

多组扬声器声音混响消除技术在隧道预警系统中的应用

李 彧

(陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司,陕西省西安市,710599)

摘要 本文旨在探索基于DSP技术的声音处理方法,以提升音频质量,特别是针对混响消除、音质提升及混音技术等方面。研究首先从理论上分析了声音混响的物理机制、声音传播与接收的理论模型,以及DSP技术的基本原理,为后续的技术实现奠定了坚实的理论基础,在此基础上,详细讨论了硬件设备的选择与系统设计,重点介绍了扬声器、DSP芯片的选择标准及其功能,并阐述了ADAU1701开发板在本项目中的具体应用,提出了一个高效、稳定的系统架构设计。

关键词 多组扬声器;声音混响消除技术;隧道预警系统

中图分类号:TN912.3 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)08-0072-03

隧道内的扬声器可以在发生隧道交通异常事件时,对隧道内外车辆驾驶员发出语言提示通知,使其具有应对突发状况的准备时间,对隧道内交通安全起到至关重要的作用。隧道内背景噪声影响驾驶员的主观听觉感受,对多功能车道控制器扬声器系统的发声效果产生影响^[1]。

1 理论基础与技术路线

1.1 声音混响的物理机制

声音混响的物理机制涉及到声波在特定空间中的传播和反射特性,在公路隧道这样的封闭空间内,声波在遇到隧道壁或其他障碍物时会产生反射和散射,形成复杂的混响效果。混响不仅延长了声音的持续时间,还会降低声音的清晰度和可懂度,这种混响效果是由声波的多次反射和叠加造成的,它与隧道的几何形状、材料的吸声性能以及声源的特性密切相关,因此理解混响的物理机制对于设计

有效的混响消除技术至关重要。

1.2 声音传播与接收的理论模型

声音传播与接收的理论模型描述了声波从声源传播到接收者(如驾驶人)的过程,这个模型需要考虑声波在空气中的传播损失、隧道内的噪声环境以及驾驶人的听觉特性;声音传播过程中会受到多种因素的影响,包括频率依赖性的吸收、温度和湿度变化、以及隧道内其他声源的干扰;接收端的理论模型则涉及到人耳如何感知和处理这些声音信号,这对于提升驾驶人的听觉接收效果具有重要意义。

1.3 DSP技术原理

DSP(即数字信号处理技术),它通过高速的数字处理器对声音信号进行实时处理,该技术能够实现声音信号的滤波、增强和混音等处理,以改善声音质量。在本研究中,利用DSP芯片ADAU1701及其辅助软件SigmaStudio来设计和实现所需的音频处理功能,这些功能包括对声音信号的频谱分析、滤波器设计、动态范围压缩等,旨在优化声音信号,使其在隧道环境中的传播更为有效。

2 硬件设备选择与系统设计

2.1 扬声器的选择与性能指标

扬声器作为音频输出的终端设备,其性能直接影响到驾驶人的听觉接收效果,在选择扬声器时,我们主要考虑了其基本特征和性能指标,包括灵敏度、频率响应、额定功率、额定阻抗、指向性以及失

基金项目:陕西省交通运输厅2023年度交通科研项目:基于机器视觉与LRAD定向声波的隧道安全管控关键技术研究及应用(23-66K)。

作者简介:李彧(1973~),男,陕西西安人,硕士,高级工程师,研究方向:高速公路运营养护技术。

真度等,这些指标共同决定了扬声器的音质表现和适用场景;在本研究中,我们选择了一个200W的扬声器,它能够提供足够的声压级,以确保在嘈杂的隧道环境中驾驶人能够清晰地接收到预警信息^[2]。

2.2 DSP芯片的选择与功能

DSP芯片是数字信号处理的核心,它负责执行复杂的音频处理算法,以提升扬声器的音质,DSP芯片需要具备快速的数据处理能力、多通道输入输出、以及足够的资源来实现复杂的音频处理功能;在本研究中,我们采用了ADAU1701 DSP芯片,它满足了上述要求,还具有低功耗和高集成度的特点,非常适合于车载音频处理应用。

