



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106089361 A

(43)申请公布日 2016. 11. 09

(21)申请号 201610511934.0

(22)申请日 2016.06.30

(71)申请人 重庆长安汽车股份有限公司
地址 400023 重庆市江北区建新东路260号

(72)发明人 王辉 杨宪武 徐小敏 李宏成
王兰军 唐禹

(74)专利代理机构 重庆华科专利事务所 50123
代理人 康海燕

(51)Int.Cl.
F01N 1/06(2006.01)

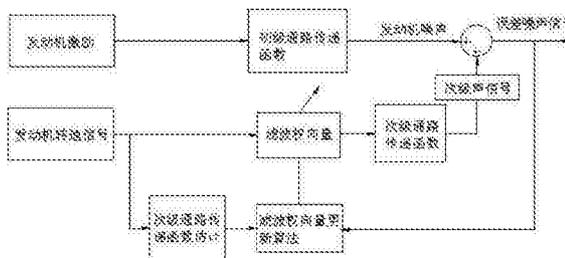
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种车内发动机主动降噪系统及方法

(57)摘要

本发明涉及一种车内发动机主动降噪系统，其包括两个误差麦克风、五个次级声源扬声器和一个自适应主动控制器，所述两个误差麦克风分别布置在汽车前、后排对应的车顶棚位置；所述五个次级声源扬声器由四个车门侧的车载音响和一个布置在后排隔板处的次级声源构成；所述自适应主动控制器包括DSP主控芯片、音频解码芯片、片外存储单元、CAN总线控制器、功率放大器、误差麦克风信号接收模块、次级声源输出模块和电源模块。本发明还涉及一种车内发动机主动降噪方法。本发明使主动降噪中的误差噪声信号在不断的降噪控制中达到极小值，使误差噪声信号带来的噪音影响基本可以忽略不计，能够快速达到预期的降噪效果。



1. 一种车内发动机主动降噪系统,其特征在於:包括两个误差麦克风、五个次级声源扬声器和一个自适应主动控制器,所述两个误差麦克风分别布置在汽车前、后排对应的车顶棚位置;所述五个次级声源扬声器由四个车门侧的车载音响和一个布置在后排隔板处的次级声源构成;所述自适应主动控制器包括DSP主控芯片、音频解码芯片、片外存储单元、CAN总线控制器、功率放大器、误差麦克风信号接收模块、次级声源输出模块和电源模块;

所述误差麦克风通过误差麦克风信号接收模块与音频解码芯片连接,误差麦克风实时采集发动机噪声与次级声源扬声器发出的噪声相叠加后的误差噪声,音频解码芯片将误差噪声解码;

所述DSP主控芯片分别连接音频解码芯片、片外存储单元和CAN总线控制器,DSP主控芯片获取来自音频解码芯片的误差噪声信号和通过CAN总线控制器采集CAN总线上发动机实时的转速信号;DSP主控芯片内置自适应滤波器,其通过自适应滤波模块的滤波权向量与发动机的转速信号的计算,输出次级声信号;

所述次级声源输出模块通过功率放大器与次级声源扬声器连接,次级声源输出模块接收来自DSP主控芯片的次级声信号,并对该次级声信号进行D/A转换和抗混叠滤波处理后输出至功率放大器,功率放大器对该次级声信号进行功率放大后通过次级声源扬声器输出。

2. 一种车内发动机主动降噪方法,其特征在於,包括:

步骤a、通过车内声场特性与声压声势能分析,将误差麦克风及次级声源扬声器布置在车内;

步骤b、采集发动机实时的转速信号,并将该信号输送至一自适应主动控制器;

步骤c、自适应主动控制器通过滤波权向量和发动机的转速信号计算次级声信号;

步骤d、通过次级声源扬声器输出次级声信号从而发出噪声;

步骤e、误差麦克风实时采集发动机噪声与次级声源扬声器发出的噪声相叠加后的误差噪声;

