

# 集度-ANP 预测&规划架构设计

系统名称	
项目负责人	
作者	
文档提交日期	2021. 12. 27

百度在线网络技术（北京）有限公司  
(版权所有, 翻版必究)

## 目录

集度-ANP 预测&规划架构设计 .....	I
1. 修订历史 .....	- 1 -
2. 概述 .....	- 1 -
2.1 背景.....	- 1 -
2.2 目的.....	- 1 -
2.3 适用范围.....	- 1 -
2.4 术语和缩写.....	- 1 -
3. 预测规划控制架构设计与数据流.....	- 2 -
4. PREDICTION 模块架构介绍 .....	- 6 -
4.1 内部架构.....	- 6 -
4.2 CONTAINER .....	- 6 -
4.3 EVALUATOR .....	- 7 -
4.4 PREDICTOR .....	- 7 -
5. PLANNING 模块架构介绍 .....	- 7 -
5.1 内部架构与数据流.....	- 7 -
5.2 CENTRAL DECIDER.....	- 9 -
5.3 WORLD BUILDER .....	- 9 -
5.4 EXECUTOR .....	- 9 -

# 1. 修订历史

版本 Version	状态 Status	内容 Contents	日期 Date	撰写 Editor	批准 Approver
V1.0	发布	初创	2021/12/27	冯硕	

## 2. 概述

### 2.1 背景

预测模块承接上游感知模块，结合高精地图和主车的定位信息，对周边障碍物的未来运动情况进行预测，帮助主车提前作出决策，从而降低交通事故的发生率，在自动驾驶系统中发挥着承上启下的关键作用。

规划模块负责整个车辆的驾驶决策和轨迹规划。规划模块结合上游模块的融合导航路径、当前定位信息、车辆状态、用户参数服务器、感知及预测信息，做出可靠的决策和局部行驶路径构建。

