



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106933146 B

(45) 授权公告日 2023. 04. 14

(21) 申请号 201710147849.5

(22) 申请日 2017.03.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106933146 A

(43) 申请公布日 2017.07.07

(73) 专利权人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72) 发明人 梁杰 赵健 林琳 陈燕虹 钱堃 井晓瑞

(74) 专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任公司 22201

专利代理师 杜森垚 齐安全

(51) Int. Cl.

G05B 19/042 (2006.01)

G06N 3/084 (2023.01)

G06N 3/126 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 101672690 A, 2010.03.17

CN 103471709 A, 2013.12.25

CN 105021275 A, 2015.11.04

JP 2005338453 A, 2005.12.08

JP 2012047483 A, 2012.03.08

JP 2014201300 A, 2014.10.27

刘宗巍;王登峰;姜吉光;梁杰;王世刚;.用主动噪声控制法改善车内声品质.吉林大学学报(工学版).2008,(第02期),全文.

高印寒;唐荣江;梁杰;赵彤航;张澧桐;.汽车声品质的GA-BP神经网络预测与权重分析.光学精密工程.2013,(第02期),全文.

申秀敏;左曙光;何容;何吕昌;陈瑞锋;张敬芬;.燃料电池轿车声品质客观评价参量的权重.振动与冲击.2011,(第01期),全文.

审查员 欧鑫磊

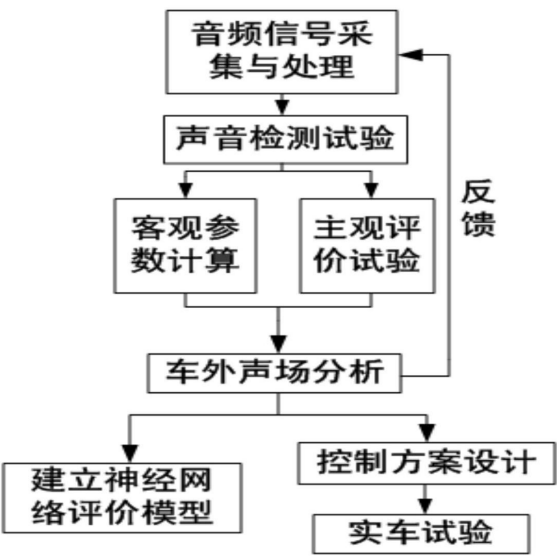
权利要求书4页 说明书12页 附图8页

(54) 发明名称

电动轿车行人警示音控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种电动轿车行人警示音控制方法,根据人们对不同频率段声音的不同反应,设计大量的声音样本,并提出利用声品质客观心理声学参数和主观评价结果,建立通过遗传算法优化的BP神经网络预测模型,该预测模型能够为后续声音样本的筛选提供指导,简化声音的筛选过程,节约成本;根据车辆的实际运行状况建立多工况的智能控制系统,使电动车/混合动力汽车在不同运行工况下能够智能的选择合适的声音并发出,还依据背景噪声的大小智能的选择增益电路的放大倍数,使所发出的警示声能更加合理的警示行人且不会造成环境的噪声污染。



1. 一种电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、利用声音采集设备采集车外声音信号样本:分别采集多辆同级别传统车和一辆纯电动车在不同工况下的车外声音信号;

步骤二、利用滤波器对所述步骤一采集的所有车外声音信号提取特定频段内的声音信号;

步骤三、对所述步骤二所提取的声音信号,按不同的比例成分进行合成:在所述步骤一所采集的传统车车外声音信号上除去电动车声音信号的成分,将所提取出的特定频段的声音信号按不同的比例与幅值与所得基准声音信号进行合成;

步骤四、对所述步骤一和步骤三获取的所有声音样本在一定声音强度的条件下进行主观评价试验;

步骤五、计算声品质客观心理声学参数和A计权声压级;声品质客观心理声学参数包括:响度、粗糙度、尖锐度、抖动度、AI指数;所述步骤五具体步骤如下:

1) 计算响度:

$$N' = 0.08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_0} \right)^{0.28} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} - 1 \right] \quad (1)$$

式中: N' 为特征响度,单位是sone, E 为声音激励, E_{TQ} 为绝对听阈下的激励, E_0 为基准声强下的激励;

对 N' 在总Bark域上进行积分计算,即可得到总响度 N :

$$N = \int_0^{24Bark} N'(z) dz \quad (\text{sone}) \quad (2)$$

2) 计算粗糙度:

$$R = 0.3 f_{mod} \int_0^{24Bark} \Delta L_E(z) dz \quad (\text{asper}) \quad (3)$$

式中, R 表示粗糙度,单位是asper, f_{mod} 是调制频率,

$$\Delta L_E(z) = 20 \log_{10} \left(\frac{N'_{max}(z)}{N'_{min}(z)} \right) \quad (4)$$

式中: $N'_{max}(z)$ 和 $N'_{min}(z)$ 分别表示特征响度最大值和最小值;

3) 计算尖锐度

$$S = k \frac{\int_0^{24Bark} N'(z) \cdot z \cdot g(z) dz}{N} \quad (\text{acum}) \quad (5)$$

式中, S 是尖锐度, k 是加权系数(k 取0.11); N 为总响度值; $N'(z)$ 代表 z 号Bark域内的特征响度;

$$g(z) = \begin{cases} 1 & z \leq 16 \\ 0.0625 \cdot e^{0.1733 \cdot z} & z > 16 \end{cases} \quad (6)$$

4) 计算抖动度

$$F = 0.008 \frac{\int_0^{24Bar^k} \Delta L_E(z) dz}{(f_{mod}/f_0) + (f_0/f_{mod})} \quad (vacil) \quad (7)$$

其中,F为抖动度, f_0 代表调制基频; f_{mod} 、 $\Delta L_E(z)$ 的定义和计算与粗糙度相同;

5) 语言清晰度

语言清晰度计算模型为:

$$AI = \sum \frac{W(f)D(f)}{30} \quad (8)$$

$$\begin{cases} D(f) = 0, & N(f) > UL(f) \\ D(f) = UL(f) - N(f), & LL(f) < N(f) < UL(f) \\ D(f) = 30, & N(f) < LL(f) \end{cases} \quad (9)$$

式中, $W(f)$ 为计权系数, $N(f)$ 为背景噪声上线,其表达式为 $UL(f) = H(f) + 12\text{dB}$, $LL(f)$ 为背景噪声下线,其表达式为 $LL(f) = UL(f) - 30\text{dB}$;

6) A计权声压级

A声级被定义为用声级计或用与此等效的测量仪器,经过A计权网络测量的声音信号的噪声等级,单位为dB(A);

步骤六、对所述步骤四中主观评价得分最高的声音信号进行车外声场分析,并判断是否达到声场覆盖范围和强度的要求;

步骤七、建立神经网络评价预测模型:根据所述步骤四的主观评价得分和所述步骤五计算得到的客观心理声学参数值,建立用遗传算法优化过的BP神经网络声品质评价预测模型;所述步骤六具体步骤如下:

1) 根据汽车制动过程,从驾驶员看见行人的反应时间到汽车完全制动,这段时间内汽车所行的距离应为所需的最低安全距离S,根据汽车制动时制动距离计算公式,计算最低安全距离S:

$$S = \tau_1 u_{a0} + \frac{1}{3.6} \left(\tau'_2 + \frac{\tau''_2}{2} \right) u_{a0} + \frac{u_{a0}^2}{25.92 a_{b\max}} \quad (10)$$

式中,S表示制动距离, τ_1 表示驾驶员反应时间,取 $0.3 \sim 1.0\text{s}$, $\tau'_2 + \tau''_2$ 称为制动器作用时间, u_{a0} 为初始车速,此处计算时取 30km/h , $a_{b\max}$ 为最大制动减速度;

2) 将声音样本中主观评价得分最高的几个声音样本利用电动车在半消声室内进行播放,播放时将喇叭放置于类似于传动车发动机的位置;

3) 用声级计测量车前方轴线左右 45° 角以最低安全距离S为半径所画弧线上任意一点处的A计权声压级,并做记录;

4) 在相同位置测量任意一同级别传统车在S距离处的A计权声压级,并记录这些点处的A计权声压级;

5) 比较所述步骤3)、步骤4)中两次测量的A声级差值,如果差值过大应返回步骤4调整基准声压强度,直到两者差别不大时,则表示所选声音能达到同等传统车车外声音的水平;

步骤八、建立电动轿车行人警示音控制系统。

2. 按照权利要求1所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述步骤一具体步骤如下:

1) 录制环境选择在半消声室内,存储的格式为.wav;

2) 录音麦克风的位置参考测量排气噪声的方法,选择在车辆纵向中心线上,以距离车前悬0.5m画圆弧,所画圆弧左右45°弧线上的任一位置,放置麦克风,麦克风的高度参考加速噪声测量方法,选择0.9m-1.2m的高度范围内;

3) 在半消声室转毂上分别录制五辆传统车和一辆纯电动车的车外噪声信号,录制的噪声信号包括:10km/h工况、20km/h工况和30km/h工况;将录制好的声音截取中间为5s的部分,将截取好的声音信号进行编号记录。

3.按照权利要求1所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述步骤二具体步骤如下:

1) 设计带通滤波器,利用matlab中fdesign+design设计数字滤波器,滤波器阻带衰减为80dB,通带波纹为3dB;

2) 利用所设计的滤波器对所述步骤一采集的所有声音信号进行滤波,需要提取的声音信号的频率区间为500-700Hz、900-1100Hz、2400-2600Hz,并按每辆车在对应车速下滤波后的信号成分进行存储。

4.按照权利要求1所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述步骤三具体步骤如下:

1) 在所述步骤一所采集的传统车原始声音成分中除去电动车对应车速时所采集到的声音成分,得到新的声音样本数据,称之为基准声音信号;

2) 在同一款车型的一个车速的基准声音信号上,以0.1、0.2、0.3、0.4、0.5倍将对应车型及车速下滤波所得到的500-700Hz和2400-2600Hz频段内的声音添加到基准声音信号上,并在基准声音信号的基础上减去0.1、0.2、0.3、0.4、0.5倍的900-1100Hz频段内声音信号。

5.按照权利要求1所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述步骤四具体步骤如下:

1) 选取评审团成员,评价环境为主观评价实验室;

2) 确定声品质评价指标:以烦躁度等级为评价指标,采用等级评分法对各声音样本进行打分;按照国际标准将声品质烦躁度分为11个等级,评价者依次听到不同的声音,并根据自己的主观感受分别在打分器上打分;

3) 计算各评价者之间的相关系数:使用SPSS应用统计软件对所有评价者的等级评分结果进行分析,计算出他们两两之间的相关系数,再将每个评价者与其他评价者间的相关系数取算术平均值,求得平均相关系数,再将其余评价结果予以平均,即可得主观评价的声品质值。

6.按照权利要求1所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述步骤七具体步骤如下:

确定神经网络拓扑结构,经多次训练选择隐含层神经元数为11,即其结构为6-11-1,确定遗传算法中的相关参数值,利用遗传算法来优化BP神经网络,建立GA-BP神经网络模型。

7.按照权利要求1所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述步骤八建立的电动轿车行人警示音控制系统包括:微处理器MCU、声音播放电路、存储电路、背景噪声测量电路、CAN总线接口电路及电源电路;电源电路为整个控制系统供电,存储电路、声音播放电路、背景噪声测量电路、CAN总线接口电路分别与微处理器MCU连接;

微处理器MCU通过CAN总线获得车辆车速及行驶状况及通过背景噪声测量电路获取行驶环境中的背景噪声,依据背景噪声的大小智能的控制放大电路的增益倍数,然后选择存储电路中的声音样本并通过声音播放电路进行播放;

声音播放电路包括依次连接的D/A转换器、放大电路、扬声器,其负责播放微处理器MCU筛选的声音样本;

存储电路包括FLASH存储芯片及RAM存储芯片,FALSH存储芯片负责存储筛选出的评分最高的声音数据,RAM存储芯片负责微处理器MCU所选取的声音数据的暂存以及播放声音数据的存储;

CAN总线接口与车辆CAN总线接口实现电平转换,由微处理器MCU读取车速或电机转速以及混合动力汽车驱动方式信息,来判断是否需要开启警示控制系统,当系统启动时,将根据车辆运行状况选择所要播放的声音;

背景噪声测量电路采用噪声测量传感器对车辆所处的环境噪声进行测量,并将测量结果提供给微处理器MCU,以控制声音播放电路中放大电路的增益幅度;

电源电路采用DC/DC直流电源芯片,为系统各电路提供不同电压。

8.按照权利要求7所述的电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,所述电动轿车行人警示音控制系统的控制方法为:

1)微处理器MCU利用与车辆CAN总线接口电路读取车辆的状态信息,利用背景噪声测量传感器所测量的背景噪声的大小,结合事先存储在存储器中的各类声音样本,通过D/A转换器输出模拟音频信号,经放大电路由扬声器输出,从而选择声音样本和增益大小,通过所播放声音样本的不同及声音增益的不同来实时表达车辆的运行状况;

3)建立车速与声音信号时域之间的线性关系:通过CAN总线读取车速信号,当车速低于10km/h时,微处理器MCU选取10km/h评分最高的声音样本进行播放,车速在10km/h-20km/h之间时,微处理器MCU选取存储的20km/h评分最高的声音样本进行播放,车速在20km/h-30km/h之间时,微处理器MCU选取存储的30km/h存储的声音样本进行播放;倒车时,微处理器MCU播放存储的30km/h时的声音样本;

4)利用背景噪声测量传感器所测量的背景噪声,根据背景噪声等级的不同智能的选择放大电路中增益的等级:将背景噪声分为三个等级,分别为小于55dB,55dB到65dB和大于65dB,根据不同的背景噪声等级,选择不同的增益倍数。

电动轿车行人警示音控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于汽车安全领域,涉及一种用于电动轿车在低速行驶时给车外行人以警示作用的自动发声系统,具体涉及一种电动轿车行人警示音设计方法、警示音控制系统及控制方法。

背景技术

[0002] 由于化石燃料的消耗和燃油价格的增加,促使汽车行业发展的重点集中在新能源汽车上。美国国家公路交通安全管理局的最近的一份调查报告显示,电动车和传统车撞倒行人或自行车等其他道路用户的交通事故主要发生在道路的低速区域,对比显示,电动车和混合动力车在低速区发生交通事故的概率远远高于传统的内燃机汽车。电动车及混合动力轿车作为新能源汽车,在低速(即车速低于30km/h)行驶时,由于电动机辐射噪声较小,产生的总体车外声音比较低,当轿车驶过时,不易被发现,若突然按喇叭,更容易导致行人由于惊慌而产生交通事故,故为保证行人安全,需添加警示声,提示行人及其他道路使用者能够及时避让行驶的车辆,从而减少道路交通事故。

[0003] 就现有技术而言,行人警示系统都是根据车速行驶情况而直接发出声音,所发出的声音大部分都是直接采集传统车声音进行播放,不涉及声音的设计和选择,并且就现有警示系统而言,在达到发声条件时直接进行发声而不会考虑车辆的具体运行状况及环境背景噪声的影响,所发出的声音单一、不能很好的向行人提供车辆的运行状况,不是不能达到警示行人的目的就是对环境造成噪声污染,并且均所设计的试验过于单一,不能很好的模拟车辆在路上行驶时的实际情况,不能很好的检测系统是否能满足设计的要求。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对电动车或混合动力汽车低速行驶时存在的安全隐患,现有技术声音设计和选择、控制系统过于单一等问题,提供了电动轿车行人警示音控制方法,当电动车或混合动力车低速行驶时,将智能的选取事先准备好的声音样本,并根据背景噪声的大小智能的选择所播放声音的强度来警示行人或其他道路用户,以提醒其有效避让行驶的车辆。

[0005] 本发明根据人们对不同频率段声音的不同反应,设计大量的声音样本,并提出利用声品质客观心理声学参数和主观评价结果,建立通过遗传算法优化的BP神经网络预测模型,该预测模型能够为后续声音样本的筛选提供指导,简化声音的筛选过程,节约成本;其次根据车辆的实际运行状况建立多工况的智能控制系统,使电动车/混合动力汽车在不同运行工况下能够智能的选择合适的声音并发出,并且,在控制系统中还依据背景噪声的大小智能的选择增益电路的放大倍数,使所发出的警示声能更加合理的警示行人且不会造成环境的噪声污染;最后,对安装了智能化的行人警示系统进行车外声场分析和实车试验,以验证系统的有效性和可靠性。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明是采用如下技术方案实现的:

- [0007] 本发明提供一种电动轿车行人警示音控制方法,其特征在于,包括以下步骤:
- [0008] 步骤一、利用声音采集设备采集车外声音信号样本:分别采集多辆同级别传统车和一辆纯电动车在不同工况下的车外声音信号;
- [0009] 步骤二、利用滤波器对所述步骤一采集的所有车外声音信号提取特定频段内的声音信号;
- [0010] 步骤三、对所述步骤二所提取的声音信号,按不同的比例成分进行合成:在所述步骤一所采集的传统车车外声音信号上除去电动车声音信号的成分,将所提取出的特定频段的聲音信号按不同的比例与幅值与所得基准声音信号进行合成;
- [0011] 步骤四、对所述步骤一和步骤三获取的所有声音样本在一定声音强度的条件下进行主观评价试验;
- [0012] 步骤五、计算声品质客观心理声学参数和A计权声压级;声品质客观心理声学参数包括:响度、粗糙度、尖锐度、抖动度、AI指数;
- [0013] 步骤六、对所述步骤四中主观评价得分最高的声音信号进行车外声场分析,并判断是否达到声场覆盖范围和强度的要求;
- [0014] 步骤七、建立神经网络评价预测模型:根据所述步骤四的主观评价得分和所述步骤五计算得到的客观心理声学参数值,建立用遗传算法优化过的BP神经网络声品质评价预测模型;
- [0015] 步骤八、建立电动轿车行人警示音控制系统。
- [0016] 本发明同时提供一种电动轿车行人警示音控制系统,包括:微处理器MCU、声音播放电路、存储电路、背景噪声测量电路、CAN总线接口电路及电源电路;电源电路为整个控制系统供电,存储电路、声音播放电路、背景噪声测量电路、CAN总线接口电路分别与微处理器MCU连接;
- [0017] 微处理器MCU通过CAN总线获得车辆车速及行驶状况及通过背景噪声测量电路获取行驶环境中的背景噪声,依据背景噪声的大小智能的控制放大电路的增益倍数,然后选择存储电路中的声音样本并通过声音播放电路进行播放;
- [0018] 声音播放电路包括依次连接的D/A转换器、放大电路、扬声器,其负责播放微处理器MCU筛选的声音样本;
- [0019] 存储电路包括FLASH存储芯片及RAM存储芯片,FALSH存储芯片负责存储筛选出的评分最高的声音数据,RAM存储芯片负责微处理器MCU所选取的声音数据的暂存以及播放声音数据的存储;
- [0020] CAN总线接口与车辆CAN总线接口实现电平转换,由微处理器MCU读取车速或电机转速以及混合动力汽车驱动方式信息,来判断是否需要开启警示控制系统,当系统启动时,将根据车辆运行状况选择所要播放的声音;
- [0021] 背景噪声测量电路采用噪声测量传感器对车辆所处的环境噪声进行测量,并将测量结果提供给微处理器MCU,以控制声音播放电路中放大电路的增益幅度;
- [0022] 电源电路采用DC/DC直流电源芯片,为系统各电路提供不同电压。
- [0023] 本发明同时提供一种电动轿车行人警示音控制系统的控制方法:
- [0024] 1)微处理器MCU利用与车辆CAN总线接口电路读取车辆的状态信息,利用背景噪声测量传感器所测量的背景噪声的大小,结合事先存储在存储器中的各类声音样本,通过D/A

转换器输出模拟音频信号,经放大电路由扬声器输出,从而选择声音样本和增益大小,通过所播放声音样本的不同及声音增益的不同来实时表达车辆的运行状况;

[0025] 3) 建立车速与声音信号时域之间的线性关系:通过CAN总线读取车速信号,当车速低于10km/h时,微处理器MCU选取10km/h评分最高的声音样本进行播放,车速在10km/h-20km/h之间时,微处理器MCU选取存储的20km/h评分最高的声音样本进行播放,车速在20km/h-30km/h之间时,微处理器MCU选取存储的30km/h存储的声音样本进行播放;倒车时,微处理器MCU播放存储的30km/h时的声音样本;

[0026] 4) 利用背景噪声测量传感器所测量的背景噪声,根据背景噪声等级的不同智能的选择放大电路中增益的等级:将背景噪声分为三个等级,分别为小于55dB,55dB到65dB和大于65dB,根据不同的背景噪声等级,选择不同的增益倍数。

[0027] 与现有技术相比本发明的有益效果是:

[0028] 1、首先通过调查的形式了解人们能够接受的警示声形式,并通过实验确定不同人群对不同频率段声音的敏感程度,然后再利用matlab进行合理的声音样本的设计;

[0029] 2、以振动噪声中声品质理论为依据,通过声品质中以烦躁度等级划分的主观评价试验,对大量的声音样本进行打分,选出分数最高的声音样本做为需要的声音样本,理论依据强;

[0030] 3、本发明以计算所得的客观心理声学参数和主观评价结果为原型,建立GA-BP神经网络评价模型,模型的评价结果与实际主观评价值的相关系数达到0.93,具有很高的重复性,将为后续的声音设计提供评价依据,而不需要再次组织人员进行主观评价,节省大量的人力物力;

[0031] 4、本发明能够依据不同的车速状况智能的选择警示声进行发声,贴近实际车辆运行状况,方便行人判断车辆的运行状况;

[0032] 5、本发明中充分考虑环境的背景噪声,利用背景噪声测量传感器测量环境中的背景噪声,从而智能的分配声音的增益等级,最大程度降低由于所添加的警示声而对环境造成的污染;

[0033] 6、本发明通过多次试验验证系统的可靠性,并通过在正常道路上以普通行人的反应作为回馈来验证警示系统实际工作时的可靠性,更加贴近实际情况,为系统的有效性提供科学的指导。

附图说明

[0034] 下面结合附图对本发明作进一步的说明:

[0035] 图1为本发明所述的电动轿车行人警示音控制方法的总体流程图;

[0036] 图2为本发明所述的采集传统车和纯电动车车外噪声录制位置的示意图;

[0037] 图3为本发明所述的在车外最小距离范围处用声级计测量所设计声音在此处的声压级大小的试验示意图;

[0038] 图4为本发明所述的建立所设计声音的神经网络评价模型的结构图;

[0039] 图5为本发明所述的建立所设计的声音样本的神经网络评价预测模型的预测结果与实际主观评价打分结果之间的百分比误差图;

[0040] 图6为本发明所述的建立所设计的声音样本的神经网络评价预测模型的预测结果

与实际主观评价打分结果之间的相关性示意图；

[0041] 图7为本发明所述的电动轿车行人警示音控制系统硬件组成及原理框图；

[0042] 图8为本发明所述的电动轿车行人警示音控制系统的工作过程流程图；

[0043] 图9为本发明所述的电动轿车行人警示音控制系统的背景噪声采样电路；

[0044] 图10为本发明所述的电动轿车行人警示音控制系统的DAC转换和功率放大电路；

[0045] 图11为本发明所述的电动轿车行人警示音控制系统的整体设计方案框图。

具体实施方式

[0046] 下面结合附图对本发明作详细的描述：

[0047] 本发明的宗旨是为了解决电动轿车在低速行驶时过于安静的车外环境使行驶的车辆不易被发现的问题，为减少交通事故，需要添加警示声来提示行人及其他道路使用者及时避让行驶的车辆，保证安全通行。同时本发明还针对不同人群对不同频率段内声音的敏感程度的不同进行警示声的设计并且还引入声品质的概念进行声音的选择，通过声品质的客观心理声学参数计算及主观烦躁度评价选择对应车速下评分最高的声音样本作为电动车对应车速区间内的警示声，并建立客观心理声学参数与主观烦躁度评分值之间的神经网络评价预测模型，模型的预测值与实际评分值具有很高的相关性，将为后续声音的设计选择提供理论指导，从而节约大量的人力与物力。并且本发明所设计的控制系统能够根据不同的车速智能的选择合适的声音样本做为警示声，还具有实时检测背景噪声的能力，可以根据背景噪声量级的不同智能的控制增益电路的放大倍数，保证警示声在提醒行人的同时也不能产生噪声污染。

[0048] 一.本发明所述的电动轿车行人警示音控制方法，所用的设备和计算方法如下：

[0049] 1.所述的声音采集设备为传声器，即为麦克，采用专门的录音软件进行录音；

[0050] 2.所述的滤波器是采用MATLAB设计的fdesign+design带通滤波器，利用MATLAB设计的数字滤波器可以很方便的调用和更改其中的设计参数，可以很方便的选择滤波频段；

[0051] 2.所述的声级计为小野精密声级计；

[0052] 3.所述的评价预测模型是采用GA-BP神经网络建立的评价预测模型：(1) 确定神经网络层数；(2) 确定隐含层数；(3) 确定神经网络拓扑结构；

[0053] 4.所述的控制系统由微处理器MCU、声音播放电路、存储电路(FLASH存储、RAM存储)、CAN总线接口电路及电源电路等组成。

[0054] 二.本发明所述的电动轿车行人警示系统控制方法

[0055] 参阅图1至图9，本发明所述的电动轿车行人警示音设计方法的步骤如下：

[0056] 步骤1：利用声音采集设备采集传统车车外声音信号样本；

[0057] 参阅图2，采集5辆同级别传统车和一辆纯电动车不同工况下车外声音信号，所选择的工况分别为10km/h工况、20km/h工况和30km/h工况；

[0058] 技术方案中所述步骤1中采集传统车车外声音信号样本，具体步骤如下：

[0059] (1) 录制环境选择在半消声室内，采用专业的录音话筒，并通过专业软件进行录音，存储的格式为.wav；

[0060] (2) 录音麦克风的位置参考测量排气噪声的方法，选择在车辆纵向中心线上，以距离车前悬0.5m画圆弧，所画圆弧左右45°弧线上的任一位置，放置麦克风，麦克风的高度参

考加速噪声测量方法,选择0.9m-1.2m的高度范围内,;

[0061] (3) 在半消声室转毂上分别录制五辆传统车和一辆纯电动车的车外噪声信号,录制的噪声信号包括:10km/h工况、20km/h工况和30km/h工况。将录制好的声音截取中间为5s的部分,将截取好的声音信号进行编号记录,以方便后续处理。

[0062] 步骤2:利用滤波器提取车外声音信号特定频段内的声音信号;

[0063] 参阅大量资料及文献的情况下,利用问卷调查的形式收集人们易接受的警示声形式,通过大量的数据分析得出人们更加倾向于类似传统车的声音信号。同时,实验显示不同人群对同一声音样本在不同频率成分的反应是不一样的,结果显示老年人群对600Hz附近的声音更加敏感,具有正常听力人群对2500Hz附近声音的发现能力比较强,而1000Hz附近的声音易对环境造成噪声污染。根据上述所述内容,所提取的声音频率段分别为500-700Hz、900-1100Hz、2400-2600Hz;

