



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117910231 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 19

(21) 申请号 202311813233.9

(22) 申请日 2023.12.26

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 薛广涛 周峻韬 陈奕超 李熠劼

王一达

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限

公司 31225

专利代理师 廖程

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法

(57) 摘要

本发明涉及一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,包括:基于分频方式,实时追踪用户;根据追踪得到的用户位置和目标方向,进行空间建模、并投射虚拟声源;计算每个相控阵的波束转向角,通过优化波束图,以减小波束间的非线性干扰和非线性失真。与现有技术相比,本发明基于分频思想,利用不同中心频率的超声换能器进行并发跟踪和播放,以实现无设备的声源投射;计算最佳声源投影距离以确定具体声源位置,并采用单边带调制方案来减少路径上的声音泄漏;还提出一种基于码本优化的波束形成方案来抑制所有转向范围内的栅瓣,消除意外的声点产生。本发明无需借助穿戴式设备,即可实现虚拟声源注入,还能够同时跟踪用户和播放声音、避免意外音频泄露。

S1、基于分频方式,实时追踪用户

S2、根据追踪得到的用户位置和目标方向,进行空间建模、并投射虚拟声源

S3、计算每个相控阵的波束转向角,通过优化波束图,以减小波束间的非线性干扰和非线性失真

1. 一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、基于分频方式,实时追踪用户;

S2、根据追踪得到的用户位置和目标方向,进行空间建模、并投射虚拟声源;

S3、计算每个相控阵的波束转向角,通过优化波束图,以减小波束间的非线性干扰和非线性失真。

2. 根据权利要求1所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S1具体包括以下步骤:

S11、选定追踪与投射声源的频率范围;

S12、相控原理扫描多角度,发送调频连续波;

S13、根据回波信号计算用户距离;

S14、根据双相控阵结果估测用户二维坐标。

3. 根据权利要求2所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S11具体是利用中心频率不相同的两组超声换能器,以分别选定追踪与投射声源的频率范围;

所述步骤S12具体是通过相控阵扫描发送调频连续波,找到回波最强的角度。

4. 根据权利要求3所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S13的具体过程为:

将用户反射的啁啾信号与发射信号混合,通过低通滤波器得到差分频率分量,回声信号的频率分量由第二大峰值 $f$ 决定,此时用户距离计算公式为 $d = \frac{f c T}{2B}$ ,其中 $T$ 为信号周期, $B$ 为信号带宽;

所述步骤S14的具体过程为:

以 $(0,0)$ 为中心建立二维坐标系,对整个空间进行建模,利用两组换能器阵列,从回波信号计算过程中得到对应的两对角度和距离,分别估计位于该空间的用户位置,并选择两组换能器阵列估测结果的平均值作为用户坐标。

5. 根据权利要求4所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S2具体包括以下步骤:

S21、根据用户位置,确定声源投射位置与各相控阵发射角度;

S22、将目标低频音频载波到中心频率上,并且分开投射,一个相控阵投射中心频率,另一相控阵投射经过上变频的音频信号。

6. 根据权利要求5所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S21的具体过程为:

将追踪位置坐标设为 $(a,b)$ ,假设引导用户的具体方向表示为 $\alpha$ ,虚拟声源与用户的距离设定为 $h$ ,声源需要投射到 $(a+h \cos\alpha, b-h \sin\alpha)$ ,根据此坐标进一步计算各换能器投射方向。

7. 根据权利要求5所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S22的具体过程为:

采用单边带调制方式,将目标低频音频调制到高频载波上,之后将信号分成两部分:由一个换能器阵列发射的上变频部分,以及由另一个换能器阵列发射载波;两束声波将相交,

声音在该点解调。

8. 根据权利要求5所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S3具体包括以下步骤:

S31、输入相控阵单元个数与间距,通过可优化的波束权重仿真波束图;

S32、优化波束图,包括最大化主瓣与旁瓣的能量比值,最大化主瓣与旁瓣的角度间距,最小化发射往每个角度的主瓣能量方差;

