



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104170408 B

(45)授权公告日 2017.03.15

(21)申请号 201380012369.8

(22)申请日 2013.03.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104170408 A

(43)申请公布日 2014.11.26

(30)优先权数据

PA201200189 2012.03.14 DK

PA201300015 2013.01.10 DK

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.09.03

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/055249 2013.03.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/135819 EN 2013.09.19

(73)专利权人 邦及奥卢夫森公司

地址 丹麦斯楚厄

(72)发明人 马丁·奥尔森 马丁·B·穆勒

(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 戎志敏

(51)Int.Cl.

H04S 7/00(2006.01)

(56)对比文件

WO 2009096657 A1, 2009.08.06,

US 2010135503 A1, 2010.06.03,

US 2010150361 A1, 2010.06.17,

TERENCE BETLEHEM等.A constrained

optimization approach for multi-zone

surround sound.《ACOUSTICS,SPEECH AND

SIGNAL PROCESSING(ICASSP),2011 IEEE

INTERNATIONAL CONFERENCE ON,IEEE》.2011,全

文.

审查员 王亚辉

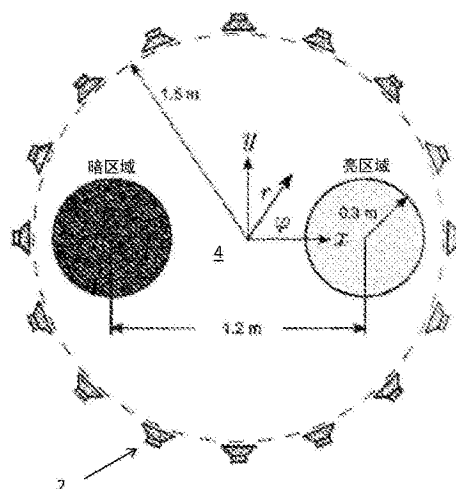
权利要求书1页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

应用组合的或混合的声场控制策略的方法

(57)摘要

一种应用组合控制策略以便在两个或多个声音区域中重现多声道音频信号的方法,所述方法包括:得到用于控制所述区域中的声学势能的第一成本函数(例如,根据声学对比度控制方法和/或能量差最大化方法),以便以声压的形式获得区域之间的声学隔离;得到控制提供在所述区域中的声音的相位的第二成本函数(例如,压力匹配方法);其中获得权重,用于确定组合优化中的第一和第二成本函数的组合。



1. 一种应用组合控制策略的方法,用于在两个或多个声音区域内重现多声道音频信号,所述方法包括:

-得到用于控制所述区域中的声学势能的第一成本函数,以便以声压的形式获得区域之间的声学隔离;

-得到控制提供在所述区域中的声音的相位的第二成本函数,其中获得权重,用于确定组合优化中的第一和第二成本函数的组合;

-根据组合优化得到用于驱动多个扩音器中的每个扩音器的参数。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一成本函数是声音对比度控制方法的成本函数。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一成本函数是能量差最大化方法的成本函数。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述第二成本函数是压力匹配方法的成本函数。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述得到第一成本函数的步骤包括:得到成本函数,在所述成本函数中,每个区域中的声学势能与区域中的均方声压成正比:

$$E_{pot} \propto \int_{S^2} |p(x)|^2 da(x),$$

其中, E_{pot} 是每个区域中的声学势能, $\int_{S^2} |p(x)|^2 da(x)$ 是区域中的均方声压, $p(x)$ 是位置 x 处的声压, $da(x)$ 是微分面积要素, S^2 是区域的面积。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述得到第二成本函数的步骤包括:使用得到的重现误差评价相位控制,以便得到较低的重现误差,将重现误差定义为:

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \int_{S^2} |p^d(x) - p^r(x)|^2 da(x) \quad (2),$$

其中, ε 是重现误差, $p^d(x)$ 是所需声压, $p^r(x)$ 是重现出的声压, S^2 是区域的面积, N 是如下所示的归一化因数:

$$N = \int_{S^2} |p^d(x)|^2 da(x) \quad (3), \text{ 并且 } da(x) \text{ 是微分面积要素。}$$

7. 根据权利要求6所述的方法,其中在采样亮区域的点中控制所述重现误差。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述方法将来自压力匹配和能量差最大化的成本函数合并为单个成本函数,其中包括用于控制在组合优化中所述方法之间的权衡的权重。

9. 根据权利要求1或2所述的方法,还包括以下步骤:

-根据得到的参数驱动扩音器。

10. 根据权利要求1所述的方法,其中获得权重的步骤包括得到第二成本函数的权重,以便在多个区域的预定区域中与平面波具有预定的最大重现误差。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中所述最大重现误差是15%。

应用组合的或混合的声场控制策略的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种提供混合控制策略的方式,用于得到在多个声音区域内的每个声音区域中提供产生更好声音的组合模型。

[0002] 本发明总体上涉及对声场中音频的重现和控制。更具体地,公开了一种方法,其中混合方法提出了在优化声场中,在在两个声音区域之间的声学对比度与控制相位的程度之间的权衡。

背景技术

[0003] 可以使用启用多通道重现技术的多种控制策略来实现空间受限区域中的优化声场。下文公开了产生两个空间分离的区域,其中第一区域包括较低声压(暗区域),另一第二区域根据所需的控制策略在某种程度上重现并控制相对第一区域的较高声压(亮区域)。

