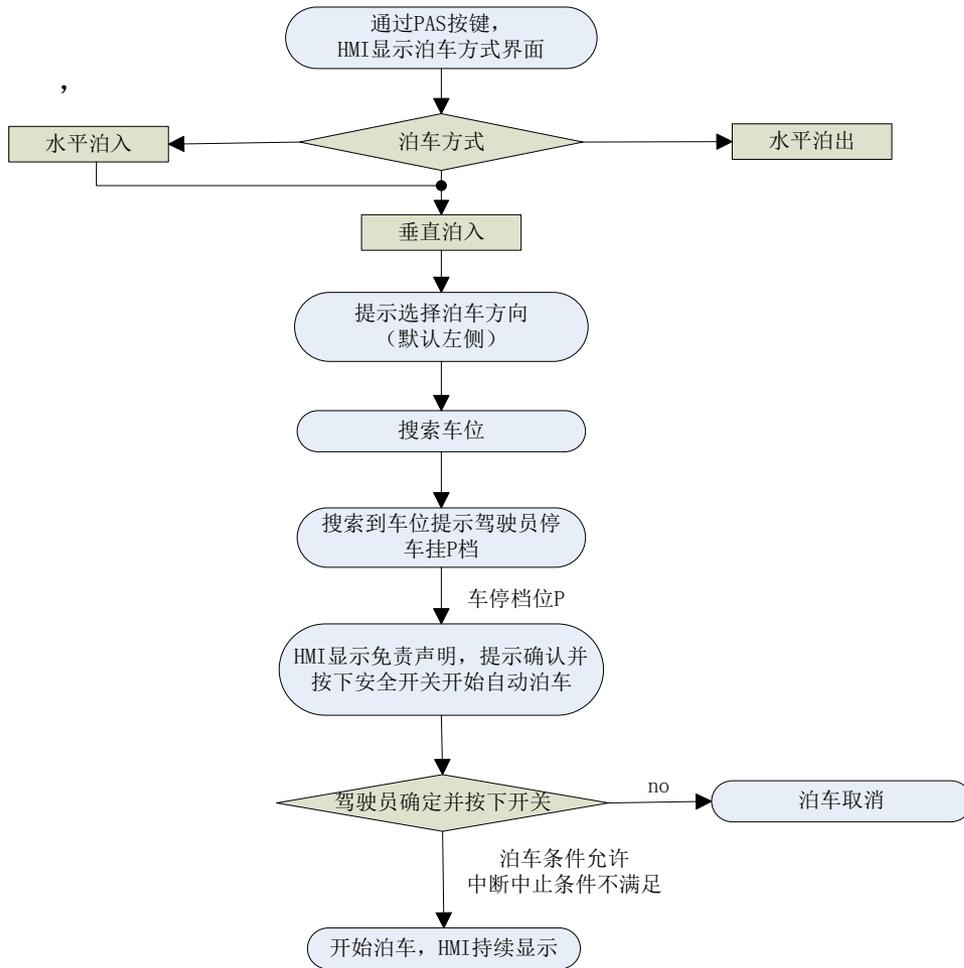
关键算法解析 --- ACC



关键算法解析 --- ACC下的FCW



警告距离: $WD = v_1 * T + (v_1^2 / 2a_1 - v_2^2 / 2a_2)$



外侧车轮转角 α 和内侧转角 β 如下的关系式

$$\cot \alpha = \cot \beta + \frac{B}{L}$$

后轮内侧转弯半径 R_{1} ，后轮外侧转弯半径 R_{2} 分别为

$$R_{1} = L \times \cot \alpha - B$$

$$R_{2} = L \times \cot \alpha$$

根据几何关系，后轴中心点 (x, y) 与前轴中心点 (x_f, y_f) 坐标满足以下关系

$$\begin{cases} x_f = x_f - l \cos \theta \\ y_f = y_f - l \sin \theta \end{cases}$$

求导得到速度关系

$$\begin{cases} \dot{x}_f = \dot{x}_f + l \dot{\theta} \sin \theta \\ \dot{y}_f = \dot{y}_f - l \dot{\theta} \cos \theta \end{cases}$$

以后轴中心点为基准点，车辆低速运动学模型为

$$\begin{cases} \dot{x}_r = v_r \cos \theta \\ \dot{y}_r = v_r \sin \theta \\ \dot{\theta} = v_r \frac{\tan \phi}{l} \end{cases}$$

ADAS实现方法



L2 部分自动驾驶

- 紧急刹车 (AEB)
- 车道保持 (LKA)
- 换道辅助 (LCA)
- 自适应巡航 (ACC)
- 交通拥堵辅助 (TJA)
- 倒车预警辅助 (Back-up assist)
- 自动泊车 (Parking assist)
- 影像融合泊车 (AVM Parking)