步骤f、自适应主动控制器根据步骤e中的误差噪声更新计算滤波权向量,返回步骤b直至降噪结束。

3. 根据权利要求2所述的一种车内发动机主动降噪方法,其特征在於:

定义车内发动机低频噪声为 $d(n)$,次级声源扬声器输出信号为 $y(n)$,则车内发动机低频噪声与次级声源扬声器输出噪声的差值噪声 $e(n)=d(n)-y(n)$;

定义次级声源扬声器到误差麦克风之间的次级通路传递函数为 $s(n)$,通过声传函测试设备对次级通路传递函数进行测试估计,并定义测试估计出的次级通路传递函数为 $\hat{s}(n)$;

定义发动机转速参考信号为向量 $X(n)$, $X(n)$ 由经过滤波器逐阶时延的各项 $x(n),x(n-1),\dots,x(n-M+1)$ 组成, $x(n)$ 为发动机转速参考信号;

定义一个与次级通路传递函数相同的附加通路来更新计算滤波权向量,则滤波信号向量 $R(n)=X(n)\hat{s}(n)$;

定义发动机转速参考信号到次级声信号的滤波权向量为 $W(n)$,设滤波器的长度为 M ,第 n 时刻滤波器的权向量 $W(n)=[\omega_1(n),\omega_2(n),\dots,\omega_M(n)]^T$,第 n 时刻滤波器的参考输入信号的矢量 $R(n)=[r(n),r(n-1),\dots,r(n-M+1)]^T$,其中, $M-1$ 为滤波阶数,其中, $r(n)$ 为第 n 个采样周期得到的参考输入信号, $r(n-1)$ 为第 $n-1$ 个采样周期得到的滤波参考信号,其余类

推;计算

$$y(n) = \sum_{i=1}^M \omega_i(n)r(n-M+1) = W^T(n)R(n) = R^T(n)W(n)$$

定义更新后的滤波权向量为 $W(n+1)$,则有公式①: $\delta W(n+1) = W(n+1) - W(n)$,使式①所示增量的欧式范数最小化,并受制于约束条件公式②: $W^T(n+1)R(n) = d(n)$;

取目标函数公式③:

$$(W(n+1) - W(n)) + \text{Re}[\lambda^*(d(n) - W^T(n+1)r(n))],$$

其中: λ 为复数拉格朗日乘子,*表示复数共轭。 $\text{Re}[\cdot]$ 表示取实部运算, $\|\delta W(n+1)\|^2$ 表示欧式范数的平方运算;令 $\frac{\partial J(n)}{\partial W(n+1)} = 0$,由最优解得到更新后的滤波权向量 $W(n+1)$ 的迭代更新公式④:

$$W(n+1) = W(n) + \frac{\mu}{\|R(n)\|^2} \cdot r(n)e^*(n),$$

其中: $W(n)$ 为前一时刻的滤波权向量, $R(n)$ 为发动机转速参考信号向量, $e^*(n)$ 为误差噪声信号的复数共轭, $\|R(n)\|^2$ 表示欧式范数的平方运算, μ 为正实数标量因子。

4. 根据权利要求2或3所述的一种车内发动机主动降噪方法,其特征在于:在汽车前、后排对应的车顶棚位置各布置一个误差麦克风;所述次级声源扬声器由四个车载音响和一个扬声器构成,所述四个车载音响位于车门侧,所述扬声器位于后排隔板处。

一种车内发动机主动降噪系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车降噪技术,具体是一种车内发动机主动降噪系统及方法。

背景技术

[0002] 目前汽车车内的噪声控制主要采用的是传统的通过隔声、隔振、消声、吸声等被动降噪技术进行降噪,这些技术对降低车内中、高频噪声效果明显,但对于低频噪声就不甚理想。而主动降噪技术由于其能有效地降低低频噪声的特点,受到了人们的重视,在降低低频噪声中逐渐被应用。主动降噪原理是通过一个电声系统,产生一个与源噪声极性反相、强度相等的新声源信号,用该信号与源噪声信号叠加,实现源噪声的抵消。