[0064] 技术方案中所述步骤2中利用滤波器提取车外声音信号特定频段内的声音信号,具体步骤如下:

[0065] (1) 设计带通滤波器,考虑到采用频率比较高,结合各种滤波器的性能,利用matlab中fdesign+design设计数字滤波器,所设计的滤波器符合设计要求,能够得到很好的效果。滤波器阻带衰减为80dB,通带波纹为3dB。

[0066] (2) 利用所设计的滤波器对采集的所有声音信号进行滤波,需要提取的声音信号的频率区间为500-700Hz、900-1100Hz、2400-2600Hz。并按每辆车在对应车速下滤波后的信号成分进行存储。

[0067] 步骤3:对所提取的声音信号,按不同的比例成分进行合成;

[0068] 根据调查及实验知,不同人群对各频率段声音的敏感程度是不同的,在所采集的传统车声音信号上除去电动车声音信号的成分基础上,将所提取出的特定频段的声音信号按不同的比例与幅值与所得基准声音信号进行合成,得到大量的声音信号样本

[0069] 技术方案中所述步骤3中对所提取的声音信号,按不同的比例成分进行合成,具体步骤如下:

[0070] (1) 由于是在纯电动车上添加警示声,虽然电动车低速行驶时声音很小或者几乎没有声音,但在对其添加警示声的时候仍然应该考虑这个部分的声音成分的影响,也可以称之为背景噪声,因此需要在所采集的传统车原始声音成分中除去电动车对应车速时所采集到的声音成分,得到新的声音样本数据,称之为基准声音信号;

[0071] (2) 在同一款车型的一个车速的基准声音信号上,以0.1、0.2、0.3、0.4、0.5倍将对应车型及车速下滤波所得到的500-700Hz和2400-2600Hz频段内的声音添加到基准声音信号上,并在基准声音信号的基础上减去0.1、0.2、0.3、0.4、0.5倍的900-1100Hz频段内声音信号。

[0072] (3) 经过一系列的声音样本的处理,在每一车速下将得到40个声音样本,总共能够得到120个声音样本信号。

[0073] 步骤4:对所述步骤一和步骤三获取的所有的声音样本在一定声音强度的条件下进行主观评价试验;

[0074] 在评价主体数量上,大多数心理声学的评价试验,20名以上的主观评价者就可以得出比较准确的声学评价结果。基于这个原则,本发明选取30名试验人员作为声品质主观

评价主体,评价主体中男女比例为2.3:1,年龄在24~56岁之间,有驾驶经验的试验评价人员的数量占大多数。经过熟悉试验场所及环境,并讲解试验流程及评审指标的含义等培训后的陪审人员组成评审团对所设计的声音样本进行声品质主观评价,主观评价中以烦躁度等级为评价指标,进行主观评价试验;

[0075] 技术方案中所述步骤4对所获取的所有声音样本在一定声音强度等级的条件下进行主观评价试验,具体步骤如下:

[0076] (1) 选取评审团成员:试验共选取30名评价人员,这些成员由司机、声学专家和多年从事汽车振动与噪声工作的技术人员和学生组成,均具有一定的评价经验,其中男女分别为21人和9人,年龄在24~56岁之间,听力均正常,评价环境为主观评价实验室。

[0077] (2) 确定声品质评价指标:本评价试验以烦躁度等级为评价指标,采用等级评分法对各声音样本进行打分。按照国际标准将声品质烦躁度分为11个等级,如下表1所示。评价者依次听到不同的声音,并根据自己的主观感受分别在打分器上点击相应的数字按钮。

[0078] 表1.主观评价烦躁度等级对照表

[0079]	非常坏	坏	很差	差	不满意	可接受	满意	较好	好	很好	极好
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

[0080] (3) 计算各评价者之间的相关系数:利用等级评分法所得到的评价结果必需进行数据检验,计算各评价者之间的相关系数,以检验数据的有效性。使用SPSS应用统计软件对所有评价者的等级评分结果进行分析,计算出他们两两之间的相关系数,再将每个评价者与其他评价者间的相关系数取算术平均值,求得平均相关系数,如表2中所示黑体部分相关性较低,予以剔除,再将其余评价结果予以平均,即可得主观评价的声品质值。

[0081] 表2.评价者之间评价相关系数

[0082]	评价者	1	2	3	4	5	6	7	8
	相关系数	0.805	0.763	0.821	0.633	0.749	0.779	0.584	0.814
	评价者	9	10	11	12	13	14	15	16
	相关系数	0.790	0.765	0.809	0.619	0.759	0.782	0.831	0.827
	评价者	17	18	19	20	21	22	23	24
	相关系数	0.793	0.605	0.784	0.816	0.807	0.737	0.791	0.761
	评价者	25	26	27	28	29	30		
	相关系数	0.812	0.794	0.817	0.775	0.781	0.802		

[0083] 步骤5:计算声品质客观心理声学参数和A计权声压级;

[0084] 所述的声品质客观心理声学参数包括:响度、粗糙度、尖锐度、抖动度、AI指数,及计算A计权声压级;

[0085] 技术方案中所述步骤5中计算声品质客观心理声学参数和A计权声压级,具体步骤如下:(1) 计算响度:

[0086] 人对声音强弱的主观感觉用响度来描述,响度的大小代表了声音的响亮程度。它是最重要的心理声学客观参数之一,单位为宋(sone)。频率为1kHz的纯音,如果其声压为40dB,那么则其响度为1sone。

$$[0087] \quad N' = 0.08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_0} \right)^{0.28} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} - 1 \right] \quad (1)$$

[0088] 式中: N' 为特征响度,单位是sone, E 为声音激励, E_{TQ} 为绝对听阈下的激励, E_0 为基准声强下的激励;

[0089] 对 N' 在总Bark域上进行积分计算,即可得到总响度 N :

$$[0090] \quad N = \int_0^{24\text{Bark}} N'(z) dz \quad (\text{sone}) \quad (2)$$

[0091] (2) 计算粗糙度

[0092] 粗糙度是声音调制幅度大小、调制频率高低等特征的反映,是表征声音调制程度的参数,单位为asper。利用噪声的调制频率 f_{mod} 和个特征频带内的激励级差 $\Delta L_E(z)$ (也即声音的掩蔽深度)来计算粗糙度,即:

$$[0093] \quad R = 0.3 f_{\text{mod}} \int_0^{24\text{Bark}} \Delta L_E(z) dz \quad (\text{asper}) \quad (3)$$

[0094] 式中, R 表示粗糙度,单位是asper, f_{mod} 是调制频率, $\Delta L_E(z)$ 为声信号激励级的变化量,定义为:

$$[0095] \quad \Delta L_E(z) = 20 \log_{10} \left(\frac{N'_{\max}(z)}{N'_{\min}(z)} \right) \quad (4)$$

[0096] 式中: $N'_{\max}(z)$ 和 $N'_{\min}(z)$ 分别表示特征响度最大值和最小值;

[0097] (3) 计算尖锐度

[0098] 尖锐度反映了声音信号的刺耳程度,通常来说,尖锐度越高声音越刺耳,人们对声音的感觉越烦恼,声品质也越差,其单位是为acum。定义中心频率为1kHz、带宽为160Hz的60dB窄带噪声的尖锐度为1acum。

[0099] 采用Zwicker模型来计算尖锐度 S ,其数学模型以响度模型为基础,数学公式如下:

$$[0100] \quad S = k \frac{\int_0^{24\text{Bark}} N'(z) \cdot z \cdot g(z) dz}{N} \quad (\text{acum}) \quad (5)$$

[0101] 式中, k 是加权系数(k 一般来说取0.11); N 为总响度值; $N'(z)$ 代表 z 号Bark域内的特征响度;在Zwicker的尖锐度计算模型中, $g(z)$ 是声音信号在不同Bark域内的权重系数,其表达式为:

$$[0102] \quad g(z) = \begin{cases} 1 & z \leq 16 \\ 0.0625 \cdot e^{0.1733 \cdot z} & z > 16 \end{cases} \quad (6)$$

[0103] (4) 计算抖动度

[0104] 抖动度是描述人耳对缓慢调制声音的主观感觉,其大小代表了声音响度的起伏度,单位为vacil。对于频率为1kHz的纯音,如果其声压级为60dB,通过4Hz的频率调制、幅值调制率为100%后,那么其抖动度为1vacil。

[0105] Zwicker抖动度计算模型为:

$$[0106] \quad F = 0.008 \frac{\int_0^{245 \text{ark}} \Delta L_E(z) dz}{\left(f_{\text{mod}}/f_0\right) + \left(f_0/f_{\text{mod}}\right)} \quad (\text{vacil}) \quad (7)$$

[0107] 其中,F为抖动度, f_0 代表调制基频(f_0 取4Hz); f_{mod} 、 $\Delta L_E(z)$ 的定义和计算与粗糙度相同。

[0108] (5) 语言清晰度

[0109] 语音清晰度指数用来确定语音干扰程度,也叫AI指数(articulation index),反映了由于噪声原因导致交谈时语音清晰程度发生变化的参数。

[0110] 语言清晰度计算模型为:

$$[0111] \quad AI = \sum \frac{W(f)D(f)}{30} \quad (8)$$

$$[0112] \quad \begin{cases} D(f) = 0, & N(f) > UL(f) \\ D(f) = UL(f) - N(f), & LL(f) < N(f) < UL(f) \\ D(f) = 30, & N(f) < LL(f) \end{cases} \quad (9)$$

