

[IM&M共享]混合A*算法开发情况专题汇报



汇报时间：20230823

1. 背景 5min

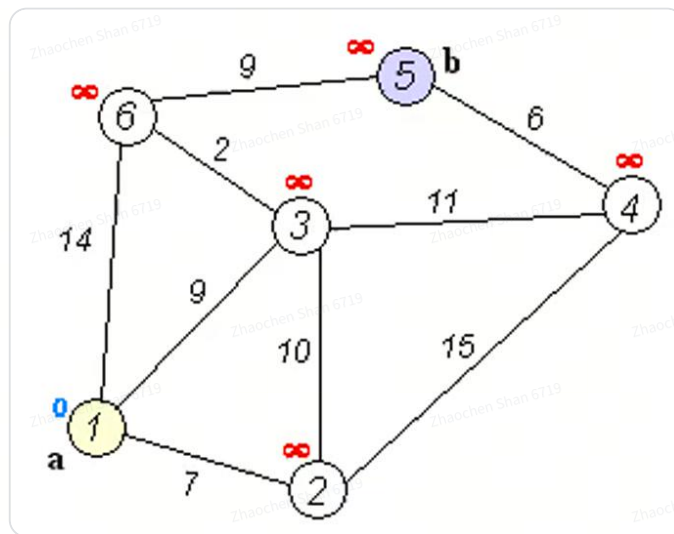
当前，APA在安全性、舒适性和泊车成功率等方面已形成稳定的基本面；
针对当前APA场景拓展、APA泊车轨迹优化等需求，开发了基于混合A*的泊车路径规划算法。
此次材料将对当前开发情况做一次汇报，目的是推动混合A*算法在各车型量产基线时上线

2. 混合A*算法介绍 Jinwei Wang 10min

	上一代算法GCP（Geometric Curve Planning）	新一代算法混合A*（Search Optimization Planning）
基本原理	使用大段圆弧、直线、螺旋线（1~10m长度），套用固定模板进行拼接得到一条可行规划轨迹	使用小段圆弧、直线、螺旋线（~20cm长度），以遍历所有可行轨迹的方式搜索最优规划轨迹
场景支持	在常规场景成功率有一定保障，但因模板难以覆盖到复杂场景，无法处理断头路、灵活的自车与车位相对位置、窄空间、斜列逆鱼骨等复杂场景	不依赖模板，一套算法可以统一处理常规场景和断头路、灵活的自车与车位相对位置、窄通道空间(断头路、窄通道)、斜列逆鱼骨等复杂场景
轨迹质量	轨迹较死板，无法充分利用可用空间，轨迹长度和换挡次数无法达到最优，有时又会离障碍物过近	可以充分利用可用空间以降低轨迹长度和换挡次数，同时尽可能避免离障碍物过近

详细介绍

基本思想：单源最短路径问题，Dijkstra算法



图的定义：

- 节点：位姿 (x 、 y 、 θ)
- 边：动力学约束（最小转弯半径、最大方向盘转速等）
- 边权：轨迹开销（长度、换挡、到障碍物的距离等）

对连续位姿空间的离散化处理：

- Dijkstra算法实质是动态规划，动态规划实质是对状态进行剪枝
- 仅在剪枝时进行离散化，粒度为 (0.2m, 0.2m, 0.7°)，重要区域加密到 (0.05m, 0.05m, 0.7°)
- 相应的子节点扩展也进行离散化，粒度为方向盘左打死至右打死，共选择7个不同的位置

从离散节点精确直连终点的机制：

- 从一个起点经过离散化的方式扩展出的一系列子节点必然也是离散的，需要有机制确保精确走到终点
- 实现方式：对于每个节点，尝试解析解出一条方向相同且曲率连续的螺旋线+直线连接到终点

启发项：

- 子节点扩展是各个方向自由扩展的，但需要引导搜索过程尽量朝着终点进行，避免浪费算力尝试不合理的轨迹
- 启发项表达当前节点到终点的预计轨迹开销，优先尝试当前轨迹开销+启发项最低的节点
- 实现方式：忽略碰撞的到终点的轨迹开销