控制模块承接规划模块的轨迹规划结果，通过油门、刹车和方向盘使得车辆按照规划的轨迹运行。

### 2.2 目的

本文档主要介绍了集度项目 ANP 预测&规划&控制模块的软件设计架构、内外部关键数据内容/流向，以及各模块中关键组件功能。

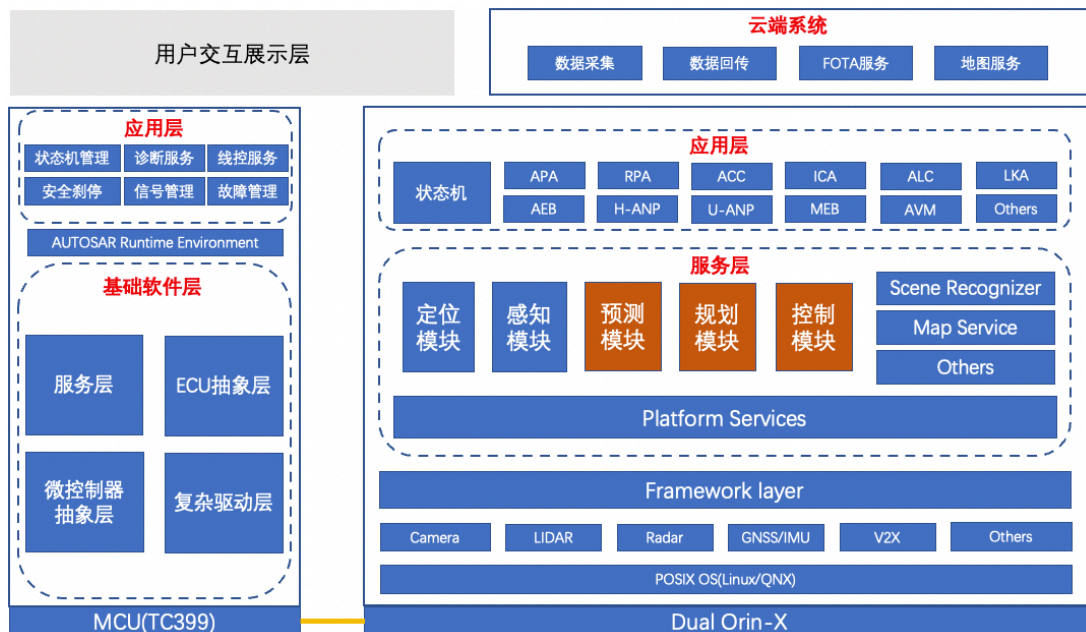
### 2.3 适用范围

本文档用于软件设计阶段的架构设计，它的下游是软件详细设计说明书。本文档的面向对象包括：软件研发工程师/系统工程师/测试工程师。

### 2.4 术语和缩写

编号	术语与缩写	解释
1	ALC (Automatic Lane Change)	自动变道辅助
2	HEA (Highway Exit Assist)	高速匝道辅助

### 3. 预测规划控制架构设计与数据流



在 ACU 整体架构中，预测、规划与控制模块被部署在 ORIN 芯片上，可以与域内其他模块实现数据传递，也可以对外输出外界所需要的 PNC 相关原子能力。其中控制模块指令通过板间通信传递给 MCU 实现车辆控制。

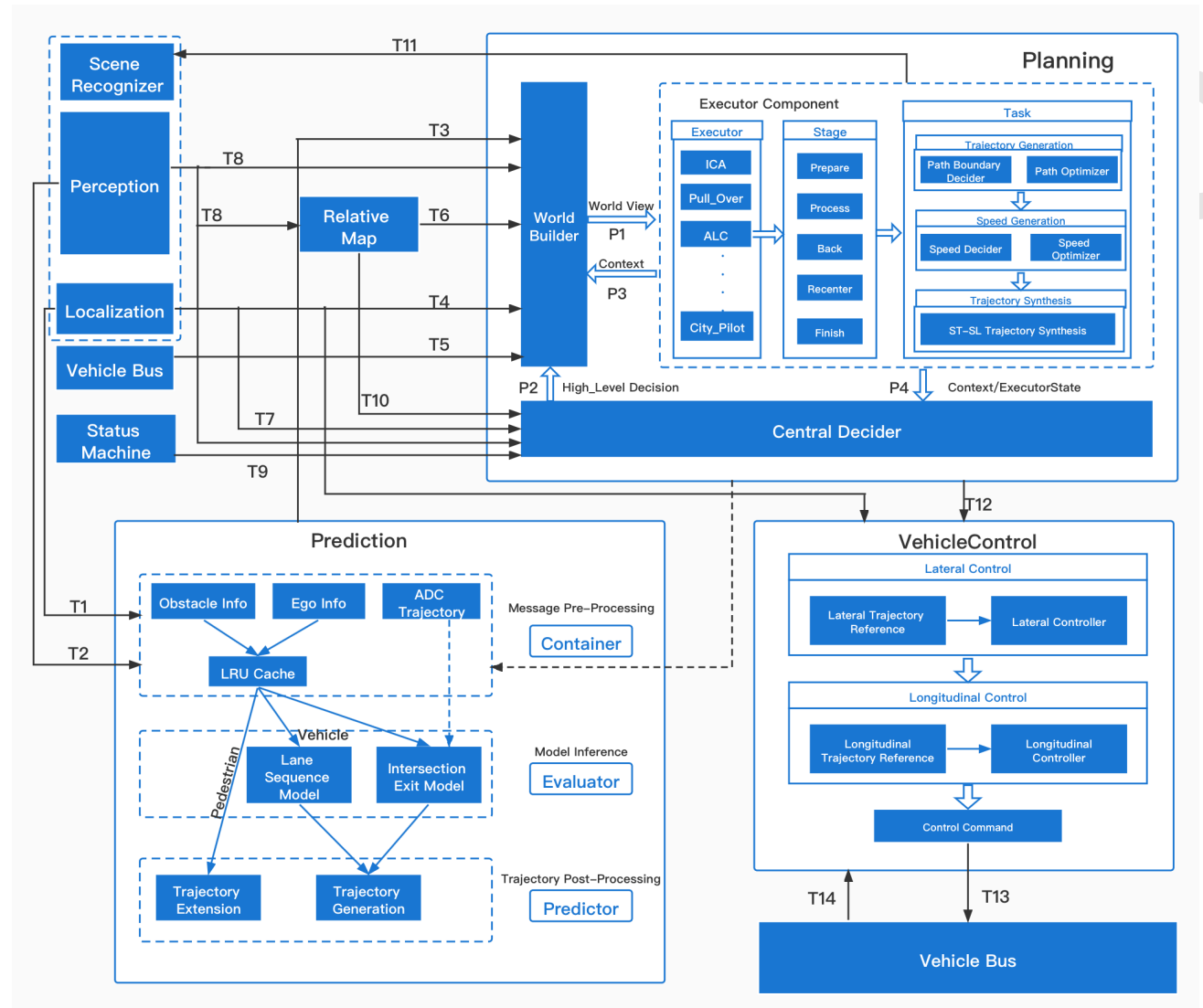
预测和规划模块都需要通过 Map Engine 去调用高精地图相关服务，不在架构图中体现。

