

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.02.002

引用格式:陈刚.魔毯悬架开发研究[J].公路与汽运,2025,41(2):4-6+12.

Citation:CHEN Gang. Development research of magic carpet suspension[J]. Highways & Automotive Applications, 2025, 41(2):4-6+12.

魔毯悬架开发研究

陈刚

(浙江极氪汽车研究开发有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 搭载主动悬架系统的车辆,可根据车速、路况、传感器信号、IMU(惯性测量单元)信号和CAN(控制器局域网)信号等实时调整悬架阻尼,使车辆获得更好的操控性和平顺性。目前,在车辆前轮接触障碍物后悬架系统才会作出响应调整阻尼,响应及时性有欠缺,需开发一种魔毯悬架控制模式,提前识别障碍物,使主动悬架能提前调整阻尼适应路面。文中研究轴前预瞄与半主动悬架相结合的魔毯悬架控制策略。

关键词: 汽车;半主动悬架;魔毯悬架;双目视觉系统;预瞄

中图分类号:U463.33

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)02-0004-03

悬架是汽车中的一个重要总成,它把车身与车轮弹性地联系起来,并传递力量来减振,对车辆行驶舒适性、稳定性和操控性等起到关键作用^[1-2]。悬架系统由弹性元件(螺旋弹簧、空气弹簧)、减振元件(被动减振器、半主动减振器、全主动减振器)、导向机构(如控制臂、连杆、转向节等)、横向稳定杆(被动式、主动式)、供气系统(开式、闭式)、悬架控制单元[单CCD(自适应悬挂)控制单元、CCD+空气弹簧控制单元、CCD+空气弹簧+主动稳定杆控制单元、全主动悬架控制单元]等构成,其中弹性元件和减振元件主要起缓冲减振作用,导向机构使车轮按照一定轨迹跳动,起导向作用,横向稳定杆防止车辆在转向等行驶工况时发生过大侧向倾斜^[3-5]。

车辆行驶中路面不可能完全平坦,会遇到碎石、凹坑、凸包、减速带等的冲击,这些冲击会对车辆行驶舒适性、操控性等产生一定影响^[6]。舒适性和操控性往往较难兼顾,而CCD减振器系统可以很好地平衡两者^[7]。

车辆在路面行驶,通常只有当车辆前轴经过特征路面后,悬架控制器才能通过传感器、IMU(惯性测量单元)、GPS(全球定位系统)等采集到路面信息,进而计算最佳阻尼力。目前大多采用这种轴间预瞄控制手段,其时效性略差,控制效果未达到最佳。轴前预瞄可以很好地弥补轴间预瞄的缺陷,它通过对车辆前方道路特征信息的采集,更迅速地

前/后轴悬架阻尼力进行最优控制,获得最佳控制效果。本文研究轴前预瞄结合半主动悬架的魔毯悬架控制策略。

1 基于双目视觉系统的前端预瞄策略

1.1 基于雷达的轴前预瞄

毫米波雷达的工作原理是发射无线电信号,再将反射的零散信号收回,以此探测感知周围物体,通过算法得到汽车和其他物体之间的相对距离、相对速度、角度、运动方向、障碍物高度等(见图1)。其最大优点是受天气等环境因素影响较小,穿透雾气、烟尘的能力强,可以保障在日常情况下的使用。

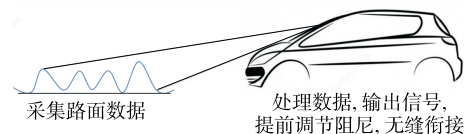


图1 带有道路预瞄的汽车示意图

激光雷达的工作原理是发射激光束,接收目标回波并与发射信号进行对比,获得物体的相对位置和速度等。激光雷达的分辨率高、精度高,但获取的信息量有限,无法辨别物体颜色类别等,且受天气等外界因素影响较大。另外,雷达价格昂贵,在普通汽车上广泛应用于悬架预瞄还不太实际,目前仅用于某些特殊车辆。