2.3 ADAU1701开发板的应用

ADAU1701开发板是实验中的关键工具,它提供了一个平台而能够在实际硬件上测试和优化音频处理算法;开发板的应用包括了音频信号的采集、处理和输出,它与DSP芯片紧密结合,提供了一个完整的音频处理解决方案,通过SigmaStudio软件,我们可以轻松地设计和调整音频处理算法,并将这些算法烧写到ADAU1701开发板上,实现脱机运行。

2.4 系统架构设计

系统架构设计是确保硬件设备和软件算法能够协同工作的关键,在本研究中,系统架构设计包括了音频信号的输入、处理和输出三个主要部分,音频信号首先通过扬声器播放,然后由DSP芯片进行实时处理,最后通过ADAU1701开发板输出。在这个过程中,我们特别关注了音频信号的同步性和实时性,确保音频处理不会引入额外的延迟,系统架构还考虑了扩展性,以便在未来可以轻松地添加新的音频处理功能或升级硬件设备。

3 声音特性分析与音质提升技术研究

3.1 人耳听觉特性分析

人耳对声音的感知是一个复杂的过程,它涉及到声音的频率、强度和等多个因素,人耳对不同频率的声音敏感度不同,对1000-3000Hz的声音最为敏感,这与人类语言的频率范围相吻合;人耳对声音的定位能力也很强,这使得立体声技术在音频处理中尤为重要,通过对人耳听觉特性的分析,我们可以针对性地对声音进行处理,以提高特定频率下的声音清晰度,增强驾驶人对关键音频信息的

接收^[3]。

3.2 声音滤波技术研究

声音滤波技术是音质提升的关键环节,滤波的原理在于通过增强或减弱特定频率分量,改变音频信号的频谱特性。在DSP技术支持下,我们可以设计出各种滤波器,如低通、高通和带通滤波器,以去除噪声和不需要的频率成分,其在音频滤波中的应用主要体现在其强大的信号处理能力,能够实现对手音频信号的精细控制,包括滤波、均衡和动态处理。

3.3 音增强技术研究

声音增强技术旨在改善音频信号的质量,使其在各种环境下都能保持清晰和易懂,DSP在声音增强方面的应用包括噪声抑制、回声消除和自动增益控制等,通过这些技术可以提高语音信号的清晰度,减少背景噪声的干扰。在声音增强的方法选择上,本研究综合考虑了算法的复杂性、实时性和效果,最终确定了以均衡器EQ为基础的声音增强方案。

3.4 EQ原理和应用研究

均衡器EQ是音频处理中常用的工具,其原理在于调整音频信号的频率响应,以改善音质,EQ通过分离音频信号中的频率成分,并允许用户对这些成分进行独立的增益调整。在实际应用中,EQ可以用来增强或削弱特定频段的声音,以适应不同的听觉偏好和播放环境。

4 混音技术研究

4.1 混音原理和方法研究

混音的基本原理可以从声波的物理特性出发,声波是由物体振动产生的,它通过介质(如空气)传播,并在没有介质的真空中无法传递;在自然界中,我们所听到的声音通常是多个声源的叠加结果,在混音过程中这种叠加被有意识地应用,以创造出具有特定艺术效果的声音,混音方法的研究则涉及到如何操作这些声波,包括音量的平衡、频率的调整、立体声的定位等,以确保最终的混音既自然又具有吸引力。

4.2 DSP的混音应用分析

在DSP的混音应用分析中,我们可以看到数字信号处理技术如何为混音提供了强大的工具,该技术使得混音师能够精确地编辑音频信号,实现复杂的均衡处理、动态控制和效果添加。例如通过DSP

