



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116457869 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 18

(21) 申请号 202080106673.9

(22) 申请日 2020.11.04

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2023.04.25

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2020/080937 2020.11.04

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02022/096085 EN 2022.05.12

(71) 申请人 华为技术有限公司  
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72) 发明人 庞立昀 丰斯·阿德里安森 李松 罗曼·施利珀

(51) Int. Cl.  
G10K 11/178 (2006.01)

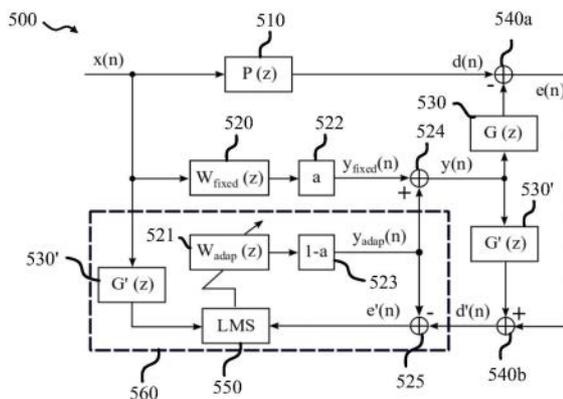
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

用于半自适应主动降噪设备的音频控制器

(57) 摘要

公开了一种用于主动降噪(active noise reduction, ANR)设备的音频控制器,用于减少环境噪声信号。所述音频控制器包括处理电路,所述处理电路用于提供固定ANR滤波器(520),所述固定ANR滤波器用于生成第一降噪信号。此外,所述处理电路还用于提供自适应ANR滤波器(521),其中,所述自适应ANR滤波器(521)包括用于调整所述自适应ANR滤波器的一个或多个可调节滤波器系数,并且所述自适应ANR滤波器用于生成第二降噪信号。所述处理电路还用于生成总降噪信号,作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的可调节加权线性组合(522、523、524)。



1. 一种用于主动降噪 (active noise reduction, ANR) 设备的音频控制器, 其特征在于, 用于减少环境噪声信号, 其中, 所述音频控制器包括处理电路, 所述处理电路用于:

提供固定 ANR 滤波器 (520; 520a、520b), 其中, 所述固定 ANR 滤波器 (520; 520a、520b) 用于生成第一降噪信号;

提供自适应 ANR 滤波器 (521; 521a、521b), 其中, 所述自适应 ANR 滤波器 (521; 521a、521b) 包括用于调整所述自适应 ANR 滤波器 (521; 521a、521b) 的一个或多个可调节滤波器系数, 并且所述自适应 ANR 滤波器 (521; 521a、521b) 用于生成第二降噪信号;

生成总降噪信号, 作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的可调节加权线性组合 (522、523、524)。

2. 根据权利要求 1 所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路还用于确定由所述第二降噪信号引起的所述环境噪声信号的减少的降噪估计, 并基于所述降噪估计确定所述可调节加权线性组合 (522、523、524)。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路用于基于可调节加权系数  $a$  生成所述总降噪信号, 作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的所述可调节加权线性组合 (522、523、524)。

4. 根据权利要求 3 所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路用于基于以下等式生成所述总降噪信号, 作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的所述可调节加权线性组合 (522、523、524):

$$y = a y_{\text{fixed}} + (1-a) y_{\text{adap}},$$

其中,  $y_{\text{fixed}}$  表示所述第一降噪信号,  $y_{\text{adap}}$  表示所述第二降噪信号,  $y$  表示所述总降噪信号。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路用于基于以下等式确定所述可调节加权系数  $a$ :

$$a = \begin{cases} \frac{\text{MM}(\mathbf{e}'(n))}{\text{MM}(\mathbf{e}(n))} & \text{对于 } \text{MM}(\mathbf{e}'(n)) \leq \text{MM}(\mathbf{e}(n)) \\ 1 & \text{对于 } \text{MM}(\mathbf{e}'(n)) > \text{MM}(\mathbf{e}(n)) \end{cases}$$

其中,  $\text{MM}(x)$  表示参数向量  $x$  的幅度度量,  $n$  表示时间样本索引,  $\mathbf{e}(n)$  表示总残余噪声信号,  $\mathbf{e}'(n)$  表示分数残余噪声信号。

6. 根据权利要求 5 所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路用于使用均方根作为所述幅度度量  $\text{MM}(x)$  来确定所述可调节加权系数  $a$ 。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路用于估计次级路径传递函数, 其中, 所述次级路径传递函数描述导致产生所述分数残余噪声信号的所述总残余噪声信号的修改, 并且, 所述处理电路还用于基于所述第二降噪信号、所述总残余噪声信号和所述次级路径传递函数确定所述分数残余噪声信号。

8. 根据上述权利要求中任一项所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路用于连续调整所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的所述可调节加权线性组合 (522、523、524) 以生成所述总降噪信号, 其中, 最初所述总降噪信号等于所述第一降噪信号。

9. 根据上述权利要求中任一项所述的音频控制器, 其特征在于, 所述处理电路还用于

基于总残余噪声信号调整所述自适应ANR滤波器的所述一个或多个可调节滤波器系数。

10. 一种主动降噪 (active noise reduction, ANR) 设备, 其特征在于, 所述ANR设备包括根据上述权利要求中任一项所述的音频控制器和扬声器, 其中, 所述扬声器用于基于所述音频控制器生成的总降噪信号驱动。

11. 根据权利要求10所述的ANR设备, 其特征在于, 所述ANR设备包括用于检测所述环境噪声信号的前馈麦克风, 其中, 所述固定ANR滤波器 (520) 用于基于所述环境噪声信号生成所述第一降噪信号, 并且, 所述自适应ANR滤波器 (521) 用于基于所述环境噪声信号生成所述第二降噪信号。

12. 根据权利要求10所述的ANR设备, 其特征在于, 所述ANR设备包括用于检测总残余噪声信号的反馈麦克风, 其中, 所述固定ANR滤波器 (520) 用于基于所述总残余噪声信号生成所述第一降噪信号, 并且, 所述自适应ANR滤波器 (521) 用于基于所述总残余噪声信号生成所述第二降噪信号。

13. 根据权利要求10所述的ANR设备, 其特征在于, 所述ANR设备包括用于检测所述环境噪声信号的前馈麦克风和用于检测总残余噪声信号的反馈麦克风, 其中, 所述固定ANR滤波器 (520; 520a、520b) 用于基于所述环境噪声信号和所述总残余噪声信号生成所述第一降噪信号, 并且, 所述自适应ANR滤波器 (521; 521a、521b) 用于基于所述环境噪声信号和所述总残余噪声信号生成所述第二降噪信号。

14. 一种用于减少环境噪声信号的主动降噪 (active noise reduction, ANR) 方法 (800), 其特征在于, 所述方法 (800) 包括:

使用固定ANR滤波器 (520; 520a、520b) 生成 (801) 第一降噪信号;

使用自适应ANR滤波器 (521; 521a、521b) 生成 (803) 第二降噪信号, 其中, 所述自适应ANR滤波器 (521; 521a、521b) 包括用于调整所述自适应ANR滤波器 (521; 521a、521b) 的一个或多个可调节滤波器系数;

生成 (805) 总降噪信号, 作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的可调节加权线性组合 (522、523、524)。

15. 一种计算机程序产品, 其特征在于, 包括非瞬时性计算机可读存储介质, 用于存储程序代码, 当所述程序代码由所述计算机或所述处理器执行时, 所述程序代码使计算机或处理器执行根据权利要求14所述的方法 (800)。

## 用于半自适应主动降噪设备的音频控制器

### 技术领域

[0001] 本发明大体上涉及音频处理。更具体地,本发明涉及用于半自适应主动降噪设备的音频控制器以及对应的主动降噪方法。此外,本发明涉及一种包括这种音频控制器的半自适应主动降噪设备,例如耳机。

### 背景技术

[0002] 耳机通常在公共环境中佩戴,在公共环境中,此类耳机的用户周围可能会有喧闹的环境噪声。因此,主动噪声消除(active noise cancellation,ANC)/主动降噪(active noise reduction,ANR)耳机变得越来越重要,因为它们可以有效地衰减感知到的环境噪声。

[0003] ANC/ANR耳机试图通过使用耳机扬声器提供的额外声源进行主动补偿来减少不必要的(噪声)信号。不需要的信号通常定义为位于用户环境中的主要声源。噪声信号(主源)由安装在耳机中的麦克风记录,以计算对应的抗噪或补偿信号,然后通过耳机扬声器(副源)播放。理想情况下,抗噪声和不需要的噪声在收听位置应具有相同的振幅和相反的相位。

