

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101989423 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 23

(21) 申请号 201010243867.1

JP 特开 2008-137636 A, 2008. 06. 19, 全文.

(22) 申请日 2010.07.30

EP 1770685 A1, 2007. 04. 04, 全文 .

(30) 优先权数据

审查员 张洁

09166902, 8 2009.07.30 EP

(73) 专利权人 NXP 股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 西蒙·多克洛

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 王波波

(51) Int. Cl.

G10K 11/175 (2006. 01)

(56) 对比文件

GB 2455822 A, 2009. 06. 24, 说明书第4页第4行-第7页第34行、第13页第22行-第15页第14行、图1-3.

WO 2007/038922 A1, 2007.04.12, 全文 .

US 2008/0186218 A1, 2008. 08. 07, 全文 .

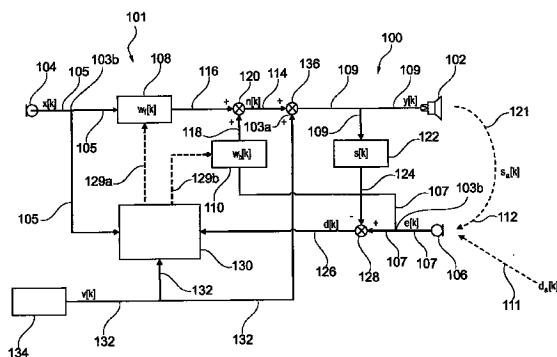
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 10 页

(54) 发明名称

利用感知掩蔽的有源降噪方法

(57) 摘要

本发明涉及使用感知掩蔽的有源降噪方法。描述了一种有源降噪方法，包括：接收所要播放的音频信号(132)；从至少一个麦克风(104、106)接收噪声信号(105、107、116、118、126)，所述噪声信号(105、107、116、118、126)指示环境噪声(111)；以及根据所述音频信号(132)和所述噪声信号(105、107、116、118、126)来产生噪声消除信号(114)。



1. 一种有源降噪方法,所述方法包括:

- 接收要播放的音频信号(132);
- 从至少一个麦克风(104、106)接收至少一个噪声信号(105、107、116、118、126),所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)指示环境噪声(111);
- 根据所述音频信号(132)和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)来产生噪声消除信号(114),

其中产生所述噪声消除信号(114)包括:

- 提供具有滤波器参数的有源降噪滤波器(108、110),所述滤波器参数限定了有源降噪滤波器的滤波器特性,
- 根据所述音频信号(132)和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)中的至少一个,提供所述有源降噪滤波器的所述滤波器参数的优化值(129a、129b);以及
- 使用所述滤波器参数的所述优化值(129a、129b),利用所述有源降噪滤波器(108、110),对所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)中的至少一个进行滤波,

所述方法还包括:

- 在优化过程中确定所述滤波器参数的所述优化值(129a、129b),所述优化过程利用所述音频信号(132)的时频特性和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)的时频特性,以改进所述音频信号(132)对残余噪声的感知的掩蔽。

2. 根据权利要求1所述的方法,所述方法还包括:

- 根据音频信号(132)确定频率掩蔽阈值(142),其中所述频率掩蔽阈值指示功率,在所述功率以下噪声信号被音频信号掩蔽;
- 确定期望的有源性能(154),所述期望的有源性能指示必须抑制环境噪声(111)到什么程度,使得环境噪声(111)被音频信号(132)所掩蔽;
- 优化所述滤波器参数,以减小实际有源性能和所述期望的有源性能(154)之间的差异。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述期望的有源性能(154)是根据频率掩蔽阈值(142)和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)的功率谱密度(144)之间的差来确定的。

4. 根据前述权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)之一是通过从参考麦克风(104)接收参考麦克风信号(105)而获得的前馈信号,所述参考麦克风(104)被配置用于接收所述环境噪声(111),并响应于所述环境噪声(111)产生所述参考麦克风信号(105)。

5. 根据前述权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)之一是通过从误差麦克风(106)接收误差麦克风信号(107)而获得的反馈信号,所述误差麦克风(106)被配置用于接收所述环境噪声(111)、由扬声器和所述误差麦克风(106)之间的辅路径(121)滤波的所述噪声消除信号(114)、和由所述辅路径(121)滤波的所述音频信号(132),并响应于这些信号产生所述误差麦克风信号(107)。

6. 根据前述权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)之一是通过从误差麦克风信号(107)中减去辅路径信号(124)的估计而获得的环境噪声估计信号(126),其中,所述辅路径信号(112)是由误差麦克风(106)接收

的信号,对应于所述音频信号(132)和所述噪声消除信号(114)的和,并且,所述误差麦克风信号(107)是由误差麦克风(106)产生的,所述误差麦克风(106)被配置用于接收所述环境噪声(111)、所述噪声消除信号(114)和所述音频信号(132),并响应于这些信号产生所述误差麦克风信号(107)。

7. 一种消除信号发生器(101),包括:

- 第一输入(103a),用于接收要播放的音频信号(132);
- 第二输入(103b),用于从至少一个麦克风(104、106)接收至少一个噪声信号(105、107、116、118、126),所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)指示环境噪声(111);
- 所述消除信号发生器(101)被配置为,根据所述音频信号(132)和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)来产生噪声消除信号(114),

其中,所述消除信号发生器还包括:

- 有源降噪滤波器(108、110),具有依赖于所述音频信号(132)和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)的滤波器特性,其中,所述有源降噪滤波器(108、110)被配置用于对所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)中的至少一个进行滤波,从而产生所述噪声消除信号(114),并且,所述有源降噪滤波器(108、110)具有滤波器参数,所述滤波器参数限定了有源降噪滤波器的所述滤波器特性,

- 滤波器优化单元(158、358、458),被配置为根据所述音频信号(132)和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126),提供所述有源降噪滤波器的所述滤波器参数的优化值(129a、129b),其中,所述滤波器优化单元被配置为在优化过程中确定所述滤波器参数的所述优化值(129a、129b),所述优化过程利用所述音频信号(132)的时频特性和所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126)的时频特性,以改进所述音频信号(132)对残余噪声的感知的掩蔽。

8. 根据权利要求7所述的消除信号发生器(101),所述消除信号发生器包括:

- 功率谱单元(150),用于基于所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、126),提供与所述环境噪声(111)相对应的环境噪声功率谱密度;
- 心理声学掩蔽模型单元(140),用于基于所述音频信号(132)产生频率掩蔽阈值(142),所述频率掩蔽阈值指示如下功率:在该功率以下,残余噪声被音频信号(132)所掩蔽;
- 减法单元(152),用于计算所述环境噪声功率谱密度(144)和所述频率掩蔽阈值(142)的差,作为期望的有源性能,其中,所述期望的有源性能指示必须抑制环境噪声(111)到什么程度,使得环境噪声(111)被音频信号(132)所掩蔽。

9. 根据权利要求8所述的消除信号发生器(101),其中:

- 所述滤波器优化单元(158、358、458)被配置为优化所述滤波器参数的值,使得实际有源性能在预定的程度上达到由所述减法单元(152、156)提供的预定期望有源性能(154)。

10. 一种有源降噪音频系统(100、200、300、400),包括:

- 根据权利要求7至9中任一项所述的消除信号发生器(101);
- 扬声器(102),用于播放所述音频信号(132);以及
- 至少一个麦克风(104、106),用于提供所述至少一个噪声信号(105、107、116、118、

126)。

利用感知掩蔽的有源降噪方法

技术领域

[0001] 本发明涉及有源降噪领域。

背景技术

[0002] 有源降噪 (ANR) 是一种通过使用至少一个扬声器产生噪声消除信号来降低环境噪声, 从而降低用户所感知的非期望环境噪声的方法。降低环境噪声量可以提高人耳舒适度, 并可以改进收听音乐的体验, 以及 (例如当与语音通信结合使用时) 提高所感知的话音易理解程度。

[0003] 在有源降噪中, 一个或多个麦克风产生噪声参考 (环境噪声的参考), 并且扬声器产生抗噪声形式的噪声消除信号, 该噪声消除信号至少部分地消除环境噪声, 从而降低或除去用户所感知的环境噪声的级别。应当区分有源降噪的情况和声音捕捉降噪, 在声音捕捉降噪中, 例如对于语音通信, 消除有噪的、所记录的麦克风信号。换言之, 有源降噪仅改进近端用户的声音质量, 而声音捕捉降噪仅改进远端用户的声音质量。另一区别特征在于: 在有源降噪中, 麦克风产生与所要降低或除去的环境噪声相对应的噪声参考信号, 而在声音捕捉降噪中, 麦克风用于记录所关注的用户信号。

[0004] WO 2007/038922 公开了一种用于提供人类用户对可听噪声感知的降低的系统, 该系统基于心理声学掩蔽效应, 即, 基于一个声音可能因另一声音的缘故变得部分或完全听不到的效应。心理声学掩蔽效应用于通过向人类用户提供掩蔽声音, 来降低或者甚至除去人类对听觉噪声的感知, 其中, 通过应用关于人类听觉感知属性的现有知识, 基于听觉噪声的强度, 来调整输入信号 (如音乐或另一娱乐信号) 的强度, 并将其提供给人类用户作为掩蔽声音信号, 使得掩蔽声音提高对于至少某些噪声信号的人类听觉感知阈值, 从而降低或除去用户对噪声信号的该部分的感知。

[0005] 然而, 提高输入信号的强度可能导致输入信号的失真。

[0006] 鉴于上述情形, 需要一种改进技术, 实现具有改进特性的有源降噪, 同时实质上避免或至少减少上述问题中的一些或更多问题。

发明内容

[0007] 上述需要可由根据独立权利要求的主题满足。从属权利要求描述了此处公开的主题的优势实施例。

[0008] 根据本发明的第一方面, 提供了一种有源降噪方法, 所述方法包括: 接收所要播放的音频信号; 从至少一个麦克风接收至少一个噪声信号, 其中, 所述噪声信号指示环境噪声; 以及根据所述音频信号和所述至少一个噪声信号来产生噪声消除信号。

[0009] 通过根据所述音频信号和所述至少一个噪声信号来产生噪声消除信号, 避免或减少了在噪声已被音频信号至少部分地掩蔽的频率区域中降低环境噪声的情形。因此, 降噪 (或噪声消除) 可以被集中在噪声未被音频信号掩蔽的频率区域中。这样一来, 可以提高降噪效率。

[0010] 一般地，此处，来自至少一个麦克风的噪声信号可以是例如原始麦克风信号和原始麦克风信号的经滤波的版本。

[0011] 根据实施例，噪声消除信号被配置用于减低环境噪声的强度，并特别地被配置用于减低环境噪声未被音频信号掩蔽的频率区域中的环境噪声的强度。

[0012] 根据实施例，产生噪声消除信号可以包括对两个或更多个噪声信号求和或组合，以产生噪声消除信号。根据实施例，在组合 / 求和前，可以对噪声信号进行处理（例如滤波）。

[0013] 根据实施例，根据第一方面的方法包括同时播放所述音频信号和所述噪声消除信号。此处，同时播放包括：以明确定义的时间偏移，播放所述音频信号和所述噪声消除信号。

[0014] 根据第一方面的又一实施例，产生噪声消除信号包括：提供具有滤波器参数的有源降噪滤波器，所述滤波器参数限定了有源降噪滤波器的滤波器特性；以及提供所述有源降噪滤波器的所述滤波器参数的优化值，所述优化值依赖于所述音频信号和所述至少一个噪声信号中的至少一个。此外，产生噪声消除信号可以包括：使用所述滤波器参数的所述优化值，利用对应的有源降噪滤波器，对所述至少一个噪声信号进行滤波。根据其他实施例，可以以不同的方式产生噪声消除信号。

