(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2024 年 11 月 28 日 (28.11.2024)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2024/239318 A1

(51) 国际专利分类号:
H04R 3/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/096286

(22) 国际申请日: 2023 年 5 月 25 日 (25.05.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人:深圳市韶音科技有限公司(**SHENZHEN SHOKZ CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市宝安区石岩街道浪心社区石新社区山城工业区26栋厂房一层至四层, Guangdong 518108 (CN)。

(72) 发明人:李伯诚(**LI, Bocheng**); 中国广东省深圳市宝安区石岩街道浪心社区石新社区山城工业区26栋厂房一层至四层, Guangdong 518108 (CN)。 吴晨阳(**WU, Chenyang**); 中国广东省深圳市宝安区石岩街道浪心社区石新社区山城工业区26栋厂房一层至四层, Guangdong 518108 (CN)。

(74) 代理人:北京留理知识产权代理事务所(普通合伙) (**LOYALEE INTELLECTUAL PROPERTY**); 中国北京市东城区安定门外大街138号4层A座403-007, Beijing 100007 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明,要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明,要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,

(54) **Title:** ACOUSTIC SYSTEM

(54) 发明名称: 声学系统

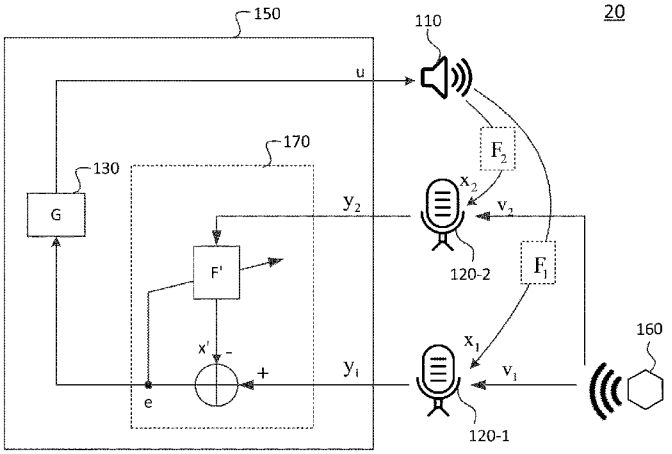


图 3

(57) **Abstract:** Provided in the embodiments of the present specification is an acoustic system, comprising: a loudspeaker, a first sound sensor, a second sound sensor and a signal processing circuit. During operation, the first sound sensor collects an ambient sound and generates a first signal, wherein the ambient sound comprises a first sound from the loudspeaker and a second sound from a target sound source. During operation, the second sound sensor collects an ambient sound and generates a second signal, wherein the first signal and the second signal satisfy $k_2 \geq 2k_1$, k_1 is the ratio of signal energy corresponding to the first sound in the first signal to signal energy corresponding to the second sound in the first signal, and k_2 is the ratio of signal energy corresponding to a first sound in the second signal to signal energy corresponding to a second sound in the second signal. During operation, the signal processing circuit clips, on the basis of the second signal, signal components corresponding to the first sound in the first signal, so as to obtain a target signal, and executes a target operation on the target signal. By means of the acoustic system, feedback components in a target signal can be reduced or eliminated.

WO 2024/239318 A1

[见续页]

BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本说明书的实施例提供一种声学系统，包括：扬声器、第一声音传感器、第二声音传感器和信号处理电路。第一声音传感器工作时采集环境声音并生成第一信号，所述环境声音包括来自扬声器的第一声音和来自目标声源的第二声音；第二声音传感器工作时采集环境声音并生成第二信号，其中，第一信号和第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$，k_1为第一信号中的对应于第一声音的信号能量与对应于第二声音的信号能量之比，k_2为第二信号中的对应于第一声音的信号能量与对应于第二声音的信号能量之比；信号处理电路工作时基于第二信号对第一信号中的对应于第一声音的信号成分进行削减得到目标信号，并对目标信号执行目标操作。该声学系统能够减少或消除目标信号中反馈成分。

声学系统

技术领域

本说明书涉及声学技术领域，尤其涉及一种声学系统。

背景技术

一些声学系统同时包括扬声器和声音传感器。这些声学系统中通常存在声反馈的问题。其中，声反馈是指：声音传感器采集到的声音信号经过一定处理后通过扬声器播放，而扬声器发出的声音又被声音传感器重新采集，从而使得声学系统形成“扬声器->声音传感器->扬声器”的闭环回路。在上述声学系统中，声音传感器所拾取到的扬声器的声音可以称为反馈声音。反馈声音的存在导致声学系统存在一些问题。例如，导致声学系统产生啸叫等问题，还可能制约声学系统能够取得的最大前向增益。因此，需要提供一种能够减少或者消除反馈声音的声学系统。

发明内容

本说明书提供一种声学系统，能够减少或者消除反馈声音，从而避免由于反馈声音导致的啸叫等问题，并提升声学系统能够取得的最大前向增益。

第一方面，本说明书提供一种声学系统，包括：扬声器、第一声音传感器、第二声音传感器和信号处理电路，其中，所述扬声器工作时接收驱动信号并转换为第一声音，所述第一声音传感器工作时采集环境声音并生成第一信号，所述环境声音包括所述第一声音和来自目标声源的第二声音，所述目标声源包括除所述扬声器之外的其他声源，所述第二声音传感器工作时采集所述环境声音并生成第二信号，其中，所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$，其中k_1为所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比，k_2为所述第二信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比，所述信号处理电路与所述第一声音传感器和所述第二声音传感器分别连接，工作时基于所述第二信号，对所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，得到目标信号，以及对所述目标信号执行目标操作。

在一些实施例中，为了满足$k_2 \geq 2k_1$，所述第一信号和所述第二信号满足下面条件中的至少一个：所述第二信号中的对应于所述第一声音的信号能量与所述第二信号中的对应于所述第二声音的信号能量之比大于或等于 2；所述第二信号中对应于所述第一声音的信号能量与所述第一信号中对应于所述第一声音的信号能量之比大于或等于 2；以及所述第一信号中对应于所述第二声音的信号能量与所述第一信号中对应于所述第一声音的信号能量之比大于或等于 2。

在一些实施例中，所述第一声音传感器、所述第二声音传感器、以及所述扬声器之间的位置关系满足预设条件，使得所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$。

在一些实施例中，所述预设条件包括：$L_1 \geq 2L_2$，其中，L_2为所述第二声音传感器与所述扬声器之间的距离，L_1为所述第一声音传感器与所述扬声器之间的距离。

在一些实施例中，所述声学系统还包括壳体，所述壳体的部分区域形成有声学腔体，所述扬声器和所述第二声音传感器均位于所述声学腔体的内部，所述第一声音传感器位于所述声学腔体的外部。

在一些实施例中，所述扬声器的发声部件将所述声学腔体分隔为第一声学腔体和第二声学腔体，所述发声部件的出音面朝向所述第一声学腔体，其中，所述第二声音传感器位于所述第一声学腔体的内部，或者所述第二声音传感器位于所述第二声学腔体的内部。

在一些实施例中，所述第二声音传感器与所述扬声器的发声部件耦合。

在一些实施例中，所述声学系统还包括壳体，所述第二声音传感器的拾音面和所述第一声音传感器的拾音面均位于所述壳体外部的自由空间中，所述第二声音传感器相对于所述第一声音传感器更靠近所述扬声器。

在一些实施例中，所述声学系统还包括壳体，所述壳体的部分区域形成有第一声学腔体和第二声学腔体，所述扬声器位于所述第一声学腔体内，所述第二声音传感器位于所述第二声学腔体内，所述第二声音传感器相对于所述第一声音传感器更靠近所述扬声器。

在一些实施例中，所述声学系统还包括壳体，所述第一声音传感器的拾音面位于所述壳体外部的自由空间中，所述第二声音传感器的拾音面位于所述壳体的内部空间中，所述第二声音传感器相对于所述第一声音传感器更靠近所述扬声器。

在一些实施例中，所述声学系统还包括第一壳体和第二壳体，其中，

所述第二壳体位于所述第一壳体的内部，且所述第二壳体形成有声学腔体，所述扬声器和所述第二声音传感器位于所述声学腔体的内部。

在一些实施例中，所述声学系统还包括隔挡件，所述第二声音传感器和所述扬声器位于所述隔挡件的第一侧，所述第一声音传感器位于所述隔挡件的第二侧。

在一些实施例中，所述第一声音传感器和所述第二声音传感器的拾音指向性满足预设条件，使得所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$。

在一些实施例中，所述第一声音传感器和所述第二声音传感器的拾音指向性满足下面条件中的至少一个：所述第一声音传感器在第一方向的拾音灵敏度大于在第二方向的拾音灵敏度；以及所述第二声音传感器在所述第一方向的拾音灵敏度小于在所述第二方向的拾音灵敏度，其中，所述第一方向指向所述目标声源，所述第二方向指向所述扬声器。

在一些实施例中，所述第一声音传感器位于目标区域内的第一位置，所述第二声音传感器位于所述目标区域内的第二位置，其中，所述第一位置和所述第二位置满足下面条件中的至少一个：所述第一位置处的来自所述扬声器的声音能量小于所述目标区域内除所述第一位置之外的其他位置处

的来自所述扬声器的声音能量；以及所述第二位置处的来自所述扬声器的声音能量大于所述目标区域内除所述第二位置之外的其他位置处的来自所述扬声器的声音能量。

在一些实施例中，为了得到所述目标信号，所述信号处理电路：对所述第二信号执行自适应滤波操作得到第三信号，并从所述第一信号中减去所述第三信号得到所述目标信号。

在一些实施例中，所述信号处理电路还：基于所述第二信号和所述目标信号中的至少一个更新所述自适应滤波操作对应的滤波参数。

在一些实施例中，为了得到所述目标信号，所述信号处理电路：对所述第一信号执行第一预处理操作得到第一中间信号；对所述第二信号执行第二预处理操作得到第二中间信号；以及基于所述第二中间信号，对所述第一中间信号中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，得到所述目标信号。

在一些实施例中，所述第一预处理操作包括增益放大操作、滤波操作、频响补偿操作、相位修改操作中的至少一项；以及所述第二预处理操作包括增益放大操作、滤波操作、频响补偿操作、相位修改操作中的至少一项。

在一些实施例中，所述信号处理电路还与所述扬声器连接，在执行所述目标操作时，所述信号处理电路：对所述目标信号进行增益放大，以及向所述扬声器发送所述增益放大后的信号，以驱动所述扬声器发声。

由以上技术方案可知，本说明书提供的声学系统包括：扬声器、第一声音传感器、第二声音传感器和信号处理电路。其中，扬声器工作时接收驱动信号并转换为第一声音；第一声音传感器工作时采集环境声音并生成第一信号，所述环境声音包括第一声音和来自目标声源的第二声音；第二声音传感器工作时采集环境声音并生成第二信号，所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$，其中k_1为所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比，k_2为所述第二信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比；信号处理电路与第一声音传感器和第二声音传感器分别连接，工作时基于所述第二信号对所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减得到目标信号，并对目标信号执行目标操作。由此可见，本说明书提供的声学系统能够减少或消除目标信号中反馈成分，从而避免由于反馈声音导致的啸叫等问题，还能够提升声学系统所能达到的最大前向增益。

本说明书提供的声学系统的其他功能将在以下说明中部分列出。本说明书提供的声学系统的创造性方面可以通过实践或使用下面详细示例中所述的方法、装置和组合得到充分解释。

附图说明

为了更清楚地说明本说明书实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本说明书的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 示出了根据本说明书的实施例提供的一种应用场景的示意图；

图 2 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的一种设计示意图；

图 3 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的另一种设计示意图；

图 4 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的又一种设计示意图；

图 5 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的又一种设计示意图；

图 6A 至图 6F 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的几种结构示意图；

图 7A 至图 7G 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的另外几种结构示意图；

图 8A 至图 8F 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的又几种结构示意图；

图 9 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的拾音指向示意图；

图 10A 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统中第一声音传感器和第二声音传感器在目标区域内的位置示意图；

图 10B 示出了声学系统的目标区域内各位置对应的反馈声音能量的示意图；以及

图 11 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统在自适应滤波性能方面的测试结果示意图。

具体实施方式

以下描述提供了本说明书的特定应用场景和要求，目的是使本领域技术人员能够制造和使用本说明书中的内容。对于本领域技术人员来说，对所公开的实施例的各种局部修改是显而易见的，并且在不脱离本说明书的精神和范围的情况下，可以将这里定义的一般原理应用于其他实施例和应用。因此，本说明书不限于所示的实施例，而是与权利要求一致的最宽范围。

这里使用的术语仅用于描述特定示例实施例的目的，而不是限制性的。比如，除非上下文另有明确说明，这里所使用的，单数形式“一”，“一个”和“该”也可以包括复数形式。当在本说明书中使用时，术语“包括”、“包含”和/或“含有”意思是指所关联的整数，步骤、操作、元素和/或组件存在，但不排除一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元素、组件和/或组的存在或在该系统/方法中可以添加其他特征、整数、步骤、操作、元素、组件和/或组。

考虑到以下描述，本说明书的这些特征和其他特征、以及结构的相关元件的操作和功能、以及部件的组合和制造的经济性可以得到明显提高。参考附图，所有这些形成本说明书的一部分。然而，应该清楚地理解，附图仅用于说明和描述的目的，并不旨在限制本说明书的范围。还应理解，附图未按比例绘制。

本说明书中使用的流程图示出了根据本说明书中的一些实施例的系统实现的操作。应该清楚地理解，流程图的操作可以不按顺序实现。相反，操作可以以反转顺序或同时实现。此外，可以向流程图添加一个或多个其他操作。可以从流程图中移除一个或多个操作。

在对本说明书具体实施例说明之前，先对本说明书的应用场景进行如下介绍。本说明书提供的声学系统可被应用于需要减少或者消除反馈声音的场景。下面结合图 1 进行举例说明。

图 1 示出了根据本说明书的实施例提供的一种应用场景的示意图。如图 1 所示，应用场景 001 可以是扩音场景、辅听场景、助听场景等。该场景中，声音传感器 120 工作时采集环境声音。在此过程中如果扬声器 110 也在同步播放声音，则扬声器 110 播放的声音也会被声音传感器 120 采集。这样声音传感器 120 采集到的环境声音中既包括来自目标声源 160 的声音还包括来自扬声器 110 的声音。进而，声音传感器 120 采集得到的拾音信号经过前向增益放大（G）后，被输入至扬声器 110，从而驱动扬声器 110 发声。这样在所述声学系统中形成了“扬声器->声音传感器->扬声器”的闭环回路。该情况下，当某些频率的声音信号发生自激振荡时就会产生啸叫现象。这样的啸叫会使用户感到不适，当所述啸叫严重时可能还会对声学系统中的器件造成损坏。另外，所述啸叫的存在也对声学系统的前向增益放大倍数带来了局限性，从而制约了声学系统能够达到的最大前向增益。