[0004] ANC/ANR耳机通常可分为三种类型:前馈(feedforward,FF)、反馈(feedback,FB)和混合(FF+FB)ANC/ANR耳机。此外,每种类型都可以使用固定滤波器(离线计算的)或自适应滤波器(在线交互式计算的)来实现。

[0005] 对于前馈(feedforward,FF)ANC/ANR,安装在耳杯外部的麦克风可捕获噪声。然后,通过ANC/ANR数据处理来处理噪声并创建抗噪声,然后将所得到的信号发送到耳机扬声器。在自适应FF ANC/ANR设备的情况下,安装在耳杯内的另一个麦克风用于检查残余误差信号,并进一步调整FF控制器。对于反馈(feedback,FB)ANC/ANR,安装在耳杯内和耳机换能器前面的麦克风以与听众相同的方式捕获所得到的信号(至少在低频下)。记录的信号通过设计的控制器滤波,以生成抗噪信号。混合ANC/ANR是一种结合FF和FB ANC/ANR滤波器的混合方法。

[0006] 固定ANC/ANR滤波器由于它们的鲁棒性通常应用于市售ANC/ANR耳机。但是,固定ANC/ANR滤波器无法适应动态环境中发生的变化(耳机位置相对于头部的变化、源方向、源类型等),导致ANC/ANR性能下降。相比之下,自适应ANC/ANR滤波器可用于自适应补偿噪声,即使在动态环境中也是如此。但是,方向或噪声类型的突然变化以及次级路径(耳机换能器到误差麦克风之间的传递函数)可能引起较大估计误差。自适应滤波器的鲁棒性不能总是得到保证。因此,需要结合固定滤波器和自适应滤波器,以有效衰减动态环境中的噪声,同时确保ANC/ANR性能的鲁棒性。

### 发明内容

[0007] 本发明的一个目的是提供一种改进的音频控制器,用于在半自适应ANC/ANR设备中组合固定ANC/ANR滤波器和自适应ANC/ANR滤波器,以及对应的ANC/ANR设备和方法。

[0008] 上述和其它目的通过独立权利要求请求保护的主题来实现。其它实现方式在从属权利要求、说明书和附图中是显而易见的。

[0009] 通常,本文公开的实施例提供了一种用于半自适应ANC/ANR设备(例如耳机)的音频控制器,用于以自适应方式组合固定ANC/ANR滤波器和自适应ANC/ANR滤波器。在一个实施例中,使用交互式更新的加权因子对固定ANC/ANR滤波器和自适应ANC/ANR滤波器进行实时加权,以实现高衰减性能,同时保持ANC/ANR性能的鲁棒性。在一个实施例中,实时比较自适应滤波器的ANC/ANR性能与整个ANC/ANR性能。在一个实施例中,仅当自适应滤波器的估计的ANC/ANR性能优于整个系统的性能时,才使用自适应滤波器。在一个实施例中,调整固定滤波器和自适应滤波器的权重以输出改进的抗噪信号。

[0010] 更具体地,根据第一方面,公开了一种用于主动降噪(active noise reduction, ANR)设备的音频控制器,用于减少环境噪声信号。在一个实施例中,ANR设备可以是用于消除环境噪声信号的主动噪声消除(active noise cancellation,ANC)设备。

[0011] 所述音频控制器包括处理电路,所述处理电路用于提供(即实现)至少一个固定ANR滤波器,其中,所述固定ANR滤波器包括多个固定滤波器系数,并用于生成第一降噪信号。此外,所述处理电路用于提供(即实现)至少一个自适应ANR滤波器,其中,所述自适应ANR滤波器包括用于调整所述自适应ANR滤波器的一个或多个可调节滤波器系数,并且所述自适应ANR滤波器用于生成第二降噪信号。所述处理电路还用于生成总降噪信号,作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的可调节加权线性组合(即总和)。因此,提供了一种用于在半自适应ANC/ANR设备中组合固定ANC/ANR滤波器和自适应ANC/ANR滤波器的改进的音频控制器,支持在ANC/ANR设备的高衰减性能与鲁棒性/稳定性之间实现最佳平衡。

[0012] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路还用于确定由所述第二降噪信号引起的所述环境噪声信号的减少的降噪估计,并基于所述降噪估计确定所述可调节加权线性组合。

[0013] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路用于基于可调节加权(即增益)系数 $a$ 生成所述总降噪信号,作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的所述可调节加权线性组合(即总和)。

[0014] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路用于基于以下等式生成所述总降噪信号,作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的所述可调节加权线性组合(即总和):

$$[0015] \quad y = a y_{\text{fixed}} + (1-a) y_{\text{adap}},$$

[0016] 其中, $y_{\text{fixed}}$ 表示由所述固定ANR滤波器提供的所述第一降噪信号, $y_{\text{adap}}$ 表示由所述自适应ANR滤波器提供的所述第二降噪信号, $y$ 表示所述总降噪信号。

[0017] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路用于基于以下等式确定所述可调节加权(即增益)系数 $a$ :

$$[0018] \quad a = \begin{cases} \frac{\text{MM}(e'(n))}{\text{MM}(e(n))} & \text{对于 } \text{MM}(e'(n)) \leq \text{MM}(e(n)) \\ 1 & \text{对于 } \text{MM}(e'(n)) > \text{MM}(e(n)) \end{cases}$$

[0019] 其中,MM(x)表示参数向量x的幅度度量,n表示时间样本索引,e(n)表示总残余噪声信号, $e'(n)$ 表示分数残余噪声信号。

[0020] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路用于使用均方根作为所述幅度度量 $MM(x)$ 来确定所述可调节加权(即增益)系数 $a$ 。

[0021] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路用于估计次级路径传递函数 $G'(z)$ ,其中,所述次级路径传递函数 $G'(z)$ 描述导致产生所述分数残余噪声信号 $e'(n)$ 的所述总残余噪声信号 $e(n)$ 的修改,并且,所述处理电路还用于基于所述第二降噪信号 $y_{\text{adap}}$ 、所述总残余噪声信号 $e(n)$ 和所述次级路径传递函数 $G'(z)$ 确定所述分数残余噪声信号 $e'(n)$ 。

[0022] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路还用于连续调整所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的所述可调节加权线性组合(即总和)以生成所述总降噪信号,其中,最初所述总降噪信号等于由所述固定ANR滤波器提供的所述第一降噪信号。

[0023] 在第一方面的另一种可能的实现方式中,所述处理电路还用于基于总残余噪声信号调整所述自适应ANR滤波器的所述一个或多个可调节滤波器系数。

[0024] 根据第二方面,提供了一种主动降噪(active noise reduction,ANR)设备,特别是主动噪声消除(active noise cancellation,ANC)设备,其中,所述ANR设备包括根据第一方面所述的音频控制器和扬声器,其中,所述扬声器用于基于由所述音频控制器生成的所述总降噪信号驱动。例如,ANR设备可以是头戴式耳机设备、耳机设备等。

[0025] 在第二方面的另一种可能的实现方式中,所述ANR设备包括用于检测所述环境噪声信号的前馈(feedforward,FF)麦克风,其中,所述固定ANR滤波器用于基于所述环境噪声信号生成所述第一降噪信号,并且,所述自适应ANR滤波器用于基于所述环境噪声信号生成所述第二降噪信号。因此,根据第二方面所述的ANR设备可以实现为固定FF ANR设备。

[0026] 在第二方面的另一种可能的实现方式中,所述ANR设备包括用于检测总残余噪声信号的反馈(feedback,FB)麦克风,其中,所述固定ANR滤波器用于基于所述总残余噪声信号生成所述第一降噪信号,并且,所述自适应ANR滤波器用于基于所述总残余噪声信号生成所述第二降噪信号。因此,根据第二方面所述的ANR设备可以实现为固定FB ANR设备或自适应FB ANR设备。

[0027] 在第二方面的另一种可能的实现方式中,所述ANR设备包括用于检测所述环境噪声信号的前馈(feedforward,FF)麦克风和用于检测总残余噪声信号的反馈(feedback,FB)麦克风,其中,所述固定ANR滤波器用于基于所述环境噪声信号和所述总残余噪声信号生成所述第一降噪信号,并且,所述自适应ANR滤波器用于基于所述环境噪声信号和所述总残余噪声信号生成所述第二降噪信号。因此,根据第二方面所述的ANR设备可以实现为固定或自适应混合ANR设备或自适应FF ANR设备。

[0028] 根据第三方面,提供了一种用于减少环境噪声信号的主动降噪(active noise reduction,ANR)方法。所述ANR方法包括以下步骤:

[0029] 使用固定ANR滤波器生成第一降噪信号;