[0004] 可以大致地将通常应用于产生声音区域的问题的策略分为两类:

[0005] • 优化方法,以及

[0006] • 声场合成方法。

[0007] 前者的优点包括空间源布局的多样性和所需源的数量,其中由于给定配置而导致对性能的固有限制。与合成方法有关的源配置往往更受限,特别是在例如波场合成和高保真度立体声响复制的方法的情况下。

[0008] 然而,这些方法促使重现特定声场,能够控制被控区域中的波前的碰撞,不同于施加于大多数数值优化方法中(如在声学对比度控制(ACC)和能量差最大化方法(EDM))的能量考虑。在上述分类中,存在包括来自合成方法和优化方法二者的要素的控制策略。压力匹配方法是这种类型的控制策略的示例。

[0009] 可以利用多个参数以便评价所述方法的性能,在文献中通常处理的主要度量是在两个相邻区域之间的声学对比度。然而,对比度仅表明声学隔离,并不提供关于每个优化区域中的声场的特性的任何详细信息。

[0010] 根据现有技术得知,提供较高声学对比度的控制方法通常由于优化方法的特性而导致加剧对得到的优化声场的相位控制,反之,合成声场的方法从而提供高度的相位控制,往往导致相对地降低对比度值。

[0011] 本发明是基于在以下文献中记录的研究结果:

[0012] Audio Engineering Society-会议论文

[0013] 发表于第132届会议

[0014] 2012年4月26-29日,Budapest,Hungary

[0015] “A Hybrid Method Combining Synthesis of a Sound Field and Control of Acoustic Contrast”

[0016] 可以在以下文献中查看提供不同声音区域的其它方式:US2010/0135503,Terence Betlehem和Paul D.Teal,“A constrained optimization approach for multi-zone surround sound”;2011IEEE International Conference on Acoustics,Speech and

Signal Processing (ICASSP), 2011年5月22日, IEEE, 437-440页, 第2章“problem statement”, Matthew Jones和Stephen Elliott: “Personal audio with multiple dark zones”, The Journal of the Acoustical Society of America, December 2008, American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, New York, NY, US, vol.124, no.6, 页码3497-3506, US2007/0098183和US2010/0150361。

发明内容

[0017] 在本发明中, 提出了一种混合方法, 将根据合成方法的高度相位控制与数值方法的多样性合并为组合控制策略。提出了能量差最大化和压力匹配方法的组合, 有可能控制声学对比度与相位控制程度的重要性的比率。将使用得到的重现误差来评价后者。

[0018] 因此, 本发明的一个方面涉及一种应用组合控制策略的方法, 用于在虚拟声音区域中重现多声道的声音信号, 所述方法包括:

[0019] • 控制在所述区域中的声学势能以便以声压的形式获得区域之间的声学隔离;

[0020] • 控制每个区域中的声学势能, 可以将所述能量视作与区域中的均方声压成正比; 以及

[0021] • 控制相位控制的程度, 其中可以使用得到的重现误差来评价相位控制, 其中可以在对亮区域采样的多个点中控制重现误差。

[0022] 可以将声场/声音区域实现为不同的几何轮廓, 例如, 圆形、椭圆形、圆角矩形等。用于提供音频的装置可以是根据所需几何形状而物理放置的物理声音系统(包括有源扩音器), 或备选地是根据在给定聆听范围内随机放置的物理声音系统来虚拟产生的。

[0023] 有源声音系统配置通常包括: 声音换能器(扩音器单元), 每个扩音器设备具有可控的放大器、滤波器和延迟装置。

[0024] 通常, 本发明涉及一种应用组合控制策略的方法, 用于在两个或多个声音区域内重现多声道音频信号, 所述方法包括:

[0025] -得到用于控制所述区域中的声学势能的第一成本函数, 以便以声压的形式获得区域之间的声学隔离;

[0026] -得到控制提供在所述区域中的声音的相位的第二成本函数;

[0027] -其中获得权重, 用于确定组合优化中的第一和第二成本函数的组合。

[0028] 在该背景下, 组合控制策略是例如将第一和第二成本函数组合为例如组合成本函数。所述组合(也可以称作混合)具有多个优点, 并且可以通过选择权重来进行操控。

[0029] 所述应用策略可以是得到扩音器或其它声音提供器的参数, 或配置为向这种扬声器提供信号的放大器/滤波器等的参数。

[0030] 在另一情况下, 所述应用步骤可以是产生整体组合的成本函数, 接着可以将所述整体组合的成本函数用于产生这种参数或信号。

[0031] 多声道音频信号通常是可由人耳检测到的信号, 其中通过不同扬声器输出不同信号。当然, 所述信号可以涉及相同的整体信号, 例如, 歌曲, 但是, 信道之间的差别限定例如立体声信号或具有更多声道(例如, 4、5、6、7、9或更多声道)的信号。

[0032] 在这种背景下, 声音区域是产生预定声音的区域或至少靠近所述区域的区域。区域通常在预定位置处有预定的空间体积, 所述区域具有或不具有预定轮廓或形状。不同声