需要说明的是，上述图 1 所示的应用场景只是本申请适用的多个应用场景中的部分场景，本申请提供的声学系统还可以应用于其他类似的场景，不说明书对此不作一一列举说明。本领域技术人员应当明白，本申请提供的声学系统应用于其他使用场景也在本申请的保护范围内。

综上可见，反馈声音的存在会导致声学系统存在一系列的问题，包括但不限于：产生啸叫、制约声学系统能够取得的最大前向增益等。为此，本申请提供一种具有减少或者消除反馈声音的声学系统，从而避免上述一系列问题。

本申请提供的声学系统，可以采用声反馈消除（Acoustic Feedback Cancellation，AFC）技术来减少或者消除反馈声音。为了方便后续描述，下面先结合图 2 对 AFC 技术的原理进行介绍。

图 2 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的一种设计示意图。该声学系统 10 可以为助听/辅听系统、扩音系统中的一种。该声学系统 10 可以利用 AFC 技术减少或消除反馈成分（即对应于反馈声音的信号成分）。如图 2 所示，声学系统 10 可以包括扬声器 110、声音传感器 120 和信号处理电路 150。

扬声器 110 是用于将电信号转换为声音的器件，也可以称为电声转换器。例如扬声器 110 可以为喇叭（speaker）。扬声器 110 可以为基于气体、液体、固体中的至少一种传导方式进行发声的器件。扬声器 110 可以与信号处理电路 150 连接，工作时从信号处理电路 150 接收所述电信号并将之转换为声音播放出来。在一些实施例中，声学系统 10 还可以包括第一外围电路（图 2 中未示出）。第一外围电路连接在信号处理电路 150 和扬声器 110 之间。第一外围电路可以包括信号处理电路 150 的输出端到扬声器 110 之间的所有电路或者部分电路。第一外围电路可以对信号处理电路 150 输出的电信号进行一些处理，使得处理后的电信号适合扬声器 110 播放。第一外围电路可以包括但不限于运算放大器件、功率放大器件、数模转换器件、电容、电感、电阻等器件中的至少一种。

声音传感器 120 是用于拾取声音并将声音转换为电信号的器件，也可以称为声电转换器。例如声音传感器 120 可以为麦克风（Microphone，MIC）。声音传感器 120 可以为基于气体、液体、固体

中的至少一种传导方式进行拾音的器件。声音传感器 120 可以与信号处理电路 150 连接，工作时采集环境声音并将环境声音转换为电信号，进而将所述电信号发送至信号处理电路 150。在一些实施例中，声学系统 10 还可以包括第二外围电路（图 2 中未示出）。第二外围电路连接在声音传感器 120 和信号处理电路 150 之间。第二外围电路可以包括声音传感器 120 到信号处理电路 150 的输入端之间的所有电路或者部分电路。第二外围电路可以对声音传感器 120 拾取的电信号进行一些处理，以便转换为适合信号处理电路 150 处理的信号。第二外围电路可以包括但不限于功率放大器件、运算放大器件、模数转换器件、电容、电感、电阻等器件中的至少一种。

继续参见图 2，声音传感器 120 采集环境声音生成拾音信号 y，并将拾音信号 y 输入至信号处理电路 150。所述环境声音至少包括目标声源 160 发出的第二声音。目标声源 160 是指除所述扬声器 110 之外的其他声源。例如，目标声源 160 可以包括具有声音播放功能的电子设备（例如电视、音箱、手机等）；又例如，目标声源 160 还可以包括人的喉咙。上述拾音信号 y 可以称为信号处理电路 150 的输入信号。信号处理电路 150 对拾音信号 y 进行一系列处理后得到驱动信号 u，并将驱动信号 u 发送至扬声器 110。上述驱动信号 u 可以作为信号处理电路 150 的输出信号。扬声器 110 接收驱动信号 u 并将之转换为第一声音。所述第一声音经过反馈路径的传递后被声音传感器 120 重新采集，因此，所述第一声音也可以称为反馈声音。由此可见，声音传感器 120 采集到的环境声音不仅包括来自目标声源 160 的第二声音，还包括来自扬声器 110 的第一声音。也就是说，拾音信号 y 中同时包括对应于所述第一声音（即反馈声音）的信号成分 x、以及对应于所述第二声音的信号成分 v。

信号处理电路 150 可以是具有一定信号处理能力的电路。信号处理电路 150 的输入端与声音传感器 120 连接，输出端与扬声器 110 连接，工作时可以从声音传感器 120 获得拾音信号 y，并对拾音信号 y 执行预设的信号处理流程之后得到驱动信号 u，并将驱动信号 u 发送至扬声器 110。

在一些实施例中，信号处理电路 150 可以包括具有连接关系的多个硬件电路，每个硬件电路包括一个或多个电器元件，每个电器元件实现一个或多个功能单元，从而上述多个硬件电路工作时相互配合实现所述信号处理流程。

在一些实施例中，信号处理电路 150 可以包括具有数据信息处理功能的硬件设备和驱动该硬件设备工作所需必要的程序，所述硬件设备通过执行所述程序来实现所述信号处理流程。例如，信号处理电路 150 可以包括至少一个存储介质和至少一个处理器。其中，所述存储介质可以包括数据存储装置。所述数据存储装置可以是非暂时性存储介质，也可以是暂时性存储介质。比如，所述数据存储装置可以包括磁盘、只读存储介质（ROM）或随机存取存储介质（RAM）中的一种或多种。存储介质还包括存储在所述数据存储装置中的至少一个指令集。所述指令是计算机程序代码，所述计算机程序代码可以包括执行本说明书提供的信号处理方法的程序、例程、对象、组件、数据结构、过程、模块等等。

所述至少一个处理器可以同所述至少一个存储介质通信连接。所述至少一个处理器用以执行上述至少一个指令集。当声学系统运行时，所述至少一个处理器读取所述至少一个指令集，并且根据

所述至少一个指令集的指示，执行所述信号处理流程。处理器可以包括一个或多个硬件处理器，例如微控制器，微处理器，精简指令集计算机（RISC），专用集成电路（ASIC），特定于应用的指令集处理器（ASIP），中心处理单元（CPU），图形处理单元（GPU），物理处理单元（PPU），微控制器单元，数字信号处理器（DSP），现场可编程门阵列（FPGA），高级 RISC 机器（ARM），可编程逻辑器件（PLD），能够执行一个或多个功能的任何电路或处理器等，或其任何组合。

继续参见图 2，为了减少或消除反馈成分，信号处理电路 150 可以包括声反馈抵消单元 170。声反馈抵消单元 170 的输入包括：驱动信号 u 和拾音信号 y。声反馈抵消单元 170 可以基于驱动信号 u，对拾音信号 y 中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，从而得到目标信号 e。

结合图 2 进行具体说明，声反馈抵消单元 170 的内部可以求解并自适应更新一个时变的传递函数 F'，来拟合反馈路径对应的传递函数 F。为了以示区分，后文将传递函数 F'称为预测传递函数 F'，将反馈路径对应的传递函数 F 称为真实传递函数 F。声反馈抵消单元 170 利用预测传递函数 F'对驱动信号 u 执行自适应滤波操作得到信号 x'，即 x'=u*F'。信号 x'可以视为拾音信号 y 中的反馈成分（即拾音信号 y 中对应于所述第一声音的信号成分）的预测值。进而，声反馈抵消单元 170 可以从拾音信号 y 中减去信号 x'得到目标信号 e，即 e=y-x'。这样得到的目标信号 e 中不包含或者较少包含反馈声音的成分。

需要说明的是，上述声反馈抵消单元 170 在求解预测传递函数 F'时可以采用多种自适应滤波算法实现，例如可以采用最小均方（Least Mean Square，LMS）、归一化最小均方（Normalized Least Mean Square，NLMS）、递归最小二乘（Recursive least squares，RLS）、其他自适应滤波算法、以及上述提及算法的任意衍生算法中的一种或者多种，本申请对此不做限定。另外，所述自适应滤波算法可以是在时域、频域或者其他变换域进行自适应滤波。

按照自适应滤波算法的理论，预测传递函数 F'的更新方式可以通过最小化目标信号 e 的均方函数的期望实现，即：

$$\min_{F'} E[e^2] = \min_{F'} E[(y - u * F')^2] \qquad \text{公式（1-1）}$$

例如，以声反馈抵消单元 170 采用 LMS 算法为例，基于梯度下降的最优化方法对上述公式（1-1）进行推导，可以得到预测传递函数 F'的更新公式如下：

$$F' \leftarrow F' + \mu * e * u \qquad \text{公式（2-1）}$$

其中，μ为迭代步长。

应理解，当声反馈抵消单元 170 采用诸如 NLMS、RLS 等算法时，可以采用类似的方式推导得到预测传递函数 F'的更新公式，本说明书对此不作一一举例说明。

由此可见，图 2 所示的声学系统通过采用 AFC 技术，能够减少或者消除反馈声音，从而避免由于反馈声音导致的一系列问题。

根据信号处理理论，图 2 所示的声学系统的闭环增益 A 可以表示如下：

$$A = \frac{u}{v} = \frac{G}{1-G(F-F')} \quad \text{公式（3-1）}$$

根据奈奎斯特稳定判据（Nyquist stability criterion）可知，声学系统能够抵消反馈声音的要求是：所求解的预测传递函数F'完全等于真实传递函数 F，即$F' = F$。当满足上述要求时，声学系统将总是稳定的，不会产生啸叫，并且，此时的声学系统能够取得无穷增益，即，当前向增益$G \to \infty$时，$A = G \to \infty$。

然而，在实际的声学系统中，由于真实传递函数 F 可能是时变的，以及迭代求解的收敛过程可能会振荡，因此，F'的迭代过程很难达到理想条件$F' = F$。也就是说，实际迭代得到的预测传递函数F'与真实传递函数 F 之间存在一定的偏差。此时，为了让声学系统保持稳定，增益放大单元 130 提供的前向增益 G 自然是不能取得无穷大的。声学系统能够取得的最大前向增益为:

$$G_{max} = \frac{1}{|F-F'|} \quad \text{公式（4）}$$

由公式（4）可见，预测传递函数F'与真实传递函数F之间的偏差情况可用于衡量自适应滤波算法的收敛性能，并进而衡量声学系统对反馈声音的抵消效果。具体而言，若预测传递函数F'与真实传递函数F之间偏差越小，则说明自适应滤波算法的收敛性能越好，从而声学系统对反馈声音的抵消效果越佳。若预测传递函数F'与真实传递函数F之间偏差越大，则说明自适应滤波算法的收敛性能越差，从而声学系统对反馈声音的抵消效果越差。

在一些实施例中，我们还可以采用失调量（misalignment, MIS)来衡量自适应滤波算法的收敛性能。其中，失调量 MIS 可以采用如下公式表示：

$$\text{MIS} = 20\log_{10}\frac{|F'-F|}{|F|} \quad \text{公式（5）}$$

失调量 MIS 的单位是分贝（dB）。当预测传递函数F'为初始值零时，失调量 MIS 为 0dB。当失调量 MIS 越小、越趋于负无穷时，预测传递函数F'与真实传递函数 F 之间的偏差越小，说明自适应滤波算法的收敛性能越好，从而声学系统对反馈声音的抵消效果越佳。当失调量 MIS 越大、越趋于正无穷时，预测传递函数F'与真实传递函数 F 之间的偏差越大，说明自适应滤波算法的收敛性能越差，从而声学系统对反馈声音的抵消效果越差。

需要说明的是，本申请中自适应滤波算法的收敛性能包括但不限于：收敛速度、收敛误差等。其中，收敛速度可以是指预测传递函数F'对真实传递函数 F 的拟合速度，收敛误差可以是指在达到收敛条件时预测传递函数F'与真实传递函数 F 之间的偏差。

在图 2 所示的声学系统中，之所以能够通过自适应滤波算法求解一个时变的预测传递函数F'来拟合反馈路径对应的传递函数 F，是因为基于如下理想假设：反馈路径全部为线性传递。

然而，实际的声学系统通常无法满足上述理想假设。因为在实际的声学系统中，反馈路径上存在多种器件，这些器件可能存在非线性响应。例如，扬声器 110 的振膜及磁铁相互作用导致迟滞效应和饱和失真等，因此扬声器 110 的响应是包含非线性响应的成分。另外，在信号处理电路 150 和扬声器 110 之间通常还存在功率放大器、运算放大器等器件。功率放大器和运算放大器通常含有限

幅效应，因此二者的响应也包含非线性响应的成分。类似的，在信号处理电路 150 和扬声器 110 之间存在的其他器件也可能存在非线性响应的成分。

由于声反馈抵消单元 170 是在信号处理电路 150 的输出端口之前的位置获取驱动信号 u，并利用预测传递函数F'对驱动信号 u 进行自适应滤波，因此，扬声器 110、功率放大器、运算放大器等器件的非线性响应不可避免的被引入到预测传递函数F'的迭代求解中，从而，导致自适应滤波算法的收敛性能较低，例如，导致预测传递函数F'不能收敛、收敛缓慢、或者收敛误差较大等。这样使得声学系统的失调量指标 MIS 变差，进而影响声学系统对反馈声音的抵消效果。

另外，在一些声学系统的设计架构中，声反馈抵消单元 170 可能与信号处理电路 150 中的其他单元相互独立，并且声学系统的设计架构限制了不同单元间的访问权限或通信能力。因此，声反馈抵消单元 170 可能无法从其他单元获得驱动信号 u。从而，这样的声学系统无法采用 AFC 技术来减少或者消除反馈声音。

图 3 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的另一种设计示意图。如图 3 所示，声学系统 20 可以包括：扬声器 110、第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和信号处理电路 150。

图 3 所示的声学系统 20 可以视为在图 2 所示声学系统 10 基础上的进一步改进。对比图 2 和图 3 可见，图 3 所示声学系统 20 中的第一声音传感器 120-1 可以对应图 2 所示声学系统 10 中的声音传感器 120，这样，图 3 所示声学系统 20 相当于在图 2 所示声学系统 10 的基础上增加了第二声音传感器 120-2。其中，第二声音传感器 120-2 与第一声音传感器 120-1 的结构可以相同也可以不同，本申请对此不做限定。

图 3 所示声学系统 20 的工作过程如下：扬声器 110 工作时从信号处理电路 150 接收驱动信号u，并将驱动信号u转换为第一声音。第一声音传感器 120-1 工作时采集环境声音并生成第一信号y_1。第二声音传感器 120-2 工作时采集环境声音并生成第二信号y_2。其中，环境声音包括来自扬声器 110 的第一声音和来自外部声源 160 的第二声音。这样，第一信号y_1包括对应于所述第一声音的信号成分x_1和对应于所述第二声音的信号成分v_1，第二信号y_2包括对应于所述第一声音的信号成分x_2和对应于所述第二声音的信号成分v_2。其中，外部声源 160 包括环境中除扬声器 110 之外的其他声源，例如，人的喉咙、具有声音播放功能的电子设备、其他扬声器等。

