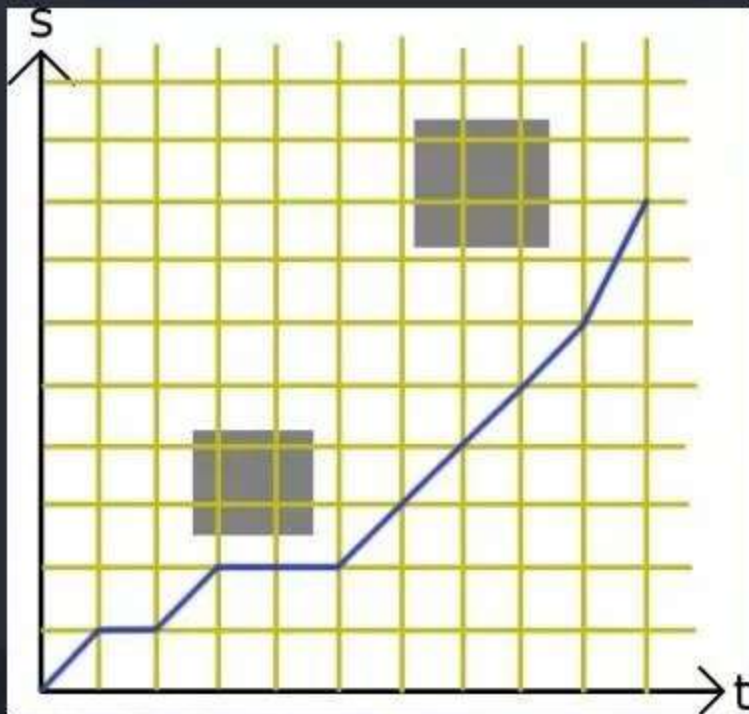


纵向规划决策求解：动态规划

状态转移

- $\text{cost}[t,s] = \min_{s'',s'} (\text{cost}[t-2,s''] + \text{cost_of}((t-2,s''), (t-1,s'), (t,s)))$

离散化 t 和 s ，以损失精度降低运行时间



决策的挑战

- NP-hard 问题，不易直接求解
 - 多种多样的近似算法
- 很难用规则去拟合人的经验
 - 针对各种情况建立数学模型
 - Machine learning
- 场景多变而复杂
 - 非保护左/右转
 - 是否要绕行
 - 是否要主动变道



我们已经打算绕行，但前车突然起步了，该怎么办？



我们要左转，但前边车停了很久都不动，我们要变道吗？

- 如果是绿灯呢？
- 如果还离路口很远呢？
- 如果我们后边的车变道了呢？

横向规划

定义

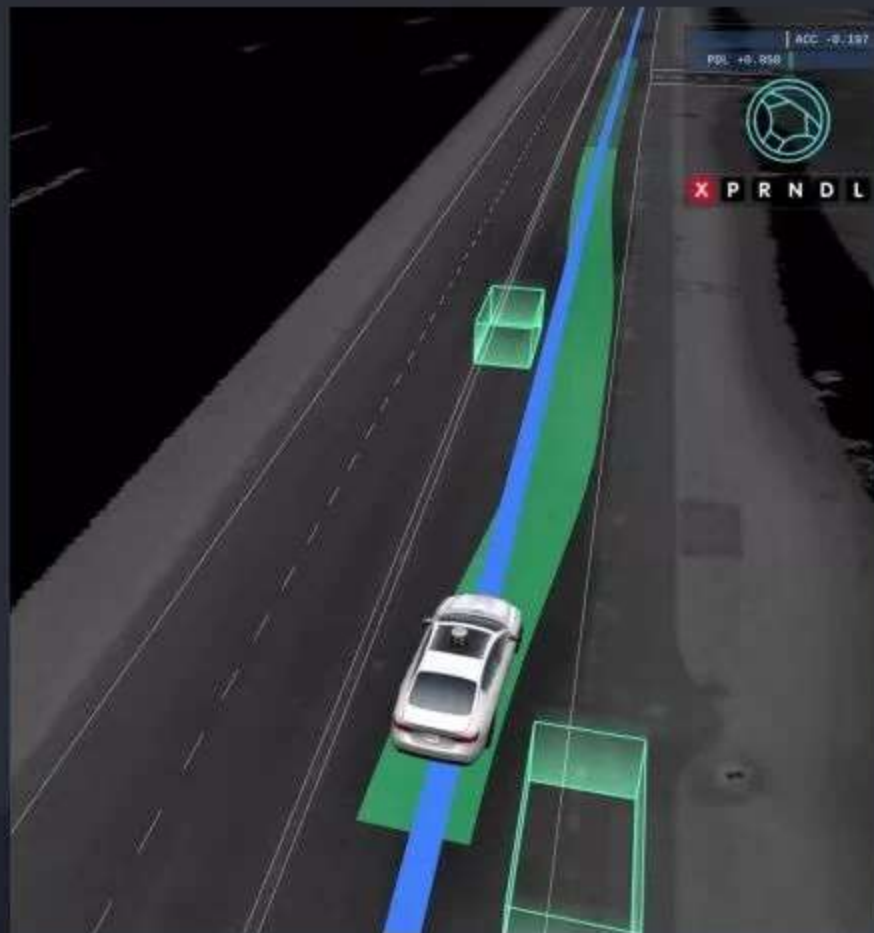
- 对方向的规划（方向盘），决定轨迹的形状
- 输出： $s \rightarrow (x, y)$