- 1x 摄像头
- 4x 短距离雷达 (SRR)
- 1x 长距离雷达 (LRR)
- 1x 全景影像系统 (AVM)
- 1x 超声波自动泊车系统
- 1x 后置影像系统 (可选)
- 1x 自动驾驶控制器 (ACDU) (可选)

L3 有条件自动驾驶

在L2基础上增加：
巡航驾驶 (Cruising Chauffeur)

交通拥堵巡航 (Traffic Jam Chauffeur)

遥控泊车 (Remote Parking)

- 3x 摄像头
- 6x 短距离雷达 (SRR)
- 3x 长距离雷达 (LRR)
- 1x 激光雷达 (Lidar)
- 1x 全景影像系统 (AVM)
- 1x 超声波自动泊车系统
- 1x 后置影像系统
- 1x 自动驾驶控制器 (ACDU)

L4 高度/完全自动驾驶

在L3基础上增加：
城市巡航 (Urban Chauffeur)

高级巡航驾驶 (Enhanced Cruising Chauffeur)

高级交通拥堵巡航 (Enhanced Traffic Jam Chauffeur)

代客泊车或固定路线泊车 (Trained Parking, Valet Parking)

- 3x 摄像头
- 6x 短距离雷达 (SRR)
- 3x 长距离雷达 (LRR)
- 4x 激光雷达 (Lidar)
- 1x 全景影像系统 (AVM)
- 1x 超声波自动泊车系统
- 1x 后置影像系统
- 1x 自动驾驶控制器 (ACDU)
- 2x 后视镜摄像系统 (Mirror View System)



1x 摄像头
1x 长距离雷达 (LRR)
1x 全景影像系统 (AVM)
1x 超声波自动泊车系统

3x 摄像头
6x 短距离雷达 (SRR)
3x 长距离雷达 (LRR)
1x 激光雷达 (Lidar)
1x 全景影像系统 (AVM)
1x 超声波自动泊车系统
1x 后置影像系统
1x 自动驾驶控制器 (ACDU)

3x 摄像头
6x 短距离雷达 (SRR)
3x 长距离雷达 (LRR)
4x 激光雷达 (Lidar)
1x 全景影像系统 (AVM)
1x 超声波自动泊车系统
1x 后置影像系统
1x 自动驾驶控制器 (ACDU)
2x 后视镜摄像系统 (Mirror View System)



无缝拼接鸟瞰图
2D效果图
3D效果图
3D视角切换
视图切换
局部缩放
动态标定
下线标定
泊车引导线
泊车线识别

物体识别
行人识别
自动泊车融合
动态物体识别
后碰撞预警

自动泊车
BSD
LDW
透明车体
开门警示
动态拼接

全景影像供应商状态

行业实现年份	无缝拼接鸟瞰图	2D效果图	3D效果图	3D视角切换	视图切换	动态辅助线	局部缩放	动态标定	下线标定	泊车引导线	泊车位识别	污点警示	侧面保护	后碰撞预警	开门警示	后摄像头行人识别	BSD	LDW	车体透明	自动泊车融合	客户名称
年份	2007	2007	2012	2012	2012	2010	2012	2012	2012	2010	2011	2012	2012	2012	2016	2012	2015	2015	2014	2016	
博世	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	宝马
法雷奥	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	戴姆勒、大众、沃尔沃、福特
德尔福	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●			●	●	通用、PSA、长城
德赛西威	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●	吉利、通用五菱、东风柳汽
苏州智华	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●	长安、广汽
欧瑞光	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●	长安、广汽
厦门四联	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●					长城
豪恩	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●					北汽银翔
索菱	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●		●	●	●	众泰
东软视拓	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●		●	●	●	华晨
华阳通用	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●					众泰
航目	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●					吉利
铁将军	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●	华泰
海康	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●				●	知豆
LG	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										吉利
厚制	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										江铃
航盛电子	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										东风
上海万超	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										江铃
视安电子	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●										江铃



供应商对比



车道线识别
行人识别
车辆识别
交通标志识别（限高、Stop
标志）
智能灯光切换
距离识别
车道偏离预警
ACC、AEB
智能限速
FCW
ACC s&g
AEB-city
AEB-p
AEB-IU
目标融合