[0003] 如CN 102982798 B公开的一种发电机的降噪系统,包括发电机,所述发电机的电路中设有电信号采集单元,电信号采集单元通过信号线束依次连接信号转换装置、电子控制单元和声音输出设备,发电机运转时,电信号采集单元采集发电机的电信号,并将发电机的电信号发送至信号转换装置,信号转换装置将电信号采集单元传输的电信号转换为发电机的转速信号,并将发电机的转速信号发送至电子控制单元,电子控制单元可以输出控制信号驱动声音输出设备发出声波,所述声波与发电机实时转速对应的噪声相位相反、振幅相同,这样发电机产生的声波与声音输出设备发出的反相声波相抵消,进而降低发电机运转时产生的噪声。

[0004] 上述专利提出的降噪系统虽然公开了实现主动降噪的系统框架,但声音输出设备发出的声波传递至车内乘员耳中的通路涉及到车体结构、空气流态等因素,因此上述专利的声波在理想条件下才能与发电机实时转速对应的噪声相位相反、振幅相同。而实际上,由于声波在车内的通路涉及参数繁多,无法准确定量计算,因而声音输出设备发出的声波与发电机实时转速对应的噪声存在相位差,无法完全抵消,导致降噪效果不理想。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种车内发动机主动降噪系统及方法,其能够解决现有技术中主动降噪效果不理想的问题。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种车内发动机主动降噪系统,其包括两个误差麦克风、五个次级声源扬声器和一个自适应主动控制器,所述两个误差麦克风分别布置在汽车前、后排对应的车顶棚位置;所述五个次级声源扬声器由四个车门侧的车载音响和一个布置在后排隔板处的次级声源构成;所述自适应主动控制器包括DSP主控芯片、音频解码芯片、片外存储单元、CAN总线控制器、功率放大器、误差麦克风信号接收模块、次级声源输出模块和电源模块。所述误差麦克风通过误差麦克风信号接收模块与音频解码芯片连接,误差麦克风实时采集发动机噪声与次级声源扬声器发出的噪声相叠加后的误差噪声,音频解码芯片将误差噪声解码。所述DSP主控芯片分别连接音频解码芯片、片外存储单元和CAN总线控制器,DSP主控芯片获取来自音频解码芯片的误差噪声信号和通过CAN总线控制器采集CAN总线上发动机实时的转速

信号;DSP主控芯片内置自适应滤波器,其通过自适应滤波模块的滤波权向量与发动机的转速信号的计算,输出次级声信号。所述次级声源输出模块通过功率放大器与次级声源扬声器连接,次级声源输出模块接收来自DSP主控芯片的次级声信号,并对该次级声信号进行D/A转换和抗混叠滤波处理后输出至功率放大器,功率放大器对该次级声信号进行功率放大后通过次级声源扬声器输出。

[0008] 一种车内发动机主动降噪方法,其包括:

[0009] 步骤a、通过车内声场特性与声压声势能分析,将误差麦克风及次级声源扬声器布置在车内。

[0010] 步骤b、采集发动机实时的转速信号,并将该信号输送至一自适应主动控制器。

[0011] 步骤c、自适应主动控制器通过滤波权向量和发动机的转速信号计算次级声信号。

[0012] 步骤d、通过次级声源扬声器输出次级声信号从而发出噪声。

[0013] 步骤e、误差麦克风实时采集发动机噪声与次级声源扬声器发出的噪声相叠加后的误差噪声。

[0014] 步骤f、自适应主动控制器根据步骤e中的误差噪声更新计算滤波权向量,返回步骤b直至降噪结束。

[0015] 进一步的,定义车内发动机低频噪声为 $d(n)$,次级声源扬声器输出信号为 $y(n)$,则车内发动机低频噪声与次级声源扬声器输出噪声的差值噪声 $e(n)=d(n)-y(n)$ 。

