

汽车头枕高度自适应调整控制系统设计

乐华超 袁路明 毛 昆

宁波继峰汽车零部件股份有限公司 浙江 宁波 315803

摘 要：文章聚焦汽车头枕高度自适应调整控制系统设计。阐述系统以提升驾乘舒适性与安全性为目标，基于传感器反馈和智能算法实现自适应调整。在硬件上，精心选型与设计摄像头、图像处理器、步进电机等部件；软件方面，运用多种图像算法及控制逻辑。关键技术涵盖图像识别、算法构建等。未来，系统将向智能化、集成化、节能化发展，有望为驾乘者带来更优质体验。

关键词：汽车头枕；高度自适应调整；系统设计

1 汽车头枕高度自适应调整控制系统设计原理

1.1 系统设计目标与需求分析

该系统旨在为驾乘人员提供最佳的头枕支撑，通过自动调整头枕高度，确保在各种驾驶场景和不同身材驾乘者使用时，头枕都能处于最理想的位置，有效提升驾乘舒适性与安全性。具体而言，当车辆行驶过程中发生急加速、急刹车或碰撞等情况时，头枕能及时调整高度，降低颈部受伤风险；同时对于不同身高、坐姿习惯的驾乘人员，无需手动调节，系统可自动适配其舒适的头枕高度。从硬件角度，需要高精度的传感器来实时监测车辆状态（如加速度传感器监测车辆加减速、碰撞传感器检测碰撞发生）以及驾乘人员的身体位置信息（例如通过座椅压力传感器结合车内摄像头图像识别技术来估算驾乘者身高和坐姿）。执行机构方面，要求头枕的升降机构具备快速响应、稳定可靠的特点，能在短时间内精确调整到目标高度。软件层面，需开发复杂的算法，用于处理传感器采集的数据，根据预设规则和模型计算出合适的头枕高度，并控制执行机构动作。系统还应具备良好的人机交互界面，方便驾乘者查看和简单设置系统参数，且要保证系统与车辆其他电子系统兼容性良好，不干扰车辆正常运行。

1.2 自适应调整原理

汽车头枕高度自适应调整主要基于传感器反馈与智能算法运算。首先，车辆启动后，车内的各类传感器开始工作。加速度传感器持续监测车辆的加速度变化，当检测到急刹车或急加速情况时，系统迅速做出响应。身体位置传感器实时采集驾乘人员在座椅上的位置信息，通过对座椅压力分布的分析以及摄像头捕捉的图像数据处理，估算出驾乘人员的身高和当前坐姿。这些传感器采集到的数据被传输至中央控制单元（ECU）。在ECU中，预先编写的智能算法根据输入的数据进行分析计算^[1]。

算法内设定了不同身体参数（如身高范围）与最佳头枕高度的对应关系模型，以及针对车辆不同动态情况（如急刹车时头部的惯性运动趋势）的头枕调整策略。根据传感器数据匹配到相应的模型和策略后，算法计算出当前情况下最合适的头枕高度值。计算得出的目标高度值随后被转化为控制信号，传输至头枕的升降执行机构。执行机构通常由电机、传动装置等组成，接收到控制信号后，电机运转，通过传动装置带动头枕上升或下降，直至达到目标高度。整个过程中，传感器持续监测头枕实际位置，并反馈给ECU，以确保头枕高度精确调整到位，实现汽车头枕高度的自适应调整。

2 汽车头枕高度自适应调整控制系统设计

2.1 硬件设计

在摄像头选型上，需选用低照度、高分辨率且具备宽动态范围的摄像头，以保证在各种光照条件下都能清晰捕捉驾乘人员的图像信息。布置方面，摄像头应安装在车内后视镜附近，朝向驾乘人员，且保证视野能覆盖整个座椅区域，无遮挡地捕捉到驾乘者从头部到肩部的范围，从而准确获取身体位置相关图像数据。图像处理器选用具有强大图像运算能力的芯片，如英伟达的Jetson系列，其具备高性能的GPU，能够快速处理摄像头采集的大量图像数据。控制系统硬件主要包括中央控制单元（ECU）、各类传感器接口电路以及电源管理模块。ECU作为核心控制部件，负责接收图像处理器处理后的结果、传感器数据，并根据预设算法发出控制指令。传感器接口电路用于连接加速度传感器、座椅压力传感器等，实现数据的稳定传输。电源管理模块确保整个硬件系统在车辆不同供电状态下都能稳定运行，为各部件提供合适的电源电压。步进电机作为头枕升降的动力源，应选择具有高扭矩、高精度定位特性的型号。例如，选用步距角为1.8°的步进电机，可实现较为精确的头枕高度

调整。执行机构设计为丝杆螺母传动结构,步进电机的旋转运动通过丝杆转化为螺母的直线运动,进而带动头枕上下移动。在丝杆上安装限位开关,防止头枕过度上升或下降,确保系统的安全性和可靠性。