目标方位识别
前碰撞预警
LKA

Cut-in预警
Free Space
行车轨迹预判
行车建议

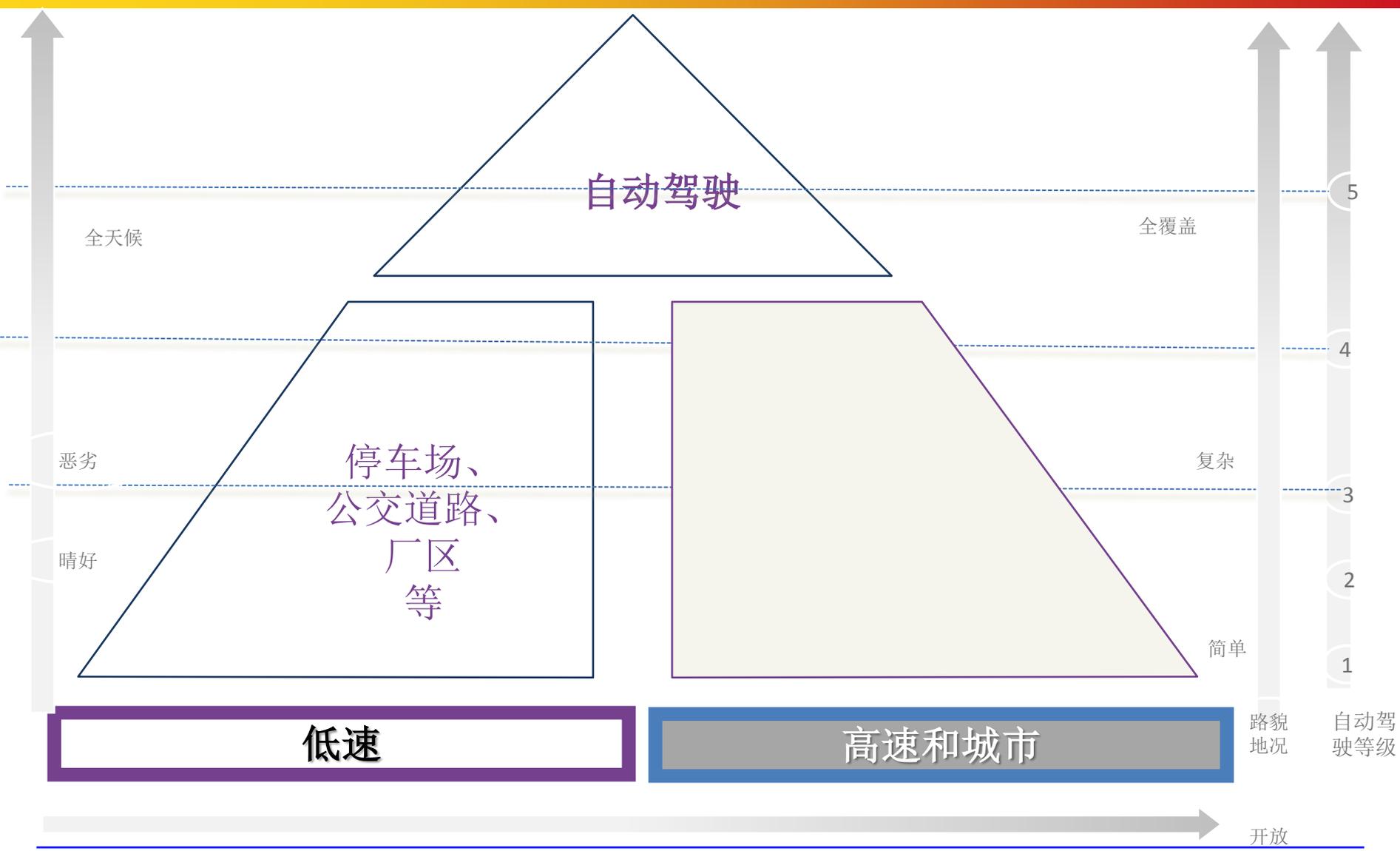
前向雷达供应商状态

	ACC S&G	FCW	低速 AEB	行人 AEB	高速 AEB	目标融合	客户名称
博世		●	●	●	●	●	长安、通用、奇瑞
大陆		●	●	●	●	●	戴姆勒、沃尔沃
法雷奥	●	●	●	●	●	●	大众、宝马
科士达	●	●	●	●	●	●	东风商用车
德尔福	●	●	●	●	●	●	福特、通用、长城
奥特立夫		●	●	●	●	●	吉利、沃尔沃
麦格纳	●	●	●	●	●	●	福特
TRW	●	●	●	●	●	●	PSA
北京恒润	●	●	●	●	●	●	上汽、江淮
百利得	●	●	●	●	●	●	暂无
德赛西威		●	●	●	●	●	菱石、北汽福田
苏州智华		●	●	●	●		暂无
苏州安智		●	●	●	●		长城预研
东软锐驰		●	●	●	●		一汽
欧菲光		●	●	●	●		暂无

