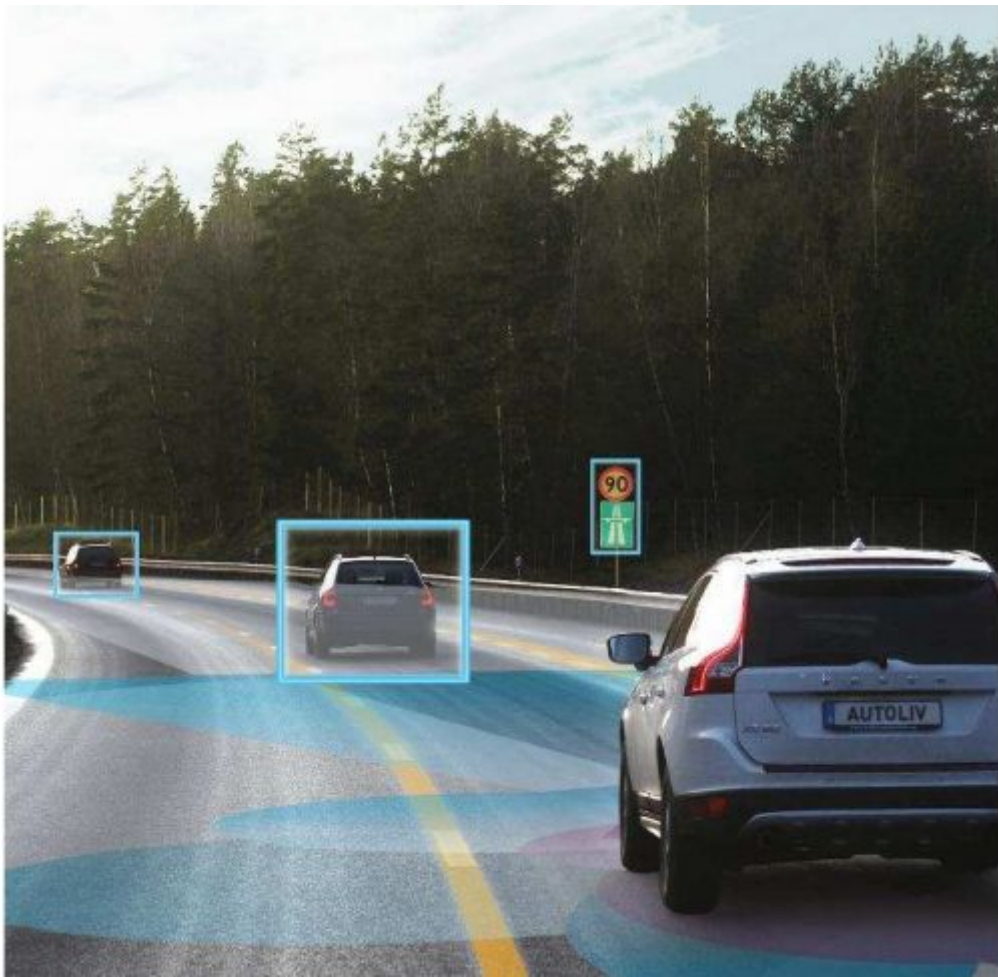



知荐 | ADAS系统中的弯道巡航控制算法（一）




ADAS系统针对弯道跟车这一工况需要充分考虑入弯后进行适当减速，以避免过大的速度在弯道内驾驶对驾驶员产生很弱的信心感。甚至有时候，驾驶员会直接踩刹车制动后接管对整车的控制，这不是我们作为ADAS系统开发人员愿意看到的。

我们在设计之初需要解决**两个弯道内的极端问题**：其一，弯道内能否根据弯道大小进行舒适性的减速；其二，弯道内能否在保证安全的前提下进行正常的巡航控制。



弯道减速的前提是能**首先**通过不同的传感器识别出弯道，从不同的传感器配置上看，弯道限速的方式主要分为如下几种类型：

传感器方案	图示	功能子项	优劣分析
单雷达		弯道内减速	成本低，技术成熟，距离探测精准，无法预测实际情况（如车道线、隧道、匝道、限速等）
单摄像头		弯道前提前减速 (基础版)、弯	成本低、技术成熟，距离探测不精准、道路实际情况探测精准（如车道