2.2 软件设计

图像采集程序负责定时从摄像头获取图像数据。灰度化算法将彩色图像转换为灰度图像,减少数据处理量,其原理是根据RGB颜色模型与灰度值的转换公式,将每个像素点的RGB值转换为单一的灰度值。直方图均衡化用于增强图像对比度,通过统计图像中各灰度级出现的频率,重新分配灰度值,使图像灰度分布更加均匀,提高图像细节的清晰度。中值滤波算法则用于去除图像中的噪声,以一个像素点为中心,取一定邻域内像素值的中值作为该像素的新值,有效消除椒盐噪声等,提升图像质量,为后续的图像分析提供良好的数据基础。哈尔特征的Adaboost算法是一种常用的人脸检测方法。它通过构建一系列弱分类器,组合成一个强分类器来识别图像中的人脸。首先,对图像进行多尺度的哈尔特征提取,这些特征包括边缘特征、线性特征、中心特征等。利用Adaboost算法对大量的正负样本(有人脸和无人脸的图像块)进行训练,不断调整弱分类器的权重,使最终的强分类器能够准确地检测出图像中的人脸位置。一旦检测到人脸,通过计算人脸在图像中的位置坐标,确定驾乘人员头部的大致位置,为头枕高度调整提供关键信息。头枕高度调整算法基于驾乘人员的身体位置信息和车辆状态数据。首先,根据人脸检测得到的头部位置以及座椅压力传感器反馈的身体压力分布,估算出驾乘者的高度和坐姿。然后,结合车辆加速度传感器检测到的车辆加减速、碰撞等状态,依据预设的头枕高度与身体参数、车辆状态的对应关系模型,计算出当前情况下最合适的头枕高度值。控制逻辑方面,当计算得到目标高度值后,ECU将其转化为控制信号发送给步进电机驱动电路,控制步进电机的转动步数和方向,实现头枕高度的精确调整。实时监测头枕位置反馈信号,确保头枕准确到达目标高度^[2]。

2.3 人机交互界面设计

人机交互界面设计旨在为驾乘人员提供便捷、直观的系统操作体验。界面显示部分,在车载显示屏上设置专门的头枕调整控制界面,以简洁明了的图标和文字显示头枕当前高度、系统工作状态(自动/手动模式)等信息。操作方面,提供触摸操作方式,驾乘人员可通过点击屏幕上的“自动调整”按钮启动自适应调整功能,也可在手动模式下通过滑动条或“+”“-”按钮手动调

节头枕高度。此外,设置系统参数设置入口,如调整灵敏度、选择不同的预设头枕高度模式(适合不同身高区间)等,方便驾乘人员根据自身需求个性化设置系统参数。界面设计注重视觉效果和操作流畅性,采用与车辆内饰风格相匹配的色彩和布局,确保在驾驶过程中操作便捷且不会分散驾驶员过多注意力。

3 汽车头枕高度自适应调整控制关键技术实现

3.1 图像识别技术

为获取高质量图像,首先要确保摄像头的光学性能优良。选用具备大光圈的镜头,可在低光照环境下收集更多光线,提升图像亮度,采用图像防抖技术,在图像采集过程中,合理设置曝光时间与增益值,通过自动曝光算法根据环境光线实时调整,避免过曝或欠曝现象。图像获取后,进行预处理。除了常规的灰度化、直方图均衡化和中值滤波,还可采用高斯滤波进一步平滑图像,去除高斯噪声。利用图像增强算法,如Retinex算法,改善图像的色彩和对比度,使图像中的细节更加清晰,为后续的人脸特征提取提供更优质的数据基础。在人脸特征提取阶段,除了使用哈尔特征,还可结合HOG(方向梯度直方图)特征。HOG特征通过计算图像局部区域的梯度方向直方图来描述目标物体的形状和纹理信息,对光照变化、姿态变化具有较好的鲁棒性。将哈尔特征与HOG特征融合,能更全面地描述人脸特征。为提升识别精度,采用深度学习中的卷积神经网络(CNN)进行训练。构建多层的CNN模型,通过大量的人脸样本数据进行有监督学习,让模型自动学习到人脸的特征模式。在训练过程中,使用数据增强技术,如对面脸图像进行旋转、缩放、裁剪等操作,扩充训练数据集,增强模型的泛化能力。采用多尺度检测方法,在不同分辨率的图像上进行人脸检测,确保能准确识别不同大小的人脸,进一步提高人脸特征提取与识别的精度。

