

自动驾驶控制算法第十二讲

1-2 开篇, 运动学方程 $\tan \delta = \frac{v}{R}$ 低速 (大小转角均可)

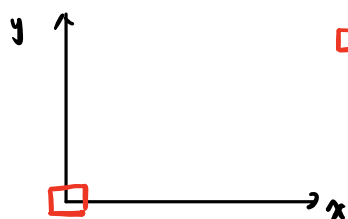
3-8 横向控制 LQR 小转角 (低速高速均可)

9-11 纵向控制 双PID

12 横纵向控制, 规划接口

规划接口 控制模块功能: 接收一条规划的轨迹, 让车按照规划的轨迹运动
规划 横纵向控制

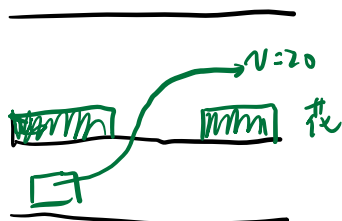
轨迹规划 ~~s(t)~~ ~~d(t)~~ $x(t), y(t)$



初始 $x=0$
 $\dot{x}=0$
 $\ddot{x}=0$
 $y=0$
 $\dot{y}=0$
 $\ddot{y}=0$

终点 $x=100$
 $\dot{x}=0$
 $\ddot{x}=0$
 $y=10$
 $\dot{y}=0$
 $\ddot{y}=0$

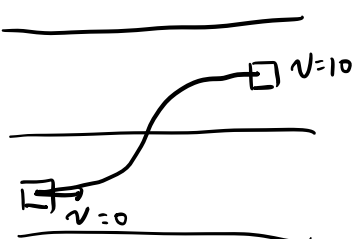
用时 20 秒
(停车)



起点 $x=0$
 $\dot{x}=10$
 $\ddot{x}=0$
 $y=0$
 $\dot{y}=0$
 $\ddot{y}=0$

终点 $x=100$
 $\dot{x}=20$
 $\ddot{x}=0$
 $y=10$
 $\dot{y}=0$
 $\ddot{y}=0$

驶入



设计一条合适的 $x(t), y(t)$, 满足始末的边界条件

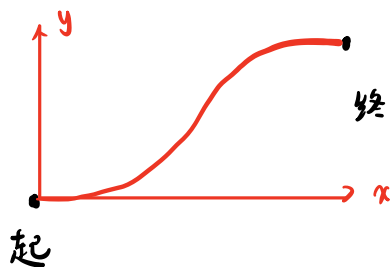
$x(0) \quad \dot{x}(0) \quad \ddot{x}(0) \quad x(T) \quad \dot{x}(T) \quad \ddot{x}(T)$

$y(0) \quad \dot{y}(0) \quad \ddot{y}(0) \quad y(T) \quad \dot{y}(T) \quad \ddot{y}(T)$

T为耗费的时间

车不能单独做横向运动, 横向运动通常由纵向运动诱发

规划的轨迹有切线, 曲率, 加速度, 速度的限制



$\frac{dy}{dx}$ 也有要求

汽车规划的边界条件为

$$x(0) \quad \dot{x}(0) \quad \ddot{x}(0) \quad x(T) \quad \dot{x}(T) \quad \ddot{x}(T)$$

$$y(0) \quad y'(0) \quad y''(0) \quad y(x_{end}) \quad y'(x_{end}) \quad y''(x_{end})$$

$$\bullet \Rightarrow \frac{d}{dt} \quad / \Rightarrow \frac{d}{dx} \quad (\text{在 Frenet } ' \Rightarrow \frac{d}{ds})$$

$y(t)$ 与 $y(x)$ 的转化

$$y(x) \quad x = x(t) \Rightarrow y(t) = y(x(t))$$

$$\dot{y}(t) = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = y' \cdot \dot{x}$$

$$\begin{aligned} \ddot{y}(t) &= \frac{d}{dt} \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \right) = \frac{d \left(\frac{dy}{dx} \right)}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{dy}{dx} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \\ &= \frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} + y' \cdot \ddot{x} \\ &= y'' \cdot \dot{x}^2 + y' \cdot \ddot{x} \end{aligned}$$

$$\underline{x(0)} \quad \underline{\dot{x}(0)} \quad \underline{\ddot{x}(0)} \quad \underline{x(T)} \quad \underline{\dot{x}(T)} \quad \underline{\ddot{x}(T)}$$

$$y(0) \quad y'(0) \quad y''(0) \quad y(x_{end}) \quad y'(x_{end}) \quad y''(x_{end}) \quad T$$

