

无人驾驶汽车系统入门（十）——基于运动学模型的模型预测控制

原创

置顶 AdamShan

2018-01-17 12:03:57

33810

版权

★ 收藏 126

分类专栏: 无人驾驶汽车专题

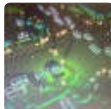
无人驾驶汽车系统入门

文章标签: 无人驾驶

模型预测控制

控制

无人车



自动驾驶系统进阶与项目实践

结合本人自动驾驶行业研发经验，从传感器数据融合、深度学习环境感...



AdamShan

¥29.90

订阅博主

无人驾驶汽车系统入门（十）——基于运动学模型的模型预测控制

在前面的第五篇博客中，我们介绍了两种常见的车辆模型——运动学自行车模型和动力学自行车模型，本节我们基于运动学车辆模型引入一种新的控制理论——**模型预测性控制 (Model Predictive Control)**，传统的PID控制器简单易实现，被广泛应用，但是它并不一定能够以最“节约”的方式进行控制，即所谓的**优化控制**，而MPC则是一类追求短时间间隔内最优控制理论，此外，PID控制是实际的车辆控制中存在延迟问题，而MPC则可以将这种延迟考虑到车辆模型中去，从而避免这个问题。所以，我们本节将从理论以及和无人驾驶实践相结合来讨论模型预测控制。

创作不易，转载请注明出处：

<http://blog.csdn.net/adamshan/article/details/79083755>

将PID控制应用于无人车的问题

PID作为一种反馈控制方法，因其简单易实现被大量应用。但是在实际的车辆控制中，车辆往往不能立刻执行我们所下的指令，这其中存在一定的延迟，也就是说，我们的控制指令会在“未来的车辆状态”被执行，但是，由于PID是一种反馈控制，控制的指令使用当前车辆所处的状态决定的，然而当制动的指令被执行的时候，由于存在一定的延迟，车辆已经处于“未来的状态”了，在这个“未来的状态”使用这个指令去制动就会有一定的危险性。这是在无人车控制中使用PID算法的最大问题。

什么是模型预测控制

模型预测控制（MPC）是一种致力于将更长时间跨度、甚至于无穷时间的最优控制问题，分解为若干个更短时间跨度，或者有限时间跨度的最优控制问题，并且在一定程度上仍然追求最优解。模型预测控制由如下三个要素组成：

- 预测模型：预测模型能够在短时间内很好地预测系统状态的变化
- 在线滚动优化：通过某种最优化算法来优化未来一段短时间的控制输入，使得在这种控制输入下预测模型的输出与参考值的差距最小
- 反馈校正：到下一个时间点根据新的状态重新进行预测和优化