[0030] 使用自适应ANR滤波器生成第二降噪信号,其中,所述自适应ANR滤波器包括用于调整所述自适应ANR滤波器的一个或多个可调节滤波器系数;

[0031] 生成总降噪信号,作为所述第一降噪信号和所述第二降噪信号的可调节加权线性组合(即总和)。

[0032] 根据本发明的第三方面所述的ANR方法可以由根据第一方面所述的音频控制器或

根据本发明的第二方面所述的ANR设备执行。因此,根据本发明的第三方面所述的ANR方法的其它特征直接来自根据第一方面所述的音频控制器和根据本发明的第二方面所述的ANR设备的功能,以及上文和下文描述的它们的不同实现方式。

[0033] 根据第四方面,提供了一种计算机程序产品,包括非瞬时性计算机可读存储介质,用于存储程序代码,当所述程序代码由所述计算机或所述处理器执行时,所述程序代码使计算机或处理器执行根据第三方面所述的ANR方法。

[0034] 以下附图和说明书详细阐述了一个或多个实施例。其它特征、目的和优点在说明书、附图以及权利要求中是显而易见的。

## 附图说明

[0035] 下文结合附图对本发明的实施例进行详细描述。在附图中:

[0036] 图1是包括用于固定FF ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0037] 图2是包括用于自适应FF ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0038] 图3是包括用于固定FB ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0039] 图4是包括用于自适应FB ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0040] 图5是根据一个实施例,包括用于半自适应FF ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0041] 图6是根据一个实施例,包括用于半自适应FB ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0042] 图7是根据一个实施例,包括用于半自适应混合ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构的示意图;

[0043] 图8是一个实施例提供的ANR/ANC方法的流程图;

[0044] 图9示出了不同实施例的作为频率的函数的次级路径传递函数的幅度和相位;

[0045] 图10a示出了一个实施例提供的半自适应FF ANR/ANC设备的性能的图表;

[0046] 图10b示出了一个实施例提供的半自适应FB ANR/ANC设备的性能的图表;

[0047] 图10c示出了一个实施例提供的半自适应混合ANR/ANC设备的性能的图表。

[0048] 在下文中,相同的附图标记是指相同或至少在功能上等价的特征。

## 具体实施方式

[0049] 在以下描述中,参考构成本发明一部分的附图,这些附图通过说明的方式示出本发明的实施例的具体方面或可以使用本发明实施例的具体方面。应当理解,本发明的实施例可以用于其它方面,并且包括未在附图中描绘的结构上或逻辑上的变化。因此,以下详细描述不应以限制性的意义来理解,并且本发明的范围由所附权利要求书限定。

[0050] 例如,应当理解,与描述方法有关的公开内容可以对用于执行所述方法的对应设备或系统也同样适用,反之亦然。例如,如果描述一个或多个具体方法步骤,则对应的设备可以包括一个或多个单元(例如功能单元)来执行所描述的一个或多个方法步骤(例如,一个单元执行一个或多个步骤,或多个单元分别执行多个步骤中的一个或多个),即使附图中未明确描述或说明该一个或多个单元。另一方面,例如,如果基于一个或多个单元(例如,功能单元)来描述具体装置,则对应的方法可以包括一个步骤来执行一个或多个单元的功能

(例如,一个步骤执行一个或多个单元的功能,或多个步骤分别执行多个单元中的一个或多个单元的功能),即使附图中未明确描述或示出该一个或多个单元。此外,应当理解,除非另外明确说明,本文中所描述的各个示例性实施例和/或方面的特征可以相互组合。

[0051] 在详细描述不同的实施例之前,下文将介绍关于主动降噪(active noise reduction,ANR)/主动噪声消除(active noise cancellation,ANC)的一些术语和技术背景。图1是包括用于固定FF ANR/ANC设备(即具有固定FF滤波器的ANR/ANC设备)的音频控制器的信号处理架构100的示意图。在固定FF ANR/ANC的情况下,噪声信号由外部麦克风(参考麦克风)记录,通过音频控制器生成噪声消除信号,计算出的抗噪信号通过扬声器播放。在图1中,P(z) 110表示主路径,其表示外部(参考)麦克风与内部(误差)麦克风之间的声传递函数。G(z) 130表示次级路径,由扬声器与内部(误差)麦克风之间的传递函数组成。W(z) 120表示用于产生声消除信号的FF控制器120。目的是抑制内部噪声信号d(n),即外部噪声信号x(n),该外部噪声信号x(n)已经被主路径110的声传递函数修改,例如由耳机壳体传输和衰减。内部噪声信号d(n)和声消除信号(由次级路径130的声传递函数修改)的组合140a产生残余噪声信号或误差信号e(n)。通常,FF控制器120的因果近似可以通过求解Wiener-Hopf等式获得:

$$[0052] \quad W_{opt} = \Psi_{gg}^{-1} \Phi_{pg}$$

[0053] 其中, $\Psi_{gg}$ 描述G(z) 130的脉冲响应的自相关矩阵, $\Phi_{pg}$ 表示P(z) 110和G(z) 130的脉冲响应之间的互相关向量。

[0054] 图2是信号处理架构200的示意图,该信号处理架构200包括用于自适应FF ANR/ANC设备的音频控制器,该自适应FF ANR/ANC设备即具有自适应FF滤波器的ANR/ANC设备,例如基于滤波-x最小均方(filtered-x least mean square,FxLMS)算法。基于记录的噪声信号x(n)和误差信号e(n)实时更新音频控制器220。记录的噪声信号首先通过估计的次级路径G'(z) 230滤波,该次级路径G'(z) 230是耳机扬声器与内部麦克风之间的声传输路径(即次级路径G(z) 230)的近似值。之后,滤波后的输入信号和误差信号被馈送到LMS处理块250中,用于确定音频控制器W(z) 220的传递函数。记录的输入信号通过估计的控制器滤波,并通过扬声器再现。内部噪声信号d(n)(由主路径210的声传递函数修改噪声信号x(n)产生)和声消除信号(由次级路径230的声传递函数修改)的组合240a产生残余噪声信号或误差信号e(n)。由LMS处理块250实现的FxLMS算法可以表示为:

$$[0055] \quad e(n) = d(n) - g^T(n) [w^T(n) x(n)]$$

$$[0056] \quad w(n+1) = w(n) - \mu [g'^T(n) x(n)] e(n)$$

[0057] 其中,n表示时间索引,g(n)和g'(n)分别是次级路径的实际脉冲响应和测量的脉冲响应,w(n)=[w<sub>0</sub>(n),w<sub>1</sub>(n),...,w<sub>L-1</sub>(n)]是滤波器阶数为L的控制器W(z) 220的系数,x(n)=[x(n),x(n-1),x(n-2),...,x(n-L+1)]是由最后L个样本组成的记录的信号向量。代替FxLMS算法,LMS处理块250可以实现基于FxLMS算法的其它自适应算法,例如泄漏FxLMS、FxNLMS、频带受限FxLMS、基于卡尔曼滤波的自适应算法等。

[0058] 图3是包括用于固定FB ANR/ANC设备(即具有固定FB滤波器的ANR/ANC设备)的音频控制器的信号处理架构300的示意图。在FB ANR/ANC设备中,误差信号e(n)用于合成参考信号,并进一步产生抗噪信号。与FF ANC设备相比,不再需要外部麦克风来获得参考噪声信号。在图3所示的信号处理架构300中,FB控制器W(z) 320基于次级路径G(z) 330设计。内部噪

声信号 $d(n)$  (由主路径310的声传递函数修改噪声信号 $x(n)$ 产生)和声消除信号 $y(n)$  (由次级路径330的声传递函数修改)的组合340a产生残余噪声信号或误差信号 $e(n)$ 。所需信号 $d(n)$ 与误差信号 $e(n)$ 之间的传递函数/灵敏度函数 $S(z)$ 被最小化,以实现高衰减性能。另一方面,互补灵敏度函数 $T(z)=1-S(z)$ 代表整个系统的鲁棒性,与测量噪声相比应较小。由于通常不可能同时达到这两个标准,因此通常在性能与鲁棒性之间进行权衡。为此,可以使用混合灵敏度H-Inf合成方法考虑这两个标准优化固定控制器320(例如,如Skogestad,S.和Postlethwaite,I.(2007),“多变量反馈控制:分析和设计(Multivariable feedback control:analysis and design)”,第2卷,Wiley New York中所述)。