1.2 基于视觉的轴前预瞄

感知摄像头是智能汽车必不可少的硬件设备,

从外观来看,单目和双目就是单摄像头和双摄像头的区别。车载单目视觉系统通过对平面图像的处理,实现车道线检测、交通标志识别和障碍物(车辆、行人等交通参与者)检测。车载双目视觉系统通过模仿人眼构建物体的立体图像,实现目标的检测、分类及测距,多目标追踪,通行空间及场景理解,具有高效、高精度、系统结构简单、成本低等优点。通过运用标记为减速带、坑洼和正常路面的三类图像对基于深度学习的算法进行训练,获得可以较精确识别路面障碍物位置的模型(见图 2),并通过形态学闭环操作对该区域进行后处理,实现减速带、窨井盖等典型路面的识别(见表 1)。

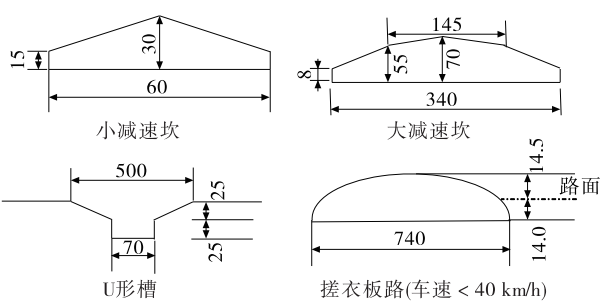


图 2 典型路面示意图(单位:mm)

单目摄像头、毫米波雷达和双目摄像头对目标检测的优缺点见表 2。本文采用双目摄像头作为测量设备,具有性价比高、精度高、耐气候等优势。

表 1 部分典型路况的采集

路面	车速	样本数/辆	驾驶状态	图片
单条减速带	50~60 km/h:3 辆	33	车辆通过单条减速带时,大多没有踩刹车,通常会松油门减速通过	
	40~50 km/h:13 辆			
	30~40 km/h:11 辆			
	20~30 km/h:6 辆			
连续减速带	30~40 km/h:4 辆	65	车辆通过连续减速带时,通常会提前轻踩刹车、降低车速	
	20~30 km/h:48 辆			
	10~20 km/h:13 辆			
小区停车场减速带	10 km/h 以下:10 辆	10	车辆通过小区停车场减速带前速度很低,通过时不会再减速,直接通过	
窨井盖	30~50 km/h:20 辆	20	车辆通过窨井盖时,不会降低车速,少数车辆会变更车道予以避让	

表 2 各种传感器对目标检测的优缺点对比

传感器类型	视角	最大检测距离/m	远距离精度	近距离精度	垂直分辨率	对象依赖性	颜色检测	物体识别	耐雨雪/雾/夜晚
毫米波雷达	小	250	高	中	低	高(依赖材质)	无	低	高
单目摄像头	大	150	低	低	高	高(依赖形状、光源)	高	中	中
双目摄像头	大	150	中	高	高	低(依赖光源)	高	高	中

2 魔毯悬架控制策略

基于双目视觉系统的半主动悬架称为魔毯悬架^[6],它通过智能驾驶系统提供的路面类型(减速带等特征路面)及车辆是否行驶在路障轨迹上等信息提前进行阻尼调节,以达到车辆进入特殊路况时的悬架最佳状态,保证车辆兼具操控性、平顺性、舒适性的功能。魔毯功能的控制逻辑(见图 3)如下:

(1) 车辆以一定速度在道路上正常行驶,驾驶员通过操作中控大屏软开关或按键式硬开关打开魔毯功能。

(2) 双目摄像头识别车辆前方 5~20 m 路况信息,智能驾驶系统对路面信息进行分析处理。当监测到前方出现减速带、凸包、凹坑等特征路面时,将特征路面类型、车辆行驶轨迹曲线、车辆距特征路面的距离等发送至 CAN(控制器局域网)总线。