S33、将步骤S32中优化目标整合为损失函数,迭代优化生成最优波束权重。

9. 根据权利要求8所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S31的具体过程为:

考虑一个带有N通道的超声波换能器的装置,每个通道的间距为 $d_m$ , $R=KW$ 为接收信号,其中,K表示N通道换能器阵列的转向向量,W中的每个元素 $w_{n,\theta}$ 对应于转向 $\theta$ 方向的第n个换能器的波束权重。

10. 根据权利要求9所述的一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,其特征在于,所述步骤S32中优化波束图的目标函数具体为:

$$\begin{aligned} & \max_{W,D} L_{mts} + \alpha L_{as} - \beta L_{avm} \\ & s.t. \quad \begin{cases} |w_{n,\theta}| \leq 1 & (1 \leq n \leq N, 1 \leq \theta \leq \Theta) \\ d_m \geq L_{td} & (1 \leq m \leq N-1). \end{cases} \end{aligned}$$

其中, $L_{mts}$ 为主瓣与旁瓣的能量比值, $L_{as}$ 为主瓣与旁瓣的角度间距, $L_{avm}$ 为发射往每个角度的主瓣能量方差;

所述步骤S33中迭代优化生成最优波束权重后,将该最优波束权重应用于步骤S22中,以形成相控阵需要播放的信号。

## 一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及声学增强现实技术领域,尤其是涉及一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法。

### 背景技术

[0002] 增强现实(AR)将虚拟内容与现实世界的环境相结合,能够向用户提供身临其境的体验,尤其是声学增强现实(AAR),目前被广泛应用于通过现成的耳机或扬声器产生身临其境的听觉体验。现有研究为声学增强现实做出了很大的努力,一个重要的代表性研究领域是头部相关传递函数,它被广泛用于在耳机中创建空间音频。通过利用头部相关函数,用户可以获得携带空间信息的声音,目前大多数工作均使用通用的头相关传递函数,很少尝试测量个性化的函数以获得更真实的空间感知;此外还有研究通过合成双耳音频提供信息,创造三维声音效果。但在实际应用中,使用头部相关函数非常复杂,且所有工作都需要借助耳机,导致用户使用体验感较差。

[0003] 另外采用定向扬声器发射声波波束也是当前实现声学增强现实的主流方式,但其缺陷在于整个声波投射方向都有声音,无法构建单点声源,容易发生声音泄露以及产生意外声点。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,无需借助穿戴式设备,即可实现虚拟声源注入,还能够同时跟踪用户和播放声音、避免意外音频泄露。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法,包括以下步骤:

[0006] S1、基于分频方式,实时追踪用户;

[0007] S2、根据追踪得到的用户位置和目标方向,进行空间建模、并投射虚拟声源;

[0008] S3、计算每个相控阵的波束转向角,通过优化波束图,以减小波束间的非线性干扰和非线性失真。

[0009] 进一步地,所述步骤S1具体包括以下步骤:

[0010] S11、选定追踪与投射声源的频率范围;

[0011] S12、相控原理扫描多角度,发送调频连续波;

[0012] S13、根据回波信号计算用户距离;

[0013] S14、根据双相控阵结果估测用户二维坐标。

[0014] 进一步地,所述步骤S11具体是利用中心频率不相同的两组超声换能器,以分别选定追踪与投射声源的频率范围;

[0015] 所述步骤S12具体是通过相控阵扫描发送调频连续波,找到回波最强的角度。

[0016] 进一步地,所述步骤S13的具体过程为:

[0017] 将用户反射的啁啾信号与发射信号混合,通过低通滤波器得到差分频率分量,回声信号的频率分量由第二大峰值 $f$ 决定,此时用户距离计算公式为 $d = \frac{fcT}{2B}$ ,其中 $T$ 为信号周期, $B$ 为信号带宽;

[0018] 所述步骤S14的具体过程为:

[0019] 以 $(0,0)$ 为中心建立二维坐标系,对整个空间进行建模,利用两组换能器阵列,从回波信号计算过程中得到对应的两对角度和距离,分别估计位于该空间的用戶位置,并选择两组换能器阵列估测结果的平均值作为用戶坐标。

[0020] 进一步地,所述步骤S2具体包括以下步骤:

[0021] S21、根据用戶位置,确定声源投射位置与各相控阵发射角度;

[0022] S22、将目标低频音频载波到中心频率上,并且分开投射,一个相控阵投射中心频率,另一相控阵投射经过上变频的音频信号。

[0023] 进一步地,所述步骤S21的具体过程为:

[0024] 将追踪位置坐标设为 $(a,b)$ ,假设引导用戶的具体方向表示为 $\alpha$ ,虚拟声源与用户的距离设定为 $h$ ,声源需要投射到 $(a+h\cos\alpha,b-h\sin\alpha)$ ,根据此坐标进一步计算各换能器投射方向。

[0025] 进一步地,所述步骤S22的具体过程为:

[0026] 采用单边带调制方式,将目标低频音频调制到高频载波上,之后将信号分成两部分:由一个换能器阵列发射的上变频部分,以及由另一个换能器阵列发射载波;两束声波将相交,声音在该点解调。

[0027] 进一步地,所述步骤S3具体包括以下步骤:

[0028] S31、输入相控阵单元个数与间距,通过可优化的波束权重仿真波束图;

[0029] S32、优化波束图,包括最大化主瓣与旁瓣的能量比值,最大化主瓣与旁瓣的角度间距,最小化发射往每个角度的主瓣能量方差;

[0030] S33、将步骤S32中优化目标整合为损失函数,迭代优化生成最优波束权重。

[0031] 进一步地,所述步骤S31的具体过程为:

[0032] 考虑一个带有 $N$ 通道的超声波换能器的装置,每个通道的间距为 $d_m$ , $R=KW$ 为接收信号,其中, $K$ 表示 $N$ 通道换能器阵列的转向向量, $W$ 中的每个元素 $w_{n,\theta}$ 对应于转向 $\theta$ 方向的第 $n$ 个换能器的波束权重。

[0033] 进一步地,所述步骤S32中优化波束图的目标函数具体为:

$$\max_{W,D} L_{mts} + \alpha L_{as} - \beta L_{avm}$$

$$[0034] \quad s.t. \quad \begin{cases} |w_{n,\theta}| \leq 1 & (1 \leq n \leq N, 1 \leq \theta \leq \Theta) \\ d_m \geq L_{td} & (1 \leq m \leq N-1). \end{cases}$$

[0035] 其中, $L_{mts}$ 为主瓣与旁瓣的能量比值, $L_{as}$ 为主瓣与旁瓣的角度间距, $L_{avm}$ 为发射往每个角度的主瓣能量方差;

[0036] 所述步骤S33中迭代优化生成最优波束权重后,将该最优波束权重应用于步骤S22中,以形成相控阵需要播放的信号。

[0037] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0038] 本发明基于分频的方式来实现同步跟踪和投射；其次，在已知用户位置和目标方向后，对空间进行建模，并计算每个相控阵的波束转向角，最后提出一种基于优化的波束成形方案，以避免声音泄漏到非预期点上。由此实现虚拟声源注入，能够同时跟踪用户和播放声音；避免在非预期区域发出声音；且支持波束转向，以提供广泛的覆盖范围。

[0039] 本发明基于分离频率分量并通过两个换能器阵列投射它们，发射波束的阵列部署在不同的位置，只有波束的交叉点受到空气非线性的影响，进一步发出可听的声音。本发明基于分频思想，利用不同中心频率的超声换能器进行并发跟踪和播放，集成这两个模块以实现无设备的声源投射；计算最佳声源投影距离以确定具体声源位置，并采用单边带调制方案来减少路径上的声音泄漏；提出一种基于码本优化的波束形成方案来抑制所有转向范围内的栅瓣，消除意外的声点产生。本发明能够实现高发声区域操作精度控制与低用户方向估计误差，在导航和寻找物品等声学增强现实应用中具有前景。

