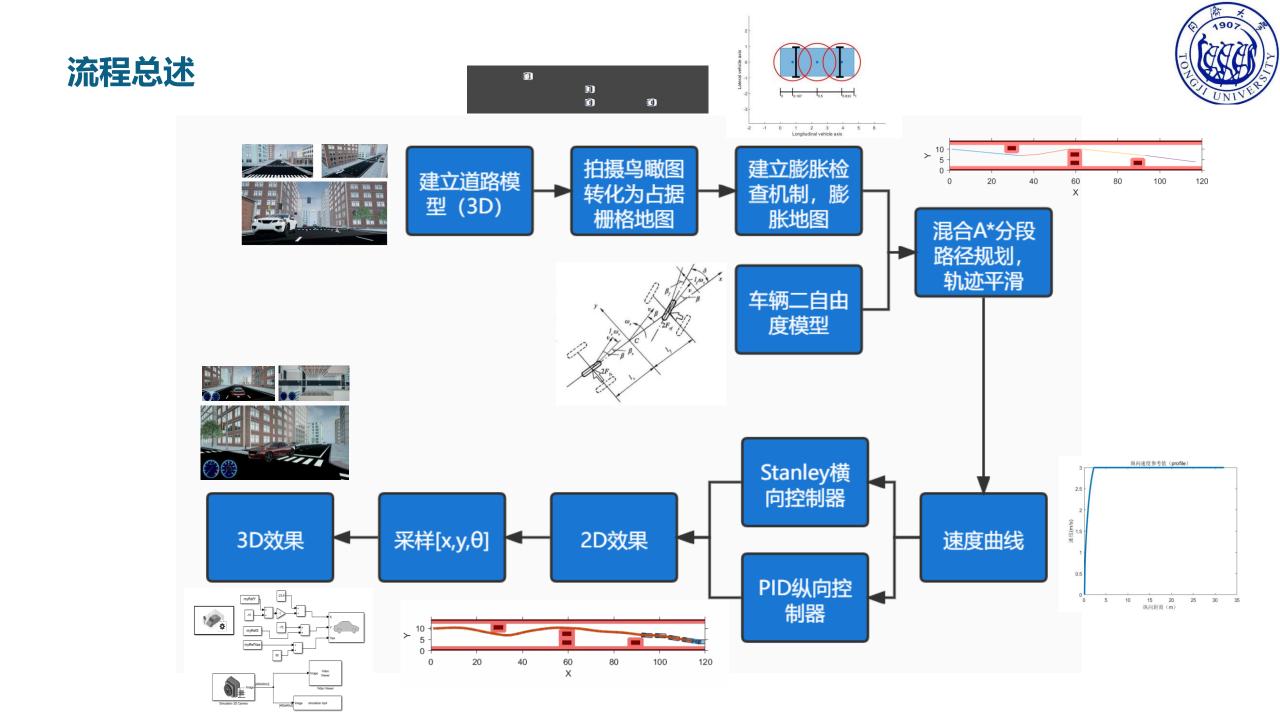


人工智能与智能驾驶基础课程 大作业





- 01 道路环境
- 02 车辆模型建立
- 03 路径规划
- 04运动控制
- **05**2D结果
- 06 3D结果

目录



01

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。

设路宽4m,路肩宽0.5m,120米长的单向三车道上有四辆机动车,车长4.7m,车宽1.8m。







在Unreal Editor中搭建的道路和车辆模型



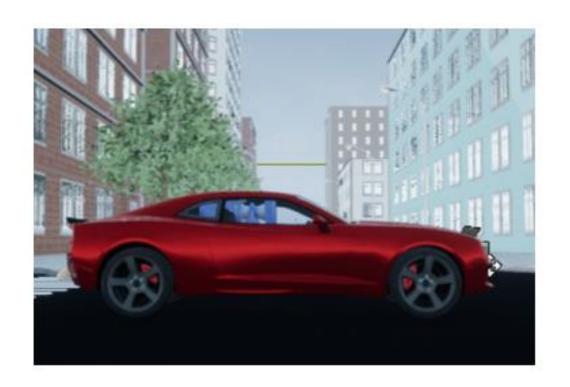


根据国家颁布的相关标准,城市道路每车道宽度为 3.75m,车道边上有路肩宽

设路宽4m,路肩宽0.5m,120米长的单向三车道上有四辆机动车,车长4.7m,车宽1.8m。







在Unreal Editor中搭建的道路和车辆模型

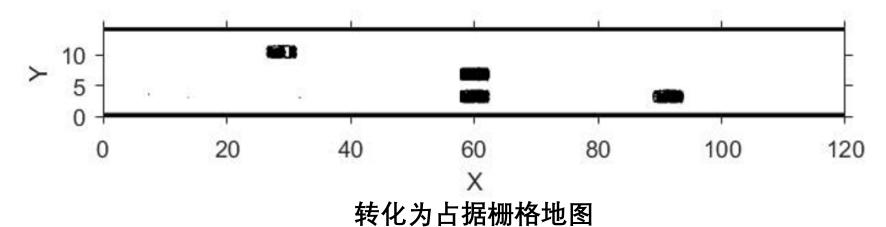




鸟瞰图拍摄

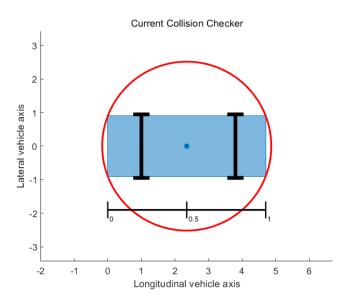


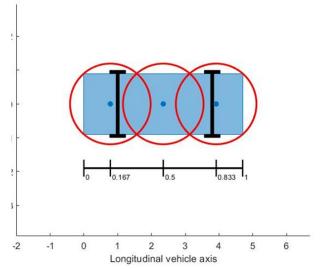
图像处理



碰撞检查——三圆膨胀模型







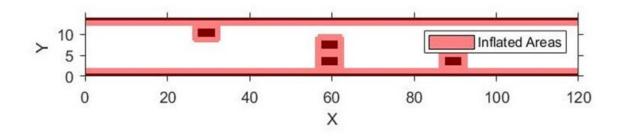


单圆膨胀检查机制



三圆膨胀检查机制