需要说明的是，扬声器 110 发出的所述第一声音可以通过气体、液体和固体中的一种或多种介质传导之后，被第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 拾取。目标声源 160 发出的所述第二声音可以通过气体、液体和固体中的一种或多种介质传导之后，被第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 拾取。另外，本说明书对于第一信号y_1、第二信号y_2、以及驱动信号u的承载方式不做限定，三者均可以是由任意载体承载的信号。例如，第一信号y_1、第二信号y_2、以及驱动信号u均可以是电信号、光信号、数字载波信号或者其他载体类型的信号。

在图 3 所示的声学系统 20 中，第一声音传感器 120-1 与第二声音传感器 120-2 的拾音侧重有所

不同。第一声音传感器 120-1 重点拾取来自目标声源 160 的声音，第二声音传感器 120-2 重点拾取来自扬声器 110 的声音。具体而言，第一声音传感器 120-1 拾取得到的第一信号y_1和第二声音传感器 120-2 拾取得到的第二信号y_2满足如下关系：

$$k_2 \geq 2k_1 \qquad \text{公式（6）}$$

其中，k_1为第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$与对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$之比，k_2为第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$与对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$之比，即：

$$k_1 = \frac{|x_1|^2}{|v_1|^2} \qquad \text{公式（7）}$$

$$k_2 = \frac{|x_2|^2}{|v_2|^2} \qquad \text{公式（8）}$$

换言之，将k_2与k_1之比记为N，即：$N = k_2/k_1$，那么N的取值可以为大于或等于 2 的实数。例如，N 的取值可以位于 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、…、∞中的任意两个所规定的区间内。当 N 的取值越大，越趋近于∞时，第二声音传感器 120-2 越趋近于只拾取扬声器 110 的声音，第一声音传感器 120-1 越趋近于只拾取目标声源 160 的声音。另外，当k_2与k_1之间的比值为 N 时，声学系统的闭环增益 A 可以表示为如下：

$$A = G * (1 - \frac{1}{\sqrt{N}}) \qquad \text{公式（20）}$$

需要说明的是，上述公式（20）的推导方式可以参见后文对公式（19）的推导过程，此处不做详述。由上述公式（20）可见，当 N 的取值逐渐增大时，闭环增益 A 与前向增益 G 逐渐接近，也就是说，系统的能量损失逐渐减少。当 N 的取值为∞时，闭环增益 A 达到理想的前向增益 G。

为了使得上述条件$k_2 \geq 2k_1$满足，第一信号y_1和第二信号y_2可以满足下述条件中的一项或者多项：

（1）第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$与第二信号y_2中对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$之比大于或等于 2，即：

$$\frac{|x_2|^2}{|v_2|^2} \geq 2 \qquad \text{公式（9）}$$

上述条件还可以表述为：第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第二信号y_2中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$。能够理解，当$|x_2|^2$远大于$|v_2|^2$时，能够使得k_2尽可能地大，从而第二声音传感器 120-2 对所述第一声音的拾取远大于对所述第二声音的拾取。当k_2趋近于无穷大时，第二声音传感器 120-2 几乎只拾取所述第一声音，而不拾取所述第二声音。

（2）第一信号y_1中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$与第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$之比大于或等于 2，即：

$$\frac{|v_1|^2}{|x_1|^2} \geq 2 \qquad \text{公式（10）}$$

上述条件还可以表述为：第一信号y_1中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$。能够理解，当$|v_1|^2$远大于$|x_1|^2$时，能够使得k_1尽可能地小，从而第一声音传感器 120-1 对所述第二声音的拾取远大于对所述第一声音的拾取。当k_1趋近于零时，第一声音传感器 120-2 几乎只拾取所述第二声音，而不拾取所述第一声音。

（3）第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$与第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$之比大于或等于 2，即：

$$\frac{|x_2|^2}{|x_1|^2} \geq 2 \qquad \text{公式（11）}$$

上述条件还可以表述为：第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$。能够理解，当$|x_2|^2$远大于$|x_1|^2$时，第二声音传感器 120-2 对所述第一声音的拾取远大于第一声音传感器 120-1 对所述第一声音的拾取，例如，第二声音传感器 120-2 几乎拾取所述第一声音的全部，而第一声音传感器 120-2 几乎不拾取所述第一声音。

信号处理电路 150 可以与第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 分别连接。信号处理电路 150 可以从第一声音传感器 120-1 获得第一信号y_1，并从第二声音传感器 120-2 获得第二信号y_2。进而，信号处理电路 150 可以基于第二信号y_2，对第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，从而得到目标信号 e。这样，目标信号 e 中不包含或者较少包含反馈声音的成分。

与图 2 类似，图 3 所示的声学系统也可以基于 AFC 技术来减少或消除目标信号中的反馈成分。继续参见图 3，信号处理电路 150 可以包括声反馈抵消单元 170，声反馈抵消单元 170 的内部可以求解并自适应更新一个时变的预测传递函数F'，来拟合反馈路径对应的真实传递函数 F。声反馈抵消单元 170 的输入包括：第一信号y_1和第二信号y_2。声反馈抵消单元 170 可以基于第二信号y_2，对第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，从而得到目标信号 e。具体而言，声反馈抵消单元 170 利用预测传递函数F'对第二信号y_2执行自适应滤波操作得到第三信号x'，即$x' = y_2 * F'$。第三信号 x'可以视为第一信号y_1中的反馈成分（即第一信号y_1中对应于所述第一声音的信号成分）的预测值。进而，声反馈抵消单元 170 可以从第一信号y_1中减去第三信号 x'得到目标信号 e，即$e = y_1 - x' = y_1 - y_2 * F'$。这样得到的目标信号 e 中不包含或者较少包含反馈声音的成分。

在得到目标信号 e 之后，信号处理电路 150 还可以基于第二信号y_2和目标信号 e 中的至少一项更新自适应滤波操作F'的滤波参数。具体而言，按照自适应滤波算法的理论，预测传递函数F'的更新方式可以通过最小化目标信号 e 的均方函数的期望实现，即：

$$\min_{F'} E[e^2] = \min_{F'} E[(y_1 - y_2 * F')^2] \qquad \text{公式（1-2）}$$

仍然以声反馈抵消单元 170 采用 LMS 算法为例，基于梯度下降的最优化方法对上述公式（1-2）进行推导，可以得到预测传递函数F'的更新公式如下：

$$F' \leftarrow F' + \mu * e * y_2 \qquad \text{公式（2-2）}$$

其中，μ为迭代步长。

应理解，当声反馈抵消单元 170 采用诸如 NLMS、RLS 等算法时，可以采用类似的方式推导得到预测传递函数F'的更新公式，本说明书对此不作一一举例说明。

图 3 所示的声学系统在得到目标信号 e 之后，信号处理电路 150 可以对目标信号 e 执行目标操作。继续参见图 3，信号处理电路 150 还可以包括增益放大单元 130（图 3 中将增益放大单元标注为 G）。增益放大单元对目标信号 e 进行增益放大，并将增益放大后的信号作为下一时刻的驱动信号 u 发送至扬声器 110，从而驱动扬声器 110 发声。由于目标信号 e 中的反馈成分得到减少或消除，因此能够避免或抑制声学系统 10 产生啸叫，并且，还有助于提升声学系统 10 能够取得的最大前向增益。

图 3 所示的声学系统 20 通过新增的第二声音传感器 120-2 重点拾取所述第一声音得到第二信号y_2，进而，信号处理电路 150 可以采用 AFC 技术基于第二信号y_2对第一信号y_1中的反馈成分进行削减，从而使得反馈成分得到减少或消除。图 3 所示的声学系统 20 相较于图 2 所示的声学系统 10，由于第二信号y_2是从扬声器 110 后面的信号路径中获得的，因此，反馈抵消单元 170 在求解预测传递函数F'时，只需要拟合扬声器 110 之后的反馈路径的传递函数，从而能够避免扬声器 110 以及扬声器 110 之前的器件（例如运算放大器、功率放大器等）的非线性响应对自适应滤波算法的收敛性能的影响，进而提高反馈声音的抵消效果。另外，由于反馈抵消单元 170 所需的第二信号y_2是通过第二声音传感器 120-2 拾取得到，因此，即使声学系统 20 对反馈抵消单元 170 与其他单元之间的交互权限有所限制，也不影响 AFC 技术在声学系统 20 中的应用，降低了 AFC 技术对声学系统的设计架构的要求，提高了 AFC 技术的应用灵活性和广泛性。

另外，因为反馈抵消单元 170 原本具有对第一声音传感器 120-1 的系统访问权限，而访问第二声音传感器 120-2 所需的权限与访问第一声音传感器 120-1 所需的权限属于同一种权限，因此，图 3 所示的声学系统在增加第二声音传感器 120-2 之后，反馈抵消单元 170 不必额外增加新的系统访问权限，即可实现对第二声音传感器 120-2 的数据的访问。

进一步的，图 3 所示的声学系统增加第二声音传感器 120-2 之后，并不需要改变声反馈抵消单元 170 的内部实现，即不需要改变预测传递函数F'的更新公式以及反馈声音抵消的计算式，而只需要把声反馈抵消单元 170 的输入信号 u 替换为y_2即可。由此可见，图 3 所示的声学系统能够应用、适配、兼容已有的声反馈抵消单元 170，而无论这些已有的声反馈抵消单元 170 采用的是何种自适应滤波算法（包括但不限于前文提到的 LMS、NLMS、RLS 或者其他的自适应滤波算法）。因此，对声学系统的改造难度较低，具有广泛适用性。

下面对图 3 所示的声学系统 20 的系统稳定性进行验证。

根据信号处理的理论，图 3 所示的声学系统的闭环增益 A 可以表示如下：

$$A=\frac{u}{v_1}=\frac{G*(1-\frac{v_2}{v_1}*F')}{1-G*F_1*(1-\frac{F_2}{F_1}*F')} \qquad \text{公式（3-2）}$$

其中，F_1表示扬声器 110 到第一声音传感器 120-1 之间的声学传递函数，F_2表示扬声器 110 到第二声音传感器 120-2 之间的声学传递函数。

根据奈奎斯特稳定判据，可知该声学系统 20 能够抵消反馈声音的要求是：所求解的预测传递函数F'满足如下条件：

$$1-\frac{F_2}{F_1}*F'=0 \qquad \text{公式（13）}$$

也就是说，预测传递函数F'需要满足：

$$F'=\frac{F_1}{F_2} \qquad \text{公式（14）}$$

当预测传递函数F'满足上述公式（14）时，公式（3-2）可以变形为：

$$\mathrm{A}=\mathrm{G}*\left(1-\frac{\mathrm{v_2F_1}}{\mathrm{v_1F_2}}\right) \qquad \text{公式（15）}$$

由于第一信号y_1和第二信号y_2满足如下条件：$k_2 \geq 2k_1$，即：

$$\frac{|\mathrm{x_2}|^2}{|\mathrm{v_2}|^2}\geq 2*\frac{|\mathrm{x_1}|^2}{|\mathrm{v_1}|^2} \qquad \text{公式（16）}$$

对公式(16)中的$\mathrm{x_1}$和$\mathrm{x_2}$进行替换，得到：

$$\frac{|\mathrm{u*F_2}|^2}{|\mathrm{v_2}|^2}\geq 2*\frac{|\mathrm{u*F_1}|^2}{|\mathrm{v_1}|^2} \qquad \text{公式（17）}$$

对公式（17）进行化简得到：

$$|\mathrm{v_1F_2}|^2\geq 2\cdot|\mathrm{v_2F_1}|^2 \qquad \text{公式（18）}$$

将上述公式（18）代入到公式（15）中，得到：

$$\mathrm{A}=\mathrm{G}\left(1-\frac{\mathrm{v_2F_1}}{\mathrm{v_1F_2}}\right)\geq \mathrm{G}\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \qquad \text{公式（19）}$$

由公式（19）可见，当前向增益$\mathrm{G}\to\infty$时，闭环增益$A\to\infty$。因此，图 3 所示的声学系统在预测传递函数F'达到收敛条件时仍然是稳定的。从而证实了本申请方案的正确性。

基于图 3 所示的声学系统 20，在一些情况下，当第二声音传感器 120-2 处于强反馈环境时，从扬声器 110 到第二声音传感器 120-2 之间的声学传递函数$F_2\approx 1$，并且，第一信号y_1和第二信号y_2满足如下条件：

第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|\mathrm{x_2}|^2$远大于第二信号y_2中的对应于所述第二声音的信号能量$|\mathrm{v_2}|^2$，即：$|\mathrm{x_2}|^2\gg|\mathrm{v_2}|^2$。

该情况下，图 3 所示的声学系统可以简化为图 4 所示的声学系统。在图 4 所示的声学系统中，第二声音传感器 120-2 几乎只拾取来自扬声器 110 的声音。该情况下，第二信号$y_2\approx u$。因此，预测传递函数F'的更新公式可以更新为：

$$\mathrm{F'\leftarrow F'+\mu e y_2\approx F'+\mu e u} \qquad \text{公式（2-3）}$$

相应的，声学系统 30 的闭环增益 A 可以表示为：

$$A=\frac{\mathrm{u}}{\mathrm{v_1}}=G \qquad \text{公式（3-3）}$$

由此可见，当第二声音传感器 120-2 位于强反馈场景时，图 4 所示声学系统中 AFC 数学表达式与图 2 所示声学系统中基于理想假设的 AFC 数学表达式完全相同。从而进一步证实了本申请方案的

正确性。

图 5 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的又一种设计示意图。如图 5 所示，信号处理电路 150 还可以包括预处理单元 180。信号处理电路 150 在得到第一信号y_1和第二信号y_2之后，可以通过预处理单元 180 分别对第一信号y_1和第二信号y_2进行预处理。具体的，信号处理电路 150 通过预处理单元 180 对第一信号y_1执行第一预处理操作H_1得到第一中间信号y_1'，并对第二信号y_2执行第二预处理操作H_2得到第二中间信号y_2'。进而，第一中间信号y_1'和第二中间信号y_2'被输入至声反馈抵消单元 170。声反馈抵消单元 170 基于第二中间信号y_2'，对第一中间信号y_1'中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，得到目标信号 e。应理解，声反馈抵消单元 170 的内部处理过程已在前文描述，此处不做赘述。

其中，上述第一预处理操作H_1可以包括但不限于增益放大操作、滤波操作、频响补偿操作、相位修改操作中的至少一项。上述第二预处理操作H_2可以包括但不限于增益放大操作、滤波操作、频响补偿操作、相位修改操作中的至少一项。在对声学系统进行设计时，可以基于不同应用场景的需求来对第一预处理操作H_1和第二预处理操作H_2进行设计。例如，在一些情况下，第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 的频响存在差异，因此，可以设计合适的第一预处理操作H_1和第二预处理操作H_2来补偿所述差异，从而使得第一信号y_1和第二信号y_2的频响相互匹配，满足 AFC 算法的计算要求。由此可见，信号处理电路 150 通过对第一信号y_1和第二信号y_2执行预处理操作，能够满足不同应用场景的处理需求。