[0016] 定义次级声源扬声器到误差麦克风之间的次级通路传递函数为 $s(n)$,通过声传函测试设备对次级通路传递函数进行测试估计,并定义测试估计出的次级通路传递函数为 $\hat{s}(n)$ 。

[0017] 定义发动机转速参考信号为向量 $X(n)$, $X(n)$ 由经过滤波器逐阶时延的各项 $x(n),x(n-1),\dots,x(n-M+1)$ 组成, $x(n)$ 为发动机转速参考信号。

[0018] 定义一个与次级通路传递函数相同的附加通路来更新计算滤波权向量,则滤波信号向量 $R(n)=X(n)\hat{s}(n)$ 。

[0019] 定义发动机转速参考信号到次级声信号的滤波权向量为 $W(n)$,设滤波器的长度为 M ,第 n 时刻滤波器的权向量 $W(n)=[\omega_1(n),\omega_2(n),\dots,\omega_M(n)]^T$,第 n 时刻滤波器的参考输入信号的矢量 $R(n)=[r(n),r(n-1),\dots,r(n-M+1)]^T$,其中, $M-1$ 为滤波阶数,其中, $r(n)$ 为第 n 个采样周期得到的参考输入信号, $r(n-1)$ 为第 $n-1$ 个采样周期得到的滤波参考信号,其余类推;计算

$$[0020] \quad y(n) = \sum_{i=1}^M \omega_i(n)r(n-M+1) = W^T(n)R(n) = R^T(n)W(n)$$

[0021] 定义更新后的滤波权向量为 $W(n+1)$,则有公式①: $\delta W(n+1)=W(n+1)-W(n)$,使式①所示增量的欧式范数最小化,并受制于约束条件公式②: $W^T(n+1)R(n)=d(n)$ 。

[0022] 取目标函数公式③:

$$[0023] \quad (W(n+1)-W(n))+\text{Re}[\lambda*(d(n)-W^T(n+1)r(n))]$$

[0024] 其中: λ 为复数拉格朗日乘子,*表示复数共轭。 $\text{Re}[\cdot]$ 表示取实部运算, $\|\delta W(n+1)\|^2$ 表示欧式范数的平方运算;令 $\frac{\partial J(n)}{\partial W(n+1)}=0$,由最优解得到更新后的滤波权向量 $W(n+1)$ 的

迭代更新公式④：

$$[0025] \quad W(n+1) = W(n) + \frac{\mu}{\|R(n)\|^2} \cdot r(n)e^*(n),$$

[0026] 其中： $W(n)$ 为前一时刻的滤波权向量， $R(n)$ 为发动机转速参考信号向量， $e^*(n)$ 为误差噪声信号的复数共轭， $\|R(n)\|^2$ 表示欧式范数的平方运算， μ 为正实数标量因子。

[0027] 进一步的，在汽车前、后排对应的车顶棚位置各布置一个误差麦克风；所述次级声源扬声器由四个车载音响和一个扬声器构成，所述四个车载音响位于车门侧，所述扬声器位于后排隔板处。

[0028] 本发明的系统基于自适应滤波计算，在现有技术的基础上，通过车内声场特性与声压声势能分析，确定误差麦克风及次级声源扬声器的最优降噪布置。自适应主动控制器通过误差麦克风获得当前的降噪效果情况，引入误差噪声，构成一个闭环控制系统，更新滤波权向量算法，调节滤波器的传递函数，使误差噪声信号在不断的降噪控制中达到极小值，使误差噪声信号带来的噪音影响基本可以忽略不计，能够快速达到预期的降噪效果。

[0029] 本发明的方法采集发动机的实时转速信号，并经过自适应主动控制器滤波及次级声源扬声器输出，产生与发动机噪声等幅反向的次级声信号，与车内发动机噪声进行叠加抵消。误差麦克风采集的信号持续反馈给自适应主动控制器，实现滤波权向量的更新，增强降噪效果。本方法通过使用更稳定有效的归一化最小均方滤波算法，提高主动降噪方法的收敛速度和稳定性。