碰撞检查是通过以膨胀半径膨胀后的占据栅格地图中的障碍物来执行的,即检查下图所示圆的中心是否位于膨胀后的占据栅格地图的障碍物上。超车过程的操作需要十分精确,且受路宽和该路段上车辆数目、间隔的限制,采用相对不保守的碰撞检查机制,构建下图所示的三圆碰撞检查机制。





车辆模型建立

02

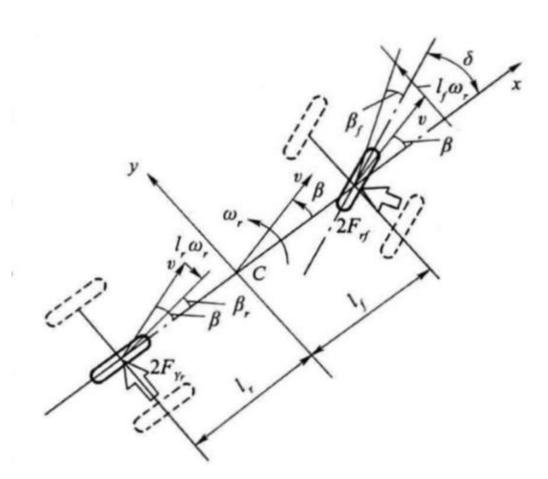
车辆两自由度模型

两自由度:横摆运动、侧向运动

为什么采用两自由度模型?

- 忽略惯性不计——对低速行驶有效、 且保证控制器稳定性
- 2. 忽略车身侧倾运动——左右轮侧偏角 数值相等且极小,则前后车轮可视为分 别集中于前后轴中点

故满足后续路径规划、运动控制分析要求



车辆尺寸参数

基本参数:

- 车长4.7m
- 车宽1.8m
- 车高1.4m
- 轴距2.8m
- 前悬距离0.9m
- 后悬距离1m
- 最大转向角35°



确定栅格地图中障碍物的 膨胀程度



确定前后轴中点



影响转弯半径及转角控制



车辆姿态定义为[x,y,θ], 起始姿态为[1,10,0]

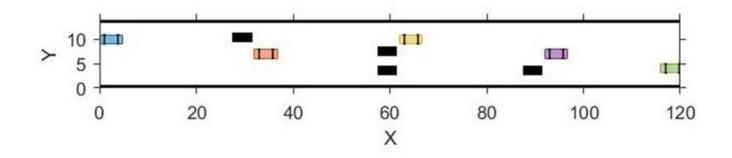


03

路径规划——前提



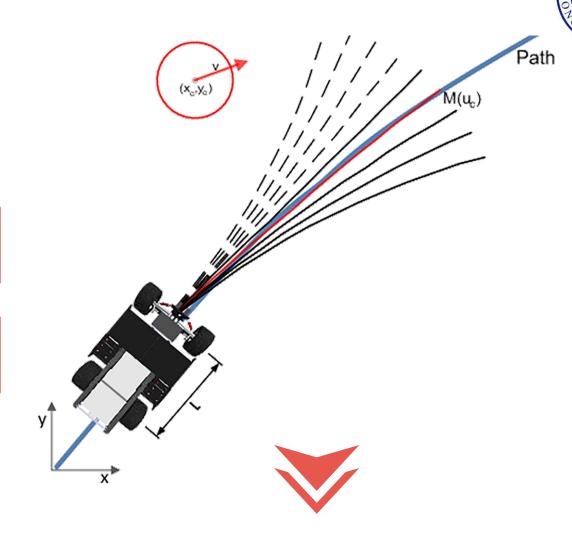
在上述道路环境中,由于交通规则规定,禁止连续变道,且**为避免超车过程不符合车道线限制,再考虑到超车过程较危险,需要精确控制,**在起点和终点间设置**3个中间目标点**,车辆到达每个中间目标点时相对于世界x轴的方向角为**0°(航向角),**在每个整个超车路径规划**分段进行**。中间目标点如下图所示,后轴中心的坐标分别为[33,7],[63,10],[93,7],自车起点和终点的坐标分别为[1,10],[117,4]。