预测模块的上游是感知、定位，下游是规划模块。输出信息包括障碍物的预测轨迹点、本次预测时间、被预测障碍物优先级等。通过高精地图和障碍物位置的匹配关系，可以判断当前障碍物的路况信息（道路中还是路口中），以供预测模块选择不同的算法处理模型。自车定位信息也会用于交互模型的某些计算过程。

规划模块基于路径参考线信息、主车位姿信息、周边物理世界的障碍物信息以及交通状态，在有限的时间范围内，计算出一条合适的轨迹供车辆行驶。规划模块的路径参考线(Reference Line)是输出轨迹线的重要数据基础，轨迹线是为了确保车辆准确地行驶在参考线上。参考线的构建方式有两种：一是根据高精地图导航路径（Routing）找到对应道路中心线，二是根据感知识别车道线找到对应道路中心线。“轨迹”不同于“路径”，不仅有行驶路径点信息，还包括轨迹点的相对时间信息，由此可以推导出每个轨迹点的速度、加速度等。这条轨迹必须是下游控制模块可以执行的，车辆在运动过程中的惯性、转弯角度限制等，这些因素在计算行驶轨迹都需要考虑。另外，还需要兼顾驾驶员/乘客的体验，诸如猛加速，急刹车或者急转弯都会造成非常不好的乘坐体验，这些都应该在 Planning 模块中避免。

规划模块会根据不同的 Executor 传输当前场景信息给到 Scene-Recognizer(相当于 proxy)，以切换不同工作域。比如：规划向左变道时，Scene-Recognizer 接收到此场景信息，根据场

景信息提出开启左后侧相机的需求，并传递给感知和定位模块。感知和定位模块据此更改配置方案。这涉及到 PNC 场景化-感知定位服务化的概念，即根据车辆意图和特定场景去切换对应传感器配置方案，比如车辆一路向前时，左/右后侧相机没必要开启，这样可以节省非常多的算力。



以下是 PNC 架构图中模块间数据流传递内容，本文档只罗列了关键数据信息，完整数据信息可以见《ANP\_PNC 系统输出原子能力汇总》。

T1: Perception To Prediction		
具体数据请见感知架构设计文档		
T2: Localization To Prediction		
具体数据请见定位架构设计文档		
T3: Prediction To Planning WorldBuilder		
数据名称	数据解释	取值/属性
prediction_obstacle	被预测障碍物信息	详见感知架构设计文档

trajectory	预测轨迹信息	详见 PNC 原子能力表
is_static	被预测障碍物静止标志位	bool
predicted_period	本次预测的时间长度	/s
priority	被预测障碍物优先级	Normal/caution/ignore
start_timestamp	预测开始时间戳	ms
end_timestamp	预测结束时间戳	ms