[0059] 图4是信号处理架构400的示意图,该信号处理架构400包括用于自适应FB ANR/ANC设备的音频控制器,该自适应FB ANR/ANC设备即具有自适应FB滤波器的ANR/ANC设备,例如基于滤波-x最小均方(filtered-x least mean square,FxLMS)算法。自适应FB ANR/ANC设备的基本思想是预测音频控制器420的参考信号。合成的参考信号 $x_{syn}$ 可计算为:

$$[0060] \quad x_{syn} = e(n) + [g'^T(n)y(n)]$$

[0061] 在理想条件下,即 $g'(n)=g(n)$ ,自适应FB ANR/ANC设备等效于自适应FF ANR/ANC设备。基于FxLMS的自适应滤波算法可用于获得FB音频控制器420,如上文在图2的上下文中针对自适应FF ANR/ANC设备所述。

[0062] 在下文,将参考图5、图6、图7和图8更详细地描述本发明的几个实施例。从下文可以理解,本文公开的实施例使用可调节加权因子组合固定ANR/ANC滤波器和自适应ANR/ANC滤波器,以生成改进的抗噪信号。这可以提高ANR/ANC性能,同时保持半自适应ANR/ANC设备的鲁棒性和稳定性。如下文详细描述的,这种方法可以在FF、FB甚至混合ANR/ANC设备中实现。

[0063] 图5是根据一个实施例,包括用于半自适应FF ANR/ANC设备的音频控制器的信号处理架构500的示意图。在图5的实施例中,音频控制器包括处理电路,该处理电路用于提供(即实现)固定ANR/ANC滤波器( $W_{fixed}(z)$ )520,其中,固定ANR/ANC滤波器520包括多个固定滤波器系数,并用于生成第一降噪信号 $y_{fixed}(n)$ 作为输出信号。此外,音频控制器的处理电路用于提供(即实现)自适应ANR/ANC滤波器( $W_{adap}(z)$ )521,其中,自适应ANR/ANC滤波器521包括用于调整自适应ANR/ANC滤波器521的一个或多个可调节滤波器系数,并且,自适应ANR/ANC滤波器521用于生成第二降噪信号 $y_{adap}(n)$ 作为输出信号。音频控制器的处理电路还用于生成总降噪信号 $y(n)$ ,作为第一降噪信号 $y_{fixed}(n)$ 和第二降噪信号 $y_{adap}(n)$ 的可调节加权线性组合(即总和)。在一个实施例中,处理电路用于基于可调节加权因子 $a$ ,使用以下等式(由图5中所示的处理块524实现)生成总降噪信号 $y(n)$ :

$$[0064] \quad y(n) = a y_{fixed}(n) + (1-a) y_{adap}(n)。$$

[0065] 如图5所示,音频控制器可以实现加权块522和523,用于用因子 $a$ 对固定ANR/ANC滤波器520的输出信号 $y_{fixed}(n)$ 进行加权,并用因子 $(1-a)$ 对自适应ANR/ANC滤波器521的输出信号 $y_{adap}(n)$ 进行加权。

[0066] 在图5中的实施例中,内部噪声信号 $d(n)$  (由主路径510的声传递函数 $P(z)$ 修改噪声信号 $x(n)$ 产生)和总降噪信号,即声消除信号 $y(n)$  (由次级路径230的声传递函数 $G(z)$ 修改)的组合540a产生残余噪声信号或误差信号 $e(n)$ 。记录的误差信号 $e(n)$ 用于用总降噪信号 $y(n)$ 和平均(模拟)次级路径( $G'(z)$ )估计(即模拟)期望误差信号( $d'(n)$ )。在图5所示的

实施例中,自适应滤波器521的输出信号,即第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 是通过基于模拟的期望误差信号( $d'(n)$ )、模拟的次级路径( $G'(z)$ )和输入信号( $x(n)$ )应用FxLMS算法(由LMS处理块550实现)来计算的。模拟的残余误差信号( $e'(n)$ )基于 $y_{\text{adap}}(n)$ 、 $d'(n)$ 和 $G'(z)$ 获取。

[0067] 在图5所示的实施例中,加权因子 $a$ 可以基于模拟的误差信号RMS和实际测量的RMS确定,以调整固定滤波器520和自适应滤波器521的输出的加权。在一个实施例中,处理电路可以用于基于以下等式确定可调节加权系数 $a$ :

$$[0068] \quad a = \begin{cases} \frac{\text{RMS}(e'(n))}{\text{RMS}(e(n))} & \text{对于 } \text{RMS}(e'(n)) \leq \text{RMS}(e(n)) \\ 1 & \text{对于 } \text{RMS}(e'(n)) > \text{RMS}(e(n)) \end{cases}$$

[0069] 其中, $\text{RMS}(x)$ 表示参数向量 $x$ 的均方根度量, $n$ 表示时间样本索引, $e(n)$ 表示总残余噪声信号, $e'(n)$ 表示分数残余噪声信号。应当理解,也可以使用其它幅度度量来代替均方根度量 $\text{RMS}(x)$ 。

[0070] 应当理解,基于上述等式,仅在自适应滤波器521的ANR/ANC性能高于当前总体ANR/ANC性能时,处理电路调整加权因子 $a$ ,特别是减小。如果自适应滤波器521的性能比总体ANR/ANC性能差(即固定ANC滤波器和自适应ANC滤波器的当前组合),则加权因子 $a$ 被重置为初始值1,以确保ANR/ANC设备的稳定性/鲁棒性。因此,在一个实施例中,处理电路用于连续调整第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ 和第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 的可调节加权线性组合,以生成总降噪信号 $y(n)$ ,其中,初始总降噪信号 $y(n)$ 等于第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ 。

[0071] 图6示出了根据一个实施例,用于半自适应FB ANR/ANC设备的图5的信号处理架构500的变体。从图6可以看出,记录的误差信号 $e(n)$ 用于用输出信号(即总降噪信号 $y(n) = a y_{\text{fixed}}(n) + (1-a) y_{\text{adap}}(n)$ )和平均或模拟的次级路径( $G'(z)$  530')模拟期望误差信号( $d'(n)$ )和参考信号( $x_{\text{syn}}(n) = d'(n)$ )。例如,通过基于模拟的期望误差信号( $d'(n)$ )、模拟的次级路径( $G'(z)$  530')和合成输入信号( $x_{\text{syn}}(n)$ )应用FxLMS算法来计算输出信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 。模拟的残余误差信号( $e'(n)$ )基于 $y_{\text{adap}}(n)$ 、 $d'(n)$ 和 $G'(z)$ 获取。加权因子 $a$ 可以由处理电路以与上文已经针对图5的FF ANR/ANC实施例描述的相同的方式确定。

[0072] 图7示出了根据一个实施例,用于半自适应混合ANR/ANC设备的图5和图6的信号处理架构500的另一变体。从图7可以看出,在本实施例中,信号处理架构500包括固定FF滤波器( $W_{\text{fixed,FF}}(z)$  520a)、固定FB滤波器( $W_{\text{fixed,FB}}(z)$  520b)、自适应FF滤波器( $W_{\text{adap,FF}}(z)$  521a)和自适应FB滤波器( $W_{\text{adap,FB}}(z)$  521b)。在本实施例中,两个固定滤波器520a和520b(固定FF和FB)的输出信号由处理块526求和,并由处理块522使用调整的加权因子 $a$ 加权。例如,基于由处理块550实现的FxLMS算法的两个自适应滤波器521a、521b的输出信号也由处理块528求和,并由处理块523用因子 $1-a$ 加权。记录的误差信号 $e(n)$ 用于用输出信号( $y(n) = a y_{\text{fixed}}(n) + (1-a) y_{\text{adap}}(n)$ )和平均次级路径( $G'(z)$  530)模拟期望误差信号( $d'(n)$ )和参考信号( $x_{\text{syn}}(n) = d'(n)$ ,仅对于FB滤波器)。FF自适应滤波器521a和FB自适应滤波器521b的输出信号由处理电路基于模拟的期望误差信号( $d'(n)$ )、模拟的次级路径( $G'(z)$  530')和合成的( $x_{\text{syn}}(n)$ ,对于FB滤波器521b)或记录的输入信号( $x(n)$ ,对于FF滤波器521a)计算。模拟的残余误差信号( $e'(n)$ )基于 $y_{\text{adap}}(n)$ 、 $d'(n)$ 和 $G'(z)$ 获取。加权因子 $a$ 可以由处理电路以与上文已经针对图5的FF ANR/ANC实施例描述的相同的方式确定。

[0073] 在一个实施例中,音频控制器的处理电路可以用于使用以下处理阶段迭代调整加权因子 $a$ :

[0074] (1)开始时, $a$ 设置为1,以确保ANR/ANC处理的鲁棒性/稳定性。

[0075] (2)记录的误差信号 $e(n)$ 用于用输出信号(即总降噪信号 $y(n)$ )和平均(模拟)次级路径( $G'(z)$  530')模拟期望误差信号( $d'(n)$ )。