[0113] 式中, $W(f)$ 为计权系数, $N(f)$ 为背景噪声上线,其表达式为 $UL(f) = H(f) + 12\text{dB}$, $LL(f)$ 为背景噪声下线,其表达式为 $LL(f) = UL(f) - 30\text{dB}$ 。

[0114] (6) A计权声压级

[0115] A声级被定义为用声级计或用与此等效的测量仪器,经过A计权网络测量的声音信号的噪声等级,单位用dB(A)表示,所选用的部分客观心理声学参数值及主观评价得分值如下表3所示。

[0116] 表3样本主客观结果

[0117]

样本	响度/sone	粗糙度/asper	尖锐度/acum	抖动度/vacil	AI 指数/%	A 声级/dB(A)	主观评价
1	23.5	1.81	0.684	0.0557	0.688	73.5;	8.82
2	25.1	1.909	0.76	0.0554	0.621	75.2;	8.35
3	18.2	1.589	0.891	0.0524	0.678	74.3;	8.75
4	20.1	1.68	1.11	0.0544	0.618	76.7;	8.12
5	22.4	1.73	1.17	0.0597	0.623	75.5;	7.98
6	24.6	1.82	1.47	0.0598	0.613	77.3;	7.41
7	26.1	2.14	1.43	0.0586	0.586	78.3;	7.28
8	27.1	2.68	1.54	0.0783	0.417	79.6;	6.69
9	29.4	2.74	1.59	0.068	0.396	80.1;	6.46
10	16.4	0.513	0.707	0.0519	0.936	60.5;	9.15
11	18.6	0.604	0.804	0.0528	0.912	62.8;	8.74
...		...	...	...	...	...	...
113	27.2	2.5	1.73	0.0175	0.525	79.4	7.08
114	13.8	1.196	1.77	0.0305	0.885	65;	8.64
115	15.3	1.272	1.58	0.042	0.848	69;	7.99
116	16.4	1.359	1.51	0.0428	0.827	70.3;	8.26
117	20.6	1.85	0.99	0.0248	0.738	76.9;	7.64
118	28.9	2.53	1.39	0.00865	0.515	80.4;	6.98
119	21.1	1.72	0.969	0.0465	0.725	77.8;	7.76

[0118]

120	23.7	1.94	1.11	0.00999	0.714	78.4;	7.28
-----	------	------	------	---------	-------	-------	------

[0119] 步骤6:对各组中评分最高声音信号进行车外声场分析,并判断是否达到声场覆盖范围和强度的要求;

[0120] 参阅图3,图中黑色圆点为测量声压级所用的小野精密声级计的位置,在半消室内进行车外声场分析,主要分析车前部轴线两侧45度角范围内声场的覆盖范围和声音强度的变化情况;并判断在保证行人安全距离的可听范围内声场是否达到覆盖要求,如果没有达到要求则应返回步骤4调整声音的基准强度;

[0121] 技术方案中所述步骤6中对各组中评分最高声音信号进行车外声场分析,具体步骤如下:

[0122] (1) 根据汽车制动过程,从驾驶员看见行人的反应时间到汽车完全制动,这段时间内汽车所行的距离应为所需的最低安全距离S,根据汽车制动时制动距离计算公式,计算最低安全距离S:

$$[0123] \quad S = \tau_1 u_{a0} + \frac{1}{3.6} \left(\tau'_2 + \frac{\tau''_2}{2} \right) u_{a0} + \frac{u_{a0}^2}{25.92 a_{bmax}} \quad (10)$$

[0124] 式中,S表示制动距离, τ_1 表示驾驶员反应时间,一般取0.3~1.0s, $\tau_2'+\tau_2''$ 称为制动器作用时间, u_{a0} 为初始车速,此处计算时取30km/h, a_{bmax} 为最大制动减速度。

[0125] (2) 将3组声音样本中主观评价得分最高的三个声音样本利用电动车在半消声室内进行播放,播放时将喇叭放置于类似于传动车发动机的位置;

[0126] (3) 用声级计测量车前方轴线左右45°角以最低安全距离S为半径所画弧线上任意一点处的A计权声压级,并做记录;

[0127] (4) 在相同位置测量任意一同级别传统车在S距离处的A计权声压级,并记录这些点处的A计权声压级;

[0128] (5) 比较(3)、(4)中两次测量的A声级差值,如果差值过大应返回步骤4调整基准声压强度,直到两者差别不大时,则表示所选声音能达到同等传统车车外声音的水平,也就具有良好的警示行人的作用;

[0129] 步骤7:建立神经网络评价预测模型;

[0130] 参阅图4,根据步骤4的主观评价所得分值和步骤5计算得到的客观心理声学参数值,建立用遗传算法优化过的BP神经网络声品质评价预测模型,神经网络的拓扑结构为6-11-1,图4中1-隐含层神经元1,2-隐含层神经元2,j-隐含层神经元j,11-隐含层神经元11, w_{ij}^1 -输入层到隐含层的连接权值, w_{kj}^2 -隐含层到输出层的连接权值;

[0131] 技术方案中所述步骤7中建立神经网络评价预测模型,具体步骤如下:

[0132] (1) 确定神经网络拓扑结构,经多次训练选择隐含层神经元数为11,即其结构为6-11-1,确定遗传算法中的相关参数值,利用遗传算法来优化BP神经网络,建立GA-BP神经网络模型;

[0133] (2) 将120个声音样本中的104个样本做为训练样本,剩下的16个声音样本做为检验样本,训练完毕后所得检测结果和实际评分结果的相关性达到96.3%,证明所建立网络的准确性,可用于预测后续声音样本的主观评价得分,图5为预测值与实际评分值之间的误差百分比,图6表示预测值与实际评分值之间的相关性,所建立的GA-BP神经网络评价预测模型的权值和阈值如下表4所示;

[0134] 表4GA-BP评价预测模型的权值和阈值

[0135]

神经元	输入变量						权重	神经元	主观评价
	响度	粗糙度	尖锐度	抖动度	AI 指数	A 声级			
	1	0.4275	-1.6422	0.8099	-0.4260	0.1397			
2	0.5314	-0.8587	0.1104	-0.6471	-1.1586	-1.2393	-1.7031	2	-0.1828
3	-1.0752	0.1295	-0.4884	-0.924	0.8378	-1.0812	1.2747	3	0.0288
4	0.5795	-0.6497	-1.303	1.2463	-0.567	0.0732	-0.6886	4	-0.0649
5	0.5994	-1.247	-1.2438	-0.5624	-0.7233	0.0672	-0.4465	5	0.0016
6	1.0699	1.068	0.0636	1.3338	-0.2605	0.3235	0.0314	6	0.0157
7	0.3149	-0.8867	-1.0806	0.2682	-0.8538	-0.8794	0.2404	7	0.1556
8	0.6459	0.2586	-0.968	-0.3673	-1.1504	1.1795	0.8713	8	-0.0233
9	-0.1008	0.6758	-1.184	-0.1126	-0.7099	-1.4146	-1.2489	9	0.1004
10	-0.7915	-0.8229	-0.968	-1.215	-0.2824	-0.4171	-1.8087	10	-0.0108
11	-0.9094	0.8166	0.8448	0.687	0.6282	-0.9777	-2.1405	11	0.4657
								阈值	0.8219

[0136] 步骤8:根据控制方案建立智能化的控制系统;

[0137] 参阅图7,根据车辆实际行驶工况确定控制系统设计方案,即当车速低于30km/h时

系统处于开启状态,当车速超过30km/h时,系统自动处于关闭状态,倒车时系统处于开启状态。并且,系统能够根据车速范围智能的选择所要播放的声音样本,同时还可以根据背景噪声强度的不同智能的控制增益电路的放大倍数;

[0138] 在确定了所选取的声音之后,结合附图7和图8对控制系统的具体工作过程做进一步的说明。如图7为系统的硬件组成部分,MCU接受来自CAN总线所提供的车辆状态信息,MCU根据车辆的车辆的运行状态,当车速低于30km/h,将自动开启系统,并根据具体车速选择FLASH和RAM中存储的声音样本,同时MCU根据背景噪声测量传感器所测量的背景噪声决定放大电路-6的增益状况。所有模块均由电源电路-9进行电压的分配。整个工作过程如图8所示,即MCU依据CAN总线收发器和车内CAN总线所提供的车辆运行状况,从存储器FLASH和RAM中选择合适的声音样本,依据背景噪声测量传感器所获得的道路环境噪声强度状况,由MCU来选择合适的增益倍数来传输给放大电路对声音强度进行增益,然后再通过声音播放电路中的D/A转换器、放大电路、扬声器进行声音的播放,以达到警示行人的作用。

[0139] 技术方案中所述步骤8中根据控制方案建立智能化的电动轿车行人警示音控制系统,具体步骤如下:

[0140] (1) 纯电动/混合动力汽车车载智能化行人警示控制系统由微处理器MCU、声音播放电路、存储电路、CAN总线接口电路及电源电路等组成,如图7至图10所示,电源电路为整个控制系统供电,存储电路、声音播放电路、CAN总线接口电路分别与微处理器MCU连接;存储电路包括FLASH存储芯片及RAM存储芯片;声音播放电路包括依次连接的D/A转换器、放大电路及扬声器,D/A转换器与微处理器MCU连接。

[0141] 其中:

[0142] 1) 微处理器MCU采用TMS320F28xx系列DSP,通过CAN总线获得车辆车速及行驶状况及通过背景噪声测量传感器获取行驶环境中的背景噪声,依据背景噪声的大小智能的控制放大电路的增益倍数,然后智能的选择存储电路中的声音样本并通过声音播放电路进行播放;

[0143] 2) 声音播放电路:包括D/A转换器、放大电路(增益可调)、扬声器,负责播放DSP筛选的声音样本;

[0144] 3) 存储电路:采用FLASH存储芯片外扩程序空间,负责存储筛选出的评分最高的声音数据,采用RAM存储芯片外扩数据存储空间,负责DSP所选取的声音数据的暂存以及播放声音数据的存储;

[0145] 4) CAN总线接口:采用CAN总线收发器,与车辆CAN总线接口实现电平转换,由DSP读取车速或电机转速(混合动力汽车还需读取驱动方式)信息,来判断是否需要开启智能化行人警示系统,当系统启动时,将根据车辆运行状况来智能的选择所要播放的声音;

[0146] 5) 背景噪声测量电路:采用噪声测量传感器对车辆所处的环境噪声进行测量,并将测量结果提供给DSP,以控制声音播放电路中放大电路的增益幅度;

[0147] 6) 电源电路:采用DC/DC直流电源芯片,为系统各芯片提供不同电压。

[0148] (2) 参阅图8,DSP利用与车辆CAN总线接口电路读取车辆的状态信息,利用背景噪声测量传感器所测量的背景噪声的大小,结合事先存储在存储器中的各类声音样本,通过D/A转换器输出模拟音频信号,经放大电路由扬声器输出,从而智能地选择声音样本和增益大小,能够实现通过所播放声音样本的不同及声音增益的不同来实时的表达车辆的运行状

况；

[0149] (3) 建立车速与声音信号时域之间的线性关系,即通过CAN总线读取车速信号,当车速低于10km/h时,DSP智能的选取10km/h评分最高的声音样本进行播放,车速在10km/h-20km/h之间时,DSP智能的选取存储的20km/h评分最高的声音样本进行播放,车速在20km/h-30km/h之间时,DSP智能的选取存储的30km/h存储的声音样本进行播放。倒车时,DSP播放存储的30km/h时的声音样本；

[0150] (4) 利用背景噪声测量传感器所测量的背景噪声,根据背景噪声等级的不同智能的选择放大电路中增益的等级。将背景噪声分为三个等级,分别为小于55dB,55dB到65dB和大于65dB,根据不同的背景噪声等级,车载智能化行人警示系统将选择不同的增益倍数,以达到在任何环境条件下不仅能够警示行人及时避让行驶车辆的目的,以减少交通事故的发生,直接降低对行人的危害,同时还能够使所发出的声音不会成为环境噪声,也间接的减少了对人们身心健康的损害,此功能是通过如图7中的MCU、背景噪声测量传感器、放大电路来实现的。

[0151] 步骤9:对建立好的系统进行实车试验。

[0152] 当整个系统建立完毕以后应对所建立的系统进行实车实验,来验证系统的有效性和可靠性,实车实验的内容包括:行驶发现实验、转弯感知实验、倒车实验和道路实验。

[0153] 技术方案中所述步骤9中对建立好的系统进行实车试验,具体步骤如下:

[0154] 当整个系统建立完毕以后应对所建立的系统进行实车试验,来验证系统的有效性和可靠性,实车试验的内容包括:行驶发现试验、转弯感知试验、倒车试验和道路试验。

[0155] (1) 行驶发现试验是为验证声音方向的可辨别性,此试验在专门的试验场上进行,试验人员通过声音来判断汽车是由哪个方向行驶来;

[0156] (2) 转弯感知试验是试验人员通过声音来判断车辆在路口是继续直线行驶还是转弯行驶,此试验也是在专门的试验场上进行;

[0157] (3) 倒车试验是试验人员通过声音来判断车辆是向前行驶还是向后倒车行驶,次试验在专门的试验场地上进行;

[0158] (4) 道路试验是验证装有次智能化行人警示系统的车辆在正常道路行驶时被行人发现的可能性,此试验是在道路工况比较复杂的街区进行,车内有专门的人员来观测并记录车外行人的表现情况。试验中共记录87位行人,其中有72位能够准确的意识到车辆并进行了避让,识别率达到了82.7%,证明了所设计系统的可行性。