上述图 3 至图 5 是以声学系统 20 包括一个扬声器 110 为例进行举例说明。在一些场景中，声学系统 20 中扬声器 110 的数量可以为 M，所述 M 为大于 1 的整数。该情况下，第二声音传感器 120-2 的数量也可以为 M。M 个第二声音传感器 120-2 与 M 个扬声器 110 一一对应。其中，第 i 个第二声音传感器 120-2 重点拾取第 i 个扬声器 110 发出的声音。

具体而言，针对 M 个第二声音传感器 120-2 中的任意第 i 个第二声音传感器，第 i 个第二声音传感器120-2工作时采集环境声音并生成第二信号y_{2i}。其中，第一信号y_1和第二信号y_{2i}满足$k_{2i} \geq 2k_1$，k_{2i}为第二信号y_{2i}中的对应于第 i 个扬声器 110 发出声音的信号能量与对应于目标声源发出的声音的信号能量之比。所述目标声源包括环境中除第 i 个扬声器之外的其他声源。进一步的，信号处理电路 150 可以基于第二信号y_{2i}对第一信号y_1中的反馈成分进行削减，得到目标信号e_i。信号处理电路通过对目标信号e_1至目标信号e_M进行叠加得到目标信号 e，进而对目标信号 e 执行目标操作。

由此可见，当声学系统 20 包括 M 个扬声器 110 的情况下，声学系统 20 中可以包括 M 个第二声音传感器 120-2。其中，第 i 个声音传感器 120-2 重点拾取第 i 个扬声器的声音，并用于 AFC 的自适应滤波过程。这样，相当于声学系统 20 中叠加了 M 个基于 AFC 自适应滤波过程。其中，每个自适应滤波过程与前面图 3 至图 5 的描述一致，此处不做赘述。

综上可知，基于图 3 至图 5 所示的声学系统，在第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$的情况下，采用 AFC 技术能够有效减少或者消除反馈声音，并且能够避免或者减少非线性响应对自适

应滤波算法的收敛性能的影响。

下面详细说明如何对声学系统进行设计能够使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。需要说明的是，对声学系统进行设计的方案可以存在多种，下面仅以几种可能的方案为例进行举例说明。下面所列举的不同方案之间可以相互结合。

方案1：可以从结构维度对声学系统进行设计，使得第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2、以及扬声器110之间的位置关系满足预设条件，从而使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

在一些实施例中，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2、以及扬声器110之间满足预设的距离条件。

例如，所述距离条件可以包括：第二声音传感器120-2与扬声器110之间的距离远小于第一声音传感器120-1与扬声器110之间的距离。也就是说，第二声音传感器120-2相较于第一声音传感器120-1尽可能的靠近扬声器110。假设第一声音传感器120-1与扬声器110之间的距离记为L_1，第二声音传感器120-2与扬声器110之间的距离记为L_2，则L_1和L_2满足距离条件：$L_1 \geq 2L_2$。上述距离条件也可以表述为L_1与L_2的比值大于或等于预设值。上述预设值可以位于 2、3、4、5、6、7、8、9、10、…∞中的任意两个所规定的区间。

下面结合图6A至图6F，分别对声学系统的可能的结构进行举例说明。需要说明的是，本说明书对于声学系统20的产品形态不做限定，例如，声学系统20可以采用真无线耳机形态、耳罩式形态、眼镜式形态、后挂式形态、耳后式形态、耳内式形态或者其他任意可能的形态。图6A至图6F仅以几种可能的产品形态为例进行举例说明。

例如，当声学系统20采用真无线耳机形态时，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2和扬声器110之间的位置关系可以如图6A所示。当声学系统20采用耳罩式形态时，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2和扬声器110之间的位置关系可以如图6B所示。当声学系统20采用眼镜式形态时，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2和扬声器110之间的位置关系可以如图6C所示。当声学系统20采用后挂式形态时，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2和扬声器110之间的位置关系可以如图6D所示。当声学系统20采用耳后式形态时，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2和扬声器110之间的位置关系可以如图6E所示。其中，所述耳后式形态包括但不限于助听器中的BTE（Behind-The-Ear）、RIC（Receiver-In-Canal）等形态。当声学系统20采用耳内式形态时，第一声音传感器120-1、第二声音传感器120-2和扬声器110之间的位置关系可以如图6F所示。其中，所述耳内式形态包括但不限于：助听器中的ITE（In-The-Ear）、ITC（In-The-Canal）、CIC（Completely-In-the-Canal）等形态。图6A至图6F示出的声学系统结构均满足距离条件$L_1 \geq 2L_2$。

应理解，当声学系统满足距离条件$L_1 \geq 2L_2$时，第二声音传感器120-2相对于第一声音传感器120-1能够拾取到更强的所述第一声音。因此，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$

远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，从而有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

能够理解的是，尽管上述图 6A 至图 6F 示出了满足距离条件$L_1 \geq 2L_2$的声学系统的一些举例，但是，在一些情况下，有些声学系统受到产品形态或者特定需求的影响可能无法满足距离条件$L_1 \geq 2L_2$。也就是说，L_1和L_2的取值较为接近。例如，图 7A 至图 7G 分别示出L_1和L_2的取值较为接近情况下的声学系统的结构示意图。具体而言，当声学系统 20 采用真无线耳机形态时，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 之间的位置关系可以如图 7A 所示。当声学系统 20 采用耳罩式形态时，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 之间的位置关系可以如图 7B 所示。当声学系统 20 采用眼镜式形态时，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 之间的位置关系可以如图 7C 所示。当声学系统 20 采用后挂式形态时，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 之间的位置关系可以如图 7D 所示（两个声音传感器与扬声器之间的距离均较远的情况），还可以如图 7E 所示（两个声音传感器与扬声器之间的距离均较近的情况）。当声学系统 20 采用耳后式形态时，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 之间的位置关系可以如图 7F 所示。其中，所述耳后式形态包括但不限于助听器中的 BTE（Behind-The-Ear）、RIC（Receiver-In-Canal）等形态。当声学系统 20 采用耳内式形态时，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 之间的位置关系可以如图 7G 所示。其中，所述耳内式形态包括但不限于：助听器中的 ITE（In-The-Ear）、ITC（In-The-Canal）、CIC（Completely-In-the-Canal）等形态。

在声学系统无法满足距离条件$L_1 \geq 2L_2$的情况下（例如图 7A 至图 7G 所示的情况），可以采用后续的方案对声学系统进行设计，以使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。需要说明的是，声学系统在采用图 6A 至图 6F 所示的设计方案时，也可以与后续的方案中的一种或多种进行结合。

在一些实施例中，第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2、以及扬声器 110 之间满足预设的结构条件。下面结合图 8A 至图 8F 对声学系统满足的结构条件进行说明。需要说明的是，图 8A 至图 8F 仅示出了声学系统的局部结构。

例如，声学系统 20 可以采用声学腔体的设计。参见图 8A 至图 8C，声学系统 20 可以包括壳体 21，壳体 21 的部分区域形成有声学腔体 22。需要说明的是，本申请对于声学腔体 22 的具体形态不做限定。扬声器 110 位于声学腔体 22 的内部。扬声器 110 的发声部件可以将声学腔体 22 分隔为第一声学腔体 22-1 和第二声学腔体 22-2。其中，上述发声部件可以是指扬声器 110 中产生振动的部件，例如，可以是振动膜、振动梁、振动杆、振动块等。第一声学腔体 22-1 是指扬声器 110 发出的第一声音在进入外部自由空间之前的声学共振腔。第二声学腔体 22-2 是指扬声器 110 发出的第一声音不会直接传播到外部自由空间的分量所处的声学共振腔。换言之，扬声器 110 的发声部件将声学腔体 22 分隔为两个子腔体，在这两个子腔体中，所述发声部件的出音面朝向的子腔体作为第一声学腔体 22-1，所述发声部件的出音面背向的子腔体作为第二声学腔体 22-2。第一声学腔体 22-1 也可以称为

前腔，第二声学腔体 22-2 也可以称为后腔。

基于上述声学腔体的设计，在一些实施例中，第二声音传感器 120-2 可以位于声学腔体 22 的内部，第一声音传感器 120-2 可以位于声学腔体 22 的外部。能够理解，由于扬声器 110 位于声学腔体 22 的内部，因此，将第二声音传感器 120-2 设置在声学腔体 22 的内部，并将第一声音传感器 120-1 设置在声学腔体 22 的外部，能够使得第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 拾取到更强的扬声器 110 的声音。也就是说，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，从而有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

其中，第二声音传感器 120-2 在声学腔体 22 内部的具体位置可以有多种情况。例如，参见图 8A，第二声音传感器 120-2 可以位于第一声学腔体 22-1 的内部。这种方式下，第二声音传感器 120-2 相较于第一声音传感器 120-1 能够捕捉较强的所述第一声音，从而有助于实现下述条件：第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$。进而有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

再例如，参见图 8B，第二声音传感器 120-2 可以位于第二声学腔体 22-2 的内部。这种方式能够达到如下两方面的效果：第一方面，第二声音传感器 120-2 相较于第一声音传感器 120-1 至少在部分频段上能够捕捉到较强的所述第一声音，从而有助于实现下述条件：第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$。第二方面，扬声器 110 会对目标声源 160 发出的第二声音起到一定的阻挡作用，从而有助于实现下述条件：第二信号y_2对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$远小于第一信号y_1中对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$。上述两方面的共同作用使得条件$k_2 \geq 2k_1$能够实现。

又例如，参见图 8C，第二声音传感器 120-2 可以与扬声器 110 的发声部件耦合。比如，第二声音传感器 120-2 可以为质量较轻的骨传导 MIC，扬声器 110 可以为气传导扬声器，骨传导 MIC 可以贴合设置在气导扬声器的振膜上。这样，由于骨传导 MIC 拾取的是骨振动信号，空气振动不会对骨传导 MIC 的拾音造成干扰，从而保证骨传导 MIC 拾取的第二信号y_2的准确性。另外，声学系统 20 通过采用质量较轻的骨传导 MIC，能够减少骨传导 MIC 对扬声器振膜振动的影响，从而避免引入额外失真。需要说明的是，这种耦合的方式对于各种类型的声音传感器和扬声器都是适用的，上述骨传导 MIC 和气传导扬声器耦合的方式仅为一种可能的示例。

图 8C 所示的声学系统中，由于第二声音传感器 120-2 与扬声器 110 的发声部件耦合，第二声音传感器 120-2 能够最直接的拾取扬声器 110 发出的声音，因此，第二声音传感器 120-2 相较于第一声音传感器 120-1 能够捕捉到较强的第一声音。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

需要说明的是，上述图 8A 至图 8C 的设计对于第一声音传感器 120-1 的具体位置不做限定，只

要是位于声学腔体 22 外部且能够方便拾取目标声源 160 的声音即可。例如，第一声音传感器 120-1 可以位于壳体 21 的内部，并且拾音面设置在壳体 21 的表面上远离声学腔体 22 的位置。图 8A 至图 8C 未对第一声音传感器 120-1 的位置进行示意。

在一些实施例中，第一声音传感器 120-1 的拾音面和第二声音传感器 120-2 的拾音面可以均位于壳体 21 外部的自由空间中，并且第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 更靠近扬声器 110（或者说更靠近声学腔体 22）。其中，所述自由空间指声音不受反射、折射、衍射的影响，主要以球面波或平面波的方式传播的空间。例如，参见图 8E，第二声音传感器 120-2 可以设置在壳体 21 外部的自由空间，而不与壳体 21 物理连接。该情况下，第二声音传感器 120-2 可以为有线或无线 MIC，在所述自由空间拾取得到第二信号y_2之后，可以通过有线或无线方式向信号处理电路 150 发送第二信号y_2。

在一些实施例中，参见图 8D，声学系统的壳体 21 的部分区域内可以形成有声学腔体 22 和声学腔体 23。其中，扬声器 110 位于声学腔体 22 内，第二声音传感器 120-2 位于声学腔体 23 内，并且，第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 更靠近扬声器 110。声学腔体 23 对第二声音传感器 120-2 可以起到防风作用，也可以称为防风腔体。第二声音传感器 120-2 在声学腔体 23 内依然可以拾取到自由空间中的声音信号。

需要说明的是，上述图 8D 至图 8E 的设计对于第一声音传感器 120-1 的具体位置不做限定，只要第一声音传感器 120-1 的拾音面位于所述自由空间，且能够方便地在所述自由空间拾取目标声源 160 的声音即可。例如，第一声音传感器 120-1 可以位于壳体 21 的内部，且拾音面设置在壳体 21 的表面上远离声学腔体 22 的位置。图 8D 和图 8E 未对第一声音传感器 120-1 的位置进行示意。

图 8D 和图 8E 所示的设计中，由于第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 更靠近扬声器 110，因此，第二声音传感器 120-2 相较于第一声音传感器 120-1 能够捕捉到更强的第一声音。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。另外，图 8E 的设计中，由于第二声音传感器 120-2 位于壳体 21 外部的自由空间中，不需要对壳体 21 结构以及声学腔体 22 进行改造，实现难度较低。图 8D 的设计中，由于第二声音传感器 120-2 位于声学腔体 22 之外的其他声学腔体中，不需要对声学腔体 22 进行改造，实现难度也较低。

在一些实施例中，第一声音传感器 120-1 的拾音面可以设置在壳体 21 外部的自由空间中，第二声音传感器 120-2 的拾音面可以设置在壳体 21 的内部空间中，并且，第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 更靠近扬声器 110（或者说更靠近声学腔体 22）。例如，参见图 8F，第二声音传感器 120-2 可以位于壳体 21 内部靠近第二声学腔体 22-2（或者后腔）的区域，且第二声音传感器 120-2 的拾音面朝向第二声学腔体 22-2。需要说明的是，本申请对于第一声音传感器 120-1 的具体位置不做限定，只要是能够方便拾取目标声源 160 的声音即可。例如，第一声音传感器 120-1 可以位于壳体 21 的内部，且拾音面设置在壳体 21 的表面上远离扬声器 110（或者说远离声学腔体 22）的

位置。图 8F 中未对第一声音传感器 120-1 的位置进行示意。

图 8F 所示的设计中，由于第二声音传感器 120-2 靠近后腔（即第二声学腔体 22-2），因此，第二声音传感器 120-2 可以拾取到从后腔中泄露出来的第一声音，或者拾取到以固体介质传播的第一声音。进一步的，由于第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 更靠近扬声器 110，因此，第二声音传感器 120-2 相较于第一声音传感器 120-1 能够捕捉到更强的第一声音。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$。另外，由于第一声音传感器 120-1 被隐藏在壳体 21 的内部，壳体 21 对目标声源 160 的声音起到一定阻挡作用，从而，第二信号y_2中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$远小于第一信号y_1中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$。上述两方面共同作用有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。另外，上述方案不需要对声学腔体 22 进行改造，实现难度较低。