<b>T4: Localization To Planning_WorldBuilder</b>
具体数据请见定位架构设计文档

<b>T5: Vehicle_Bus To Planning_WorldBuilder</b>		
数据名称	数据解释	取值/属性
engine_started	Engine 是否启动	bool
speed_mps	当前车辆速度	m/s
throttle_percentage	加速踏板开度	%
brake_percentage	刹车踏板开度	%
steering_torque_nm	方向盘扭矩	Nm
gear_location	当前档位信息	N/D/R/P
driving_mode	当前驾驶模式	Complete_Manual/ Complete_Auto_Drive/ Auto_Steer_Only/ Auto_Speed_Only
Light signals	灯光状态	近/远光灯，转向灯等

<b>T6: Relative Map To Planning_WorldBuilder</b>		
数据名称	数据解释	取值/属性
NavInfo	导航状态信息	HD/SDMap 匹配状态，导航是否开启，导航完成剩余距离
NavigationInfo	路径参考线/参考点信息	-
		-

<b>T7: Localization To Planning_CentralDecider</b>
具体数据请见定位架构设计文档

<b>T8: Perception To Planning_CentralDecider/ WorldBuilder</b>
具体数据请见感知架构设计文档

<b>T9: Status Machine To Planning_WorldBuilder</b>
<b>Status Machine:</b> 参数服务器，用于传输用户指令给到 Planning 模块，例如拨杆变道方向/用户是否确认变道/用户设定的巡航速度值/用户选择的驾驶风格等；

<b>T10: RelativeMap To Planning_CentralDecider</b>
具体数据请见 T6

T11: Planning To Scene-Recognizer(Scene_Scheme)			
Planning 模块会根据不同的 Executor 传输当前场景信息给到 Scene-Recognizer，以切换不同工作域。			
数据名称	数据解释	取值/属性	
SceneMode	当前场景信息	Default	ICA
		ALC_Left	ALC_Right
		ALC_All	ACC
		HEA_Exit	HEA_Entry
		HEA	ETC
		HSA	City_Cruise
		Protected_Left_Turn	Pull_over
WorkingCondition	当前工作环境	Urban	Highway

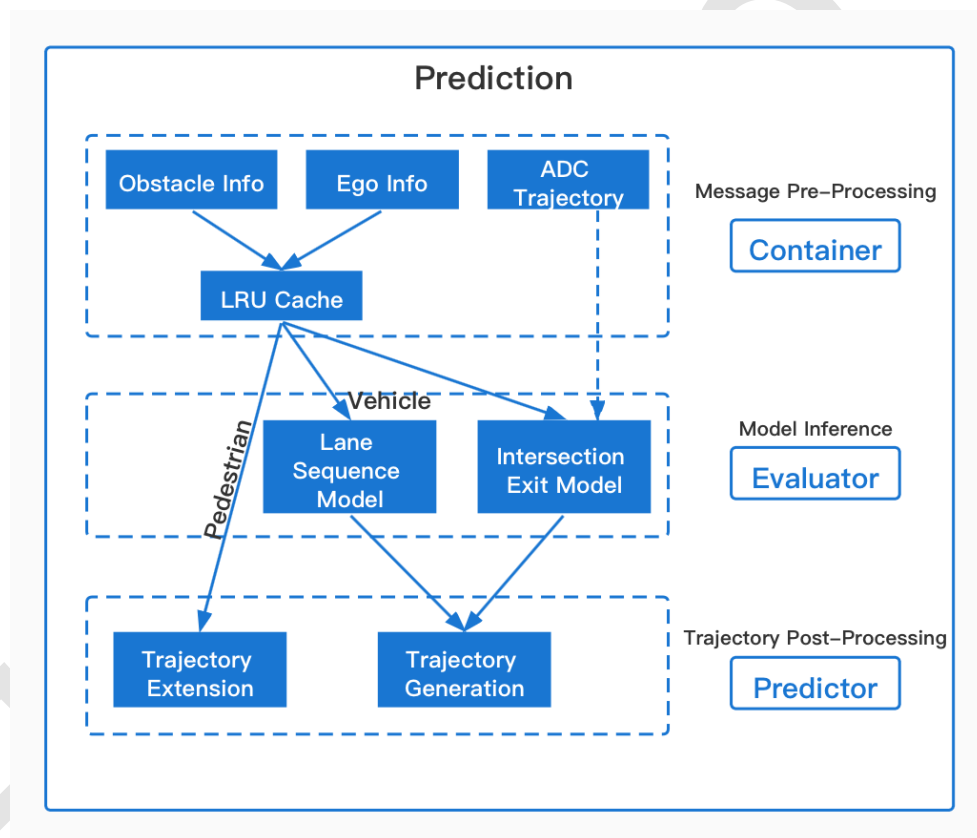
T12: Planning To Control		
数据名称	数据解释	取值/属性
total_path_length	规划路径的总长度	m
total_path_time	规划路径的总时长	s
is_replan	是否触发 replan 的标识	bool
gear	规划的档位信息	N/D/R/P
Trajectory_point	轨迹规划的路径点信息	详见 PNC 原子能力表
Decision	规划模块决策结果	详见 PNC 原子能力表
latency_stats	规划子模块的时延信息	如 Decider/Optimizer 的时延信息
right_of_way_status	路权状态信息	Unprotected/Protected
engage_advice	当前规划结果的接管建议	详见 PNC 原子能力表
TrajectoryType	轨迹类型	ANP 默认为 Normal
Executor	Executor 信息	ExecutorType; ExecutorState; 详见 PNC 原子能力表
Stage	Stage 信息	StagesType; StagesState; 详见 PNC 原子能力表
HighLevelDecision	HighLevel 决策信息	详见下文