音区域可以具有各自所选的声音,例如,可以根据需要选择没有声音。不同的声音可以例如是不同的歌曲/源,或具有不同音量的相同歌曲/源。

[0033] 可以根据需要选择任意数量的声音区域,例如,2、3、4、5、6、7、8或更多区域。区域的数量越多,通常所需的扬声器就越多。

[0034] 因此,需要在声音能量之间进行分配或限制,寻求对所需声场的重现。

[0035] 第一成本函数可以与每个区域内的均方声压成正比。优选地,比例在所有区域内是相同的,因此可以方便地进行比较。

[0036] 这种情况下的隔离可以是高dB值,使得在一个区域内无法检测到或听到来自另一区域的声音或仅能检测到或听到极少的来自另一区域的声音。声压是确定存在于区域中的声音量的标准方式。最终组合优化的隔离可以取决于权重,其中可以根据需要选择权重以便优化其它参数。

[0037] 第二成本函数涉及提供在一个区域或多个区域中的声音的相位。通常,在不同区域中可以使用或需要不同相位。

[0038] 可以根据来自所需的聲音相位或方向(例如,来自区域中的平面波)的重现误差,来确定第二成本函数,或第二成本函数可以与重现误差相关。可以将这种重现误差量化为声音角度与预定角度之间的角度差和/或理想平面波与输入波的平面性之间的差别(即,该声波与平面波的类似程度)。

[0039] 权重可以用于确定在最终优化中第一和第二成本函数的权重。如下所述,可以以多种方式确定权重,权重可以确定在最终优化中对第一成本函数的强调,从而确定对声学隔离的强调,对第二成本函数的强调,从而对相位的强调。

[0040] 在一个实施例中,第一成本函数是声学对比度控制方法的成本函数,在另一实施例中,第一成本函数是能量差最大化方法的成本函数。

[0041] 在该实施例或另一实施例中,第二成本函数是压力匹配方法的成本函数,压力匹配方法可以是最小化所需声场和重现出的声场之间的均方误差的方式。所述方法的备选可以是基于声场的球形分解的分析方法。

[0042] 在一个实施例中,所述得到第一成本函数的步骤包括:得到成本函数,在所述成本函数中,每个区域中的声学势能与区域中的均方声压成正比:

$$[0043] \quad E_{pot} \propto \int_{S^2} |p(x)|^2 da(x)$$

[0044] 在该实施例或另一实施例中,所述得到第二成本函数的步骤包括:使用得到的重现误差评价相位控制,以便得到较低的重现误差,将重现误差定义为:

$$[0045] \quad \varepsilon = \frac{1}{N} \int_{S^2} |p^d(x) - p^r(x)|^2 da(x), \quad (2)$$

[0046] 其中N是如下所示的归一化因数:

$$[0047] \quad N = \int_{S^2} |p^d(x)|^2 da(x). \quad (3)$$

[0048] 优选地,在采样所述区域中的亮区域的点中控制重现误差,其中所述区域还存在暗区域,即,不需要声音的区域。

[0049] 在优选实施例中,所述权重确定步骤包括:确定用于控制在组合优化中所述成本函数之间的权衡的权重。在这种情况下,成本函数可以是如下所示的无约束优化:

$$f(q) = q^H (\zeta R_D - R_B) q + \alpha (Gq - p^d)^H (Gq - p^d), \quad (12)$$

[0051] 此外,在该实施例中,可以根据梯度为零的驻点计算源的权重,其中如下所示确定驻点:

$$(\zeta R_D - R_B + \alpha G^H G) q = \alpha G^H p^d. \quad (13)$$

[0053] 在优选实施例中,所述方法还包括如下步骤:

[0054] -根据组合优化得到用于驱动多个扩音器中的每个扩音器的参数;

[0055] -根据得到的参数驱动扩音器。

[0056] 这些参数可以是相移(延迟)参数、放大和/或滤波(典型地,频率滤波)。通常,将这种参数的组合用于每个扬声器。

[0057] 应注意,扬声器可以是物理的、真实的扩音器或可以是虚拟扬声器,通过多个其他物理扬声器(不位于虚拟扬声器的位置处)实际产生来自虚拟扬声器的声音。这是例如当两个扬声器输出相同的信号时,听起来如同声音是来自两个扬声器之间的位置的效果。

[0058] 在一个实施例中,所述确定权重的步骤包括得到第二成本函数,以便在多个区域的预定区域中与平面波具有预定的最大重现误差。在一种情况下,最大重现误差是15%,而可以根据需要使用例如20%,19%,17%,13%,12%,10%,8%,6%,4%的其他值。

[0059] 如上所述,这种重现误差可以是声波的方向和预定方向之间的差别和/或理想平面波和实际波形之间的差别。

[0060] 可以根据多个方案或根据多个不同情景,选择对比度和相位/方向之间的权重。显然,存在对比度更为重要的一些情况,例如,当声音的声音质量或声音提供系统的质量较低时,使得一开始就无法获得高清晰度的相位/角度。此外,如果存在环境声音或噪音,则由于环境噪声无论如何都将淹没从另一区域传播的任何声音,可能不需要将对比度作为最高优先权。在另一情况下,相位/角度可以具有较高的重要性,例如,当聆听环境重要时。在这种情况下,可以接受较低的对比度。

附图说明

[0061] 下文中,参考附图描述本发明的优选实施例,其中:

[0062] -图1示出了针对多区域音频提供商的设置。

[0063] -图2示出了在不同 ζ 值下通过EDM获得的声学对比度,所述不同 ζ 值是相对通过ACC获得的对比度来绘制的;

[0064] -图3是1kHz下感兴趣平面的二维图,其中上排示出了归一化程度,下排示出了复合声场的实部,示出了ACC、PM以及根据本发明的混合方法的优选实施例的性能;以及