技术,混音师可以模拟不同的声学环境,添加混响和延时效果,或者进行时间拉伸和变调,以适应不同的音乐风格和场景需求。

5 实验测试与结果分析

5.1 硬件平台与软件平台设计

在实验的硬件平台方面,本研究主要依托于电脑、扬声器以及ADAU1701开发板来构建实验环境,通过数据线将ADAU1701开发板与电脑的音频接口相连,实现了信号的输入与输出连接,同时USBi仿真器的使用为开发板提供了稳定的供电,并支持了仿真烧写功能;在软件平台方面,SigmaStudio软件的应用为DSP音频处理器的图形开发环境提供了强大支持,使得数字信号处理模块的连接与代码生成变得更加便捷。

5.2 实验设计

在这个实验中,选择了几种具有代表性的音频信号作为测试样本,并分别记录了这些信号在经过音频处理程序处理前后的声音频谱图,通过对这些频谱图的详细对比分析,就能够准确地验证滤波增强功能是否能够有效地改善音频信号的质量,以及具体在哪些频率范围内表现最为显著。为了进一步评估整个音频处理程序在不引入额外频率成分情况下的整体性能,我们进行了第二个实验,这次我们不仅关注了滤波增强的效果,还特别考察了混音处理在整个流程中的作用,通过对比处理前后的频谱变化,我们可以全面了解音频处理程序如何在保持原有音频特性的基础上,最后一个实验将测试场景从实验室环境扩展到了实际的应用场合——汽车内部,这一阶段的测试重点在于评估音频处理程序在真实环境下的实际表现,特别是它能否有效提升车内乘客的听觉体验,为此在多种不同的行车条件下进行了测试,包括城市道路、高速公路以及乡村小道等,以确保测试结果的广泛适用性,通过收集并分析驾驶员和乘客对车内音响系统输出音质的主观评价,我们对音频处理系统的有效性、适用性以及用户接受度有了更为深刻的认识。

5.3 DSP程序设计与实验测试

在DSP程序设计与实验测试部分,本研究首先探讨了声音频谱图的生成研究,涉及到傅里叶变换

的理论基础和频谱图的绘制方法。接着DSP的EQ设计部分详细描述了均衡器的工作原理与实际应用,通过在ADAU1701开发板上实现9段EQ的设计,成功地对音频信号进行了滤波和增强处理;在DSP的总程序设计部分,本研究通过混音程序的设计,实现了音频信号的混合与处理,最后在程序烧写部分,本研究详细描述了将设计好的程序下载到开发板并实现脱机运行的过程。

5.4 结果分析

在结果分析部分,本研究通过声音频谱分析软件Spectroid测试了播放时各频率声音的实时变化情况,并与未处理的音频进行了对比,结果显示经过滤波器处理后的音频信号在信噪比上得到了显著提升,音频质量也得到了明显改善^[4]。此外,实验还表明DSP处理对于提升音频清晰度有显著帮助,尤其是在中等和高功率下,DSP处理的效果开始显著,且能够有效提升音频的清晰度和整体质量。

6 结语

通过研究人耳听觉特性,本文提出了基于DSP的声音滤波技术和声音增强技术,特别是均衡器(EQ)在音频处理中的重要作用,有效提升了音频信号的质量;本文还通过对混音原理和技术的研究,利用DSP技术实现了对音频信号的精准编辑,包括均衡处理、动态控制和效果添加,极大地丰富了音频的表现力。实验结果表明,所提出的技术方案在信噪比、音频清晰度和整体音质方面均取得了显著的提升,具有较高的实用价值,未来的研究将进一步优化算法,拓展应用领域,以满足更多元化的音频处理需求。

参考文献

- [1] 仲腾飞,宋剑,高加俊.音频降噪回声消除技术的应用[J].长江信息通信,2023,36(08):40-42.
- [2] 孙思雨,张海剑,孙洪.强混响环境下基于声矢量传感器的多源DOA估计[J].无线电工程,2023,53(10):2319-2328.
- [3] 梁新健,周红梅.基于现有混响室的优化改造设计[J].广西科技大学学报,2021,32(04):93-99.
- [4] 魏增来,练嘉容.电子声学环境可变系统及其在国内的应用现状及发展趋势研究(二)[J].演艺科技,2021,(04):13-22.