T13: Control To Vehicle_Bus		
数据名称	数据解释	取值/属性
driving_mode	控制模式指令	详见 PNC 原子能力表
throttle	目标油门控制指令	%
brake	目标刹车控制指令	%
gear_location	目标档位设置指令	N/D/R/P
steering_rate	目标转向速率指令	%/s
steering_target	目标转向角度指令	%
steering_torque	目标转向扭矩指令	Nm
parking_brake	P 档刹停介入指令	bool

speed	目标速度指令	Km/h
acceleration	目标加速度指令	m/s2
engine_on_off	Engine 是否启动	bool
trajectory_fraction	在上一个循环规划轨迹的完成度	%
VehicleSignal	灯光控制信息	详见 PNC 原子能力表
latency_stats	控制模块的时延信息	详见 PNC 原子能力表
engage_advice	系统建议的接管状态	详见 PNC 原子能力表
DashboardColor	仪表盘颜色控制信息	Green/Yellow/Red

## 4. Prediction 模块架构介绍

### 4.1 内部架构



### 4.2 Container

Container 的作用是对上游模块信息做预处理，包括感知、定位信息。预处理过程是指对上游信息的筛选/删减/分类/历史数据存储。若后续开发过程中需要涉及到一些与障碍物强交互场景（例如在狭窄非结构化道路的错车工况），Container 也会获取来自规划模块的反馈信



息。Container 中通过 LRU Cache 对上游信息进行分类筛选缓存，定期淘汰过期的障碍物，并构建障碍物特征。最终以 feature 形式与相关障碍物绑定，传递给 Evaluator。