在一些实施例中，第一声音传感器 120-1 和扬声器 110 还可以分别耦合于不同壳体上。例如，声学系统 20 还可以包括第一壳体和第二壳体。第一壳体可以视为声学系统 20 的装置外壳。第一声音传感器 120-1 可以位于所述第一壳体的内部，且拾音面设置在第一壳体的表面，并朝向第一壳体外部的自由空间。第二壳体也可以位于所述第一壳体的内部，并且所述第二壳体形成有声学腔体，扬声器 110 和第二声音传感器 120-2 位于所述声学腔体的内部。其中，与图 8A 至图 8C 类似，扬声器 110 的发声器件可以将声学腔体分隔为第一声学腔体（前腔）和第二声学腔体（后腔），第二声音传感器 120-2 可以位于第一声学腔体的内部，也可以位于第二声学腔体的内部，还可以与扬声器 110 的发声部件耦合。

基于上述设计，第一声音传感器 120-1 在第一壳体外部的自由空间内拾取声音，第二声音传感器 120-2 在第一壳体内部的声学腔体内拾取声音。由于第一壳体对声音的阻挡作用，一方面会降低第二声音传感器 120-2 对目标声源 160 的声音的拾取，另一方面会降低第一声音传感器 120-1 对扬声器 110 的声音的拾取。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，并且，第二信号y_2中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$远小于第一信号y_1中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$。进而有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

在一些实施例中，声学系统 20 还可以包括隔挡件。隔挡件件对声音起到隔挡作用。需要说明的是，本申请对于隔挡件的形态不做限定，例如可以为隔挡板、也可以为隔挡罩等。第二声音传感器 120-2 和扬声器 110 位于所述隔挡件的第一侧，第一声音传感器 120-1 位于所述隔挡件的第二侧。这样，由于所述隔挡件对所述第一声音起到阻挡作用，第一声音传感器 120-1 相对于第二声音传感器 120-2 拾取到的所述第一声音更少，也就是说，第二声音传感器 120-2 相较于第一声音传感器 120-1 能够捕捉到更强的第一声音。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

方案 2：可以从拾音指向性维度对声学系统 20 进行设计，使得第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 的拾音指向性满足预设条件，从而使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

其中，声音传感器的拾音指向性可以是指，由于声音传感器对不同方向的拾音灵敏度不同而对不同方向具有不同程度的指向性。其中，某个方向的拾音灵敏度可以是指声音传感器对来自该方向的声音的拾取能力。当某个方向的拾音灵敏度越高时，说明声音传感器对该方向的声音的拾取能力越强，即该声音传感器拾取得到的拾音信号中对应于该方向声音的信号成分越多，从而声音传感器对该方向的指向性越强。当某个方向的拾音灵敏度越低时，说明声音传感器对该方向的声音的拾取能力越弱，即声音传感器拾取得到的拾音信号中对应于该方向声音的信号成分越少，从而声音传感器对该方向的指向性越弱。当某个方向的拾音灵敏度为零时，说明声音传感器对该方向的声音不拾取，该方向也可以称为零点拾音方向。

图 9 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统的拾音指向示意图。如图 9 所示，第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 的拾音指向性可以满足下述条件中的至少一个：

（1）第一声音传感器 120-1 在第一方向的拾音灵敏度大于在第二方向的拾音灵敏度。

其中，所述第一方向指向目标声源 160，所述第二方向指向扬声器 110。能够理解，当满足上述条件（1）时，第一声音传感器 120-1 可以重点拾取目标声源 160 的声音。在对声学系统 20 进行设计时，为了满足上述条件（1），可以将第一声音传感器 120-1 的拾音灵敏度较高的方向朝向目标声源 160，和/或，将第一声音传感器 120-1 的拾音灵敏度较低的方向朝向扬声器 110。例如，将第一声音传感器 120-1 的拾音灵敏度最高的方向朝向目标声源 160，和/或，将第一声音传感器 120-1 的拾音灵敏度最低的方向朝向扬声器 110。

（2）第二声音传感器 120-2 在所述第一方向的拾音灵敏度小于在所述第二方向的拾音灵敏度。

当满足上述条件（2）时，第二声音传感器 120-2 可以重点拾取扬声器 110 的声音。在对声学系统 20 进行设计时，为了满足上述条件（2），可以将第二声音传感器 120-2 的拾音灵敏度较高的方向朝向扬声器 110，和/或，将第二声音传感器 120-2 的拾音灵敏度较低的方向朝向目标声源 160。例如，将第二声音传感器 120-2 的拾音灵敏度最高的方向朝向扬声器 110，和/或，将第二声音传感器 120-2 的拾音灵敏度最低的方向朝向目标声源 160。

需要说明的是，上述条件（1）和（2）只需要满足其中一项即可。当条件（1）满足时，第一声音传感器 120-1 重点拾取来自目标声源 160 的声音，当条件（2）满足时，第二声音传感器 120-2 重点拾取来自扬声器 110 的声音，两种情况下均有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。进一步的，当上述条件（1）和（2）同时满足时，第一声音传感器 120-1 相对于第二声音传感器 120-2 能够拾取到更强的目标声源 160 的声音，并且，第二声音传感器 120-2 相对于第一声音传感器 120-1 能够拾取到更强的扬声器 110 的声音。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，第二信号y_2中的对应于所述第二声音的信号能量$|v_2|^2$远小于第一信号y_1中对应于所述第二声音的信号能量$|v_1|^2$，更加有助于使得第一信号

y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

需要说明的是，第一声音传感器 120-1 的拾音指向性、以及第二声音传感器 120-2 的拾音指向性均可以通过采用具有一定指向性的单个拾音器件实现，还可以通过采用多个拾音器件形成预设阵列来实现，本申请对此不做限定。另外，本申请对于第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 各自对应的拾音方向图案不做具体限定，二者可以采用相同的拾音方向图案，也可以采用不同的拾音方向图案。例如，第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 对应的拾音方向图案均可以为全向图案、心型图案、超心型图案、8 字型图案、枪型图案或其他指向性图案中的任意一种。例如，图 9 中第一声音传感器 120-1 的拾音方向图案为枪型且较强拾音方向指向目标声源 160，而第二声音传感器 120-2 的拾音方向图案为心型且较强拾音方向指向扬声器 110。

由于方案 2 是从拾音指向性维度对声学系统进行设计，即，需要对第一声音传感器 120-1 和/或第二声音传感器 120-2 的拾音指向性进行设计，而对于声学系统中各器件的位置关系可以不做要求或者降低要求。可见，方案 2 可以适用于不便对声学系统 20 的结构做出改变的场景。在一些实施例中，方案 2 也可以与前述方案 1 中一种或多种设计相互结合。

方案 3：可以基于目标区域内各位置处的反馈声音能量来设计第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 的位置，从而使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

例如，第一声音传感器 120-1 位于目标区域内的第一位置，第二声音传感器 120-2 位于所述目标区域内的第二位置，其中，所述第一位置和所述第二位置满足下述条件中的至少一个：

（1）所述第一位置处的来自扬声器 110 的声音能量小于所述目标区域内除所述第一位置之外的其他位置处的来自扬声器 110 的声音能量。

也就是说，第一声音传感器 120-1 设置在目标区域内对应的反馈声音能量（即来自扬声器 110 的声音能量）最小的位置。当条件（1）满足时，第一声音传感器 120-1 拾取不到或者拾取到较弱的扬声器 110 的声音。

（2）所述第二位置处的来自扬声器 110 的声音能量大于所述目标区域内除所述第二位置之外的其他位置处的来自扬声器 110 的声音能量。

也就是说，第二声音传感器 120-2 设置在目标区域内对应的反馈声音能量（即来自扬声器 110 的声音能量）最大的位置。当条件（2）满足时，第二声音传感器 120-2 能够拾取到较强的扬声器 110 的声音。

需要说明的是，上述条件（1）和（2）只需要满足其中一项即可，在任意一项满足时均有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。进一步的，当上述条件（1）和条件（2）同时满足时，第一声音传感器 120-1 拾取不到或者拾取到较弱的扬声器 110 的声音，并且，第二声音传感器 120-2 能够拾取到较强的扬声器 110 的声音。从而，第二信号y_2中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_2|^2$远大于第一信号y_1中的对应于所述第一声音的信号能量$|x_1|^2$，更加有助于使得第一信号y_1和第二信号y_2满足条件$k_2 \geq 2k_1$。

图 10A 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统中第一声音传感器和第二声音传感器在目标区域内的位置示意图。如图 10A 所示，目标区域 190 内的不同位置处标注有箭头，箭头的长度表征该位置对应的反馈声音能量（即来自扬声器 110 的声音能量）的大小。其中，箭头长度越大表示反馈声音能量越大，箭头长度越小表示反馈声音能量越小。继续参见图 10A，在目标区域 190 中，第一声音传感器 120-1 所在位置对应的反馈声音能量最小，第二声音传感器 120-2 所在位置对应的反馈声音能量最大。

为了满足上述条件（1）和条件（2），可以采用如下方式对声学系统 20 进行设计：先在声学系统 20 的装置内确定出拟放置第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 的目标区域 190。然后，通过仿真计算或者实地测量，得到目标区域 190 上各位置对应的反馈声音能量分布。例如，图 10B 示出了一种声学系统的目标区域内各位置对应的反馈声音能量的示意图。其中，目标区域 190 内某个位置的灰度值越大（灰度值为 0 时呈现为黑色，灰度值为 255 时呈现为白色），则说明该位置对应的反馈声音能量越大，目标区域内某个位置的灰度值越小，则说明该位置对应的反馈声音能量越小。进而，将目标区域 190 内对应的反馈声音能量最强的位置作为第二位置 192，并将第二声音传感器 120-2 设置在第二位置 192 处；将目标区域 190 内对应的反馈声音能量最弱的位置作为第一位置 191，并将第一声音传感器 120-1 设置在第一位置 191 处。

需要说明的是，本申请对于目标区域 190 的形状不做限定，图 10A 和图 10B 中以矩形为例进行示意。实际应用中，目标区域 190 可以是其他的任意形状，例如，圆形、三角形、五边形、六边形、环形、镂空形等，还可以是其他不规则的任意形状，还可以是一块三维空间所围区域。

由于方案 3 是基于目标区域 190 内各位置的反馈声音能量，来对第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 的位置进行设计，即，将第一声音传感器 120-1 设置在目标区域 190 内对应的反馈声音能量最小的位置，将第二声音传感器 120-2 设置在目标区域 190 内对应的反馈声音能量最大的位置，因此，方案 3 对于声学系统 20 中各器件之间位置关系的要求不高（例如不要求第一声音传感器 120-1 必须远离扬声器 110，第二声音传感器 120-2 必须靠近扬声器 110 等）。方案 3 可以适用于未预先指定各部件的位置，并允许在一定的候选区域选择确定各部件位置的场景。在一些实施例中，方案 3 也可以与前述方案 1、方案 2 中一种或多种设计相互结合。

图 11 示出了根据本说明书的实施例提供的声学系统在自适应滤波性能方面的测试结果示意图。参见图 11，在声学系统 20 中扬声器 110 具有限幅特性的情况下，当采用图 2 所示的基于 AFC 的自适应滤波方案时，计算得到的失调量（MIS）如曲线 A 所示。当采用图 4 所示的基于 AFC 的自适应滤波方案时，计算得到的失调量（MIS）如曲线 B 所示。在图 11 中，曲线 B 相对于曲线 A 在最初期（约 0.2 秒前）下降更快，且在转折后的时期（约 0.2 秒后）一直保持着较快的平均下降趋势。也就是说，曲线 B 在全部示出的时间段内都位于曲线 A 的下方。因而图 4 方案的失调量 MIS 一直低于图 2 方案，亦即图 4 方案在自适应滤波算法的收敛程度和收敛速度上优于图 2 方案。由图 11 可见，采用图 4 所示方案在自适应滤波算法的收敛程度和收敛速度上均有明显提升。

综上所述，本说明书提供的声学系统 20 包括：扬声器 110、第一声音传感器 120-1、第二声音传感器 120-2 和信号处理电路 150。其中，扬声器 110 工作时接收驱动信号并转换为第一声音；第一声音传感器 120-1 工作时采集环境声音并生成第一信号，所述环境声音包括第一声音和来自目标声源的第二声音；第二声音传感器 120-2 工作时采集环境声音并生成第二信号，所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$，其中k_1为所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比，k_2为所述第二信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比；信号处理电路 150 与第一声音传感器 120-1 和第二声音传感器 120-2 分别连接，工作时基于所述第二信号对所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，得到目标信号，并对目标信号执行目标操作。由此可见，本说明书提供的声学系统 20 能够减少或消除目标信号中反馈成分，从而避免由于反馈声音导致的啸叫等问题，还能够提升声学系统 20 所能达到的最大前向增益。

上述对本说明书特定实施例进行了描述。其他实施例在所附权利要求书的范围内。在一些情况下，在权利要求书中记载的动作或步骤可以按照不同于实施例中的顺序来执行并且仍然可以实现期望的结果。另外，在附图中描绘的过程不一定要求示出特定顺序或者连续顺序才能实现期望的结果。在某些实施方式中，多任务处理和并行处理也是可以的或者是可能有利的。

综上所述，在阅读本详细公开内容之后，本领域技术人员可以明白，前述详细公开内容可以仅以示例的方式呈现，并且可以不是限制性的。尽管这里没有明确说明，本领域技术人员可以理解本说明书需求囊括对实施例的各种合理改变，改进和修改。这些改变，改进和修改旨在由本说明书提出，并且在本说明书的示例性实施例的精神和范围内。

此外，本说明书中的某些术语已被用于描述本说明书的实施例。例如，“一个实施例”，“实施例”和/或“一些实施例”意味着结合该实施例描述的特定特征，结构或特性可以包括在本说明书的至少一个实施例中。因此，可以强调并且应当理解，在本说明书的各个部分中对“实施例”或“一个实施例”或“替代实施例”的两个或更多个引用不一定都指代相同的实施例。此外，特定特征，结构或特性可以在本说明书的一个或多个实施例中适当地组合。

应当理解，在本说明书的实施例的前述描述中，为了帮助理解一个特征，出于简化本说明书的目的，本说明书将各种特征组合在单个实施例、附图或其描述中。然而，这并不是说这些特征的组合是必须的，本领域技术人员在阅读本说明书的时候完全有可能将其中一部分设备标注出来作为单独的实施例来理解。也就是说，本说明书中的实施例也可以理解为多个次级实施例的整合。而每个次级实施例的内容在于少于单个前述公开实施例的所有特征的时候也是成立的。

本文引用的每个专利，专利申请，专利申请的出版物和其他材料，例如文章，书籍，说明书，出版物，文件，物品等，除了与其相关的任何历史起诉文件、可能与本文件不一致或相冲突的任何相同的、或者任何可能对权利要求的最宽范围具有限制性影响的任何相同的历史起诉文件，均可以通过引用结合于此，并用于现在或以后与本文件相关联的所有目的。此外，如果在与任何所包含的

材料相关联的术语的描述、定义和/或使用与本文档相关的术语、描述、定义和/或之间存在任何不一致或冲突时，使用本文件中的术语为准。

最后，应理解，本文公开的申请的实施方案是对本说明书的实施方案的原理的说明。其他修改后的实施例也在本说明书的范围内。因此，本说明书披露的实施例仅仅作为示例而非限制。本领域技术人员可以根据本说明书中的实施例采取替代配置来实现本说明书中的申请。因此，本说明书的实施例不限于申请中被精确地描述过的实施例。