有车道

- 离线生成参考线
- 转化为求解 $s \rightarrow l$ （横向偏移，lateral offset）

无车道

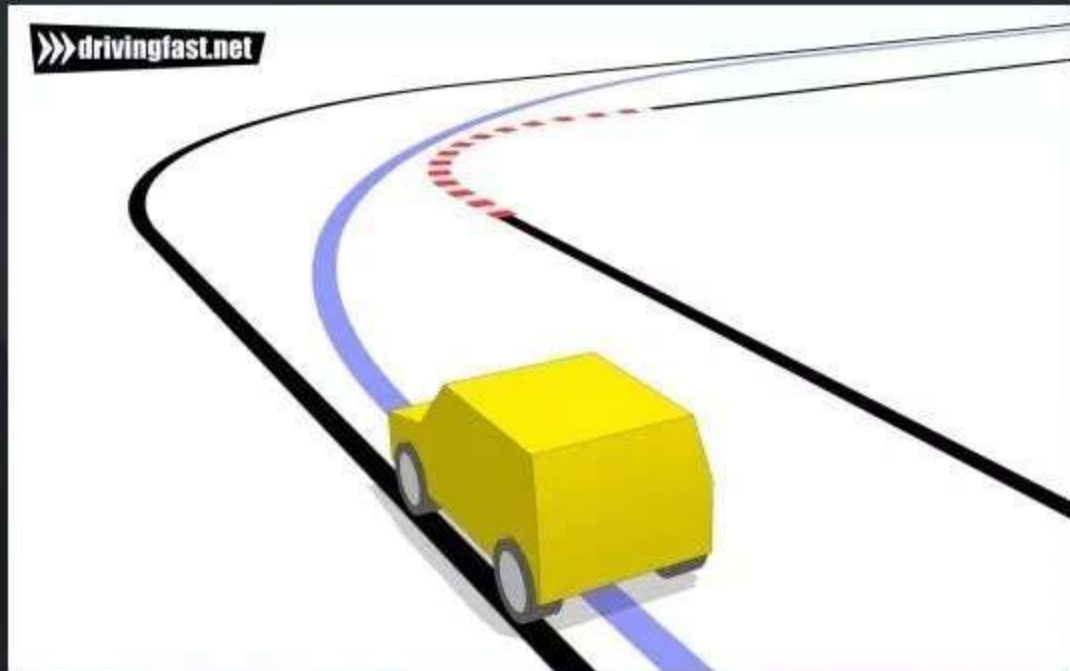
- Open space 路径生成



参考线

根据车道线求解，同样是一个优化问题

- 约束
 - 在车道线内
 - 控制上可实现
- 优化目标
 - 接近车道中心
 - 曲率不大
 - 曲率变化率不大



S -> L 空间

求解优化问题

- 约束
 - 不跨越边界
 - 避免碰撞
- 优化目标
 - 离参考线近
 - 离障碍物远
 - 曲率不大
 - 曲率变化率不大



S -> L 求解: QP

决策已确定，可以将横向规划转化为 QP 问题

- 已知: $x[-2], x[-1], x[0]$
- 求解: $x[1], x[2], \dots$
- 约束: $x[i]$ 不能超过左右边界 (马路牙, 实线等)
- 优化目标

$$\begin{aligned} & \alpha \sum_i \left(x[i] - \frac{l[i] + r[i]}{2} \right)^2 \\ & + \beta \sum_i (x[i] - x[i-1])^2 \\ & + \gamma \sum_i (x[i] - 2 \cdot x[i-1] + x[i-2])^2 \end{aligned}$$



