

初始化

加载 waypoints

加载 stop sign 参数

加载停放车辆参数

最大加速度设置

跟车距离设置

控制大循环

获取自车及环境参数

ego 位置、速度、航向

Leading car 参数

行为规划

是否跟车，
下一个目标路点

减速 / 停车 / 跟随车道 的状态

路径规划

到下一个目标路点附近最优的一条 path，其中每一点只有坐标没有速度

速度规划

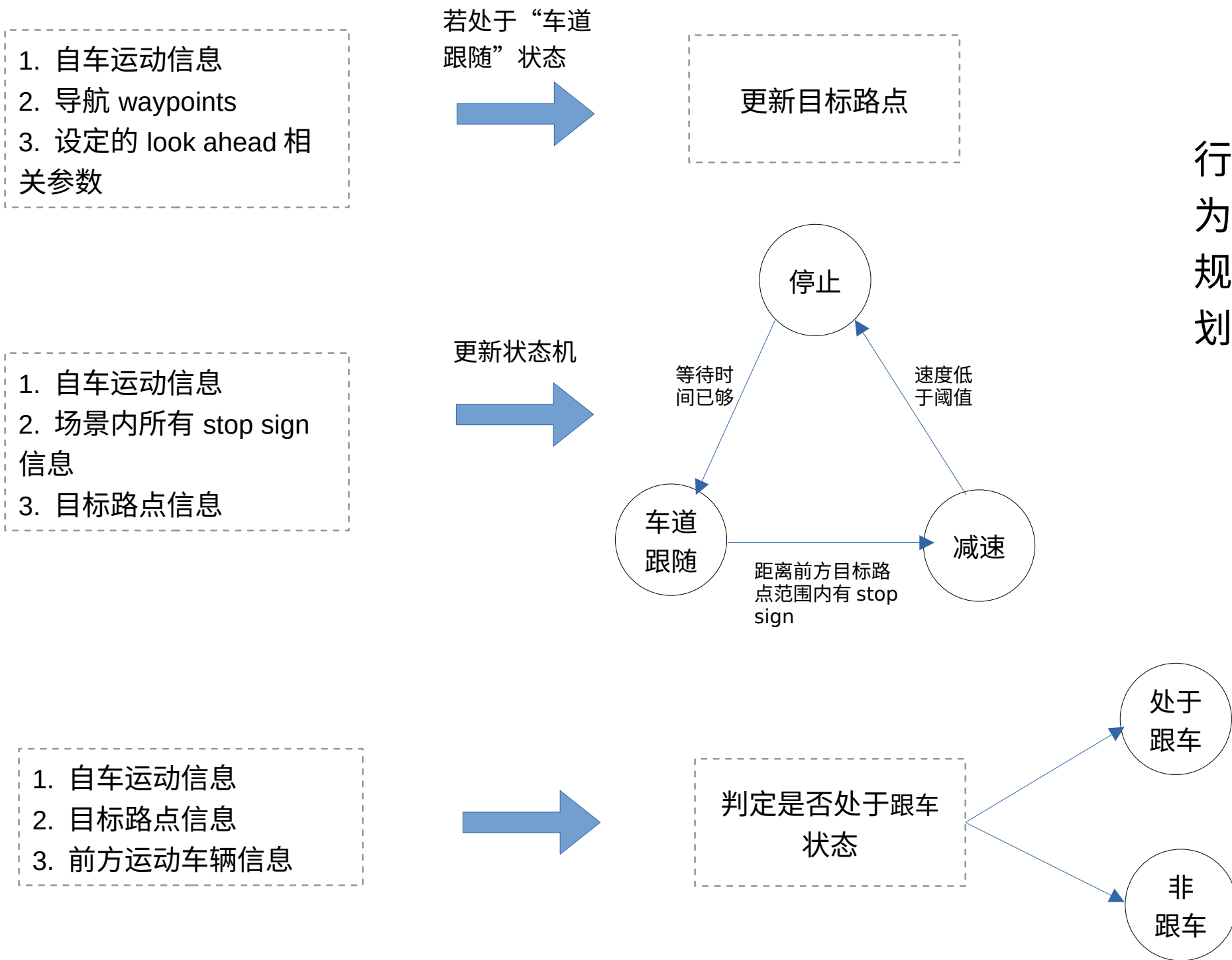
到下一个目标路点附近最优的 path，其中含有每点的速度

轨迹跟踪

油门、刹车、
方向盘控制量

CARLA

行为规划



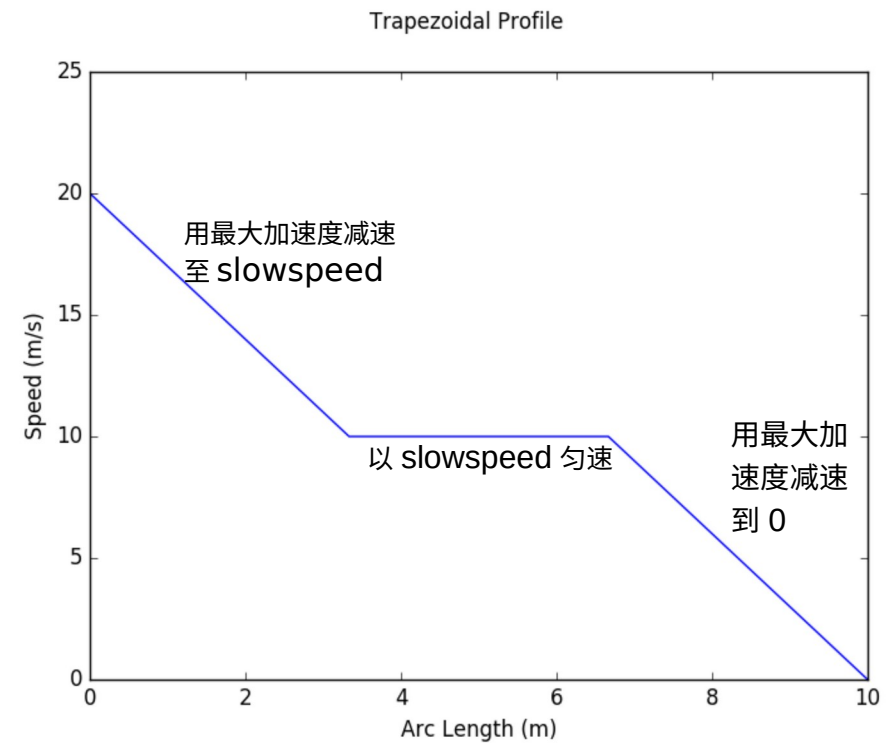