[0076] (3)输出信号是通过基于模拟的期望误差信号( $d'(n)$ )、模拟的次级路径( $G'(z)$  530')和输入信号( $x(n)$ ),用于FF ANR/ANC)应用自适应滤波方法计算的。

[0077] (4)因此,基于自适应滤波器521、521a、521b、 $d'(n)$ 和 $G'(z)$  530的输出获取模拟的残余误差信号( $e'(n)$ )。

[0078] (5)计算模拟的误差信号的均方根误差(root mean square,RMS) ( $\text{RMS}(e'(n))$ ),并与实际测量的均方根误差( $\text{RMS}(e(n))$ )进行比较。

[0079] (6)计算加权因子 $a$ 以调整一个或多个固定滤波器520、520a、520b和一个或多个自适应滤波器521、521a、521b的加权。

[0080] 在一个实施例中,图5、图6和图7中所示的信号处理架构500可以由诸如耳机的ANR/ANC设备实现,所述ANR/ANC设备还包括扬声器,该扬声器用于基于信号处理架构500生成的总降噪信号 $y(n) = a y_{\text{fixed}}(n) + (1-a) y_{\text{adap}}(n)$ 驱动。

[0081] 在一个实施例中,ANR设备可以是固定FF ANR设备,包括用于检测环境噪声信号的前馈麦克风,其中,固定ANR滤波器520用于基于环境噪声信号 $x(n)$ 生成第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ ,并且,自适应ANR滤波器521用于基于环境噪声信号 $x(n)$ 生成第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 。

[0082] 在一个实施例中,ANR设备可以是固定或自适应FB ANR设备,包括用于检测总残余噪声信号的反馈麦克风,其中,固定ANR滤波器520用于基于总残余噪声信号生成第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ ,并且,自适应ANR滤波器521用于基于总残余噪声信号生成第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 。

[0083] 在一个实施例中,ANR设备可以是固定或自适应混合ANR设备或自适应FF ANR设备,包括用于检测环境噪声信号的前馈麦克风和用于检测总残余噪声信号的反馈麦克风,其中,固定ANR滤波器(520;520a、520b)用于基于环境噪声信号和总残余噪声信号生成第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ ,并且,自适应ANR滤波器(521;521a、521b)用于基于环境噪声信号和总残余噪声信号生成第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 。

[0084] 图8是一个实施例提供的用于减少环境噪声信号的ANR/ANC方法800的流程图。方法800包括第一步骤801:使用一个或多个固定ANR滤波器520、520a、520b生成第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ 。此外,方法800包括另一步骤803:使用一个或多个自适应ANR滤波器521、521a、521b生成第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ ,其中,一个或多个自适应ANR滤波器521、521a、521b包括用于调整一个或多个自适应ANR滤波器521、521a、521b的一个或多个可调节滤波器系数。方法800包括另一步骤805:例如基于以下等式生成总降噪信号 $y(n)$ ,作为第一降噪信号 $y_{\text{fixed}}(n)$ 和第二降噪信号 $y_{\text{adap}}(n)$ 的可调节加权线性组合522、523、524:

[0085]  $y(n) = a y_{\text{fixed}}(n) + (1-a) y_{\text{adap}}(n)$ 。

[0086] 为了测试本文公开的实施例的改进的ANR/ANC性能,选择了以下示例性场景。环境噪声( $x(n)$ )是一个10s长的混合信号,由宽带白噪声和100Hz、500Hz和900Hz的正弦信号组成。对于耳机与声源之间的 $90^\circ$ 相对角度,测量主路径( $P(z)$ )。在假人头部KU-100上,用不同

的装配位置(座)测量10个不同的次级路径( $G(z)$ ),包括两个特殊情况,即一半在耳朵上和桌子上。图9示出了作为频率的函数的测量次级路径传递函数 $G(z)$ 的幅度和相位响应(虚线)。由于耳机安装位置不同,因此结果不同。相应的实线表示测量结果的平均值,并可进一步用于设计FF滤波器和FB滤波器。如上所述,本文公开的实施例可以提供自适应ANC系统的高性能,同时在动态场景中维持固定ANC系统的鲁棒性/稳定性。在图9所示的模拟实验中,动态场景视为不同的耳机座,即时变的次级路径:在10s长的模拟过程中, $G(z)$ 每2s变化一次。总体时变衰减噪声水平是基于残余误差( $e(n)$ )和期望误差( $d(n)$ )的RMS值计算的。

[0087] 图10a、图10b和图10c示出了由半自适应FF ANR/ANC设备、实施例提供的半自适应FB ANR/ANC设备和半自适应混合ANR/ANC设备的实施例实现的噪声水平降低的图表。对于每个设备,计算固定滤波器(虚线)、自适应滤波器(虚线)和半自适应滤波器(实线)的结果。G1-G5表示五种不同的次级路径,其中,G1、G3和G5是在正常装配条件下测量的(耳机放在头上),G2和G4是在耳机放在桌子上或一半放在耳朵上时测量的(特殊情况)。可以看出,固定ANR/ANC设备在不同的次级路径下提供稳定的衰减性能。此外,在改变次级路径时,没有较大的估计误差。相比之下,自适应ANR/ANC设备在所需的自适应时间后表现出比固定ANR/ANC设备更好的ANR/ANC性能,但可以观察到由次级路径突然变化引起的较大估计误差。与固定ANR/ANC设备和自适应ANR/ANC设备相比,可以清楚地看出,本文公开的半自适应ANR/ANC设备实施例表现出比固定ANR/ANC设备更好的ANR/ANC性能,以及比自适应ANR/ANC设备更稳定的性能。

[0088] 本领域技术人员将理解,各种附图(方法和装置)中的“块”(“单元”)表示或描述本发明的实施例的功能(而不一定是硬件或软件中的独立“单元”),从而同等地描述装置实施例以及方法实施例的功能或特征(单元=步骤)。

[0089] 在本申请中提供的几个实施例中,应当理解,所公开的系统、装置和方法可以通过其它方式实现。例如,装置的所描述实施例仅仅是示例性的。例如,单元划分仅仅是一种逻辑功能划分,实际实现时可以有其它划分方式。例如,可以将多个单元或组件合并或集成到另一系统中,或者可以忽略或不执行一些特征。另外,所显示或描述的相互耦合或直接耦合或通信连接可以通过一些接口来实现。装置或单元之间的直接耦合或通信连接可通过电子、机械或其它形式实现。

[0090] 作为分离部件描述的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,可以位于一个位置上,或者可以分布在多个网络单元上。可以根据实际需要选择一些或全部单元来实现实施例方案的目的。