		道内减速、弯道线、隧道、匝道、限速等) 内限速牌减速
雷达+摄像头		弯道前提前减速、弯道内减速、弯道内限速牌减速 成本较高，技术成熟，距离和道路信息均是融合后的数据探测精准
雷达+摄像头+ 导航地图		弯道前提前减速（增强版）、弯道内减速、弯道内限速牌减速 成本较高，技术成熟，距离和道路信息均是融合后的数据探测精准，导航数据容易丢失

从搭载ADAS系统不同车型项目配置表上看，多数配置集中在“单雷达方案”实现的ACC功能上，考虑到成本与实现性能两种问题上，客户主要关注的弯道限速问题大部分出现在单雷达项目上，本项目主要解决此类问题。

前文提到关于针对ADAS系统中一类比较棘手的问题--目标识别进行了详细的分析，针对上市车型用户售后抱怨问题统计中，**发现用户抱怨问题最多的问题点体现在如下问题场景中：**

- 1、弯道减速不够稳定，表现时而减速过度、时而减速不足；
- 2、进入弯道后不限速，表现在过较小弯道时不减速或减速不够；
- 3、弯道容易丢失目标或错误的把相邻弯道目标误识别为本车目标进行过跟踪；

以上问题场景**主要源自于对弯道算法的控制逻辑上**，当前对于弯道限速控制主要是通过控制其纵向加速度从而限制其纵向速度的输出，其原理表示如下：

$$a_x = \frac{V_{obj} - V_{cur}}{\tau}, \quad V_{obj} = \sqrt{\frac{a_y}{K_s}}$$

如上公式中 τ 表示系统计算的避撞时间，该 V_{obj} 表示了可以避撞的临界速度值。即在一定的时间 τ 内，需要完成从当前速度 V_{cur} 减速到目标车速 V_{obj} 上。