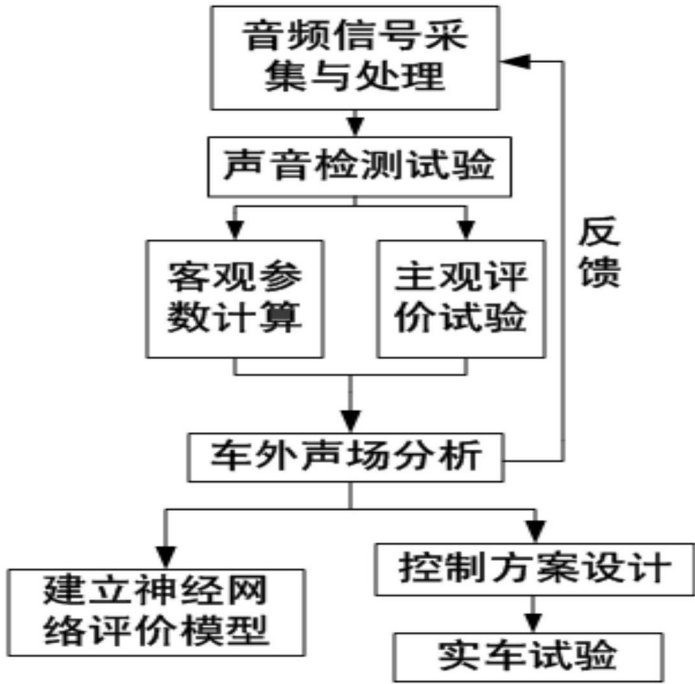


图1

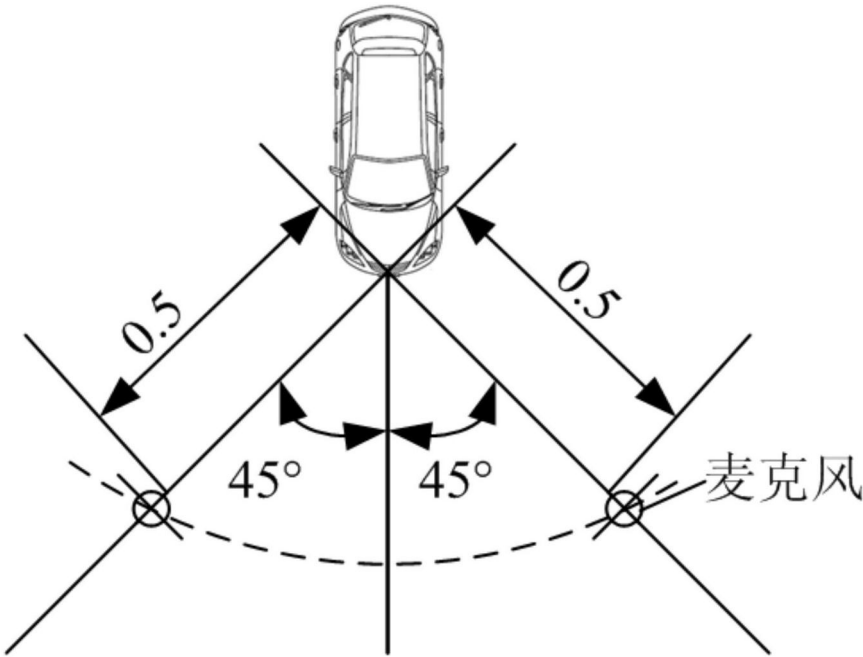


图2

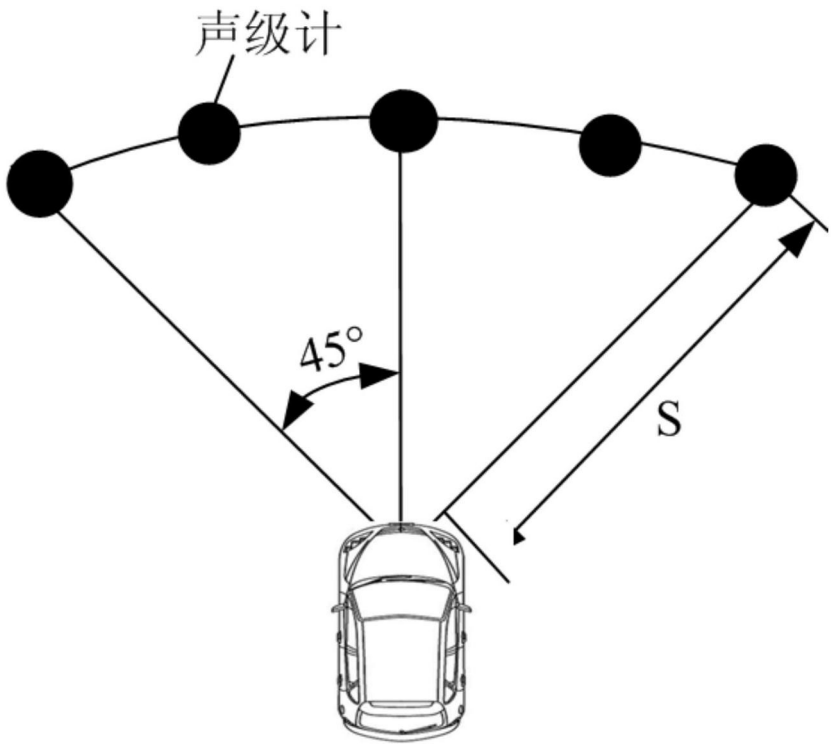


图3

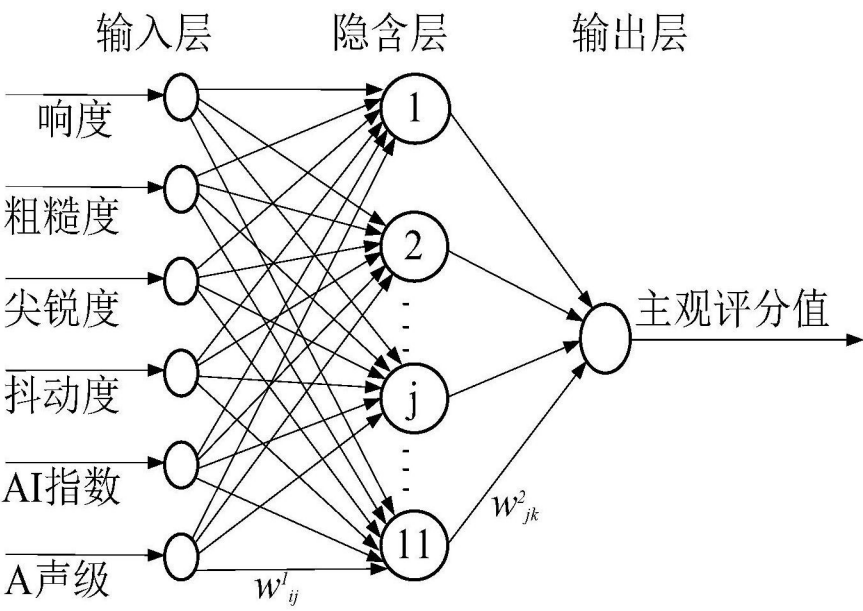


图4

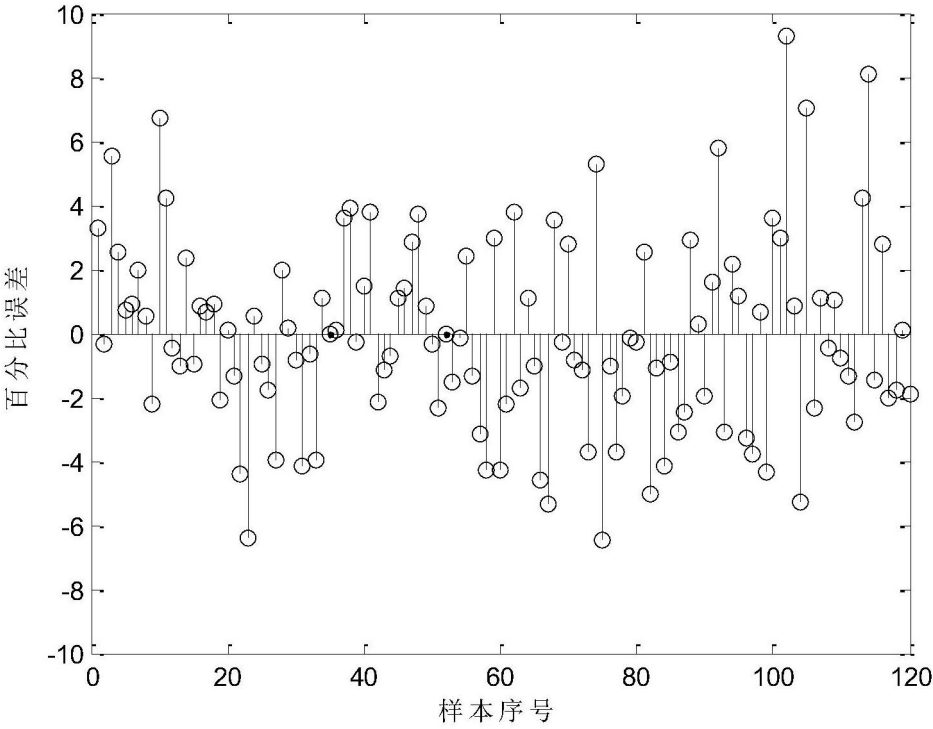


图5