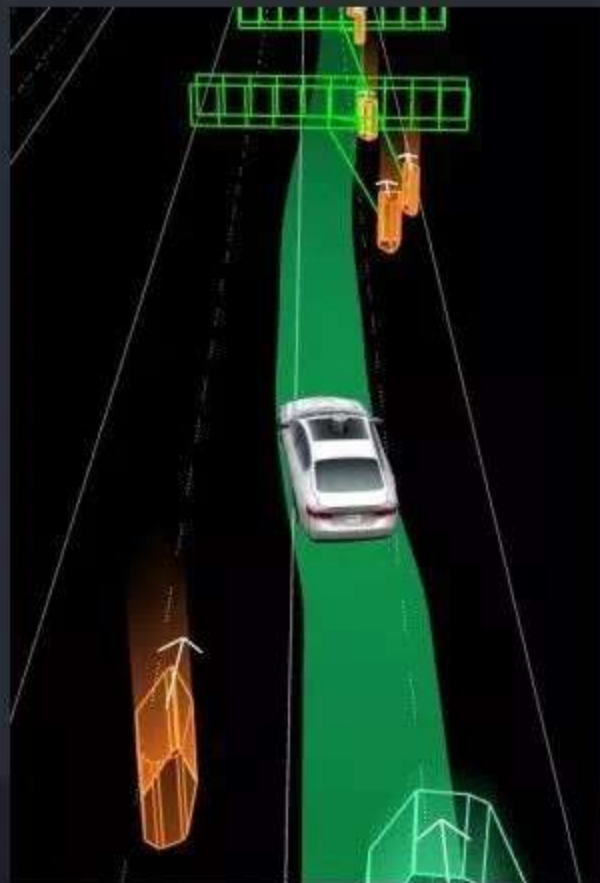
横向规划的挑战

- 没有车道线
- 没人按车道线开



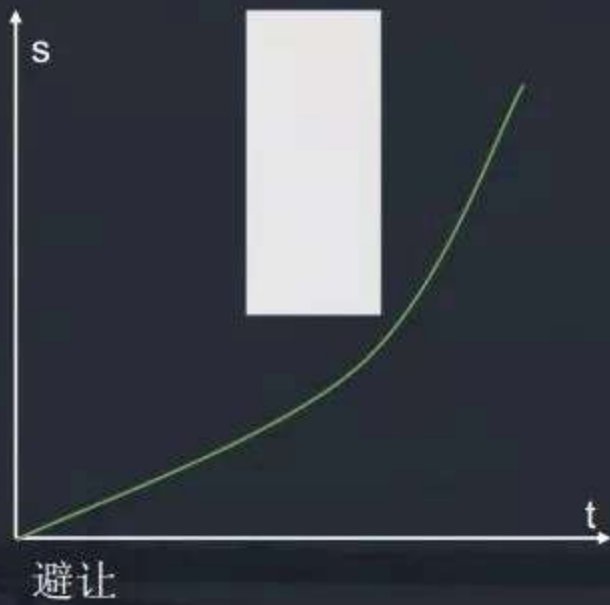
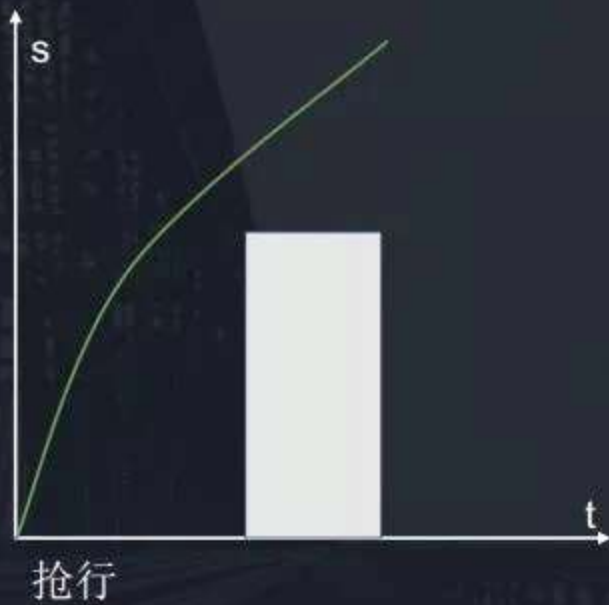
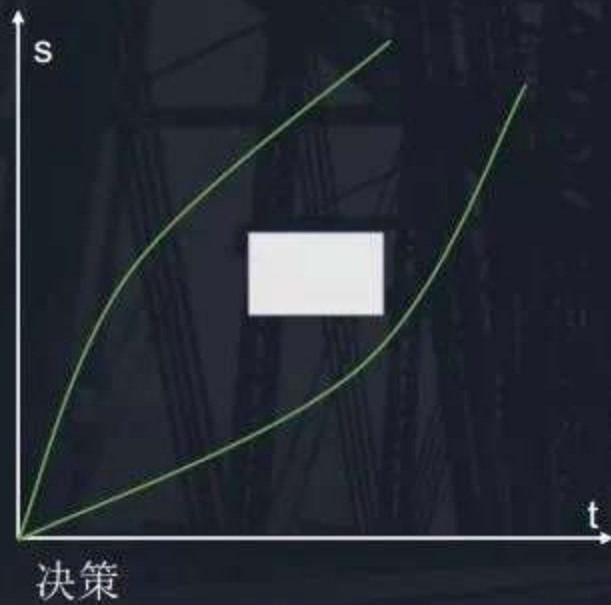
横向规划的挑战