[0040] 本发明利用载波与变频信号的分隔与空气非线性效应实现虚拟声源投射，用户无需佩戴耳机等借助空间音频实现的电子器件，提高使用便捷性。

## 附图说明

[0041] 图1为本发明的方法流程示意图；

[0042] 图2为实施例的应用过程示意图；

[0043] 图3为相控阵扫描定位示意图；

[0044] 图4为虚拟声源投射坐标示意图。

## 具体实施方式

[0045] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0046] 实施例

[0047] 如图1所示，一种利用空气非线性的虚拟声源投射方法，包括以下步骤：

[0048] S1、基于分频方式，实时追踪用户；

[0049] S2、根据追踪得到的用户位置和目标方向，进行空间建模、并投射虚拟声源；

[0050] S3、计算每个相控阵的波束转向角，通过优化波束图，以减小波束间的非线性干扰和非线性失真。

[0051] 本实施例应用上述技术方案，如图2所示，主要分为三个过程：

[0052] 1、分频实时声学追踪与播放

[0053] 1.1、选定追踪与投射声源的频率范围；

[0054] 1.2、相控原理扫描多角度，发送调频连续波；

[0055] 1.3、根据回波信号计算用户距离；

[0056] 1.4、根据双相控阵结果估测用户二维坐标。

[0057] 2、空间建模与虚拟声源投射

[0058] 2.1、根据用户位置确定声源投射位置与各相控阵发射角度；

[0059] 2.2、将目标低频音频载波到中心频率上，并且分开投射，一个相控阵投射中心频率，另一相控阵投射经过上变频的音频信号。

[0060] 3、抑制额外声源的波束图优化

- [0061] 3.1、输入相控阵单元个数与间距,通过可优化的波束权重仿真波束图;
- [0062] 3.2、优化波束图,包括最大化主瓣与旁瓣的能量比值,最大化主瓣与旁瓣的角度间距,最小化发射往每个角度的主瓣能量方差;
- [0063] 3.3、将上述目标整合为损失函数,迭代优化生成最优波束权重。
- [0064] 在过程1中,具体的:
- [0065] 分别选定追踪与投射声源的频率范围,以实现用户无法感知的跟踪。本实施例使用中心频率分别为20kHz和40kHz的超声换能器,保证两个传感器的频率响应带不重叠,频差不低于20kHz,选择18kHz至22kHz的频率范围进行跟踪,选择40kHz至44kHz的频率范围投射声源。
- [0066] 通过相控阵扫描发送调频连续波,找到回波最强的角度。图3给出了扫描定位的过程。开始时,波束扫描所有角度以确定用户初始位置。确定用户位置后,搜索附近的角度范围(本实施例根据经验设置为10度),以减少跟踪时间。啁啾信号长度设为0.1s,波束转向分辨率设为5度。
- [0067] 根据回波信号计算用户距离。将用户反射的啁啾信号与发射信号混合,通过低通滤波器得到差分频率分量,回声信号的频率分量由第二大峰值 $f$ 决定,此时用户距离计算公式为 $d = \frac{fcT}{2B}$ ,其中 $T$ 为信号周期, $B$ 为信号带宽。
- [0068] 根据双相控阵结果估测用户二维坐标。以(0,0)为中心建立二维坐标系,对整个空间进行建模。本实施例设有两组换能器阵列,从回波信号计算用户距离过程中得到两对角度和距离,分别估计位于该空间的两个用户位置。选择两组换能器阵列估测结果的平均值作为用户坐标。
- [0069] 在过程2中,具体的:
- [0070] 根据用户位置确定声源投射位置与各相控阵发射角度。图4给出了虚拟声源投射坐标说明。将追踪位置坐标设为(a,b),假设引导用户的具体方向表示为 $\alpha$ 。虚拟声源与用户的距离设定为 $h$ 。在实际应用中,考虑到音频质量和方向估计, $h$ 被设置为20cm。声源需要投射到 $(a+h\cos\alpha, b-h\sin\alpha)$ ,根据此坐标可以进一步计算各换能器投射方向。
- [0071] 将低频信号载波到中心频率上并分开投射。为了从超声波中再现可听声音,本方案使用振幅调制。将信号分成两部分:由一个换能器阵列发射的上变频部分,以及由另一个换能器阵列发射载波。两束声波将相交,声音将在该点解调。为了弱化传统双边带调制带来的泄漏,本方案采用单边带调制。
- [0072] 在过程3中,具体的:
- [0073] 输入相控阵单元个数与间距,通过可优化的波束权重仿真波束图。本方案考虑一个带有 $N$ 通道的超声波换能器的装置,每个通道的间距为 $d_m$ 。 $R$ 代表接收信号,表示为 $R=KW$ ,其中, $K$ 表示 $N$ 通道换能器阵列的转向向量, $W$ 中的每个元素 $w_{n,\theta}$ 对应于转向 $\theta$ 方向的第 $n$ 个换能器的波束权重。
- [0074] 优化波束图,包括最大化主瓣与旁瓣的能量比值 $L_{mts}$ ,最大化主瓣与旁瓣的角度间距 $L_{as}$ ,最小化发射往每个角度的主瓣能量方差 $L_{avm}$ 。优化的目标函数定义为:

$$\begin{aligned}
 & \max_{W,D} L_{mts} + \alpha L_{as} - \beta L_{avm} \\
 [0075] \quad & s.t. \quad \begin{cases} |w_{n,\theta}| \leq 1 & (1 \leq n \leq N, 1 \leq \theta \leq \Theta) \\ d_m \geq L_{td} & (1 \leq m \leq N-1). \end{cases}
 \end{aligned}$$

[0076] 将上述目标整合为损失函数,迭代优化生成最优波束权重。将该权重应用于过程2的信号中,形成相控阵需要播放的信号。

[0077] 综上可知,本方案研究了利用空气非线性在空气中投射超声波虚拟声点的可行性;提出了一种分频思路,以实现同时跟踪和投射,支持声学增强现实应用中的要求;还提出了一种基于优化的波束成形方案,以克服空间中的意外音频泄漏。

[0078] 本方案创新性地提出了在空间中估计非线性效应产生可听声源的位置的建模方法,可以直接用于增强现实场景中;

[0079] 本方案创新性地使用了分频方案,在用户追踪的同时投射声源,让用户听音时不被追踪过程打断,用户具有连续性体验;

[0080] 本方案在优化波束图后,对于任意位置的声源均不需要改变装置的配置,如换能器各通道的间距,降低了系统部署难度;

[0081] 本方案提出了一种抑制额外声源的方法,使得用户在使用时只能听到唯一声源,避免了干扰,提升了用户使用体验;

[0082] 本方案利用载波与变频信号的分隔与空气非线性效应实现虚拟声源投射,用户无需佩戴耳机等借助空间音频实现的电子器件,具有便捷性。

[0083] 与定向扬声器中的波束形状投影不同,本方案仅投射细粒度的声点(小至15cm\*15cm区域),本方案通过360度的空间信息感应提供全方位的参与,这显示了方向指引和与周围环境交流的巨大潜力,特别是在增强现实应用和视障辅助方面。