### 4.3 Evaluator

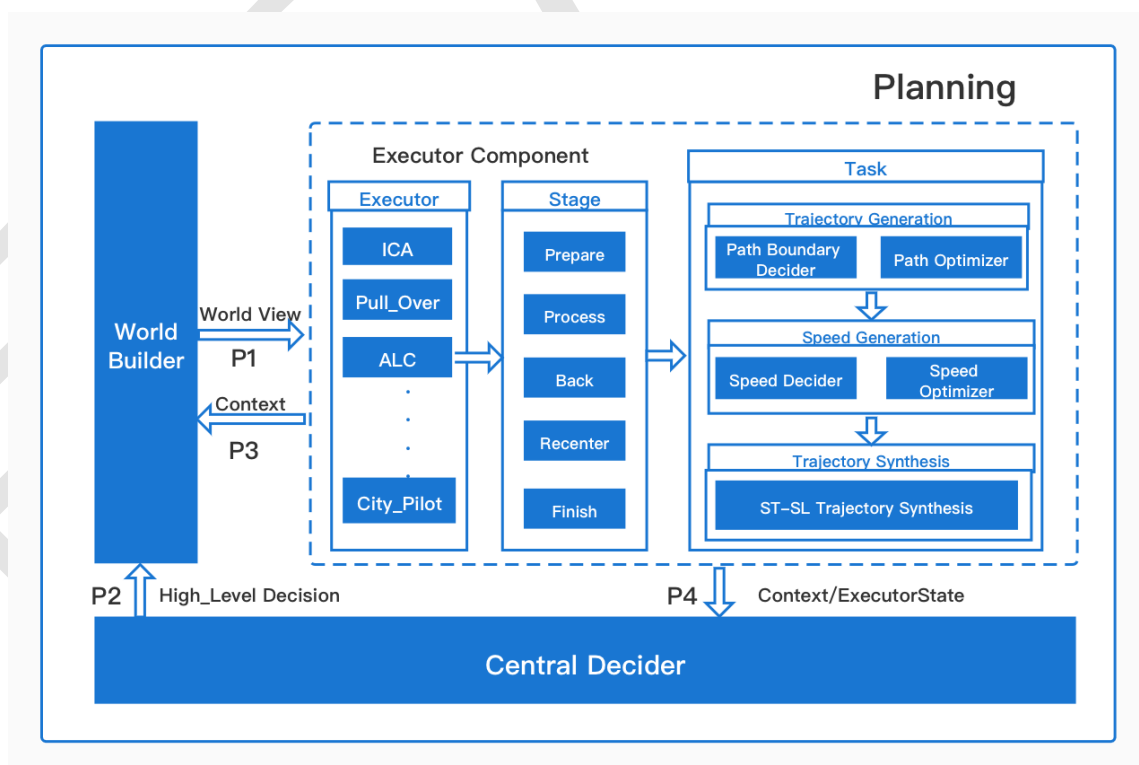
预测模块根据不同的障碍物类型和路况信息选择不同的预测模型。若障碍物车辆当前在车道内行驶，则选用 Lane Sequence 模型；若障碍物车辆当前在岔路口中，则选择 Junction 模型。Lane Sequence 模型输出车辆障碍物道路选择意图概率（选择不同车道 id 的概率），Junction 模型通过朝向和速度的状态量，判断车辆障碍物在岔路口的出口选择，输出是障碍物进入每个路口意图的概率。

### 4.4 Predictor

Predictor 的作用是输出一系列障碍物预测轨迹点信息。Trajectory Generation 是针对车辆障碍物的后处理过程，基于障碍物车辆的道路/路口选择概率、状态初始量，加上地图和车辆运动学的约束信息，最终生成车辆障碍物的预测轨迹。Trajectory Extension 是针对行人障碍物的后处理过程，基于行人的感知状态量，对其做速度切线方向的轨迹延伸。

## 5. Planning 模块架构介绍

### 5.1 内部架构与数据流



<b>P1: Planning_WorldBuilder To Planning_Executor(World_View)</b>		
数据名称	数据解释	取值/属性
relative_map	相对地图信息（参考线）	详见 T6
prediction_obstacles	预测障碍物信息	详见 T3
perception_obstacles	感知障碍物信息	详见感知架构文档
chassis	底盘信息	详见 T5
localization	定位信息	详见定位架构文档
high_level_decision	Central Decider 决策信息	详见 P2

<b>P2: Planning_CentralDecider To Planning_WorldBuilder(High_Level_Decision)</b>		
数据名称	数据解释	取值/属性
cruise_speed_kmph	巡航速度	km/h
style	驾驶风格	Crazy/Wild/Moderate/Gentle/Dull
executor_type	Executor 选择类型	详见下文
alc_decision	ALC 决策信息	详见 PNC 原子能力表
hea_decision	HEA 决策信息	详见 PNC 原子能力表
city_cruise_decision	City_cruise 决策信息	详见 PNC 原子能力表
function_status	功能状态	AP/HANP/UANP