[0091] 另外,本发明的实施例中的功能单元可集成到一个处理单元中,或每个单元可物理上单独存在,或两个或更多单元可集成到一个单元中。

100 ↗

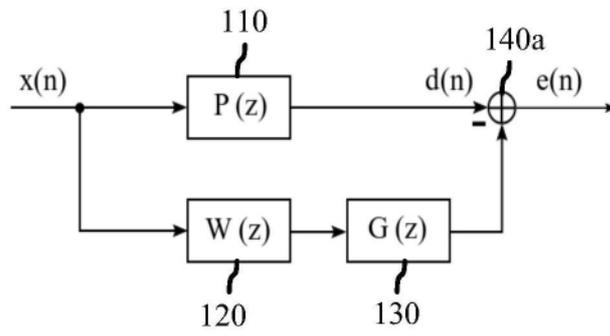


图1

200 ↗

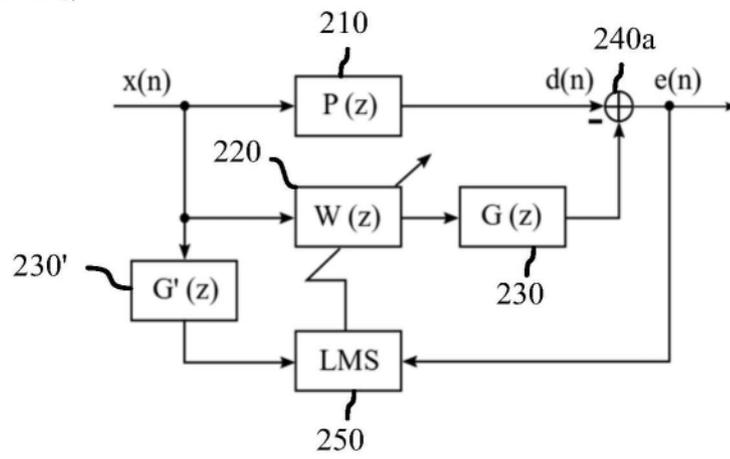


图2

300 ↗

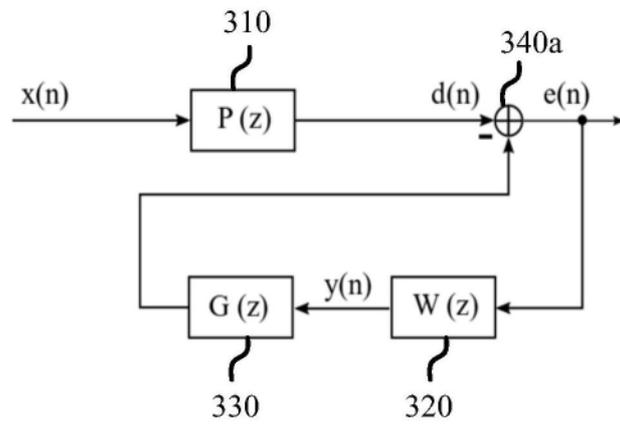