[0065] -图4示出了在针对全部三个控制策略的上图中,根据频率改变的声学对比度,在下图中,建立针对图3的压力匹配和混合方法的对应重现误差。

具体实施方式

[0066] 所施加的用于评价声场控制的度量可以是:

[0067] 将声学对比度定义为两个区域中的平均势能的比率,其中所述平均势能与所述区

域中的均方压力成正比。

[0068] 可以将该定义写作：

$$[0069] \quad \text{Contrast}(B, D) = \frac{\int_{S_B} |p(x)|^2 da(x)}{\int_{S_D} |p(x)|^2 da(x)}, \quad (1)$$

[0070] 其中 p 是位置 x 处的声压， S_B 和 S_D 分别是指亮区域和暗区域的面积， da 是微分面积要素。

[0071] 控制区域中的声学势能，以便以声压的形式获得区域之间声学隔离。每个区域中的声学势能与区域中的均方声压成正比：

$$[0072] \quad E_{pot} \propto \int_{S^2} |p(x)|^2 da(x)$$

[0073] 引入重现误差，作为评价所需的 p^d 和重现出的声场 p^r 之间的偏差的度量。下文中，将重现误差定义为：

$$[0074] \quad \mathcal{E} = \frac{1}{N} \int_{S^2} |p^d(x) - p^r(x)|^2 da(x), \quad (2)$$

[0075] 其中 N 是如下所示的归一化因数：

$$[0076] \quad N = \int_{S^2} |p^d(x)|^2 da(x). \quad (3)$$

[0077] 声场对比度控制 (ACC) 是可以应用于产生声压等级形式的两个分离区域的优化方法。ACC用于增加所需亮区域相对所需暗区域的对比度。为了确定每个阵列要素的权重，所述方法需要在需要控制声场的区域中的源和控制点之间的传递函数。通过源和点之间的空间相关性，来描述从所有源到特定区域的控制点的未加权响应：

$$[0078] \quad \mathbf{R}_B = \frac{1}{S_B^T} \int_{S_B} \mathbf{G}(x_s, x)^H \mathbf{G}(x_s, x) da(x), \quad (4)$$

$$[0079] \quad f_{ACC}(q) = \frac{q^H \mathbf{R}_B q}{q^H \mathbf{R}_D q}, \quad (5)$$

[0080] 其中 $(\cdot)^H$ 表示Hermitian转置， $\mathbf{G}(x_s, x_B)$ 是包含从位于 x_s 处的 M 个源到结合点 x 的传递函数的矩阵。可以将通过声学对比度控制优化的成本函数定义为区域中的势能比率。

[0081] 其中 q 是来自每个源的体积速率的矢量，表示源权重。通过相对 q 的微分，有可能将优化的源权重确定为 $\mathbf{R}_D^{-1} \mathbf{R}_B$ 的特征向量，所述特征向量对应于最大特征值。

[0082] 当将能量差最大化也应用于降低一个区域相对另一区域的声压等级时，能量差最大化完全类似于声学对比度控制。两个方法的主要区别在于EDM是对区域之间的声音能量差的优化，而ACC是用于优化能量比率。通过EDM，有可能调整区域之间的势能差，所述势能差与通过 $q^H q$ 所述的控制误差相关，产生EDM成本函数：

$$[0083] \quad f_{EDM}(q) = \frac{q^H (\mathbf{R}_B - \zeta \mathbf{R}_D) q}{q^H q}, \quad (6)$$

[0084] 其中 ζ 是权重因数。将该常数用于确定是否应在亮区域或暗区域中控制能量分布以便获得能量差。如果 $\zeta < 1$,则所述优化聚集亮区域中的声音能量,而如果 $\zeta > 1$,则所述优化降低暗区域中的能量。

[0085] 声学对比度控制和能量差最大化是两个紧密相关的方法,二者都以势能分布的形式在两个区域之间产生声学空间隔离。

[0086] 通过使用ACC,以最大化两个区域之间的声学对比度,其中以这种度量的形式指示最优解。另一方面,执行EDM优化了在亮区域和暗区域之间受特定偏好限制的能量差,因此,实现的对比度将依赖于参数 ζ 的值。应用EDM包括确定依赖于感兴趣的特定设置的 ζ 值的附加步骤。

[0087] 由于实现了ACC,确定声音在亮区域中的相长干涉和在暗区域中的相消干涉之间的优化关系。由于可以将通过EDM获得的解决方案调整为几乎排它性地依赖于在亮区域中的相长干涉和在暗区域中的相消干涉,因此,假定正确调整 ζ ,可以将EDM用于获得即使不同于ACC的但仍相似的结果是合理的。

[0088] 如图2所示,相对通过ACC获得的对比度,绘制了通过EDM在不同 ζ 值下获得的声学对比度。由于确定 ζ 值的必要性而引起的附加复杂性令EDM成为无吸引力的方法;然而,它具有消除需要对矩阵求逆的优点。

[0089] 为了通过ACC确定权重,必须进行RD求逆,其中如果矩阵几乎是奇异矩阵,则RD求逆可以造成数值不稳定。在从不同源到控制点的传递函数变为相似的情况下,在较低频率处增加了这个问题。EDM不包括矩阵求逆以便确定源权重;因此,在数值非稳定性的方面,EDM更加鲁棒。显著差别令EDM更适于作为混合方法的基础方法,而将ACC包括为可获得声学对比度的参考。