权 利 要 求 书

1. 一种声学系统，其特征在于，包括：

扬声器，工作时接收驱动信号并转换为第一声音；

第一声音传感器，工作时采集环境声音并生成第一信号，所述环境声音包括所述第一声音和来自目标声源的第二声音，所述目标声源包括除所述扬声器之外的其他声源；

第二声音传感器，工作时采集所述环境声音并生成第二信号，其中，所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$，其中k_1为所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比，k_2为所述第二信号中的对应于所述第一声音的信号能量与对应于所述第二声音的信号能量之比；以及

信号处理电路，与所述第一声音传感器和所述第二声音传感器分别连接，工作时：

基于所述第二信号，对所述第一信号中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，得到目标信号，以及

对所述目标信号执行目标操作。

2. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，为了满足$k_2 \geq 2k_1$，所述第一信号和所述第二信号满足下面条件中的至少一个：

所述第二信号中的对应于所述第一声音的信号能量与所述第二信号中的对应于所述第二声音的信号能量之比大于或等于 2；

所述第二信号中对应于所述第一声音的信号能量与所述第一信号中对应于所述第一声音的信号能量之比大于或等于 2；以及

所述第一信号中对应于所述第二声音的信号能量与所述第一信号中对应于所述第一声音的信号能量之比大于或等于 2。

3. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，所述第一声音传感器、所述第二声音传感器、以及所述扬声器之间的位置关系满足预设条件，使得所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$。

4. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述预设条件包括：$L_1 \geq 2L_2$，其中，L_2为所述第二声音传感器与所述扬声器之间的距离，L_1为所述第一声音传感器与所述扬声器之间的距离。

5. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述声学系统还包括壳体，所述壳体的部分区域形成有声学腔体，所述扬声器和所述第二声音传感器均位于所述声学腔体的内部，所述第一声音传感器位于所述声学腔体的外部。

6. 根据权利要求 5 所述的声学系统，其特征在于，所述扬声器的发声部件将所述声学腔体分隔为第一声学腔体和第二声学腔体，所述发声部件的出音面朝向所述第一声学腔体，其中

所述第二声音传感器位于所述第一声学腔体的内部，或者

所述第二声音传感器位于所述第二声学腔体的内部。

7. 根据权利要求 5 所述的声学系统，其特征在于，所述第二声音传感器与所述扬声器的发声部件耦合。

8. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述声学系统还包括壳体，所述第二声音传感器的拾音面和所述第一声音传感器的拾音面均位于所述壳体外部的自由空间中，所述第二声音传感器相对于所述第一声音传感器更靠近所述扬声器。

9. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述声学系统还包括壳体，所述壳体的部分区域形成有第一声学腔体和第二声学腔体，所述扬声器位于所述第一声学腔体内，所述第二声音传感器位于所述第二声学腔体内，所述第二声音传感器相对于所述第一声音传感器更靠近所述扬声器。

10. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述声学系统还包括壳体，所述第一声音传感器的拾音面位于所述壳体外部的自由空间中，所述第二声音传感器的拾音面位于所述壳体的内部空间中，所述第二声音传感器相对于所述第一声音传感器更靠近所述扬声器。

11. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述声学系统还包括第一壳体和第二壳体，其中，

所述第二壳体位于所述第一壳体的内部，且所述第二壳体形成有声学腔体，所述扬声器和所述第二声音传感器位于所述声学腔体的内部。

12. 根据权利要求 3 所述的声学系统，其特征在于，所述声学系统还包括隔挡件，所述第二声音传感器和所述扬声器位于所述隔挡件的第一侧，所述第一声音传感器位于所述隔挡件的第二侧。

13. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，所述第一声音传感器和所述第二声音传感器的拾音指向性满足预设条件，使得所述第一信号和所述第二信号满足$k_2 \geq 2k_1$。

14. 根据权利要求 13 所述的声学系统，其特征在于，所述第一声音传感器和所述第二声音传感器的拾音指向性满足下面条件中的至少一个：

所述第一声音传感器在第一方向的拾音灵敏度大于在第二方向的拾音灵敏度；以及

所述第二声音传感器在所述第一方向的拾音灵敏度小于在所述第二方向的拾音灵敏度，其中

所述第一方向指向所述目标声源，所述第二方向指向所述扬声器。

15. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，所述第一声音传感器位于目标区域内的第一位置，所述第二声音传感器位于所述目标区域内的第二位置，其中，所述第一位置和所述第二位置满足下面条件中的至少一个：

所述第一位置处的来自所述扬声器的声音能量小于所述目标区域内除所述第一位置之外的其他位置处的来自所述扬声器的声音能量；以及

所述第二位置处的来自所述扬声器的声音能量大于所述目标区域内除所述第二位置之外的其他位置处的来自所述扬声器的声音能量。

16. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，为了得到所述目标信号，所述信号处理电路：

对所述第二信号执行自适应滤波操作得到第三信号，并从所述第一信号中减去所述第三信号得到所述目标信号。

17. 根据权利要求 16 所述的声学系统，其特征在于，所述信号处理电路还：

基于所述第二信号和所述目标信号中的至少一个更新所述自适应滤波操作对应的滤波参数。

18. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，为了得到所述目标信号，所述信号处理电路：

对所述第一信号执行第一预处理操作得到第一中间信号；

对所述第二信号执行第二预处理操作得到第二中间信号；以及

基于所述第二中间信号，对所述第一中间信号中的对应于所述第一声音的信号成分进行削减，得到所述目标信号。

19. 根据权利要求 18 所述的声学系统，其特征在于，所述第一预处理操作包括增益放大操作、滤波操作、频响补偿操作、相位修改操作中的至少一项；以及

所述第二预处理操作包括增益放大操作、滤波操作、频响补偿操作、相位修改操作中的至少一项。

20. 根据权利要求 1 所述的声学系统，其特征在于，所述信号处理电路还与所述扬声器连接，在执行所述目标操作时，所述信号处理电路：

对所述目标信号进行增益放大，以及

向所述扬声器发送所述增益放大后的信号，以驱动所述扬声器发声。

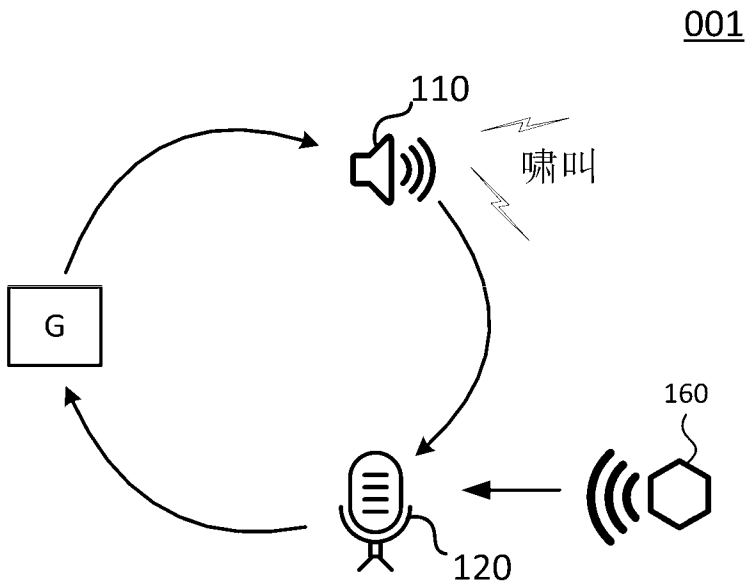


图 1

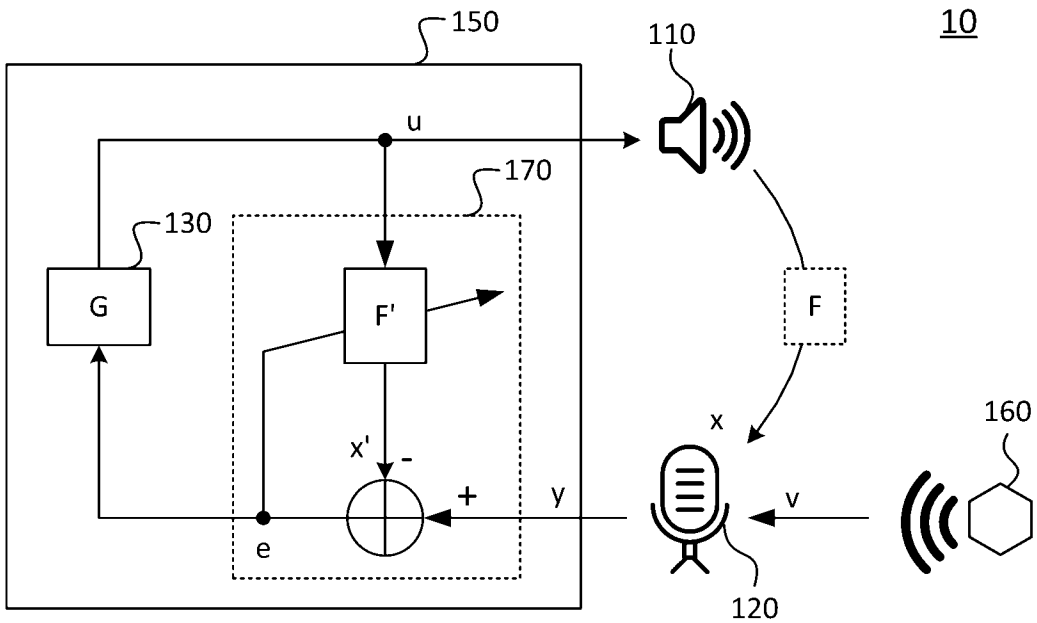


图 2

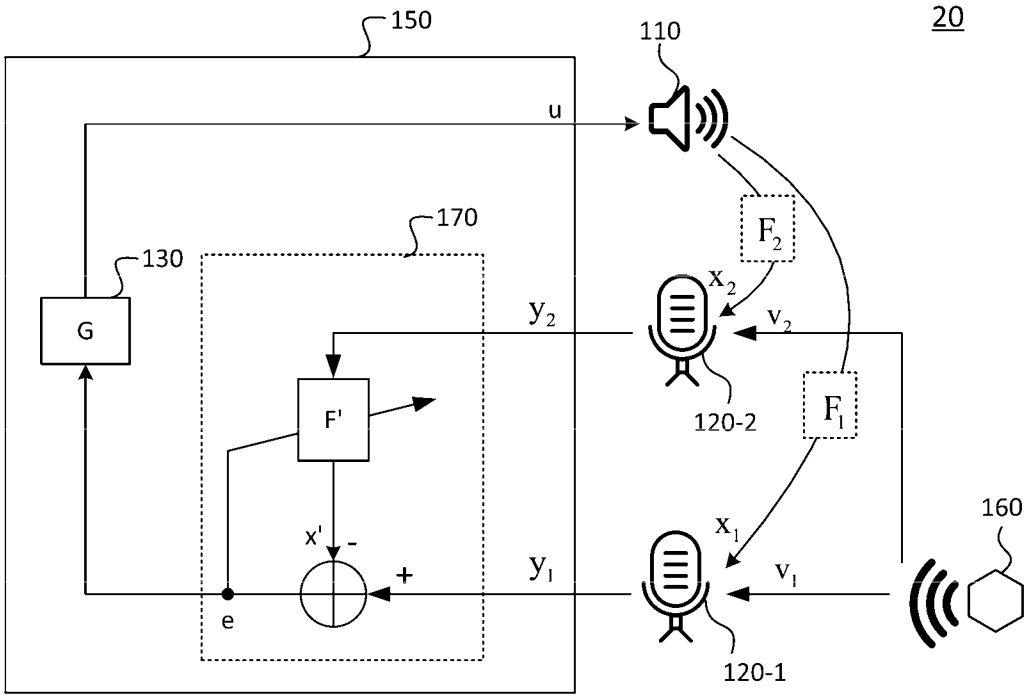


图 3

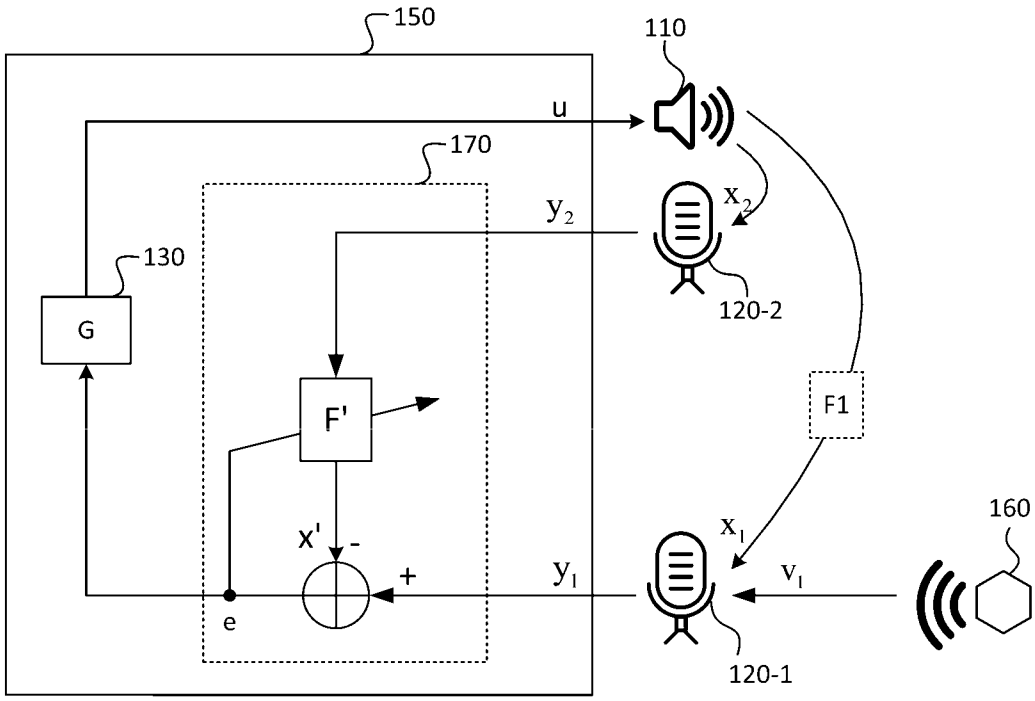

150
110
u
170
y_2
x_2
130
120-2
G
F'
F1
x_1
160
x'
-
+
y_1
v_1
e
120-1

图 4

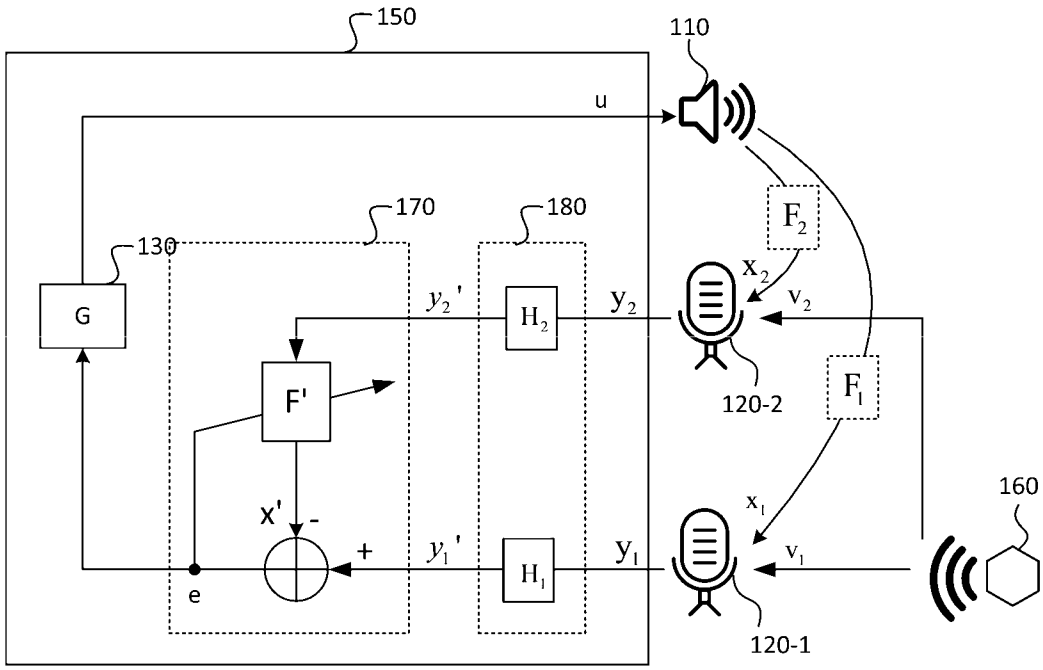

150
110
u
F_2
170
180
130
x_2
y_2'
H_2
y_2
v_2
G
F'
120-2
F_1
x'
-
+
y_1'
H_1
y_1
x_1
160
v_1
e
120-1