[0030] 本发明可实现怠速及低速匀速行驶工况下车内主动降噪，达到车内低频声音3~5dB的降噪效果，其能够在传统被动降噪技术降低高频噪声的基础上，进一步降低车内发动机低频噪声。

附图说明

[0031] 图1为本发明的方法控制原理图。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的描述。

[0033] 由杨氏干涉理论声场的线性叠加原理可知，当频率相同，相位差恒定的声波，叠加后会产生相加性或相消性干涉，从而使声能得到增强或减弱。大多数发动机引起的低频噪声的主要频率直接与发动机自身转速相关，因此可通过采集发动机转速特征来产生与发动机噪声频率相同、幅值相等、相位相反的声波，与发动机低频噪声相抵消。

[0034] 一种车内发动机主动降噪系统，其包括两个误差麦克风、五个次级声源扬声器和一个自适应主动控制器。本系统的原件布置方式：误差麦克风共两个，分别布置在汽车前后排车顶棚位置；低频输出效果较好的次级声源扬声器共五个，其中四个为车门侧的车载音响，第五个次级声源扬声器布置在后排隔板处；自适应主动控制器代替原车载音响控制单元。这些原件的布放位置是通过车内声场特性与声压声势能分析得出。对车内声腔模态分布进行有限元分析，分别对不同方案次级声源布放位置，计算误差麦克风位置的场点声压以及声场的平均势能，选择降噪效果最好的方案为次级声源扬声器布放位置。

[0035] 所述自适应主动控制器包括DSP主控芯片、音频解码芯片、片外存储单元、CAN总线

控制器、功率放大器、误差麦克风信号接收模块、次级声源输出模块和电源模块。所述误差麦克风通过误差麦克风信号接收模块与音频解码芯片连接,误差麦克风实时采集发动机噪声与次级声源扬声器发出的噪声相叠加后的误差噪声,音频解码芯片将误差噪声解码。所述DSP主控芯片分别连接音频解码芯片、片外存储单元和CAN总线控制器,DSP主控芯片获取来自音频解码芯片的误差噪声信号和通过CAN总线控制器采集CAN总线上发动机实时的转速信号;DSP主控芯片内置自适应滤波器,其通过自适应滤波模块的滤波权向量与发动机的转速信号的计算,输出次级声信号。所述次级声源输出模块通过功率放大器与次级声源扬声器连接,次级声源输出模块接收来自DSP主控芯片的次级声信号,并对该次级声信号进行D/A转换和抗混叠滤波处理后输出至功率放大器,功率放大器对该次级声信号进行功率放大后通过次级声源扬声器输出。

[0036] 发动机激励为发动机的点火主阶次不平衡往复惯性力,经过空气及车身、底盘等初级传递路径传递至车内,产生低频发动机噪声。通过车内CAN总线接口采集发动机实时转速信号,发动机实时转速信号经过自适应主动控制器中滤波权向量运算,产生与发动机噪声幅值相等、相位相反的次级声信号,通过次级声源扬声器输出。因初始时刻车内次级声信号与发动机噪声幅值相位存在一定误差,未能立即达到最优降噪效果,则误差噪声信号反馈给自适应主动控制器,自适应主动控制器通过归一化最小均方算法计算出更优的滤波权向量,更新后的滤波权向量与发动机转速信号运算,产生出在下一时刻效果更好的次级噪声与发动机噪声相抵消。

[0037] 本系统通过CCS软件编写支持系统运行的汇编及C++程序,程序模块功能包括驱动误差麦克风音频信号的A/D转换、CAN总线发动机实时转速信号采集、DSP主控芯片滤波运算、以及次级扬声器音频信号的D/A转换。将完成调试后的程序烧写入DSP芯片中,开启主动降噪功能,次级声源快速稳定输出与发动机噪声等幅反向的声信号,完成车内驾驶员人耳区域的主动降噪。