[0090] 压力匹配是通过数值优化使得有可能近似所需声场的过程。压力匹配需要在源和控制点之间的传递函数,以便确定阵列中源的权重,类似于ACC和EDM。

[0091] 公开了声场控制策略声学对比度控制和压力匹配方法之间的混合,源自以下构思:在优化的空间受限声场中,理想的高声学对比度应结合高度的相位控制。

[0092] 检查对特定配置的模拟结果(包括同时重现的亮区域和暗区域),其中包括可能的权重确定过程的示例。

[0093] 混合方法相较于压力匹配方法在较大的频率范围内提供更高的对比度,同时获得可比较的低重现误差($< 3.5\%$, 1500Hz以下)。ACC的对比度的性能超过混合方法和压力匹配方法二者,然而,以在优化区域中不进行相位控制为代价。

[0094] 混合方法在较大的频率范围内提供明显更高的对比度,而不损害相位控制。应将权重确定策略仅认为是多种策略中的一个示例,其中基于所述权重确定策略进行模拟计算。理想地,应在一定程度上优化权重因数 α 和 ζ ,以便获得高对比度和低重现误差的最佳妥协。

[0095] 混合方法相较于仅关注于实现合成较高声学对比度或实现合成声场的较低重现误差的控制策略而言,带来了更好的性能。

[0096] 图1示出了配置为使用本发明方法的系统的一个实施例,应用了具有等距圆形阵列的源2的系统,其中包含了所需的声源区域。使用极坐标系统示出了对区域和源的示意性设置。所控制的空间声源区域在40个声学单极子的圆形阵列内。暗区域是指相对亮区域具

有较低声压的区域,在所述亮区域中需要较高声压。所述系统还具有控制器或处理器10,配置为从一个或多个源接收声音或信号,并根据所述方法产生针对扬声器2的信号,以便在两个区域内获得所需声音。因此,无论针对多个扬声器2或单独地针对每个扬声器2,该控制器可以具有滤波器、延迟电路和/或放大器。当然,根据需要,每个扬声器2可以备选地具有它自己的放大器/延迟电路/滤波器。

[0097] 根据控制区域外部的源的圆形分布,有可能将在阵列内的重现出的声场描述为:

$$[0098] \quad p^r(r_n, \phi_n) = \sum_{m=1}^M q_m \frac{e^{-jk|r_m - r_n|}}{|r_m - r_n|}, \quad (7)$$

[0099] 其中下标m表示给定声源,而n是控制点。然后,可以将控制点处的所需声场描述为:

$$[0100] \quad p^d(r_n, \phi_n) = \begin{cases} A_B \frac{e^{-jk|r_m - r_n|}}{|r_m - r_n|}, n = 1, 2, \dots, N \\ A_D \frac{e^{-jk|r_m - r_n|}}{|r_m - r_n|}, n = N + 1, \dots, L. \end{cases} \quad (8)$$

[0101] 这里,通过在区域内施加不同幅度的平面波(将暗区域内的平面波的幅度例如降低60dB),来区分亮区域和暗区域。

[0102] 可以将上方方程写作如下所示的矩阵表示:

$$[0103] \quad Gq = p^d, \quad (9)$$

[0104] 其中G是通过(7)给出的从M个源到N个控制点的传递函数,q是源权重的 $M \times 1$ 矢量; p^d 是 $L \times 1$ 矢量,表示如(8)所限定的在控制点处采样的所需声场。当 $L > M$ 时,系统是过确定的,通过最小化均方误差来确定权重:

$$[0105] \quad f_{pm}(q) = (Gq - p^d)^H (Gq - p^d). \quad (10)$$

[0106] 可以将调整后的最小二乘解写作:

$$[0107] \quad q_{min} = (G^H G + \delta I)^{-1} G^H p^d, \quad (11)$$

[0108] 其中I是 $M \times M$ 的单位矩阵,而 δ 是矩阵求逆中Tikhonov正规化的约束参数。

[0109] 在本发明的优选实施例中,产生了两个不同类别的声场:一个优化了声音能量的分布,一个以最大可能的准确度重现了所需声场。

[0110] 由于需要以声学对比度和对所需声场的合成的两种形式来控制声场,引入了混合方法的构思。这种混合方法允许调整可用的源,以便实现较高的声学对比度和较低的重现误差。

[0111] 通过将来自压力匹配(10)和能量差最大化(6)的成本函数组合为包括用于在组合优化中控制所述方法之间的权衡的权重的单个成本函数,来用公式表示所述混合方法。

[0112] 不包括根据(6)的阵列功约束 $q^H q$ (array effort constraint),将组合的混合成本函数写作无约束优化:

$$[0113] \quad f(q) = q^H (\zeta R_D - R_B) q + \alpha (Gq - p^d)^H (Gq - p^d), \quad (12)$$

[0114] 其中 α 是声学对比度和重现误差的优化之间的权重因数。为了包括表示EDM和压力匹配的项,改变EDM成本函数(6)的符号。

[0115] 这样做是由于组合成本函数中的项应沿相同方向收敛,压力匹配取决于最小化所

需声场和重现出的声场之间的偏差。

[0116] 由于成本函数中包括对对比度的优化,对混合方法中的压力匹配项而言不必包括暗区域中的控制点,在所述暗区域中主要准则是较低的声压等级而不是准确的波前重现。因此,混合方法中的压力匹配控制点仅包括亮区域中的点,以便减少对解的限制。