实际的路径规划器

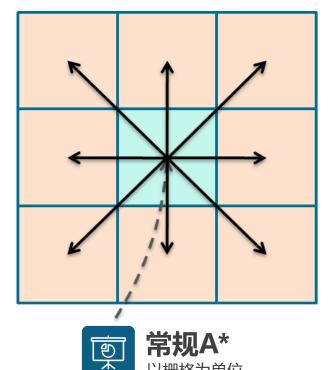
连续的状态空间

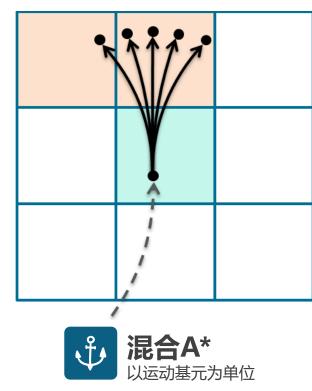
满足运动约束



混合A*: 引入运动基元







每次扩展搜索树时,向前扩展一个运动基元。

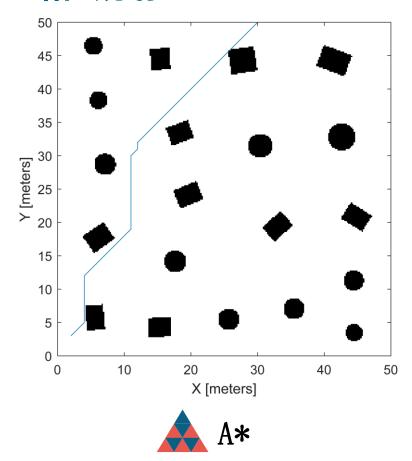
这样,既能满足运动约束,又让搜索空间离散化以利于计算。

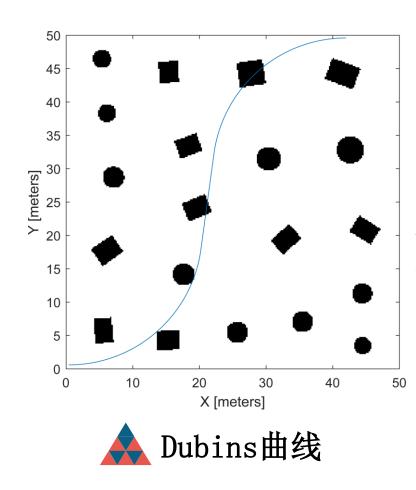
此外,将到达的连续位置与对应的栅格关联,方便碰撞检测及计算启发函数。

运动基元必须满足以下三个条件:

- 移动距离必须足够长,能离开当前单元格(即弦长 $l > \sqrt{2} \cdot \zeta$,其中 ζ 为栅格边长)。
- 弧线曲率受到最大转向角 α_{max} 的限制。
- 航向角变化量δ必须是一个离散化步长的倍数。