图3

400 ↗

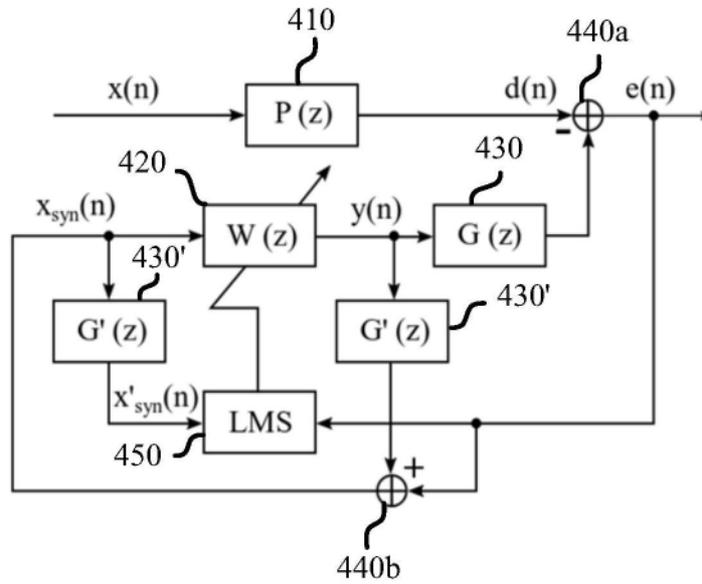


图4

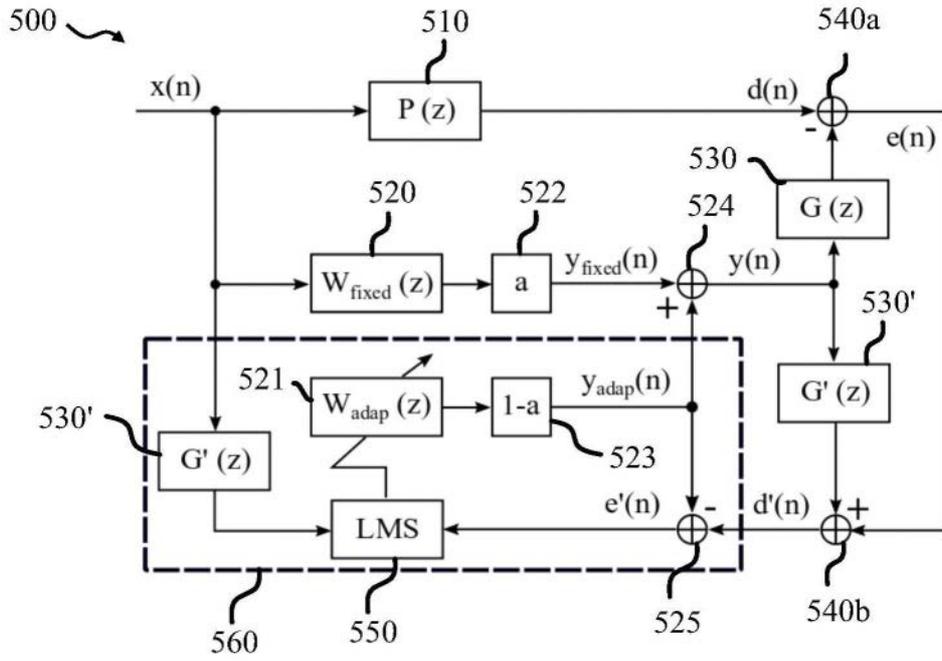


图5

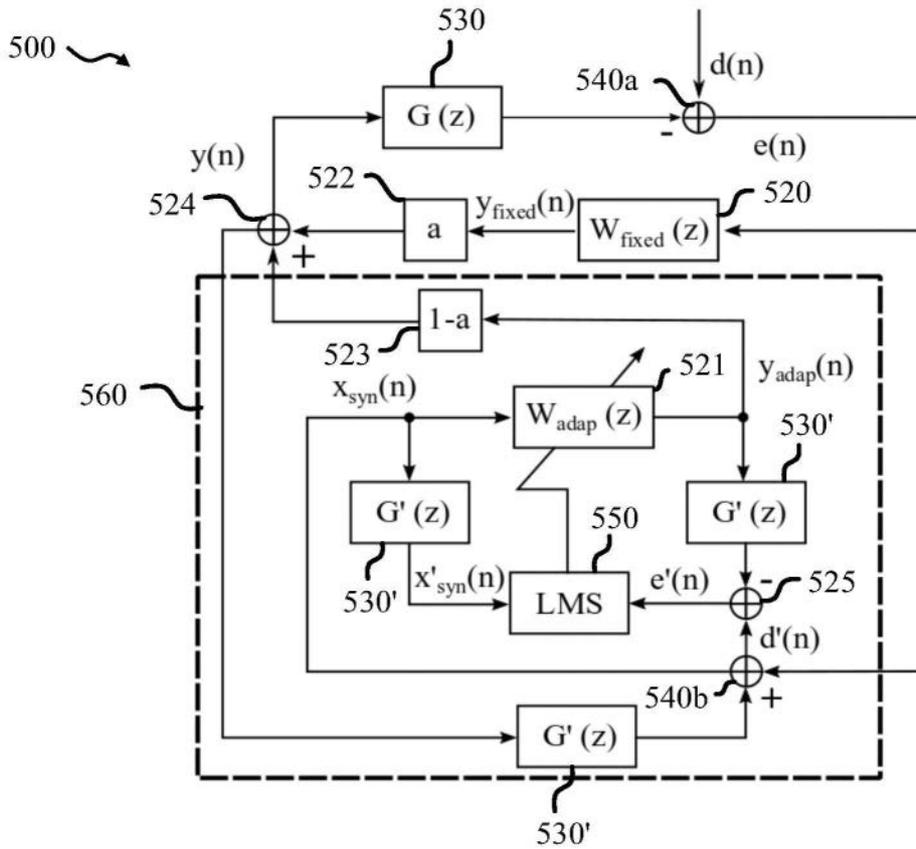


图6

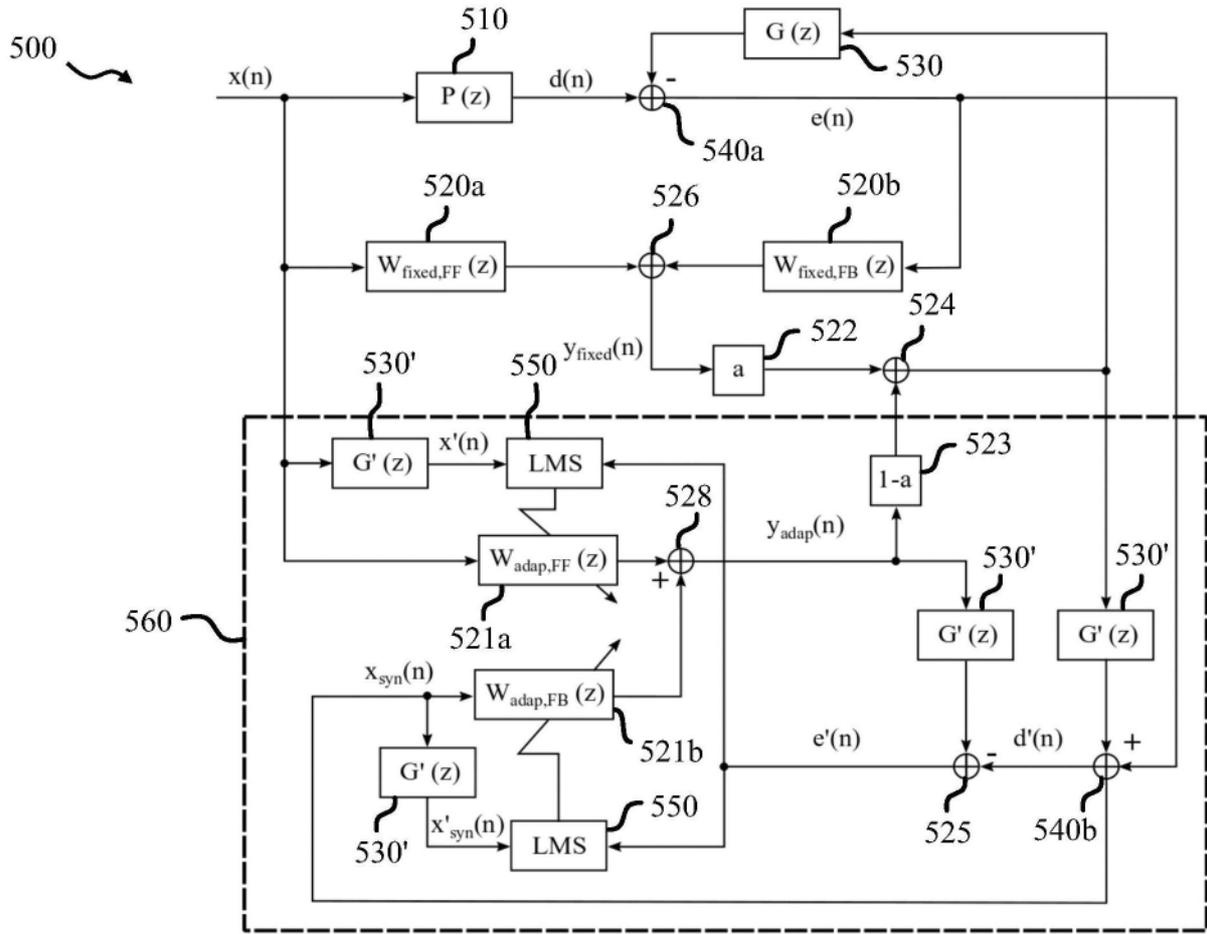


图7

800