图 5

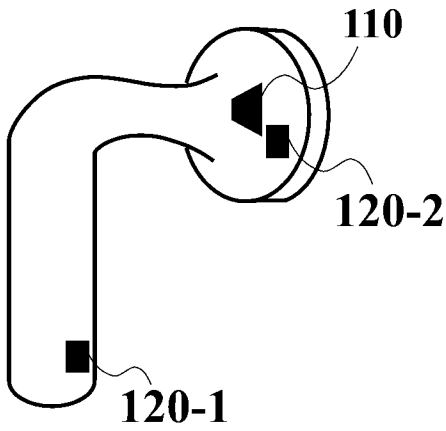


图 6A

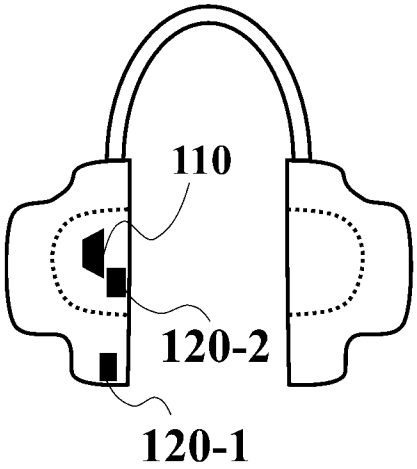


图 6B

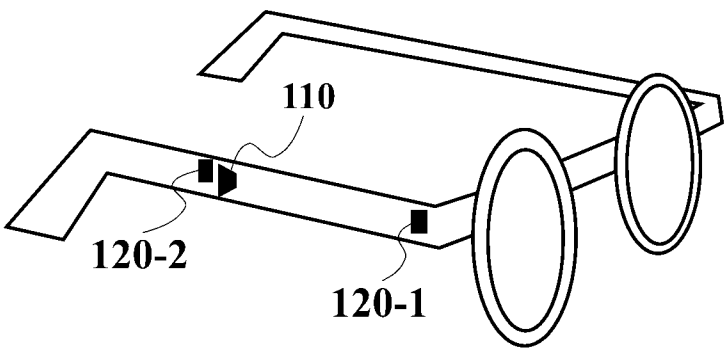


图 6C

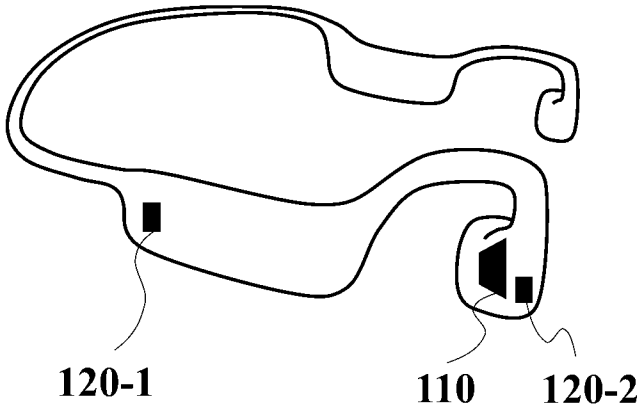


图 6D

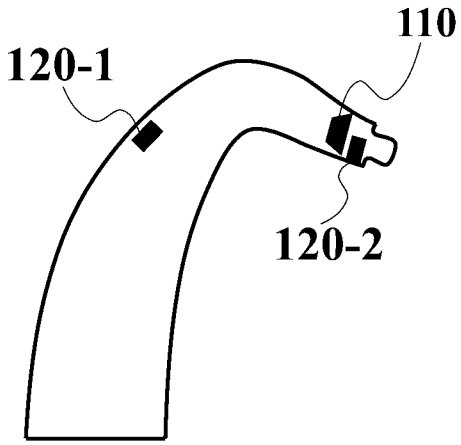


图 6E

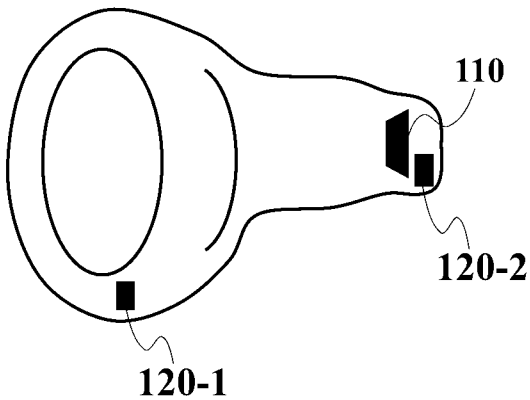


图 6F

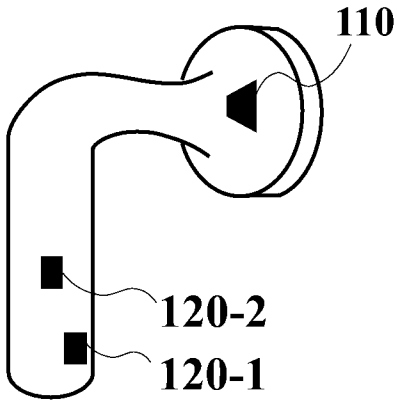


图 7A

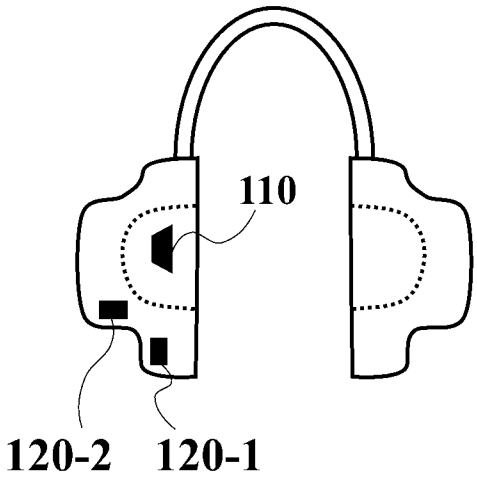


图 7B

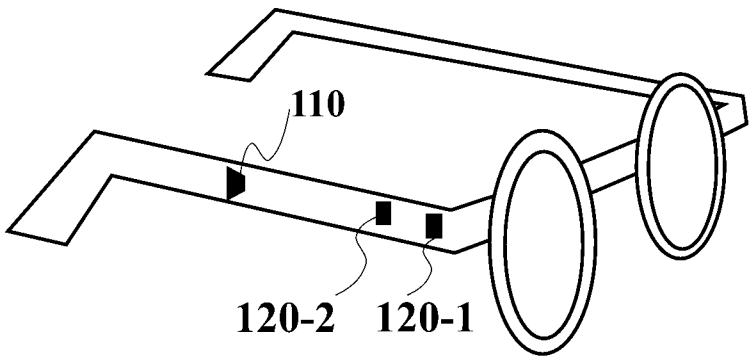


图 7C

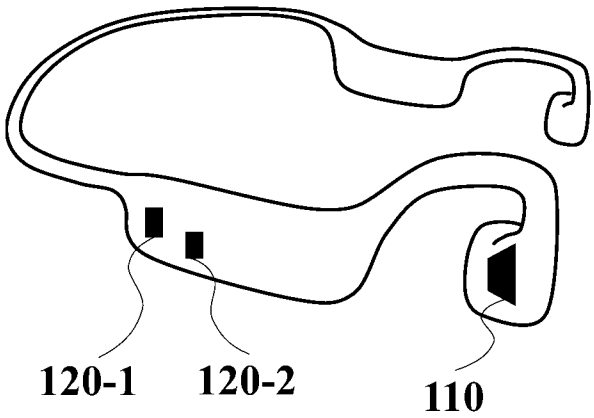


图 7D

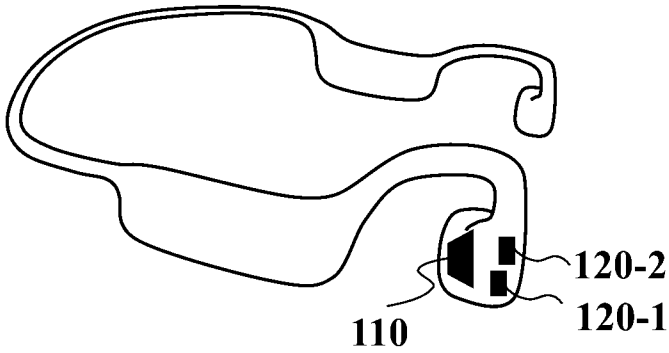


图 7E

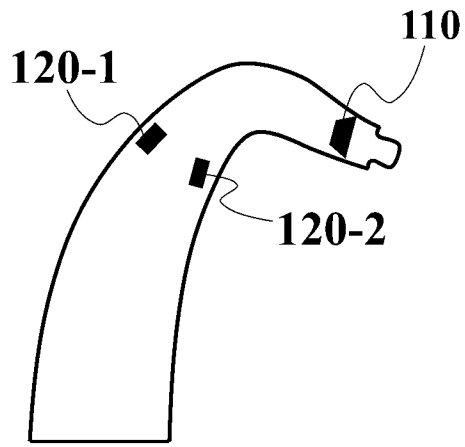


图 7F

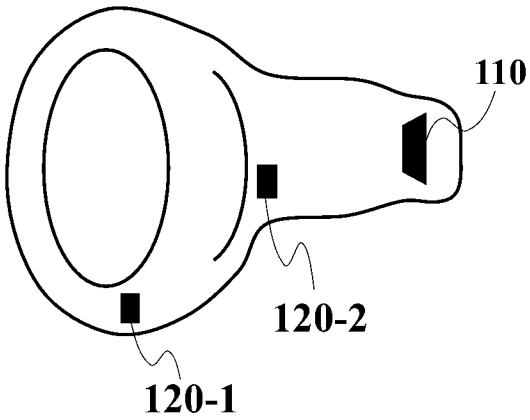


图 7G

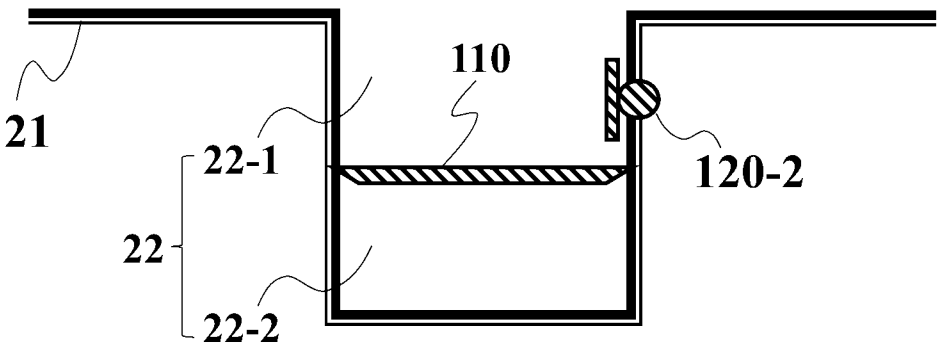


图 8A

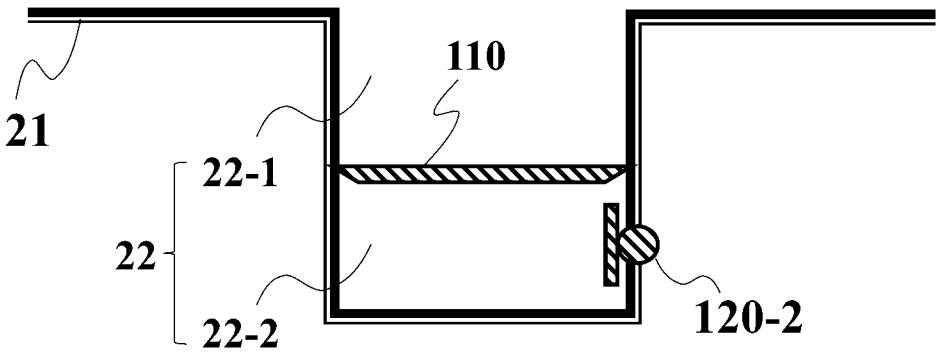


图 8B

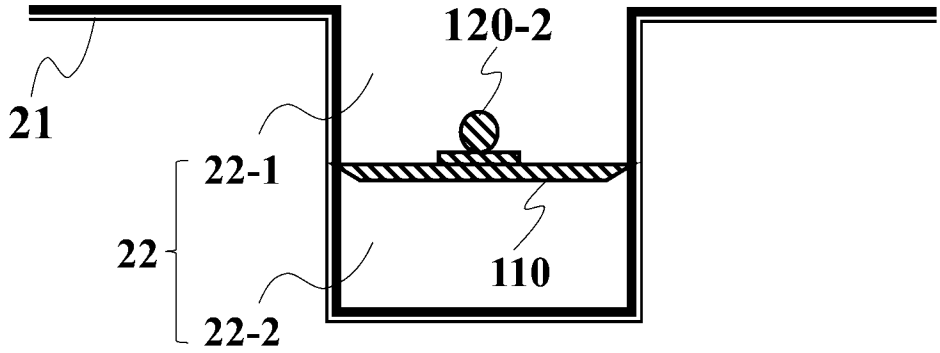


图 8C

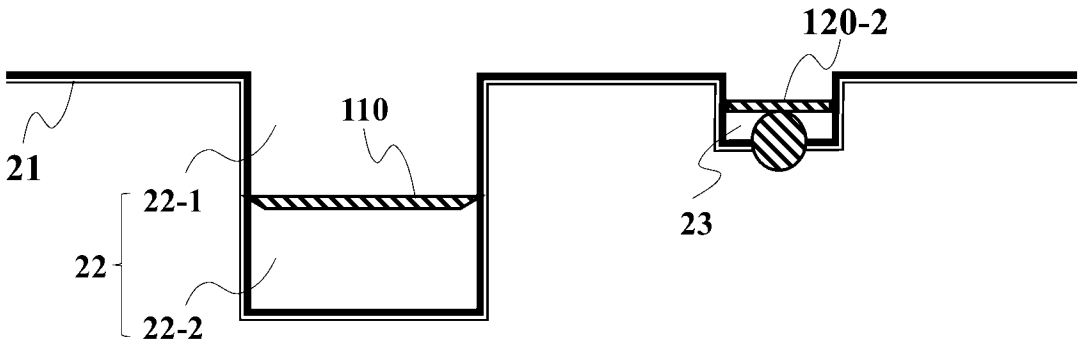


图 8D

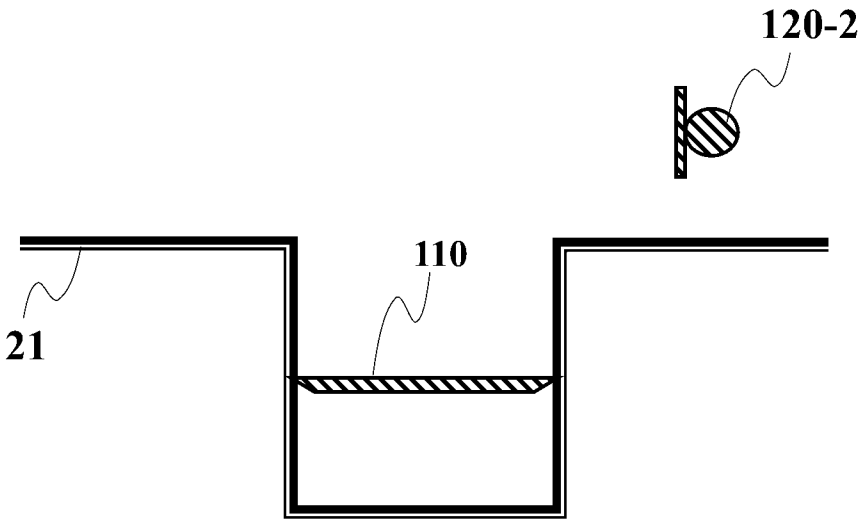


图 8E

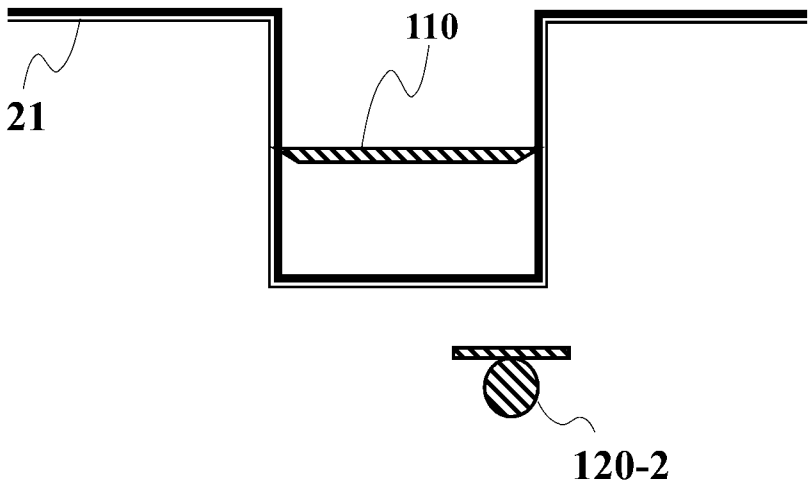


图 8F

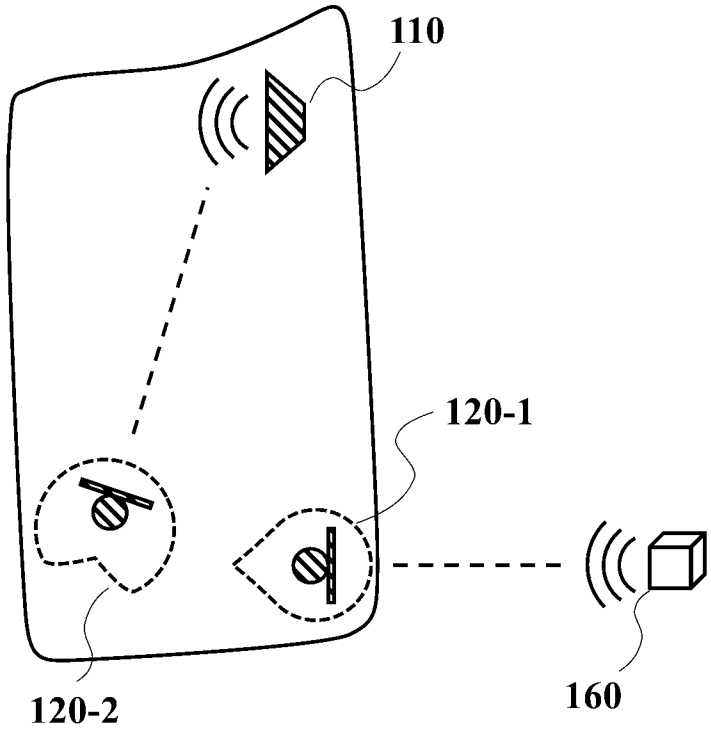


图 9

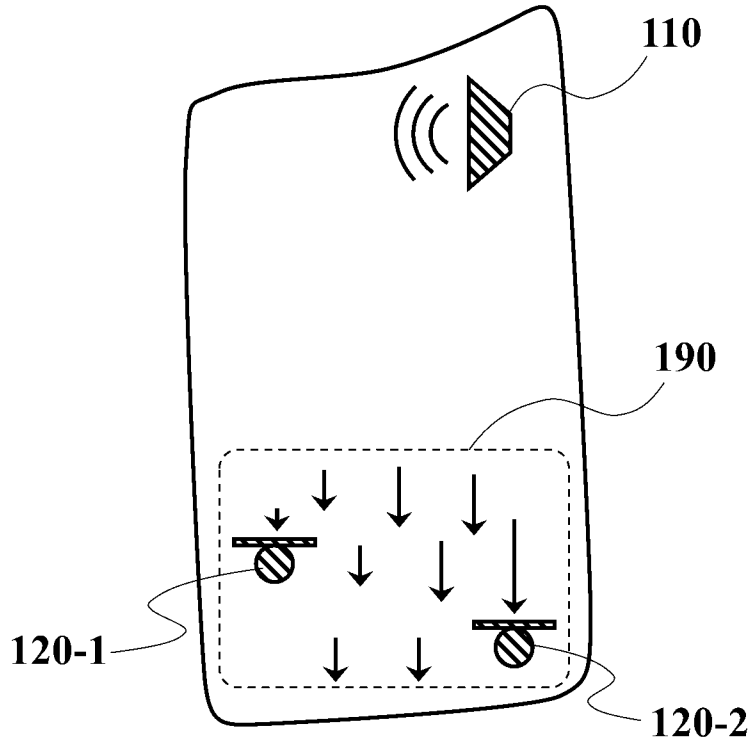


图 10A

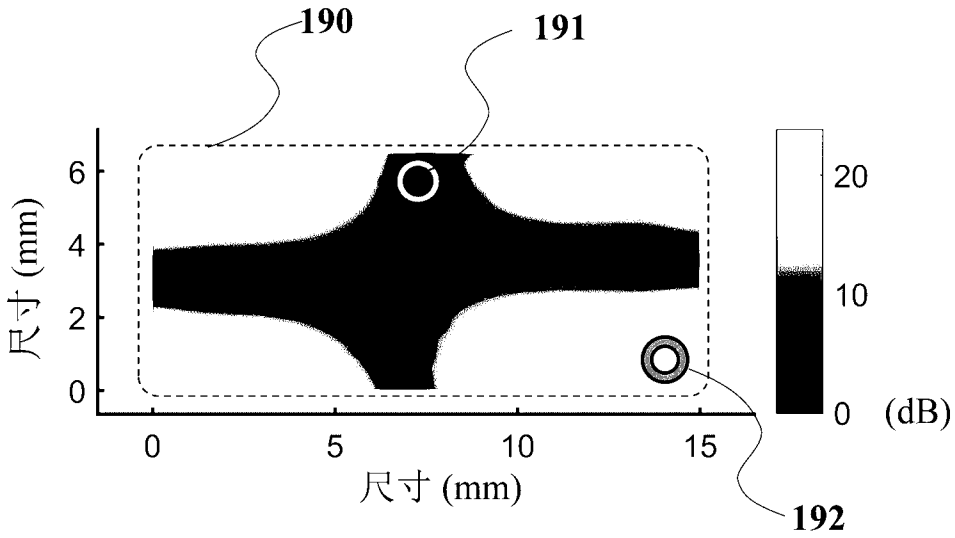


图 10B

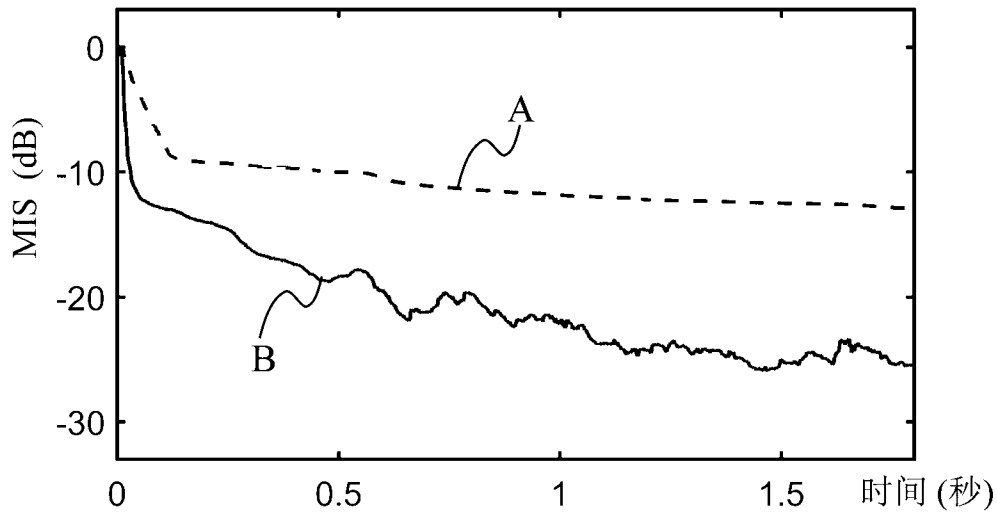


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/096286

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04R 3/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:H04R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPABS, WPABSC, DWPI, VEN, CNTXT, CNKI, ENTXT, ENTXTC, CJFD: 扬声器, 话筒, 声音传感器, 麦克风, 啸叫, 声反馈, 第二, 两, 近, 远, 强, 弱, 壳, 音腔, speaker, mic, microphone, sound sensor, howling, sound feedback, two, second, near, far, strong, weak, shell, acoustic cavity

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2018130482 A1 (HARMAN INTERNATIONAL INDUSTRIES, INC.) 10 May 2018 (2018-05-10) description, paragraphs [0069], [0071], [0072], and [0080], and figures 4 and 5	1-20
A	JP 2018157537 A (YAMAHA CORP.) 04 October 2018 (2018-10-04) entire document	1-20
A	CN 113645546 A (ALIBABA GROUP HOLDING LIMITED) 12 November 2021 (2021-11-12) entire document	1-20
A	US 2021020188 A1 (APPLE INC.) 21 January 2021 (2021-01-21) entire document	1-20
A	CN 107431852 A (SONY CORPORATION) 01 December 2017 (2017-12-01) entire document	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
08 November 2023	**02 January 2024**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/096286

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 2018130482 A1	10 May 2018	WO 2016186997 A1	24 November 2016