- 周围环境瞬息万变，预测困难
 - 障碍物行为变化
 - 决策发生改变
 - 变道取消
 - 绕行取消
- 保证路径光滑且在控制上可实现



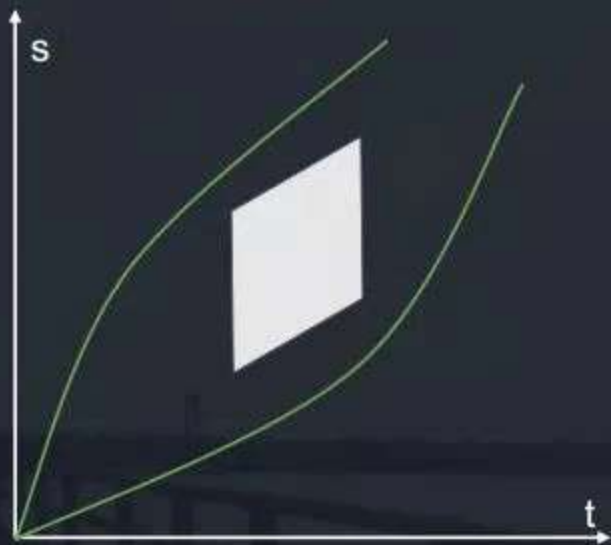
T->S 空间

- 行人横穿马路



T->S 空间

- 行人斜穿马路



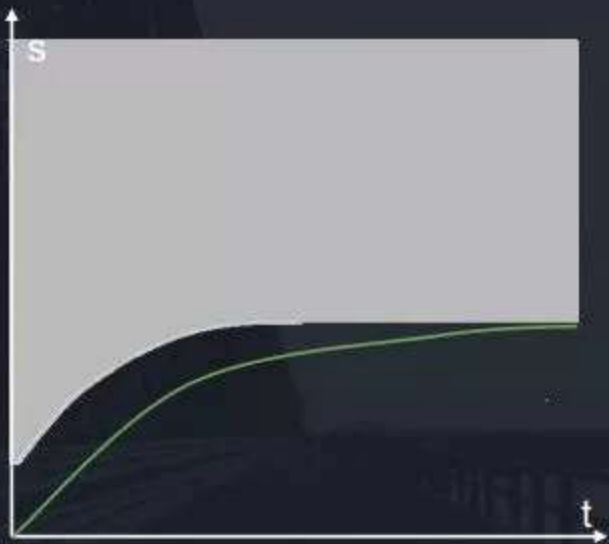
T->S 空间

- 黄灯
 - 如果决策要冲，需要尽快通过路口



T->S 空间

- 跟车，假如前车在减速
- 跟车，假如能准确预测前车的运动状态



纵向规划的挑战

- 博弈
- 激进与保守之间的平衡点
 - 不同参数、不同模式



我们绿灯左转，左侧电动车横穿马路，人类司机会怎么处理？

纵向规划的挑战

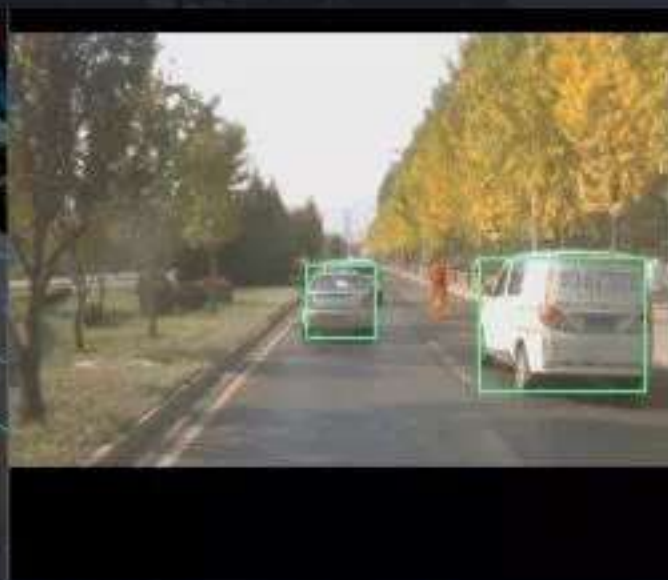
- 感知和预测的困难
 - 概率化
- 决策的困难



盲区（鬼探头）



前方有摩托车，右边的车会选择cut-in吗？



旁边这辆车究竟想开到哪条道去？

纵向规划的挑战

- 与横向规划之间的协调
 - 横向规划需要考虑纵向规划的能力
 - 统一为一个优化问题
- 远小于安全车距的 cut-in
 - 保证不撞，并尽快拉开车距



高速、近距离突然 cut-in