[0015] 应当理解的是，针对不同的噪声信号，可以提供不同的有源降噪滤波器。一般地，滤波器组件可以被配置用于对所述至少一个噪声信号进行滤波，其中，所述滤波器组件包括至少一个有源降噪滤波器。所述滤波器组件可以例如实现前馈配置，在前馈配置中，所述滤波器组件包括一个或多个前馈滤波器。根据其他实施例，所述滤波器组件可以例如实现反馈配置，在反馈配置中，所述滤波器组件包括一个或多个反馈滤波器。根据另外的实施例，所述滤波器组件可以例如实现前馈 - 反馈配置，在前馈 - 反馈配置中，所述滤波器组件包括一个或多个前馈滤波器和一个或多个反馈滤波器。

[0016] 根据第一方面的又一实施例，所述方法还包括：在优化过程中确定滤波器参数的优化值，其中，所述优化过程使用所述音频信号的时频特性和所述至少一个噪声信号的时频特性，以改进所述音频信号对残余噪声的感知掩蔽。通过利用所述音频信号改进环境噪声的感知掩蔽，提供了非常高效的有源降噪。

[0017] 根据第一方面的又一实施例，所述方法包括：根据所述音频信号，确定（频率相关的）频率掩蔽阈值。例如，根据一个实施例，利用心理声学掩蔽模型来确定频率掩蔽阈值。

[0018] 此外，根据实施例，所述方法包括：确定期望的有源性能，所述期望的有源性能指示必须抑制环境噪声到什么程度，使得环境噪声被所述音频信号所掩蔽；以及优化所述滤波器参数，以减小实际有源性能和所述期望的有源性能之间的差异，从而提供滤波器参数的优化值。根据实施例，期望的有源性能是根据频率掩蔽阈值和所述至少一个噪声信号的功率谱密度之差来确定的。此处，术语“所述至少一个噪声信号的功率谱密度”包括例如：单个噪声信号的功率谱密度、两个或更多个噪声信号的组合 / 和的功率谱密度等。

[0019] 此外，根据另一实施例，所述方法包括：优化滤波器参数，以减小残余噪声信号的功率谱密度和频率掩蔽阈值之差，从而提供滤波器参数的优化值。

[0020] 应当理解的是，利用心理声学掩蔽模型涉及考虑人类听觉系统的基本属性，其中，该模型指示哪些声学信号或声学信号的组合能够和不能够被具有正常听力的人听到。根据其他实施例，针对听力障碍用户，适配心理声学掩蔽模型。心理声学掩蔽模型是本领域公知

的。

[0021] 可以利用任意适当的装置来产生指示环境噪声的噪声信号。例如，根据实施例，所述至少一个噪声信号中的至少一个是通过从参考麦克风接收参考麦克风信号而获得的前馈信号，所述参考麦克风被配置用于接收环境噪声，并响应于所述环境噪声产生所述参考麦克风信号。例如，所述参考麦克风可以在耳机外部（即以外）提供。

[0022] 根据又一实施例，所述至少一个噪声信号中的至少一个是通过从误差麦克风接收误差麦克风信号而获得的反馈信号，所述误差麦克风被配置用于接收所述环境噪声、所述噪声消除信号和所述音频信号，并响应于这些信号产生所述误差麦克风信号。应当注意的是，所述误差麦克风接收到的所述噪声消除信号和所述音频信号由扬声器和所述误差麦克风之间的辅路径来滤波。根据实施例，所述误差麦克风可以被放置为使得所述误差麦克风接收到的声音与用户耳朵接收到的声音相同或相近。因此，所述误差麦克风接收所述环境噪声以及对应于所述音频信号的声音。例如，根据实施例，所述误差麦克风可以被置于耳机内部。

[0023] 根据又一实施例，所述至少一个噪声信号中的至少一个是通过从所述误差麦克风信号中减去辅路径信号的估计而获得的环境噪声估计信号，其中，所述辅路径信号是由误差麦克风接收的信号，对应于所述音频信号和所述噪声消除信号的和，并且，所述误差麦克风信号是由误差麦克风产生的，所述误差麦克风被配置用于接收所述环境噪声、所述噪声消除信号和所述音频信号，并响应于这些信号产生所述误差麦克风信号。

[0024] 由于误差麦克风接收环境噪声、噪声消除信号和音频信号，因此必须减去与音频相对应的分量，以产生仅仅指示残余环境噪声的噪声信号。

[0025] 应当注意的是，除了产生反馈信号以外或备选地，还可以产生环境噪声估计信号。此外，为了产生环境噪声估计信号和反馈信号，可以使用不同的误差麦克风或相同的误差麦克风。

[0026] 虽然根据某些实施例，噪声信号是前馈信号或反馈信号，但根据第一方面的其他实施例，“至少一个噪声信号”是前馈信号和反馈信号的组合。

[0027] 根据此处公开的主题的第二方面，提供了消除信号发生器，所述消除信号发生器包括：第一输入，用于接收所要播放的音频信号；第二输入，用于从至少一个麦克风接收至少一个噪声信号，所述噪声信号指示环境噪声。此外，所述消除信号发生器被配置为，根据所述音频信号和所述噪声信号来产生噪声消除信号。

[0028] 根据实施例，所述噪声消除信号被配置用于，当由包括所述消除信号发生器在内的有源降噪系统的扬声器播放时，将环境噪声降低至残余噪声。此处，从至少一个麦克风接收噪声信号包括：从麦克风直接接收噪声信号，而不对麦克风输出进行滤波。此外，根据实施例，从至少一个麦克风接收噪声信号可以包括：对至少一个麦克风的输出进行滤波。例如，根据第二方面的实施例，至少一个噪声信号可以是前馈信号、反馈信号、或前馈信号和反馈信号的组合。

[0029] 根据第二方面的又一实施例，所述消除信号发生器包括：功率谱单元，用于基于噪声信号，提供与所述环境噪声相对应的环境噪声功率谱密度。此外，根据第二方面的实施例，所述消除信号发生器包括：心理声学掩蔽模型单元，用于基于所述音频信号产生频率相关掩蔽阈值，该掩蔽阈值指示如下功率：在该功率以下，残余噪声被音频信号掩蔽。根据第

二方面的又一实施例，所述消除信号发生器包括：减法单元，用于计算所述环境噪声功率谱密度和所述掩蔽阈值的差，例如作为期望的有源性能。

[0030] 根据又一实施例，根据第二方面的消除信号发生器还包括：有源降噪滤波器，具有依赖于音频信号和环境噪声信号的滤波器特性。根据第二方面的又一实施例，有源降噪滤波器被配置用于，对所述至少一个噪声信号进行滤波，从而产生所述噪声消除信号。

[0031] 根据第二方面的又一实施例，所述有源降噪滤波器具有滤波器参数，所述滤波器参数限定了有源降噪滤波器的滤波器特性。根据第二方面的又一实施例，所述消除信号发生器包括：滤波器优化单元，被配置用于根据音频信号和噪声信号来提供有源降噪滤波器的滤波器参数的优化值。

[0032] 根据第二方面的又一实施例，所述滤波器优化单元被配置用于，优化所述滤波器参数的值，使得实际有源性能在预定的程度上达到由所述减法单元提供的预定期望有源性能。此处，在预定的程度上达到预定期望有源性能包括：在特定限制内达到预定期望有源性能，例如，以特定程度逼近期望有源性能。此外，在预定的程度上达到预定期望有源性能包括：已执行了最大次数的迭代，其中，根据一个实施例，最大次数可以是固定数，或者根据其他实施例，最大次数可以是适配的参数。

[0033] 根据此处公开的主题的第三方面，提供了一种有源降噪音频系统，所述有源降噪音频系统包括：根据第二方面或其实施例的消除信号发生器；扬声器，用于播放音频信号；以及至少一个麦克风，用于提供至少一个噪声信号。根据又一实施例，用于播放音频信号的扬声器还用于播放噪声消除信号。根据其他实施例，提供分别用于播放音频信号和播放噪声消除信号的扬声器。根据其他实施例，提供两个或更多个扬声器，均用于播放音频信号和/或噪声消除信号。

[0034] 根据此处公开的主题的第四方面，提供了一种用于处理物理对象的计算机程序，其中，当由数据处理器执行时，所述计算机程序适于控制根据第一方面或其实施例的方法。

[0035] 根据此处公开的主题的第五方面，提供了一种用于处理物理对象的计算机程序，其中，当由数据处理器执行时，所述计算机程序适于提供根据第二方面或其实施例的消除信号发生器的功能。根据其他实施例，所述计算机程序被配置用于提供根据第二方面或其实施例的消除信号发生器的一个或多个单元的功能。

[0036] 如此处所使用的，对计算机程序的引用意在等效于对包含指令的程序元件和/或计算机可读介质的引用，所述指令用于控制计算机系统协调上述方法/组件/单元功能的执行。

[0037] 可以使用任意适当的程序设计语言（如 JAVA、C++），将计算机程序实现为计算机可读指令代码，并且可以将计算机程序存储在计算机可读介质（可移除盘、易失性或非易失性存储器、嵌入式存储器/处理器等）上。指令代码可操作用于将计算机或任何其他可编程设备编程为执行预期的功能。计算机程序可从网络（如可以从其进行下载的万维网）取得。

[0038] 本发明可以分别利用计算机程序以软件实现。然而，本发明还可以分别利用一个或多个特定电子电路以硬件实现。此外，本发明还可以以混合形式（即，以软件模块和硬件模块的组合）实现。

[0039] 以下，将参考有源降噪方法和消除信号发生器描述此处公开的主题的示例性实施

例。必须指出,与此处公开的主题的不同方面相关的特征的任意组合当然也是可行的。特别地,参照装置类权利要求对某些实施例进行了描述,而参照方法类权利要求对其他实施例进行了描述。然而,所属领域技术人员将根据以上和以下描述推断出,除非另外说明,除了属于一方面的特征的任意组合,与不同方面或实施例相关的特征之间的任意组合(例如甚至装置类权利要求的特征和方法类权利要求的特征之间的任意组合)也被视为在本申请内公开。

[0040] 此外,应当注意的是,可以将此处公开的主题的方面和实施例与有源降噪的其他方法,甚至与诸如声音捕捉降噪等其他技术相结合。

[0041] 通过以下所要描述的示例,以上限定的方面和实施例以及本发明的其他方面和实施例将显而易见,并且参考附图对以上限定的方面和实施例以及本发明的其他方面和实施例进行解释,但本发明不限于附图。

附图说明

[0042] 图 1 示出了根据此处公开的主题的实施例的有源降噪系统。

[0043] 图 2 示出了根据此处公开的主题的实施例的又一有源降噪系统。

[0044] 图 3 示出了图 2 的有源降噪系统的心理声学滤波器计算单元。

[0045] 图 4 示出了根据此处公开的主题的实施例的又一有源降噪系统。

[0046] 图 5 示出了图 4 的有源降噪系统的心理声学滤波器计算单元。

[0047] 图 6a 示出了误差麦克风处的示例性音频信号、环境噪声的功率谱密度以及频率掩蔽阈值。

[0048] 图 6b 示出了与图 6a 的信号相对应的期望有源性能。

[0049] 图 7a 示出了示例性音频信号、环境噪声、不采用感知掩蔽的 ANR 的残余噪声、以及采用感知掩蔽的 ANR 的残余噪声的功率谱密度。

[0050] 图 7b 示出了图 7a 中信号的期望有源性能、不采用感知掩蔽的 ANR 的有源性能和采用感知掩蔽的 ANR 的有源性能。

[0051] 图 8 示出了优化收敛后图 7a 的信号的加权函数。

[0052] 图 9 示出了根据此处公开的主题的实施例的又一有源降噪系统。

[0053] 图 10 示出了图 9 的有源降噪系统的心理声学滤波器计算单元。

具体实施方式

[0054] 附图中的示出是示意性的。应当注意的是,在不同的图中,对类似或相同的元件提供相同的附图标记或与对应的附图标记仅第一数位不同的附图标记。

[0055] 图 1 示出了根据此处公开的主题的实施例的、组合前馈 - 反馈 ANR 系统 100 的框图。ANR 系统 100 由扬声器 102、外部参考麦克风 104 和内部误差麦克风 106 组成,但应当注意的是,所提出的方法可以简单地概括用于多个扬声器以及多个参考和误差麦克风。参考麦克风信号 105 由 $x[k]$ 表示,误差麦克风信号 107 由 $e[k]$ 表示,扬声器信号 109 由 $y[k]$ 表示。误差麦克风 106 记录以 111 指示的环境噪声 $d_a[k]$ 以及辅路径信号 112,辅路径信号 112 由 $s_a[k] * y[k]$ 给出,其中 $s_a[k]$ 表示辅路径 121,即,从扬声器到误差麦克风的声学传递函数,*表示卷积。因此,误差麦克风信号 107 为