由直行、以最大转向角左转、以最大转向角右转三种运动组成。 是在满足曲率约束且车辆只能前向

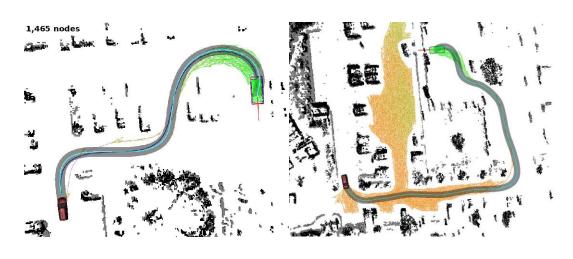
行驶时,连接初始位姿和目标位姿的最短路径。

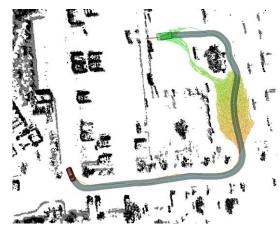
混合A*使用两种启发函数的组合: A*和Dubins曲线。

两个启发函数都是对真实代价的低估,混合A*中将启发函数取为两者中的最大值,这个启发函数是可接受的。









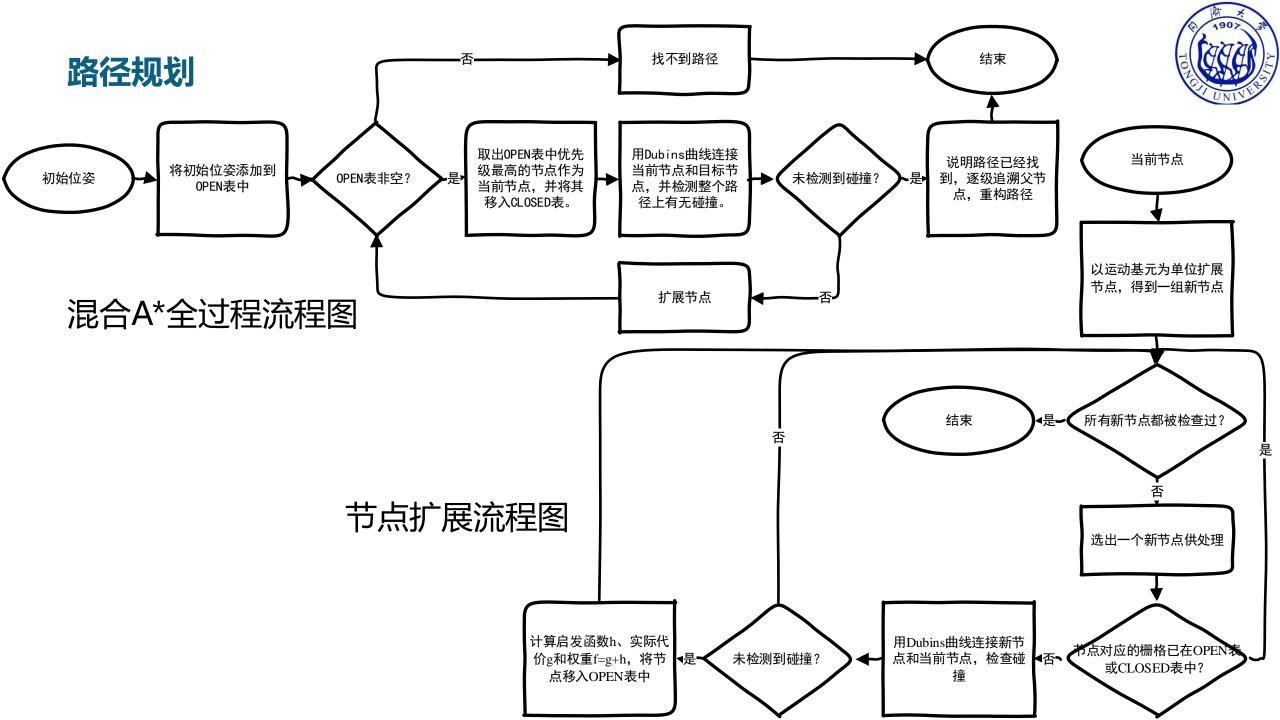
仅使用A*:会扩展无法在满足 运动约束条件下到达的节点。 仅使用Dubins: 简单场景下效

果较好,但容易走进死胡同。

两者结合: 扩展节点数

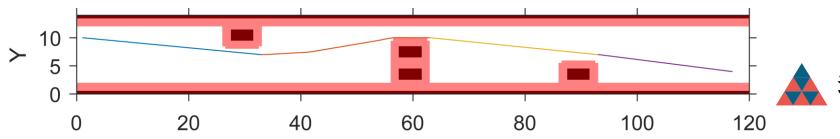
显著减少。

此外,Dubins曲线长度不依赖障碍物信息,可预先离线计算出结果,通过旋转和平移在线匹配当前位姿。



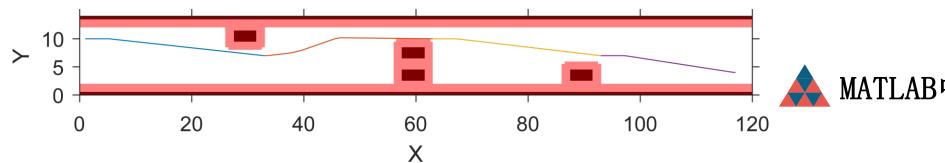




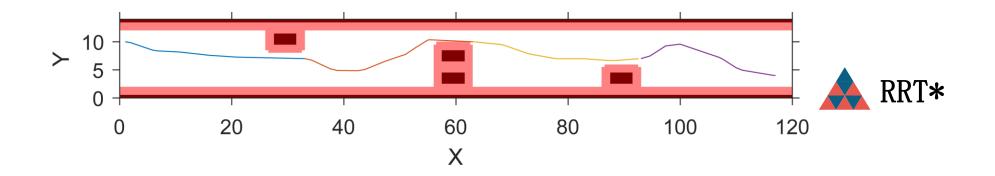


X

我们复现的混合A*



MATLAB中的混合A*实现





运动控制

04

车辆控制



- 本方案简化问题,仅考虑运动学模型,故适用于较低速情况。
- 控制分为横向控制(调整转向角,使车辆遵循参考路径)和纵向控制(通过油门和刹车,即加速度和减速度,来保持所需速度)。

车辆控制——横向控制



Stanley横向控制器的非线性转向控制律:

控制思路:根据当前时刻的车辆姿态,在规划的参考路径中搜索到距离车辆前轴中心的最近点坐标,并计算出从当前位置到参考位置所需的**车轮转向角**,随后根据xy坐标和转向角控制车辆到达预定位置。

Stanley横向控制器的特点:

- 通过考虑前轮(而不是车身)相对于参考轨迹的方向,来处理车辆轨迹跟踪
- 控制器在各类越野地形能发挥良好性能
- 均方根(RMS)横向误差低于0.1m
- 具有良好的稳定性