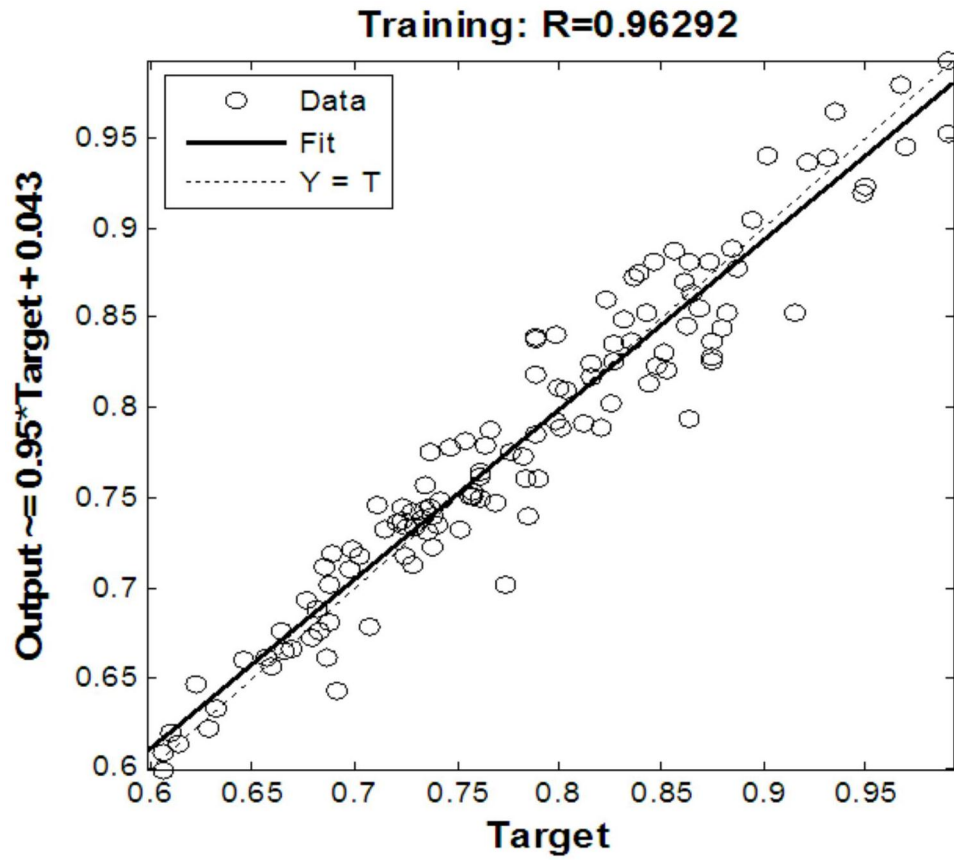


图6

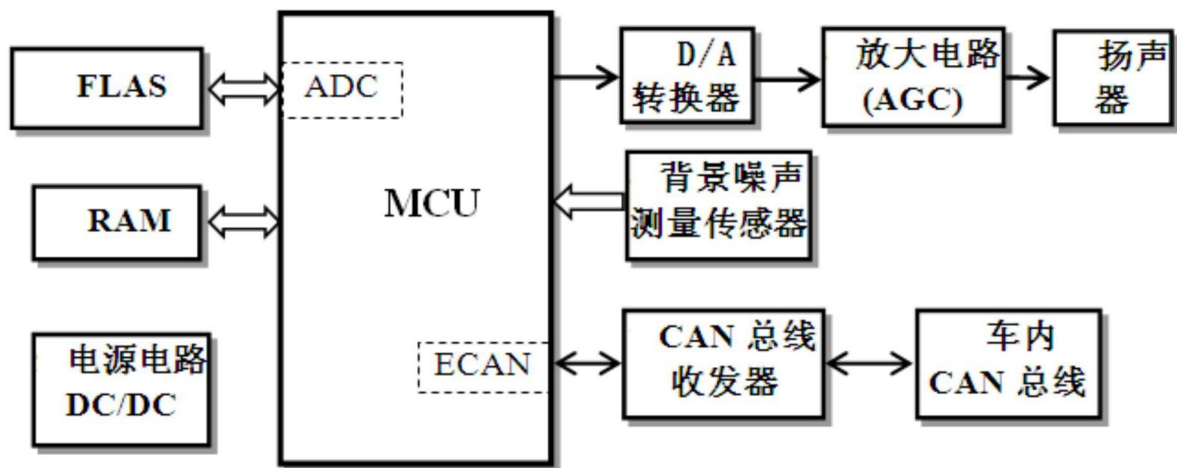


图7

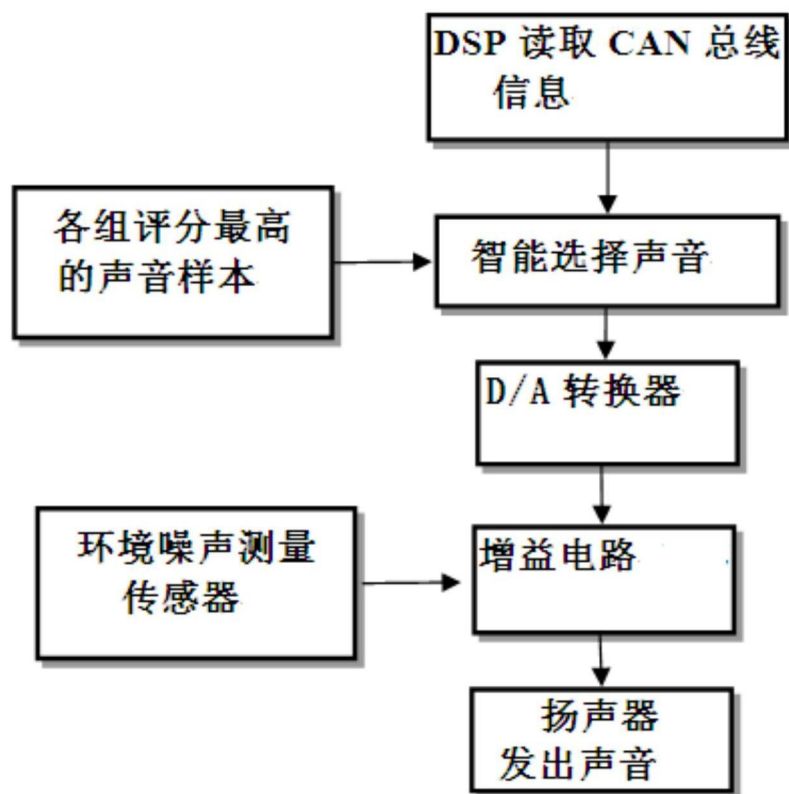


图8

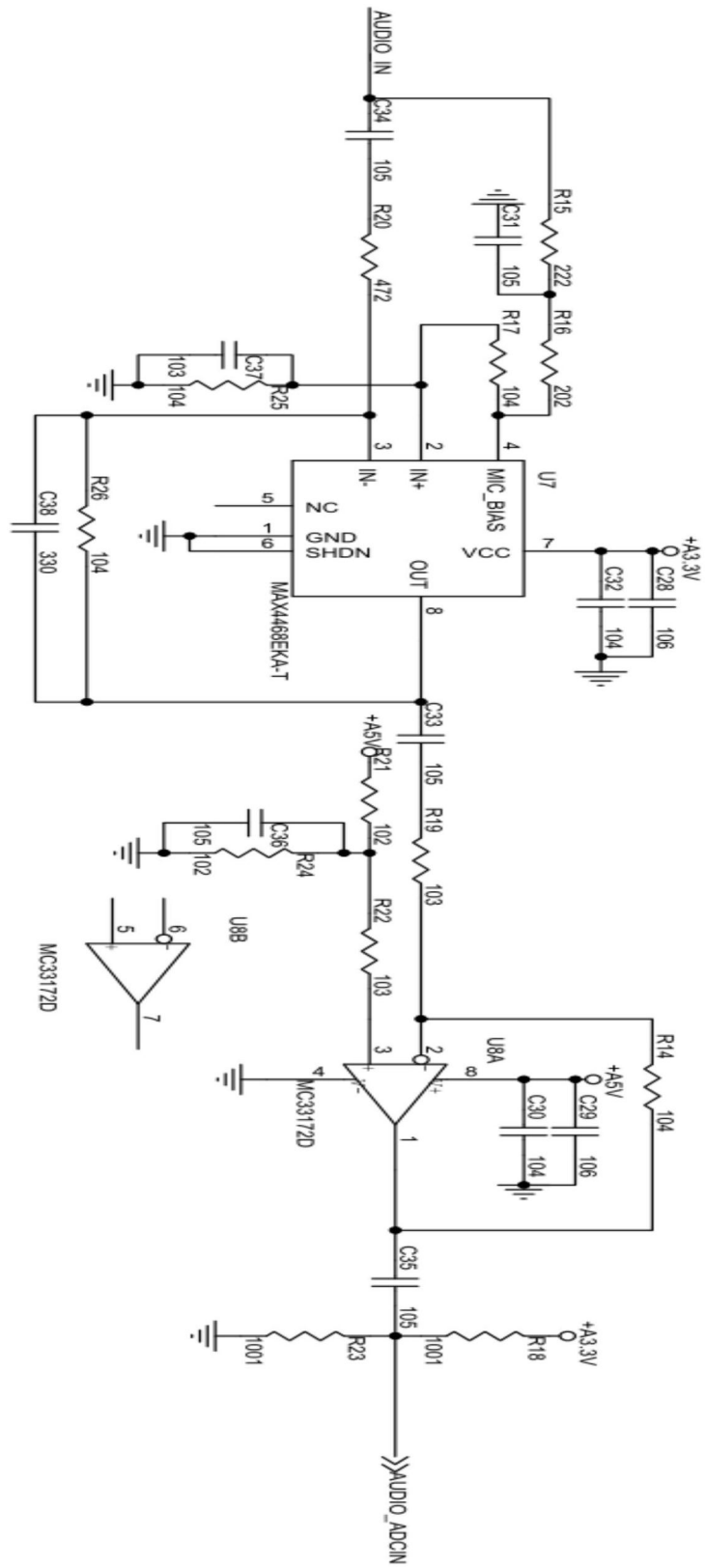


图9



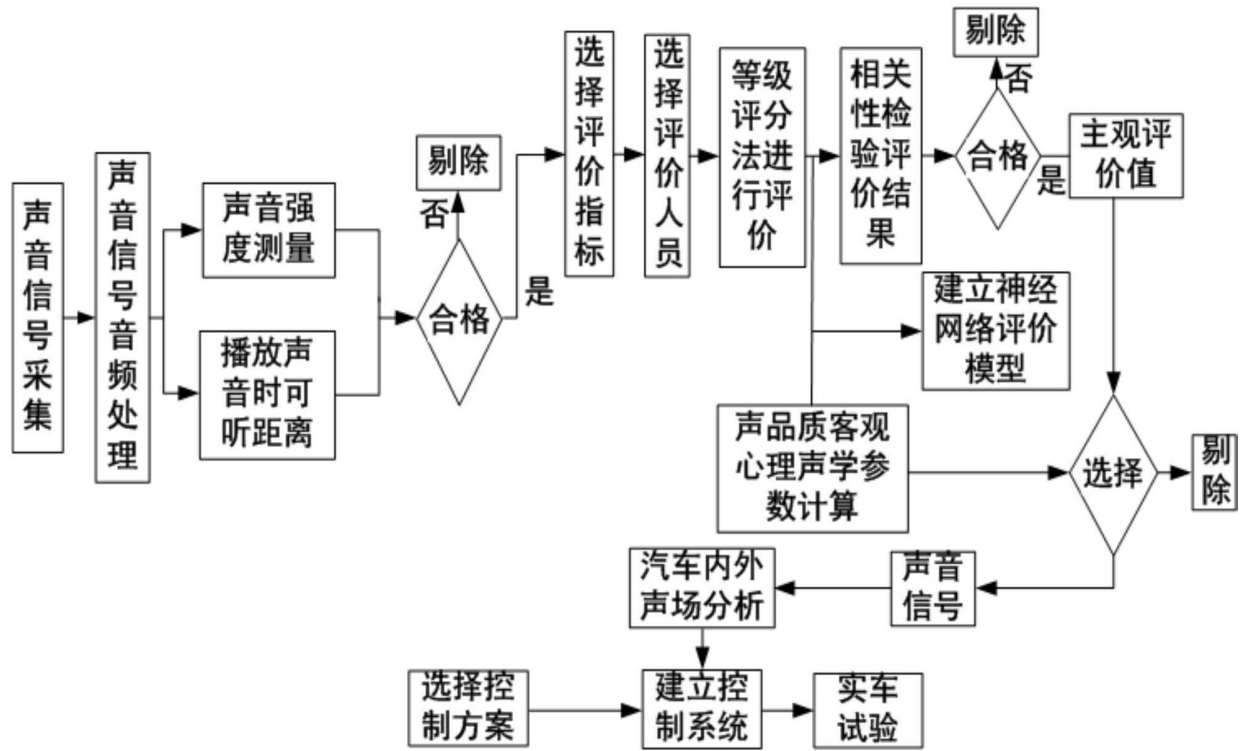


图11