[0056] $e[k] = d_a[k] + s_a[k] * y[k]$, (1)

[0057] 其中,下标 a 表示模拟信号或滤波操作的理想数字表示。实际中,辅路径 121 是由辅路径滤波器 122 估计的,在图 1 中由 $s[k]$ 表示。接着,由辅路径滤波器 122 对扬声器信号 109 进行滤波,产生经滤波的扬声器信号 124,经滤波的扬声器信号 124 是辅路径信号 112 的估计。误差麦克风信号 107 和经滤波的扬声器信号 124 的差异产生了环境噪声估计信号 126,环境噪声估计信号 126 是对误差麦克风 106 处的环境噪声 111 的估计。环境噪声估计信号 126 在图 1 中由 $d[k]$ 表示,并由求和单元 128 计算。

[0058] 为了降低误差麦克风 106 处的环境噪声 111(对应于用户所感知的噪声),利用扬声器产生噪声消除信号 114。根据实施例,噪声消除信号 114(由 $n[k]$ 表示)是经滤波的参考麦克风信号 116 和经滤波的误差麦克风信号 118 的和,即

[0059] $n[k] = w_f[k] * x[k] + w_b[k] * e[k]$, (2)

[0060] 其中, $w_f[k]$ 表示前馈滤波器 108, $w_b[k]$ 表示反馈滤波器 110。对麦克风信号 116、118 求和是由求和单元 120 执行的。虽然 ANR 滤波器 108、110 是在数字域中表示的,但也可以利用模拟滤波器或混合模拟 - 数字滤波器来执行 ANR 滤波操作,以放宽 A/D 和 D/A 转换器(图 1 中未示出)的延迟要求。

[0061] 前馈滤波器 108 和反馈滤波器 110 的以 129a 和 129b 指示的滤波器参数由心理声学滤波器计算单元 130 确定。在实施例中,滤波器计算单元接收环境噪声估计信号 126、参考麦克风信号 105 和来自音频源 134 的音频信号 132(在图 1 中由 $v[k]$ 给出)。因此,根据此处公开的主题的实施例,心理声学滤波器计算单元 130 接收两个噪声信号(前馈信号 105 和反馈信号 126)。此外,根据此处公开的主题的实施例,心理声学滤波器计算单元 130 接收音频信号 132。根据这些输入信号 105、126 和 132,心理声学滤波器计算单元 130 确定前馈滤波器 108 和反馈滤波器 110 的滤波器参数的优化值。将这些滤波器的输出(对应于经滤波的噪声相关信号 116 和 118)求和确定在求和单元 136 处加至音频信号 132 的噪声消除信号 114,从而产生扬声器信号 109。以下给出了心理声学滤波器计算单元 130 的实施例的细节。

[0062] 应当注意的是,图 1 的 ANR 系统可以被视为包括音频源 134、扬声器 102 和消除信号发生器 101,根据实施例,消除信号发生器 101 包括图 1 所示的其余元件。因此,根据实施例,消除信号发生器 101 具有第一输入 103a 和第二输入 103b,第一输入 103a 用于接收所要播放的音频信号 132,第二输入 103b 用于从至少一个麦克风 104、106 接收指示环境噪声 111 的至少一个噪声信号 105、107。

[0063] 图 2 示出了对图 1 中 ANR 系统的反馈环的修改。相应地,图 2 示出了 ANR 系统 200,其中,在利用反馈滤波器 110 进行滤波前,首先从误差麦克风信号 107 中减去误差麦克风 106 处扬声器贡献的估计 124。应当注意的是,在图 2 中,利用与图 1 中相同的附图标记来表示相似或相同的元件,并且此处不重复对其的描述。因此,在图 2 的情况下,噪声消除信号 $n[k]$ 和环境噪声估计信号 126(由 $d[k]$ 表示)由下式给出

[0064] $n[k] = w_f[k] * x[k] + w_b[k] * d[k]$, (3)

[0065] $d[k] = e[k] - s[k] * y[k]$, (4)

[0066] 其中, $s[k]$ 仍表示辅路径 $s_a[k]$ 的估计。此处,假设辅路径的估计是可用的。可以在用于识别该辅路径的文献中找到不同的方法,利用例如在启用 ANR 系统前获得的固定估

计,或者在 ANR 操作期间利用对音频信号(以及可能的人工附加噪声源)和误差麦克风信号进行操作的自适应滤波算法来对估计进行更新。

[0067] 以下,将更详细地描述如图 2 所示的 ANR 系统,但原理上,所提出的用于利用感知掩蔽优化 ANR 滤波器的方法也可以用于图 1 中的 ANR 系统。ANR 性能典型地表示为(误差麦克风的)有源性能,有源性能被定义为不启用和启用 ANR 系统的 PSD 差,即

[0068]

$$G(\omega) = 10 \log_{10} \varphi_d(\omega) - 10 \log_{10} \varphi_e(\omega), \quad (5)$$

[0069] 其中, $\varphi_d(\omega) = E\{|D(\omega)|^2\}$ 是误差麦克风处环境噪声的 PSD, $\varphi_e(\omega) = E\{|E(\omega)|^2\}$ 是误差麦克风信号的 PSD(假设无音频重放)。如此处所使用的, $E\{x\}$ 表示随机变量 x 的期望值。

[0070] 当 ANR 系统(例如,图 2 所示的系统 200)用于收听音乐或用于语音通信时,音频信号 v[k] 与噪声消除信号同时播放,即

[0071] $y[k] = n[k] + v[k]. \quad (6)$

[0072] 根据实施例,例如,仍然在图 2 所示的情况下,信号 d[k] 表示误差麦克风处环境噪声的估计,并且不受音频信号 v[k] 的影响。

[0073] 以下,为了便于理解根据此处公开的主题的滤波器优化,描述了滤波器优化的示例,其中,不考虑音频信号。以下,描述了由于针对滤波器优化考虑音频信号而引起的修改。

[0074] 前馈和反馈滤波器 108、110 典型地被设计为使得在不考虑音频信号的情况下,最小化误差麦克风处的残余噪声。如果假设前馈和反馈滤波器 $w_f[k]$ 和 $w_b[k]$ 是 L 维有限冲激响应(FIR)滤波器 w_f 和 w_b ,则这对应于最小化最小平方(LS)代价函数

[0075] $J(w_f, w_b) = \int_{\Omega} E\{|D_d(\omega) + S_d(\omega)N(\omega)|^2\} d\omega \quad (7)$

[0076] $= \int_{\Omega} E\{|D(\omega) + S(\omega)[X(\omega)w_f^T g(\omega) + D(\omega)w_b^T g(\omega)]|^2\} d\omega,$

[0077] 其中, Ω 表示所关注的频率范围,并且

[0078] $g(\omega) = [1 \ e^{-j\omega} \dots \ e^{-j(L-1)\omega}]^T. \quad (8)$

[0079] 可以示出,(7) 中的代价函数可以重写为二次函数

[0080] $J(w) = c + 2w^T a + w^T Q w, \quad (9)$

[0081] 其中

[0082] $w = \begin{bmatrix} w_f \\ w_b \end{bmatrix}, \quad (10)$

[0083] 且

[0084]

$$a = \int_{\Omega} \operatorname{Re}\{S(\omega) \begin{bmatrix} \varphi_{sd}(\omega)g(\omega) \\ \varphi_d(\omega)g(\omega) \end{bmatrix}\} d\omega, \quad (11)$$

[0085]

$$Q = \int_{\Omega} |S(\omega)|^2 \operatorname{Re}\left\{ \begin{bmatrix} \varphi_s(\omega)g(\omega)g^H(\omega) & \varphi_{sd}(\omega)g(\omega)g^H(\omega) \\ \varphi_{sd}^*(\omega)g(\omega)g^H(\omega) & \varphi_d(\omega)g(\omega)g^H(\omega) \end{bmatrix} \right\} d\omega, \quad (12)$$

[0086] 其中

[0087] $\varphi_x(\omega) = E\{|X(\omega)|^2\}, \varphi_{xd}(\omega) = E\{X(\omega)D^*(\omega)\}. \quad (13)$

[0088] 由于 $X(\omega)$ 、 $D(\omega)$ 和 $S(\omega)$ 是通过对参考麦克风信号 $x[k]$ 、环境噪声估计信号 $d[k]$ 和辅路径 $s[k]$ 的估计进行频率分析来获得的，因此可以通过最小化 (7) 中的二次代价函数来获得前馈和反馈滤波器 w_f 和 w_b ，即

[0089] $w = Q^{-1}a. \quad (14)$

[0090] 然而，发明人发现，由于上述优化独立于音频信号，因此利用该方法获得的有源性能典型地与音频信号的掩蔽属性不完全匹配。

[0091] 因此，以下，将描述利用感知掩蔽的滤波器优化。为此，将描述 ANR 滤波器的优化方法，该方法基于音频信号和（误差麦克风处）环境噪声之间的时频 (spectro-temporal) 特性差异，以最小化用户对残余噪声的感知。根据实施例，这样的滤波器优化是由心理声学滤波器计算单元执行的，在图 3 中以框图形式示出了心理声学滤波器计算单元的实施例。

[0092] 首先，通过利用辅路径滤波器 122a 对音频信号 132 进行滤波，将误差麦克风处的音频贡献估计为 $s[k] * v[k]$ ，产生误差麦克风处的所估计的音频信号 138。在一个实施例中，辅路径滤波器 122a 是与图 1 所示的滤波器 122 相同的辅路径滤波器。根据其他实施例，辅路径滤波器 122a 是单独的辅路径滤波器，可以具有与图 1 中的滤波器 122 相同或不同的滤波器特性。

[0093] 所估计的音频信号 138 的频率掩蔽阈值 142 (由 $T_v(\omega)$ 表示) 由心理声学掩蔽模型单元 140 利用心理声学掩蔽模型来计算。基于人类听觉系统的基本属性 (例如内耳中的频率组创建和信号处理、频域和时域中的同时和时间上的掩蔽效应)，可以将模型产生为指示哪些声学信号或哪些声学信号的不同组合能够和不能被具有正常听力的人听到。所使用的掩蔽模型可以基于例如所谓 Johnston 模型或 ISO-MPEG-1 模型 (参见例如 MPEG 1，“Information technology—coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s—part 3: Audio,” ISO/IEC 11172-3 :1993 ;K. Brandenburg and G. Stoll, “ISO-MPEG-1 audio: A generic standard for coding of high-quality digital audio”, Journal Audio Engineering Society, pp. 780–792, Oct. 1994 ;T. Painter and A. Spanias, “Perceptual coding of digital audio”, Proc. IEEE, vol. 88, no. 4, pp. 451–513, Apr. 2000)。

[0094] 根据此处描述的实施例，仅考虑 (频域中) 同时的掩蔽效应。然而，根据其他实施例，也可以附加或备选地利用 (时域中) 时间上的掩蔽效应。

[0095] 其次，将误差麦克风处的环境噪声的功率谱密度 (PSD) 144 估计为 $\varphi_d(\omega)$ 。为此，环境噪声估计信号 126 (在图 3 中由 $d[k]$ 表示) 由频率分析器 146 接收，频率分析器 146 响应于此，输出相应的变换量 148，表示为 $D(\omega)$ 。可能的变换可以是傅立叶变换、子带变换、小波变换等。在所示的示例性情况下，使用傅立叶变换。接着，变换量 (如傅立叶变换) 148 由功率谱单元 150 接收，功率谱单元 150 被配置为产生环境噪声估计信号 126 的功率谱密度 144 ($\varphi_d(\omega)$)。