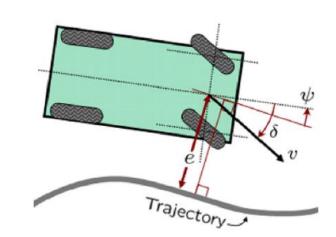
车辆控制——横向控制



车辆运动满足以下关系式:

$$\dot{e}(t) = v(t)\sin(\Psi(t) - \delta(t))$$

$$\dot{\Psi}(t) = -\frac{v(t)\sin(\delta(t))}{l}$$



e(t): 横向误差, 转向轮前轮中心到参考点的距离

 $\Psi(t)$ - $\delta(t)$: 此时车轮相对于要跟踪的最近轨迹段的角度

Ψ(t): 车辆相对于最近轨迹段的偏航角(航向角偏差)

 $\delta(t)$: 前轮相对于车辆纵向的转角(转向角),转向角 $\delta(t)$ 应小于最大转向角 δ max

1: 车辆轴距

车辆控制——横向控制



采用Stanley横向控制器的非线性转向控制律:

$$\delta(t) = \Psi(t) + \tan^{-1} \frac{ke(t)}{v(t)} \quad (\delta(t) < \delta_{\text{max}})$$
$$\delta(t) = \delta_{\text{max}} \qquad (\delta(t) \ge \delta_{\text{max}})$$

- k谐调增益:其目的是防止增益项过大,以至于对误差e(t)噪声过于敏感;将k放在分母上, 允许在低速下灵活控制;通过实验发现k取1m/s较合适。
- tan⁻¹反正切函数:实现平滑、稳定的过渡。
- 对于v(t) > 0和 $0 < \delta$ max $< 2\pi$,以上控制律可以实现车辆控制闭环系统具有全局稳定性。



纵向控制:通过油门和刹车,即加速度和减速度,来保持所需纵向速度。 本方案采用PID控制器。

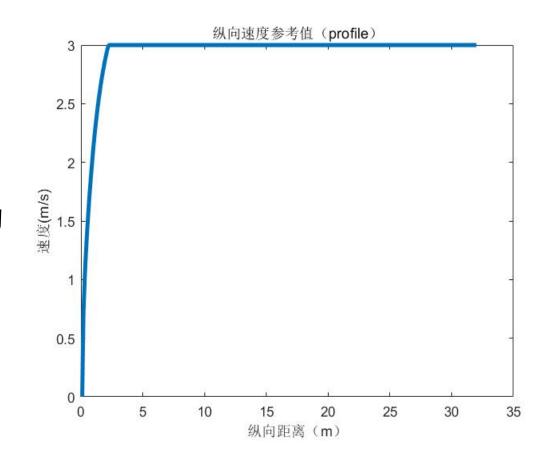
参考纵向速度的生成:

假设地图中4辆车等纵向速度行驶,自车在起点时纵向速度和它们保持一致,故而自车的相对速度为0,以下自车的纵向速度都为相对纵向速度。

考虑到超车安全,需要尽快超车,故而当自车纵向速度为0时,**以汽车最大纵向加速度a加速到设定超车纵向速度**,此处设为3m/s,后保持这个速度**匀纵向速度**超车,完成连续变道超车过程。第一段路径的速度分布图如下图所示,剩余阶段的参考纵向速度保持为3m/s。

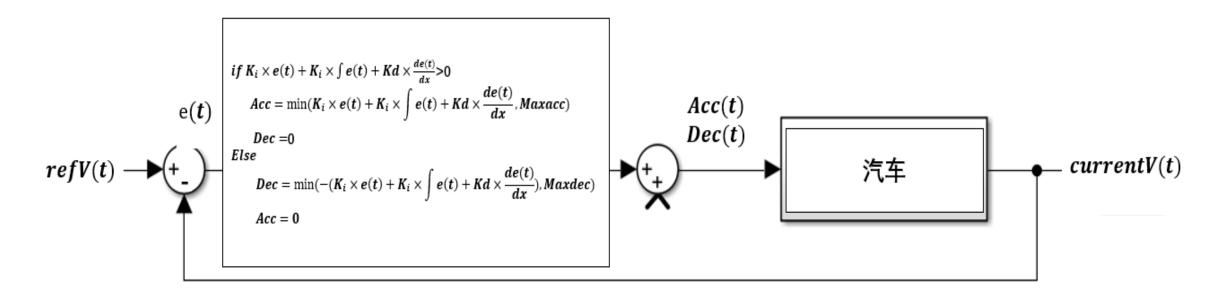
平滑后的轨迹每段长0.1m,可根据下式算出加速阶段参考速度:

$$v_{i+1}^2 = 2aS + v_i^2$$
, $S = 0.1m$, $a = 2.5m/s^2$





控制模型如下图所示,以0.05s的采样时间获取当前时刻的速度偏差,由速度偏差的比例、积分和微分环节算出的加速度值和汽车最大加速度比较,取较小值控制汽车加速度。

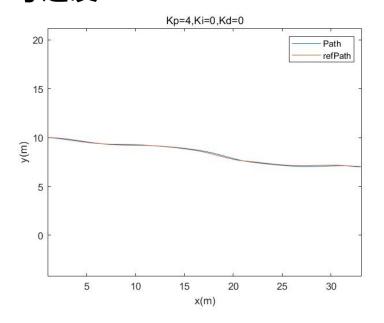


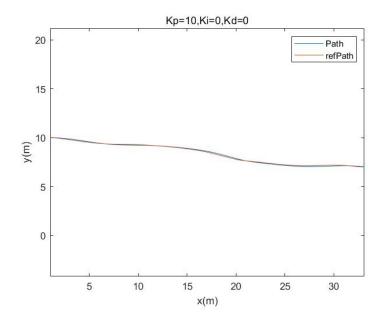
currentV(t)