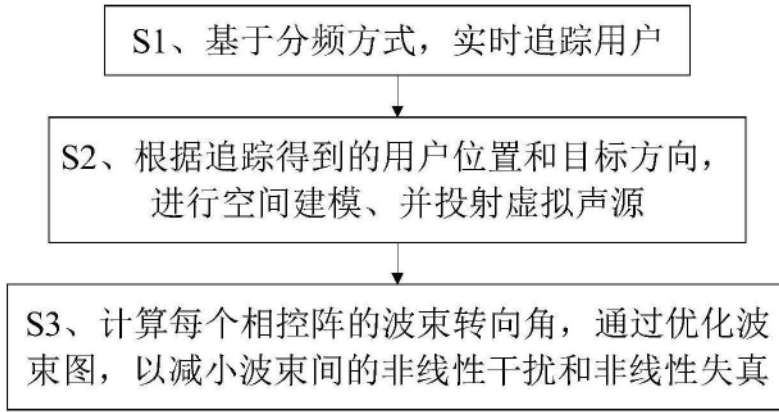


图1

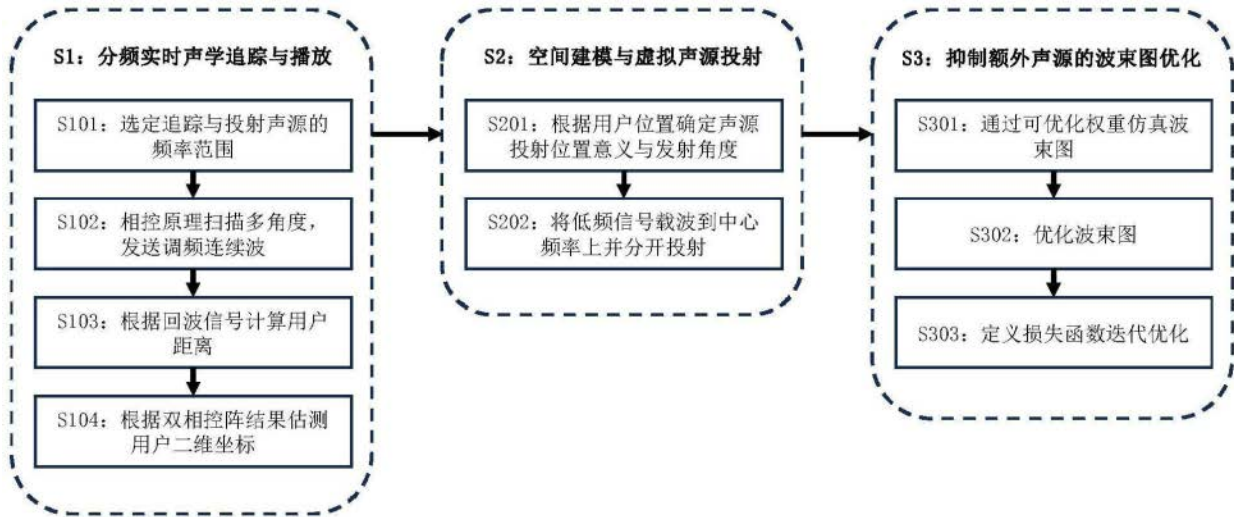


图2

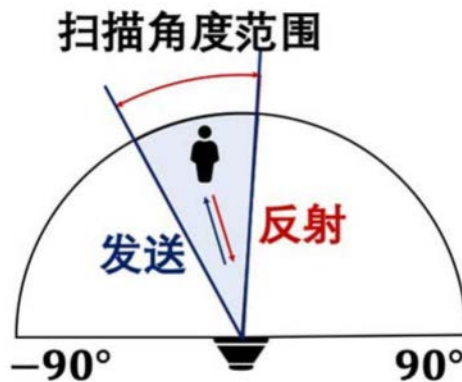


图3

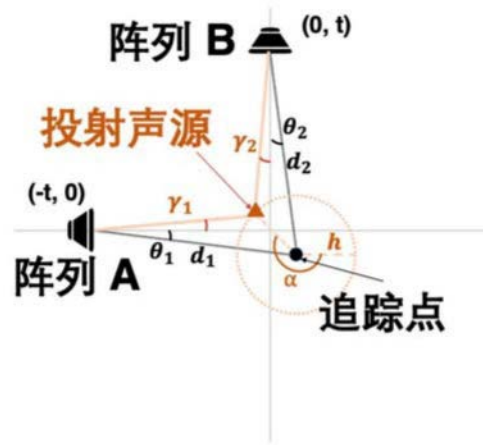


图4