

Week 1: probabilistic planning

时间：2024 年 9 月 24 日

为了解决规划的不确定性，引入“概率规划”，即用概率场函数来模拟从动作空间到概率分布的映射。它的优势在于：

- 1) 能更全面的反应动作与环境之间的关系，能够捕捉更复杂的动态交互。与确定性模型只提供目标动作的监督不同，概率规划为所有候选动作提供监督，从而实现更丰富的学习信息；
- 2) 概率规划在推理阶段表现灵活，它可以输出多模态的规划结果，并且易于与基于规则和优化的规划方法结合。此外，由于它建模了整个动作空间的分布，因此可以灵活地添加其他候选规划动作并对其进行评估。

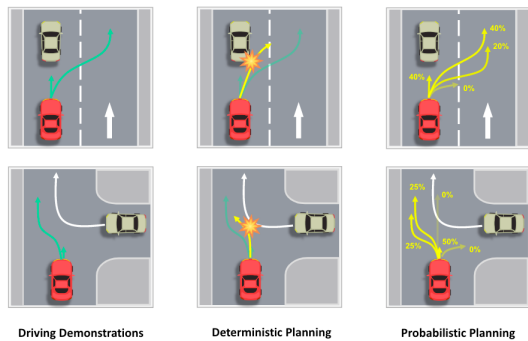


Figure 1. Uncertainty exists in planning. There doesn't exist a deterministic relation between environment and action. The deterministic planning fails to model such uncertainty especially when the feasible solution space is non-convex. VADv2 is based on probabilistic planning and learns the environment-conditioned probabilistic distribution of action from large-scale driving demonstrations.

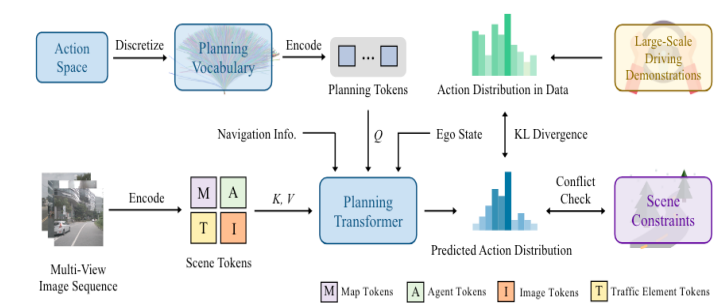


Figure 2. Overall architecture of VADv2. VADv2 takes multi-view image sequence as input in a streaming manner, transforms sensor data into environmental token embeddings, outputs the probabilistic distribution of action, and samples one action to control the vehicle. Large-scale driving demonstrations and scene constraints are used to supervise the predicted distribution.

图1 “概率规划”及“规划词典”示意图

由于直接对高维的连续动作空间建模十分困难，VADv2[1]将连续空间离散化，首次引入了“规划词典”。规划词典是一个离散化的代表性动作集合，用于指导车辆决策。它从驾驶演示中采样所有可能的轨迹，并通过最远轨迹采样方法选择N个代表性动作，确保这些动作在转换为控制信号时符合车辆的运动学约束。每个动作通过一系列路径点表示。2024年，Nvidia联合复旦团队借鉴了这一思想，在Hydra-MDP[2]算法中引入“规划词典”，来解决每个度量存在多个最优解的Multimodal Planning和Multitarget Planning的问题，规划词典由提取的轨迹构成，用于离线模拟并生成地面真实的模拟分数。这些轨迹通过潜在向量处理，以预测评分并提供监督信号，指导端到端规划器的学习过程。此外，通过二元交叉熵损失函数，规划词典帮助将基于规则的驾驶知识融入规划器，从而提升其在复杂驾驶环境中的决策能力，其在Navsim挑战中获得了第一名。