不同情景



不同情景下的实现方法



不同情景下的实现方法

封闭线路自动驾驶：

研发在封闭道路、行驶线路固定的低速自动驾驶产品，适用在厂区通勤、机场摆渡等场景。



高速和城市自动驾驶：

高速和城市路况下，解放驾驶员双手、降低高速公路事故的安全性产品。



开放固定线路自动驾驶：

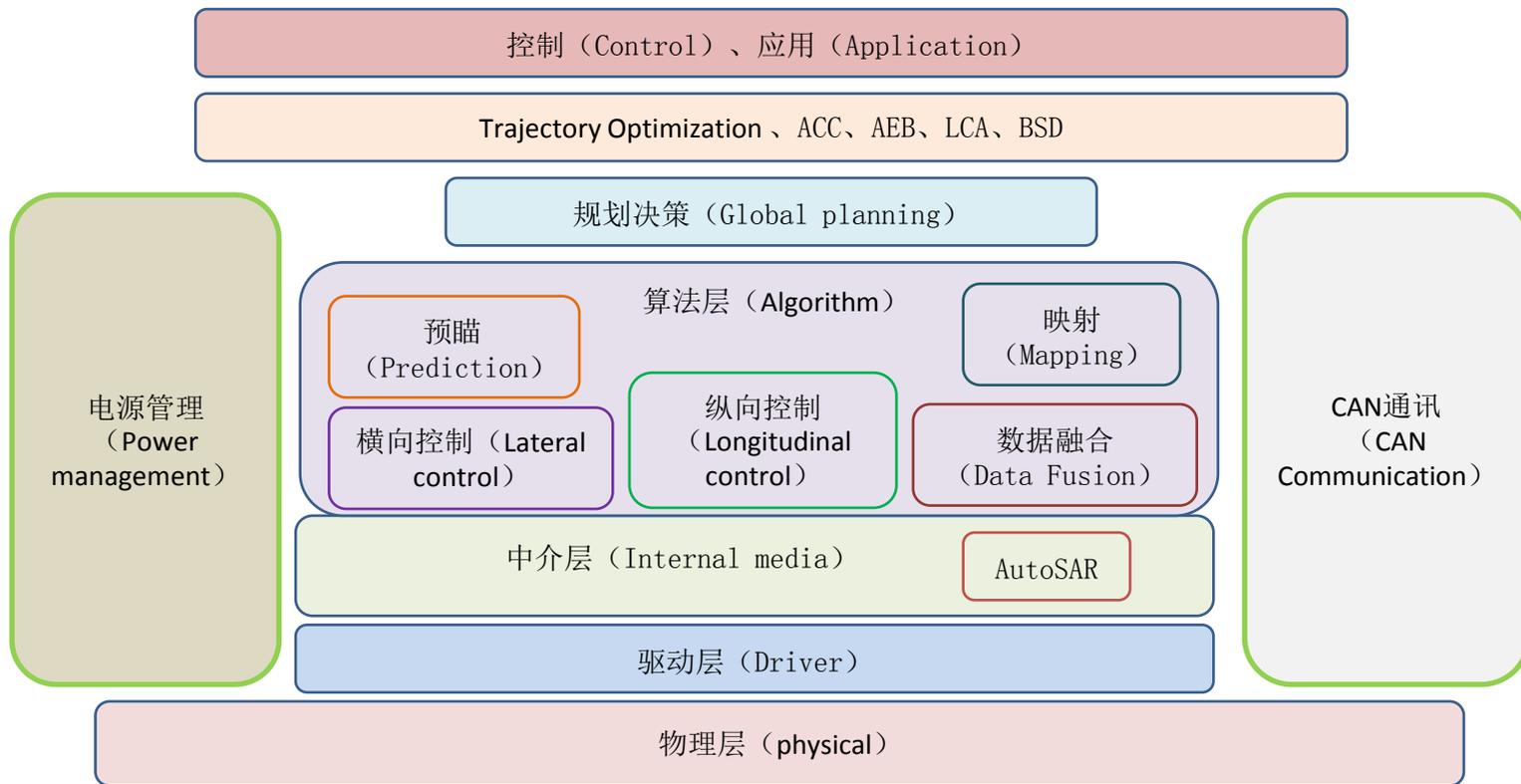
研发在开放道路、行驶线路固定的低速自动驾驶产品，满足公共交通、BRT线路、景区、园班车等市场需求。