其中，为了更好地实现弯道限速性能，我们无非可以改变**两个要素**：即横向加速度 a_y 和纵向弯道曲率 K_s 。

下面来分别讨论调节这两个因子产生的不同影响。

• 方案一，调整 K_s

弯道减速过程需要传感器检测到弯道曲率 K_s 作为输入，一般的，在不考虑速度对整车影响的情况时，横摆角速度和弯道曲率可看成线性关系，表示如下：

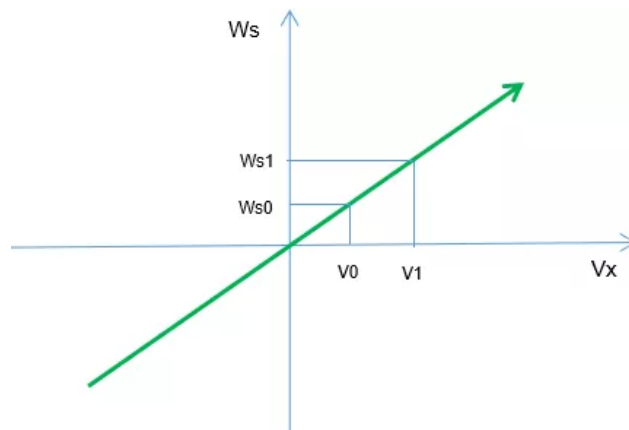
$$W_s = K_s * V_x$$

也即弯道曲率完全可以由检测到的自身车辆的横摆角速度来表征。但是问题来了，真正的弯道曲率可能只由横摆角速度就可以完整的表征出来么？答案是否定的。

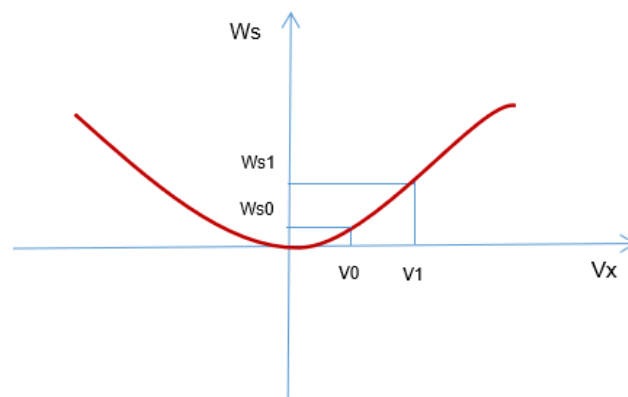
针对动力学模型研究得出：

高速转弯时，其速度的变化率对横摆率保持了线性，其相应的弯道曲率可完全由横摆率 W_s 与速度的比值作为计算输入，通过一定的算法调整横摆率即可控制整车进行最优减速。同时，保证精确性和实时性；

低速转弯时，其速度的变化率对横摆率保持了非线性，其相应的弯道曲率可完全由横摆率 W_s 与速度的比值作为计算输入将无法保证精确性和实时性，输入端仅利用横摆角速度控制整车最优减速是不合理的；



