

智能驾驶报告

一、 建立道路环境

根据国家颁布的相关标准,城市道路每车道宽度为 3.75m,车道边上有路肩宽 0.5m。设百米长的单向双车道上有三辆机动车,车长 4m,车宽 1.8m。如图所示,三辆车中心点的坐标分别为[18,6.1], [78,6.1], [48,2.4], 即车辆基本位于车道中心。

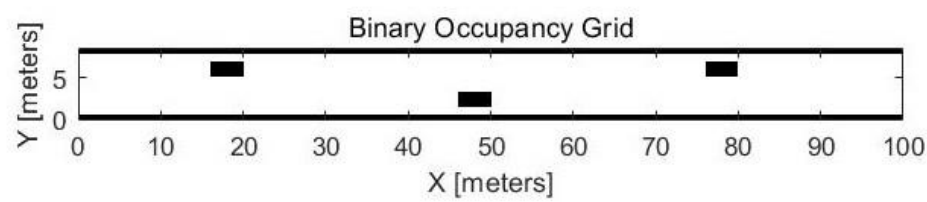


图 1

下列算法均以自车中心代替自车规划路径,考虑自车大小而规划不碰撞轨迹,需将上述占据地图进行膨胀,此处近似以半径 1.8m 进行膨胀。

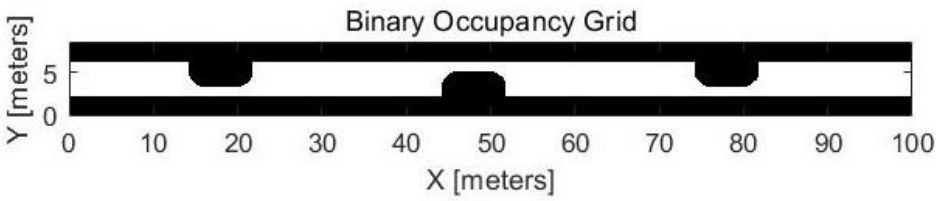


图 2

假设车的起点为[0,6],终点为[100,6]。

二、 A*算法规划路径

1、 原理

A*算法是图搜索算法中的一种,被认为是 Dijkstra 算法的扩展,因其引入启发函数,在搜索上具有更好的性能。其中的重点在于每个节点搜索优先级的计算, A*算法每个节点的优先级 $f(x)$ 由节点距离起点的距离 $c(x)$ 和节点距离终点的预计距离 $h(x)$ 组成。

$$f(x) = c(x) + h(x)$$

使用集合 open_set 表示待遍历的节点, 集合 close_set 表示已经遍历过的节点。其流程图如图 3.

2、 启发函数 $h(x)$

当启发函数为 0 时, A*算法即退化为 Dijkstra 算法。

当 $h(x)$ 始终小于等于节点 x 到终点的距离 (可接受的), 则 A*算法保证一定能够找到最短路径。但当 $h(x)$ 的值越小, 算法将遍历越多的节点, 算法越慢。当 $h(x)$ 完全等于节点 x 到终点的距离, 则 A*算法将找到最佳路径, 并且速度快。

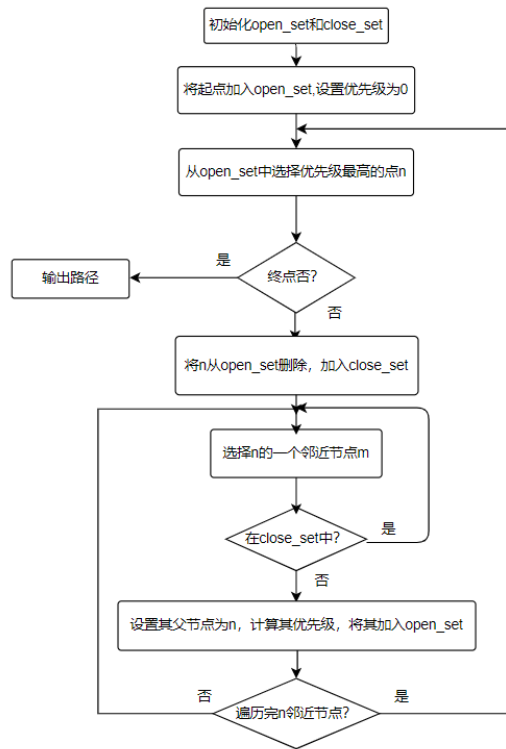


图 3

由于现实中车可以朝任何方向移动，故而以欧几里得距离构造 $c(x)$ 和 $h(x)$ ，规划路径如下图所示：

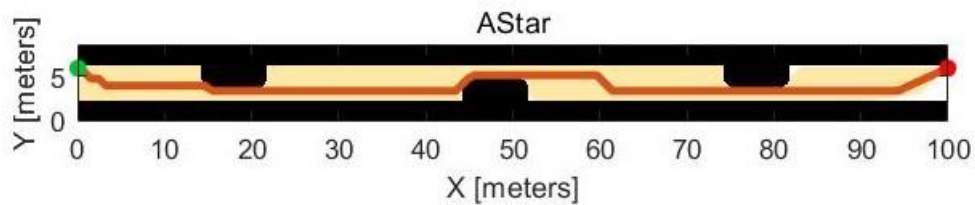


图 4

由于启发函数 $h(x)$ 的选择影响最优路径的查找结果和查找速度，故而下图给出启发函数为 0 (Dijkstra 算法 图 5)、曼哈顿距离 (图 6)、切比雪夫距离 (图 7) 的规划结果。