3.2 自适应调整算法

建立头枕高度调整的数学模型需要综合考虑多个因素。首先,根据大量的人体工程学数据,统计不同身高人群在舒适坐姿下头枕的最佳高度与身高的线性关系。将人体工程学模型与车辆动态模型相结合,得到综合的头枕高度调整模型。通过这样的数学模型,能够根据驾乘人员的身体参数和车辆状态精确计算出合适的头枕高度。为实现步进电机的精准控制,采用细分驱动技术。细分驱动是将步进电机的一个步距角细分成若干个微步,通过精确控制每个微步的脉冲信号,使电机的运行更加平稳,定位更加精确。在控制过程中,利用闭环控制策略^[3]。在步进电机的丝杆上安装编码器,实时反馈

电机的旋转位置。将编码器反馈的位置信号与目标位置信号进行比较,当两者存在偏差时,控制器调整输出的脉冲信号频率和数量,使电机朝着目标位置运行,直至偏差消除。考虑电机的启动和停止过程,采用加减速控制算法。在启动时,逐渐增加脉冲频率,使电机平稳加速;在停止时,逐渐降低脉冲频率,避免电机因惯性产生过冲,确保头枕能够精确、平稳地调整到目标高度。

3.3 安全性与稳定性考虑

在硬件方面,对关键部件进行冗余设计。例如,设置双电源模块,当一个电源模块出现故障时,另一个能立即接管供电,确保系统不间断运行。对于传感器,采用多个同类型传感器交叉验证的方式。如使用两个加速度传感器,若两个传感器检测到的加速度数据偏差超过一定阈值,则判定其中一个传感器故障,并发出警报,同时采用备用传感器数据或根据其他相关数据进行估算,保证系统控制的准确性。在执行机构设计中,除了安装限位开关防止头枕过度升降,还设置机械锁止装置,当系统检测到异常情况(如电机失控)时,机械锁止装置立即启动,固定头枕位置,避免对驾乘人员造成伤害。软件层面,对系统进行实时监测与故障诊断,定期对图像识别算法、自适应调整算法等关键程序模块进行自检,检查算法运行过程中的参数是否在合理范围内,如人脸检测算法的检测准确率是否突然下降等。一旦检测到故障,立即启动备用算法或进入安全模式。采用软件抗干扰技术,对传感器数据进行多次滤波和校验,防止因电磁干扰等外界因素导致错误数据输入系统,影响头枕高度调整的安全性和稳定性。在系统升级方面,采用安全的升级机制,如先在备用存储空间下载并验证升级程序的完整性和正确性,然后再切换到新程序运行,避免升级过程中出现意外导致系统瘫痪。

4 未来发展方向

未来,汽车头枕高度自适应调整控制系统将朝着更智能化、集成化与环保节能的方向迈进。在智能化领域,随着人工智能技术的持续突破,系统将能够实现更精准的个性化定制。借助大数据分析,系统可收集并分

析每位驾乘者长期的使用习惯、身体特征以及不同驾驶场景下的偏好设置,从而构建高度个性化的调整模型。从集成化来看,该系统将与车辆的整体智能座舱系统深度融合,它不仅能与座椅加热、通风、按摩等功能协同工作,依据驾乘者的综合舒适需求进行一体化调节,还能与车辆的主动安全系统紧密联动^[4]。当车辆的预碰撞系统检测到潜在危险时,头枕高度自适应调整系统可提前预判并调整头枕位置,配合安全带收紧等操作,最大程度降低驾乘人员在碰撞中的受伤风险。在环保节能方面,未来的系统将注重降低能耗。通过研发更高效的传感器和执行机构,减少系统运行时的电力消耗。随着新能源汽车的普及,系统还将针对新能源汽车的电池管理系统进行优化,确保在不影响车辆续航里程的前提下,稳定、高效地运行。

结束语

汽车头枕高度自适应调整控制系统的设计,对提升驾乘体验和安全意义重大。当前设计融合多种先进技术,实现了高度自动化调整。展望未来,随着其与更多车内系统集成以及智能化水平提升,能更好满足不同驾乘者需求,在车路云协同等新趋势下,为汽车舒适性与安全性的持续进步注入强大动力。

参考文献

- [1]陈洁.汽车头枕高度自适应调整控制系统设计[J].福州大学学报(自然科学版),2021,49(6):822-829.DOI:10.7631/issn.1000-2243.20515.
- [2]吴黎,付海涛,刘超,等.某车型头枕舒适性抱怨解析及改进[J].汽车实用技术.2022,47(24).DOI:10.16638/j.cnki.1671-7988.2022.024.035.
- [3]张曰花,王红,马广明.基于深度学习的图像识别研究[J].现代信息科技.2019,(11).DOI:10.3969/j.issn.2096-4706.2019.11.042.
- [4]刘博勋,蒋成约,陈坤,等.主动式头枕装置的机构设计与运动仿真[J].机床与液压.2018,(12).DOI:10.3969/j.issn.1001-3881.2018.12.027.