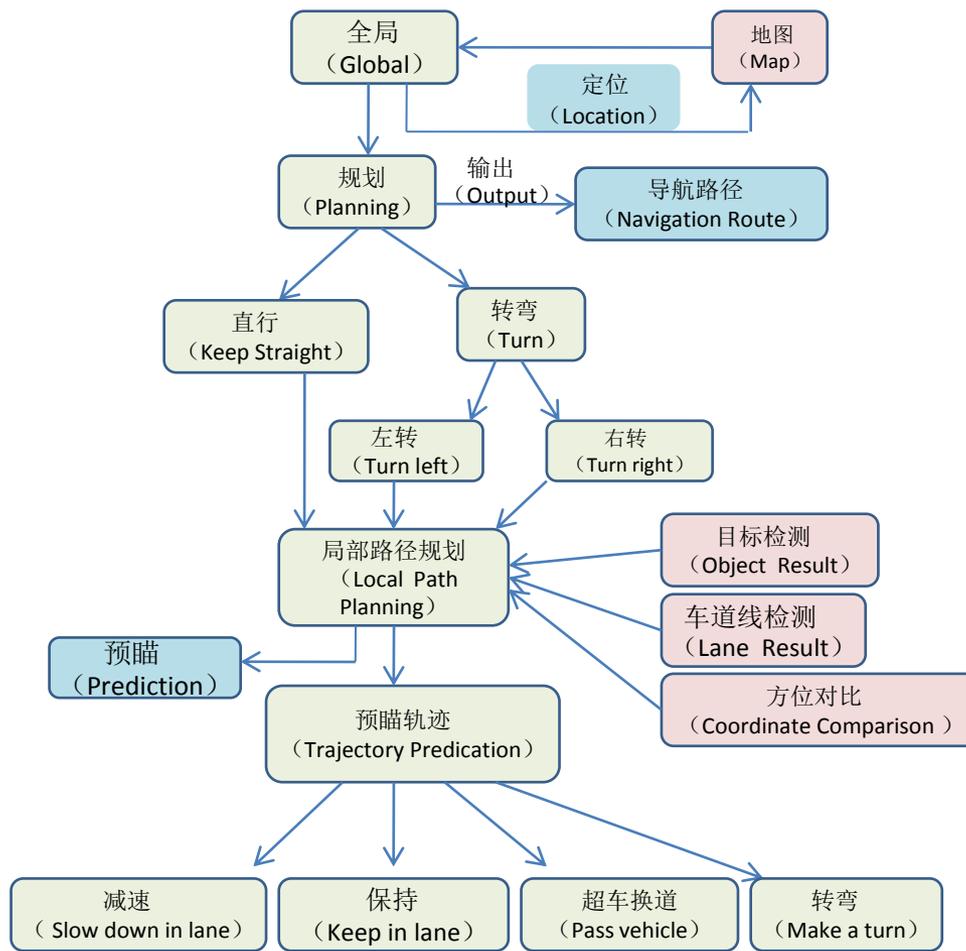
自动泊车：

研发能在停车场里自动寻找已固定分配的车位，并自动入位的全自动、全方位（侧方、倒库）停车场泊车产品。

自动驾驶可能的架构



自动驾驶可能的流程



自动驾驶的思路

定位

视觉SLAM

导航和全局路线规划

基础横向和纵向控制

场景分析和决策

路径选择和预瞄算法

模拟仿真环境搭建

封闭环境固定路线自

动驾驶演示

车辆横向和纵向

控制验证

变道控制和验证

路径选择精确度

和舒适性验证

封闭环境非固定

路线自动演示

停车场智能管理

系统示范

自动驾驶示范项

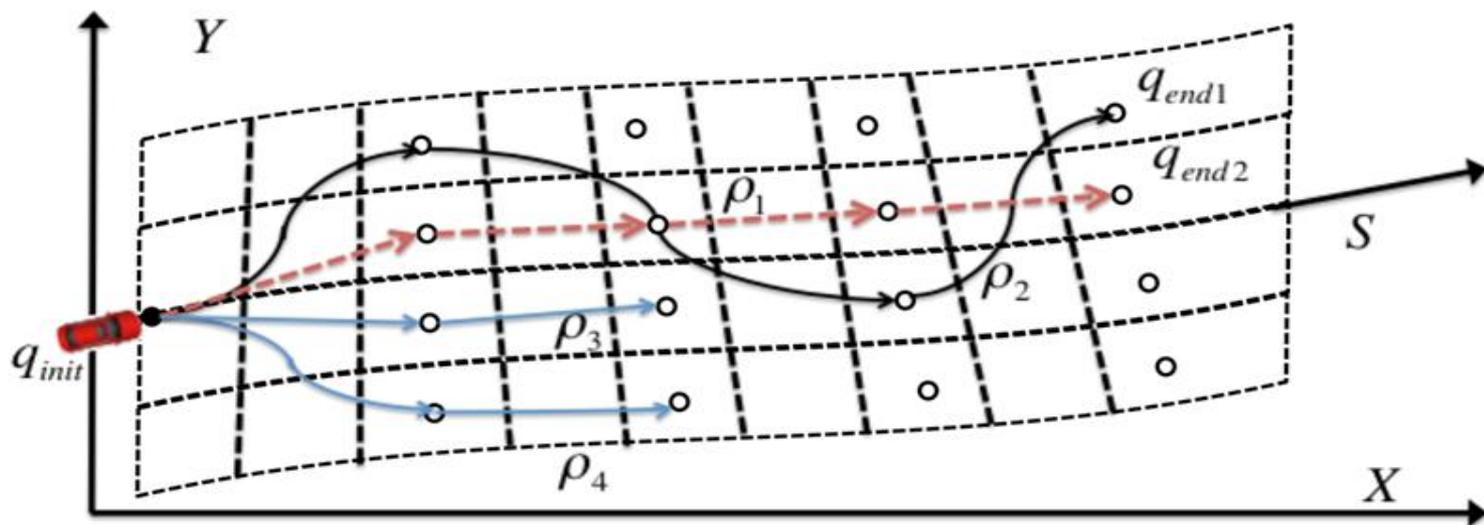
目，例如城市公

交车辆、园区自

动驾驶运营

- 从低速到高速，从泊车到驾驶。
- 从封闭到开放，从物流到载人
- 从固定线路到随机线路，从白天、天气良好到全天候，全气候
- 从2B到2C。
- 可能采用与ADAS量产不同的系统，包括传感器、EPS、ESC等

自动驾驶核心 --- 路径选择



使用三阶的多项式方程，其曲率 κ 和轨迹弧长 S 的关系 $\kappa(S)$ 为：

$$\kappa(S) = \kappa_0 + \kappa_1 S + \kappa_2 S^2 + \kappa_3 S^3$$

初始条件：

$$\kappa_0 = \kappa_I$$

$$\kappa_1 = d\kappa(0) / ds$$

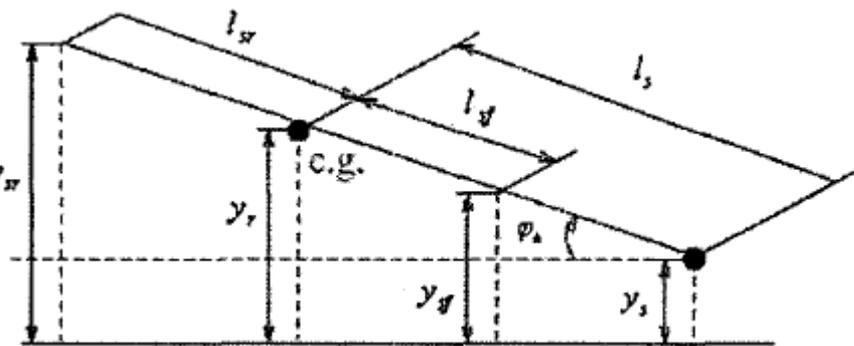