[0096] 环境噪声 PSD 144 和音频信号的掩蔽阈值 142 之间的差 151 指示应当抑制环境噪声到什么程度，从而环境噪声被音频信号所掩蔽，因而使用户无法听到环境噪声。该差是由减法单元 152 计算的。减法单元 152 可以包括求和单元和处理单元 (图 3 中未示出)，处理单元用于提供输入信号之一的负值 (在减法单元处由“-”指示)，而对减法单元 152 的另一

输入信号不取负值进行处理（在减法单元 158 处由“+”指示）。因此，根据实施例。该差是 ANR 系统的期望的有源性能 154（由 $G_{des}(\omega)$ 表示）。应当注意的是，可以对期望的有源性能施加附加约束（在图 3 中以 156 指示），如（例如在低频中的）最低性能和（例如在高频中的）最大放大。根据一般实施例，音频信号 132 用于计算频率相关掩蔽阈值，在该阈值以下（即，如果环境噪声的功率电平低于掩蔽阈值）环境噪声是无法听到的。

[0097] 第三，ANR 滤波器或（如图 3 所示）ANR 滤波器参数 129a、129b 在滤波器优化单元 158 中被计算为使得实际有源性能尽可能逼近期望的有源性能 154。根据实施例，滤波器优化单元的输入是掩蔽阈值相关质量以及反馈相关质量（基于误差麦克风信号）和前馈相关质量（基于参考麦克风信号）中的至少一个。例如，在示意性实施例中，滤波器优化单元 158 的输入是期望的有源性能 154、环境噪声估计信号 126 的傅立叶变换 148 和通过对参考麦克风信号 105 的频率分析（例如傅立叶变换）而获得的参考麦克风信号 105 的傅立叶变换 160。这样的频率分析是例如由频率分析器 162 执行的。一般地，参考麦克风信号 105 的频率分析器 162 可以被配置为与环境噪声估计信号 126 的频率分析器 146 相似或类似。

[0098] 针对滤波器优化，可以采用不同的方法，例如以下方法之一：

[0099] • 通过在 (7) 的 LS 代价函数中包括频率相关加权函数 $F_i(\omega)$ ，即

$$[0100] J_i(w_f, w_b) = \int_{\Omega} F_i(\omega) |D(\omega) + S(\omega) [X(\omega) w_f^T g(\omega) + D(\omega) w_b^T g(\omega)]|^2 d\omega, \quad (15)$$

[0101] 由于较高的权重提高有源性能，而较低的权重降低有源性能，因此可以对有源性能进行成形。应当注意的是，可以将 US 7,308,106 中介绍的方法视为对应于信号无关加权函数，例如 A 加权或 C 加权。可以通过在 (11) 和 (12) 的 a 和 Q 的计算中包括加权函数 $F_i(\omega)$ ，与 (14) 类似地计算最小化 (15) 的 ANR 滤波器 w_f 和 w_b 。然而，通过提高特定频率区域中的有源性能，典型地降低另一频率区域中的有源性能，从而应当使用迭代过程来迭代地调整加权函数 $F_i(\omega)$ ，使得有源性能尽可能逼近期望的有源性能。

[0102] • 通过直接最小化取决于 ANR 滤波器 w_f 和 w_b 的实际有源性能 $G(\omega)$ 和期望的有源性能 $G_{des}(\omega)$ 之间的差，即

$$[0103] J_d(w_f, w_b) = \int_{\Omega} |G(\omega) - G_{des}(\omega)|^2 d\omega. \quad (16)$$

[0104] 最小化该非线性代价函数需要本领域公知的迭代优化技术。

[0105] • 通过求解以下受约束的优化问题

$$[0106] \min \alpha \text{ 约束条件 } G(\omega) \leq \alpha G_{des}(\omega), \quad (17)$$

[0107] 这需要本领域公知的半定程序设计技术。

[0108] 使用耳机形式的音频系统上的真实扩散噪声记录进行仿真，以展示利用感知掩蔽来计算 ANR 滤波器的优势。在仿真中，考虑反馈配置，即前馈滤波器 $w_f = 0$ ，对应于图 4 和图 5 中的框图，图 4 示出了反馈配置下的 ANR 系统 300，图 5 示出了图 4 的反馈 ANR 系统的相应心理声学滤波器计算单元 330。

[0109] 在图 4 中，利用相同的附图标记来表示与图 2 相同或相似的实体和信号，并且此处不重复描述这些实体和信号。与图 2 不同，由 $n[k]$ 表示的图 4 中的噪声消除信号 114 仅包括唯一的用反馈滤波器 110 滤波的环境噪声估计信号 126，其中，如图 2 中一样，环境噪声估计信号 126 被计算为经滤波的扬声器信号 126 和误差麦克风信号 107 间的差。

[0110] 根据 ANR 系统 300 的反馈配置，心理声学滤波器计算单元 300 被配置用于仅向反馈滤波器 110 提供反馈滤波器参数 129b。由于反馈配置下的 ANR 系统不包括参考麦克风和

滤波操作 $w_f[k]$, 其不需要(并且不包括)用于合并前馈和反馈滤波操作的输出的求和单元 120(参见图 1 和图 2)。

[0111] 图 5 更详细地示出了图 4 的心理声学滤波器计算单元 330。在图 5 中, 利用相同的附图标记来表示与图 2 相同或相似的实体和信号, 并且此处不重复描述这些实体和信号。与图 3 所示的反馈 - 前馈滤波器优化单元 158 不同, 反馈 ANR 的滤波器优化单元 358 仅接收期望的有源性能 154 和例如具有环境噪声估计信号 126 的傅立叶变换 148 形式的反馈信号, 如图 5 所示。

[0112] 考虑到上述实施例和示例, 图 6a 示出了误差麦克风处的示例性音频信号 $s[k] * v[k]$ 的功率谱密度 (PSD) 164, 根据该功率谱密度利用 ISO-MPEG-1 模型计算了频率掩蔽阈值 142($T_v(\omega)$)。图 6a 还示出了误差麦克风处的示例性环境噪声 PSD 144(表示为 $\varphi_d(\omega)$)。在图 6a 中, 分别以功率 P 对频率 f 为单位示出了均位于误差麦克风处的音频信号 PSD 164 和环境噪声 PSD 144、以及对应的频率掩蔽阈值 142。根据频率掩蔽阈值 142 和环境噪声 PSD 144, 计算期望的有源性能 154($G_{des}(\omega)$), 以期望的有源性能 (AP) 对频率 f 为单位在图 6b 中示出了期望的有源性能。

[0113] 图 7a 示出了音频信号的 PSD 164($\varphi_v(\omega)$) 和环境噪声 PSD 144($\varphi_d(\omega)$), 以及两种不同的残余噪声 PSD, 其中功率 P 是相对应频率 f 绘制的:

[0114] • 第一残余噪声 PSD 166(表示为 $\varphi_{e1}(\omega)$), 其中利用不考虑音频信号的滤波器优化方法计算 ANR 滤波器。

[0115] • 第二残余噪声 PSD 168(表示为 $\varphi_{e2}(\omega)$), 其中利用考虑了音频信号的(频域)感知掩蔽的滤波器优化方法计算 ANR 滤波器。ANR 滤波器通过迭代调整(15)中的加权函数 $F_i(\omega)$ 进行了优化。

[0116] 在图 7a 中, 所有 PSD 均在一个倍频程中进行了平均, 在一个倍频程中对 PSD 进行平均是 ANR 应用中的标准过程。由图 7a 可见, 对于 800Hz 以下和 8kHz 以上的频率, $\varphi_{e2}(\omega)$ 包含比 $\varphi_{e1}(\omega)$ 多的残余噪声, 而对于 800Hz 和 8kHz 之间的频率, $\varphi_{e2}(\omega)$ 包含比 $\varphi_{e1}(\omega)$ 少的残余噪声。然而, 显而易见, 同 $\varphi_{e1}(\omega)$ 相比, $\varphi_{e2}(\omega)$ 与音频信号的频谱特征匹配得更好。

[0117] 图 7b 示出了针对不采用感知掩蔽的 ANR 滤波器的、在图 7b 中以 170 指示的有源性能 $G_1(\omega)$; 和针对采用感知掩蔽的 ANR 滤波器的、在图 7b 中以 172 指示的有源性能 $G_2(\omega)$; 以及在图 7b 中以 154 指示的期望的有源性能 $G_{des}(\omega)$ 。可以看到, 采用感知掩蔽的 ANR 滤波器的有源性能 $G_2(\omega)$ 非常接近于期望的有源性能 $G_{des}(\omega)$ 。

[0118] 如上所述, 通过迭代地调整(15)中的加权函数 $F_i(\omega)$ 优化了第二残余噪声 PSD 168 的 ANR 滤波器, 其中, 据此处公开的主题的实施例, NR 滤波器考虑感知掩蔽。图 8 中描绘了收敛后的 $F_i(\omega)$ (以 174 指示), 其中, 幅度 A 是相对于频率 f 绘制的。

[0119] 图 9 和 10 示意了根据此处公开的主题的实施例的 ANR 系统 400 和对应的心理声学滤波器计算单元 430。与关于反馈配置的图 4 和图 5 相反, 图 9 和图 10 的分别的 ANR 系统 400 和心理声学滤波器计算单元 430 涉及前馈配置。

[0120] 在图 9 中, 用相同的附图标记表示 ANR 系统 400 的与图 2 相同或相似的实体和信号, 并且此处不重复描述这些实体和信号。与图 2 不同, 由 $n[k]$ 表示的图 4 中的噪声消除信号 114 仅包括唯一的通过用前馈滤波器 108 滤波获得的经滤波的参考麦克风信号 116。

[0121] 根据 ANR 系统 400 的反馈配置,心理声学滤波器计算单元 430 被配置用于仅向前馈滤波器 108 提供前馈滤波器参数 129a。由于前馈配置下的 ANR 系统不包括滤波操作 $w_b[k]$, 其不需要(并且不包括)用于合并前馈和反馈滤波操作的输出的求和单元 120(参见图 1 和图 2)。

[0122] 图 10 更详细地示出了图 9 的心理声学滤波器计算单元 430。在图 10 中,用相同的附图标记表示与图 3 相同或相似的实体和信号,并且此处不重复描述这些实体和信号。与图 5 所示的反馈滤波器优化单元 358 不同,并且根据图 3 所示的反馈 - 前馈滤波器优化单元 158, 前馈 ANR 系统 400 的滤波器优化单元 458 接收三个输入信号:期望的有源性能 154; 例如具有参考麦克风信号的傅立叶变换 160 形式的前馈信号;以及例如具有环境噪声估计信号 126 的傅立叶变换 148 形式的反馈信号,如图 10 所示。然而,与反馈 - 前馈滤波器优化单元 158 相反,前馈滤波器优化单元 458 例如通过仅输出前馈滤波器 108 的滤波器参数 129a, 来仅仅优化前馈滤波器 108。

[0123] 根据此处公开的主题的实施例,以使处理器能够提供此处公开的相应实体功能的相应计算机程序产品形式提供有源降噪(ANR)系统的任意组件,如上述单元和滤波器。根据其他实施例,可以软件提供 ANR 系统的任意组件,如上述单元和滤波器。根据其他混合实施例,可以软件提供某些组件并以硬件提供其他组件。

[0124] 应当注意的是,输入“包括”不排除其他元件或步骤,并且“一”或“一个”不排除多个。此外,可以组合结合不同实施例描述的元件。还应当注意,权利要求中的附图标记不应理解为对权利要求范围的限制。

[0125] 为了扼要重述本发明的上述实施例,可以说:

[0126] ANR 能够有益于多种应用(如耳机、移动电话手机、汽车和助听器)。特别地,由于 ANR 耳机能够有效地降低用户所体验的噪声从而提高有躁环境(如列车和飞机)中的舒适度,ANR 耳机正变得愈加流行。