下面我们分别从这三个方面来讨论模型预测控制理论。

预测模型

在本文中，我们使用运动学自行车模型作为预测模型，它的形式如下：

点赞38

评论15

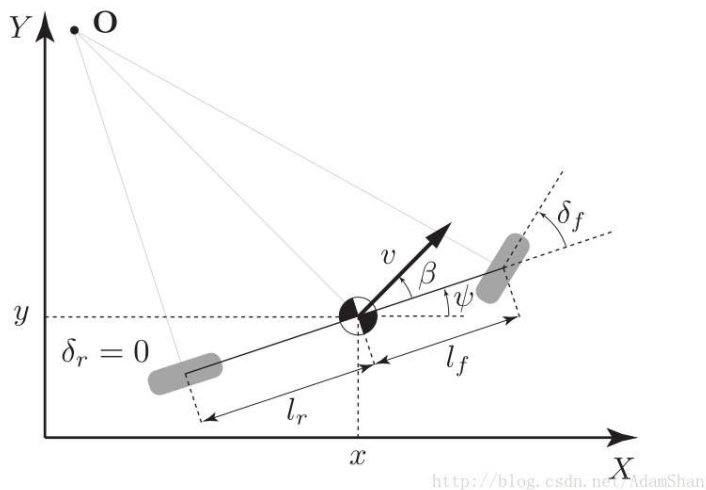
分享

★ 收藏126

💰 打赏

🚩 举报

订阅博主



那么各个状态量的更新公式如下：

$$x_{t+1} = x_t + v_t \cos(\psi_t + \beta) \times dt$$

$$y_{t+1} = y_t + v_t \sin(\psi_t + \beta) \times dt$$

$$\psi_{t+1} = \psi_t + \frac{v_t}{l_r} \sin(\beta) \times dt$$

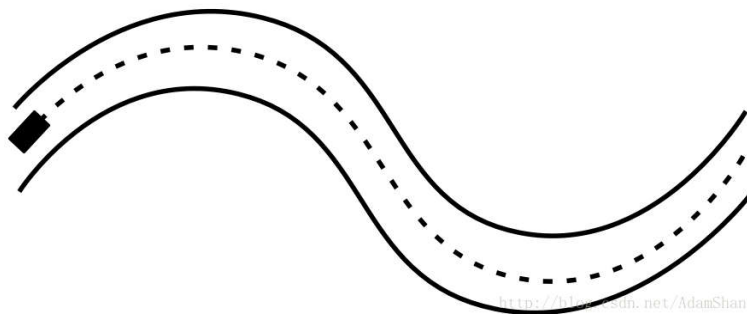
$$v_{t+1} = v_t + a \times dt$$

其中 β 可以由如下公式计算求得：

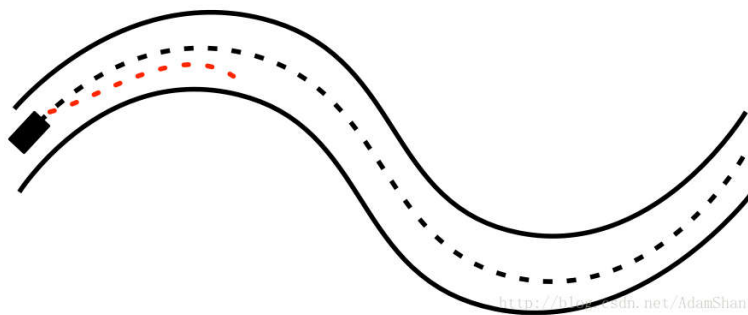
$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{l_r}{l_f + l_r} \tan(\delta_f) \right)$$

公式的具体含义参见我的第五篇博客。基于以上的公式，在给定一个控制指令的情况下，我们的这个预测模型能够根据运动学的规律计算出 dt 时间以后车辆的状态 (x, y, ψ, v) ，这个预测模型（自行车模型）本身是建立在一定的假设前提的，所以计算出来的状态只是理论上车辆的可能状态。

我们从下图的情况出发进行讨论，下图是一条 S 路，图中的虚线是我们的参考线，我们控制的目标是让车辆尽量沿着参考线行驶：



我们选取 10 个 dt ，假设 $dt = 0.05s$ ，那么根据预测模型，在已知一组控制输入的前提下，我们可以计算出车辆在未来 $0.5s$ 的状态（本质上是一些离散的状态），如下图中的红点所示：



在线滚动优化

那么现在问题就变成了一个最优化的问题，参照我们在神经网络优化中的经验，首先我们需要定义损失函数（Loss function），在本问题中，我们首先想到的一个损失函数就是我们的模型预测的轨迹和参考线之间的“差距”，即 CTE（Cross Track Error），我们优化的目标就是找出一组控制量（即 (a, δ_f) 油门刹车系数和方向盘转角），使得我们的Loss function最小化。

$$Loss = CTE = \sum_{i=1}^{10} (z_i - z_{ref,i})^2$$

上文中我们只考量未来10个时间间隔内的模型预测，所以i的取值范围是 $(1, 10)$ ， $z_i - z_{ref,i}$ 是预测点到实际参考线的距离。为了完善我们的控制，我们可以给我们的损失函数添加更多的项，比如说我们不仅仅想控制车辆按照参考线行驶，还想控制车辆在这个短时间范围内在每个点上的速度，那么就可以在损失函数添加一项速度的平方差：

$$Loss = \sum_{i=1}^{10} [(z_i - z_{ref,i})^2 + (v_i - v_{ref,i})^2]$$

再进一步，损失函数还可添加许多项使控制变得更加平滑，比如我们希望油门系数不要突变（即缓慢的才油门和刹车，这样乘客的体验会更加舒适），那么我们就可以将前后两个油门系数的差值的平方作为一项加入到损失函数中：

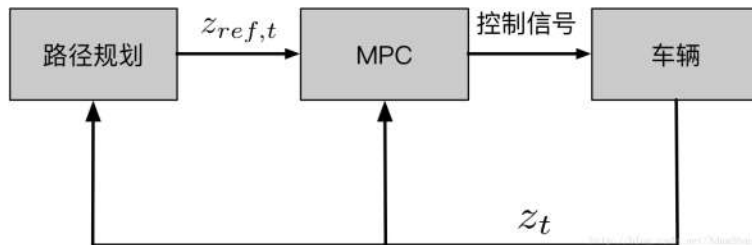
$$Loss = \sum_{i=1}^{10} [(z_i - z_{ref,i})^2 + (v_i - v_{ref,i})^2 + (a_{i+1} - a_i)^2]$$