$$\kappa_2 = d^2\kappa(0) / ds^2$$

设置Cost函数，然后选择出在任何时间点Cost最小且满足边界条件限制的曲线。

自动驾驶核心 --- 预瞄控制

人开车时眼睛总是注视着前方的道路，而很少注意车当前的位置，他做出的驾驶行为也主要是尽量保证车辆沿前方的理想路径行走。因此，横向自动驾驶的控制主要是以**预瞄控制**为主，因为车辆的控制系统是一个典型的时延、非线性不稳定系统，而预瞄动作具有明显的**预见性**，从而明显优于传统的依靠信息反馈产生控制动作的控制算法，模仿人工智能驾驶行为。

- l_s ——预瞄距离
- y_{sf} 、 y_{sr} ——前后保险杠横向位置误差 y_{sr}
- y_r ——质心横向位置误差
- φ_h ——车身方向角
- l_{sf} 、 l_{sr} ——质心刀前后保险杠的距离



自动驾驶核心 --- 横向控制

车辆质心对任意预瞄点处的横向位置误差

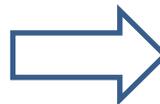
$$y_s = y_r + l_s \varphi_h$$

车辆质心相对道路中心线的横向位置误差 y_r

$$y_r = \frac{l_{sr} y_{sf} + l_{sf} y_{sr}}{l_{sf} + l_{sr}}$$

车辆车身相对地面坐标系中 X_r 轴的方向角 φ_h

$$\varphi_h = \tan^{-1} \frac{y_{sf} - y_{sr}}{l_{sf} + l_{sr}} \approx \frac{y_{sf} - y_{sr}}{l_{sf} + l_{sr}}$$