[0038] 本发明的车内发动机主动降噪方法,其包括:

[0039] 步骤a、通过车内声场特性与声压声势能分析,将误差麦克风及次级声源扬声器布置在车内。

[0040] 步骤b、采集发动机实时的转速信号,并将该信号输送至一自适应主动控制器。

[0041] 步骤c、自适应主动控制器通过滤波权向量和发动机的转速信号计算次级声信号。

[0042] 步骤d、通过次级声源扬声器输出次级声信号从而发出噪声。

[0043] 步骤e、误差麦克风实时采集发动机噪声与次级声源扬声器发出的噪声相叠加后的误差噪声。

[0044] 步骤f、自适应主动控制器根据步骤e中的误差噪声更新计算滤波权向量,返回步骤b直至降噪结束。

[0045] 本方法考虑到自适应主动控制器中电路硬件次级通路特性将会使误差噪声信号产生延时,使误差噪声信号与发动机实时的转速信号在时序上不能正确对齐。因此在自适应主动控制器中使发动机实时的转速信号通过一个与次级通路传递函数相同的估计函数,使误差噪声信号与发动机实时的转速信号时序对齐,增强算法稳定性。上述步骤在主动降噪过程中重复循环,到达最优降噪效果。

[0046] 考虑发动机激励经过空气及车身、底盘等传递路径到车内的传输特性,结合图1所

示,定义发动机激励为 $P(n)$ 。定义发动机激励到车内误差麦克风位置的初级通路传递函数为 $\Sigma_{结构}+\Sigma_{空气}$ 。发动机激励经过初级通路传递函数,在车内产生具有低频特性的发动机噪声。

[0047] 在汽车前后排车顶棚位置各布置一个误差麦克风,该麦克风实时采集驾驶员感知到的噪声。结合图1中所示,当主动降噪系统不工作,所测噪声定义为车内发动机低频噪声响应为 $d(n)$;当主动降噪系统工作时,所测噪声即为车内原始噪声与次级噪声的差值噪声 $e(n)$ 。次级声源扬声器输出信号为 $y(n)$,则有 $e(n)=d(n)-y(n)$ 。

[0048] 考虑控制信号经数模转换器、抗混叠滤波器、声功率放大器、扬声器、声场空间等到误差传感器的传输特性,结合图1所示,定义次级声源扬声器到误差麦克风之间的次级通路传递函数为 $s(n)$,通过声传函测试设备对次级通路传递函数进行测试估计,并定义测试估计出的次级通路传递函数为 $\hat{s}(n)$ 。

[0049] 采集车辆CAN总线中的发动机实时转速信号。定义发动机转速参考信号为向量 $X(n)$, $X(n)$ 由经过滤波器逐阶时延的各项 $x(n),x(n-1),\dots,x(n-M+1)$ 组成, $x(n)$ 为发动机转速参考信号。考虑次级通路传输特性将会使噪声误差信号产生延时,使噪声误差信号与发动机转速参考信号在时序上正确对齐,增强算法稳定性。因此使发动机转速参考信号通过一个与次级通路传函相同的附加通路,更新计算滤波权向量。则滤波信号向量为:
 $R(n) = X(n)\hat{s}(n)$ 。

[0050] 定义发动机转速参考信号到次级声信号的滤波权向量为 $W(n)$ 。滤波器通过自适应算法自动调节自身的传递函数,以使误差噪声信号主动控制系统中达到极小值。设定滤波器长度为 M ,第 n 时刻滤波器的权向量 $W(n)=[\omega_1(n),\omega_2(n),\dots,\omega_M(n)]^T$,第 n 时刻滤波器的参考输入信号的矢量 $R(n)=[r(n),r(n-1),\dots,r(n-M+1)]^T$,其中, $M-1$ 为滤波阶数,其中, $r(n)$ 为第 n 个采样周期得到的参考输入信号, $r(n-1)$ 为第 $n-1$ 个采样周期得到的滤波参考信号,其余类推;计算

$$[0051] \quad y(n) = \sum_{i=1}^M \omega_i(n)r(n-M+1) = W^T(n)R(n) = R^T(n)W(n)$$