以此类推，损失函数还可以更加完善，损失函数设计得越合理，模型预测控制的输出也就越符合人的需求。当然，除了损失函数意外，我们的这个最优化问题中的变量还是 **带约束的**，比如说车辆的前轮转角 δ_f 的取值范围，车辆油门系数 a 的取值范围（通常我们取值为-1到1，-1意味着满刹车，1意味着满油门）。**PID控制中遇到的制动延迟问题也可以通过添加约束来解决**，具体来说：

假设我们车辆的制动延迟是 $100ms$ ，本文中模型采用10步预测，每步间隔为 $50ms$ ，即模型预测的前两步实际上是制动延迟的时间内，即实际上这两步中车辆仍然在执行上一个状态的制动指令，那么为了让模型更加贴近实际，我们就约束这2步的制动指令，即 (a, δ_f) 为上一状态的指令，这样，我们的模型预测控制就将制动延迟考虑了进来。

反馈矫正

如图所示是MPC的简化示意图，可以看出，MPC本质上还是一种反馈控制，当我们通过最优化方法得到一组控制输出以后（本例中就是未来10步的控制输出），车辆执行控制指令，并且继续以一定的频率反馈当前车辆的状态 z_t 。这个状态会被同时输入到路径规划模块以及MPC控制模块，路径规划模块会依据新的车辆状态，结合感知模块的信息以及地图信息重新做出规划。MPC则根据新的参考路径和车辆当前状态进行新一轮的预测控制。需要注意的是，车辆真实状态的反馈并不是一个预测时间段的控制执行完以后才反馈的，反馈的时间间隔往往小于一个预测时间段（在本文的例子中，预测时间段长度为 $0.05 \times 10 = 0.5s$ ）。



小结

通过使用不同的预测模型和损失函数，可以构造出各种模型预测控制器，但是，总的来说，模型预测控制往往可以分解成如下几步：

1. 从 t 时刻开始，预测未来 a 步系统的输出信号
2. 基于模型的控制信号以及相应的输出信号，构造损失函数，并且通过调整控制信号最优化损失函数
3. 将控制信号输入到系统
4. 等到下一个时间点，在新的状态重复步骤1



AdamShan

专家

图像处理

深度学习

TensorFlow

奔驰高级自动驾驶扫地僧，谷歌认证机器学习专家，兰州大学无人驾驶团队创始人，主攻深度学习，无人驾驶汽车方向，著有《无人驾驶原理与实践》一书。

模型预测控制MPC

此心光明，亦复何言~ 2632

模型预测控制MPC 模型预测控制（或MPC）是一种更复杂的控制器，它非常依赖于数学...

无人驾驶之车辆控制（2）MPC模型预测控制算法

zxxxxxyy的博客 4222

引言 控制算法的作用在于保证被控系统能够在满足规定的性能需求（快速响应，稳定性...



优质评论可以帮助作者获得更高权重



评论



weixin_42283405: 你好，我请问下汽车模型也是一个非线性的模型，这直接这样做线性叠加的预测不会有问题的么，我参考其他的文章，最基础的MPC控制器做了线性化，然后做离散化的误差模型，计算出未来时域内的误差。所以你这边为什么不线性化呢 2年前 回复 ...



Skyline! : 老哥，你好，文章中S路那段中，“我们选取了10个dt”，那请问控制周期是多长时间一次啊？ 2年前 回复 ...



zqzq501311: 您好，我想问一下，对仅仅对纵向控制的话，预测模型的建立可以给一个参考吗？我看了一下您文章里面讲的是针对加速度的预测公式就一个，但是在跟车状态下，出来车速差以外，还有距离差的影响，烦请博主给一点参考，谢谢！ 2年前 回复 ...



weixin_42765118: 你好，考虑系统延迟约束前两步的控制量为上一步的控制，而每次采用的又是第一步的控制量，这样逻辑好像不对。 3年前 回复 ...



u011151723 回复： 同样疑惑 3年前 回复 ...



leatrice_cl2016: 你好，我是新学MPC控制算法的菜鸟，我想请问一下再损失函数的值是否就是下一个时刻输出的改变量？还有就是损失函数中如油门系数的值不是还是未知的输出量吗？累加过程中的10个ai的值是从何而来的呢？不好意思，这方面真的不太懂，可不可以解答一下 3年前 回复 ...



qq_25022577: 你好，文章受教了，有个小问题“我们优化的目标就是找出一组控制量”，这个最后是如何对应到具体的油门开度，刹车压力和方向盘转角呢？多谢 3年前 回复 ...



follow轻尘 回复 zr1611052874: 直接百度搜索啊，第一条就是Apollo的链接，项目在git上 3年前 回复 ...



zr1611052874 回复 follow轻尘:

点赞38

评论15

分享

收藏126

打赏

举报

订阅博主