生成 $x(t)$ $y(x)$

$$\text{对于 } x(t) \quad x(t) = \underline{a_0} + \underline{a_1}t + \underline{a_2}t^2 + \underline{a_3}t^3 + \underline{a_4}t^4 + \underline{a_5}t^5$$

$$\text{对于 } y(x) \quad y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + b_5x^5$$

通过边界条件解出 $a_0 \dots a_5 \quad b_0 \dots b_5$

$$\text{通过 } y(t) = y(x(t)) \quad \dot{y}(t) = y'[x(t)] \cdot \dot{x}(t) \quad \ddot{y}(t) = y''[x(t)] \cdot \dot{x}(t)^2 + y'[x(t)] \cdot \ddot{x}(t)$$

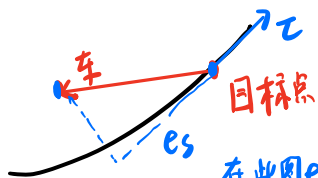
解出 $y(t)$ $\dot{y}(t)$ $\ddot{y}(t)$

横向 x_r , y_r , θ_r , $k_r \rightarrow$ 轨迹曲率
 \uparrow
 轨迹与x轴夹角
 切线

$$\theta_r(t) = \arctan\{y'[x(t)]\}$$

$$k_r(t) = \frac{y''[x(t)]}{(1 + y'[x(t)]^2)^{1.5}}$$

纵向: e_s 在横向控制里有



纵向误差 目标 - 当前

在此图 e_s 作为误差, 正为负 所以: 横向控制的 e_s 输入到纵向要加一个负号

速度误差 $v_p - \dot{s}$ \dot{s} 在横向控制里有

$$v_p = \sqrt{\dot{x}_r(t)^2 + \dot{y}_r(t)^2}$$

$$\text{期望加速度 } a_p = \sqrt{\ddot{x}_r(t)^2 + \ddot{y}_r(t)^2}$$

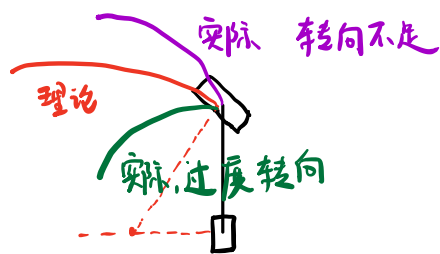
规划 $\Rightarrow x(t), y(x) \Rightarrow x(t), y(t), y(x) \Rightarrow$

$$\begin{matrix} \dot{x}(t) & \dot{y}(t) & y'(x) & \text{横} \\ \ddot{x}(t) & \ddot{y}(t) & y''(x) & \end{matrix} \begin{cases} x_r(t) = x(t) \\ y_r(t) = y(t) \\ \theta_r(t) = \arctan[y'[x(t)]] \\ k_r(t) = \frac{y''[x(t)]}{(1 + y'[x(t)]^2)^{1.5}} \end{cases}$$

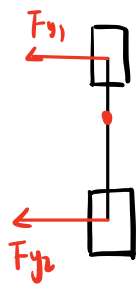
纵

$$\begin{cases} e_s = d_{err} - \tilde{c} \quad (\text{输入至纵向控制要加负号}) \\ \dot{s} = \frac{1}{1 - k_{red}} (v_x \cos e_p - v_y \sin e_p) \\ v_p = \sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2} \\ e_v = v_p - \dot{s} \\ a_p = \sqrt{\ddot{x}(t)^2 + \ddot{y}(t)^2} \end{cases}$$

转向不足

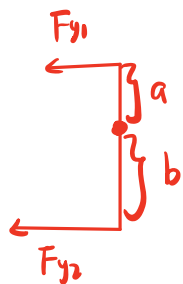


转向不足/过度转向的原因



$$F_{y1} = C_f \alpha_f \quad F_{y2} = C_r \alpha_r$$

若 F_{y1}, F_{y2} 不匹配, 会导致在质心处有力矩存在



若 $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$ 质心无力矩, 中性转向

若 $F_1 \cdot a > F_2 \cdot b$ 质心有正力矩 过度转向

若 $F_1 \cdot a < F_2 \cdot b$ 质心有负力矩 不足转向

一般汽车都有转向不足, 为了安全

赛车一般为中性转向