Nominal profile

车道正常行使时使用

1. 下一目标路点速度为 desired speed
2. 使用最大加速度加速 / 减速 至 desired speed
3. 之后保持匀速

Decelerate profile

前方有 stop sign 时使用



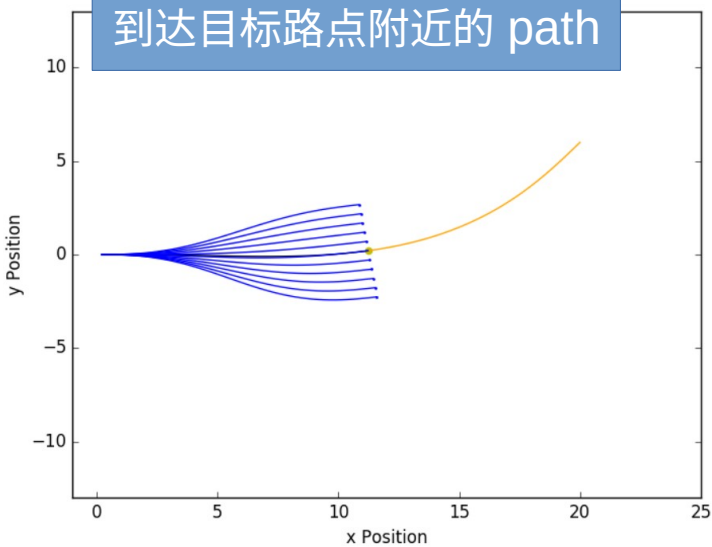
Follow profile

跟随前车时使用

1. 前车当前车速为 desired speed
2. 前车当前位置前，预留 1 秒时间窗口
3. 使用最大加速度来 加速 / 减速 走过每一小段路点间隔，直至时间窗口前的路点
4. 后续所有路点采用 desired speed