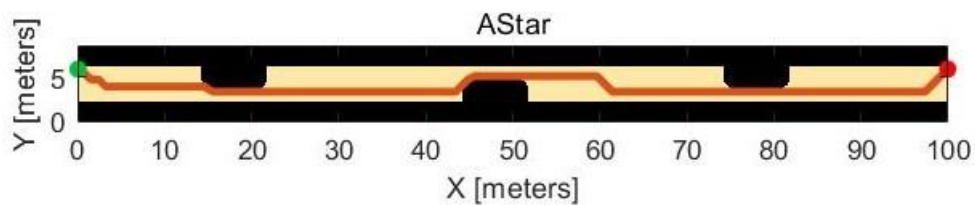


图 5

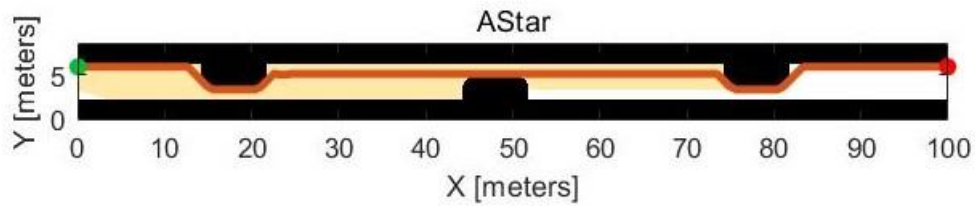


图 6

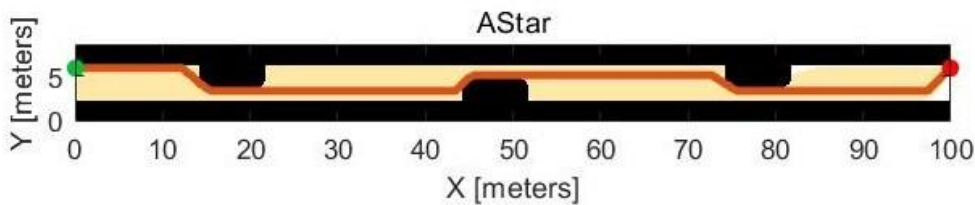


图 7

路径规划结果 ($c(x)$ 均为欧几里得距离):

$h(x)$	0	欧几里得距离	曼哈顿距离	切比雪夫距离
距离	103.5451	103.5451	103.6279	103.5451
探测节点数	33018	31680	23351	32128

由上表可知，**对于该道路环境**，当启发函数为 0、欧几里得距离和切比雪夫距离时，找到的路径较短且一致，但启发函数为欧几里得距离时，探测节点数最少，寻找最快。当启发函数为曼哈顿距离时，找到的路径距离略大于最短距离，但探测节点数比启发函数为欧几里得距离时要少的多，效率更高。

三、 搭载测距仪，使用混合 A*算法的动态规划

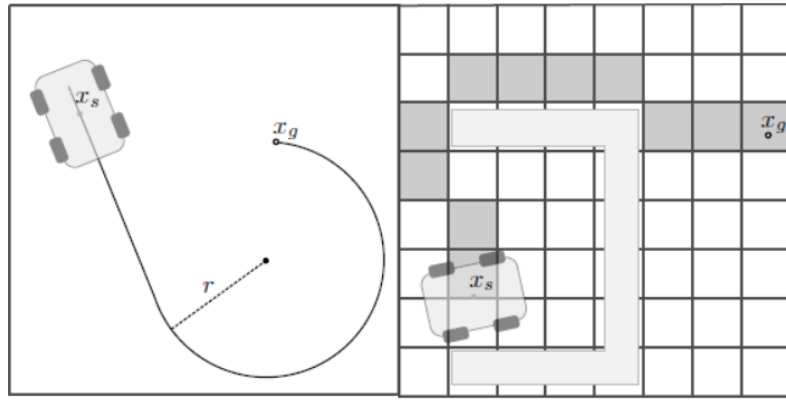
1、混合 A*算法与 A*算法

A*算法基于离散的坐标系，在占据地图中，A*算法规划的路径只访问栅格的中心点，生成的轨迹不光滑，且不考虑车辆的运动学特性（车辆的非完整性约束，生成的轨迹不够符合现实需要。

混合 A*算法可以访问栅格中满足车辆连续状态的任意点，假设车辆基本的空间构型 (x, y, θ) ，启发函数考虑车辆的非完整性约束，在符合网格精度的前提下利用 Reed-Shepp 曲线扩展节点，最后通过设置惩罚项（障碍物、曲率、光滑度）平滑处理路径。混合 A*算法假设智能车具有感知定位能力，能够在线重新规划生成障碍物地图，使智能车在**未知的环境**中行驶。其无法保证找到最优路径，但结果路径可行驶，且在最优路径附近。