[0127] ANR 系统的实施例(如 ANR 耳机)由扬声器、一个或多个麦克风、以及对麦克风信号的滤波操作组成的。在前馈配置中,至少一个参考麦克风安装在耳机外部,并且扬声器信号是参考麦克风信号的经滤波的版本。当至少一个误差麦克风安装在耳机内部时,由于误差麦克风信号提供与误差麦克风处的残余噪声有关的反馈,可以优化滤波操作,误差麦克风处的残余噪声典型地良好对应于用户实际感知到的噪声。滤波器可以例如被设计为使得误差麦克风的声音级别最小化。在反馈配置中,仅存在至少一个误差麦克风,并且扬声器信号是误差麦克风信号的经滤波的版本。此外,对于该配置,可以优化滤波操作,例如最小化误差麦克风处的声音级别。此外,在组合前馈 - 反馈配置中,扬声器信号是参考和误差麦克风信号的经滤波的版本的和。

[0128] 当 ANR 耳机用于收听音乐或用于语音通信时,在实施例中,通过扬声器将音频信号与噪声消除信号同时播放。在采用同时音频播放的已知 ANR 方案中,ANR 滤波操作的优化 / 适配以完全独立于音频信号为目标。根据此处公开的主题,在提出的方法中,基于音频信号和环境噪声间的时频特性差异优化 ANR 滤波操作,以在不使音频信号失真的情况下最小化用户对残余噪声的感知。更具体地,根据实施例,利用感知掩蔽效应,即声音可能因另一声音的缘故变得部分或完全听不到。本方法可以用于例如前馈、反馈和组合前馈 - 反馈配置。

[0129] 利用组合前馈 - 反馈配置的 ANR 系统的实施例（即图 1 和图 2 所示的 ANR 系统）可以包括以下特征中的一个或多个：

- [0130] • 至少一个参考麦克风，记录参考麦克风信号 $x[k]$
- [0131] • 至少一个误差麦克风，记录误差麦克风信号 $e[k]$
- [0132] • 至少一个扬声器，播放扬声器信号 $y[k]$
- [0133] • 音频信号 $v[k]$
- [0134] • 数字滤波器 $s[k]$ ，对扬声器信号进行操作。该滤波器表示辅路径 $s_a[k]$ 的估计，并且可以是固定的或可以在 ANR 操作期间进行更新（附图中未示出更新方案）。通过将从误差麦克风信号减去该滤波器的输出，获得信号 $d[k]$ ，信号 $d[k]$ 表示误差麦克风处环境噪声的估计。
- [0135] • 滤波操作 $w_f[k]$ ，对参考麦克风信号进行操作。该滤波操作可以用可编程数字滤波器、模拟滤波器或混合模拟 - 数字滤波器实现。
- [0136] • 滤波操作 $w_b[k]$ ，对误差麦克风信号（参见图 1）或信号 $d[k]$ （参见图 2）进行操作。当滤波操作是对误差麦克风信号操作时，该滤波操作可以用可编程数字滤波器、模拟滤波器或混合模拟 - 数字滤波器实现。当滤波操作是对 $d[k]$ 操作时，该滤波操作可以用可编程数字滤波器实现。
- [0137] • 求和单元，用于对滤波操作 $w_f[k]$ 和 $w_b[k]$ 的输出求和。该求和单元的输出信号 $n[k]$ 表示噪声消除信号。
- [0138] • 求和单元，用于对噪声消除信号和音频信号求和。
- [0139] • 心理声学滤波器计算单元，利用音频信号和环境噪声的时频特性计算滤波操作 $w_f[k]$ 和 $w_b[k]$ 的参数，以利用音频信号尽可能掩蔽残余噪声的感知。该心理声学滤波器计算单元可独立于实时滤波操作运行，即可以离线计算滤波操作的参数，然后向该前馈和反馈滤波操作的实时执行复制该参数。
- [0140] 图 3 示出了心理声学滤波器计算单元的框图的示例（对于组合前馈 - 反馈配置）。其将音频信号 $v[k]$ 参考麦克风信号 $x[k]$ 和所估计的环境噪声信号 $d[k]$ 作为输入信号，并产生滤波操作 $w_f[k]$ 和 $w_b[k]$ 的参数。在图 3 描述的框图中，仅考虑（频域中的）同时掩蔽效应，但也可以利用（时域中的）时间上的掩蔽效应。根据此处公开的主题的实施例，心理声学滤波器计算单元包括以下中的一个或多个
- [0141] • 频率分析单元，对参考麦克风信号 $x[k]$ 进行操作并产生 $X(\omega)$ 。该频率分析可以用离散时间傅立叶变换实现。
- [0142] • 频率分析单元，对信号 $d[k]$ 进行操作并产生 $D(\omega)$ 。该频率分析可以用离散时间傅立叶变换实现。
- [0143] • 功率谱单元，对 $D(\omega)$ 进行操作并产生 $\varphi_d(\omega)$ 。
- [0144] • 数字滤波器 $s[k]$ ，对音频信号进行操作。该滤波器的输出表示误差麦克风处音频信号的估计。然而，特别地，该滤波器是非必要部件并且可以省去。
- [0145] • 心理声学掩蔽模型单元，产生频率掩蔽阈值 $T_v(\omega)$ 。所使用的掩蔽模型可以基于例如 ISO-MPEG-1 模型。
- [0146] • 减法单元，从心理声学掩蔽模型单元的输出减去功率谱单元的输出，产生期望的有源性能 $G_{des}(\omega)$ 。

[0147] • 可以对期望的有源性能施加附加约束, 如(例如在低频中的)最低性能和(例如在高频中的)最大放大。

[0148] • 滤波器优化单元, 优化滤波操作 $w_f[k]$ 和 $w_b[k]$ 的参数, 使得实际有源性能尽可能逼近期望的有源性能。可以使用不同的优化方法, 如, 利用(15)中 LS 代价函数的迭代加权, 利用非线性优化方法, 或利用半定程序设计技术。

[0149] 此外, 前馈配置下的 ANR 系统不涉及反馈滤波操作 $w_b[k]$ 。因此, 在该情况下, 心理声学滤波器计算单元仅需要参数前馈滤波操作 $w_f[k]$ 的参数。

[0150] 反馈配置下的 ANR 系统不包括参考麦克风。因此, 无需滤波操作 $w_f[k]$ 和用于前馈和反馈滤波操作的输出的求和单元。此外, 图 1 中描绘的心理声学滤波器计算单元仅需产生反馈滤波操作 $w_h[k]$ 的参数, 无需对参考麦克风信号进行操作的频率分析单元。

[0151] 最后, 应当注意的是, 可以在例如扬声器将音频信号与噪声消除信号同时播放的任意 ANR 应用(如耳机、移动电话耳机、汽车、助听器)中使用此处所公开的主题。由于利用音频信号和环境噪声的时频特性对 ANR 滤波器进行了优化, 因此通过音频信号尽可能掩蔽了残余噪声的感知。

[0152] 附图标记列表

- [0153] 100、200、300、400ANR 系统
- [0154] 101 消除信号发生器
- [0155] 102 扬声器
- [0156] 103a、103b 消除信号发生器的输入
- [0157] 104 参考麦克风
- [0158] 105 参考麦克风信号
- [0159] 106 误差麦克风
- [0160] 107 误差麦克风信号
- [0161] 108 前馈滤波器
- [0162] 109 扬声器信号
- [0163] 110 反馈滤波器
- [0164] 111 环境噪声
- [0165] 112 辅路径信号
- [0166] 114 噪声消除信号
- [0167] 116 经滤波的参考麦克风信号
- [0168] 118 经滤波的误差麦克风信号
- [0169] 120 求和单元
- [0170] 121 辅路径
- [0171] 122、122a 辅路径滤波器
- [0172] 124 经滤波的扬声器信号(辅路径信号的估计)
- [0173] 126 环境噪声估计信号
- [0174] 128 求和单元
- [0175] 129a、129b 滤波器参数值
- [0176] 130、330、430 心理声学滤波器计算单元

- [0177] 132 音频信号
- [0178] 134 音频源
- [0179] 136 求和单元
- [0180] 138 所估计的音频信号
- [0181] 140 心理声学掩蔽模型单元
- [0182] 142 频率掩蔽阈值
- [0183] 144 环境噪声的功率谱密度 (PSD)
- [0184] 146 频率分析器
- [0185] 148 变换量
- [0186] 150 功率谱单元
- [0187] 151 环境噪声 PSD 和掩蔽阈值之间的差
- [0188] 152 求和单元
- [0189] 153 期望的有源性能
- [0190] 154 约束
- [0191] 158、358、458 滤波器优化单元
- [0192] 160 变换量
- [0193] 162 频率分析器
- [0194] 164 音频信号的功率谱密度
- [0195] 166 第一残余噪声的功率谱密度
- [0196] 168 第二残余噪声的功率谱密度
- [0197] 170 不采用感知掩蔽的有源性能
- [0198] 172 采用感知掩蔽的有源性能