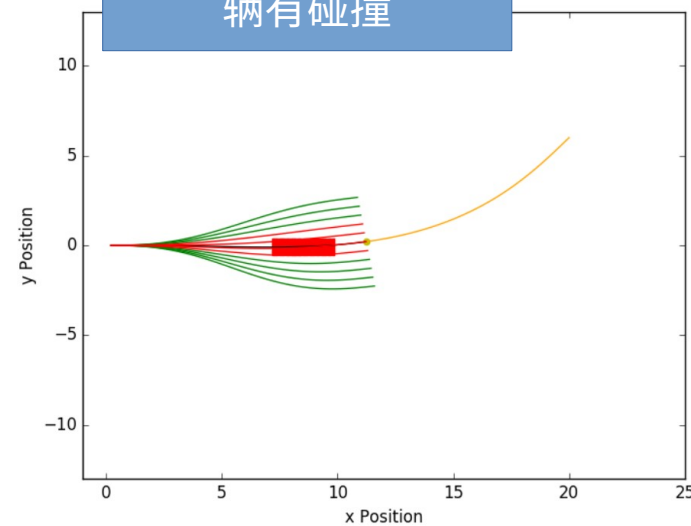
- 1. 自车运动信息
- 2. 目标路点

使用基于多项式螺旋线的
conformal lattice 的优化
方法生成 N 条从当前位置
到达目标路点附近的 path



坐标变换
将生成的 N 条
path 从自车坐标系
转换到世界坐标系

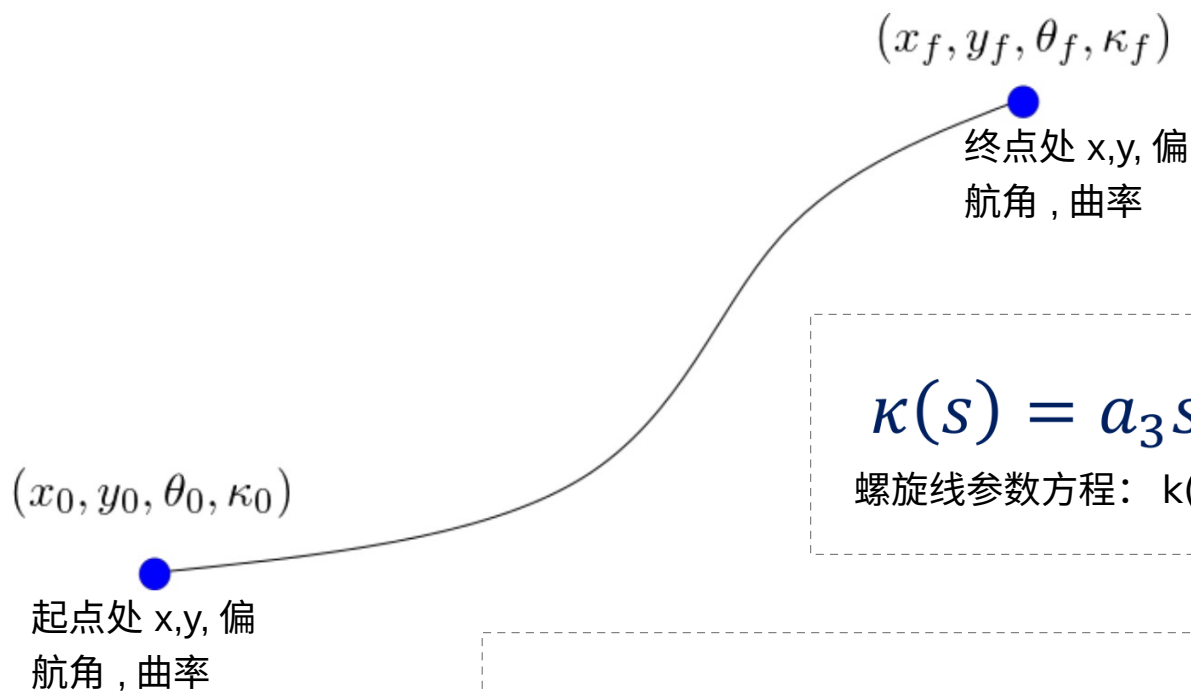
碰撞检测
判定每一条 path
是否与停止障碍车
辆有碰撞



最优无碰撞 path

选择最优
从不存在碰撞的
path 中, 挑选最优
的一条路径

路
径
规
划



$$\kappa(s) = a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0$$

螺旋线参数方程: $\kappa(s)$, 表示 s 处的曲率。待定参数 $a_0 a_1 a_2 a_3$

可推导出该螺旋线 s 处的偏航角 $\theta(s)$

$$\begin{aligned} \theta(s) &= \theta_0 + \int_0^s a_3 s'^3 + a_2 s'^2 + a_1 s' + a_0 ds' \\ &= \theta_0 + a_3 \frac{s^4}{4} + a_2 \frac{s^3}{3} + a_1 \frac{s^2}{2} + a_0 s \end{aligned}$$