<b>P3: Planning_Executor To Planning_WorldBuilder (Context)</b>		
<b>P4: Planning_Executor To Planning_CentralDecider (Context)</b>		
备注：不同 Executor 传递的 Context 不同，此处只列举 base_context		
数据名称	数据解释	取值/属性
planning_start_point	规划起始点信息	TrajectoryPoint 类型
vehicle_state	车辆当前状态信息	坐标/位姿/航向角等，详见 Common-vehicle_state.proto
has_hdmap	当前是否有高精地图	bool
replan_reason	重规划原因	详见 PNC 原子能力表
stage_type	Stage 类型	详见下文
stage_state	Stage 状态	详见 PNC 原子能力表
executor_type	Executor 类型	详见下文
executor_state	Executor 状态	详见 PNC 原子能力表
engage_advice	接管建议	详见 PNC 原子能力表
high_level_decision	Central Decider 决策信息	详见 P2
ego_lane_id	自车车道 id	-
reference_line_info	参考线信息	详见 PNC 原子能力表
left_lane_group	左侧车道信息	-
right_lane_group	右侧车道信息	-
is_diverge_road	是否是分岔路	bool
obstacles	障碍物信息	详见感知架构文档
traffic_light_distance	交通灯距离	bool

need_stop_before_traffic_light_	是否需要在交通灯前停止	float
---------------------------------	-------------	-------

## 5.2 Central Decider

CentralDecider 是 Planning 模块的上层决策器，其输入包括 Topic 信息、用户参数服务器以及 Executor 的反馈信息，输出为 HighLevelDecision。在内部维护了一个分层状态机，共有四个状态：ManualState/HighWayState/UrbanState/APState。其中 ManualState 是初始状态。下文中的 ExecutorComponent 根据 HighLevelDecision 的结果选择具体的 Executor 和执行策略。触发方式为时钟触发，触发频率为 10Hz（城市工况）/15Hz（高速工况）。CentralDecider 有如下优点：

- 明确特定地点、时间要做的事——战略决策；
- 提供行为的确定性和可解释性；
- 影响驾驶风格，优化方向为决策意图更近似人类；

CentralDecider 会接收来自用户输入的信息，比如巡航速度设置、驾驶风格选择、用户是否确认变道等，将这些信息同样打包在 HighLevelDecision 中。驾驶风格的不同会影响最终规划模块的输出结果，比如温和模式下的规划加速度会更低、跟车距离会更远。