计算效率：

- 当前最低搜索15万条候选轨迹取最优，场景复杂时最多搜索50万条轨迹取第一个搜到的可行轨迹

- 在Lbcar上绝大多数场景0.7s完成搜索，基本没有等待感；极端复杂场景最多2.3s完成搜索，等待感很轻微

3. APA新增场景(混合A*算法上线后) Zipeng Wang 5min

序号	车位类型	APA新增场景(混合A*算法)	APA当前表现	实车视频
1.	垂直/斜列	断头路场景	不支持	
2.	垂直/斜列	自车朝向与车位开口夹角支持范围提升至±40°	自车朝向与车位开口夹角支持范围为±10°	n.a.

4. 系统研发版本Checker的结果 Litao Shen 10min

垂直：

	揉库次数/次	轨迹长度/m	泊车时长/s
非混合A*版本	3.2	14.8	56.3
混合A*版本	2.3	13.8	49.2

斜列：

	揉库次数/次	轨迹长度/m	泊车时长/s
非混合A*版本	2.7	15.1	57.2

混合A*版本	1.8	12.8	47.3
--------	-----	------	------

5. 混合A*算法路测结果 Tao Jiang 10min

测试条目	非混合A*版本测试结果	混合A*版本测试结果
垂直构造 CRPD RPD RPI CRPD问题个数 RPD问题个数 RPI问题个数 泊车次数	40+ 40 40 0 1 1 40 泊车成功率：97.5%	40+ 40 40+ 0 1 0 40 泊车成功率：97.5%
垂直泛化 CRPD RPD RPI CRPD问题个数 RPD问题个数 RPI问题个数 泊车次数	846+ 31 37 0 27 23 846 泊车成功率：96.8%	851+ 33 35 0 26 24 851 泊车成功率：96.9%
斜列构造 CRPD RPD RPI CRPD问题个数 RPD问题个数 RPI问题个数 泊车次数	60+ 30 20 0 2 3 60 泊车成功率：96.7%	60+ 60+ 15 0 0 4 60 泊车成功率：100%
斜列泛化 CRPD RPD RPI CRPD问题个数 RPD问题个数 RPI问题个数 泊车次数	442+ 20 18 0 22 23 442 泊车成功率：95.5%	428+ 24 24 0 18 18 428 泊车成功率：95.8%

6. Planning仿真结果

垂直构造

- 首次规划成功率提高1.96%（99.41%），
- 重规划成功率提高3.19%（97.15%）

垂直泛化

- 首次规划成功率提高3.72%（达到99.36%）
- 重规划成功率提高3.27%（达到97.43%）

斜列顺鱼骨构造

- 首次规划成功率提高9.51%（达到99.25%）
- 重规划成功率提高4.22%（达到98.65%）

斜列顺鱼骨泛化

- 首次规划成功率提高8.88%（达到98.54%）

- 重规划成功率提高4.03%（达到98.79%）

7. 混合A*算法待解问题 Litao Shen 5min

序号	问题描述+自闭环页面	影响场景 & 出现概率	原因	主线版本&发版日期
1	0720-Mainline-Planning -规划释放了断头路车位，路线规划不出来，导致泊车放弃	场景：垂直断头路周围空场景	<div><div>1. 场景较空旷，可以走下去而不发生碰撞的轨迹非常多，需要一个一个试</div><div>2. 但断头路场景仅有几乎确定的唯一解</div></div> <div>因此试到这个唯一解的过程比较长，容易超出现在规划器的尝试次数上限</div>	预计09/30

8. 混合A*算法上线计划 Chris Zhang Zipeng Wang 5min

序号	车型	影响范围	打开/关闭方式	基线	版本	备注
1	Lacar	垂直线车位	配置开关	1230基线(待定)	1230基线第1版(待定)	非首发
2	Lbcar	斜列线车位	配置开关	1012基线	0830版本	首发
		垂直空间车位				
3	Lccar	斜列空间车位	配置开关	1030基线(待定)	0915版本	非首发

p.s. 水平车位使用混合A*算法，正在迭代过程中；预计上线时间11/30(预计)