可推导出该螺旋线 s 处的 x 、 y 坐标。后续可用辛普森法来近似简化积分计算公式

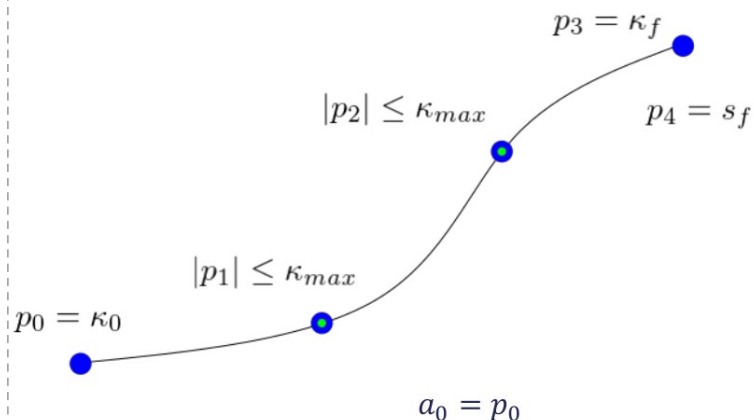
$$\begin{aligned} x(s) &= x_0 + \int_0^s \cos(\theta(s')) ds' \\ y(s) &= y_0 + \int_0^s \sin(\theta(s')) ds' \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} x_s(s) &= x_0 + \frac{s}{24} \left[\cos(\theta(0)) + 4 \cos\left(\theta\left(\frac{s}{8}\right)\right) + 2 \cos\left(\theta\left(\frac{2s}{8}\right)\right) + 4 \cos\left(\theta\left(\frac{3s}{8}\right)\right) + 2 \cos\left(\theta\left(\frac{4s}{8}\right)\right) \right. \\ &\quad \left. + 4 \cos\left(\theta\left(\frac{5s}{8}\right)\right) + 2 \cos\left(\theta\left(\frac{6s}{8}\right)\right) + 4 \cos\left(\theta\left(\frac{7s}{8}\right)\right) + \cos(\theta(s)) \right] \\ y_s(s) &= y_0 + \frac{s}{24} \left[\sin(\theta(0)) + 4 \sin\left(\theta\left(\frac{s}{8}\right)\right) + 2 \sin\left(\theta\left(\frac{2s}{8}\right)\right) + 4 \sin\left(\theta\left(\frac{3s}{8}\right)\right) + 2 \sin\left(\theta\left(\frac{4s}{8}\right)\right) \right. \\ &\quad \left. + 4 \sin\left(\theta\left(\frac{5s}{8}\right)\right) + 2 \sin\left(\theta\left(\frac{6s}{8}\right)\right) + 4 \sin\left(\theta\left(\frac{7s}{8}\right)\right) + \sin(\theta(s)) \right] \end{aligned}$$

$$f_{be}(a_0, a_1, a_2, a_3, s_f) = \int_0^{s_f} (a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0)^2 ds$$

定义目标函数中表路径弯曲度的部分，
bending energy



参数重映射

1. 新参数为 p_0, p_1, p_2, p_3, p_4
2. p_j 表示 $j/3$ 处的曲率，起始点和终止点的曲率 p_0, p_3 已知
3. p_4 表示曲线长度
4. 重映射之后待定参数变量为 p_1, p_2, p_4 ，减少了一个
5. 重映射之后，优化函数的 bound 设置更加直接

$$a_1 = -\frac{11p_0/2 - 9p_1 + 9p_2/2 - p_3}{p_4}$$

$$a_2 = \frac{9p_0 - 45p_1/2 + 18p_2 - 9p_3/2}{p_4^2}$$

$$a_3 = -\frac{9p_0/2 - 27p_1/2 + 27p_2/2 - 9p_3/2}{p_4^3}$$

a_0, a_1, a_2, a_3 这 4 个原参数可用
新的参数 p_0, p_1, p_2, p_3, p_4 来表
达替换

$$\min f_{be}(a_0, a_1, a_2, a_3, s_f) + \alpha(x_s(p_4) - x_f) + \beta(y_s(p_4) - y_f) + \gamma(\theta_s(p_4) - \theta_f)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} |p_1| \leq \kappa_{max} \\ |p_2| \leq \kappa_{max} \end{cases}$$

最终目标函数，结合了弯曲能量和
终点处 (x_f, y_f) 的坐标、偏航的误差。
 p_0/p_3 已知， $p_1/p_2/p_4$ 待
优化器来确定