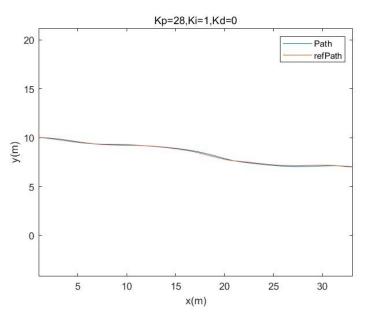


PID参数整定——试凑法: 前提:

- (1) 在调节PID的过程中,发现低速情况下采用上述的横向控制和纵向控制**轨迹跟踪均比较良好,**故而主要以**速度的时域指标**进行PID参数整定,且由于匀纵向速度超车,所以PID参数整定**主要依据第一路段的加速部分**
- (2) 为了画出时间曲线,参考速度和当前速度均为**采样**获得,由于参考速度设置的精度问题,加速部分,参考速度会出现锯齿状,即该**采样时间的参考速度为最接近采样点处设置的参考速度**





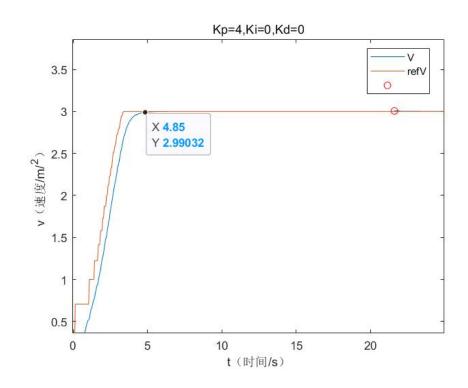


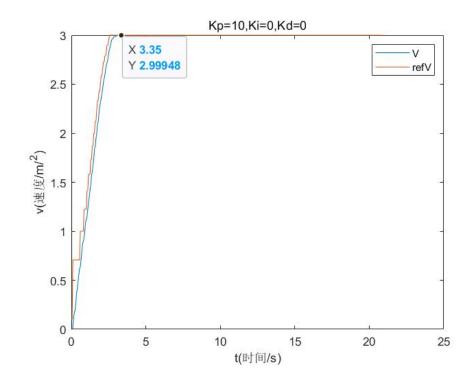


PID参数整定——试凑法:

(1) 进行**纯比例调节**从小到大增大Kp,直到产生振荡,再反向减小Kp直到振荡消失,取Kp为此时的60%-80%。

如下图将Kp**从小到大**依次调整为4,10,15,30,50,可以观察到上升时间不断减小,在 Kp=50时开始出现振荡。

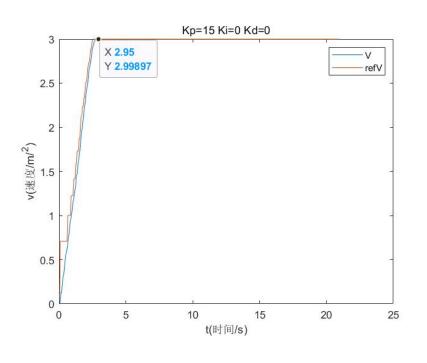


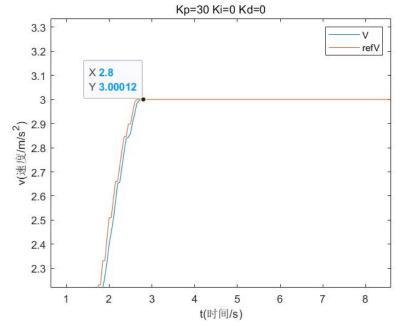


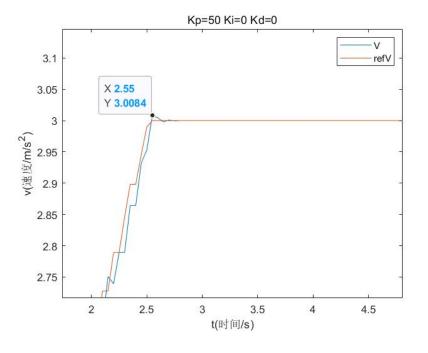


PID参数整定——试凑法:

如下图将Kp**从小到大**依次调整为4,10,15,30,50,可以观察到上升时间不断减小,在 Kp=50时开始出现振荡。



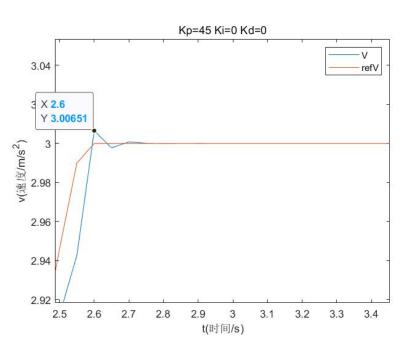


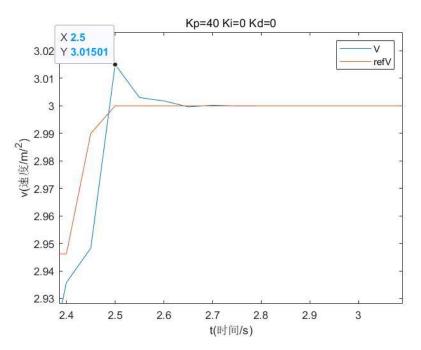


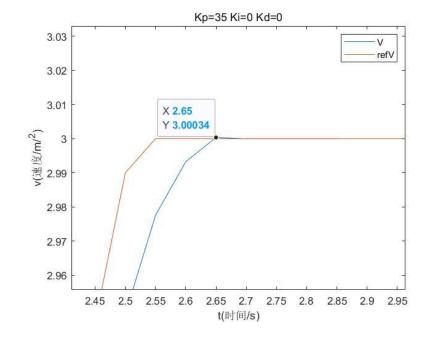


PID参数整定——试凑法:

再从Kp=50, **从大到小反向调节**, 依次调整为45, 40, 35, 由图可知该过程振荡(超调减小), Kp=35时基本不再振荡。



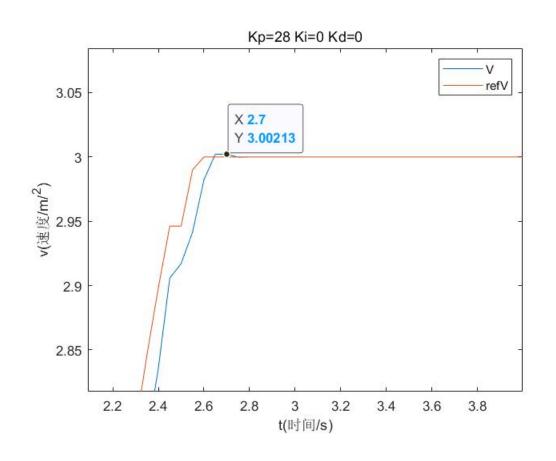


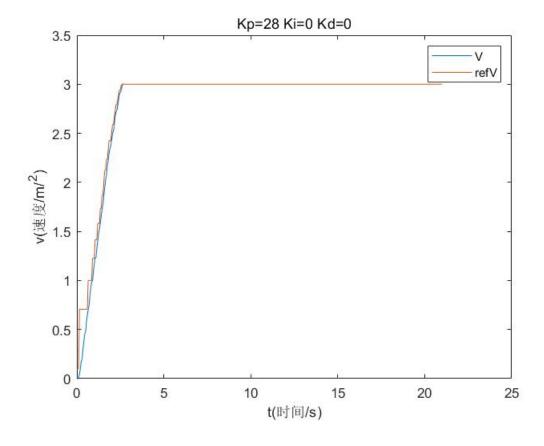




PID参数整定——试凑法:

取Kp=35×80%=28

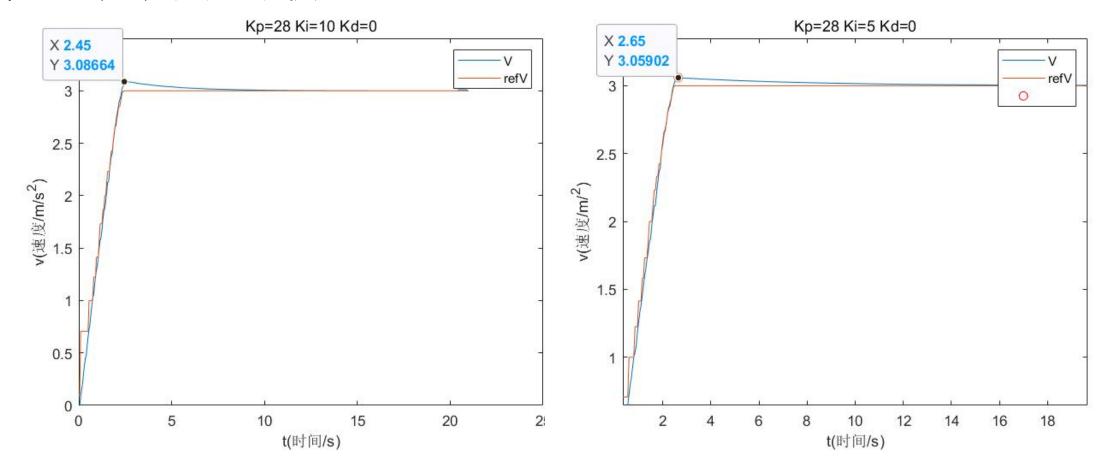






PID参数整定——试凑法:

(2) Kp确定后,按类似方法从小到大增大Ki,直到出现振荡,再减小Ki 取Ki=10,5,发现出现较大超调量。

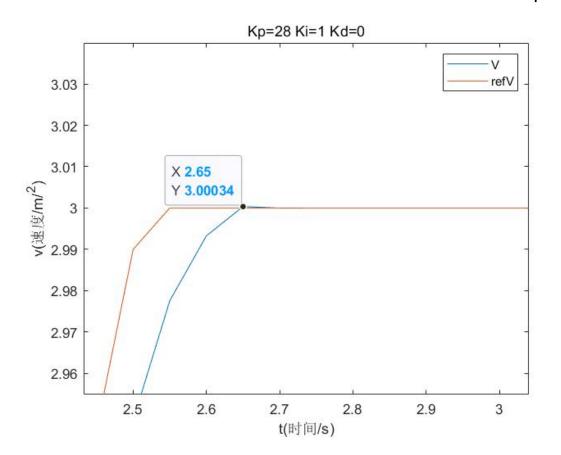


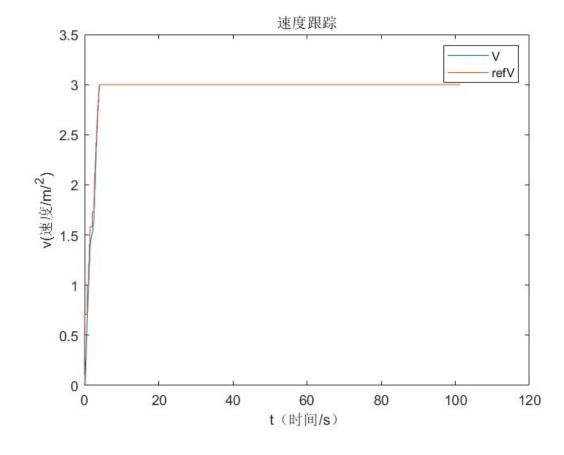


PID参数整定——试凑法:

取Ki=1时,超调量和上升时间都较好。

(3) 由于引入比例积分调节后,纵向速度跟踪效果已经很好,故而设Kd=0 综上所述,该纵向速度PID控制器参数为Kp=28,Ki=1,Kd=0





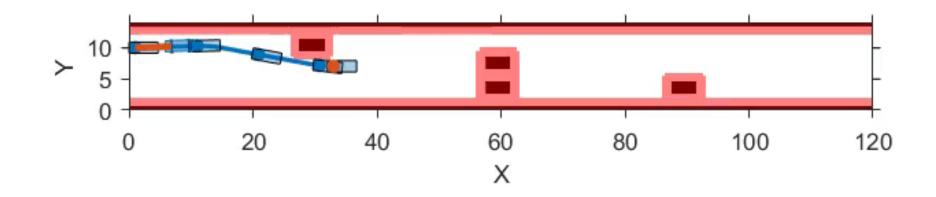


2D结果

05

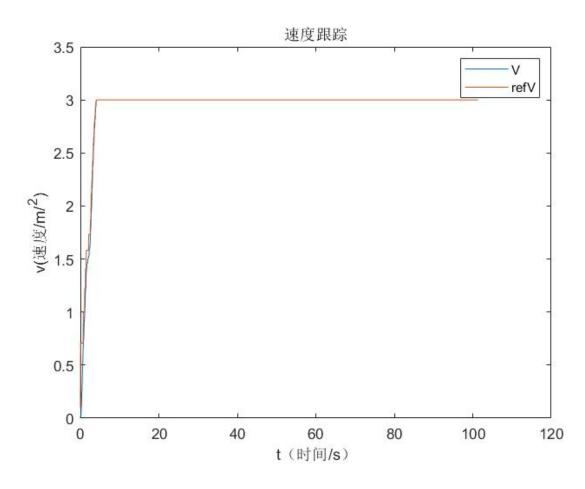
轨迹跟踪





速度跟踪





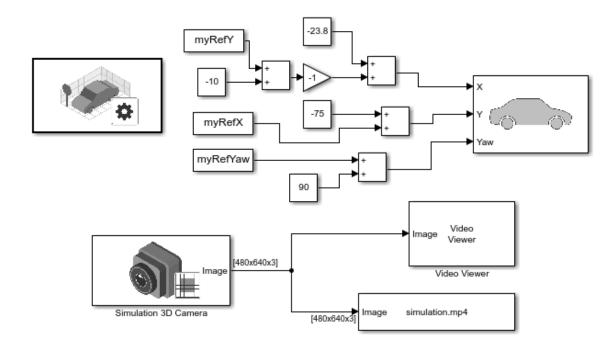


3D结果

06

三位模拟





将控制模型输出转化为轨迹和位姿信息、进行平滑处理和进行坐标变换后,在Simulink中搭建Unreal Engine联合仿真







三位模拟









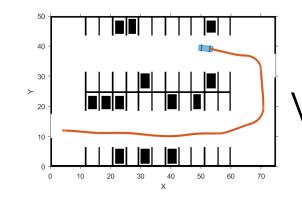
感谢观看

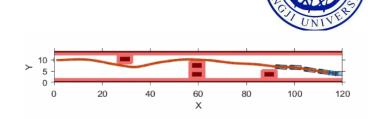
流程

Matlab demo:

Automated Parking Valet

(利用一些可视化、轨迹平滑、车辆模拟器模块)





环境模型

车辆模型 的建立

路径规划

运动控制

建立道路模型

规划算法重写 (RRT*->混合A*) 速度曲线生成 (分段规划时,匀 纵向速度) PI控制器->PID 控制器(重写) 及参数整定

3D建模 (2D->3D)