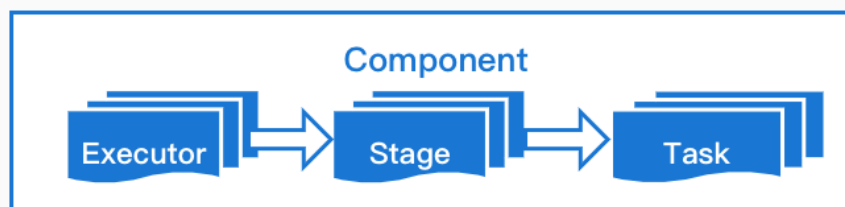
## 5.3 World Builder

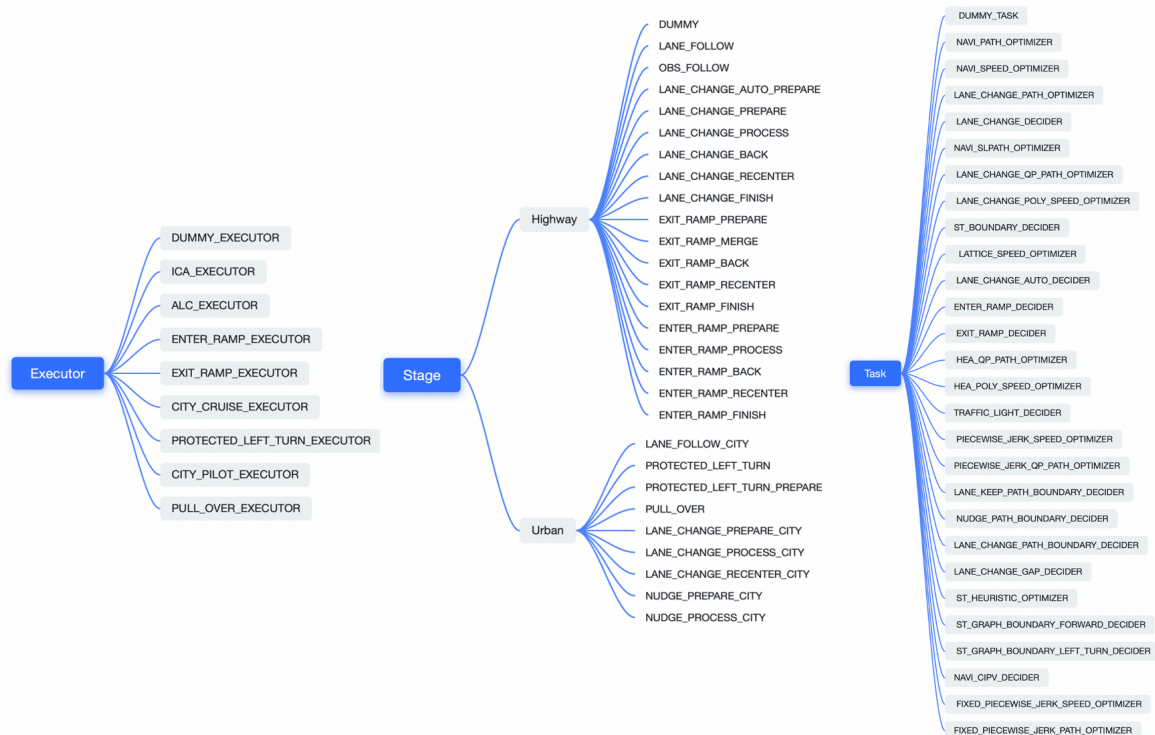
WorldBuilder 接收车辆底盘状态、感知、定位、预测以及路径参考线信息的原始数据，将这些不同频率/不同结构的信息进行集散处理，并抽象成 Executor 需要的高阶信息，以 Worldview 的形式输入给 Executor。

WorldBuilder 会根据当前工况选择不同构建方式的参考线作为输出。如果是在高速路工况，会选择感知车道线生成的参考线；如果是在城市道路，会选择高精地图生成的参考线。

触发方式为 Prediction 数据触发。

## 5.4 Executor





Executor 执行器是对决策信息的承接、分解和反馈。Executor 描述一个特定的场景（例如：ALC 自动变道）。每个 Executor 又分为一个或者多个阶段(stage)，每个阶段又由不同的任务(Task)组成。执行一个场景，就是顺序执行不同阶段的不同任务。当前 ANP 中 Executor Type/Stage Type/Task Type 如上图所示。

Task 大体可以分为决策器与优化器，分为路径边界决策/优化和速度决策/优化。首先会进行路径边界决策，之后对路径结果进行优化；将优化之后的 path\_point 信息传给速度决策器，再对其进行速度决策结果进行优化。以上决策/优化过程需要经过一系列算法模型完成。在 Stage 模块最后会对所有的 path\_point/speed\_point 进行合并，生成对应 Planning 轨迹线。

PNC 场景化设计的优点是可实现代码隔离，即单 executor 策略参数调整不影响其它 executors 的效果。当发现一个场景需要修改，不会影响到其他场景的配置，同时也可以针对不同场景做优化，每种场景都有一个专门的目录进行优化。除此之外，还有利于产品侧场景执行器可插拔重组，能够对齐产品功能定义，提升研发效率。

触发方式为 worldview 数据触发。