a. 动力学线性模型

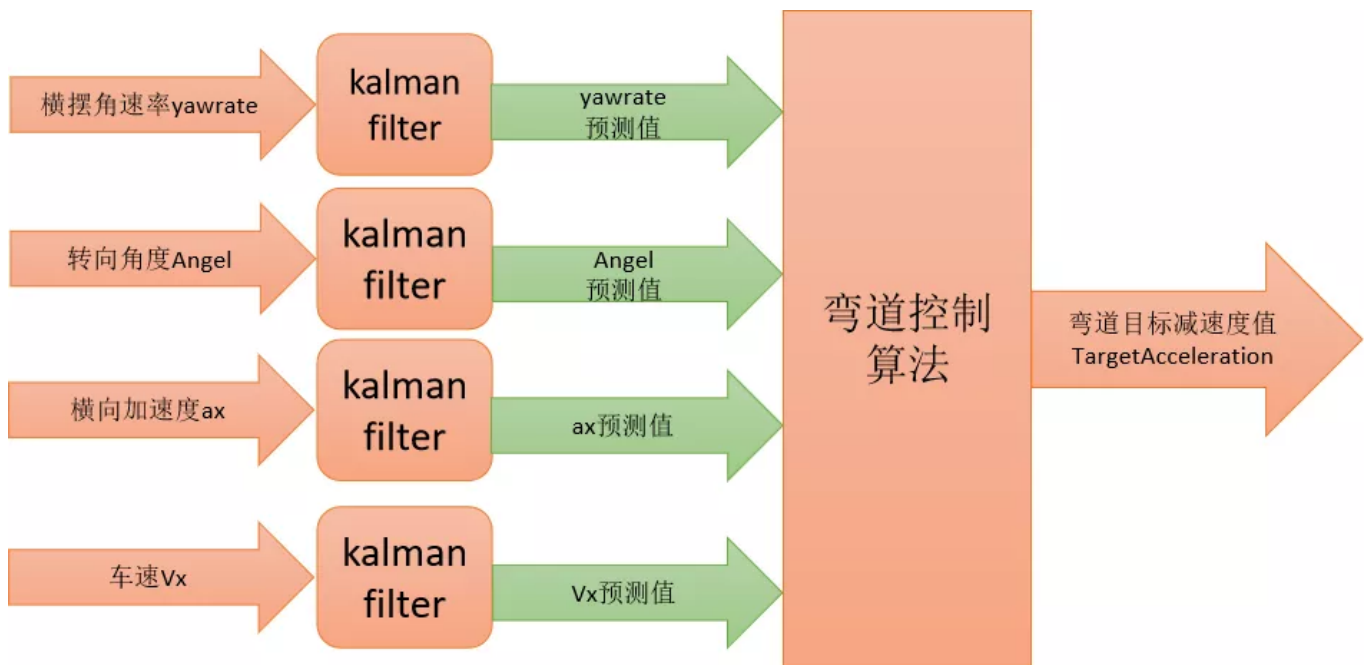


b. 动力学非线性模型

由于如上因素导致仅仅利用横摆角速度做弯道控制是不合理性，可以提出两种改良方案。

■ 改进的方案一

通过输入转角调整因子补充横摆角调整因子带来的不足，如下图表示了优化版弯道控制逻辑。



从图中我们可以看出，弯道控制算法的输入主要考虑了如下输入对象：

- 1) **横摆角速率yawrate**：是指汽车绕垂直轴的偏转，该偏转的大小代表汽车的稳定程度。如果偏转角速度达到一个阈值，说明汽车发生侧滑或者甩尾等危险工况；
- 2) **转向角度Angel**：是通过实际检测到的方向盘转向角可大致判定出当前车身的航向角或姿态；
- 3) **横向加速度ay**：指车辆绕着一定弯道半径行驶的向心加速度；
- 4) **自车车速Vx**：表明自车当前时刻t实际行驶的速度值；

通过对如上四个输入参数在t-1时刻的数值进行卡尔曼滤波得到在t时刻的预测值，从而输入弯道判定算法函数中进行计算得出目标减速度值，最终实现弯道减速控制。

考虑到过弯速度与横向加速度和方向盘转角之间的补偿关系，可以参考：

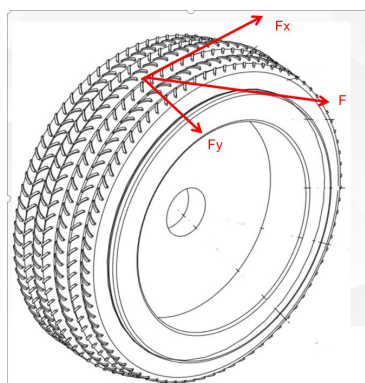
$$f(\psi \& w_A) = \frac{\delta_F w_A * V_x}{L + EG * V_x^2},$$

如上公式中，EG表示转向梯度；L表示轴距；

以上的函数关系在10m/s以下时均适用。

- **方案二，调整ay**

ay的常规定义为向心加速度，这里我们特指车辆绕弯的横向加速度，其主要受车辆通过一定弯道的向心力的影响。



$$a_{y\max} = \frac{F_y}{M_{ego}}, \quad F_y = F \sin \theta$$

Fy一般是由轮胎的摩擦系数和地面产生的摩擦力决定，在汽车行业里有个标称定义为附着力分量。一般情况在一定的环境路面工况下，Fy值是一定的，表示为整体轮胎过弯附着力乘以转向角度的sin值分量。我们知道要使车辆不会因向心力不够被甩出道路之外，就必须保证本车自车横向加速度不要过大。这就意味着其最大横向加速度是被提前确定的。也即，

$$a_y \leq a_{y\max}$$

我们可以
在算法设计中，根据不同的速度段设置不同的横向加速度作为限制性的调整因子直接调整其输出纵向加速度ax。因为在高速阶段的弯道控制中可以实现较好的控制体验，我们需要专门针对低速非线性的情况进行测试调节，以下图中表示在测试低速（10-40kph）过弯时候需要的入弯速度和调整的横向加速度值。

弯道半径R	入弯速度Vx	设定巡航速度Vset	横向加速度ay (m/s ²)	纵向加速度ax
80m	10kph	30kph	a1	
	20kph	40kph	a2	
	30kph	50kph	a3	
	40kph	60kph	a4	

总结

本文从弯道控制中总结了几种主要的弯道控制调节方法，不同的主机厂或Tier1供应商可能采用不同的方案，**但归根结底都需要从主观指标和客观指标上评估其实用性**，调整优化过程并非一蹴而就，调整的参数需要在不同的弯道曲率和速度下进行测试验证，否则将无法实现真正满足用户需求的弯道限速功能。