[0117] 为了计算源的权重,有必要确定(12)令(12)的梯度为零的驻点。通过相对 q 进行微分,可以将驻点确定为矩阵方程的解:

$$[\text{0118}] \quad (\zeta R_D - R_B + \alpha G^H G) q = \alpha G^H p^d. \quad (13)$$

[0119] 以上方程是广义的 $Ax=B$ 矩阵方程的形式,可以以多种方式求解所述方程。典型的方式是 A 的广义逆算子,包括Tikhonov正规化, $x = (A^H A - \delta I)^{-1} A^H B$ 。为了确定正规化参数 δ ,可能适于应用L曲线正规化的构思。

[0120] 图2显示了通过能量差最大化在不同值的控制因数 ζ 下获得的声学对比度。包括了通过声学对比度控制获得的性能,以便进行参考。针对图1所示的配置,以1kHz获得值。

[0121] 公开了实验数据,与本发明的一个实施例的模拟相关的数据。在无回声条件和无任何散射元件的情况下,执行所述模拟。将EMD、ACC和所提出的混合方法实现为3D声学单极子模拟,并在符合半径为1.5m的圆形声音阵列且声音区域半径为0.3m的平面内,评价这些方法。在100-2500Hz范围内的不同频率下,进行启用40个等距单极子的模拟。评价声学对比度以及重现误差,其中由于在ACC中没有隐含所需的相位特性的事实,仅针对EDM和混合方法进行对重现误差的评价。在压力匹配和混合方法的情况下,将传播方向为 -90° 的平面波定义为所需声场,以便在亮区域中合成。为了简便,仅选择平面波场;理论上,可以优化获得任意声场。通过混合方法获得的性能取决于确定两个权重因数 α 和 ζ 。

[0122] 为了模拟,施加以下过程:

[0123] (1) 根据对比度性能,调整 ζ 以便获得不小于使用ACC实现的对比度的0.9的对比度。

[0124] (2) 为了获得对亮区域中的声场的所需控制,调整 α 以便实现小于通过压力匹配方法得到的误差的8倍的重现误差。

[0125] 在步骤(1)和(2)中,通过最多数量的步骤迭代地确定权重,实际上,如果无法实现所需性能,则该过程继续在最大步骤限制下获得的结果。

[0126] 图3显示了1kHz下的感兴趣平面的二维图,其中上排示出了归一化等级,下排示出了复合声场的实部,示出了当在1kHz下产生半径为0.3m的亮区域和暗区域以及1.2m的隔离距离时,ACC、PM和混合方法的性能。模拟了在1.5m的圆形上的40个三维单极子源的阵列。表面图示出了符合所述源阵列的平面。左列:ACC,对比度 $(B, D) = 149\text{dB}$;中列:PM,对比度 $(B, D) = 62\text{dB}$, $\zeta = 0$;右列:混合方法,对比度 $(B, D) = 149\text{dB}$, $\zeta = 0.02$ 。显而易见的是ACC和混合方法相较于压力匹配提供更高的对比度。

[0127] 将等级图上的暗区域视为进一步空间延伸,较低声压延伸超过预定区域。对于ACC而言,发现暗区域几乎覆盖亮区域的空间,造成所不希望的在该区域中的空间变化。压力匹配和混合方法二者在亮区域中提供声音能量的更均匀分布。

[0128] 如所预期,将ACC产生的波前呈现为在任何特别情况下不可控制。对于两个其它策略而言,所需平面波场呈现为被正确合成。

[0129] 图4在上图中针对全部三个控制策略显示了根据频率改变的声学对比度,在下图

中,针对压力匹配和混合方法建立相应的重现误差。

[0130] 在感兴趣的整个频带内,使用ACC实现了最高的对比度性能。

[0131] 在给定配置中,混合方法在大约1750Hz之下相较于压力匹配方法,执行效果更好,而在较高频率处,呈现为向压力匹配方法收敛。

[0132] 通过混合方法获得的最终对比度在1200Hz以上快速回落,其中在所述高于1200Hz的范围内,由于无法在该频率段内实现包括高对比度和低重现误差二者的优化,主要精力关注于保留较低的重现误差而不是较高的对比度。

[0133] 可以发现在1500Hz以上,混合方法的重现误差发生明显浮动;因此,当针对对比度而建立混合方法时,重现出的声场的误差可以不向压力匹配的误差收敛。如所预期地,这可能表示混合优化的端点不完全到达公式化优化的两个极值端点,即ACC和压力匹配。

[0134] 本发明应用于对单独声音区域的启用和控制是相关的范围。这些声音区域例如在私人范围内(例如,家庭、汽车、船)或公共范围内(例如,火车、飞机、商店、仓库、展厅、机场等)。

[0135] 所述系统可以具有一个或多个麦克风4(图1),用于当改变参数或改变聆听空间、聆听位置、区域位置、扬声器位置等时,设置模型和得到参数和/或进行永久性的或间断性的使用。

[0136] 为了获得有用的声音区域,优选地,存在对所限定的一个或多个声音区域中的“声音隔离”等级的强烈需要。因此,优选地,一个区域中的聆听者不受来自另一区域的声音/噪声的干扰。