		EP 3295681 A1	21 March 2018
		EP 3295681 B1	30 June 2021
JP 2018157537 A	04 October 2018	JP 6665844 B2	13 March 2020
CN 113645546 A	12 November 2021	None	
US 2021020188 A1	21 January 2021	US 10978086 B2	13 April 2021
CN 107431852 A	01 December 2017	US 2019215598 A1	11 July 2019
		US 10667034 B2	26 May 2020
		US 2018115818 A1	26 April 2018
		US 10349163 B2	09 July 2019
		EP 3614690 A1	26 February 2020
		WO 2016167040 A1	20 October 2016
		JPWO 2016167040 A1	08 February 2018
		JP 6604376 B2	13 November 2019
		EP 3285497 A1	21 February 2018
		EP 3285497 A4	27 March 2019
		EP 3285497 B1	27 October 2021

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/096286

A. 主题的分类

H04R 3/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:H04R

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

WPABS,WPABSC,DWPI,VEN,CNTXT,CNKI,ENTXT,ENTXTC,CJFD:扬声器，话筒，声音传感器，麦克风，啸叫，声反馈，第二，两，近，远，强，弱，壳，音腔，speaker，mic，microphone,sound sensor, howling,sound feedback,two, second,near,far,strong，weak，shell,acoustic cavity

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	US 2018130482 A1 (HARMAN INT IND) 2018年5月10日 (2018 - 05 - 10) 说明书第[0069]、[0071]、[0072]、[0080]段，图4和5	1-20
A	JP 2018157537 A (YAMAHA CORP) 2018年10月4日 (2018 - 10 - 04) 全文	1-20
A	CN 113645546 A (阿里巴巴集团控股有限公司) 2021年11月12日 (2021 - 11 - 12) 全文	1-20
A	US 2021020188 A1 (APPLE INC) 2021年1月21日 (2021 - 01 - 21) 全文	1-20
A	CN 107431852 A (索尼公司) 2017年12月1日 (2017 - 12 - 01) 全文	1-20

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2023年11月8日	2024年1月2日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	受权官员 王静 电话号码 (+86) 010-62088433

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/096286

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	2018130482	A1	2018年5月10日	WO	2016186997	A1	2016年11月24日
				EP	3295681	A1	2018年3月21日
				EP	3295681	B1	2021年6月30日
JP	2018157537	A	2018年10月4日	JP	6665844	B2	2020年3月13日
CN	113645546	A	2021年11月12日		无		
US	2021020188	A1	2021年1月21日	US	10978086	B2	2021年4月13日
CN	107431852	A	2017年12月1日	US	2019215598	A1	2019年7月11日
				US	10667034	B2	2020年5月26日
				US	2018115818	A1	2018年4月26日
				US	10349163	B2	2019年7月9日
				EP	3614690	A1	2020年2月26日
				WO	2016167040	A1	2016年10月20日
				JPWO	2016167040	A1	2018年2月8日
				JP	6604376	B2	2019年11月13日
				EP	3285497	A1	2018年2月21日
				EP	3285497	A4	2019年3月27日
				EP	3285497	B1	2021年10月27日