(3) 主动悬架系统接收到路面类型信号为特定值(特定路面)时,结合当前车速、距障碍物的距离等信号计算魔毯功能触发时间、路障通过时间等,并结合当前车辆驾驶模式、路面类型等级等信号,由主动悬架 ECU(电子控制单元)进行仲裁并发送电流请求信号,提前对 CCD 减振器阻尼进行调节。车辆通过路障后该功能退出。

(4) 主动悬架系统接收到路面类型信号为默认值(非特定路面)时,不提前对阻尼进行调节,维持 CCD 减振器的常规功能。

(5) 车辆通过减速带等特征路面后,魔毯功能进入待命状态,直到主动悬架系统接收到下一个路面类型信号时再次响应。

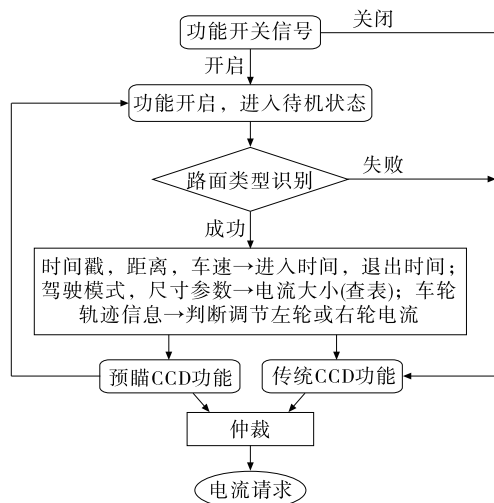


图 3 魔毯功能系统方案

(6) 通过大屏软开关或按键式硬开关关闭魔毯功能,该功能即退出,车辆维持主动悬架的常规功能。

3 方案验证

3.1 软件仿真

通过仿真分析,对比有预瞄和无预瞄时车辆通过减速带时的振动情况。仿真工况为车辆前轮上减速带前、前轮压到减速带中间、前轮离开减速带后。模拟 3 种工况下前减振器塔顶的振动,对比发现有魔毯功能的性能比没有魔毯功能的性能更优,性能提升 10%~50%(见图 4)。

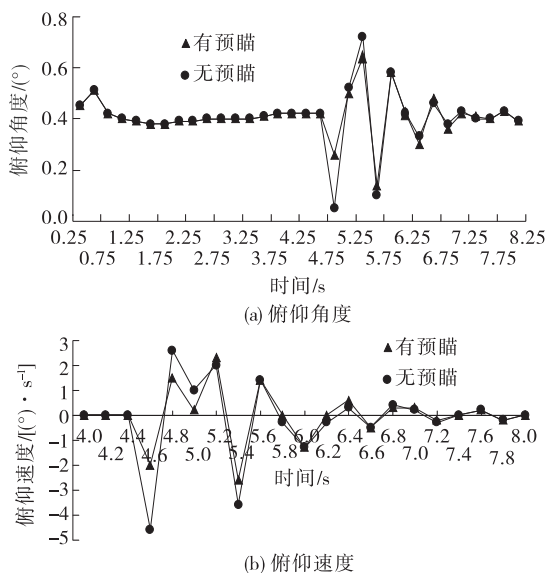


图 4 有预瞄和无预瞄时车辆通过减速带时俯仰角度和俯仰速度对比

3.2 实车性能分析

有预瞄和无预瞄状态下实车性能对比见图 5。从实车测试情况来看,有预瞄功能的性能比没有预瞄功能的性能提升 0.5~1.0 分。由于不同车型的硬件环境、软件环境、悬架调校风格等存在差异,对比结果仅供参考。

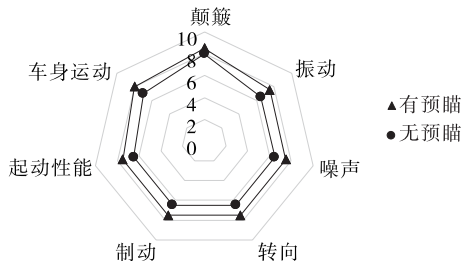


图 5 实车性能分析(单位:分)

(下转第 12 页)