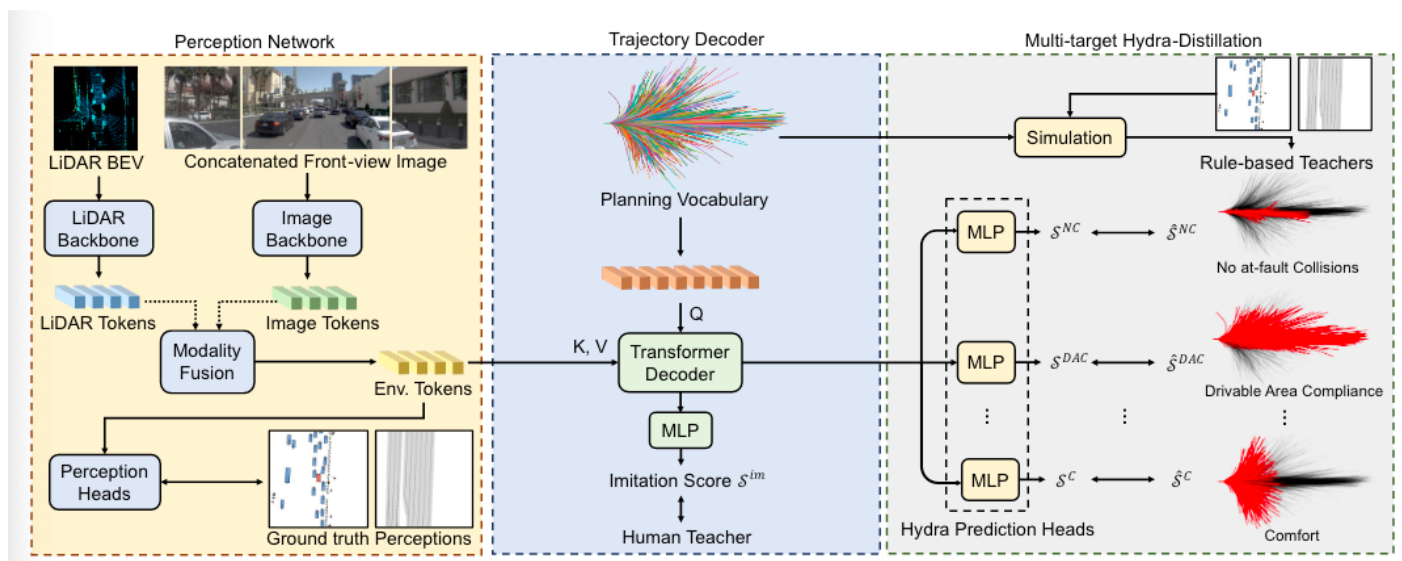


图2 Hydra-MDP 架构图

轨迹规划系统可以有两种规划方式：单轨迹预测、多轨迹预测。单轨迹预测是直接通过感知图像输出一条轨迹，多轨迹预测输出的则是多条轨迹，多条轨迹同时作为学生网络的专家。这两种方式对比起来，多轨迹预测可以在输出轨迹的同时得出概率，在推理阶段，有更多的选择，结果更加鲁棒。

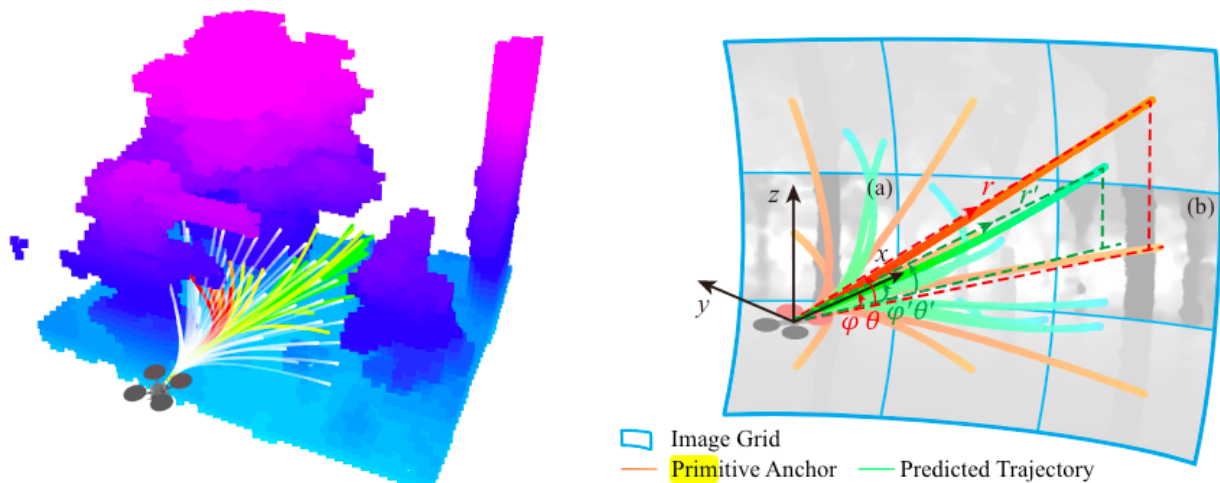


图3 运动基元可视化

在无人机运动控制领域，YOP0[3]也采用了概率规划的思想，通过生成运动基元作为锚点来覆盖动作空间，再根据环境信息来生成每个运动基元的概率。仿真实验中达到了小树林场景 10m/s 绕障的效果。

综上，概率规划可以使规划轨迹更为鲁棒且具有更好的泛化性，可以作为下一步的实验目标。

参考文献：

- [1] J. Lu, X. Zhang, H. Shen, L. Xu, and B. Tian, 'You Only Plan Once: A Learning-Based One-Stage Planner With Guidance Learning', *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 9, no. 7, pp. 6083–6090, Jul. 2024, doi: [10.1109/LRA.2024.3399589](https://doi.org/10.1109/LRA.2024.3399589).
- [2] Z. Li *et al.*, 'Hydra-MDP: End-to-end Multimodal Planning with Multi-target Hydra-Distillation', Jun. 19, 2024, *arXiv*: arXiv:2406.06978. doi: [10.48550/arXiv.2406.06978](https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.06978).
- [3] S. Chen *et al.*, 'VADv2: End-to-End Vectorized Autonomous Driving via Probabilistic Planning', Feb. 20, 2024, *arXiv*: arXiv:2402.13243. Accessed: Aug. 14, 2024. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2402.13243>