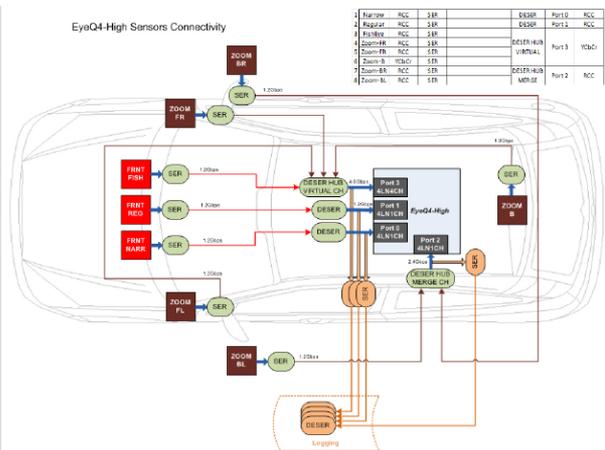


$$y_s = y_r + l_s(\varphi - \varphi_d)$$

$$\dot{y}_s = v_Y + v_X(\varphi - \varphi_d) + l_s(\dot{\varphi} - \dot{\varphi}_d)$$

横向控制就是以预瞄点处的横向位置误差及其变化率作为控制目标，使这些控制指标在动态的行驶工况下趋于零，从而使汽车能自动跟踪前方道路中心行驶。

平台和阵营



百度-英伟达-博世/大陆-中德车企集团	
百度	深度学习识别算法
英伟达	图像处理器
博世、大陆	传感器和执行器
车企	信息集成、整车控制策略和系统集成

谷歌-FCA-Lyft	
谷歌	芯片、识别算法、传感器、控制算法
FCA	信息集成、系统集成
Lyft	车辆运营

特斯拉、苹果、通用、福特	
系统集成、整车控制策略、信息集成等	

英特尔-mobileye-宝马-德尔福	
英特尔-mobileye	芯片和识别
德尔福	传感器
宝马	信息集成、整车控制策略和系统集成

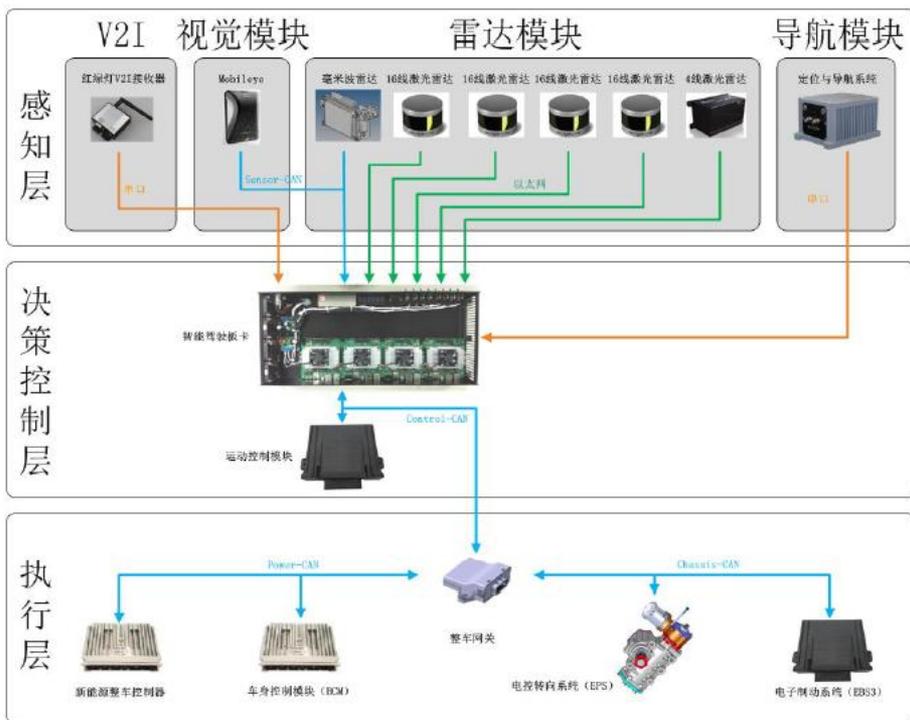
雷达+摄像头方案:

- 成本低，车规级量产平台
- 需要雷达和摄像头的数据融合，可以满足L2和L3的性能需求
- 可与地图导航定位相结合，进行较为精确的路线路径规划，可探讨L4的可行性研究

摄像头+激光雷达方案（可加毫米波雷达）:

- 成本高，可快速实现部分路况的L4全自动驾驶
- 以深度学习模型为基础、可与地图导航定位相结合，进行较为精确的路线路径规划，可探讨L4的可行性研究

自动驾驶常用架构

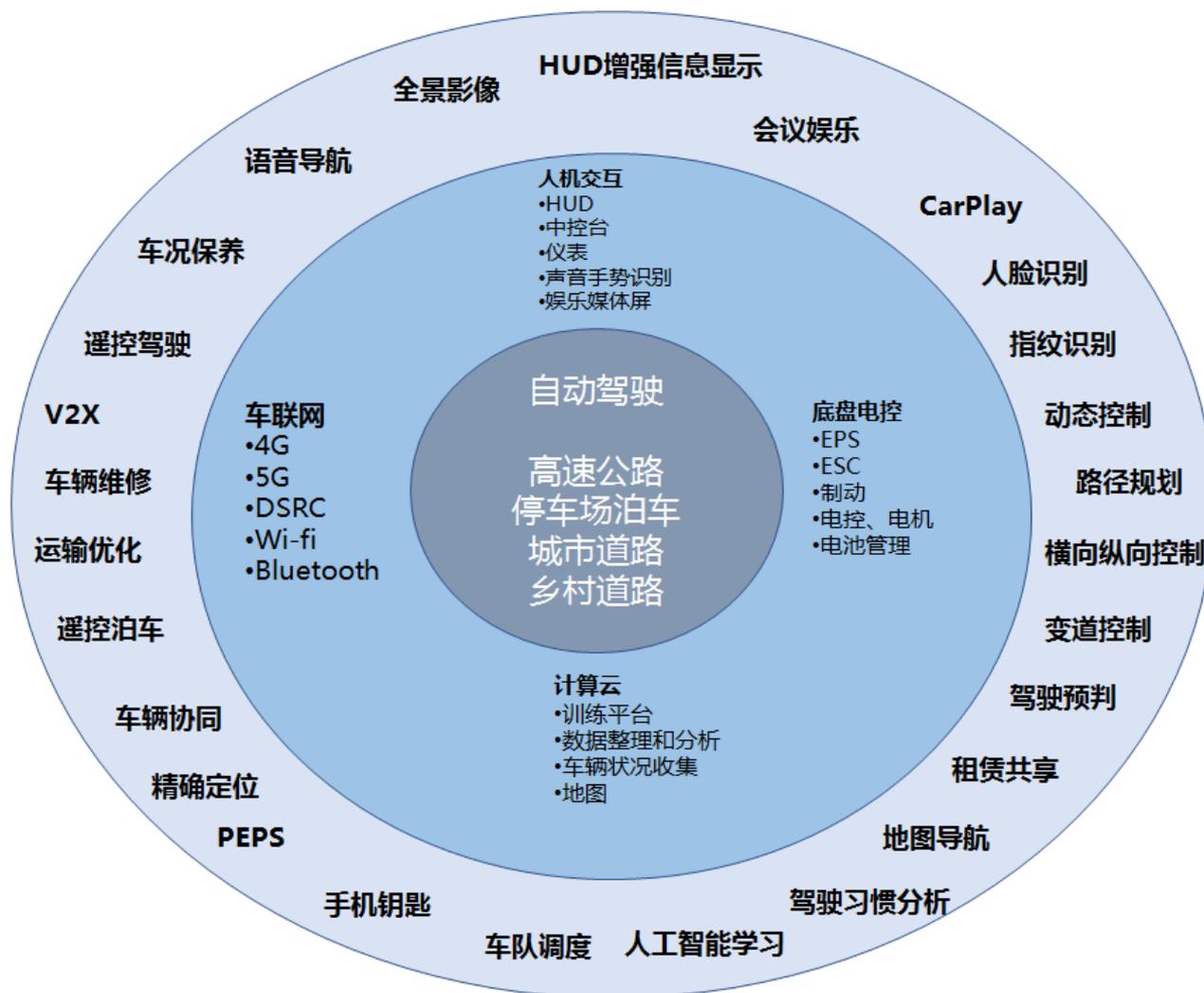


主要传感器与场景联系：

- 超声波+侧向毫米波——泊车
- 长距+侧向毫米波+高精地图——高速公路
- 前后摄像头+前向毫米波——封闭环境
- 16线激光+前向毫米波——开放环境

模块	特点
激光雷达模块	16线激光雷达或4线激光雷达，进行目标识别和环境判断, 探测距离最远 100米
视觉模块	单一Mobileye EyeQ3进行车道线检测
毫米波雷达	前置雷达（77G）、角雷达（77G）和后置雷达（24G）
超声波和全景影像	超声波近距离精确探测、全景目标识别
交通灯模块	通过无线收发装置识别交通灯
地图导航模块	自绘地图，自编轨迹规划算法
定位模块	千寻定位系统+惯性导航
车速模块	设定最高速度
控制芯片	Nvidia TX1

自动驾驶系统关系





Thank you!