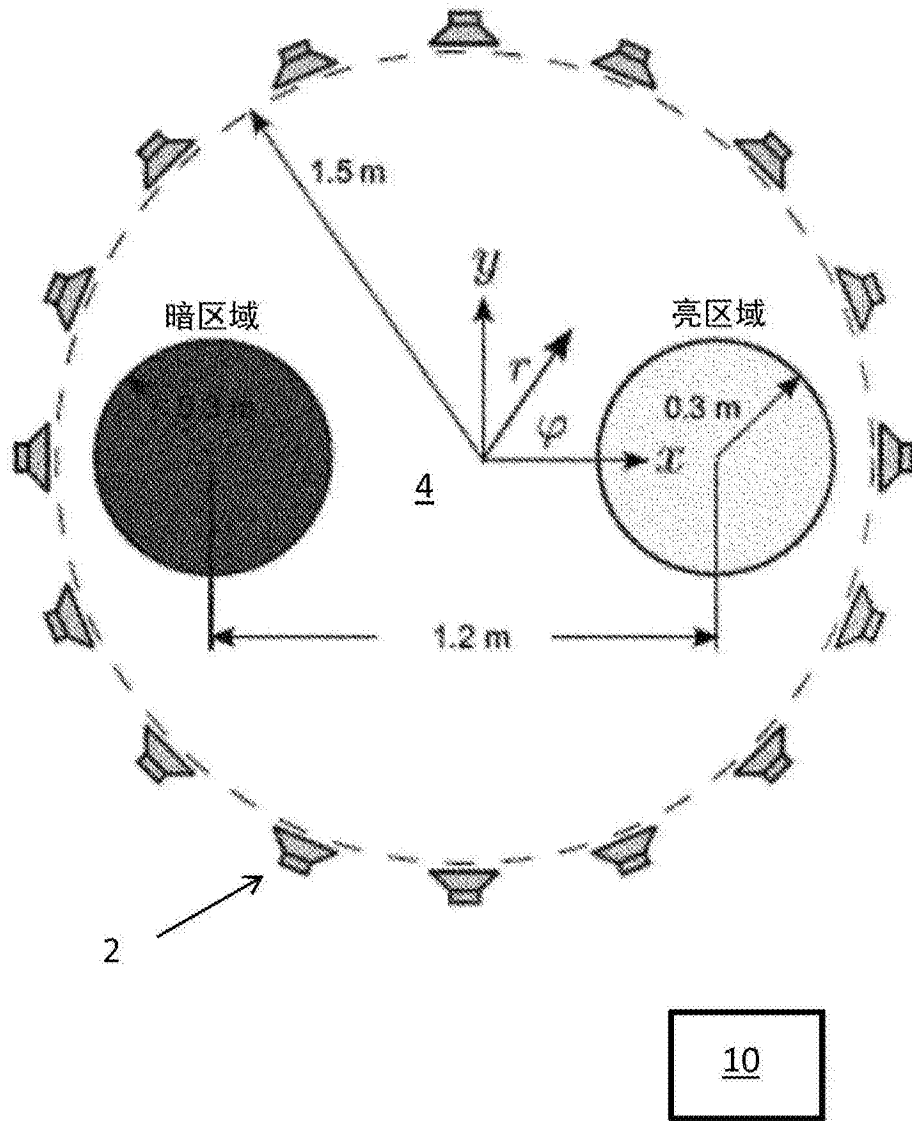


图1

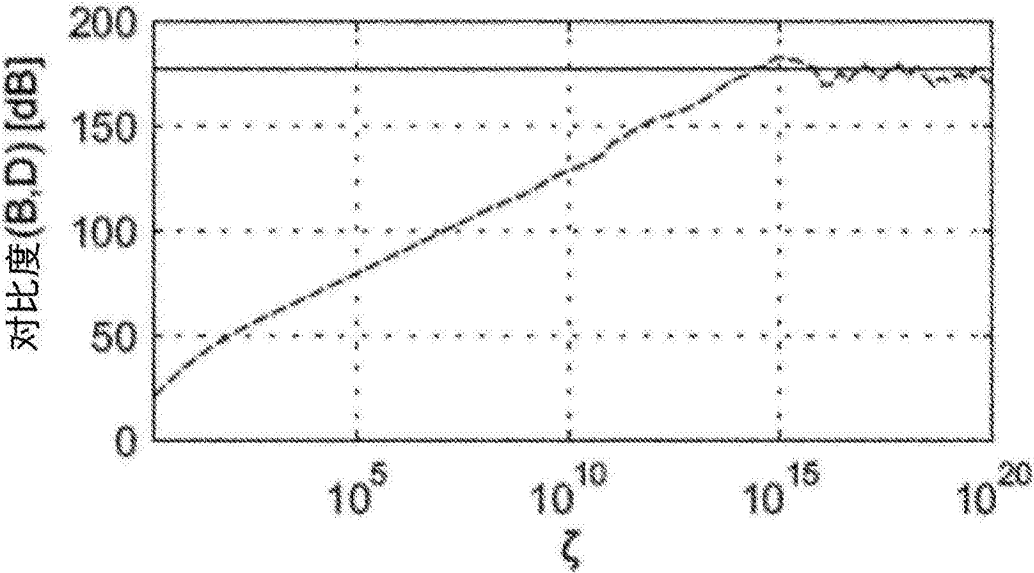


图2