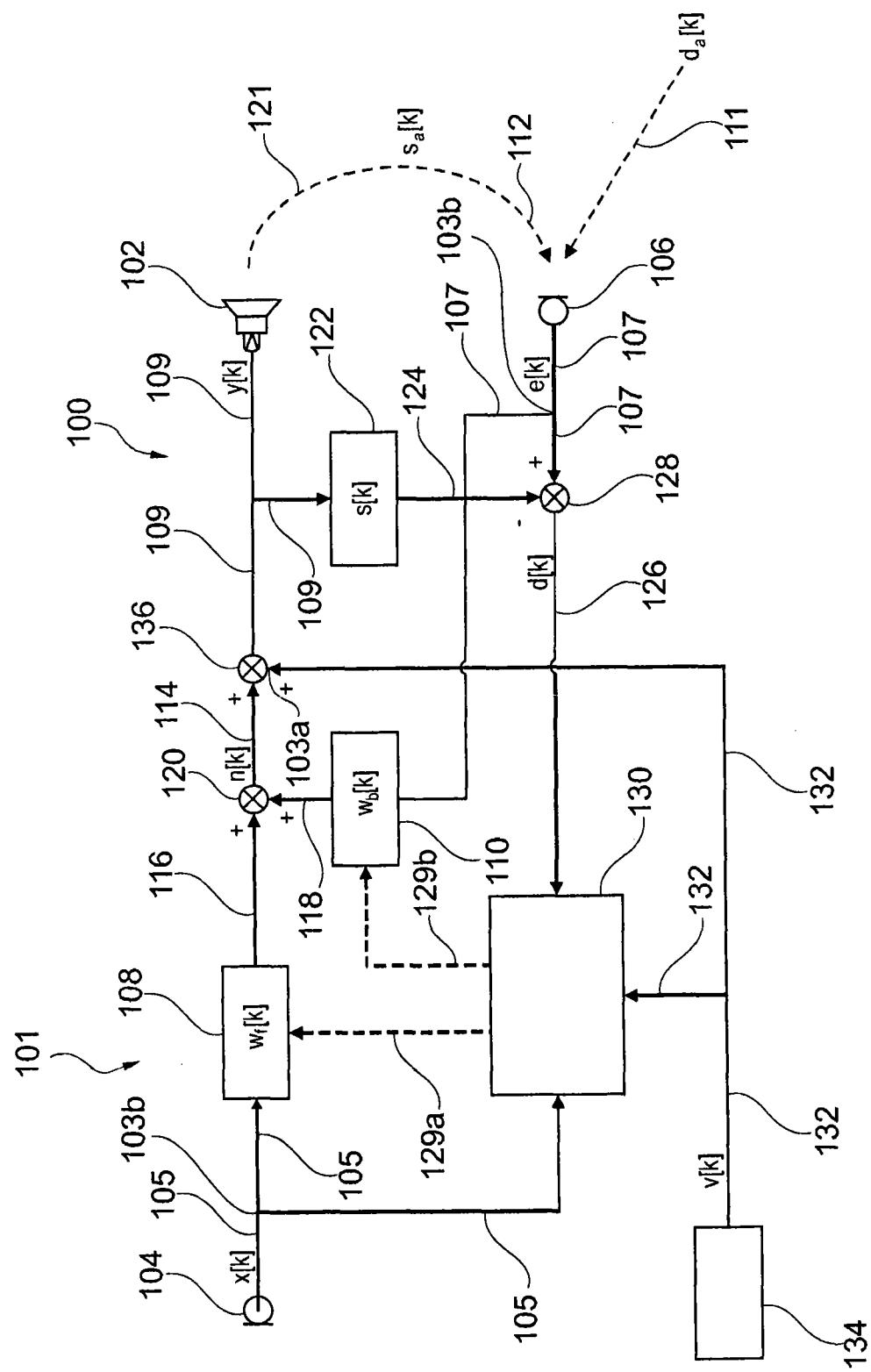


图 1

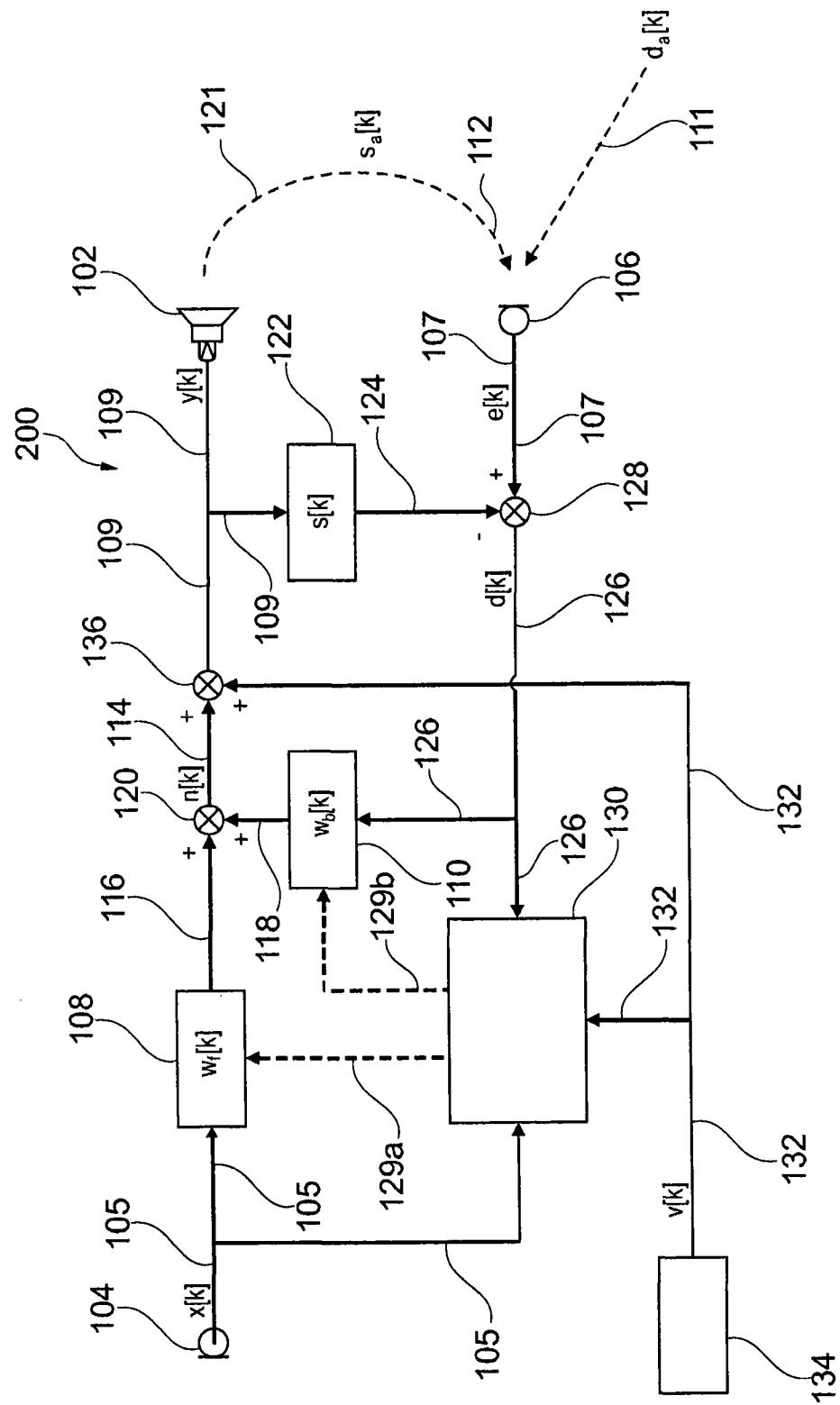


图 2

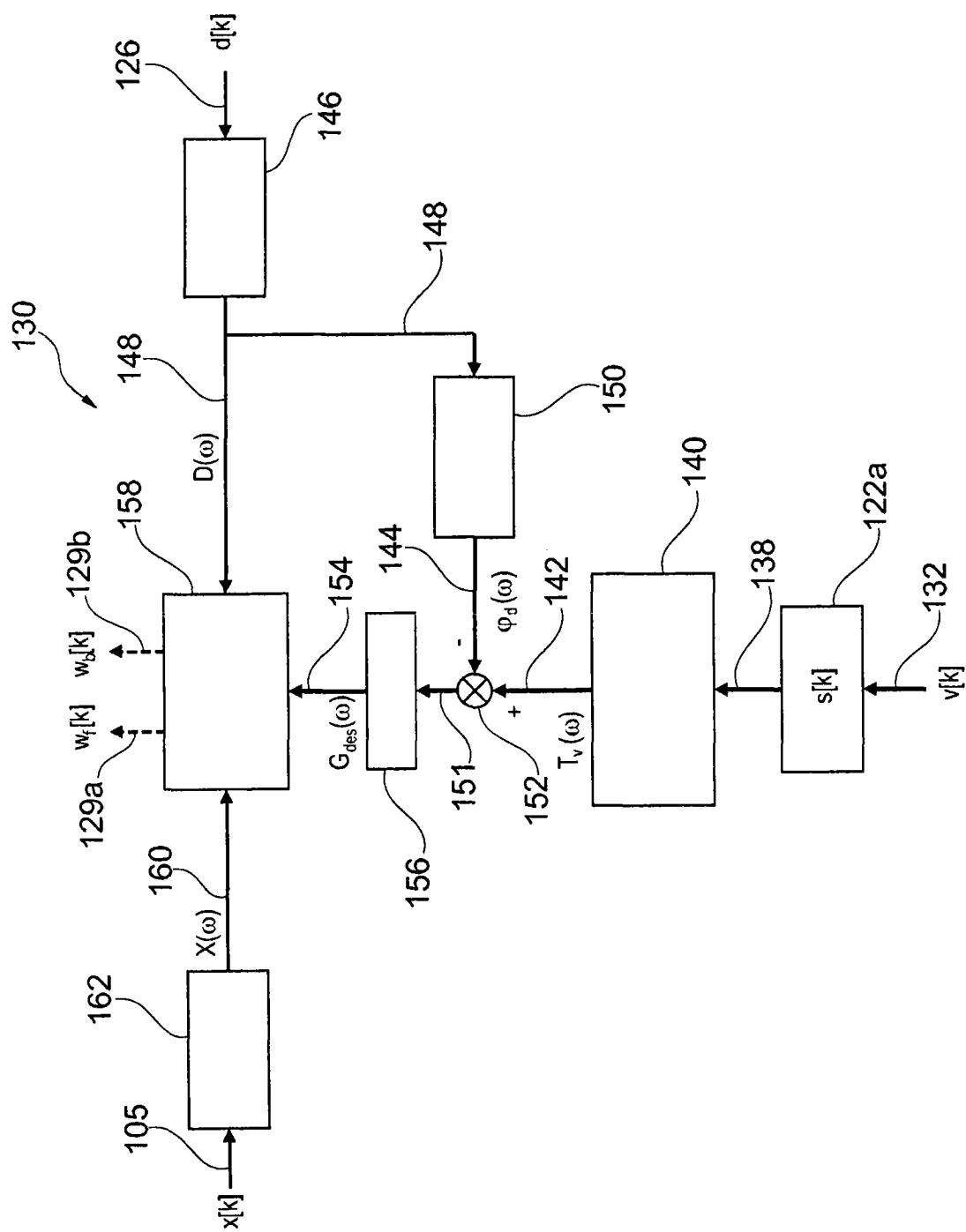


图 3

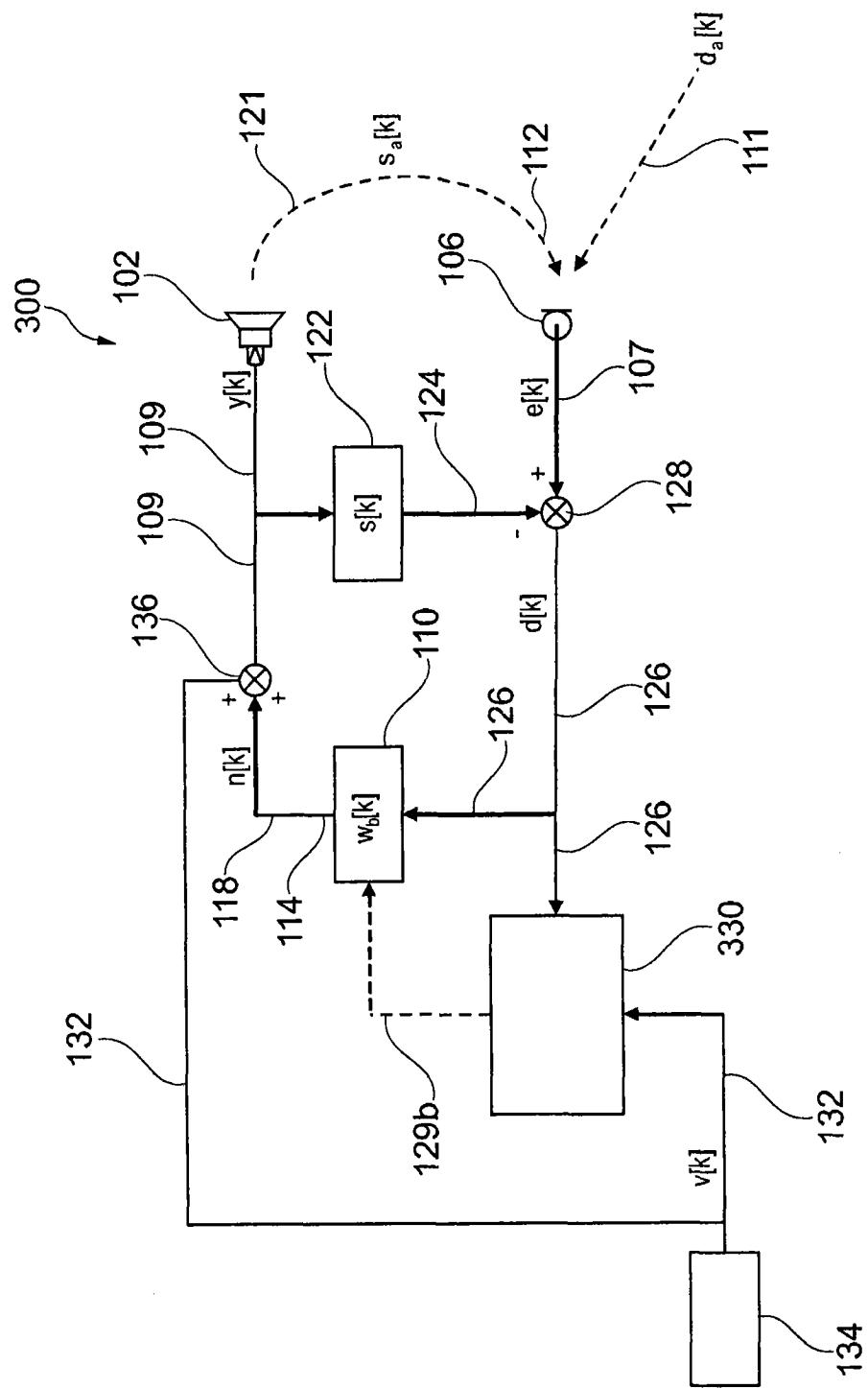


图 4