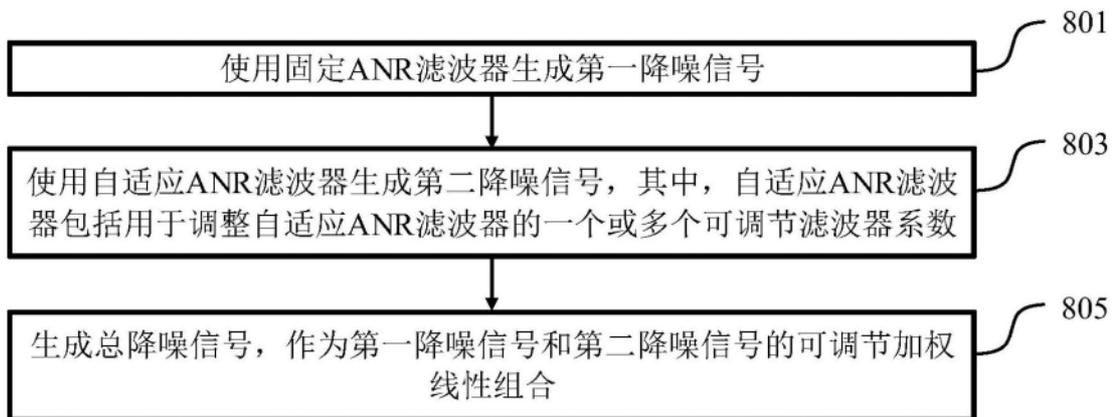


图8

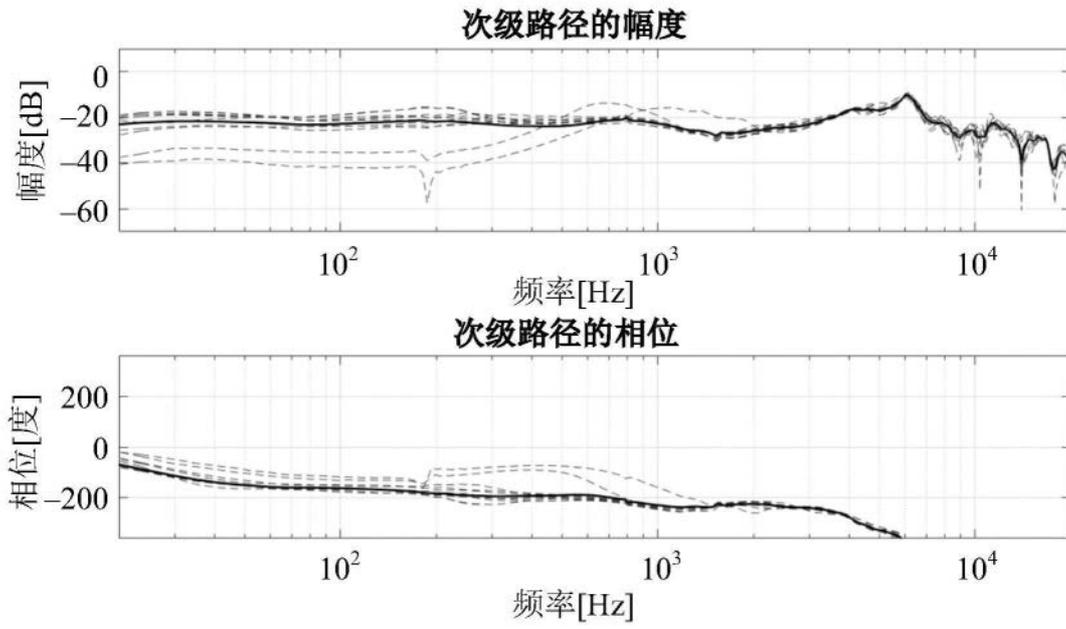


图9

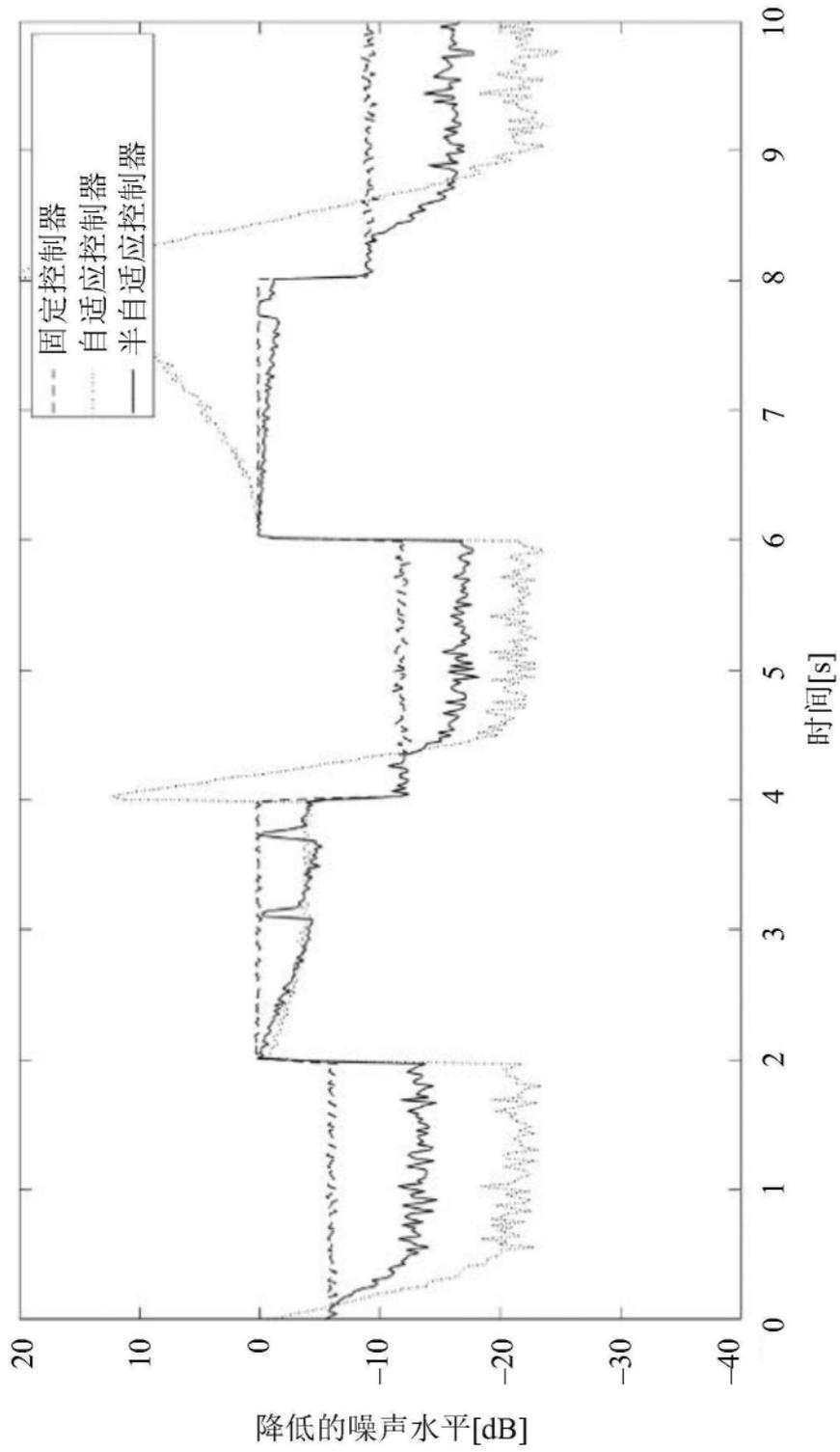


图10a

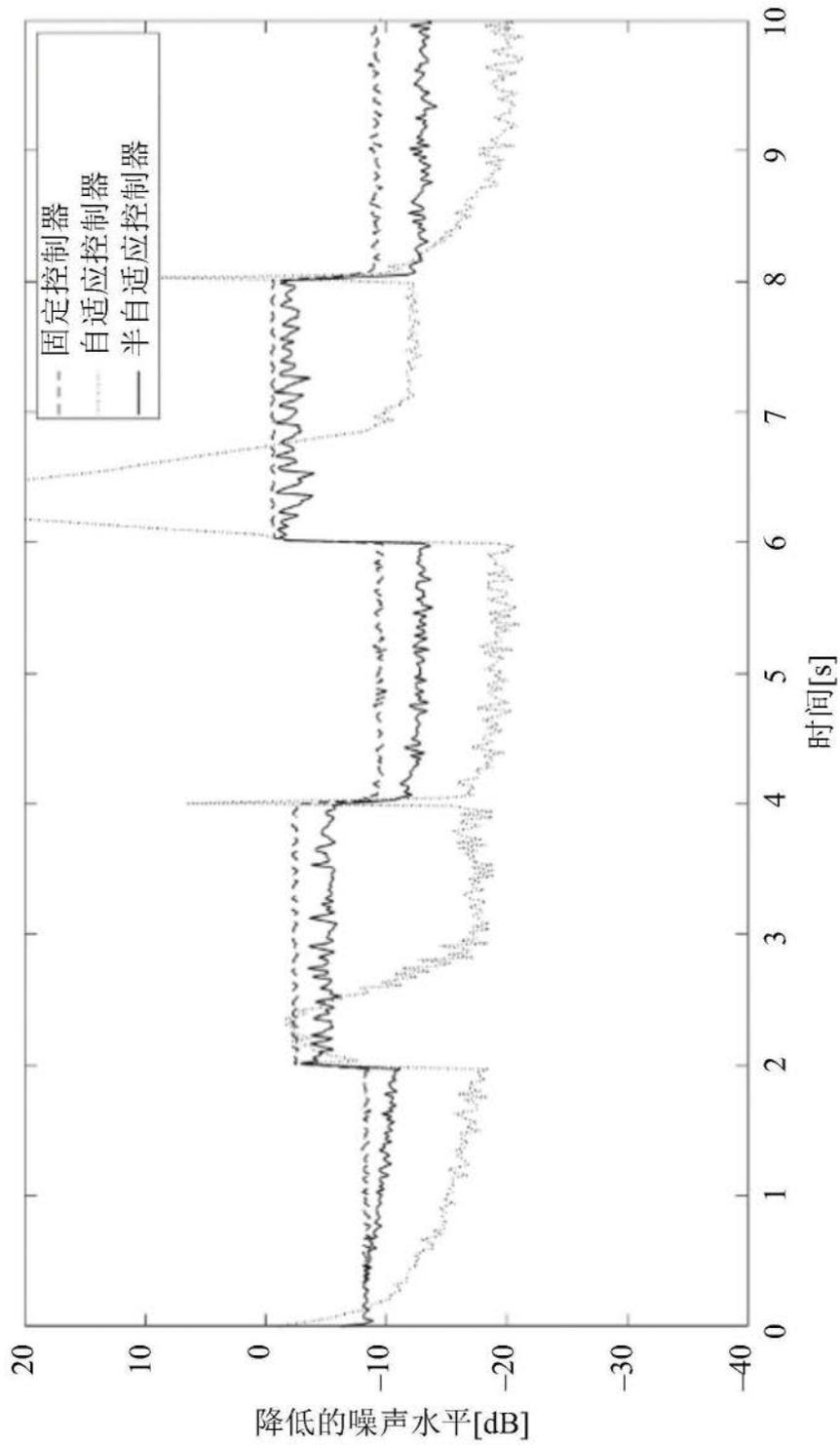


图10b

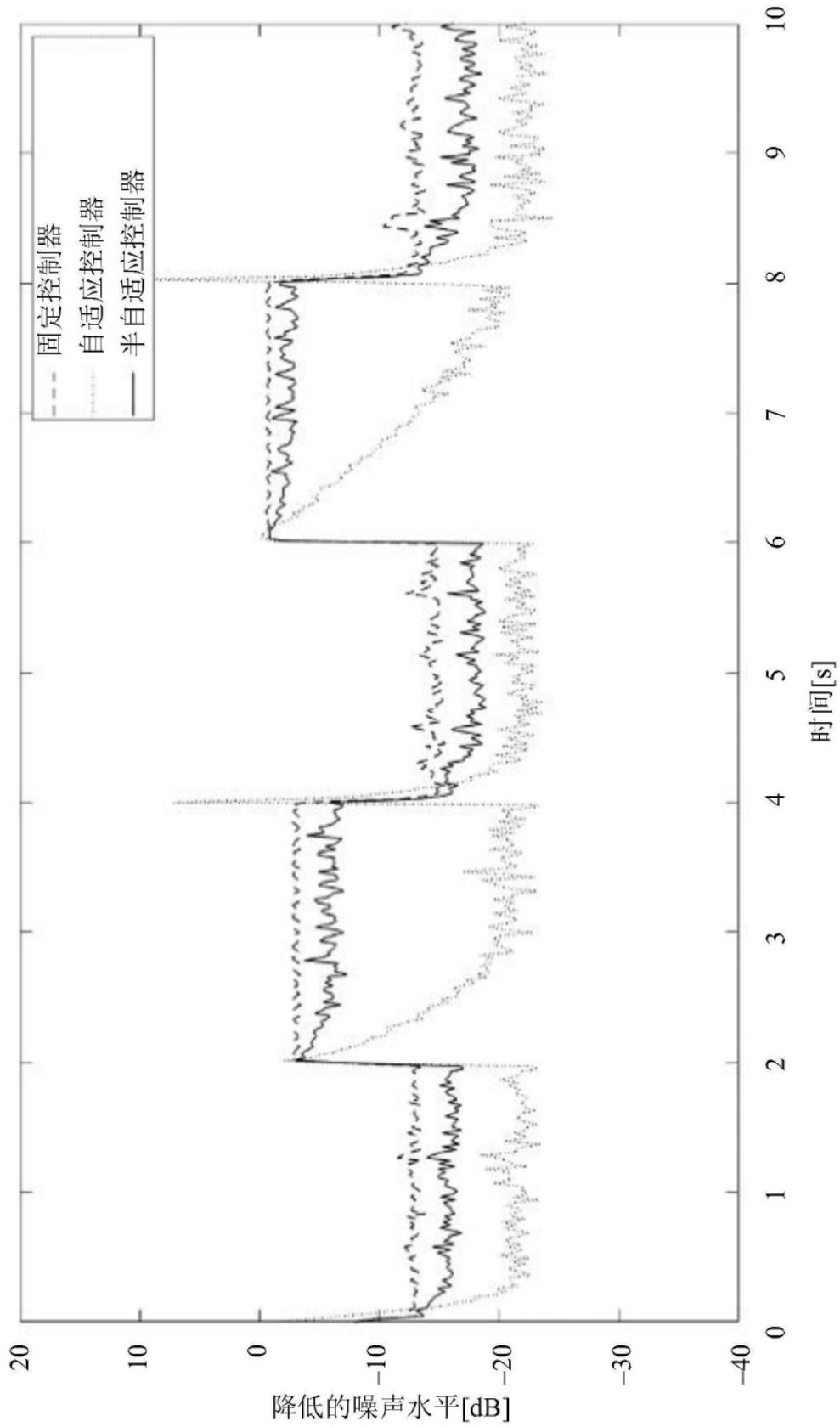


图10c