[0052] 定义更新后的滤波权向量为 $W(n+1)$,则有公式①: $\delta W(n+1)=W(n+1)-W(n)$,使式①所示增量的欧式范数最小化,并受制于约束条件公式②: $W^T(n+1)R(n)=d(n)$;

[0053] 取目标函数公式③:

$$[0054] \quad (W(n+1)-W(n))+\text{Re}[\lambda*(d(n)-W^T(n+1)r(n))],$$

[0055] 其中: λ 为复数拉格朗日乘子,*表示复数共轭。 $\text{Re}[\cdot]$ 表示取实部运算, $\|\delta W(n+1)\|^2$ 表示欧式范数的平方运算;令 $\frac{\partial J(n)}{\partial W(n+1)} = 0$,由最优解得到更新后的滤波权向量 $W(n+1)$ 的迭代更新公式④:

$$[0056] \quad W(n+1) = W(n) + \frac{\mu}{\|R(n)\|^2} \cdot r(n)e^*(n)$$

[0057] 其中: $W(n)$ 为前一时刻的滤波权向量, $R(n)$ 为发动机转速参考信号向量, $e^*(n)$ 为误差噪声信号的复数共轭, $\|R(n)\|^2$ 表示欧式范数的平方运算, μ 为正实数标量因子。

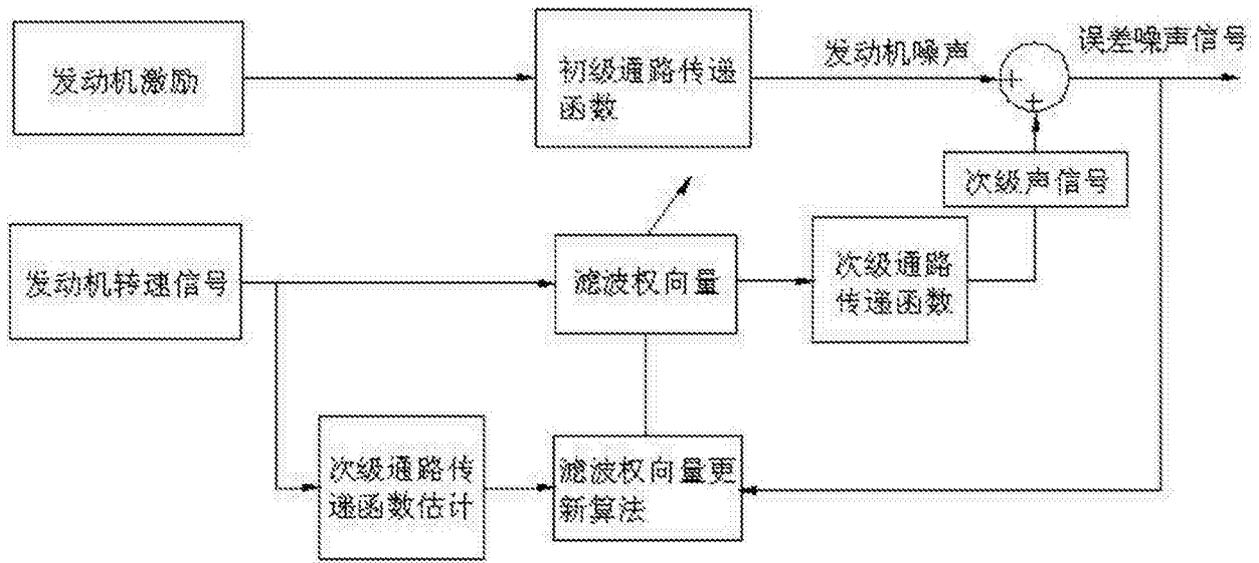


图1