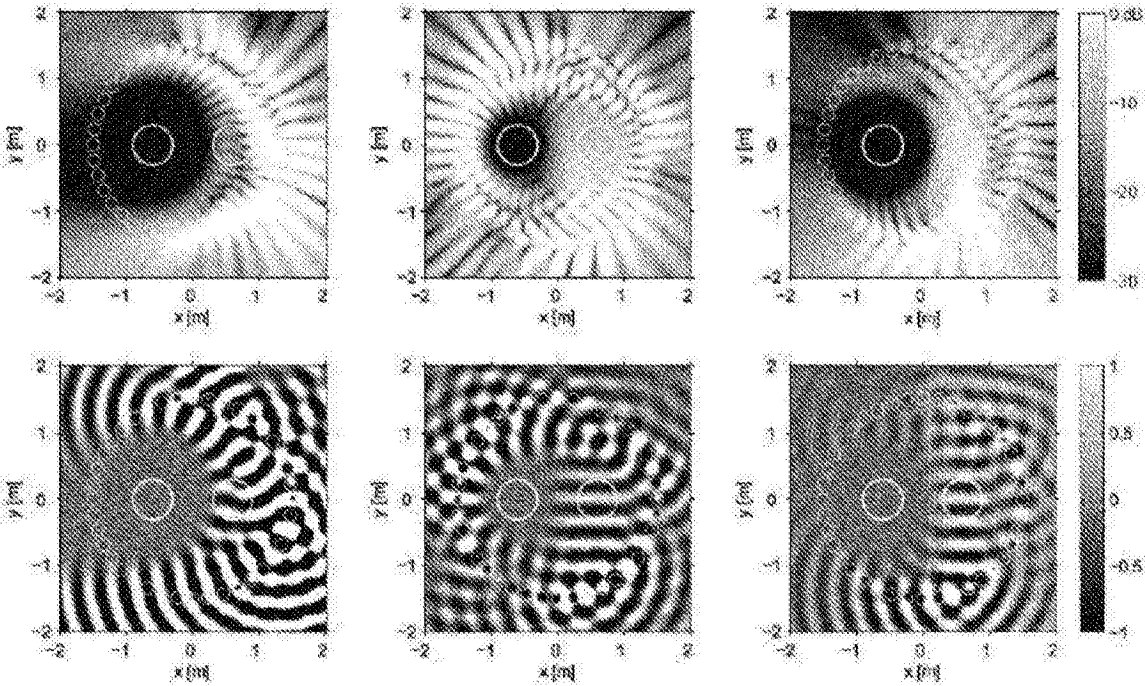


图3

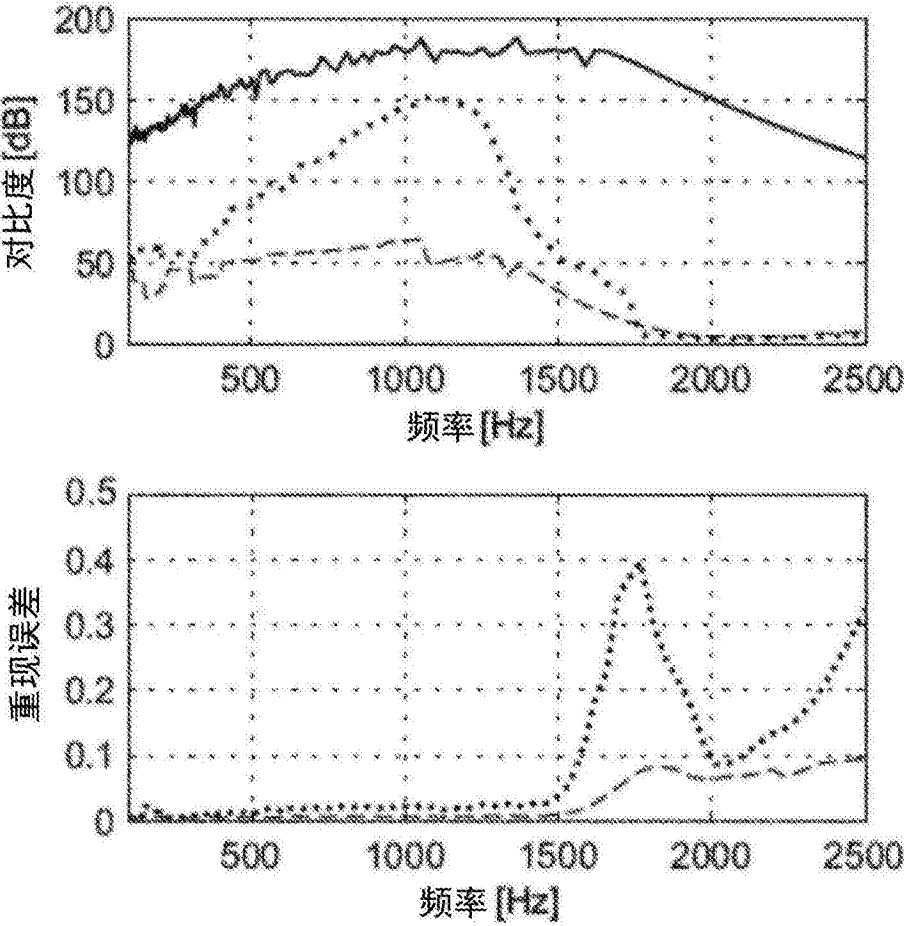


图4