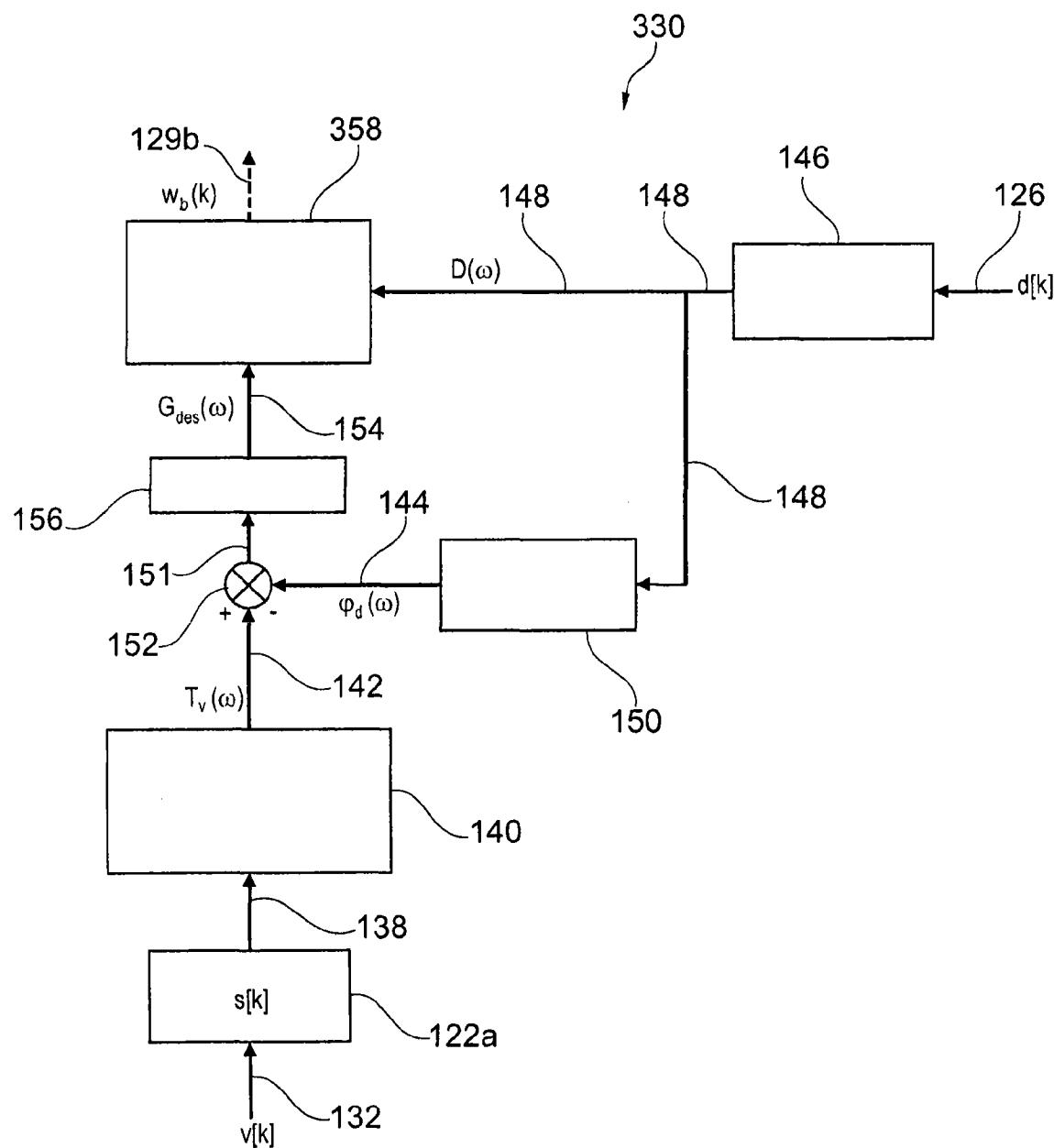


图 5

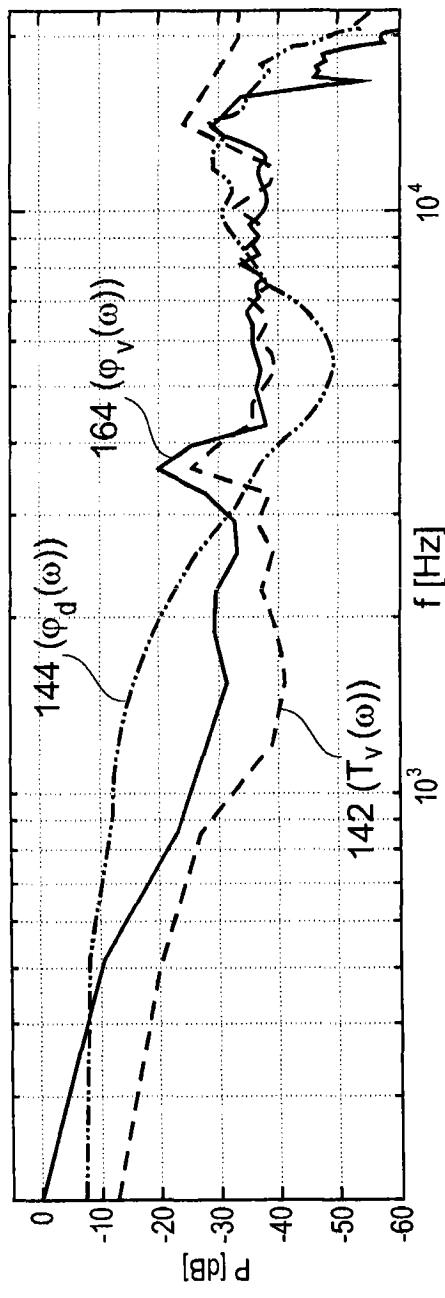


图 6a

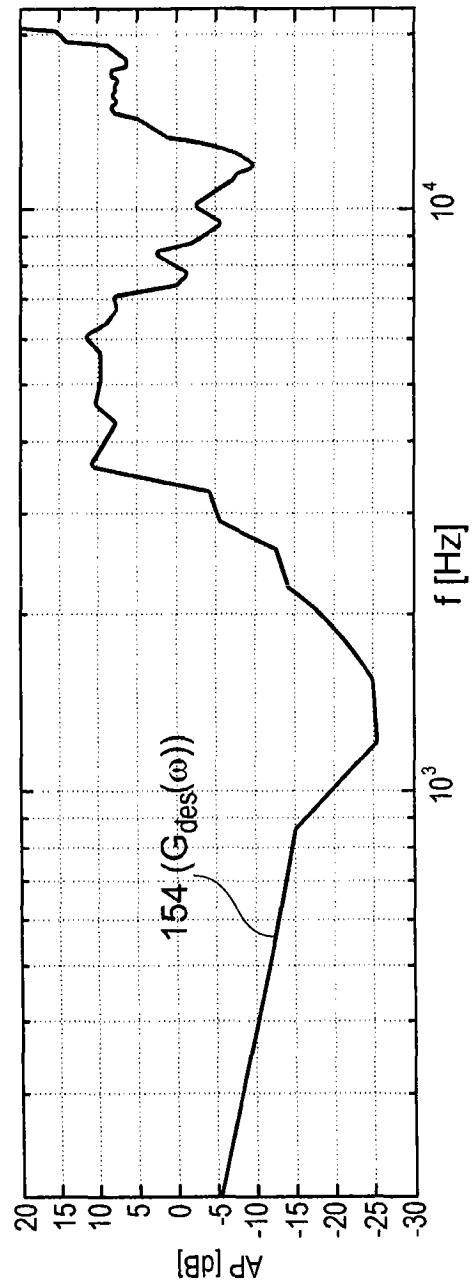


图 6b

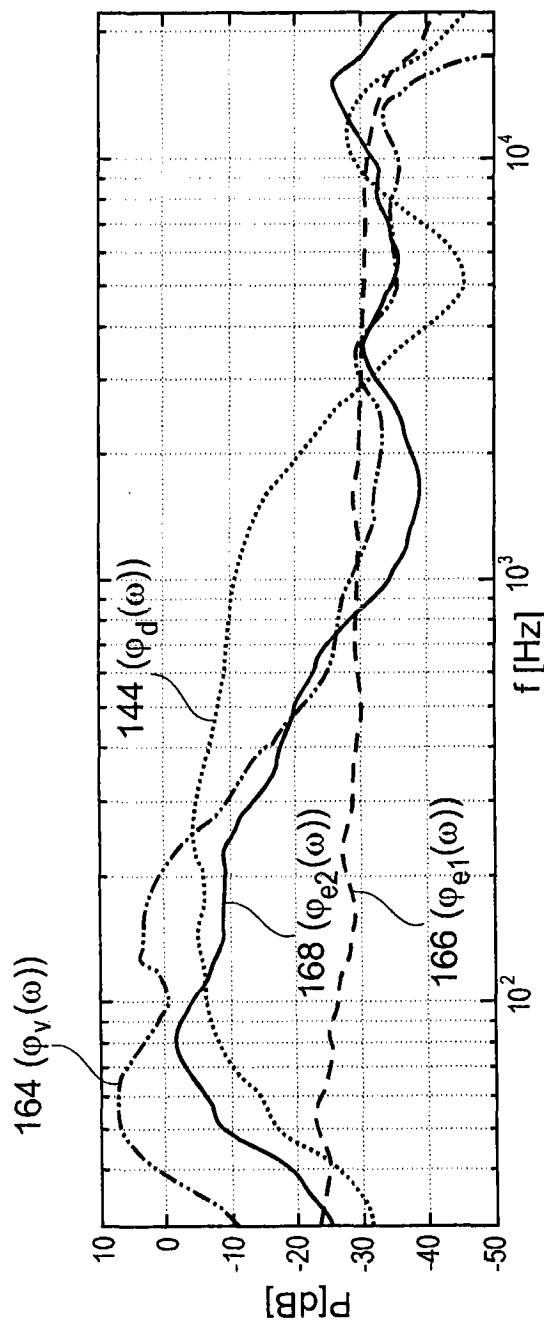


图 7a