2、启发函数 $h(x)$

混合 A*算法构造了两个启发函数，第一个只考虑汽车的非完整性约束而不考虑障碍物，第二个只考虑障碍物不考虑汽车的非完整性约束（与 A*算法类似）。而最终的启发函数取两者的较大值。



3、非完整性约束

现实中汽车垂直于车辆前进方向的速度 $v_{vertical}$ 为 0。

$$v_{vertical} \sin \theta = v_x$$

$$v_{vertical} \cos \theta = v_y$$

其中 θ 为车辆前进方向速度与水平方向的夹角，联立可知：

$$v_x \cos \theta - v_y \sin \theta = 0$$

4、成本函数 $c(x)$

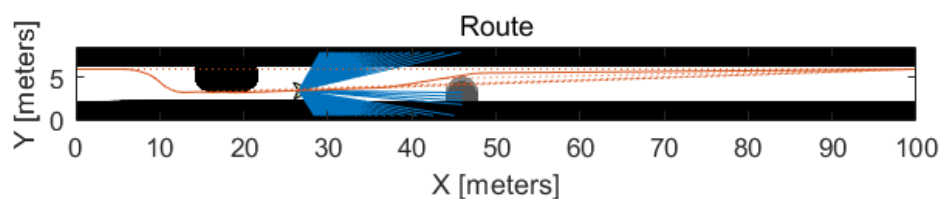
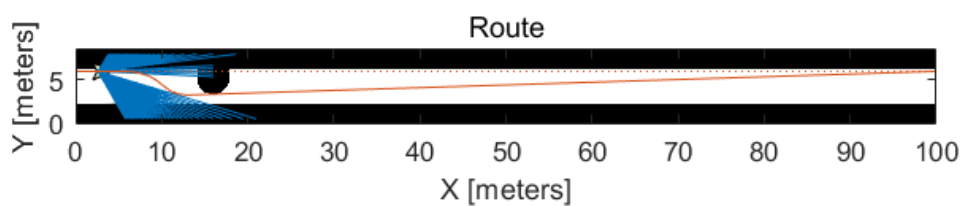
混合 A* 算法的成本函数不仅考虑了路径长度和路径光滑度，且通过构造势场函数使得生成路径与障碍物保持一定距离（障碍物附近势场高，成本高）

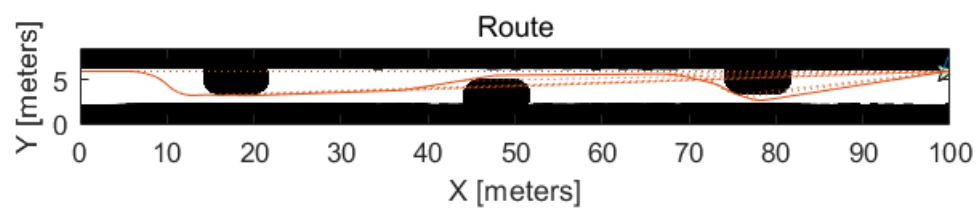
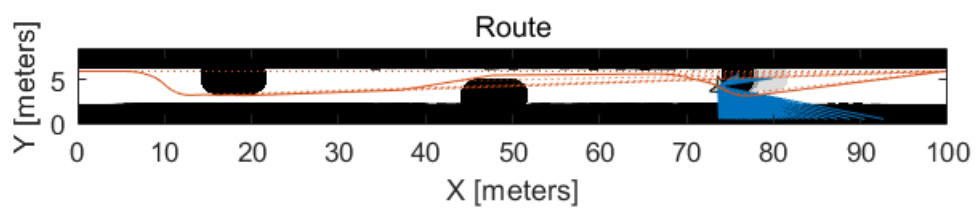
5、混合 A* 算法规划路径

假设车辆未知该段道路的障碍物情况，利用混合 A* 规划初始路径。

车辆上搭载水平探测角度范围为 $-60^\circ \sim 60^\circ$ ，角度分辨率为 0.0244rad 的距离传感器。

车辆根据初始路径行驶，从距离传感器获得障碍物信息，若射线打到障碍物一次，则占据栅格地图上该点占有概率为 0.7，同时将占据栅格地图膨胀（考虑自车体积），实现地图更新。在更新地图上，检测原有规划路径上是否有障碍物，如有则重新利用混合 A* 规划路径，实现动态规划。下图中实线为最终规划路径，虚线为动态规划过程输出的中间路径。





四、 参考资料

Matlab demo:

Dynamic Replanning on an Indoor Map

Plan Obstacle-Free Path in Grid Map Using A-Star Path Planner

文献:

Dolgov D, Thrun S, Montemerlo M, et al. Practical Search Techniques in Path Planning for Autonomous Driving[J]. ann arbor, 2008.

网站:

[\(10 条消息\) 【论文研读】 路径规划中的 Hybrid A*算法_One step, One punch-CSDN 博客](#)

[\(9 条消息\) Reeds-Shepp 和 Dubins 曲线简介_robinvista 的专栏-CSDN 博客_rs 曲线](#)

注: 代码、动态规划视频见附件