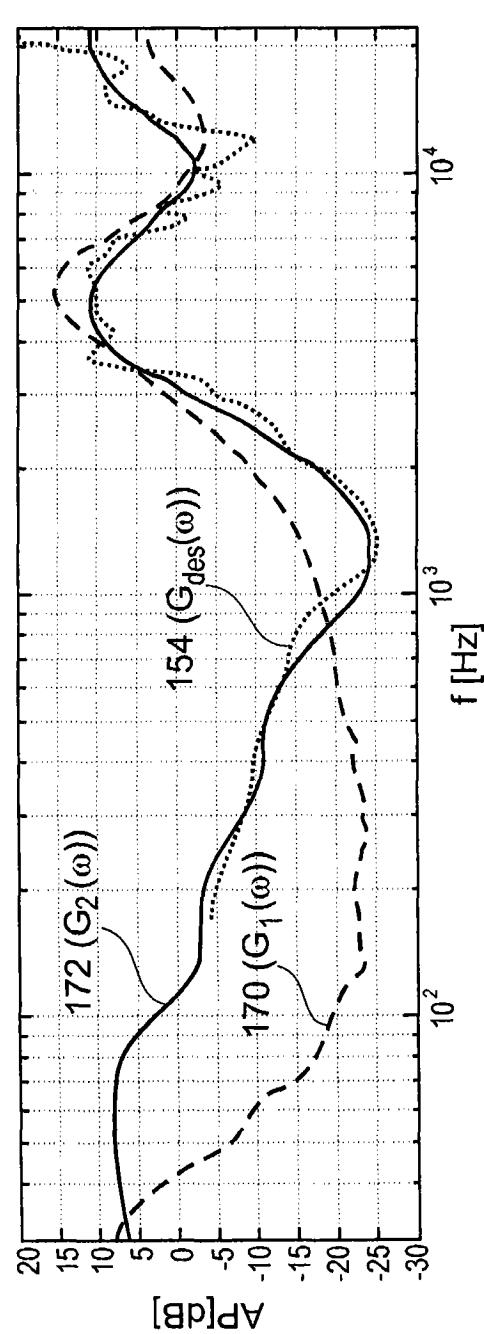


图 7b

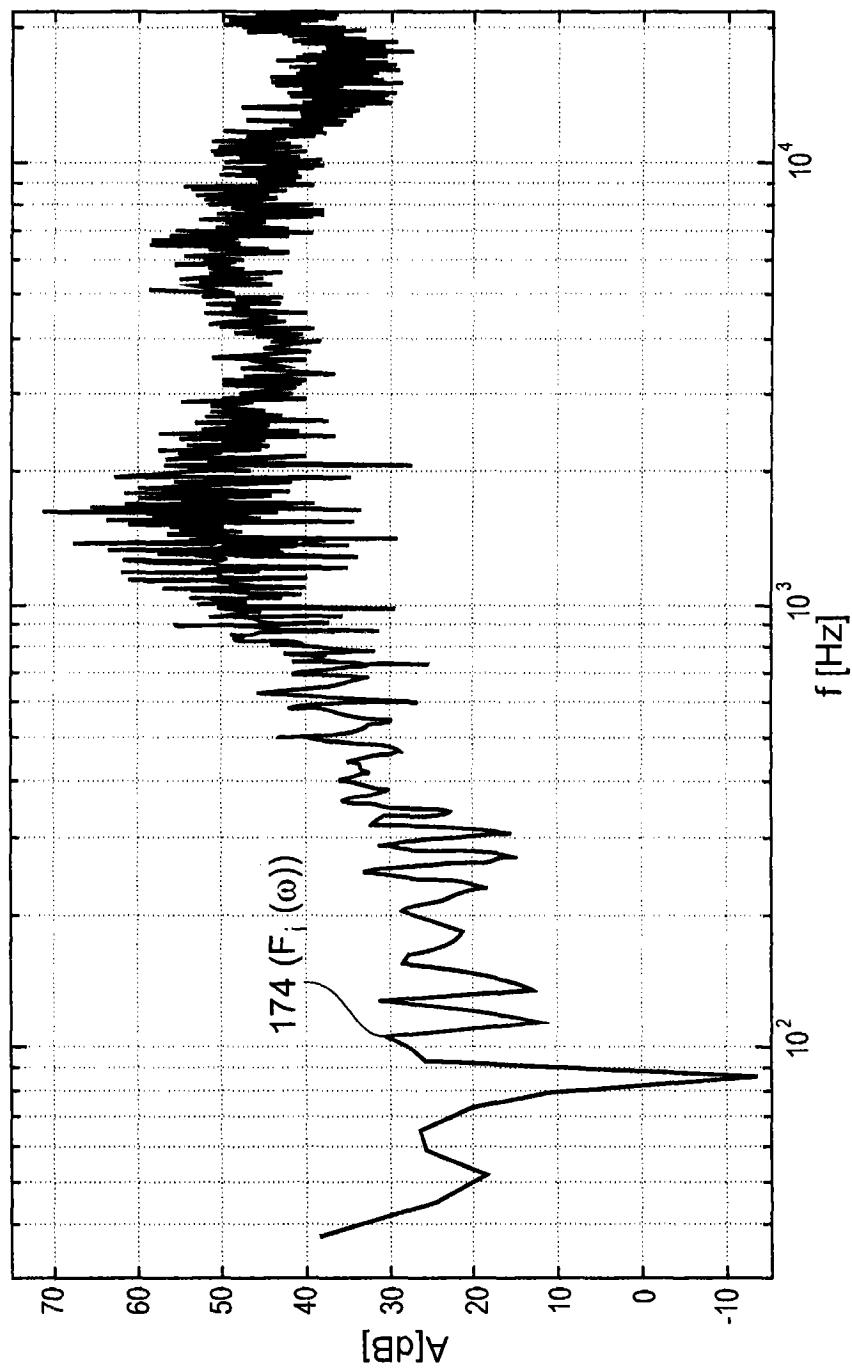


图 8

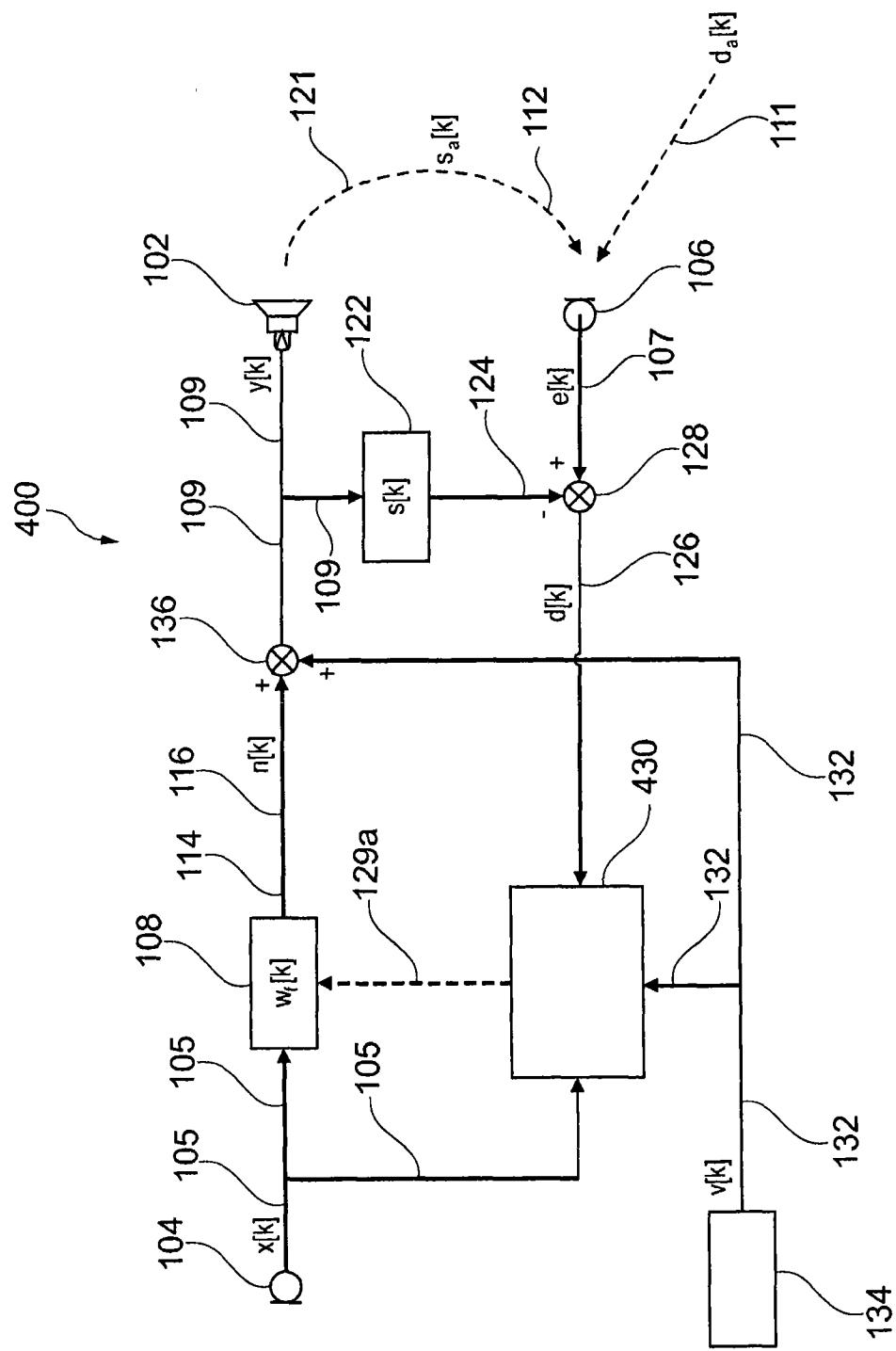


图 9

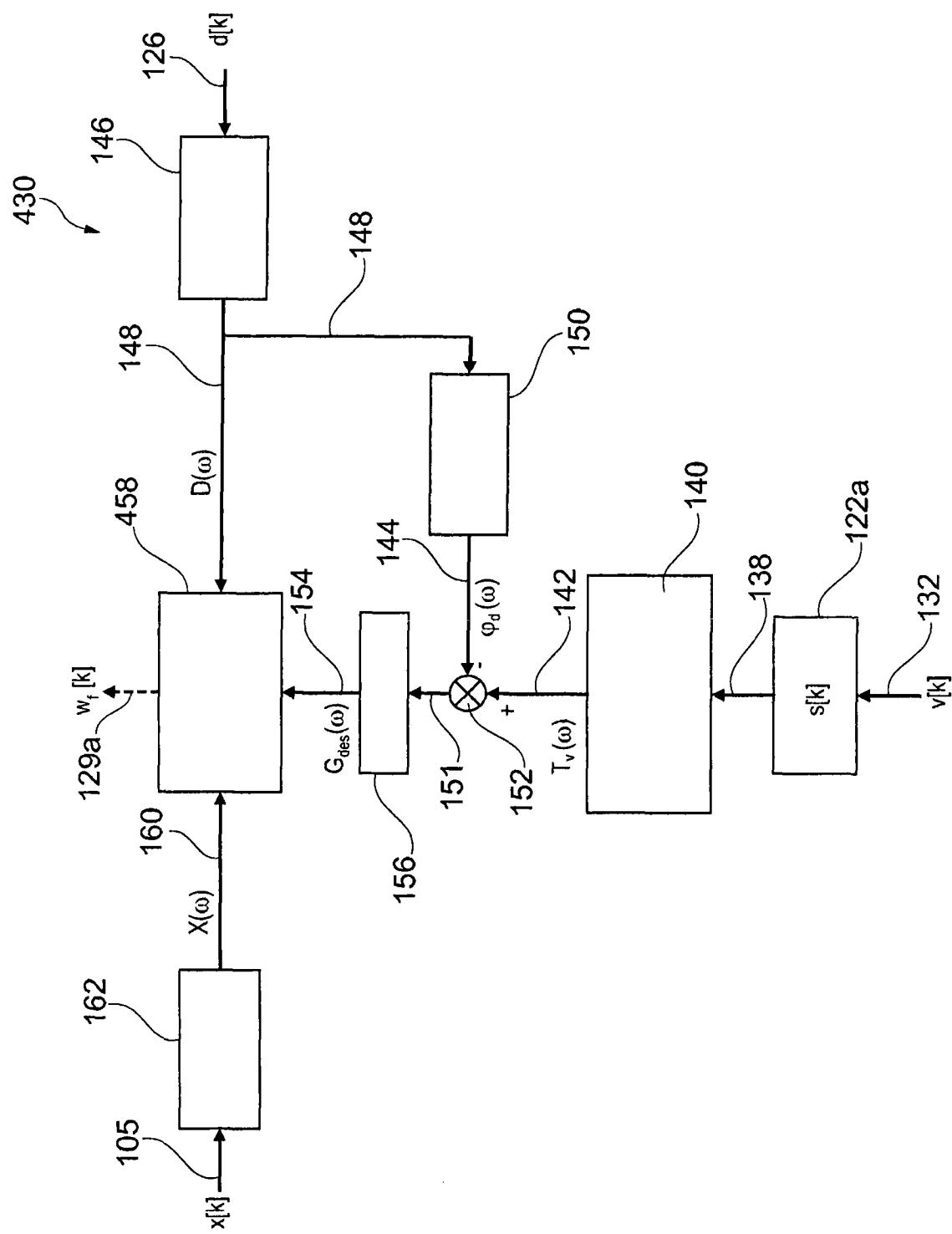


图 10